

ANNUAL REPORT

2024

AGRICULTURE PRODUCTIONS SCIENCE
RESEARCH AND DEVELOPMENT DIVISION

ผลการปฏิบัติงาน
ประจำปีงบประมาณ 2567

ISBN : 978-616-358-714-5



<https://qr.cd.org/9H3E>

เล่ม 2

ผลการปฏิบัติงาน ประจำปีงบประมาณ 2567 (ANNUAL REPORT 2024)

กองวิจัยพัฒนาปัจจัยการผลิตทางการเกษตร

ISBN : 978-616-358-714-5



คณะที่ปรึกษา :

นายเทวรัตน์	บุรณ์สวัสดิ์พงษ์	ผู้อำนวยการกองวิจัยพัฒนาปัจจัยการผลิตทางการเกษตร
นางสาวศุภกานจน์	ล้วนมณี	ผู้เชี่ยวชาญด้านดินและปุ๋ย
นางมลิสรา	เวชยานนท์	ผู้เชี่ยวชาญด้านวัตถุอันตรายทางการเกษตร
นางสาวจรีรัตน์	กุศลวิริยะวงศ์	ผู้เชี่ยวชาญด้านวิเคราะห์และทดสอบ
นายประชาธิปไตย	พงษ์ภิญโญ	ผู้อำนวยการกลุ่มวิจัยวัตถุดิบพืชการเกษตร
นางสาวรุ่งนภา	พิทักษ์ตันสกุล	ผู้อำนวยการกลุ่มวิจัยเกษตรเคมี
นายอนุสรณ์	เทียนศิริฤกษ์	ผู้อำนวยการกลุ่มวิจัยปฐพีวิทยา
นางสาววนิดา	โนบรรเทา	ผู้อำนวยการกลุ่มบริหารโครงการวิจัย
นางอุษฎา	สุขจันทร์	ผู้อำนวยการศูนย์วิจัยและพัฒนาปัจจัยการผลิตทางการเกษตร
		ขอนแก่น

คณะผู้จัดทำและประสานงาน :

นางสาวณัฐธิดา	ทองนาค	กลุ่มบริหารโครงการวิจัย
นายเนติธร	กรุณา	กลุ่มบริหารโครงการวิจัย
นางสาวสุนารี	แก้วดี	กลุ่มบริหารโครงการวิจัย
นางสาวนัฐบล	จันทชุม	กลุ่มบริหารโครงการวิจัย
นางสาวฤทัยรัตน์	น้อยจาด	กลุ่มบริหารโครงการวิจัย

จำนวนพิมพ์: 50 เล่ม
พิมพ์เมื่อ: สิงหาคม 2568
สถานที่ติดต่อ: กลุ่มบริหารโครงการวิจัย กองวิจัยพัฒนาปัจจัยการผลิตทางการเกษตร
กรมวิชาการเกษตร เขตจตุจักร กรุงเทพมหานคร 10900
โทรศัพท์ 0 2940 5754 ต่อ 2115 และ 2117
โทรสาร 0 2579 157

คำนำ

เอกสาร “ผลการปฏิบัติงานประจำปีงบประมาณ พ.ศ. 2567 กองวิจัยพัฒนาปัจจัยการผลิตทางการเกษตร” ได้จัดทำขึ้นเพื่อรวบรวม และเผยแพร่ผลงานวิจัยที่ได้ดำเนินการศึกษาวิจัยตามแผนงาน/โครงการวิจัยของกรมวิชาการเกษตร ที่ได้รับงบประมาณสนับสนุนงานมูลฐาน (Fundamental Fund : FF) จากกองทุนส่งเสริมวิทยาศาสตร์ วิจัยและนวัตกรรม (กองทุนส่งเสริม ววน.) สำนักงานคณะกรรมการส่งเสริมวิทยาศาสตร์ วิจัยและนวัตกรรม (สทว.) ตามขั้นตอนการพิจารณางานวิจัยของกรมวิชาการเกษตร ประกอบด้วย ผลการดำเนินงานของกลุ่มวิจัยปฐพีวิทยา กลุ่มวิจัยวัตถุดิบพืชการเกษตร กลุ่มวิจัยเกษตรเคมี และศูนย์วิจัยและพัฒนาปัจจัยการผลิตทางการเกษตรขอนแก่น โดยมีกลุ่มบริหารโครงการวิจัยเป็นผู้ประสานงาน รวบรวมและดำเนินการตีพิมพ์ผลการดำเนินงานรวม 76 เรื่อง

กองวิจัยพัฒนาปัจจัยการผลิตทางการเกษตร หวังเป็นอย่างยิ่งว่าเอกสารผลการปฏิบัติงานประจำปีฉบับนี้ จะเกิดประโยชน์ต่อภาครัฐ ภาคเอกชน เกษตรกร ตลอดจนนักวิชาการและผู้สนใจทั่วไป ขอขอบคุณผู้เชี่ยวชาญด้านดินและปุ๋ย ผู้เชี่ยวชาญด้านวิเคราะห์และทดสอบ ผู้เชี่ยวชาญด้านวัตถุอันตรายทางการเกษตร กลุ่มบริหารโครงการวิจัย นักวิชาการเจ้าของผลงาน และผู้ที่มีส่วนเกี่ยวข้องในการดำเนินงานให้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี



(นายเทวรัตน์ บุรณส์สวัสดิ์พงษ์)

ผู้อำนวยการกองวิจัยพัฒนาปัจจัยการผลิตทางการเกษตร
กรมวิชาการเกษตร
สิงหาคม 2568

สารบัญ

กลุ่มวิจัยปฐพีวิทยา

หน้า

1	ประสิทธิภาพของการใช้สารสกัดสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินต่อการส่งเสริมการเจริญเติบโตของผักอินทรีย์ <i>แววตา พลกุล และคณะ</i>	2
2	ผลของการใช้ผลิตภัณฑ์ชีวภาพอัดเม็ดจากเห็ดแดงและสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินที่มีผลต่อการเจริญเติบโตของพืชผัก <i>ณัฐนันท์ ไกรเลิศรัตน์ชัย และคณะ</i>	17
3	ศึกษาการใช้ผลิตภัณฑ์ชีวภาพจุลินทรีย์ร่วมกับชีวมวลในการผลิตข้าวโพดหวานตาม GAP ในดินเหนียว-ร่วนเหนียว จังหวัดนครสวรรค์ <i>นุชนาฏ ตันวรรณ และคณะ</i>	29
4	ศึกษาการใช้ผลิตภัณฑ์ชีวภาพจุลินทรีย์ร่วมกับชีวมวลในการผลิตข้าวโพดหวานตาม GAP ในดินร่วน-ร่วนปนทราย จังหวัดนครสวรรค์ <i>สมฤทัย ต้นเจริญ และคณะ</i>	44
5	ศึกษาการใช้ผลิตภัณฑ์ชีวภาพจุลินทรีย์ร่วมกับชีวมวลในการผลิตข้าวโพดหวานอินทรีย์ในดินเหนียว-ร่วนเหนียว จังหวัดราชบุรี <i>ศราริน กลิ่นโพธิ์กลับ และคณะ</i>	62
6	ศึกษาการใช้ผลิตภัณฑ์ชีวภาพจุลินทรีย์ร่วมกับชีวมวลในการผลิตกระชายตาม GAP ในดินร่วน-ร่วนปนทราย จังหวัดนครปฐม <i>ชัชชนพร เกื้อหนู และคณะ</i>	74
7	ศึกษาการใช้ผลิตภัณฑ์ชีวภาพจุลินทรีย์ร่วมกับชีวมวลในการผลิตกระชายอินทรีย์ในดินร่วน-ร่วนปนทราย จังหวัดนครปฐม <i>ภิญญาลักษณ์ รัตนวิระกุล และคณะ</i>	87
8	ศึกษาการใช้ผลิตภัณฑ์ชีวภาพจุลินทรีย์ร่วมกับชีวมวลในการผลิตกระเจี๊ยบเขียวตาม GAP ในดินร่วน-ร่วนปนทราย จังหวัดนครปฐม <i>ศรีสุตา รื่นเจริญ และคณะ</i>	100
9	ศึกษาการใช้ผลิตภัณฑ์ชีวภาพจุลินทรีย์ร่วมกับชีวมวลในการผลิตกระเจี๊ยบเขียวตาม GAP ในดินเหนียว-ร่วนเหนียว จังหวัดสุพรรณบุรี <i>ทิพวรรณ แก้วหนู และคณะ</i>	117
10	ผลกระทบของการใช้เชื้อราขึ้นต่อจุลินทรีย์ดินในแปลงปลูกอ้อยจังหวัดสุพรรณบุรีและขอนแก่น <i>จิตรา เกาะแก้ว และคณะ</i>	137
11	ผลกระทบของการใช้เชื้อราขึ้นต่อจุลินทรีย์ดินในแปลงปลูกข้าวโพดเลี้ยงสัตว์จังหวัดลพบุรีและนครราชสีมา <i>มนต์ชัย มนต์ลีลา และคณะ</i>	152
12	ผลกระทบของการใช้ 2,4-D ต่อจุลินทรีย์ดินในแปลงปลูกอ้อยจังหวัดสุพรรณบุรีและขอนแก่น <i>สนธยา ขำดีบ และคณะ</i>	165

สารบัญ

กลุ่มวิจัยปฐพีวิทยา (ต่อ)

หน้า

13	ผลกระทบของการใช้ 2,4-D ต่อจุลินทรีย์ดินในแปลงปลูกข้าวโพดเลี้ยงสัตว์จังหวัดลพบุรี และนครราชสีมา บุญทริก ฉิมชาติ และคณะ	181
14	ผลกระทบของการใช้ glyphosate ต่อจุลินทรีย์ดินในแปลงปลูกมันสำปะหลังจังหวัดลพบุรี และนครราชสีมา อำนาจ เอี่ยมวิจารณ์ และคณะ	200
15	ผลกระทบของการใช้ glufosinate-ammonium ต่อจุลินทรีย์ดินในแปลงปลูกมันสำปะหลัง จังหวัดลพบุรีและนครราชสีมา กนกอร บุญพา และคณะ	216
16	การเพิ่มศักยภาพการใช้เชื้อไรโซเบียมในการส่งเสริมความทนแล้งให้กับถั่วลิสงในพื้นที่แล้ง มนต์ชัย มนต์ลีลา และคณะ	230
17	การเพิ่มศักยภาพการใช้แบคทีเรียละลายฟอสเฟตในการส่งเสริมความทนแล้งให้กับ ข้าวโพดในพื้นที่แล้ง : แบคทีเรียละลายฟอสเฟตที่มีประสิทธิภาพในการสร้างเอนไซม์ ACC deaminase ที่คัดแยกได้จากดินในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ กนกอร บุญพา และคณะ	249
18	การเพิ่มศักยภาพการใช้แบคทีเรียละลายฟอสเฟตในการส่งเสริมความทนแล้งให้กับอ้อย ในพื้นที่แล้ง สนธยา ขำดีบ และคณะ	268
19	การศึกษาอิทธิพลของชนิดอาหารเลี้ยงเชื้อและอุณหภูมิต่อการสร้าง In-house library ของ แบคทีเรียทนแล้งด้วยเทคนิค MALDI-TOF MS อำนาจ เอี่ยมวิจารณ์ และคณะ	280
20	การทดสอบอัตราปุ๋ยที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของกาแฟอะราบิกา วริศ แคนคอง และคณะ	299
21	ผลของการใช้ปุ๋ยอินทรีย์ต่อประสิทธิภาพปุ๋ยเคมีสำหรับการผลิตกาแฟอะราบิกา ทิพวรรณ แก้วหนู และคณะ	310
22	ผลของการใช้ไบโอชาร์ต่อประสิทธิภาพปุ๋ยเคมีสำหรับการผลิตกาแฟอะราบิกา ปฎิมาภรณ์ จินจาคาม และคณะ	320
23	ผลการใช้ปุ๋ยชีวภาพละลายฟอสเฟตต่อประสิทธิภาพการใช้ปุ๋ยฟอสเฟตในการผลิต กาแฟอะราบิกา ศรีสุดา รื่นเจริญ และคณะ	332
24	การศึกษาปริมาณรอยเท้าน้ำสำหรับกาแฟที่ให้ผลผลิตแล้ว ฤทัยรัตน์ ห้อยสัน และคณะ	341
25	การศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อดัชนีความเครียดกับสมดุลน้ำในการผลิตกาแฟ อนุสรณ์ เทียนศิริฤกษ์ และคณะ	355
26	การศึกษาความถี่และปริมาณการให้น้ำที่ระดับต่างๆ ต่อการเจริญเติบโตของกาแฟ พัชรินทร์ นามวงษ์ และคณะ	369

สารบัญ

<u>กลุ่มวิจัยปฐพีวิทยา (ต่อ)</u>	หน้า
27 การประเมินความต้องการธาตุอาหารและการจัดการปุ๋ยของมะขามหวานเพชรบูรณ์ สายน้ำ อุดพั่ว และคณะ	383
28 ศึกษาการจัดการธาตุอาหารแบบผสมผสานเพื่อการผลิตมะคาเดเมีย สุปรานี มั่นหมาย และคณะ	398
29 ศึกษาการใช้ปุ๋ยตามค่าวิเคราะห์ดินและพืชในแปลงมะพร้าว ปิยะนันท์ วิวัฒน์วิทยา และคณะ	412
30 ศึกษาวัสดุเพาะกล้าที่เหมาะสมต่อการผลิตต้นกล้ามะพร้าวลูกผสมชุมพร 2 ทิพวรรณ แก้วหนู และคณะ	428
31 ศึกษาการใช้ประโยชน์ปุ๋ยชีวภาพฟิซีฟิอาร์-วัน ที่เหมาะสมต่อการผลิตข้าวโพดหวานพันธุ์ ไฮบริด 59 กัลยกร โปร่งจันทิก และคณะ	443
32 ศึกษาผลของปุ๋ยชีวภาพฟิซีฟิอาร์ต่อการเจริญเติบโตและผลผลิตของข้าวโพดข้าวเหนียว พันธุ์สวีไวท์ 25 กัลยกร โปร่งจันทิก และคณะ	453
33 ศึกษาผลของปุ๋ยชีวภาพฟิซีฟิอาร์ต่อการเจริญเติบโตและผลผลิตของข้าวโพดข้าวเหนียวพันธุ์ CNW 18109 กัลยกร โปร่งจันทิก และคณะ	464
34 การศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อดัชนีความเครียดกับสมดุลน้ำในกาแฟอะราบิกา อนุสรณ์ เทียนศิริฤกษ์ และคณะ	476
35 ศึกษาศักยภาพการผลิตถั่วเขียวผิวน้ำมันหลังนาโดยการจัดการธาตุอาหารเฉพาะพื้นที่ในกลุ่ม ดินร่วนเหนียว สายน้ำ อุดพั่ว และคณะ	490

ผลงานวิจัยเด่นและการนำไปใช้ประโยชน์ ในปี พ.ศ. 2565 – 2568

36 ชุดตรวจอินทรีย์วัตถุ ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียมในดินแบบรวดเร็ว และระบบการให้ คำแนะนำการใช้ปุ๋ยแบบเบ็ดเสร็จ สุภา โพธิจันทร์ และคณะ	504
--	-----



กลุ่มวิจัยปฐพีวิทยา



ประสิทธิภาพของการใช้สารสกัดสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินต่อการส่งเสริมการ
เจริญเติบโตของผักอินทรีย์

Efficiency of Blue-Green Algae Extract on Promoting Growth of Organic
Vegetables

แหวตา พลกุล¹ ณัฐนันท์ ไกรเลิศรัตน์ชัย¹ ประไพ ทองระอา¹ ศิริลักษณ์ แก้วสุรลิขิต¹
กมลชนก เจริญศรี¹ เครือวัลย์ บุญเงิน² วนิดา โนบรันทะ¹ ศุภกาญจน์ ล้วนมณี¹
Waewta Polkul¹ Nattanan Krailertrattanachai¹ Praphai Thongra-ar¹ Sirilak aewsuralikhit¹
Kamolchanok Charoensri¹ Kruawan Bonngoen² Wanida Nobuntou¹ Suphakarn Luanmanee¹
กลุ่มวิจัยปฐพีวิทยา กองวิจัยพัฒนาปัจจัยการผลิตทางการเกษตร

ABSTRACT

Successful production of high-quality organic leafy vegetables requires soil improvement to increase organic matter (OM) levels, enhancing the soil's capacity to release sufficient nutrients for plant requirements. Extract from blue-green algae *Hapalosiphon* sp.DASH05101 (BGA extract) contains amino acids, phytohormone-like substances, and beneficial nutrients that can promote plant growth when applied as foliar spray. This study investigated the effects of BGA extract application in combination with different soil OM levels on the growth of cos lettuce in greenhouse conditions and bok choy in field experiments in Nakhon Pathom province. In the greenhouse experiment, randomized complete block (RCB) was employed with 8 treatments and 8 replications, cos lettuce was grown in soil with adjusted OM levels of 1.4, 2.0, 2.5, and 3.0% by using dried Azolla and composted chicken manure, with and without BGA extract foliar application. For the bok choy field experiment, an RCB design with 6 treatments and 4 replications was implemented. Bok choy was grown in soil with adjusted OM levels of 2.0, 2.5, and 3.0% by using dried Azolla, chicken manure with rice husk, and cow manure, with and without BGA extract application.

Results from the greenhouse experiment showed that BGA extract foliar application on cos lettuce grown in soil with OM 2.5% significantly increased the highest cos lettuce fresh weight of 140 g/plant (an increase of 23.9 percent compared to non BGA extract foliar application). The accumulated amounts of nitrogen, phosphorus, potassium, calcium, and magnesium that were absorbed 425 mg N/plant, 47.0 mg P/plant, 614 mg K/plant, 95.4 mg Ca/plant, and 32.1 mg Mg/plant, respectively. In the field experiment, BGA extract application to bok choy grown in soil

¹ กองวิจัยพัฒนาปัจจัยการผลิตทางการเกษตร กรมวิชาการเกษตร จตุจักร กรุงเทพฯ 10900

¹ Agricultural Production Sciences Research and Development Division, Department of Agriculture, Chatuchak, Bangkok 10900

² สำนักงานวิจัยและพัฒนาการเกษตรเขตที่ 5 ต.บางหลวง อ.สรรพยา จ.ชัยนาท 17150

² Office of Agricultural Research and Development Region 5, Chai Nat 17150

with OM 3.0% produced the highest yield 4.53 kg/m² representing a 32.5% yield increase different from the non-application treatment. Economic analysis demonstrated that BGA extract application provided a Value-Cost Ratio (VCR) of 17.8, indicating a highly cost-effective approach for organic bok choy production.

Keywords: Blue-green algae extract; Organic matter; Organic vegetables, Cos lettuce; bok choy

บทคัดย่อ

การปลูกพืชผักรับประทานใบอินทรีย์ให้ได้ผลผลิตที่ดีมีคุณภาพจำเป็นต้องปรับปรุงบำรุงดินให้มีอินทรีย์วัตถุ (OM) ระดับสูง เพื่อให้ดินมีศักยภาพในการปลดปล่อยธาตุอาหารให้เพียงพอต่อความต้องการของพืช สารสกัดสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงิน *Hapalosiphon* sp. DASH05101 (สารสกัด BGA) มีองค์ประกอบของกรดอะมิโน สารคล้ายฮอร์โมนพืช และธาตุอาหารที่เป็นประโยชน์ สามารถใช้เป็นสารส่งเสริมการเจริญเติบโตแก่พืชได้ จึงได้ศึกษาผลของการใช้สารสกัด BGA ร่วมกับระดับอินทรีย์วัตถุ(OM) ในดินต่อการเจริญเติบโตของผักสลัดคอสมอสในโรงเรือน และผักกวางตุ้งในแปลงทดลอง จังหวัดนครปฐม โดยในสภาพโรงเรือนวางแผนการทดลองแบบ Randomized Complete Block (RCB) จำนวน 8 กรรมวิธี 8 ซ้ำ ปลูกผักสลัดคอสมอสในดินที่ปรับระดับ OM 4 ระดับ คือ 1.4 2.0 2.5 และ 3.0 เปอร์เซ็นต์ (ใช้แทนแดงแห้งผสมกับปุ๋ยหมักมูลไก่) ร่วมกับการไม่ฉีดพ่นและฉีดพ่นสารสกัด BGA การทดลองในสภาพแปลง วางแผนการทดลองแบบ RCB จำนวน 6 กรรมวิธี 4 ซ้ำ โดยปลูกผักกวางตุ้งในดินที่ปรับระดับ OM 3 ระดับ คือ 2.0 2.5 และ 3.0 เปอร์เซ็นต์ (ใช้แทนแดงแห้ง มูลไก่แกลบ และมูลวัว) ร่วมกับการไม่ฉีดพ่นและฉีดพ่นสารสกัด BGA

ผลการเจริญเติบโตของผักสลัดคอสมอสในโรงเรือน พบว่าการใช้สารสกัด BGA ฉีดพ่นทางใบให้ผักสลัดคอสมอสที่ปลูกในดิน OM 2.5 เปอร์เซ็นต์ ทำให้น้ำหนักสดของผักสลัดคอสมอสเพิ่มขึ้น 140 กรัมต่อต้น หรือเพิ่มขึ้น 23.9 เปอร์เซ็นต์จากการไม่ฉีดพ่นสารสกัด BGA และมีการดูดใช้ธาตุอาหารไนโตรเจน(N) ฟอสฟอรัส(P) โพแทสเซียม(K) แคลเซียม (Ca) และ แมกนีเซียม(Mg) สะสมในพืชเพิ่มขึ้นโดยมีการดูดใช้ เท่ากับ 425 มิลลิกรัมNต่อต้น 47.0 มิลลิกรัม P ต่อต้น 614 มิลลิกรัมKต่อต้น 95.4 มิลลิกรัมCaต่อต้น และ 32.1 มิลลิกรัมMgต่อต้น ตามลำดับ ส่วนผลการทดลองปลูกผักกวางตุ้งในแปลง พบว่า การใช้สารสกัด BGA ฉีดพ่นทางใบในดินที่มี OM 3.0 เปอร์เซ็นต์ ให้ผลผลิตผักกวางตุ้งสูงสุด 4.53 กิโลกรัมต่อตารางเมตร หรือมีผลผลิตเพิ่มขึ้นจากการไม่ฉีดพ่นสารสกัด BGA 32.5 เปอร์เซ็นต์ เมื่อวิเคราะห์ผลตอบแทนทางเศรษฐกิจ (VCR) จากการใช้สารสกัด BGA พบว่า มีค่าเท่ากับ 17.8 ซึ่งให้ผลตอบแทนทางเศรษฐกิจที่มีความคุ้มค่าในการผลิตผักกวางตุ้งอินทรีย์

คำสำคัญ: สารสกัดสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงิน, อินทรีย์วัตถุ, ผักอินทรีย์, สลัดคอสมอส, กวางตุ้ง

บทนำ

ดินและธาตุอาหารพืชเป็นปัจจัยการผลิตพืชที่สำคัญ เนื่องจากมีผลต่อการเจริญเติบโตและการให้ผลผลิต การปลูกพืชในดินที่มีความอุดมสมบูรณ์ต่ำจะทำให้พืชแคระแกร็นและมีผลผลิตต่ำ ดังนั้นการยกระดับปริมาณอินทรีย์วัตถุในดินให้สูงขึ้น เพื่อให้ดินมีศักยภาพในการปลดปล่อยธาตุอาหารให้เพียงพอต่อความต้องการของพืชในการปลูกพืชผักรับประทานใบอินทรีย์ให้ได้ผลผลิตที่ดีมีคุณภาพจำเป็นต้องปรับปรุงบำรุงดินให้มีระดับอินทรีย์วัตถุไม่ต่ำกว่า 2.5 เปอร์เซ็นต์ (กรมวิชาการเกษตร, 2553) แต่หากสามารถเพิ่มได้ถึง 3.0 เปอร์เซ็นต์ จะทำให้ดินมีศักยภาพสูงในการปลดปล่อยธาตุอาหารให้เพียงพอต่อความต้องการของพืชรากต้น เช่น พืชผัก ไม้ (โสฬส, 2559) เนื่องจากพืชผักรับประทานใบมีความต้องการธาตุอาหารสำหรับการเจริญเติบโตสูงโดยเฉพาะไนโตรเจน สาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงิน (Cyanobacteria หรือ Blue-green algae) สามารถผลิตสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพต่าง ๆ ภายในเซลล์ได้ (Zulpa *et al.*, 2003) ได้แก่ กรดอะมิโน และ สารคล้ายฮอร์โมนพืชกลุ่มออกซิน จิบเบอเรลลิน และไซโตไคนิน ซึ่งมีผลต่อสรีรวิทยาของพืชสามารถช่วยปรับปรุงระบบราก เพิ่มการเจริญเติบโต เพิ่มการดูดใช้ธาตุอาหารและเพิ่มผลผลิตพืช (ประไพ และคณะ, 2560; ศิริลักษณ์และประไพ, 2563) การนำสารสกัด BGA Hapalosiphon ที่มีองค์ประกอบของสารสำคัญต่าง ๆ มาใช้ฉีดพ่นทางใบร่วมกับการใส่อินทรีย์วัตถุในดิน อาจช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการเจริญเติบโต และผลผลิตให้แก่พืชผักได้ ดังนั้นจึงได้ศึกษาผลของการใช้สารสกัด BGA ร่วมกับระดับอินทรีย์วัตถุในดินต่อการส่งเสริมการเจริญเติบโตแก่พืชผักอินทรีย์

อุปกรณ์และวิธีการ

อุปกรณ์

1) เมล็ดพันธุ์ผักสลัดคอส 2) เมล็ดพันธุ์ผักกวางตุ้ง 3) สารสกัด BGA *Hapalosiphon* sp. DASH 05101 เข้มข้น 4) แหนแดงแห้ง 5) ปุ๋ยหมักมูลไก่ 6) มูลไก่แกลบ 7) ปุ๋ยมูลวัว 8) ถังปลูกขนาด 8x15 นิ้ว 9) สารเคมีสำหรับวิเคราะห์ปริมาณธาตุอาหารในดินและพืช และ 10) อุปกรณ์และเครื่องมือสำหรับวิเคราะห์ปริมาณธาตุอาหารในดินและพืช

วิธีการ

1. ทดสอบประสิทธิภาพของการใช้สารสกัด BGA ต่อการส่งเสริมการเจริญเติบโตแก่ผักสลัดคอสอินทรีย์ในสภาพโรงเรือน

เตรียมสารสกัด BGA โดยสกัดเซลล์สดสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงิน *Hapalosiphon* sp. DASH05101 ด้วยน้ำ ที่อัตราส่วนเซลล์สดต่อน้ำ เท่ากับ 1:5 โดยวิธีการแช่แข็งที่อุณหภูมิ -20 °C นาน 24 ชั่วโมง ละลายน้ำแข็งที่อุณหภูมิห้อง และนำไปปั่นตัดเซลล์ด้วยเครื่องปั่น นาน 1 นาที กรองสารละลายเซลล์เข้มข้นด้วยผ้ากรองขนาด 30 ไมครอน จากนั้นนำไปเจือจางด้วยน้ำอัตราส่วน 1:9 สำหรับใช้ฉีดพ่นแก่พืช (สารสกัด BGA เข้มข้น ประกอบด้วย Free IAA 0.05 มิลลิกรัมต่อลิตร, Free GA₃ 36.4 มิลลิกรัมต่อลิตร, Free CKs 0.013 มิลลิกรัมต่อลิตร กรดอะมิโนอิสระ 17 ชนิด รวมเท่ากับ 255.93 มิลลิกรัมต่อลิตร อนินทรีย์ไนโตรเจน 9.97 มิลลิกรัมต่อลิตร ฟอสฟอรัสที่ละลายน้ำได้ 4.02 มิลลิกรัมต่อลิตร โพแทสเซียมที่ละลายน้ำได้ 52.0 มิลลิกรัมต่อลิตร แคลเซียมที่ละลายน้ำได้ 17.9 มิลลิกรัมต่อลิตร และแมกนีเซียมที่ละลายน้ำได้ 17.0 มิลลิกรัมต่อลิตร)

นำดินที่มีอินทรีย์วัตถุ 1.4 เปอร์เซ็นต์ (ระดับอินทรีย์วัตถุต่ำสำหรับการปลูกพืชผักรับประทานต้นและใบ; กรมวิชาการเกษตร, 2553) มาปรับปรุงให้มีปริมาณอินทรีย์วัตถุเท่ากับ 2.0 2.5 และ 3.0 เปอร์เซ็นต์ โดยใส่วัสดุอินทรีย์แห้งแดงแห้งผสมกับปุ๋ยหมักมูลไก่ อัตรา 1:2 โดยน้ำหนัก นำดินเดิมและดินที่ปรับระดับอินทรีย์วัตถุแล้ว

ใส่ในถุงปลูกจำนวน 7 กิโลกรัม ปลูกผักสลัดคอสในสภาพโรงเรือน วางแผนการทดลองแบบ RCB มี 8 ซ้ำ 8 กรรมวิธี คือ

- กรรมวิธีที่ 1 ดินเดิม OM 1.4%
- กรรมวิธีที่ 2 ดินที่มี OM 2.0%
- กรรมวิธีที่ 3 ดินที่มี OM 2.5%
- กรรมวิธีที่ 4 ดินที่มี OM 3.0%
- กรรมวิธีที่ 5 ดินเดิม OM 1.4%+ฉีดพ่นสารสกัด BGA
- กรรมวิธีที่ 6 ดินที่มี OM 2.0%+ฉีดพ่นสารสกัด BGA
- กรรมวิธีที่ 7 ดินที่มี OM 2.5%+ฉีดพ่นสารสกัด BGA
- กรรมวิธีที่ 8 ดินที่มี OM 3.0%+ฉีดพ่นสารสกัด BGA

ฉีดพ่นสารสกัด BGA (เจือจางด้วยน้ำอัตราส่วน 1:9) ครั้งที่ 1 เมื่อผักสลัดคอสอายุ 23 วัน โดยรดให้น้ำในช่วงเช้าก่อนการฉีดพ่น ฉีดพ่นทางใบห่างกันทุก 3 วัน ครั้งที่ 1-3 จำนวน 10 มิลลิลิตรต่อต้น และครั้งที่ 4-6 จำนวน 25 มิลลิลิตรต่อต้น เมื่อผักสลัดคอสอายุ 43 วัน บันทึกข้อมูลการเจริญเติบโต ได้แก่ น้ำหนักสด น้ำหนักแห้ง ความสูงต้น จำนวนใบ และพื้นที่ใบ ผลผลิต วิเคราะห์ปริมาณธาตุอาหารที่พืชดูดใช้ ได้แก่ ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส โพแทสเซียม แคลเซียม และแมกนีเซียม

2. ทดสอบประสิทธิภาพของการใช้สารสกัด BGA ต่อการส่งเสริมการเจริญเติบโตแก่ผักกวางตุ้งอินทรีย์ในแปลงทดลอง

คัดเลือกพื้นที่ปลูกผักของเกษตรกรที่ได้รับการรับรองระบบการผลิตพืชอินทรีย์เพื่อใช้ในการทำการทดลอง เก็บตัวอย่างดินมาวิเคราะห์สมบัติทางเคมีและปริมาณธาตุอาหารที่เป็นประโยชน์ ได้แก่ pH EC ปริมาณอินทรีย์วัตถุ ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ โพแทสเซียม แคลเซียมและแมกนีเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ เพื่อประเมินระดับความอุดมสมบูรณ์ของดิน

เตรียมแปลงทดลองขนาดแปลงย่อย 1.5×2 เมตร วางแผนการทดลองแบบ RCB มี 4 ซ้ำ 6 กรรมวิธี คือ

- กรรมวิธีที่ 1 ดินเดิม OM 2.0%
- กรรมวิธีที่ 2 ดินที่มี OM 2.5%
- กรรมวิธีที่ 3 ดินที่มี OM 3.0%
- กรรมวิธีที่ 4 ดินเดิม OM 2.0%+ฉีดพ่นสารสกัด BGA
- กรรมวิธีที่ 5 ดินที่มี OM 2.5%+ฉีดพ่นสารสกัด BGA
- กรรมวิธีที่ 6 ดินที่มี OM 3.0%+ฉีดพ่นสารสกัด BGA

ปรับระดับความอุดมสมบูรณ์ของดิน โดยใช้เหินแดงแห้งอัตรา 1,000 กิโลกรัมต่อไร่ และใช้มูลไก่เกลบผสมกับมูลวัวในอัตรา 1:1 โดยน้ำหนัก ปรับระดับอินทรีย์วัตถุให้เท่ากับ 2.5 และ 3.0 เปอร์เซ็นต์

เพาะเมล็ดผักกวางตุ้งในถาดเพาะ เมื่อต้นกล้าผักกวางตุ้งอายุ 14 วัน ย้ายกล้าลงปลูกในแปลง คลุมแปลงด้วยฟางข้าวเพื่อรักษาความชื้นในดิน และเมื่อต้นกล้าอายุ 18 วัน เริ่มฉีดพ่นสารสกัด BGA โดยฉีดพ่นวันละ 1 ครั้ง ในช่วงเช้า ห่างกันทุก 3 วัน ทั้งหมดจำนวน 6 ครั้ง บันทึกข้อมูล น้ำหนักสด น้ำหนักแห้ง ความสูงต้น จำนวนใบ และผลผลิต เมื่อผักอายุ 44 วัน

ระยะเวลา เริ่มต้น ตุลาคม 2565 สิ้นสุด กันยายน 2567

สถานที่ทำการทดลอง

กลุ่มงานวิจัยเคมีดินและกลุ่มงานวิจัยจุลินทรีย์ดิน กลุ่มวิจัยปฐพีวิทยา กองวิจัยพัฒนาปัจจัยการผลิตทางการเกษตร กรมวิชาการเกษตร และแปลงเกษตรกรกร อำเภอดอนตูม จังหวัดนครปฐม

ผลการทดลองและวิจารณ์

1. ทดสอบประสิทธิภาพของการใช้สารสกัด BGA ต่อการส่งเสริมการเจริญเติบโตแก่ผักสลัดคออินทรีย์ในสภาพโรงเรือน

1.1 สมบัติของดินก่อนการทดลอง

ดินมีความเป็นกรดเล็กน้อย มีอินทรีย์วัตถุอยู่ในระดับต่ำ (1.40 เปอร์เซ็นต์) ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ในดินอยู่ในระดับสูง โพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้อยู่ในระดับต่ำ (ตารางที่ 1) จัดเป็นดินที่มีระดับความอุดมสมบูรณ์ต่ำสำหรับการปลูกพืชผักรับประทานต้นและใบ (กรมวิชาการเกษตร, 2553)

ตารางที่ 1 สมบัติดินก่อนทดลอง

pH (1:1)	EC (1:5) (dS/m)	OM (%)	Avail. P (mg/kg)	Exch. K (mg/kg)	Exch. Ca (mg/kg)	Exch. Mg (mg/kg)
6.38	0.061	1.4	48	95	1,557	174

1.2 สมบัติทางเคมีและปริมาณธาตุอาหารในวัสดุอินทรีย์

วัสดุอินทรีย์แห้งแดงแห้งผสมกับปุ๋ยหมักมูลไก่อัตรา 1:2 โดยน้ำหนัก มี pH เป็นกลาง มีค่าการนำไฟฟ้า 9.08 เดซิซีเมนส์ต่อเมตร ซึ่งมาตรฐานปุ๋ยอินทรีย์ตามพระราชบัญญัติปุ๋ย พ.ศ. 2518 แก้ไขเพิ่มเติมโดยพระราชบัญญัติปุ๋ย (ฉบับที่ 2) พ.ศ. 2550 ที่กำหนดว่า ปุ๋ยอินทรีย์ต้องมีค่า EC ไม่เกิน 10 เดซิซีเมนส์ต่อเมตร มีปริมาณอินทรีย์วัตถุสูง และมีค่าสัดส่วน C:N แคบ จึงสามารถปลดปล่อยไนโตรเจนและธาตุอาหารอื่น ๆ ให้พืชได้ใช้ประโยชน์อย่างรวดเร็ว จึงมีความเหมาะสมต่อการใช้เป็นแหล่งธาตุอาหารให้แก่พืชผักรับประทานใบอินทรีย์ที่ต้องการปริมาณธาตุอาหารสูง (Leghari *et al.*, 2016) ส่วนปริมาณธาตุอาหารหลักและธาตุอาหารรองในวัสดุอินทรีย์ผสม พบว่ามีปริมาณสูง (ตารางที่ 2) ซึ่งวัสดุอินทรีย์ที่นำมาใช้ในการทดลอง มีคุณสมบัติอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานของปุ๋ยอินทรีย์

ตารางที่ 2 สมบัติทางเคมีและปริมาณธาตุอาหารในวัสดุอินทรีย์ผสมแห้งแดงแห้งและปุ๋ยหมักมูลไก่ที่ใช้ในการทดลอง

วัสดุอินทรีย์	ความชื้น ^{1/} (%)	pH 1:5	EC (1:10) dS/m	OM (%)	OC (%)	C:N ratio	Total N (%)	Total P (%)	Total K (%)	Total Ca (%)	Total Mg (%)
แห้งแดงแห้ง: ปุ๋ยหมักมูลไก่ (1:2)	6.38	6.77	9.08	43	25	11	2.28	1.2	1.77	7.6	0.62

หมายเหตุ : ^{1/} base on fresh weight

1.3 ผลของการใช้สารสกัด BGA ฉีดพ่นทางใบร่วมกับการใส่อินทรีย์วัตถุทางดินต่อการเจริญเติบโตของผักสลัดคอสนิรียในสภาพโรงเรือน

การใช้สารสกัด BGA ฉีดพ่นทางใบแก่ผักสลัดคอสนิรียในดินที่มี OM ระดับ 2.0 และ 2.5 เปอร์เซ็นต์ ทำให้ผักสลัดคอสนิรียมีน้ำหนักสดเพิ่มขึ้นจากการไม่ฉีดพ่นสารสกัด BGA อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ และพบว่าการใช้สารสกัด BGA ฉีดพ่นร่วมกับการใส่ OM ทางดินที่ระดับ 2.5 เปอร์เซ็นต์ สามารถช่วยส่งเสริมการเจริญเติบโตให้ผักสลัดคอสนิรียมีน้ำหนักสดสูงสุดเท่ากับ 140 กรัมต่อต้น เป็นผลมาจากจำนวนใบ พื้นที่ใบ และความสูงต้นที่เพิ่มขึ้น (ตารางที่ 3 และภาพที่ 1) โดยเป็นผลมาจากการที่สารสกัด BGA มีสารคล้ายฮอร์โมนพืชกลุ่มออกซิน เป็นองค์ประกอบจึงทำให้ผักสลัดคอสนิรียมีการแตกใบอ่อนและขยายขนาดของเซลล์ใบได้เพิ่มขึ้น จึงทำให้พืชเจริญเติบโตเพิ่มขึ้น (Moore, 1989) อีกทั้งในสารสกัด BGA ยังมีกรดอะมิโนอิสระชนิดที่ทำหน้าที่เป็นแหล่งอินทรีย์ไนโตรเจน (Baqir *et al.*, 2019) จึงทำให้พืชมีการเจริญเติบโตเพิ่มขึ้น นอกจากนี้ยังพบว่าประสิทธิภาพของการใช้สารสกัด BGA ต่อการส่งเสริมการเจริญเติบโตของผักสลัดคอสนิรียมีความเกี่ยวข้องกับปริมาณอินทรีย์วัตถุในดินที่ใช้ปลูก โดยเมื่อฉีดพ่นสารสกัด BGA ร่วมกับการใส่อินทรีย์วัตถุที่ระดับ 2.0 และ 2.5 เปอร์เซ็นต์ สามารถเพิ่มน้ำหนักสดผักสลัดคอสนิรียจากการปลูกในดินระดับอินทรีย์วัตถุเดียวกันที่ไม่ฉีดพ่นสารสกัดได้สูงถึง 46.5 และ 23.9 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ส่วนการฉีดพ่นสารสกัด BGA ร่วมกับการใส่อินทรีย์วัตถุที่ระดับ 1.4 และ 3.0 เปอร์เซ็นต์ พบว่า ไม่ช่วยเพิ่มน้ำหนักสดจากการใส่อินทรีย์วัตถุที่ระดับเดียวกันเพียงอย่างเดียว ดังนั้น การนำสารสกัด BGA ไปใช้ให้มีประสิทธิภาพจำเป็นต้องปรับปรุงบำรุงดินให้มีอินทรีย์วัตถุในดินถึงระดับ 2.5 เปอร์เซ็นต์ จึงจะเหมาะสมต่อการเจริญเติบโตและพัฒนาการของพืช (ตารางที่ 4)

ตารางที่ 3 ผลของการใช้สารสกัด BGA ฉีดพ่นทางใบร่วมกับการใส่อินทรีย์วัตถุทางดินต่อการเจริญเติบโตของผักสลัดคอสนิรียในสภาพโรงเรือน

กรรมวิธี	ความสูงต้น (ซม.)	จำนวนใบ (ใบ/ต้น)	พื้นที่ใบ (ตร.ซม./ต้น)	น้ำหนักสด (กรัม/ต้น)
1. OM 1.4%	18.8 c	16 c	765 d	43.1 d
2. OM 2.0%	22.2 b	20 b	1,633 c	79.2 c
3. OM 2.5%	23.9 ab	22 ab	2,372 b	113 b
4. OM 3.0%	23.9ab	21 ab	2,536 ab	122 ab
5. OM 1.4%+BGA .	17.9 c	15 c	967 d	32.6 d
6. OM 2.0%+ BGA .	23.7 ab	22ab	1,649 c	116 ab
7. OM 2.5%+ BGA .	24.3 a	24 a	2,774 a	140 a
8. OM 3.0%+ BGA .	24.3 a	24 a	2,636 ab	121 ab
Average	22.4	20.3	1,917	95.9
CV. (%)	7.2	10.4	9.8	23

ตัวเลขที่ตามด้วยตัวอักษรเหมือนกัน ไม่แตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ โดยวิธี DMRT

5. OM 1.4%+BGA 6. OM 2.0%+BGA 7. OM 2.5%+BGA 8. OM 3.0%+BGA



1. OM 1.4% 2. OM 2.0% 3. OM 2.5% 4. OM 3.0%

ภาพที่ 1 เปรียบเทียบการเจริญเติบโตของผักสลัดคอสเมื่อใช้สารสกัด BGA ฉีดพ่นทางใบรวมกับการใส่อินทรีย์วัตถุทางดินเมื่ออายุ 43 วัน
ตารางที่ 4 ร้อยละน้ำหนักสดของผักสลัดคอสที่เพิ่มขึ้นจากการใช้สารสกัด BGA เมื่อมีการใส่อินทรีย์วัตถุทางดินที่ระดับเดียวกัน

กรรมวิธี	น้ำหนักสด (กรัม/ต้น)	% น้ำหนักสดที่เพิ่มขึ้น			
		T1	T2	T3	T4
1. OM 1.4%	43 d				
2. OM 2.0%	79 c				
3. OM 2.5%	113 b				
4. OM 3.0%	122 ab				
5. OM 1.4%+BGA	33 d	-24.4			
6. OM 2.0%+ BGA.	116 ab		46.5		
7. OM 2.5%+ BGA	140 a			23.9	
8. OM 3.0%+ BGA	121 ab				-0.8
Average	95.9				
CV. (%)	23				

ตัวเลขที่ตามด้วยตัวอักษรเหมือนกัน ไม่แตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซนต์ โดยวิธี DMRT

1.4 ปริมาณการดูดใช้ในโตรเจน ฟอสฟอรัส โพแทสเซียม แคลเซียม และแมกนีเซียม

ผลของการใช้สารสกัด BGA ฉีดพ่นทางใบต่อการดูดใช้ในโตรเจนของผักสลัดคอส พบว่า การฉีดพ่นสารสกัด BGA ร่วมกับการใส่อินทรีย์วัตถุในดินที่ 2.5 และ 3.0 เปอร์เซนต์ ผักสลัดคอสมีการดูดใช้ในโตรเจนเท่ากับ 0.4239 และ 0.4340 กรัมNต่อต้น ตามลำดับ แต่แตกต่างจากกรรมวิธีที่ใส่อินทรีย์วัตถุที่ระดับเดียวกันแต่ไม่ฉีดพ่นสารสกัด BGA ที่มีการดูดใช้ในโตรเจนเท่ากับ 0.3311 และ 0.3180 กรัมNต่อต้น ตามลำดับ ส่วนการฉีดพ่นสารสกัด BGA ร่วมกับการใส่อินทรีย์วัตถุ 2.0 เปอร์เซนต์ พบว่า ให้ผลการดูดใช้ในโตรเจนเพิ่มขึ้นเทียบเท่ากับการดูดใช้ที่ใส่อินทรีย์วัตถุ 3.0 เปอร์เซนต์ (ตารางที่ 5) ด้านการดูดใช้ฟอสฟอรัสพบว่า การฉีดพ่นสารสกัด BGA ร่วมกับการใส่อินทรีย์วัตถุ 2.5 และ 3.0 เปอร์เซนต์ มีการดูดใช้ฟอสฟอรัสสูงเช่นเดียวกับการดูดใช้ในโตรเจน

โดยมีการดูดใช้ฟอสฟอรัสเท่ากับ 0.0474 และ 0.0514 กรัมPต่อต้น ตามลำดับ แตกต่างจากการปลูกในดินที่ระดับอินทรีย์วัตถุเดียวกันแต่ไม่ฉีดพ่นสารสกัด BGA ที่มีการดูดใช้ฟอสฟอรัสในปริมาณที่ต่ำกว่า เท่ากับ 0.0409 และ 0.0411 กรัมPต่อต้น ตามลำดับ (ตารางที่ 6)

ด้านผลการดูดใช้โพแทสเซียม แคลเซียมและแมกนีเซียม พบว่า ให้ผลไปในทิศทางเดียวกันกับไนโตรเจน โดยการฉีดพ่นสารสกัด BGA ร่วมกับการใส่อินทรีย์วัตถุ 2.5 และ 3.0 เปอร์เซ็นต์ มีการดูดใช้โพแทสเซียม แคลเซียม และแมกนีเซียม สูงแตกต่างจากการไม่ฉีดพ่นสารสกัด BGA ที่ระดับอินทรีย์วัตถุเดียวกัน ซึ่งมีปริมาณการดูดใช้ต่ำกว่า นอกจากนี้ยังพบว่า การฉีดพ่นสารสกัด BGA ร่วมกับการใส่อินทรีย์วัตถุ 2.0 เปอร์เซ็นต์ สามารถช่วยเพิ่มการดูดใช้โพแทสเซียม แคลเซียม และแมกนีเซียม ให้สูงขึ้นได้เทียบเท่ากับการใส่อินทรีย์วัตถุ 2.5 เปอร์เซ็นต์ (ตารางที่ 7-9) จากผลการดูดใช้ธาตุอาหารที่เพิ่มขึ้นดังกล่าวเป็นผลมาจากการที่สารสกัด BGA มีองค์ประกอบของธาตุโพแทสเซียม แคลเซียมและแมกนีเซียมที่ละลายน้ำได้ซึ่งเป็นประโยชน์แก่พืช อีกทั้งการที่มีองค์ประกอบของกรดอะมิโนอิสระ (free amino acid) บางชนิดซึ่งทำหน้าที่คล้ายเป็นสารคีเลตธรรมชาติ เมื่อรวมกับธาตุอาหารที่มีประจุบวกจะมีคุณสมบัติเป็นคีเลตชนิดกรดอะมิโนที่มีน้ำหนักเบาและมีขนาดเล็กสามารถแทรกซึมผ่านช่องเปิดของใบได้ง่าย และเมื่อเข้าไปในเซลล์พืชจะแตกตัวให้พืชดูดซึม (absorption) ธาตุอาหารไปใช้ประโยชน์ได้ทันที (Sekhon, 2003)

ตารางที่ 5 ผลของการใช้สารสกัด BGA ผิดพันทางไปร่วมกับการเลือกพันธุ์ทางดินต่อปริมาณการสะสมไนโตรเจนของผักสลัดคอส เมื่ออายุ 43 วัน

กรรมวิธี	น้ำหนักแห้ง (กรัม/ต้น)				ความเข้มข้นของไนโตรเจน (%)				ปริมาณการสะสมของไนโตรเจนในส่วนต่างๆ (กรัม)				ปริมาณการดูด ใช้ไนโตรเจน (กรัม/ต้น)
	ใบ	ลำต้น	ราก	ใบ	ลำต้น	ราก	ใบ	ลำต้น	ราก	ใบ	ลำต้น	ราก	
1. OM 1.4%	2.40 c	0.44 c	0.59 bc	3.0 c	1.77 cd	2.44 ab	0.0720 c	0.0079 e	0.0144 bc	0.0720 c	0.0079 e	0.0144 bc	0.0942 d
2. OM 2.0%	4.52 b	0.66 bc	0.68 abc	4.16 ab	2.33 bcd	2.91 ab	0.1880 b	0.0154 e	0.0198 abc	0.1880 b	0.0154 e	0.0198 abc	0.2232 c
3. OM 2.5%	6.42 a	0.94 ab	0.91 ab	4.08 ab	3.55 ab	3.93 a	0.2619 b	0.0334 bc	0.0358 a	0.2619 b	0.0334 bc	0.0358 a	0.3311 b
4. OM 3.0%	6.15 ab	0.76 b	0.68 abc	4.38 a	3.18 abc	3.59 a	0.2694 b	0.0242 cd	0.0244 ab	0.2694 b	0.0242 cd	0.0244 ab	0.3180 bc
5. OM 1.4%+BGA	1.73 c	0.46 c	0.42 c	3.41 bc	1.39 d	1.42 b	0.0590 c	0.0064 e	0.0060 c	0.0590 c	0.0064 e	0.0060 c	0.0714 d
6. OM 2.0%+ BGA	5.90 ab	0.93 ab	0.95 ab	4.61 a	2.87 bcd	2.25 ab	0.2720 b	0.0267 cd	0.0214 abc	0.2720 b	0.0267 cd	0.0214 abc	0.3201 bc
7. OM 2.5%+ BGA	7.60 a	1.12 a	0.95 ab	4.63 a	4.43 a	2.36 ab	0.3519 a	0.0496 a	0.0224 abc	0.3519 a	0.0496 a	0.0224 abc	0.4239 a
8. OM 3.0%+ BGA	7.61 a	1.09 a	1.03 a	4.65 a	3.77 ab	3.79 a	0.3539 a	0.0411 b	0.0390 a	0.3539 a	0.0411 b	0.0390 a	0.4340 a
เฉลี่ย	5.29	0.8	0.78	4.12	2.91	2.84	227	0.2285	0.0256	227	0.2285	0.0256	0.0229
CV. (%)	22.8	27.4	32.6	16.5	36.2	44.2	26.6	42.5	52.1	26.6	42.5	52.1	24.6

ตัวเลขที่ตามด้วยอักษรเหมือนกัน ไม่แตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ โดยวิธี DMRT

ตารางที่ 6 ผลของการใช้สารสกัด BGA ผิดพันทางไปร่วมกับการเลือกพันธุ์ทางดินต่อปริมาณการสะสมฟอสฟอรัสของผักสลัดคอส เมื่ออายุ 43 วัน

กรรมวิธี	น้ำหนักแห้ง (กรัม/ต้น)				ความเข้มข้นของฟอสฟอรัส (%)				ปริมาณการสะสมของฟอสฟอรัสในส่วนต่างๆ (กรัม)				ปริมาณการดูด ใช้ฟอสฟอรัส (กรัม/ต้น)
	ใบ	ลำต้น	ราก	ใบ	ลำต้น	ราก	ใบ	ลำต้น	ราก	ใบ	ลำต้น	ราก	
1. OM 1.4%	2.40 c	0.44 c	0.59 bc	0.314 c	0.268 c	0.21 c	0.0075 d	0.0012 d	0.0012 d	0.0075 d	0.0012 d	0.0012 d	0.0100 d
2. OM 2.0%	4.52 b	0.66 bc	0.68 abc	0.384 b	0.454 b	0.29 c	0.0174 c	0.0030 cd	0.0020 cd	0.0174 c	0.0030 cd	0.0020 cd	0.0223 c
3. OM 2.5%	6.42 a	0.94 ab	0.91 ab	0.466 a	0.690 a	0.49 ab	0.0299 b	0.0065 ab	0.0045 b	0.0299 b	0.0065 ab	0.0045 b	0.0409 b
4. OM 3.0%	6.15 ab	0.76 b	0.68 abc	0.504 a	0.802 a	0.59 a	0.031 b	0.0061 ab	0.0040 b	0.031 b	0.0061 ab	0.0040 b	0.0411 b
5. OM 1.4%+BGA	1.73 c	0.46 c	0.42 c	0.338 c	0.300 bc	0.25 c	0.0058 d	0.0014 d	0.0011 d	0.0058 d	0.0014 d	0.0011 d	0.0083 d
6. OM 2.0%+ BGA	5.90 ab	0.93 ab	0.95 ab	0.378 b	0.438 b	0.26 c	0.0223 c	0.0041 bc	0.0025 c	0.0223 c	0.0041 bc	0.0025 c	0.0288 c
7. OM 2.5%+ BGA	7.60 a	1.12 a	0.95 ab	0.468 a	0.692 a	0.43 b	0.0356 ab	0.0078 a	0.0041 b	0.0356 ab	0.0078 a	0.0041 b	0.0474 ab
8. OM 3.0%+ BGA	7.61 a	1.09 a	1.03 a	0.504 a	0.670 a	0.56 a	0.0384 a	0.0073 a	0.0058 a	0.0384 a	0.0073 a	0.0058 a	0.0514 a
เฉลี่ย	5.29	0.80	0.78	0.419	0.539	0.38	0.0222	0.0043	0.003	0.0222	0.0043	0.003	0.0294
CV. (%)	22.8	27.4	32.6	7.2	21.3	23.2	23	5.8362	21.5	23	5.8362	21.5	22.9

ตัวเลขที่ตามด้วยอักษรเหมือนกัน ไม่แตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ โดยวิธี DMRT

ตารางที่ 7 ผลของการใช้สารสกัด BGA ฉีดพ่นทางใบร่วมกับบการเลือกวิธีฤดูทางดินต่อปริมาณการสะสมโพแทสเซียมของผักสลัดคอส เมื่ออายุ 43 วัน

กรรมวิธี	น้ำหนักแห้ง (กรัม/ต้น)			ความเข้มข้นของโพแทสเซียม (%)			ปริมาณการสะสมของโพแทสเซียมในส่วนต่างๆ (กรัม)			ปริมาณการดูดใช้โพแทสเซียม (กรัม/ต้น)
	ใบ	ลำต้น	ราก	ใบ	ลำต้น	ราก	ใบ	ลำต้น	ราก	
1. OM 1.4%	2.40 c	0.44 c	0.59 bc	5.69 b	2.93 b	2.48 c	0.1366 d	0.0129 c	0.0146 d	0.1641 d
2. OM 2.0%	4.52 b	0.66 bc	0.68 abc	5.96 bc	4.62 a	3.38 bc	0.2694 c	0.0305 b	0.0230 c	0.3229 c
3. OM 2.5%	6.42 a	0.94 ab	0.91 ab	6.18 bc	4.84 a	3.80 ab	0.3968 ab	0.0455 a	0.0346 abc	0.4768 abc
4. OM 3.0%	6.15 ab	0.76 b	0.68 abc	6.42 c	5.03 a	4.01 ab	0.3948 ab	0.0382 ab	0.0273 c	0.4603 ab
5. OM 1.4%+BGA	1.73 c	0.46 c	0.42 c	5.12 a	3.14 b	3.15 bc	0.0886 d	0.0144 c	0.0132 d	0.1163 d
6. OM 2.0%+ BGA	5.90 ab	0.93 ab	0.95 ab	5.95 bc	4.71 a	3.51 ab	0.3511 bc	0.0438 b	0.0333 b	0.4282 bc
7. OM 2.5%+ BGA	7.60 a	1.12 a	0.95 ab	6.17 bc	4.90 a	3.90 ab	0.4689 a	0.0549 b	0.0371 b	0.5609 a
8. OM 3.0%+ BGA	7.61 a	1.09 a	1.03 a	6.49 c	4.53 a	4.36 a	0.4939 a	0.0494 a	0.0449 a	0.5882 a
เฉลี่ย	5.29	0.80	0.78	6	4.34	3.57	0.3174	0.0347	0.0278	0.3800
CV. (%)	22.8	27.4	32.6	6.3	9.5	16.4	24.8	22	13.2	18.2

ตัวเลขที่ตามด้วยตัวอักษรเหมือนกัน ไม่แตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซนต์ โดยวิธี DMRT

ตารางที่ 8 ผลของการใช้สารสกัด BGA ฉีดพ่นทางใบร่วมกับบการเลือกวิธีฤดูทางดินต่อปริมาณการสะสมแคลเซียมของผักสลัดคอส เมื่ออายุ 43 วัน

กรรมวิธี	น้ำหนักแห้ง (กรัม/ต้น)			ความเข้มข้นของแคลเซียม (%)			ปริมาณการสะสมของแคลเซียมในส่วนต่างๆ (กรัม)			ปริมาณการดูดใช้แคลเซียม (กรัม/ต้น)
	ใบ	ลำต้น	ราก	ใบ	ลำต้น	ราก	ใบ	ลำต้น	ราก	
1. OM 1.4%	2.40 c	0.44 c	0.59 bc	1.04 a	0.35	0.51	0.0250 d	0.0015 c	0.0030	0.0295 c
2. OM 2.0%	4.52 b	0.66 bc	0.68 abc	0.99 abc	0.42	0.63	0.0447 c	0.0028 bc	0.0043	0.0518 b
3. OM 2.5%	6.42 a	0.94 ab	0.91 ab	1.0 abc	0.38	0.79	0.0642 ab	0.0036 ab	0.0072	0.0750 ab
4. OM 3.0%	6.15 ab	0.76 b	0.68 abc	1.03 ab	0.37	0.65	0.0633 ab	0.0028 c	0.0044	0.0706 ab
5. OM 1.4%+BGA	1.73 c	0.46 c	0.42 c	1.05 a	0.38	0.55	0.0182 d	0.0017 c	0.0023	0.0222 c
6. OM 2.0%+ BGA	5.90 ab	0.93 ab	0.95 ab	0.93 c	0.42	0.6	0.0549 bc	0.0039 ab	0.0057	0.0645 ab
7. OM 2.5%+ BGA	7.60 a	1.12 a	0.95 ab	0.96 bc	0.4	0.54	0.0730 a	0.0045 a	0.0051	0.0826 a
8. OM 3.0%+ BGA	7.61 a	1.09 a	1.03 a	1.0 abc	0.38	0.66	0.0761 a	0.0041 ab	0.0068	0.0870 a
เฉลี่ย	5.29	0.80	0.78	1.0	0.39	0.62	0.0529	0.0031	0.0048	0.0609
CV. (%)	22.8	27.4	32.6	4.9	9.8	26.7	23	18.5	57.7	19.7

ตัวเลขที่ตามด้วยตัวอักษรเหมือนกัน ไม่แตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซนต์ โดยวิธี DMRT

ตารางที่ 9 ผลของการใช้สารสกัด BGA ผิดพันทางไปร่วมกับกับการเลือกพันธุ์ทางดินต่อปริมาณการสะสมแมงกานีสในส่วนของผักสลัดคอส เมื่ออายุ 43 วัน									
กรรมวิธี	น้ำหนักแห้ง (กรัม/ต้น)			ความเข้มข้นของแมงกานีสในดิน (%)			ปริมาณการสะสมของแมงกานีสในส่วนต่างๆ (กรัม)		
	ใบ	ลำต้น	ราก	ใบ	ลำต้น	ราก	ใบ	ลำต้น	ราก
1. OM 1.4%	2.40 c	0.44 c	0.59 bc	0.30 c	0.15 b	0.14	0.0072 d	0.0007 c	0.0008
2. OM 2.0%	4.52 b	0.66 bc	0.68 abc	0.29 cd	0.22 a	0.14	0.0131 c	0.0015 b	0.0010
3. OM 2.5%	6.42 a	0.94 ab	0.91 ab	0.31 bc	0.19 a	0.17	0.0199 ab	0.0018 ab	0.0015
4. OM 3.0%	6.15 ab	0.76 b	0.68 abc	0.35 a	0.21 a	0.16	0.0215 ab	0.0016 ab	0.0011
5. OM 1.4%+BGA	1.73 c	0.46 c	0.42 c	0.26 d	0.15 b	0.15	0.0045 d	0.0007 c	0.0006
6. OM 2.0%+ BGA	5.90 ab	0.93 ab	0.95 ab	0.28 cd	0.20 a	0.15	0.0165 bc	0.0019 ab	0.0014
7. OM 2.5%+ BGA	7.60 a	1.12 a	0.95 ab	0.33 ab	0.20 a	0.16	0.0251 a	0.0022 a	0.0015
8. OM 3.0%+ BGA	7.61 a	1.09 a	1.03 a	0.33 ab	0.21 a	0.17	0.0251 a	0.0023 a	0.0018
เฉลี่ย	5.29	0.80	0.78	0.31	0.19	0.15	0.0164	0.0015	0.0012
CV. (%)	22.8	27.4	32.6	7	9.4	13.6	24.6	19.6	33

ตัวเลขที่ตามด้วยตัวอักษรเหมือนกัน ไม่แตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซนต์ โดยวิธี DMRT

2. ทดสอบประสิทธิภาพของการใช้สารสกัด BGA ต่อการส่งเสริมการเจริญเติบโตแก่ผักกวางตุ้งอินทรีย์ในแปลงทดลอง

2.1 สมบัติดินก่อนการทดลอง

ดินที่ใช้ในการทดลองเนื้อดินเป็นดินร่วน (Loam) มีความเป็นด่างเล็กน้อยมีค่า pH 7.74 ปริมาณอินทรีย์วัตถุอยู่ในระดับปานกลาง 2.0 เปอร์เซ็นต์ ค่าการนำไฟฟ้า 0.287 เดซิซีเมนส์ต่อเมตร ส่วนปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์และโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้อยู่ในระดับสูงมาก แคลเซียมที่แลกเปลี่ยนได้อยู่ในระดับปานกลาง และ แมกนีเซียมที่แลกเปลี่ยนได้อยู่ในระดับสูง (ตารางที่ 10)

ตารางที่ 10 สมบัติดินก่อนทดลอง

Soil texture	pH (1:1)	EC (1:5) (dS/m)	OM (%)	Avail. P (mg/kg)	Exch. K (mg/kg)	Exch. Ca (mg/kg)	Exch. Mg (mg/kg)
Loam	7.74	0.287	2.0	119	264	1,935	437

2.2 สมบัติทางเคมีและปริมาณธาตุอาหารในวัสดุอินทรีย์

ผลการวิเคราะห์สมบัติของวัสดุอินทรีย์ที่ใช้ในการทดลอง พบว่า มูลไก่เกลบมีความชื้น 23 เปอร์เซ็นต์ มีค่าความเป็นกรด-ด่าง เท่ากับ 8.44 ค่าการนำไฟฟ้า 9.08 เดซิซีเมนส์ต่อเมตร มีปริมาณอินทรีย์วัตถุ (OM) 44 เปอร์เซ็นต์ สัดส่วน C:N เท่ากับ 13 ส่วนมูลวัวมีความชื้น 13 เปอร์เซ็นต์ มีค่าความเป็นกรด-ด่าง เท่ากับ 7.85 ค่าการนำไฟฟ้า 2.20 เดซิซีเมนส์ต่อเมตร มีปริมาณ OM 64 เปอร์เซ็นต์ สัดส่วน C/N เท่ากับ 26 และ แหนแดงแห้งมีความชื้น 6.67 เปอร์เซ็นต์ มีค่าความเป็นกรด-ด่าง เท่ากับ 6.11 ค่าการนำไฟฟ้า 7.45 เดซิซีเมนส์ต่อเมตร ปริมาณ OM 72 เปอร์เซ็นต์ และสัดส่วน C/N เท่ากับ 12 (ตารางที่ 11) ค่าสัดส่วน C/N ที่ต่ำกว่า 20 จะสามารถปลดปล่อยธาตุอาหารให้พืชได้ใช้ประโยชน์อย่างรวดเร็ว หากสัดส่วน C/N มากกว่า 20 วัสดุอินทรีย์จะสลายตัวช้ากว่า เกิดกระบวนการ immobilization จุลินทรีย์นำเอาไนโตรเจนในดินไปใช้ทำให้ไนโตรเจนที่เป็นประโยชน์ต่อพืชในดินลดลง จนอาจส่งผลให้พืชขาดไนโตรเจนได้ ซึ่งวัสดุอินทรีย์ที่นำมาใช้ในการทดลอง มีคุณสมบัติอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานของปุ๋ยอินทรีย์ (กรมวิชาการเกษตร, 2557)

ตารางที่ 11 สมบัติทางเคมีและปริมาณธาตุอาหารในวัสดุอินทรีย์ที่ใช้ในการทดลอง

วัสดุอินทรีย์	ความชื้น ^{1/} (%)	EC		OM (%)	OC (%)	C/N ratio	Total N (%)	Total P (%)	Total K (%)	Total Ca (%)	Total Mg (%)
		pH 1:5	(1:10) dS/m								
มูลไก่เกลบ	23	8.44	9.08	44	26	13	1.99	1.54	3.16	7.84	0.91
มูลวัว	13	7.85	2.20	64	37	26	1.44	0.47	1.1	1.43	0.51
แหนแดงแห้ง	6.67	6.11	7.45	72	42	12	3.49	0.39	3.16	2.68	0.31

หมายเหตุ : ^{1/} base on fresh weight

2.3 ผลการใช้สารสกัดสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินต่อการเจริญเติบโตและผลผลิตของผักกวางตุ้งอินทรีย์

การเจริญเติบโตของผักกวางตุ้ง พบว่า การใช้สารสกัด BGA ฉีดพ่นทางใบให้แก่ผักกวางตุ้งที่ปลูกในดินที่มี OM 3.0 เปอร์เซ็นต์ ทำให้น้ำหนักสดผักกวางตุ้งเพิ่มขึ้นสูงสุด เท่ากับ 282 กรัมต่อต้น แตกต่างจากการไม่ฉีดพ่นสารสกัด BGA ที่มีน้ำหนักสดต่ำกว่าเท่ากับ 214 กรัมต่อต้น ซึ่งน้ำหนักสดที่เพิ่มขึ้นเป็นผลจากจำนวนใบและความสูงต้นที่เพิ่มขึ้น ส่วนการใช้สารสกัด BGA ฉีดพ่นในดินที่มี OM 2.0 และ 2.5 เปอร์เซ็นต์ ไม่ช่วยเพิ่มการเจริญเติบโตให้แก่ผักกวางตุ้ง (ตารางที่ 12 และ ภาพที่ 2)

ด้านผลผลิตผักกวางตุ้ง พบว่า การใช้สารสกัด BGA ฉีดพ่นทางใบรวมกับการใส่อินทรีย์วัตถุทางดิน 3.0 เปอร์เซ็นต์ ให้ผลผลิตผักกวางตุ้งสูงสุดแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ จากการไม่ฉีดพ่นสารสกัด BGA โดยให้ผลผลิตสูงสุด 4.53 กิโลกรัมต่อตารางเมตร และให้ผลผลิตเพิ่มขึ้นจากการไม่ฉีดพ่นสารสกัด BGA ถึง 32.5 เปอร์เซ็นต์ คิดเป็นมูลค่าผลผลิตเพิ่มขึ้น 133 บาทต่อตารางเมตร (ตารางที่ 13) โดยผลผลิตที่เพิ่มขึ้นเป็นผลมาจากการเจริญเติบโตที่เพิ่มขึ้นดังกล่าวข้างต้น ซึ่งให้ผลสอดคล้องกับ ศีรลักษณ์และประไพ (2563) ที่พบว่า การใช้สารสกัด BGA ฉีดพ่นร่วมกับปุ๋ยทางใบและทางดินในผักกวางตุ้ง และผักคะน้า ทำให้ได้ผลผลิตเพิ่มขึ้นจากการไม่ฉีดพ่น 66 และ 82.5 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ

ตารางที่ 12 ผลของการใช้สารสกัด BGA ฉีดพ่นทางใบรวมกับการใส่อินทรีย์วัตถุทางดินต่อการเจริญเติบโตของผักกวางตุ้งอินทรีย์

กรรมวิธี	ความสูงต้น (ซม.)	จำนวนใบ (ใบ/ต้น)	น้ำหนักสด (กรัม/ต้น)	น้ำหนักแห้ง (กรัม/ต้น)
1. OM 2.0%	43.4 bc	11 c	139 c	7.73 b
2. OM 2.5%	49.1 ab	13 ab	253 ab	12.86 a
3. OM 3.0%	48.9 ab	12 bc	214 b	13.64 a
4. OM 2.0%+ BGA	41.7 bc	11 c	128 c	10.31 ab
5. OM 2.5%+ BGA	50 ab	13 ab	254 ab	13.77 a
6. OM 3.0%+ BGA	52.0 a	14 a	282 a	14.09 a
เฉลี่ย	47.5	12.3	212	12.07
CV. (%)	11.2	10.3	13.3	20.7

ตัวเลขที่ตามด้วยตัวอักษรเหมือนกัน ไม่แตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ โดยวิธี DMRT

ตารางที่ 13 ผลของการใช้สารสกัด BGA ฉีดพ่นทางใบรวมกับการใส่อินทรีย์วัตถุทางดินต่อปริมาณผลผลิตผลผลิตเพิ่ม และผลตอบแทนทางเศรษฐกิจของผักกวางตุ้งอินทรีย์

กรรมวิธี	ผลผลิต (กก./ตร.ม.)	ผลผลิตเพิ่ม ^{1/} (%)	มูลค่าผลผลิตเพิ่ม ^{2/} (บาท/ตร.ม.)	มูลค่าสารสกัด BGA ^{3/} (บาท/ตร.ม.)	กำไรเพิ่ม (บาท/ตร.ม.)	VCR
1. OM 2.0%	2.22 c	-	-	-	-	-
2. OM 2.5%	4.06 ab	-	-	-	-	-
3. OM 3.0%	3.42 b	-	-	-	-	-
4. OM 2.0%+ BGA	2.03 c	-8.56	-22.80	7.50	-15.80	-3.04
5. OM 2.5%+ BGA	4.08 ab	0.49	2.40	7.50	-5.10	0.32
6. OM 3.0%+ BGA	4.53 a	32.5	133	7.50	125.50	17.8
เฉลี่ย	3.39	-	-	-	-	-
CV. (%)	18.2	-	-	-	-	-

ตัวเลขที่ตามด้วยตัวอักษรเหมือนกัน ไม่แตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ โดยวิธี DMRT

หมายเหตุ : ^{1/} ผลผลิตเพิ่มจากการไม่ฉีดพ่นสารสกัด BGA เมื่อเปรียบเทียบกับการใส่อินทรีย์วัตถุที่ระดับเดียวกัน

^{2/} ผักกวางตุ้งอินทรีย์ ราคา กิโลกรัมละ 120 บาท

^{3/} สารสกัด BGA เข้มข้น ราคาลิตรละ 125 บาทและใช้สารสกัด BGA เข้มข้น อัตรา 60 มล./ตร.ม.



1. OM 2.0% 2. OM 2.5% 3. OM 3.0% 4. OM 2.0%+BGA 5. OM 2.5%+BGA 6. OM 3.0% +BGA

ภาพที่ 2 ผลการใช้สารสกัด BGA ต่อการเจริญเติบโตผักกวางตุ้งอินทรีย์ ที่อายุ 44 วัน

2.4 ผลตอบแทนทางเศรษฐกิจจากการใช้สารสกัด BGA ในการผลิตผักกวางตุ้งอินทรีย์

ผลตอบแทนทางเศรษฐกิจ หรือค่า Value Cost Ratio (VCR) ซึ่งเป็นอัตราส่วนระหว่างมูลค่าผลผลิตเพิ่มกับมูลค่าสารสกัด BGA ที่ใช้ โดยถ้าค่า VCR มากกว่า 2 แสดงว่ามีความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์จากการวิเคราะห์ผลตอบแทนทางเศรษฐกิจของผักกวางตุ้งอินทรีย์ พบว่า การใช้สารสกัด BGA ฉีดพ่นทางใบ ร่วมกับการใส่ OM ในดินที่ระดับ 3.0 เปอร์เซ็นต์ มีค่า VCR เท่ากับ 17.8 ซึ่งให้ผลตอบแทนทางเศรษฐกิจที่มีความคุ้มค่าต่อการลงทุน โดยทำให้มีกำไรเพิ่ม 125.50 บาทต่อตารางเมตร (ตารางที่ 13)

สรุปผลการทดลอง

1) การใช้สารสกัด BGA ฉีดพ่นทางใบร่วมกับการใส่ OM ในดิน (ແໜແດງແຫ່ງພສມປຸຍໝັກມູລໄກ່) ที่ระดับ 2.5 เปอร์เซ็นต์ ทำให้ผักสลัดคอสมะเจริญเติบโตสูงสุด มีน้ำหนักสด เท่ากับ 140 กรัมต่อต้น หรือทำให้เจริญเติบโตเพิ่มขึ้นจากการไม่ฉีดพ่นสารสกัด BGA 23.9 เปอร์เซ็นต์ นอกจากนี้ยังช่วยเพิ่มการดูดใช้ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส โพแทสเซียม แคลเซียม และแมกนีเซียม ในผักสลัดคอสมะให้เพิ่มขึ้นจากการไม่ฉีดพ่น โดยมีการดูดใช้สะสมเท่ากับ 0.4239 กรัมNต่อต้น 0.0474 กรัมPต่อต้น 0.5609 กรัมKต่อต้น 0.0826 กรัมCaต่อต้น และ 0.0288 กรัมMgต่อต้น ตามลำดับ

2) การใช้สารสกัด BGA ฉีดพ่นทางใบร่วมกับการใส่ OM ในดิน (ແໜແດງແຫ່ງພສມມູລໄກ່ແຄລບແລະມູລ ວົງ) ที่ระดับ 3.0 เปอร์เซ็นต์ ทำให้ผักกวางตุ้งอินทรีย์มีผลผลิตสูงสุด 4.53 กิโลกรัมต่อตารางเมตร ช่วยเพิ่มผลผลิตผักกวางตุ้งอินทรีย์ให้สูงขึ้นจากการไม่ฉีดพ่นสารสกัด BGA 32.5 เปอร์เซ็นต์ ให้ผลตอบแทนทางเศรษฐกิจที่มีความคุ้มค่าต่อการลงทุน (มีค่า VCR เท่ากับ 17.8) หรือทำให้มีกำไรเพิ่มขึ้นจากการใช้สารสกัด BGA 125.50 บาทต่อตารางเมตร

คำขอบคุณ

งานวิจัยนี้เป็นส่วนหนึ่งในโครงการวิจัยและพัฒนาเทคโนโลยีและนวัตกรรมการผลิตผลิตภัณฑ์ชีวภาพเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตพืชปลอดภัย ซึ่งได้รับการสนับสนุนงบประมาณจากกองทุนส่งเสริมวิทยาศาสตร์ วิจัยและนวัตกรรมทุนสนับสนุนงานมูลฐาน (fundamental fund) สำนักงานคณะกรรมการส่งเสริมวิทยาศาสตร์ วิจัยและนวัตกรรม (สกสว.) และได้รับการสนับสนุนด้านโครงสร้างพื้นฐาน ห้องปฏิบัติการ และครุภัณฑ์วิทยาศาสตร์ สำหรับใช้ในการปฏิบัติงานวิจัยจากกรมวิชาการเกษตร

การนำผลงานวิจัยไปใช้ประโยชน์

เกษตรกรสามารถนำสารสกัดสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินไปใช้เป็นสารส่งเสริมการเจริญเติบโตแก่พืชผักในระบบเกษตรอินทรีย์ จะช่วยเพิ่มผลผลิต ทำให้เกษตรกรมีกำไรเพิ่มขึ้นได้

เอกสารอ้างอิง

- กรมวิชาการเกษตร. 2553. *คำแนะนำการใช้ปุ๋ยกับพืชเศรษฐกิจ*. กรมวิชาการเกษตร. 122 หน้า
- กรมวิชาการเกษตร. 2557. ประกาศกรมวิชาการเกษตร เรื่อง กำหนดเกณฑ์ปุ๋ยอินทรีย์ พ.ศ. 2557.
- ประไพ ทองระอา, ศิริลักษณ์ แก้วสุรลิขิต, กานดา ฉัตรไชยศิริ, กัลปนาถ สุวิทวัส, พิมพ์นิภา เพ็ญช่าง, นิศารัตน์ ทวีบุตรและภาสกร ศาลพูลหัตติ. 2560. การใช้สารสกัดสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินร่วมกับปุ๋ยทางใบต่อการเจริญเติบโตของต้นกล้วยน้ำว้า 'ปากช่อง 50' จากการเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อ. *ว. พืชศาสตร์สงขลา นครินทร์*. 4(4): 16-21.
- ศิริลักษณ์ แก้วสุรลิขิต และประไพ ทองระอา. 2563. การใช้สารสกัดจากสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินและແພນແດງ เพื่อส่งเสริมประสิทธิภาพการผลิตพืช, น. 330-349. ใน ผลการปฏิบัติงาน ประจำปีงบประมาณ 2563 กองวิจัยพัฒนาปัจจัยการผลิตทางการเกษตร กรมวิชาการเกษตร, กรุงเทพฯ.
- โสฬส แซ่ลิ้ม. 2559. *ปุ๋ยอินทรีย์และการใช้ประโยชน์ในประเทศไทย*. สำนักเทคโนโลยีชีวภาพทางดิน กรมพัฒนาที่ดิน กระทรวงเกษตรและสหกรณ์. 199 หน้า
- Baqir, H.A., N. H. Zeboon and A.A. J. Al-behadili. 2019. The role and importance of amino acids within plants: A review. *Plant Archives* 19: 1402-1410.
- Leghari, S.J., N.A. Wahocho, G.M. Laghari, A.H. Laghari, G.M. Bhabhan, K.H. Talpur, T.A. Bhutto, S.A. Wahocho, and A.A. Lashari. 2016. Role of nitrogen for plant growth and development: A review. *Advances in Environmental Biology*. 10(9): 209-218.
- Moore, T.C. 1989. *Biochemistry and physiology of plant hormones*. Springer-Verlag. N.Y. 330 p.
- Sekhon, B.S. 2003. Chelates for Micronutrient Nutrition among Crops. *Resonance* 1: 44-53.
- Zulpa, G., M.C. Zaccaro, F. Boccazzi, J.L. Parada and M. Storni. 2003. Bioactivity of intra and extracellular substances from cyanobacteria and lactic acid bacteria on "wood blue stain" fungi *Biol. Control* 27:345-358.

ผลของการใช้ผลิตภัณฑ์ชีวภาพอัดเม็ดจากแหนแดงและสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงิน
ที่มีผลต่อการเจริญเติบโตของพืชผัก

Effect of Using Pelleted Bio-product from Azolla and Hapalosiphon
Extract on Plant in Experimental Field

ณัฐนันท์ ไกรเลิศรัตนชัย¹ แวตตา พลกุล¹ ศิริลักษณ์ แก้วสุริยลิขิต¹ ประไพ ทองระอา¹ ทิพวรรณ แก้วหนู¹
พัชรินทร์ นามวงษ์¹ นิคาร์ตัน ทวีนุต¹ ศุภกาญจน์ ล้วนมณี¹ เครือวัลย์ บุญเงิน²

Nattanan Krailertrattanachai¹ Waewta Polkul¹ Sirilak Kaewsuralikhit¹ Praphai Thongra-ar¹
Tipawan Kaewnoo¹ Patcharin Namwong¹ Nisarat Thaweenut¹ Suphakarn Luanmanee¹
Kruawan Boonngoen²

กลุ่มวิจัยปฐพีวิทยา

กองวิจัยพัฒนาปัจจัยการผลิตทางการเกษตร

ABSTRACT

Azolla and blue green algae are rich natural nutrients and bioactive substances sources that can promote growth and nutrient uptake of plants. This study investigated the effects of a pelleted bio-product from Azolla and Hapalosiphon extract (AzH) in combination with varying nitrogen fertilizer rates on crop performance (growth, yield, nutrient uptake, and soil properties) of Pak Choi (*Brassica chinensis*) in field experiment at Nakhon Pathom Province. A Randomized Complete Block experimental design was implemented with eight treatments and four replicates: control, nitrogen fertilizer at 1, 1.5, and 2 times of the recommended dose of fertilizer (RDF) based on soil analysis (N1, N1.5, and N2 RDF), AzH application at 2 kg/m² (AzH), and AzH combined with nitrogen fertilizer at 1, 1.5, and 2 times of RDF (AzH+N1, AzH+N1.5, and AzH+N2 RDF). It was found that the application of AzH+N1 RDF resulted in a fresh weight of 250.3 g per plant (4.01 kg/m²), which is an increase in fresh weight by 43.5% compared to the control which is equivalent to the yields obtained from N1.5 and 2 RDF. The applications of AzH+N1, AzH+N1.5, and AzH+N2 RDF resulted in higher or comparable concentrations of nitrogen, potassium, calcium, and magnesium in the above-ground parts of Pak Choi compared to N1, 1.5, and 2 RDF. Additionally, the application of AzH could reduce soil pH after planting, increased levels of organic matter (from 1.74% to 2.34-2.59%) and exchangeable potassium. (from 125 to 213-253 mg/kg)

Keywords: Biological Product; Azolla; Blue-Green Algae

¹ กองวิจัยพัฒนาปัจจัยการผลิตทางการเกษตร กรมวิชาการเกษตร กรุงเทพฯ 10900

¹ Agricultural Production Sciences Research and Development Division, Department of Agriculture, Bangkok, 10900

² สำนักวิจัยและพัฒนาการเกษตรเขตที่ 5 จังหวัดชัยนาท 17150

² Office of Agricultural Research and Development Region 5, Chai Nat, 17150

บทคัดย่อ

ແຫນແດງແລະສາหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินสามารถใช้เป็นแหล่งธาตุอาหารต่าง ๆ ที่เป็นประโยชน์ นอกจากนี้ยังมีสารที่ช่วยส่งเสริมการเจริญเติบโตแก่พืชได้ งานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อทดสอบผลการใช้ผลิตภัณฑ์ชีวภาพอัดเม็ดจากແຫນແດງແລະສາหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงิน *Hapalosiphon* (AzH) ร่วมกับปุ๋ยเคมีไนโตรเจนอัตราต่าง ๆ ต่อการเจริญเติบโตและผลผลิตของผักกวางตุ้ง (*Brassica chinensis*) ในแปลงทดลองจังหวัดนครปฐม วางแผนการทดลองแบบ Randomized Complete Block จำนวน 8 กรรมวิธี 4 ซ้ำ ได้แก่ กรรมวิธีควบคุม (control) การใส่ปุ๋ยเคมีไนโตรเจน 1 1.5 และ 2 เท่าของอัตราแนะนำตามค่าวิเคราะห์ดิน (N1, N1.5 และ N2 RDF) การใส่ AzH อัตรา 2 กิโลกรัมต่อตารางเมตร (AzH) และการใส่ AzH อัตรา 2 กิโลกรัมต่อตารางเมตรร่วมกับใส่ปุ๋ยเคมีไนโตรเจน 1 1.5 และ 2 เท่าของอัตราแนะนำตามค่าวิเคราะห์ดิน (AzH+N1, AzH+N1.5 และ AzH+N2 RDF) พบว่า การใส่ AzH+N 1 RDF ทำให้ผักกวางตุ้งมีน้ำหนักสด 250.3 กรัมต่อต้น (4.01 กิโลกรัมต่อตารางเมตร) คิดเป็นมีน้ำหนักสดเพิ่มขึ้นจาก control 43.5 เปอร์เซ็นต์ เทียบเท่ากับ N1.5 และ N2 RDF การใส่ AzH+N1 AzH+N1.5 และ AzH+N2 RDF ทำให้ผักกวางตุ้งมีปริมาณความเข้มข้นของไนโตรเจน โพแทสเซียม แคลเซียม และแมกนีเซียมทั้งหมดในส่วนเหนือดินสูงมากกว่าหรือเทียบเท่ากับกรรมวิธี N1 N1.5 และ N2 RDF นอกจากนี้ การใส่ AzH ยังช่วยทำให้ดินหลังปลูกมีค่าความเป็นกรด-ด่างลดลง นอกจากนี้ยังทำให้ดินมีปริมาณอินทรีย์วัตถุเพิ่มขึ้นจาก 1.74 เป็น 2.34-2.59 เปอร์เซ็นต์ และปริมาณโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้เพิ่มขึ้นจาก 125 เป็น 213-253 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม

คำสำคัญ: ผลิตภัณฑ์ชีวภาพ; แຫນແດງ; สาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงิน

บทนำ

ແຫນແດງถูกใช้เป็นปุ๋ยพืชสดเพื่อเป็นแหล่งธาตุไนโตรเจนสำหรับพืชมาอย่างยาวนาน โดยมีปริมาณธาตุอาหารที่สำคัญหลายชนิด เช่น ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียม ซึ่งเป็นธาตุอาหารที่จำเป็นสำหรับการเจริญเติบโตของพืช โดยมีองค์ประกอบของธาตุไนโตรเจนและโพแทสเซียมสูงถึง 4.5% และ 5.0% และมีอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนแคบ (C/N ratio <20) (ศิริลักษณ์ และคณะ, 2561) นอกจากนี้ແຫນແດງช่วยปรับปรุงคุณสมบัติทางกายภาพและเคมีของดินอย่างมีนัยสำคัญ รวมถึงการปรับปรุงกิจกรรมของจุลินทรีย์ในดิน ช่วยในการเติมอินทรีย์วัตถุและปล่อยธาตุอาหารพืช (Subedi and Shrestha, 2015) แຫນແດງสามารถเลี้ยงขยายพันธุ์ได้อย่างรวดเร็วถึง 40 เท่า ภายใน 2 สัปดาห์ (Jumadi *et al.*, 2014) ทำให้เกษตรกรสามารถผลิตเพื่อนำมาใช้เป็นปุ๋ยไนโตรเจนได้ด้วยตัวเอง ปัจจุบันແຫນແດງมีการพัฒนาวิธีการใช้ตั้งแต่การใช้แบบสดจนไปถึงการใช้แบบแห้ง แต่ปัญหาคือการใช้ແຫນແດງสดทำให้ดินแฉะเนื่องจากมีน้ำเป็นองค์ประกอบสูง ส่วนແຫນແດງแห้งมีความฟูและเบาทำให้ใช้ได้ไม่สะดวก หนึ่งในทางเลือกที่น่าสนใจคือการใส่ແຫນແດງนำมาอัดเม็ดร่วมกับสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินซึ่งมีคุณสมบัติในการตรึงไนโตรเจนจากอากาศ สาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินมีกรดอะมิโนและสารคล้ายฮอร์โมนพืช เช่น ออกซิน จิบเบอเรลลิน และไซโตไคนิน ที่ช่วยส่งเสริมการเจริญเติบโตของพืชเพิ่มการดูดใช้ธาตุอาหารพืช โดยมีการนำมาใช้ในรูปสารเสริมประสิทธิภาพพืชอย่างแพร่หลาย (Ronga *et al.*, 2019) ทั้งແຫນແດງและสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินสามารถใช้เป็นแหล่งชีวมวลที่สำคัญซึ่งสามารถผลิตใช้ได้โดยไม่มีวันหมด ดังนั้นการพัฒนาผลิตภัณฑ์ชีวภาพแบบอัดเม็ดทำให้นำไปใช้ประโยชน์สะดวกมากยิ่งขึ้น เพื่อให้ได้อัตราที่มีประสิทธิภาพแก่การผลิตพืชผักรับประทานใบ งานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อทดสอบผลการใช้ผลิตภัณฑ์ชีวภาพอัดเม็ดจากແຫນແດງร่วมกับสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินอัตราต่าง ๆ ต่อการเจริญเติบโตและผลผลิตของผักกวางตุ้งในแปลงทดลอง

อุปกรณ์และวิธีการ

สุ่มเก็บตัวอย่างดินมาวิเคราะห์สมบัติทางเคมีและปริมาณธาตุอาหารพืช ได้แก่ ค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH, อัตราส่วนดินต่อน้ำ 1:1) ปริมาณอินทรีย์วัตถุ (OM) ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ (Avail. P) โพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ (Exch. K) แคลเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ (Exch. Ca) และแมกนีเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ (Exch. Mg) เพื่อทราบความอุดมสมบูรณ์ของดินเพื่อประเมินปริมาณอัตราการใช้ปุ๋ยไนโตรเจน และวิเคราะห์สมบัติทางเคมีของผลิตภัณฑ์ชีวภาพอัดเม็ดจากเห็ดแดงและสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงิน (AzH) ดำเนินการทดลองที่แปลงของเกษตรกรผู้ปลูกผักตำบลดอนรวก อำเภอดอนตูม จังหวัดนครปฐม พิกัดแปลง 13°52'43.3"N 100°07'57.4"E

วางแผนการทดลองแบบ Randomized Complete Block จำนวน 8 กรรมวิธี 4 ซ้ำ ได้แก่

กรรมวิธีที่ 1 กรรมวิธีควบคุม (ไม่ใส่ปุ๋ย ไม่ใส่ผลิตภัณฑ์ชีวภาพอัดเม็ด)

กรรมวิธีที่ 2 ใส่ปุ๋ยเคมีไนโตรเจน 1 เท่าของอัตราแนะนำ (N 1 RDF)

กรรมวิธีที่ 3 ใส่ปุ๋ยเคมีไนโตรเจน 1.5 เท่าของอัตราแนะนำ (N 1.5 RDF)

กรรมวิธีที่ 4 ใส่ปุ๋ยเคมีไนโตรเจน 2 เท่าของอัตราแนะนำ (N 2 RDF)

กรรมวิธีที่ 5 ใส่ผลิตภัณฑ์ชีวภาพอัดเม็ดอัตรา 2 กิโลกรัมต่อตารางเมตร (AzH)

กรรมวิธีที่ 6 ใส่ผลิตภัณฑ์ชีวภาพอัดเม็ดอัตรา 2 กิโลกรัมต่อตารางเมตร ร่วมกับใส่ปุ๋ยเคมีไนโตรเจน 1 เท่าของอัตราแนะนำ (AzH + N 1 RDF)

กรรมวิธีที่ 7 ใส่ผลิตภัณฑ์ชีวภาพอัดเม็ดอัตรา 2 กิโลกรัมต่อตารางเมตร ร่วมกับใส่ปุ๋ยเคมีไนโตรเจน 1.5 เท่าของอัตราแนะนำ (AzH + N 1.5 RDF)

กรรมวิธีที่ 8 ใส่ผลิตภัณฑ์ชีวภาพอัดเม็ดอัตรา 2 กิโลกรัมต่อตารางเมตร ร่วมกับใส่ปุ๋ยเคมีไนโตรเจน 2 เท่าของอัตราแนะนำ (AzH + N 2 RDF)

เพาะเมล็ดผักกวางตุ้งพันธุ์ศกัญธุ์ 37 ในถาดเพาะชำ ขนาด 104 หลุม โดยใช้พีทมอสเป็นวัสดุเพาะ เมื่อกล้าผักกวางตุ้งอายุ 14 วันย้ายกล้างลงแปลงปลูกขนาด 1.5x2 เมตร ระยะปลูก 25x25 เซนติเมตร พื้นที่เก็บเกี่ยว 1x1.5 เมตร เก็บเกี่ยวผักกวางตุ้งที่อายุ 43 วันหลังปลูก ระหว่างเดือนพฤศจิกายน-ธันวาคม 2566 บันทึกข้อมูลการเจริญเติบโต ได้แก่ ความสูง จำนวนใบ น้ำหนักสด น้ำหนักแห้ง และสมบัติทางเคมีของดินหลังปลูก ได้แก่ ค่าความเป็นกรด-ด่าง ปริมาณอินทรีย์วัตถุ ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ โพแทสเซียม แคลเซียม และแมกนีเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ วิเคราะห์ความเข้มข้นของธาตุอาหารในผักกวางตุ้ง (เฉพาะส่วนเหนือดิน) และคำนวณปริมาณการดูดใช้ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส โพแทสเซียม แคลเซียมและแมกนีเซียม เปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยแต่ละวิธีโดยวิธี Duncan's Multiple Range Test (DMRT) ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

ระยะเวลา เริ่มต้น ตุลาคม 2566 สิ้นสุด กันยายน 2567

สถานที่ทำการทดลอง

1. กลุ่มวิจัยปฐพีวิทยา กองวิจัยพัฒนาปัจจัยการผลิตทางการเกษตร
2. แปลงเกษตรกรผู้ปลูกผักตำบลดอนรวก อำเภอดอนตูม จังหวัดนครปฐม

ผลการทดลองและวิจารณ์

1. สมบัติของดินก่อนการทดลอง

ดินแปลงทดลองมีเนื้อดินเป็นดินร่วน มีค่าความเป็นกรด-ด่างเป็นด่างปานกลาง (8.1) ปริมาณอินทรีย์วัตถุระดับต่ำ (1.74 เปอร์เซ็นต์) ปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์และปริมาณโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ (129 และ 125 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ตามลำดับ) อยู่ในระดับสูงมากจากการที่เกษตรกรใช้ปุ๋ยมูลไก่ในแปลง ปริมาณแคลเซียมและแมกนีเซียมที่แลกเปลี่ยนได้สูง (2,974 และ 472 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ตามลำดับ) กรมวิชาการเกษตร (2548) แนะนำให้ใส่ปุ๋ยไนโตรเจนอัตรา 15 กิโลกรัมไนโตรเจนต่อไร่ สำหรับพืชผัก เมื่อดินมีปริมาณอินทรีย์วัตถุ 1.5 เปอร์เซ็นต์ ส่วนปริมาณฟอสฟอรัสและโพแทสเซียมในดินมีในระดับสูงมากจึงไม่ใส่ปุ๋ยฟอสเฟตและโพแทชเพิ่ม

2. สมบัติทางเคมีของผลิตภัณฑ์ชีวภาพอัดเม็ดจากเห็ดแดงและสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงิน (AzH)

วิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของผลิตภัณฑ์ชีวภาพอัดเม็ดจากเห็ดแดงและสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินตามวิธีของ กลุ่มวิจัยเกษตรเคมี (2551) พบว่า มีค่าความเป็นกรด-ด่าง เท่ากับ 6.75 มีค่าการนำไฟฟ้า (EC) เท่ากับ 6.50 เดซิซีเมนส์ต่อเมตร ปริมาณอินทรีย์วัตถุ (OM) 65.88 เปอร์เซ็นต์ ปริมาณคาร์บอนอินทรีย์ (OC) 38.2 เปอร์เซ็นต์ สัดส่วนของคาร์บอนต่อไนโตรเจน (C/N ratio) เท่ากับ 14.69 ปริมาณไนโตรเจน (Total N) ฟอสฟอรัส (Total P) โพแทสเซียม (Total K) แคลเซียม (Total Ca) และแมกนีเซียมทั้งหมด (Total Mg) เท่ากับ 2.60 0.66 2.32 1.34 และ 0.32 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ซึ่งผ่านเกณฑ์มาตรฐานปุ๋ยอินทรีย์คุณภาพตามประกาศกรมวิชาการเกษตร เรื่อง กำหนดเกณฑ์ปุ๋ยอินทรีย์ พ.ศ. 2557 (2557)

3. ผลของการใช้ผลิตภัณฑ์ชีวภาพอัดเม็ดจากเห็ดแดงและสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินต่อการเจริญเติบโตและผลผลิตของผักกวางตุ้ง

การใส่ผลิตภัณฑ์ชีวภาพอัดเม็ดจากเห็ดแดงและสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินในอัตรา 2 กิโลกรัมต่อตารางเมตร ร่วมกับใส่ปุ๋ยเคมีไนโตรเจน 1 เท่าของอัตราแนะนำทำให้ผักกวางตุ้งมีการเจริญเติบโตด้านความสูง 54.53 เซนติเมตร และมีน้ำหนักสด 250.3 กรัมต่อต้น (4.01 กิโลกรัมต่อตารางเมตร) ซึ่งไม่แตกต่างกันทางสถิติกับการใส่ปุ๋ยเคมีไนโตรเจน 1.5 และ 2 เท่าของอัตราแนะนำที่มีความสูง 55.96 และ 53.73 เซนติเมตร และมีน้ำหนักสด 284.6 และ 257.4 กรัมต่อต้น (4.55 และ 4.12 กิโลกรัมต่อตารางเมตร) ตามลำดับ และมีน้ำหนักสดเพิ่มขึ้นจากกรรมวิธีควบคุม 43.5 เปอร์เซ็นต์ (ตารางที่ 1-2, ภาพที่ 1)

เมื่อเปรียบเทียบน้ำหนักสดของผักกวางตุ้งที่เพิ่มขึ้นจากกรรมวิธีที่ใส่ปุ๋ยเคมีไนโตรเจน 1 เท่าของอัตราแนะนำ พบว่ากรรมวิธีที่ใส่ปุ๋ยเคมีไนโตรเจน 1.5 และ 2 เท่าของอัตราแนะนำ และการใส่ผลิตภัณฑ์ชีวภาพอัดเม็ดจากเห็ดแดงและสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินในอัตรา 2 กิโลกรัมต่อตารางเมตร ร่วมกับใส่ปุ๋ยเคมีไนโตรเจน 1 เท่าของอัตราแนะนำสามารถเพิ่มน้ำหนักสดผักกวางตุ้งได้ 23.3 11.5 และ 8.4 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ (ตารางที่ 2)

การใส่ผลิตภัณฑ์ชีวภาพอัดเม็ดจากเห็ดแดงและสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินในอัตรา 2 กิโลกรัมต่อตารางเมตร ร่วมกับใส่ปุ๋ยเคมีไนโตรเจน 1 เท่าของอัตราแนะนำทำให้ปริมาณผลผลิตของผักกวางตุ้งสูงเทียบเท่ากับการใส่ปุ๋ยเคมีไนโตรเจน 1.5 และ 2 เท่าของอัตราแนะนำ แสดงให้เห็นว่าผลิตภัณฑ์ชีวภาพอัดเม็ดจากเห็ดแดงและสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินสามารถใช้เป็นแหล่งธาตุไนโตรเจนและสามารถใช้ทดแทนปุ๋ยเคมีไนโตรเจนได้บางส่วนสำหรับพืชผักอายุสั้น เนื่องจากเห็ดแดงแห้งปลดปล่อยไนโตรเจนที่เป็นประโยชน์สุทธิเพิ่มขึ้นทีละน้อยในช่วงระยะเวลา 1-42 วัน หลังจากนั้นปริมาณของไนโตรเจนที่เป็นประโยชน์สุทธิคงที่จนถึงระยะเวลา 126 วัน

(ศิริลักษณ์ และคณะ, 2563) ดังนั้นสำหรับพืชผักอายุสั้นประมาณ 45 วัน จึงต้องใส่ปุ๋ยเคมีไนโตรเจนตามอัตราแนะนำร่วมด้วยเพื่อให้เพียงพอต่อการเจริญเติบโตของพืชผัก และผลิตภัณฑ์ชีวภาพอัดเม็ดฯ อาจสามารถใช้เป็นแหล่งธาตุไนโตรเจนได้ต่อไปได้อีกหลายรอบการปลูก

ตารางที่ 1 ผลของการใช้ผลิตภัณฑ์ชีวภาพอัดเม็ดจากเห็ดแดงและสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงิน (AzH) ร่วมกับการใส่ปุ๋ยเคมีไนโตรเจนที่ระดับต่าง ๆ ต่อการเจริญเติบโตของผักกวางตุ้ง

Treatment	Height (cm)	Number of leaves/plant	Total Fresh Weight (g/plant)	Total Dry Weight (g/plant)
1. Control	47.98 c	11.5	174.2 c	12.73 bc
2. N 1 RDF	51.76 b	11.2	230.9 b	14.80 bc
3. N 1.5 RDF	55.96 a	12.3	284.6 a	20.51 a
4. N 2 RDF	53.73 ab	12.0	257.4 ab	14.99 bc
5. AzH	44.83 c	11.4	149.4 c	12.28 c
6. AzH +N 1 RDF	54.53 ab	11.1	250.3 ab	17.58 ab
7. AzH +N 1.5 RDF	53.37 ab	11.2	225.0 b	13.63 bc
8. AzH +N 2 RDF	51.98 b	11.6	226.7 b	14.15 bc
Mean	51.77	11.5	224.8	15.09
CV (%)	7.33	17.4	6.33	22.79

ค่าเฉลี่ยในสัณฐานเดียวกันที่ตามด้วยตัวอักษรเหมือนกัน ไม่แตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซนต์ โดยวิธี DMRT

ตารางที่ 2 การเปรียบเทียบน้ำหนักสดของผักกวางตุ้งในกรรมวิธีที่ใช้ผลิตภัณฑ์ชีวภาพอัดเม็ดจากเห็ดแดงและสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงิน (AzH) ร่วมกับการใส่ปุ๋ยเคมีไนโตรเจนที่ระดับต่าง ๆ

Treatment	Total Fresh Weight (kg/m ²)	TFW Increase as compared to Control (%)	TFW Increase as compared to N 1 RDF (%)
1. Control	2.79	-	-
2. N 1 RDF	3.69	32.4	-
3. N 1.5 RDF	4.55	63.2	23.3
4. N 2 RDF	4.12	47.6	11.5
5. AzH	2.39	-14.3	-35.3
6. AzH +N 1 RDF	4.01	43.5	8.4
7. AzH +N 1.5 RDF	3.60	29.0	-2.5
8. AzH +N 2 RDF	3.63	29.9	-1.9



ภาพที่ 1 ผลการใช้ผลิตภัณฑ์ชีวภาพอัดเม็ดจากเห็ดแดงและสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงิน (AzH) ร่วมกับการใส่ปุ๋ยเคมีไนโตรเจนที่ระดับต่าง ๆ ต่อการเจริญเติบโตผักกวางตุ้งที่อายุ 43 วันหลังปลูก

4. ผลของการใช้ผลิตภัณฑ์ชีวภาพอัดเม็ดจากเห็ดแดงและสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินต่อความเข้มข้นและปริมาณการดูดใช้ธาตุอาหารของผักกวางตุ้ง

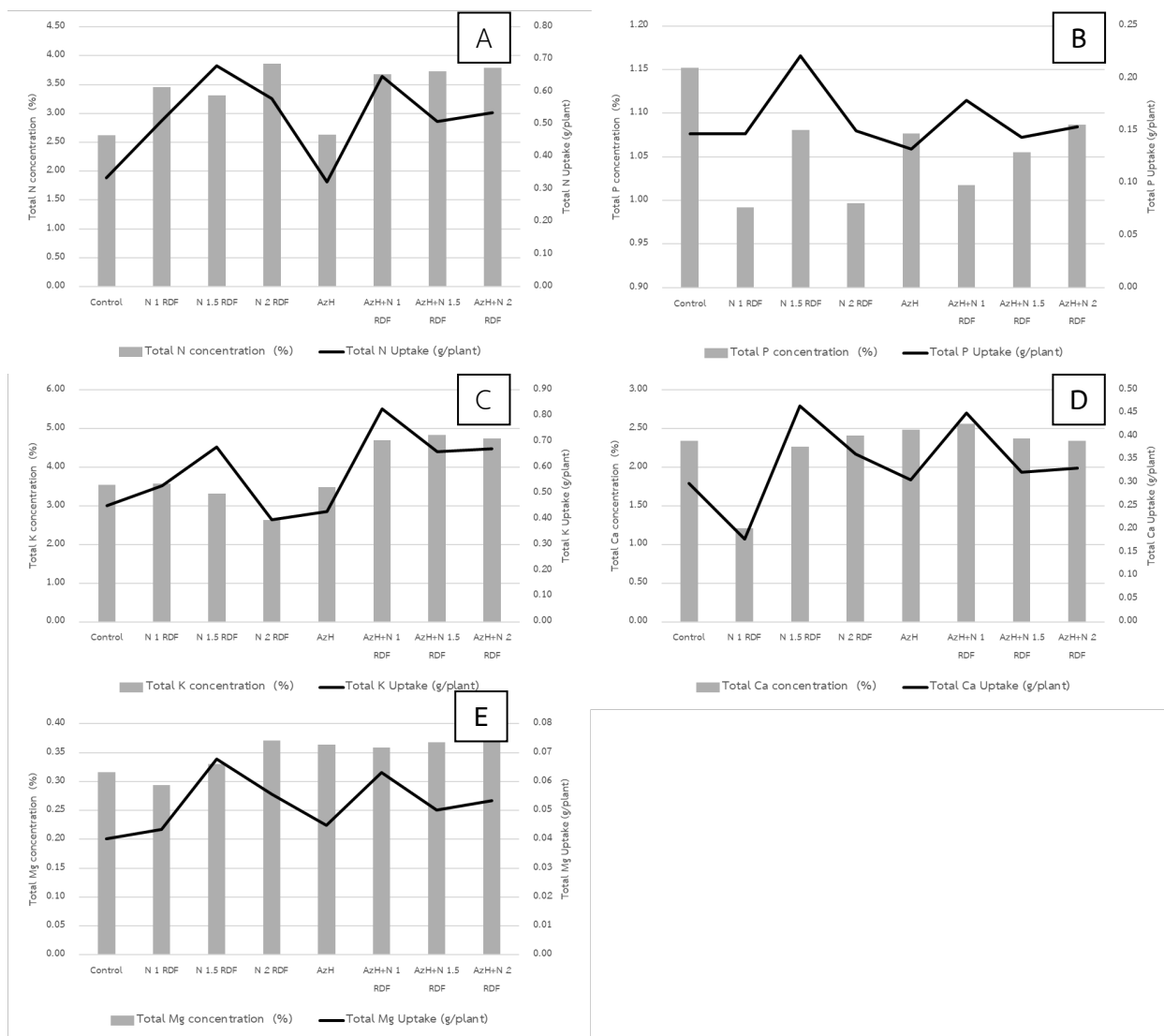
การใส่ผลิตภัณฑ์ชีวภาพอัดเม็ดจากเห็ดแดงและสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินในอัตรา 2 กิโลกรัมต่อตารางเมตรร่วมกับใส่ปุ๋ยเคมีไนโตรเจนทุกอัตรา ทำให้ผักกวางตุ้งมีปริมาณความเข้มข้นของไนโตรเจน โพแทสเซียม แคลเซียม และแมกนีเซียมทั้งหมดในส่วนเหนือดิน สูงมากกว่าหรือเทียบเท่ากับกรรมวิธีที่ใช้ปุ๋ยเคมีไนโตรเจนที่ระดับเดียวกัน โดยเฉพาะปริมาณความเข้มข้นของโพแทสเซียมในส่วนเหนือดินสูงมากกว่าอย่างมีนัยสำคัญ (ตารางที่ 3, ภาพที่ 2)

การใส่ผลิตภัณฑ์ชีวภาพอัดเม็ดจากเห็ดแดงและสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินร่วมกับใส่ปุ๋ยเคมีไนโตรเจน 1 เท่าของอัตราแนะนำทำให้ผักกวางตุ้งมีการดูดใช้ในไนโตรเจน ฟอสฟอรัส โพแทสเซียม แคลเซียม และแมกนีเซียมไม่แตกต่างจากการใส่ปุ๋ยเคมีไนโตรเจน 1 เท่าของอัตราแนะนำ แต่การใส่ผลิตภัณฑ์ชีวภาพอัดเม็ดจากเห็ดแดงและสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินส่งเสริมให้ผักกวางตุ้งดูดใช้ธาตุโพแทสเซียมเพิ่มขึ้นอย่างชัดเจน เนื่องจากเห็ดแดงสามารถสะสมโพแทสเซียมจากสารละลายดินได้ดี ทำให้มีปริมาณโพแทสเซียมทั้งหมด 5.08% เมื่อเกิดการย่อยสลายจึงสามารถปลดปล่อยธาตุอาหารออกมาได้สูง (ศิริลักษณ์ และคณะ, 2563) และสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินผลิตสารกลุ่มฮอร์โมนพืช เช่น ออกซิน (auxins), ไซโตไคนิน (cytokinins), และจิบเบอเรลลิน (gibberellins) รวมถึงสารประกอบชีวภาพอื่น ๆ เช่น กรดอะมิโน วิตามิน คาร์โบไฮเดรต และโพลีแซคคาไรด์ ซึ่งช่วยกระตุ้นการเจริญเติบโตของรากพืช ทำให้พืชสามารถดูดซึมธาตุอาหารได้ดีขึ้น (Santini *et al.*, 2021)

ตารางที่ 3 ผลของการใช้ผลิตภัณฑ์ชีวภาพอัดเม็ดจากเหตนแดงและสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงิน (AzH) ร่วมกับการใส่ปุ๋ยเคมีในโตรเจนที่ต่าง ๆ ต่อน้ำหนักแห้งและปริมาณการดูดใช้ธาตุอาหารของผักกวางตุ้ง

Treatment	Total Dry Weight		Total concentration (%)						Total Uptake (g/plant)					
	(g/plant)	N	P	K	Ca	Mg	N	P	K	Ca	Mg			
1. Control	12.74 bc	2.62 c	1.15	3.54 b	2.34 ab	0.32 bc	0.33 bc	0.15 b	0.45 cd	0.30 cd	0.040 c			
2. N 1 RDF	14.80 bc	3.45 ab	0.99	3.57 b	1.21 c	0.29 c	0.68 a	0.22 a	0.68 ab	0.47 a	0.068 a			
3. N 1.5 RDF	20.52 a	3.31 b	1.08	3.31 bc	2.26 b	0.33 abc	0.58 a	0.15 b	0.40 d	0.36 abc	0.056 abc			
4. N 2 RDF	14.99 bc	3.87 a	1.00	2.64 c	2.41 ab	0.37 a	0.32 c	0.13 b	0.43 d	0.31 c	0.045 bc			
5. AzH	12.29 c	2.63 c	1.08	3.48 b	2.48 ab	0.36 ab	0.51 abc	0.15 b	0.53 bcd	0.18 d	0.044 c			
6. AzH +N 1 RDF	17.59 ab	3.68 ab	1.02	4.70 a	2.56 a	0.36 ab	0.65 a	0.18 ab	0.83 a	0.45 ab	0.063 ab			
7. AzH +N 1.5 RDF	13.63 bc	3.73 ab	1.06	4.83 a	2.37 ab	0.37 a	0.51 abc	0.14 b	0.66 abc	0.32 c	0.050 abc			
8. AzH +N 2 RDF	14.15 bc	3.79 ab	1.09	4.74 a	2.34 ab	0.38 a	0.54 ab	0.15 b	0.67 ab	0.33 bc	0.053 abc			
Mean	15.09	3.39	1.06	3.85	2.25	0.35	0.52	0.16	0.58	0.34	0.052			
CV (%)	22.79	10.75	10.26	14.39	7.83	9.87	26.13	23.65	24.76	25.01	23.26			

ค่าเฉลี่ยในสดมภ์เดียวกันที่ตามด้วยตัวอักษรเหมือนกัน ไม่แตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซนต์ โดยวิธี DMRT



ภาพที่ 2 ผลการใช้ผลิตภัณฑ์ชีวภาพอัดเม็ดจากเห็ดแดงและสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงิน (AzH) ร่วมกับการใส่ปุ๋ยเคมีไนโตรเจนที่ระดับต่าง ๆ ต่อความเข้มข้นและปริมาณการดูดใช้ไนโตรเจน (A) ฟอสฟอรัส (B) โพแทสเซียม (C) แคลเซียม (D) และแมกนีเซียม (E) ของผักกวางตุ้ง

5. ผลของการใช้ผลิตภัณฑ์ชีวภาพอัดเม็ดจากเห็ดแดงและสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินต่อการเปลี่ยนแปลงสมบัติของดินหลังปลูก

การใส่ผลิตภัณฑ์ชีวภาพอัดเม็ดจากเห็ดแดงและสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินทำให้ดินหลังปลูกมีค่าความเป็นกรด-ด่างลดลงจากระดับต่างปานกลาง (8.1) เป็นด่างเล็กน้อย (7.44-7.94) เนื่องจากปุ๋ยอินทรีย์ช่วยปรับค่าความเป็นกรด-ด่างของดินให้อยู่ในระดับที่เหมาะสมแก่การเจริญเติบโตของพืช และช่วยเพิ่มความต้านทานการเปลี่ยนแปลงความเป็นกรดเป็นด่างของดิน (buffer capacity) (โสฬส, 2559) และช่วยเพิ่มระดับปริมาณอินทรีย์วัตถุ และโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ในดินให้สูงกว่าการใส่ปุ๋ยเคมีไนโตรเจนเพียงอย่างเดียว โดยมีปริมาณอินทรีย์วัตถุเพิ่มขึ้นจาก 1.74 เป็น 2.34-2.59 เปอร์เซ็นต์ และปริมาณโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้เพิ่มขึ้นจาก 125 เป็น 213-253 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ส่วนปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ แคลเซียมและแมกนีเซียมที่แลกเปลี่ยนได้มีปริมาณใกล้เคียงกันกับดินก่อนการทดลอง (ตารางที่ 4)

ตารางที่ 4 ผลของการใช้ผลิตภัณฑ์ชีวภาพอัดเม็ดจากเห็ดแดงและสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินร่วมกับการใส่ปุ๋ยไนโตรเจนที่ระดับต่าง ๆ ต่อการเปลี่ยนแปลงสมบัติของดินหลังทดลอง

Treatment	pH (1:1)	OM (%)	Avail.P (mg/kg)	Exch.K (mg/kg)	Exch.Ca (mg/kg)	Exch.Mg (mg/kg)
initial soil	8.10±0.10	1.74±0.16	129±14.7	125±4.3	2,974±202	472±14.8
1. Control	8.07±0.14	1.91±0.40	121±69.3	115±7.7	3,007±541	475±34.3
2. N 1 RDF	8.17±0.12	1.60±0.22	160±18.9	112±8.4	3,251±750	488±42.8
3. N 1.5 RDF	7.92±0.19	1.96±0.68	143±19.6	125±20.0	2,693±283	456±28.0
4. N 2 RDF	7.94±0.15	1.76±0.20	143 ±27.5	119±9.9	2,848±379	480±41.7
5. AzH	7.94±0.14	2.34±0.23	124±47.1	228±35.0	2,988±260	502±18.7
6. AzH +N 1 RDF	7.44±0.53	2.55±0.44	144±29.3	213±38.4	3,234±568	497±52.3
7. AzH +N 1.5 RDF	7.71±0.21	2.40±0.54	184±74.6	253±26.9	2,958±842	479±46.3
8. AzH +N 2 RDF	7.77±0.28	2.59±0.74	142±27.8	229±93.7	2,710±264	470±33.1

Mean ± SD (n=4)

6. ผลตอบแทนทางเศรษฐศาสตร์

เมื่อพิจารณาผลตอบแทนทางเศรษฐศาสตร์ โดยใช้อัตราส่วนระหว่างรายได้ที่เพิ่มขึ้นจากการใช้ปุ๋ยต่อรายจ่ายการใช้ปุ๋ย หรือค่า Value to Cost Ratio (VCR) พบว่า กรรมวิธีที่ใส่ปุ๋ยเคมีไนโตรเจนทั้ง 3 อัตรา และการใส่ผลิตภัณฑ์ชีวภาพอัดเม็ดจากเห็ดแดงและสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินร่วมกับใส่ปุ๋ยเคมีไนโตรเจน 1 เท่าของอัตราแนะนำ มีค่า VCR มากกว่า 2 แสดงให้เห็นว่าการปลูกผักกวางตุ้งจำเป็นต้องมีการใส่ปุ๋ยเคมีไนโตรเจนอย่างน้อย 1 เท่าของอัตราแนะนำร่วมด้วยจึงจะมีความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ การใส่ผลิตภัณฑ์ชีวภาพอัดเม็ดจากเห็ดแดงและสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินร่วมกับใส่ปุ๋ยเคมีไนโตรเจน 1 เท่าของอัตราแนะนำ ถึงแม้จะมีค่า VCR ต่ำกว่าการใช้ปุ๋ยเคมีไนโตรเจนเพียงอย่างเดียว แต่ก็เพียงพอให้มีความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ และเป็นการลดการใช้ปุ๋ยเคมีสามารถปรับปรุงบำรุงดินให้มีความอุดมสมบูรณ์ได้ในระยะยาว (ตารางที่ 5)

ตารางที่ 5 ผลตอบแทนทางเศรษฐกิจของการใช้ผลิตภัณฑ์ชีวภาพอัดเม็ดจากเห็ดแดงและสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินร่วมกับการใส่ปุ๋ยไนโตรเจนที่ระดับต่าง ๆ ในการผลิตผักกวางตุ้ง

Treatment	Yield (kg/m ²)	Income ^{1/} (baht/m ²)	Increase income from fertilizer use (baht/m ²)	Cost of fertilizer ^{2/} (baht/m ²)	VCR ^{3/}
1. Control	2.79	22.32	0	0	
2. N 1 RDF	3.69	29.52	7.20	0.35	20.78
3. N 1.5 RDF	4.55	36.40	14.08	0.52	27.09
4. N 2 RDF	4.12	32.96	10.64	0.69	15.35
5. AzH	2.39	19.12	-3.20	3.00	-1.07
6. AzH +N 1 RDF	4.01	32.08	9.76	3.35	2.92
7. AzH +N 1.5 RDF	3.60	28.80	6.48	3.52	1.84
8. AzH +N 2 RDF	3.63	29.04	6.72	3.69	1.82

^{1/} Pak Choi farm price 8 baht/kg (December 2023)

^{2/} AzH prices: 3 baht/m², 46-0-0 prices (N 1 RDF): 0.35 baht/m²

^{3/} VCR = The profit from the fertilizer implementation/the cost of fertilizer implementation (critical value=2.0)

สรุปผลการทดลอง

การใส่ผลิตภัณฑ์ชีวภาพอัดเม็ดจากແຫຼ່ງແຂງແລະສາຫຼ່າຍສີເຂົ້າແກມນ້ຳເງິນ ໃນອັຕຣາ 2 ກິໂລກຣັມຕໍ່ຕາຣາງແມັຕຣ ຮ່ວມກັບໃສ່ປຸ້ຍເຄມີໄນໂຕຣເຈນ 1 ເທົ່າຂອງອັຕຣາແນະນ້ຳ (15 ກິໂລກຣັມໄນໂຕຣເຈນຕໍ່ໄຮ) ເປັນອັຕຣາທີ່ເໝາະສົມ ທ້າໃຫ້ຝັກກວາງຕັ້ງທີ່ປູກໃນດິນທີ່ມີລະດັບອິນທຣີຢັດຕູຕ້າມີການເຈຣີຍເຕີບໂຕດ້ານນ້ຳໜັກສດ ກວມສູງ ຈຳນວນໃບ ນ້ຳໜັກແຫ້ງ ແລະການຄູດໃຊ້ຮາຕູອາຫາຣຂອງຝັກກວາງຕັ້ງມີແຕກຕ່າງກັນກັບການໃສ່ປຸ້ຍເຄມີໄນໂຕຣເຈນ 1.5 ແລະ 2 ເທົ່າຂອງອັຕຣາແນະນ້ຳ (22.5 ແລະ 30 ກິໂລກຣັມໄນໂຕຣເຈນຕໍ່ໄຮ) ແລະຍັງຊ່ວຍທ້າໃຫ້ດິນຫຼັງປູກມີລະດັບປຣິມາຢັດອິນທຣີຢັດຕູ ໂພແທສເຊີຍມທີ່ແລກເປຣຢັດໄດ້ ເພີ່ມຂຶ້ນຫຼາກກ່ວາການໃສ່ປຸ້ຍເຄມີໄນໂຕຣເຈນເຢັຍງຢ່າງເຕີຍ ແລະການປູກຝັກກວາງຕັ້ງໂດຍໃສ່ຜຸລິຕັກຢັດຊີວາພາອັດເມັດຈາກແຫຼ່ງແຂງແລະສາຫຼ່າຍສີເຂົ້າແກມນ້ຳເງິນໃນອັຕຣາ 2 ກິໂລກຣັມຕໍ່ຕາຣາງແມັຕຣ ຮ່ວມກັບໃສ່ປຸ້ຍເຄມີໄນໂຕຣເຈນ 1 ເທົ່າຂອງອັຕຣາແນະນ້ຳ ມີຄ່າ VCR ຫຼາກກ່ວາ 2 ຊຶ່ງຄຸ້ມຄ່າທາງເສຣຊຸສາສຕຣ໌

คำขอบคุณ

งานวิจัยนี้เป็นส่วนหนึ่งในโครงการวิจัยและพัฒนาเทคโนโลยีและนวัตกรรมการผลิตผลิตภัณฑ์ชีวภาพ เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตพืชปลอดภัย ซึ่งได้รับการสนับสนุนงบประมาณจากกองทุนส่งเสริมวิทยาศาสตร์ วิจัยและนวัตกรรมทุนสนับสนุนงานมูลฐาน (fundamental fund) สำนักงานคณะกรรมการส่งเสริมวิทยาศาสตร์ วิจัยและนวัตกรรม (สทว.) และได้รับการสนับสนุนด้านโครงสร้างพื้นฐาน ห้องปฏิบัติการ ทรัพยากรวิทยาศาสตร์ และยานพาหนะสำหรับการปฏิบัติงานวิจัยจากกรมวิชาการเกษตร

การนำผลงานวิจัยไปใช้ประโยชน์

เกษตรกรมีผลิตภัณฑ์ແຫຼ່ງແຂງແລະສາຫຼ່າຍສີເຂົ້າແກມນ້ຳເງິນອັດເມັດ ເພື່ອການຜຸລິຕັກຢັດຝັກປະລອດກັຍຢ່າງຍັ່ງຍືນ ຊຶ່ງເປັນການລດຕັ້ງຢັດແລະເພີ່ມປຣະສິທິທິພາບການຜຸລິຕັກຢັດ ເປັນທາງເລືອກຫນຶ່ງສຳຫຼັບໃຫ້ເຂດຮກຣກຣຫຼືກຸ່ມເຂດຮກຣກຣຜຸລິຕັກຢັດຝັກປະລອດກັຍໃຊ້ເປັນປັຈຈັຍການຜຸລິຕັກຢັດເສຣີມຈາກການໃຊ້ປຸ້ຍໃຫ້ມີປຣະສິທິທິພາບຫຼາກຂຶ້ນ

เอกสารอ้างอิง

- กรมวิชาการเกษตร. 2548. *คำแนะนำการใช้ปุ๋ยกับพืชเศรษฐกิจ*. กรมวิชาการเกษตร กรุงเทพฯ. 121 หน้า
- กลุ่มวิจัยเกษตรเคมี. 2551. *คู่มือการวิเคราะห์ปุ๋ยอินทรีย์*. กองวิจัยพัฒนาปัจจัยการผลิตทางการเกษตร กรมวิชาการเกษตร กรุงเทพฯ. 48 หน้า
- ประกาศกรมวิชาการเกษตร เรื่อง กำหนดเกณฑ์ปุ๋ยอินทรีย์ พ.ศ. 2557 (24 มกราคม 2557). *ราชกิจจานุเบกษา*. เล่ม 131 ตอนพิเศษ 29 ง. หน้า 4. ศิริลักษณ์ แก้วสุริยิต ประไพ ทองระอา กานดา ฉัตรไชยศิริ และภาสันต์ ศารทูลทัต. 2561. ผลของແໜແຈ່ງແຕ່ງຕໍ່ການເຈຣີຍູເຕີບໂຕຂອງຝັກກວາງຕຸ້ງ. ພາກ 332-337. ໃນ: *ເອກສາດການປະຊຸມວິຊາການພືດສວນແຫ່ງຊາດ ຄັ້ງທີ່ 17*, ວັນທີ 9-21 ພຸດສະຈິກຍາມ 2561. ພູ ໂຮງແຮມເຢັ່ງໃໝ່ ແກຣນດ໌ວີວ ແອນດ໌ຄອນເວນຊັ້ນ ເຊັ່ນເຕອຣ໌ ຈັງຫວັດເຢັ່ງໃໝ່.
- ศิริลักษณ์ แก้วสุริยิต, พัชรินทร์ นามวงษ์, ประไพ ทองระอา, นิศารัตน์ ทวีนุต และ กานดา ฉัตรไชยศิริ. 2563. การปลดปล่อยธาตุอาหารและการเปลี่ยนแปลงสมบัติทางเคมีในดินที่ใส่ແໜແຈ່ງ. *Thai Agricultural Research Journal*. 38 (2): 139-149.
- โสฬส แซ่ลิ่ม. 2559. *ปุ๋ยอินทรีย์และการใช้ประโยชน์ในประเทศไทย*. สำนักเทคโนโลยีชีวภาพทางดิน กรมพัฒนาที่ดิน กระทรวงเกษตรและสหกรณ์. 199 หน้า
- Jumadi O., F. Hiola, Y. Hala, J. Norton and K. Inubushi. 2014. Influence of Azolla (*Azolla microphylla* Kaulf.) compost on biogenic gas production, inorganic nitrogen and growth of upland kangkong (*Ipomoea aquatica* Forsk.) in a silt loam soil. *J Soil Sci Plant Nutr*. 60: 722-730.
- Ronga, D., E. Biazzi, K. Parati, D. Carminati, E. Carminati and A. Tava. 2019. Microalgal Biostimulants and Biofertilisers in Crop Productions. Available at: <https://doi.10.3390/agronomy9040192>. Accessed: March 22, 2025
- Santini, G., N. Biondi, L. Rodolfi and M.R. Tredici. 2021. Plant Biostimulants from Cyanobacteria: An Emerging Strategy to Improve Yields and Sustainability in Agriculture. Available at: <https://doi.org/10.3390/plants10040643>. Accessed: March 23, 2025
- Subedi, P. and J. Shrestha. 2015. Improving soil fertility through Azolla application in low land rice: A review. *Azar. J. Agri*. 2 (2): 35-39.

ศึกษาการใช้ผลิตภัณฑ์ชีวภาพจุลินทรีย์ร่วมกับชีวมวลในการผลิตข้าวโพดหวาน
ตาม GAP ในดินเหนียว-ร่วนเหนียว จังหวัดนครสวรรค์

Determination of microbial biological products and biomass
application on sweet corn production under GAP in clay to loam soil
at Nakhon Sawan Province

นุชนาฏ ตันวรรณ¹ สมฤทัย ตันเจริญ¹ ไชยา บุญเลิศ² สายน้ำ อุดพ้วย¹ นิสารัตน์ ทวีนุต¹
ศราริน กลิ่นโพธิ์กลับ¹ เครือวัลย์ บุญเงิน² วณิดา โนบรรเทา¹ ศุภกาญจน์ ล้วนมณี¹
Nutchanart Tanwan¹ Somrutai Tancharoen¹ Chaiya Boonlert² Sainam Uduay¹
Nisarat Thaweenut¹ Sararin Klinphoklap¹ Khruawan Boonngen² Wanida Nobuntou¹
Suphakarn Luanmanee¹

กลุ่มวิจัยปฐพีวิทยา

กองวิจัยพัฒนาปัจจัยการผลิตทางการเกษตร

ABSTRACT

Efficient sweet corn production requires proper management of production factors and specific to the growth stages and plant areas. This research focuses on developing plant nutrient management technology according to soil properties by using microbial biological products and biomass to enhance sweet corn production under Good Agricultural Practices (GAP). The experiment was conducted on farmers' fields in Nakhon Sawan Province during 2022-2024 using a Randomized Complete Block (RCB) design with four replicates. In 2022 and 2023, the experiment consisted of seven treatments: 1) Control 2) Chemical fertilizer (CF) based on soil analysis at a rate of 15-6-10 kg N-P₂O₅-K₂O per rai 3) CF+ chicken manure (CM) 4) CF+CM+ arbuscular mycorrhizal fungi (AMF) 5) 75% CF+CM 6) 75% CF+CM+AMF and 7) CM+AMF. The most productive treatments were selected for further study in 2024, consisting of four treatments: 1) Control 2) CF 3) CF+CM and 4) CF+CM+AMF

The study found that sweet corn production in high-fertility silty clay loam soil resulted in nutrient losses through plant uptake (stems+leaves), averaging 15.95, 3.14 and 31.88 kg N, P and K per rai, respectively. To maintain nutrient balance and sustain soil productivity, it is recommended to incorporate sweet corn residues into the soil. Applying chemical fertilizer based on soil analysis at a rate of 15-6-10 kg N-P₂O₅-K₂O per rai yielded the highest economic returns 5,117 baht/rai and 4,394 baht/rai in the 2022 and 2023 cropping seasons, while in the 2024 cropping season for field 1 and 2 were 1,549 and 1,381 baht/rai, respectively. The value to cost ratio (VCR) were 5.60, 4.95, 2.41 and 2.26 respectively. However, an integrated fertilization approach combining chemical and organic fertilizers is recommended to enhance crop productivity and maintain long-term soil quality.

Keywords: chemical fertilizer based on soil analysis; chicken manure; arbuscular mycorrhizal fungi

¹ กองวิจัยพัฒนาปัจจัยการผลิตทางการเกษตร กรมวิชาการเกษตร กรุงเทพฯ 10900

¹ Agricultural Production Science Research and Development Division, Department of Agriculture, Bangkok 10900

² สำนักวิจัยและพัฒนาการเกษตรเขตที่ 5, ชัยนาท 17150

² Office of Agricultural Research and Development Region 5, Chai Nat 17150

บทคัดย่อ

การผลิตข้าวโพดหวานให้มีประสิทธิภาพ ต้องมีการจัดการปัจจัยการผลิตที่เหมาะสมและเฉพาะเจาะจงกับระยะการเจริญเติบโตและพื้นที่ปลูก จึงได้ทำการศึกษาการจัดการธาตุอาหารพืชร่วมกับการใช้ผลิตภัณฑ์ชีวภาพจุลินทรีย์และชีวมวล เพื่อให้ได้เทคโนโลยีที่เหมาะสมต่อการผลิตข้าวโพดหวานตามวิถีการปฏิบัติทางการเกษตรที่ดี (GAP) ที่มีความเฉพาะเจาะจงกับสมบัติของดิน ดำเนินการทดลองที่ไร่อเกษตรกร จังหวัดนครสวรรค์ ในปี 2565-2567 โดยวางแผนการทดลองแบบ RCB จำนวน 4 ซ้ำ โดยปี 2565 และ 2566 ประกอบด้วย 7 กรรมวิธี คือ 1) กรรมวิธีควบคุม (Control) 2) ปุ๋ยเคมีตามค่าวิเคราะห์ดินอัตรา 15-6-10 กิโลกรัม $N-P_2O_5-K_2O$ ต่อไร่ (CF) 3) CF ร่วมกับมูลไก่แกลบ (CM) 4) CF+CM และเชื้อราไมคอร์ไรซา (AMF) 5) 75% CF+CM 6) 75% CF+CM+AMF และ 7) CM+AMF และคัดเลือกกรรมวิธีที่ให้ผลผลิตสูงเพื่อศึกษา ในปี 2567 ประกอบด้วย 4 กรรมวิธี คือ 1) Control 2) CF 3) CF+CM 4) CF+CM+AMF

ผลการศึกษา พบว่า การผลิตข้าวโพดหวานในดินร่วนเหนียวปนทรายแบ่งที่มีความอุดมสมบูรณ์สูง มีการสูญเสียธาตุอาหารไปกับต้น (ลำต้น+ใบ) เฉลี่ย 15.95, 3.14 และ 31.88 กิโลกรัม N, P และ K ต่อไร่ เพื่อรักษาสสมดุลของธาตุอาหารและรักษาศักยภาพการผลิตพืชของดิน จึงควรสับกลบต้นของข้าวโพดหวานลงในดินและเมื่อใส่ปุ๋ยเคมีตามค่าวิเคราะห์ดิน อัตรา 15-6-10 กิโลกรัม $N-P_2O_5-K_2O$ ต่อไร่ ข้าวโพดหวานให้ผลตอบแทนสูงสุดทั้ง 3 ถดปลูก คิดเป็น 5,117 บาทต่อไร่ (ถดปลูก ปี 2565) 4,394 บาทต่อไร่ (ถดปลูก ปี 2566) 1,549 และ 1,381 บาทต่อไร่ (ถดปลูก ปี 2567 แปลงที่ 1 และ 2 ตามลำดับ) โดยมีค่า VCR 5.60 4.95 2.41 และ 2.26 ตามลำดับ อย่างไรก็ตามควรมีการใช้ปุ๋ยแบบผสมผสานอย่างการใช้ปุ๋ยเคมีร่วมกับปุ๋ยอินทรีย์ ซึ่งช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตพืชและรักษาคุณภาพดินอย่างยั่งยืน

คำสำคัญ: ปุ๋ยเคมีตามค่าวิเคราะห์ดิน; มูลไก่แกลบ; เชื้อราไมคอร์ไรซา

บทนำ

ข้าวโพดหวาน (*Zea mays* L.) เป็นพืชผักอุตสาหกรรมที่มีความสำคัญทั้งการบริโภคภายในประเทศและการส่งออก แหล่งปลูกที่สำคัญ ได้แก่ จังหวัดเชียงใหม่ เชียงราย กาญจนบุรี ลำปาง สุโขทัย และนครสวรรค์ โดยจังหวัดนครสวรรค์มีพื้นที่ปลูกข้าวโพดหวานจำนวน 10,138 ไร่ (สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร, 2563) ผลผลิตค่อนข้างสูง เฉลี่ย 2,347 กิโลกรัมต่อไร่

เกษตรกรผู้ปลูกข้าวโพดหวานจังหวัดนครสวรรค์ส่วนใหญ่นิยมใช้ปุ๋ยเคมีเพียงอย่างเดียว เนื่องจากมีปริมาณธาตุอาหารสูง สะดวกต่อการจัดการ อย่างไรก็ตามการใช้ปุ๋ยเคมีติดต่อกันเป็นระยะเวลานานโดยขาดการปรับปรุงบำรุงดินอาจเป็นสาเหตุให้ดินเสื่อมโทรมในระยะยาว ขาดความเหมาะสมต่อการเพาะปลูกพืช เช่น โครงสร้างของดินเสื่อมสภาพ ดินมีความเป็นกรดมากขึ้น และเกิดการสะสมของไนเตรตในดินและแหล่งน้ำบริเวณใกล้เคียง (Savci, 2012) อาจส่งผลกระทบต่อผู้ผลิต ผู้บริโภค และสิ่งแวดล้อม ดังนั้นการทำการเกษตรปลอดภัยเป็นแนวทางการผลิตที่ให้ความสำคัญกับคุณภาพและความปลอดภัยอาหารของทั้งผู้ผลิต และผู้บริโภค ซึ่งสอดคล้องกับสถานการณ์ปัจจุบันที่ตลาดและผู้บริโภคมีแนวโน้มการบริโภคสินค้าเกษตรที่มีความปลอดภัยเพิ่มมากขึ้น

กรมวิชาการเกษตรได้พัฒนาคำแนะนำการใช้ปุ๋ยตามค่าวิเคราะห์ดินในการผลิตข้าวโพดหวาน (กรมวิชาการเกษตร, 2564) ซึ่งต้องมีการปรับใช้ให้เหมาะสมกับพื้นที่ โดยให้ความสำคัญกับการใช้ปุ๋ยผสมผสานระหว่างปุ๋ยเคมี ปุ๋ยอินทรีย์ และปุ๋ยชีวภาพ เนื่องจากปุ๋ยแต่ละชนิดมีบทบาทความสำคัญแตกต่างกัน โดยปุ๋ยเคมีมีปริมาณธาตุอาหารพืชสูง อยู่ในรูปที่พืชสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้โดยตรง ขณะที่ปุ๋ยอินทรีย์มีประสิทธิภาพในการช่วยปรับปรุงโครงสร้างดิน อีกทั้งยังมีธาตุอาหารที่เป็นประโยชน์ต่อการเจริญเติบโตของพืช

มีการปลดปล่อยอย่างช้า ๆ และต่อเนื่องจากการย่อยสลายของจุลินทรีย์ การใช้ปุ๋ยอินทรีย์ที่หาได้ง่ายในบริเวณใกล้เคียงจะช่วยลดต้นทุนจากการขนส่งได้เป็นอย่างมาก จากการสำรวจ พบว่า จังหวัดนครสวรรค์และจังหวัดใกล้เคียงมีการทำฟาร์มไก่จำนวนมาก ดังนั้นมูลไก่แกลบจึงเป็นปุ๋ยอินทรีย์ที่สามารถหาได้ง่ายในพื้นที่ดังกล่าว นอกจากนี้การใช้ปุ๋ยชีวภาพยังเป็นแนวทางหนึ่งในการเพิ่มประสิทธิภาพการผลิต โดยเฉพาะอย่างยิ่งเชื้อราไมคอร์ไรซาซึ่งมีบทบาทสำคัญต่อการส่งเสริมการเจริญเติบโตและผลผลิต (Vosátka and Albrechtová, 2009; Gianinazzi *et al.*, 2010) เนื่องจากเส้นใยรากพืช มีประสิทธิภาพในการดูดซับน้ำและธาตุอาหารให้แก่พืช อีกทั้งยังทำหน้าที่ในการปลดปล่อยกรดอินทรีย์ หรือเอนไซม์ฟอสฟาเทส (Ahaibor and Hirata, 1994) ซึ่งช่วยในการละลายธาตุอาหารพืชที่ถูกตรึง หรือส่วนที่ละลายยากให้ออกมาในรูปแบบที่เป็นประโยชน์ต่อพืช (Koide, 2000) ดังนั้นในการวิจัยนี้จึงได้ศึกษาวิธีการจัดการธาตุอาหารพืชรวมกับการใช้ผลิตภัณฑ์ชีวภาพจุลินทรีย์และชีวมวลที่เหมาะสมในการเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตข้าวโพดหวานตามวิธีการปฏิบัติทางการเกษตรที่ดี (GAP) ที่มีความเฉพาะเจาะจงกับสมบัติของดินเหนียว-ร่วนเหนียว จังหวัดนครสวรรค์

อุปกรณ์และวิธีการ

อุปกรณ์

1. เมล็ดข้าวโพดหวานพันธุ์ ATS12
2. ปุ๋ยเคมี ได้แก่ ยูเรีย (46-0-0) ทริปเปิลซูเปอร์ฟอสเฟต (0-46-0) และโพแทสเซียมคลอไรด์ (0-0-60)
3. มูลไก่แกลบ
4. ผลิตภัณฑ์ชีวภาพจุลินทรีย์อาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซา
5. อุปกรณ์เก็บตัวอย่างดินและพืช
6. วัสดุวิทยาศาสตร์และสารเคมีที่ใช้สำหรับวิเคราะห์ดินและพืช

วิธีการ

ดำเนินการทดลองไร่เกษตรกร ต.พันลาน อ.ชุมแสง จ.นครสวรรค์ วางแผนการทดลองแบบ RCB จำนวน 4 ซ้ำ โดยปี 2565 และ 2566 ประกอบด้วย 7 กรรมวิธี คือ 1) กรรมวิธีควบคุม (Control) 2) ปุ๋ยเคมีตามค่าวิเคราะห์ดินอัตรา 15-6-10 กิโลกรัม $N-P_2O_5-K_2O$ ต่อไร่ (CF) 3) CF ร่วมกับมูลไก่แกลบ (CM) 4) CF+CM และเชื้อราไมคอร์ไรซา (AMF) 5) 75% CF+CM 6) 75% CF+CM+AMF และ 7) CM+AMF และ ปี 2567 ประกอบด้วย 4 กรรมวิธี คือ 1) Control 2) CF 3) CF+CM 4) CF+CM+AMF ก่อนการทดลองในแต่ละฤดูปลูก สุ่มเก็บตัวอย่างดินก่อนปลูกที่ระดับความลึก 0-20 เซนติเมตร เพื่อวิเคราะห์สมบัติทางเคมีและปริมาณธาตุอาหารในแปลง แล้วทำการไถเตรียมแปลงทดลอง จำนวน 1 แปลง โดยมีขนาดแปลงย่อย 6x6 เมตร (ปี 2565 และ 2566) และจำนวน 2 แปลง โดยมีขนาดแปลงย่อย 5.5x7.0 เมตร (ปี 2567) ใส่มูลไก่แกลบ อัตรา 1 ตันน้ำหนักแห้งต่อไร่ ทำการหว่านและสับกลบก่อนปลูก รองพื้นด้วยปุ๋ยเคมี โดยปุ๋ยไนโตรเจนแบ่งใส่ 2 ครั้ง ครั้งแรกใส่ปุ๋ย N 1/2 รองกันรองตอนปลูก และครั้งที่ 2 ใส่ N ส่วนที่เหลือเมื่อข้าวโพดหวานอายุ 25 วันหลังปลูก ส่วนปุ๋ยฟอสเฟตและปุ๋ยโพแทชใส่ครั้งเดียวพร้อมปลูก และใส่เชื้อราไมคอร์ไรซา อัตรา 5 กรัมต่อหลุม รองกันหลุมพร้อมหยอดเมล็ด ปลูกแบบแถวเดี่ยวที่ระยะปลูก 0.75x0.25 เมตร (ปี 2565-2566) และแบบแถวคู่ที่ระยะปลูก 0.30x0.25 เมตร ระยะระหว่างแถวคู่ 0.80 เมตร (ปี 2567) เก็บเกี่ยวข้าวโพดหวานที่อายุ 71-78 วันหลังปลูก ขนาดพื้นที่เก็บเกี่ยว 3x4 เมตรต่อแปลงย่อย (ปี 2565 และ 2566) และ 3.3x4 เมตรต่อแปลงย่อยบันทึกข้อมูลผลผลิตและองค์ประกอบผลผลิต สุ่มเก็บตัวอย่างดินหลังเก็บเกี่ยวแต่ละแปลงย่อย ๆ ละ 5 จุดรวมเป็น 1 ตัวอย่างต่อแปลงย่อย สำหรับนำมาวิเคราะห์ปริมาณธาตุอาหารและจำนวนเชื้อราไมคอร์ไรซาในดินหลังเก็บเกี่ยว

ระยะเวลา เริ่มต้น ตุลาคม 2565 สิ้นสุด กันยายน 2567

สถานที่ทำการทดลอง

- 1. แปลงเกษตรกร ตำบลพันลาน อำเภอลำทะเมนชัย จังหวัดนครราชสีมา
- 2. กลุ่มวิจัยปฐพีวิทยา กองวิจัยพัฒนาปัจจัยการผลิตทางการเกษตร กรมวิชาการเกษตร

ผลการทดลองและวิจารณ์

1. สมบัติของมูลไก่เกลบ

โดยมูลไก่เกลบทั้ง 3 ฤดูปลูก (ปี 2565-2567) มีค่าการนำไฟฟ้าสูงกว่าที่เกณฑ์มาตรฐานกำหนด จึงไม่เหมาะที่จะนำไปใช้กับพืชโดยตรง ควรนำไปหมักให้สมบูรณ์ก่อนนำไปใช้เพื่อช่วยลดความเค็ม ส่วนปริมาณอินทรีย์วัตถุ ปริมาณธาตุอาหาร สัดส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนและความชื้นอยู่ในเกณฑ์ที่เหมาะสม ตามมาตรฐานปุ๋ยอินทรีย์ (ตารางที่ 1) และการใส่มูลไก่เกลบอัตรา 1 ตันน้ำหนักรักษาต่อไร่ จะมีไนโตรเจนทั้งหมด 18 28 และ 29 กิโลกรัม N ต่อไร่ ในปี 2565 2566 และ 2567 ตามลำดับ

ตารางที่ 1 สมบัติทางเคมีของมูลไก่เกลบ

สมบัติทางประการ	ค่าวิเคราะห์			เกณฑ์กำหนด ¹
	ปี 2565	ปี 2566	ปี 2567	
pH ² (1:10)	7.10	6.90	7.30	5.5-8.5
EC ² (1:10) (dS/m)	7.29	8.13	8.50	≤ 6.0
OM ³ (%)	54	56	57	≥ 30
OC ³ (%)	31	32	33	-
Total N ⁴ (%)	1.82	2.80	2.90	≥ 1.0
Total P ⁴ (%)	3.21	0.80	1.10	≥ 0.5
Total K ⁴ (%)	3.24	2.47	1.00	≥ 0.5
Total Ca ⁵ (%)	1.19	1.96	1.36	-
Total Mg ⁵ (%)	1.05	0.73	0.55	-
C:N ratio	17:1	12:1	11:1	≤ 20:1
Fresh weight basis (%)	26.00	8.70	8.30	< 35

หมายเหตุ ¹ประกาศกรมวิชาการเกษตร เรื่อง มาตรฐานปุ๋ยอินทรีย์ พ.ศ. 2548 (2548) ²ทศนีย์ และจรงค์ (2542)

³Walkley and Black (1934) ⁴กลุ่มงานวิเคราะห์ปุ๋ย (2541) ⁵Pratt (1965)

2. สมบัติของดินก่อนปลูก

ฤดูปลูก ปี 2565 ดำเนินการทดลองในชุดดินตะพานหิน ผลวิเคราะห์ดินก่อนปลูกที่ระดับความลึก 0-20 เซนติเมตร ดินมีปฏิกิริยาเป็นกรดจัด (pH 5.50) ดินไม่มีความเค็ม มีปริมาณอินทรีย์วัตถุ ปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ ปริมาณโพแทสเซียม แคลเซียม และแมกนีเซียมที่แลกเปลี่ยนได้อยู่ในระดับสูง มีจำนวนสปอร์ของเชื้อราไมคอร์ไรซาน้อย เท่ากับ 6 สปอร์ต่อดิน 100 กรัม (ตารางที่ 2)

ฤดูปลูก ปี 2566 ดำเนินการทดลองในชุดดินตะพานหิน ผลวิเคราะห์ดินก่อนปลูกที่ระดับความลึก 0-20 เซนติเมตร ดินมีปฏิกิริยาเป็นกรดเล็กน้อย (pH 6.10) ดินไม่มีความเค็ม มีปริมาณอินทรีย์วัตถุ ปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ ปริมาณโพแทสเซียม แคลเซียม และแมกนีเซียมที่แลกเปลี่ยนได้อยู่ในระดับสูง มีจำนวนสปอร์ของเชื้อราไมคอร์ไรซาน้อย เท่ากับ 35 สปอร์ต่อดิน 100 กรัม (ตารางที่ 2)

ฤดูปลูก ปี 2567 ดำเนินการทดลองในชุดดินตะพานหิน ผลวิเคราะห์ดินก่อนปลูกที่ระดับความลึก 0-20 เซนติเมตร แปลงที่ 1 ดินมีปฏิกิริยาเป็นกรดเล็กน้อย (pH 6.10) ดินไม่มีความเค็ม มีปริมาณอินทรีย์วัตถุ ปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ ปริมาณโพแทสเซียม แคลเซียม และแมกนีเซียมที่แลกเปลี่ยนได้อยู่ในระดับสูง มีจำนวนสปอร์ของเชื้อราไมคอร์ไรซาน้อย เท่ากับ 11 สปอร์ต่อดิน 100 กรัม และแปลงที่ 2 ดินมีปฏิกิริยาเป็นกรดปานกลาง (pH 5.90) ดินไม่มีความเค็ม มีปริมาณอินทรีย์วัตถุ ปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ ปริมาณโพแทสเซียม แคลเซียม และแมกนีเซียมที่แลกเปลี่ยนได้อยู่ในระดับสูง มีจำนวนสปอร์ของเชื้อราไมคอร์ไรซาน้อย เท่ากับ 8 สปอร์ต่อดิน 100 กรัม (ตารางที่ 2)

โดยดินก่อนปลูกของทั้ง 3 ฤดูปลูก (ปี 2565-2567) มีความเหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของข้าวโพดหวาน ดังนั้นเมื่อประเมินการใช้ปุ๋ยตามค่าวิเคราะห์ดินสำหรับข้าวโพดหวาน อัตราที่แนะนำ คือ 15-3-6 กก. N-P₂O₅-K₂O/ไร่ (กรมวิชาการเกษตร, 2564)

ตารางที่ 2 สมบัติดินก่อนปลูกข้าวโพดหวานที่ระดับความลึก 0-20 เซนติเมตร ในไร่เกษตรกร ต.พันลาน อ.ชุมแสง จ.นครสวรรค์

สมบัติของดิน บางประการ	ค่าวิเคราะห์				สมบัติดินที่เหมาะสมต่อ การปลูกข้าวโพดหวาน ¹
	ปี 2565	ปี 2566	ปี 2567		
			แปลงที่ 1	แปลงที่ 2	
pH ² (1:1)	5.50	6.10	6.10	5.90	5.5-7.5
EC ² (1:5) (dS/m)	0.07	0.05	0.12	0.11	-
OM ³ (%)	2.64	2.45	2.26	2.16	>1
Avail. P ⁴ (mg/kg)	100	89	102	29	15-30
Exch. K ⁵ (mg/kg)	253	227	366	236	80-120
Exch. Ca ⁵ (mg/kg)	2,083	2,476	2,400	2,037	400-1,000
Exch. Mg ⁵ (mg/kg)	475	364	448	472	50-150
เนื้อดิน ⁶	ดินร่วนเหนียวปนทรายแป้ง				ดินร่วน-ดินเหนียว
No. of mycorrhiza spore/100 g soil ⁷	6	35	11	8	-

หมายเหตุ ¹กรมวิชาการเกษตร (2564) ²ทัศนีย์ และจรงค์ (2542) ³Walkley and Black (1934)

⁴Bray and Kurtz (1945) ⁵Thomas (1982) ⁶Gee and Bauder (1986) ⁷Brundrett *et al.* (1994)

3. ผลผลิตและองค์ประกอบผลผลิต

3.1 ผลผลิต

ฤดูปลูก ปี 2565 ในดินร่วนเหนียวปนทรายแบ่งที่มีความอุดมสมบูรณ์สูง การจัดการธาตุอาหารตามกรรมวิธีต่าง ๆ ส่งผลให้น้ำหนักฝักทั้งหมดและน้ำหนักฝักที่ได้มาตรฐานของข้าวโพดหวาน เฉลี่ยอยู่ในช่วง 2,640-3,049 และ 1,804-2,341 กิโลกรัมต่อไร่ ตามลำดับ มากกว่ากรรมวิธีควบคุมที่ไม่มีการใส่ปุ๋ยที่มีน้ำหนักฝักทั้งหมดและน้ำหนักฝักที่ได้มาตรฐานเพียง 1,510 และ 580 กิโลกรัมต่อไร่ ตามลำดับ (ตารางที่ 3)

ฤดูปลูก ปี 2566 กรรมวิธีที่มีการจัดการดินด้วยปุ๋ยเคมีให้น้ำหนักฝักทั้งหมดของข้าวโพดหวาน เฉลี่ยอยู่ในช่วง 1,700-2,034 กิโลกรัมต่อไร่ และน้ำหนักฝักที่ได้มาตรฐานเฉลี่ยอยู่ในช่วง 773-1,173 กิโลกรัมต่อไร่ มากกว่ากรรมวิธีที่ไม่ได้ใส่ปุ๋ยเคมี ให้น้ำหนักฝักทั้งหมด เฉลี่ยอยู่ในช่วง 389-873 กิโลกรัมต่อไร่ และน้ำหนักฝักที่ได้มาตรฐานเฉลี่ยอยู่ในช่วง 0-147 กิโลกรัมต่อไร่ (ตารางที่ 3)

ฤดูปลูก ปี 2567 การจัดการปุ๋ยตามกรรมวิธีต่าง ๆ ส่งผลให้ข้าวโพดหวานแปลงทดลองที่ 1 มีน้ำหนักฝักทั้งหมด (เฉลี่ยอยู่ในช่วง 2,473-2,782 กิโลกรัมต่อไร่) และน้ำหนักฝักที่ได้มาตรฐาน ของข้าวโพดหวาน (เฉลี่ยอยู่ในช่วง 1,473-1,691 กิโลกรัมต่อไร่) มากกว่ากรรมวิธีควบคุมที่ไม่มีการใส่ปุ๋ยที่มีน้ำหนักฝักทั้งหมด และน้ำหนักฝักที่ได้มาตรฐานเพียง 1,843 และ 848 กิโลกรัมต่อไร่ ตามลำดับ ขณะที่แปลงทดลองที่ 2 พบว่าการใส่ปุ๋ยเคมีอัตรา 15-6-10 กิโลกรัม $N-P_2O_5-K_2O$ ต่อไร่ ร่วมกับมูลไก่เกลบ ให้น้ำหนักฝักทั้งหมดสูงที่สุด เฉลี่ย 3,257 กิโลกรัมต่อไร่ แต่ไม่แตกต่างกับการใส่ปุ๋ยเคมีอัตรา 15-6-10 กิโลกรัม $N-P_2O_5-K_2O$ ต่อไร่ ร่วมกับมูลไก่เกลบและเชื้อราไมคอร์ไรซา (เฉลี่ย 2,845 กิโลกรัมต่อไร่) โดยที่กรรมวิธีควบคุมให้น้ำหนักฝักทั้งหมดน้อยที่สุด (เฉลี่ย 2,093 กิโลกรัมต่อไร่) สำหรับน้ำหนักฝักที่ได้มาตรฐาน พบว่า การจัดการธาตุอาหารตามกรรมวิธีต่าง ๆ ส่งผลให้ข้าวโพดหวานมีน้ำหนักฝักทั้งหมด เฉลี่ยอยู่ในช่วง 1,956-2,521 กิโลกรัมต่อไร่ มากกว่ากรรมวิธีควบคุมที่มีน้ำหนักฝักที่ได้มาตรฐานเฉลี่ย 1,228 กิโลกรัมต่อไร่ (ตารางที่ 3)

3.2 จำนวนฝักทั้งหมดและจำนวนฝักที่ได้มาตรฐาน

ฤดูปลูก ปี 2565 ข้าวโพดหวานมีการตอบสนองต่อการจัดการธาตุอาหาร โดยการจัดการปุ๋ยที่กรรมวิธีต่าง ๆ ให้อาณาณฝักทั้งหมด เฉลี่ยอยู่ในช่วง 7,333-9,466 ฝักต่อไร่ และจำนวนฝักที่ได้มาตรฐาน เฉลี่ยอยู่ในช่วง 4,462-5,422 ฝักต่อไร่ มากกว่าการไม่ใส่ปุ๋ยที่มีจำนวนฝักทั้งหมดและฝักที่ได้มาตรฐานเพียง 6,267 และ 1,500 ฝักต่อไร่ ตามลำดับ (ตารางที่ 3)

ฤดูปลูก ปี 2566 การจัดการปุ๋ยตามกรรมวิธีต่าง ๆ ทำให้ข้าวโพดหวานมีการสร้างฝักได้เพิ่มขึ้น โดยมีจำนวนฝักทั้งหมดเฉลี่ย 7,667-9,233 ฝักต่อไร่ มากกว่าการไม่ใส่ปุ๋ยที่มี 6,681 ฝักต่อไร่ ขณะที่กรรมวิธีที่มีการใส่ปุ๋ยเคมีช่วยให้ข้าวโพดหวานมีจำนวนฝักที่ได้มาตรฐาน เฉลี่ยอยู่ในช่วง 2,500-3,200 ฝักต่อไร่ สูงกว่าการใส่ปุ๋ยเคมีที่มีจำนวนฝัก 135-833 ฝักต่อไร่ (ตารางที่ 3)

ฤดูปลูก ปี 2567 การจัดการปุ๋ยตามกรรมวิธีต่าง ๆ ไม่ส่งผลให้อาณาณฝักทั้งหมดของข้าวโพดหวานต่างกัน ทั้งในแปลงทดลองที่ 1 และแปลงทดลองที่ 2 เฉลี่ย 8,250 และ 8,748 ฝักต่อไร่ ตามลำดับ แต่ส่งผลให้อาณาณฝักที่ได้มาตรฐานของแปลงทดลองที่ 1 เฉลี่ยอยู่ในช่วง 4,031-4,303 ฝักต่อไร่ และแปลงทดลองที่ 2 เฉลี่ยอยู่ในช่วง 4,929-5,899 ฝักต่อไร่ สูงกว่าการไม่ใส่ปุ๋ยที่มีจำนวนฝักมาตรฐานเพียง 2,515 และ 3,232 ฝักต่อไร่ ในแปลงทดลองที่ 1 และแปลงทดลองที่ 2 ตามลำดับ (ตารางที่ 3)

3.3 ขนาดฝัก

ฤดูปลูก ปี 2565 การจัดการปุ๋ยตามกรรมวิธีต่าง ๆ ให้ขนาดของฝักที่ปอกเปลือกไม่แตกต่างกัน โดยมีเส้นผ่านศูนย์กลางฝักอยู่ระหว่าง 5.12-5.46 เซนติเมตร และมีความยาวฝักอยู่ระหว่าง 20.24-20.94 เซนติเมตร แต่แตกต่างกับกรรมวิธีควบคุมที่มีความกว้างฝัก เฉลี่ย 4.82 เซนติเมตร และความยาวฝัก เฉลี่ย 18.02 เซนติเมตร (ตารางที่ 3)

ฤดูปลูก ปี 2566 การจัดการปุ๋ยตามกรรมวิธีต่าง ๆ ให้ขนาดของฝักที่ปอกเปลือกไม่แตกต่างกัน โดยมีเส้นผ่านศูนย์กลางฝักอยู่ระหว่าง 5.12-5.46 เซนติเมตร และมีความยาวฝักอยู่ระหว่าง 20.24-20.94 เซนติเมตร แต่แตกต่างกับกรรมวิธีควบคุมที่มีความกว้างฝัก เฉลี่ย 4.82 เซนติเมตร และความยาวฝัก เฉลี่ย 18.02 เซนติเมตร (ตารางที่ 3)

ฤดูปลูก ปี 2566 การใส่ปุ๋ยส่งผลให้ข้าวโพดหวานมีขนาดของฝักที่เพิ่มขึ้น โดยมีความกว้างฝัก เฉลี่ยอยู่ในช่วง 4.80-5.20 เซนติเมตร และความยาวเฉลี่ยอยู่ในช่วง 18.20-19.50 เซนติเมตร โดยที่ไม่ใส่ปุ๋ย มีความกว้างและความยาวฝักน้อยที่สุด เฉลี่ย 4.00 และ 14.50 เซนติเมตร ตามลำดับ (ตารางที่ 3)

ฤดูปลูก ปี 2567 การจัดการปุ๋ยตามกรรมวิธีต่าง ๆ ส่งผลให้ขนาดของฝักข้าวโพดหวานที่ปอกเปลือก แปลงทดลองที่ 1 มีเส้นผ่านศูนย์กลางฝักอยู่ระหว่าง 5.26-5.35 เซนติเมตร ซึ่งกว้างกว่ากรรมวิธีควบคุม เฉลี่ย 4.91 เซนติเมตร โดยที่ความยาวของฝักไม่แตกต่างกัน เฉลี่ย 19.71 เซนติเมตร และในแปลงทดลองที่ 2 การจัดการปุ๋ยตามกรรมวิธีต่าง ๆ ให้ขนาดของฝักที่ปอกเปลือกไม่แตกต่างกัน โดยมีเส้นผ่านศูนย์กลางฝัก เฉลี่ย 5.37 เซนติเมตร และความยาวฝัก เฉลี่ย 19.93 เซนติเมตร (ตารางที่ 3)

3.4 ความหวาน

ฤดูปลูก ปี 2565 ข้าวโพดหวานที่มีการจัดการปุ๋ยต่างกัน ให้ระดับคุณภาพความหวานใกล้เคียงกัน โดยมีค่าเฉลี่ย 14.7 องศาบริกซ์ เปรียบเทียบแล้วไม่มีความแตกต่างทางสถิติ (ตารางที่ 3) ซึ่งอยู่ในเกณฑ์ มาตรฐานความหวานของข้าวโพดหวานที่โรงงานต้องการ (ไม่ต่ำกว่า 14 องศาบริกซ์) (กรมวิชาการเกษตร, 2545)

ฤดูปลูก ปี 2566 ข้าวโพดหวานที่มีการจัดการปุ๋ยต่างกัน ให้ระดับคุณภาพความหวานใกล้เคียงกัน โดยมีค่าเฉลี่ย 15.8 องศาบริกซ์ เปรียบเทียบแล้วไม่มีความแตกต่างทางสถิติ (ตารางที่ 3)

ฤดูปลูก ปี 2567 การจัดการปุ๋ยส่งผลให้ข้าวโพดหวานในแปลงทดลองที่ 1 มีระดับคุณภาพความหวาน เฉลี่ยอยู่ในช่วง 14.7-15.0 องศาบริกซ์ ซึ่งน้อยกว่าในกรรมวิธีควบคุมที่มีค่าความหวาน เฉลี่ย 15.7 องศาบริกซ์ ขณะที่แปลงทดลองที่ 2 พบว่า การจัดการปุ๋ยที่ต่างกันให้ระดับคุณภาพความหวานใกล้เคียงกัน โดยมีค่าเฉลี่ย 14.2 องศาบริกซ์ เปรียบเทียบแล้วไม่มีความแตกต่างทางสถิติ (ตารางที่ 3)

ตารางที่ 3 ผลผลิตและองค์ประกอบผลผลิตของข้าวโพดหวานที่ปลูกในดินร่วนเหนียวปนทรายแปะภายใต้การจัดการปุ๋ยที่แตกต่างกัน

กรรมวิธี	จำนวนต้น/ไร่	น้ำหนักฝักสด (กก./ไร่)			จำนวนฝัก/ไร่			ขนาดฝักที่ปลูกเปลือก (ซม.)		ค่าความหวาน (°Brix)
		ทั้งหมด	ได้มาตรฐาน	ไม่ได้มาตรฐาน	ทั้งหมด	ได้มาตรฐาน	ไม่ได้มาตรฐาน	ความกว้าง	ความยาว	
ฤดูปลูก ปี 2565										
1. Control	7,133	1,510 b	580 b	930	6,267 b	1,500 b	4,767 a	4.82 b	18.02 b	15.6
2. CF	7,600	2,993 a	2,315 a	678	7,901 ab	5,134 a	2,767 a-c	5.46 a	20.24 a	14.2
3. CF+CM	7,333	2,850 a	2,259 a	591	9,466 a	5,422 a	4,044 ab	5.33 a	20.46 a	14.0
4. CF+CM+AMF	7,700	3,049 a	2,341 a	708	7,333 ab	4,933 a	2,400 c	5.46 a	20.67 a	15.1
5. 75% CF+CM	7,733	2,753 a	2,152 a	601	7,801 ab	5,167 a	2,634 bc	5.30 a	20.30 a	14.6
6. 75% CF+CM+AMF	7,233	2,640 a	2,004 a	636	7,667 ab	4,867 a	2,800 a-c	5.34 a	20.40 a	14.6
7. CM+AMF	7,678	2,741 a	1,804 a	937	9,058 a	4,462 a	4,596 ab	5.12 ab	20.94 a	14.8
Average	7,487	2,648	1,922	726	7,928	4,498	3,430	5.27	20.11	14.7
F-test	ns	**	**	ns	*	**	*	*	**	ns
CV %	7.4	14.5	23.0	25	17.5	26.4	35.9	4.5	3.7	5.4
ฤดูปลูก ปี 2566										
1. Control	8,328	389 c	0 c	389 b	6,681 b	135 c	6,546 ab	4.00 b	14.50 b	15.8
2. CF	8,300	1,700 ab	773 a-c	927 a	9,200 a	2,500 ab	6,700 ab	5.20 a	19.00 a	15.3
3. CF+CM	8,100	2,034 a	1,173 a	861 a	8,433 a	3,200 a	5,233 b	5.00 a	19.50 a	15.5
4. CF+CM+AMF	8,233	1,867 a	1,014 ab	853 a	8,234 ab	3,133 a	5,101 b	5.20 a	19.50 a	16.0
5. 75% CF+CM	8,500	2,027 a	1,117 a	910 a	9,233 a	3,000 a	6,233 ab	5.00 a	19.00 a	16.0
6. 75% CF+CM+AMF	8,133	1,760 ab	900 a-c	860 a	7,667 ab	2,633 ab	5,034 b	5.00 a	18.20 a	15.5
7. CM+AMF	8,300	873 bc	147 bc	726 a	8,034 ab	833 bc	7,201 a	4.80 a	19.50 a	16.3
Average	8,271	1,521	732	789	8,212	2,205	6,007	4.90	18.50	15.8
F-test	ns	**	*	**	*	*	*	*	**	ns
CV %	2.9	37.8	34.6	20.0	12.2	36.1	16.9	9.5	7.7	3.8

หมายเหตุ ns = ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ, * = แตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 %, ** = แตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 99 % ค่าเฉลี่ยในคอลัมน์เดียวกันที่ตามด้วยตัวอักษรเหมือนกันมีค่าไม่แตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 % โดยวิธี DMRT, ขนาดของฝักที่ได้มาตรฐาน: ความยาว ≥15 เซนติเมตร และเส้นผ่านศูนย์กลาง ≥4 เซนติเมตร

ตารางที่ 3 ผลผลิตและองค์ประกอบผลผลิตของข้าวโพดหวานที่ปลูกในดินร่วนเหนียวปนทรายแปงภายใต้การจัดการปุ๋ยที่แตกต่างกัน (ต่อ)

กรรมวิธี	จำนวนต้น/ไร่	น้ำหนักฝักสด (กก./ไร่)		จำนวนฝัก/ไร่			ขนาดฝักที่ปลูกเปลือก (ชม.)		ค่าความหวาน (°Brix)	
		ทั้งหมด	ได้มาตรฐาน	ไม่ได้มาตรฐาน	ทั้งหมด	ได้มาตรฐาน	ไม่ได้มาตรฐาน	ความกว้าง		ความยาว
ฤดูปลูก ปี 2567										
แปลงที่ 1										
1. Control	10,909	1,843 b	848 b	994	7,424	2,515 b	4,909	4.91 b	19.15	15.7 a
2. CF	10,545	2,473 a	1,473 a	1,000	8,152	4,031 a	4,121	5.26 a	19.70	14.7 b
3. CF+CM	10,091	2,782 a	1,691 a	1,091	8,727	4,303 a	4,424	5.30 a	20.12	15.0 b
4. CF+CM+AMF	10,697	2,715 a	1,636 a	1,079	8,697	4,212 a	4,485	5.35 a	19.85	14.8 b
Average	10,561	2,453	1,412	1,041	8,250	3,765	4,485	5.20	19.70	15.0
F-test	ns	**	**	ns	ns	**	ns	**	ns	*
CV %	10.0	10.8	18.8	28.8	11.2	16.3	21.5	1.8	2.6	2.5
แปลงที่ 2										
1. Control	9,980	2,093 c	1,228 b	865	8,525	3,232 b	5,293	5.14	18.83	14.9
2. CF	10,424	2,683 b	1,956 a	727	8,646	4,929 a	3,717	5.35	20.45	14.4
3. CF+CM	10,505	3,257 a	2,521 a	736	9,132	5,899 a	3,233	5.51	20.51	13.9
4. CF+CM+AMF	10,464	2,845 ab	2,020 a	824	8,687	5,131 a	3,556	5.47	19.94	13.6
Average	10,343	2,719	1,931	788	8,748	4,798	3,950	5.37	19.93	14.2
F-test	ns	**	*	ns	ns	*	ns	ns	ns	ns
CV %	10.6	9.3	18.4	20.1	18.2	14.2	20.3	3.1	3.2	5.4

หมายเหตุ ns = ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ, * = แตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 %, ** = แตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 99 %

ค่าเฉลี่ยในคอลัมน์เดียวกันที่ตามด้วยตัวอักษรเหมือนกันมีค่าไม่แตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 % โดยวิธี DMRT

ขนาดของฝักที่ได้มาตรฐาน: ความยาว ≥15 เซนติเมตร และเส้นผ่านศูนย์กลาง ≥4 เซนติเมตร

4. การดูค่าใช้จ่ายอาหารของข้าวโพดหวาน

การไม่ใส่ปุ๋ยส่งผลให้ข้าวโพดหวานมีการดูค่าใช้จ่ายอาหารทั้งหมดต่ำที่สุด ขณะที่การใส่ปุ๋ยตามกรรมวิธีต่าง ๆ ให้การดูค่าใช้จ่ายอาหารทั้งหมดมีค่าใกล้เคียงกัน โดยปริมาณการดูค่าใช้จ่ายอาหารไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียม เฉลี่ยเท่ากับ 24.62, 5.00 และ 38.80 กิโลกรัม N, P และ K ต่อไร่ (ตารางที่ 4) หรือ 9.40, 1.90 และ 14.70 กิโลกรัม N, P และ K ตันต่อผลผลิต

การผลิตข้าวโพดหวานมีการสูญเสียอาหารออกไปกับผลผลิต คิดเป็นปริมาณไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียม เท่ากับ 8.67, 1.86 และ 6.92 กิโลกรัม N, P และ K ต่อไร่ (ตารางที่ 4) หรือ 8.67, 4.30 และ 8.30 กิโลกรัม N, P_2O_5 และ K_2O ต่อไร่ ส่วนปริมาณธาตุอาหารที่สะสมในส่วนของลำต้น (ต้น+ใบ) เท่ากับ 15.95, 3.14 และ 31.88 กิโลกรัม N, P และ K ต่อไร่ ดังนั้นคำแนะนำการใส่ปุ๋ยตามค่าวิเคราะห์ดิน 15-6-10 กิโลกรัม $N-P_2O_5-K_2O$ ต่อไร่ จึงเพียงพอกับปริมาณธาตุอาหารที่สูญเสียไปกับผลผลิต แต่หากมีการนำทุกส่วนของข้าวโพดหวานออกไปนอกพื้นที่ คิดเป็นปริมาณธาตุอาหารที่สูญเสียเท่ากับ 24.65, 11.45 และ 46.56 กิโลกรัม N, P_2O_5 และ K_2O ต่อไร่ ซึ่งมีปริมาณสูงกว่าปริมาณปุ๋ยที่ใส่ เนื่องจากข้าวโพดหวานมีการดูค่าใช้จ่ายอาหารในส่วนของต้นและใบสูงเมื่อเปรียบเทียบกับส่วนของฝัก เพื่อรักษาสมดุลของธาตุอาหารจึงควรสับกลบตอซังของข้าวโพดหวานลงในดิน และเพื่อรักษาคุณภาพดินอย่างยั่งยืน ควรมีการใส่ปุ๋ยอย่างผสมผสานอย่างการใส่ปุ๋ยอินทรีย์ร่วมกับปุ๋ยเคมี ซึ่งนอกจากจะช่วยเพิ่มปริมาณธาตุอาหารแล้วยังช่วยด้านการปรับปรุงบำรุงดิน

5. ผลตอบแทนทางเศรษฐกิจ VCR ratio

ฤดูปลูก ปี 2565-2567 การปลูกข้าวโพดหวานพันธุ์ ATS12 ในดินร่วนเหนียวปนทรายแบ่ง ต.พันลาน อ.ชุมแสง จ.นครสวรรค์ ที่มีความอุดมสมบูรณ์สูง การใส่ปุ๋ยเคมีตามอัตราแนะนำ (15-6-10 กิโลกรัม $N-P_2O_5-K_2O$ ต่อไร่) มีต้นทุนค่าใช้จ่ายในการผลิตข้าวโพดหวานต่ำกว่าการใส่ปุ๋ยในกรรมวิธีอื่น ๆ และยังให้ผลตอบแทนสูงที่สุด 5,117 บาทต่อไร่ (ฤดูปลูก ปี 2565) 4,394 บาทต่อไร่ (ฤดูปลูก ปี 2566) 1,549 และ 1,381 บาทต่อไร่ (ฤดูปลูก ปี 2567 แปลงที่ 1 และ 2 ตามลำดับ) โดยมีค่า VCR 5.60 4.95 2.41 และ 2.26 ตามลำดับ (ตารางที่ 5) ขณะที่กรรมวิธีที่มีการใส่มูลไก่เกลบร่วมด้วยให้ผลผลิตสูงแต่คัมค่าต่อการลงทุนน้อยกว่าการใส่ปุ๋ยเคมีตามอัตราแนะนำ เนื่องจากต้นทุนของมูลไก่เกลบค่อนข้างสูง ทั้งนี้หากเกษตรกรสามารถผลิตมูลไก่เกลบได้เอง หรือมีแหล่งรับซื้อที่ถูกลงจะช่วยลดต้นทุน เพิ่มประสิทธิภาพการผลิตพืช และรักษาคุณภาพดินอย่างยั่งยืนสำหรับการใส่ปุ๋ยชีวภาพเชื้อราไมคอร์ไรซานั้น ให้ผลตอบแทนเป็นลบในทุกฤดูปลูก เนื่องจากเชื้อราไมคอร์ไรซาเป็นปัจจัยการผลิตที่เกษตรกรไม่สามารถผลิตได้เอง ดังนั้นการใส่เชื้อราในดินที่มีความอุดมสมบูรณ์สูงจึงไม่เห็นผลการตอบสนองที่ชัดเจน

ตารางที่ 4 การดูดใช้ธาตุอาหารของข้าวโพดหวานที่ปลูกในดินร่วนเหนียวปนทรายแป่งภายใต้การจัดการปุ๋ยที่แตกต่างกันในฤดูปลูก ปี 2565

กรรมวิธี	ปริมาณการดูดใช้ธาตุอาหาร (กก./ไร่)						ปริมาณธาตุอาหารที่สะสมในส่วน กาบฝัก+เมล็ด+ชัง (กก./ไร่)					
	N	P	K	Ca	Mg		N	P	K	Ca	Mg	
1. Control	11.90 c	2.85 b	20.36 c	2.23 d	1.68 c		4.57 b	1.00 b	3.95 b	0.10 c	0.40 b	
2. CF	26.07 ab	5.08 a	41.35 ab	4.57 ab	2.86 ab		9.78 a	2.06 a	7.79 a	0.22 a	0.80 a	
3. CF+CM	29.73 a	5.70 a	48.28 a	5.10 a	3.11 ab		9.63 a	2.03 a	7.67 a	0.17 ab	0.76 a	
4. CF+CM+AMF	29.24 a	5.69 a	45.30 ab	5.10 a	3.55 a		9.24 a	1.97 a	6.99 a	0.15 bc	0.72 a	
5. 75% CF+CM	27.36 ab	5.16 a	41.82 ab	4.59 ab	2.88 ab		10.32 a	2.15 a	8.07 a	0.18 ab	0.85 a	
6. 75% CF+CM+AMF	25.60 ab	4.74 a	37.12 b	4.25 bc	2.84 ab		8.65 a	1.76 a	6.79 a	0.16 a-c	0.68 a	
7. CM+AMF	22.46 b	5.76 a	37.38 b	3.63 c	2.62 b		8.53 a	2.02 a	7.20 a	0.14 bc	0.75 a	
Average	24.62	5.00	38.80	4.21	2.79		8.67	1.86	6.92	0.16	0.71	
F-test	**	**	**	**	**		**	**	**	*	**	
CV %	12.7	15.5	13.8	12.0	19.5		14.6	16.9	15.9	28.3	17.9	

หมายเหตุ ns = ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ, * = แตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 %, ** = แตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 99 % ค่าเฉลี่ยในคอลัมน์เดียวกันที่ตามด้วยตัวอักษรเหมือนกันมีค่าไม่แตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 % โดยวิธี DMRT

ตารางที่ 5 ผลตอบแทนทางเศรษฐกิจของข้าวโพดหวานที่ปลูกในดินร่วนเหนียวปนทรายแบ่งภายใต้การจัดการปุ๋ยที่แตกต่างกัน

กรรมวิธี	ผลผลิต (กก./ไร่)	ผลผลิตที่เพิ่มขึ้น (กก./ไร่)	รายได้จากการขายผลผลิต (บาท/ไร่)	ต้นทุนจากการใช้ปุ๋ย (บาท/ไร่)	รายได้ที่เพิ่ม (บาท/ไร่)	ผลตอบแทน (VCR)
ฤดูปลูก ปี 2565						
1. Control	1,510	-	-	-	-	-
2. CF	2,993	1,483	6,229	1,112	5,117	5.60
3. CF+CM	2,840	1,330	5,586	2,885	2,701	1.94
4. CF+CM+AMF	3,049	1,539	6,464	8,165	-1,701	0.79
5. 75% CF+CM	2,753	1,243	5,221	2,617	2,604	2.00
6. 75% CF+CM+AMF	2,640	1,130	4,746	7,897	-3,151	0.60
7. CM+AMF	2,741	1,231	5,170	7,053	-1,883	0.73
ฤดูปลูก ปี 2566						
1. Control	389	-	-	-	-	-
2. CF	1,700	1,311	5,506	1,112	4,394	4.95
3. CF+CM	2,034	1,645	6,909	2,885	4,024	2.39
4. CF+CM+AMF	1,867	1,478	6,208	8,165	-1,957	0.76
5. 75% CF+CM	2,027	1,638	6,880	2,617	4,263	2.63
6. 75% CF+CM+AMF	1,760	1,371	5,758	7,879	-2,138	0.73
7. CM+AMF	873	484	2,033	7,053	-5,020	0.29
ฤดูปลูก ปี 2567						
แปลงทดลองที่ 1						
1. Control	1,843	-	-	-	-	-
2. CF	2,473	630	2,646	1,097	1,549	2.41
3. CF+CM	2,782	939	3,944	2,870	1,074	1.37
4. CF+CM+AMF	2,715	872	3,662	8,150	-4,487	0.45
แปลงทดลองที่ 2						
1. Control	2,093	-	-	-	-	-
2. CF	2,683	590	2,478	1,097	1,381	2.26
3. CF+CM	3,257	1,164	4,889	2,870	2,019	1.70
4. CF+CM+AMF	2,845	752	3,158	8,150	-4,991	0.39

หมายเหตุ ราคา: ปุ๋ย 46-0-0, 18-46-0 และ 0-0-60 = 19.03, 20.49 และ 18.39 บาท/กก. ตามลำดับ มูลค่าไม่ครอบคลุม = 1.33 บาท/กก. เพื่อราไม่ครอบคลุม = 120 บาท/กก. ผลผลิต = 4.20 บาท/กก.

ที่มา: Office of Agricultural Economics (2022)

สรุปผลการทดลอง

การปลูกข้าวโพดหวานพันธุ์ ATS12 ตาม GAP ในดินร่วนเหนียวปนทรายแบ่ง ต.พันลาน อ.ชุมแสง จ.นครสวรรค์ ที่มีความอุดมสมบูรณ์สูง การใส่ปุ๋ยตามค่าวิเคราะห์ดิน (15-6-10 กิโลกรัม N-P₂O₅-K₂O ต่อไร่) ให้ผลตอบแทนคุ้มค่าแก่การลงทุน โดยมีค่า VCR อยู่ในช่วง 2.26-5.60 ขณะที่การใส่ปุ๋ยตามค่าวิเคราะห์ดิน ร่วมกับมูลไก่เกลบให้ผลผลิตสูงแต่ไม่คุ้มค่าต่อการลงทุน เนื่องจากต้นทุนของมูลไก่เกลบค่อนข้างสูง ทั้งนี้หากเกษตรกรสามารถผลิตมูลไก่เกลบได้เองหรือมีแหล่งรับซื้อที่ถูกกลางจะช่วยลดต้นทุน เพิ่มประสิทธิภาพการผลิตพืช และรักษาคุณภาพดินอย่างยั่งยืน สำหรับการใส่ปุ๋ยชีวภาพเชื้อราไมคอร์ไรซาในดินที่มีความอุดมสมบูรณ์ จึงไม่เห็นผลการตอบสนองที่ชัดเจน

คำขอบคุณ

งานวิจัยนี้ได้รับทุนสนับสนุนจากสำนักงานคณะกรรมการส่งเสริมวิทยาศาสตร์ วิจัยและนวัตกรรม (สกสว.) ร่วมกับกรมวิชาการเกษตร และขอขอบคุณนายสมชาย อินทร์คล้าย เกษตรกรเจ้าของแปลงข้าวโพดหวาน ที่ให้ความอนุเคราะห์แปลงข้าวโพดหวานสำหรับใช้ในการทดลอง สุดท้ายขอขอบคุณเจ้าหน้าที่กลุ่มวิจัย ปฐพีวิทยาและศูนย์วิจัยพัฒนาการเกษตรนครสวรรค์ทุกท่านที่ได้ให้การช่วยเหลือในการทำงานวิจัยในครั้งนี้

การนำผลงานวิจัยไปใช้ประโยชน์

ได้วิธีการจัดการธาตุอาหารพืชสำหรับการผลิตข้าวโพดหวานในดินร่วนเหนียวปนทรายแบ่ง อ.ชุมแสง จ.นครสวรรค์ ที่ให้ผลตอบแทนคุ้มค่าต่อการลงทุน เป็นแนวทางในการให้คำแนะนำแก่เกษตรกรผู้ปลูกข้าวโพดหวาน และนำข้อมูลที่ได้ไปพัฒนาต่อยอด เช่น การศึกษาการจัดการปุ๋ยที่เหมาะสมในการผลิตข้าวโพดหวานในเนื้อดินอื่น ที่มีสภาพแวดล้อมที่แตกต่างออกไป

เอกสารอ้างอิง

- กรมวิชาการเกษตร. 2548. ประกาศกรมวิชาการเกษตร เรื่อง มาตรฐานปุ๋ยอินทรีย์ พ.ศ. 2548. ราชกิจจานุเบกษา. เล่ม 122 ตอนพิเศษ 109 ง: หน้า 9.
- กรมวิชาการเกษตร. 2564. **คำแนะนำการใช้ปุ๋ยตามค่าวิเคราะห์ดินสำหรับพืชไร่เศรษฐกิจ**. กองวิจัยพัฒนาปัจจัยการผลิตทางการเกษตร กรุงเทพฯ. 101 หน้า.
- กลุ่มงานวิเคราะห์ปุ๋ย. 2541. **คู่มือวิเคราะห์ปุ๋ย**. กองเกษตรเคมี กรมวิชาการเกษตร กรุงเทพฯ. 114 หน้า.
- ทัศนีย์ อัดตะนันท์ และจรงค์ จันทร์เจริญสุข. 2542. **แบบฝึกหัด และคู่มือปฏิบัติการการจำแนกดินและพืช**. ภาควิชาปฐพีวิทยา คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.
- สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร. 2563. ข้าวโพดหวาน: เนื้อที่เพาะปลูก เก็บเกี่ยว ผลผลิต และผลผลิตต่อไร่ระดับประเทศ ภาค และจังหวัด ปี 2563. แหล่งข้อมูล <https://www.oae.go.th/assets/portals/1/fileups/prcaidata/files/sweet%20corn63.pdf> สืบค้นเมื่อ: 3 ธันวาคม 2565
- Ahaibor, B.D. and H. Hirata. 1994. Characteristic responses of three legumes to the inoculation of two species of VAM fungi in Andosol soils with different fertilities. *Mycorrhiza* 5: 63-70.
- Bray, R.H. and L. Kurtz. 1945. Determination of total, organic, and available forms of phosphorus in soils. *Soil Sci.* 59(1): 39-46.
- Brundrett, M., L. Melville and L. Peterson. 1994. Practical Methods in Mycorrhiza Research. Mycologia publications Ontario, Canada.
- Gee, G.W., and J.W. Bauder. 1986. Particle-size Analysis. In: A.L. Page (ed.). Methods of soil analysis, Part I, Physical and mineralogical methods. 2nd, Agronomy Monograph 9, American Society of Agronomy, Madison, WI. Pp.383-411.
- Gianinazzi, S., A. Gollotte, M.N. Binet, D.V. Tuinen, D. Redecker and D. Wipf. 2010. Agroecology: the key role of arbuscular mycorrhizas in ecosystem services. *Mycorrhiza*. 20(8): 519-530.
- Koide, R.T. 2000. Functional complementarity in the arbuscular mycorrhizal symbiosis. The New Phytologist. 147(2): 233-235.
- Pratt, P.F. 1965. Potassium. In: C.A. Black, ed. *Method of Soil Analysis*. Part II. Amer. Soc. Of Agron, Inc.: Madison, Wisconsin. Pp.1022-1030.
- Savci, S., 2012. An agricultural pollutant: chemical fertilizer. *Int. J. Environ. Sci. Dev.* 3(1): 73.
- Thomas, G.W. 1982. Exchangeable cations. Methods of soil analysis: Part 2 chemical and microbiological properties. 9: 159-165.
- Vosátka, M. and J. Albrechtová. 2009. Benefits of arbuscular mycorrhizal fungi to sustainable crop production. Microbial strategies for crop improvement. Pp.205-225.
- Walkley, A. and I.A. Black. 1934. An examination of the Degtjareff method for determining soil organic matter, and a proposed modification of the chromic acid titration method. *Soil sci.* 37(1): 29-38.

Office of Agricultural Economics. 2022. Monthly retail price of chemical fertilizers. Office of Agricultural Economics, Ministry of Agriculture and Cooperatives. (Online). Available at: <https://www.oae.go.th/view/1/%E0%B8%9B%E0%B8%B1%E0%B8%88%E0%B8%88%E0%B8%B1%E0%B8%A2%E0%B8%81%E0%B8%B2%E0%B8%A3%E0%B8%9C%E0%B8%A5%E0%B8%B4%E0%B8%95/TH-TH>. Accessed:December 3,2022.

ศึกษาการใช้ผลิตภัณฑ์ชีวภาพจุลินทรีย์ร่วมกับชีวมวลในการผลิตข้าวโพดหวาน
ตาม GAP ในดินร่วน-ร่วนปนทราย จังหวัดนครสวรรค์

Use of Bio-products and Biomass on Sweet Corn Production under Good
Agriculture Practices on Loam – Sandy Loam Soils, Nakhon Sawan Province.

สมฤทัย ตันเจริญ¹ ภิญญาลักษณ์ รัตนวิระกุล¹ นุชนาฏ ตันวรรณ¹ ไชยา บุญเลิศ² สายน้ำ อุดพัว¹
นิศารัตน์ ทวีนุต¹ ศราริน กลิ่นโพธิ์กลับ¹ เครือวัลย์ บุญเงิน² วนิดา โนบรรเทา¹ ศุภกาญจน์ ล้วนมณี¹
Somrutai Tancharoen¹ Pinyaluk Ratanavirakul¹ Nutchanart Tanwan¹ Chaiya Boonlert²
Sainam Udpuay¹ Nisarat Taweenoot¹ Kruawan Boonngoen² Wanida Nobuntou¹
Suphakarn Luanmanee¹

กลุ่มวิจัยปฐพีวิทยา

กองวิจัยพัฒนาปัจจัยการผลิตทางการเกษตร

ABSTRACT

Optimum management of soil and plant nutrients in high-quality sweet corn production according to GAP (Good Agriculture Practices) standards is essential to ensure balanced soil nutrients, prevent environmental pollution, and create a safe production process for the product, producers, consumers, and the environment. This study investigated the use of microbial bioproducts combined with suitable local biomass to ensure crop production. The objective was to increase production potential and find methods appropriate for specific area conditions and soil properties. The experiment was conducted on a GAP-certified sweet corn farm in a loam to loamy sand soils area in Nakhon Sawan province. A Randomized Complete Block (RCB) design was used, with five treatments and four replications; 1) control, 2) chemical fertilizer application as recommended (RDF), 3) recommended chemical fertilizer plus rice husk chicken manure fertilizer (RDF+CM), 4) recommended chemical fertilizer plus rice husk chicken manure fertilizer and Arbuscular mycorrhiza biofertilizer (RDF+CM+AMF), and 5) 75% of the recommended chemical fertilizer plus rice husk chicken manure fertilizer and Arbuscular mycorrhiza biofertilizer (0.75RDF+CM+AMF). The result showed that the different nutrient management methods did not significantly affect sweet corn height, stalk number, husked ear weight, ear width, ear length, or sweetness. However, they significantly affected yield. The application of the recommended chemical fertilizer (20-6-15 kg N-P₂O₅-K₂O/rai) in combination with rice husk chicken manure fertilizer showed the highest yield, ranging from 2,797-3,167 kg/rai. This method provided the highest yield increase (12.6-42.1%) compared to the control treatment and is considered an appropriate method for sweet corn production in loam to loamy sand soils.

Keywords: Bio-products and Biomass; Good Agricultural Practice (GAP); Crop Nutrient Management; Sweet Corn

¹ กองวิจัยพัฒนาปัจจัยการผลิตทางการเกษตร กรมวิชาการเกษตร

¹ Agricultural Production Sciences Research and Development Division, Department of Agriculture.

² สำนักงานวิจัยและพัฒนาการเกษตรเขตที่ 5 จังหวัดชัยนาท กรมวิชาการเกษตร

² Office of Agricultural Research and Development Region 5, Chai Nat Province, Department of Agriculture.

บทคัดย่อ

การผลิตข้าวโพดหวานปลอดภัยตาม GAP เพื่อให้ได้ผลผลิตที่มีปริมาณและคุณภาพ จำเป็นต้องมีการจัดการดินและธาตุอาหารพืชให้มีความสมดุลของธาตุอาหารในดิน ไม่ก่อให้เกิดมลพิษต่อสิ่งแวดล้อม และกระบวนการผลิตมีความปลอดภัยต่อผลผลิต ผู้ผลิต ผู้บริโภค รวมถึงสิ่งแวดล้อม จึงได้ศึกษาการใช้ผลิตภัณฑ์ชีวภาพจุลินทรีย์ร่วมกับชีวมวลที่เหมาะสมได้ในท้องถิ่นมาใช้ประโยชน์ในการผลิตพืช เพื่อช่วยเพิ่มศักยภาพการผลิต เหมาะสมกับสภาพพื้นที่ และสมบัติของดิน ดำเนินการทดลองที่ไร่นาเกษตรกรผู้ปลูกข้าวโพดหวานตาม GAP ในดินร่วน-ร่วนปนทราย จังหวัดนครสวรรค์ วางแผนการทดลองแบบ RCB ประกอบด้วย 5 กรรมวิธี จำนวน 4 ซ้ำ ได้แก่ 1) กรรมวิธีควบคุม (Control) 2) ใส่ปุ๋ยเคมีตามคำแนะนำ (RDF) 3) ใส่ปุ๋ยเคมีตามคำแนะนำ ร่วมกับปุ๋ยมูลไก่แกลบ (RDF+CM) 4) ใส่ปุ๋ยเคมีตามคำแนะนำ ร่วมกับปุ๋ยมูลไก่แกลบและปุ๋ยชีวภาพไมคอร์ไรซา (RDF+CM AMF) 5) ใส่ปุ๋ยเคมี 75% ของคำแนะนำ ร่วมกับปุ๋ยมูลไก่แกลบและปุ๋ยชีวภาพไมคอร์ไรซา (0.75RDF+CM AMF) ผลการทดลองพบว่า การจัดการธาตุอาหารพืชกรรมวิธีต่างๆ ไม่ทำให้ความสูง จำนวนต้น น้ำหนักฝักเปลือก ความกว้างฝัก ความยาวฝัก และความหวานของข้าวโพดหวานแตกต่างกันทางสถิติ แต่ทำให้ผลผลิตข้าวโพดหวานแตกต่างกัน โดยการใส่ปุ๋ยเคมีตามคำแนะนำอัตรา 20-6-15 กิโลกรัม N-P₂O₅-K₂O ต่อไร่ ร่วมกับมูลไก่แกลบให้ผลผลิตสูงสุด 2,797-3,167 กิโลกรัมต่อไร่ และให้ผลตอบแทนผลผลิตเพิ่มขึ้นสูงสุด 12.6-42.1 เปอร์เซ็นต์เมื่อเทียบกับกรรมวิธีควบคุม และเป็นกรรมวิธีที่เหมาะสมสำหรับการผลิตข้าวโพดหวานในดินร่วน-ร่วนปนทราย

คำสำคัญ: ผลิตภัณฑ์ชีวภาพจุลินทรีย์และชีวมวล; การปฏิบัติทางการเกษตรที่ดี; การจัดการธาตุอาหารพืช; ข้าวโพดหวาน

บทนำ

ข้าวโพดหวานเป็นพืชเศรษฐกิจที่สำคัญสามารถปลูกได้ทุกภาคของประเทศไทย มีพื้นที่ปลูกข้าวโพดหวานทั้งประเทศ 213,565 ไร่ มีผลผลิตรวม 450,358 ตัน คิดเป็นผลผลิตเฉลี่ย 2,109 กิโลกรัมต่อไร่ (สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร, 2566) อีกทั้งเป็นพืชส่งออกสำคัญ โดยปริมาณการส่งออก 237 ล้านตัน ซึ่งคิดเป็นมูลค่า 9,200 ล้านบาท (Manager Online, 2024) ดินที่เหมาะสมต่อการปลูกข้าวโพดหวาน ควรเป็นดินร่วน ร่วนเหนียวปนทราย และดินร่วนปนทราย ที่โปร่งร่วนซุย มีการระบายน้ำดี ความเป็นกรดของดินอยู่ในช่วง 5.5-6.8 ปริมาณอินทรีย์วัตถุมากกว่า 1 เปอร์เซ็นต์ กรณีที่ดินมีปริมาณอินทรีย์วัตถุต่ำ ก่อนปลูกควรใส่ปุ๋ยคอกหรือปุ๋ยหมักที่ย่อยสลายตัวดีแล้ว เช่น มูลวัว มูลไก่ อัตรา 1 ตันต่อไร่ ปริมาณฟอสฟอรัสและโพแทสเซียมที่เป็นประโยชน์มากกว่า 10 และ 60 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม (กรมวิชาการเกษตร, 2553) การผลิตพืชปลอดภัยขึ้นอยู่กับการใช้ปัจจัยการผลิตต่างๆ ในระบบการผลิต โดยเฉพาะอย่างยิ่งหากดินมีความอุดมสมบูรณ์ต่ำ การจัดการธาตุอาหารพืชโดยใช้ปุ๋ยเคมีร่วมกับทรัพยากรชีวภาพจุลินทรีย์และชีวมวลหรือวัสดุอินทรีย์ จะช่วยให้พืชได้รับธาตุอาหารอย่างเต็มศักยภาพ และเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตพืช เนื่องจากจุลินทรีย์หลากหลายชนิดมีความสามารถในการช่วยปลดปล่อยธาตุอาหารในดินหรือช่วยให้พืชดูดซับธาตุอาหารจากดิน เช่น การใช้ราไมคอร์ไรซาช่วยส่งเสริมประสิทธิภาพการดูดใช้น้ำและธาตุอาหารของพืช (พักตร์เพ็ญ และคณะ, 2565) การใช้เชื้อราอาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาร่วมกับปุ๋ยเคมีและมูลไก่ในดินร่วนถึงร่วนปนทรายแปง ส่งผลให้ข้าวโพดมีการเจริญเติบโตและผลผลิตสูงสุดเมื่อเปรียบเทียบกับการใช้เชื้อราอาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาเพียงอย่างเดียว และการไม่ใส่ปุ๋ยเคมี (Prabawardani *et al.*, 2023) นอกจากนี้การใช้ชีวมวลหรือวัสดุอินทรีย์จากพืชและสัตว์เป็นแหล่งของธาตุอาหารให้แก่พืช ยังช่วยปรับปรุงบำรุงดินให้มีความอุดมสมบูรณ์ ช่วยดูดซับธาตุอาหารและลดการสูญเสียธาตุอาหารพืชได้ ปัจจุบันต้นทุนการผลิต

ข้าวโพดหวานของเกษตรกรสูงขึ้นทุกปี รวมทั้งดินที่ทำการเกษตรมีความอุดมสมบูรณ์ลดลงเกษตรกรจึงจำเป็นต้องใช้ปุ๋ยเคมีในปริมาณมากขึ้นเพื่อให้ได้ผลผลิต การผลิตข้าวโพดหวานปลอดภัย และได้ผลผลิตทั้งปริมาณและมีคุณภาพนั้น จำเป็นต้องมีการจัดการธาตุอาหารดินและปุ๋ย โดยการปรับปรุงดินและมีการใช้ปุ๋ยเคมีร่วมกับการใช้ทรัพยากรชีวภาพจุลินทรีย์ และชีวมวล ในการผลิตพืชปลอดภัยให้เหมาะสมกับความต้องการของพืช สภาพพื้นที่ และสมบัติของดิน ดังนั้นจึงศึกษาวิจัยการนำทรัพยากรชีวภาพและชีวมวลมาใช้ในการเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตข้าวโพดหวานปลอดภัยตามวิธีปฏิบัติทางการเกษตรที่ดีอย่างเหมาะสม เพื่อให้ได้เทคโนโลยีการผลิตข้าวโพดหวานปลอดภัยตามวิธีปฏิบัติทางการเกษตรที่ดีได้อย่างมีประสิทธิภาพ ช่วยเพิ่มศักยภาพการผลิตให้ได้ผลผลิตทั้งปริมาณและคุณภาพได้ตามมาตรฐาน GAP และรักษาความอุดมสมบูรณ์ของดินในการผลิตพืช

อุปกรณ์และวิธีการ

อุปกรณ์

1. เมล็ดพันธุ์ข้าวโพดหวาน ATS12 (ฤดูปลูกปี 2565 -2566) และ ATS15 (ฤดูปลูกปี 2567)
2. ปุ๋ยเคมี (ปุ๋ยยูเรีย ปุ๋ยทริปเปิลซูเปอร์ฟอสเฟต และปุ๋ยโพแทสเซียมคลอไรด์) ปุ๋ยอินทรีย์มูลไก่เกลบ ปุ๋ยชีวภาพอาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซา ปุ๋ยโดโลไมท์
3. อุปกรณ์สำหรับเก็บตัวอย่างดินและพืช เช่น ถังพลาสติก จอบ พลั่วมือ กระบอกเก็บดิน ถังตาข่าย มีดกรรไกรตัดตัวอย่างพืช
4. สารเคมีป้องกันกำจัดศัตรูพืชและวัชพืช
5. เครื่องมือวิทยาศาสตร์ เครื่องแก้ว และสารเคมีสำหรับวิเคราะห์ปริมาณธาตุอาหารในดิน

วิธีการ

1. ศึกษาสมบัติของดินและผลของการใช้ผลิตภัณฑ์ชีวภาพจุลินทรีย์ร่วมกับชีวมวลในการผลิตข้าวโพดหวานตาม GAP ในดินร่วน-ร่วนปนทราย จังหวัดนครสวรรค์ ปี 2565-2566

วางแผนการทดลองแบบ Randomized Complete Block (RCB) ประกอบด้วย 7 กรรมวิธี จำนวน 4 ซ้ำ ได้แก่

1. กรรมวิธีควบคุม (ไม่ใส่ปุ๋ย ไม่ใส่ชีวมวลและผลิตภัณฑ์ชีวภาพจุลินทรีย์) (Control)
2. ใส่ปุ๋ยเคมีตามคำแนะนำ อัตรา 20-6-15 กิโลกรัม N-P₂O₅-K₂O ต่อไร่ (RDF)
3. ใส่ปุ๋ยเคมีตามคำแนะนำ + ปุ๋ยมูลไก่เกลบ อัตรา 1 ตันต่อไร่ (RDF+CM)
4. ใส่ปุ๋ยเคมีตามคำแนะนำ + ปุ๋ยมูลไก่เกลบ + ปุ๋ยชีวภาพไมคอร์ไรซา (RDF+CM+AMF)
5. ใส่ปุ๋ยเคมี 75% ของคำแนะนำ อัตรา 15-4.5-11.3 กิโลกรัม N-P₂O₅-K₂O ต่อไร่ + ปุ๋ยมูลไก่เกลบ (0.75 RDF+ CM)
6. ใส่ปุ๋ยเคมี 75% ของคำแนะนำ + ปุ๋ยมูลไก่เกลบ + ปุ๋ยชีวภาพไมคอร์ไรซา (0.75 RDF+ CM+AMF)
7. ใส่ปุ๋ยมูลไก่เกลบ + ปุ๋ยชีวภาพไมคอร์ไรซา (CM+AMF)

ดำเนินการทดลองในแปลงเกษตรกรผู้ปลูกข้าวโพดหวาน GAP บ้านวังยาง หมู่ 2 ตำบลพันลาน อำเภอลำลูกกา จังหวัดนครสวรรค์

2. ศึกษาการขยายผลกึ่งทดสอบเทคโนโลยีในพื้นที่เกษตรกรผู้ปลูกข้าวโพดหวานในดินร่วน-ร่วนปนทราย ปี 2567

คัดเลือกกรรมวิธีที่ให้ผลผลิตและผลตอบแทนทางเศรษฐกิจสูง จำนวน 4 กรรมวิธี จากปีงบประมาณ 2565-2566 เพื่อศึกษาการขยายผลกึ่งทดสอบเทคโนโลยีในพื้นที่เกษตรกรผู้ปลูกข้าวโพดหวาน วางแผนการทดลองแบบ Randomized Complete Block (RCB) ประกอบด้วย 5 กรรมวิธี จำนวน 4 ซ้ำ ได้แก่

1. กรรมวิธีควบคุม (ไม่ใส่ปุ๋ย ไม่ใส่ชีวมวลและผลิตภัณฑ์ชีวภาพจุลินทรีย์) (Control)
2. ใส่ปุ๋ยเคมีตามคำแนะนำ อัตรา 20-6-15 กิโลกรัม $N-P_2O_5-K_2O$ ต่อไร่ (RDF)
3. ใส่ปุ๋ยเคมีตามคำแนะนำ + ปุ๋ยมูลไก่เกลบ อัตรา 1 ตันต่อไร่ (RDF+CM)
4. ใส่ปุ๋ยเคมีตามคำแนะนำ + ปุ๋ยมูลไก่เกลบ + ปุ๋ยชีวภาพไมคอร์ไรซา (RDF+CM+AMF)
5. ใส่ปุ๋ยเคมี 75% ของคำแนะนำ + ปุ๋ยมูลไก่เกลบ + ปุ๋ยชีวภาพไมคอร์ไรซา (0.75 RDF+ CM+AMF)

ดำเนินการทดลองในแปลงเกษตรกรผู้ปลูกข้าวโพดหวาน GAP บ้านวังยาง หมู่ 2 ตำบลพันลาน อำเภอลำดวน จังหวัดนครศรีธรรมราช และไร่เกษตรกร หมู่ 2 ตำบลโคกหม้อ อ.ลำดวน จังหวัดนครศรีธรรมราช จำนวน 3 แปลงทดลอง

เก็บตัวอย่างดินก่อนปลูกที่ระดับความลึก 0-20 เซนติเมตร มาวิเคราะห์สมบัติทางเคมีและปริมาณธาตุอาหารในดิน ได้แก่ เนื้อดิน โดยวิธี Hydrometer (Bouyoucos, 1962) ความเป็นกรด-ด่างของดิน อัตราส่วนดินต่อน้ำ เท่ากับ 1:1 (Peech, 1965) ค่าการนำไฟฟ้า อัตราส่วนดินต่อน้ำ เท่ากับ 1:5 (Rayment and Higginson, 1992) ปริมาณอินทรีย์วัตถุ โดยวิธี Walkley and Black titration (Walkley and Black, 1934) ปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ โดยสกัดดินด้วยสารละลาย Bray II (Bray and Kurtz, 1945) ปริมาณโพแทสเซียม แคลเซียม แมกนีเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ โดยสกัดดินด้วย 1N Ammonium acetate pH 7 (Thomas, 1982) ตรวจนับปริมาณสปอร์ของเชื้อราอาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาในดิน ด้วยวิธี wet sieving and decanting (Balestra and Misaghi, 1997) ผลวิเคราะห์ดินก่อนปลูกปี 2565 พบว่า เป็นชุดดินตะพานหิน (Fine-silty, mixed, active, isohyperthermic Ultic Haplustalfs) (กรมพัฒนาที่ดิน, 2566) มีเนื้อดินเป็นดินร่วน ดินมีความเป็นกรดรุนแรงมากถึงกรดจัดมาก ไม่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของข้าวโพดหวาน ควรปรับปรุงดินด้วยปูนโดโลไมท์อัตรา 200 กิโลกรัมต่อไร่ โดยหว่านให้ทั่วแปลงตอนไถเตรียมดินอย่างน้อย 2 สัปดาห์ก่อนปลูกข้าวโพดหวาน (กองวิจัยพัฒนาปัจจัยการผลิตทางการเกษตร, 2566) ดินไม่มีความเค็ม ปริมาณอินทรีย์วัตถุในดินอยู่ในระดับปานกลาง ปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์อยู่ในระดับสูง ปริมาณโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้อยู่ในระดับปานกลางถึงสูง ปริมาณแคลเซียมที่แลกเปลี่ยนได้อยู่ในระดับสูง ปริมาณแมกนีเซียมที่แลกเปลี่ยนได้อยู่ในระดับสูง สปอร์อาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซามีจำนวน 8-40 สปอร์ต่อดิน 100 กรัม ซึ่งอยู่ในระดับต่ำ เนื่องจากมีจำนวนสปอร์น้อยกว่า 100 สปอร์ต่อดิน 100 กรัม (ตารางที่ 1) จากผลการวิเคราะห์ดินสามารถประเมินการใช้ปุ๋ยตามคำแนะนำสำหรับการปลูกข้าวโพดหวาน คือ ใช้ปุ๋ยเคมี อัตรา 20-6-15 กิโลกรัม $N-P_2O_5-K_2O$ ต่อไร่ (กรมวิชาการเกษตร, 2564)

ตารางที่ 1 ผลวิเคราะห์สมบัติของดินก่อนปลูกปี 2565 - 2567 ที่ระดับความลึก 0-20 เซนติเมตร ที่ไร่อเกษตรกร ต.พันลาน อ.ชุมแสง จ.นครสวรรค์

รายการ	ผลวิเคราะห์					ค่ามาตรฐาน สำหรับ ข้าวโพดหวาน*
	ปี 2565	ปี 2566	แปลง 1 ปี 2567	แปลง 2 ปี 2567	แปลง 3 ปี 2567	
ความเป็นกรด-ด่าง (pH) (1:1)	4.2	4.8	5.0	4.4	4.6	5.5-7.5
ค่าการนำไฟฟ้าของดิน (EC) (1:5) (mS/cm)	0.05	0.07	0.06	0.05	0.05	ไม่เค็ม
อินทรีย์วัตถุ (%)	1.44	1.31	1.72	1.31	1.08	>1
ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ (มก./กก.)	30	30	31	27	22	15-30
โพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ (มก./กก.)	90	169	138	79	110	80-120
แคลเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ (มก./กก.)	1,547	2,448	1,969	1,707	1,739	400-1,000
แมกนีเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ (มก./กก.)	310	326	343	316	285	50-150
ความหนาแน่นรวม (กรัม/ลบ.ซม.)	1.39	-	-	-	-	-
เนื้อดิน	ร่วน	ร่วน	ร่วน	ร่วนปนทราย	ร่วนปนทราย	ร่วน, ร่วน เหนียว, ร่วนปน ทราย เหนียว
จำนวนสปอร์ราอาร์บัสคูลาร์ ไมคอร์ไรซา (สปอร์/ดิน 100 กรัม)	40	8	-	-	-	-

* กรมวิชาการเกษตร (2564)

เตรียมแปลงทดลองสำหรับปลูกข้าวโพดหวาน GAP ในดินร่วน-ร่วนปนทราย โดยไถเตรียมดินและปรับระดับพื้นที่ แบ่งขนาดแปลงย่อย กรรมวิธีที่ใส่ปุ๋ยมูลไก่เกลบอัตรา 1 ตันน้ำหนักแห้งต่อไร่ตามกรรมวิธี และสับกลบคลุกเคล้ากับดินก่อนปลูกข้าวโพดหวาน กรรมวิธีที่ใส่ปุ๋ยชีวภาพอาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซา ใส่รองกันหลุมพร้อมปลูกอัตรา 5 กรัมต่อหลุม

ปลูกข้าวโพดหวานโดยหยอดเมล็ด 2-3 เมล็ดต่อหลุม เมื่อข้าวโพดหวานอายุ 14 วันหลังปลูก ถอนแยกให้เหลือ 1 ต้นต่อหลุม โดยเลือกต้นที่สมบูรณ์ ใส่ปุ๋ยเคมีข้างแถวปลูกในอัตราที่กำหนดตามกรรมวิธี โดยปุ๋ยไนโตรเจนแบ่งใส่ 2 ครั้ง คือ ครั้งแรกใส่รองพื้นพร้อมปลูก และครั้งที่ 2 เมื่อข้าวโพดหวานอายุ 21 วันหลังปลูก ส่วนปุ๋ยฟอสเฟตและปุ๋ยโพแทสเซียมใส่ครั้งเดียวพร้อมปลูก ให้น้ำข้าวโพดหวานแบบเทบน้ำพุ่ง ปริมาณและความถี่บ่อยในการให้น้ำสังเกตจากความชื้นในดิน ดูแลรักษาแปลงตามวิธีปฏิบัติทางการเกษตรที่ดีที่เหมาะสม

เก็บเกี่ยวข้าวโพดหวานที่อายุ 64-77 วันหลังปลูก (ตารางที่ 2) เก็บข้อมูลการเจริญเติบโตด้านความสูงที่ระยะเก็บเกี่ยว ข้อมูลผลผลิตและองค์ประกอบผลผลิต สุ่มเก็บตัวอย่างฝักข้าวโพดหวานมาวัดคุณภาพผลผลิต ได้แก่ น้ำหนักฝักสดทั้งเปลือก น้ำหนักฝักสดเปลือกเปลือก ความยาวฝัก เส้นผ่านศูนย์กลางฝัก และคุณภาพความหวาน

(องศาบริกซ์) ประเมินผลของการจัดการดินและปุ๋ยวิธีการต่าง ๆ ต่อปริมาณและคุณภาพของผลผลิต เช่น ผลผลิตต่อไร่ ขนาดฝัก ความกว้างฝัก ความยาวฝัก และคุณภาพความหวาน

ตารางที่ 2 ข้อมูลขนาดแปลงทดลอง ระยะปลูก พื้นที่เก็บเกี่ยว วันปลูก วันเก็บเกี่ยว และอายุเก็บเกี่ยว ของแปลงทดลองข้าวโพดหวาน จังหวัดนครสวรรค์ ฤดูปลูก ปี 2565-2567

รายการ	ปี 2565	ปี 2566	แปลง 1 ปี 2567	แปลง 2 ปี 2567	แปลง 3 ปี 2567
ขนาดแปลงย่อย (ม.ขม.)	6 x 6	6 x 6	8.25 x 5	8.25 x 5	6 x 5
ระยะปลูก (ม.ขม.)	0.75 x 0.25	0.75 x 0.25	0.75 x 0.25	0.75 x 0.25	0.75 x 0.25
พื้นที่เก็บเกี่ยว (ม.ขม.)	3 x 4	3 x 4	4.5 x 3	4.5 x 3	4.5 x 3
วันปลูก	6 ม.ค. 2565	6 ม.ค. 2566	24 ธ.ค. 2566	10 เม.ย. 2567	4 มี.ค. 2567
วันเก็บเกี่ยว	19 มี.ค. 2566	24 มี.ค. 2566	5 มี.ค. 2567	16 มิ.ย. 2567	8 พ.ค. 2567

สมบัติของปุ๋ยมูลไก่เกลบ

ผลวิเคราะห์สมบัติของปุ๋ยมูลไก่เกลบที่ใช้ในการทดลอง ปี 2565-2567 พบว่า มีปฏิกิริยาเป็นกลางถึงเป็นด่างปานกลาง ปริมาณอินทรีย์วัตถุ ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด ฟอสเฟตทั้งหมด โพแทชทั้งหมด ความชื้นปุ๋ย สัดส่วนระหว่างคาร์บอนและไนโตรเจน อยู่ในเกณฑ์มาตรฐานของปุ๋ยอินทรีย์ สำหรับค่าการนำไฟฟ้าอยู่ในระดับที่สูงกว่าค่ามาตรฐาน ควรใส่ปุ๋ยมูลไก่เกลบลงดิน ทำการคลุกเคล้ากับดิน ประมาณ 2 สัปดาห์ก่อนปลูก (ตารางที่ 3)

ตารางที่ 3 ผลวิเคราะห์สมบัติของปุ๋ยมูลไก่เกลบ ปี 2565-2567

รายการ	ปุ๋ยมูลไก่เกลบ* (ปี 2565)	ปุ๋ยมูลไก่เกลบ* (ปี 2566)	ปุ๋ยมูลไก่เกลบ* (ปี 2567)	เกณฑ์มาตรฐาน ปุ๋ยอินทรีย์**
ความเป็นกรด-ด่าง (pH) (1:2) ¹	7.1	6.9	8.21	5.5-8.5
ค่าการนำไฟฟ้าของดิน (EC) (1:10) (mS/cm)	7.29	8.13	7.49	≤6
อินทรีย์วัตถุ (%)	54	56	65	≥30
อินทรีย์คาร์บอน (%)	31	32	38	-
ไนโตรเจนทั้งหมด (%N)	1.82	2.8	2.6	≥1.0
ฟอสเฟตทั้งหมด (%P ₂ O ₅)	3.21	0.8	1.2	≥0.5
โพแทชทั้งหมด (%K ₂ O)	3.24	2.47	6.67	≥0.5
แคลเซียมทั้งหมด (%Ca)	1.19	1.96	1.83	-
แมกนีเซียมทั้งหมด (%Mg)	1.05	0.73	5.79	-
อัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน (C/N ratio)	17:1	12:1	14:1	≤20:1
ความชื้น (%)	25.84	23.7	22.6	<35

* วิเคราะห์ห้องปฏิบัติการโครงการพัฒนาวิชาการดิน ปุ๋ย และสิ่งแวดล้อม ภาควิชาปฐพีวิทยา คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

** กรมวิชาการเกษตร (2548)

การวิเคราะห์สถิติ

วิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติโดยใช้ analysis of variance และเปรียบเทียบความต่างของค่าเฉลี่ยใช้ Duncan's Multiple Range Test

ระยะเวลา เริ่มต้น ตุลาคม 2564 สิ้นสุด กันยายน 2567

สถานที่ทำการทดลอง

1. ไร้เกษตรกร หมู่ 2 ตำบลพันลาน อำเภอชุมแสง จังหวัดนครสวรรค์ พิกัดแปลง 47P 634035E 175721N
2. ไร้เกษตรกร หมู่ 2 ตำบลโคกหม้อ อำเภอชุมแสง จังหวัดนครสวรรค์ พิกัดแปลง 47P 633890 E 1752238 N
3. ไร้เกษตรกร หมู่ 2 ตำบลโคกหม้อ อำเภอชุมแสง จังหวัดนครสวรรค์ พิกัดแปลง 47P 633678 E 1751768 N
4. กลุ่มวิจัยปฐพีวิทยา กองวิจัยพัฒนาปัจจัยการผลิตทางการเกษตร กรมวิชาการเกษตร

ผลการทดลองและวิจารณ์

1. ผลของการใช้ผลิตภัณฑ์ชีวภาพจุลินทรีย์ร่วมกับชีวมวลในการผลิตข้าวโพดหวานตาม GAP ในดินร่วน-ร่วนปนทราย จังหวัดนครสวรรค์

1.1 สมบัติของดินหลังเก็บเกี่ยวข้าวโพดหวาน

ผลการทดลองพบว่า การผลิตข้าวโพดหวานโดยใช้ปุ๋ยเคมี มูลไก่เกลบ และปุ๋ยชีวภาพไมคอร์ไรซาในดินร่วนไม่ทำให้สมบัติของดินหลังเก็บเกี่ยวข้าวโพดหวานแตกต่างกัน โดยมีดินความเป็นกรดจัดมากเฉลี่ย 4.8-5.0 ปริมาณอินทรีย์วัตถุอยู่ในระดับปานกลาง มีค่าเฉลี่ย 1.37-1.72% ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์อยู่ในระดับสูง มีค่าเฉลี่ย 22-31 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม และโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้อยู่ในระดับปานกลางถึงสูง มีค่าเฉลี่ย 94-138 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม เมื่อเปรียบเทียบกับดินก่อนปลูก พบว่า ดินมีความเป็นกรด-ด่างเพิ่มขึ้นเนื่องจากการปรับปรุงดินด้วยปูนโดโลไมท์ โดยมีค่า pH เพิ่มขึ้นจาก 4.8 เป็น 5.0 สำหรับปริมาณอินทรีย์วัตถุและฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์มีปริมาณเพิ่มขึ้นในปีที่สอง เท่ากับ 19% และ 53% ตามลำดับ นอกจากนี้ยังพบว่า จำนวนสปอร์อาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาในดินเฉลี่ยมีปริมาณเพิ่มขึ้นจาก 8 สปอร์ต่อดิน 100 กรัมในดินก่อนปลูก เป็น 181-184 สปอร์ต่อดิน 100 กรัม เนื่องจากรากของข้าวโพดหวานเป็นพืชอาศัยของเชื้อราไมคอร์ไรซา จึงทำให้เชื้อราดังกล่าวสามารถเพิ่มประสิทธิภาพในการสร้างสปอร์ และช่วยเพิ่มศักยภาพในการดูดใช้ธาตุอาหารให้แก่พืช (Poomipan, 2023) (ตารางที่ 4)

ตารางที่ 4 ผลวิเคราะห์สมบัติของดินหลังเก็บเกี่ยวข้าวโพดหวานที่ระดับความลึก 0-20 เซนติเมตร ที่ไร่เกษตรกร ต.พินลาน อ.ชุมแสง จ.นครสวรรค์

กรรมวิธี	pH (1:1)		อินทรีย์วัตถุ (%)		ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ (มก./กก)		โพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ (มก./กก.)		จำนวนสปอร์ AMF (สปอร์/ดิน 100 ก.)	
ฤดูปลูกปี	2565	2566	2565	2566	2565	2566	2565	2566	2565	2566
1. Control	4.8	5.0	1.55	1.47	20	30	86	137	110	173
2. RDF	4.5	5.1	1.28	1.74	19	32	90	131	172	195
3. RDF+CM	4.7	5.0	1.37	1.74	25	34	97	146	139	110
4. RDF+CM+AMF	4.8	4.9	1.54	1.65	26	27	104	122	252	197
5. 0.75RDF+CM	4.9	5.0	1.25	1.86	22	30	93	140	212	209
6. 0.75RDF+CM+AMF	4.9	5.0	1.37	1.69	22	29	73	122	183	165
7. CM+AMF	5.1	4.9	1.25	1.88	21	38	115	167	221	222
เฉลี่ย	4.8	5.0	1.37	1.72	22	31	94	138	184	181
F-test	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
CV (%)	5.9	3.5	16.0	14.2	21.8	31.1	30.2	22.8	56.0	33.9

หมายเหตุ RDF (Recommendation Fertilizer) = ใส่ปุ๋ยเคมีอัตรา 20-6-15 กิโลกรัม N-P₂O₅-K₂O ต่อไร่
 CM (Chicken Manure Compost) = ใส่มูลไก่เกลบอัตรา 1 ตันน้ำหนกแห้งต่อไร่
 AMF (Arbuscular Mycorrhiza Fungi) = ใส่ปุ๋ยชีวภาพไมคอร์ไรซา อัตรา 5 กรัมต่อหลุม

1.2 ผลผลิตและองค์ประกอบผลผลิตของข้าวโพดหวาน

การผลิตข้าวโพดหวานโดยการใส่ปุ๋ยเคมี มูลไก่เกลบ และปุ๋ยชีวภาพไมคอร์ไรซา ไม่ทำให้จำนวนต้น และจำนวนฝักทั้งหมดแตกต่างกันทางสถิติ โดยให้จำนวนต้นเฉลี่ย 8,417-8700 ต้นต่อไร่ และให้จำนวนฝักทั้งหมดเฉลี่ย 8,043-8,514 ฝักต่อไร่ แต่ทำให้น้ำหนักต้น จำนวนฝักที่ได้มาตรฐาน ผลผลิตฝักทั้งเปลือก และผลผลิตที่ได้มาตรฐานแตกต่างกันทางสถิติ โดยฤดูปลูกปี 2565 การใส่ปุ๋ยเคมีอัตรา 15-4.5-11.3 กิโลกรัม N-P₂O₅-K₂O ต่อไร่ ร่วมกับปุ๋ยมูลไก่เกลบ (0.75RDF+CM) ทำให้น้ำหนักต้นสูงสุด 5,716 กิโลกรัมต่อไร่ และในฤดูปลูกปี 2566 การใส่ปุ๋ยเคมีตามคำแนะนำอัตรา 20-6-15 กิโลกรัม N-P₂O₅-K₂O ต่อไร่ ร่วมกับปุ๋ยมูลไก่เกลบ ทำให้น้ำหนักต้นสูงสุด 6,197 กิโลกรัมต่อไร่ ซึ่งทำให้น้ำหนักต้นสูงกว่ากรรมวิธีไม่ใส่ปุ๋ย 37-73% สำหรับผลผลิตของข้าวโพดหวานที่ได้มาตรฐาน พบว่า ในฤดูปลูกปี 2565 การใส่ปุ๋ยเคมีตามคำแนะนำอัตรา 20-6-15 กิโลกรัม N-P₂O₅-K₂O ต่อไร่ ร่วมกับปุ๋ยมูลไก่เกลบ และปุ๋ยชีวภาพอาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซา (RDF+CM+AMF) ให้ผลผลิตข้าวโพดหวานที่ได้มาตรฐานสูงสุด 2,367 กิโลกรัมต่อไร่ ไม่แตกต่างกับการใส่ปุ๋ยเคมีตามคำแนะนำอัตรา 20-6-15 กิโลกรัม N-P₂O₅-K₂O ต่อไร่ ร่วมกับปุ๋ยมูลไก่เกลบ (RDF+CM+AMF) ในฤดูปลูกปี 2566 การใส่ปุ๋ยเคมีตามคำแนะนำอัตรา 20-6-15 กิโลกรัม N-P₂O₅-K₂O ต่อไร่ ร่วมกับปุ๋ยมูลไก่เกลบ ให้ผลผลิตข้าวโพดหวานที่มาตรฐานสูงสุด 3,463 กิโลกรัมต่อไร่ (ตารางที่ 5) สอดคล้องกับผลการวิจัยของ Domyos *et al.* (2018) รายงานว่า การใส่ปุ๋ยเคมีตามค่าวิเคราะห์ดิน ร่วมกับปุ๋ยอินทรีย์ ทำให้อายุข้าวโพดหวานมีผลผลิตสูงสุด ทั้งนี้เนื่องจากการใส่ปุ๋ยเคมีร่วมกับปุ๋ยมูลไก่เกลบช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการดูดซับธาตุอาหาร ช่วยปรับปรุงโครงสร้างของดิน ทำให้ดินอุ้มน้ำดีขึ้น และลดการสูญเสียธาตุอาหารพืช พืชสามารถได้รับธาตุอาหารในปริมาณเพียงพอต่อการเจริญเติบโตและการให้ผลผลิตของพืช (คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา, 2548)

ตารางที่ 5 ผลผลิต และองค์ประกอบผลผลิตของข้าวโพดหวานที่ปลูกในดินร่วน-ร่วนปนทราย ที่ไร่เกษตรกร ต.พันลาน อ.ชุมแสง จ.นครสวรรค์

กรรมวิธี	จำนวนต้น (ต้น/ไร่)		น้ำหนักต้น (กก./ไร่)		จำนวนฝักทั้งหมด (ฝัก/ไร่)		จำนวนฝักที่ได้ มาตรฐาน (ฝัก/ไร่)		ผลผลิตฝักทั้งเปลือก (กก./ไร่)		ผลผลิตที่ได้ มาตรฐาน (กก./ไร่)	
ฤดูปลูกปี	2565	2566	2565	2566	2565	2566	2565	2566	2565	2566	2565	2566
1. Control	8,222	8,667	4,179 c	3,585 c	8,033	8,267	4,100	4,833 d	2,240 b	2,397 c	1,271 b	1,717 c
2. RDF	8,433	8,533	4,753 bc	4,832 b	7,900	8,133	5,667	6,567 abc	2,954 a	3,372 b	2,370 a	2,876 b
3. RDF+CM	8,333	8,733	5,678 a	6,197 a	8,067	9,067	5,433	7,100 ab	3,020 a	4,060 a	2,340 a	3,463 a
4. RDF+CM+AMF	8,500	9,033	5,594 a	5,504 ab	8,100	8,733	5,667	7,200 a	2,954 a	3,773 ab	2,367 a	3,290 ab
5. 0.75RDF+CM	8,467	8,733	5,716 a	5,543 ab	7,867	8,333	4,767	5,900 c	2,944 a	3,765 ab	2,324 a	2,975 ab
6. 0.75RDF+CM+AMF	8,467	8,833	5,241 ab	5,586 ab	8,200	8,900	5,233	6,634 abc	2,860 a	3,930 a	2,063 a	3,134 ab
7. CM+AMF	8,500	8,567	5,059 ab	4,713 ab	8,133	8,167	4,567	6,200 bc	2,720 ab	3,485 b	1,885 ab	2,895 b
เฉลี่ย	8,417	8,700	5,174	5,137	8,043	8,514	5,062	6,348	2,813	3,540	2,089	2,907
F-test	ns	ns	**	**	ns	ns	ns	**	ns	**	**	**
CV (%)	1.7	4.8	8.5	12.1	4.9	7.3	21.3	9.0	13.5	7.5	14.0	11.4

หมายเหตุ ns = ไม่มีความแตกต่างทางสถิติ ** = แตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 99%

ค่าเฉลี่ยในคอลัมน์เดียวกันที่ตามด้วยตัวอักษรเหมือนกันค่าไม่แตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% โดยวิธี DMRT

RDF (Recommendation Fertilizer) = ใส่ปุ๋ยเคมีอัตรา 20-6-15 กิโลกรัม N-P₂O₅-K₂O ต่อไร่

CM (Chicken Manure Compost) = ใส่มูลไก่เกลบอัตรา 1 ตันน้ำหนักแห้งต่อไร่

AMF (Arbuscular Mycorrhiza Fungi) = ใส่ปุ๋ยชีวภาพไมคอร์ไรซา อัตรา 5 กรัมต่อหลุม

1.3 คุณภาพผลผลิตของข้าวโพดหวาน

น้ำหนักฝักปอกเปลือกของข้าวโพดหวาน พบว่า ในฤดูปลูกปี 2565 การใช้ปุ๋ยเคมีตามคำแนะนำอัตรา 20-6-15 กิโลกรัม N-P₂O₅-K₂O ต่อไร่ ร่วมกับปุ๋ยมูลไก่เกลบให้น้ำหนักฝักปอกเปลือกสูงสุด 349 กรัมต่อฝัก ในขณะที่ฤดูปลูกปี 2566 การใช้ปุ๋ยเคมี 75% ของคำแนะนำร่วมกับปุ๋ยมูลไก่เกลบ และปุ๋ยชีวภาพไมคอร์ไรซา ให้น้ำหนักฝักปอกเปลือกสูงสุด 349 กรัมต่อฝัก ไม่แตกต่างกับการใช้ปุ๋ยมูลไก่และปุ๋ยชีวภาพไมคอร์ไรซา (ตารางที่ 6) โดยอยู่ในระดับที่สูงกว่าเกณฑ์มาตรฐานของฝักข้าวโพดหวานที่โรงงานต้องการคือ 200-250 กรัมต่อฝัก (กรมวิชาการเกษตร, 2545)

ความกว้างฝักของข้าวโพดหวาน พบว่า ในฤดูปลูกปี 2565 การใช้ปุ๋ยเคมีตามคำแนะนำอัตรา 20-6-15 กิโลกรัม N-P₂O₅-K₂O ต่อไร่ ร่วมกับปุ๋ยมูลไก่เกลบให้ความกว้างฝักสูงสุด 5.46 เซนติเมตร ในขณะที่ฤดูปลูกปี 2566 การใช้ปุ๋ยเคมี 75% ของคำแนะนำร่วมกับปุ๋ยมูลไก่เกลบ ให้ความกว้างฝักสูงสุด 5.53 เซนติเมตร ไม่แตกต่างกับการใช้ปุ๋ยมูลไก่และปุ๋ยชีวภาพไมคอร์ไรซา (ตารางที่ 6) ซึ่งลักษณะของฝักข้าวโพดหวานที่ดีควรมีเส้นผ่านศูนย์กลางฝัก 4-5 เซนติเมตร (สถาบันวิจัยพืชไร่และพืชทดแทนพลังงาน, 2563)

ความยาวฝักและความหวานของข้าวโพดหวาน พบว่า การใช้ปุ๋ยเคมี มูลไก่เกลบ และปุ๋ยชีวภาพไมคอร์ไรซา ไม่ทำให้ความยาวฝักและความหวานแตกต่างกันทางสถิติ โดยให้ความยาวฝักเฉลี่ย 20.6-21.4 เซนติเมตร และความหวานเฉลี่ย 13.1-14.6 องศาบริกซ์ (ตารางที่ 6) ซึ่งตามลักษณะของผลผลิตข้าวโพดหวานที่ดีควรมีความยาวฝัก 18-20 เซนติเมตร และความหวานไม่ต่ำกว่า 12 องศาบริกซ์ (สถาบันวิจัยพืชไร่และพืชทดแทนพลังงาน, 2563)

ตารางที่ 6 น้ำหนักฝักปอกเปลือก ความกว้าง ความยาวฝัก และความหวานของข้าวโพดหวานที่ปลูกในดินร่วน-ร่วนปนทราย ที่ไร่เกษตรกร ต.พันสาน อ.ชุมแสง จ.นครสวรรค์

กรรมวิธี	น้ำหนักฝักปอกเปลือก		ความกว้างฝัก		ความยาวฝัก		ความหวาน	
	(ก./ฝัก)		(ซม.)		(ซม.)		(องศาบริกซ์)	
ฤดูปลูกปี	2565	2566	2565	2566	2565	2566	2565	2566
1. Control	306 b	305 b	5.24 b	5.12 c	20.4	20.9	12.6	15.0
2. RDF	319 ab	360 a	5.31 ab	5.43 ab	20.4	21.8	13.7	14.8
3. RDF+CM	349 a	376 a	5.46 a	5.41 ab	20.3	21.6	13.2	14.2
4. RDF+CM+AMF	342 a	353 a	5.44 a	5.23 bc	20.5	21.2	12.8	14.5
5. 0.75RDF+CM	341 a	374 a	5.43 a	5.53 a	21.2	21.6	12.9	14.6
6. 0.75RDF+CM+AMF	338 ab	380 a	5.37 ab	5.40 ab	21.2	21.8	13.1	14.4
7. CM+AMF	338 ab	358 a	5.35 ab	5.40 ab	20.6	21.1	13.2	14.4
เฉลี่ย	333	358	5.37	5.36	20.6	21.4	13.1	14.6
F-test	**	**	**	**	ns	ns	ns	ns
CV (%)	4.4	5.8	1.5	2.1	2.8	2.8	4.0	3.2

หมายเหตุ ns = ไม่มีความแตกต่างทางสถิติ ** = แตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 99%
ค่าเฉลี่ยในคอลัมน์เดียวกันที่ตามด้วยตัวอักษรเหมือนกันค่าไม่แตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% โดยวิธี DMRT
RDF (Recommendation Fertilizer) = ใส่ปุ๋ยเคมีอัตรา 20-6-15 กิโลกรัม N-P₂O₅-K₂O ต่อไร่
CM (Chicken Manure Compost) = ใส่มูลไก่เกลบอัตรา 1 ตันน้ำหนักแห้งต่อไร่
AMF (Arbuscular Mycorrhiza Fungi) = ใส่ปุ๋ยชีวภาพไมคอร์ไรซา อัตรา 5 กรัมต่อหลุม

1.4 ผลตอบแทนทางเศรษฐกิจ

การใส่ปุ๋ยเคมี ปุ๋ยอินทรีย์จากชีวมวล และปุ๋ยชีวภาพเป็นปัจจัยที่สำคัญในการเพิ่มผลผลิตพืช แต่ทั้งนี้การพิจารณาว่าการใช้ปุ๋ยแต่ละชนิดว่าคุ้มค่ากับการลงทุน จะต้องวิเคราะห์ผลตอบแทนทางเศรษฐกิจ โดยพิจารณาอัตราส่วนระหว่างรายได้ที่เพิ่มขึ้นต่อรายจ่ายจากการใช้ปุ๋ย (Value to cost ratio, VCR) โดยกรรมวิธีการใส่ปุ๋ยใดที่ให้ผลตอบแทนทางเศรษฐกิจ VCR ที่มีค่ามากกว่า 2 แสดงให้เห็นว่า การปลูกข้าวโพดหวานโดยใช้ปุ๋ยในอัตราดังกล่าวให้ผลตอบแทนที่คุ้มค่าต่อการลงทุน (Pervaiz *et al.*, 2004) ซึ่งสามารถนำไปเป็นแนวทางในการผลิตข้าวโพดหวานเพื่อลดต้นทุนและได้ผลผลิตพืชที่คุ้มค่ากับการลงทุน

ผลตอบแทนทางเศรษฐกิจของข้าวโพดหวานที่ปลูกในดินร่วน ไร่เกษตรกร ต.พันลาน อ.ชุมแสง จ.นครสวรรค์ พบว่า ฤดูปลูกปี 2565 การใช้ปุ๋ยเคมีตามคำแนะนำอัตรา 20-6-15 กิโลกรัม N-P₂O₅-K₂O ต่อไร่ ให้ผลตอบแทนทางเศรษฐกิจที่คุ้มค่าต่อการลงทุน ให้ VCR เท่ากับ 2.72 สำหรับฤดูปลูกปี 2566 พบว่า การใช้ปุ๋ยเคมีตามคำแนะนำอัตรา 20-6-15 กิโลกรัม N-P₂O₅-K₂O ต่อไร่ การใช้ปุ๋ยเคมีตามคำแนะนำอัตรา 20-6-15 กิโลกรัม N-P₂O₅-K₂O ต่อไร่ ร่วมกับปุ๋ยมูลไก่เกลบ และการใช้ปุ๋ยเคมี 75% ของคำแนะนำร่วมกับปุ๋ยมูลไก่เกลบ ให้ผลตอบแทนที่คุ้มค่าต่อการลงทุน VCR เท่ากับ 2.87 2.50 และ 2.10 ตามลำดับ (ตารางที่ 7)

ตารางที่ 7 ผลตอบแทนทางเศรษฐกิจจากการใช้ผลิตภัณฑ์ชีวภาพจุลินทรีย์ร่วมกับชีวมวล สำหรับข้าวโพดหวานที่ปลูกในดินร่วน-ร่วนปนทราย ที่ไร่เกษตรกร ต.พันลาน อ.ชุมแสง จ.นครสวรรค์

กรรมวิธี	ผลผลิต (กก./ไร่)	ผลผลิตเพิ่ม (กก./ไร่)	ผลผลิตเพิ่ม (%)	มูลค่าผลผลิตเพิ่ม (บาท/ไร่)	มูลค่าปุ๋ยที่ใช้ (บาท/ไร่)	VCR
ฤดูปลูกปี 2565						
1. Control	1,271					
2. RDF	2,370	1,099	86.47	4,946	1,817	2.72
3. RDF + CM	2,340	1069	84.11	4,811	3,147	1.53
4. RDF + CM + AMF	2,367	1096	86.23	4,932	8,266	0.60
5. 0.75 RDF + CM	2,324	1053	82.85	4,739	2,693	1.76
6. 0.75 RDF + CM + AMF	2,063	792	62.31	3,564	7,812	0.46
7. CM + AMF	1,885	614	48.31	2,763	6,450	0.43
ฤดูปลูกปี 2566						
1. Control	1,717					
2. RDF	2,876	1,159	67.50	5,216	1,817	2.87
3. RDF + CM	3,463	1746	101.69	7,857	3,147	2.50
4. RDF + CM + AMF	3,290	1573	91.61	7,079	8,266	0.86
5. 0.75 RDF + CM	2,975	1258	73.27	5,661	2,693	2.10
6. 0.75 RDF + CM + AMF	3,134	1417	82.53	6,377	7,812	0.82
7. CM + AMF	2,895	1178	68.61	5,301	6,450	0.82

หมายเหตุ ราคาปุ๋ยเคมีเดือนธันวาคม 2564: ปุ๋ยเคมี 46-0-0 ราคา 21.2 บาทต่อกิโลกรัม ปุ๋ยเคมี 18-46-0 ราคา 29.0 บาทต่อกิโลกรัม ปุ๋ยเคมี 0-0-60 ราคา 25.0 บาทต่อกิโลกรัม (สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร, 2565)

ปุ๋ยมูลไก่เกลบ ราคา 1.33 บาทต่อกิโลกรัม

ปุ๋ยชีวภาพอาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซา ราคา 120 บาทต่อกิโลกรัม

ข้าวโพดหวานทั้งเปลือก ราคา 4.50 บาทต่อกิโลกรัม

2. ศึกษาการขยายผลกึ่งทดสอบเทคโนโลยีในพื้นที่เกษตรกรผู้ปลูกข้าวโพดหวานในดินร่วน-ร่วนปนทราย

2.1 ผลผลิตและองค์ประกอบผลผลิต

จำนวนต้นของข้าวโพดหวาน พบว่า การใช้ปุ๋ยเคมี ปุ๋ยมูลไก่เกลบ และปุ๋ยชีวภาพไมคอร์ไรซาไม่ทำให้จำนวนต้นของข้าวโพดหวาน แตกต่างกันทางสถิติ โดยให้จำนวนต้นของข้าวโพดหวานเฉลี่ย 7,520-8,444 ต้นต่อไร่ (ตารางที่ 8)

น้ำหนักต้นของข้าวโพดหวาน พบว่า การใช้ปุ๋ยเคมี ปุ๋ยมูลไก่เกลบ และปุ๋ยชีวภาพไมคอร์ไรซา ทำให้น้ำหนักต้นของข้าวโพดหวานในแปลงที่ 2 แตกต่างกันทางสถิติ โดยการใช้ปุ๋ยเคมีตามคำแนะนำอัตรา 20-6-15 กิโลกรัม $N-P_2O_5-K_2O$ ต่อไร่ ร่วมกับปุ๋ยมูลไก่เกลบและปุ๋ยชีวภาพไมคอร์ไรซา ทำให้น้ำหนักต้นข้าวโพดหวานสูงสุด 3,496 กิโลกรัมต่อไร่ แตกต่างกับกรรมวิธีควบคุมซึ่งไม่ใส่ปุ๋ยเคมี ปุ๋ยมูลไก่เกลบและปุ๋ยชีวภาพไมคอร์ไรซา สำหรับแปลงที่ 1 และ 3 พบว่า การใช้ปุ๋ยเคมี ปุ๋ยมูลไก่เกลบ และปุ๋ยชีวภาพไมคอร์ไรซา ไม่ทำให้น้ำหนักต้นของข้าวโพดหวานแตกต่างกันทางสถิติ โดยให้น้ำหนักต้นของข้าวโพดหวานเฉลี่ย 4,013 และ 4,043 กิโลกรัมต่อไร่ ตามลำดับ (ตารางที่ 8)

จำนวนฝักทั้งหมด พบว่า การจัดการธาตุอาหารพืชร่วมกับการใช้ผลิตภัณฑ์ชีวภาพจุลินทรีย์และชีวมวลกรรมวิธีต่างๆ ไม่ทำให้น้ำหนักฝักทั้งหมดของข้าวโพดหวาน แปลงที่ 2 และ 3 แตกต่างกันทางสถิติ โดยให้จำนวนฝักทั้งหมดของข้าวโพดหวานเฉลี่ย 8,114 และ 8,187 ตามลำดับ แต่ทำให้น้ำหนักฝักของข้าวโพดหวานแปลงที่ 1 แตกต่างกันทางสถิติ โดยการใช้ปุ๋ยเคมีอัตรา 20-6-15 กิโลกรัม $N-P_2O_5-K_2O$ ต่อไร่ ร่วมกับปุ๋ยมูลไก่เกลบ ให้จำนวนฝักทั้งหมดสูงสุด 7,733 ฝักต่อไร่ แตกต่างกับกรรมวิธีควบคุมซึ่งให้จำนวนฝักทั้งหมด 6,222 ฝักต่อไร่ (ตารางที่ 8)

เมื่อพิจารณาจำนวนฝักที่ได้มาตรฐาน การจัดการธาตุอาหารพืชร่วมกับการใช้ผลิตภัณฑ์ชีวภาพจุลินทรีย์และชีวมวลกรรมวิธีต่างๆ ไม่ทำให้น้ำหนักฝักที่ได้มาตรฐานของข้าวโพดหวานแตกต่างกัน โดยให้จำนวนฝักที่ได้มาตรฐานเฉลี่ย 4,063-5,633 ฝักต่อไร่ (ตารางที่ 9)

ผลผลิตของข้าวโพดหวาน พบว่า การใช้ปุ๋ยเคมี ปุ๋ยมูลไก่เกลบ และปุ๋ยชีวภาพไมคอร์ไรซา ให้ผลผลิตทั้งหมดของข้าวโพดหวานแปลง 1 และ 2 แตกต่างกันทางสถิติ โดยการใช้ปุ๋ยเคมีตามคำแนะนำอัตรา 20-6-15 กิโลกรัม $N-P_2O_5-K_2O$ ต่อไร่ ร่วมกับปุ๋ยมูลไก่เกลบ ให้ผลผลิตทั้งหมดของข้าวโพดหวานสูงสุด 2,856 และ 2,797 กิโลกรัมต่อไร่ ตามลำดับ ซึ่งให้ผลผลิตสูงกว่ากรรมวิธีควบคุมที่ไม่มีการใส่ปุ๋ยเคมี ปุ๋ยมูลไก่เกลบ และปุ๋ยชีวภาพไมคอร์ไรซา เท่ากับ 25-30 เปอร์เซ็นต์ สอดคล้องกับงานวิจัยของ Domyos *et al.* (2018) รายงานว่า การใช้ปุ๋ยเคมีตามค่าวิเคราะห์ดินร่วมกับปุ๋ยอินทรีย์ ทำให้อายุข้าวโพดหวานมีผลผลิตสูงสุด สำหรับแปลงที่ 3 การใช้ปุ๋ยเคมี ปุ๋ยมูลไก่เกลบ และปุ๋ยชีวภาพไมคอร์ไรซา ไม่ทำให้ผลผลิตทั้งหมดของข้าวโพดหวานแตกต่างกันทางสถิติ โดยให้ผลผลิตทั้งหมดเฉลี่ย 3,024 กิโลกรัมต่อไร่ (ตารางที่ 9)

เมื่อพิจารณาผลผลิตที่ได้มาตรฐาน พบว่า การใช้ปุ๋ยเคมี ปุ๋ยมูลไก่เกลบ และปุ๋ยชีวภาพไมคอร์ไรซาไม่ทำให้ผลผลิตที่ได้มาตรฐานในแปลงที่ 1 และ 3 แตกต่างกัน โดยให้ผลผลิตที่ได้มาตรฐานเฉลี่ย 1,777-2,305 กิโลกรัมต่อไร่ แต่ในแปลงที่ 2 การจัดการธาตุอาหารพืชกรรมวิธีต่างๆ ทำให้อายุข้าวโพดหวานที่ได้มาตรฐานแตกต่างกัน โดยการใช้ปุ๋ยเคมี 75% ของคำแนะนำ ร่วมกับปุ๋ยมูลไก่เกลบและปุ๋ยชีวภาพไมคอร์ไรซา ให้ผลผลิตข้าวโพดหวานที่ได้มาตรฐานสูงสุด 1,852 กิโลกรัมต่อไร่ ซึ่งสูงกว่ากรรมวิธีควบคุม 33 เปอร์เซ็นต์ (ตารางที่ 9)

ตารางที่ 8 จำนวนต้นต่อไร่ น้ำหนักต้นต่อไร่ และจำนวนฝักทั้งหมดต่อไร่ของข้าวโพดหวานที่ปลูกในดินร่วน-ร่วนปนทราย ที่ไร่เกษตรกร จังหวัดนครสวรรค์ ฤดูปลูกปี 2567

กรรมวิธี	จำนวนต้น (ต้น/ไร่)			น้ำหนักต้น (กก./ไร่)			จำนวนฝักทั้งหมด (ฝัก/ไร่)		
	แปลง 1	แปลง 2	แปลง 3	แปลง 1	แปลง 2	แปลง 3	แปลง 1	แปลง 2	แปลง 3
1. Control	6,637	8,385	7,800	3,445	2,622 b	3,813	6,222 b	6,988	8,333
2. RDF	7,733	8,415	7,433	3,924	3,408 a	4,043	6,963 ab	8,358	7,867
3. RDF + CM	8,089	8,444	7,500	4,404	3,447 a	4,113	7,733 a	8,549	8,633
4. RDF + CM + AMF	8,119	8,385	7,533	4,167	3,496 a	4,263	7,437 a	8,227	8,200
5. 0.75 RDF + CM + AMF	7,407	8,592	7,333	4,125	3,463 a	3,983	6,874 ab	8,449	7,900
เฉลี่ย	7,597	8,444	7,520	4,013	3,287	4,043	7,046	8,114	8,187
F-test	ns	ns	ns	ns	**	ns	*	ns	ns
CV (%)	9.1	3.6	10.9	12.1	8.3	8.9	8.0	12.5	7.3

หมายเหตุ ns = ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ * = แตกต่างกันอย่างสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95%
 ** = แตกต่างกันอย่างสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 99%
 ค่าเฉลี่ยในคอลัมน์เดียวกันที่ตามด้วยตัวอักษรเหมือนกันมีค่าไม่แตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% โดยวิธี Duncan's multiple range test (DMRT)

ตารางที่ 9 จำนวนฝักที่ได้มาตรฐาน ผลผลิตทั้งหมด และผลผลิตที่ได้มาตรฐานของข้าวโพดหวานที่ปลูกในดินร่วน-ร่วนปนทราย ที่ไร่เกษตรกร จังหวัดนครสวรรค์ ฤดูปลูกปี 2567

กรรมวิธี	จำนวนฝักที่ได้มาตรฐาน			ผลผลิตทั้งหมด (กก./ไร่)			ผลผลิตที่ได้มาตรฐาน (กก./ไร่)		
	แปลง 1	แปลง 2	แปลง 3	แปลง 1	แปลง 2	แปลง 3	แปลง 1	แปลง 2	แปลง 3
1. Control	3,487	3,873	5,700	2,154 b	1,968 c	2,813	1,548	1,223 b	2,240
2. RDF	3,881	4,276	4,933	2,560 a	2,537 b	2,867	1,656	1,592 ab	2,027
3. RDF + CM	4,563	4,387	6,200	2,856 a	2,797 a	3,167	2,047	1,735 a	2,500
4. RDF + CM + AMF	4,326	4,399	5,300	2,764 a	2,534 b	3,073	1,873	1,651 a	2,223
5. 0.75 RDF + CM + AMF	4,059	5,007	6,033	2,613 a	2,659 ab	3,073	1,763	1,852 a	2,533
เฉลี่ย	4,063	4,388	5,633	2,590	2,499	2,999	1,777	1,610	2,305
F-test	ns	ns	ns	**	**	ns	ns	*	ns
CV (%)	15.3	16.9	15.5	7.8	6.0	9.3	16.8	16.0	12.9

หมายเหตุ ns = ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ * = แตกต่างกันอย่างสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95%
 ** = แตกต่างกันอย่างสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 99%
 ค่าเฉลี่ยในคอลัมน์เดียวกันที่ตามด้วยตัวอักษรเหมือนกันมีค่าไม่แตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% โดยวิธี Duncan's multiple range test (DMRT)

2.2 คุณภาพผลผลิตของข้าวโพดหวาน

การจัดการธาตุอาหารพืชร่วมกับการใช้ผลิตภัณฑ์ชีวภาพจุลินทรีย์และชีวมวลกรรมวิธีต่างๆ ไม่ทำให้น้ำหนักฝักปอกเปลือก ความกว้างฝัก ความยาวฝัก และความหวานของข้าวโพดหวานแตกต่างกันทางสถิติ โดยทั้ง 3 แปลง ให้น้ำหนักฝักปอกเปลือกของข้าวโพดหวานเฉลี่ย 285-308 กรัมต่อฝัก (ตารางที่ 10) ซึ่งอยู่ในระดับที่สูงกว่าเกณฑ์มาตรฐานของฝักข้าวโพดหวานที่โรงงานต้องการ คือ 200-250 กรัมต่อฝัก (กรมวิชาการเกษตร, 2545) ความกว้างฝักของข้าวโพดหวานเฉลี่ย 4.96-5.29 เซนติเมตร มีความยาวฝักเฉลี่ย 20.2-22.0 เซนติเมตร และความหวานของข้าวโพดหวานเฉลี่ย 10.6-14.5 องศาบริกซ์ (ตารางที่ 10) ซึ่งลักษณะของฝักข้าวโพดหวานที่ดีควรมีเส้นผ่านศูนย์กลางฝัก/ความกว้างฝัก 4-5 เซนติเมตร ความยาวฝัก 18-20 เซนติเมตร และความหวานไม่ต่ำกว่า 12 องศาบริกซ์ (สถาบันวิจัยพืชไร่และพืชทดแทนพลังงาน, 2563)

ตารางที่ 10 น้ำหนักฝักปอกเปลือก ความกว้าง ความยาวฝัก และความหวานของข้าวโพดหวานที่ปลูกในดิน
ร่วน-ร่วนปนทราย ที่ไร่อเกษตรกร จังหวัดนครสวรรค์ ฤดูปลูกปี 2567

กรรมวิธี	น้ำหนักฝักปอกเปลือก (กรัม/ฝัก)			ความกว้างฝัก (ซม.)			ความยาวฝัก (ซม.)			ความหวาน (องศาบริกซ์)		
	แปลง 1	แปลง 2	แปลง 3	แปลง 1	แปลง 2	แปลง 3	แปลง 1	แปลง 2	แปลง 3	แปลง 1	แปลง 2	แปลง 3
1. Control	309	294	280	5.24	4.98	4.93	20.2	20.0	22.2	14.8	12.2	10.7
2. RDF	295	317	282	5.21	5.06	4.88	19.8	21.8	22.3	14.4	12.4	10.5
3. RDF + CM	321	279	298	5.36	5.07	5.02	20.2	21.1	21.9	14.6	12.1	10.8
4. RDF + CM + AMF	307	304	276	5.35	5.04	4.93	19.5	21.2	22.3	14.6	13.0	10.0
5. 0.75 RDF + CM + AMF	305	297	290	5.28	5.09	5.05	20.1	21.3	21.4	14.0	12.8	10.7
เฉลี่ย	308	298	285	5.29	5.05	4.96	20.0	21.3	22.0	14.5	12.5	10.6
F-test	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
CV (%)	4.5	6.9	6.7	2.4	1.9	3.3	2.9	2.2	3.7	3.6	4.7	8.2

หมายเหตุ ns = ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ

2.3 ผลตอบแทนทางเศรษฐกิจ

การปลูกข้าวโพดหวานในดินร่วน-ดินร่วนปนทราย ที่ไร่อเกษตรกร จังหวัดนครสวรรค์ โดยการจัดการธาตุอาหารพืชด้วยปุ๋ยเคมีร่วมกับปุ๋ยมูลไก่แกลบและปุ๋ยชีวภาพไมคอร์ไรซา ฤดูปลูกปี 2567 พบว่า การจัดการธาตุอาหารพืชแต่ละกรรมวิธีทดลองให้ผลตอบแทนทางเศรษฐกิจที่ยังไม่คุ้มค่ากับการลงทุน ให้ค่า VCR น้อยกว่า 2 โดยการใส่ปุ๋ยเคมีตามคำแนะนำ อัตรา 20-6-15 กิโลกรัม N-P₂O₅-K₂O ต่อไร่ ให้ VCR แปลงที่ 1 และ แปลงที่ 2 สูงสุดเท่ากับ 1.29 และ 1.80 ตามลำดับ ในขณะที่แปลงที่ 3 ให้ค่า VCR น้อยกว่า 1 ทั้งนี้หากพิจารณาผลผลิตข้าวโพดหวาน พบว่า กรรมวิธีที่มีการใส่ปุ๋ยเคมีตามคำแนะนำ ร่วมกับปุ๋ยมูลไก่แกลบ มีผลตอบแทนสูงสุด (ตารางที่ 11)

ตารางที่ 11 ผลตอบแทนทางจากเศรษฐกิจการใช้ผลิตภัณฑ์ชีวภาพจุลินทรีย์และชีวมวล สำหรับข้าวโพดหวานที่ปลูกในดินร่วน-ร่วนปนทราย ที่ไร่อเกษตรกร จังหวัดนครสวรรค์ ฤดูปลูกปี 2567

กรรมวิธี	ผลผลิต (กก./ไร่)	ผลผลิตเพิ่ม (กก./ไร่)	ผลผลิตเพิ่ม (%)	มูลค่าผลผลิตเพิ่ม (บาท/ไร่)	มูลค่าปุ๋ยที่ใช้ (บาท/ไร่)	VCR
แปลงที่ 1						
1. Control	2,154					
2. RDF	2,560	406	18.9	1,827	1,420	1.29
3. RDF + CM	2,856	702	32.6	3,159	2,750	1.15
4. RDF + CM + AMF	2,764	610	28.3	2,745	7,871	0.35
5. 0.75 RDF + CM + AMF	2,613	459	21.3	2,066	7,515	0.27
แปลงที่ 2						
1. Control	1,968					
2. RDF	2,537	569	28.9	2,561	1,420	1.80
3. RDF + CM	2,797	829	42.1	3,731	2,750	1.36
4. RDF + CM + AMF	2,534	566	28.8	2,547	7,871	0.32
6. 0.75 RDF + CM + AMF	2,659	691	35.1	3,110	7,515	0.41
แปลงที่ 3						
1. Control	2,813					
2. RDF	2,867	54	1.9	243	1,420	0.17
3. RDF + CM	3,167	354	12.6	1,593	2,750	0.58
4. RDF + CM + AMF	3,073	260	9.2	1,170	7,871	0.15
6. 0.75 RDF + CM + AMF	3,073	260	9.2	1,170	7,515	0.16

หมายเหตุ ราคาปุ๋ยเคมีเดือนธันวาคม 2566: ปุ๋ยเคมี 46-0-0 ราคา 16.6 บาทต่อกิโลกรัม ปุ๋ยเคมี 18-46-0 ราคา 24.0 บาทต่อกิโลกรัม
 ปุ๋ยเคมี 0-0-60 ราคา 18.8 บาทต่อกิโลกรัม (สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร, 2567)
 ปุ๋ยมูลไก่เกลบ ราคา 1.33 บาทต่อกิโลกรัม
 ปุ๋ยชีวภาพอาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซา ราคา 120 บาทต่อกิโลกรัม
 ข้าวโพดหวานทั้งเปลือก ราคา 4.50 บาทต่อกิโลกรัม

สรุปผลการทดลอง

การปลูกข้าวโพดหวานตาม GAP ในดินร่วน-ร่วนปนทราย จังหวัดนครสวรรค์ ซึ่งดินมีความอุดมสมบูรณ์ปานกลาง มีอินทรีย์วัตถุ 1.44 เปอร์เซ็นต์ ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ 30 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม และโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ 90 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม การจัดการธาตุอาหารพืชโดยใช้ปุ๋ยเคมีตามคำแนะนำ อัตรา 20-6-15 กิโลกรัม N-P₂O₅-K₂O ต่อไร่ ร่วมกับปุ๋ยมูลไก่เกลบ เป็นกรรมวิธีที่เหมาะสมสำหรับการผลิตข้าวโพดหวานในดินร่วน ให้ผลผลิตข้าวโพดหวานสูงสุด 2,797-3,167 กิโลกรัมต่อไร่ และให้ผลตอบแทนผลผลิตเพิ่มขึ้นสูงสุด 12.6-42.1 เปอร์เซ็นต์เมื่อเทียบกับกรรมวิธีควบคุมซึ่งไม่ใส่ปุ๋ยเคมี ปุ๋ยมูลไก่เกลบและปุ๋ยชีวภาพไมคอร์ไรซา

การปลูกข้าวโพดหวานตาม GAP ด้วยการใส่ปุ๋ยเคมีร่วมกับปุ๋ยอินทรีย์ เช่น ปุ๋ยมูลไก่เกลบ ซึ่งมีปริมาณธาตุอาหารฟอสฟอรัสและโพแทสเซียมสูง เป็นแนวทางในการเพิ่มผลผลิตและคุณภาพผลผลิตข้าวโพดหวาน ซึ่งสามารถนำไปปรับในพื้นที่ปลูกข้าวโพดหวานในดินร่วน-ร่วนปนทรายที่มีสภาพพื้นที่ใกล้เคียงกันได้อย่างมีประสิทธิภาพ

คำขอบคุณ

งานวิจัยนี้เป็นส่วนหนึ่งของโครงการวิจัยและพัฒนาเทคโนโลยีการจัดการธาตุอาหารพืชร่วมกับการใช้ผลิตภัณฑ์ชีวภาพจุลินทรีย์และชีวมวลในการเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตพืชปลอดภัย ปีงบประมาณ พ.ศ. 2565-2567 ซึ่งได้รับการสนับสนุนงบประมาณจากกองทุนส่งเสริมวิทยาศาสตร์ วิจัย และนวัตกรรม สนับสนุนงานมูลฐาน (fundamental fund) สำนักงานคณะกรรมการส่งเสริมวิทยาศาสตร์ วิจัยและนวัตกรรม (สกสว.) และได้รับการสนับสนุนด้านโครงสร้างพื้นฐาน ห้องปฏิบัติการ ครุภัณฑ์วิทยาศาสตร์ และยานพาหนะสำหรับการปฏิบัติงานวิจัยจากกรมวิชาการเกษตร

การนำผลงานวิจัยไปใช้ประโยชน์

ข้อมูลการจัดการธาตุอาหารในดินด้วยปุ๋ยเคมี ปุ๋ยอินทรีย์ (มูลไก่เกลบ) และปุ๋ยชีวภาพไมคอร์ไรซาสามารถนำไปใช้ในการให้คำแนะนำการจัดการดินและปุ๋ยในการผลิตข้าวโพดหวานตาม GAP ในพื้นที่ดินร่วน-ร่วนปนทราย เป็นแนวทางให้เกษตรกรสามารถนำไปใช้ในการเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตข้าวโพดหวานซึ่งให้ผลตอบแทนทางเศรษฐกิจที่คุ้มค่าต่อการลงทุน และสามารถนำไปใช้ในการพัฒนางานวิจัยด้านดินและปุ๋ย เพื่อให้คำแนะนำการใช้ปุ๋ยแก่เกษตรกรผู้ปลูกข้าวโพดหวานในการผลิตพืชปลอดภัยได้อย่างถูกต้อง

เอกสารอ้างอิง

- กรมพัฒนาที่ดิน. 2566. บัตรดินดี : ความรู้ชุดดินและการจัดการ. แหล่งข้อมูล : <https://iddindee.ddd.go.th/iddindee/SoilSeries/home.html>. สืบค้น : 8 มกราคม 2566
- กรมวิชาการเกษตร. 2545. **เกษตรดีที่เหมาะสมสำหรับข้าวโพดหวาน**. กรมวิชาการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, กรุงเทพฯ.
- กรมวิชาการเกษตร. 2548. **ปุ๋ยอินทรีย์: การผลิต การใช้ มาตรฐานและคุณภาพ**. สำนักวิจัยพัฒนาปัจจัยการผลิตทางการเกษตร กรมวิชาการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์. 82 หน้า.
- กรมวิชาการเกษตร. 2553. **คำแนะนำการใช้ปุ๋ยกับพืชเศรษฐกิจ**. สำนักวิจัยพัฒนาปัจจัยการผลิตทางการเกษตร กรมวิชาการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์. 122 หน้า
- กรมวิชาการเกษตร. 2564. **คำแนะนำการใช้ปุ๋ยตามค่าวิเคราะห์ดินสำหรับพืชไร่เศรษฐกิจ**. กองวิจัยพัฒนาปัจจัยการผลิตทางการเกษตร กรมวิชาการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์. 102 หน้า.
- คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา. 2548. **ปฐพีวิทยาเบื้องต้น**. พิมพ์ครั้งที่ 10. กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- พักรัตน์เพ็ญ ภูมิพันธ์ นัทธนา ทักษิณตน์ศรีณย์ และณิรัชญา จันทร์ด่าง. 2565. ผลของการใช้ปุ๋ยอินทรีย์เสริมเชื้อราอาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาต่อการผลิตสมุนไพรบวบกในพื้นที่ยาสูบบางเลน จังหวัดนครปฐม. ใน การประชุมวิชาการแห่งชาติ ครั้งที่ 14 วันที่ 7-8 กรกฎาคม 2565 มหาวิทยาลัยราชภัฏนครปฐม.
- สถาบันวิจัยพืชไร่และพืชทดแทนพลังงาน. 2563. **เอกสารคำแนะนำ เทคโนโลยีการผลิตข้าวโพดหวาน**. สถาบันวิจัยพืชไร่และพืชทดแทนพลังงาน กรมวิชาการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์. 10 หน้า.
- สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร. 2566. ข้าวโพดหวาน: เนื้อที่เพาะปลูก เนื้อที่เก็บเกี่ยว ผลผลิต และผลผลิตต่อไร่รวมทั้งประเทศ ปี 2565. แหล่งข้อมูล: <https://www.oae.go.th/assets/portals/1/fileups/prcaidata/files/sweet%20corn65.pdf>. สืบค้น: 12 มีนาคม 2567.
- Balestra, G. M., and I. J. Misaghi. 1997. Increasing the efficiency of the plate counting method for estimating bacterial diversity. *Journal of Microbiological Methods*, 30: 111–117.
- Bouyoucos, G.J. 1962. Hydrometer Method Improved for Making Particle Size Analysis of Soils. *Agronomy Journal*, 54: 464-465.
- Bray, R.H. and L.T. Kurtz. 1945. Determination of Total Organic and Available Forms of Phosphorus in *Soils*. *Soil Sci.* 59: 39-45.
- Domyos, S., Domyos, P., and J. Saykawe. 2018. Using chemical fertilizer based on soil analysis in combination with organic fertilizers on growth and yield of sweet corn in Phattalung soil series. *Journal of Vocational Education in Agriculture*. 2(1): 72–80
- Manager Online. 2024. ASEAN-Korea FTA boosts exports of “Thai Sweet Corn” to become champion in Kimchi market. Available at: <https://mgronline.com/business/detail/9670000013226>. Accessed: December 12, 2024.
- Peech, M. 1965. Hydrogen Ion Activity. Pp. 914-926. In C.A. Black, D.D.Evans, L.E. Ensminger, and F.E. Clark (eds.). *Method of Soil Analysis*. American Society of Agronomy. Madison. Wisconsin. USA.

- Pervaiz Z., Hussain K., Kazmi S.S.H. and K.H. Gill. 2004. Agronomic efficiency of different N:P ratios in rain fed wheat. *International Journal of Agriculture & Biology* 6(3): 455–457.
- Poomipan, P. 2023. Roles of Arbuscular Mycorrhizal Fungi on Plant, Soil and Environment. *Thai Journal of Science and Technology*, 2: 91-101.
- Prabawardani, S., Djuuna, I.A.F., Kambu, L. and N.L. Mawikere. 2023. Application of the arbuscular mycorrhizal fungi inoculant, organic and NPK fertilizers on the growth and yield of maize (*Zea mays* L.). In *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 1192, 1-10.
- Rayment, G. E., and F. R. Higginson. 1992. *Australian Laboratory Handbook of Soil and Water Chemical Methods*. Inkata press. Melbourne.
- Thomas, G.W. 1982. Exchangeable Cations. In A.L. Page (Ed.) *Method of soil Analysis part 2: Chemical and Microbiological Properties*, 2nd edition (pp. 159-165). Agronomy 9. Wisconsin, USA: American Society of Agronomy, Soil Science Society of America.
- Walkley, A. and C.A. Black. 1934. An Examination of the Degtjareff Method for Determining Soil Organic Matter and a Proposed Modification of the Chromic Acid Titration Method. *Soil Sci.* 37: 29-37.

ศึกษาการใช้ผลิตภัณฑ์ชีวภาพจุลินทรีย์ร่วมกับชีวมวลในการผลิต
ข้าวโพดหวานอินทรีย์ในดินเหนียว-ร่วนเหนียว จังหวัดราชบุรี
Study on the combination use of microbial bioproducts and biomass in
the production of organic sweet corn in clay-clay loam,
Ratchaburi Province

ศราริน กลิ่นโพธิ์กลับ¹ สมฤทัย ต้นเจริญ¹ นุชนาฏ ตันวรรณ¹ นิตารัตน์ ทวีนุต¹
สายน้ำ อุดพั่ว¹ วณิดา โนบรรเทา¹ ศุภกาญจน์ ล้วนมณี¹ เครือวัลย์ บุญเงิน²
Sararin Klinphoklap¹ Somrutai Tancharoen¹ Nuchanat Tunwan¹
Nisarut Thawenut¹ Sainam Uduay¹ Wanida Nobuntao¹ Supakarn Luanmanee¹
Kruawan Boonngoen²

กลุ่มวิจัยปฐพีวิทยา

กองวิจัยพัฒนาปัจจัยการผลิตทางการเกษตร

ABSTRACT

Organic sweet corn production to produce good quality products requires proper nutrient management to meet the nutrient requirements of sweet corn. This experiment aimed to study the nutrient requirements of sweet corn at different growth stages for use in assessing appropriate plant nutrient management including the development of plant nutrient management technology in conjunction with the use of microbial products and biomass to increase the efficiency of sweet corn production in organic farming systems that are specific to soil properties. The experiment was conducted at an organic sweet corn farm in clay-loam soil in Khaochangum Subdistrict, Photharam District, Ratchaburi Province. It comprised two sub-experiments: Sub-experiment 1 studied nitrogen release from biomass by incubating soil mixed with biomass materials-compost and cattle manure at a ratio of 10 grams of soil to 0.2 grams of biomass. The soil was incubated under 60% moisture of field capacity at room temperature for 266 days. Soil samples were randomly collected on days 0, 1, 3, 5, 7, 14, 28, 56, 77, 98, 119, 168, 217, and 266 after incubation. The experimental results showed that cow dung and compost can release up to 16-27% of their total nitrogen content. Sub-experiment 2 studied on the combination use of microbial bioproducts and biomass in the production of organic sweet corn in clay-clay loam, Ratchaburi Province. Considering the nutrient requirements of sweet corn at each growth stage in 2022, it was found that mycorrhiza + cow dung at the rate of 5 tons/rai, gave the highest weight of pods which was 1,871 kg/rai. The assessment of the nutrient requirements of sweet corn, it was found that sweet corn has a nitrogen uptake of 18 kg N/rai, a phosphorus uptake of 4.4 kg P/rai or equivalent to 10 kg phosphate fertilizer (P_2O_5),

¹ กองวิจัยพัฒนาปัจจัยการผลิตทางการเกษตร

¹ Agricultural Production Science Research and Development Division

² สำนักวิจัยและพัฒนาการเกษตรเขตที่ 5

² Office of Agricultural Research and Development Region 5

and a potassium uptake of 15 kg K/rai or equivalent to 18 kg potash fertilizer (K_2O). In 2023, it was cow dung at the rate of 5 tons/rai and cow dung at the rate of 5 tons/rai + mycorrhiza gave the highest weight of pods which were 1,755 and 1,712 kg/rai. The assessment of the nutrient requirements of sweet corn, it was found that sweet corn has a nitrogen uptake of 20 kg N/rai, a phosphorus uptake of 4.4 kg P/rai or equivalent to 10 kg phosphate fertilizer (P_2O_5), and a potassium uptake of 19 kg K/rai or equivalent to 23 kg potash fertilizer (K_2O).

Keywords: sweet corn; organic; microbial bioproducts; biomass; Crop Nutrient Management

บทคัดย่อ

การผลิตข้าวโพดหวานอินทรีย์เพื่อให้ได้ผลผลิตดีมีคุณภาพ จำเป็นต้องมีการจัดการธาตุอาหารให้เหมาะสมต่อความต้องการธาตุอาหารของข้าวโพดหวาน การทดลองนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาความต้องการธาตุอาหารของข้าวโพดหวานในแต่ละระยะการเจริญเติบโต สำหรับใช้ในการประเมินการจัดการธาตุอาหารพืชอย่างเหมาะสม รวมไปถึงเพื่อพัฒนาเทคโนโลยีการจัดการธาตุอาหารพืชร่วมกับการใช้ผลิตภัณฑ์ชีวภาพจุลินทรีย์และชีวมวลที่เหมาะสมในการเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตข้าวโพดหวานในระบบเกษตรอินทรีย์ที่มีความเฉพาะเจาะจงกับสมบัติของดิน ดำเนินการทดลองที่แปลงเกษตรผู้ปลูกข้าวโพดหวานอินทรีย์ในดินเหนียว-ร่วนเหนียว ตำบลเขาชะงุ้ม อำเภोधุดดารา จังหวัดราชบุรี ประกอบด้วย 2 การทดลอง คือ การทดลองย่อยที่ 1 ศึกษาการปลดปล่อยธาตุไนโตรเจนจากชีวมวล โดยการบ่มดินที่ผสมชีวมวล ได้แก่ มูลวัวและปุ๋ยหมัก ในสัดส่วนดิน 10 กรัมต่อชีวมวล 0.2 กรัม ภายใต้สภาพความชื้น 60 เปอร์เซ็นต์ของความจุความชื้นดินที่อุณหภูมิห้องเป็นระยะเวลา 266 วัน โดยสุ่มเก็บตัวอย่างที่ 0 1 3 5 7 14 28 56 77 98 119 168 217 และ 266 วันหลังการบ่มดิน ผลการทดลองพบว่า มูลวัวและปุ๋ยหมัก สามารถปลดปล่อยไนโตรเจนได้สูงสุด 16-27 เปอร์เซ็นต์ของไนโตรเจนทั้งหมดที่เป็นองค์ประกอบ และการทดลองย่อยที่ 2 ศึกษาการใช้ผลิตภัณฑ์ชีวภาพจุลินทรีย์ร่วมกับชีวมวลในการผลิตข้าวโพดหวานอินทรีย์ในดินเหนียว-ร่วนเหนียว จังหวัดราชบุรี เมื่อพิจารณาความต้องการธาตุอาหารของข้าวโพดหวานในแต่ละระยะการเจริญเติบโตในปี 2565 พบว่าการใส่ไมคอร์ไรซา + มูลวัวอัตรา 5 ตันต่อไร่ ให้น้ำหนักฝักทั้งเปลือก (กิโลกรัมต่อไร่) สูงที่สุด คือ 1,871 กิโลกรัมต่อไร่ จากการประเมินความต้องการธาตุอาหารของข้าวโพดหวาน พบว่า ข้าวโพดหวานมีการดูดใช้ในโตรเจน 18 กิโลกรัม N ต่อไร่ มีการดูดใช้ฟอสฟอรัส 4.4 กิโลกรัม P ต่อไร่ หรือเทียบเท่าปุ๋ยฟอสเฟต (P_2O_5) 10 กิโลกรัม และมีการดูดใช้โพแทสเซียม 15 กิโลกรัม K ต่อไร่ หรือเทียบเท่าปุ๋ยโพแทช (K_2O) 18 กิโลกรัม และปี 2566 พบว่าการใส่มูลวัวอัตรา 5 ตันต่อไร่ และการใส่มูลวัวอัตรา 5 ตันต่อไร่ + ไมคอร์ไรซา ให้น้ำหนักฝักทั้งเปลือก (กิโลกรัมต่อไร่) สูงที่สุด คือ 1,755 และ 1,712 กิโลกรัมต่อไร่ ตามลำดับ และจากการประเมินความต้องการธาตุอาหารของข้าวโพดหวาน พบว่า ข้าวโพดหวานมีการดูดใช้ในโตรเจน 20 กิโลกรัม N ต่อไร่ และมีการดูดใช้ฟอสฟอรัส 4.4 กิโลกรัม P ต่อไร่ หรือเทียบเท่าปุ๋ยฟอสเฟต (P_2O_5) 10 กิโลกรัม ในขณะที่ข้าวโพดหวานมีการดูดใช้โพแทสเซียม 19 กิโลกรัม K ต่อไร่ หรือเทียบเท่าปุ๋ยโพแทช (K_2O) 23 กิโลกรัม

คำสำคัญ: ข้าวโพดหวาน; อินทรีย์; ผลิตภัณฑ์ชีวภาพจุลินทรีย์; ชีวมวล; การจัดการธาตุอาหาร

บทนำ

ข้าวโพดหวานเป็นพืชอาหารเศรษฐกิจของไทยที่สามารถบริโภคได้ทั้งรูปแบบฝักสดและในรูปแบบของอาหารแปรรูปในโรงงานอุตสาหกรรม ในปี 2564 ประเทศไทยมีพื้นที่ปลูกข้าวโพดหวาน จำนวน 231,132 ไร่ ผลผลิตจำนวน 494,108 ตัน ปริมาณผลผลิตเฉลี่ย 2,163 กิโลกรัมต่อไร่ แหล่งปลูกข้าวโพดหวานที่สำคัญ ได้แก่ พื้นที่ภาคกลาง จังหวัดกาญจนบุรี ราชบุรี ลพบุรี สระบุรี สุพรรณบุรี นครสวรรค์และพิจิตร พื้นที่ภาคเหนือ ได้แก่ จังหวัดเชียงใหม่และเชียงราย (สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร, 2565) ข้าวโพดหวานสามารถปลูกได้ตลอดทั้งปี และปลูกได้ทั่วทุกภาคของประเทศไทย โดยเฉพาะอย่างยิ่งในพื้นที่ราบลุ่มน้ำท่วม มีความลาดเอียงต่ำกว่า 5% สามารถปลูกได้ดีทั้งในสภาพดินร่วน ดินร่วนปนเหนียว หรือดินร่วนปนทราย มีการระบายน้ำดี ระดับหน้าดินลึกมากกว่า 75 เซนติเมตร ค่า pH 5.5-7.5 เป็นพืชที่มีระยะเวลาการผลิตรายปี อายุเก็บเกี่ยวประมาณ 65-75 วัน ข้าวโพดเจริญเติบโตได้ดีที่อุณหภูมิเฉลี่ย 24-35 องศาเซลเซียส อุณหภูมิดินที่เหมาะสมต่อการงอกของเมล็ดควรอยู่ในช่วง 26-30 องศาเซลเซียส มีความต้องการใช้น้ำ 400-650 มิลลิเมตรต่อฤดูปลูก ซึ่งปริมาณน้ำที่ข้าวโพดใช้จะแตกต่างกันขึ้นกับช่วงวันปลูก สมบัติทางกายภาพของดิน อุณหภูมิ ความชื้นสัมพัทธ์และพันธุ์ ปริมาณน้ำที่ข้าวโพดต้องการใช้ในแต่ละระยะของการเจริญเติบโตจะแตกต่างกัน ซึ่งข้าวโพดมีความต้องการน้ำสูงสุดในระยะออกดอกและระยะแรกของการสร้างเมล็ด (กรมวิชาการเกษตร, 2564)

ในระบบการผลิตข้าวโพดหวาน มีต้นทุนการผลิตสูง โดยเฉพาะค่าปุ๋ยเคมี เนื่องจากข้าวโพดเป็นพืชที่ต้องการธาตุอาหารปริมาณมากสำหรับการเจริญเติบโตเมื่อเทียบกับพืชชนิดอื่นๆ ไนโตรเจน มีบทบาทสำคัญต่อข้าวโพดตลอดอายุการเจริญเติบโตตั้งแต่ระยะแรกของการเจริญเติบโตจนถึงระยะสร้างเมล็ด การให้ไนโตรเจนอย่างเหมาะสมแก่ข้าวโพดหวานในระยะแรกของการเจริญเติบโต ทำให้เมล็ดข้าวโพดหวานมีความหวานเพิ่มขึ้น ข้าวโพดหวานมีปริมาณการดูดใช้ไนโตรเจนสะสมอยู่ในส่วนของต้นใบ กาบฝัก เมล็ด และชัง รวมเฉลี่ย 6.9 กิโลกรัม N ต่อตันผลผลิต ดังนั้นเมื่อนำต้น ใบ กาบฝัก เมล็ด และชัง ออกไปจากพื้นที่ทำให้ไนโตรเจนสูญหายออกไปจากพื้นที่เทียบเท่ากับปริมาณไนโตรเจนจากปุ๋ยยูเรีย (46-0-0) 15 กิโลกรัม ฟอสฟอรัสเป็นธาตุอาหารที่สำคัญต่อการเจริญเติบโตของข้าวโพดไม่น้อยไปกว่าไนโตรเจน จากการศึกษาพบว่าข้าวโพดตอบสนองต่อปุ๋ยฟอสเฟตตลอดฤดูปลูก แต่มีความต้องการในระยะเริ่มแรกมากกว่าในระยะอื่นๆ ข้าวโพดหวานมีการดูดใช้ฟอสฟอรัสไปสะสมในส่วน of ต้นและใบ เมล็ด ชัง และกาบฝัก รวมเฉลี่ย 1.7 กิโลกรัม P ต่อตันผลผลิต ในขณะที่โพแทสเซียมมีความสำคัญในการสร้างความเจริญเติบโต ความแข็งแรงของลำต้นและการสร้างเมล็ด สภาพดินปลูกข้าวโพดในประเทศไทยโดยทั่วไปมีโพแทสเซียมสูง จึงมักไม่มีการใส่ปุ๋ยโพแทสเซียม (กรมวิชาการเกษตร, 2564)

การใช้พื้นที่ปลูกพืชอย่างต่อเนื่องโดยไม่มีการบำรุงดินนั้น ดินจะเสื่อมคุณภาพลงอย่างต่อเนื่องเพราะธาตุอาหารจะสูญหายไปกับผลผลิตรวมถึงโดยการชะล้างไปกับน้ำ หรือถึงสูญหายไปในรูปแบบก๊าซ (จิตรรา, 2563) การจัดการด้านธาตุอาหารพืชมีบทบาทสำคัญในการยกระดับผลผลิตให้มีปริมาณและคุณภาพดี เนื่องจากการจัดการธาตุอาหารพืชจะสามารถช่วยให้พืชได้รับธาตุอาหารที่ครบถ้วน เพียงพอและสมดุลตรงตามความต้องการของพืช ทั้งนี้การใช้ทรัพยากรชีวภาพจากจุลินทรีย์และชีวมวลที่ได้ในท้องถิ่นกลับมาใช้ประโยชน์ในด้านการให้ธาตุอาหารพืชทดแทนการใช้ปุ๋ยเคมี เป็นการหมุนเวียนวัสดุอินทรีย์ภาคการเกษตรกลับมาใช้ให้เกิดมูลค่า ช่วยลดของเสียจากภาคการเกษตรแล้ว ยังช่วยลดการใช้ปุ๋ยเคมีที่เป็นต้นทุนการผลิตได้อีกด้วย กรมวิชาการเกษตรได้ทำการสำรวจ รวบรวม คัดเลือก จำแนก และเก็บรักษาจุลินทรีย์ดินไว้เป็นจำนวนมาก พร้อมทั้งทำการศึกษาวิจัยพัฒนาการผลิตผลิตภัณฑ์จากจุลินทรีย์ดินที่มีศักยภาพในด้านการช่วยสร้างธาตุอาหารพืช และช่วยให้ธาตุอาหารมีความเป็นประโยชน์ต่อพืช โดยการปลดปล่อยธาตุอาหารที่ถูกตรึงไว้ในดินให้อยู่ในรูปที่พืชสามารถนำมาใช้ประโยชน์ได้ จนได้ผลิตภัณฑ์ปุ๋ยชีวภาพชนิดต่าง ๆ เช่น ปุ๋ยชีวภาพไรโซเบียม ปุ๋ยชีวภาพฟิสิกัลอาร์

ปุ๋ยชีวภาพอาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซา ปุ๋ยชีวภาพละลายฟอสเฟต ผลิตภัณฑ์สารสกัดสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงิน และ แหนแดง ซึ่งทรัพยากรชีวภาพจุลินทรีย์เหล่านี้สามารถใช้ร่วมกับปุ๋ยเคมี และชีวมวล เพื่อช่วยให้เกิดสมดุลของ สิ่งมีชีวิตในดิน และเป็นการเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตพืชได้อย่างดี ดังนั้น จึงได้ทำการศึกษาวิจัยการจัดการ ธาตุอาหารพืชร่วมกับการใช้ผลิตภัณฑ์ชีวภาพจุลินทรีย์และชีวมวลในการเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตข้าวโพดหวาน เพื่อให้ได้เทคโนโลยีการผลิตข้าวโพดหวานปลอดภัย ช่วยให้เกษตรกรสามารถพึ่งพาตนเองได้ และลดความเสี่ยง โทรมของทรัพยากรดินอย่างยั่งยืน การทดลองนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาความต้องการธาตุอาหารของข้าวโพด หวานในแต่ละระยะการเจริญเติบโต สำหรับใช้ในการประเมินการจัดการธาตุอาหารพืชอย่างเหมาะสม

อุปกรณ์และวิธีการ

อุปกรณ์

1. เมล็ดพันธุ์ข้าวโพดหวาน พันธุ์สงขลา 84-1
2. มูลวัว ผลิตภัณฑ์ปุ๋ยชีวภาพจุลินทรีย์อาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซา
3. อุปกรณ์สำหรับเก็บตัวอย่างดิน และพืช เช่น ถุงพลาสติก จอบ พลั่วมือ กระบอกเก็บดิน
4. ถุงตาข่าย ถุงกระดาษสำหรับเก็บตัวอย่างพืช มีด และกรรไกรตัดตัวอย่างพืช
5. เครื่องมือวิทยาศาสตร์ เครื่องแก้วและสารเคมีสำหรับวิเคราะห์ปริมาณธาตุอาหารในดินและพืช

วิธีการ

วางแผนการทดลองแบบ Randomized Complete Block (RCB) ประกอบด้วย 8 กรรมวิธี จำนวน 3 ซ้ำ
ได้แก่

1. กรรมวิธีควบคุม (ไม่ใส่มูลวัวและอาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซา)
2. ใส่มูลวัวอัตรา 1 ตันต่อไร่
3. ใส่มูลวัวอัตรา 3 ตันต่อไร่
4. ใส่มูลวัวอัตรา 5 ตันต่อไร่
5. ใส่อาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซา
6. ใส่มูลวัวอัตรา 1 ตันต่อไร่+อาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซา
7. ใส่มูลวัวอัตรา 3 ตันต่อไร่+อาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซา
8. ใส่มูลวัวอัตรา 5 ตันต่อไร่+อาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซา

ดำเนินการทดลองที่แปลงเกษตรกร เลขที่ 71 หมู่ 10 ต.เขาชะงุ้ม อ.โพธาราม จ.ราชบุรี พิกัดแปลง 47P 0571439 1514928 โดยเก็บตัวอย่างดินในแปลงเกษตรกรที่ระดับความลึก 0-20 และ 20-50 เซนติเมตร นำมาวิเคราะห์สมบัติทางเคมีและปริมาณธาตุอาหาร ได้แก่ เนื้อดิน โดยวิธี Hydrometer method (จักรพงษ์, 2564) ความเป็นกรด-ด่าง (Soil pH) ดินต่อน้ำ 1:1 (pH 1:1) วัดด้วยเครื่องมือวัดพีเอชดิน (pH meter) (กรมวิชาการเกษตร, 2544) ปริมาณอินทรีย์วัตถุ (organic carbon: OC) โดยวิธี Walkley and Black (Walkley and Black, 1934) ปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ โดยวิธี Olsen (Olsen and Sommer, 1982) และวิเคราะห์ด้วยเครื่อง UV-VIS Spectrophotometer ที่ความยาวคลื่น 882 นาโนเมตร ปริมาณโพแทสเซียม แคลเซียม และแมกนีเซียมที่แลกเปลี่ยนได้โดยการสกัดด้วย NH_4OAc (Rayment and Higginson, 1992) และวิเคราะห์ด้วยเครื่อง Atomic Absorption Spectrophotometer (AAS) ไถเตรียมดิน และปรับระดับพื้นที่ โดยมีขนาดแปลงย่อย 6×6 เมตร จำนวน 24 แปลงย่อย ใส่มูลวัวตามกรรมวิธีและสับกลบลง ดิน ปลูกข้าวโพดหวานพันธุ์สงขลา 84-1 ระยะปลูก 0.75×0.25 เมตร จำนวน 2 เมล็ดต่อหลุม และใส่ผลิตภัณฑ์

ชีวภาพจุลินทรีย์อาบัสคูลาร์ไมคอร์ไรซา 5 กรัมต่อหลุม โดยรองกันหลุมพร้อมหยอดเมล็ดข้าวโพดหวาน เมื่อข้าวโพดหวานอายุประมาณ 14 วัน ทำการถอนแยกให้เหลือ 1 ต้นต่อหลุม ให้น้ำแบบสปริงเกอร์ ดูแลรักษาตามวิธีปฏิบัติของเกษตรกรผู้ปลูกข้าวโพดหวานอินทรีย์ เก็บข้อมูลความสูงต้นข้าวโพดที่อายุ 15 30 45 60 และ 65 วัน สุ่มเก็บตัวอย่างต้นข้าวโพดหวานเพื่อนำไปวิเคราะห์ปริมาณธาตุอาหารพืชในส่วนต่างๆ ของข้าวโพดหวาน สำหรับนำไปใช้ในการประเมินความต้องการธาตุอาหารของข้าวโพดหวานในแต่ละระยะการเจริญเติบโต ทำการเก็บเกี่ยวผลผลิตข้าวโพดหวานที่อายุ 65-75 วัน พื้นที่เก็บเกี่ยวขนาด 3 x 4 เมตร สุ่มเก็บตัวอย่างต้น ใบ และฝักข้าวโพดหวานในแต่ละกรรมวิธีมาวิเคราะห์ปริมาณการดูดใช้ธาตุอาหารของพืช ได้แก่ ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส โพแทสเซียม แคลเซียม และสุ่มเก็บตัวอย่างดินหลังเก็บเกี่ยวแต่ละแปลงย่อย แปลงย่อยละ 5 จุดรวมเป็น 1 ตัวอย่างต่อแปลงย่อย สำหรับนำมาวิเคราะห์ข้อมูลดินหลังเก็บเกี่ยวได้แก่ ความเป็นกรด-ด่างของดิน ค่าการนำไฟฟ้า ปริมาณอินทรีย์วัตถุ ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ โพแทสเซียม แคลเซียม และแมกนีเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ และปริมาณจุลินทรีย์ที่เป็นประโยชน์ในดิน

ระยะเวลา เริ่มต้น ตุลาคม 2564 สิ้นสุด กันยายน 2567

สถานที่ทำการทดลอง

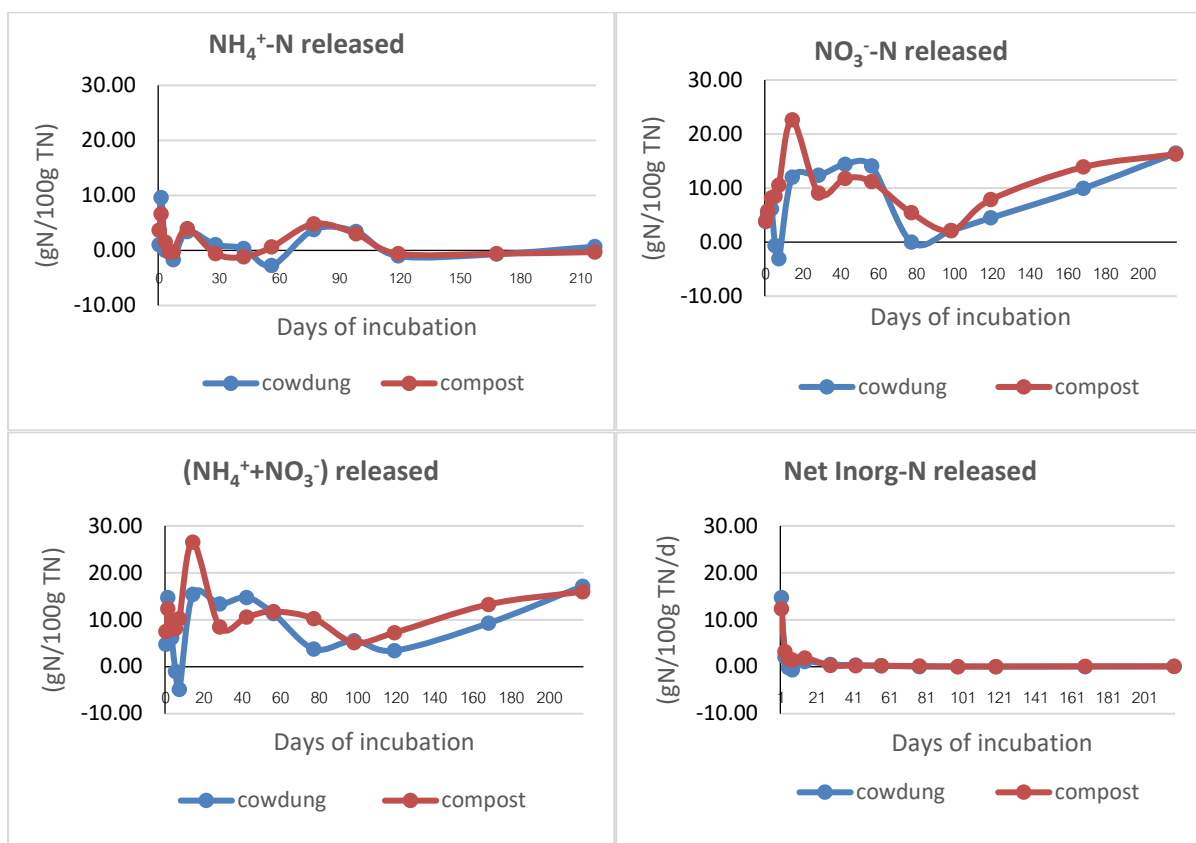
1. กลุ่มวิจัยปฐพีวิทยา กองวิจัยพัฒนาปัจจัยการผลิตทางการเกษตร
2. แปลงเกษตรกรผู้ปลูกข้าวโพดหวาน ตำบลเขาชะงุ้ม อำเภोधุดดารา จังหวัดราชบุรี

ผลการทดลองและวิจารณ์

1. การปลดปล่อยไนโตรเจนของชีวมูลในดินร่วนเหนียว

การปลดปล่อยไนโตรเจนของมูลวัวและปุ๋ยหมักมูลไก่แกลบที่สภาพความชื้น 60% ของความจุ้มน้ำของดิน พบว่ามูลวัวมีการปลดปล่อยแอมโมเนียมสูงในช่วงสัปดาห์แรกของการบ่มและหลังจากนั้นจะลดลงอย่างรวดเร็ว แสดงว่ามูลวัวอาจมีไนโตรเจนในรูปของสารอินทรีย์ในปริมาณสูง จึงพบการเพิ่มขึ้นของแอมโมเนียมในระยะแรกของการบ่ม เกิดจากกระบวนการ ammonification ซึ่งเป็นกระบวนการเปลี่ยนอินทรีย์ไนโตรเจนไปเป็นแอมโมเนียม และในสัปดาห์ที่ 2 หลังจากแอมโมเนียมลดลง พบว่ามีปริมาณไนเตรทเพิ่มสูงขึ้น ซึ่งเป็นผลมาจากกระบวนการ nitrification แอมโมเนียมถูกออกซิไดซ์ไปเป็นไนเตรท และหลังจากสัปดาห์ที่ 2 ไนเตรทจะลดลง อาจเป็นผลมาจากกระบวนการรีดักชันทำให้ไนเตรทสูญหายไปเป็นรูปของก๊าซไนโตรเจน (ศุภกาญจน์และคณะ, 2553) ส่วนปุ๋ยหมักมูลไก่แกลบนั้นมีการปลดปล่อยไนโตรเจนในรูปแบบที่คล้ายคลึงกัน ปริมาณการปลดปล่อยอินทรีย์ไนโตรเจนของมูลวัวและปุ๋ยหมักมูลไก่แกลบ เกิดขึ้นประมาณ 16-27% ของปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดที่เป็นองค์ประกอบอยู่ในปุ๋ยอินทรีย์ดังกล่าว การปลดปล่อยจะเกิดขึ้นสูงสุดใน 2 สัปดาห์แรก โดยมีอัตราการปลดปล่อยตั้งแต่ 3-15 กรัม N ต่อ 100 กรัมของไนโตรเจนทั้งหมดของปุ๋ยอินทรีย์ และหลังจากสัปดาห์ที่ 2 อัตราการปลดปล่อยอินทรีย์ไนโตรเจนจะเกิดขึ้นเล็กน้อย

Calderón et al. (2005) ระบุว่า มูลวัวจะปลดปล่อยไนโตรเจนในรูปที่เป็นประโยชน์ต่อพืช เมื่อมีค่า C/N ratio น้อยกว่า 16 และจะเกิด immobilization เมื่อมีค่า C/N ratio มากกว่า 19 จะเห็นว่ามูลวัวมีค่า C/N ratio มากกว่า 20 ทำให้การสลายตัวค่อนข้างยาก หากนำไปใช้ควรมีการหมักหรือปล่อยให้เกิดการสลายตัวไปสักระยะหนึ่งก่อนเพื่อให้สัดส่วนระหว่างคาร์บอนต่อไนโตรเจนลดลงต่ำกว่า 20 ดังนั้น การนำมูลวัวที่มีค่า C/N ratio มากกว่า 20 มาใช้ประโยชน์ควรไถกลบดินก่อนปลูกพืชอย่างน้อย 14 สัปดาห์



ภาพที่ 1 การปลดปล่อยไนโตรเจนจากการบ่มมูลวัวและปุ๋ยหมักในดินร่วนเหนียว

2. สมบัติดินก่อนปลูกข้าวโพดหวาน

จากผลวิเคราะห์สมบัติดินก่อนปลูกปี 2565 เนื้อดินเป็นดินร่วนเหนียว มีค่าปฏิกิริยาดินเป็นด่างปานกลาง ปริมาณอินทรีย์วัตถุค่อนข้างสูง ปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์และปริมาณโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้จัดอยู่ในระดับปานกลาง จำนวนสปอร์อาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาในดินก่อนปลูกเท่ากับ 20 สปอร์ต่อดิน 100 กรัม และจากผลวิเคราะห์สมบัติดินก่อนปลูกปี 2566 ที่ระดับความ 0-20 เซนติเมตรก่อนการทดลอง เนื้อดินเป็นดินร่วนเหนียว มีค่าปฏิกิริยาดินเป็นด่างปานกลาง ปริมาณอินทรีย์วัตถุค่อนข้างสูง ปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์และปริมาณโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้จัดอยู่ในระดับปานกลาง จำนวนสปอร์อาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาในดินก่อนปลูกเท่ากับ 21 สปอร์ต่อดิน 100 กรัม (ตารางที่ 1) ซึ่งพื้นที่ที่เหมาะสมในการปลูกข้าวโพดหวาน คือ พื้นที่ที่เป็นดินร่วนถึงดินร่วนเหนียว มีการระบายน้ำดี น้ำไม่ท่วมขัง และถ่ายเทอากาศดี ค่าความเป็นกรด-ด่างของดินเป็นดินกรดเล็กน้อย (pH 5.5-6.5) ปริมาณอินทรีย์วัตถุมากกว่า 1% ปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์มากกว่า 10 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม และโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้มากกว่า 60 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม (กรมวิชาการเกษตร, 2564)

ตารางที่ 1 ผลวิเคราะห์สมบัติของดินก่อนปลูกที่ระดับความลึก 0-20 เซนติเมตร แปลงเกษตรกรรมผู้ปลูกข้าวโพดหวาน ตำบลเขาชะงุ้ม อำเภอโพธาราม จังหวัดราชบุรี

รายการวิเคราะห์	ปี 2565	ปี 2566
1. เนื้อดิน	ร่วนเหนียว	ร่วนเหนียว
2. pH (1:1)	8.02	8.23
3. ปริมาณอินทรีย์วัตถุ (%)	2.98	2.70
4. ปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ (mg/kg)	49.03	39.32
5. ปริมาณโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ (mg/kg)	67.25	70.45
6. ปริมาณแคลเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ (mg/kg)	6,432	6,345
7. ปริมาณแมกนีเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ (mg/kg)	789.0	899.3
8. จำนวนสปอร์อาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซา (สปอร์/ดิน 100 กรัม)	20 สปอร์/ ดิน 100 กรัม	21 สปอร์/ ดิน 100 กรัม

3. สมบัติมูลวัว

จากผลวิเคราะห์มูลวัวปี 2565 พบว่า มูลวัวมีค่าความชื้น 8 เปอร์เซ็นต์ มีค่า pH 8.42 เป็นด่างปานกลาง ปริมาณอินทรีย์วัตถุ 50.17 เปอร์เซ็นต์ ปริมาณอินทรีย์คาร์บอน 29.10 เปอร์เซ็นต์ ค่าสัดส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน (C/N ratio) เท่ากับ 15.48 ส่วนผลวิเคราะห์มูลวัวปี 2566 พบว่า มูลวัวมีค่าความชื้น 8 เปอร์เซ็นต์ มีค่า pH 8.24 เป็นด่างปานกลาง ปริมาณอินทรีย์วัตถุ 49.06 เปอร์เซ็นต์ ปริมาณอินทรีย์คาร์บอน 28.12 เปอร์เซ็นต์ และ C/N ratio เท่ากับ 14.57 จะเห็นได้ว่ามูลวัวมีค่า C/N ratio น้อยกว่าเกณฑ์มาตรฐานของปุ๋ยอินทรีย์ (น้อยกว่า 20) (กรมวิชาการเกษตร, 2548) จึงสามารถนำไปใช้ในแปลงทดลองได้เลยโดยไม่ต้องทำการหมักหรือปล่อยให้เกิดการสลายตัวก่อน (ตารางที่ 2)

ตารางที่ 2 ผลวิเคราะห์สมบัติของมูลวัวที่ใช้ในการทดลอง

รายการ	มูลวัวปี 2565	มูลวัวปี 2566
ความเป็นกรด-ด่าง (pH) (1:5)	8.42	8.24
การนำไฟฟ้า (EC) (1:10) (dS/m)	7.02	7.82
อินทรีย์วัตถุ, (%OM)	50.17	49.06
อินทรีย์คาร์บอน (%OC)	29.10	28.12
ไนโตรเจนทั้งหมด (%N)	1.88	1.72
ฟอสเฟตทั้งหมด (%P ₂ O ₅)	2.01	1.65
โพแทชทั้งหมด (%K ₂ O)	4.98	4.26
อัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน (C/N ratio)	15.48	14.57
ความชื้น (%)	8	8

4. ผลผลิตของข้าวโพดหวาน

4.1 ผลผลิตของข้าวโพดหวานปี 2565

เมื่อพิจารณาน้ำหนักฝักทั้งเปลือกพบว่า การใส่มูลวัวอัตรา 5 ตันต่อไร่ร่วมกับไมคอร์ไรซา ให้น้ำหนักฝักทั้งเปลือก (กิโลกรัมต่อไร่) สูงที่สุด คือ 1,871 กิโลกรัมต่อไร่ ซึ่งแตกต่างจากกรรมวิธีอื่นๆในทางสถิติ เมื่อพิจารณาความยาวฝักพบว่า การใส่มูลวัวอัตรา 5 ตันต่อไร่ ให้ความยาวฝักมากที่สุด คือ 16.8 เซนติเมตร เมื่อวัดความหวานของผลผลิตฝักพบว่า การใส่ไมคอร์ไรซาเพียงอย่างเดียว ให้ค่าความหวานสูงสุดที่ 15.4 องศาบริกซ์ (ตารางที่ 3)

ตารางที่ 3 ผลผลิตของข้าวโพดหวานที่ปลูกในดินเหนียว-ร่วนเหนียว แปลงเกษตรกรผู้ปลูกข้าวโพดหวาน
ต.เขาชะงุ้ม อ.โพธาราม จ.ราชบุรี (ฤดูปลูกปี 2565)

กรรมวิธี	จำนวน ตัน/ไร่	นน.ต้น (กก./ไร่)	นน.ฝักทั้ง เปลือก (กก./ไร่)	ความกว้าง ฝัก (ซม.)	ความยาว ฝัก (ซม.)	ความหวาน (องศาบริกซ์)
1. ควบคุม	8,023	1,783cd	960de	4.2	13.8b	14.4ab
2. มูลวัวอัตรา 1 ตัน/ไร่	8,010	1,851bcd	1,271cd	4.4	15.8ab	14.7ab
3. มูลวัวอัตรา 3 ตัน/ไร่	8,002	2,214bc	1,440bc	4.3	15.7ab	13.3abc
4. มูลวัวอัตรา 5 ตัน/ไร่	8,221	2,751a	1,769ab	4.7	17.3a	11.9c
5. ไมคอร์ไรซา	8,372	1,540d	773e	4.1	13.3b	15.4a
6. มูลวัวอัตรา 1 ตัน/ ไร่+ไมคอร์ไรซา	8,220	2,038bc	1,244cd	4.3	15.8ab	13.4abc
7. มูลวัวอัตรา 3 ตัน/ ไร่+ไมคอร์ไรซา	8,217	2,270b	1,467abc	4.6	17.1a	13.6abc
8. มูลวัวอัตรา 5 ตัน/ ไร่+ไมคอร์ไรซา	8,312	2,797a	1,871a	4.6	16.8a	13.0bc
CV (%)	8.9	11.3	16.6	12.9	8.8	8.2

4.2 ผลผลิตของข้าวโพดหวานปี 2566

เมื่อพิจารณาน้ำหนักฝักทั้งเปลือกพบว่า การใส่มูลวัวอัตรา 5 ตันต่อไร่ และการใส่มูลวัวอัตรา 5 ตันต่อไร่ ร่วมกับไมคอร์ไรซา ให้น้ำหนักฝักทั้งเปลือก (กิโลกรัมต่อไร่) สูงที่สุด คือ 1,755 และ 1,712 กิโลกรัมต่อไร่ ตามลำดับ ซึ่งแตกต่างจากกรรมวิธีอื่นๆในทางสถิติ ในขณะที่การใส่มูลวัวอัตรา 5 ตันต่อไร่ร่วมกับไมคอร์ไรซาให้ความยาวฝักมากที่สุดคือ 16.08 เซนติเมตร เมื่อวัดความหวานของผลผลิตฝักพบว่า การใส่ไมคอร์ไรซาเพียงอย่างเดียว ให้ค่าความหวานสูงสุดที่ 15.9 องศาบริกซ์ (ตารางที่ 4)

ตารางที่ 4 ผลผลิตของข้าวโพดหวานที่ปลูกในดินเหนียว-ร่วนเหนียว แปลงเกษตรกรผู้ปลูกข้าวโพดหวาน ต.เขาชะงุ้ม อ.โพธาราม จ.ราชบุรี (ฤดูปลูกปี 2566)

กรรมวิธี	จำนวนต้น/ ไร่	นน.ต้น (กก./ไร่)	นน.ฝัก ทั้งเปลือก (กก./ไร่)	ความกว้าง ฝัก (ซม.)	ความยาว ฝัก (ซม.)	ความหวาน (องศาบริกซ์)
1. ควบคุม	8,015bc	2,254	822d	4.01	13.02d	14.1c
2. มูลวัวอัตรา 1 ตัน/ไร่	8,154b	2,259	1,152c	4.12	13.16d	14.8b
3. มูลวัวอัตรา 3 ตัน/ไร่	8,420a	2,378	1,377b	4.36	14.52c	15.2b
4. มูลวัวอัตรา 5 ตัน/ไร่	8,151b	2,401	1,755a	4.32	14.98bc	15.6b
5. ไมคอร์ไรซา	8,016bc	2,301	933d	4.15	13.01d	15.9a
6. มูลวัวอัตรา 1 ตัน/ ไร่+ไมคอร์ไรซา	8,112b	2,325	1,189c	4.10	14.87bc	14.5c
7. มูลวัวอัตรา 3 ตัน/ ไร่+ไมคอร์ไรซา	7,951c	2,406	1,402b	4.39	15.23b	14.9b
8. มูลวัวอัตรา 5 ตัน/ ไร่+ไมคอร์ไรซา	7,989c	2,484	1,712a	4.50	16.08a	15.7b
CV (%)	10.2	9.5	10.2	13.6	8.8	6.5

5. ความต้องการธาตุอาหารของข้าวโพดหวาน

5.1 ความต้องการธาตุอาหารของข้าวโพดหวานปี 2565

จากการประเมินความต้องการธาตุอาหารของข้าวโพดหวาน พบว่า ข้าวโพดหวานมีการดูดใช้ในโตรเจน 18 กิโลกรัม N ต่อไร่ มีการดูดใช้ฟอสฟอรัส 4.4 กิโลกรัม P ต่อไร่ หรือเทียบเท่าปุ๋ยฟอสเฟต (P_2O_5) 10 กิโลกรัม และมีการดูดใช้โพแทสเซียม 15 กิโลกรัม K ต่อไร่ หรือเทียบเท่าปุ๋ยโพแทช (K_2O) 18 กิโลกรัม (ตารางที่ 5)

ตารางที่ 5 ความเข้มข้นและปริมาณการดูดใช้ธาตุอาหารของข้าวโพดหวาน ปี 2565 ที่ปลูกในดินเหนียว-ร่วนเหนียว แปลงเกษตรกรผู้ปลูกข้าวโพดหวาน ต.เขาชะงุ้ม อ.โพธาราม จ.ราชบุรี สำหรับสร้างผลผลิตใน 1 ฤดูปลูก

ส่วนของพืช	น้ำหนักแห้ง (กก./ไร่)	ความเข้มข้นของธาตุอาหาร (%)					ปริมาณธาตุอาหารที่สะสมในส่วนต่างๆ (กก./ไร่)				
		N	P	K	Ca	Mg	N	P	K	Ca	Mg
ต้น	452	0.42	0.12	1.29	0.21	0.19	1.90	0.82	1.54	1.11	0.66
ใบ	478	1.27	0.31	1.31	0.52	0.11	7.96	2.00	8.30	1.53	0.77
เมล็ด	241	1.95	0.23	1.15	0.04	0.12	4.65	0.87	3.29	0.04	0.26
กาบฝัก	178	0.76	0.2	0.29	0.09	0.15	1.54	0.32	0.52	0.10	0.09
ชัง	98	0.81	0.29	0.46	0.03	0.09	1.38	0.35	0.70	0.02	0.15
รวม	1,447						17.43	4.36	14.35	2.8	1.9

5.2 ความต้องการธาตุอาหารของข้าวโพดหวานปี 2566

จากการประเมินความต้องการธาตุอาหารของข้าวโพดหวาน พบว่า ข้าวโพดหวานมีการดูดใช้ในโตรเจน 20 กิโลกรัม N ต่อไร่ และมีการดูดใช้ฟอสฟอรัส 4.4 กิโลกรัม P ต่อไร่ หรือเทียบเท่าปุ๋ยฟอสเฟต (P_2O_5) 10 กิโลกรัม ในขณะที่ข้าวโพดหวานมีการดูดใช้โพแทสเซียม 19 กิโลกรัม K ต่อไร่ หรือเทียบเท่าปุ๋ยโพแทช (K_2O) 23 กิโลกรัม (ตารางที่ 6)

ตารางที่ 6 ความเข้มข้นและปริมาณการดูดใช้ธาตุอาหารของข้าวโพดหวาน ปี 2566 ที่ปลูกใน ดินเหนียว-ร่วนเหนียว แปลงเกษตรกรผู้ปลูกข้าวโพดหวาน ต.เขาชะงุ้ม อ.โพธาราม จ.ราชบุรี สำหรับ สร้างผลผลิตใน 1 ฤดูปลูก

ส่วนของพืช	น้ำหนักแห้ง (กก./ไร่)	ความเข้มข้นของธาตุอาหาร (%)					ปริมาณธาตุอาหารที่สะสมในส่วนต่างๆ (กก./ไร่)				
		N	P	K	Ca	Mg	N	P	K	Ca	Mg
ต้น	457	0.48	0.17	1.22	0.26	0.21	2.46	0.87	6.11	0.85	0.83
ใบ	567	1.34	0.29	1.29	0.69	0.14	8.85	1.94	8.66	2.04	1.02
เมล็ด	205	1.89	0.30	1.10	0.05	0.11	5.12	0.79	2.91	0.04	0.31
กาบฝัก	168	0.89	0.22	0.34	0.11	0.13	1.62	0.40	0.63	0.16	0.13
ชัง	158	0.89	0.24	0.46	0.03	0.11	1.51	0.41	0.78	0.03	0.10
รวม	1,555						19.56	4.41	19.1	3.1	2.4

สรุปผลการทดลอง

การจัดการธาตุอาหารพืชสำหรับการปลูกข้าวโพดหวานอินทรีย์ในดินเหนียว-ร่วนเหนียว จังหวัดราชบุรี โดยการใส่มูลวัวอัตรา 5 ตันต่อไร่ร่วมกับการใช้อาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาอัตรา 3 กรัมต่อต้น ให้ผลผลิตข้าวโพดหวานสูงที่สุด

คำขอบคุณ

งานวิจัยนี้ได้รับทุนสนับสนุนจากสำนักงานคณะกรรมการส่งเสริมวิทยาศาสตร์ วิจัยและนวัตกรรม (สกสว.) ร่วมกับกรมวิชาการเกษตร และขอขอบคุณกลุ่มงานวิจัยจุลินทรีย์ดิน กลุ่มวิจัยปฐพีวิทยา กองวิจัยพัฒนาปัจจัยการผลิตทางการเกษตร กรมวิชาการเกษตรที่ให้ความอนุเคราะห์ปุ๋ยชีวภาพสำหรับการวิจัยครั้งนี้ สุดท้ายนี้ขอขอบคุณเจ้าหน้าที่และทีมงานวิจัยทุกท่านที่ให้ความช่วยเหลืองานวิจัยในครั้งนี้

เอกสารอ้างอิง

- กรมวิชาการเกษตร. 2544. คู่มือการวิเคราะห์ดินและพืช. กลุ่มงานวิจัยเคมีดิน กองปฐพีวิทยา กรมวิชาการเกษตร. โรงพิมพ์ชุมนุมสหกรณ์การเกษตรแห่งประเทศไทย จำกัด. กรุงเทพฯ.
- กรมวิชาการเกษตร. 2548. มาตรฐานปุ๋ยอินทรีย์ 2548 ตามประกาศกรมวิชาการเกษตร. แหล่งข้อมูล: <https://www.ratchakitcha.soc.go.th/DATA/PDF/2548/00172707.PDF> [12 มีนาคม 2565].
- กรมวิชาการเกษตร. 2564. คำแนะนำการใช้ปุ๋ยตามค่าวิเคราะห์ดินสำหรับพืชไร่เศรษฐกิจ. กองวิจัยพัฒนาปัจจัยการผลิตทางการเกษตร กรมวิชาการเกษตร. กรุงเทพฯ.
- จักรพงษ์ เจริญศิริ. 2564. วิถีวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพของดิน. สำนักวิจัยพัฒนาปัจจัยการผลิตทางการเกษตร กรมวิชาการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์. 82 หน้า
- จิตรา อินเกตุ. 2563. การจัดการปุ๋ยอินทรีย์สำหรับการผลิตข้าวโพดหวานพันธุ์สงขลา 84-1. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาการจัดการทรัพยากรการเกษตรอย่างยั่งยืน. มหาวิทยาลัยทักษิณ: พัทลุง.
- ศุภกาญจน์ ล้วนมณี สมฤทัย ตันเจริญ ภาวนา ลิกขานนท์ และสุปราณี มั่นหมาย. 2553. ศึกษาการสลายตัวและพฤติกรรมปลดปล่อยธาตุอาหารพืชของปุ๋ยอินทรีย์และปุ๋ยผสมอินทรีย์เคมี ภายใต้สภาพความชื้นสนาม: การทดลองย่อย ศึกษาการสลายตัวและพฤติกรรมปลดปล่อยธาตุอาหารของปุ๋ยหมัก. ผลการปฏิบัติงาน ประจำปีงบประมาณ 2553 เล่มที่ 1: 333-344.
- สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร. 2565. ข้าวโพดหวาน: เนื้อที่เพาะปลูก เนื้อที่เก็บเกี่ยว ผลผลิตและผลผลิตต่อไร่ ปี 2564. แหล่งข้อมูล: <https://www.oae.go.th/assets/portals/1/fileups/prcaidata/files/green%20bean%20%E0%B8%9B%E0%B8%B5%2064.pdf>. [21 พฤศจิกายน 2565].
- Calderón, F. J., McCarty G. W. and Reeves III, J. B. 2005. Analysis of manure and soil nitrogen mineralization during incubation. *Biology and Fertility of Soils*. 41: 328-336.
- Nelson, D.W. and L.E. Sommer. 1982. Total Carbon, Organic Carbon and Organic matter. In: Methods of soil analysis Part 2. Chemical and Microbiology Properties. Agronomy Monograph 9(2nd) ASA-SSSA, Madison, Wisconsin, USA. pp. 539-579.
- Olsen, S.R. and L.E. Sommers. 1982. Phosphorus. P. 403-430. In A.L. Page et al. (ed.) Method of soil analysis. Part 2. Amer. Soc. of Agron, Inc. Madison, Wisc. U.S.A.

- Rayment, G.E. and F.R. Higginson. 1992. Australian laboratory handbook of soil and water chemical methods. Inkata press.
- Walkley, A. and I. A. Black. 1934. An Examination of Degtjareff Method for Determining Soil Organic Matter and a Proposed Modification of the Chromic Acid Titration Method. Soil Sci. 37:29-37.

ศึกษาการใช้ผลิตภัณฑ์ชีวภาพจุลินทรีย์ร่วมกับชีวมวลในการผลิตกระชายตาม GAP
ในดินร่วน-ร่วนปนทราย จังหวัดนครปฐม

Study on Using Bio-product and Biomass to Produce Finger Root on
Good Agricultural Practice in Loamy-Sandy Loam Soil in
Nakhon Pathom Province

ชัชชนพร เกื้อหนูน¹ ภิญญาลักษณ์ รัตนวิระกุล¹ นิสารัตน์ ทวีนุต¹ ศิริลักษณ์ แก้วสุรลิขิต¹

วนิดา โนบรرتها¹ ศุภกาญจน์ ล้วนมณี¹ นุชนาฏ ตันวรรณ¹

Chattananorn Kueanoon¹ Pinyaluck Ratanavirakul¹ Nisarath Thaweenut¹ Siriluk Kaewsuralichit¹

Wanida Nobuntou¹ Supakhar Luanmanee¹ Nuchanat Tunwan¹

กลุ่มวิจัยปฐพีวิทยา

กองวิจัยพัฒนาปัจจัยการผลิตทางการเกษตร

ABSTRACT

Effective fertilizer management is crucial for reducing chemical fertilizer use while enhancing finger root yield and quality. However, current fertilizer recommendations for finger root are often general and lack site-specificity, failing to meet precise crop nutrient requirements. This experiment aimed to evaluate the integrated use of bio-products and biomass for finger root production under Good Agricultural Practices (GAP) in a loamy-sandy loam soil in Nakhon Pathom Province, Thailand. The study was conducted using a Randomized Complete Block (RCB) design with four replicates. Seven treatments were investigated: (1) control; (2) 100% of the recommended chemical fertilizer rate (24-6-24 kg N-P₂O₅-K₂O/rai); (3) 100% recommended chemical fertilizer + 1.0 ton DW/rai cow dung (CD); (4) 75% recommended chemical fertilizer (19-4.5-19 kg N-P₂O₅-K₂O/rai) + CD; (5) 100% recommended chemical fertilizer + CD + arbuscular mycorrhizal fungi (AMF); (6) 75% recommended chemical fertilizer + CD + AMF; and (7) CD + AMF. The results revealed that treatments applying 100% and 75% of the recommended chemical fertilizer rate in combination with cow dung yielded the highest finger root production. These yields were comparable to those achieved with 100% and 75% recommended chemical fertilizer rates combined with cow dung and mycorrhizae, or with 100% recommended chemical fertilizer alone. The average nutrient uptake by finger root was 19.2 kg N, 4.6 kg P, 41.8 kg K, 2.7 kg Ca, and 4.5 kg Mg per rai. Economic analysis for finger root cultivation under GAP in loamy soil (with low organic matter (0.84%) but high available phosphorus (51 mg/kg) and exchangeable potassium (128 mg/kg)) in Nakhon Pathom Province indicated that applying 100% of the recommended chemical fertilizer rate (24-6-24 kg N-P₂O₅-K₂O/rai) along with 1.0 ton DW/rai of cow dung maximized both benefits and net returns.

Keywords: finger root; cow dung; arbuscular mycorrhiza fungi; loamy soil; nutrient uptake

¹กลุ่มวิจัยปฐพีวิทยา กองวิจัยพัฒนาปัจจัยการผลิตทางการเกษตร กรมวิชาการเกษตร, 50 ถ.พหลโยธิน เขตลาดยาว แขวงจตุจักร กรุงเทพฯ

¹Soil science group, Agricultural Production Sciences Research and Development Office, Department of Agriculture.

50 Phaholyothin road, Ladyao, Chatuchak, Bangkok 10900, Thailand.

บทคัดย่อ

การจัดการปุ๋ยที่เหมาะสมมีความสำคัญอย่างยิ่งในการลดการใช้ปุ๋ยเคมี พร้อมทั้งเพิ่มผลผลิตและคุณภาพของกระชาย อย่างไรก็ตาม คำแนะนำการใช้ปุ๋ยสำหรับกระชายในปัจจุบันยังคงเป็นแบบทั่วไป ขาดความจำเพาะเจาะจงกับสภาพพื้นที่และความต้องการธาตุอาหารของพืช การวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาการใช้ผลิตภัณฑ์ชีวภาพจุลินทรีย์ร่วมกับชีวมวลในการผลิตกระชายภายใต้หลักปฏิบัติทางการเกษตรที่ดี (GAP) ในดินร่วน-ร่วนปนทราย ณ จังหวัดนครปฐม ในปี พ.ศ. 2566 การทดลองวางแบบบล็อกสุ่มในบล็อกสมบูรณ์ (Randomized Complete Block, RCB) มี 7 กรรมวิธี และ 4 ซ้ำ กรรมวิธีประกอบด้วย: (1) ชุดควบคุม; (2) ใส่ปุ๋ยเคมี 100% ของอัตราแนะนำ (24-6-24 กิโลกรัม $N-P_2O_5-K_2O$ ต่อไร่); (3) ใส่ปุ๋ยเคมี 100% ของอัตราแนะนำร่วมกับมูลวัวนมในอัตรา 1.0 ตัน DW ต่อไร่; (4) ใส่ปุ๋ยเคมี 75% ของอัตราแนะนำ (19-4.5-19 กิโลกรัม $N-P_2O_5-K_2O$ ต่อไร่) ร่วมกับมูลวัวนม; (5) ใส่ปุ๋ยเคมี 100% ของอัตราแนะนำร่วมกับมูลวัวนมและเชื้อราไมคอร์ไรซา; (6) ใส่ปุ๋ยเคมี 75% ของอัตราแนะนำร่วมกับมูลวัวนมและเชื้อราไมคอร์ไรซา; และ (7) ใส่มูลวัวนมร่วมกับเชื้อราไมคอร์ไรซา ผลการทดลองพบว่า การให้ปุ๋ยเคมี 100% และ 75% ของอัตราแนะนำร่วมกับมูลวัวนมให้ผลผลิตกระชายสูงสุด ซึ่งผลผลิตที่ได้นี้ใกล้เคียงกับการให้ปุ๋ยเคมี 100% และ 75% ของอัตราแนะนำร่วมกับมูลวัวนมและเชื้อราไมคอร์ไรซา หรือการให้ปุ๋ยเคมี 100% ของอัตราแนะนำเพียงอย่างเดียว ปริมาณการดูดใช้ธาตุอาหารของกระชายเท่ากับ 19.2, 4.6, 41.8, 2.7 และ 4.5 กิโลกรัม N, P, K, Ca และ Mg ต่อไร่ ตามลำดับ เมื่อพิจารณาผลตอบแทนทางเศรษฐกิจในการปลูกกระชายตามระบบ GAP ในดินร่วน จังหวัดนครปฐม ซึ่งมีอินทรีย์วัตถุต่ำ (0.84%) แต่มีฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์สูง (51 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม) และโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้สูง (128 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม) พบว่าการให้ปุ๋ยเคมี 100% ของอัตราแนะนำ (24-6-24 กิโลกรัม $N-P_2O_5-K_2O$ ต่อไร่) ร่วมกับมูลวัวนมในอัตรา 1.0 ตัน DW ต่อไร่ มีความคุ้มค่ากับการลงทุนและให้ผลตอบแทนสุทธิสูงสุด

คำสำคัญ: กระชาย; มูลวัวนม; เชื้อราไมคอร์ไรซา; ดินร่วน; การดูดใช้ธาตุอาหาร

บทนำ

กระชายเป็นพืชที่มีศักยภาพในการเป็นสมุนไพรเชิงเศรษฐกิจและเป็นพืชเครื่องเทศสำคัญ ปี พ.ศ. 2566 ประเทศไทยมีพื้นที่ปลูกกระชายประมาณ 11,823 ไร่ ผลผลิตรวม 11,596 ตัน ผลผลิตเฉลี่ย 2,500 กิโลกรัมต่อไร่ จังหวัดนครปฐมมีพื้นที่ปลูกกระชายมากที่สุด 5,185 ไร่ ผลผลิตรวม 5,744 ตัน ผลผลิตเฉลี่ย 2,800 กิโลกรัมต่อไร่ (กรมวิชาการเกษตร, 2566) กระชายสามารถปลูกได้ในทุกพื้นที่ แต่การปลูกแล้วให้ผลผลิตและคุณภาพที่ได้มาตรฐานอาจแตกต่างกันออกไป เนื่องจากข้อจำกัดของสภาพพื้นที่และสภาพภูมิอากาศ โดยดินที่เหมาะสมควรเป็นดินร่วน ดินร่วนปนทราย และดินร่วนเหนียว มีอินทรีย์วัตถุมากกว่า 2 เปอร์เซ็นต์ ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ 20-40 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม และโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ 100-300 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม (Harder *et. al.*, 2007) ขณะที่พื้นที่ปลูกกระชายในจังหวัดนครปฐมจัดอยู่ในชุดดินกำแพงแสน ที่มีเนื้อดินเป็นดินเหนียว ดินร่วน และดินร่วนเหนียวปนทราย อินทรีย์วัตถุต่ำถึงปานกลาง ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ต่ำถึงสูงมาก และโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ต่ำถึงปานกลาง (กรมวิชาการเกษตร, 2565) ซึ่งให้เห็นว่า ชนิดของดินและปริมาณธาตุอาหารในดินบางพื้นที่ไม่สอดคล้องกับความต้องการของกระชาย หากปราศจากการจัดการดินและปุ๋ยที่ดีย่อมส่งผลกระทบต่อการเจริญเติบโตและผลผลิตได้ เนื่องจากพืชแต่ละชนิดหรือแม้เป็นพืชชนิดเดียวกันแต่ต่างสายพันธุ์ก็มีความต้องการธาตุอาหารในปริมาณที่ไม่เหมือนกัน

การผลิตพืชให้ได้ทั้งปริมาณและผลผลิตที่มีคุณภาพและเป็นที่ต้องการของตลาดทั้งภายในและต่างประเทศต้องอาศัยเทคโนโลยีการผลิตที่มีประสิทธิภาพ จึงจักช่วยให้สามารถเพิ่มขีดความสามารถในการแข่งขันและยกระดับมาตรฐานการผลิตสินค้าเกษตรให้มีมูลค่ามากขึ้น ประเทศไทยมีทรัพยากรที่หลากหลายยังไม่

ถูกนำมาใช้อย่างเต็มที่ในการผลิตกระชาย ทั้งชีวมวลที่หาได้ง่ายในท้องถิ่นและชีวภาพจากจุลินทรีย์ที่ก่อให้เกิดมูลค่าทางเศรษฐกิจและเพิ่มประสิทธิภาพการใช้ปุ๋ยได้ ด้วยการใส่ปุ๋ยเคมีอย่างต่อเนื่องและในปริมาณมากเกินไป กระตุ้นดินเสื่อมคุณภาพเร็วยิ่งขึ้น ธาตุอาหารในดินเสียสมดุล ผลผลิตไม่เป็นไปตามเป้าหมาย ตลอดระยะเวลาที่ผ่านมากรมวิชาการเกษตรได้ทำการวิจัยอย่างต่อเนื่องเกี่ยวกับประสิทธิภาพของจุลินทรีย์ที่สามารถช่วยส่งเสริมความเป็นประโยชน์ของธาตุอาหารพืช ทำให้ได้จุลินทรีย์ดินที่มีศักยภาพสูงและสามารถนำมาเพิ่มประสิทธิภาพในการผลิตได้ นอกจากนี้ ยังมีวัสดุอินทรีย์จากภาคเกษตรปริมาณมากกว่า 135 ล้านตันต่อปี มีศักยภาพนำมาผลิตเป็นปุ๋ยอินทรีย์เพื่อเพิ่มมูลค่าจากวัสดุเหลือใช้ภาคการเกษตรได้

ดังนั้น จึงนำเทคโนโลยีการจัดการธาตุอาหารพืชโดยการใช้ประโยชน์ทรัพยากรชีวภาพภายในประเทศมาใช้เพิ่มประสิทธิภาพการผลิตพืชปลอดภัยในการผลิตกระชายให้ได้ตรงตามความต้องการของตลาด เพื่อยกระดับการผลิตกระชายให้มีความปลอดภัยและได้มาตรฐาน ลดต้นทุนการผลิต พร้อมทั้งรักษาคุณภาพทรัพยากรดินไปใช้ประโยชน์ในการผลิตพืชได้อย่างยั่งยืน สร้างความเข้มแข็งทางเศรษฐกิจของชุมชนและเพิ่มขีดความสามารถในการแข่งขันของประเทศ

อุปกรณ์และวิธีการ

อุปกรณ์

- | | |
|--------------------------------------|---------------------------------------|
| (1) กระชายพันธุ์พวง | (2) ปุ๋ยแอมโมเนียมซัลเฟต (21-0-0) |
| (3) ปุ๋ยไดแอมโมเนียมฟอสเฟต (18-46-0) | (4) ปุ๋ยโพแทสเซียมคลอไรด์ (0-0-60) |
| (5) เชื้อราไมคอร์ไรซา | (6) มูลวัวนม |
| (7) อุปกรณ์เก็บตัวอย่างดินและพืช | (8) สารเคมีวิเคราะห์ตัวอย่างดินและพืช |
| (9) อุปกรณ์ระบบน้ำ | |

วิธีการ

วางแผนการทดลองแบบ RCB มี 7 กรรมวิธี จำนวน 4 ซ้ำ ได้แก่ (1) ควบคุม (control) (2) ใส่ปุ๋ยเคมี 100% ของอัตราแนะนำ (24-6-24 กิโลกรัม N-P₂O₅-K₂O ต่อไร่) (100% RDF) (3) ใส่ปุ๋ยเคมี 100% ของอัตราแนะนำ+มูลวัวนม (อัตรา 1.0 ตัน DW ต่อไร่) (CD) (4) ใส่ปุ๋ยเคมี 75% ของอัตราแนะนำ (19-4.5-19 กิโลกรัม N-P₂O₅-K₂O ต่อไร่) (75% RDF)+มูลวัวนม (5) ใส่ปุ๋ยเคมี 100% ของอัตราแนะนำ+มูลวัวนม+ไมคอร์ไรซา (AMF) (6) ใส่ปุ๋ยเคมี 75% ของอัตราแนะนำ+มูลวัวนม+ไมคอร์ไรซา (7) ใส่มูลวัวนม+ไมคอร์ไรซา

ดำเนินการทดลอง ณ แปลงเกษตรกร ตำบลทุ่งลูกนก อำเภอกำแพงแสน จังหวัดนครปฐม เป็นดินร่วนซุยดินกำแพงแสน (Ks) (Fine-silty, mixed, semiactive, isohyperthermic Typic Haplustalfs) (กรมพัฒนาที่ดิน, ม.ป.ป.) ใช้แปลงย่อยขนาด 3.0x3.6 เมตร ใส่มูลวัวนมพร้อมสับกลบลงดิน อัตรา 1.0 ตัน DW ต่อไร่ ปล่อยทิ้งไว้ 7 วัน จึงปลูกเหง้ากระชายพันธุ์พวง อายุ 10 เดือน ที่ผ่านการแช่สารป้องกันโรครากเน่า-โคนเน่า ในหลุมปลูกที่ใส่เชื้อราไมคอร์ไรซา อัตรา 5 กรัมต่อหลุม และรองพื้นด้วยปุ๋ย P+ ½ K ใช้ระยะปลูก 0.15x0.15 เมตร ปลูกแถวเดี่ยว จำนวน 20 แถว ไร่ละ 24 ต้น พร้อมกลบดิน คลุมแปลงด้วยฟางข้าวและฉีดพ่นสารเคมีคุมวัชพืช การจัดการปุ๋ย ดังนี้ ครั้งที่ 1 รองพื้นด้วยปุ๋ย P+ ½ K ครั้งที่ 2 อายุ 2 เดือนหลังปลูก ใส่ ¼ N ครั้งที่ 3 อายุ 3 เดือนหลังปลูก ใส่ ¼ N+ ½ K ครั้งที่ 4 อายุ 4 เดือนหลังปลูก ใส่ ¼ N และครั้งที่ 5 อายุ 5 เดือนหลังปลูก ใส่ ¼ N ในรูปปุ๋ยแอมโมเนียมซัลเฟต ปุ๋ยไดแอมโมเนียมฟอสเฟต และปุ๋ยโพแทสเซียมคลอไรด์ เมื่อกระชายอายุ 3 เดือน ฉีดพ่นสารสกัดจากสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงิน เข้มข้น

20 เปอร์เซ็นต์ ในทุกกรรมวิธี ทุก ๆ 15 วัน จำนวน 5 ครั้ง ดูแลรักษาตามวิธีปฏิบัติของเกษตรกรผู้ปลูกกระชาย GAP ให้น้ำระบบสปริงเกอร์ เก็บเกี่ยวผลผลิตที่อายุ 8 เดือน (วันที่ 15 มกราคม 2567) ในพื้นที่เก็บเกี่ยว 1.5x1.4 เมตร

การวิเคราะห์สมบัติทางเคมีของดิน

เก็บตัวอย่างดินรวมก่อนปลูกที่ระดับความลึก 0-20 เซนติเมตร วิเคราะห์เนื้อดิน โดยวิธี Hydrometer (Bouyoucos, 1962) ความเป็นกรด-ด่าง (pH) โดยใช้อัตราส่วนดินต่อน้ำ เท่ากับ 1:1 (Davis, 1943) ค่าการนำไฟฟ้า (EC) ใช้อัตราส่วนดินต่อน้ำ เท่ากับ 1:5 ด้วยเครื่อง Electric conductivity (Rayment and Higginson, 1992) อินทรีย์วัตถุ (OM) (Walkley & Black, 1934) โดยการย่อยดินด้วยกรดซัลฟิวริกเข้มข้นและสารละลาย 0.167M $K_2Cr_2O_7$ ไทเตรทด้วยสารละลาย 0.5M ammonium ferrous sulfate ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ (available phosphorus) โดยสกัดดินด้วยวิธี Bray-II (Bray and Kurtz, 1945) วิเคราะห์ปริมาณโดยวิธีเทียบสี (colorimetric by ascorbic acid method) (Kuo, 1996) วัดปริมาณด้วยเครื่อง Spectrophotometer โปแทสเซียม แคลเซียม และแมกนีเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ (exchangeable K Ca Mg) โดยสกัดดินด้วยสารละลาย 1M NH_4OAc pH 7.0 (Pratt, 1965) วัดปริมาณด้วยเครื่อง Atomic Absorption Spectrophotometer (AAS)

การวิเคราะห์สมบัติมูลวัวนม

วิเคราะห์มูลวัวนมหาความชื้น ความเป็นกรด-ด่าง อัตราส่วนดินต่อน้ำ เท่ากับ 1:5 ค่าการนำไฟฟ้า อัตราส่วนดินต่อน้ำ เท่ากับ 1:10 อินทรีย์วัตถุ ไนโตรเจน ฟอสฟอรัสและโปแทสเซียมทั้งหมด ปริมาณไนโตรเจน โดยวิธี Micro-Kjeldahl method ฟอสฟอรัสและโปแทสเซียมทั้งหมด โดยการย่อยตัวอย่างด้วยกรดผสมระหว่าง กรดเปอร์คลอริกและกรดไนตริก สัดส่วน 1:2 วิเคราะห์ฟอสฟอรัสโดยวิธี Molybdate-vanadate yellow color ส่วนโปแทสเซียมวิเคราะห์ด้วย Flame Spectrophotometer (กลุ่มวิจัยเกษตรเคมี, 2551)

การวิเคราะห์ธาตุอาหารในตัวอย่างกระชาย

เก็บตัวอย่างกระชายอายุ 2-8 เดือน แยกเป็นส่วนใบ กาบใบ ลำต้น เหง้า รากและรากสะสมอาหารบดละเอียด วิเคราะห์ปริมาณและการดูดใช้ในโตรเจน ฟอสฟอรัส โปแทสเซียม แคลเซียม และแมกนีเซียม โดยไนโตรเจน ทั้งหมด (total N) ย่อยด้วยกรดซัลฟิวริกเข้มข้นและตัวเร่งปฏิกิริยา วิเคราะห์ปริมาณโดยวิธี micro-Kjeldahl method (Bremner, 1960) ฟอสฟอรัสและโปแทสเซียมทั้งหมด ย่อยตัวอย่างด้วยกรดผสมระหว่างกรดเปอร์คลอริก และกรดไนตริก สัดส่วน 1:2 (กลุ่มงานวิจัยเคมีดิน, 2544) นำสารละลายตัวอย่างไปวิเคราะห์ความเข้มข้นของ ฟอสฟอรัสทั้งหมด โดยการทำให้เกิดสีตามวิธี Vanadomolybdate และวัดความเข้มสีที่เกิดขึ้นด้วยเครื่อง Spectrophotometer (Anderson and Ingram, 1993) วัดปริมาณโปแทสเซียม แคลเซียมและแมกนีเซียมทั้งหมด ด้วยเครื่อง AAS (Okalebo *et al.*, 2002)

การวิเคราะห์ทางสถิติ

ข้อมูลที่ได้จากการวิเคราะห์ในห้องปฏิบัติการและการทดลองปลูกในสภาพแปลง นำมาหาค่าความแปรปรวนทางสถิติ (analysis of variance) เพื่อหาค่า F-value และค่าทางสถิติอื่น ๆ สำหรับการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ย โดยวิธี Duncan's New Multiple's Range Test (DMRT) โดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูปทางสถิติของ IRRISTAT Version 3/9

ระยะเวลาดำเนินการ	เริ่มต้น ตุลาคม 2565 สิ้นสุด กันยายน 2566
สถานที่	1) แปลงเกษตรกร ตำบลทุ่งลูกนก อำเภอกำแพงแสน จังหวัดนครปฐม 2) กลุ่มวิจัยปฐพีวิทยา กองวิจัยพัฒนาปัจจัยการผลิตทางการเกษตร

ผลการทดลองและวิจารณ์

1.สมบัติของดินก่อนปลูก

ดินแปลงทดลองมีเนื้อดินเป็นดินร่วน เหมาะสมต่อการปลูกพืช ดินเป็นด่างเล็กน้อย (pH 7.7) ไม่มีความเค็ม อินทรีย์วัตถุต่ำ (0.84 เปอร์เซ็นต์) ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์สูงมาก (51 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม) โพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้สูง (128 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม) แคลเซียมสูงมาก (3,432 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม) และแมกนีเซียมปานกลาง (328 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม) (Table 1) การไม่ปรับปรุงบำรุงดินของเกษตรกรส่งผลให้อินทรีย์วัตถุในดินต่ำและการเน้นใส่ปุ๋ยสูตรเสมออย่างต่อเนื่องหรือปุ๋ยยูเรีย จึงเกิดการสะสมของฟอสฟอรัสในดินสูง ทั้งๆ ที่ พืชในวงศ์ขิงต้องการฟอสฟอรัสต่ำ แต่โพแทสเซียมและไนโตรเจน พืชมีการดูดใช้ในปริมาณสูงมาก

Table 1 Soil properties before planting finger root at Kamphaeng Saen District, Nakhon Pathom Province

Year	Soil texture	pH	EC (mS/cm)	OM (%)	Avail. P (..... mg/kg)	Exch. K	Exch. Ca	Exch. Mg
2023	Loamy	7.7	0.054	0.84	51	128	3,432	328

2.สมบัติทางเคมีมูลวัวนม

มูลวัวนมมีความชื้น 10.0 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักสด C/N ratio 24.4 อินทรีย์วัตถุ 70.2 เปอร์เซ็นต์ ปริมาณ N, P และ K ทั้งหมด เท่ากับ 1.95, 0.34 และ 1.27 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ การใส่มูลวัวนมอัตรา 1.0 ตัน DWต่อไร่ คิดเป็น N, P และ K ที่ใส่ลงไปในดิน 19.5, 3.4 และ 12.7 กิโลกรัม N, P₂O₅ และ K₂Oต่อไร่ ตามลำดับ (Table 2) อย่างไรก็ตาม อนินทรีย์ไนโตรเจนในปุ๋ยอินทรีย์สามารถปลดปล่อยออกมาให้พืชได้ 10-40 เปอร์เซ็นต์ของปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด (ศุภกาญจน์และคณะ, 2553)

Table 2 Nutrient content in cow dung

Year	Type	pH (1:5)	EC (1:10) (dS/m)	Moisture (..... %	OM	Total N	Total P ₂ O ₅	Total K ₂ O
2023	Cow dung	7.98	9.3	10.0	70.2	1.95	0.34	1.27

3.การเจริญเติบโตกระชาย

กระชายมีความสูงต้นที่อายุ 2 และ 4 เดือน ไม่แตกต่างระหว่างกรรมวิธีที่ใส่และไม่ใส่ปุ๋ย โดยกรรมวิธีปุ๋ยต่าง ๆ มีความสูงต้นอยู่ระหว่าง 20.1-23.2 และ 49.2-53.8 เซนติเมตร ตามลำดับ ขณะที่ กรรมวิธีไม่ใส่ปุ๋ยเลยมีความสูงต้น 19.0 และ 42.6 เซนติเมตร ตามลำดับ (Table 3) การใส่มูลวัวนมร่วมกับปุ๋ยเคมีทำให้มีจุลินทรีย์ที่หลากหลาย จึงส่งเสริมการหมุนเวียนของไนโตรเจนในดินและสูญเสียได้ง่าย สอดคล้องกับ Sun *et al.* (2015) และแม้ใส่เชื้อราไมคอร์ไรซาร่วมกับปุ๋ยเคมีและมูลวัวนม ก็ไม่เพิ่มความสูงและน้ำหนักแห้งกระชาย ซึ่งสอดคล้องกับ Yamawaki *et al.* (2013) นอกจากนี้ การใส่ปุ๋ยเคมีในดินที่มีฟอสฟอรัสสูง ยังทำให้ปริมาณเชื้อราไมคอร์ไรซาและประสิทธิภาพการทำงานลดลง (Liu *et al.*, 2019; Qu *et al.*, 2021)

Table 3 Height of finger root at 2 and 4 months after planting (MAP)

Treatments	Height (cm)	
	2 MAP	4 MAP
1.Control	19.0	42.6
2.100%RDF	22.5	49.2
3.100%RDF+CD	23.1	51.4
4.75%RDF+CD	21.9	51.8
5.100%RDF+CD+AMF	23.2	53.5
6.75%RDF+CD+AMF	22.7	51.8
7.CD+AMF	20.1	49.3
mean	21.8	50.0
F-test	ns	ns
CV (%)	3.9	10.3

¹⁴Means followed by the same letter within a column are not significantly different at 5% level of probability using DMRT,

^{ns}: not significant

4.ผลผลิตกระชาย

การจัดการปุ๋ยตามกรรมวิธีต่างๆ ให้ผลผลิตกระชายแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ การให้ปุ๋ยเคมี 100% และ 75% ของอัตราแนะนำร่วมกับมูลวัวนมได้รับผลผลิตสูงสุด (10,057 และ 9,880 กิโลกรัมต่อไร่ ตามลำดับ) ซึ่งใกล้เคียงกับการให้ปุ๋ยเคมี 100% และ 75% ของอัตราแนะนำร่วมกับมูลวัวนมและไมคอร์ไรซา และการให้ปุ๋ยเคมี 100% ของอัตราแนะนำเพียงอย่างเดียว แต่สูงกว่าการให้มูลวัวนมร่วมกับไมคอร์ไรซาและกรรมวิธีไม่ใส่ปุ๋ย (7,111 และ 5,664 กิโลกรัมต่อไร่ ตามลำดับ) และเป็นไปในทิศทางเดียวกับน้ำหนักแห้งรากสะสมอาหาร (Table 4)

Table 4 Yield and dry weight of finger root and rhizome grown at Nakhon Pathom province

Treatments	Yield (kg/rai)	Dry weight (kg/rai)	
		Rhizome	Root storage
1.Control	5,664 c	404	567 d
2.100%RDF	8,076 abc	471	960 bc
3.100%RDF+CD	10,057 a	486	1,297 a
4.75%RDF+CD	9,880 a	551	1,161 ab
5.100%RDF+CD+AMF	8,102 abc	489	914 bc
6.75%RDF+CD+AMF	8,838 ab	488	1,127 ab
7.CD+AMF	7,111 bc	448	741 cd
means	8,247	477	967
F-test	*	<1	**
CV. (%)	16.9	20.2	16.8

¹⁴Means followed by the same letter within a column are not significantly different at 5% level of probability using DMRT,

^{ns}: not significant, *: significant at 1% level probability **: significant at 5% level probability

ความเข้มข้นธาตุอาหารในส่วนต่าง ๆ กระชาย

ใบและกาบใบมีความเข้มข้น $K > N > Ca > Mg > P$ (Table 5) โดยในทุกช่วงอายุมี Ca, Mg และ P ในปริมาณใกล้เคียงกัน แต่ความเข้มข้น N และ K ลดลงตามอายุของพืชที่เพิ่มขึ้น ซึ่งให้เห็นว่า ธาตุอาหารทั้งสองถูกส่งไปยังส่วนที่กำลังเจริญเติบโต สอดคล้องกับ Hikosaka *et al.* (1994) และ Zhang *et al.* (1996) ช่วง 4 เดือนแรก ปริมาณ K ที่สูงในกาบใบก็เพื่อเสริมความแข็งแรงให้ผนังเซลล์และส่งผลให้ลำต้นกับเหง้าในการสร้างรากสะสมอาหาร ส่วน Ca เป็นองค์ประกอบสำคัญของผนังเซลล์ ท่อลำเลียงน้ำและอาหาร จึงมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตั้งแต่ช่วง 5 เดือน หากได้รับไม่เพียงพอจะกระทบต่อการดูดน้ำ ธาตุอาหารและผนังเซลล์อ่อนแอ (ชัยสิทธิ์และคณะ, 2564) ใบกระชายที่ระยะ 2-3 เดือนมี N, K และ Mg อยู่ในระดับที่เพียงพอเมื่อเทียบกับความเข้มข้นที่พอเหมาะของ N, K และ Mg ในใบขมิ้นชัน ซึ่งอยู่ที่ระดับ 1.22-2.75%, 3.66-6.60% และ 0.61-1.25% ตามลำดับ แต่ความเข้มข้น P (0.28-0.29%) ต่ำกว่าความเข้มข้นที่พอเหมาะในใบขมิ้นชัน ซึ่งอยู่ที่ระดับ 0.36-1.27% แตกต่างกับ Singh *et al.* (1999) พบว่า ระดับ P ที่เหมาะสมในใบขมิ้นชันอยู่ในช่วง 0.2-0.5% ขณะที่ ความเข้มข้น Ca (1.15-1.23%) สูงกว่าเมื่อเทียบกับในใบขมิ้นชัน ซึ่งอยู่ที่ระดับ 0.18-0.33% (Kumar *et al.*, 2003) สอดคล้องกับ Perni (2005) พบว่ามีค่าอยู่ในช่วง 1.20-1.91%

ลำต้นมีความเข้มข้น $K > N > Mg > Ca, P$ (Table 5) ปริมาณ N ลดลงตามอายุที่เพิ่มขึ้น ขณะที่ P, K, Ca และ Mg มีค่าใกล้เคียงกัน ลำต้นมีความเข้มข้น K 6.28-6.64% และ Mg 0.50-0.70% ตามลำดับ แต่เมื่อลำต้นกลายเป็นเหง้า K และ Mg ในเหง้าลดเหลือ 1.27-2.44% และ 0.25-0.31% ตามลำดับ เนื่องจาก K ในเหง้าถูกดูดนำไปใช้ในการเจริญเติบโตของรากสะสมอาหาร สอดคล้องกับ Azizah *et al.* (2022) ส่วน Mg ถูกนำไปใช้เสริมสร้างความแข็งแรงของผนังเซลล์ เคลื่อนย้ายแป้งและน้ำตาลหรือภาวะปฏิบัติการระหว่าง K และ Ca

รากมี $K > N > Ca > Mg, P$ (Table 5) โดย N, K, Ca และ Mg ในทุกช่วงอายุไม่ต่างกัน แต่ P มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเนื่องจากจำเป็นต่อการเจริญเติบโตของราก นอกจากนี้ การใส่ปุ๋ยฟอสเฟตร่วมกับปุ๋ยแอมโมเนียมหรือปุ๋ยที่มีฤทธิ์เป็นกรด ทำให้รากดูดใช้ P ได้ดีขึ้นและแก้ปัญหาการถูกตรึงกับ Ca ได้ (Elbasiouny *et al.*, 2020) ซึ่งสอดคล้องกับชนิดของปุ๋ย N ที่ใช้ในการวิจัยครั้งนี้

เหง้ามีความเข้มข้น N เพิ่มขึ้นตามอายุ (0.77%, 1.31%, 1.68% และ 1.87% ตามลำดับ) (Table 5) เพื่อสะสมเป็นอาหารให้ต้นอ่อนในฤดูปลูกต่อไป สอดคล้องกับ Lee *et al.* (1981b) รายงานว่า N ในเหง้าสะสมอย่างต่อเนื่องถึงช่วงเก็บเกี่ยว (8 เดือน) เหง้ามี K, Ca และ Mg ไม่ต่างกันในทุกช่วงอายุ ซึ่งแตกต่างกับปริญญ (2563) รายงานว่า ช่วง 6-8 เดือน Ca ในเหง้ากระชายมีแนวโน้มลดลง จะเห็นว่า เหง้ากระชายมีความเข้มข้น N, P, K และ Ca อยู่ในระดับที่เพียงพอเมื่อเทียบกับความเข้มข้นที่พอเหมาะในเหง้าขมิ้นชัน ซึ่งอยู่ที่ระดับ 0.88-1.54%N, 0.20-0.34%P, 1.17-2.51%K และ 0.18-1.28%Ca ตามลำดับ แต่ความเข้มข้น Mg (0.25-0.31%) สูงกว่าเมื่อเทียบกับความเข้มข้น Mg ในเหง้าขมิ้นชัน ซึ่งอยู่ที่ระดับ 0.11-0.19%Mg (Kumar *et al.*, 2000)

ในแต่ละช่วงอายุ รากและรากสะสมอาหารมีความเข้มข้น N, P และ K ใกล้เคียงกัน แต่ความเข้มข้น Ca และ Mg ในรากสะสมอาหารต่ำ (Table 5) สอดคล้องกับปริญญ (2563) รายงานว่า ช่วง 6-8 เดือน รากสะสมอาหารมี Ca ต่ำและต่ำกว่าในใบ กาบใบและราก แม้ Ca และ Mg มีบทบาทในการเคลื่อนย้ายคาร์โบไฮเดรต (Sanghamithre and Menon, 2014; Koch *et al.* 2019) แต่พบสะสมมากในใบ กาบใบและรากหรือส่วนเหนือดินมากกว่าส่วนใต้ดิน อย่างไรก็ตาม รากและรากสะสมอาหารมี K สูงกว่าธาตุอาหารอื่น ๆ เนื่องจากจำเป็นต่อการสร้างและเคลื่อนย้ายคาร์โบไฮเดรต และกิจกรรม Starch synthase enzyme ซึ่งไม่ต่างจากแมกนีเซียม (White and Broadley, 2009)

สัดส่วนความเข้มข้นและปริมาณการดูดใช้ธาตุอาหารกระชาย

สัดส่วน N:P:K:Ca:Mg ในแต่ละส่วนของพืช ดังนี้ ใบและกาบใบ 8:1:30:5:3 และ 3:1:20:2:1 ตามลำดับ ลำต้นและเหง้า 4:1:17:1:2 และ 4:1:5:1:1 ตามลำดับ รากและรากสะสมอาหาร 5:1:20:4:3 และ 3:1:13:0.4:1 ตามลำดับ ทุกส่วนมีสัดส่วนความเข้มข้น K และ N สูงกว่า Ca, Mg และ P สอดคล้องกับงานวิจัยขมิ้นชันของ

Tania *et al.* (2021) รายงานว่า ขมิ้นชันต้องการ K และ N ในปริมาณสูง แต่การดูดใช้ K นั้นสูงกว่า N และยังสอดคล้องกับ อนันสรุณและคณะ (2564) รายงานว่า K มีบทบาทในการสร้างหัวของขมิ้นชัน การขาดจะส่งผลกระทบต่อการสร้างหัว

ตั้งแต่ช่วง 2-7 เดือนหลังปลูก ทรายต้องการ K สูงสุด 61.8% รองลงมาคือ N 16.6%, Ca 10.3%, Mg 6.6% และ P 4.7% ตามลำดับ สอดคล้องกับงานวิจัยของ Xu *et al.* (1993) ทรายเริ่มแทงรากสะสมอาหารในช่วง 4 เดือนแรก การให้ปุ๋ยช่วงอายุ 2-4 เดือน ส่งผลให้พืชได้รับธาตุอาหารที่เพียงพอต่อการเจริญเติบโตของรากสะสมอาหารที่พบว่าเริ่มแทงออกมาในช่วง 4 เดือนหลังปลูก และเป็นช่วงที่ทรายเริ่มมีความต้องการธาตุอาหารสูง ขณะที่ ระยะ 6 เดือนเป็นต้นไป ปริมาณการดูดใช้ธาตุอาหารลดลง การให้ปุ๋ยในช่วงนี้ส่งผลให้อัตราการสูญเสียมากกว่าอัตราการดูดใช้ในพืช (Figure 1)

Table 5 Nutrient concentration in finger root at different growth stages

Growth stages (MAP)	Plant parts	Nutrient concentration (%)				
		N	P	K	Ca	Mg
2	Leave	2.36	0.28	3.76	1.23	0.71
	Leave sheath	1.77	0.38	8.03	0.72	0.62
	Shoot	1.65	0.37	6.32	0.38	0.50
	Root	1.06	0.16	3.30	0.76	0.56
3	Leave	2.11	0.29	3.79	1.15	0.64
	Leave sheath	1.39	0.39	8.08	0.59	0.52
	Shoot	1.18	0.37	6.28	0.41	0.70
	Root	1.02	0.21	4.43	0.76	0.65
4	Leave	1.92	0.30	3.85	1.29	0.75
	Leave sheath	1.21	0.45	8.44	0.65	0.64
	Shoot	1.16	0.37	6.64	0.45	0.69
	Root	1.09	0.23	4.36	0.89	0.63
5	Leave	1.90	0.25	3.54	1.51	0.64
	Leave sheath	0.85	0.39	7.90	1.01	0.43
	Rhizome	0.77	0.27	2.44	0.30	0.31
	Storage root	0.92	0.28	4.29	0.12	0.26
6	Leave	1.85	0.25	2.53	1.30	0.67
	Leave sheath	0.82	0.30	5.94	0.85	0.46
	Rhizome	1.31	0.28	1.31	0.25	0.25
	Storage root	0.81	0.27	3.42	0.12	0.27
7	Leave	1.49	0.18	2.31	1.57	0.64
	Leave sheath	0.65	0.21	7.06	0.97	0.44
	Rhizome	1.68	0.34	1.38	0.23	0.25
	Storage root	0.72	0.23	3.41	0.11	0.26
8	Leave	-	-	-	-	-
	Leave sheath	-	-	-	-	-
	Rhizome	1.87	0.38	1.29	0.30	0.28
	Storage root	1.00	0.26	3.31	0.11	0.28

*MAP= Months after plant

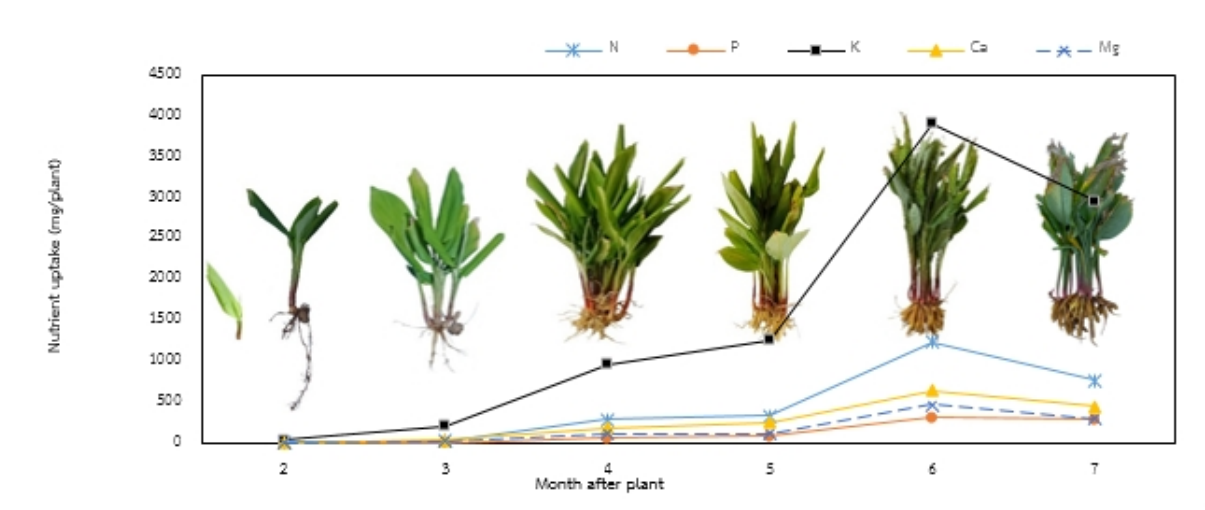


Figure 1 Nutrient uptake in finger root at different growth stages (2-7 MAP)

ปริมาณธาตุอาหารที่สูญเสียในการผลิตกระชาย

ในการผลิตกระชาย ใบและกาบใบที่ร่วงหล่นจกช่วยเพิ่มธาตุอาหารกลับสู่ดิน แต่ผลผลิตที่เป็นส่วนของเหง้า และรากสะสมอาหารที่นำออกไปส่งผลให้สูญเสียธาตุอาหารออกไปนอกพื้นที่ ดังนั้น หากเหง้ามีความเข้มข้นธาตุอาหาร 1.87, 0.38, 1.29, 0.30 และ 0.28 เปอร์เซ็นต์ N, P, K, Ca และ Mg ตามลำดับ ส่วนรากสะสมอาหารมีค่าดังกล่าว 1.00, 0.26, 3.31, 0.11 และ 0.28 เปอร์เซ็นต์ N, P, K, Ca และ Mg ตามลำดับ เป็นปริมาณธาตุอาหารที่สูญเสียออกไปนอกแปลง เท่ากับ 19.2, 4.6, 41.8, 2.7 และ 4.5 กิโลกรัม N, P, K, Ca และ Mg ต่อไร่ ตามลำดับ เทียบเท่าเนื้อปุ๋ย 19.2, 10.5, 50.2, 3.8 และ 7.5 กิโลกรัม N, P₂O₅, K₂O, CaO และ MgO ต่อไร่ ตามลำดับ ที่น้ำหนักแห้งเฉลี่ยเท่ากับ 1,539 กิโลกรัมต่อไร่ (Table 6) คิดเป็นสัดส่วนของ N:P₂O₅:K₂O เท่ากับ 1.8:1.0:4.7 สอดคล้องกับ Karthikeyan *et al.* (2009) รายงานว่า ขมิ้นชัน 1 ตันผลผลิต คิดเป็นปริมาณการดูดใช้ N, P และ K เท่ากับ 2,000, 326 และ 3,517 มิลลิกรัม N, P และ K ต่อไร่ ตามลำดับ

Table 6 Nutrient removal in finger root production at Nakhon Pathom province

Plant parts	Dry weight (kg/rai)	Nutrient concentration (%)					Nutrient uptake (kg/rai)				
		N	P	K	Ca	Mg	N	P	K	Ca	Mg
Rhizome	482	1.87	0.38	1.29	0.30	0.28	9.1	1.8	6.4	1.5	1.4
Storage root	1,057	1.00	0.26	3.31	0.11	0.28	10.1	2.8	35.4	1.2	3.1
Total	1,539						19.2	4.6	41.8	2.7	4.5

ผลตอบแทนทางเศรษฐกิจ

ผลตอบแทนทางเศรษฐกิจโดยใช้อัตราส่วนระหว่างรายได้ที่เพิ่มขึ้นจากการใช้ปุ๋ยต่อรายจ่ายจากการใช้ปุ๋ยหรือ ค่า Value to Cost Ratio (VCR) พบว่า การให้ปุ๋ยเคมี 100%ของอัตราแนะนำเพียงอย่างเดียว หรือการให้ปุ๋ยเคมี 75% และ 100%ของอัตราแนะนำร่วมกับมูลวัวนม ให้ค่า VCR สูงสุดเท่ากับ 28.9, 25.1 และ 27.4 ตามลำดับ และให้ผลตอบแทนสุทธิ 69,855, 121,858 และ 126,535 บาทต่อไร่ ตามลำดับ ซึ่งสูงกว่ากรรมวิธีอื่นๆ ที่ให้ค่า VCR อยู่ในช่วง 5.4-9.4 และได้รับผลตอบแทนสุทธิอยู่ในช่วง 35,380-85,073 บาทต่อไร่ ตามลำดับ ดังนั้น การปลูกกระชายตามระบบ GAP ในดินร่วน ชุดดินกำแพงแสน จังหวัดนครปฐม ที่มีอินทรีย์วัตถุ 0.84

เปอร์เซ็นต์ ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์และโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ 51 และ 128 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ตามลำดับ ซึ่งจัดว่าดินมีความอุดมสมบูรณ์ในระดับปานกลาง การให้ปุ๋ยเคมี 100%ของอัตราแนะนำ (อัตรา 24-6-24 กิโลกรัม N-P₂O₅-K₂Oต่อไร่) ร่วมกับมูลวัวนม อัตรา 1.0 ตัน DWต่อไร่ ถือว่าคุ้มค่ากับการลงทุนและให้ผลตอบแทนสุทธิสูงสุด 126,535 บาทต่อไร่ (Table 7)

Table 7 Value/Cost ratio of fertilizer management in finger root production at Nakhon Pathom province

Treatments	Yield (kg/rai)	Increased Yield (kg/rai)	Gross return (Baht/rai)	Fertilizer cost (Baht/rai)	Net return (Baht/rai)	Value/cost ratio (VCR)
1.Control	5,664	-	-	-	-	
2.100%RDF	8,076	2,412	72,360	2,505	69,855	28.9
3.100%RDF +CD	10,057	4,393	131,790	5,255	126,535	25.1
4.100%RDF+CD+AMF	9,880	4,216	126,480	4,622	121,858	27.4
5.75%RDF+CD	8,102	2,438	73,140	10,535	62,605	6.9
6.75%RDF+CD+AMF	8,838	3,174	95,220	10,147	85,073	9.4
7.CD+AMF	7,111	1,447	43,410	8,030	35,380	5.4

* ปุ๋ย 21-0-0 ราคา 11.4 บาทต่อกิโลกรัม N, ปุ๋ย 18-46-0 ราคา 18.5 บาทต่อกิโลกรัม P, ปุ๋ย 0-0-60 ราคา 26.8 บาทต่อกิโลกรัม K, เชื้อราไมคอร์ไรซา ราคา 52.8 บาทต่อไร่, มูลวัวนม ราคา 2.5 บาทต่อกิโลกรัม, กระชวยราคา 30 บาทต่อกิโลกรัม

สรุปผลการทดลอง

โพแทสเซียมในกาบใบ ไนโตรเจนและแคลเซียมในใบ แมกนีเซียมในใบ กาบใบ ราก และลำต้นมีความเข้มข้นสูงสุด ส่วนฟอสฟอรัสมีค่าใกล้เคียงกันในทุก ๆ ส่วนของพืช ส่วนความเข้มข้นของธาตุอาหารในแต่ละส่วนของพืช ดังนี้ ใบมีโพแทสเซียม>ไนโตรเจน>แคลเซียม>แมกนีเซียม>ฟอสฟอรัส ปริมาณของไนโตรเจนและโพแทสเซียมลดลงตามอายุ แต่แคลเซียม แมกนีเซียมและฟอสฟอรัสมีค่าใกล้เคียงทุกช่วงอายุ กาบใบมีความเข้มข้นธาตุอาหารแต่ละชนิดเหมือนกับใบและไนโตรเจนลดลงตามอายุแต่โพแทสเซียมมีค่าสูงช่วง 4 เดือนแรก จากนั้นความเข้มข้นจะลดลงซึ่งมีค่าตรงกันข้ามกับแคลเซียม ลำต้นมีโพแทสเซียม>ไนโตรเจน>แมกนีเซียม>แคลเซียม และฟอสฟอรัส ซึ่งไนโตรเจนลดลงตามอายุ ส่วนธาตุอื่น ๆ ใกล้เคียงกัน เหง้ามีไนโตรเจน และโพแทสเซียม>แคลเซียม แมกนีเซียม และฟอสฟอรัส โดยไนโตรเจนเพิ่มขึ้นตามอายุ ส่วนธาตุอื่น ๆ ไม่ต่างกันในทุกระยะ รากมีโพแทสเซียม>ไนโตรเจน>แคลเซียม>แมกนีเซียม>ฟอสฟอรัส ซึ่งฟอสฟอรัสมีค่าสูงในช่วง 4 เดือนแรก ส่วนธาตุอื่น ๆ ไม่แตกต่างกัน ส่วนรากสะสมอาหารมีโพแทสเซียม>ไนโตรเจน>แมกนีเซียม ฟอสฟอรัส>แคลเซียม ซึ่งธาตุอาหารทุกชนิดมีค่าใกล้เคียงกันในทุกช่วง

การให้ปุ๋ยเคมี 100% และ 75%ของอัตราแนะนำร่วมกับมูลวัวนมได้รับผลผลิตสูงสุด แต่ใกล้เคียงกับการให้ปุ๋ยเคมี 100% และ 75%ของอัตราแนะนำร่วมกับมูลวัวนมและไมคอร์ไรซาหรือการให้ปุ๋ยเคมี 100%ของอัตราแนะนำเพียงอย่างเดียว กระชวยมีการดูดใช้ธาตุอาหารเท่ากับ 19.2, 4.6, 41.8, 2.7 และ 4.5 กิโลกรัม N, P, K, Ca และ Mg ต่อไร่ ตามลำดับ คิดเป็นสัดส่วนของ N:P₂O₅:K₂O เท่ากับ 1.8:1.0:4.7 เมื่อพิจารณาผลตอบแทนทางเศรษฐกิจด้วยวิธี VCR พบว่า การปลูกกระชวยตามระบบ GAP ในดินร่วน ชุดดินกำแพงแสน จังหวัดนครปฐม ที่มีอินทรีย์วัตถุ 0.84 เปอร์เซ็นต์ ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์และโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ เท่ากับ 51 และ 128 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ตามลำดับ ซึ่งจัดว่าดินมีความอุดมสมบูรณ์ในระดับปานกลาง การใส่ปุ๋ยเคมี 100%ของอัตราแนะนำ (อัตรา 24-6-24 กิโลกรัม N-P₂O₅-K₂Oต่อไร่) ร่วมกับมูลวัวนม อัตรา 1.0 ตัน DWต่อไร่ ถือว่าคุ้มค่ากับการลงทุนและให้ผลตอบแทนสุทธิสูงสุด 126,535 บาทต่อไร่

เอกสารอ้างอิง

- กรมพัฒนาที่ดิน. ม.ป.ป. *ลักษณะและสมบัติของชุดดินจัดตั้งของประเทศไทย*. กรมพัฒนาที่ดิน กระทรวงเกษตรและสหกรณ์ กรุงเทพฯ. แหล่งข้อมูล:
http://oss101.ddd.go.th/thaisoils_museum/pf_desc/pf_desc_all/Ks.htm สืบค้นเมื่อ: 23 พ.ย. 2566.
- กรมวิชาการเกษตร. 2565. *การประเมินสมบัติของดินในพื้นที่ปลูกกระชาย*. กองวิจัยพัฒนาปัจจัยการผลิตทางการเกษตร กรมวิชาการเกษตร กรุงเทพฯ. 24 หน้า.
- กรมวิชาการเกษตร. 2566. *ระบบตรวจรับรองแหล่งผลิตพืชอินทรีย์ กรมวิชาการเกษตร*. กรมวิชาการเกษตร กรุงเทพฯ. แหล่งข้อมูล: www.organic.go.th, สืบค้นเมื่อ: 12 ตุลาคม 2566.
- กลุ่มงานวิจัยเคมีดิน. 2544. *คู่มือการวิเคราะห์ดินและพืช*. พิมพ์ครั้งที่ 1. ชุมนุมสหกรณ์การเกษตรแห่งประเทศไทย จำกัด: กรุงเทพฯ. 164 หน้า.
- กลุ่มวิจัยเกษตรเคมี. 2551. *คู่มือวิเคราะห์ปุ๋ยอินทรีย์*. พิมพ์ครั้งที่ 1. ควิกปรินท์ ออฟเซ็ท: กรุงเทพฯ. 49 หน้า.
- ชัยสิทธิ์ วัฒนาวังจงสุข สุทธิเดชา ขุนทอง กมรินทร์ นิมนวลรัตน์ และสุรเชษฐ์ นารักษ์. 2064. ผลของปริมาณปุ๋ยโพแทสเซียมต่อระดับแคลเซียมและแมกนีเซียมในดินและใบมะนาว. *วารสารวิจัยและส่งเสริมวิชาการเกษตร*. 39(3): 24-39.
- ปริญญา พลจันทร์. 2563. การเจริญเติบโตและผลของ salicylic acid ต่อปริมาณสารทุติยภูมิและแคลเซียมในกระชาย (*Boesenbergia rotunda* (L.) Mansf.). วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต. (เทคโนโลยีการเกษตร) สาขาวิชาเทคโนโลยีการเกษตร คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี.
- ศุภกาญจน์ ล้วนมณี สมฤทัย ตันเจริญ ภาวนา ลิกขนานนท์ และสุปราณี มั่นหมาย. 2553. ศึกษาการสลายตัวและพฤติกรรมการปลดปล่อยธาตุอาหารพืชของปุ๋ยอินทรีย์และปุ๋ยผสมอินทรีย์เคมี ภายใต้สภาพความชื้นสนาม: การทดลองย่อย ศึกษาการสลายตัวและพฤติกรรมการปลดปล่อยธาตุอาหารของปุ๋ยหมัก, ใน: *ผลการปฏิบัติงาน ประจำปีงบประมาณ 2553*. กลุ่มวิจัยปฐพีวิทยา สำนักวิจัยพัฒนาปัจจัยการผลิตทางการเกษตร กรมวิชาการเกษตร. หน้า 333-343.
- อนันสรุล บากา จักรกฤษณ์ พูนภักดี ขวัญตา ขาวมี และ จำเป็น อ่อนทอง. 2564. ผลของการใช้ปุ๋ยเคมีและมูลวัวต่อการเจริญเติบโต ผลผลิต และสารเคอร์มิคูนอยด์ในขมิ้นชันที่ปลูกในดินร่วนเหนียวสีแดงและดินร่วนทราย. *วารสารวิทยาศาสตร์บูรพา*. 26(3): 1611-1626.
- Anderson, J. M. and Ingram, J. S. I. 1993. *A handbook of methods*. CAB International, Wallingford, Oxfordshire. 221: 62-65.
- Azizah, N., E. Nihayati, H. Khotimah, S. Rohmah, E. Widaryanto, Y. Sugito and S. Kurniawan. 2022. Impact of potassium fertilization on yield, nutrient use and response efficiency, and antioxidant content of red ginger (*Zingiber officinale* var. *rubrum* Theilade). *Chilean Journal of Agricultural Researc*. 82(3): 380-389.
- Bouyoucos, G. J. 1962. Hydrometer method improved for making particle size analyses of soils 1. *Agronomy Journal*. 54(5): 464-465.
- Bray, R.H. and N. Kurtz. 1945. Determination of total, organic and available forms of phosphorus in soil. *Soil Sci*. 59: 39-45.
- Bremner, J.M. 1960. Determination of nitrogen in soil by the Kjeldahl method. *J. of Agri. Sci*. 55: 11-33.
- Davis, L.E. 1943. Measurements of pH with the glass electrode as affected by soil moisture. *Soil Sci*. 56(6): 405-422.

- Elbasiouny, H., F. Elbehiry, H. El-Ramady and E.C. Brevik. 2020. *Phosphorus availability and potential environmental risk assessment in alkaline soils*. Available at: <https://www.mdpi.com/2077-0472/10/5/172> Accessed: December 2, 2023.
- Harder, N.K., N.C. Shill, M.A. Siddiky, J. Sarkar and R. Gomes. 2007. Response of turmeric to zinc and boron fertilizer. *J. of Biological Science*. 7(1):182-187.
- Hikosaka, O., I. Terashima and S. Katoh. 1994. Effects of leaf age, nitrogen nutrition and photon flux density on the distribution of nitrogen among leaves of a vine (*Ipomoea tricolor* Cav.) grown horizontally to avoid mutual shading of leaves. *Oecologia*. 97:451-457.
- Karthikeyan, P.K., M. Ravichandran, P. Imas and M. Assaraf. 2009. *The effect of Potassium on the yield and quality of turmeric (Curcuma longa)*. *Optimizing Crop Nutrition*. No. 21. 5 p. Available at: https://www.ipipotash.org/uploads/udocs/eifc_no21-rf1.pdf. Accessed: November 20, 2023.
- Koch, M., M. Busse, M. Naumann, B. Jákl, I. Smit, I. Cakmak, C. Hermans and E. Pawelzik. 2019. Differential effects of varied potassium and magnesium nutrition on production and partitioning of photo assimilates in potato plants. *Physiol. Plant*. 166(4): 921-935.
- Kumar G.V.V., M.A. Aariff and H. Begum. 2000. Influence of mineral nutrient composition of turmeric rhizome on curcumin content of different cultivars. *Indian Journal of Tropical Agriculture*. 18(3): 265-269.
- Kumar, P.S.S., S.A. Geetha, P. Savithri, R. Jagadeeswaran and P.P. Mahendran. 2003. Diagnosis of nutrient imbalances and derivation of new RPZI (Reference Population Zero Index) values using DRIS/MDRIS and CND approaches in leaves of turmeric (*Curcuma longa* var.). *Journal of Applied Horticulture*. 5:7-10.
- Kuo, S. 1996. *Phosphorus*. pp. 869-919. In: *Methods of soil analysis, part 3: Chemical methods*. Soil Science Society of America Journal. Madison, Wisconsin.
- Lee, M. T., D. G. Edwards and C.J. Asher. 1981b. Nitrogen nutrition of ginger II. Establishment of a leaf analysis test. *Field Crops Research*. 4: 69-81.
- Liu, J., J. Zhang, D. Li, C. Xu and X. Xiang. 2019. Differential responses of arbuscular mycorrhizal fungal communities to mineral and organic fertilization. Available at: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/epdf/10.1002/mbo3.920> Accessed: August 5, 2024.
- Okalebo, J. R., K.W. Gathua and P.L. Woomer. 2002. *Laboratory methods of soil and plant analysis: a working manual second edition*. Sacred Africa, Nairobi. 21: 25-26.
- Perni, J. 2005. Nutrient status of turmeric growing soils in Guntur, A.P. India. Thesis: Master of Science in Agriculture. Acharya N.G. Ranga Agriculture University, India. pp. 199. Retrieved from: <https://krishikosh.egranth.ac.in/items/9e28b7d8-aafd-4e6b-9f75-cca62edd91dc> Date: March 1, 2024.
- Pratt, P.F. 1965. *Potassium*, pp. 1022-1030. In C.A. Black, (ed). *Methods of Soil Analysis. Part II*. Amer. Soc. of Agron, Inc. Madison, Wisconsin.

- Qu, L., M. Wang and A. Biere. 2021. Interactive effectiveness of mycorrhizae, soil phosphorus and light on growth and induction and priming of defense in *Plantago lanceolata*. *Natural Library of Medicine*. 12: 1-20.
- Rayment, G.E. and F.R. Higginson. 1992. *Australian laboratory handbook of soil and water chemical methods*. Inkata press, Australia.
- Sanghamithre, V.K. and M.V. Menon. 2014. Effect of S, Ca and Mg on fresh rhizome yield of turmeric (*Curcuma longa* L.). *Journal of Tropical Agriculture*. 52(2): 158-161.
- Singh, D., P.K. Chhonkar and R.N. Panday. 1999. *Soil Plant and Water Analysis: A method manual*. IARI, New Delhi. pp. 160.
- Sun, R., X. Guo, D. Wang and H. Chu. 2015. Effects of long-term application of chemical and organic fertilizers on the abundance of microbial communities involved in the nitrogen cycle. *Applied Soil Ecology*. 95:171-178.
- Tania, C., R. Chatterjee, P. K. Chattopadhyay, A. Phonglosa, T. Basanta and J. W. Haobijam. 2021. Role of Potassium and Nitrogen on Growth, Yield and Quality of Turmeric (*Curcuma longa* L.) cv. "Suranjana" under Alluvial Plains of West Bengal. *Int. J. Curr. Microbiol. App. Sci.* 10(01): 7-12.
- Walkley, A. and Black, I. A. 1934. An examination of the Degtjareff method for determining soil organic matter and a proposed modification of the chromic acid titration method. *Soil science*. 37(1): 29-38.
- White, P.J. and M.R. Broadley. 2009. Bio-fortification of crops with seven mineral elements often lacking in human diets – iron, zinc, copper, calcium, magnesium, selenium and iodine. *New Phytol.* 182: 49-84.
- Xu, K., D.W. Zhao and X.M. Jiang. 1993. Studies on the nitrogen absorption rule in ginger by using isotope ^{15}N . *Acta Hort. Sinica*. 20: 161-165.
- Yamawaki, K., A. Matsumura, R. Hattori, A. Taru, M.A. Hossain, Y. Ohashi and H. Daimon. 2013. Effect of inoculation with arbuscular mycorrhizal fungi on growth, nutrient uptake and curcumin production of turmeric (*Curcuma longa* L.). *Agricultural Sciences*. 4(2):66-71.
- Zhang, Y. and L. Li and G. Liao. 1996. Rules of absorption, distribution, translocation of nitrogen phosphorus and potassium in turmeric plant. *National Library of Medicine*. 21(8): 462-509.

ศึกษาการใช้ผลิตภัณฑ์ชีวภาพจากจุลินทรีย์ร่วมกับชีวมวลในการผลิตกระชายอินทรีย์
ในดินร่วน-ร่วนปนทราย จังหวัดนครปฐม

Study on Using of Bio-fertilizer and Biomass to Produce Organic
Fingerroot on Loamy-Sandy Loam Soil in Nakhon Pathom Province

ปญญาลักษณ์ รัตนวิระกุล ศุภกาญจน์ ล้วนมณี วนิดา โนบรรเทา ชัชชนพร เกื้อหนุน
ศิริลักษณ์ แก้วสุรลิขิต ศรีสุดา รื่นเจริญ ทิพวรรณ แก้วหนู ปฎิมาภรณ์ จินจาคาม นิสารัตน์ ทวีนุต

Pinyaluck Ratanavirakul Suphakarn Luanmanee Wanida Nobuntou

Chattananporn Kueanoon Sirilak Kaewsuralikhit Srisuda Reuncharoen Tipawan Kaewnnoo

Patimaporn Jinjakam Nisarath Thaweenut

กลุ่มวิจัยปฐพีวิทยา

กองวิจัยพัฒนาปัจจัยการผลิตทางการเกษตร

ABSTRACT

High-quality, standardized fingerroot products are in market demand. However, current observations indicate that most farmers' fertilizer management practices are unsuitable for specific soil conditions and plant nutritional needs, largely due to a lack of fundamental information on macronutrient quantities. Therefore, this research aimed to investigate appropriate organic nutrient management for fingerroot, utilizing dairy cow manure, pelleted Azolla, and arbuscular mycorrhizal biofertilizer in loam-sandy loam soils in Nakhon Pathom Province. The experiments were conducted in farmer's fields from 2022 to 2024. In 2022, a randomized complete block (RCB) design with 6 treatments and 4 replicates was employed. The most effective treatment from 2022 was selected for further trials in 2023, using an RCB design with 4 treatments and 6 replicates. Subsequently, the highest-yielding method from 2023 was again selected for field trials in 2024 across 2 plots using an RCB design with 3 treatments and 6 replicates.

The results demonstrated that nutrient management for organic fingerroot cultivated in medium fertility loam to sandy loam soils in Nakhon Pathom Province, by applying dairy cow manure at 1.5 t DW/rai combined with pelleted Azolla at 1.5 t DW/rai, and the same combination along with arbuscular mycorrhizal fungi at 5 grams/hole, led to the statistically highest fingerroot yields. Average yields were 5,448-5,581 kg/rai in 2022, 8,610-8,711 kg/rai in 2023, and 6,659-8,213 kg/rai in 2024, respectively. Furthermore, the application of dairy cow manure at 1.5 t DW/rai combined with pelleted Azolla at 1.5 t DW/rai resulted in the highest value to cost ratios of 3.19, 8.93, 2.83-7.02 in 2022, 2023, 2024, respectively.

Keywords: Organic fingerroot; Cow dairy manure; Pelleted Azolla, Arbuscular mycorrhiza fungi; Loam Soil

บทคัดย่อ

ผลผลิตกระชายที่มีคุณภาพได้มาตรฐานเป็นที่ต้องการของตลาด อย่างไรก็ตาม ในปัจจุบันกลับพบว่าการจัดการปุ๋ยของเกษตรกรส่วนใหญ่ยังไม่เหมาะสมกับสภาพดินและความต้องการธาตุอาหารของพืช เนื่องจากยังขาดข้อมูลพื้นฐานของปริมาณธาตุอาหารหลัก ดังนั้น งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาการจัดการธาตุอาหารของกระชายตามวิธีเกษตรอินทรีย์อย่างเหมาะสมโดยใช้มูลวัวนม แหนแดงอัดเม็ด และปุ๋ยชีวภาพอาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาที่ปลูกในดินร่วน-ร่วนปนทราย จังหวัดนครปฐม โดยทำการทดลองในแปลงเกษตรกรในปี 2565-2567 ในปี 2565 วางแผนการทดลองแบบ Randomized Complete Block (RCB) ประกอบด้วย 6 กรรมวิธี จำนวน 4 ซ้ำ จากนั้นคัดเลือกกรรมวิธีที่ดีที่สุดจากปี 2565 มาทำการทดลองในปี 2566 โดยวางแผนการทดลองแบบ RCB ประกอบด้วย 4 กรรมวิธี จำนวน 6 ซ้ำ และในปี 2567 ทำการคัดเลือกกรรมวิธีที่ให้ผลผลิตสูงสุดจากปี 2566 มาทำการทดลองจำนวน 2 แปลง วางแผนการทดลองแบบ RCB ประกอบด้วย 3 กรรมวิธี จำนวน 6 ซ้ำ

ผลการทดลองพบว่า การจัดการธาตุอาหารสำหรับการปลูกกระชายอินทรีย์ในดินร่วน-ร่วนปนทรายที่มีความอุดมสมบูรณ์ปานกลาง จังหวัดนครปฐม ด้วยการใส่มูลวัวนมอัตรา 1.5 ตันน้ำหนักร่วมกับแหนแดงอัดเม็ด อัตรา 1.5 ตันน้ำหนักร่วมกับ และ การใส่มูลวัวนมและแหนแดงอัดเม็ดอัตราเดียวกันร่วมกับปุ๋ยชีวภาพอาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซา อัตรา 5 กรัมต่อหลุม ส่งผลให้ผลผลิตของกระชายสูงสุดในปี 2565 เฉลี่ย 5,448-5,581 กิโลกรัมต่อไร่ ในปี 2566 เฉลี่ย 8,610-8,711 กิโลกรัมต่อไร่ และในปี 2567 เฉลี่ย 6,659-8,213 กิโลกรัมต่อไร่ ตามลำดับ นอกจากนี้การใส่มูลวัวนมอัตรา 1.5 ตันน้ำหนักร่วมกับ แหนแดงอัดเม็ด อัตรา 1.5 ตันน้ำหนักร่วมกับ มีผลตอบแทนทางเศรษฐกิจจุ่มค่าที่สุด 3.19, 8.93 และ 2.83-7.02 ในปี 2565, 2566, 2567 ตามลำดับ

คำสำคัญ: กระชายอินทรีย์; มูลวัวนม, แหนแดงอัดเม็ด; ปุ๋ยชีวภาพอาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซา; ดินร่วน

บทนำ

กระชาย (*Boesenbergia rotunda* (L.) Mansf.) ซึ่งจัดอยู่ในวงศ์ Zingiberaceae เป็นพืชสมุนไพรที่มีคุณค่าทางโภชนาการและสรรพคุณทางยา โดยมีฤทธิ์ต้านแบคทีเรีย เชื้อราบางชนิด ต้านการอักเสบ และลดไข้ (กรมการแพทย์แผนไทยและการแพทย์ทางเลือก, 2566) ข้อมูลในปี พ.ศ. 2566 ระบุว่า ประเทศไทยมีพื้นที่ปลูกกระชายรวม 11,823 ไร่ ให้ผลผลิตรวม 11,596 ตัน หรือเฉลี่ย 2.5 ตันต่อไร่ จังหวัดนครปฐมเป็นแหล่งปลูกที่สำคัญที่สุด มีพื้นที่ปลูก 5,185 ไร่ ให้ผลผลิต 5,744 ตัน คิดเป็น 2.8 ตันต่อไร่ รองลงมาคือจังหวัดกาญจนบุรี มีพื้นที่ปลูก 3,947 ไร่ และผลผลิต 4,639 ตัน คิดเป็น 2.9 ตันต่อไร่ (กรมวิชาการเกษตร, 2566) อย่างไรก็ตาม พื้นที่ปลูกกระชายที่ได้รับการรับรองมาตรฐานเกษตรอินทรีย์จากกรมวิชาการเกษตรมีเพียง 10.4 ไร่ ซึ่งคิดเป็นเพียง 0.089 เปอร์เซ็นต์ของพื้นที่ปลูกกระชายทั้งหมด (กรมวิชาการเกษตร, 2566)

ปัญหาสำคัญที่ส่งผลกระทบต่อผลผลิตกระชายที่มีคุณภาพตามมาตรฐานคือ การจัดการปุ๋ยของเกษตรกรส่วนใหญ่ยังไม่เหมาะสมกับสภาพดินและความต้องการธาตุอาหารของพืช ประกอบกับพื้นที่เกษตรกรรมในประเทศไทยจำนวนมาก โดยเฉพาะ 98 ล้านไร่ ยังคงมีความอุดมสมบูรณ์ต่ำและมีปริมาณอินทรีย์วัตถุในดินน้อยกว่า 1.5 เปอร์เซ็นต์ (โสฬส, 2559) ซึ่งส่งผลให้ผลผลิตกระชายที่มีคุณภาพยังไม่เพียงพอต่อความต้องการของตลาด

ด้วยความต้องการผลผลิตกระชายที่มีคุณภาพสูงในตลาด การผลิตพืชในแนวทางเกษตรอินทรีย์จึงเป็นทางเลือกสำคัญในการยกระดับมาตรฐานความปลอดภัย ประเทศไทยมีทรัพยากรชีวภาพที่หลากหลายซึ่งสามารถนำมาใช้เป็นแหล่งธาตุอาหารสำหรับพืชได้ นอกจากนี้ กรมวิชาการเกษตรยังเป็นศูนย์รวมจุลินทรีย์ดินที่มีศักยภาพสูงซึ่งสามารถนำมาพัฒนาเป็นปุ๋ยชีวภาพและสารส่งเสริมการเจริญเติบโตของพืชได้ ตัวอย่างเช่น แหนแดง (*Azolla microphylla*) ที่ได้รับการปรับปรุงให้มีปริมาณไนโตรเจนสูงถึง 4-5 เปอร์เซ็นต์ (ศิริลักษณ์และคณะ, 2563)

สาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงิน (*Hapalosiphon* sp.) ที่อุดมด้วยกรดอะมิโนหลายชนิด สามารถกระตุ้นการดูดใช้ธาตุอาหารของพืช เพิ่มความทนทานต่อสภาวะเครียด และช่วยเพิ่มคุณภาพผลผลิต (ศิริลักษณ์และประไพ, 2563) รวมถึงเชื้อราอาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซา (*Glomus* sp.) ที่ช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการใช้น้ำและธาตุอาหารของพืช (นิศารัตน์ และคณะ, 2563)

ดังนั้น การจัดการดินและธาตุอาหารพืชแบบบูรณาการ โดยการนำทรัพยากรชีวภาพทั้งจุลินทรีย์และชีวมวลมาใช้ จึงเป็นสิ่งสำคัญที่จะช่วยให้พืชได้รับธาตุอาหารอย่างเต็มศักยภาพ เพิ่มประสิทธิภาพการผลิตพืช ปรับปรุงโครงสร้างดิน และนำไปสู่การผลิตพืชที่ให้ทั้งปริมาณและคุณภาพที่คุ้มค่าทางเศรษฐกิจ จากเหตุผลดังกล่าว งานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลของการใช้มูลวัวนม แหนแดงอัดเม็ด และปุ๋ยชีวภาพอาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาต่อผลผลิตของกระชายที่ปลูกในดินร่วน-ร่วนปนทราย จังหวัดนครปฐม ตามแนวทางเกษตรอินทรีย์

อุปกรณ์และวิธีการ

อุปกรณ์

1. หัวพันธุ์กระชาย (พันธุ์พวง)
2. มูลวัวนม แหนแดงอัดเม็ด ปุ๋ยชีวภาพอาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซา เชื้อราชนิดแบคทีเรีย *Bacillus subtilis* สายพันธุ์ BS-DOA 24 และสารสกัดสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงิน
3. อุปกรณ์สำหรับเก็บตัวอย่างดินและพืช
4. วัสดุวิทยาศาสตร์ เครื่องมือวิทยาศาสตร์ เครื่องแก้ว และสารเคมีต่าง ๆ ที่ใช้ในห้องปฏิบัติการ สำหรับวิเคราะห์ปริมาณธาตุอาหารในดินและพืช

วิธีการ

ปี 2565 วางแผนการทดลองแบบ Randomized Complete Block (RCB) ประกอบด้วย 6 กรรมวิธี จำนวน 4 ซ้ำ ได้แก่ 1) ควบคุม (Control) 2) ใส่มูลวัวนม (CD = cow dairy manure) อัตรา 1.5 ตันน้ำหนักแห้งต่อไร่ 3) ใส่แหนแดงอัดเม็ด (AZ = Pelleted Azolla) อัตรา 1.5 ตันน้ำหนักแห้งต่อไร่ 4) ใส่แหนแดงอัดเม็ด (AZ) อัตรา 1.5 ตันน้ำหนักแห้งต่อไร่ + ปุ๋ยชีวภาพอาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซา (AZ+AMF = Arbuscular mycorrhiza fungi) อัตรา 10 กรัมต่อหลุม 5) ใส่มูลวัวนม (CD) อัตรา 1.5 ตันน้ำหนักแห้งต่อไร่ + แหนแดงอัดเม็ด (AZ) อัตรา 1.5 ตันน้ำหนักแห้งต่อไร่ และ 6) ใส่มูลวัวนม (CD) อัตรา 1.5 ตันน้ำหนักแห้งต่อไร่ + แหนแดงอัดเม็ด (AZ) อัตรา 1.5 ตันน้ำหนักแห้งต่อไร่ + ปุ๋ยชีวภาพอาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซา (AMF) ดำเนินการทดลองที่แปลงเกษตรกร หมู่ 10 ตำบลทุ่งลูกนก อำเภอกำแพงแสน จังหวัดนครปฐม พิกัดแปลง 47P 0596761E 1547663N

ปี 2566 คัดเลือกกรรมวิธีที่ให้ผลผลิตสูงจากปี 2565 วางแผนการทดลองแบบ Randomized Complete Block (RCB) ประกอบด้วย 4 กรรมวิธี จำนวน 6 ซ้ำ ได้แก่ 1) Control 2) CD 3) AZ + CD 4) AZ + CD + AMF อัตรา 10 กรัมต่อหลุม ดำเนินการทดลองที่แปลงเกษตรกร หมู่ 10 ตำบลทุ่งลูกนก อำเภอกำแพงแสน จังหวัดนครปฐม จำนวน 1 แปลง พิกัดแปลง 47P 595630E 1547977N

ปี 2567 คัดเลือกกรรมวิธีที่ให้ผลผลิตสูงจากปี 2566 วางแผนการทดลองแบบ Randomized Complete Block (RCB) ประกอบด้วย 3 กรรมวิธี จำนวน 6 ซ้ำ ได้แก่ 1) Control 2) AZ + CD 3) AZ + CD + AMF อัตรา 5 กรัมต่อหลุม ดำเนินการทดลองที่แปลงเกษตรกร หมู่ 10 ตำบลทุ่งลูกนก อำเภอกำแพงแสน จังหวัดนครปฐม จำนวน 2 แปลง พิกัดแปลงที่ 1 47P 595617E 1547929N และพิกัดแปลงที่ 2 47P 597077E 1548845N

แปลงทดลองทั้งหมดจัดอยู่ในชุดดินกำแพงแสน จำแนกในระบบอนุกรมวิธานดินได้เป็น Fine-silty, mixed, semiactive, isohyperthermic Typic Haplustalfs โดยทำการไถพลิกหน้าดินให้ลึก 30 เซนติเมตร

แล้วฝังแดดไว้ 7-15 วัน เพื่อลดการระบาดของโรครากเน่า-โคนเน่า จากนั้นทำการไถพรวนจนดินละเอียดเตรียมแปลงย่อยขนาด 3.0 x 2.1 เมตร ระยะระหว่างร่อง 1.5 เมตร แล้วสุ่มเก็บตัวอย่างดิน (composite sample) มาวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพและเคมีของดิน ปลูกระยะชายเมื่อ มิถุนายน 2565 พฤษภาคม 2566 และ พฤษภาคม 2567 ตามลำดับ โดยใช้หัวพันธุ์กระชายที่มีอายุ 8-10 เดือน แบ่งให้มีตาอย่างน้อย 3-5 ตา แล้วแช่ในชีวภัณฑ์แบคทีเรีย *Bacillus subtilis* สายพันธุ์ BS-DOA 24 เพื่อควบคุมโรครากเน่า-โคนเน่า เป็นเวลา 30 นาที จากนั้นฝังให้แห้งก่อนนำไปปลูก ใส่มูลวัวนมอัตรา 1.5 ตันน้ำหนักแห้งต่อไร่ โดยใส่และสับกลบก่อนปลูก 7 วัน แห่นางอีดัดเม็ดใส่พร้อมปลูก และรองกันหลุมด้วยปุ๋ยชีวภาพอาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาตามกรรมวิธีที่กำหนดใช้ระยะปลูก 15x15 เซนติเมตร ปลูกระยะชายแถวเดียว จำนวน 20 แถวๆ ละ 14 ต้น (จำนวน 280 ต้นต่อแปลงย่อย) ให้น้ำระบบสปริงเกอร์ ทุกกรรมวิธีพ่นด้วยสารละลายชีวภัณฑ์ BS-DOA 24 ทุก 30 วัน เพื่อป้องกันโรครากเน่า-โคนเน่า และสารสกัดสารรายสีเขียวแกมน้ำเงินความเข้มข้น 20 เปอร์เซ็นต์ เมื่อกระชายอายุ 2-4 เดือน ทุกๆ 15 วัน ดูแลรักษาตามระบบเกษตรอินทรีย์ เก็บเกี่ยวกระชายที่อายุ 7-8 เดือน (กุมภาพันธ์ 2566 ธันวาคม 2566 และธันวาคม 2567) พื้นที่เก็บเกี่ยว 2.1 ตารางเมตรต่อแปลงย่อย

การวิเคราะห์ดินก่อนปลูก ได้แก่ เนื้อดิน โดยวิธี Hydrometer (Bouyoucos, 1962) ความเป็นกรด-ด่างของดิน อัตราส่วนดิน:น้ำ เท่ากับ 1:1 (Davis, 1943) ค่าการนำไฟฟ้า อัตราส่วนดิน:น้ำ เท่ากับ 1:5 (Rayment and Higginson, 1992) ปริมาณอินทรีย์วัตถุ โดยวิธี wet oxidation (Walkley and Black, 1934) ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ โดยสกัดดินด้วยน้ำยาสกัด Bray II และทำให้เกิดสีด้วยวิธี molybdenum blue แล้ววัดความเข้มข้นสีด้วยเครื่อง spectrophotometer (Bray and Kurtz, 1945) โพแทสเซียม แคลเซียม และแมกนีเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ โดยสกัดดินด้วย 1N ammonium acetate, pH 7.0 แล้ววัดเทียบความเข้มข้นกับสารละลายมาตรฐานด้วยเครื่อง Atomic Absorption Spectrophotometer (Pratt, 1965) และจำนวนสปอร์อาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาในดิน โดยวิธีร่อนตัวอย่างแบบเปียกและปั่นเหวี่ยง (wet sieving and centrifugation) ในดินก่อนปลูก (Daniels and Skipper, 1982)

การวิเคราะห์ชีวมวล ได้แก่ ความชื้น (The National Institute of Agro-environment Sciences, 1987) ค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) อัตราส่วนดิน:น้ำ เท่ากับ 1:5 (กลุ่มงานวิเคราะห์ปุ๋ย, 2541) ค่าการนำไฟฟ้า (EC) อัตราส่วนดิน:น้ำ เท่ากับ 1:10 (Jackson, 1958) อัตราส่วนระหว่างคาร์บอนต่อไนโตรเจน (C/N ratio) ปริมาณอินทรีย์วัตถุ โดยประยุกต์ใช้วิธี Walkley and Black (Walkley and Black, 1934) ไนโตรเจนทั้งหมด โดยวิธี Kjeldahl method (Nelson and Sommers, 1973) ฟอสฟอรัสทั้งหมด โดยการทำให้เกิดสีตามวิธี Vanadomolybdate และวัดความเข้มข้นสีด้วยเครื่อง spectrophotometer (Horwitz, 2005) โพแทสเซียม แคลเซียม และแมกนีเซียมทั้งหมด วัดโดยตรงกับเครื่อง Atomic Absorption Spectrophotometer (Piper, 1966)

วิเคราะห์ผลตอบแทนทางเศรษฐกิจและความคุ้มค่าทางเศรษฐกิจ จากการจัดการดินในการผลิตกระชายอินทรีย์ โดยการวิเคราะห์ Value to Cost ratio (VCR)

ระยะเวลา เริ่มต้น ตุลาคม 2564 สิ้นสุด กันยายน 2567

สถานที่ทำการทดลอง

1. ห้องปฏิบัติการกลุ่มวิจัยปฐพีวิทยา กองวิจัยพัฒนาปัจจัยการผลิตทางการเกษตร
2. แปลงเกษตรกร หมู่ 10 ตำบลทุ่งลูกนก อำเภอกำแพงแสน จังหวัดนครปฐม พิกัดแปลง 47P 0596761E 1547663N
3. แปลงเกษตรกร หมู่ 10 ตำบลทุ่งลูกนก อำเภอกำแพงแสน จังหวัดนครปฐม พิกัดแปลง 47P 595630E 1547977N
4. แปลงเกษตรกร หมู่ 10 ตำบลทุ่งลูกนก อำเภอกำแพงแสน จังหวัดนครปฐม จำนวน 1 แปลง พิกัดแปลง 47P 595617E 1547929N

5. แปลงเกษตรกร หมู่ 10 ตำบลทุ่งลูกนก อำเภอกำแพงแสน จังหวัดนครปฐม จำนวน 1 แปลง พิกัดแปลง 47P 597077E 1548845N

ผลการทดลองและวิจารณ์

1. สมบัติของดินก่อนการทดลอง

ปี 2565 ผลวิเคราะห์ดินที่ระดับความลึก 0-20 เซนติเมตร พบว่า เนื้อดินเป็นดินร่วน ดินเป็นด่างเล็กน้อย (pH 7.8) และดินไม่มีความเค็ม ปริมาณอินทรีย์วัตถุและโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้อยู่ในระดับต่ำ ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์อยู่ในระดับสูง แคลเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ 1,988 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม แมกนีเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ 181 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม (ตารางที่ 1) ซึ่งอยู่ในระดับที่เพียงพอกับความต้องการของกระชาย (Liang and Karamanos, 1993) มีจำนวนสปอร์อาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาในดิน 5 สปอร์ต่อดิน 100 กรัม

ปี 2566 ผลวิเคราะห์ดินก่อนการทดลอง (ตารางที่ 1) พบว่า เนื้อดินเป็นดินร่วน ดินเป็นด่างเล็กน้อย (pH 7.42) และดินไม่มีความเค็ม ปริมาณอินทรีย์วัตถุและฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์อยู่ในระดับต่ำ โพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้อยู่ในระดับสูง แคลเซียมและแมกนีเซียมที่แลกเปลี่ยนได้อยู่ในระดับที่เพียงพอกับความต้องการของกระชาย (Liang and Karamanos, 1993) สำหรับผลวิเคราะห์จุลินทรีย์ดินก่อนปลูก พบว่า มีจำนวนสปอร์อาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาในดิน เท่ากับ 12 สปอร์ต่อดิน 100 กรัม

ปี 2567 ผลวิเคราะห์สมบัติดินก่อนปลูกกระชาย พบว่า ดินแปลงที่ 1 เนื้อดินเป็นดินร่วน มีปฏิกิริยาดินเป็นด่างเล็กน้อย (pH 7.51) และดินไม่มีความเค็ม ปริมาณอินทรีย์วัตถุอยู่ในระดับต่ำ ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์และโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้อยู่ในระดับสูง แคลเซียมและแมกนีเซียมที่แลกเปลี่ยนได้อยู่ในระดับสูง มีจำนวนสปอร์อาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาในดิน 33 สปอร์ต่อดิน 100 กรัม (ตารางที่ 1) และดินแปลงที่ 2 เนื้อดินเป็นดินร่วนปนทราย มีปฏิกิริยาดินเป็นด่างเล็กน้อย (pH 7.66) และดินไม่มีความเค็ม ปริมาณอินทรีย์วัตถุอยู่ในระดับต่ำ ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์อยู่ในระดับสูง โพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้อยู่ในระดับปานกลาง แคลเซียมที่แลกเปลี่ยนได้อยู่ในระดับสูง แมกนีเซียมที่แลกเปลี่ยนได้อยู่ในระดับปานกลาง มีจำนวนสปอร์อาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาในดิน เท่ากับ 62 สปอร์ต่อดิน 100 กรัม (ตารางที่ 1)

ตารางที่ 1 ผลวิเคราะห์สมบัติดินก่อนปลูกกระชายในการผลิตกระชายอินทรีย์ที่ปลูกในดินร่วน-ร่วนปนทราย จังหวัดนครปฐม ที่ความลึก 0-20 เซนติเมตร

สมบัติดิน	ปี 2565	ปี 2566	ปี 2567	
			แปลงที่ 1	แปลงที่ 2
ความเป็นกรด-ด่าง (ดิน:น้ำ=1:1)	7.84	7.42	7.51	7.66
ค่าการนำไฟฟ้า (ดิน:น้ำ=1:5) (เดซิซีเมนส์/เมตร)	0.05	0.05	0.11	0.05
อินทรีย์วัตถุ (เปอร์เซ็นต์)	1.07	1.06	1.60	1.30
ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ (มก./กก.)	35.7	10.2	91.3	80.3
โพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ (มก./กก.)	23.6	119	327	107
แคลเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ (มก./กก.)	1,988	1,524	3,023	2,713
แมกนีเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ (มก./กก.)	181	121	419	124
เนื้อดิน	ดินร่วน	ดินร่วน	ดินร่วน	ดินร่วนปนทราย
จำนวนสปอร์/ดิน 100 กรัม	5	12	33	62

ลักษณะดินที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของกระชาย ควรเป็นดินร่วน หรือดินร่วนปนทราย เนื่องจากพืชสมุนไพรโดยทั่วไปรากต้องการออกซิเจนในขบวนการหายใจและพัฒนาเหง้า (คณาธิป และคณะ, 2561) ควรมีความเป็นกรด-ด่างของดินอยู่ในช่วง 5.1-7.3 ซึ่งเป็นช่วงที่มีความเหมาะสมต่อความเป็นประโยชน์ของธาตุอาหารพืช และการทำงานของจุลินทรีย์ดิน ควรมีความอินทรีย์วัตถุมากกว่า 2 เปอร์เซ็นต์ มีปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ในดินอยู่ในช่วง 20-40 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม มีปริมาณโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้อยู่ในช่วง 100-300 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม (กรมส่งเสริมการเกษตร, 2551) แคลเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ 400 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม แมกนีเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ 60-100 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม (Harder *et al.*, 2007)

2. สมบัติของชีวมวลที่ใช้ในการทดลอง

สมบัติของชีวมวลที่ใช้ในการผลิตกระชายอินทรีย์ในดินร่วน-ร่วนปนทราย จังหวัดนครปฐม มีปริมาณธาตุอาหารไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียม เป็นไปตามค่ามาตรฐานของปุ๋ยอินทรีย์ที่กรมวิชาการเกษตรกำหนด ยกเว้น ปริมาณฟอสฟอรัสในแผนแดงอัดเม็ดที่ใช้ในการทดลองปี 2565 และ 2566 ที่ต่ำกว่าเกณฑ์ (0.34-0.46 เปอร์เซ็นต์)

ปี 2565 ผลวิเคราะห์สมบัติของชีวมวลแสดงดังตารางที่ 2 การใส่มูลวัวนม อัตรา 1.5 ตันน้ำหนักรับต่อไร่ คิดเป็นปริมาณไนโตรเจน ฟอสฟอรัสและโพแทสเซียมที่ใส่ลงไปในดิน 21, 47 และ 47 กิโลกรัม N, P_2O_5 และ K_2O ต่อไร่ ตามลำดับ และการใส่แผนแดงอัดเม็ด อัตรา 1.5 ตันน้ำหนักรับต่อไร่ คิดเป็นปริมาณไนโตรเจน ฟอสฟอรัสและโพแทสเซียมที่ใส่ลงไปในดิน 42, 16 และ 40 กิโลกรัม N, P_2O_5 และ K_2O ต่อไร่ ตามลำดับ

ปี 2566 การใส่มูลวัวนมอัตรา 1.5 ตันน้ำหนักรับต่อไร่ คิดเป็นปริมาณธาตุอาหารไนโตรเจน 21 กิโลกรัม N ต่อไร่ ฟอสฟอรัส 48 กิโลกรัม P_2O_5 ต่อไร่ และโพแทสเซียม 47 กิโลกรัม K_2O ต่อไร่ ส่วนการใส่แผนแดงอัดเม็ด อัตรา 1.5 ตันน้ำหนักรับต่อไร่ คิดเป็นปริมาณธาตุอาหารไนโตรเจน 18 กิโลกรัม N ต่อไร่ ฟอสฟอรัส 12 กิโลกรัม P_2O_5 ต่อไร่ และโพแทสเซียม 23 กิโลกรัม K_2O ต่อไร่ (ตารางที่ 2)

ปี 2567 ผลวิเคราะห์สมบัติของชีวมวลแสดงดังตารางที่ 2 เมื่อคิดเป็นปริมาณธาตุอาหารที่ใส่ลงดิน พบว่าการใส่มูลวัวนมอัตรา 1.5 ตันน้ำหนักรับต่อไร่ คิดเป็นปริมาณธาตุอาหารไนโตรเจน 22 กิโลกรัม N ต่อไร่ ฟอสฟอรัส 35 กิโลกรัม P_2O_5 ต่อไร่ และโพแทสเซียม 42 กิโลกรัม K_2O ต่อไร่ ส่วนการใส่แผนแดงอัดเม็ดอัตรา 1.5 ตันน้ำหนักรับต่อไร่ คิดเป็นปริมาณธาตุอาหารไนโตรเจน 45 กิโลกรัม N ต่อไร่ ฟอสฟอรัส 18 กิโลกรัม P_2O_5 ต่อไร่ และโพแทสเซียม 54 กิโลกรัม K_2O ต่อไร่ อย่างไรก็ตาม อนินทรีย์ไนโตรเจนในปุ๋ยอินทรีย์สามารถปลดปล่อยออกมาให้พืชใช้ประโยชน์ได้เพียง 10-40 เปอร์เซ็นต์ของปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด (ศุภกาญจน์และคณะ, 2553)

ตารางที่ 2 ผลวิเคราะห์สมบัติทางเคมีของมูลวัวนมและแหนแดงอัดเม็ดที่ใช้ในการผลิตกระชายอินทรีย์ที่ปลูกในดินร่วน-ร่วนปนทราย จังหวัดนครปฐม

ชีวมวล	ความชื้น	อินทรีย์	pH ¹	EC ²	C/N ³	ไนโตรเจน	ฟอสฟอรัส	โพแทสเซียม	แคลเซียม	แมกนีเซียม
	เปอร์เซ็นต์.....	วัตถุ	1:5	1:10	ratio	ทั้งหมด	ทั้งหมด	ทั้งหมด	ทั้งหมด	ทั้งหมด
				(เดซิซีเมนส์/ เมตร)		(.....เปอร์เซ็นต์.....)				
ปี 2565										
มูลวัวนม	12	58	8.9	8.4	24	1.4	1.36	2.6	1.1	0.57
แหนแดงอัดเม็ด	11	68	7.5	7.5	14	2.8	0.46	2.2	2.4	0.31
ปี 2566										
มูลวัวนม	16.7	70.7	7.98	9.29	14.7	1.4	1.40	2.6	1.1	0.57
แหนแดงอัดเม็ด	11.1	28.1	6.03	8.43	6.8	1.2	0.34	1.3	1.1	0.39
ปี 2567										
มูลวัวนม	10.1	62.5	8.05	3.03	24.7	1.47	1.03	2.33	3.01	0.51
แหนแดงอัดเม็ด	9.61	65.9	6.75	6.50	14.7	3.02	0.52	3.00	0.81	0.28
ค่ามาตรฐานปุ๋ยอินทรีย์ ⁴	< 35	≥ 30	5.5-8.5	≤ 6	≤ 20:1	≥ 1.0	≥ 0.5	≥ 0.5	-	-

หมายเหตุ: ¹ค่าความเป็นกรด-ด่าง อัตราส่วนดิน:น้ำ=1:5 ²ค่าการนำไฟฟ้า อัตราส่วนดิน:น้ำ=1:10 ³อัตราส่วนระหว่างคาร์บอนต่อไนโตรเจน ⁴มาตรฐานปุ๋ยอินทรีย์ พ.ศ. 2548 ตามประกาศกรมวิชาการเกษตร กรมวิชาการเกษตร (2548)

3. ผลของการใช้ผลิตภัณฑ์ชีวภาพจุลินทรีย์ร่วมกับชีวมวลต่อผลผลิตและองค์ประกอบผลผลิตของกระชายอินทรีย์ที่ปลูกในดินร่วน-ร่วนปนทราย จังหวัดนครปฐม

ปี 2565 การจัดการปุ๋ยด้วยมูลวัวนมอัตรา 1.5 ตันต่อไร่ ร่วมกับแหนแดงอัดเม็ดอัตรา 1.5 ตันต่อไร่ มีแนวโน้มให้ผลผลิตกระชายสูงที่สุด 5,581 กิโลกรัมต่อไร่ รองลงมาคือ การใส่มูลวัวนมร่วมกับแหนแดงอัดเม็ด และปุ๋ยชีวภาพอาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาให้ผลผลิตกระชาย 5,448 กิโลกรัมต่อไร่

ปี 2566 การใส่มูลวัวนมอัตรา 1.5 ตันต่อไร่ ร่วมกับแหนแดงอัดเม็ดอัตรา 1.5 ตันต่อไร่ ทำให้ผลผลิตกระชายสูงที่สุดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ เท่ากับ 8,711 กิโลกรัมต่อไร่ แต่ไม่แตกต่างจากการใส่มูลวัวนมร่วมกับแหนแดงอัดเม็ดและปุ๋ยชีวภาพอาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซา ที่ให้ผลผลิต 8,610 กิโลกรัมต่อไร่ ส่วนการใส่มูลวัวนมอัตรา 1.5 ตันต่อไร่เพียงอย่างเดียว ให้ผลผลิต 7,263 กิโลกรัมต่อไร่ และการไม่ใส่ปุ๋ยทำให้กระชายมีผลผลิตต่ำที่สุดทางสถิติ 6,895 กิโลกรัมต่อไร่ นอกจากนี้ การใส่มูลวัวนมร่วมกับแหนแดงอัดเม็ด และการใส่มูลวัวนมร่วมกับแหนแดงอัดเม็ดและปุ๋ยชีวภาพอาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซา ส่งผลให้กระชายมีผลผลิตดีสูงที่สุดอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ 7,467 และ 7,352 กิโลกรัมต่อไร่ ตามลำดับ (ตารางที่ 3)

ตารางที่ 3 ผลผลิตและองค์ประกอบผลผลิตของกระชายอินทรีย์ที่ปลูกในดินร่วน-ร่วนปนทราย จังหวัดนครปฐม

กรรมวิธี	ผลผลิตทั้งหมด ¹ (กก./ไร่)	ผลผลิตดี ² (กก./ไร่)	รากฝอย (กก./ไร่)
ปี 2565*			
1. Control	4,470	2,400	1,505
2. CD	5,156	3,086	1,638
3. AZ	4,825	2,686	1,486
4. AZ + AMF	4,571	2,019	1,124
5. CD + AZ	5,581	2,705	1,543
6. CD + AZ + AMF	5,448	3,200	1,486
Mean	5,008	3.5	1.9
F-test	ns	ns	ns
CV (%)	8.4	30	32
ปี 2566			
1. Control	6,895 ^c	5,778 ^b	1,117
2. CD	7,263 ^{bc}	6,108 ^b	1,156
3. CD + AZ	8,711 ^a	7,467 ^a	1,244
4. CD + AZ + AMF	8,610 ^{ab}	7,352 ^a	1,257
Mean	7,870	6,676	1,194
F-test	*	**	ns
CV (%)	14.0	13.1	29.9
ปี 2567			
แปลงที่ 1			
1. Control	5,455 ^b	4,404 ^b	1,051 ^b
2. CD + AZ	7,650 ^a	5,958 ^a	1,691 ^a
3. CD + AZ + AMF	8,213 ^a	6,872 ^a	1,341 ^b
Mean	7,106	5,745	1,361
F-test	**	**	**
CV (%)	13.1	11.9	15.3
แปลงที่ 2			
1. Control	5,775 ^b	4,709	1,066 ^b
2. CD + AZ	6,659 ^{ab}	5,379	1,280 ^b
3. CD + AZ + AMF	7,421 ^a	5,516	1,905 ^a
Mean	6,618	5,201	1,417
F-test	**	ns	*
CV (%)	15.6	20.6	30.2

หมายเหตุ: ns = ไม่มีความแตกต่างทางสถิติ, * = แตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95%, ** = แตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 99%, ค่าเฉลี่ยในคอลัมน์เดียวกันที่ตามด้วยตัวอักษรเหมือนกันมีค่าไม่แตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% โดยวิธี DMRT, ผลผลิตทั้งหมด = ผลผลิตของรากและเหง้ากระชาย, ผลผลิตดี = ผลผลิตที่ทำการคัดเลือกรากและเหง้าที่ไม่สมบูรณ์และรากฝอยออก, *ปี 2565 ผลผลิตเสียหายเนื่องจากมีการระบาดของโรครากเน่าโคนเน่า

ปี 2567 ผลผลิตของกระชายอินทรีย์ที่ปลูกในดินร่วน จังหวัดนครปฐม ปี 2567 แสดงดังตารางที่ 3 พบว่า การใส่มูลวัวนม อัตรา 1.5 ตันน้ำหนักแห้งต่อไร่ ร่วมกับແຫນແຕງອັດເມັດ อัตรา 1.5 ตันน้ำหนักแห้งต่อไร่ ทำให้ได้ผลผลิตกระชายแปลงที่ 1 เฉลี่ย 7,650 กิโลกรัมต่อไร่ และแปลงที่ 2 เฉลี่ย 6,659 กิโลกรัมต่อไร่ แต่เมื่อมีการใส่ปุ๋ยชีวภาพอาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาอัตรา 5 กรัมต่อหลุมร่วมด้วย ส่งผลให้กระชายมีผลผลิตสูงสุด โดยแปลงที่ 1 เพิ่มขึ้นจากการไม่ใส่ 7.36 เปอร์เซ็นต์ (8,213 กิโลกรัมต่อไร่) และแปลงที่ 2 เพิ่มขึ้น 11.44 เปอร์เซ็นต์ (7,421 กิโลกรัมต่อไร่) และในผลสอดคล้องกับปี 2566 ในแปลงที่ 1 โดยการใส่มูลวัวนมร่วมกับແຫນແຕງອັດເມັດ และการใส่มูลวัวนมร่วมกับແຫນແຕງອັດເມັດและปุ๋ยชีวภาพอาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซา ส่งผลให้กระชายมีผลผลิตดีสูงที่สุดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ 6,872 และ 5,958 กิโลกรัมต่อไร่ ตามลำดับ

4. ผลตอบแทนทางเศรษฐกิจในการผลิตกระชายอินทรีย์ที่ปลูกในดินร่วน-ร่วนปนทราย จังหวัดนครปฐม

ผลการวิเคราะห์ผลตอบแทนทางเศรษฐกิจแสดงดังตารางที่ 4 พบว่า ในปี 2565-2567 การจัดการปุ๋ยด้วยการใส่มูลวัวนมอัตรา 1.5 ตันน้ำหนักแห้งต่อไร่ ร่วมกับແຫນແຕງອັດເມັດ อัตรา 1.5 ตันน้ำหนักแห้งต่อไร่ ส่งผลให้กระชายมีผลผลิตสูงสุดเฉลี่ย 5,581-8,711 กิโลกรัมต่อไร่ และให้ผลตอบแทนทางเศรษฐกิจคุ้มค่าที่สุด 2.83-8.93 รองลงมาคือ การใส่มูลวัวนมอัตรา 1.5 ตันน้ำหนักแห้งต่อไร่ ให้ผลตอบแทนทางเศรษฐกิจคุ้มค่าที่สุด 3.68-4.08 ซึ่งให้ผลผลิตน้อยกว่าการใส่มูลวัวนมอัตรา 1.5 ตันน้ำหนักแห้งต่อไร่ ร่วมกับແຫນແຕງອັດເມັດ อัตรา 1.5 ตันน้ำหนักแห้งต่อไร่ โดยมีผลผลิตเฉลี่ย 5,156-7,263 กิโลกรัมต่อไร่ ส่วนกรรมวิธีที่มีการใส่ปุ๋ยชีวภาพอาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาร่วมด้วยจะให้ผลตอบแทนทางเศรษฐกิจน้อยที่สุด เนื่องจากมีต้นทุนค่าปุ๋ยชีวภาพอาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาสูงถึงกิโลกรัมละ 120 บาท

ปี 2565 การใส่มูลวัวนมในอัตรา 1.5 ตันต่อไร่ จะได้รับผลตอบแทนทางเศรษฐกิจสูงสุด 4.08 เนื่องจากมีต้นทุนของมูลวัวนมเพียงอย่างเดียว ให้ผลผลิตกระชาย 5,156 กิโลกรัมต่อไร่ และเมื่อมีการใส่มูลวัวนมอัตรา 1.5 ตันน้ำหนักแห้งต่อไร่ ร่วมกับແຫນແຕງອັດເມັດอัตรา 1.5 ตันน้ำหนักแห้งต่อไร่ จะได้รับผลตอบแทนทางเศรษฐกิจลดลง เท่ากับ 3.19 แต่มีแนวโน้มให้ผลผลิตสูงสุด 5,581 กิโลกรัมต่อไร่ (ตารางที่ 4)

ปี 2566 ผลการวิเคราะห์ผลตอบแทนทางเศรษฐกิจแสดงดังตารางที่ 4 พบว่า กรรมวิธีที่ 3 ที่มีการใส่ปุ๋ยมูลวัวนมในอัตรา 1.5 ตันน้ำหนักแห้งต่อไร่ ร่วมกับແຫນແຕງອັດເມັດอัตรา 1.5 ตันน้ำหนักแห้งต่อไร่ ทำให้ผลตอบแทนทางเศรษฐกิจเพิ่มขึ้นเกิน 2.0 โดยมีค่าสูงขึ้นถึง 8.93 และให้ผลผลิตสูงถึง 8,711 กิโลกรัมต่อไร่ รองลงมาคือ กรรมวิธีที่ 2 การใส่มูลวัวนมอัตรา 1.5 ตันน้ำหนักแห้งต่อไร่เพียงอย่างเดียว โดยให้ผลตอบแทนทางเศรษฐกิจ 3.68 และกระชายให้ผลผลิต 7,263 กิโลกรัมต่อไร่ ส่วนกรรมวิธีที่ 4 ที่มีการใส่มูลวัวนมร่วมกับແຫນແຕງອັດເມັດและปุ๋ยชีวภาพอาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซา กระชายให้ผลผลิตสูงขึ้น 8,610 กิโลกรัมต่อไร่ แต่มีผลตอบแทนทางเศรษฐกิจเพียง 0.67 เนื่องจากปุ๋ยชีวภาพอาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซา ราคา กิโลกรัมละ 120 บาท ทำให้ต้นทุนการใส่ปุ๋ยสูงมากเมื่อเปรียบเทียบกับกรรมวิธีอื่น ๆ

ปี 2567 ผลการวิเคราะห์ผลตอบแทนทางเศรษฐกิจแสดงดังตารางที่ 4 พบว่า การใส่ปุ๋ยมูลวัวนมในอัตรา 1.5 ตันน้ำหนักแห้งต่อไร่ ร่วมกับແຫນແຕງອັດເມັດอัตรา 1.5 ตันน้ำหนักแห้งต่อไร่ ทำให้ผลตอบแทนทางเศรษฐกิจเพิ่มขึ้นเกิน 2.0 โดยแปลงที่ 1 มีค่าสูงขึ้นถึง 7.02 มีผลผลิตสูงถึง 7,650 กิโลกรัมต่อไร่ และแปลงที่ 2 มีค่าผลตอบแทนทางเศรษฐกิจ 2.83 มีผลผลิต 6,659 กิโลกรัมต่อไร่ ส่วนกรรมวิธีที่มีการใส่มูลวัวนมร่วมกับແຫນແຕງອັດເມັດและปุ๋ยชีวภาพอาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซา กระชายให้ผลผลิตสูงขึ้น 8,213 กิโลกรัมต่อไร่ในแปลงที่ 1 และ 7,421 กิโลกรัมต่อไร่ในแปลงที่ 2 แต่มีผลตอบแทนทางเศรษฐกิจเพียง 1.22 และ 0.73 เนื่องจากปุ๋ยชีวภาพอาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซา ราคา กิโลกรัมละ 120 บาท ทำให้ต้นทุนการใส่ปุ๋ยสูงมากเมื่อเปรียบเทียบกับกรรมวิธีอื่น

ตารางที่ 4 ผลตอบแทนทางเศรษฐกิจของการปลูกกระชายอินทรีย์ที่ปลูกในดินร่วน-ร่วนปนทราย จังหวัดนครปฐม

กรรมวิธี	ผลผลิต (กก./ไร่)	ผลผลิต ที่เพิ่มขึ้น (กก./ไร่)	ผลผลิต ที่เพิ่มขึ้น (เปอร์เซ็นต์)	รายได้จากการ ขายผลผลิต (บาท/ไร่)	ต้นทุนปุ๋ย (บาท/ไร่)	รายได้ที่เพิ่มขึ้น จากการใส่ปุ๋ย (บาท/ไร่)	VCR
ปี 2565							
1. Control	4,470	-	-	-	-	-	-
2. CD	5,156	686	15.3	13,720	3,360	10,360	4.08
3. AZ	4,825	355	7.9	7,100	3,613	3,487	1.97
4. AZ+AMF	4,571	101	2.3	2,020	86,773	-84,753	0.02
5. CD+AZ	5,581	1,111	24.9	22,220	6,973	15,247	3.19
6. CD+AZ+AMF	5,448	978	21.9	19,560	90,133	-70,573	0.22
ปี 2566							
1. Control	6,895	-	-	-	-	-	-
2. CD	7,263	368	5.3	12,886	3,501	9,385	3.68
3. CD+AZ	8,711	1,816	26.3	63,560	7,117	56,443	8.93
4. CD+AZ+AMF	8,610	1,714	24.9	60,002	90,277	-30,276	0.66
ปี 2567							
<u>แปลงที่ 1</u>							
1. Control	5,455	-	-	-	-	-	-
2. CD+AZ	7,650	2,194	40.2	48,272	6,872	41,400	7.02
3. CD+AZ+AMF	8,213	2,758	50.6	60,676	49,592	11,084	1.22
<u>แปลงที่ 2</u>							
1. Control	5,775	-	-	-	-	-	-
2. CD+AZ	6,659	884	15.3	19,448	6,872	12,576	2.83
3. CD+AZ+AMF	7,421	1,646	28.5	36,212	49,592	-13,380	0.73

หมายเหตุ: 1) ราคามูลวัวนม กิโลกรัมละ 2 บาท , แหนแดงอัดเม็ด กิโลกรัมละ 2.17 บาท และปุ๋ยชีวภาพอาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซา กิโลกรัมละ 120 บาท

2) ปี 2565 ราคากระชายหลังเก็บเกี่ยว 20 บาทต่อกิโลกรัม, ปี 2566 ราคากระชายหลังเก็บเกี่ยว 35 บาทต่อกิโลกรัม และปี 2567 ราคากระชายหลังเก็บเกี่ยว 22 บาทต่อกิโลกรัม

3) Value to Cost Ratio (VCR) = อัตราส่วนระหว่างรายได้ที่เพิ่มขึ้นจากการใส่ปุ๋ย/รายจ่ายจากการใส่ปุ๋ย สำหรับเกษตรกรที่มีต้นทุนจำกัด ระดับค่าวิกฤตอยู่ที่ ระดับ 2.0

สรุปผลการทดลอง

การจัดการธาตุอาหารสำหรับการปลูกกระชายอินทรีย์ในดินร่วน-ร่วนปนทราย จังหวัดนครปฐม ซึ่งดินมีความอุดมสมบูรณ์ปานกลาง โดยมีอินทรีย์วัตถุ 1.06-1.60 เปอร์เซ็นต์ ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ 10.2-91.3 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม และโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ 23.6-327 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ด้วยการใส่มูลวัวนมอัตรา 1.5 ตัน น้ำหนักแห้งต่อไร่ ร่วมกับแหนแดงอัดเม็ด อัตรา 1.5 ตันน้ำหนักแห้งต่อไร่ กระชายให้ผลผลิต 5,581-8,711 กิโลกรัมต่อไร่ และให้ผลตอบแทนทางเศรษฐกิจคุ้มค่าที่สุด 2.83-8.93 รองลงมาคือการใส่มูลวัวนมอัตรา 1.5 ตันน้ำหนักแห้งต่อไร่ ร่วมกับแหนแดงอัดเม็ดอัตรา 1.5 ตันน้ำหนักแห้งต่อไร่ และปุ๋ยชีวภาพอาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซา อัตรา 5 กรัมต่อหลุม ส่งผลให้ผลผลิตของกระชายสูงสุดเฉลี่ย 5,448-8,610 กิโลกรัมต่อไร่

ข้อเสนอแนะ

เกษตรกรสามารถขอรับแม่พันธุ์แพนแดงพร้อมเทคโนโลยีการเพาะเลี้ยงจากกรมวิชาการเกษตร เพื่อนำมาเลี้ยงขยายพันธุ์แพนแดงด้วยตัวเอง แล้วนำไปฝังแดดให้แห้ง เก็บรวบรวมใส่กระสอบไว้เพื่อลดต้นทุนปุ๋ยอินทรีย์

คำขอบคุณ

งานวิจัยนี้ได้รับทุนอุดหนุนจากสำนักงานคณะกรรมการส่งเสริมวิทยาศาสตร์ วิจัยและนวัตกรรม (สกสว.) ปีงบประมาณ 2565-2567

การนำผลงานวิจัยไปใช้ประโยชน์

1. เกษตรกรผู้ปลูกกระชายในพื้นที่จังหวัดนครปฐม นำเทคโนโลยีการจัดการธาตุอาหารพืชด้วยผลิตภัณฑ์ชีวภาพจุลินทรีย์และชีวมวล ไปใช้ในการผลิตกระชายอินทรีย์ สามารถยกระดับผลผลิตและคุณภาพผลผลิตให้ได้มาตรฐาน ทำให้เกษตรกรมีกำไรสุทธิเพิ่มขึ้น
2. นักวิชาการ นักศึกษา และผู้สนใจด้านวิชาการ นำผลงานวิจัยการจัดการธาตุอาหารพืชด้วยผลิตภัณฑ์ชีวภาพและชีวมวลในการผลิตกระชายตามระบบเกษตรอินทรีย์ ไปใช้ในการให้คำแนะนำการจัดการดินและปุ๋ยในการผลิตกระชายอินทรีย์แก่เกษตรกร โดยใช้ปุ๋ยอินทรีย์ที่หาได้ง่ายในพื้นที่ร่วมกับการใช้แพนแดงและปุ๋ยชีวภาพอาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซา เพิ่มปรับปรุงบำรุงดิน และเพิ่มความอุดมสมบูรณ์ของดินในการผลิตกระชายอย่างยั่งยืน

เอกสารอ้างอิง

กรมการแพทย์แผนไทยและการแพทย์ทางเลือก. 2566. กระชาย. สืบค้นจาก:

<https://ittm.dtam.moph.go.th/images/knowleaga/3/2กระชาย%20หน้า4-6.pdf>, สืบค้นเมื่อวันที่ 29 ตุลาคม 2566.

กรมวิชาการเกษตร. 2548. มาตรฐานปุ๋ยอินทรีย์ 2548 ตามประกาศกรมวิชาการเกษตร. แหล่งข้อมูล: www.ratchakitcha.soc.go.th/DATA/PDF/2548/00172707.PDF สืบค้นเมื่อ: 7 เมษายน 2566.

กรมวิชาการเกษตร. 2566. ระบบตรวจรับรองแหล่งผลิตพืชอินทรีย์ กรมวิชาการเกษตร. แหล่งที่มา: www.organic.go.th, สืบค้นเมื่อวันที่ 12 ตุลาคม 2566.

กรมส่งเสริมการเกษตร. 2551. คู่มือนักวิชาการส่งเสริมการเกษตร ชำนาญ. พิมพ์ครั้งที่ 1. สำนักส่งเสริมและจัดการสินค้าเกษตร กรุงเทพฯ: 28 หน้า.

กลุ่มงานวิเคราะห์ปุ๋ย. 2541. คู่มือวิเคราะห์ปุ๋ย. กองเกษตรเคมี กรมวิชาการเกษตร กรุงเทพฯ. 114 หน้า.

คณาธิป พุ่มทอง วิรัชกานต์ พุ่มทอง ศันสนีย์ อรัญวาสี และพรชัย ชัยสงคราม. 2561. แผนที่ความเหมาะสมของที่ดินสำหรับการปลูกพืชสมุนไพร กระชายเหลือง กระวาน ข่า ขิง คำฝอย ตะไคร้ บุก พริกไทย พ้าทะเลลายโจร และว่านชักมดลูก. กลุ่มนโยบายและวางแผนการใช้ที่ดิน กองนโยบายและแผนการใช้ที่ดิน กรมพัฒนาที่ดิน. 232 หน้า.

นิสาร์ตัน ทวีนุต, ศิริลักษณ์ แก้วสุระลิขิต, บุญทริก ฉิมชาติ และ กนกอร บุญพา. 2563. การศึกษาปัจจัยต่อการเพิ่มปริมาณราอาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาเพื่อการผลิตสปีร์แบบเข้มข้น, หน้า 302-310. ใน ผลการปฏิบัติงานประจำปีงบประมาณ 2563. กองวิจัยพัฒนาปัจจัยการผลิตทางการเกษตร กรมวิชาการเกษตร, กรุงเทพฯ.

ศิริลักษณ์ แก้วสุระลิขิต ประไพ ทองระอา และ นิสาร์ตัน ทวีนุต. 2563. การใช้แผนผังเพื่อยกระดับความอุดมสมบูรณ์ของดินในการผลิตพืช, หน้า 311-329. ใน ผลการปฏิบัติงานประจำปีงบประมาณ 2563. กองวิจัยพัฒนาปัจจัยการผลิตทางการเกษตร กรมวิชาการเกษตร, กรุงเทพฯ.

ศิริลักษณ์ แก้วสุระลิขิต และ ประไพ ทองระอา. 2563. การใช้สารสกัดจากสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินและแผนผังเพื่อส่งเสริมประสิทธิภาพการผลิตพืช, หน้า 330-349. ใน ผลการปฏิบัติงานประจำปีงบประมาณ 2563. กองวิจัยพัฒนาปัจจัยการผลิตทางการเกษตร กรมวิชาการเกษตร, กรุงเทพฯ.

ศุภกาญจน์ ล้วนมณี สมฤทัย ตันเจริญ ภาวนา ลิกขานนท์ และสุปราณี มั่นหมาย. 2553. ศึกษาการสลายตัวและพฤติกรรมการปลดปล่อยธาตุอาหารพืชของปุ๋ยอินทรีย์และปุ๋ยผสมอินทรีย์เคมี ภายใต้สภาพความชื้นสนาม: การทดลองย่อย ศึกษาการสลายตัวและพฤติกรรมการปลดปล่อยธาตุอาหารของปุ๋ยหมัก. หน้า 333-343. ใน ผลการปฏิบัติงาน ประจำปีงบประมาณ 2553. กลุ่มวิจัยปฐพีวิทยา สำนักวิจัยพัฒนาปัจจัยการผลิตทางการเกษตร กรมวิชาการเกษตร.

โสฬส แซ่ลิ้ม. 2559. เอกสารวิชาการ ปุ๋ยอินทรีย์และการใช้ประโยชน์ในประเทศไทย. กองเทคโนโลยีชีวภาพทางดิน กรมพัฒนาที่ดิน. 145 หน้า.

Bouyoucos, G. J. 1962. Hydrometer method improved for making particle size analyses of soils 1. *Agronomy journal*. 54(5): 464-465.

Bray, R.H., and L.T. Kurtz, L. T. 1945. Determination of total, organic, and available forms of phosphorus in soils. *Soil science*. 59(1): 39-46.

Daniels, B.A. and H.D. Skipper. 1982. Method for the recovery and quantitative estimation of propagules from soil. P. 29-35. In *Method and Principles of Mycorrhizal Research*, N.C. Schenck. (ed.), the American Phytopathological Society Minnesota, U.S.A.

Davis, L.E. 1943. Measurements of pH with the glass electrode as affected by soil moisture. *Soil Science*. 56(6): 405-422.

- Harder, N.K., N.C. Shill, M.A. Siddiky, J. Sarkar and R. Gomes. 2007. Response of turmeric to zinc and boron fertilizer. *J. of Biological Science*. 7(1):182-187.
- Horwitz, W. (ed.). 2000. Official Method of Analysis of AOAC International. 17th Ed. AOAC International Inc.: Gaithersberg, MD.
- Jackson, M. L. 1958. Soluble Salt Analysis for Soils and Waters. *Soil Chemical Analysis*. Prentice Hall, Inc.: Englewaed Cliffs, N.J. 435 pp.
- Liang, J. and Karamanos, R. E. 1993. DTPA extractable Fe, Mn, Cu and Zn. Soil sampling and method of analysis (Ed.: Mortin R. Carter). Canadian Society of Soil Science.
- Nelson, D. W. and L. E. Sommers. 1973. Determination of total nitrogen in plant material 1. *Agronomy Journal*. 65(1): 109-112.
- Piper, C.S. 1966. Soil and Plant Analysis, Academic Press, Inc.: New York. pp. 47-77.
- Pratt, P. F. 1965. Potassium. *Methods of Soil Analysis: Part 2 Chemical and Microbiological Properties*. 9: 1022-1030.
- Rayment, G.E. and F.R. Higginson. 1992. Australian laboratory handbook of soil and water chemical methods. Inkata press.
- The National Institute of Ago-environment Sciences. 1987. Official Methods of Analysis of Fertilizers. Foundation Norin Kosaikai, Tsukuba-shi, Ibaraki-ken. 130 pp.
- Walkley, A. and Black, I. A. 1934. An examination of the Degtjareff method for determining soil organic matter, and a proposed modification of the chromic acid titration method. *Soil science*. 37(1): 29-38.

ศึกษาการใช้ผลิตภัณฑ์ชีวภาพจุลินทรีย์ร่วมกับชีวมวลในการผลิตกระเจี๊ยบเขียว
ตาม GAP ในดินร่วน-ร่วนปนทราย จังหวัดนครปฐม

Use of Bio-products and Biomass on Okra Production in Good
Agricultural Practices on Loamy-Loamy Sand, Nakhon Pathom Province

ศรีสุดา รื่นเจริญ¹ สุปราณี มั่นหมาย¹ วนิดา โนบรرتها¹ ปฐิมาภรณ์ จินจาคาม¹ ทิพวรรณ แก้วหนู¹
นิศารัตน์ ทวีนุต¹ พีรพงษ์ เซาวนพงษ์¹ ศุภกาญจน์ ล้วนมณี¹ วชรา สุวรรณอาศน์²
Srisuda Reuncharoen¹ Supranee Munmai¹ Wanida Nobuntou¹ Patimaporn Jinjakam¹
Tipawan Kaewnoot¹ Nisarat Taweenoot¹ Peerapong Chaovanapong¹ Suphakarn
Luanmanee¹ Wachara Suwanart¹

กลุ่มวิจัยปฐพีวิทยา

กองวิจัยพัฒนาปัจจัยการผลิตทางการเกษตร

ABSTRACT

Okra is an important economic export crop. To achieve high-quality yields meeting consumer demands, its production under Good Agricultural Practices (GAP) necessitates precise and appropriate nutrient management. This research aimed to study nutrient management for GAP-compliant okra production in a farmer's field in Nakhon Pathom Province, Thailand. The study comprised two sub-experiments 1) investigating nitrogen release from biomass (compost and cow manure) by incubating soil mixed with biomass materials for 266 days, which revealed a maximum nitrogen release of 25 % of total nitrogen, and 2) examining the use of microbial biological products combined with biomass in okra production on loamy-sandy loam soil. Analysis of okra's nutrient requirements in 2022 and 2023 showed an increase in N-P₂O₅-K₂O demand with plant age, particularly between 45 and 60 days of growth. The results indicate that applying chemical fertilizer at 18-6-4.5 kg N-P₂O₅-K₂O per rai in conjunction with arbuscular mycorrhiza and cow manure yielded the highest production. This suggests that reducing chemical fertilizer use in combination with microbial biological products and biomass can effectively enhance okra yield.

Keywords: Okra; Bio-products and Biomass; Good Agricultural Practices (GAP); Nutrient Uptake; Crop Nutrient Management

¹ กองวิจัยพัฒนาปัจจัยการผลิตทางการเกษตร

¹ Agricultural Production Science Research and Development Division

² สำนักงานวิจัยและพัฒนาการเกษตรเขตที่ 5 จังหวัดชัยนาท

² Office of Agricultural and Development Region 5 (Chainat)

บทคัดย่อ

กระเจี๊ยบเขียวเป็นพืชเศรษฐกิจส่งออกสำคัญ การผลิตกระเจี๊ยบเขียวตามมาตรฐาน GAP (Good Agricultural Practices) เพื่อให้ได้ผลผลิตคุณภาพสูง จำเป็นต้องมีการจัดการธาตุอาหารพืชที่ถูกต้องและเหมาะสม การวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาการจัดการธาตุอาหารพืชสำหรับการผลิตกระเจี๊ยบเขียวตาม GAP ในแปลงเกษตรกร จังหวัดนครปฐม โดยแบ่งเป็นการทดลองย่อย 2 ส่วน : (1) ศึกษาการปลดปล่อยไนโตรเจนจากชีวมวล (ปุ๋ยหมักและมูลวัว) ผ่านการบ่มดินเป็นเวลา 266 วัน ซึ่งพบว่า สามารถปลดปล่อยไนโตรเจนได้สูงสุด 25 เปอร์เซ็นต์ของไนโตรเจนทั้งหมด และ (2) ศึกษาการใช้ผลิตภัณฑ์ชีวภาพจุลินทรีย์ร่วมกับชีวมวลในการผลิตกระเจี๊ยบเขียวในดินร่วน-ร่วนปนทราย จากการวิเคราะห์ความต้องการธาตุอาหารของกระเจี๊ยบเขียวใน 2565 และ 2566 พบว่า ความต้องการธาตุอาหาร $N-P_2O_5-K_2O$ เพิ่มขึ้นตามอายุ โดยเฉพาะอย่างยิ่งในช่วงอายุ 45-60 วัน ของการเจริญเติบโต ผลการทดลองชี้ว่า การใส่ปุ๋ยเคมีอัตรา 18-6-4.5 กิโลกรัม $N-P_2O_5-K_2O$ ต่อไร่ ร่วมกับการใช้อาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาและมูลวัว ให้ผลผลิตสูงสุดแสดงให้เห็นว่าการลดการใช้ปุ๋ยเคมีควบคู่ไปกับการใช้ผลิตภัณฑ์ชีวภาพจุลินทรีย์และชีวมวลสามารถเพิ่มผลผลิตกระเจี๊ยบเขียวได้อย่างมีประสิทธิภาพ

คำสำคัญ: กระเจี๊ยบเขียว; ผลิตภัณฑ์ชีวภาพจุลินทรีย์และชีวมวล; การปฏิบัติทางการเกษตรที่ดี; การดูแลใช้ธาตุอาหาร; การจัดการธาตุอาหารพืช

บทนำ

กระเจี๊ยบเขียวเป็นพืชส่งออกเชิงเศรษฐกิจที่สำคัญของประเทศไทย โดยในปี 2567 มีมูลค่าการส่งออกกระเจี๊ยบเขียวฝักสดหรือแช่เย็นสูงถึง 226 ล้านบาท และกระเจี๊ยบเขียวแช่แข็งมูลค่า 119 ล้านบาท (สำนักงานปลัดกระทรวงพาณิชย์, 2567) โดยเฉพาะอย่างยิ่ง ประเทศญี่ปุ่นเป็นตลาดส่งออกสำคัญมีการนำเข้ากระเจี๊ยบเขียวจากไทยรวมมูลค่า 303 ล้านบาท แบ่งเป็นกระเจี๊ยบเขียวฝักสดหรือแช่เย็นมูลค่า 184 ล้านบาท และกระเจี๊ยบเขียวแช่แข็งเฉลี่ย 119 ล้านบาท (สำนักงานปลัดกระทรวงพาณิชย์, 2567) ในปีเดียวกัน ประเทศไทยมีพื้นที่ปลูกกระเจี๊ยบเขียวรวม 6,628 ไร่ ให้ผลผลิต รวม 8,019 ตัน คิดเป็นผลผลิตเฉลี่ย 1,210 กิโลกรัมต่อไร่ แหล่งปลูกหลักอยู่ในภาคกลาง ได้แก่ จังหวัดนครปฐม สุพรรณบุรี ราชบุรี และกาญจนบุรี (กรมส่งเสริมการเกษตร, 2567)

กระเจี๊ยบเขียวเจริญเติบโตได้ดีในพื้นที่ราบสม่ำเสมอ ไม่มีน้ำท่วมขัง เนื่องจากไม่ทนต่อสภาพน้ำขัง แม้จะสามารถปลูกได้ในดินเกือบทุกชนิด แต่เนื้อดินที่เหมาะสมคือดินร่วนปนทราย หน้าดินลึกไม่น้อยกว่า 1 เมตร และค่าความเป็นกรด-ด่างของดิน (pH) ระหว่าง 6.5-7.5 รวมถึงปริมาณอินทรีย์วัตถุเหมาะสม 1-3 เปอร์เซ็นต์ กระเจี๊ยบเขียวมีความต้องการธาตุอาหารในปริมาณค่อนข้างสูง โดยต้องการไนโตรเจน 38.4 กิโลกรัมต่อไร่ ฟอสฟอรัส 27.5 กิโลกรัมต่อไร่ และโพแทสเซียม 46 กิโลกรัมต่อไร่ อย่างไรก็ตาม การเพาะปลูกอย่างต่อเนื่องเป็นระยะเวลานานจะทำให้ธาตุอาหารในดินลดลงส่งผลให้ความอุดมสมบูรณ์ของดินลดลงตามไปด้วย (กรมส่งเสริมการเกษตร, 2551)

การผลิตกระเจี๊ยบเขียวให้ได้ผลผลิตสูงและผลผลิตมีคุณภาพตามที่ตลาดต้องการ จำเป็นต้องมีการใช้ปุ๋ยเคมี ปุ๋ยอินทรีย์ และปุ๋ยชีวภาพร่วมกันอย่างถูกต้องและเหมาะสมตามชนิดพืชที่ปลูกและคุณภาพของดิน นอกจากนี้ต้องมีความรู้ ความเข้าใจเกี่ยวกับบทบาทของธาตุอาหารพืชต่อการเจริญเติบโตและให้ผลผลิต ซึ่งธาตุไนโตรเจนเป็นองค์ประกอบสำคัญของกรดอะมิโน โปรตีน คลอโรฟิลล์ กรดนิวคลีอิก และเอนไซม์ในพืช ช่วยส่งเสริมการเจริญเติบโตของยอดอ่อน ใบ และกิ่งก้าน (คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา, 2544) ปริมาณไนโตรเจนในพืชที่เพียงพอต่อการเจริญเติบโตอาจจะแตกต่างกันตามชนิดของพืช ส่วนของพืชและระยะการเจริญเติบโต แต่โดยทั่วไปจะอยู่ระหว่าง 1-2 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักแห้ง กระเจี๊ยบเขียวที่ได้รับธาตุไนโตรเจนที่เพียงพอจะมีการเจริญเติบโตที่ดี ใบมีสีเขียว ออกดอกมากขึ้น และให้ศักยภาพผลผลิตที่สูงขึ้นถ้าหากขาดไนโตรเจนใบจะมีสีเหลืองอ่อน การเจริญเติบโตแคระแกรน ผลผลิตที่ไต่ลดลง (Agribot, 2023) คุณภาพของผลผลิตในเชิงโภชนาการต่ำ เช่น ผักซึ่งมีไนเตรตสะสมอยู่ ไนเตรตจะถูกวิธีดิวซ์ให้กลายเป็นไนโตรที่ในระหว่างการเก็บเกี่ยว ซึ่งไม่เหมาะที่จะนำมาใช้เป็นอาหารของทารก เนื่องจากไนโตรที่เป็นสาเหตุของโรค methemoglobinemia นอกจากนี้ไนโตรที่ยังอาจเปลี่ยนแปลงต่อไปเป็นไนโตรซามีน ซึ่งเป็นสารก่อมะเร็ง (Tannenbaum et al. 1978; Santanmaria, 2006) ทั้งนี้การใส่ปุ๋ยไนโตรเจนที่มากเกินไป ไม่เพียงทำให้สิ้นเปลืองและมีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมเท่านั้น แต่ยังทำให้เกิดการเจริญทางใบมากเกินไปที่จะส่งผลต่อการออกดอกของกระเจี๊ยบเขียว (Lamont 1999) ส่วนฟอสฟอรัสเป็นธาตุที่มีบทบาทในการช่วยสังเคราะห์โปรตีน และสารอินทรีย์ที่สำคัญในพืชเป็นองค์ประกอบของสารที่ทำหน้าที่ถ่ายทอดพลังงานในกระบวนการต่าง ๆ เช่น การสังเคราะห์แสงและการหายใจ (คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา, 2544) ดังนั้นจึงมีหน้าที่ช่วยกระตุ้นและเร่งการเจริญเติบโตของรากพืช และการแพร่กระจายของราก ควบคุมการออกดอก ติดผล และการสร้างเมล็ด (กรมพัฒนาที่ดิน, 2567) ธาตุฟอสฟอรัสเป็นองค์ประกอบของพืช 0.2-0.8 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักแห้ง ส่วนใหญ่เป็นองค์ประกอบสำคัญของกรดนิวคลีอิก เอนไซม์ โคเอนไซม์ นิวคลีโอไทด์ และฟอสโฟลิปิด (Satyaprakash et al., 2017; Kalayu, 2019) การขาดฟอสฟอรัสจะมีผลกระทบต่อการเจริญพันธุ์อย่างมาก เช่น ออกดอกช้า จำนวนดอก ผล และเมล็ดน้อยลง การที่ใบพืชเสื่อมตามอายุและร่วงหล่นเร็วกว่าปกติเป็นสาเหตุหนึ่งที่ทำให้ผลผลิตต่ำ (Berry and Miller, 1989) ทั้งนี้พืชแต่ละชนิดมีความต้องการโพแทสเซียมในปริมาณที่แตกต่างกัน แต่โดยทั่วไปแล้วความต้องการโพแทสเซียมของ

พืชอยู่ระหว่าง 2-5 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักแห้ง โพแทสเซียมมีบทบาทในการช่วยสังเคราะห์น้ำตาล แป้ง และ โปรตีน ส่งเสริมการเคลื่อนย้ายของน้ำตาลจากใบไปยังผล ช่วยให้ผลเจริญเติบโตเร็ว พืชแข็งแรง มีความต้านทานต่อโรคบางชนิด (คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา, 2544) ดังนั้นการขาดโพแทสเซียมจะทำให้ขนาดผลลดลง เพิ่มความไวต่อการเกิดโรคและแมลง (Agribot, 2023) แคลเซียมในพืชมีความเข้มข้นแตกต่างกันไปตามสภาพการปลูก พันธุ์พืช และส่วนของพืช ซึ่งแปรผันอยู่ในช่วง 0.1 ถึงมากกว่า 5 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักแห้ง แคลเซียมเป็นองค์ประกอบที่ช่วยในการแบ่งเซลล์ การผสมเกสร โดยแคลเซียมช่วยในการยึดตัวของหลอดละอองเรณู การงอกของเมล็ด เนื่องจากเอนไซม์ของพืชต้องการแคลเซียมเป็นโคแฟกเตอร์ที่ช่วยในการย่อยแป้งให้มีโมเลกุลสั้นลงสำหรับใช้ในกระบวนการงอก (คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา, 2544; กรมพัฒนาที่ดิน, 2567) ดังนั้นแคลเซียมจึงจำเป็นต่อการสร้างผนังเซลล์ ป้องกันปลายดอกเน่า และเพิ่มความแน่นของผล (Agribot, 2023) ส่วนแมกนีเซียมเป็นองค์ประกอบสำคัญของคลอโรฟิลล์ ช่วยสังเคราะห์กรดอะมิโน วิตามิน ไนโตรเจน และน้ำตาล ทำให้สภาพกรด-ด่างในเซลล์อยู่ในระดับที่เหมาะสม (กรมพัฒนาที่ดิน, 2567) ซึ่งพืชปกติโดยทั่วไปมีแมกนีเซียมในลำต้น กิ่งก้าน ใบ และราก อยู่ในช่วง 0.15-0.35 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักแห้ง การขาดแมกนีเซียมจะมีผลทำให้การสังเคราะห์โปรตีนได้น้อยลง อัตราการสังเคราะห์แสงลดลง อัตราการหายใจต่ำกว่าพืชปกติ อาจทำให้ช่อดอกมีขนาดเล็กเป็นเหตุให้ผลผลิตต่ำ (คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา, 2544)

ดังนั้นการวิเคราะห์ดินและพืช เพื่อให้ทราบปริมาณธาตุอาหารในดินและพืชประกอบการใช้ปุ๋ย จะสามารถใช้ปุ๋ยได้ถูกต้องตรงตามความต้องการของพืชในแต่ละระยะการเจริญเติบโต และประหยัดต้นทุนด้านปุ๋ยลงได้ งานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาความต้องการธาตุอาหารของกระเจี๊ยบเขียวในแต่ละระยะการเจริญเติบโต สำหรับใช้ในการประเมินการจัดการธาตุอาหารพืชอย่างถูกต้องและเหมาะสม

อุปกรณ์และวิธีการ

อุปกรณ์

1. เมล็ดพันธุ์กระเจี๊ยบเขียวพันธุ์ลูกผสม 9702
2. ปุ๋ยเคมี ได้แก่ ปุ๋ยยูเรีย ปุ๋ยทริปเปิลซูเปอร์ฟอสเฟต และปุ๋ยโพแทสเซียมคลอไรด์
3. มูลวัว ปุ๋ยชีวภาพละลายฟอสเฟต ปุ๋ยชีวภาพอาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซา
4. อุปกรณ์สำหรับเก็บตัวอย่างดินและอุปกรณ์สำหรับเก็บตัวอย่างพืช
5. สารเคมีป้องกันกำจัดศัตรูพืชและวัชพืช
6. เครื่องมือวิทยาศาสตร์ เครื่องแก้ว และสารเคมีสำหรับวิเคราะห์ปริมาณธาตุอาหารในดินและพืช

วิธีการ

แผนการทดลองปี 2565

วางแผนการทดลองแบบ Randomized Complete Block (RCB) จำนวน 4 ซ้ำ ประกอบด้วย 7 กรรมวิธี ดังนี้

- กรรมวิธีที่ 1 กรรมวิธีควบคุม (ไม่ใส่ปุ๋ยเคมี มูลวัว และผลิตภัณฑ์ชีวภาพจุลินทรีย์)
- กรรมวิธีที่ 2 ใส่ปุ๋ยเคมี 24-8-6 กิโลกรัม N-P₂O₅-K₂O ต่อไร่
- กรรมวิธีที่ 3 ใส่ปุ๋ยเคมี 24-8-6 กิโลกรัม N-P₂O₅-K₂O ต่อไร่+มูลวัว อัตรา 1 ตันต่อไร่
- กรรมวิธีที่ 4 ใส่ปุ๋ยเคมี 24-8-6 กิโลกรัม N-P₂O₅-K₂O ต่อไร่+มูลวัว+จุลินทรีย์ละลายฟอสเฟต+อาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซา
- กรรมวิธีที่ 5 ใส่ปุ๋ยเคมี 18-6-4.5 กิโลกรัม N-P₂O₅-K₂O ต่อไร่+มูลวัว

กรรมวิธีที่ 6 ใส่ปุ๋ยเคมีอัตรา 18-6-4.5 กิโลกรัม $N-P_2O_5-K_2O$ ต่อไร่+มูลวัว+จุลินทรีย์ละลายฟอสเฟต+อาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซา

กรรมวิธีที่ 7 ใส่มูลวัว+จุลินทรีย์ละลายฟอสเฟต+อาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซา

แผนการทดลองปี 2566

วางแผนการทดลองแบบ split-split plot design จำนวน 6 ซ้ำ ประกอบด้วย

ปัจจัยหลัก 2 ระดับ คือ 1) ไม่ใส่อาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซา 2) ใส่อาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซา

ปัจจัยรอง (1) 2 ระดับ คือ 1) ไม่ใส่มูลวัว 2) ใส่มูลวัว

ปัจจัยรอง (2) 3 ระดับ คือ 1) ไม่ใส่ปุ๋ยเคมี 2) ใส่ปุ๋ยเคมีอัตรา 18-6-4.5 กิโลกรัม $N-P_2O_5-K_2O$ ต่อไร่ 3) ใส่ปุ๋ยเคมีอัตรา 24-8-6 กิโลกรัม $N-P_2O_5-K_2O$ ต่อไร่

แผนการทดลองปี 2567

วางแผนการทดลองแบบ Randomized Complete Block (RCB) ประกอบด้วย 4 กรรมวิธี จำนวน 4 ซ้ำ ได้แก่

กรรมวิธีที่ 1 กรรมวิธีควบคุม (ไม่ใส่ปุ๋ยเคมี มูลวัว และผลิตภัณฑ์ชีวภาพจุลินทรีย์)

กรรมวิธีที่ 2 ใส่ปุ๋ยเคมีตามค่าวิเคราะห์ดิน

กรรมวิธีที่ 3 ใส่ปุ๋ยเคมีตามค่าวิเคราะห์ดิน +มูลวัว

กรรมวิธีที่ 4 ใส่ปุ๋ยเคมีตามค่าวิเคราะห์ดิน +มูลวัว+อาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซา

ดำเนินการทดลองที่แปลงเกษตรกรผู้ปลูกกระเจี๊ยบเขียว GAP ของ นางสาววันนา คันชอย บ้านเลขที่ 24 หมู่ที่ 10 ตำบลทุ่งลูกนก อำเภอกำแพงแสน จังหวัดนครปฐม พิกัดแปลงทดลอง 47P 0597145 1548251 สํารวจพื้นที่และเก็บตัวอย่างดินที่ระดับความลึก 0-20 เซนติเมตรในแปลงทดลองมาวิเคราะห์สมบัติทางทางเคมีและปริมาณธาตุอาหารในดิน ได้แก่ ความเป็นกรด-ด่าง (pH) ค่าการนำไฟฟ้า (EC) ปริมาณอินทรีย์วัตถุ ปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ ปริมาณโพแทสเซียม แคลเซียม แมกนีเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ เหล็ก ทองแดง สังกะสี และแมงกานีสที่สกัดได้ และปริมาณจุลินทรีย์ดินที่เป็นประโยชน์

ปี 2565 เตรียมแปลงทดลองสำหรับปลูกกระเจี๊ยบเขียว GAP ในดินร่วน-ร่วนปนทราย โดยไถเตรียมดินและแบ่งแปลงย่อย ขนาดแปลงย่อย 6 x 6 เมตร ดำเนินการปลูกกระเจี๊ยบเขียว ระยะปลูก 0.5 x 1 เมตร ปี 2566 และ ปี 2567 ระยะปลูก 0.25 x 0.50 เมตร ใส่มูลวัวอัตรา 1 ตัน/ไร่ พร้อมไถพรวนคลุกเคล้าลงดินทิ้งไว้อย่างน้อย 8 สัปดาห์ ใส่ผลิตภัณฑ์ชีวภาพจุลินทรีย์ตามกรรมวิธีทดลอง หยอดเมล็ดกระเจี๊ยบเขียวจำนวน 2-3 เมล็ดต่อหลุม ถอนแยกต้นกระเจี๊ยบเขียวเมื่ออายุ 15 วันหลังปลูก ให้เหลือ 1 ต้นต่อหลุม พร้อมใส่ปุ๋ยเคมีข้างแถวปลูกในอัตราที่กำหนดตามกรรมวิธี โดยปุ๋ยไนโตรเจนแบ่งใส่ 2 ครั้ง คือ ใส่ปุ๋ยครั้งแรก $1/2N+P+K$ ที่อายุ 15 วัน และครั้งที่สองใส่ $1/2N$ ที่อายุ 30 วันหลังปลูก ใส่สองข้างแถวแล้วพรวนดินกลบ และให้น้ำแบบสปริงเกอร์ ดูแลรักษาตามปฏิบัติของเกษตรกรผู้ปลูกกระเจี๊ยบเขียวตาม GAP

เก็บข้อมูลการเจริญเติบโตของกระเจี๊ยบเขียว ได้แก่ ความสูงต้นที่อายุ 15 30 45 60 วัน พร้อมสุ่มเก็บตัวอย่างกระเจี๊ยบเขียวเพื่อนำไปวิเคราะห์ปริมาณธาตุอาหารพืชในส่วนต่าง ๆ ของกระเจี๊ยบเขียว สำหรับนำไปใช้ในการประเมินความต้องการธาตุอาหารของกระเจี๊ยบเขียวในแต่ละระยะการเจริญเติบโต

เก็บเกี่ยวกระเจี๊ยบเขียวที่อายุ 45 วันไปจนถึงอายุ 60 วัน ปี 2565 ในพื้นที่เก็บเกี่ยวขนาด 4 x 4 เมตร และปี 2566 พื้นที่เก็บเกี่ยวขนาด 4 x 3 เมตร พร้อมสุ่มเก็บตัวอย่างต้น ใบ และฝักกระเจี๊ยบเขียวในแต่ละกรรมวิธี มาวิเคราะห์ปริมาณการดูดใช้ธาตุอาหารของพืช ได้แก่ ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส โพแทสเซียม แคลเซียม และแมกนีเซียม และสุ่มเก็บตัวอย่างดินหลังเก็บเกี่ยวแต่ละแปลงย่อยๆ ละ 5 จุดรวมเป็น 1 ตัวอย่างต่อแปลงย่อย

สำหรับนำมาวิเคราะห์ปริมาณธาตุอาหารในดินหลังเก็บเกี่ยวกระเจี๊ยบเขียว ปี 2567 พื้นที่เก็บเกี่ยวขนาด 4x3 เมตร

ประเมินผลของการจัดการดินและปุ๋ยวิธีการต่าง ๆ ต่อปริมาณและคุณภาพของผลผลิต เช่น ผลผลิตต่อไร่ จำนวนฝักทั้งหมดต่อไร่ จำนวนฝักที่ได้มาตรฐานต่อไร่ น้ำหนักฝักทั้งหมดต่อไร่ และน้ำหนักฝักที่ได้มาตรฐานต่อไร่ วิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ

การวิเคราะห์ดินก่อนปลูกและหลังเก็บเกี่ยว ได้แก่ เนื้อดิน ค่าความเป็นกรด-ด่างของดิน (pH) โดยใช้ อัตราส่วนดินต่อน้ำเท่ากับ 1:1 วัดค่าด้วย pH Meter อินทรีย์วัตถุในดิน (organic matter; OM) ตามวิธี Walkley and Black ปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ในดิน (Available phosphorus; Avail.P) สกัดด้วยสารละลาย Bray II ในกรณีที่ดินมีค่า pH > 7.3 สกัดด้วยสารละลาย 0.5 M NaHCO₃ (pH 8.5) ตามวิธี Olsen ทำให้เกิดสีตามวิธี molybdenum blue และวัดปริมาณฟอสฟอรัสเทียบกับสารละลายมาตรฐานด้วยเครื่อง UV/Vis spectrophotometer ที่ความยาวคลื่น 882 นาโนเมตร และปริมาณโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ (exchangeable potassium; Exch.K) สกัดดินด้วย 1 M NH₄OAc. pH 7.0 วัดปริมาณด้วยเครื่อง Atomic Absorption Spectrophotometer (AAS) เทียบกับสารละลายมาตรฐาน (กลุ่มงานวิจัยเคมีดิน, 2544)

การวิเคราะห์หมูล้วน ได้แก่ ความชื้น ค่าความเป็นกรด-ด่าง โดยใช้อัตราส่วนดินต่อน้ำเท่ากับ 1:5 วัดค่าด้วย pH meter ค่าการนำไฟฟ้าโดยใช้อัตราส่วนดินต่อน้ำเท่ากับ 1:10 วัดค่าด้วย EC meter อินทรีย์วัตถุ (organic matter; OM) ตามวิธี Walkley and Black ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด ตามวิธี Kjeldahl Method วัดปริมาณ ฟอสฟอรัสทั้งหมด โดยการย่อยตัวอย่างด้วยกรดผสมไนตริกกับเปอร์คลอริก อัตราส่วน 1:1 ทำให้เกิดสีตามวิธี vanadomelydate และวัดปริมาณฟอสฟอรัสเทียบกับสารละลายมาตรฐานด้วยเครื่อง UV/Vis spectrophotometer ที่ความยาวคลื่น 420 นาโนเมตร และปริมาณโพแทสเซียมทั้งหมด วัดปริมาณด้วยเครื่อง Atomic Absorption Spectrophotometer (AAS) เทียบกับสารละลายมาตรฐาน (กลุ่มงานวิจัยปุ๋ยและสารปรับปรุงดิน, 2548)

3. ข้อมูลการเจริญเติบโต ได้แก่ วันปลูก วันเก็บเกี่ยว ความสูงต้นกระเจี๊ยบเขียวที่อายุ 15 30 45 และ 60 วัน

4. ข้อมูลผลผลิต และองค์ประกอบผลผลิต ได้แก่ จำนวนฝักทั้งหมดต่อไร่ จำนวนฝักที่ได้มาตรฐานต่อไร่

ระยะเวลา เริ่มต้น ตุลาคม 2564 สิ้นสุด กันยายน 2567

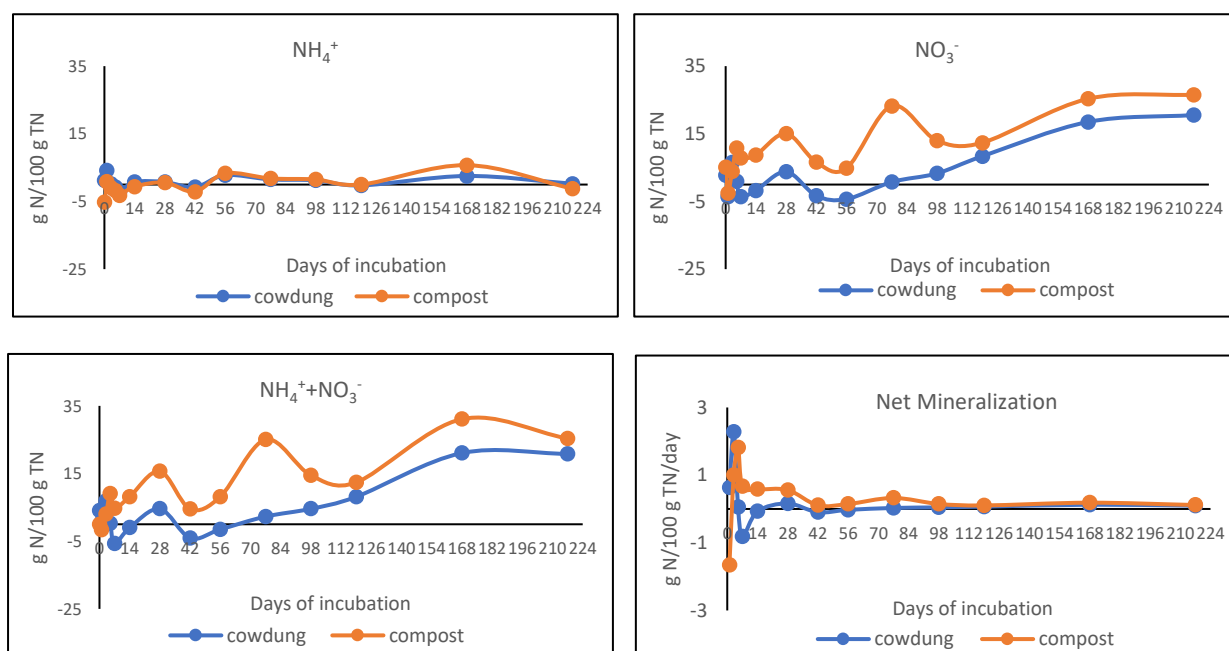
สถานที่ทำการทดลอง

1. กลุ่มวิจัยปฐพีวิทยา กองวิจัยพัฒนาปัจจัยการผลิตทางการเกษตร
2. แปลงเกษตรกรผู้ปลูกกระเจี๊ยบเขียว ตำบลทุ่งลูกนก อำเภอกำแพงแสน จังหวัดนครปฐม

ผลการทดลองและวิจารณ์

1. การปลดปล่อยไนโตรเจนของชีวมวลในดินร่วน-ร่วนปนทราย

ปุ๋ยหมักปลดปล่อยไนโตรเจนในโตรเจนในช่วงแรกของการบ่มในรูปของแอมโมเนียม จากนั้นจะเปลี่ยนเป็นรูปไนเตรท โดยปลดปล่อยไนโตรเจนในโตรเจนได้สูงสุด 25 เปอร์เซ็นต์ของไนโตรเจนทั้งหมดที่เป็นองค์ประกอบ ในขณะที่มูลวัวมีค่า C/N ratio มากกว่า 20 จึงเกิดกระบวนการตรึงไนโตรเจนโดยจุลินทรีย์ดิน (immobilization) ในช่วง 14 สัปดาห์แรกของการบ่มดิน ทำให้การปลดปล่อยไนโตรเจนในโตรเจนเกิดขึ้นได้ช้า (ภาพที่ 1) เช่นเดียวกับการทดลองในมูลวัว ที่มีค่า C/N มากกว่า 20 จะมีปริมาณแอมโมเนียมจะลดลงอย่างรวดเร็วในช่วงแรก ๆ ของการบ่มดิน สอดคล้องกับ Calderón *et al.* (2005) ที่ระบุว่า มูลวัวจะปลดปล่อยไนโตรเจนในรูปที่เป็นประโยชน์ต่อพืช เมื่อมีค่า C/N ratio น้อยกว่า 16 และจะเกิด immobilization เมื่อมีค่า C/N ratio มากกว่า 19 จะเห็นว่า มูลวัวมีค่า C/N ratio มากกว่า 20 ทำให้การสลายตัวค่อนข้างยาก หากนำไปใช้ควรมีการหมักหรือปล่อยให้เกิดการสลายตัวไปสักระยะหนึ่งก่อนเพื่อให้สัดส่วนระหว่างคาร์บอนต่อไนโตรเจนลดลงมาต่ำกว่า 20 ส่วนปุ๋ยหมักมีค่าสัดส่วนระหว่างคาร์บอนต่อไนโตรเจนเท่ากับ 15.80 ซึ่งมีการสลายตัวได้ง่ายสามารถนำไปใช้ได้ทันที ดังนั้น การนำมูลวัวที่มีค่า C/N ratio มากกว่า 20 มาใช้ประโยชน์ควรไถกลบดินก่อนปลูกพืชอย่างน้อย 14 สัปดาห์



ภาพที่ 1 การปลดปล่อยไนโตรเจนจากการบ่มมูลวัวและปุ๋ยหมักในดินร่วน-ร่วนปนทราย

2. สมบัติดินก่อนและหลังปลูกกระเจี๊ยบเขียว

ผลวิเคราะห์สมบัติดินก่อนปลูกปี 2565 ที่ระดับความ 0-20 เซนติเมตรก่อนการทดลอง เนื้อดินเป็นดินร่วน ดินมีความเป็นด่างปานกลาง (pH 8.3) ดินไม่มีความเค็ม ปริมาณอินทรีย์วัตถุในดิน 1.05 เปอร์เซ็นต์ ปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ 112 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ปริมาณโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ 125 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ปริมาณแคลเซียมและแมกนีเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ 3,219 และ 243 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ปริมาณจุลินทรีย์ดินที่เป็นประโยชน์ในดินก่อนปลูก โดยมีปริมาณแบคทีเรียทั้งหมด 5.80×10^6 โคโลนีต่อดิน 1 กรัม ปริมาณราทั้งหมด 5.23×10^4 โคโลนีต่อดิน 1 กรัม และจำนวนสปอร์พืชชีวภาพไมคอร์ไรซาในดินก่อนปลูกเท่ากับ 4 สปอร์ต่อดิน 100 กรัม (ตารางที่ 1)

ผลวิเคราะห์สมบัติดินก่อนปลูกปี 2566 ที่ระดับความลึก 0-20 เซนติเมตร พบว่า เนื้อดินเป็นดินร่วน ดินมีความเป็นด่างเล็กน้อย (pH 7.8) ดินไม่มีความเค็ม ปริมาณอินทรีย์วัตถุในดิน 1.01 เปอร์เซ็นต์ ปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ 15.84 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ปริมาณโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ 206.58 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ปริมาณแคลเซียมและแมกนีเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ 3,266 และ 1,545 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม นอกจากนี้ดินก่อนปลูกยังมีจำนวนสปอร์อาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาในดินก่อนปลูกเท่ากับ 4 สปอร์ต่อดิน 100 กรัม (ตารางที่ 1)

ดินที่เหมาะสมในการปลูกกระเจี๊ยบเขียว ควรเป็นที่ราบ มีความสม่ำเสมอ และไม่มีน้ำท่วมขัง เนื่องจากกระเจี๊ยบเขียวไม่ทนต่อสภาพน้ำท่วมขัง เนื้อดินเป็นดินร่วนปนทราย แต่สามารถปลูกได้ในดินเกือบทุกชนิด กระเจี๊ยบเขียวชอบดินระบายน้ำดี ไม่ชอบดินที่มีความชื้นมากเกินไป หน่วดินลึกไม่น้อยกว่า 1 เมตร ค่าความเป็นกรด-ด่างของดิน (pH) 6.0-6.5 ปริมาณอินทรีย์วัตถุที่เหมาะสมคือ 1-3 เปอร์เซ็นต์ และสามารถให้ธาตุอาหารแก่พืชได้อย่างเพียงพอสำหรับการเจริญเติบโตและการให้ผลผลิตที่มีคุณภาพ (กรมวิชาการเกษตร, 2545)

ตารางที่ 1 ผลวิเคราะห์สมบัติของดินก่อนปลูกที่ระดับความลึก 0-20 เซนติเมตร แปลงเกษตรกรผู้ปลูกกระเจี๊ยบเขียว ต.ทุ่งลูกนก อ.กำแพงแสน จ.นครปฐม

รายการวิเคราะห์	ปี 2565	ปี 2566	ปี 2567	
			แปลงที่ 1	แปลงที่ 2
1. เนื้อดิน	ร่วน	ร่วน	ร่วนปนทราย	ร่วนปนทราย
2. pH (1:1)	8.3	7.8	7.6	7.2
3. EC (1:5) (dS/m)	0.14	0.15	0.07	0.06
4. ปริมาณอินทรีย์วัตถุ (%)	1.05	1.01	1.95	0.77
5. ปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ (mg/kg)	23	15	17	5
6. ปริมาณโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ (mg/kg)	125	207	135	48
7. ปริมาณแคลเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ (mg/kg)	3,219	3,266	2,573	1,406
8. ปริมาณแมกนีเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ (mg/kg)	243	1,545	172	252
13. แบคทีเรียทั้งหมด (โคโลนี/ดิน 1 กรัม)	5.80×10^6	-	-	-
14. ราทั้งหมด (โคโลนี/ดิน 1 กรัม)	5.23×10^4	-	-	-
15. จำนวนสปอร์อาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซา (สปอร์/ดิน 100 กรัม)	4 สปอร์	4 สปอร์	-	-

3. สมบัติของมูลวัวที่ใช้ในการทดลอง

จากผลวิเคราะห์มูลวัวปี 2565 พบว่า มูลวัวมีค่าความชื้น 13.37 เปอร์เซ็นต์ มีค่า pH เท่ากับ 8.9 ค่าการนำไฟฟ้า 8.39 เดซิซีเมนส์ต่อเมตร ปริมาณอินทรีย์วัตถุ 58.06 เปอร์เซ็นต์ ปริมาณอินทรีย์คาร์บอน 33.68 เปอร์เซ็นต์ ปริมาณไนโตรเจน ฟอสฟอรัส โพแทสเซียมทั้งหมด เท่ากับ 1.38 1.42 และ 4.57 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ และค่าสัดส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน (C/N ratio) เท่ากับ 24.40 จะเห็นว่ามูลวัวมีค่า C/N ratio สูงกว่าเกณฑ์

มาตรฐานของปุ๋ยอินทรีย์ (มากกว่า 20) ทั้งนี้การนำมูลวัวที่มีค่า C/N ratio มากกว่า 20 ไปใช้เป็นปุ๋ยอินทรีย์ควรมีการหมักให้ย่อยสลายก่อนนำไปใช้เพื่อป้องกันการดูดซับไนโตรเจนจากจุลินทรีย์ดิน (immobilization) ซึ่งส่งผลให้พืชขาดไนโตรเจนในช่วงแรกของการใส่ปุ๋ยได้ ผลวิเคราะห์มูลวัวปี 2566 พบว่า มูลวัวมีค่าความชื้น 5.24 เปอร์เซ็นต์ มีค่า pH เท่ากับ 7.7 ค่าการนำไฟฟ้า 3.45 เดซิซีเมนส์ต่อเมตร ปริมาณอินทรีย์วัตถุ 64.82 เปอร์เซ็นต์ ปริมาณอินทรีย์คาร์บอน 37.60 เปอร์เซ็นต์ ปริมาณไนโตรเจน ฟอสฟอรัส โพแทสเซียมทั้งหมด เท่ากับ 2.70 0.36 และ 4.59 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ และ C/N ratio เท่ากับ 13.9 (ตารางที่ 2)

ตารางที่ 2 ผลวิเคราะห์สมบัติของมูลวัวที่ใช้ในการทดลอง

รายการ	มูลวัวปี 2565	มูลวัวปี 2566	มูลวัวปี 2567
ความเป็นกรด-ด่าง (pH) (1:5)	8.9	7.7	8.3
การนำไฟฟ้า (EC) (1:10) (dS/m)	8.39	3.45	3.74
อินทรีย์วัตถุ, (%OM)	58.06	64.82	40.45
อินทรีย์คาร์บอน (%OC)	33.68	37.60	23.46
ไนโตรเจนทั้งหมด (%N)	1.38	2.70	1.04
ฟอสเฟตทั้งหมด (%P ₂ O ₅)	1.42	0.36	1.27
โพแทสเซียมทั้งหมด (%K ₂ O)	4.57	4.59	1.02
อัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน (C/N ratio)	24.40	13.9	22.56
ความชื้น (%)	13.37	5.24	1.81

4. ผลผลิตของกระเจียบเขียว

4.1 ผลผลิตของกระเจียบเขียวปี 2565

จำนวนผักทั้งหมดต่อต้น พบว่า ทุกกรรมวิธีทดลองไม่แตกต่างกันทางสถิติ โดยให้จำนวนผักทั้งหมดต่อต้นเฉลี่ยเท่ากับ 79 ผักต่อต้น จำนวนผักที่ได้มาตรฐานโรงงานต่อต้น พบว่า ทุกกรรมวิธีทดลองให้จำนวนผักกระเจียบเขียวที่ได้มาตรฐานโรงงานไม่แตกต่างกันทางสถิติ โดยให้จำนวนผักเฉลี่ย 60 ผักต่อต้น (ตารางที่ 3)

น้ำหนักผักทั้งหมด พบว่า กรรมวิธีการใส่ปุ๋ยเคมี 18-6-4.5 กิโลกรัม N-P₂O₅-K₂O ต่อไร่ + มูลวัว 1 ตัน น้ำหนักแห้งต่อไร่ + ปุ๋ยชีวภาพละลายฟอสเฟต + ปุ๋ยชีวภาพปุ๋ยชีวภาพไมคอร์ไรซา ให้น้ำหนักผักรวมสูงสุด 2.8 ตันต่อไร่ แต่ไม่แตกต่างกับกรรมวิธีอื่นๆ ยกเว้น กรรมวิธีควบคุม ที่ไม่ใส่ปุ๋ยเคมีไม่ใส่ชีวมวลและไม่ใส่ผลิตภัณฑ์ชีวภาพจุลินทรีย์ ซึ่งให้น้ำหนักผักรวมต่ำสุด 2.14 ตันต่อไร่ น้ำหนักผักที่ได้มาตรฐาน พบว่า ทุกกรรมวิธีทดลองให้จำนวนผักที่ได้มาตรฐานโรงงานกระเจียบเขียวไม่แตกต่างกันทางสถิติ โดยให้จำนวนผักเฉลี่ย 1.7 ตันต่อ (ตารางที่ 3)

4.2 ผลผลิตของกระเจียบเขียวปี 2566

กรรมวิธีที่ใส่ปุ๋ยเคมี 18-8-4.5 กิโลกรัม N-P₂O₅-K₂O ต่อไร่ ร่วมกับปุ๋ยชีวภาพไมคอร์ไรซาและมูลวัว ให้น้ำหนักผักทั้งหมด จำนวนผักที่ได้มาตรฐานโรงงาน น้ำหนักผักทั้งหมดสูงสุด เท่ากับ 285,667 188,000 ผักต่อไร่ และ 3,629 กิโลกรัมต่อไร่ ตามลำดับ กรรมวิธีที่ใส่ปุ๋ยชีวภาพไมคอร์ไรซา ใส่มูลวัวร่วมกับใส่ปุ๋ยเคมีอัตรา 18-6-4.5 กิโลกรัม N-P₂O₅-K₂O ต่อไร่ ให้น้ำหนักผักที่ผ่านเกณฑ์สูงสุดเท่ากับ 2,480 กิโลกรัมต่อไร่ (ตารางที่ 4)

4.3 ผลผลิตของกระเจี๊ยบเขียวปี 2567

แปลงที่ 1 พบว่า กรรมวิธีที่ใส่ปุ๋ยเคมี 18-6-4.5 กิโลกรัม N-P₂O₅-K₂O ต่อไร่ ร่วมกับมูลวัว 1 ตันน้ำหนักแห้งต่อไร่ให้จำนวนฝักทั้งหมด จำนวนฝักที่ได้มาตรฐานโรงงาน น้ำหนักฝักทั้งหมด และน้ำหนักที่ได้มาตรฐานโรงงานสูงสุดเท่ากับ 117,000 ฝักต่อไร่ 108,947 ฝักต่อไร่ 848.23 กิโลกรัมต่อไร่ และ 749.23 กิโลกรัมต่อไร่ตามลำดับ

แปลงที่ 2 พบว่า กรรมวิธีที่ใส่ปุ๋ยเคมี 18-6-4.5 กิโลกรัม N-P₂O₅-K₂O ต่อไร่ ร่วมกับมูลวัว 1 ตันน้ำหนักแห้งต่อไร่ให้จำนวนฝักทั้งหมด จำนวนฝักที่ได้มาตรฐานโรงงาน น้ำหนักฝักทั้งหมด และน้ำหนักที่ได้มาตรฐานโรงงานสูงสุดเท่ากับ 114,880 ฝักต่อไร่ 106,000 กิโลกรัมต่อไร่ 1,624 กิโลกรัมต่อไร่ และ 749.23 กิโลกรัมต่อไร่ตามลำดับ

ตารางที่ 3 ผลผลิตของกระเจี๊ยบเขียวที่ปลูกในดินร่วน-ร่วนปนทราย แปลงเกษตรกรผู้ปลูกกระเจี๊ยบเขียว ต.ทุ่งลูกนก อ.กำแพงแสน จ.นครปฐม (ฤดูปลูกปี 2565)

กรรมวิธี	ผลผลิตกระเจี๊ยบเขียว			
	จำนวนฝักทั้งหมด (ฝัก/ต้น)	จำนวนฝักที่ได้มาตรฐาน โรงงาน (ฝัก/ต้น)	น้ำหนักฝักทั้งหมด (ต้น/ไร่)	น้ำหนักฝักที่ได้มาตรฐาน (ต้น/ไร่)
1. control	66	50	2.14 b	1.43
2. RDF	74	55	2.38 ab	1.58
3. RDF + CD	72	54	2.31 ab	1.54
4. RDF + CD + PSB + AMF	90	65	2.78 ab	1.91
5. 75% of RDF + CD	86	65	2.75 ab	1.93
6. 75% of RDF CD + PSB + AMF	90	73	2.80 a	1.99
7. CD + PSB + AMF	77	59	2.46 ab	1.69
เฉลี่ย	79	60	2.5	1.7
CV. (%)	18.1	20.8	17.4	19.0

หมายเหตุ : ตัวอักษรที่เหมือนกันในคอลัมน์เดียวกันไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% โดยวิธี DMRT

ฝักที่ผ่านมาตรฐานโรงงานในการรับซื้อ 7-11 เซนติเมตร

RDF (Recommendation Fertilizer) = ใส่ปุ๋ยเคมีอัตรา 24-4-6 กิโลกรัม N-P₂O₅-K₂O ต่อไร่

75% of RDF = ใส่ปุ๋ยเคมีอัตรา 18-3-4.5 กิโลกรัม N-P₂O₅-K₂O ต่อไร่

CD (Cow Dung) = ใส่มูลวัวอัตรา 1 ตันต่อไร่

PSB (Phosphate solubilizing bacteria) = ใส่ปุ๋ยชีวภาพละลายฟอสเฟต อัตรา 3 กรัมต่อหลุม

AMF (Arbuscular Mycorrhiza Fungi) = ใส่ปุ๋ยชีวภาพไมคอร์ไรซา อัตรา 3 กรัมต่อหลุม

ตารางที่ 4 ผลผลิตของกระเจี๊ยบเขียวที่ปลูกในรุ่น-รุ่นปนทราย แปลงเกษตรกรผู้ปลูกกระเจี๊ยบเขียว ต.ทุ่งลูกนก
อ.กำแพงแสน จ.นครปฐม (ฤดูปลูกปี 2566)

ปัจจัยหลัก	ปัจจัยรอง 1	ปัจจัยรอง 2	ผลผลิตกระเจี๊ยบเขียว			
			จำนวนฝักทั้งหมด (ฝัก/ไร่)	จำนวนฝักที่ได้มาตรฐาน (ฝัก/ไร่)	น้ำหนักฝักทั้งหมด (กก./ไร่)	น้ำหนักฝักที่ได้มาตรฐาน (กก./ไร่)
A1	B1	C1	249,750	167,367	3,035	1,890
		C2	228,033	154,933	2,833	1,737
		C3	243,767	166,217	2,972	1,841
	B2	C1	263,183	174,050	3,290	1,974
		C2	281,867	183,650	3,480	2,033
		C3	264,917	175,650	3,287	2,008
A2	B1	C1	263,650	165,633	3,437	1,896
		C2	258,867	154,617	3,463	1,786
		C3	266,083	160,917	3,498	1,880
	B2	C1	285,667	188,000	3,629	2,120
		C2	278,050	174,717	3,443	2,480
		C3	265,833	166,617	3,381	1,881
เฉลี่ย			262,472	169,364	3,312	1,960
CV. (%)			2.80	4.26	2.36	2.37

หมายเหตุ : A1: ไม่ใส่อาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซา, A2: ใส่อาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซา, B1: ไม่ใส่มูลวัว, B2: ใส่มูลวัว, C1: ไม่ใส่ปุ๋ยเคมี, C2: ใส่ปุ๋ยเคมีอัตรา 18-6-4.5 กก. N-P₂O₅-K₂O ต่อไร่ และ C3: ใส่ปุ๋ยเคมีอัตรา 24-8-6 กก. N-P₂O₅-K₂O ต่อไร่

ตารางที่ 5 ผลผลิตของกระเจี๊ยบเขียวที่ปลูกในดินเหนียว-ร่วนเหนียว แปลงเกษตรกรผู้ปลูกกระเจี๊ยบเขียว ต.ทุ่งลูกนก อ.กำแพงแสน จ.นครปฐม (ฤดูปลูกปี 2567) แปลงที่ 1

กรรมวิธี	ผลผลิตกระเจี๊ยบเขียว			
	จำนวนฝัก ทั้งหมด (ฝัก/ไร่)	จำนวนฝักที่ได้ มาตรฐาน (ฝัก/ไร่)	น้ำหนักฝัก ทั้งหมด (กก./ไร่)	น้ำหนักฝักที่ได้ มาตรฐาน (กก./ไร่)
1. control	116,267	108,000	838.64	742.23
2. RDF	114,934	106,867	838.03	736.93
3. RDF + CD	117,000	108,967	848.23	749.23
4. RDF + CD + AMF	116,067	108,734	836.96	739.73
เฉลี่ย	116,067	108,142	840.47	742.03
CV. (%)	1.4	1.4	3.0	1.7

หมายเหตุ RDF (Recommendation Fertilizer) = ใส่ปุ๋ยเคมีอัตรา 18-8-6 กิโลกรัม N-P₂O₅-K₂O ต่อไร่
 CD (Cow Dung) = ใส่มูลวัวอัตรา 1 ตันต่อไร่
 AMF (Arbuscular Mycorrhiza Fungi) = ใส่ปุ๋ยชีวภาพไมคอร์ไรซา อัตรา 3 กรัมต่อหลุม

ตารางที่ 6 ผลผลิตของกระเจี๊ยบเขียวที่ปลูกในดินเหนียว-ร่วนเหนียว แปลงเกษตรกรผู้ปลูกกระเจี๊ยบเขียว ต.ทุ่งลูกนก อ.กำแพงแสน จ.นครปฐม (ฤดูปลูกปี 2567) แปลงที่ 2

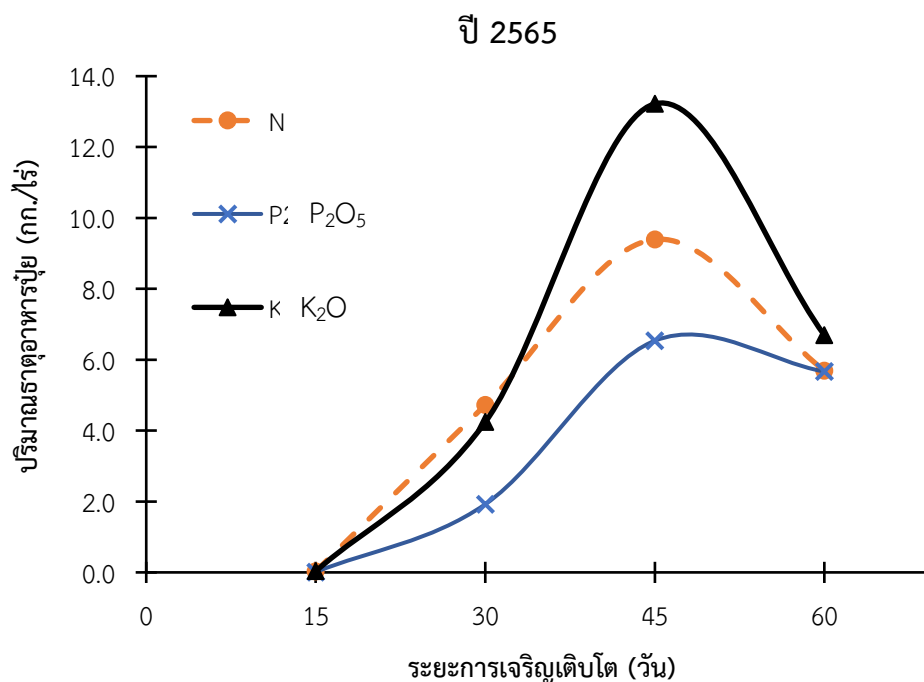
กรรมวิธี	ผลผลิตกระเจี๊ยบเขียว			
	จำนวนฝัก ทั้งหมด (ฝัก/ไร่)	จำนวนฝักที่ได้ มาตรฐาน (ฝัก/ไร่)	น้ำหนักฝัก ทั้งหมด (กก./ไร่)	น้ำหนักฝักที่ได้ มาตรฐาน (กก./ไร่)
1. control	85,600 b	76,800 a	1,197 c	1,088 c
2. RDF	114,880 a	106,000 a	1,624 a	1,511 a
3. RDF + CD	100,480 ab	91,120 b	1,410 b	1,293 b
4. RDF + CD + AMF	86,640 b	78,054 b	1,221 bc	1,121 bc
เฉลี่ย	116,067	108,142	840.47	742.03
CV. (%)	9.4	10.5	9.3	9.5

หมายเหตุ ตัวอักษรที่เหมือนกันในคอลัมน์เดียวกันไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% โดยวิธี DMRT
 RDF (Recommendation Fertilizer) = ใส่ปุ๋ยเคมีอัตรา 24-16-16 กิโลกรัม N-P₂O₅-K₂O ต่อไร่
 CD (Cow Dung) = ใส่มูลวัวอัตรา 1 ตันต่อไร่
 AMF (Arbuscular Mycorrhiza Fungi) = ใส่ปุ๋ยชีวภาพไมคอร์ไรซา อัตรา 3 กรัมต่อหลุม

5. ความต้องการธาตุอาหารในรูปปุ๋ยธาตุอาหารหลักของกระเจี๊ยบเขียว

5.1 ความต้องการธาตุอาหารในรูปปุ๋ยธาตุอาหารหลักของกระเจี๊ยบเขียวปี 2565

จากการประเมินความต้องการธาตุอาหารของกระเจี๊ยบเขียวที่ได้จากการวิเคราะห์ปริมาณธาตุอาหารในพืชที่ดูดใช้ในแต่ละระยะการเจริญเติบโต พบว่า กระเจี๊ยบเขียวที่อายุ 15 วัน มีความต้องการ 0.03-0.01-0.03 กิโลกรัม N-P₂O₅-K₂O ต่อไร่ ที่อายุ 30 วัน มีความต้องการปุ๋ยเท่ากับ 4.72-1.92-4.24 กิโลกรัม N-P₂O₅-K₂O ต่อไร่ ที่อายุ 45 วัน มีความต้องการปุ๋ยเท่ากับ 9.39-6.54-13.22 กิโลกรัม N-P₂O₅-K₂O ต่อไร่ และที่อายุ 60 วัน มีความต้องการปุ๋ยเท่ากับ 5.69-5.66-6.70 กิโลกรัม N-P₂O₅-K₂O ต่อไร่ (ภาพที่ 2) การปลูกกระเจี๊ยบเขียวในหนึ่งฤดูปลูก มีปริมาณปุ๋ยที่สูญเสียไปกับผลผลิตเฉลี่ยเท่ากับ 9.49-9.29-9.13 กิโลกรัม N-P₂O₅-K₂O ต่อไร่ (ตารางที่ 9)



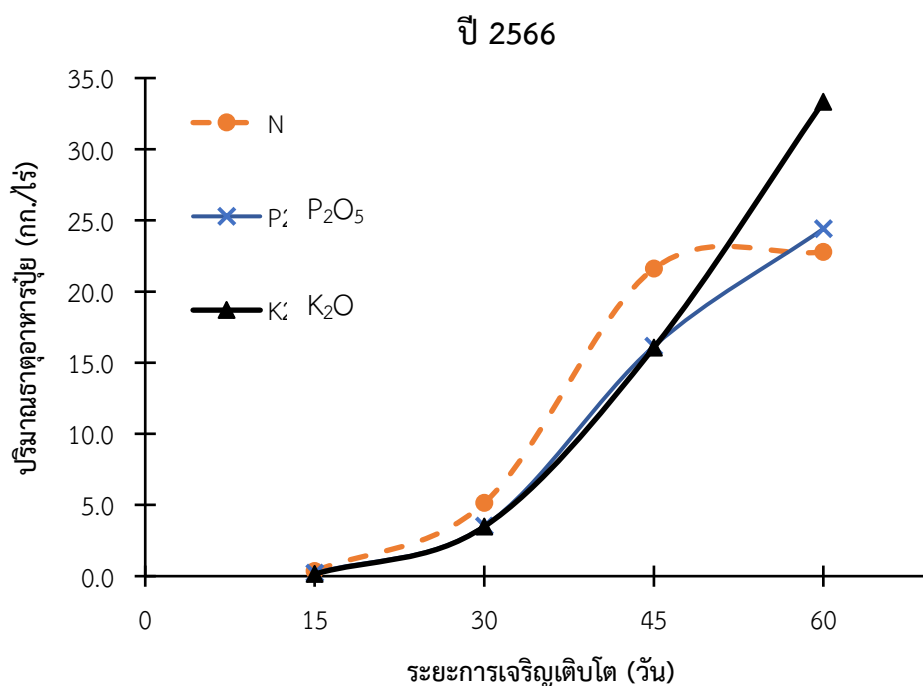
ภาพที่ 2 ความต้องการ N P₂O₅ และ K₂O ของกระเจี๊ยบเขียวในแต่ละระยะการเจริญเติบโตฤดูปลูกปี 2565

ตารางที่ 9 การประเมินปริมาณปุ๋ยไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียมที่สูญเสียไปกับผลผลิตในการปลูกกระเจี๊ยบเขียวฤดูปลูกปี 2565

ธาตุปุ๋ย	ปริมาณปุ๋ยที่สูญเสียไปกับผลผลิต (กิโลกรัม/ไร่)
N	9.49
P ₂ O ₅	9.29
K ₂ O	9.13

5.2 ความต้องการธาตุอาหารในรูปปุ๋ยธาตุอาหารหลักของกระเจี๊ยบเขียวปี 2566

จากการประเมินความต้องการธาตุอาหารของกระเจี๊ยบเขียวที่ได้จากการวิเคราะห์ปริมาณธาตุอาหารในพืชที่ดูได้ในแต่ละระยะการเจริญเติบโต พบว่า กระเจี๊ยบเขียวที่อายุ 15 วัน มีความต้องการปุ๋ยเท่ากับ 0.36-0.22-0.15 กิโลกรัม N-P₂O₅-K₂O/ไร่ ที่อายุ 30 วัน มีความต้องการปุ๋ยเท่ากับ 5.15-3.52-3.49 กิโลกรัม N-P₂O₅-K₂O/ไร่ ที่อายุ 45 วัน มีความต้องการปุ๋ยเท่ากับ 21.60-16.15-16.05 กิโลกรัม N-P₂O₅-K₂O/ไร่ และที่อายุ 60 วัน มีความต้องการปุ๋ยเท่ากับ 22.77-24.41-33.33 กิโลกรัม N-P₂O₅-K₂O/ไร่ (ภาพที่ 3) ทั้งนี้การปลูกกระเจี๊ยบเขียวในปี 2566 มีปริมาณปุ๋ยที่สูญเสียไปกับผลผลิตเฉลี่ยเท่ากับ 9.03-7.47-7.03 กิโลกรัม N-P₂O₅-K₂O/ไร่ (ตารางที่ 10)



ภาพที่ 3 ความต้องการ N P₂O₅ และ K₂O ของกระเจี๊ยบเขียวในแต่ละระยะการเจริญเติบโตฤดูปลูกปี 2566

ตารางที่ 10 การประเมินปริมาณปุ๋ยไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียมที่สูญเสียไปกับผลผลิตในการปลูกกระเจี๊ยบเขียวฤดูปลูกปี 2566

ธาตุปุ๋ย	ปริมาณปุ๋ยที่สูญเสียไปกับผลผลิต (กิโลกรัม/ไร่)
N	9.04
P ₂ O ₅	7.47
K ₂ O	7.03

6. ผลตอบแทนทางเศรษฐศาสตร์

การใส่ปุ๋ยเป็นปัจจัยสำคัญต่อการเพิ่มผลผลิตของพืช โดยการพิจารณาว่าจะใช้ปุ๋ยในอัตราใดจึงจะคุ้มค่าต่อการลงทุนต้องวิเคราะห์หาผลตอบแทนทางเศรษฐกิจ หรือค่า Value Cost Ratio (VCR) ถ้าค่า VCR มากกว่า 2 แสดงว่ามีความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ (Pevaiz *et al.*, 2004)

จากตารางที่ 7 พบว่า ผลตอบแทนทางเศรษฐศาสตร์ ทุกกรรมวิธีมีค่าน้อยกว่า 2 ซึ่งไม่คุ้มกับการลงทุน
จากตารางที่ 8 พบว่า ผลตอบแทนทางเศรษฐศาสตร์ กรรมวิธีที่ใส่ปุ๋ยเคมีอย่างเดียวให้ค่า VCR สูงสุดเท่ากับ 3.97 ส่วนกรรมวิธีอื่นค่า VCR น้อยกว่า 2

ตารางที่ 7 ผลตอบแทนทางเศรษฐกิจจากการใช้ผลิตภัณฑ์ชีวภาพจุลินทรีย์ร่วมกับชีวมวลในการผลิตกระเจี๊ยบเขียว ตาม GAP ในดินร่วน-ร่วนปนทราย ต.ทุ่งลูกนก อ.กำแพงแสน จ.นครปฐม (ฤดูปลูกปี 2567) แปลงที่ 1

กรรมวิธี	ผลผลิต (กิโลกรัมต่อไร่)	ผลผลิตเพิ่ม (กิโลกรัมต่อไร่)	มูลค่าผลผลิต (บาทต่อไร่)	มูลค่าปุ๋ยที่ใช้ (บาทต่อไร่)	กำไร (บาทต่อไร่)	VCR
1. control	838.64	-				
2. RDF	838.03	-0.61	-12.20	1,636.54	-1,648.74	-0.01
3. RDF + CD	848.23	9.59	191.80	3,636.54	-3,444.74	0.05
4. RDF + CD + AMF	836.96	-1.68	-33.60	8,244.54	-8,278.14	0.00

หมายเหตุ : ราคาปุ๋ย 46-0-0 ราคา 17.33 บาท/กิโลกรัม ปุ๋ย 0-46-0 ราคา 27.00 บาท/กิโลกรัม ปุ๋ย 0-0-60 ราคา 20.23 บาท/กิโลกรัม มูลวัว ราคา 2 บาท/กิโลกรัม และปุ๋ยชีวภาพไมคอร์ไรซา ราคา 120 บาท/กิโลกรัม ผลผลิตกระเจี๊ยบเขียว ราคา 25 บาท/กิโลกรัม

ตารางที่ 8 ผลตอบแทนทางเศรษฐกิจจากการใช้ผลิตภัณฑ์ชีวภาพจุลินทรีย์ร่วมกับชีวมวลในการผลิตกระเจี๊ยบเขียว ตาม GAP ในดินร่วน-ร่วนปนทราย ต.ทุ่งลูกนก อ.กำแพงแสน จ.นครปฐม (ฤดูปลูกปี 2567) แปลงที่ 2

กรรมวิธี	ผลผลิต (กิโลกรัมต่อไร่)	ผลผลิตเพิ่ม (กิโลกรัมต่อไร่)	มูลค่าผลผลิต (บาทต่อไร่)	มูลค่าปุ๋ยที่ใช้ (บาทต่อไร่)	กำไร (บาทต่อไร่)	VCR
1. control	1,197	-				
2. RDF	1,624	427	8,540	2,392.37	6,147.63	3.57
3. RDF + CD	1,410	213	4,260	4,392.37	-132.37	0.97
4. RDF + CD + AMF	1,221	24	480	9,000.37	-8,520.37	0.05

หมายเหตุ : ราคาปุ๋ย 46-0-0 ราคา 17.33 บาท/กิโลกรัม ปุ๋ย 0-46-0 ราคา 27.00 บาท/กิโลกรัม ปุ๋ย 0-0-60 ราคา 20.23 บาท/กิโลกรัม มูลวัว ราคา 2 บาท/กิโลกรัม และปุ๋ยชีวภาพไมคอร์ไรซา ราคา 120 บาท/กิโลกรัม ผลผลิตกระเจี๊ยบเขียว ราคา 25 บาท/กิโลกรัม

สรุปผลการทดลอง

จากผลการทดลองปี 2565-2566 การใช้ผลิตภัณฑ์ชีวภาพจุลินทรีย์ร่วมกับชีวมวลในการผลิตกระเจี๊ยบเขียวตาม GAP ในดินร่วน-ร่วนปนทราย จังหวัดนครปฐม ซึ่งดินมีความอุดมสมบูรณ์ต่ำการใส่อาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซา และมูลวัว ร่วมกับปุ๋ยเคมีอัตรา 18-6-4.5 กิโลกรัม N-P₂O₅-K₂O ต่อไร่ ช่วยเพิ่มผลผลิตกระเจี๊ยบเขียวได้ในปี 2567 ได้มีการนำมาทดสอบในแปลงเกษตรกร 2 แปลง พบว่า แปลงที่ 1 มีความอุดมสมบูรณ์ปานกลางทำให้การใส่ผลิตภัณฑ์ชีวภาพจุลินทรีย์ร่วมกับชีวมวลไม่ส่งผลต่อปริมาณผลผลิตทำให้ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ในส่วนแปลงที่ 2 ดินมีความอุดมสมบูรณ์ต่ำ กรรมวิธีที่ใส่ปุ๋ยตามค่าวิเคราะห์ดินเพียงอย่างเดียวสามารถเพิ่มผลผลิตได้สูงกว่ากรรมวิธีอื่นๆ และยังให้ผลตอบแทนทางเศรษฐกิจ VCR สูงที่สุดเท่ากับ 3.57 อย่างไรก็ตามการใส่ชีวมวลช่วยในการเพิ่มอินทรีย์วัตถุในดิน ปรับปรุงคุณภาพของดิน ทำให้ดินมีอุดมสมบูรณ์มากขึ้น ควรใส่เป็นประจำอย่างต่อเนื่อง แต่เนื่องจากการทดลองนี้ทำการทดสอบเพียง 1 ปี หากสามารถนำผลที่ได้ไปทดลองซ้ำปีต่อไปหรือพื้นที่อื่นจะทำให้ได้ผลสรุปที่ดีขึ้น

คำขอบคุณ

งานวิจัยนี้ได้รับทุนสนับสนุนจากสำนักงานคณะกรรมการส่งเสริมวิทยาศาสตร์ วิจัยและนวัตกรรม (สกสว.) ร่วมกับกรมวิชาการเกษตร และขอขอบคุณกลุ่มงานวิจัยจุลินทรีย์ดิน กลุ่มวิจัยปฐพีวิทยา กองวิจัยพัฒนาปัจจัยการผลิตทางการเกษตร กรมวิชาการเกษตรที่ให้ความอนุเคราะห์ปุ๋ยชีวภาพสำหรับการวิจัยครั้งนี้ สุดท้ายนี้ขอขอบคุณเจ้าหน้าที่และทีมงานวิจัยทุกท่านที่ให้ความช่วยเหลืองานวิจัยในครั้งนี้

การนำผลงานวิจัยไปใช้ประโยชน์

ผลงานวิจัยนี้เป็นการจัดการปุ๋ย โดยการใช้ผลิตภัณฑ์ชีวภาพจุลินทรีย์ร่วมกับชีวมวล และใส่ปุ๋ยเคมีตามค่าวิเคราะห์ดิน สำหรับการผลิตกระเจี๊ยบเขียวตาม GAP ในดินร่วน-ร่วนปนทราย จังหวัดนครปฐม สามารถนำไปใช้เป็นแนวทางให้เกษตรกรนำไปปฏิบัติเพื่อเพิ่มผลผลิตกระเจี๊ยบเขียว และทำให้เกษตรกรมีรายได้เพิ่มขึ้น

เอกสารอ้างอิง

- กรมพัฒนาที่ดิน. 2567. ธาตุอาหารพืชที่จำเป็นต่อการเจริญเติบโตของพืช. แหล่งข้อมูล:
http://osl101.ddd.go.th/easysoils/s_prop_nutri01.htm. สืบค้นเมื่อ: 16 มกราคม 2567.
- กรมวิชาการเกษตร. 2545. เกษตรดีที่เหมาะสม สำหรับ กระเจี๊ยบเขียว. โรงพิมพ์ชุมนุมสหกรณ์การเกษตรแห่งประเทศไทย จำกัด: กรุงเทพมหานคร. 22 หน้า.
- กรมส่งเสริมการเกษตร. 2551. คู่มือนักวิชาการส่งเสริมการเกษตร: กระเจี๊ยบเขียว. แหล่งข้อมูล:
<https://shorturl.asia/MnGNZ> สืบค้นเมื่อ: 4 มิถุนายน 2567.
- กรมส่งเสริมการเกษตร. 2567. ระบบให้บริการข้อมูลสารสนเทศการผลิตทางด้านการเกษตร. แหล่งข้อมูล:
<https://production.doae.go.th/service/site/login> สืบค้นเมื่อ: 4 มิถุนายน 2567.
- กลุ่มงานวิจัยปุ๋ยและสารปรับปรุงดิน. 2584. วิเคราะห์ปุ๋ยเคมีและปุ๋ยอินทรีย์. กลุ่มวิจัยปฐพีวิทยา สำนักวิจัยพัฒนาปัจจัยการผลิตทางการเกษตร กรมวิชาการเกษตร
- คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. 2544. ปฐพีวิทยาเบื้องต้น. พิมพ์ครั้งที่ 9. สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. กรุงเทพฯ. 528 หน้า.
- สำนักงานปลัดกระทรวงพาณิชย์. 2567. ตลาดส่งออกสำคัญของไทยรายสินค้า. แหล่งข้อมูล:
<https://shorturl.asia/4K2BL> สืบค้นเมื่อ: 17 มกราคม 2567.
- Agribot. 2023. Nutrient Management in Okra. Available at: <https://agri.bot/docs/nutrient-management-in-okra/>. Accessed: June 4, 2024.
- Berry, D. A. and M. H. Miller. 1989. Phosphorus nutritional requirement of maize seedlings for maximum yield. *Agronomy Journal*. 81: 95-99.
- Calderón, F. J., McCarty G. W. and Reeves III, J. B. 2005. Analysis of manure and soil nitrogen mineralization during incubation. *Biology and Fertility of Soils*. 41: 328-336.
- Kalayu, G. 2019 Phosphate solubilizing microorganisms: promising approach as biofertilizer. *International Journal of Agronomy*, 2019: 7. [Online]. Available <http://doi.org/10.1155/2019/4917256> [25 October 2020]
- Lamont WJ (1999) Okra – a versatile vegetable crop. *HortTechnology* 9 (2):179-184.
- Pevaiz, Z., K. Hussain, S.S.H. Kazmi and K.H. Gill. 2004. *Agronomic efficiency of different N:P ratios in rainfed wheat*. *International Journal of Agriculture & Biology*. 3: 455-457
- Satyaprakash, M., T, Nikitha, E.U.B. Reddi, B. Sadhana and S.S. Vani. 2017. Phosphorus and phosphate solubilizing bacteria and there role in plant nutrition. *International Journal of Current Microbiology and Applied Science* 6(4): 2133-2144
- Tannenbaum. S.R., D Fett, V.R. Young, P.D. Lan and W.R. Bruce. 1978. Nitrite and nitrate are formed by endogenous synthesis in human intestine. *Science*. 200: 1487-1488.

ศึกษาการใช้ผลิตภัณฑ์ชีวภาพจุลินทรีย์ร่วมกับชีวมวลในการผลิตกระเจี๊ยบเขียวตาม
GAP ในดินเหนียว-ร่วนเหนียว จังหวัดสุพรรณบุรี

Use of Bio-products and Biomass on Okra Production in Good
Agricultural Practices on Clay - Clay Loam, Suphanburi Province

ทิพวรรณ แก้วหนู¹ สุปรานี มั่นหมาย¹ วณิดา โนบรเทศา¹ ศรีสุดา รื่นเจริญ¹
ปัทมภรณ์ จินจาคาม¹ นิศารัตน์ ทวีนุต¹ พีรพงษ์ เซาวนพงษ์¹ ศุภกาญจน์ ล้วนมณี¹ วัชรรา สุวรรณอาศน์²
Tipawan Kaewnoo¹ Supranee Munmai¹ Wanida Nobuntou¹ Srisuda Reuncharoen¹
Patimaporn Jinjakam¹ Nisarat Taweenoot¹ Peerapong Chaovanapong¹
Suphakarn Luanmanee¹ Watchara Suwanart²

กลุ่มวิจัยปฐพีวิทยา

กองวิจัยพัฒนาปัจจัยการผลิตทางการเกษตร

ABSTRACT

Okra is an important economic vegetable crop for export. Production of okra following Good Agricultural Practices (GAP) is essential to meet international consumer standards, which requires proper and appropriate nutrient management. This study aimed to investigate plant nutrient management for okra production under GAP. The experiment was conducted on a farmer's field in Sa Yai Som Subdistrict, U Thong District, Suphan Buri Province. It comprised two sub-experiments: Sub-experiment 1 studied nitrogen release from biomass by incubating soil mixed with biomass materials—compost and cattle manure—at a ratio of 10 grams of soil to 0.2 grams of biomass. The soil was incubated under 60% moisture of field capacity at room temperature for 266 days. Soil samples were randomly collected on days 0, 1, 3, 5, 7, 14, 28, 56, 77, 98, 119, 168, 217, and 266 after incubation. The results showed that compost and cattle manure could release 15–30% of their total nitrogen content. Sub-experiment 2 studied the application of microbial bio-products along with biomass for okra production under GAP in clay-clay loam in Suphan Buri Province. Based on the nutritional needs of okra at different growth stages in 2022, the fertilizer requirements were as follows: at 15 days: 0.02-0.01-0.01 kg N-P₂O₅-K₂O per rai, at 30 days: 0.52-0.22-0.44 kg N-P₂O₅-K₂O per rai, at 45 days: 4.46-2.73-5.58 kg N-P₂O₅-K₂O per rai, at 60 days: 8.76-10.74-10.19 kg N-P₂O₅-K₂O per rai, applying chemical fertilizer at a rate of 18-4-6 kg N-P₂O₅-K₂O per rai, combined with 1 ton/rai of cattle manure, phosphate-solubilizing microorganisms, and arbuscular mycorrhizal fungi, resulted in the highest total pod weight

¹ กองวิจัยพัฒนาปัจจัยการผลิตทางการเกษตร

¹ Agricultural Production Science Research and Development Division

² สำนักวิจัยและพัฒนาการเกษตรเขตที่ 5

² Office of Agricultural Research and Development Region 5

and marketable pod weight—1,321.75 and 1,131.25 kg/rai, respectively. In 2023, okra nutrient requirements were: at 15 days: 0.10-0.08-0.05 kg N-P₂O₅-K₂O per rai, at 30 days: 1.98-1.24-1.07 kg N-P₂O₅-K₂O per rai, at 45 days: 8.20-5.43-6.01 kg N-P₂O₅-K₂O per rai, at 60 days: 7.80-9.62-11.89 kg N-P₂O₅-K₂O per rai, applying chemical fertilizer at the same rate of 18-4-6 kg N-P₂O₅-K₂O per rai, along with 1 ton/rai of cattle manure and arbuscular mycorrhizal fungi, resulted in the highest total and marketable pod weights—2,935.20 and 2,897.90 kg/rai, respectively.

Keywords: Okra, Bio-products and Biomass; Good Agricultural Practice (GAP); Nutrient Uptake; Crop Nutrient Management

บทคัดย่อ

กระเจี๊ยบเขียวเป็นพืชผักส่งออกสำคัญทางเศรษฐกิจ การผลิตกระเจี๊ยบเขียวตามการปฏิบัติทางการเกษตรที่ดี (GAP) เพื่อให้ได้ผลผลิตที่ได้มาตรฐานตรงตามความต้องการของผู้บริโภคในต่างประเทศ จำเป็นต้องมีการจัดการธาตุอาหารพืชที่ถูกต้องและเหมาะสม การทดลองนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาการจัดการธาตุอาหารพืชสำหรับการผลิตกระเจี๊ยบเขียวตาม GAP ดำเนินการทดลองในแปลงเกษตรกร ตำบลสระยายโสม อำเภอบัวทอง จังหวัดสุพรรณบุรี ประกอบด้วย 2 การทดลอง คือ การทดลองย่อยที่ 1 ศึกษาการปลดปล่อยธาตุไนโตรเจนจากชีวมวล โดยการบ่มดินที่ผสมชีวมวล ได้แก่ ปุ๋ยหมัก และมูลวัวในสัดส่วนดิน 10 กรัมต่อชีวมวล 0.2 กรัม ภายใต้สภาพความชื้น 60 เปอร์เซ็นต์ของความจุความชื้นดินที่อุณหภูมิห้องเป็นระยะเวลา 266 วัน โดยสุ่มเก็บตัวอย่างที่ 0 1 3 5 7 14 28 56 77 98 119 168 217 และ 266 วันหลังการบ่มดิน ผลการทดลองพบว่า ปุ๋ยหมัก และมูลวัวสามารถปลดปล่อยไนโตรเจนได้สูงสุด 15-30 เปอร์เซ็นต์ของไนโตรเจนทั้งหมดที่เป็นองค์ประกอบ และการทดลองย่อยที่ 2 ศึกษาการใช้ผลิตภัณฑ์ชีวภาพจุลินทรีย์ร่วมกับชีวมวลในการผลิตกระเจี๊ยบเขียวตาม GAP ในดินเหนียว-ร่วนเหนียว จังหวัดสุพรรณบุรี เมื่อพิจารณาความต้องการธาตุอาหารของกระเจี๊ยบเขียวในแต่ละระยะการเจริญเติบโตในปี 2565 พบว่า กระเจี๊ยบเขียวที่อายุ 15 วัน มีความต้องการปุ๋ยเท่ากับ 0.02-0.01-0.01 กิโลกรัม N-P₂O₅-K₂O ต่อไร่ ที่อายุ 30 วัน มีความต้องการปุ๋ยเท่ากับ 0.52-0.22-0.44 กิโลกรัม N-P₂O₅-K₂O ต่อไร่ ที่อายุ 45 วัน มีความต้องการปุ๋ยเท่ากับ 4.46-2.73-5.58 กิโลกรัม N-P₂O₅-K₂O ต่อไร่ และที่อายุ 60 วัน มีความต้องการปุ๋ยเท่ากับ 8.76-10.74-10.19 กิโลกรัม N-P₂O₅-K₂O ต่อไร่ การใส่ปุ๋ยเคมีอัตรา 18-4-6 กิโลกรัม N-P₂O₅-K₂O ต่อไร่+มูลวัวอัตรา 1 ตันต่อไร่+จุลินทรีย์ละลายฟอสเฟต+อาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซา ให้น้ำหนักฝักทั้งหมด น้ำหนักฝักที่ได้มาตรฐานมีค่าสูงสุด เท่ากับ 1,321.75 และ 1,131.25 กิโลกรัมต่อไร่ ตามลำดับ และปี 2566 พบว่า กระเจี๊ยบเขียวที่อายุ 15 วัน มีความต้องการปุ๋ยเท่ากับ 0.10-0.08-0.05 กก. N-P₂O₅-K₂O ต่อไร่ ที่อายุ 30 วัน มีความต้องการปุ๋ยเท่ากับ 1.98-1.24-1.07 กก. N-P₂O₅-K₂O ต่อไร่ ที่อายุ 45 วัน มีความต้องการปุ๋ยเท่ากับ 8.20-5.43-6.01 กก. N-P₂O₅-K₂O ต่อไร่ และที่อายุ 60 วัน มีความต้องการปุ๋ยเท่ากับ 7.80-9.62-11.89 กก. N-P₂O₅-K₂O ต่อไร่ ทั้งนี้การใส่ปุ๋ยเคมีอัตรา 18-4-6 กิโลกรัม N-P₂O₅-K₂O ต่อไร่+มูลวัวอัตรา 1 ตันต่อไร่+อาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซา ให้น้ำหนักฝักทั้งหมด น้ำหนักฝักที่ผ่านเกณฑ์มีค่าสูงสุด เท่ากับ 2,935.20 และ 2,897.90 กิโลกรัมต่อไร่ ตามลำดับ

คำสำคัญ: กระเจี๊ยบเขียว; ผลิตภัณฑ์ชีวภาพจุลินทรีย์และชีวมวล; การปฏิบัติทางการเกษตรที่ดี; การดูใช้ธาตุอาหาร;การจัดการธาตุอาหารพืช

บทนำ

การเจริญเติบโตและผลผลิตของพืชขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายประการ หนึ่งในปัจจัยที่สำคัญที่สุดคือ ธาตุอาหารพืช ซึ่งเป็นธาตุอาหารที่พืชจำเป็นต้องใช้ในการสังเคราะห์แสงสำหรับใช้ในการเจริญเติบโต และสร้างผลผลิต การจัดการธาตุอาหารพืชอย่างเหมาะสมจึงมีความสำคัญอย่างยิ่งต่อการเกษตรสมัยใหม่ เนื่องจากสามารถส่งเสริมการเจริญเติบโตของพืช เพิ่มผลผลิตและคุณภาพของผลผลิต ลดการสูญเสียและต้นทุนการผลิต รวมถึงช่วยป้องกันปัญหาการขาดแคลนหรือได้รับธาตุอาหารเกินความต้องการ นอกจากนี้ การจัดการธาตุอาหารอย่างสมดุลยังช่วยรักษาทรัพยากรดินอย่างยั่งยืน ทำให้เกษตรกรสามารถผลิตผลผลิตได้ต่อเนื่องในระยะยาว ดังนั้น การจัดการธาตุอาหารพืชอย่างมีประสิทธิภาพจึงเป็นปัจจัยสำคัญที่ส่งผลต่อความสำเร็จของการเกษตรทั้งในด้านเศรษฐกิจ สิ่งแวดล้อม และสังคม

กระเจี๊ยบเขียวเป็นพืชส่งออกสำคัญเป็นอันดับต้น ๆ ของไทย สถิติการส่งออกกระเจี๊ยบเขียวฝักสดหรือแช่เย็นในปี 2566 มีมูลค่าถึง 226 ล้านบาท และกระเจี๊ยบเขียวแช่แข็ง มูลค่า 119 ล้านบาท เนื่องจากต่างประเทศนิยมบริโภคกันอย่างแพร่หลาย เช่น ประเทศญี่ปุ่นมีการนำเข้ากระเจี๊ยบเขียวจากไทยมูลค่าสูงถึง 303 ล้านบาท เป็นกระเจี๊ยบเขียวฝักสดหรือแช่เย็นมูลค่า 184 ล้านบาท และกระเจี๊ยบเขียวแช่แข็งมูลค่าเฉลี่ย 119 ล้านบาท (สำนักงานปลัดกระทรวงพาณิชย์, 2567) โดยในปี 2566 ประเทศไทยมีพื้นที่ปลูกกระเจี๊ยบเขียว จำนวน 6,628 ไร่ ผลผลิตจำนวน 8,019 ตัน มีปริมาณผลผลิตต่อไร่เฉลี่ย 1,210 กิโลกรัมต่อไร่ แหล่งปลูกกระเจี๊ยบเขียวที่สำคัญส่วนใหญ่อยู่ในพื้นที่ภาคกลาง คือ จังหวัดนครปฐม สุพรรณบุรี ราชบุรี และกาญจนบุรี (กรมส่งเสริมการเกษตร, 2567)

พื้นที่เพาะปลูกกระเจี๊ยบเขียวควรเป็นที่ราบ มีความสม่ำเสมอ และไม่มีน้ำท่วมขัง เนื่องจากกระเจี๊ยบเขียวไม่ทนต่อสภาพน้ำท่วมขัง เนื้อดินเป็นดินร่วนปนทราย แต่สามารถปลูกได้ในดินเกือบทุกชนิด หนาดินลึกไม่น้อยกว่า 1 เมตร ค่าความเป็นกรด-ด่างของดิน (pH) เท่ากับ 6.5-7.5 ปริมาณอินทรีย์วัตถุที่เหมาะสมคือ 1-3 เปอร์เซ็นต์ กระเจี๊ยบเขียวต้องการไนโตรเจน 38.4 กิโลกรัมต่อไร่ ฟอสฟอรัส 27.5 กิโลกรัมต่อไร่ และโพแทสเซียม 46 กิโลกรัมต่อไร่ ซึ่งดินที่ใช้ปลูกกระเจี๊ยบเขียวไประยะหนึ่งจะสูญเสียธาตุอาหารไปกับผลผลิตที่เก็บเกี่ยวไปในแต่ละปี จึงทำให้ความอุดมสมบูรณ์ของดินลดลงไปตามด้วย (กรมส่งเสริมการเกษตร, 2551)

การผลิตกระเจี๊ยบเขียวให้ได้ผลผลิตสูงและผลผลิตมีคุณภาพตามที่ตลาดต้องการ จำเป็นต้องมีการใช้ปุ๋ยเคมี ปุ๋ยอินทรีย์ และปุ๋ยชีวภาพร่วมกันอย่างถูกต้องและเหมาะสมตามชนิดพืชที่ปลูกและคุณภาพของดิน นอกจากนี้ต้องมีความรู้ ความเข้าใจเกี่ยวกับบทบาทของธาตุอาหารพืชต่อการเจริญเติบโตและให้ผลผลิต ซึ่งธาตุไนโตรเจนเป็นองค์ประกอบสำคัญของกรดอะมิโน โปรตีน คลอโรฟิลล์ กรดนิวคลีอิก และเอนไซม์ในพืช ช่วยส่งเสริมการเจริญเติบโตของยอดอ่อน ใบ และก้าน (คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา, 2544) ปริมาณไนโตรเจนในพืชที่เพียงพอต่อการเจริญเติบโตอาจจะแตกต่างกันตามชนิดของพืช ส่วนของพืชและระยะการเจริญเติบโต แต่โดยทั่วไปจะอยู่ระหว่าง 1-2 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักแห้ง กระเจี๊ยบเขียวที่ได้รับธาตุไนโตรเจนที่เพียงพอจะมีการเจริญเติบโตที่ดี ใบมีสีเขียว ออกดอกมากขึ้น และให้ศักยภาพผลผลิตที่สูงขึ้น ถ้าหากขาดไนโตรเจน ใบจะมีสีเหลืองอ่อน การเจริญเติบโตแคระแกรน ผลผลิตที่ได้ลดลง (Agribot, 2023) คุณภาพของผลผลิตในเชิงโภชนาการต่ำ เช่น ผักซึ่งมีไนเตรตสะสมอยู่ ไนเตรตจะถูกกรดิวซีให้กลายเป็นไนไตรท์ในระหว่างการเก็บเกี่ยว ซึ่งไม่เหมาะที่จะนำมาใช้เป็นอาหารของทารก เนื่องจากไนไตรท์เป็นสาเหตุของโรค methemoglobinemia นอกจากนี้ไนไตรท์ยังอาจเปลี่ยนแปลงต่อไปเป็นไนโตรซามีน ซึ่งเป็นสารก่อมะเร็ง (Tannenbaum et al. 1978; Santanmaria, 2006) ทั้งนี้การใส่ปุ๋ยไนโตรเจนที่มากเกินไป ไม่เพียงทำให้สิ้นเปลืองและมีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมเท่านั้น แต่ยังทำให้เกิดการเจริญทางใบมากเกินไปที่จะส่งผลต่อการออกดอกของกระเจี๊ยบเขียว (Lamont 1999) ส่วนฟอสฟอรัสเป็นธาตุที่มีบทบาทในการช่วยสังเคราะห์โปรตีน และสารอินทรีย์ที่สำคัญในพืช เป็นองค์ประกอบของสารที่ทำหน้าที่ถ่ายทอดพลังงานในกระบวนการต่าง ๆ เช่น การสังเคราะห์แสงและการหายใจ (คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา,

2544) ดังนั้นจึงมีหน้าที่ช่วยกระตุ้นและเร่งการเจริญเติบโตของรากพืช และการแพร่กระจายของราก ควบคุมการออกดอก ติดผล และการสร้างเมล็ด (กรมพัฒนาที่ดิน, 2567) ธาตุฟอสฟอรัสเป็นองค์ประกอบของพืช 0.2-0.8 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักแห้ง ส่วนใหญ่เป็นองค์ประกอบสำคัญของกรดนิวคลีอิก เอนไซม์ โคเอนไซม์ นิวคลีโอไทด์ และฟอสโฟลิปิด (Satyaprakash et al., 2017; Kalayu, 2019) การขาดฟอสฟอรัสจะมีผลกระทบต่อการเจริญพันธุ์อย่างมาก เช่น ออกดอกช้า จำนวนดอก ผล และเมล็ดน้อยลง การที่ใบพืชเสื่อมตามอายุและร่วงหล่นเร็วกว่าปกติเป็นสาเหตุหนึ่งที่ทำให้ผลผลิตต่ำ (Berry and Miller, 1989) ทั้งนี้พืชแต่ละชนิดมีความต้องการโพแทสเซียมในปริมาณที่แตกต่างกัน แต่โดยทั่วไปแล้วความต้องการโพแทสเซียมของพืชอยู่ระหว่าง 2-5 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักแห้ง โพแทสเซียมมีบทบาทในการช่วยสังเคราะห์น้ำตาล แป้ง และโปรตีน ส่งเสริมการเคลื่อนย้ายของน้ำตาลจากใบไปยังผล ช่วยให้ผลเจริญเติบโตเร็ว พืชแข็งแรง มีความต้านทานต่อโรคบางชนิด (คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา, 2544) ดังนั้นการขาดโพแทสเซียมจะทำให้ขนาดผลลดลง เพิ่มความไวต่อการเกิดโรคและแมลง (Agribot, 2023) แคลเซียมในพืชมีความเข้มข้นแตกต่างกันไปตามสภาพการปลูก พันธุ์พืช และส่วนของพืช ซึ่งแปรผันอยู่ในช่วง 0.1 ถึงมากกว่า 5 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักแห้ง แคลเซียมเป็นองค์ประกอบที่ช่วยในการแบ่งเซลล์ การผสมเกสร โดยแคลเซียมช่วยในการยึดตัวของหลอดละอองเรณู การงอกของเมล็ด เนื่องจากเอนไซม์ของพืชต้องการแคลเซียมเป็นโคแฟกเตอร์ที่ช่วยในการย่อยแป้งให้มีโมเลกุลสั้นลงสำหรับใช้ในกระบวนการงอก (คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา, 2544; กรมพัฒนาที่ดิน, 2567) ดังนั้นแคลเซียมจึงจำเป็นต่อการสร้างผนังเซลล์ ป้องกันปลายดอกเน่า และเพิ่มความแน่นของผล (Agribot, 2023) ส่วนแมกนีเซียมเป็นองค์ประกอบสำคัญของคลอโรฟิลล์ ช่วยสังเคราะห์กรดอะมิโน วิตามิน ไนมัน และน้ำตาล ทำให้สภาพกรด-ด่างในเซลล์อยู่ในระดับที่เหมาะสม (กรมพัฒนาที่ดิน, 2567) ซึ่งพืชปกติโดยทั่วไปมีแมกนีเซียมในลำต้น กิ่งก้าน ใบ และราก อยู่ในช่วง 0.15-0.35 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักแห้ง การขาดแมกนีเซียมจะมีผลทำให้การสังเคราะห์โปรตีนได้น้อยลง อัตราการสังเคราะห์แสงลดลง อัตราการหายใจต่ำกว่าพืชปกติ อาจทำให้ช่อดอกมีขนาดเล็กเป็นเหตุให้ผลผลิตต่ำ (คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา, 2544)

ดังนั้น การจัดการธาตุอาหารพืชโดยใช้ผลิตภัณฑ์ชีวภาพจุลินทรีย์ร่วมกับชีวมวลในการผลิตกระเจี๊ยบเขียวตาม GAP เพื่อให้ทราบความต้องการธาตุอาหารของพืช สำหรับนำไปใช้ในการจัดการธาตุอาหารของกระเจี๊ยบเขียว ช่วยให้พืชใช้ปุ๋ยได้ถูกต้องตรงตามความต้องการของพืชในแต่ละระยะการเจริญเติบโต และประหยัดต้นทุนด้านปุ๋ยลงได้ งานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาการใช้ผลิตภัณฑ์ชีวภาพจุลินทรีย์ร่วมกับชีวมวลในการผลิตกระเจี๊ยบเขียวตาม GAP ในดินเหนียว-ร่วนเหนียว จังหวัดสุพรรณบุรี สำหรับใช้ในการประเมินการจัดการธาตุอาหารพืชอย่างถูกต้องและเหมาะสม

อุปกรณ์และวิธีการ

อุปกรณ์

1. เมล็ดพันธุ์กระเจี๊ยบเขียวลูกผสม HPV 068 (ปี2565) และ HPV 092 (ปี2566-2567)
2. ปุ๋ยเคมี ได้แก่ ปุ๋ยยูเรีย ปุ๋ยทริบิเปิลซูเปอร์ฟอสเฟต และปุ๋ยโพแทสเซียมคลอไรด์
3. มูลวัว
4. ปุ๋ยชีวภาพละลายฟอสเฟต
5. ปุ๋ยชีวภาพอาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซา
6. อุปกรณ์สำหรับเก็บตัวอย่างดิน เช่น ถังพลาสติก จอบ พลั่วมือ กระบอกเก็บดิน
7. อุปกรณ์สำหรับเก็บตัวอย่างพืช เช่น ถังตาข่าย ถังกระดาษสำหรับเก็บตัวอย่างพืช มีด กรรไกรตัด

ตัวอย่างพืช

8. สารเคมีป้องกันกำจัดศัตรูพืชและวัชพืช
9. เครื่องมือวิทยาศาสตร์ เครื่องแก้ว และสารเคมีสำหรับวิเคราะห์ปริมาณธาตุอาหารในดินและพืช

วิธีการ

แผนการทดลองปี 2565

วางแผนการทดลองแบบ Randomized Complete Block (RCB) จำนวน 4 ซ้ำ ประกอบด้วย 7 กรรมวิธี ดังนี้

กรรมวิธีที่ 1 กรรมวิธีควบคุม (ไม่ใส่ปุ๋ยเคมี มูลวัว และผลิตภัณฑ์ชีวภาพจุลินทรีย์)

กรรมวิธีที่ 2 ใส่ปุ๋ยเคมี 18-4-6 กก. $N-P_2O_5-K_2O$ ต่อไร่

กรรมวิธีที่ 3 ใส่ปุ๋ยเคมี 18-4-6 กก. $N-P_2O_5-K_2O$ ต่อไร่+มูลวัว

กรรมวิธีที่ 4 ใส่ปุ๋ยเคมี 18-4-6 กก. $N-P_2O_5-K_2O$ ต่อไร่+มูลวัว+จุลินทรีย์ละลายฟอสเฟต + อาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซา

กรรมวิธีที่ 5 ใส่ปุ๋ยเคมี 13.5-3-4.5 กก. $N-P_2O_5-K_2O$ ต่อไร่+มูลวัว

กรรมวิธีที่ 6 ใส่ปุ๋ยเคมีอัตรา 13.5-3-4.5 กก. $N-P_2O_5-K_2O$ ต่อไร่+มูลวัว+จุลินทรีย์ละลายฟอสเฟต+

อาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซา

กรรมวิธีที่ 7 ใส่มูลวัว+จุลินทรีย์ละลายฟอสเฟต+อาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซา

หมายเหตุ: 1) ใส่มูลวัว อัตรา 1 ตันต่อไร่ ใส่พร้อมการไถเตรียมแปลง

2) ใช้ผลิตภัณฑ์ชีวภาพจุลินทรีย์ละลายฟอสเฟต (ชนิดรา ไม่น้อยกว่า 10^7 โคโลนีต่อกรัม) และ อาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซา (25 สปอร์ต่อกรัม) รองกันหลุมอัตรา 3 กรัมต่อต้น

แผนการทดลองปี 2566

วางแผนการทดลองแบบ split-split plot design จำนวน 6 ซ้ำ ประกอบด้วย

ปัจจัยหลัก 2 ระดับ คือ 1) ไม่ใส่อาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซา 2) ใส่อาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซา

ปัจจัยรอง (1) 2 ระดับ คือ 1) ไม่ใส่มูลวัว 2) ใส่มูลวัว

ปัจจัยรอง (2) 3 ระดับ คือ 1) ไม่ใส่ปุ๋ยเคมี 2) ใส่ปุ๋ยเคมีอัตรา 13.5-3-4.5 กก. $N-P_2O_5-K_2O$ ต่อไร่

3) ใส่ปุ๋ยเคมีอัตรา 18-4-6 กก. $N-P_2O_5-K_2O$ ต่อไร่

หมายเหตุ : 1) ใส่มูลวัวอัตรา 1 ตันน้ำหนักรวมต่อไร่ ใส่พร้อมการไถเตรียมแปลง

2) ใส่ผลิตภัณฑ์ชีวภาพจุลินทรีย์อาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซา (ไม่น้อยกว่า 25 สปอร์ต่อกรัม) รองกันหลุมอัตรา 3 กรัมต่อต้น

แผนการทดลองปี 2567

วางแผนการทดลองแบบ Randomized Complete Block (RCB) ประกอบด้วย 4 กรรมวิธี จำนวน 4 ซ้ำ ดังนี้
กรรมวิธีที่ 1 กรรมวิธีควบคุม (ไม่ใส่ปุ๋ยเคมี มูลวัว และผลิตภัณฑ์ชีวภาพจุลินทรีย์)

กรรมวิธีที่ 2 ใส่ปุ๋ยเคมีตามค่าวิเคราะห์ดิน

กรรมวิธีที่ 3 ใส่ปุ๋ยเคมีตามค่าวิเคราะห์ดิน + มูลวัว

กรรมวิธีที่ 4 ใส่ปุ๋ยเคมีตามค่าวิเคราะห์ดิน + มูลวัว + อาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซา

หมายเหตุ: 1) ใส่มูลวัว อัตรา 1 ตันต่อไร่ ใส่พร้อมการไถเตรียมแปลง

2) ใช้ผลิตภัณฑ์อาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซา (25 สปอร์ต่อกรัม) รองกันหลุมอัตรา 3 กรัมต่อต้น

3) ใส่ปุ๋ยตามค่าวิเคราะห์ดินสำหรับกระเจี๊ยบเขียว (กรมวิชาการเกษตร, 2553)

ปี 2565 ดำเนินการทดลองที่แปลงเกษตรกรผู้ปลูกกระเจี๊ยบเขียว GAP ของ นายอนวัฒ นรัญดา บ้านเลขที่ 17 หมู่ที่ 1 ตำบลสระยายโสม อำเภอบัวทอง จังหวัดสุพรรณบุรี พิกัดแปลงทดลอง 47 P 0595056 1576786 สारวจพื้นที่และเก็บตัวอย่างดินที่ระดับความลึก 0-20 เซนติเมตร ในแปลงทดลองมาวิเคราะห์สมบัติทางเคมีและปริมาณธาตุอาหารในดิน ได้แก่ ความเป็นกรด-ด่าง (pH) ค่าการนำไฟฟ้า (EC) ปริมาณอินทรีย์วัตถุ ปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ ปริมาณโพแทสเซียม แคลเซียม แมกนีเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ และปริมาณจุลินทรีย์ดินที่เป็นประโยชน์

เตรียมแปลงทดลองสำหรับปลูกกระเจี๊ยบเขียว GAP ในดินเหนียว-ร่วนเหนียว โดยไถเตรียมดินและแบ่งแปลงย่อย ขนาดแปลงย่อย 6 x 6 เมตร ดำเนินการปลูกกระเจี๊ยบเขียว ระยะปลูก 0.5 x 1 เมตร ใส่มูลวัวอัตรา 1 ตันต่อไร่ พร้อมไถพรวนคลุกเคล้าลงดินทิ้งไว้อย่างน้อย 8 สัปดาห์ ใส่ผลิตภัณฑ์ชีวภาพจุลินทรีย์ตามกรรมวิธีทดลอง หยอดเมล็ดกระเจี๊ยบเขียวจำนวน 2-3 เมล็ดต่อหลุม ถอนแยกต้นกระเจี๊ยบเขียวเมื่ออายุ 15 วันหลังปลูก ให้เหลือ 1 ต้นต่อหลุม พร้อมใส่ปุ๋ยเคมีข้างแถวปลูกในอัตราที่กำหนดตามกรรมวิธี โดยปุ๋ยไนโตรเจนแบ่งใส่ 2 ครั้ง คือ ใส่ปุ๋ยครั้งแรก 1/2N+P+K ที่อายุ 15 วัน และครั้งที่สองใส่ 1/2N ที่อายุ 30 วันหลังปลูก ใส่สองข้างแถวแล้ว พรวนดินกลบ และให้น้ำแบบเทปูน้ำพุ่ง ดูแลรักษาตามปฏิบัติของเกษตรกรผู้ปลูกกระเจี๊ยบเขียวตาม GAP

เก็บข้อมูลการเจริญเติบโตของกระเจี๊ยบเขียว ได้แก่ ความสูงต้นที่อายุ 15 30 45 60 วัน พร้อมสุ่มเก็บตัวอย่างกระเจี๊ยบเขียวเพื่อนำไปวิเคราะห์ปริมาณธาตุอาหารพืชในส่วนต่าง ๆ ของกระเจี๊ยบเขียว สำหรับนำไปใช้ในการประเมินความต้องการธาตุอาหารของกระเจี๊ยบเขียวในแต่ละระยะการเจริญเติบโต

เก็บเกี่ยวกระเจี๊ยบเขียวที่อายุ 45 วันไปจนถึงอายุ 80 วัน ในพื้นที่เก็บเกี่ยวขนาด 4 x 4 เมตร พร้อมสุ่มเก็บตัวอย่างต้น ใบ และฝักกระเจี๊ยบเขียวในแต่ละกรรมวิธี มาวิเคราะห์ปริมาณการดูดใช้ธาตุอาหารของพืช ได้แก่ ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส โพแทสเซียม แคลเซียม และแมกนีเซียม และสุ่มเก็บตัวอย่างดินหลังเก็บเกี่ยวแต่ละแปลงย่อยๆ ละ 5 จุดรวมเป็น 1 ตัวอย่างต่อแปลงย่อย สำหรับนำมาวิเคราะห์ปริมาณธาตุอาหารในดินหลังเก็บเกี่ยวกระเจี๊ยบเขียว

ประเมินผลของการจัดการดินและปุ๋ยวิธีการต่าง ๆ ต่อปริมาณและคุณภาพของผลผลิต เช่น ผลผลิตต่อไร่ จำนวนฝักทั้งหมดต่อไร่ จำนวนฝักที่ได้มาตรฐานต่อไร่ น้ำหนักฝักทั้งหมดต่อไร่ และน้ำหนักฝักที่ได้มาตรฐานต่อไร่ และนำผลที่ได้มาทดสอบในแปลงเกษตรกร จำนวน 2 ราย เก็บข้อมูลผลผลิตและวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ พร้อมสรุปผล

ปี 2566 ดำเนินการทดลองที่แปลงเกษตรกรผู้ปลูกกระเจี๊ยบเขียว GAP ของ นายอนวัฒ นรัญดา บ้านเลขที่ 17 หมู่ที่ 1 ตำบลสระยายโสม อำเภอบัวทอง จังหวัดสุพรรณบุรี พิกัดแปลงทดลอง 47 P 0595056 1576786 สारวจพื้นที่และเก็บตัวอย่างดินที่ระดับความลึก 0-20 เซนติเมตรในแปลงทดลองมาวิเคราะห์สมบัติทางเคมีและปริมาณธาตุอาหารในดิน ได้แก่ ความเป็นกรด-ด่าง (pH) ค่าการนำไฟฟ้า (EC) ปริมาณอินทรีย์วัตถุ

ปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ ปริมาณโพแทสเซียม แคลเซียม แมกนีเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ และปริมาณ จุลินทรีย์ดินที่เป็นประโยชน์

เตรียมแปลงทดลองสำหรับปลูกกระเจี๊ยบเขียว GAP ในดินเหนียว-ร่วนเหนียว โดยไถเตรียมดินและแบ่ง แปลงย่อย ขนาดแปลงย่อย 6 x 6 เมตร ดำเนินการปลูกกระเจี๊ยบเขียว ระยะปลูก 0.20 x 0.50 เมตร ใส่มูลวัวอัตรา 1 ตันต่อไร่ พร้อมไถพรวนคลุกเคล้าลงดินทิ้งไว้อย่างน้อย 8 สัปดาห์ ใส่ผลิตภัณฑ์ชีวภาพจุลินทรีย์ตามกรรมวิธี ทดลอง หยอดเมล็ดกระเจี๊ยบเขียวจำนวน 2-3 เมล็ดต่อหลุม ถอนแยกต้นกระเจี๊ยบเขียวเมื่ออายุ 15 วันหลังปลูก ให้เหลือ 1 ตันต่อหลุม พร้อมใส่ปุ๋ยเคมีข้างแถวปลูกในอัตราที่กำหนดตามกรรมวิธี โดยปุ๋ยไนโตรเจนแบ่งใส่ 2 ครั้ง คือ ใส่ปุ๋ยครั้งแรก $1/2N+P+K$ ที่อายุ 15 วัน และครั้งที่สองใส่ $1/2N$ ที่อายุ 30 วันหลังปลูก ใส่สองข้างแถวแล้ว พรวนดินกลบ และให้น้ำแบบเทปน้ำพุ่ง ดูแลรักษาตามปฏิบัติของเกษตรกรผู้ปลูกกระเจี๊ยบเขียวตาม GAP

เก็บข้อมูลการเจริญเติบโตของกระเจี๊ยบเขียว ได้แก่ ความสูงต้นที่อายุ 15 30 45 60 วัน พร้อมสุ่มเก็บ ตัวอย่างกระเจี๊ยบเขียวเพื่อนำไปวิเคราะห์ปริมาณธาตุอาหารพืชในส่วนต่าง ๆ ของกระเจี๊ยบเขียว สำหรับนำไปใช้ ในการประเมินความต้องการธาตุอาหารของกระเจี๊ยบเขียวในแต่ละระยะการเจริญเติบโต

เก็บเกี่ยวกระเจี๊ยบเขียวที่อายุ 45 วันไปจนถึงอายุ 80 วัน ในพื้นที่เก็บเกี่ยวขนาด 4 x 3 เมตร พร้อมสุ่ม เก็บตัวอย่างต้น ใบ และฝักกระเจี๊ยบเขียวในแต่ละกรรมวิธี มาวิเคราะห์ปริมาณการดูดใช้ธาตุอาหารของพืช ได้แก่ ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส โพแทสเซียม แคลเซียม และแมกนีเซียม และสุ่มเก็บตัวอย่างดินหลังเก็บเกี่ยวแต่ละแปลง ย่อยๆ ละ 5 จุดรวมเป็น 1 ตัวอย่างต่อแปลงย่อย สำหรับนำมาวิเคราะห์ปริมาณธาตุอาหารในดินหลังเก็บเกี่ยว กระเจี๊ยบเขียว

ประเมินผลของการจัดการดินและปุ๋ยวิธีการต่าง ๆ ต่อปริมาณและคุณภาพของผลผลิต เช่น ผลผลิตต่อไร่ จำนวนฝักทั้งหมดต่อไร่ จำนวนฝักที่ได้มาตรฐานต่อไร่ น้ำหนักฝักทั้งหมดต่อไร่ และน้ำหนักฝักที่ได้มาตรฐานต่อไร่ และน้ำหนักที่ได้มาทดสอบในแปลงเกษตรกร จำนวน 2 ราย เก็บข้อมูลผลผลิตและวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ พร้อม สรุปผล

ปี 2567

ดำเนินการทดลองในแปลงเกษตรกรผู้ปลูกกระเจี๊ยบเขียว GAP จำนวน 2 ราย

แปลงที่ 1 ดำเนินการทดลองในแปลงของนายอนุวัณ นริญา บ้านเลขที่ 17 หมู่ที่ 1 ตำบลสระยายโสม อำเภอดู่ทอง จังหวัดสุพรรณบุรี พิกัดแปลงทดลอง 47P 0594999 1576759

แปลงที่ 2 ดำเนินการทดลองในแปลงของนายนพรัตน์ นริญา บ้านเลขที่ 17 หมู่ที่ 1 ตำบลสระยายโสม อำเภอดู่ทอง จังหวัดสุพรรณบุรี พิกัดแปลงทดลอง 47P 0595020 1576762

โดยเก็บตัวอย่างดินที่ระดับความลึก 0-20 เซนติเมตรในแปลงทดลองมาวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพ เคมีและปริมาณธาตุอาหารในดิน ได้แก่ เนื้อดิน ความเป็นกรด-ด่าง (pH) ค่าการนำไฟฟ้า (EC) ปริมาณอินทรีย์วัตถุ ปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ ปริมาณโพแทสเซียม แคลเซียม แมกนีเซียมที่แลกเปลี่ยนได้

เตรียมแปลงทดลองสำหรับปลูกกระเจี๊ยบเขียว GAP โดยไถเตรียมดินและปรับระดับพื้นที่ แปลงที่ 1 ขนาด แปลงย่อย 7.5 x 4.8 เมตร ระยะปลูก ระหว่างต้นและระหว่างแถว 0.25 x 0.8 เมตร แปลงที่ 2 ขนาดแปลงย่อย 7.5 x 4 เมตร ระยะปลูก ระหว่างต้นและระหว่างแถว 0.25 x 0.8 เมตร ใส่มูลวัวอัตรา 1 ตันต่อไร่ พร้อมไถพรวน คลุกเคล้าลงดินทิ้งไว้ 8 สัปดาห์ ใส่ปุ๋ยชีวภาพไมคอร์ไรซารองกันหลุม อัตรา 3 กรัมต่อต้น ตามกรรมวิธีทดลอง หยอดเมล็ดกระเจี๊ยบเขียวพันธุ์ลูกผสม 092 จำนวน 2-3 เมล็ดต่อหลุม ถอนแยกต้นกระเจี๊ยบเขียวเมื่ออายุ 15 วันหลังปลูก ให้เหลือ 1 ตันต่อหลุม พร้อมใส่ปุ๋ยเคมีข้างแถวปลูกในอัตราที่กำหนดตามกรรมวิธี โดยแบ่งใส่ปุ๋ย 3 ครั้ง คือ ใส่ปุ๋ยครั้งแรก $1/2N+P+1/2K$ ที่อายุ 15 วัน ครั้งที่สองใส่ $1/2N$ ที่อายุ 30 วันหลังปลูก และครั้งที่ 3

ใส่ 1/2K ที่อายุ 45 วัน โดยใส่สองข้างแถวแล้วพรวนดินกลบ และให้น้ำ พร้อมดูแลรักษาตามปฏิบัติของเกษตรกร ผู้ปลูกกระเจี๊ยบเขียวตาม GAP

เก็บเกี่ยวกระเจี๊ยบเขียวที่อายุ 45 วัน แปลงที่ 1 ในพื้นที่เก็บเกี่ยวขนาด 6.5 x 3.2 เมตร และแปลงที่ 2 ในพื้นที่เก็บเกี่ยวขนาด 6.5 x 2.4 เมตร เพื่อนำข้อมูลผลผลิตที่ได้มาประเมินผลร่วมกับผลตอบแทนทางเศรษฐศาสตร์ พร้อมวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติและสรุปรายงานผล

มาตรฐานการส่งออกกระเจี๊ยบเขียว คือ ฝักต้องสด ไม่เหี่ยว หรือมีร่องรอยการเน่าเสีย มีสีเขียวสด สม่ำเสมอทั้งฝัก ฝักตรง ไม่คดงอ ปลายฝักเรียวแหลม ไม่บานหรือหุบ ฝักต้องไม่มีรอยแตก หรือรอยชำ ขนาดของฝักที่เหมาะสมสำหรับการส่งออกส่วนใหญ่อยู่ในช่วง 7-12 เซนติเมตร

การบันทึกข้อมูล

1. ข้อมูลผลวิเคราะห์ดินก่อนปลูกและหลังเก็บเกี่ยว ได้แก่ เนื้อดิน ความเป็นกรด-ด่างของดิน ค่าการนำไฟฟ้า ปริมาณอินทรีย์วัตถุ ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ โพแทสเซียม แคลเซียม และแมกนีเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ และปริมาณจุลินทรีย์ที่เป็นประโยชน์ในดิน

2. ข้อมูลผลวิเคราะห์มูลวัว ได้แก่ ความชื้น ค่าความเป็นกรด-ด่าง ค่าการนำไฟฟ้า ปริมาณอินทรีย์วัตถุ ปริมาณทั้งหมดของไนโตรเจน ฟอสฟอรัส โพแทสเซียม แคลเซียม และแมกนีเซียม

3. ข้อมูลการเจริญเติบโต ได้แก่ วันปลูก วันเก็บเกี่ยว ความสูงต้นกระเจี๊ยบเขียวที่อายุ 15 30 45 และ 60 วัน

4. ข้อมูลผลผลิต และองค์ประกอบผลผลิต ได้แก่ จำนวนฝักทั้งหมด จำนวนฝักที่ได้มาตรฐาน น้ำหนักฝักทั้งหมด และน้ำหนักฝักที่ได้มาตรฐาน

5. ข้อมูลปริมาณการดูใช้ธาตุอาหารในส่วนต่าง ๆ ของพืช (ต้น ใบ ฝัก) ได้แก่ ปริมาณไนโตรเจน ฟอสฟอรัส โพแทสเซียม

ระยะเวลา เริ่มต้น ตุลาคม 2564 สิ้นสุด กันยายน 2567

สถานที่ทำการทดลอง

1. กลุ่มวิจัยปฐพีวิทยา กองวิจัยพัฒนาปัจจัยการผลิตทางการเกษตร
2. แปลงเกษตรกรผู้ปลูกกระเจี๊ยบเขียว ตำบลสระยายโสม อำเภออุทุมพร จังหวัดสุพรรณบุรี

ผลการทดลองและวิจารณ์

1. ผลวิเคราะห์สมบัติของปุ๋ยหมักและมูลวัวที่ใช้ในการทดลองปี 2565 2566 และ 2567

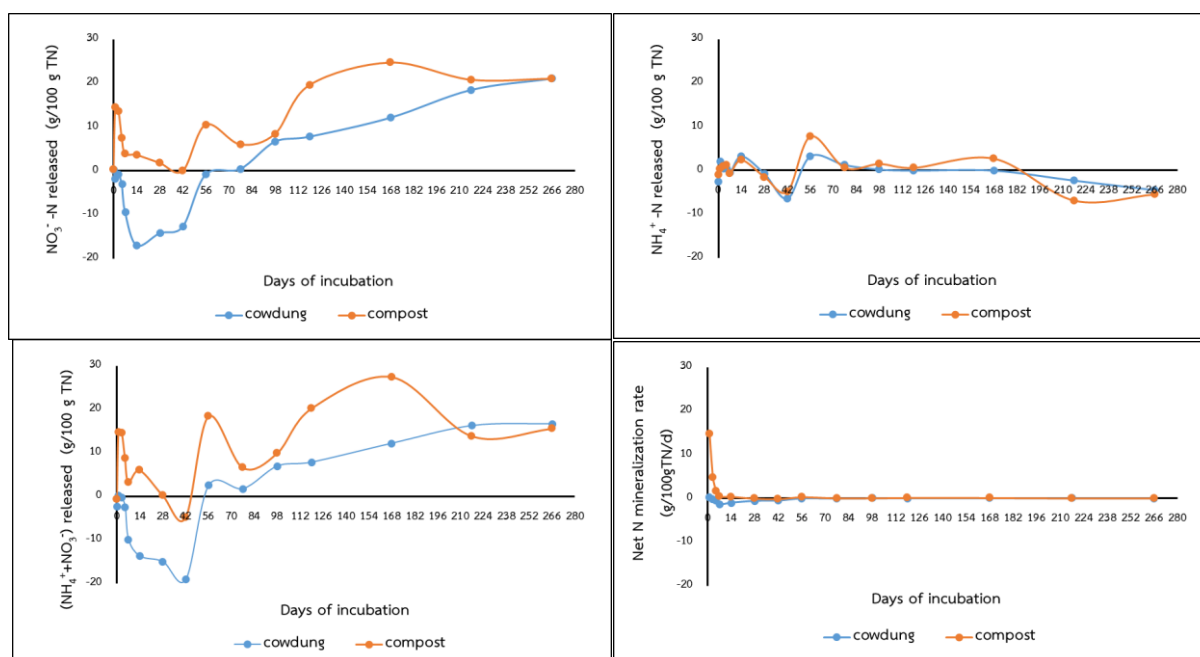
จากผลวิเคราะห์ปุ๋ยหมัก พบว่า มีค่าความชื้น 14.72 เปอร์เซ็นต์ มีค่า pH เท่ากับ 8.4 ค่าการนำไฟฟ้า 5.05 เดซิซีเมนส์ต่อเมตร ปริมาณอินทรีย์วัตถุ 31.59 เปอร์เซ็นต์ ปริมาณอินทรีย์คาร์บอน 18.32 เปอร์เซ็นต์ ปริมาณไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียมทั้งหมด เท่ากับ 1.16 2.60 และ 2.18 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ค่าสัดส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน (C/N ratio) เท่ากับ 15.80 มูลวัวปี 2565 พบว่า มีค่าความชื้น 13.37 เปอร์เซ็นต์ มีค่า pH เท่ากับ 8.9 ค่าการนำไฟฟ้า 8.39 เดซิซีเมนส์ต่อเมตร ปริมาณอินทรีย์วัตถุ 58.07 เปอร์เซ็นต์ ปริมาณอินทรีย์คาร์บอน 33.99 เปอร์เซ็นต์ ปริมาณไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียมทั้งหมด เท่ากับ 1.38 1.42 และ 4.57 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ค่า C/N ratio เท่ากับ 24.40 มูลวัวปี 2566 พบว่า มีค่าความชื้น 5.23 เปอร์เซ็นต์ มีค่า pH เท่ากับ 8.5 ค่าการนำไฟฟ้า 5.78 เดซิซีเมนส์ต่อเมตร ปริมาณอินทรีย์วัตถุ 53.10 เปอร์เซ็นต์ ปริมาณอินทรีย์คาร์บอน 30.80 เปอร์เซ็นต์ ปริมาณไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียมทั้งหมด เท่ากับ 1.18 1.11 และ 3.84 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ค่า C/N ratio เท่ากับ 26.02 และ มูลวัวปี 2567 มีค่าความชื้น 1.81 เปอร์เซ็นต์ มีค่า pH เท่ากับ 8.3 ค่าการนำไฟฟ้า 3.74 เดซิซีเมนส์ต่อเมตร ปริมาณอินทรีย์วัตถุ 40.45 เปอร์เซ็นต์ ปริมาณอินทรีย์คาร์บอน 23.46 เปอร์เซ็นต์ ปริมาณไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียมทั้งหมด เท่ากับ 1.04 1.27 และ 1.02 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ค่า C/N ratio เท่ากับ 22.56 จะเห็นว่ามูลวัวมีค่า C/N ratio สูงกว่าเกณฑ์มาตรฐานของปุ๋ยอินทรีย์ (มากกว่า 20) ทั้งนี้การนำมูลวัวที่มีค่า C/N ratio มากกว่า 20 ไปใช้เป็นปุ๋ยอินทรีย์ควรมีการหมักให้ย่อยสลายก่อนนำไปใช้เพื่อป้องกันการดูดซึมนไนโตรเจนจากจุลินทรีย์ดิน (immobilization) ซึ่งส่งผลให้พืชขาดไนโตรเจนในช่วงแรกของการใส่ปุ๋ยได้ (ตารางที่ 1)

ตารางที่ 1 ผลวิเคราะห์สมบัติของปุ๋ยหมักมูลวัวที่ใช้ในการทดลองปี 2565 2566 และ 2567

รายการ	ปุ๋ยหมัก	มูลวัวปี 2565	มูลวัวปี 2566	มูลวัวปี 2567
ความเป็นกรด-ด่าง (pH) (1:5)	8.4	8.9	8.5	8.3
การนำไฟฟ้า (EC) (1:10) (dS/m)	5.05	8.39	5.78	3.74
อินทรีย์วัตถุ, (%OM)	31.59	58.59	53.10	40.45
อินทรีย์คาร์บอน (%OC)	18.32	33.98	30.80	23.46
ไนโตรเจนทั้งหมด (%N)	1.16	1.38	1.18	1.04
ฟอสเฟตทั้งหมด (%P ₂ O ₅)	2.60	1.42	1.11	1.27
โพแทสเซียมทั้งหมด (%K ₂ O)	2.18	4.57	3.84	1.02
อัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน (C/N ratio)	15.80	24.40	26.02	22.56
ความชื้น (%)	14.72	13.37	5.23	1.81

2. การปลดปล่อยไนโตรเจนของชีวมวลในดินร่วนเหนียว

ปุ๋ยหมักที่บ่มในดินร่วนเหนียว ที่อุณหภูมิห้อง เป็นระยะเวลา 0, 1, 3, 5, 7, 14, 28, 42, 56, 77, 98, 119, 168, 217 และ 266 วัน สามารถปลดปล่อยไนโตรเจนในครั้งแรกของการบ่มในรูปของแอมโมเนียม จากนั้นจะเปลี่ยนเป็นรูปไนเตรท โดยปลดปล่อยไนโตรเจนได้สูงสุด 30 เปอร์เซ็นต์ของไนโตรเจนทั้งหมดที่เป็นองค์ประกอบ ในขณะที่มูลวัวมีค่า C/N ratio มากกว่า 20 จึงเกิดกระบวนการกระบวนการแปรสภาพจากไนโตรเจนไนโตรเจนเป็นอินทรีย์ไนโตรเจนในเซลล์ของจุลินทรีย์ดิน (immobilization) ในช่วง 14 สัปดาห์แรกของการบ่มดิน ทำให้การปลดปล่อยไนโตรเจนไนโตรเจนเกิดขึ้นได้ช้า (ภาพที่ 1) เช่นเดียวกับการทดลองในมูลไก่ (Aoyama and Nozawa, 1993) มูลสุกร (Bernal and Kirchmann, 1992) และมูลวัว (Calderón et al., 2005) ที่มีค่า C/N มากกว่า 20 จะมีปริมาณแอมโมเนียมจะลดลงอย่างรวดเร็วในช่วงแรก ๆ ของการบ่มดิน สอดคล้องกับ Calderón et al. (2004) ที่ระบุว่า มูลวัวจะปลดปล่อยไนโตรเจนในรูปที่เป็นประโยชน์ต่อพืช เมื่อมีค่า C/N ratio น้อยกว่า 16 และจะเกิด immobilization เมื่อมีค่า C/N ratio มากกว่า 19 จะเห็นว่ามูลวัวมีค่า C/N ratio มากกว่า 20 ทำให้การสลายตัวค่อนข้างยาก หากนำไปใช้ควรมีการหมักหรือปล่อยให้เกิดการสลายตัวไปสักระยะหนึ่งก่อน เพื่อให้สัดส่วนระหว่างคาร์บอนต่อไนโตรเจนลดลงต่ำกว่า 20 ส่วนปุ๋ยหมักมีค่าสัดส่วนระหว่างคาร์บอนต่อไนโตรเจนเท่ากับ 15.80 ซึ่งมีการสลายตัวได้ง่ายสามารถนำไปใช้ได้ทันที ดังนั้น การนำมูลวัวที่มีค่า C/N ratio มากกว่า 20 มาใช้ประโยชน์ควรไถกลบดินก่อนปลูกพืชอย่างน้อย 14 สัปดาห์



ภาพที่ 1 การปลดปล่อยไนโตรเจนจากการบ่มมูลวัวและปุ๋ยหมักในดินร่วนเหนียว

3. ผลวิเคราะห์สมบัติดินก่อนปลูกกระเจี๊ยบเขียว

ผลวิเคราะห์สมบัติดินก่อนปลูกปี 2565 ที่ระดับความ 0-20 เซนติเมตร เนื้อดินเป็นดินร่วนเหนียว มีค่าปฏิกิริยาดินเป็นด่างเล็กน้อย (pH เท่ากับ 7.6) ค่าการนำไฟฟ้าของดินเท่ากับ 0.53 เดซิซีเมนส์ต่อเมตร ปริมาณอินทรีย์วัตถุจัดอยู่ในระดับปานกลาง ปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์จัดอยู่ในระดับปานกลาง ในขณะที่ปริมาณโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้อยู่ในระดับสูง นอกจากนี้ดินก่อนปลูกยังมีปริมาณจุลินทรีย์ดินที่เป็นประโยชน์ โดยมีปริมาณแบคทีเรียทั้งหมด 5.40×10^6 โคโลนีต่อดิน 1 กรัม ปริมาณราทั้งหมด 8.20×10^4 โคโลนีต่อดิน 1 กรัม และจำนวนสปอร์อาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาในดินก่อนปลูกเท่ากับ 70 สปอร์ต่อดิน 100 กรัม (ตารางที่ 2)

ผลวิเคราะห์สมบัติดินก่อนปลูกปี 2566 ที่ระดับความ 0-20 เซนติเมตร เนื้อดินเป็นดินร่วนเหนียว มีค่าปฏิกิริยาดินเป็นด่างเล็กน้อย (pH เท่ากับ 7.5) ค่าการนำไฟฟ้าของดินเท่ากับ 0.23 เดซิซีเมนส์ต่อเมตร ปริมาณอินทรีย์วัตถุจัดอยู่ในระดับปานกลาง ปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์จัดอยู่ในระดับปานกลาง ในขณะที่ปริมาณโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้อยู่ในระดับสูง นอกจากนี้ดินก่อนปลูกยังมีจำนวนสปอร์อาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาในดินเท่ากับ 53 สปอร์ต่อดิน 100 กรัม (ตารางที่ 2)

ผลวิเคราะห์ดินก่อนปลูกปี 2567 แปลงที่ 1 ที่ระดับความ 0-20 เซนติเมตร เนื้อดินเป็นดินร่วนเหนียว มีค่าปฏิกิริยาดินเป็นกลาง (pH เท่ากับ 7.0) ค่าการนำไฟฟ้าของดินเท่ากับ 0.12 เดซิซีเมนส์ต่อเมตร ปริมาณอินทรีย์วัตถุจัดอยู่ในระดับต่ำ ปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์จัดอยู่ในระดับสูง ในขณะที่ปริมาณโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้อยู่ในระดับปานกลาง (ตารางที่ 2)

ผลวิเคราะห์ดินก่อนปลูกปี 2567 แปลงที่ 2 ที่ระดับความ 0-20 เซนติเมตร เนื้อดินเป็นดินร่วนเหนียว มีค่าปฏิกิริยาดินเป็นกลาง (pH เท่ากับ 7.0) ค่าการนำไฟฟ้าของดินเท่ากับ 0.14 เดซิซีเมนส์ต่อเมตร ปริมาณอินทรีย์วัตถุจัดอยู่ในระดับต่ำ ปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์จัดอยู่ในระดับสูง และปริมาณโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้อยู่ในระดับสูง ซึ่งดินที่เหมาะสมในการปลูกกระเจี๊ยบเขียว ควรเป็นที่ราบ มีความสม่ำเสมอ และไม่มีน้ำท่วมขัง เนื้อดินเป็นดินร่วนปนทราย แต่สามารถปลูกได้ในดินเกือบทุกชนิด กระเจี๊ยบเขียวชอบดินระบายน้ำดี ไม่ชอบดินที่มีความชื้นมากเกินไป หน้าดินลึกไม่น้อยกว่า 1 เมตร ค่าความเป็นกรด-ด่างของดิน (pH) 6.0-6.5 ปริมาณอินทรีย์ที่วัตถุเหมาะสมคือ 1-3 เปอร์เซ็นต์ และสามารถให้ธาตุอาหารแก่พืชได้อย่างเพียงพอสำหรับการเจริญเติบโตและการให้ผลผลิตที่มีคุณภาพ (กรมวิชาการเกษตร, 2545) (ตารางที่ 2)

ตารางที่ 2 ผลวิเคราะห์สมบัติของดินก่อนปลูกที่ระดับความลึก 0-20 เซนติเมตร แปลงเกษตรกรผู้ปลูกกระเจี๊ยบเขียว ต.สระยายโสม อ.อุทุมพร จ.สุพรรณบุรี (ฤดูปลูกปี 2565 2566 2567 แปลงที่ 1 และ 2567 แปลงที่ 2)

รายการวิเคราะห์	ปี 2565	ปี 2566	ปี 2567 แปลงที่ 1	ปี 2567 แปลงที่ 2	สมบัติดินที่เหมาะสม สำหรับ กระเจี๊ยบ เขียว
1. เนื้อดิน	ร่วนเหนียว	ร่วนเหนียว	ร่วน เหนียว	ร่วนเหนียว	ร่วนปนทราย
2. pH (1:1)	7.6	7.5	7.0	7.0	6.0-6.5
3. EC (1:5) (dS/m)	0.53	0.23	0.12	0.14	-
4. อินทรีย์วัตถุ (%)	1.54	1.57	1.00	1.49	1-3
5. ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ (mg/kg)	35.10	39.55	126.25	209.50	10-30
6. โพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยน ได้ (mg/kg)	138.65	176.48	84.75	123.30	100-150
7. แคลเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ (mg/kg)	3,049	2,743	1,848	1,775	800-1,200
8. แมกนีเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ (mg/kg)	330	448	236	252	100-200
13. แบคทีเรียทั้งหมด (โคโลนี/ ดิน 1 กรัม)	5.40×10^6	-	-	-	-
14. ราทั้งหมด (โคโลนี/ดิน 1 กรัม)	8.20×10^4	-	-	-	-
15. สปอร์อาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไร ซา (สปอร์/ดิน 100 กรัม)	70 สปอร์/ ดิน 100 กรัม	53 สปอร์/ ดิน 100 กรัม	-	-	-

4. ผลผลิตของกระเจี๊ยบเขียวปี 2565

จำนวนฝักทั้งหมด พบว่า กรรมวิธีที่ใส่ปุ๋ยเคมีอัตรา 18-4-6 กิโลกรัม N-P₂O₅-K₂O ต่อไร่+มูลวัว+จุลินทรีย์ละลายฟอสเฟต+ อาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซา ให้จำนวนฝักทั้งหมดสูงสุดแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยมีค่าเท่ากับ 115,425 ฝักต่อไร่ และจำนวนฝักที่ได้มาตรฐาน พบว่า กรรมวิธีที่ใส่ปุ๋ยเคมีอัตรา 18-4-6 กิโลกรัม N-P₂O₅-K₂O ต่อไร่+มูลวัว+จุลินทรีย์ละลายฟอสเฟต+ อาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซา ให้จำนวนฝักที่ได้มาตรฐานสูงสุดแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยมีค่าเท่ากับ 105,150 ฝักต่อไร่ (ตารางที่ 3)

น้ำหนักฝักทั้งหมด พบว่า กรรมวิธีที่ใส่ปุ๋ยเคมีอัตรา 18-4-6 กิโลกรัม N-P₂O₅-K₂O ต่อไร่+มูลวัว+จุลินทรีย์ละลายฟอสเฟต+ อาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซา ให้น้ำหนักฝักทั้งหมดต่อไร่สูงสุดแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยมีค่าเท่ากับ 1,321.75 กิโลกรัมต่อไร่ และน้ำหนักฝักที่ได้มาตรฐาน พบว่า กรรมวิธีที่ใส่ปุ๋ยเคมีอัตรา 18-4-6 กิโลกรัม N-P₂O₅-K₂O ต่อไร่+มูลวัว+จุลินทรีย์ละลายฟอสเฟต+ อาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซา ให้น้ำหนักฝักที่ได้มาตรฐานสูงสุดแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยมีค่าเท่ากับ 1,131.25 กิโลกรัมต่อไร่ (ตารางที่ 3)

ตารางที่ 3 ผลผลิตของกระเจี๊ยบเขียวที่ปลูกในดินเหนียว-ร่วนเหนียว แปลงเกษตรกรผู้ปลูกกระเจี๊ยบเขียว ต.สระยายโสม อ.อุ้มทอง จ.สุพรรณบุรี (ฤดูปลูกปี 2565)

กรรมวิธี	ผลผลิตกระเจี๊ยบเขียว			
	จำนวนฝักทั้งหมด (ฝัก/ไร่)	จำนวนฝักที่ได้มาตรฐาน (ฝัก/ไร่)	น้ำหนักฝักทั้งหมด (กก./ไร่)	น้ำหนักฝักที่ได้มาตรฐาน (กก./ไร่)
1. control	73,450c	66,300d	738.00c	656.25c
2. RDF	98,275b	85,400bc	1,037.75b	897.00b
3. RDF + CD	102,900ab	95,475ab	1,088.50b	960.75b
4. RDF + CD + PSB + AMF	115,425a	105,150a	1,321.75a	1,131.25a
5. 75% of RDF + CD	101,425ab	93,150ab	1,086.50b	958.25b
6. 75% of RDF CD + PSB + AMF	112,400ab	104,800a	1,206.75ab	929.50b
7. CD + PSB + AMF	79,850c	72,700cd	790.75c	745.50c
เฉลี่ย	97,675	88,996	1,038.57	896.93
F - test	**	**	**	**
CV. (%)	10.2	11.3	11.9	9.1

หมายเหตุ : RDF (Recommendation Fertilizer) = ใส่ปุ๋ยเคมีอัตรา 18-4-6 กิโลกรัม N-P₂O₅-K₂O ต่อไร่

75% of RDF = ใส่ปุ๋ยเคมีอัตรา 13.5-3-4.5 กิโลกรัม N-P₂O₅-K₂O ต่อไร่

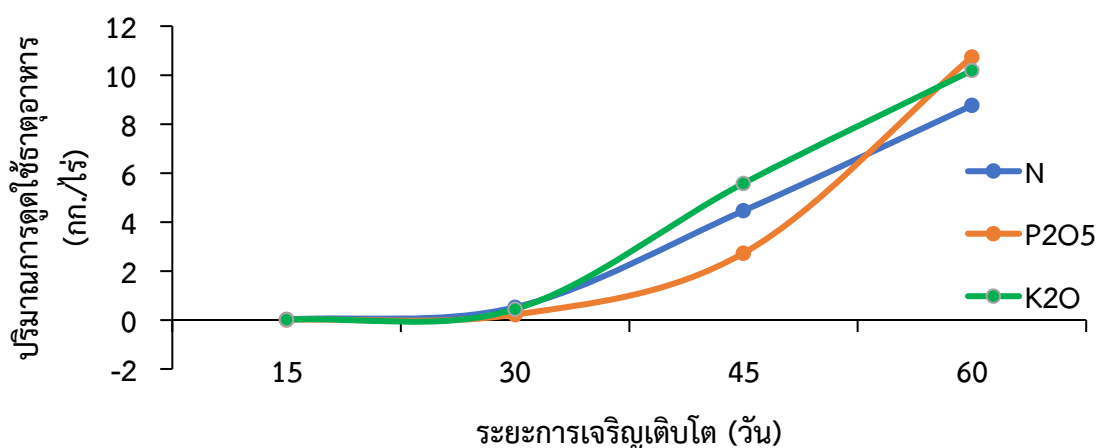
CD (Cow Dung) = ใส่มูลวัวอัตรา 1 ตันต่อไร่

PSB (Phosphate solubilizing bacteria) = ใส่ปุ๋ยชีวภาพละลายฟอสเฟต อัตรา 3 กรัมต่อหลุม

AMF (Arbuscular Mycorrhiza Fungi) = ใส่ปุ๋ยชีวภาพไมคอร์ไรซา อัตรา 3 กรัมต่อหลุม

5. ความต้องการธาตุอาหารในรูปปุ๋ยธาตุอาหารหลักของกระเจี๊ยบเขียวปี 2565

จากการประเมินความต้องการธาตุอาหารของกระเจี๊ยบเขียว พบว่า กระเจี๊ยบเขียวที่อายุ 15 วัน มีความต้องการปุ๋ยเท่ากับ 0.02-0.01-0.01 กิโลกรัม $N-P_2O_5-K_2O$ ต่อไร่ ที่อายุ 30 วัน มีความต้องการปุ๋ยเท่ากับ 0.52-0.22-0.44 กิโลกรัม $N-P_2O_5-K_2O$ ต่อไร่ ที่อายุ 45 วัน มีความต้องการปุ๋ยเท่ากับ 4.46-2.73-5.58 กิโลกรัม $N-P_2O_5-K_2O$ ต่อไร่ และที่อายุ 60 วัน มีความต้องการปุ๋ยเท่ากับ 8.76-10.74-10.19 กิโลกรัม $N-P_2O_5-K_2O$ ต่อไร่ (ภาพที่ 2) เมื่อพิจารณาความต้องการธาตุอาหารของกระเจี๊ยบเขียวที่ใช้ในระยะการเจริญเติบโตจนให้ผลผลิต พบว่า กระเจี๊ยบเขียวมีความต้องการธาตุอาหารเท่ากับ 13.76-13.70-16.22 กิโลกรัม $N-P_2O_5-K_2O$ ต่อไร่ ในขณะที่ IFA (2000) ระบุว่า ความต้องการธาตุอาหารของกระเจี๊ยบเขียวที่ปลูกในเขตร้อนและร้อนชื้นมีค่าประมาณ 12.64-5.12-14.24 กิโลกรัม $N-P_2O_5-K_2O$ ต่อไร่ แต่ทั้งนี้ความต้องการธาตุอาหารย่อมแตกต่างกันไปตามปัจจัยอื่น ๆ เช่น พันธุ์พืช ความหนาแน่นของพืช ชนิดของดิน การจัดการน้ำ สภาพภูมิอากาศ หรือสภาพแวดล้อมต่าง ๆ (Lamont, 1999) นอกจากนี้การปลูกกระเจี๊ยบเขียวในหนึ่งฤดูปลูกมีปริมาณปุ๋ยที่สูญเสียไปกับผลผลิตเฉลี่ยเท่ากับ 10.56-10.95-11.32 กิโลกรัม $N-P_2O_5-K_2O$ ต่อไร่ (ตารางที่ 4)



ภาพที่ 2 ความต้องการ N P_2O_5 และ K_2O ของกระเจี๊ยบเขียวในแต่ละระยะการเจริญเติบโตฤดูปลูกปี 2565

ตารางที่ 4 การประเมินปริมาณปุ๋ยไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียมที่สูญเสียไปกับผลผลิตในการปลูก
กระเจี๊ยบเขียวฤดูปลูกปี 2565

ธาตุปุ๋ย	ปริมาณปุ๋ยที่สูญเสียไปกับผลผลิต (กิโลกรัม/ไร่)
N	10.56
P ₂ O ₅	10.95
K ₂ O	11.32

6. ผลผลิตของกระเจี๊ยบเขียวปี 2566

การจัดการธาตุอาหารพืชในแต่ละปัจจัยไม่มีปฏิสัมพันธ์ต่อกัน โดยจำนวนฝักทั้งหมด พบว่า การใส่อาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซา และมูลวัว ร่วมกับปุ๋ยเคมีในอัตราแนะนำตามค่าวิเคราะห์ดิน (18-4-6 กก. N-P₂O₅-K₂O ต่อไร่) ให้จำนวนฝักกระเจี๊ยบเขียวทั้งหมดสูงสุดแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยมีค่าเท่ากับ 260,244 ฝักต่อไร่ และจำนวนฝักที่ได้มาตรฐาน พบว่า การใส่อาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซา และมูลวัว ร่วมกับปุ๋ยเคมีอัตรา 18-4-6 กก. N-P₂O₅-K₂O ต่อไร่ ให้จำนวนฝักกระเจี๊ยบที่ได้มาตรฐานสูงสุดแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยมีค่าเท่ากับ 258,267 ฝักต่อไร่ (ตารางที่ 5)

น้ำหนักฝักทั้งหมด พบว่า การใส่อาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซา และมูลวัว ร่วมกับปุ๋ยเคมีในอัตราแนะนำตามค่าวิเคราะห์ดิน (18-4-6 กก. N-P₂O₅-K₂O ต่อไร่) ให้น้ำหนักฝักกระเจี๊ยบเขียวทั้งหมดสูงสุดแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยมีค่าเท่ากับ 2,935.2 กิโลกรัมต่อไร่ และน้ำหนักฝักที่ได้มาตรฐาน พบว่า การใส่อาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซา และมูลวัว ร่วมกับปุ๋ยเคมีอัตรา 18-4-6 กก. N-P₂O₅-K₂O ต่อไร่ ให้น้ำหนักฝักกระเจี๊ยบเขียวที่ได้มาตรฐานสูงสุดแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยมีค่าเท่ากับ 2,897.9 กิโลกรัมต่อไร่ (ตารางที่ 5)

ตารางที่ 5 ผลผลิตของกระเจี๊ยบเขียวที่ปลูกในดินเหนียว-ร่วนเหนียว แปลงเกษตรกรผู้ปลูกกระเจี๊ยบเขียว ต.สระยายโสม อ.อุททอง จ.สุพรรณบุรี (ฤดูปลูกปี 2566)

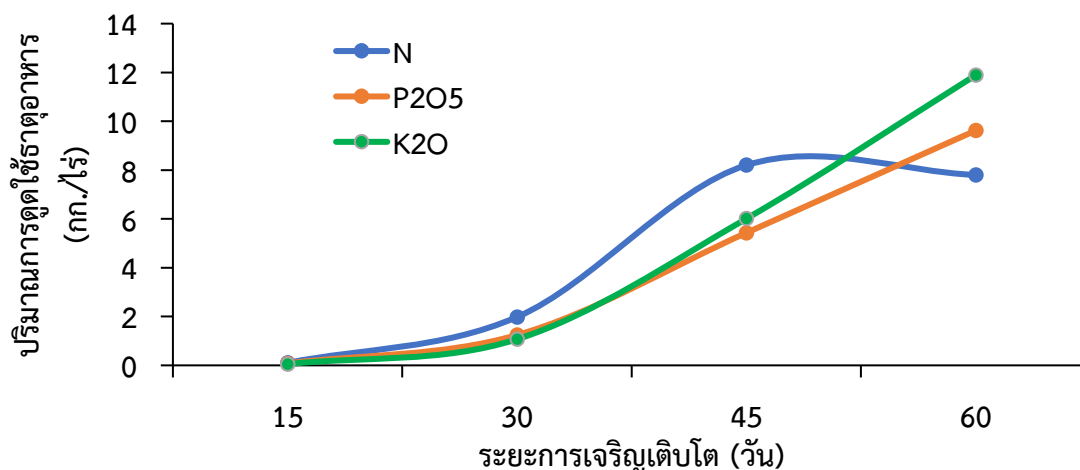
ปัจจัยหลัก	ปัจจัยรอง 1	ปัจจัยรอง 2	ผลผลิตกระเจี๊ยบเขียว			
			จำนวนฝักทั้งหมด (ฝัก/ไร่)	จำนวนฝักที่ได้มาตรฐาน (ฝัก/ไร่)	น้ำหนักฝักทั้งหมด (กก./ไร่)	น้ำหนักฝักที่ได้มาตรฐาน (กก./ไร่)
A1	B1	C1	86,267j	69,267i	895.4g	692.6g
		C2	114,756h	108,289h	1,139.2f	1,094.9f
		C3	136,689g	130,667g	1,470.1f	1,400.0e
	B2	C1	100,622i	71,800i	920.9g	713.2g
		C2	173,667e	151,156e	1,902.2c	1,613.0d
		C3	196,422c	178,933d	2,125.4b	1,888.1c
	B1	C1	103,867i	101,867h	1,065.2f	1,042.5f
		C2	185,578d	157,689e	1,775.3d	1,610.7d
		C3	207,511b	188,289c	2,139.8b	2,058.2b
A2	B2	C1	146,444f	142,444f	1,470.2e	1,432.4e
		C2	209,778b	201,422b	2,144.6b	2,060.6b
		C3	260,244a	258,267a	2,935.2a	2,897.9a
	เฉลี่ย		160,154	146,647	1,665.3	1,542.0
	CV. (%)		2.79	4.16	4.36	5.37

หมายเหตุ : A1: ไม่ใส่สารบัสคูลาร์ไมคอร์ไรซา, A2: ใส่สารบัสคูลาร์ไมคอร์ไรซา, B1: ไม่ใส่มูลวัว, B2: ใส่มูลวัว, C1: ไม่ใส่ปุ๋ยเคมี, C2: ใส่ปุ๋ยเคมีอัตรา 13.5-3-4.5 กก. N-P₂O₅-K₂O ต่อไร่ และ C3: ใส่ปุ๋ยเคมีอัตรา 18-4-6 กก. N-P₂O₅-K₂O ต่อไร่

ผลผลิตกระเจี๊ยบเขียวระหว่างค่าเฉลี่ยของการไม่ใส่สารบัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาและใส่สารบัสคูลาร์ไมคอร์ไรซา หรือระหว่างค่าเฉลี่ยของการไม่ใส่มูลวัวและใส่มูลวัว หรือระหว่างค่าเฉลี่ยของอัตราปุ๋ยเคมีที่ตามด้วยตัวอักษรเหมือนกัน ไม่แตกต่างกันทางสถิติ โดยใช้ DMRT ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

7. ความต้องการธาตุอาหารในรูปปุ๋ยธาตุอาหารหลักของกระเจี๊ยบเขียวปี 2566

จากการประเมินความต้องการธาตุอาหารของกระเจี๊ยบเขียว พบว่า ที่อายุ 15 วัน มีความต้องการปุ๋ยเท่ากับ 0.10-0.08-0.05 กก. N-P₂O₅-K₂O ต่อไร่ ที่อายุ 30 วัน มีความต้องการปุ๋ยเท่ากับ 1.98-1.24-1.07 กก. N-P₂O₅-K₂O ต่อไร่ ที่อายุ 45 วัน มีความต้องการปุ๋ยเท่ากับ 8.20-5.43-6.01 กก. N-P₂O₅-K₂O ต่อไร่ และที่อายุ 60 วัน มีความต้องการปุ๋ยเท่ากับ 7.80-9.62-11.89 กก. N-P₂O₅-K₂O ต่อไร่ (ภาพที่ 3) ทั้งนี้การปลูกกระเจี๊ยบในปี 2566 มีปริมาณปุ๋ยที่สูญเสียไปกับผลผลิตเฉลี่ยเท่ากับ 7.86-6.55-8.44 กก. N-P₂O₅-K₂O ต่อไร่ (ตารางที่ 6)



ภาพที่ 3 ความต้องการ N P₂O₅ และ K₂O ของกระเจี๊ยบเขียวในแต่ละระยะการเจริญเติบโตฤดูปลูกปี 2566

ตารางที่ 6 การประเมินปริมาณปุ๋ยไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียมที่สูญเสียไปกับผลผลิตในการปลูกกระเจี๊ยบเขียวฤดูปลูกปี 2566

ธาตุปุ๋ย	ปริมาณปุ๋ยที่สูญเสียไปกับผลผลิต (กิโลกรัม/ไร่)
N	7.86
P ₂ O ₅	6.55
K ₂ O	8.44

8. ผลผลิตของกระเจี๊ยบเขียวปี 2567 แปลงที่ 1 และแปลงที่ 2

จากการทดลอง พบว่า การจัดการธาตุอาหารพืชในทุกๆ กรรมวิธีทั้งแปลงที่ 1 และ 2 ไม่มีให้ผลผลิตกระเจี๊ยบเขียวแตกต่างกันทางสถิติ (ตารางที่ 7 และ 8) ทั้งนี้เนื่องจากดินที่มีความอุดมสมบูรณ์สูง ย่อมส่งผลให้พืชเจริญเติบโตได้ดี ปริมาณผลผลิตที่มีคุณภาพ จะเห็นได้จากการทดลองแปลงที่ 1 ผลผลิตในแต่ละกรรมวิธีจึงไม่แตกต่างกัน แม้ว่าดินจะปริมาณโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้อยู่ในระดับปานกลางก็ตาม เมื่อเปรียบเทียบกับผลผลิตแปลงที่ 2 ซึ่งแต่ละกรรมวิธีก็ให้ผลผลิตไม่แตกต่างกัน เนื่องจากระดับความอุดมสมบูรณ์ของดินสูง โดยมีปริมาณโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้อยู่ในระดับสูง ซึ่งมากกว่าแปลงที่ 1 จึงทำให้สามารถลดอัตราการใช้ปุ๋ยซึ่งเป็นการลดต้นทุนในการผลิต แต่ทั้งนี้ถึงแม้ว่ากรรมวิธีที่ไม่ใส่ปุ๋ยจะให้ผลผลิตไม่แตกต่างจากการจัดการปุ๋ยในกรรมวิธีอื่น ๆ แต่หากมีการเพาะปลูกพืชอย่างต่อเนื่องในระยะยาวต่อไป อาจส่งผลให้พืชเจริญเติบโตไม่ดีและอาจให้ผลผลิตลดน้อยลง หรือผลผลิตไม่มีคุณภาพ เนื่องจากพืชต้องการธาตุอาหารในปริมาณที่เพียงพอ ครบถ้วน และสมดุล

ตารางที่ 7 ผลผลิตของกระเจี๊ยบเขียวที่ปลูกในดินเหนียว-ร่วนเหนียว แปลงเกษตรกรผู้ปลูกกระเจี๊ยบเขียว ต.สระยายโสม อ.อุททอง จ.สุพรรณบุรี (ฤดูปลูกปี 2567) แปลงที่ 1

กรรมวิธี	ผลผลิตกระเจี๊ยบเขียว			
	จำนวนฝัก	จำนวนฝักที่ได้	น้ำหนักฝัก	น้ำหนักฝักที่ได้
	ทั้งหมด (ฝัก/ไร่)	มาตรฐาน (ฝัก/ไร่)	ทั้งหมด (กก./ไร่)	มาตรฐาน (กก./ไร่)
1. control	238,096	216,096	1,845.40	1,669.32
2. RDF	242,115	217,981	1,884.91	1,670.80
3. RDF + CD	241,115	217,404	1,874.44	1,669.49
4. RDF + CD + AMF	241,846	217,154	1,873.50	1,669.61
เฉลี่ย	240,793	217,159	1,869.56	1,669.80
F - test	ns	ns	ns	ns
CV. (%)	2.5	3.0	2.5	2.8

หมายเหตุ : RDF (Recommendation Fertilizer) = ใส่ปุ๋ยเคมีอัตรา 24-4-12 กิโลกรัม N-P₂O₅-K₂O ต่อไร่

CD (Cow Dung) = ใส่มูลวัวอัตรา 1 ตันต่อไร่

AMF (Arbuscular Mycorrhiza Fungi) = ใส่ปุ๋ยชีวภาพไมคอร์ไรซา อัตรา 3 กรัมต่อหลุม

ตารางที่ 8 ผลผลิตของกระเจี๊ยบเขียวที่ปลูกในดินเหนียว-ร่วนเหนียว แปลงเกษตรกรผู้ปลูกกระเจี๊ยบเขียว ต.สระยายโสม อ.อุททอง จ.สุพรรณบุรี (ฤดูปลูกปี 2567) แปลงที่ 2

กรรมวิธี	ผลผลิตกระเจี๊ยบเขียว			
	จำนวนฝัก	จำนวนฝักที่ได้	น้ำหนักฝัก	น้ำหนักฝักที่ได้
	ทั้งหมด (ฝัก/ไร่)	มาตรฐาน (ฝัก/ไร่)	ทั้งหมด (กก./ไร่)	มาตรฐาน (กก./ไร่)
1. control	248,231	189,319	2,038.97	1,811.42
2. RDF	267,615	204,835	2,193.08	1,931.64
3. RDF + CD	266,821	206,528	2,198.86	1,963.67
4. RDF + CD + AMF	266,411	204,352	2,184.53	1,944.20
เฉลี่ย	262,269	201,258	2,153.86	1,912.73
F - test	ns	ns	ns	ns
CV. (%)	8.6	9.0	8.0	8.4

หมายเหตุ : RDF (Recommendation Fertilizer) = ใส่ปุ๋ยเคมีอัตรา 24-4-6 กิโลกรัม N-P₂O₅-K₂O ต่อไร่

CD (Cow Dung) = ใส่มูลวัวอัตรา 1 ตันต่อไร่

AMF (Arbuscular Mycorrhiza Fungi) = ใส่ปุ๋ยชีวภาพไมคอร์ไรซา อัตรา 3 กรัมต่อหลุม

สรุปผลการทดลอง

การใช้ผลิตภัณฑ์ชีวภาพจุลินทรีย์ร่วมกับชีวมวลในการผลิตกระเจี๊ยบเขียวตาม GAP ในดินเหนียว-ร่วนเหนียว จังหวัดสุพรรณบุรี โดยการใส่อาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซา และมูลวัวอัตรา 1 ตันต่อไร่ ร่วมกับปุ๋ยเคมีในอัตราแนะนำตามค่าวิเคราะห์ดิน (18-4-6 กก. N-P₂O₅-K₂O ต่อไร่) ช่วยเพิ่มผลผลิตกระเจี๊ยบเขียวได้ โดยให้ผลผลิตเฉลี่ย 2,935 กิโลกรัมต่อไร่ เมื่อพิจารณาจากสมดุลของธาตุอาหารที่ใส่ลงไป在地เป็นอัตรา 18-4-6 กก. N-P₂O₅-K₂O ต่อไร่ และปริมาณธาตุอาหารที่สูญเสียไปกับผลผลิตเป็นอัตรา 8-7-8 กก. N-P₂O₅-K₂O ต่อไร่ การจัดการธาตุอาหารพืชสามารถเพิ่มปริมาณปุ๋ยไนโตรเจนในดินได้ แต่ปุ๋ยฟอสเฟตและโพแทชยังไม่เพียงพอ จึงจำเป็นต้องใส่ปุ๋ยดังกล่าวเพิ่มเติมเพื่อรักษาระดับปริมาณธาตุอาหารในดิน

คำขอบคุณ

งานวิจัยนี้ได้รับทุนสนับสนุนจากสำนักงานคณะกรรมการส่งเสริมวิทยาศาสตร์ วิจัยและนวัตกรรม (สกสว.) ร่วมกับกรมวิชาการเกษตร และขอขอบคุณกลุ่มงานวิจัยจุลินทรีย์ดิน กลุ่มวิจัยปฐพีวิทยา กองวิจัยพัฒนาปัจจัยการผลิตทางการเกษตร กรมวิชาการเกษตรที่ให้ความอนุเคราะห์ปุ๋ยชีวภาพสำหรับการวิจัยครั้งนี้ สุดท้ายนี้ขอขอบคุณเจ้าหน้าที่และทีมงานวิจัยทุกท่านที่ให้ความช่วยเหลืองานวิจัยในครั้งนี้

การนำผลงานวิจัยไปใช้ประโยชน์

ผลงานวิจัยนี้เป็นการจัดการปุ๋ย โดยการใช้ผลิตภัณฑ์ชีวภาพจุลินทรีย์ร่วมกับชีวมวล และใส่ปุ๋ยเคมีตามค่าวิเคราะห์ดิน สำหรับการผลิตกระเจี๊ยบเขียวตาม GAP ในดินเหนียว-ร่วนเหนียว จังหวัดสุพรรณบุรีที่สามารถใช้เป็นแนวทางให้เกษตรกรนำไปปฏิบัติเพื่อเพิ่มผลผลิตกระเจี๊ยบเขียว และมีรายได้เพิ่มขึ้นได้

เอกสารอ้างอิง

- กรมพัฒนาที่ดิน. 2567. ธาตุอาหารพืชที่จำเป็นต่อการเจริญเติบโตของพืช. แหล่งข้อมูล
http://osl101.ldd.go.th/easysoils/s_prop_nutri01.htm. สืบค้นเมื่อ 16 มกราคม 2567.
- กรมวิชาการเกษตร. 2545. เกษตรดีที่เหมาะสม สำหรับ กระเจี๊ยบเขียว. โรงพิมพ์ชุมนุมสหกรณ์การเกษตรแห่งประเทศไทย จำกัด: กรุงเทพมหานคร. 22 หน้า.
- กรมวิชาการเกษตร. 2553. *คำแนะนำการใช้ปุ๋ยกับพืชเศรษฐกิจ*. เอกสารวิชาการลำดับที่: 001/2553 ISBN 978-974-436-749-5. 122 หน้า.
- กรมส่งเสริมการเกษตร. 2551. คู่มือนักวิชาการส่งเสริมการเกษตร: กระเจี๊ยบเขียว. แหล่งข้อมูล
<https://shorturl.asia/MnGNZ> สืบค้นเมื่อ 4 มิถุนายน 2567.
- กรมส่งเสริมการเกษตร. 2567. ระบบให้บริการข้อมูลสารสนเทศการผลิตทางการเกษตร. แหล่งข้อมูล
<https://production.doae.go.th/service/site/login> สืบค้นเมื่อ 4 มิถุนายน 2567.
- คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. 2544. *ปฐพีวิทยาเบื้องต้น*. พิมพ์ครั้งที่ 9. สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. กรุงเทพฯ. 528 หน้า.
- สำนักงานปลัดกระทรวงพาณิชย์. 2567. ตลาดส่งออกสำคัญของไทยรายสินค้า. แหล่งข้อมูล
<https://shorturl.asia/4K2BL> สืบค้นเมื่อ 17 มกราคม 2567.
- Agribot. 2023. Nutrient Management in Okra. Available at: <https://agri.bot/docs/nutrient-management-in-okra/>. Accessed: June 4, 2024.
- Aoyama M. and Nozawa, T. 1993. Microbial biomass nitrogen and mineralization immobilization processes of nitrogen in soils incubated with various organic materials. *Soil Science and Plant Nutrition*. 39: 23-32.
- Bernal M. P. and Kirchmann H. 1992. Carbon and nitrogen mineralization and ammonia volatilization from fresh, aerobically and anaerobically treated pig manure during incubation with soil. *Biology and Fertility of Soils*. 13: 135-141.
- Berry, D. A. and M. H. Miller. 1989. Phosphorus nutritional requirement of maize seedlings for maximum yield. *Agronomy Journal*. 81: 95-99.
- Calderón, F. J., McCarty G. W. and Reeves III, J. B. 2005. Analysis of manure and soil nitrogen mineralization during incubation. *Biology and Fertility of Soils*. 41: 328-336.
- Kalayu, G. 2019. Phosphate solubilizing microorganisms: promising approach as biofertilizer. *International Journal of Agronomy*, 2019: 7. Available at <http://doi.org/10.1155/2019/4917256>. October 25, 2024.
- Lamont W.J. 1999. Okra – a versatile vegetable crop. *Hort Technology* 9 (2):179-184.
- Satyaprakash, M., T. Nikitha, E.U.B. Reddi, B. Sadhana and S.S. Vani. 2017. Phosphorus and phosphate solubilizing bacteria and their role in plant nutrition. *International Journal of Current Microbiology and Applied Science* 6(4): 2133-2144.
- Tannenbaum. S.R., D Fett, V.R. Young, P.D. Lan and W.R. Bruce. 1978. Nitrite and nitrate are formed by endogenous synthesis in human intestine. *Science*. 200: 1487-1488.

ผลกระทบของการใช้อะทราซีนต่อจุลินทรีย์ดินในแปลงปลูกอ้อยจังหวัดสุพรรณบุรี
และขอนแก่น

Impact of atrazine on soil microorganisms in sugarcane fields at
Suphanburi and Khon Kaen provinces

จิตรา เกาะแก้ว¹ สอนธยา ขำดี¹ กิตจเมธ แจ่มศิริกุล¹ สุวัฒน์ พูลพาน³
จรรย์ญา ปิ่นสุภา⁴ ปภัสรา คุณเลิศ²

Jitra Kokaew¹ Sontaya Khamtib¹ Kitjamate Jangsirikul¹ Suwat Phoonphani³
Jaranya Pinsupa⁴ Paphatsara Khunlert²

กลุ่มวิจัยปฐพีวิทยา

กองวิจัยพัฒนาปัจจัยการผลิตทางการเกษตร

ABSTRACT

This study investigates the impact of atrazine on soil microorganisms in sugarcane fields at Suphanburi and Khon Kaen provinces. It involves analyzing the physical and chemical properties of the soil, measuring pesticide residue levels in the soil, counting microorganism populations, and testing the effectiveness of soil microbes in degrading atrazine. The results show that atrazine was only detected in the fields where the pesticide was applied, and its concentration decreased over time. There was no significant difference in the population of bacteria, fungi, and actinomycetes between the control and treated fields. Nine bacterial isolates were found to be resistant to atrazine and capable of growing on media lacking of nitrogen or carbon but containing 500 mg/l atrazine. These bacteria isolates were identified as *Bacillus megaterium*, *Pseudomonas putida*, and *Acinetobacter lactucae*, which used atrazine as a nitrogen source, while *Agrobacterium radiobacter* and *Paenarthrobacter ureafaciens* used atrazine as both a nitrogen and carbon source. Seven fungal isolates were able to grow on media with 50 mg/l of atrazine. When it has been tested for their ability to degrade atrazine in liquid media, *Aspergillus niger* strain AT-8 reduced atrazine levels by 97.63%, followed by *Aspergillus* sp. strain AT-9, which reduced atrazine by 90.50%. The fungus *Trichoderma virens* strain AT-4 reduced atrazine by 56.11%, while *Trichoderma harzianum* strain AT-2 reduced it by only 30.15%.

Keywords: soil microorganisms, atrazine, Sugarcane field

บทคัดย่อ

ศึกษาผลกระทบจากการใช้สารอะทราซีนต่อจุลินทรีย์ดิน ในแปลงปลูกอ้อย จังหวัดสุพรรณบุรีและขอนแก่น โดยวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพและเคมีดิน วัดปริมาณสารตกค้างในดิน นับปริมาณและทดสอบประสิทธิภาพของจุลินทรีย์ดินในการย่อยอะทราซีน พบว่าสารอะทราซีน ตรวจพบเฉพาะในแปลงที่พ่นสาร และปริมาณสารจะลดลงเมื่อระยะเวลาผ่านไป การนับปริมาณแบคทีเรีย รา และแอคติโนมัยซีทในแปลงควบคุม และแปลงที่พ่นสารไม่มีความแตกต่างทางสถิติ พบแบคทีเรียจำนวน 9 สายพันธุ์มีความทนทานต่อสารอะทราซีน สามารถเจริญบนอาหารที่ปราศจากไนโตรเจนหรือคาร์บอนที่ผสมอะทราซีนความเข้มข้น 500 มิลลิกรัมต่อลิตร แบ่งเป็น 5 ชนิดได้แก่ *Bacillus megaterium*, *Pseudomonas putida* และ *Acinetobacter lactucae* ใช้อะทราซีนแทนแหล่งไนโตรเจน ในขณะที่ *Agrobacterium radiobacter* และ *Paenarthrobacter ureafaciens* ใช้อะทราซีนแทนแหล่งไนโตรเจนและคาร์บอน และราดินจำนวน 7 สายพันธุ์ สามารถเจริญในอาหารเลี้ยงเชื้อที่ผสมอะทราซีน 50 มิลลิกรัมต่อลิตร เมื่อนำไปทดสอบการย่อยอะทราซีนในอาหารเหลว พบว่ารา *Aspergillus niger* สายพันธุ์ AT-8 ทำให้ปริมาณอะทราซีนในอาหารเลี้ยงเชื้อลดลงสูงถึง 97.63 เปอร์เซ็นต์ รองลงมาได้แก่รา *Aspergillus* sp. สายพันธุ์ AT-9 ทำให้อะทราซีนลดลง 90.50 เปอร์เซ็นต์ ส่วนรา *Trichoderma* spp. พบว่าสายพันธุ์ AT-4 ลดปริมาณอะทราซีนในอาหารได้สูงสุด 56.11 เปอร์เซ็นต์ ในขณะที่สายพันธุ์ AT-2 ลดปริมาณอะทราซีนได้น้อยที่สุดเท่ากับ 30.15 เปอร์เซ็นต์

คำสำคัญ: จุลินทรีย์ดิน; อะทราซีน; แปลงอ้อย

บทนำ

ปัจจุบันภาคการเกษตรขยายตัวเพิ่มมากขึ้น จึงมีความจำเป็นต้องใช้สารเคมีป้องกันกำจัดศัตรูพืช เพื่อช่วยลดผลผลิตจากการเข้าทำลายของศัตรูพืช ข้อมูลจากสำนักควบคุมพืชและวัสดุการเกษตรระบุว่าในปี 2566 สารกำจัดวัชพืชเป็นวัตถุอันตรายที่มีการนำเข้ามากกว่าสารกำจัดศัตรูพืชกลุ่มอื่น เมื่อคิดตามปริมาณสารสำคัญพบว่าอะทราซีนเป็นสารกำจัดวัชพืชที่มีการนำเข้าสูงสุดเป็นอันดับ 4 รองจาก กลูโฟซิเนต-แอมโมเนียม ไกลโฟเซต และ 2,4-ดี (สำนักควบคุมพืชและวัสดุการเกษตร, 2567) อะทราซีน (atrazine) เป็นสารกำจัดวัชพืชกลุ่ม triazine ประเภทเลือกทำลาย ที่นิยมใช้กันอย่างแพร่หลายทั่วโลกมานานกว่า 50 ปี เนื่องจากใช้ง่ายและราคาถูก เมื่อมีการใช้เกินอัตราที่แนะนำ หรือใช้มากกว่าหนึ่งชนิดอย่างต่อเนื่องเป็นเวลานาน ทำให้มีการแพร่กระจายในสิ่งแวดล้อมและส่งผลกระทบต่อสิ่งมีชีวิตที่อาศัยอยู่ สารกำจัดวัชพืชที่สลายตัวยากและมีความคงทนสูงจะส่งผลกระทบต่อกิจกรรมของจุลินทรีย์ดินอาจเป็นสาเหตุหนึ่งของการเปลี่ยนแปลงสมดุลของระบบนิเวศ ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงทั้งเชิงคุณภาพและปริมาณต่อจุลินทรีย์ดินโดยเฉพาะจุลินทรีย์ดินที่เป็นประโยชน์ทางการเกษตร และอาจส่งผลกระทบต่อทรัพยากรที่สำคัญในการเกษตร เช่น การสูญเสียความอุดมสมบูรณ์ของดิน เป็นต้น อะทราซีนเป็นสารกำจัดวัชพืชที่มีความคงทนในดินสูงเคลื่อนย้ายในดินได้ปานกลางถึงมาก ทำให้เกิดการตกค้างในแหล่งน้ำใต้ดินสูง ซึ่งมีปัจจัยทางดินหลายอย่างส่งผลต่อความคงทนของสารกำจัดวัชพืชในดิน (Curran, 2001) ได้แก่ ความเป็นกรดต่าง อุณหภูมิ ความชื้น อินทรีย์วัตถุ ค่า pH ของดิน ค่าการละลายน้ำ ค่าสัมประสิทธิ์การดูดซับของสาร เป็นต้น (Farruggia et al., 2016) กระบวนการดูดซับและปลดปล่อยของดินมีผลต่ออะทราซีนในสิ่งแวดล้อมและแหล่งน้ำใต้ดิน (Jamil et al., 2010) นอกจากนี้พบว่าอะทราซีนสามารถสลายตัวจากกระบวนการทางกายภาพได้ เช่น การสลายตัวด้วยแสงจากธรรมชาติ ที่ค่าความคงทนในดินปานกลาง ทำให้โครงสร้างของสารเปลี่ยนแปลงไป และสามารถเกิดการระเหยได้ตามธรรมชาติ ซึ่งเกิดในปริมาณน้อยมาก (Farruggia et al., 2016) และยังพบว่าอะทราซีนสามารถถูกย่อยสลายได้ด้วยจุลินทรีย์ที่อยู่ในดิน ซึ่งปัจจุบันการใช้จุลินทรีย์ในการย่อยสลายอะทราซีน

ถือว่ามีประสิทธิภาพและมีความปลอดภัยต่อสิ่งแวดล้อม (Hong et al., 2017) การย่อยสลายอะทราซีนเกิดจากการตัดแปลงหมู่อะมิโนของอะทราซีน โดยมีรายงานพบจุลินทรีย์หลายชนิดที่สามารถย่อยสลายอะทราซีนได้อย่างมีประสิทธิภาพ เช่น *Aspergillus niger* *Achromobacter* sp. *Arthrobacter* sp. *Delfia* sp. และ *Pseudomonas* sp. เมื่อศึกษากระบวนการย่อยสลายโดยจุลินทรีย์ในระดับอนุชีววิทยาพบว่าถูกควบคุมโดยยีน *atzA*, *atzB*, *atzC* และ *trzN* (Krutz et al., 2008) งานวิจัยนี้ได้ศึกษาถึงผลกระทบจากการใช้สารอะทราซีนต่อชนิดและปริมาณจุลินทรีย์ดิน โดยมีจุดประสงค์เพื่อศึกษาปริมาณจุลินทรีย์ดินหลังพ่นสารกำจัดวัชพืช เพื่อรวบรวมผลกระทบที่เกิดขึ้นกับจุลินทรีย์ดินเมื่อมีการใช้สารกำจัดวัชพืช เพื่อเป็นแนวทางในการเฝ้าระวังและติดตามผลกระทบที่เกิดจากการใช้สารกำจัดวัชพืชต่อจุลินทรีย์ดิน รวมทั้งศึกษาประสิทธิภาพของจุลินทรีย์ดินในการย่อยสลายสารอะทราซีนซึ่งถือเป็นเรื่องจำเป็นเพื่อเป็นแนวทางในการนำจุลินทรีย์ดินไปใช้ประโยชน์ทางการเกษตรและการย่อยสลายสารกำจัดศัตรูพืชที่ตกค้างในดิน

อุปกรณ์และวิธีการ

อุปกรณ์

1. จอบ, พลั่วมือ
2. ขวด, ถังเก็บตัวอย่างดิน
3. ถังเก็บความเย็นสำหรับบรรจุถังเก็บตัวอย่างดิน
4. เครื่องแก้วสำหรับใช้ในห้องปฏิบัติการ
5. อาหารเลี้ยงเชื้อสำหรับนับและแยกจุลินทรีย์ดิน ได้แก่ potato dextrose agar, nutrient agar, starch casein agar
6. สารเคมีสำหรับการสกัด atrazine ในดิน
7. สารกำจัดวัชพืชอะทราซีนสำหรับฉีดพ่นในแปลง

วิธีการ

ทำการศึกษาในพื้นที่แปลงปลูกอ้อย 2 พื้นที่ ได้แก่ แปลงทดลองภายในศูนย์วิจัยพืชไร่สุพรรณบุรี ซึ่งเป็นแปลงขยายพันธุ์อ้อย ตั้งอยู่ที่ ต.จรเข้สามพัน อ.อุทัย จ.สุพรรณบุรี และมีการจัดการแปลง โดยใส่ปุ๋ยเคมีเกรด 15-15-15 อัตรา 50 กิโลกรัมต่อไร่ แบ่งใส่ 2 ครั้ง ครั้งแรกใส่รองกันหลุมก่อนวางท่อนพันธุ์ อัตรา 25 กิโลกรัมต่อไร่ เมื่ออ้อยอายุได้ 3-4 เดือน ใส่ปุ๋ยอัตรา 25 กิโลกรัมต่อไร่ จัดการวัชพืชโดยพ่นอะทราซีน อัตรา 400 กรัมสารออกฤทธิ์ ผสมน้ำ 60 ลิตร ต่อพื้นที่ 1 ไร่ โดยพ่นคลุมดินก่อนวัชพืชงอก และแปลงทดลองจังหวัดขอนแก่นใช้แปลงเกษตรกรในพื้นที่บ้านหนองไฮ ต.นาเพียง อ.ชุมแพ จ.ขอนแก่น มีการจัดการแปลงโดยใส่ปุ๋ยเคมีเกรด 15-15-15 อัตรา 40 กิโลกรัมต่อไร่ แบ่งใส่ 2 ครั้ง ครั้งที่ 1 ต้นเดือนมิถุนายน อัตรา 20 กิโลกรัมต่อไร่ ครั้งที่ 2 ต้นเดือนกันยายน อัตรา 20 กิโลกรัมต่อไร่ จัดการวัชพืชโดยพ่นสารอะทราซีน อัตรา 400 กรัมสารออกฤทธิ์ ผสมน้ำ 60 ลิตร ต่อพื้นที่ 1 ไร่ โดยพ่นคลุมดินก่อนวัชพืชงอก ตลอดระยะเวลาการทดลองไม่มีการพ่นสารกำจัดศัตรูพืชชนิดอื่น ในแต่ละจังหวัดทำการแบ่งแปลงเป็น 2 แปลงย่อย ขนาดแปลงละ 400 ตารางเมตร ได้แก่แปลงที่ฉีดพ่นเฉพาะสารอะทราซีนตามอัตราแนะนำเพียงอย่างเดียวโดยไม่มีการฉีดพ่นสารกำจัดศัตรูพืชชนิดอื่น และแปลงที่ไม่มีการฉีดพ่นสารกำจัดศัตรูพืช โดยเก็บตัวอย่างดินแปลงละ 5 รอบ ได้แก่ ก่อนพ่น, หลังพ่น 2 ชั่วโมง, 15 วัน, 30 วัน และ 60 วัน เก็บตัวอย่างดินที่ระดับความลึก 20 เซนติเมตร ที่ เนื่องจากเป็นระดับความลึกที่รากพืชเจริญและเป็นบริเวณที่มีจุลินทรีย์ดินอยู่มาก สุ่มเก็บตัวอย่างดินกระจายให้ทั่วแปลง ๆ ละ 11 จุด เพื่อนำไปนับปริมาณ

จุลินทรีย์ดิน และเก็บตัวอย่างดินแบบ Composite sample โดยสุ่มเก็บตัวอย่างดินกระจายให้ทั่วแปลงๆ ละ 20 จุด (เอิบ, 2548) เพื่อนำมาวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพและเคมีของดิน ได้แก่ การกระจายขนาดอนุภาค (Particle size distribution) ค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) อินทรีย์วัตถุ ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ โพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ และค่าความจุแลกเปลี่ยนแคตไอออน ตรวจวิเคราะห์ปริมาณสารอะทราซีนที่ตกค้างในดิน

การวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพและเคมีของดิน

วิเคราะห์การกระจายขนาดอนุภาค (Particle size distribution) โดยวิธี Pipette (Gee and Bauder, 1986) ค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) โดยใช้สัดส่วน ดิน:น้ำ เท่ากับ 1:1 และวัดค่าด้วย pH meter (National Soil Survey Center, 1996) อินทรีย์วัตถุ (Organic matter) โดยวิธี Walkley-Black (Nelson and Sommers, 1996) ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ (Available phosphorus) สกัดดินโดยวิธี Bray II และทำให้เกิดสีโดยวิธี Molybdenum Blue วัดความเข้มข้นของสีของสารละลายโดยใช้ Spectrophotometer (Bray and Kurtz, 1945) และโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ (Exchangeable potassium) โดยสกัดดินด้วย 1 N NH_4OAc pH 7.0 แล้ววัดปริมาณธาตุโพแทสเซียม ด้วย Flame photometer (Thomas, 1982) และค่าความจุแลกเปลี่ยนแคตไอออน (Cation exchange capacity; CEC) โดยใช้การชะละลายแคตไอออนด้วยสารละลาย 1 N NH_4OAc ที่เป็นกลาง (pH 7.0) (Chapman, 1965)

การตรวจวิเคราะห์ปริมาณสารอะทราซีนตกค้างในดิน

วิเคราะห์อะทราซีนในดินโดยประยุกต์ใช้วิธี Ultrasonic (Babic et al., 1998) ชั่งดิน 20 กรัม เติม ethyl acetate 75 มิลลิลิตรในตัวอย่างดิน เขย่าให้เข้ากัน นำไปวางใน ultrasonic bath นาน 25 นาที จากนั้นนำไปกรองผ่านกระดาษกรองเบอร์ 1 ที่มี sodium sulfate อยู่ด้านบน และล้างด้วย ethyl acetate 2 ครั้ง และนำไปทำให้ระเหยจนเกือบแห้งด้วยเครื่อง rotary evaporator ปรับปริมาตรด้วย ethyl acetate จนได้ปริมาตร 2 มิลลิลิตร นำไปวิเคราะห์สารอะทราซีนด้วยเครื่อง Gas Chromatography (GC)

การนับปริมาณจุลินทรีย์ดินและการทดสอบการย่อยสลายสารอะทราซีน

นับปริมาณจุลินทรีย์ดินได้แก่ แบคทีเรีย รา และแอคติโนมัยซีท ที่สามารถแยกได้บนอาหารเลี้ยงเชื้อ ด้วยวิธี Plate count บนอาหารเลี้ยงเชื้อ Glucose ammonium nitrate Agar (GAN), Starch Casein Agar (SCA) และ Nutrient Agar (NA) โดยชั่งดิน 1 กรัม ใส่ในน้ำกลั่นหนึ่งขวดเชื้อปริมาตร 9 มิลลิลิตร เขย่าให้เข้ากัน เจือจางจนได้ความเข้มข้น 10^{-5} ใช้ปิเปตดูดสารละลายที่ความเข้มข้น 10^{-3} , 10^{-4} , 10^{-5} ใส่จานเลี้ยงเชื้อจานละ 1 มิลลิลิตร เททับด้วยอาหาร glucose ammonium nitrate agar (GAN) ที่มีส่วนประกอบของ rose bengal และ streptomycin สำหรับการนับราดิน และเททับด้วยอาหาร Nutrient Agar (NA) สำหรับการนับปริมาณแบคทีเรีย (Barron, 1968) ส่วนการนับปริมาณแอคติโนมัยซีท ทำการฝังดินให้แห้งเป็นเวลา 1 สัปดาห์นำมาบดและร่อน แล้วนำมาเจือจางด้วยน้ำกลั่นปลอดเชื้อให้มีความเจือจางเท่ากับ 10^{-3} ถึง 10^{-6} ดูดสารแขวนลอยดินในแต่ละความเข้มข้นมา 100 ไมโครลิตร เกลี่ยลงบนอาหารคัดเลือก starch casein agar (SCA) ที่เติมสารปฏิชีวนะ (รัชนี, 2552) และนำมาทำการเปรียบเทียบปริมาณจุลินทรีย์ดินแต่ละชนิดด้วยวิธี Independent sample t-test 12 ซ้ำ

ทดสอบการย่อยสลายอะทราซีนของแบคทีเรีย (กรรณิการ์, 2552)

คัดเลือกแบคทีเรียที่เจริญบนอาหารนำมาทดสอบประสิทธิภาพการย่อยสลายอะทราซีนบนอาหารแข็ง R-medium 3 สูตร ได้แก่ สูตรที่ 1 R-medium เติมอะทราซีน 100 มิลลิกรัมต่อลิตร แทน NH_4Cl และ Glucose, สูตรที่ 2 R-medium เติมอะทราซีน 100 มิลลิกรัมต่อลิตร แทน Glucose และสูตรที่ 3 R-medium เติมอะทราซีน 100 มิลลิกรัมต่อลิตร แทน NH_4Cl จากนั้นทำการตรวจเช็คการเจริญและการสร้างวงใสบนอาหาร

ทดสอบการย่อยอะทราซีนของราดิน (กัญ และอินทรา, 2562)

คัดเลือกราที่มีความทนทานต่อสารอะทราซีน โดยเขียนใยไว้ตรงกลางจานอาหารเลี้ยงเชื้อ Czapek-dox ที่ผสมอะทราซีนปริมาณ 50 มิลลิกรัม ต่อลิตรซึ่งเป็นปริมาณที่สูงสำหรับใช้คัดกรองราที่สามารถเจริญเติบโตได้ในอาหารแข็ง บ่มเพาะเชื้อที่อุณหภูมิห้อง 14 วัน นำราที่ผ่านการคัดเลือกมาเลี้ยงใน Czapek Dox Broth ปริมาตร 250 มิลลิลิตร วางบนเครื่องเขย่า และทำการเขย่าอย่างเบาตลอดเวลาทดสอบ เมื่อครบกำหนด 3 วัน เติมอะทราซีนให้ได้ความเข้มข้นสุดท้าย 35 มิลลิกรัมต่อลิตร เลี้ยงเชื้อราต่อจนครบ 30 วัน ทำการเก็บตัวอย่างอาหารเลี้ยงเชื้อเพื่อนำไปตรวจสอบปริมาณสารอะทราซีนที่ยังเหลือโดยใช้เครื่อง Gas Chromatography

การตรวจวิเคราะห์สารอะทราซีนที่ตกค้างในตัวอย่างอาหารเลี้ยงเชื้อ

ประยุกต์ใช้วิธี QuEChERS (EN 15622, 2008) ตรวจวิเคราะห์สารพิษตกค้างชนิดอะทราซีนปิเปตตัวอย่างอาหารเลี้ยงเชื้อ 10 มิลลิลิตร ใส่ในหลอด centrifuge ขนาด 50 มิลลิลิตร เติม ethyl acetate (PR grade) 10 มิลลิลิตร เขย่าด้วยเครื่อง vortex mixer 1 นาที เติม MgSO_4 4 กรัม NaCl 1 กรัม $\text{Na}_3\text{C}_6\text{H}_5\text{O}_7 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ 1 กรัม และ $\text{Na}_2\text{H}(\text{C}_6\text{H}_5\text{O}_7) \cdot 1.5 \text{H}_2\text{O}$ 0.5 กรัม เขย่าด้วยเครื่อง vortex mixer 1 นาที นำไปเขย่าด้วยเครื่องเขย่า reciprocal shaker เป็นเวลา 20 นาที แล้วนำไปใส่เครื่อง ultrasonic bath เป็นเวลา 30 นาที จากนั้นนำไป centrifuge ที่ความเร็ว 10,000 รอบต่อนาที นาน 20 นาที ดูดสารละลายส่วนใส 1.0 มิลลิลิตร ใส่ในขวด vial นำไปตรวจวิเคราะห์หาปริมาณสารพิษตกค้างชนิดอะทราซีนด้วยเครื่อง Gas Chromatograph (GC) บริษัท Agilent technologies รุ่น 7890B ซึ่งมีหัวตรวจวัดชนิด Nitrogen-Phosphorus Detector (GC-NPD) โดยมีสูตรในการคำนวณหาเปอร์เซ็นต์ปริมาณสารอะทราซีนที่ลดลงดังนี้

$$\text{ปริมาณสารอะทราซีนที่ลดลง (\%)} = \frac{(\text{ปริมาณสารเริ่มต้น(0สัปดาห์)} - \text{ปริมาณสารหลังใส่เชื้อจุลินทรีย์ (n สัปดาห์)})}{(\text{ปริมาณสารเริ่มต้น(0สัปดาห์)})} \times 100$$

ระยะเวลา เริ่มต้น 1 ตุลาคม 2565 สิ้นสุด 30 กันยายน 2567

สถานที่ทำการทดลอง - ห้องปฏิบัติการกลุ่มงานวิจัยจุลินทรีย์ดิน กลุ่มวิจัยปฐพีวิทยา กองวิจัยพัฒนาปัจจัยการผลิตทางการเกษตร กรุงเทพฯ

- แปลงทดลองภายในศูนย์วิจัยพืชไร่สุพรรณบุรี ต.จรเข้สามพัน อ.อู่ทอง จ.สุพรรณบุรี
- แปลงเกษตรกรในพื้นที่บ้านหนองไฮ ต.นาเพียง อ.ชุมแพ จ.ขอนแก่น

ผลการทดลองและวิจารณ์

1. สมบัติทางเคมีและกายภาพของดิน

ผลการวิเคราะห์ตัวอย่างดินในแปลงปลูกอ้อยในจังหวัดขอนแก่นมีเนื้อดินเป็นดินร่วนปนทราย มีค่า pH เป็นกรดอ่อน ปริมาณอินทรีย์วัตถุอยู่ในระดับต่ำ (3.41 กรัมต่อกิโลกรัม) ปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์อยู่ในระดับต่ำ (3.80 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม) และปริมาณโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ในระดับต่ำ (11.28 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม) ความจุแลกเปลี่ยนแคตไอออนอยู่ในระดับต่ำ และตัวอย่างดินในแปลงปลูกอ้อย จังหวัดสุพรรณบุรีมีเนื้อดินเป็นดินร่วน มีค่า pH เป็นกลาง ปริมาณอินทรีย์วัตถุอยู่ในระดับปานกลาง (15.80 กรัมต่อกิโลกรัม) ปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์อยู่ในระดับสูง (123.30 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม) และปริมาณโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ในระดับสูง (147.63 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม) ความจุแลกเปลี่ยนแคตไอออนอยู่ในระดับปานกลาง (Table 1)

2. การตรวจวิเคราะห์ปริมาณสารอะทราซีนตกค้างในดิน

ผลการตรวจวัดปริมาณอะทราซีนที่ตกค้างในดินของแปลงปลูกอ้อยในพื้นที่จังหวัดขอนแก่น และสุพรรณบุรี พบว่าแปลงทดลองที่เป็นแปลงควบคุมตรวจไม่พบสารอะทราซีนตกค้างในดิน ทั้ง 2 พื้นที่ หลังพ่นสารพ่นสารอะทราซีน 2 ชั่วโมง พบว่าแปลงทดลองในพื้นที่จังหวัดขอนแก่นมีปริมาณสารอะทราซีน 2.02 มิลลิกรัมต่อดิน 1 กิโลกรัม เมื่อเวลาผ่านไป 24 ชั่วโมงตรวจพบอะทราซีนเพิ่มขึ้นเป็น 2.13 มิลลิกรัมต่อดิน 1 กิโลกรัม เมื่อระยะเวลาหลังพ่นสารนานขึ้นจนที่ระยะเวลาหลังพ่น 30 วัน ตรวจไม่พบอะทราซีนตกค้างในดิน ส่วนแปลงทดลองในพื้นที่จังหวัดสุพรรณบุรีพบว่ามีปริมาณอะทราซีนที่ตรวจพบในดินหลังพ่นสาร 2 ชั่วโมงตรวจพบอะทราซีน 0.57 มิลลิกรัมต่อดิน 1 กิโลกรัม และปริมาณสารจะเพิ่มขึ้นหลังพ่นสาร 24 ชั่วโมง พบอะทราซีน 1.49 มิลลิกรัมต่อดิน 1 กิโลกรัม และปริมาณอะทราซีนจะลดลงเมื่อระยะเวลาหลังพ่นสารนานขึ้น ดินทั้งสองพื้นที่มีเนื้อดินแตกต่างกัน มีความสามารถในการดูดซับอะทราซีน ที่แตกต่างกัน พบว่าเนื้อดินในจังหวัดขอนแก่นซึ่งเป็นดินทรายสามารถดูดซับอะทราซีนได้ในระยะเวลาที่สั้นกว่าดินในพื้นที่จังหวัดสุพรรณบุรี ที่ระยะเวลาหลังพ่นสารอะทราซีน 30 วันยังสามารถตรวจพบสารอะทราซีนได้ในดิน นอกจากนี้ยังพบว่าแปลงทดลองในจังหวัดสุพรรณบุรีมีปริมาณอินทรีย์วัตถุสูงกว่าดินในแปลงทดลองจังหวัดขอนแก่น ซึ่งทำให้ความคงทนของอะทราซีนยาวนานกว่าดินในพื้นที่จังหวัดขอนแก่น ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยหลายงาน เช่น Wang et al. (1999) รายงานว่าความคงทนอะทราซีนเมื่อลงสู่ดินจะขึ้นอยู่กับคุณสมบัติของสาร และปัจจัยอื่น ๆ ที่มีอิทธิพลต่อความคงทนของอะทราซีนในดิน ได้แก่ เนื้อดิน ปริมาณอินทรีย์วัตถุ ปริมาณน้ำ จำนวนจุลินทรีย์ และค่า pH ของดิน Farruggia et al. (2016) รายงานว่าการเคลื่อนที่ของอะทราซีน ในดินจะเกี่ยวข้องกับการดูดซับของคอลลอยด์ในดิน ถ้าปริมาณสารอินทรีย์วัตถุและอนุภาคดินเหนียวมีค่าสูงจะดูดซับอะทราซีนไว้ได้มาก ดังนั้นอะทราซีนในดินจะถูกดูดซับในดินเหนียวมากกว่าดินร่วนเหนียวปนทราย และดินร่วนปนทราย (Oliveira et al. , 2001) อะทราซีนสามารถตกค้างในดินได้ตั้งแต่ 8 - 60 วัน ขึ้นอยู่คุณสมบัติของดิน ความชื้น และอุณหภูมิในอากาศ ค่าครึ่งชีวิต (half-life, $t_{1/2}$) ในดินของอะทราซีนอยู่ระหว่าง 2- 4 สัปดาห์ เกณฑ์ค่าสูงสุดที่ยอมให้มีการปนเปื้อนของ atrazine ในดินเพื่อเกษตรกรรมของกรมควบคุมมลพิษ (2548) (ไม่เกิน 22 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม) อะทราซีนสามารถสลายตัวจากกระบวนการทางกายภาพ เช่นการสลายตัวด้วยแสงจากธรรมชาติ ที่ค่าความคงทนในดินปานกลาง ทำให้โครงสร้างของสารเปลี่ยนแปลงไป และสามารถเกิดการระเหยได้ตามธรรมชาติ ซึ่งเกิดได้ในปริมาณน้อยมาก โดยอะทราซีนจะถูกย่อยสลายด้วยปฏิกิริยา photolysis ด้วยแสงแดด ปฏิกิริยา hydrolysis ด้วยน้ำ และออกซิเจน นอกจากนี้ยังพบว่าจุลินทรีย์ดิน เช่น แบคทีเรียและราในดินบางชนิดสามารถย่อยสลายสารอะทราซีนในดินได้

3. การนับปริมาณจุลินทรีย์ดิน

แปลงทดลองจังหวัดสุพรรณบุรี พบว่าในแปลงควบคุมมีปริมาณแบคทีเรีย 6.91, 6.87, 6.81, 6.89, 6.76 และ 6.77 Log₁₀ CFU/กรัมดิน แปลงที่พ่นอะทราซีนมีปริมาณแบคทีเรีย 6.93, 6.88, 6.85, 6.88, 6.75 และ 6.78 Log₁₀ CFU/กรัมดิน เมื่อเก็บตัวอย่างดินหลังพ่น 2 ชั่วโมง, 24 ชั่วโมง 3 วัน 7 วัน 15 วัน และ 30 วัน ตามลำดับ การเปรียบเทียบปริมาณแบคทีเรียด้วยวิธี Independent sample t-test ที่ความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ พบว่าปริมาณแบคทีเรียในแปลงควบคุมและแปลงที่พ่นอะทราซีนไม่แตกต่างกันทางสถิติ

แปลงทดลองจังหวัดขอนแก่น พบว่าในแปลงควบคุมมีปริมาณแบคทีเรีย 6.23, 6.16, 6.48, 5.15, 6.30 และ 6.83 Log₁₀ CFU/กรัมดิน แปลงที่พ่นอะทราซีนมีปริมาณแบคทีเรีย 6.26, 6.14, 6.51, 5.25, 6.25 และ 6.88 Log₁₀ CFU/กรัมดิน เมื่อเก็บตัวอย่างดินหลังฉีดพ่น 2 ชั่วโมง, 24 ชั่วโมง 3 วัน 7 วัน 15 วัน และ 30 วัน ตามลำดับ การเปรียบเทียบปริมาณแบคทีเรียด้วยวิธี Independent sample t-test ที่ความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ พบว่าปริมาณแบคทีเรียในแปลงควบคุมและแปลงที่พ่นอะทราซีนไม่แตกต่างกันทางสถิติ ปริมาณแบคทีเรียในแปลงทดลองไม่แตกต่างกันแสดงให้เห็นว่าการฉีดพ่นอะทราซีนไม่มีผลต่อแบคทีเรียในดินดังแสดงใน Table 2

ปริมาณราดิน ในแปลงทดลองจังหวัดสุพรรณบุรี พบว่าในแปลงควบคุมมีปริมาณ 4.73, 4.65, 4.58, 4.82, 4.82 และ 4.78 Log₁₀ CFU/กรัมดิน แปลงที่พ่นอะทราซีนมีปริมาณราดิน 4.58, 4.61, 4.56, 4.78, 6.83 และ 4.68 Log₁₀ CFU/กรัมดิน เมื่อเก็บตัวอย่างดินหลังฉีดพ่น 2 ชั่วโมง, 24 ชั่วโมง 3 วัน 7 วัน 15 วัน และ 30 วันตามลำดับ การเปรียบเทียบปริมาณราดินด้วยวิธี Independent sample t-test ที่ความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ พบว่าปริมาณราดินในแปลงควบคุมและแปลงที่พ่นอะทราซีนไม่แตกต่างกันทางสถิติ

แปลงทดลองจังหวัดขอนแก่น พบว่าแปลงควบคุมมีปริมาณราดิน 4.32, 4.41, 4.24, 4.70, 4.91 และ 6.28 Log₁₀ CFU/กรัมดิน แปลงที่พ่นอะทราซีน มีปริมาณราดิน 4.38, 4.44, 4.20, 4.76, 4.94 และ 6.26 Log₁₀ CFU/กรัมดิน เมื่อเก็บตัวอย่างดินหลังฉีดพ่น 2 ชั่วโมง, 24 ชั่วโมง 3 วัน 7 วัน 15 วัน และ 30 วันตามลำดับ การเปรียบเทียบปริมาณราดินด้วยวิธี Independent sample t-test ที่ความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ พบว่าปริมาณราดินในแปลงควบคุมและแปลงที่พ่นอะทราซีนไม่แตกต่างกันทางสถิติ ปริมาณราดินในแปลงทดลองไม่แตกต่างกันแสดงให้เห็นว่าการฉีดพ่นอะทราซีน ไม่มีผลต่อราในดินดังแสดงใน Table 3

ปริมาณแอคติโนมัยสีทในแปลงทดลองจังหวัดสุพรรณบุรี พบว่าแปลงควบคุมมีปริมาณแอคติโนมัยสีท 5.79, 5.66, 5.73, 5.88, 6.11 และ 6.14 Log₁₀ CFU/กรัมดิน แปลงที่พ่นอะทราซีนมีปริมาณแอคติโนมัยสีท 5.75, 5.66, 5.63, 5.81, 6.09 และ 5.97 Log₁₀ CFU/กรัมดิน เมื่อเก็บตัวอย่างดินหลังพ่น 2 ชั่วโมง, 24 ชั่วโมง 3 วัน 7 วัน 15 วัน และ 30 วันตามลำดับ การเปรียบเทียบปริมาณแอคติโนมัยสีทด้วยวิธี Independent sample t-test ที่ความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ พบว่าปริมาณแอคติโนมัยสีทในแปลงควบคุมและแปลงที่พ่นอะทราซีนไม่แตกต่างกันทางสถิติ

แปลงทดลองจังหวัดขอนแก่น พบว่าในแปลงควบคุมมีปริมาณแอคติโนมัยสีท 5.67, 5.71, 5.71, 5.59, 5.71 และ 5.57 Log₁₀ CFU/กรัมดิน แปลงที่พ่นอะทราซีนมีปริมาณแอคติโนมัยสีท 5.81, 5.63, 5.79, 5.77, 5.71 และ 5.66 Log₁₀ CFU/กรัมดิน เมื่อเก็บตัวอย่างดินหลังฉีดพ่น 2 ชั่วโมง, 24 ชั่วโมง 3 วัน 7 วัน 15 วัน และ 30 วันตามลำดับ การเปรียบเทียบปริมาณแอคติโนมัยสีทด้วยวิธี Independent sample t-test ที่ความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ พบว่าปริมาณแอคติโนมัยสีทในแปลงควบคุมและแปลงที่พ่นอะทราซีนไม่แตกต่างกันทางสถิติ ปริมาณแอคติโนมัยสีทในแปลงทดลองไม่แตกต่างกันแสดงให้เห็นว่าการฉีดพ่นอะทราซีน ไม่มีผลต่อปริมาณแอคติโนมัยสีทดังแสดงใน Table 4

ปริมาณแบคทีเรีย ราดิน และแอคติโนมัยสีทระหว่างแปลงควบคุมและแปลงที่พ่นอะทราซีนพบว่าทั้ง 2 พื้นที่ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ สอดคล้องกับการทดลองของ Cole (1976) ที่พบว่าการพ่นอะทราซีนปริมาณ 3.4 กิโลกรัมต่อเฮกตาร์ จำนวนของแบคทีเรีย และรา ที่พบไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญระหว่างแปลงควบคุม และแปลงที่พ่นอะทราซีนนอกจากนี้พบว่าการใช้สารอะทราซีนอัตรา 4 กิโลกรัมต่อเฮกตาร์ จำนวนแบคทีเรีย และรา ทั้งหมดไม่แตกต่างกัน (Voets et al., 1974)

3. การย่อยสลายสารอะทราซีนโดยจุลินทรีย์ดิน

ผลการคัดแยกแบคทีเรียโดยวิธี enrichment culture ในแต่ละพื้นที่ พบว่ามีแบคทีเรียจำนวน 9 สายพันธุ์ สามารถเจริญในอาหารที่ปราศจาก ไนโตรเจน และคาร์บอน เมื่อนำมาจำแนกชนิดสามารถจำแนกได้เป็น 5 ชนิดได้แก่ *Bacillus megaterium*, *Pseudomonas putida*, *Agrobacterium radiobacter*, *Paenarthrobacter ureafaciens* และ *Acinetobacter lactucae* แบคทีเรียทั้ง 5 ชนิดมีความทนทานต่อสารอะทราซีน เมื่อนำมาเลี้ยงในอาหารที่ปราศจากแหล่งไนโตรเจนหรือแหล่งคาร์บอนที่ผสมสารอะทราซีนความเข้มข้น 500 มิลลิกรัมต่อลิตร พบว่าแบคทีเรียเหล่านี้สามารถเจริญบนอาหารดังกล่าวได้ โดยพบว่า *Bacillus megaterium*, *Pseudomonas putida* และ *Acinetobacter lactucae* เป็นแบคทีเรียที่ใช้อะทราซีนแทนแหล่งไนโตรเจน ในขณะที่ *Agrobacterium radiobacter* และ *Paenarthrobacter ureafaciens* เป็นแบคทีเรียที่ใช้อะทราซีนแทนแหล่งไนโตรเจนและคาร์บอน (Table 5 Fig.1-5) แบคทีเรียทั้ง 5 ชนิดนี้มีรายงานว่าสามารถย่อยสลายสารอะทราซีนได้ เช่น รายงานของ Zhu et al. (2019) พบว่า *Bacillus megaterium* สายพันธุ์ ATLJ-11 มีประสิทธิภาพในการย่อยสลายอะทราซีน (50 มิลลิกรัมต่อลิตร) ได้สูงถึง 98.6% ซึ่งสายพันธุ์ ATLJ-11 นี้มีความทนทานต่ออะทราซีนสูง และสามารถทนต่ออะทราซีนได้ถึง 1,000 มิลลิกรัมต่อลิตร Struthers et al. (1998) รายงานว่า *Agrobacterium radiobacter* สายพันธุ์ J14a สามารถใช้แหล่งคาร์บอนและไนโตรเจนจากสารอะทราซีนเพื่อการเจริญเติบโตโดยพบว่าจำนวนเซลล์ของ *A. radiobacter* ไม่ลดลง โดยสามารถเจริญได้ในอาหารที่มีอะทราซีน 50 และ 200 มิลลิกรัมต่อลิตร Zhang et al. (2022) พบว่า *Paenarthrobacter ureafaciens* สายพันธุ์ ZF1 สามารถย่อยสลายอะทราซีน ได้อย่างสมบูรณ์ที่ความเข้มข้น 100 มิลลิกรัมต่อลิตร ภายใน 2 ชั่วโมงในอาหารเหลว และสามารถกำจัดอะทราซีนได้ถึง 99.3% ในดิน ภายใน 6 วัน de Souza et al., (1996) ศึกษาการย่อยสลายสาร atrazine ของ *Pseudomonas* sp. strain ADP พบว่าลด ความเป็นพิษของ atrazine ด้วยการผลิตเอนไซม์ออกมากำจัด Cl (hydrolytic dechlorination) ออกจากโครงสร้างของ atrazine ให้เป็นสาร hydroxyatrazine จากรายงานของ Singh et al., (2004) พบว่าแบคทีเรียในสกุล *Acinetobacter* มีความสามารถในการย่อยสลายอะทราซีนได้สูงถึง 250 ppm จากงานวิจัยที่กล่าวข้างต้นชี้ให้เห็นว่าแบคทีเรียทั้ง 5 ชนิดที่คัดแยกได้มีความเหมาะสมในการนำไปศึกษาการย่อยสลายสารอะทราซีนที่ตกค้างในดินต่อไปได้

มีรายงานพบว่า รา *Aspergillus niger* และ *Trichoderma* spp. สามารถย่อยสลายอะทราซีนได้อย่างมีประสิทธิภาพเมื่อศึกษาขบวนการย่อยสลายโดยจุลินทรีย์ในระดับอนุชีววิทยาพบว่าถูกควบคุมโดยยีน atzA, atzB, atzC และ trzN (Krutz et.al., 2008) และมีรายงานเกี่ยวกับการใช้รา *Trichoderma* spp. ในการย่อยสลายสารอะทราซีนซึ่งพบว่าเป็นรา *T. viridae* (Muthuselvam and Arunkumar, 2009) ในการทดลองครั้งนี้พบราดินจำนวน 7 สายพันธุ์ ที่มีความทนทานต่อสารอะทราซีน ซึ่งแยกได้จากดินในแปลงปลูกอ้อยและข้าวโพดที่มีการพ่นสารอะทราซีน โดยราดินทั้ง 7 สายพันธุ์นี้สามารถเจริญในอาหารเลี้ยงเชื้อที่ใส่สารอะทราซีน 50 มิลลิกรัมต่อลิตร ราทั้ง 7 สายพันธุ์สามารถจำแนกได้เป็น 2 สกุลได้แก่ *Trichoderma* spp. และ *Aspergillus* spp. 1 ชนิดได้แก่ *Aspergillus niger* (Fig. 6) ซึ่งพบว่าเป็นราที่ทนทานต่ออะทราซีนเมื่อนำไปศึกษาการย่อยสลายสารอะทราซีนในอาหารเหลว Czapek Dox Broth ที่ผสมสารอะทราซีน 35 มิลลิกรัมต่อลิตร พบว่าเมื่อเวลาผ่าน

ไป 30 วัน รา *Aspergillus niger* สายพันธุ์ AT-8 ที่แยกได้จากดินแปลงปลูกอ้อย จ.ขอนแก่น ทำให้ปริมาณอะหาราซินในอาหารเลี้ยงเชื้อลดลงสูงถึง 97.63 เปอร์เซ็นต์ รองลงมาได้แก่รา *Aspergillus* sp. สายพันธุ์ AT-9 ทำให้อะหาราซินลดลง 90.50 เปอร์เซ็นต์ ส่วนรา *Trichoderma* spp. ที่ใช้ทดสอบการย่อยสลายอะหาราซินทั้ง 5 สายพันธุ์พบว่าสายพันธุ์ AT-4 ที่แยกได้จากดินในแปลงอ้อย จ.สุพรรณบุรี ทำให้ปริมาณสารอะหาราซินในอาหารเลี้ยงเชื้อลดลงสูงสุดเท่ากับ 56.11 เปอร์เซ็นต์ ในขณะที่รา *Trichoderma* sp. สายพันธุ์ AT-2 ที่แยกได้จากดินในแปลงปลูกอ้อย จ.ขอนแก่น ทำให้ปริมาณสารอะหาราซินในอาหารเลี้ยงเชื้อลดลงน้อยที่สุดเท่ากับ 30.15 เปอร์เซ็นต์ (Table 6)

Table 1 General characteristics of soils at Khon Kaen and Suphan Buri provinces before applying atrazine.

Treatments	pH (1:1)	OM (g kg ⁻¹)	Avail. P (----- mg kg ⁻¹ -----)	Exch. K	CEC (cmol kg ⁻¹)	Particle size distribution (%)			Textural class
						Sand	Silt	clay	
Khon Kaen	6.01	3.41	3.80	11.28	3.22	63.66	32.09	4.25	Sandy loam
Suphanburi	7.02	15.80	123.30	147.63	13.28	33.79	45.18	21.03	loam

Table 2 Quantities of bacteria in soil at Khon Kaen and Suphan Buri provinces after applying atrazine.

Location	Treatments	Sampling time					
		2 hours	24 hours	3 days	7 days	15 days	30 days
		(Log ₁₀ CFU/g soil)					
Suphanburi	Control	6.91	6.87	6.81	6.89	6.76	6.77
	atrazine	6.93	6.88	6.85	6.88	6.75	6.78
t-stat		-0.14	-0.03	-0.43	0.05	0.02	-0.05
T Critical two-tail							
Khon Kaen	Control	6.23	6.16	6.48	5.15	6.30	6.83
	atrazine	6.26	6.14	6.51	5.25	6.25	6.88
t-stat		-0.41	0.31	-0.28	-0.31	0.70	-0.22
T Critical two-tail		2.07	2.07	2.07	2.18	2.07	2.07

Table 3 Quantities of fungi in soil at Khon Kaen and Suphan Buri provinces after applying atrazine.

Location	Treatments	Sampling time					
		2 hours	24 hours	3 days	7 days	15 days	30 days
		(Log ₁₀ CFU/ g soil)					
Suphanburi	Control	4.73	4.65	4.58	4.82	6.82	4.78
	atrazine	4.58	4.61	4.56	4.78	6.83	4.68
t-stat		1.33	0.38	0.37	0.29	-0.14	0.56
t Critical two-tail		2.07	2.07	2.07	2.10	2.20	2.11
Khon Kaen	Control	4.34	4.41	4.24	4.70	4.91	6.28
	atrazine	4.38	4.44	4.20	4.76	4.94	6.26
t-stat		-0.52	-0.20	0.36	-0.73	-0.15	0.34
t Critical two-tail		2.07	2.07	2.07	2.07	2.07	2.07

Table 4 Quantities of Actinomycetes in soil at Khon Kaen and Suphan Buri provinces after applying atrazine.

Location	Treatments	Sampling time					
		2 hours	24 hours	3 days	7 days	15 days	30 days
		(Log ₁₀ CFU/g soil)					
suphanburi	Control	5.79	5.66	5.73	5.88	6.11	6.14
	atrazine	5.75	5.66	5.63	5.81	6.09	5.97
t-stat		0.82	0.07	1.62	1.26	0.25	1.87
t Critical two-tail		2.07	2.07	2.10	2.09	2.07	2.07
Khon Kaen	Control	5.67	5.71	5.71	5.59	5.71	5.57
	atrazine	5.81	5.63	5.79	5.77	5.71	5.66
t-stat		-4.26	2.43	-1.72	-3.51	-0.26	-3.00
t Critical two-tail		2.07	2.07	2.07	2.08	2.07	2.10

Table 5 Bacterial strains that use atrazine as a source of nitrogen and carbon for growth

No.	Bacterial Species	Location
1	<i>Bacillus megaterium</i> (KK1)	Sugarcane field at Khon Kaen province
2	<i>Bacillus megaterium</i> (SP1)	Sugarcane field at Suphanburi province
3	<i>Pseudomonas putida</i> (KK2)	Sugarcane field at Khon Kaen province
4	<i>Pseudomonas putida</i> (SP2)	Sugarcane field at Suphanburi province
5	<i>Agrobacterium radiobacter</i> (KK3)	Sugarcane field at Khon Kaen province
6	<i>Agrobacterium radiobacter</i> (SP3)	Sugarcane field at Suphanburi province
7	<i>Paenarthrobacter ureafaciens</i> (KK4)	Sugarcane field at Khon Kaen province
8	<i>Paenarthrobacter ureafaciens</i> (SP4)	Sugarcane field at Suphanburi province
9	<i>Acinetobacter lactucae</i> (KK5)	Sugarcane field at Khon Kaen province

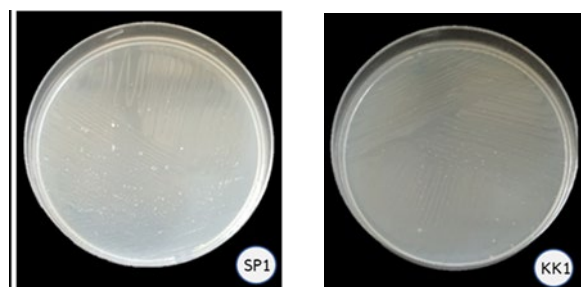


Fig. 1 *Bacillus megaterium* colony on R-medium added 500 mg/L of atrazine as a sole nitrogen source

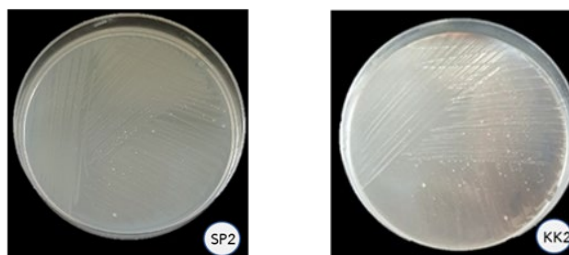


Fig. 2 *Pseudomonas putida* colony on R-medium added 500 mg/L of atrazine as a sole nitrogen source

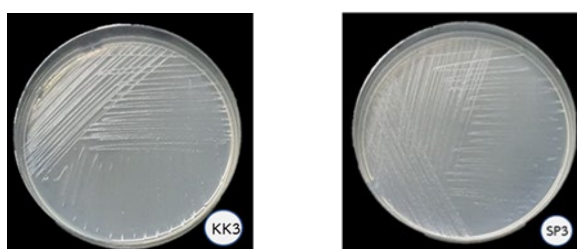


Fig. 3 *Agrobacterium radiobacter* colony on R-medium added 500 mg/L of atrazine as a nitrogen and carbon sources

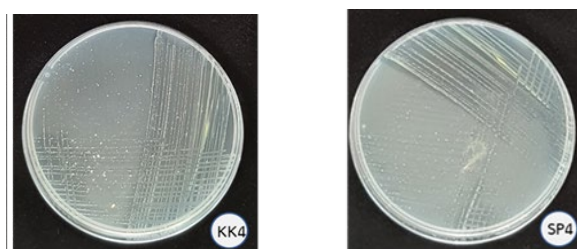


Fig. 4 Colony of *Paenarthrobacter ureafaciens* on R-medium added 500 mg/L of atrazine as a nitrogen and carbon source

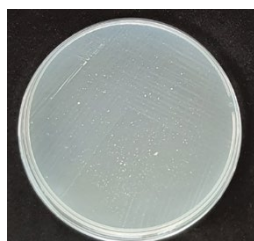


Fig. 5 Colony of *Acinetobacter lactucae* (KK5) on R-medium added 500 mg./L of atrazine as a sole nitrogen source

Table 6 Fungal strains used to test the efficiency of atrazine degradation

No.	Fungal strains	Location	Decreased amount of atrazine (%)
1	<i>Trichoderma virens</i> (AT-1)	Sugarcane field at Khon Kaen province	34.78
2	<i>Trichoderma harzianum</i> (AT-2)	Sugarcane field at Khon Kaen province	30.15
3	<i>Trichoderma virens</i> (AT-3)	Sugarcane field at Khon Kaen province	45.93
4	<i>Trichoderma virens</i> (AT-4)	Sugarcane field at Suphanburi province	56.11
5	<i>Trichoderma harzianum</i> (AT-5)	Sugarcane field at Suphanburi province	35.87
6	<i>Aspergillus niger</i> (AT-8)	Sugarcane field at Khon Kaen province	97.63
7	<i>Aspergillus</i> sp. (AT-9)	Sugarcane field at Suphanburi province	90.50

สรุปผลการทดลอง

การใช้สารกำจัดวัชพืชมีความจำเป็นในการควบคุมวัชพืช การทดลองครั้งนี้ได้ใช้สารกำจัดวัชพืชอะทราซีนในแปลงปลูกอ้อย เพื่อศึกษาถึงผลกระทบของสารอะทราซีนต่อชนิดและปริมาณจุลินทรีย์ในดินที่ระยะเวลาหลังพ่นสาร 2 ชั่วโมง , 24 ชั่วโมง, 3 วัน, 7 วัน, 15 วัน และ 30 วัน พบว่าในแปลงควบคุมตรวจไม่พบสารอะทราซีนในแปลงที่พ่นอะทราซีนพบว่าหลังพ่นตรวจพบอะทราซีนเมื่อเวลาผ่านไปอะทราซีนค่อย ๆ ลดปริมาณลงจนไม่สามารถตรวจพบได้ และพบว่าดินในจังหวัดสุพรรณบุรีซึ่งเป็นดินร่วนและมีปริมาณอินทรีย์วัตถุมากมีการดูดซับอะทราซีนไว้ในดินได้นานกว่าดินในจังหวัดขอนแก่นซึ่งเป็นดินทราย ผลกระทบของอะทราซีนต่อปริมาณจุลินทรีย์ดินพบว่าปริมาณจุลินทรีย์ทั้งแบคทีเรีย รา และแอคติโนมัยสัท ในแปลงควบคุมและแปลงที่พ่นอะทราซีนไม่มีความแตกต่างทางสถิติจากกล่าวได้ว่าสารอะทราซีนไม่มีผลต่อจุลินทรีย์ดิน การทดลองครั้งนี้พบแบคทีเรียที่สามารถใช้อะทราซีนเป็นแหล่งไนโตรเจนและคาร์บอนในการเจริญเติบโตทั้งหมด 9 สายพันธุ์แบ่งเป็น 5 ชนิดได้แก่ *Bacillus megaterium*, *Pseudomonas putida*, *Agrobacterium radiobacter*, *Paenarthrobacter ureafaciens* และ *Acinetobacter lactucae* และพบราดินจำนวน 7 สายพันธุ์แบ่งเป็น 2 สกุล ได้แก่ *Trichoderma* spp. และ *Aspergillus* spp. รา *Aspergillus niger* สายพันธุ์ AT-8 สามารถย่อยสลายสารอะทราซีนในอาหารเลี้ยงเชื้อได้สูงถึง 97.63 เปอร์เซ็นต์

คำขอบคุณ

งานวิจัยนี้ได้รับทุนสนับสนุนจากสำนักงานคณะกรรมการส่งเสริมวิทยาศาสตร์ วิจัยและนวัตกรรม (สกสว.) คณะผู้วิจัยขอขอบคุณมา ณ โอกาสนี้ด้วย

การนำผลงานวิจัยไปใช้ประโยชน์

องค์ความรู้เกี่ยวกับจุลินทรีย์ที่มีประสิทธิภาพในการย่อยสลายสารกำจัดวัชพืชสามารถนำไปพัฒนาต่อยอดในการบำบัดสารพิษตกค้างในดินได้ และสร้างความตระหนักเกี่ยวกับผลกระทบจากการใช้สารกำจัดวัชพืชต่อจุลินทรีย์ดิน โดยการนำผลงานวิจัยไปใช้ประโยชน์จะอยู่ในรูปแบบเอกสารวิชาการ และการนำเสนอผลงานวิจัยในที่ประชุมต่าง ๆ

เอกสารอ้างอิง

- กัญ อนุตตสมบุรณ์ และอินทิรา แฉมพยัคฆ์. 2562. การแสดงออกของยีน atzA และประสิทธิภาพในการย่อยสลายอาหารของเชื้อราไตรโคเดอร์มาที่คัดแยกจากดินเพาะปลูกพืช. *Science and Technology* 8(2): 91-103.
- กรมควบคุมมลพิษ. 2548. ประกาศคณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ ฉบับที่ 25 (พ.ศ. 2547) ออกตามความในพระราชบัญญัติส่งเสริมและรักษาคุณภาพสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ พ.ศ. 2535 เรื่อง กำหนดมาตรฐานคุณภาพดิน ดิพิมพีในราชกิจจานุเบกษา เล่ม 121 ตอนพิเศษ 119ง ลงวันที่ 20 ตุลาคม 2547. แหล่งที่มา http://www.pcd.go.th/info_serv/reg_std_soil01.html, 7 มิถุนายน 2563.
- กรรณิการ์ สัจจาพันธ์. 2552. รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์ โครงการ การย่อยสลายและการบำบัดทางชีวภาพของสารกำจัดวัชพืชอาหารพืชในดินประเทศไทย. สำนักงานคณะกรรมการการอุดมศึกษาและสำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย. 117 หน้า.
- รัชนี้ มิ่งมา. 2552. แอคติโนมัยสีทจากรากและดินรอบรากพืชตระกูลถั่วและการยับยั้งจุลินทรีย์ก่อโรค. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- สำนักควบคุมพืชและวัสดุการเกษตร. 2567. แหล่งที่มา <https://shorturl.at/tEZng>, 5 พฤศจิกายน 2567.
- เอิบ เขียวรีนรมณ์. 2548. การสำรวจดิน. พิมพ์ครั้งที่ 2. สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.
- Babic, S., M. Petrovic and K. Kastelan-Macan. 1998. Ultrasonic solvent extraction of Pesticides from soil. *J. Chromatogr. A.* 823 :1-2.
- Barron, G.L. 1968. *The Genera of Hyphomycetes from Soil*. Waverly Press, Inc., USA.
- Bray, R.H. and L.T. Kunzt. 1945. Determination of total organic and available form of phosphorus in soil. *Soil Science* 59: 3945.
- Chapman, H.D. 1965. Cation exchange capacity, pp. 891901. In C.A. Black, ed. *Methods of soil Analysis. Part II. Agronomy No. 9. Amer. Soc. of Agron., Madison, Wisconsin.*
- Chernov, T.I., A.K. Tkachakhova and O.V. Kutovaya. 2015. Assessment of diversity indices for the characterization of the soil prokaryotic community by metagenomic analysis. *Eurasian Soil Sci.* 48, 410-415.
- Cole M. A. 1976. Effect of Long-Term Atrazine Application on Soil Microbial Activity. *Weed Science.* 24: 473-476.
- Curran, W.S. 2001. Persistence of herbicides in soil. The Pennsylvania state University, Pennsylvania.

- de Souza, M.L., M.L. Sadowsky and L.P. Wackrtt. 1996. Atrazine chlorohydrolase from *Pseudomonas* sp. strain ADP gene sequence, enzyme purification and protein characterization. *J. Bacteriol.* 178: 4894-4900.
- EN 15662. 2008. Foods of plant origin - Determination of pesticide residues using GC-MS and/or LCMS/MS following acetonitrile extraction/partitioning and clean-up by dispersive SPE – QuEChERS method
- Farruggia, F., C. Rossmeisl, J. Hetrick and M. Biscoe. 2016. Refined ecological risk assessment for atrazine. United States Environmental Protection Agency, Washinton D.C. USA.
- Gee, G.W. and J.W. Bauder. 1986. Particle Size Analysis. *In: Methods of Soil Analysis, Part A.* Klute (ed.). 2 Ed., Vol. 9 nd. Am. Soc. Agron., Madison, WI, pp: 383-411.
- Hong, R., Z. Guo, J. Gao and C. Gu. 2017. Rapid degradation of atrazine by hydroxyl radical induced from montmorillonite templated subnano-sized zero-valent copper. *Chemosphere* 180: 335–342.
- Jamil, T., T. Allah, H. Ibrahim and T. Saleh. 2010. Adsorption and isothermal model of atrazine by zeolite prepared from Egyptian kaolin. *Solid State Sci.* 13: 198–203.
- Krutz, L.J., D.L. Shaner, C. Accinelli, R.M. Zablotowicz and W.B. Henry. 2008. Atrazine dissipation in-triazine adapted and nonadapted soil from Colorado and Mississippi: implications of enhanced degradation on Atrazine fate and transport parameters. *J. Environ. Qual.* 37 (3): 848–857.
- Muthuselvam, M., and S. Arunkumar. 2009. Biological degradation of herbicide (atrazine) using *Pseudomonas aeruginosa* and *Trichoderma viridae*. *Journal of Pure and Applied Microbiology.* 3(2): 661-666.
- National Soil Survey Center. 1996. Soil Survey Laboratory Method Manual. Soil Survey Investigation. Report No. 42, Version 3.0 National Resources Conservation Service, United States Dept. of Agr, Nebraska.
- Nelson, D.W. and L.E. Sommers. 1996. Tota carbon, and oganic matter, pp.961-1010. *In* D.L. Sparks, A.L. Page, P.A. Helmka and R.H. Loeppert, eds. *Methods of Soil Analysis. Part III. Chemical Method.* Amer. Soc. Agron. Inc., Madison, Wisconsin, USA.
- Oliveira, R.S., W.C. Koskinen and F.A. Ferreira. 2001. Sorption and leaching potential of herbicides on Brazillian soils. *Weed Research* 41: 97-100.
- Singh, P., C.R. Suri and S.S. Cameotra. 2004. Isolation of a member of *Acinetobacter* species involved in atrazine degradation. *Biochem Biopphys Res Commun.* 317(3): 697-702.
- Struthers, J.K., K. Jayachandran and T.B. Moorman. 1998. Biodegradation of Atrazine by *Agrobacterium radiobacter* J14a and Use of This Strain in Bioremediation of Contaminated Soil. *Applied and Environmental Microbiology.* 64(9): 3368-3375.

- Thomas, G. W. 1982. Exchangeable Cations. *Methods of Soil Analysis: Part 2, Chemical and Microbiological Properties*, Second Edition. A.L. Page (editor). Agronomy, No. 9, Part 2, American Society of Agronomy, Soil Science Society of America, Madison, WI: 159-165.
- Vogue, P.A., E.A. Kerle and J.J. Jenkins. 2004. OSU extension pesticide properties database; Oregon State University: Corvallis, OR.
- Voets, J. P., Meerschman, P. Verstraete, W. 1974. Soil microbiological and biochemical effects of long-term atrazine applications. *Soil Biol. Biochem.* 6: 149-152.
- Wang, D., J.Y. Shin, M.A. Cheney, G. Sposito and T.G. Spiro. 1999. Manganese dioxide as a catalyst for oxygen-independent atrazine dealkylation. *Environ. Sci. Technol.* 33: 3160–3165.
- Zhang, Z., Q. Fu, C. Xiao, M. Ding, D. Liang, H. Li and R. Liu. 2022. Impact of *Paenarthrobacter ureafaciens* ZF1 on the soil enzyme activity and microbial community during the bioremediation of atrazine-contaminated soils. *BMC Microbiology.* 22: 146
- Zhu, J., L. Fu, C. Jin, Z. Meng and N. Yang. 2019. Study on the Isolation of Two Atrazine-Degrading Bacteria and Development of a Microbial agent. *Microorganisms.* 7(80): 1-11.

ผลกระทบของการใช้อะทราซีนต่อจุลินทรีย์ดินในแปลงปลูกข้าวโพดเลี้ยงสัตว์
จังหวัดลพบุรี และนครราชสีมา

Effects of atrazine application on soil microorganisms in corn fields at
Lopburi and Nakhon Ratchasima provinces

มนต์ชัย มนัสสิลา¹ จิตรา เกาะแก้ว¹ อำนาจ เอี่ยมวิจารณ์¹ กิตจเมธ แจ่มศิริกุล¹ ปภัสรา คุณเลิศ²
เมอรัชต์พัชร เขียววิชัย³ จริญญา ปิ่นสุภา⁴

Monchai Manassila¹ Jitra Kokaew¹ Amnat Eamvijarn¹ Kitjamate Jangsirikul¹
Paphatsara Khunlert² Choeratphatchra Khieowichai³ Jarunya Pinsupa⁴

กลุ่มวิจัยปฐพีวิทยา

กองวิจัยพัฒนาปัจจัยการผลิตทางการเกษตร

ABSTRACT

Study the effects of atrazine on soil microorganisms in corn fields at Lopburi and Nakhon Ratchasima provinces by analyzing soil physical and chemical properties, measuring soil residues, and comparing soil microorganisms, including bacteria, fungi, and actinomycetes, using the independent sample t-test at 95 percent confidence. It was found that the soil at Lopburi province was loamy soil with relatively low organic matter, high phosphorus, potassium, and cation exchange capacity. At Nakhon Ratchasima province, the soil was clay soil with moderate organic matter, high phosphorus, potassium, and cation exchange capacity. Atrazine was detected only in the fields where the herbicide was sprayed, and the amount of the substance decreased with increasing time. The number of soil microorganisms, including bacteria, fungi, and actinomycetes, showed that the amounts of microorganisms in the three groups in the control and atrazine-sprayed fields was not statistically different. Atrazine spraying did not result in statistically different amounts of bacteria, fungi and actinomycetes in both experimental areas. Since this experiment was conducted in a short period of time, a longer study period should be used for more definitive results.

Keywords: Maize, Bacteria, Fungi, Actinomycetes, Atrazine

¹ กลุ่มวิจัยปฐพีวิทยา กองวิจัยพัฒนาปัจจัยการผลิตทางการเกษตร กรมวิชาการเกษตร กรุงเทพฯ 10900

¹ Soil Science Research Group, Agricultural Production Science Research and Development Division, Department of Agriculture, Bangkok 10900, Thailand

² กลุ่มวิจัยวัฏภูมิพืชการเกษตร กองวิจัยพัฒนาปัจจัยการผลิตทางการเกษตร กรมวิชาการเกษตร กรุงเทพฯ 10900

² Pesticide Research Group, Agricultural Production Science Research and Development Division, Department of Agriculture, Bangkok 10900, Thailand

³ ศูนย์วิจัยและพัฒนาเมล็ดพันธุ์พืชลพบุรี กองวิจัยพัฒนาเมล็ดพันธุ์พืช ลพบุรี 15000

³ Lopburi Seed Research and Development Center, Lopburi 15000, Thailand

⁴ สำนักวิจัยพัฒนาการอารักขาพืช กรมวิชาการเกษตร กรุงเทพฯ 10900

⁴ Plant Protection Research and Development office, Department of Agriculture, Bangkok 10900, Thailand

บทคัดย่อ

ศึกษาผลกระทบจากการใช้สารกำจัดวัชพืชอะทราซีนต่อจุลินทรีย์ดิน ในแปลงปลูกข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ จังหวัดลพบุรีและนครราชสีมา โดยการวิเคราะห์คุณสมบัติทางกายภาพและเคมีดิน วัดปริมาณสารตกค้างในดิน เปรียบเทียบปริมาณจุลินทรีย์ดินได้แก่ แบคทีเรีย รา และแอคติโนมัยสีท ด้วยวิธี Independent sample t-test ที่ความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ พบว่าเนื้อดินในจังหวัดลพบุรีเป็นดินร่วน มีอินทรีย์วัตถุค่อนข้างต่ำ ฟอสฟอรัส โพแทสเซียม และความจุแลกเปลี่ยนแคตไอออนสูง จังหวัดนครราชสีมาเนื้อดินเป็นดินเหนียว มีอินทรีย์วัตถุปานกลาง ฟอสฟอรัส โพแทสเซียม และความจุแลกเปลี่ยนแคตไอออนอยู่ในระดับสูง ตรวจพบสารอะทราซีน เฉพาะในแปลงที่มีการพ่นอะทราซีน และพบว่าปริมาณอะทราซีนจะลดลงเมื่อระยะเวลาผ่านไป ปริมาณจุลินทรีย์ในดินทั้งแบคทีเรีย รา และแอคติโนมัยสีท พบว่าในแปลงควบคุมและแปลงที่พ่นสารอะทราซีนมีปริมาณจุลินทรีย์ทั้ง 3 กลุ่มไม่แตกต่างกันทางสถิติ การพ่นอะทราซีนไม่ทำให้ปริมาณแบคทีเรีย รา และแอคติโนมัยสีทมีความแตกต่างกันทางสถิติ ทั้ง 2 พื้นที่การทดลอง เนื่องจากการทดลองครั้งนี้เป็นการศึกษาในช่วงระยะเวลาดสั้น ๆ จึงควรเพิ่มระยะเวลาในการศึกษาให้ยาวนานกว่านี้เพื่อผลที่ชัดเจนมากยิ่งขึ้น

คำสำคัญ: ข้าวโพดเลี้ยงสัตว์; แบคทีเรีย; รา; แอคติโนมัยสีท; อะทราซีน

บทนำ

อะทราซีนเป็นสารกำจัดวัชพืชที่นิยมใช้ในแปลงปลูกข้าวโพด อะทราซีนสามารถควบคุมวัชพืชและปรับปรุงผลผลิตพืชได้อย่างมีประสิทธิภาพ สารกลุ่มนี้จะเข้าสู่พืชทางรากและเคลื่อนย้ายจากรากสู่ใบไปตามท่อน้ำ ทำลายพืชโดยการยับยั้งการสังเคราะห์แสงด้วยการจับกับเอนไซม์ tyrosinase ซึ่งเป็นเอนไซม์ที่เกี่ยวข้องกับการเกิด oxidation ทำให้เซลล์พืชตาย (Mou et al., 2011) อะทราซีนเป็นสารกำจัดวัชพืชประเภทเลือกทำลาย ใช้งานง่ายและราคาถูก นิยมใช้เป็นยาก่อนงอกวัชพืชก่อนงอก ใช้อย่างแพร่หลายในการควบคุมวัชพืชในไร่ข้าวโพด และวัชพืชวงศ์หญ้าบางชนิด ในไร่ข้าวโพด ข้าวฟ่าง อ้อย สับปะรด ถั่วลิสง พืชวงศ์ส้ม เป็นต้น อะทราซีนมีความคงทนในดินสูงเคลื่อนย้ายในดินได้ปานกลางถึงมาก ทำให้เกิดการตกค้างในแหล่งน้ำใต้ดินสูง การเคลื่อนที่ของอะทราซีนในดินจะเกี่ยวข้องกับการดูดซับของคอลลอยด์ในดิน ถ้าปริมาณสารอินทรีย์วัตถุและอนุภาคดินเหนียวมีค่าสูงจะดูดซับ อะทราซีนไว้ได้มาก ดินสามารถปล่อยสารที่ดูดซับออกมาได้ ซึ่งจะขึ้นกับปัจจัยภายนอกต่าง ๆ ได้แก่ ปริมาณการใช้ และลักษณะของดิน เช่น ดินชนิด clay loam จะยึดเกาะอะทราซีนได้แน่นกว่าชนิด fine sandy loam รวมไปถึง อุณหภูมิ ความชื้น ค่า pH ของดิน ค่าการละลายน้ำ และค่าสัมประสิทธิ์การดูดซับของสาร เป็นต้น (Farruggia et al., 2016; Ross and Lembi, 2009) การใช้อะทราซีนเป็นเวลานานจะทำให้เกิดมลพิษต่อระบบนิเวศทางการเกษตรอย่างต่อเนื่อง โดยเฉพาะในระบบนิเวศของดิน และผลกระทบต่อจุลินทรีย์ในดินซึ่งยังไม่มีข้อมูลชัดเจน ดังนั้นการวิจัยนี้จึงศึกษาผลกระทบของอะทราซีนต่อจำนวนประชากรของจุลินทรีย์ดิน เพื่อเป็นแนวทางในการเฝ้าระวังถึงผลกระทบที่อาจเกิดขึ้นต่อจุลินทรีย์ดินโดยเฉพาะจุลินทรีย์ที่เป็นประโยชน์ทางการเกษตร

อุปกรณ์และวิธีการ

อุปกรณ์

อุปกรณ์

1. จอบ, พลั่วมือ
2. ขวด, ถังเก็บตัวอย่างดิน
3. ถังเก็บความเย็นสำหรับบรรจุถังเก็บตัวอย่างดิน
4. เครื่องแก้วสำหรับใช้ในห้องปฏิบัติการ

สารเคมี

5. อาหารเลี้ยงเชื้อสำหรับแยกจุลินทรีย์ดิน ได้แก่ potato dextrose agar, nutrient agar, starch casein agar
6. สารเคมีสำหรับการสกัดอะทราซีนในดิน
7. สารเคมีสำหรับสกัดดีเอ็นเอจากตัวอย่างดิน
8. สารอะทราซีนสำหรับฉีดพ่นในแปลง

วิธีการ

1. การเก็บตัวอย่างดิน และการพ่นสารอะทราซีนในแปลงปลูกข้าวโพดเลี้ยงสัตว์

ดำเนินการปลูกข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ในแปลงทดลองจังหวัดลพบุรี เมื่อวันที่ 25 เม.ย. 2565 และแปลงทดลองนครราชสีมา เมื่อวันที่ 16 มิ.ย. 2565 โดยมีระยะระหว่างแถวปลูก 0.75x0.25 เมตร ทำการแบ่งแปลงเป็น 2 แปลงย่อยขนาด 20x20 เมตร เนื้อที่แปลงละ 400 ตารางเมตร ได้แก่ แปลงที่ฉีดพ่นเฉพาะอะทราซีนตามอัตราแนะนำ (350 กรัมสารออกฤทธิ์ต่อไร่) เพียงอย่างเดียวโดยไม่มีการฉีดพ่นสารกำจัดศัตรูพืชชนิดอื่น และแปลงที่ไม่มีการฉีดพ่นสารกำจัดศัตรูพืช โดยเก็บตัวอย่างดินแปลงละ 6 รอบ ได้แก่ หลังพ่น 2 ชั่วโมง 24 ชั่วโมง 3 วัน 7 วัน 15 วัน และ 30 วัน เก็บตัวอย่างดินที่ระดับความลึก 20 เซนติเมตร สุ่มเก็บตัวอย่างดินกระจายให้ทั่วแปลง ๆ ละ 11 จุด เพื่อนำไปนับปริมาณจุลินทรีย์ดิน จากนั้นเก็บตัวอย่างดินแบบ composite sample ที่ระดับความลึก 20 เซนติเมตร โดยสุ่มเก็บตัวอย่างดินกระจายให้ทั่วแปลง ๆ ละ 20 จุด (เอิบ, 2548) เพื่อนำมาวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพและเคมีของดิน วิเคราะห์สมบัติทางกายภาพและเคมีของดิน ได้แก่ ค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) อินทรีย์วัตถุ ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ โพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ และค่าความจุแลกเปลี่ยนแคตไอออน และตรวจวิเคราะห์ปริมาณสารตกค้างในดิน กรรมวิธีดำเนินการมี 2 กรรมวิธี ได้แก่

กรรมวิธีที่ 1 แปลงควบคุม

กรรมวิธีที่ 2 แปลงพ่นสารอะทราซีน

การเปรียบเทียบปริมาณจุลินทรีย์ดินด้วยวิธี Independent sample t-test ที่ความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซนต์

2. การตรวจวิเคราะห์อะทราซีนที่ตกค้างในตัวอย่างดิน

วิเคราะห์อะทราซีนในดินโดยประยุกต์ใช้วิธี Ultrasonic (Babic et al., 1998) โดยการเติม ethyl acetate 75 มิลลิลิตรในดิน 20 กรัม เขย่าให้เข้ากัน นำไปวางใน ultrasonic bath 25 นาที กรองผ่านกระดาษกรองเบอร์ 1 ที่มี sodium sulfate ด้านบน ล้างด้วย ethyl acetate 2 ครั้ง นำไปทำให้ระเหยจนเกือบแห้งด้วยเครื่อง rotary evaporator ปรับปริมาตรด้วย ethyl acetate จนได้ปริมาตร 2 มิลลิลิตร แล้วนำไปวิเคราะห์ด้วยเครื่อง Gas Chromatography (GC) บริษัท Agilent technologies รุ่น 7890B ซึ่งมีหัวตรวจวัดชนิด Nitrogen-Phosphorus Detector (GC-NPD)

3. การนับปริมาณจุลินทรีย์ดิน

เก็บตัวอย่างดินใส่ถุงพลาสติกมัดปากถุงให้แน่นบรรจุในถังน้ำแข็ง เพื่อนับปริมาณจุลินทรีย์ดินได้แก่ แบคทีเรีย รา และแอคติโนมัยซีท ที่สามารถแยกได้บนอาหารเลี้ยงเชื้อ ด้วยวิธี Plate count โดยชั่งดิน 1 กรัม ใส่ในน้ำกลั่นนิ่งฆ่าเชื้อปริมาตร 9 มิลลิลิตร เขย่าให้เข้ากัน เจือจางจนได้ความเข้มข้น 10^{-5} ใช้ปิเปตดูดสารละลายที่มีความเข้มข้น 10^{-3} , 10^{-4} , 10^{-5} ใส่จานเลี้ยงเชื้อจานละ 1 มิลลิลิตร เททับด้วยอาหาร glucose ammonium nitrate agar (GAN) ที่มีส่วนประกอบของ rose bengal และ streptomycin สำหรับการนับราดิน นับปริมาณแบคทีเรียด้วยวิธี Plate count บนอาหารเลี้ยงเชื้อ Nutrient Agar (NA) (Barron, 1968) ส่วนการนับปริมาณแอคติโนมัยซีททำการผึ่งดินให้แห้งเป็นเวลา 1 สัปดาห์นำมาบดและร่อน แล้วนำมาเจือจางด้วยน้ำกลั่นปลอดเชื้อ ให้มีความเจือจางเท่ากับ 10^{-3} ถึง 10^{-6} ดูดสารแขวนลอยดินในแต่ละความเข้มข้นมา 100 ไมโครลิตร เกลี่ยลงบนอาหาร starch casein agar (SCA)

4. วิเคราะห์ชุมชนจุลินทรีย์ดินและชนิดของจุลินทรีย์ดิน

เก็บตัวอย่างดินแปลงทดลองจังหวัดลพบุรี และ จังหวัดนครราชสีมา จำนวน 3 ครั้ง/ปี ในปี 2565-2566 รวม 12 ตัวอย่าง สกัดดีเอ็นเอโดยตรงจากตัวอย่างดิน เพิ่มปริมาณดีเอ็นเอของชุดยีนที่สนใจ อ่านลำดับเบสของดีเอ็นเอจากตัวอย่างที่เพิ่มปริมาณได้ด้วยเทคนิค Next generation sequencing ทำการเปรียบเทียบชนิดของจุลินทรีย์ดินที่พบในระยะก่อนฉีดพ่นสารกำจัดวัชพืชและหลังฉีดพ่นสาร atrazine เพื่อศึกษาความสัมพันธ์ของจุลินทรีย์ดินที่พบด้วยวิธี phylogenetic tree analysis

ระยะเวลา เริ่มต้น ตุลาคม 2564 สิ้นสุด กันยายน 2567

สถานที่ทำการทดลอง

แปลงปลูกข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ของศูนย์วิจัยและพัฒนาเมล็ดพันธุ์พืชลพบุรี อำเภอมเมือง จังหวัดลพบุรี

แปลงปลูกข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ของ นางละมุน สมน้อย อำเภอสว่าง จังหวัดนครราชสีมา

ผลการทดลองและวิจารณ์

แปลงทดลองจังหวัดลพบุรี จากการสอบถามข้อมูลเบื้องต้นพบว่า แปลงเดิมปลูกมันสำปะหลัง จากนั้นปลูกถั่วเขียวแล้วไถกลบเพื่อปรับปรุงดิน มีการฉีดสารเคมีควบคุมวัชพืชก่อนงอก ได้แก่ อะลาคลอร์ (alachlor) และฉีดสารกำจัดเพลี้ยไฟ แมลงหริั่วขาว ไรแดง ได้แก่ ไทอะมีโทกแซม (thiamethoxam) อิมิดาโคลพริด (imidacloprid) และไพริดาเบน (pyridaben) เก็บตัวอย่างดินจากแปลงทดลองในศูนย์วิจัยและพัฒนาเมล็ดพันธุ์พืชลพบุรี อ.เมือง จ.ลพบุรี เพื่อนำมาวิเคราะห์สมบัติดินและจุลินทรีย์ดิน และวางแผนแปลงทดลอง ปลูกข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ เมื่อวันที่ 25 เม.ย. 2565 ฉีดพ่น atrazine 350 กรัมสารออกฤทธิ์ต่อไร่ เก็บตัวอย่างดินแปลงละ 7 ครั้ง ได้แก่ ก่อนฉีดพ่น, หลังฉีดพ่น 2 ชั่วโมง, 1 วัน, 3 วัน, 7 วัน; 15 วัน และ 30 วัน และวิเคราะห์ปริมาณอะตราซีนที่ตกค้างในดิน



การเตรียมแปลงและปลูกข้าวโพด



การฉีดพ่น atrazine



แปลงข้าวโพด

ภาพที่ 1 แปลงปลูกข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ ณ ศูนย์วิจัยและพัฒนาเมล็ดพันธุ์พืชลพบุรี อำเภอมอง จังหวัดลพบุรี

แปลงทดลองจังหวัดนครราชสีมา พบว่าเกษตรกรปลูกข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ มีการฉีดสารกำจัดวัชพืช ได้แก่ ไกลโฟเซต เก็บตัวอย่างดินจากแปลงใน จ. เพื่อนำมาวิเคราะห์สมบัติดินและปริมาณจุลินทรีย์ดิน ปลูกข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ เมื่อวันที่ 16 มิ.ย. 2565 ฉีดพ่นอะทราซีน 350 กรัมสารออกฤทธิ์ต่อไร่ เก็บตัวอย่างดินแปลงละ 7 ครั้ง ได้แก่ ก่อนฉีดพ่น, หลังฉีดพ่น 2 ชั่วโมง, 1 วัน, 3 วัน, 7 วัน, 15 วัน และ 30 วัน และวิเคราะห์ปริมาณอะทราซีนที่ตกค้างในดิน



การเตรียมแปลงและปลูกข้าวโพด



การฉีดพ่น atrazine



แปลงข้าวโพด

ภาพที่ 2 แปลงปลูกข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ อำเภอเสิงสาง จังหวัดนครราชสีมา

สมบัติทางกายภาพและเคมีของดิน

ผลการวิเคราะห์ตัวอย่างดินแปลงปลูกข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ก่อนทำการทดลอง แปลงทดลองจังหวัดลพบุรี เนื้อดินเป็นดินร่วน แปลงควบคุมและแปลงฉีดพ่นอะทราซีนปริมาณอินทรีย์วัตถุปานกลาง (1.12 และ 1.43 เปอร์เซ็นต์) ปริมาณฟอสฟอรัสในรูปที่เป็นประโยชน์อยู่ในระดับค่อนข้างสูงทั้ง 2 แปลง (18.46 และ 19.05 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม) และมีปริมาณโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ในระดับปานกลาง (80.48 และ 82.99 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม) ความจุแลกเปลี่ยนแคตไอออนอยู่ในระดับสูง แปลงทดลองจังหวัดนครราชสีมา เนื้อดินเป็นดินเหนียว แปลงควบคุมและแปลงฉีดพ่นอะทราซีนมีปริมาณอินทรีย์วัตถุอยู่ในระดับปานกลาง (1.67 และ 1.88 เปอร์เซ็นต์) ปริมาณฟอสฟอรัสในรูปที่เป็นประโยชน์อยู่ในระดับสูง (44.54 และ 47.27 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม) โพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ (161.51 และ 170.19 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม) และความจุแลกเปลี่ยนแคตไอออนอยู่ในระดับสูง ดังแสดงใน ตารางที่ 1

ตารางที่ 1 สมบัติทางกายภาพและเคมีของดินแปลงปลูกข้าวโพดเลี้ยงสัตว์จังหวัดลพบุรีและจังหวัดนครราชสีมา

Location	Treatments	pH (1:1)	OM (%)	Avail. P (mg kg ⁻¹)	Exch. K (mg kg ⁻¹)	CEC (cmol kg ⁻¹)
Lopburi	Control	6.28	1.21	18.46	80.48	11.14
	Atrazine	6.98	1.43	19.05	82.99	14.74
Nakhon	Control	6.48	1.66	47.27	161.51	27.02
Ratchasima	Atrazine	7.23	1.88	44.53	170.19	29.07

การตรวจวิเคราะห์ปริมาณอะทราซีนที่ตกค้างในตัวอย่างดิน

ปริมาณอะทราซีนที่ตกค้างในดินของแปลงปลูกข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ในพื้นที่จังหวัดลพบุรี และนครราชสีมา พบว่าแปลงทดลองที่เป็นแปลงควบคุมตรวจไม่พบสารอะทราซีนในดิน ทั้ง 2 พื้นที่ ส่วนแปลงที่พ่นสารอะทราซีนพบว่า แปลงทดลองในพื้นที่จังหวัดลพบุรีเมื่อพ่นสารไป 2 ชั่วโมง พบอะทราซีนตกค้างในดิน 1.45 มิลลิกรัมต่อดิน 1 กิโลกรัม เมื่อเวลาผ่านไป 24 ชั่วโมงตรวจพบอะทราซีน 1.07 มิลลิกรัมต่อดิน 1 กิโลกรัม หลังพ่นสาร 3 วันตรวจพบอะทราซีน 0.60 มิลลิกรัมต่อดิน 1 กิโลกรัม และปริมาณอะทราซีนในดินจะลดลงเมื่อระยะเวลาหลังพ่นสารนานขึ้นจนที่ระยะเวลาหลังพ่น 30 วัน ตรวจไม่พบอะทราซีนตกค้างในดิน แปลงพ่นอะทราซีนในพื้นที่จังหวัดนครราชสีมา พบว่าหลังพ่นสาร 2 ชั่วโมงตรวจพบ อะทราซีน 6.77 มิลลิกรัมต่อดิน 1 กิโลกรัม หลังพ่นสาร 24 ชั่วโมง ตรวจพบอะทราซีน 4.20 มิลลิกรัมต่อดิน 1 กิโลกรัม หลังพ่นสาร 3 วัน อะทราซีนมีปริมาณลดลงเหลือ 1.28 มิลลิกรัมต่อดิน 1 กิโลกรัม และปริมาณอะทราซีนจะลดลงเมื่อระยะเวลาหลังพ่นสารนานขึ้น (ตารางที่ 2) ดินทั้งสองพื้นที่มีเนื้อดินแตกต่างกัน มีความสามารถในการดูดซับ อะทราซีน ที่แตกต่างกัน โดยพบว่าเนื้อดินในจังหวัดนครราชสีมาซึ่งเป็นดินเหนียวสามารถดูดซับอะทราซีนได้ในปริมาณที่สูงกว่าและดูดซับสารได้ในระยะเวลานานกว่าในพื้นที่จังหวัดลพบุรี นอกจากนี้ยังพบว่าแปลงทดลองในจังหวัดนครราชสีมา มีปริมาณอินทรีย์วัตถุสูงกว่าดินในแปลงทดลองจังหวัดลพบุรี ทำให้ความคงทนของอะทราซีนยาวนานกว่าดินในพื้นที่จังหวัดลพบุรี ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยหลายงาน เช่น Wang et al. (1999) รายงานว่าความคงทนอะทราซีนเมื่อลงสู่ดินจะขึ้นอยู่กับคุณสมบัติของสาร และปัจจัยอื่น ๆ ที่มีอิทธิพลต่อความคงทนของ อะทราซีน ในดิน ได้แก่ เนื้อดิน ปริมาณอินทรีย์วัตถุ ปริมาณน้ำ จำนวนจุลินทรีย์ และค่า pH ของดิน Farruggia et al. (2016) รายงานว่าการเคลื่อนที่ของ อะทราซีน ในดินจะเกี่ยวข้องกับการดูดซับของคอลลอยด์ในดิน ถ้าปริมาณสารอินทรีย์วัตถุและอนุภาคดินเหนียวมีค่าสูงจะดูดซับอะทราซีนไว้ได้มาก อะทราซีนสามารถสลายตัวจากกระบวนการทางกายภาพ เช่นการสลายตัวด้วยแสงจากธรรมชาติ ที่ค่าความคงทนในดินปานกลาง ทำให้โครงสร้างของสารเปลี่ยนแปลงไป และสามารถเกิดการระเหยได้ตามธรรมชาติ ซึ่งเกิดในปริมาณน้อยมาก

ตารางที่ 2 ปริมาณอะทราซีนที่ตกค้างในดินแปลงปลูกข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ในพื้นที่จังหวัดลพบุรี และนครราชสีมา

Sampling time after spraying	Location			
	Lopburi		Nakhon Ratchasima	
	atrazine	Control (mg/kg) Atrazine (mg/kg)	Control (mg/kg)	Atrazine (mg/kg)
2 hours		ND 1.45	ND	6.77
24 hours		ND 1.07	ND	4.20
3 days		ND 0.60	ND	1.28
7 days		ND 0.15	ND	1.24
15 days		ND 0.04	ND	0.05
30 days		ND ND	ND	0.02

ND=Not detected

ปริมาณจุลินทรีย์ดินในแปลงทดลองจังหวัดลพบุรีและแปลงทดลองจังหวัดนครราชสีมา

แปลงทดลองจังหวัดลพบุรี พบว่าในแปลงควบคุมมีปริมาณแบคทีเรีย 6.48×10^6 6.62×10^6 6.81×10^6 6.18×10^6 6.35×10^6 และ 6.45×10^6 CFU/g soil เมื่อเก็บตัวอย่างดินที่ 2 ชั่วโมง, 24 ชั่วโมง 3 วัน 7 วัน 15 วัน และ 30 วันตามลำดับ แปลงที่พ่นอะทราซีนมีปริมาณแบคทีเรีย 6.29×10^6 6.28×10^6 6.63×10^6 6.62×10^6 6.75×10^6 และ 6.63×10^6 CFU/g soil เมื่อเก็บตัวอย่างดินหลังพ่น 2 ชั่วโมง, 24 ชั่วโมง 3 วัน 7 วัน 15 วัน และ 30 วันตามลำดับ เมื่อเปรียบเทียบปริมาณแบคทีเรียด้วยวิธี Independent sample t-test ที่ความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ พบว่าปริมาณแบคทีเรียในแปลงควบคุมและแปลงที่พ่นอะทราซีนไม่แตกต่างกันทางสถิติ

แปลงทดลองจังหวัดนครราชสีมา พบว่าในแปลงควบคุมมีปริมาณแบคทีเรีย 4.13×10^6 5.50×10^6 3.71×10^6 2.43×10^6 3.56×10^6 และ 3.88×10^6 CFU/g soil เมื่อเก็บตัวอย่างดินที่ 2 ชั่วโมง, 24 ชั่วโมง 3 วัน 7 วัน 15 วัน และ 30 วันตามลำดับ แปลงที่พ่นอะทราซีนมีปริมาณแบคทีเรีย 4.60×10^6 2.25×10^6 3.30×10^6 2.54×10^6 3.45×10^6 และ 3.39×10^6 CFU/g soil เมื่อเก็บตัวอย่างดินหลังฉีดพ่น 2 ชั่วโมง, 24 ชั่วโมง 3 วัน 7 วัน 15 วัน และ 30 วันตามลำดับ การเปรียบเทียบปริมาณแบคทีเรียด้วยวิธี Independent sample t-test ที่ความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ พบว่าปริมาณแบคทีเรียในแปลงควบคุมและแปลงที่พ่นอะทราซีนไม่แตกต่างกันทางสถิติ ปริมาณแบคทีเรียในแปลงทดลองไม่แตกต่างกันแสดงให้เห็นว่าการฉีดพ่นอะทราซีนไม่มีผลต่อแบคทีเรียในดินดังแสดงในตารางที่ 3

ตารางที่ 3 ปริมาณแบคทีเรียในดินแปลงปลูกข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ในพื้นที่จังหวัดลพบุรี และนครราชสีมา

Location	Treatments	Sampling time					
		2 hours	24 hours	3 days	7 days	15 days	30 days
		(CFU/g soil)					
Lopburi	Control	6.48×10^6	6.62×10^6	6.81×10^6	6.18×10^6	6.35×10^6	6.45×10^6
	Atrazine	6.29×10^6	6.28×10^6	6.63×10^6	6.62×10^6	6.75×10^6	6.63×10^6
t-stat		0.29	1.27	2.60	4.81	1.65	2.81
T Critical two-tail		2.07	2.08	2.07	2.07	2.07	2.11
Nakhon	Control	4.13×10^6	5.50×10^6	3.71×10^6	2.43×10^6	3.56×10^6	3.88×10^6
Ratchasima	Atrazine	4.60×10^6	2.25×10^6	3.30×10^6	2.54×10^6	3.45×10^6	3.39×10^6
t-stat		8.64	9.83	19.42	10.33	15.39	12.06
T Critical two-tail		2.07	2.07	2.07	2.07	2.07	2.07

แปลงทดลองจังหวัดลพบุรี พบว่าในแปลงควบคุมมีปริมาณราดิน 4.03×10^4 3.68×10^4 3.98×10^4 3.30×10^4 4.65×10^4 และ 3.45×10^4 CFU/g soil เมื่อเก็บตัวอย่างดินที่ 2 ชั่วโมง, 24 ชั่วโมง 3 วัน 7 วัน 15 วัน และ 30 วันตามลำดับ แปลงที่พ่นอะทราซีนมีปริมาณราดิน 3.71×10^4 3.47×10^4 3.96×10^4 3.51×10^4 4.10×10^4 และ 3.14×10^4 CFU/g soil เมื่อเก็บตัวอย่างดินหลังฉีดพ่น 2 ชั่วโมง, 24 ชั่วโมง 3 วัน 7 วัน 15 วัน และ 30 วันตามลำดับ การเปรียบเทียบปริมาณราดินด้วยวิธี Independent sample t-test ที่ความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซนต์ พบว่าปริมาณราดินในแปลงควบคุมและแปลงที่ฉีดพ่นอะทราซีนไม่แตกต่างกันทางสถิติ

แปลงทดลองจังหวัดนครราชสีมา พบว่าในแปลงควบคุมมีปริมาณราดิน 2.82×10^4 2.55×10^4 2.61×10^4 2.59×10^4 2.41×10^4 และ 2.38×10^4 CFU/g soil เมื่อเก็บตัวอย่างดินที่ 2 ชั่วโมง, 24 ชั่วโมง 3 วัน 7 วัน 15 วัน และ 30 วันตามลำดับ แปลงที่พ่นอะทราซีนมีปริมาณราดิน 2.55×10^4 3.03×10^4 3.62×10^4 2.28×10^4 2.10×10^4 และ 2.15×10^4 CFU/g soil เมื่อเก็บตัวอย่างดินหลังฉีดพ่น 2 ชั่วโมง, 24 ชั่วโมง 3 วัน 7 วัน 15 วัน และ 30 วันตามลำดับ การเปรียบเทียบปริมาณราดินด้วยวิธี Independent sample t-test ที่ความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซนต์ พบว่าปริมาณราดินในแปลงควบคุมและแปลงที่พ่นอะทราซีนไม่แตกต่างกันทางสถิติ ปริมาณราดินในแปลงทดลองไม่แตกต่างกันแสดงให้เห็นว่าการฉีดพ่นอะทราซีน ไม่มีผลต่อราในดินดังแสดงในตารางที่ 4

ตารางที่ 4 ปริมาณราดินในดินแปลงปลูกข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ในพื้นที่จังหวัดลพบุรี และนครราชสีมา

Location	Treatments	Sampling time					
		2 hours	24 hours	3 days	7 days	15 days	30 days
		(CFU/ g soil)					
Lopburi	Control	4.03×10^4	3.68×10^4	3.98×10^4	3.30×10^4	4.65×10^4	3.45×10^4
	Atrazine	3.71×10^4	3.47×10^4	3.96×10^4	3.51×10^4	4.10×10^4	3.14×10^4
t-stat		1.75	0.58	-5.27	-2.44	-0.86	0
t Critical two-tail		2.07	2.07	2.16	2.07	2.07	2.07
Nakhon	Control	2.82×10^4	2.55×10^4	2.61×10^4	2.59×10^4	2.41×10^4	2.38×10^4
Ratchasima	Atrazine	2.55×10^4	3.03×10^4	3.62×10^4	2.28×10^4	2.10×10^4	2.15×10^4
t-stat		0.72	1.17	2.13	10.40	5.92	5.45
t Critical two-tail		2.07	2.07	2.04	2.10	2.10	2.07

แปลงทดลองจังหวัดลพบุรี พบว่าในแปลงควบคุมมีปริมาณแอกติโนมัยสีท 1.12×10^6 1.17×10^6 5.75×10^6 3.37×10^6 4.23×10^6 และ 4.20×10^6 CFU/ g soil เมื่อเก็บตัวอย่างดินที่ 2 ชั่วโมง, 24 ชั่วโมง 3 วัน 7 วัน 15 วัน และ 30 วันตามลำดับ แปลงที่พ่นอะทราซีนมีปริมาณแอกติโนมัยสีท 9.96×10^5 8.50×10^5 4.13×10^6 4.30×10^6 3.79×10^6 และ 2.43×10^6 CFU/ g soil เมื่อเก็บตัวอย่างดินหลังพ่น 2 ชั่วโมง, 24 ชั่วโมง 3 วัน 7 วัน 15 วัน และ 30 วันตามลำดับ การเปรียบเทียบปริมาณแอกติโนมัยสีทด้วยวิธี Independent sample t-test ที่ความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซนต์ พบว่าปริมาณแอกติโนมัยสีทในแปลงควบคุมและแปลงที่พ่นอะทราซีนไม่แตกต่างกันทางสถิติ

แปลงทดลองจังหวัดนครราชสีมา พบว่าในแปลงควบคุมมีปริมาณแอกติโนมัยสีท 4.13×10^6 4.91×10^6 3.58×10^6 2.37×10^6 1.61×10^6 และ 5.05×10^6 CFU/ g soil เมื่อเก็บตัวอย่างดินที่ 2 ชั่วโมง, 24 ชั่วโมง 3 วัน 7 วัน 15 วัน และ 30 วันตามลำดับ แปลงที่ฉีดพ่นอะทราซีนมีปริมาณแอกติโนมัยสีท 4.46×10^6 4.70×10^6 4.05×10^6 2.49×10^6 1.09×10^6 และ 4.36×10^6 CFU/g soil เมื่อเก็บตัวอย่างดินหลังฉีดพ่น 2 ชั่วโมง, 24 ชั่วโมง 3 วัน 7 วัน 15 วัน และ 30 วันตามลำดับ การเปรียบเทียบปริมาณแอกติโนมัยสีทด้วยวิธี Independent sample t-test ที่ความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซนต์ พบว่าปริมาณแอกติโนมัยสีทในแปลงควบคุมและแปลงที่พ่นอะทราซีนไม่แตกต่างกันทางสถิติ ปริมาณแอกติโนมัยสีทในแปลงทดลองไม่แตกต่างกัน แสดงให้เห็นว่าการฉีดพ่นอะทราซีน ไม่มีผลต่อปริมาณแอกติโนมัยสีทดังแสดงใน ตารางที่ 5

ตารางที่ 5 ปริมาณแอกติโนมัยสีท ในดินแปลงปลูกข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ในพื้นที่จังหวัดลพบุรี และนครราชสีมา

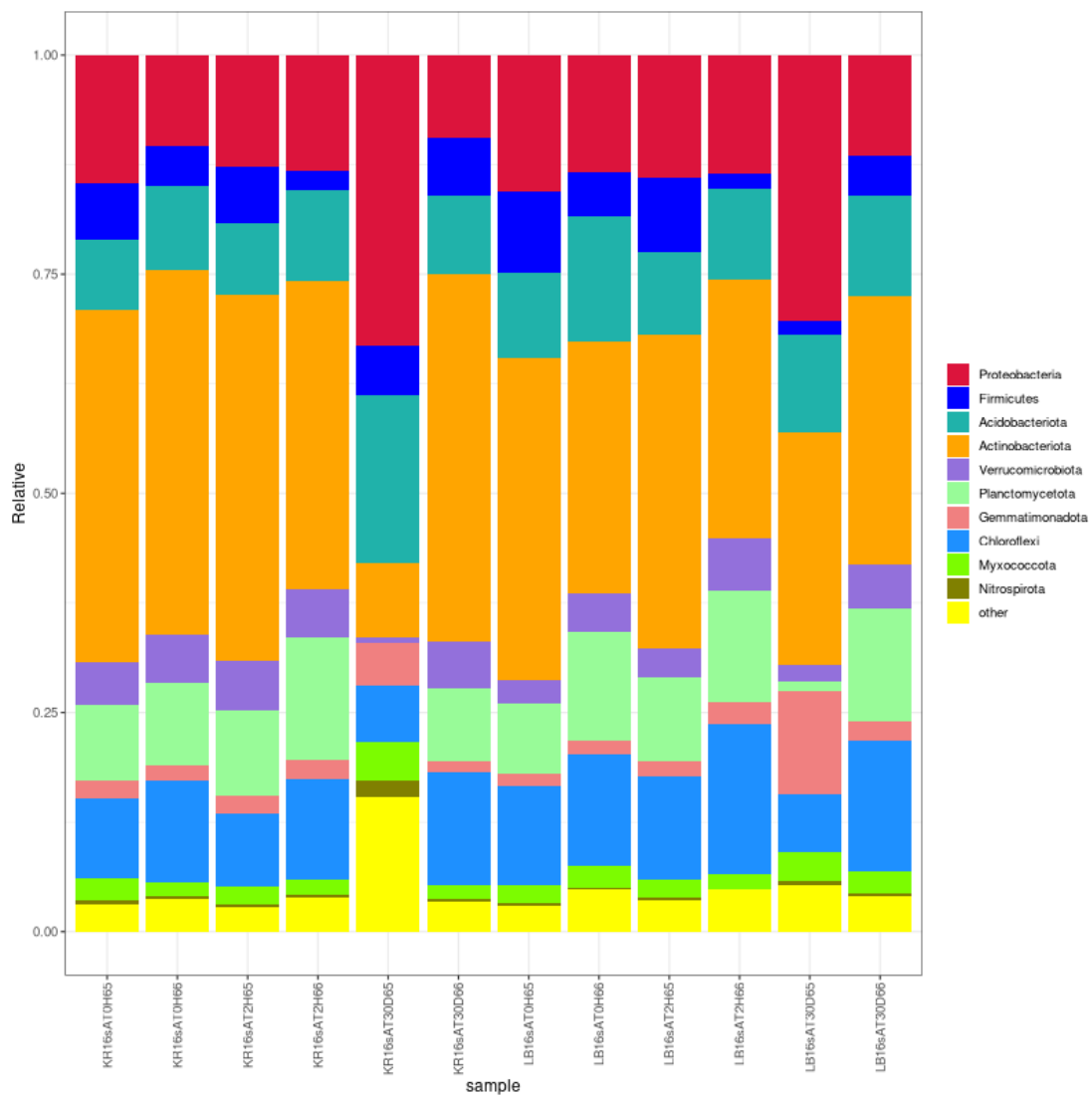
Location	Treatments	Sampling time					
		2 hours	24 hours	3 days	7 days	15 days	30 days
		(CFU/g soil)					
Lopburi	Control	1.12×10^6	1.17×10^6	5.75×10^6	3.37×10^6	4.23×10^6	4.20×10^6
	Atrazine	9.96×10^5	8.50×10^5	4.13×10^6	4.30×10^6	3.79×10^6	2.43×10^6
t-stat		0.21	0.61	2.12	1.27	1.35	0.46
t Critical two-tail		2.08	2.20	2.14	2.08	2.08	2.08
Nakhon	Control	4.13×10^6	4.91×10^6	3.58×10^6	2.37×10^6	1.61×10^6	5.05×10^6
Ratchasima	Atrazine	4.46×10^6	4.70×10^6	4.05×10^6	2.49×10^6	1.09×10^6	4.36×10^6
t-stat		0.33	2.04	0.26	0.05	0.33	0.51
t Critical two-tail		2.08	2.09	2.11	2.08	2.17	2.11

ปริมาณแบคทีเรีย ราดิน และแอกติโนมัยสีทระหว่างแปลงควบคุมและแปลงที่พ่นอะทราซีนพบว่าทั้ง 2 พื้นที่ไม่มี ความแตกต่างกันทางสถิติ สอดคล้องกับการทดลองของ Cole (1976) ที่พบว่า การพ่น อะทราซีน ปริมาณ 3.4 กิโลกรัมต่อเฮกตาร์ จำนวนของแบคทีเรีย และรา ที่พบไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญระหว่าง แปลงควบคุม และแปลงที่พ่น อะทราซีน นอกจากนี้พบว่าการใช้ อะทราซีน อัตรา 4 กิโลกรัมต่อเฮกตาร์ จำนวน แบคทีเรีย และรา ทั้งหมดไม่แตกต่างกัน (Votes et al., 1974)

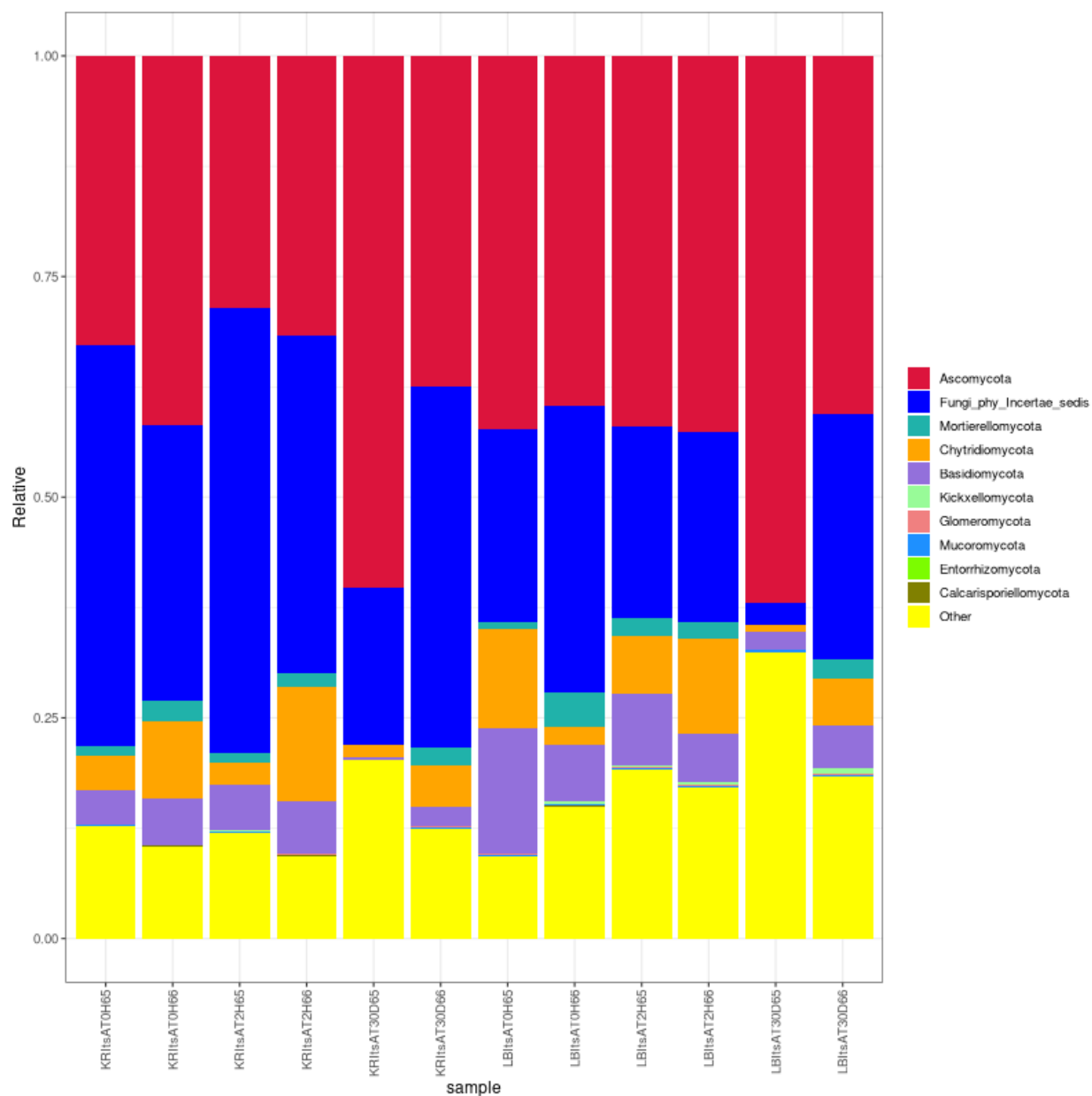
วิเคราะห์ชุมชนจุลินทรีย์ดินและชนิดของจุลินทรีย์ดิน

เก็บตัวอย่างดินแปลงทดลองจังหวัดลพบุรี และจังหวัดนครราชสีมา จำนวน 3 ครั้ง/ปี ในปี 2565-2566 รวม 12 ตัวอย่าง พบว่ามี operational taxonomic unit (OTUs) ของแบคทีเรีย 25,242 OTUs และแอกติโนมัยสีท 4,625 OTUs ชุมชนของแบคทีเรียในดินจัดอยู่ในไฟลัม Proteobacteria, Firmicutes, Acidobacteriota, Verrucomicrobiota, Planctomycetota, Gemmatimonadota, Chloroflexi, Myxococcota, และ Nitrospirota เท่ากับ 19.37, 5.29, 10.00, 2.67, 7.37, 7.32, 7.26, 12.31, 16.82 และ

0.66 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ นอกจากนี้ยังพบแอกติโนมัยซีทในฟิล์ม Actinobacteriota เท่ากับ 15.34 เปอร์เซ็นต์ ดังแสดงในภาพที่ 3



ภาพที่ 3 สัดส่วนแบคทีเรียและแอกติโนมัยซีทที่พบในแปลงทดลองจังหวัดลพบุรี และจังหวัดนครราชสีมา ตัวอย่างดินแปลงทดลองจังหวัดลพบุรี และจังหวัดนครราชสีมา จำนวน 3 ครั้ง/ปี ในปี 2565-2566 รวม 12 ตัวอย่าง พบว่ามี operational taxonomic unit (OTUs) ของชุมชนราดิน 4,164 OTUs ชุมชนของราดินที่พบจัดอยู่ในไฟลัม Ascomycota, Incertae, Mortierellomycota, Chytridiomycota, Basidiomycota, Kickxellomycota, Glomeromycota, Mucoromycota, Entorrhizomycota และ Calcarisporiellomycota เป็นจำนวนเท่ากับ 43.17, 11.38, 0.86, 4.61, 13.40, 0.43, 1.27, 0.67, 0.07 และ 0.17 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ดังแสดงในภาพที่



ภาพที่ 4 สัดส่วนราดินที่พบในแปลงทดลองจังหวัดลพบุรี และจังหวัดนครราชสีมา

สรุปผลการทดลอง

การใช้สารกำจัดวัชพืชมีความจำเป็นในการควบคุมวัชพืชในแปลงปลูกข้าวโพด การทดลองครั้งนี้ใช้สารอะทราซีนอัตรา 350 กรัมสารออกฤทธิ์ต่อไร่ ฉีดพ่นเพื่อควบคุมวัชพืชในแปลงปลูกข้าวโพดจังหวัดลพบุรี และนครราชสีมา และศึกษาถึงผลกระทบของอะทราซีนต่อปริมาณจุลินทรีย์ดินที่ระยะเวลาหลังพ่นสาร 2 ชั่วโมง 24 ชั่วโมง 3 วัน 7 วัน 15 วัน และ 30 วัน เมื่อตรวจวิเคราะห์สารตกค้างในดินหลังพ่นสารที่ระยะเวลาดังกล่าว พบว่าในแปลงควบคุมในจังหวัดลพบุรี และนครราชสีมาตรวจไม่พบสาร อะทราซีน ในแปลงที่มีการพ่นสารอะทราซีนพบว่าแปลงทดลองในพื้นที่จังหวัดนครราชสีมามีการดูดซับอะทราซีนไว้นานและปริมาณสูงกว่าดินในแปลงทดลองที่จังหวัดลพบุรี เนื่องจากเนื้อดินในจังหวัดนครราชสีมาเป็นดินเหนียวและมีค่าอินทรีย์วัตถุในดินอยู่ในระดับปานกลางทำให้มีความสามารถในการดูดซับสารอะทราซีนได้ดีกว่าแปลงทดลองในจังหวัดลพบุรี ผลของการใช้อะทราซีนต่อปริมาณจุลินทรีย์ดิน เมื่อทำการเปรียบเทียบด้วยวิธี Independent sample t-test ที่ความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซนต์สำหรับแปลงควบคุมและแปลงที่มีการพ่นอะทราซีน พบว่าสารอะทราซีนไม่ทำให้ปริมาณแบคทีเรีย รา และแอคติโนมัยสีทมีความแตกต่างกันทางสถิติ ทั้ง 2 พื้นที่การทดลอง เนื่องการทดลองครั้งนี้เป็นการศึกษาในช่วงระยะเวลาดังกล่าว จึงควรเพิ่มระยะเวลาในการศึกษาให้ยาวนานกว่านี้เพื่อผลที่ชัดเจนมากยิ่งขึ้น

คำขอบคุณ

งานวิจัยนี้ ได้รับทุนสนับสนุนจากสำนักงานคณะกรรมการส่งเสริมวิทยาศาสตร์ วิจัยและนวัตกรรม (สกสว.) และศูนย์วิจัยและพัฒนาเมล็ดพันธุ์พืชลพบุรีที่ให้ความอนุเคราะห์แปลงทดลอง คณะผู้วิจัยขอขอบคุณมา ณ โอกาสนี้ด้วย

การนำผลงานวิจัยไปใช้ประโยชน์

ผลจากงานวิจัยนี้สามารถนำไปใช้ในการวางแผนฉีดพ่นอะทราซีนในแปลงข้าวโพด เพื่อไม่ให้เกิดการฉีดพ่นอะทราซีนมากเกินไป ลดค่าใช้จ่ายในการซื้ออะทราซีนของเกษตรกร ลดต้นทุนการผลิตของเกษตรกรได้อีกทางหนึ่ง

เอกสารอ้างอิง

- เอิบ เขียวรัตน์. 2548. การสำรวจดิน. พิมพ์ครั้งที่ 2. สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. กรุงเทพฯ.
- Babic, S., Mira, P., Kastelan-Macan, M. 1998. Ultrasonic solvent extraction of pesticides from soil. J. Chromatogr. 823: 3–9.
- Barron, G.L. 1968. The genera of Hyphomycetes from soil. The Williams & Wilkins Comp. Baltimore, USA.
- Cole M. A. 1976. Effect of Long-Term Atrazine Application on Soil Microbial Activity. Weed Science. 24: 473–476.
- Farruggia, F., Rossmeisl, C., Hetrick, J., Biscoe, M. 2016. Refined ecological risk assessment for atrazine. United States Environmental Protection Agency. Washinton D.C., USA.
- Mou, R.X., Chen, M.X., Cao, Z.Y., Zhu, Z.E. 2011. Simultaneous determination of triazine herbicides in rice by high-performance liquid chromatography coupled with high resolution and high mass accuracy hybrid linear ion trap-orbitrap mass spectrometry. Anal. Chim. Acta. 76: 149–156.
- Ross, A., Lembi, A. 2009. Applied weed science: including the ecology and management of invasive plants. 3rd ed. Upper Saddle River, N.J.: Pearson Prentice Hall, USA.
- Voets, J.P., Meerschman, P., Verstraete, W. 1974. Soil microbiological and biochemical effects of long-term atrazine applications. Soil Biol. Biochem. 6: 149–152.
- Wang, D., Shin, J.Y., Cheney, M.A., Sposito, G., Spiro, T.G. 1999. Manganese dioxide as a catalyst for oxygen-independent atrazine dealkylation. Environ. Sci. Technol. 33: 3160–3165.

ผลกระทบของการใช้ 2,4-D ต่อจุลินทรีย์ดินในแปลงปลูกอ้อย
จังหวัดสุพรรณบุรี และขอนแก่น

Effects of 2,4-D herbicide on soil microorganisms in sugarcane fields at
Suphan Buri and Khon Kaen provinces

สนธยา ขำดีบ¹ จิตรา เกาะแก้ว¹ จันทิมา ผลกอง² สุวัฒน์ พูลพาน³ ธวัชชัย อินทร์บุญช่วย⁴ จริญญา ปิ่นสุภา⁵
Sontaya Khamtib¹ Jitra Kokaew¹ Jantima Phonkong² Suwat Phunpan³
Tawatchai Inboonchuay⁴ Jarunya Pinsupa⁵

กลุ่มวิจัยปฐพีวิทยา

กองวิจัยพัฒนาปัจจัยการผลิตทางการเกษตร

ABSTRACT

2,4-D (2,4-dichlorophenoxyacetic acid) is a chlorinated phenoxy compound herbicide commonly used for controlling broadleaf weeds. Although it has a short half-life in soil, it can be dispersed through leaching, potentially impacting the environment on a large scale. This research aimed to investigate the effects of 2,4-D on soil microbial communities in sugarcane fields. Field experiments were conducted in two provinces, Suphan Buri and Khon Kaen, during the 2022 and 2023 growing seasons to evaluate the impact of 2,4-D application at a rate of 200 grams of active ingredient per rai. The results in 2022 showed that the maximum residue of 2,4-D in the experimental field at the Suphan Buri Field Crops Research Center was 1.91 mg/kg, which decreased to undetectable levels after 60 days. In contrast, the maximum residue in farmers' fields in Khon Kaen was 0.25 mg/kg and disappeared after 15 days. In 2023, the highest 2,4-D residue in the Suphan Buri experimental field was 1.19 mg/kg, which declined to 0.43 mg/kg within 7 days. In Khon Kaen, the highest detected residue was 0.16 mg/kg, which disappeared within 4 hours but reappeared at 0.56 mg/kg on the 7th day after application. The impact on soil microbial communities revealed that 2,4-D application influenced the abundance and composition of fungal communities in the phylum Ascomycota, which increased in proportion after spraying. Meanwhile, bacterial communities in the phyla Actinobacteriota, Proteobacteria, and Firmicutes were affected by 2,4-D, exhibiting changes in their population structure and abundance.

Keywords: Microbial community; Bacteria; Fungi; Herbicide; Actinomycetes

¹ กลุ่มวิจัยปฐพีวิทยา กองวิจัยพัฒนาปัจจัยการผลิตทางการเกษตร กรมวิชาการเกษตร กรุงเทพฯ 10900

¹ Soil Science Research Group, Agriculture Production Science Research and Development Division, Department of Agriculture, Bangkok, 10900

² กลุ่มวิจัยวัตถุพิษ กองวิจัยพัฒนาปัจจัยการผลิตทางการเกษตร กรมวิชาการเกษตร กรุงเทพฯ 10900

² Agricultural Toxic Substance Research Group, Agriculture Production Science Research and Development Division, Department of Agriculture, Bangkok, 10900

³ ศูนย์วิจัยพืชไร่สุพรรณบุรี อ.อุทุมพร จ.สุพรรณบุรี 72160

³ Suphan Buri Field Crops Research Center, U-Thong, Suphan Buri, 72160

⁴ ภาควิชาปฐพีวิทยา คณะเกษตร กำแพงแสน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน จ. นครปฐม 73140

⁴ Department of Soil Science, Faculty of Agriculture at Kamphaeng Saen, Kasetsart University Kamphaeng Saen Campus, Nakhon Pathom 73140

⁵ สถาบันวิจัยพืชไร่และพืชทดแทนพลังงาน กรมวิชาการเกษตร กรุงเทพฯ 10900

⁵ Field and Renewable Energy Crops Research Institute, Department of Agriculture, Bangkok, 10900

บทคัดย่อ

2,4-D (2,4-dichlorophenoxyacetic acid) เป็นสารกำจัดวัชพืชในกลุ่ม Chlorinated phenoxy compound ที่นิยมใช้ในการกำจัดวัชพืชใบกว้าง แม้ว่าจะมีค่าครึ่งชีวิตในดินสั้น แต่สามารถแพร่กระจายได้ง่ายผ่านกระบวนการชะล้าง ซึ่งอาจส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมในวงกว้าง งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลกระทบของ 2,4-D ต่อจุลินทรีย์ดินในแปลงปลูกอ้อย โดยดำเนินการทดลองในแปลงปลูกอ้อย 2 จังหวัด ได้แก่ สุพรรณบุรีและขอนแก่น ในปีการเพาะปลูก 2565 และ 2566 เพื่อประเมินผลกระทบจากการใช้ 2,4-D (อัตรา 200 กรัมสารออกฤทธิ์ต่อไร่) ผลการศึกษาพบว่า ในปี 2565 การตกค้างของ 2,4-D ในดินแปลงทดสอบที่ศูนย์วิจัยพืชไร่สุพรรณบุรีสูงสุดอยู่ที่ 1.91 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม และลดลงจนไม่พบสารตกค้างหลัง 60 วัน ส่วนแปลงเกษตรกรที่จังหวัดขอนแก่นพบการตกค้างสูงสุดที่ 0.25 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม และไม่พบการตกค้างหลัง 15 วัน สำหรับปี 2566 พบว่าในแปลงทดลองที่ศูนย์วิจัยพืชไร่สุพรรณบุรี มีการตกค้างของ 2,4-D สูงสุดที่ 1.19 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม และลดลงเหลือ 0.43 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมภายใน 7 วัน ส่วนแปลงที่ขอนแก่นพบการตกค้างสูงสุด 0.16 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม และหายไปภายใน 4 ชั่วโมง แต่กลับมาตรวจพบอีกครั้งที่ 0.56 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมในวันที่ 7 ผลต่อชุมชนจุลินทรีย์ดินพบว่า การใช้ 2,4-D ส่งผลต่อปริมาณและองค์ประกอบของชุมชนราในไฟลัม Ascomycota ซึ่งมีสัดส่วนเพิ่มขึ้นหลังการฉีดพ่น ขณะที่แบคทีเรียในไฟลัม Actinobacteriota, Proteobacteria และ Firmicutes ได้รับผลกระทบจาก 2,4-D โดยมีการเปลี่ยนแปลงในโครงสร้างประชากรและปริมาณของแต่ละกลุ่ม

คำสำคัญ: ชุมชนของจุลินทรีย์ดิน; แบคทีเรีย; รา; สารกำจัดวัชพืช; แอคติโนมัยสีท

บทนำ

2,4-dichlorophenoxyacetic acid (2,4-D) เป็นสารกำจัดวัชพืชในกลุ่ม Chlorinated phenoxy compound ถูกนำมาใช้อย่างแพร่หลาย เพื่อกำจัดวัชพืชใบกว้าง (broad-leaf weed) วัชพืชจะดูดซึม 2,4-D เข้าทางใบและเคลื่อนย้ายไปยังเนื้อเยื่อเจริญที่ปลายยอด ส่งผลให้วัชพืชมีการเจริญเติบโตผิดปกติ ทำให้ใบหงิกงอและตายในที่สุด (Kelley and Riechers, 2007) ส่วน 2,4-D ที่ปนเปื้อนในดินจะมีค่าครึ่งชีวิต (half-life) ที่สั้นอยู่ในช่วง 1.7 ถึง 13.1 วัน (Fu et al., 2009; Gaultier and Farenhorst, 2007; Wilson et al., 1997) แต่สามารถเคลื่อนที่และแพร่กระจายได้ง่ายในดินโดยการชะละลาย (leaching) ทำให้ส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมในวงกว้าง (Bollag et al., 1968) การตกค้างและการแพร่กระจายของ 2,4-D ในดิน ขึ้นอยู่กับปัจจัยต่าง ๆ มากมาย เช่น อินทรีย์วัตถุ อุณหภูมิ ค่าความเป็นกรด-ด่าง อุณหภูมิ ค่าศักย์ของน้ำ และปริมาณจุลินทรีย์ในดิน เป็นต้น (Boivin et al., 2005; Voog and Groffman, 1997)

ผลกระทบของ 2,4-D ต่อจุลินทรีย์ดินขึ้นอยู่กับหลายปัจจัย เช่น ปริมาณของสารตกค้างในดิน คุณสมบัติของดิน (เนื้อดิน ค่าความเป็นกรด-ด่าง และปริมาณอินทรีย์วัตถุ) และองค์ประกอบของชุมชนจุลินทรีย์ในพื้นที่นั้นๆ จุลินทรีย์บางกลุ่มสามารถปรับตัวและใช้ 2,4-D เป็นแหล่งพลังงานและคาร์บอนได้ เช่น *Arthrobacter* spp., *Bacillus* spp., *Cupriavidus* spp., *Delftia* spp., *Flavobacterium* spp., และ *Pseudomonas* spp. เป็นต้น (สนธยา และคณะ, 2567; Chang et al., 2015; Farag et al., 2021; Gonod et al., 2006; González et al., 2012) ในขณะที่จุลินทรีย์บางกลุ่มไม่สามารถปรับตัวได้ส่งผลกระทบเชิงลบ เช่น การลดจำนวนประชากรหรือการยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการย่อยสลายสารอินทรีย์ส่งผลกระทบต่อความสามารถในการปรับตัวของจุลินทรีย์ดินโดยรวม (Cycon et al., 2013)

ดังนั้น การศึกษาผลกระทบของ 2,4-D ต่อจุลินทรีย์ดินในแปลงปลูกอ้อยจึงมีความสำคัญอย่างยิ่ง เพื่อทำความเข้าใจการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นในระบบนิเวศดิน อันจะนำไปสู่การพัฒนาแนวทางการใช้สารกำจัดวัชพืชอย่างยั่งยืน รวมถึงการหามาตรการลดผลกระทบที่อาจเกิดขึ้นต่อจุลินทรีย์ดินและความอุดมสมบูรณ์ของดินในระยะยาว

อุปกรณ์และวิธีการ

อุปกรณ์

1. ท่อนพันธุ์อ้อยขอนแก่น 3
2. สารกำจัดวัชพืช 2,4-D
3. ปุ๋ยเคมี ได้แก่ ปุ๋ยเคมีเกรด 16-16-8 ปุ๋ยยูเรีย (46-0-0) และโพแทสเซียมคลอไรด์ (0-0-60)
4. อาหารเพาะเลี้ยงแบคทีเรียนับจำนวนจุลินทรีย์ ได้แก่ Potato Dextrose Agar (PDA), Starch Casein Agar (SCA) และ Nutrient Agar (NA)
5. สารเคมีสำหรับวิเคราะห์ตัวอย่างดิน เช่น กรดซัลฟิวริก (H_2SO_4) กรดไฮโดรคลอริก (HCl) กรดเปอร์คลอริก ($HClO_4$) กรดไนตริก (HNO_3) กรดฟอสฟอริก (H_3PO_4) โซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) โพแทสเซียมไดโครเมต ($K_2Cr_2O_7$) เพอร์รัสแอมโมเนียมซัลเฟต ($Fe(NH_4)_2(SO_4) \cdot 6H_2O$) สตรอนเทียมคลอไรด์ ($SrCl_2 \cdot 6H_2O$) แอมโมเนียมฟลูออไรด์ (NH_4F) เพอร์รัสซัลเฟต ($FeSO_4 \cdot 7H_2O$) คอปเปอร์ซัลเฟต ($CuSO_4 \cdot 5H_2O$) โซเดียมฟลูออไรด์ (NaF) แอมโมเนียมเมตาวานาเดต (NH_4VO_3) แอมโมเนียมโมลิบเดต ($(NH_4)_6Mo_7O_{24} \cdot 4H_2O$) ฯลฯ
6. สารเคมีสำหรับงานอณูชีววิทยา ได้แก่ สีย้อมดีเอ็นเอ DNA primer, Agarose, TAE buffer, TIANamp bacteria DNA kit, One PCR ultra mastermix และ PureLink quick PCR purification kit
7. วัสดุและอุปกรณ์วิทยาศาสตร์ เช่น จานเพาะเลี้ยง (petri dish) หลอดทดลอง (test tube) กระบอกตวง (cylinder) บีกเกอร์ (beaker) ขวดรูปชมพู่ (erlenmeyer flask) กรวยกรอง (funnel) บิวเรต (buret) ขวดวัดปริมาตร (volumetric flask) ปิเปตแก้ว (pipette) กระดาษกรอง (filter paper) ฯลฯ
8. เครื่องมือวิทยาศาสตร์ เช่น เครื่องชั่งสาร (balance) หม้อนึ่งไอน้ำแรงดันสูง (autoclave) ตู้ปลอดเชื้อ (laminar flow) ตู้ดูดไอสารเคมี (fume hood) เครื่องบ่มเขย่า (incubator shaker) เครื่องปั่นเหวี่ยง (centrifuge) เครื่องให้ความร้อน (hotplate) สเปกโตรโฟโตมิเตอร์ (UV-VIS spectrophotometer) เครื่องวัดการดูดกลืนแสงของอะตอม (atomic absorption spectrophotometer) เครื่องย่อยตัวอย่างสำหรับการวิเคราะห์ด้วยวิธีเคจดาห์ล (Kjeldahl digestion furnace) ฯลฯ

วิธีการ

1. การศึกษาผลกระทบของการใช้ 2,4-D ต่อจุลินทรีย์ดินในแปลงปลูกอ้อย

ทำการทดลองในแปลงปลูกอ้อย 2 จังหวัด ได้แก่ สุพรรณบุรีและขอนแก่น ซึ่งแต่ละพื้นที่แบ่งแปลงเป็น 2 แปลงย่อย ขนาดแปลงละ 400 ตารางเมตร แปลงที่ 1 ฉีดพ่นสารกำจัดวัชพืช 2,4-D อัตรา 200 กรัมสารออกฤทธิ์ต่อไร่ เพียงเดียวโดยไม่ฉีดพ่นสารกำจัดศัตรูพืชชนิดอื่น แปลงที่ 2 ไม่ฉีดพ่นสารกำจัดวัชพืช 2,4-D กำจัดวัชพืชด้วยการถอน สุ่มเก็บตัวอย่างดินแบบ composite sample ที่ระดับความลึก 20 เซนติเมตร กระจายทั่วแปลง แปลงละ 20 จุด เพื่อนำมาวิเคราะห์ปริมาณสารกำจัดวัชพืชที่ตกค้างในดิน สมบัติทางกายภาพและเคมีของดิน และชนิดและชุมชนของจุลินทรีย์ดิน ส่วนการวิเคราะห์ปริมาณจุลินทรีย์ดินละกกิจกรรมเอนไซม์ดิน ทำการสุ่มเก็บตัวอย่างดินกระจายทั่วแปลง แปลงละ 11 จุด ที่ระดับความลึก 20 เซนติเมตร โดยปี 2565 เก็บตัวอย่างดิน

แปลงละ 5 รอบ ได้แก่ ก่อนฉีดพ่น, หลังฉีดพ่น 2 ชั่วโมง 15 วัน 30 วัน และ 60 วัน ขณะที่ปี 2566 ปรับเปลี่ยนเวลาในการเก็บตัวอย่างดิน แปลงละ 6 รอบ ได้แก่ ก่อนฉีดพ่น หลังฉีดพ่น 2 ชั่วโมง 4 ชั่วโมง 1 วัน 3 วัน และ 7 วัน

2. การวิเคราะห์ตัวอย่างดิน

2.1 วิเคราะห์สมบัติดิน โดยวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพและเคมีของดิน ได้แก่ การกระจายขนาดอนุภาค (particle size distribution) ความเป็นกรด-ด่าง (1:1) ด้วยเครื่องพีเอชมิเตอร์ อินทรีย์วัตถุ ตามวิธีของ Walkley และ Black (Walkley and Black, 1934) ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ด้วยวิธี Bray II (Bray and Kurtz, 1945) โพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ด้วยเครื่อง Atomic absorption spectrophotometer (AAS) และค่าความจุในการแลกเปลี่ยนแคตไอออน (cation exchange capacity, CEC)

2.2 วิเคราะห์ปริมาณสาร 2,4-D ตกค้างในดิน ด้วยเทคนิค High Performance Liquid Chromatography (HPLC)

2.3 วิเคราะห์จำนวนจุลินทรีย์ที่นับได้ ได้แก่ รา แอคติโนมัยสีท และแบคทีเรีย โดยวิธี Plate count บนอาหารเลี้ยงชนิดต่าง ๆ ได้แก่ PDA SCA และ NA

2.4 วิเคราะห์ชนิดและชุมชนของจุลินทรีย์ดิน โดยสกัดดีเอ็นเอโดยตรงจากตัวอย่างดิน เพิ่มปริมาณดีเอ็นเอของชุดยีนที่สนใจ อ่านลำดับเบสของดีเอ็นเอจากตัวอย่างที่เพิ่มปริมาณได้ด้วยเทคนิค Next generation sequencing ทำการเปรียบเทียบชนิดของจุลินทรีย์ดินที่พบในระยะก่อนฉีดพ่นสารกำจัดวัชพืช 2,4-D และหลังฉีดพ่นสารกำจัดวัชพืช 2,4-D เพื่อศึกษาความสัมพันธ์ของจุลินทรีย์ดินที่พบ และวิเคราะห์ชุมชนของจุลินทรีย์ดิน

ระยะเวลา เริ่มต้น ตุลาคม 2564 สิ้นสุด กันยายน 2567

สถานที่ทำการทดลอง

- ห้องปฏิบัติการกลุ่มงานวิจัยจุลินทรีย์ดิน กองวิจัยพัฒนาปัจจัยการผลิตทางการเกษตร
- ห้องปฏิบัติการกลุ่มวิจัยวัฏภูมิพีช กองวิจัยพัฒนาปัจจัยการผลิตทางการเกษตร
- แปลงปลูกอ้อยของเกษตรกร ต.กุดกว้าง อ.หนองเรือ จ.ขอนแก่น (16°27'46.4"N 102°20'11.0"E)
- แปลงปลูกอ้อยของศูนย์วิจัยพืชไร่สุพรรณบุรี อ.อุทัย จ.สุพรรณบุรี (14°16'16.5"N 99°50'26.0"E)

ผลการทดลองและวิจารณ์

1. สมบัติของดินก่อนทำการทดลอง

ผลวิเคราะห์ตัวอย่างดินแปลงปลูกอ้อยก่อนทำการทดลอง พบว่า แปลงทดสอบศูนย์วิจัยพืชไร่สุพรรณบุรี มีเนื้อดินเป็นดินร่วน (loam) ค่าความเป็นกรด-ด่างของดิน (1:1 ดินต่อน้ำ) เท่ากับ 6.78 ค่าความจุในการแลกเปลี่ยนแคตไอออน เท่ากับ 15.11 เซนติโมลต่อกิโลกรัม ปริมาณอินทรีย์วัตถุอยู่ในระดับต่ำ (0.75 – 1.50 เปอร์เซ็นต์) เท่ากับ 1.44 เปอร์เซ็นต์ ปริมาณฟอสฟอรัสในรูปที่เป็นประโยชน์อยู่ในระดับสูง (มากกว่า 30 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม) เท่ากับ 99.29 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม และปริมาณโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ อยู่ในระดับสูง (มากกว่า 90 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม) เท่ากับ 138.51 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม (ตารางที่ 1) ส่วนแปลงเกษตรกร จังหวัดขอนแก่น มีเนื้อดินเป็นดินทรายปนร่วน (sandy loam) ค่าความเป็นกรด-ด่างของดิน (1:1 ดินต่อน้ำ) เท่ากับ 7.22 ค่าความจุในการแลกเปลี่ยนแคตไอออน เท่ากับ 3.75 เซนติโมลต่อกิโลกรัม ปริมาณอินทรีย์วัตถุอยู่ในระดับต่ำมาก (น้อยกว่า 0.75 เปอร์เซ็นต์) เท่ากับ 0.45 เปอร์เซ็นต์ ปริมาณฟอสฟอรัสในรูปที่เป็นประโยชน์อยู่ในระดับต่ำ (7–15 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม) เท่ากับ 10.60 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม และปริมาณ

โพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้อยู่ในระดับต่ำมาก (น้อยกว่า 30 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม) เท่ากับ 12.70 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม (ตารางที่ 1)

ตารางที่ 1 สมบัติทางกายภาพและเคมีของดินก่อนการทดลอง

Locations	Particle size distribution (%)			Soil texture	pH (1:1)	CEC (cmol/kg)	OM (%)	Avail. P (mg/kg)	Exch. K (mg/kg)
	Sand	Silt	Clay						
Suphan Buri province	31.79	43.94	24.28	Loam	6.78	15.11	1.44	99.29	138.51
Khon Kaen province	65.84	29.09	5.08	Sandy loam	7.22	3.75	0.45	10.60	12.70

2. ผลตกค้างของสารกำจัดวัชพืช 2,4-D ในดิน

ปี 2565 ผลวิเคราะห์ปริมาณสาร 2,4-D จากตัวอย่างดินแปลงทดสอบ พบว่า แปลงทดสอบ ศูนย์วิจัยพืชไร่สุพรรณบุรี พบว่า แปลงที่ฉีดพ่น 2,4-D อัตรา 200 กรัมสารออกฤทธิ์ต่อไร่ มีปริมาณสาร 2,4-D ตกค้างในดินหลังฉีดพ่น 2 ชั่วโมง เท่ากับ 1.91 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม และลดลงเป็น 0.87 และ 0.46 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม หลังฉีดพ่น 15 และ 30 วันตามลำดับ และไม่พบการตกค้างของ 2,4-D ในดิน หลังฉีดพ่น 60 วัน (ตารางที่ 2) ส่วนแปลงปลูกอ้อยจังหวัดขอนแก่น ที่ฉีดพ่น 2,4-D อัตรา 200 กรัมสารออกฤทธิ์ต่อไร่ มีปริมาณสาร 2,4-D ตกค้างในดินหลังฉีดพ่น 2 ชั่วโมง เท่ากับ 0.25 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม แต่ไม่พบการตกค้างของ 2,4-D ในดิน หลังฉีดพ่น 15 วัน (ตารางที่ 2)

ปี 2566 ผลวิเคราะห์ปริมาณสาร 2,4-D จากตัวอย่างดินแปลงทดสอบ พบว่า แปลงทดสอบ ศูนย์วิจัยพืชไร่สุพรรณบุรี พบว่า แปลงที่ฉีดพ่น 2,4-D อัตรา 200 กรัมสารออกฤทธิ์ต่อไร่ มีปริมาณสาร 2,4-D ตกค้างในดินหลังฉีดพ่น 2 ชั่วโมง เท่ากับ 1.06 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม และเพิ่มเป็น 1.19 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม หลังฉีดพ่น 4 ชั่วโมง จากนั้นจึงลดลงเป็น 1.09 0.95 และ 0.45 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม หลังฉีดพ่น 1 3 และ 7 วันตามลำดับ (ตารางที่ 3) ส่วนแปลงปลูกอ้อยจังหวัดขอนแก่น ที่ฉีดพ่น 2,4-D อัตรา 200 กรัมสารออกฤทธิ์ต่อไร่ มีปริมาณสาร 2,4-D ตกค้างในดินหลังฉีดพ่น 2 ชั่วโมง เท่ากับ 0.16 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม แต่ไม่พบการตกค้างของ 2,4-D ในดิน หลังฉีดพ่น 4 ชั่วโมง 1 วัน และ 3 วัน แต่ตรวจพบปริมาณสาร 2,4-D ตกค้างในดินหลังฉีดพ่น 7 วัน เท่ากับ 0.56 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม (ตารางที่ 3)

ตารางที่ 2 ผลตกค้างของสารกำจัดวัชพืช 2,4-D ในดินแปลงทดลองจังหวัดสุพรรณบุรีและขอนแก่น ปี 2565

Locations	Treatments	2,4-D concentration (mg/kg)				
		BS ¹	2 H AS ²	15 D AS	30 D AS	60 D AS
Suphan Buri province	Control	ND	ND	ND	ND	ND
	2,4-D	ND	1.91	0.87	0.46	ND
Khon Kaen province	Control	ND*	ND	ND	ND	ND
	2,4-D	ND	0.25	ND	ND	ND

¹ BS = Before spraying 2,4-D ² AS = After spraying 2,4-D * ND = Not detected (< Limit of detection (LOD) = 0.03 mg/kg)

ตารางที่ 3 ผลตกค้างของสารกำจัดวัชพืช 2,4-D ในดินแปลงทดลองจังหวัดสุพรรณบุรีและขอนแก่น ปี 2566

Locations	Treatments	2,4-D Concentration (mg/Kg)					
		BS ¹	2 H AS ²	4 H AS	1 D AS	3 D AS	7 D AS
Suphan Buri province	Control	ND*	ND	ND	ND	ND	ND
	2,4-D	ND	1.06	1.19	1.09	0.95	0.43
Khon Kaen province	Control	ND	ND	ND	ND	ND	ND
	2,4-D	ND	0.16	ND	ND	ND	0.56

¹ BS = Before spraying 2,4-D ² AS = After spraying 2,4-D * ND = Not detected (< Limit of detection (LOD) = 0.03 mg/kg)

3. ผลการใช้สารกำจัดวัชพืช 2,4-D ต่อภาพรวมชุมชนจุลินทรีย์ดิน

3.1 ผลการวิเคราะห์ภาพรวมชุมชนจุลินทรีย์ดินในระดับไฟลัม ปี 2565

จากการเก็บตัวอย่างดินในแปลงทดสอบของศูนย์วิจัยพืชไร่สุพรรณบุรี เพื่อศึกษาผลของการฉีดพ่นสารกำจัดวัชพืช 2,4-D ต่อโครงสร้างของชุมชนจุลินทรีย์ดิน ทั้งในกลุ่มราและแบคทีเรีย พบว่า มีความเปลี่ยนแปลงอย่างมีนัยสำคัญในทั้งสองกลุ่มเมื่อเปรียบเทียบระหว่างก่อนและหลังฉีดพ่น 2,4-D ในส่วนของชุมชนราดิน (ภาพที่ 1) ก่อนฉีดพ่น 2,4-D (SP-0H-65) ตรวจพบจำนวนหน่วยอนุกรมวิธานเชิงปฏิบัติการ หรือ Operational Taxonomic Units (OTUs) ทั้งหมด 823 OTUs โดยองค์ประกอบหลักของไฟลัมราที่พบ ได้แก่ ไฟลัม Ascomycota ร้อยละ 46.6, Incertae sedis ร้อยละ 32.5 และ Basidiomycota ร้อยละ 8.5 ส่วนไฟลัมอื่น ๆ ได้แก่ Mortierellomycota, Mucoromycota และ Chytridiomycota ตรวจพบในสัดส่วนเพียงเล็กน้อย ขณะที่ลำดับเบสบางส่วน (ร้อยละ 10.9) ไม่สามารถระบุไฟลัมได้อย่างชัดเจน หลังฉีดพ่นสาร 2,4-D เป็นเวลา 2 ชั่วโมง (SP-2H-65) พบว่าจำนวน OTUs ลดลงอย่างชัดเจน เหลือเพียง 408 OTUs ซึ่งสะท้อนถึงผลกระทบในระยะสั้นของสารต่อความหลากหลายของราดิน อย่างไรก็ตามองค์ประกอบของไฟลัมมีการเปลี่ยนแปลง โดย Ascomycota มีสัดส่วนเพิ่มขึ้นอย่างเด่นชัดเป็นร้อยละ 60.6 ขณะที่ Incertae sedis ลดลงเหลือร้อยละ 27.2 และ Basidiomycota ลดลงเหลือร้อยละ 3.1 เมื่อพิจารณาหลังจากการฉีดพ่นผ่านไป 15 วัน (SP-15D-65) จำนวน OTUs เพิ่มขึ้นเป็น 610 OTUs แต่สิ่งที่น่าสังเกตคือ Ascomycota มีสัดส่วนเพิ่มขึ้นอย่างมากถึงร้อยละ 98.4 กลายเป็นไฟลัมหลักของชุมชนราอย่างชัดเจน ขณะที่ไฟลัมอื่น ๆ ลดลงเหลือไม่ถึงร้อยละ 1 ซึ่งสะท้อนถึงความสามารถในการปรับตัวหรือความต้านทานของราในกลุ่มนี้ต่อการใช้ 2,4-D กำจัดวัชพืชในแปลงปลูกอ้อย ส่วนชุมชนแบคทีเรียในดิน (ภาพที่ 2) แสดงแนวโน้มที่แตกต่างจากกลุ่มรา โดยก่อนฉีดพ่น (SP-0H-65) พบจำนวน OTUs รวม 1,848 OTUs โดยมีไฟลัม Actinobacteriota เป็นกลุ่มเด่นในสัดส่วนร้อยละ 29.9 รองลงมาคือ Firmicutes (ร้อยละ 16.2), Proteobacteria (ร้อยละ 15.8) และ Planctomycetota (ร้อยละ 9.1) หลังฉีดพ่น 2,4-D เป็นเวลา 2 ชั่วโมง (SP-2H-65) จำนวน OTUs เพิ่มขึ้นเล็กน้อยเป็น 1,998 OTUs แต่สัดส่วนของไฟลัมมีการเปลี่ยนแปลง Actinobacteriota เพิ่มขึ้นเป็นร้อยละ 36.2 ในขณะที่ Firmicutes และ Proteobacteria ลดลงเล็กน้อยเป็นร้อยละ 12.0 และ 13.8 ตามลำดับ Chloroflexi เพิ่มขึ้นเป็นร้อยละ 10.9 ซึ่งอาจแสดงให้เห็นถึงความสามารถในการปรับตัวของกลุ่มนี้ต่อการเปลี่ยนแปลงสภาพแวดล้อมอย่างเฉียบพลัน อย่างไรก็ตามหลังฉีดพ่น 2,4-D เป็นเวลา 15 วัน (SP-15D-65) จำนวน OTUs เพิ่มขึ้นอย่างมากเป็น 3,593 OTUs หรือเกือบสองเท่าของก่อนฉีด สะท้อนถึงการฟื้นตัวหรือแม้กระทั่งการเร่งการเจริญของชุมชนแบคทีเรีย โดย Actinobacteriota ยังคงเป็นกลุ่มหลักในสัดส่วนร้อยละ 27.9 ตามด้วย Proteobacteria (ร้อยละ 23.1) และ Bacteroidota ที่เพิ่มขึ้นเป็นร้อยละ 16.1 นอกจากนี้ไฟลัม Gemmatimonadota และ Myxococcota ก็มีสัดส่วนเพิ่มขึ้นเช่นกัน ซึ่งอาจเป็นผลมาจากการเปลี่ยนแปลงของโครงสร้างอินทรีย์วัตถุหรือสภาพทางกายภาพของดินหลังการพ่นสาร

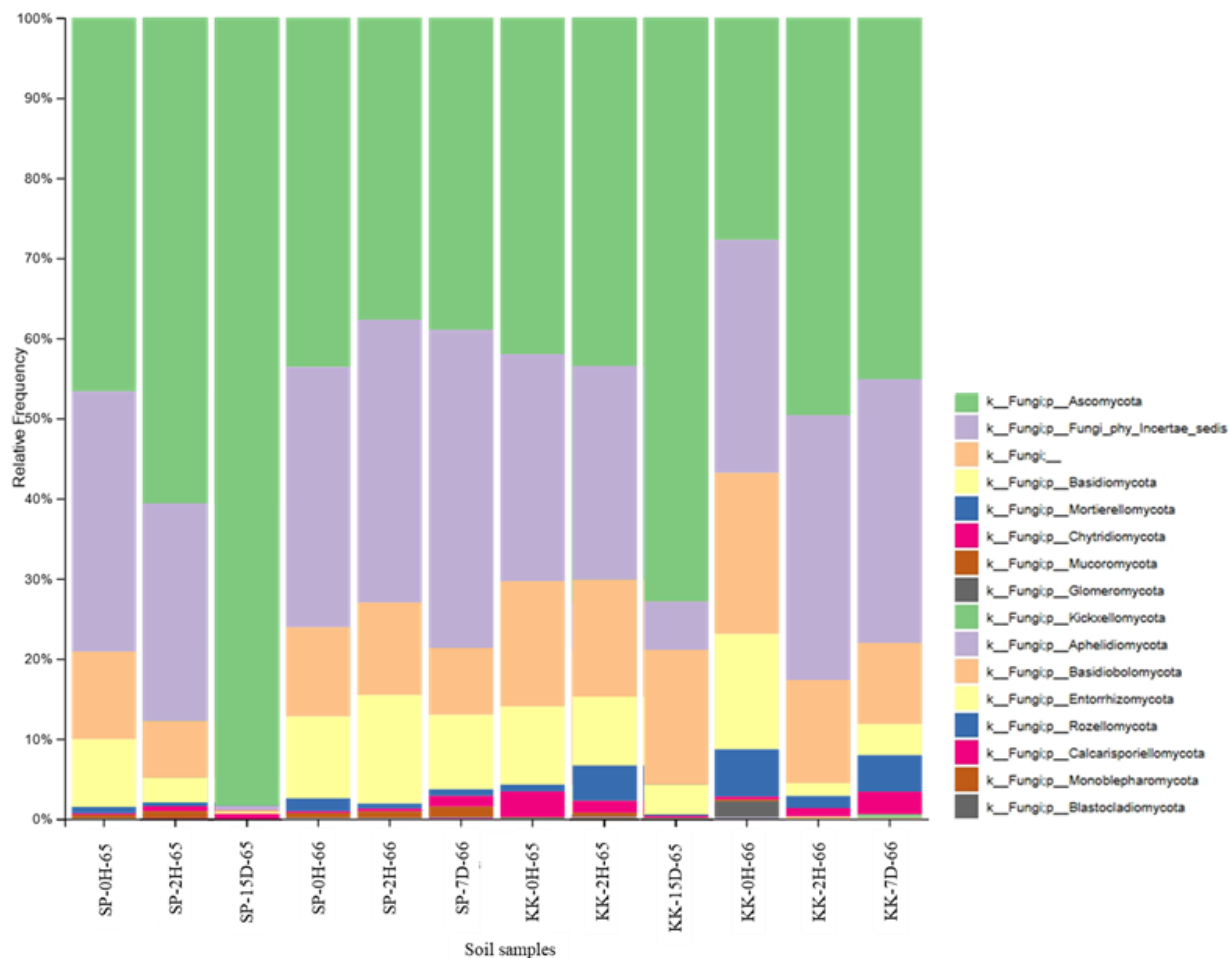
จากการเก็บตัวอย่างดินในปลูกอ้อยจังหวัดขอนแก่น เพื่อศึกษาผลของการฉีดพ่นสารกำจัดวัชพืช 2,4-D ต่อโครงสร้างของชุมชนจุลินทรีย์ดิน ทั้งในกลุ่มราและแบคทีเรีย พบว่า ชุมชนราดิน (ภาพที่ 1) ก่อนฉีดพ่น 2,4-D (KK-0H-65) พบจำนวน OTUs ทั้งหมด 729 OTUs โดยมีสัดส่วนหลักในไฟลัม Ascomycota ร้อยละ 42.0, ไฟลัม Incertae sedis ร้อยละ 28.4, ไฟลัม Basidiomycota ร้อยละ 9.8, ไฟลัม Chytridiomycota ร้อยละ 3.2 และไฟลัม Mortierellomycota ร้อยละ 0.9 ส่วนที่ไม่สามารถระบุไฟลัมได้คิดเป็นร้อยละ 15.6 หลังจากฉีดพ่น 2,4-D เป็นเวลา 2 ชั่วโมง (KK-2H-65) พบจำนวน OTUs เพิ่มขึ้นเป็น 778 OTUs โดยยังคงมี Ascomycota เป็นไฟลัมหลักในอัตราส่วนที่เพิ่มขึ้นเล็กน้อยเป็นร้อยละ 43.5 ขณะที่สัดส่วนของไฟลัม Incertae sedis และ Basidiomycota ลดลงเป็นร้อยละ 26.7 และ 8.6 ตามลำดับ และหลังฉีดพ่น 2,4-D เป็นเวลา 15 วัน (KK-15D-65) จำนวน OTUs เพิ่มขึ้นเป็น 920 OTUs โดยมี Ascomycota เป็นหลักมากถึงร้อยละ 72.9 ซึ่งแสดงถึงการปรับตัวหรือการเจริญเติบโตของราในกลุ่มนี้อย่างชัดเจน ขณะที่สัดส่วนของ Incertae sedis, Basidiomycota, Mortierellomycota และ Chytridiomycota ลดลงอย่างมาก และที่ไม่สามารถระบุไฟลัมได้เพิ่มขึ้นเล็กน้อยเป็นร้อยละ 16.8 ส่วนชุมชนแบคทีเรียในดิน (ภาพที่ 2) ก่อนฉีดพ่น 2,4-D (KK-0H-65) มีจำนวน OTUs ทั้งหมด 2,112 OTUs โดยพบแบคทีเรียในไฟลัม Actinobacteriota เป็นสัดส่วนสูงสุดที่ร้อยละ 23.0 รองลงมาคือ Firmicutes ร้อยละ 16.1, Proteobacteria ร้อยละ 13.8, Acidobacteriota ร้อยละ 10.7 และ Planctomycetota ร้อยละ 10.3 หลังจากฉีดพ่น 2,4-D เป็นเวลา 2 ชั่วโมง (KK-2H-65) จำนวน OTUs เพิ่มขึ้นเป็น 3,148 OTUs โดยมีการเปลี่ยนแปลงในสัดส่วนของไฟลัมต่าง ๆ อย่างชัดเจน ได้แก่ การลดลงของ Actinobacteriota เหลือร้อยละ 19.5 และ Firmicutes เหลือร้อยละ 13.3 ขณะที่ Proteobacteria และ Acidobacteriota เพิ่มขึ้นเล็กน้อยเป็นร้อยละ 14.9 และ 12.2 ตามลำดับ หลังฉีดพ่น 2,4-D เป็นเวลา 15 วัน (KK-15D-65) จำนวน OTUs เพิ่มขึ้นอย่างมากเป็น 9,651 OTUs โดยมีการเปลี่ยนแปลงของโครงสร้างชุมชนอย่างชัดเจน กลุ่ม Proteobacteria และ Acidobacteriota มีสัดส่วนเพิ่มขึ้นเป็นร้อยละ 27.4 และ 24.8 ตามลำดับ ในขณะที่กลุ่ม Actinobacteriota และ Firmicutes ลดลงเหลือร้อยละ 6.3 และ 3.1 ตามลำดับ อีกทั้งยังพบไฟลัมใหม่ เช่น Gemmatimonadota และ Bacteroidota ปรากฏในสัดส่วนที่น่าสนใจคือร้อยละ 5.3 และ 3.1 ตามลำดับ

3.2 ผลการวิเคราะห์ภาพรวมชุมชนจุลินทรีย์ดินในระดับไฟลัม ปี 2566

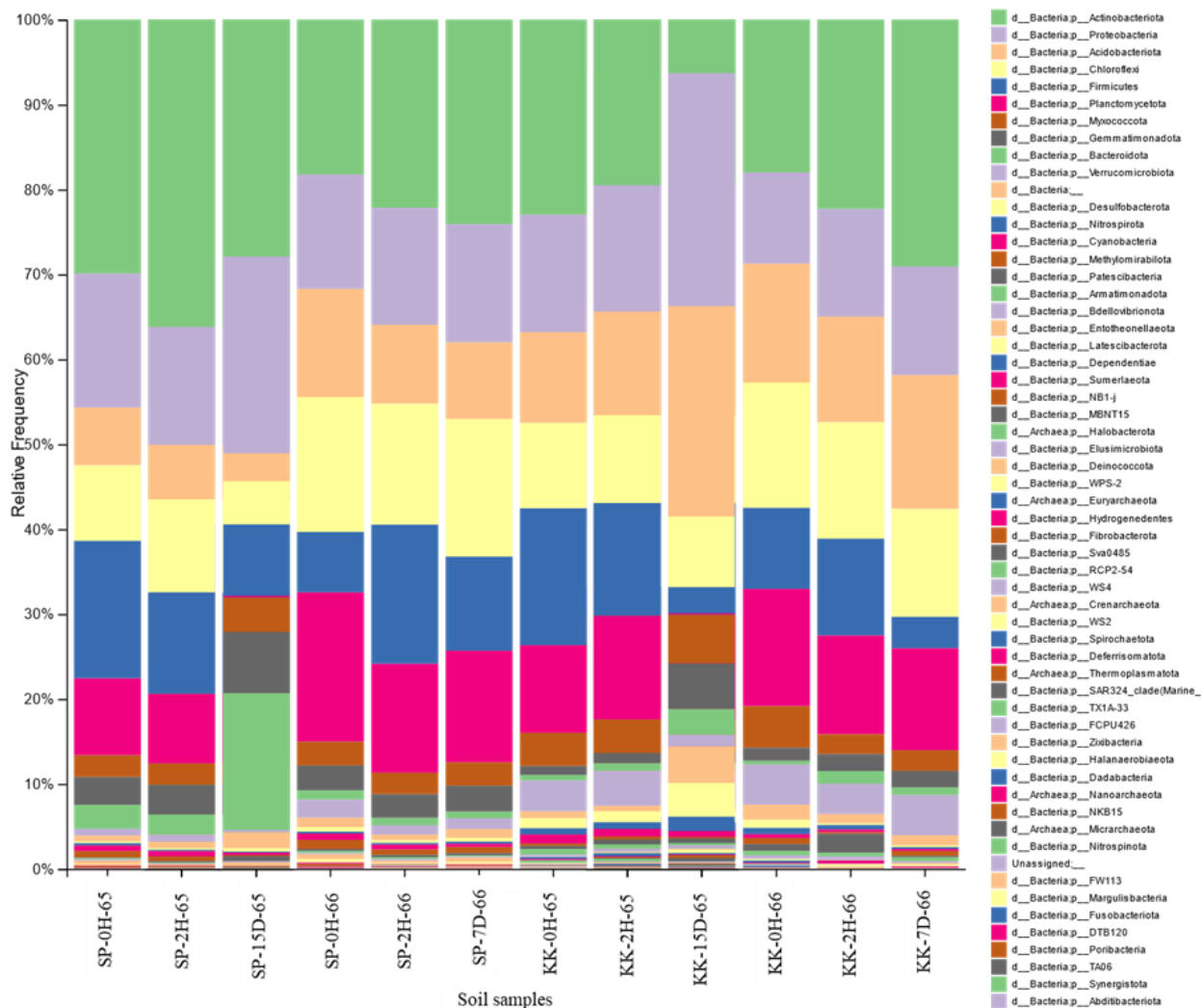
จากการศึกษาผลของการใช้สารกำจัดวัชพืช 2,4-D ต่อโครงสร้างของชุมชนจุลินทรีย์ดินในแปลงทดสอบของศูนย์วิจัยพืชไร่นาสุพรรณบุรี โดยเก็บตัวอย่างดินเพื่อวิเคราะห์องค์ประกอบของชุมชนราและแบคทีเรีย พบว่าการใช้สาร 2,4-D มีผลกระทบต่อความหลากหลายและสัดส่วนของกลุ่มจุลินทรีย์ในระดับไฟลัมอย่างมีนัยสำคัญ โดยในส่วนของชุมชนราดิน (ภาพที่ 1) พบว่าก่อนการฉีดพ่น 2,4-D (SP-0H-66) มีจำนวน OTUs ทั้งหมด 810 OTUs โดยไฟลัมที่พบมากที่สุดคือ Incertae sedis คิดเป็นร้อยละ 32.5 รองลงมาคือ Basidiomycota ร้อยละ 10.3 และ Ascomycota เพียงร้อยละ 4.6 หลังฉีดพ่น 2,4-D เป็นเวลา 2 ชั่วโมง จำนวน OTUs ลดลงเหลือ 616 OTUs แต่สัดส่วนของไฟลัม Ascomycota เพิ่มขึ้นอย่างชัดเจนเป็นร้อยละ 37.7 ขณะที่ Incertae sedis และ Basidiomycota มีสัดส่วนใกล้เคียงกับช่วงก่อนฉีดพ่น โดยอยู่ที่ร้อยละ 35.3 และ 13.6 ตามลำดับ และหลังฉีดพ่น 2,4-D เป็นเวลา 7 วัน (SP-7D-66) จำนวน OTUs เพิ่มขึ้นเป็น 824 OTUs โดยไฟลัม Ascomycota และ Incertae sedis ยังคงเป็นกลุ่มหลัก โดยมีสัดส่วนเพิ่มขึ้นเป็นร้อยละ 39.0 และ 39.7 ตามลำดับ ขณะที่ไฟลัม Basidiomycota ลดลงเล็กน้อยเป็นร้อยละ 9.3 แสดงให้เห็นว่าการฉีดพ่น 2,4-D ส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงองค์ประกอบของชุมชนราดินอย่างรวดเร็วในช่วงแรก และมีการปรับตัวหรือฟื้นตัวบางส่วนในระยะ 7 วัน ส่วนชุมชนแบคทีเรียในดิน (ภาพที่ 2) พบว่า ก่อนฉีดพ่น 2,4-D (SP-0H-66) มีจำนวน OTUs เท่ากับ 2,558 OTUs โดยมีไฟลัม Actinobacteriota และ Planctomycetota เป็นกลุ่มเด่น คิดเป็นร้อยละ 18.2 และ

17.6 ตามลำดับ รองลงมาคือ Chloroflexi ร้อยละ 15.9 และ Proteobacteria ร้อยละ 13.5 เมื่อฉีดพ่นสาร 2,4-D แล้วทิ้งไว้เป็นเวลา 2 ชั่วโมง (SP-2H-66) จำนวน OTUs ลดลงเหลือ 2,105 OTUs แต่สัดส่วนของ Actinobacteriota เพิ่มขึ้นเป็นร้อยละ 22.2 และ Firmicutes เพิ่มขึ้นจากร้อยละ 7.1 เป็น 16.4 ขณะที่ไฟลัม Acidobacteriota ลดลงเหลือร้อยละ 9.3 หลังฉีดพ่น 2,4-D เป็นเวลา 7 วัน (SP-7D-66) จำนวน OTUs เพิ่มขึ้นเป็น 2,797 OTUs สะท้อนถึงการฟื้นตัวของความหลากหลายของชุมชนแบคทีเรีย ไฟลัม Actinobacteriota มีสัดส่วนเพิ่มขึ้นเป็นร้อยละ 24.1 และไฟลัม Chloroflexi เพิ่มขึ้นเป็นร้อยละ 16.2 ขณะที่ Acidobacteriota ยังคงลดลงต่อเนื่องเหลือร้อยละ 9.1

จากการศึกษาผลของการใช้สารกำจัดวัชพืช 2,4-D ต่อโครงสร้างของชุมชนจุลินทรีย์ดินในแปลงปลูกอ้อย จังหวัดขอนแก่น โดยทำการเก็บตัวอย่างดินเพื่อวิเคราะห์องค์ประกอบของชุมชนจุลินทรีย์ ทั้งในกลุ่มราและแบคทีเรีย พบว่า ในส่วนของชุมชนราดิน (ภาพที่ 1) ก่อนฉีดพ่น 2,4-D (KK-0H-66) พบจำนวน OTUs เท่ากับ 783 OTUs โดยมีไฟลัมหลัก ได้แก่ Incertae sedis ร้อยละ 29.1, Ascomycota ร้อยละ 27.7 และ Basidiomycota ร้อยละ 14.4 รองลงมาคือ Mortierellomycota ร้อยละ 5.9 และ Glomeromycota ร้อยละ 2.0 ส่วนที่ไม่สามารถระบุไฟลัมได้คิดเป็นร้อยละ 20.1 หลังฉีดพ่น 2,4-D เป็นเวลา 2 ชั่วโมง (KK-2H-66) พบว่า จำนวน OTUs ลดลงเหลือ 536 OTUs และมีสัดส่วนของ Ascomycota เพิ่มขึ้นอย่างชัดเจนเป็นร้อยละ 49.6 ขณะที่สัดส่วนของ Basidiomycota และ Mortierellomycota ลดลงเหลือเพียงร้อยละ 1.6 และ 1.5 ตามลำดับ และพบการปรากฏของไฟลัม Basidiobolomycota ในปริมาณเล็กน้อย (ร้อยละ 0.3) และหลังฉีดพ่น 2,4-D เป็นเวลา 7 วัน (KK-7D-66) จำนวน OTUs เพิ่มขึ้นเป็น 885 OTUs โดย Ascomycota และ Incertae sedis ยังคงเป็นกลุ่มเด่นในสัดส่วนร้อยละ 45.1 และ 32.9 ตามลำดับ ขณะที่ไฟลัม Basidiomycota ฟื้นตัวเล็กน้อยเป็นร้อยละ 3.9 และพบไฟลัมใหม่ ได้แก่ Kickxellomycota (ร้อยละ 0.3) และ Glomeromycota (ร้อยละ 0.1) สำหรับชุมชนแบคทีเรียในดิน (ภาพที่ 2) พบว่า ก่อนฉีดพ่น 2,4-D (KK-0H-66) พบจำนวน OTUs ทั้งหมด 2,418 OTUs โดยมีไฟลัมหลักได้แก่ Actinobacteriota ร้อยละ 18.0, Chloroflexi ร้อยละ 14.8, Acidobacteriota ร้อยละ 14.0, และ Planctomycetota ร้อยละ 13.8 รองลงมาคือ Proteobacteria ร้อยละ 10.7 และ Firmicutes ร้อยละ 9.6 หลังฉีดพ่น 2,4-D เป็นเวลา 2 ชั่วโมง (KK-2H-66) จำนวน OTUs ลดลงเหลือ 2,055 OTUs โดยมีสัดส่วนของ Actinobacteriota เพิ่มขึ้นเป็นร้อยละ 22.3 และ Firmicutes เพิ่มขึ้นเป็นร้อยละ 11.4 ขณะที่ Acidobacteriota และ Planctomycetota ลดลงเล็กน้อย ส่วน Myxococcota ลดลงจากร้อยละ 4.9 เหลือเพียงร้อยละ 2.3 และพบการปรากฏของไฟลัม Gemmatimonadota ในสัดส่วนร้อยละ 2.0 และหลังฉีดพ่น 2,4-D เป็นเวลา 7 วัน (KK-7D-66) จำนวน OTUs เพิ่มขึ้นเป็น 2,113 OTUs ซึ่งแสดงถึงการฟื้นตัวของความหลากหลายของแบคทีเรียบางกลุ่ม โดยเฉพาะ Actinobacteriota ที่มีสัดส่วนเพิ่มขึ้นต่อเนื่องเป็นร้อยละ 29.1 ส่วน Acidobacteriota และ Proteobacteria เพิ่มขึ้นเล็กน้อยเป็นร้อยละ 15.8 และ 12.8 ตามลำดับ ขณะที่ Firmicutes ลดลงอย่างชัดเจนเหลือร้อยละ 3.7



ภาพที่ 1 แสดงสัดส่วนของราดินแต่ละ Phylum ที่ตรวจพบในตัวอย่างดินแปลงปลูกอ้อยจ.สุพรรณบุรีและขอนแก่น ปี 2565 - 2566 (SP=จังหวัดสุพรรณบุรี, KK = จังหวัดขอนแก่น, 0H, 2H, 7D และ 15D = ระยะเวลาเก็บตัวอย่างดินหลังฉีดพ่น 2,4-D 0 ชั่วโมง 2 ชั่วโมง 7 วัน และ 15 วัน, 65 - 66 = ปีที่เก็บตัวอย่าง)



ภาพที่ 2 แสดงสัดส่วนของแบคทีเรียแต่ละ Phylum ที่ตรวจพบในตัวอย่างดินแปลงปลูกอ้อยจ.สุพรรณบุรีและขอนแก่น ปี 2565 - 2566 (SP=จังหวัดสุพรรณบุรี, KK = จังหวัดขอนแก่น, 0H, 2H, 7D และ 15D = ระยะเวลาเก็บตัวอย่างดินหลังฉีดพ่น 2,4-D 0 ชั่วโมง 2 ชั่วโมง 7 วัน และ 15 วัน, 65 - 66 = ปีที่เก็บตัวอย่าง)

4. ผลการใช้สารกำจัดวัชพืช 2,4-D ต่อปริมาณจุลินทรีย์ดินที่สามารถนับได้

การศึกษาผลกระทบของการใช้สารกำจัดวัชพืช 2,4-D เพื่อกำจัดวัชพืชหลังออกในแปลงปลูกอ้อยของศูนย์วิจัยพืชไร่สุพรรณบุรี และแปลงเกษตรกรจังหวัดขอนแก่นต่อปริมาณแบคทีเรียที่สามารถนับได้ แนวโน้มโดยภาพรวม พบว่า การใช้สารกำจัดวัชพืช 2,4-D มีผลกระทบต่อปริมาณแบคทีเรียในช่วงแรก แต่ในระยะยาวไม่มีผลกระทบที่ชัดเจน โดยแปลงปลูกอ้อยจังหวัดขอนแก่น มีแนวโน้มได้รับผลกระทบจากสารกำจัดวัชพืช 2,4-D มากกว่าแปลงปลูกอ้อยจังหวัดสุพรรณบุรี (ตารางที่ 4 และ 5)

ตารางที่ 4 ปริมาณแบคทีเรียในดินแปลงทดลองจังหวัดสุพรรณบุรีและขอนแก่น ปี 2565

Locations	Treatments	Bacteria ($\log_{10}$ cfu/g)				
		BS ¹	2 H AS ²	15 D AS	30 D AS	60 D AS
Suphan Buri province	Control	6.99±0.09	7.14±0.12	6.81±0.05	6.76±0.05	6.75±0.04
	2,4-D	6.84±0.03	6.91±0.09	6.82±0.12	6.78±0.14	6.73±0.07
t Stat		5.02	4.91	-0.21	-0.45	0.94
t Critical two-tail		2.16	2.09	2.10	2.18	2.12
Khon Kaen province	Control	6.74±0.04	6.71±0.05	6.85±0.03	6.69±0.06	6.67±0.11
	2,4-D	6.78±0.06	6.90±0.11	6.91±0.07	6.71±0.11	6.68±0.09
t Stat		-1.56	-5.43	-2.24	-0.55	-0.21
t Critical two-tail		2.09	2.18	2.15	2.13	2.09

¹ BS = Before spraying 2,4-D

² AS = After spraying 2,4-D

ตารางที่ 5 ปริมาณแบคทีเรียในดินแปลงทดลองจังหวัดสุพรรณบุรีและขอนแก่น ปี 2566

Locations	Treatments	Bacteria ($\log_{10}$ cfu/g)					
		BS ¹	2 H AS ²	4 H AS	1 D AS	3 D AS	7 D AS
Suphan Buri province	Control	6.42±0.02	6.47±0.05	6.82±0.14	6.64±0.06	6.67±0.14	6.67±0.10
	2,4-D	6.46±0.06	6.46±0.04	6.59±0.11	6.56±0.11	6.56±0.05	6.61±0.08
t Stat		-1.76	0.14	4.38	2.20	2.39	1.46
t Critical two-tail		2.16	2.09	2.09	2.09	2.18	2.09
Khon Kaen province	Control	6.56±0.05	6.70±0.12	6.75±0.11	6.65±0.09	6.64±0.04	6.51±0.09
	2,4-D	6.73±0.01	6.72±0.03	6.75±0.10	6.70±0.07	6.76±0.09	6.59±0.08
t Stat		-11.68	-0.73	0.67	-1.53	-4.06	-2.24
t Critical two-tail		2.18	2.22	2.09	2.09	2.16	2.09

¹ BS = Before spraying 2,4-D

² AS = After spraying 2,4-D

แนวโน้มโดยภาพรวมของผลกระทบจากการใช้สารกำจัดวัชพืช 2,4-D ต่อปริมาณราที่สามารถนับได้พบว่า การใช้สารกำจัดวัชพืช 2,4-D ส่งผลให้ปริมาณราลดลงในระยะสั้นหลังฉีดพ่น (2 ชั่วโมง จนถึง 15 วันหลังการฉีดพ่น) แต่อย่างไรก็ตามในระยะยาว (30 - 60 วัน หลังฉีดพ่น) ปริมาณราในดินของแปลงอ้อย Control และแปลงอ้อยที่ใช้ 2,4-D มีแนวโน้มกลับมาใกล้เคียงกัน โดยแปลงอ้อยจังหวัดสุพรรณบุรีมีผลกระทบจากการใช้สารกำจัดวัชพืช 2,4-D ที่ชัดเจนกว่าแปลงอ้อยจังหวัดขอนแก่น ในปี 2565 ส่วนปี 2566 แนวโน้มโดยภาพรวมไม่ชัดเจน (ตารางที่ 6 และ 7)

ตารางที่ 6 ปริมาณราในดินแปลงทดลองจังหวัดสุพรรณบุรีและขอนแก่น ปี 2565

Locations	Treatments	Fungi (log ₁₀ cfu/g)				
		BS ¹	2 H AS ²	15 D AS	30 D AS	60 D AS
Suphan Buri province	Control	5.43±0.12	5.55±0.05	5.49±0.11	5.47±0.12	5.65±0.04
	2,4-D	5.40±0.11	5.24±0.12	5.27±0.06	5.42±0.10	5.52±0.05
t Stat		0.63	7.95	6.05	1.27	6.65
t Critical two-tail		2.09	2.16	2.12	2.09	2.09
Khon Kaen province	Control	4.43±0.09	4.49±0.07	4.39±0.05	4.46±0.07	4.39±0.11
	2,4-D	4.53±0.05	4.46±0.06	4.37±0.05	4.44±0.05	4.35±0.07
t Stat		-3.51	1.34	0.76	0.58	0.88
t Critical two-tail		2.13	2.09	2.09	2.09	2.09

¹ BS = Before spraying 2,4-D

² AS = After spraying 2,4-D

ตารางที่ 7 ปริมาณราในดินแปลงทดลองจังหวัดสุพรรณบุรีและขอนแก่น ปี 2566

Locations	Treatments	Fungi (log ₁₀ cfu/g)					
		BS ¹	2 H AS ²	4 H AS	1 D AS	3 D AS	7 D AS
Suphan Buri province	Control	4.73±0.11	4.73±0.04	4.71±0.08	4.70±0.11	4.69±0.06	4.53±0.10
	2,4-D	4.73±0.05	4.67±0.03	4.66±0.04	4.59±0.03	4.50±0.08	4.56±0.09
t Stat		0.00	4.42	1.83	3.17	5.79	-0.81
t Critical two-tail		2.16	2.09	2.13	2.18	2.09	2.09
Khon Kaen province	Control	4.67±0.07	4.62±0.05	4.73±0.09	4.82±0.12	4.56±0.09	4.46±0.06
	2,4-D	4.56±0.18	4.59±0.05	4.57±0.08	4.54±0.15	4.45±0.04	4.47±0.09
t Stat		1.98	1.18	4.41	4.86	3.42	-0.33
t Critical two-tail		2.16	2.09	2.09	2.09	2.14	2.09

¹ BS = Before spraying 2,4-D

² AS = After spraying 2,4-D

โดยภาพรวม ผลกระทบจากการใช้สารกำจัดวัชพืช 2,4-D ต่อปริมาณแอกติโนมัยสีที่ที่สามารถนับได้พบว่า ก่อนการใช้สาร 2,4-D ปริมาณแอกติโนมัยสีในดินช่วงเริ่มต้นของปี 2566 ต่ำกว่าปี 2565 เล็กน้อย และมีแนวโน้มลดลงทั้งในแปลงอ้อย Control และแปลงที่ใช้ 2,4-D นอกจากนี้ แปลงปลูกอ้อยในจังหวัดขอนแก่นมีแนวโน้มได้รับผลกระทบจาก 2,4-D มากกว่าจังหวัดสุพรรณบุรี (ตารางที่ 8 และ 9)

ตารางที่ 8 ปริมาณแอกติโนมัยสีท ในดินแปลงทดลองจังหวัดสุพรรณบุรีและขอนแก่น ปี 2565

Locations	Treatments	Actinomyces (log ₁₀ cfu/g)				
		BS ¹	2 H AS ²	15 D AS	30 D AS	60 D AS
Suphan Buri province	Control	6.99±0.08	6.90±0.12	6.61±0.07	6.62±0.12	6.48±0.15
	2,4-D	6.86±0.09	6.93±0.10	6.64±0.06	6.68±0.10	6.54±0.1
t Stat		3.45	-0.58	-0.96	-1.31	-1.06
t Critical two-tail		2.09	2.09	2.09	2.09	2.09
Khon Kaen province	Control	6.42±0.22	6.31±0.09	6.51±0.10	6.42±0.07	6.38±0.04
	2,4-D	6.63±0.11	6.35±0.05	6.72±0.07	6.48±0.07	6.37±0.04
t Stat		-2.90	-1.29	-5.58	-2.02	0.41
t Critical two-tail		2.13	2.09	2.09	2.09	2.09

¹ BS = Before spraying 2,4-D

² AS = After spraying 2,4-D

ตารางที่ 9 ปริมาณแอกติโนมัยสีท ในดินแปลงทดลองจังหวัดสุพรรณบุรีและขอนแก่น ปี 2566

Locations	Treatments	Actinomyces (log ₁₀ cfu/g)					
		BS ¹	2 H AS ²	4 H AS	1 D AS	3 D AS	7 D AS
Suphan Buri province	Control	6.41±0.09	6.35±0.11	6.52±0.22	6.40±0.11	6.40±0.20	6.33±0.17
	2,4-D	6.34±0.04	6.28±0.12	6.36±0.13	6.38±0.21	6.43±0.10	6.36±0.14
t Stat		2.31	1.41	2.04	0.31	-0.45	-0.35
t Critical two-tail		2.14	2.09	2.09	2.13	2.13	2.09
Khon Kaen province	Control	5.88±0.29	6.17±0.24	6.01±0.23	6.05±0.05	6.19±0.22	6.13±0.13
	2,4-D	6.25±0.15	6.22±0.09	6.38±0.13	6.17±0.15	6.17±0.14	5.95±0.21
t Stat		-3.76	-0.63	-4.74	-2.63	0.31	2.42
t Critical two-tail		2.13	2.16	2.12	2.18	2.09	2.09

¹ BS = Before spraying 2,4-D

² AS = After spraying 2,4-D

สรุปผลการทดลอง

การใช้สารกำจัดวัชพืช 2,4-D ในแปลงปลูกอ้อยส่งผลต่อการตกค้างของสารในดินและโครงสร้างของชุมชนจุลินทรีย์ดิน โดยการตกค้างของ 2,4-D มีความแตกต่างกันระหว่างพื้นที่และช่วงเวลา โดยพบการตกค้างของ 2,4-D ในดินของแปลงทดสอบศูนย์วิจัยพืชไร่สุพรรณบุรี สูงกว่าแปลงเกษตรกรจังหวัดขอนแก่นทั้งปีการเพาะปลูก 2565 และ 2566 นอกจากนั้นยังพบว่า 2,4-D ที่ตกค้างในดินของแปลงทดสอบศูนย์วิจัยพืชไร่สุพรรณบุรีมีค่าครึ่งชีวิตที่ยาวกว่าแปลงเกษตรกรจังหวัดขอนแก่น ในด้านผลกระทบต่อจุลินทรีย์ดิน พบว่าการใช้ 2,4-D มีผลต่อปริมาณและองค์ประกอบของจุลินทรีย์ในดิน โดยเฉพาะเชื้อราในไฟลัม Ascomycota ซึ่งมีสัดส่วนเพิ่มขึ้นหลังการฉีดพ่น ขณะที่แบคทีเรียในไฟลัม Actinobacteriota, Proteobacteria, และ Firmicutes ได้รับผลกระทบจาก 2,4-D ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงในโครงสร้างประชากรและปริมาณของแต่ละกลุ่ม

คำขอบคุณ

งานวิจัยนี้ได้รับการสนับสนุนงบประมาณจากกองทุนส่งเสริมวิทยาศาสตร์ วิจัยและนวัตกรรม (ววน.) ประเภทงบประมาณเพื่อสนับสนุนงานวิจัยมูลฐาน (Fundamental Fund) สำนักงานคณะกรรมการส่งเสริมวิทยาศาสตร์ วิจัยและนวัตกรรม (สกสว.) ของกรมวิชาการเกษตร ตามรหัสการทดลอง FF65-58-02-65-00-03-65

การนำผลงานวิจัยไปใช้ประโยชน์

ข้อมูลที่ได้การศึกษผลกระทบของ 2,4-D ต่อจุลินทรีย์ดินในแปลงปลูกอ้อยทำให้มีความเข้าใจการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นในระบบนิเวศดิน อันจะนำไปสู่การพัฒนาแนวทางการใช้สารกำจัดวัชพืชอย่างยั่งยืน รวมถึงการหามาตรการลดผลกระทบที่อาจเกิดขึ้นต่อจุลินทรีย์ดินและความอุดมสมบูรณ์ของดินในระยะยาว

เอกสารอ้างอิง

- สนธยา ขำดีบ จิตรา เกาะแก้ว กนกอร บุญพา และอำนาจ เอี่ยมวิจารณ์. 2567. การย่อยสลายสารกำจัดวัชพืช 2,4-dichlorophenoxyacetic acid โดยแบคทีเรียที่คัดแยกจากดินแปลงปลูกอ้อย. การประชุมทางวิชาการของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ครั้งที่ 62 วันที่ 5-7 มีนาคม 2567 ณ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ น. 499-507.
- Boivin, A., S. Amellal, M. Schiavon, and M.T.V. Genuchten. 2005. 2,4-Dichlorophenoxyacetic acid (2,4-D) sorption and degradation dynamics in three agricultural soils. **Environmental Pollution** 138: 92-99.
- Bollag, J.M., C.S. Hellings, and M. Alexander. 1968. 2,4-D metabolism: enzymatic hydroxylation of chlorinated phenols. **Journal of Agricultural and Food Chemistry** 16: 826-828.
- Bray, R.H., and L.T. Kurtz. 1945. Determination of total organic and available forms of phosphorus in soils. **Soil Science** 59: 39-45.
- Chang, Y.C., M.V. Reddy, H. Umemoto, Y. Sato, M.H. Kang, Y. Yajima, et al., 2015. Bio-augmentation of *Cupriavidus* sp. CY-1 into 2,4-D contaminated soil: Microbial community analysis by culture dependent and independent techniques. **Plos ONE** 10(12): e0145057.
- Cycon, M., M. Wójcik, S. Borymski, and Z. Piotrowska-Seget. 2013. Short-term effects of the herbicide napropamide on the activity and structure of the soil microbial community assessed by the multi-approach analysis. **Applied Soil Ecology** 66: 8-18.
- Farag, A.M., A. Fawzy, M.Y. El-Naggar, and K.M. Ghanem 2021. Biodegradation and enhancement of 2,4-dichlorophenol by marine halophilic *Bacillus subtilis* AAK. **Egyptian Journal of Aquatic Research** 47: 117-123.
- Fu, F.F., L.X. Xiao, W. Wang, X.Q. Xu L.J. Xu G.M. Qi, et al., 2009. Study on the degradation of 2,4-dichlorophenoxyacetic acid (2,4-D) and 2-methyl-chloro-phenoxyacetic sodium (MCPA sodium) in natural agriculture soil of Fuzhou, China using capillary electrophoresis. **Science of the Total Environment** 407: 1998-2003.
- Gaultier J.D., and A. Farenhorst. 2007. 2,4-D mineralization in soil profiles of a cultivated hummocky landscape in Manitoba, Canada. **Journal of Environmental Science and Health, Part B** 42: 255-264.
- Gonod, L.V., F.M. Laurent, and C. Chenu. 2006. 2,4-D impact on bacterial communities, and the activity and genetic potential of 2,4-D degrading communities in soil. **FEMS Microbiology Ecology** 58: 529-537.
- González, A.J., A. Gallego, V.L. Gemini, M. Papalia, M. Radica, G. Gutkind, et al., 2012. Degradation and detoxification of the herbicide 2,4-dichlorophenoxyacetic acid (2,4-D) by an indigenous *Delftia* sp. strain in batch and continuous systems. **International Biodeterioration and Biodegradation** 66: 8-13.
- Kelley, K.B., and D.E. Riechers. 2007. Recent developments in auxin biology and new opportunities for auxinic herbicide research. **Pesticide Biochemistry and Physiology** 89: 1-11.

- Walkley, A.J., and I.A. Black. 1934. Estimation of soil organic carbon by the chromic acid titration method. **Soil Science** 37: 29-38.
- Wilson, W.D., J.J. Geronimo, and A. Armbruster. 1997. 2,4-D dissipation in field soils after application of 2,4-D dimethylamine salt and 2,4-D 2-ethylhexyl ester. **Environmental Toxicology and Chemistry** 16: 1236-1246.

ผลกระทบของการใช้ 2,4-D ต่อจุลินทรีย์ดินในแปลงปลูกข้าวโพดเลี้ยงสัตว์
จังหวัดลพบุรี และนครราชสีมา

Impact of 2,4-D on Soil Microorganisms at Maize Field in Lop Buri
and Nakhon Ratchasima Provinces.

บุญทริก นิมชาติ¹ กนกอร บุญพา¹ มนต์ชัย มนต์สิลา¹ จันทิมา ผลทอง² ธวัชชัย อินทร์บุญช่วย³
จรรย์ญา ปิ่นสุภา⁴ เฌอรัชต์พัชร เขียววิชัย⁵

Boontarik Chimchart¹ Kanokon Bunpha¹ Sontaya Khamtib¹

Monchai Manassila¹ Jantima Phonkongand² Tawatchai Inboonchuay³ Jaranya Pinsupa⁴

Choeratphatchra Khieowichai⁵

กลุ่มวิจัยปฐพีวิทยา

กองวิจัยพัฒนาปัจจัยการผลิตทางการเกษตร

ABSTRACT

This research aims to study the impact of herbicides on the soil microbial population in areas where herbicides are used, as well as to select microorganisms that are resistant to the herbicide 2,4-dichlorophenoxyacetic acid dimethylammonium (2,4-D). The study was conducted at maize fields in Lopburi and Nakhon Ratchasima provinces. The plots were divided into two subplots, each 400 square meters in size. One plot was sprayed with 2,4-D at the recommended rate of 120 grams of active ingredient per rai (1,600 square meters), without any other pesticide application. The second plot was not sprayed with 2,4-D. Soil samples were collected before spraying and after spraying at four intervals: 2 hours, 15, 30, and 60 days after application. The microbial population in the soil was counted, and residual herbicide levels were measured. The results showed that spraying 2,4-D had an impact on the bacterial, fungal, and actinomycete populations. However, no significant difference was observed between the control plots and those treated with 2,4-D in both Lopburi and Nakhon Ratchasima provinces. In Nakhon Ratchasima, however, the actinomycete population increased 15, 30, and 60 days after spraying, possibly because 2,4-D acted as a carbon source, promoting the growth of actinomycetes. The residue of 2,4-D in the soil 2 hours after spraying was found to be 0.21 and 1.52 milligrams per kilogram of soil in Lopburi and Nakhon Ratchasima, respectively. After spraying 2,4-D at 15, 30,

¹ กลุ่มวิจัยปฐพีวิทยา กองวิจัยพัฒนาปัจจัยการผลิตทางการเกษตร กรมวิชาการเกษตร กรุงเทพฯ 10900

Soil Science Research Group, Agricultural Production Science Research and Development Division, Department of Agriculture, Bangkok, 10900

² กลุ่มวิจัยวัตถุพิษทางการเกษตร กองวิจัยพัฒนาปัจจัยการผลิตทางการเกษตร กรมวิชาการเกษตร กรุงเทพฯ 10900

Agricultural Toxic Substances Research Group, Agricultural Production Science Research and Development Division, Department of Agriculture, Bangkok 10900, Thailand

³ ภาควิชาปฐพีวิทยา คณะเกษตร กำแพงแสน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ จังหวัดนครปฐม 73140

Department of Soil Science, Faculty of Agriculture at Kamphaeng Saen, Kasetsart University, Nakhon Pathom, 73140.

⁴ สำนักวิจัยพัฒนาอารักขาพืช กรมวิชาการเกษตร กรุงเทพฯ 10900

Plant Protection Research and Development Office, Department of Agriculture, Bangkok, 10900

⁵ กลุ่มวิจัยและพัฒนา ศูนย์วิจัยและพัฒนาเมล็ดพันธุ์พืชลพบุรี จันทบุรี 152010

Research and Development Group, Lopburi Seed Research and Development Center, Loburi, 15210

and 60 days, no residual 2,4-D was found in the soil samples from both provinces. Colonies from the petri dishes were separated into media with and without 2,4-D and tested for resistance. Ten isolates from each province were selected for testing. In Lopburi, 7 isolates showed resistance, while in Nakhon Ratchasima, only 3 isolates were resistant to 2,4-D. The selected bacteria for testing 2,4-D degradation included isolate 8 from Lopburi (LB-B8), identified as *Bacillus cereus*, and isolates 3 and 5 from Nakhon Ratchasima (NR-B3 and NR-B5), identified as *Nocardioides aromaticivorans* and *Bacillus albus*, respectively. Three fungal isolates from Nakhon Ratchasima such as NR-F5, NR-F14, and NR-F15 were identified as *Penicillium* sp.

Keywords: Soil microorganisms; 2,4-D = 2,4-Dichlorophenoxyacetic acid; Herbicide; Maize

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีจุดประสงค์เพื่อศึกษาผลกระทบของสารกำจัดวัชพืชต่อจำนวนประชากรของจุลินทรีย์ดินในพื้นที่ที่มีการใช้สารกำจัดวัชพืชและคัดเลือกจุลินทรีย์ที่ทนต่อสารกำจัดวัชพืช 2,4-ดี-ไดเมทิลแอมโมเนียม (2,4-D) โดยทำการศึกษาในแปลงปลูกข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ จังหวัดลพบุรีและนครราชสีมา แบ่งแปลงเป็น 2 แปลงย่อย ขนาดแปลงละ 400 ตารางเมตร ได้แก่ แปลงที่พ่นเฉพาะสาร 2,4-D ตามอัตราแนะนำเพียงอย่างเดียวอัตรา 120 กรัมต่อสารออกฤทธิ์ต่อพื้นที่ 1 ไร่ โดยไม่มีการพ่นสารกำจัดศัตรูพืชชนิดอื่น และแปลงที่ไม่มีการพ่นสาร 2,4-D เก็บตัวอย่างดินก่อนพ่นสาร และหลังพ่นสารแปลงละ 4 รอบ ได้แก่ หลังพ่นสาร 2 ชั่วโมง, 15, 30 และ 60 วัน นำมานับปริมาณจุลินทรีย์ดินและวัดปริมาณสารตกค้าง พบว่าในการพ่นสาร 2,4-D ส่งผลกระทบบต่อปริมาณแบคทีเรีย รา และแอคติโนมัยซีท์ที่เลี้ยงได้บนอาหารเลี้ยงเชื้อในแปลงควบคุมและแปลงพ่นสาร 2,4-D ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติทั้งในจังหวัดลพบุรีและนครราชสีมา แต่ในจังหวัดนครราชสีมาแปลงพ่นสาร 2,4-D หลังพ่น 15, 30 และ 60 วัน มีปริมาณแอคติโนมัยซีท์เพิ่มขึ้น อาจเนื่องมาจากใช้ 2,4-D เป็นแหล่งคาร์บอน จึงมีส่วนช่วยในการเพิ่มการเจริญของแอคติโนมัยซีท์ได้ และพบปริมาณ 2,4-D ที่ตกค้างในดินหลังพ่นสาร 2 ชั่วโมง มีค่า 0.21 และ 1.52 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมดิน ในจังหวัดลพบุรีและนครราชสีมา ตามลำดับ และหลังพ่นสาร 2,4-D ที่ 15, 30 และ 60 วัน ตรวจไม่พบปริมาณ 2,4-D ที่ตกค้างอยู่ในตัวอย่างดินทั้ง 2 จังหวัด

นำโคโลนีที่นับได้ในจานอาหารเลี้ยงเชื้อจากตัวอย่างดินจังหวัดลพบุรีและนครราชสีมา มาแยกลงในอาหารที่เติมและไม่เติมสาร 2,4-D โดยนำมาทดสอบจังหวัดละ 10 ไอโซเลท เมื่อนำมาวัดขนาดโคโลนี พบว่าในจังหวัดลพบุรีมี 7 ไอโซเลท ในขณะที่จังหวัดนครราชสีมา พบแค่ 3 ไอโซเลท ที่สามารถทนต่อสารกำจัดวัชพืช 2,4-D ได้ แบคทีเรียที่คัดเลือกเพื่อนำไปทดสอบการย่อยสลายสาร 2,4-D ได้แก่ ไอโซเลทที่ 8 ของจังหวัดลพบุรี (LB-B8) จำแนกได้เป็น *Bacillus cereus* ไอโซเลทที่ 3 และ 5 ของจังหวัดนครราชสีมา (NR-B3 และ NR-B5) ได้แก่ *Nocardioides aromaticivorans* และ *Bacillus albus* ส่วนไอโซเลทของราที่คัดเลือกได้มาจากจังหวัดนครราชสีมาทั้ง 3 ไอโซเลท ได้แก่ NR-F5, NR-F14 และ NR-F15 เป็น *Penicillium* sp. ทั้ง 3 ไอโซเลท

คำสำคัญ: จุลินทรีย์ดิน; 2,4-D; สารกำจัดวัชพืช; ข้าวโพดเลี้ยงสัตว์

บทนำ

2,4-dichlorophenoxyacetic acid (2,4-D) เป็นสารกำจัดวัชพืชจัดอยู่ในกลุ่มของฟีนอกซีอะซิติกแอซิด (Phenoxyacetic acid herbicide) ที่มีความเป็นพิษปานกลาง (WHO, 2017) เป็นฮอร์โมนพืชสังเคราะห์ประเภท Auxin ที่ใช้เพื่อควบคุมวัชพืชใบกว้าง (Broad-leaf weed) เช่น ข้าว ข้าวสาลี ข้าวโพด อ้อย และข้าวฟ่าง (Leahy *et al.*, 2014) 2,4-D กระตุ้นการแสดงออกของยีนที่ตอบสนองต่อ Auxin และกระตุ้นการสังเคราะห์เอธิลีนและการผลิตฮอร์โมนแอบไซซิก(ABA) โดยทั้งเอธิลีนและ ABA จะยับยั้งการแบ่งเซลล์และกระตุ้นการเสื่อมสภาพของใบ ซึ่งจะทำให้การเจริญเติบโตชะงัก เนื้อเยื่อเสียหาย ทำให้พืชตายลงไปในที่สุด (Grossmann, 2003) ถูกดูดซึมเข้าทางใบและเคลื่อนย้ายไปยังเนื้อเยื่อเจริญที่ปลายยอด ทำให้เกิดการเจริญเติบโตที่ควบคุมไม่ได้ ทำให้ใบหงิกงอ และทำให้พืชตายในที่สุด ในทางการค้าสารออกฤทธิ์นอกจากจะอยู่ในรูปของกรด (Acid) แล้วยังมีอนุพันธ์ที่เป็นเกลือ (Salt) และเอสเทอร์ (Ester) สารกำจัดวัชพืชที่มีส่วนประกอบของ 2,4-D เมื่อผ่านกระบวนการย่อยสลายทางชีวภาพหรือทางเคมี จะทำให้กลายเป็นผลิตภัณฑ์หรือเมตาบอไลต์ที่มีคุณสมบัติทางเคมีและกายภาพที่แตกต่างจากสารเดิม บางส่วนของผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการย่อยสลายเหล่านี้ ได้แก่ 2,4-DCP, 2-CP, และ 4-CP ซึ่งอาจมีพิษมากกว่าสารตั้งต้น (Magnoli *et al.*, 2020)

2,4-D ประกอบด้วยสารโมเลกุลที่มีคลอรีนสองตัวซึ่งทำให้มีความคงทน โดยมีอายุครึ่งชีวิตประมาณ 7 ถึง 312 วัน ขึ้นอยู่กับสภาพแวดล้อม (Ordaz-Guillén *et al.*, 2014) มีรายงานที่พบว่า 2,4-D ไม่เพียงแต่มีผลต่อวัชพืชเท่านั้น แต่ยังมีผลกระทบต่อชุมชนจุลินทรีย์ที่พบในสภาพแวดล้อมธรรมชาติต่าง ๆ จากการศึกษาก่อนหน้านี้แสดงให้เห็นว่า การใช้สารกำจัดวัชพืชซ้ำ ๆ ส่งผลกระทบต่อจำนวน นิเวศวิทยา และการกระจายตัวของจุลินทรีย์ (Rose *et al.*, 2016) นอกจากนี้ยังส่งผลกระทบต่อโครงสร้างประชากรและการทำงานของจุลินทรีย์ในดินได้ ส่งผลต่อความหลากหลายและหมุนเวียนธาตุอาหารในดิน เนื่องจาก 2,4-D สามารถใช้เป็นแหล่งคาร์บอนและพลังงานสำหรับกระบวนการเมแทบอลิซึมของจุลินทรีย์ (Itoh *et al.*, 2013; Lerch *et al.*, 2007) การสลายตัวของ 2,4-D สามารถย่อยสลายได้ทั้งวิธีทางกายภาพและชีวภาพ การย่อยสลายโดยวิธีทางกายภาพ ได้แก่ การย่อยสลายโดยแสง การแตกสลายด้วยน้ำ การรวมตัว การกลายเป็นไอ และการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน เป็นต้น (กรมควบคุมมลพิษ, 2553) ด้านชีวภาพจะเกี่ยวข้องกับจุลินทรีย์ในดิน ซึ่งแบคทีเรียในดินที่สามารถย่อยสลาย 2,4-D ได้ คือ *Flavobacterium peregrinum*, *Pseudomonas fluorescens*, *Arthrobacter globiformis*, *Streptomyces viridochromogenes*, *Brevibacterium* sp., *Streptomyces* sp., *Pseudomonas* sp. และ *Alcaligenes eutrophus* (Boivin *et al.*, 2005; Pieper *et al.*, 1988) จากการย่อยสลายทั้งสองวิธีดังกล่าวทำให้ยังมี 2,4-D ตกค้างอยู่ในดิน ซึ่งปัจจัยที่มีผลต่อการดูดซับและเปลี่ยนแปลงของ 2,4-D ในดิน ได้แก่ อินทรีย์วัตถุ pH อนุภาคดิน และปริมาณจุลินทรีย์ในดิน เป็นต้น (Boivin *et al.*, 2005) Celina and Gómez (2014) ได้ทำการแยกเชื้อแบคทีเรียจากดิน เพื่อดูว่า 2,4-D มีผลต่อกระบวนการเมแทบอลิซึมของเชื้อ พบว่า *Cupriavidus necator* สามารถใช้ 2,4-D ในกระบวนการเมแทบอลิซึมได้ดีที่สุด เช่นเดียวกับ Silva *et al.* (2007) ได้ทำการศึกษากการย่อยสลายของ 2,4-D โดยจุลินทรีย์ที่คัดเลือกได้จากดินที่ปนเปื้อนด้วยสาร 2,4-D พบว่าเชื้อที่คัดเลือกได้ที่มีศักยภาพในการย่อยสลายสาร 2,4-D คือ *Serratia marcescens* และ *Penicillium* sp. ซึ่งมีศักยภาพในการนำไปใช้ในการฟื้นฟูทางชีวภาพ (Bioremediation) ต่อไป

ดังนั้นการวิจัยนี้จึงศึกษาผลกระทบของสารกำจัดวัชพืชต่อจำนวนประชากรของจุลินทรีย์ดิน และทำการคัดเลือกจุลินทรีย์ที่ทนต่อสารกำจัดวัชพืช 2,4-D เพื่อเป็นแนวทางในการนำจุลินทรีย์ดินไปใช้ประโยชน์ทางการเกษตรและการย่อยสลายสารกำจัดศัตรูพืชที่ตกค้างในดิน

อุปกรณ์และวิธีการ

อุปกรณ์

1. จอบ, พลั่วมือ
2. ขวด, ถุงเก็บตัวอย่างดิน
3. ถังเก็บความเย็นสำหรับบรรจุถุงเก็บตัวอย่างดิน
4. เครื่องแก้วสำหรับใช้ในห้องปฏิบัติการ เช่น หลอดทดลอง ปีกเกอร์ ขวดรูปชมพู่ เป็นต้น
5. เครื่องมือวิทยาศาสตร์ เช่น ตู้อบ (Oven) เครื่องชั่งสาร (Balance) เป็นต้น

สารเคมี

1. อาหารเลี้ยงเชื้อสำหรับแยกจุลินทรีย์ดิน ได้แก่ Potato dextrose agar, Nutrient agar, Starch casein agar
2. อาหารเลี้ยงเชื้อสำหรับคัดเลือกจุลินทรีย์ดิน ได้แก่ Inorganic salt และ Rose bengal
3. สารเคมีสำหรับการสกัด 2,4-D ในดิน
4. สาร 2,4-D สำหรับพ่นในแปลงและสำหรับทดสอบในห้องปฏิบัติการ
5. สารเคมีสำหรับการวิเคราะห์ดิน เช่น กรดเปอร์คลอริก กรดไนตริก กรดบอริก โซเดียมไฮดรอกไซด์ กรดซัลฟิวริก เพอร์รัสแอมโมเนียมซัลเฟต โพแทสเซียมไดโครเมต ฟีนานโทรีนอินดิเคเตอร์ ซีลีเนียมมิกซ์เจอร์ แอมโมเนียมอะซิเตต ฯลฯ

วิธีการ

1. การศึกษาผลของการใช้ 2,4-D ต่อจุลินทรีย์ดินในแปลงปลูกข้าวโพดเลี้ยงสัตว์จังหวัดลพบุรีและนครราชสีมา

- วางแผนการทดลอง

กรรมวิธีที่ 1 แปลงควบคุมที่ไม่มีการพ่นสาร 2,4-D

กรรมวิธีที่ 2 แปลงที่พ่นเฉพาะสาร 2,4-D ตามอัตราแนะนำ

- วิธีการฉีดพ่นสาร

สำรวจพื้นที่แปลงปลูกข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ในจังหวัดลพบุรีและนครราชสีมา โดยในแต่ละจังหวัดทำการแบ่งแปลงเป็น 2 แปลงย่อย ขนาดแปลงละ 400 ตารางเมตร ได้แก่ แปลงที่พ่นเฉพาะสาร 2,4-D ตามอัตราแนะนำเพียงอย่างเดียว อัตรา 120 กรัมต่อสารออกฤทธิ์ต่อพื้นที่ 1 ไร่ (กลุ่มวิจัยวัชพืช, 2554) โดยไม่มีการพ่นสารกำจัดศัตรูพืชชนิดอื่น และแปลงที่ไม่มีการพ่นสาร 2,4-D เก็บตัวอย่างดินก่อนพ่นสาร จากนั้นทำการพ่นสาร 2,4-D แล้วเก็บตัวอย่างดินหลังพ่นสารแปลงละ 4 รอบ ได้แก่ หลังพ่นสาร 2 ชั่วโมง, 15, 30 และ 60 วัน

2. การวิเคราะห์สมบัติทางเคมีและกายภาพของดินในแปลงปลูก

เก็บตัวอย่างดินตามระยะเวลาด้วยอุปกรณ์เจาะเก็บตัวอย่างดิน (Soil auger) แบบ Composite sample ที่ระดับความลึก 20 เซนติเมตร โดยสุ่มเก็บตัวอย่างดินกระจายให้ทั่วแปลง ๆ ละ 20 จุด (เอิบ, 2548) เพื่อนำมาวิเคราะห์สมบัติทางเคมีและกายภาพของดิน ได้แก่ การกระจายขนาดอนุภาค (Particle size distribution) ค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) อินทรีย์วัตถุ ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ โพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ และค่าความจุแลกเปลี่ยนแคตไอออน

3. การวิเคราะห์ปริมาณ 2,4-D ในดินโดย High Performance Liquid Chromatography (HPLC)

เก็บตัวอย่างดินตามระยะเวลาด้วยอุปกรณ์เจาะเก็บตัวอย่างดินแบบ Composite sample ที่ระดับความลึก 20 เซนติเมตร เพื่อนำมาวิเคราะห์ปริมาณสารตกค้างในดิน โดยชั่งตัวอย่างปริมาณ 10 ± 0.02 กรัม ใส่ใน Centrifuge tube ขนาด 50 มิลลิลิตร เติมสารละลายผสมระหว่าง Methanol: Water: Acetic acid (อัตราส่วน 80: 20: 2.5) ปริมาตร 20 มิลลิลิตร แยกสารโดยใช้เครื่อง Ultrasonic cleaner (Sonicator) นาน 30 นาที จากนั้นนำไปปั่นเหวี่ยงตกตะกอนด้วยเครื่อง Centrifuge ที่ความเร็ว 4,000 rpm นาน 20 นาที สกัดซ้ำอีก 1 ครั้ง ปรับปริมาตรเป็น 50 มิลลิลิตร นำไปตรวจวิเคราะห์ด้วยเครื่อง Ultra-High Performance Liquid Chromatograph (UHPLC) ยี่ห้อ Agilent Technology รุ่น 1290 หัวตรวจวัดชนิด Diode Array Detector (DAD) ที่ความยาวคลื่น 230 นาโนเมตร ใช้สารละลาย 5 mM Ammonium formate (pH 4. 0) และ Methanol และใช้ Thermo Scientific™ Hypersil™ BDS C18 Column เป็น Stationary phase (Amarante *et al.*, 2003; Sutherland *et al.*, 2003)

4. การนับปริมาณรา แบคทีเรีย และแอคติโนมัยสีทในดิน

เก็บตัวอย่างดินตามระยะเวลาด้วยอุปกรณ์เจาะเก็บตัวอย่างดินรอบรากพืชที่ระดับความลึก 20 เซนติเมตร สุ่มเก็บตัวอย่างดินกระจายให้ทั่วแปลง ๆ ละ 11 จุด เพื่อนำไปนับปริมาณจุลินทรีย์ดิน ชั่งตัวอย่างดิน 10 กรัม ใส่ในน้ำกรรณิ่งฆ่าเชื้อปริมาตร 90 มิลลิลิตร เขย่าให้เข้ากัน จากนั้นเจือจางลำดับส่วนจนได้ระดับ 10^{-1} - 10^{-7} นำตัวอย่างไปนับปริมาณด้วยวิธี Spread plate บนอาหาร Nutrient agar (NA) สำหรับนับแบคทีเรีย เต็มไซโคลเฮกซามิดเพื่อยับยั้งการเจริญของรา อาหาร Glucose ammonium nitrate agar สำหรับนับราโดยเติม สเตรปโตมัยซินเพื่อยับยั้งการเจริญของแบคทีเรีย และ อาหาร Starch Casein Agar สำหรับนับแอคติโนมัยสีท เต็มกรดนาลิซิกและคีโตโคนาโซลเพื่อยับยั้งการเจริญของแบคทีเรียและรา บ่มที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3-7 วัน และคัดเลือกสายพันธุ์จุลินทรีย์ที่เจริญบนอาหารเพื่อใช้ทดสอบต่อไป

5. คัดแยก จำแนก และคัดเลือกจุลินทรีย์จากตัวอย่างดินในพื้นที่ที่มีการใช้สาร 2,4-D

แบคทีเรียและแอคติโนมัยสีท

เตรียมอาหาร Inorganic salt (KH_2PO_4 , 0.4 g; K_2HPO_4 , 1.6 g; NH_4NO_3 , 0.5 g; $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$, 0.2 g; $\text{CaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$, 0.025 g; $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$, 8 mg) ปรับ pH เป็น 7.0 สำหรับทำการคัดแยกแบคทีเรีย 1 ลิตร แบ่งใส่ขวดรูปชมพู่ขวดละ 50 มิลลิลิตร นำไปนึ่งฆ่าเชื้อที่อุณหภูมิ 121 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 20 นาที เมื่ออาหารเย็นแล้วนำมาเติมสาร 2,4-D ขวดละ 2.5 มิลลิกรัม จากนั้นชั่งตัวอย่างดินหลังพ่นสาร 2 ชั่วโมง 1 กรัม นำไปเติมในขวดรูปชมพู่ บ่มบนเครื่องเขย่าในที่มืด ที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 10 วัน เมื่อครบกำหนดให้ทำ 2 ขั้นตอน ขั้นตอนแรกคือการเลี้ยงเชื้อต่อไปโดยดูอาหารเดิมปริมาตร 5 มิลลิลิตร ไปเติมในขวดรูปชมพู่ที่มีอาหารตามข้างต้นแล้วเขย่าต่ออีก 10 วัน ทำซ้ำอีก 2 รอบ จนเลี้ยงครบ 4 รอบ ขั้นตอนที่ 2 ดูอาหารในขวดรูปชมพู่ที่เขย่ารอบแรกปริมาตร 1 มิลลิตร ใส่ในหลอดทดลอง เติมน้ำปริมาตร 9 มิลลิลิตร ผสมให้เข้ากัน ทำซ้ำจนได้ความเข้มข้นที่ 10^{-4} และ 10^{-5} ดูตัวอย่างปริมาตร 1 ไมโครลิตร นำไปนับปริมาณแบคทีเรียในอาหารข้างต้นโดยเพิ่มวุ้น 15 กรัมต่ออาหารปริมาตร 1 ลิตร (Duah-Yentumi and Kuwatsuka, 1990) จากนั้นคัดเลือกโคโลนีมีลักษณะต่างกับนบนจานอาหาร Inorganic salt นำไปเลี้ยงเชื้อให้บริสุทธิ์ด้วยวิธี Cross streak plate บนอาหาร NA จากนั้นนำโคโลนีที่แยกให้บริสุทธิ์ไปทดสอบในอาหาร Inorganic salt ที่มีการเติมสาร 2,4-D 50 มิลลิกรัมต่ออาหาร 1 ลิตร และไม่เติมสาร 2,4-D เพื่อเปรียบเทียบการเจริญและลักษณะโคโลนีของแบคทีเรีย นำไปบ่มในที่มืด ที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส เมื่อครบ 2 วัน นำมาบันทึกลักษณะโคโลนี โดยแยกได้จังหวัดละ 10 ไอโซเลท เมื่อครบ 7 วัน นำมาวัดขนาดของโคโลนี คัดเลือกเชื้อที่สามารถเจริญได้ดีเพื่อนำไปทดสอบการย่อยสลาย 2,4-D ต่อไป

รา

เตรียมอาหาร Rose bengal สำหรับทำการเลี้ยงและคัดแยกเชื้อรา จากนั้นคัดเลือกโคโลนีมีลักษณะต่างกบนบนจานอาหาร นำไปเลี้ยงเชื้อให้บริสุทธิ์บนอาหาร PDA บ่มในที่มืดเป็นเวลา 14 วัน เมื่อครบกำหนด นำเชื้อที่แยกให้บริสุทธิ์ไปทดสอบในอาหาร Rose bengal (D-glucose, 10 g; Peptone, 5 g; KH_2PO_4 , 1 g; $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$, 0.5 g) ปรับ pH เป็น 6.8 นำไปนึ่งฆ่าเชื้อที่อุณหภูมิ 121 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 20 นาที เติมน้ำ 2,4-D 100 มิลลิกรัมต่ออาหาร 1 ลิตร และไม่เติมน้ำ 2,4-D เพื่อเปรียบเทียบการเจริญของรา นำไปบ่มในที่มืดที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 14 วัน จากนั้นวัดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง คัดเลือกเชื้อที่สามารถเจริญได้ดีเพื่อนำไปทดสอบการย่อยสลาย 2,4-D ต่อไป

6. การจำแนกสกุล-ชนิดของแบคทีเรียและรา

จำแนกแบคทีเรียและราด้วยเทคนิคทางอณูชีวโมเลกุล (Molecular identification) โดยสกัดดีเอ็นเอของแบคทีเรียด้วยชุดสกัด Genomic DNA mini kit (Geneaid Biotech Ltd, Taiwan) ศึกษาในบริเวณ 16S rRNA ด้วยไพรเมอร์ fD1 (5' AGAGTTTGATCCTGGCTCAG 3') และ rP2 (5'-ACGGCTACCTTG TTACGACTT-3') (Weisburg *et al.*, 1991) และสกัดดีเอ็นเอราด้วยชุดสกัด Axyprep multisource genomic DNA miniprep kit (Axygen® Inc., USA) ศึกษาในบริเวณ ITS ด้วยไพรเมอร์ ITS1F (5' CTTGGTCATTTAGAGGAAGTAA 3') และ ITS4 (5'- TCCTCCGCTTATTGATATGC -3') (White *et al.*, 1990; Gardes and Bruns, 1993) นำลำดับนิวคลีโอไทด์ไปเปรียบเทียบความคล้ายคลึงกันกับฐานข้อมูลของ The National Center for Biotechnology Information เพื่อจำแนกสกุลและชนิด

ระยะเวลา เริ่มต้น ตุลาคม 2564 สิ้นสุด กันยายน 2567

สถานที่ทำการทดลอง

แปลงปลูกข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ของศูนย์วิจัยและพัฒนาเมล็ดพันธุ์พืชลพบุรี อำเภอเมือง จังหวัดลพบุรี พิกัด 14°79'83.8"N 100°80'15.5"E

แปลงปลูกข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ของ นางละมุน สมน้อย บ้านดอนแขวง อำเภอเสิงสาง จังหวัดนครราชสีมา พิกัด 14°34'09.4"N 102°28'44.3"E

ห้องปฏิบัติการกลุ่มงานวิจัยจุลินทรีย์ดิน กลุ่มวิจัยปฐพีวิทยา กองวิจัยพัฒนาปัจจัยการผลิตทางการเกษตร กรุงเทพฯ

ผลการทดลองและวิจารณ์

1. ผลการวิเคราะห์ดินทางเคมีและกายภาพ

ผลการวิเคราะห์ตัวอย่างดินแปลงปลูกข้าวโพดเลี้ยงสัตว์จังหวัดลพบุรี พบว่าแปลงควบคุม มี pH เป็นกรดปานกลางถึงกลาง มีอินทรีย์วัตถุอยู่ในระดับต่ำถึงปานกลาง (13.90, 12.35, 26.54, 28.22 และ 15.69 กรัมต่อกิโลกรัม) ปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์อยู่ในระดับปานกลางก่อนพ่นและหลังพ่น 2 ชั่วโมง (14.61 และ 19.15 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม) อยู่ในระดับสูงหลังพ่น 15, 30 และ 60 วัน (31.88, 30.44 และ 34.64 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม) ปริมาณโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้อยู่ในระดับสูงก่อนพ่น หลังพ่น 2 ชั่วโมงและ 15 วัน อาจเนื่องมาจากปุ๋ยที่ตกค้างในดิน ความจุแลกเปลี่ยนแคตไอออนอยู่ในระดับปานกลาง แปลงพ่น 2,4-D มี pH เป็นกรดปานกลางถึงกลาง มีอินทรีย์วัตถุอยู่ในระดับต่ำถึงปานกลาง (13.03, 12.97, 23.32, 23.02 และ 14.07 กรัมต่อกิโลกรัม) ปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์อยู่ในระดับปานกลางที่ก่อนพ่นและหลังพ่น 2 ชั่วโมง (19.54 และ 20.43 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม) อยู่ในระดับสูงหลังพ่น 15, 30 และ 60 วัน (36.84, 31.08 และ 33.62 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม)

ปริมาณโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้อยู่ในระดับสูงถึงปานกลาง ความจุแลกเปลี่ยนแคตไอออนอยู่ในระดับปานกลาง อนุภาคดินส่วนใหญ่เป็นทรายแป้ง (ตารางที่ 1) (ภาคผนวก ตารางที่ 1 และ 2)

ผลการวิเคราะห์ตัวอย่างดินแปลงปลูกข้าวโพดเลี้ยงสัตว์จังหวัดนครราชสีมา พบว่าแปลงควบคุม มี pH เป็นกรดปานกลางถึงกลาง มีอินทรีย์วัตถุอยู่ในระดับปานกลาง มีค่า 18.79 ถึง 32.31 กรัมต่อกิโลกรัม ปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์และปริมาณโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้อยู่ในระดับสูง ความจุแลกเปลี่ยนแคตไอออนอยู่ในระดับปานกลางถึงสูง (28.16, 29.94, 26.26, 26.84 และ 23.92 เซนติโมลต่อกิโลกรัม) แปลงพ่น 2,4-D มี pH เป็นกรดปานกลางถึงกรดอ่อน มีอินทรีย์วัตถุอยู่ในระดับปานกลาง มีค่า 21.45 ถึง 31.37 กรัมต่อกิโลกรัม ปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์และปริมาณโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้อยู่ในระดับสูง ความจุแลกเปลี่ยนแคตไอออนอยู่ในระดับสูง (29.06, 27.98, 25.70, 25.86 และ 25.23 เซนติโมลต่อกิโลกรัม) อนุภาคดินเป็นดินเหนียว (ตารางที่ 2)

ผลวิเคราะห์ดินจะใช้เป็นข้อมูลพื้นฐานในการหาความสัมพันธ์กับปริมาณจุลินทรีย์ดินและเอนไซม์ในดิน และนำไปวิเคราะห์ทางสถิติ ซึ่งปริมาณธาตุอาหารที่เพิ่มขึ้นหรือลดลงอาจมีความสัมพันธ์กับปริมาณ 2,4-D ต่อกระบวนการเมแทบอลิซึมของจุลินทรีย์ ส่งผลต่อความหลากหลายและหมุนเวียนธาตุอาหารในดิน (Itoh *et al.*, 2013)

Table 1 General characteristics of soils in Lop Buri province.

	Treatments	pH (1:1)	OM (g kg ⁻¹)	Avail. P (----- mg kg ⁻¹ -----)	Exch. K	CEC (cmol kg ⁻¹)	Particle size distribution (%)		
							Sand	Silt	clay
BS ¹	Control	6.03	13.90	14.61	134.27	14.21	41.56	35.71	22.72
	2,4-D	6.24	13.03	19.54	123.38	17.86	29.05	44.69	26.26
2 H AS ²	Control	6.95	12.35	19.15	127.25	14.01	39.83	37.71	22.47
	2,4-D	6.30	12.97	20.43	55.94	17.15	32.22	31.28	26.50
15 D AS ³	Control	6.45	26.54	31.88	145.88	15.71	35.08	40.49	24.43
	2,4-D	6.91	23.32	36.84	59.48	16.54	29.44	44.40	26.16
30 D AS	Control	6.29	28.22	30.44	57.30	15.41	37.41	38.82	23.77
	2,4-D	6.20	23.02	31.08	63.18	16.51	31.37	42.50	26.13
60 D AS	Control	5.91	15.69	34.64	74.01	12.43	40.09	40.45	19.46
	2,4-D	5.94	14.07	33.62	49.32	14.39	29.87	47.11	23.02

Remark: ¹ BS = Before spraying 2,4-D; ² H AS = Hours After spraying 2,4-D; ³ D AS = Days after spraying 2,4-D.

Table 2 General characteristics of soils in Nakhon Ratchasima province.

	Treatments	pH (1:1)	OM (g kg ⁻¹)	Avail. P (----- mg kg ⁻¹ -----)	Exch. K	CEC (cmol kg ⁻¹)	Particle size distribution (%)		
							Sand	Silt	clay
BS ¹	Control	6.61	32.31	67.14	211.54	28.16	35.70	18.04	46.26
	2,4-D	6.14	29.90	98.87	349.38	29.06	33.19	18.71	48.09
2 H AS ²	Control	6.06	30.41	67.63	242.90	29.94	30.85	19.50	49.65
	2,4-D	6.33	31.37	105.53	257.98	27.98	33.85	20.13	46.02
15 D AS ³	Control	6.12	20.79	61.24	181.72	26.26	36.68	19.55	43.77
	2,4-D	6.20	21.75	98.53	313.61	25.70	36.87	20.45	42.68
30 D AS	Control	6.10	18.79	66.89	151.95	26.84	33.12	21.9198	44.97
	2,4-D	5.94	21.45	95.03	251.04	25.86	35.38	21.61	43.01
60 D AS	Control	5.90	20.59	72.69	158.88	23.92	36.50	21.10	42.40
	2,4-D	6.27	22.20	90.78	178.79	25.23	39.69	18.51	41.80

Remark: ¹ BS = Before spraying 2,4-D; ² H AS = Hours After spraying 2,4-D; ³ D AS = Days after spraying 2,4-D.

2. ผลวิเคราะห์ปริมาณสาร 2,4-D ที่ตกค้างในดิน

ผลการวิเคราะห์ปริมาณสาร 2,4-D ที่ตกค้างในตัวอย่างดินของแปลงที่ใช้ในการทดลอง พบว่าในพื้นที่แปลงปลูกข้าวโพดเลี้ยงสัตว์จังหวัดลพบุรี แปลงที่ใช้เป็นแปลงควบคุมหรือแปลงที่ไม่พ่นสาร 2,4-D ตรวจไม่พบปริมาณ 2,4-D ที่ตกค้างในดินตลอดช่วงระยะเวลาที่ทำการทดลอง ส่วนแปลงที่ทำการพ่นสาร 2,4-D เมื่อทำการพ่นสาร 2,4-D อัตรา 30 กรัมต่อสารออกฤทธิ์ต่อพื้นที่ 400 ตารางเมตร ทั้งไว้ 2 ชั่วโมง ตรวจพบปริมาณ 2,4-D 0.21 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมดิน ตัวอย่างดินหลังพ่นสาร 2,4-D ที่ 15, 30 และ 60 วัน ตรวจไม่พบปริมาณ 2,4-D ที่ตกค้างอยู่ ส่วนในแปลงปลูกข้าวโพดเลี้ยงสัตว์จังหวัดนครราชสีมา แปลงที่ใช้เป็นแปลงควบคุมตรวจไม่พบปริมาณ 2,4-D ที่ตกค้างในดินตลอดช่วงระยะเวลาที่ทำการทดลองเช่นเดียวกัน เมื่อทำการพ่นสาร 2,4-D ทั้งไว้ 2 ชั่วโมง ตรวจพบปริมาณ 2,4-D 1.52 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมดิน ซึ่งพบว่า ปริมาณ 2,4-D ที่ตกค้างในดินจังหวัดนครราชสีมาจะมีปริมาณสูงกว่าจังหวัดลพบุรี เนื่องจากดินจังหวัดนครราชสีมาเป็นอนุภาคดินเหนียวสูงกว่าจึงมีประจุที่สามารถดูดซับ 2,4-D ได้มากกว่าจังหวัดลพบุรีที่มีอนุภาคทรายแบ่งเป็นส่วนใหญ่ (Baumgartner *et al.*, 2017) (ตารางที่ 3)

Table 3 Amount of 2,4-dichlorophenoxyacetic acid in soil at Lop Buri and Nakhon Ratchasima provinces.

Locations	Treatments	2,4-D (mg kg ⁻¹)				
		BS ¹	2 H AS ²	15 D AS ³	30 D AS	60 D AS
Lopburi province	Control	ND*	ND	ND	ND	ND
	2,4-D	ND	0.21	ND	ND	ND
Nakhon Ratchasima province	Control	ND	ND	ND	ND	ND
	2,4-D	ND	1.52	ND	ND	ND

Remark: ¹ BS = Before spraying 2,4-D; ² H AS = Hours After spraying 2,4-D; ³ D AS = Days after spraying 2,4-D.

* ND = Not detected (< Limit of detection (LOD) = 0.03 mg/kg)

3. ผลนับปริมาณรา แบคทีเรีย และแอคติโนมัยซีทในดิน

ปริมาณแบคทีเรียในแปลงปลูกข้าวโพดเลี้ยงสัตว์จังหวัดลพบุรีระหว่างแปลงควบคุมและแปลงที่พ่นสาร 2,4-D พบว่าแปลงควบคุมก่อนพ่นสารมีค่าเฉลี่ย 6.98 Log₁₀ CFU หลังพ่นสารผ่านไป 2 ชั่วโมง 15 30 และ 60 วัน มีปริมาณแบคทีเรียต่อกกรัมดินเฉลี่ย 7.02, 6.62, 6.91 และ 6.94 Log₁₀ CFU ตามลำดับ ส่วนแปลงที่พ่นสาร 2,4-D ก่อนพ่นสารมีปริมาณแบคทีเรีย 6.95 Log₁₀ CFU หลังพ่น 2,4-D 2 ชั่วโมง 15 30 และ 60 วันนับปริมาณแบคทีเรียต่อกกรัมดินได้ 7.14, 6.89, 6.85 และ 6.85 Log₁₀ CFU ตามลำดับ เมื่อเปรียบเทียบปริมาณแบคทีเรียต่อกกรัมดินที่วัดได้ของแปลงควบคุมและแปลงพ่นสาร 2,4-D โดยใช้ Independent sample t-test ที่ความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซนต์ พบว่า t Stat แต่ละช่วงเวลามีค่าน้อยกว่า t Critical two-tail แสดงให้เห็นว่าปริมาณแบคทีเรียแปลงควบคุมและแปลงพ่นสาร 2,4-D ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (ตารางที่ 4) นอกจากนี้ จะเห็นได้ว่าในแปลงที่พ่น 2,4-D หลังพ่น 2 ชั่วโมง มีปริมาณแบคทีเรียเพิ่มขึ้นอาจเนื่องมาจาก 2,4-D เป็นแหล่งคาร์บอน จึงมีส่วนช่วยในการเพิ่มการเจริญของแบคทีเรียได้ (Celina and Gómez, 2014) เช่นเดียวกับ Smith and Mortensen (1991) รายงานว่า *Pseudomonas testosteroni* เป็นแบคทีเรียที่พบบริเวณพื้นที่ ๆ มีการใช้ 2,4-D ตลอดทั้งปี ซึ่งแบคทีเรียเหล่านี้ใช้ 2,4-D เป็นแหล่งคาร์บอนในการเจริญ

การนับปริมาณราดินในแปลงปลูกข้าวโพดเลี้ยงสัตว์จังหวัดลพบุรีระหว่างแปลงควบคุมและแปลงที่พ่นสาร 2,4-D เมื่อเก็บตัวอย่างดินก่อนทำการพ่นสาร 2,4-D นำมานับปริมาณราต่อกรัมดิน พบว่าแปลงควบคุมมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 4.70 Log₁₀ CFU เมื่อเวลาผ่านไป 2 ชั่วโมง 15, 30 และ 60 วัน นับปริมาณราต่อกรัมดินได้ 4.70, 4.79, 4.83 และ 4.72 Log₁₀ CFU ตามลำดับ ส่วนแปลงที่พ่นสาร 2,4-D นับปริมาณราก่อนทำการพ่นสาร พบว่ามีปริมาณราเท่ากับ 4.62 Log₁₀ CFU หลังพ่นสาร 2,4-D 2 ชั่วโมง 15, 30 และ 60 วัน นับปริมาณราต่อกรัมดินได้ 4.66, 4.70, 4.82 และ 4.79 Log₁₀ CFU ตามลำดับ เมื่อเปรียบเทียบปริมาณราต่อกรัมดินที่วัดได้ของแปลงควบคุมและแปลงพ่นสาร 2,4-D โดยใช้ Independent sample t-test พบว่า t Stat แต่ละช่วงเวลา มีค่าน้อยกว่า t Critical two-tail แสดงให้เห็นว่าปริมาณราแปลงควบคุมและแปลงพ่นสาร 2,4-D ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ยกเว้นแปลงควบคุมที่หลังพ่น 2,4-D 15 วัน พบว่ามีปริมาณราแตกต่างจากแปลงที่พ่น 2,4-D อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ นอกจากนี้สังเกตได้ว่าปริมาณราหลังพ่น 2,4-D มีปริมาณเพิ่มขึ้นจากก่อนพ่น อาจเนื่องมาจากการใช้ 2,4-D เป็นแหล่งคาร์บอนเพื่อเพิ่มปริมาณได้ (Duah-Yentumi and Kuwatsuka, 1990) (ตารางที่ 4)

การนับปริมาณแอกติโนมัยสีทในแปลงปลูกข้าวโพดเลี้ยงสัตว์จังหวัดลพบุรีระหว่างแปลงควบคุมและแปลงที่พ่นสาร 2,4-D เมื่อเก็บตัวอย่างดินก่อนทำการพ่นสาร 2,4-D นำมานับปริมาณแอกติโนมัยสีทต่อกรัมดิน พบว่าแปลงควบคุมมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 6.86 Log₁₀ CFU เมื่อเวลาผ่านไป 2 ชั่วโมง 15, 30 และ 60 วัน นับปริมาณแอกติโนมัยสีทได้ 6.86, 6.66, 6.72 และ 6.61 Log₁₀ CFU ตามลำดับ ส่วนแปลงที่พ่นสาร 2,4-D เมื่อนับปริมาณแอกติโนมัยสีทก่อนทำการพ่น พบว่ามีปริมาณแอกติโนมัยสีทเท่ากับ 6.78 Log₁₀ CFU หลังพ่นสาร 2,4-D 2 ชั่วโมง 15, 30 และ 60 วัน นับปริมาณแอกติโนมัยสีทได้ 6.89, 6.45, 6.81 และ 6.51 Log₁₀ CFU ตามลำดับ เมื่อเปรียบเทียบปริมาณแอกติโนมัยสีทต่อกรัมดินที่วัดได้ของแปลงควบคุมและแปลงพ่นสาร 2,4-D พบว่าไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (ตารางที่ 4)

ปริมาณแบคทีเรียในแปลงปลูกข้าวโพดเลี้ยงสัตว์จังหวัดนครราชสีมาระหว่างแปลงควบคุมและแปลงที่พ่นสาร 2,4-D พบว่าปริมาณแบคทีเรียในแปลงควบคุมก่อนพ่นสารมีค่าเฉลี่ย 6.56 Log₁₀ CFU เมื่อเวลาผ่านไป 2 ชั่วโมง 15, 30 และ 60 วัน มีปริมาณแบคทีเรียต่อกรัมดินเฉลี่ย 6.56, 6.98, 6.98 และ 6.69 Log₁₀ CFU ตามลำดับ ส่วนแปลงที่พ่นสาร 2,4-D ก่อนพ่น มีปริมาณแบคทีเรีย 6.43 Log₁₀ CFU หลังพ่น 2,4-D 2 ชั่วโมง 15, 30 และ 60 วัน มีค่า 6.52, 6.95, 6.95 และ 6.76 Log₁₀ CFU ตามลำดับ เมื่อเปรียบเทียบปริมาณแบคทีเรียต่อกรัมดินที่วัดได้ของแปลงควบคุมและแปลงพ่นสาร 2,4-D พบว่าไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (ตารางที่ 5)

การนับปริมาณราดินในแปลงปลูกข้าวโพดเลี้ยงสัตว์จังหวัดนครราชสีมาระหว่างแปลงควบคุมและแปลงที่พ่นสาร 2,4-D เมื่อเก็บตัวอย่างดินก่อนทำการพ่นสาร 2,4-D นำมานับปริมาณราต่อกรัมดิน พบว่าแปลงควบคุมมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 4.60 Log₁₀ CFU เมื่อเวลาผ่านไป 2 ชั่วโมง 15, 30 และ 60 วัน นับปริมาณราต่อกรัมดินได้ 4.71, 6.98, 6.98 และ 4.79 Log₁₀ CFU ตามลำดับ ส่วนแปลงที่พ่นสาร 2,4-D เมื่อนับปริมาณราก่อนทำการพ่น พบว่ามีปริมาณราเท่ากับ 4.74 Log₁₀ CFU หลังพ่นสาร 2,4-D 2 ชั่วโมง 15, 30 และ 60 วัน นับปริมาณราต่อกรัมดินได้ 4.72, 6.95, 6.95 และ 4.70 Log₁₀ CFU ตามลำดับ เมื่อเปรียบเทียบปริมาณราต่อกรัมดินที่วัดได้ของแปลงควบคุมและแปลงพ่นสาร 2,4-D แสดงให้เห็นว่าปริมาณราแปลงควบคุมและแปลงพ่นสาร 2,4-D ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (ตารางที่ 5)

การนับปริมาณแอกติโนมัยสีทในแปลงปลูกข้าวโพดเลี้ยงสัตว์จังหวัดนครราชสีมาระหว่างแปลงควบคุมและแปลงที่พ่นสาร 2,4-D เมื่อเก็บตัวอย่างดินก่อนทำการพ่นสาร 2,4-D นำมานับปริมาณแอกติโนมัยสีทต่อกรัมดิน พบว่าแปลงควบคุมมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 6.15 Log₁₀ CFU เมื่อเวลาผ่านไป 2 ชั่วโมง 15, 30 และ 60 วัน

นับปริมาณแอกติโนมัยสีที่ได้ 5.90, 5.90, 5.86 และ 5.83 Log_{10} CFU ตามลำดับ ส่วนแปลงที่พ่นสาร 2,4-D เมื่อ
นับปริมาณแอกติโนมัยสีก่อนทำการพ่น พบว่ามีปริมาณแอกติโนมัยสีเท่ากับ 6.00 Log_{10} CFU หลังพ่นสาร
2,4-D 2 ชั่วโมง 15, 30 และ 60 วัน นับปริมาณแอกติโนมัยสีได้ 5.91, 6.03, 5.70 และ 6.13 Log_{10} CFU
ตามลำดับ เมื่อเปรียบเทียบปริมาณแอกติโนมัยสีต่อกรัมดินที่วัดได้ของแปลงควบคุมและแปลงพ่นสาร 2,4-D
พบว่า t Stat แต่ละช่วงเวลา มีค่ามากกว่า t Critical two-tail แสดงให้เห็นว่าแอกติโนมัยสีสามารถใช้ 2,4-D
เป็นแหล่งคาร์บอนเพื่อเพิ่มปริมาณได้เช่นเดียวกับแบคทีเรียและรา (ตารางที่ 5)

Table 4 Quantities of microorganisms in Lop Buri province.

Treatments	Bacteria					Fungi					Actinomycetes				
						(Log ₁₀ CFU g ⁻¹)									
	BS ¹	2 H AS ²	15 D AS ³	30 D AS	60 D AS	BS	2 H AS	15 D AS	30 D AS	60 D AS	BS	2 H AS	15 D AS	30 D AS	60 D AS
Control	6.98	7.02	6.62	6.91	6.94	4.70	4.70	4.79	4.83	4.72	6.86	6.86	6.66	6.72	6.61
2,4-D	6.95	7.14	6.89	6.85	6.85	4.62	4.66	4.70	4.82	4.79	6.78	6.89	6.45	6.81	6.51
t Stat	0.49	1.06	1.02	1.05	0.89	1.15	0.94	2.47	0.26	2.05	0.99	0.30	2.07	1.00	2.22
t Critical two-tail	2.07	2.07	2.18	2.07	2.07	2.07	2.08	2.09	2.07	2.07	2.07	2.07	2.10	2.16	2.07

Remark: ¹ BS = Before spraying 2,4-D; ² H AS = Hours After spraying 2,4-D; ³ D AS = Days after spraying 2,4-D.

Table 5 Quantities of microorganisms in Nakhon Ratchasima province.

Treatments	Bacteria					Fungi					Actinomycetes				
						(Log ₁₀ CFU g ⁻¹)									
	BS ¹	2 H AS ²	15 D AS ³	30 D AS	60 D AS	BS	2 H AS	15 D AS	30 D AS	60 D AS	BS	2 H AS	15 D AS	30 D AS	60 D AS
Control	6.56	6.56	6.98	6.98	6.69	4.60	4.71	6.98	6.98	4.73	6.15	5.90	5.90	5.86	5.83
2,4-D	6.43	6.52	6.95	6.95	6.76	4.74	4.72	6.95	6.95	4.70	6.00	5.91	6.03	5.70	6.13
t Stat	3.14	0.50	0.49	0.49	1.41	4.05	0.32	0.49	0.49	0.44	2.91	0.13	3.46	2.21	3.42
t Critical two-tail	2.07	2.11	2.07	2.07	2.07	2.07	2.09	2.07	2.07	2.11	2.07	2.13	2.07	2.16	2.07

Remark: ¹ BS = Before spraying 2,4-D; ² H AS = Hours After spraying 2,4-D; ³ D AS = Days after spraying 2,4-D.

4. ผลคัดแยกแบคทีเรียจากตัวอย่างดินในพื้นที่ที่มีการใช้สาร 2,4-D

การคัดแยกแบคทีเรียจากตัวอย่างดินในอาหารแบบเหลวที่มีการเติมสาร 2,4-D ลงในอาหาร พบว่าตัวอย่างที่นำมาทดสอบของทั้งสองจังหวัดมีปริมาณแบคทีเรียไม่แตกต่างกัน ปริมาณแบคทีเรียจากตัวอย่างดินจังหวัดลพบุรีที่นับได้จากการเขย่ารอบที่ 1 ถึง 4 มีค่า 8.25, 8.20, 8.22 และ 8.00 $\text{Log}_{10} \text{CFU g}^{-1}$ ตามลำดับ ส่วนตัวอย่างจากจังหวัดนครราชสีมารอบที่ 1 ถึง 4 มีค่า 8.22, 8.09, 8.27 และ 7.70 $\text{Log}_{10} \text{CFU g}^{-1}$ ตามลำดับ โดยปริมาณแบคทีเรียที่ได้จากการเขย่ารอบที่ 4 จะมีปริมาณน้อยสุดทั้งจังหวัดลพบุรีและนครราชสีมา (ภาพที่ 1) จากนั้นคัดเลือกโคโลนีที่มีลักษณะต่างกันไปทดสอบต่อการทนต่อ 2,4-D ต่อไป

จากนั้นคัดเลือกโคโลนีที่มีลักษณะต่างกันบนจานอาหารเลี้ยงเชื้อ พบว่าไอโซเลทที่ 1, 2, 3, 6, 7, 8 และ 9 ที่แยกได้จากจังหวัดลพบุรี ในอาหารที่มีการเติม 2,4-D สามารถเจริญได้มากกว่า โดยมีขนาด 0.87, 0.70, 2.70, 1.37, 2.90, 3.50 และ 0.43 เซนติเมตร ตามลำดับ ในขณะที่จังหวัดนครราชสีมา พบแค่ 3 ไอโซเลทที่เจริญได้ดีในอาหารที่เติม 2,4-D ได้แก่ ไอโซเลทที่ 3, 5 และ 8 มีขนาด 1.00, 0.80 และ 1.00 เซนติเมตร ตามลำดับ (ตารางที่ 6) ไอโซเลทของแบคทีเรียที่คัดเลือกเพื่อนำไปทดสอบการย่อยสลายสาร 2,4-D ได้แก่ ไอโซเลทที่ 8 ของจังหวัดลพบุรี (LB-B8) ไอโซเลทที่ 3 และ 5 ของจังหวัดนครราชสีมา (NR-B3 และ NR-B5) (ภาพที่ 2) ส่วนไอโซเลทของราที่คัดเลือกได้มาจากจังหวัดนครราชสีมาทั้ง 3 ไอโซเลท ได้แก่ NR-F5, NR-F14 และ NR-F15 (ภาพที่ 3)

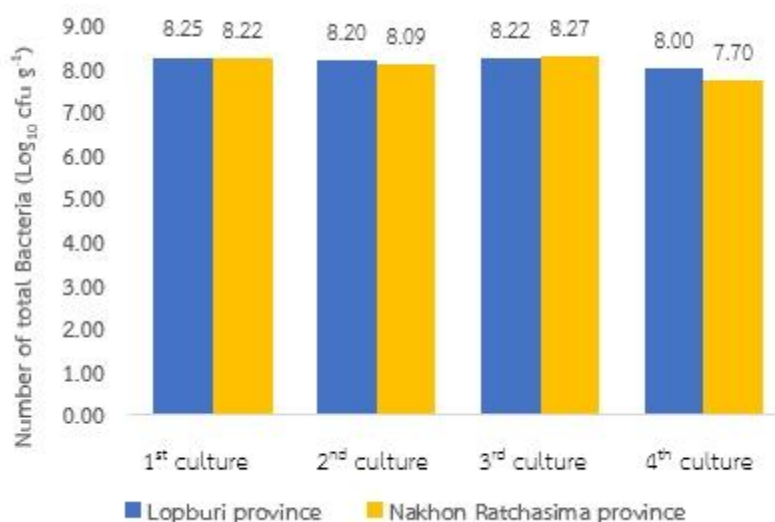


Figure 1 Number of bacteria colonies after adding 2,4-D into culture media.

Table 6 Diameter of bacterial colonies in soil sample from Lop Buri and Nakhon Ratchasima provinces.

Isolate	Code	Lop Buri		Code	Nakhon Ratchasima	
		Diameter (cm)			Diameter (cm)	
		control	2,4-D		control	2,4-D
1	LB-B1	0.77	0.87	NR-B1	2.50	2.50
2	LB-B2	0.67	0.70	NR-B2	1.80	1.80
3	LB-B3	2.63	2.70	NR-B3	0.77	1.00
4	LB-B4	0.60	0.60	NR-B4	0.80	0.70
5	LB-B5	2.57	2.50	NR-B5	0.73	0.80
6	LB-B6	1.30	1.37	NR-B6	0.57	0.57
7	LB-B7	2.43	2.90	NR-B7	1.27	0.97
8	LB-B8	2.57	3.50	NR-B8	0.70	1.00
9	LB-B9	0.40	0.43	NR-B9	8.00	5.00
10	LB-B10	1.30	1.00	NR-B10	0.67	0.57

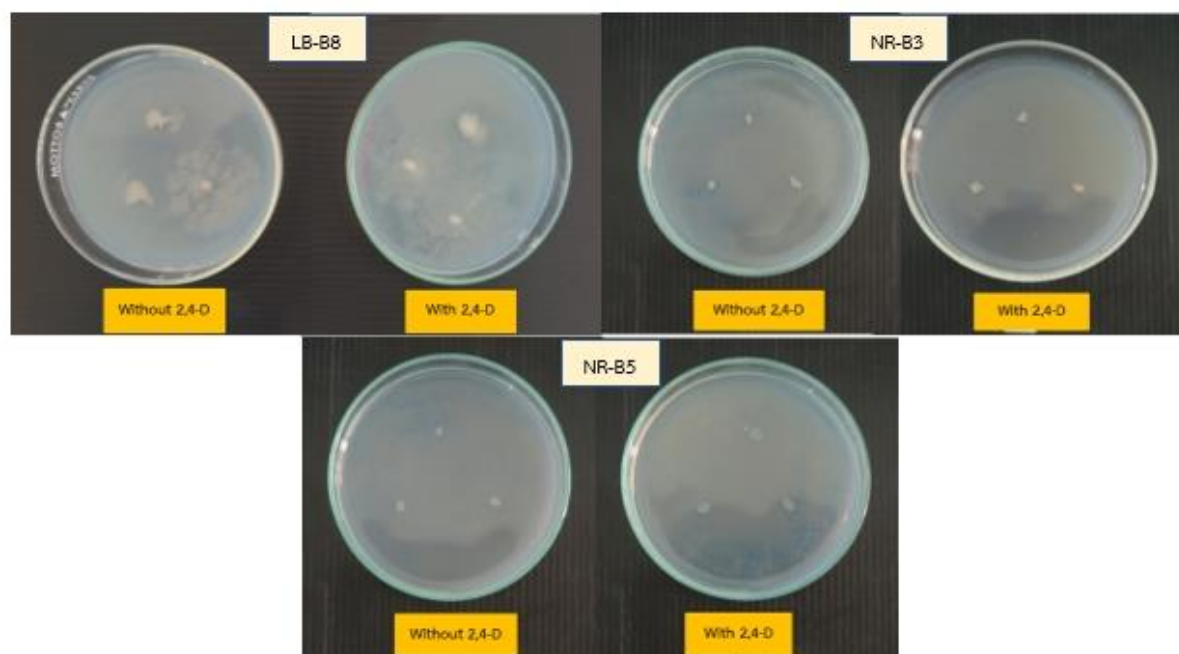


Figure 2 Degradation of 2,4-dichlorophenoxyacetic acid herbicide by bacteria isolated from soil in inorganic salt medium.

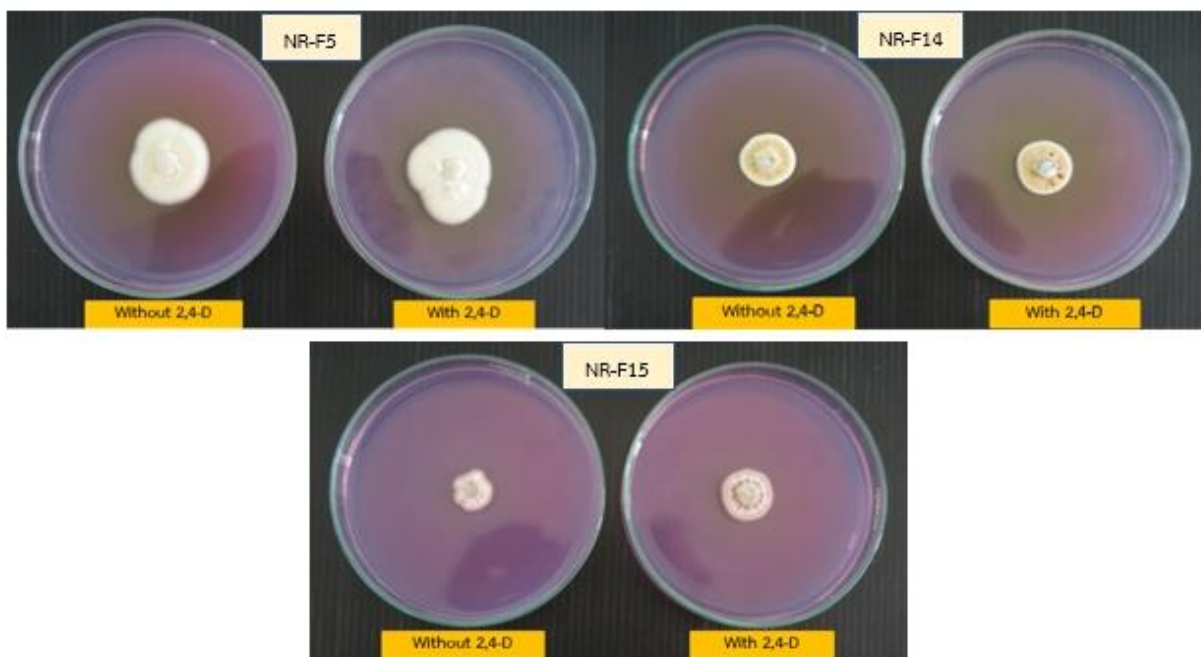


Figure 3 Degradation of 2,4-dichlorophenoxyacetic acid herbicide by fungi isolated from soil in rose bengal medium.

การจำแนกชนิดของจุลินทรีย์ที่มีประสิทธิภาพย่อยสลายสาร 2,4-D

นำเชื้อแบคทีเรียที่มีประสิทธิภาพในการย่อยสลาย 2,4-D จากการคัดเลือกในอาหาร Inorganic salt ที่เติมสาร 2,4-D ความเข้มข้น 50 มิลลิกรัมต่อลิตร และเชื้อราที่คัดเลือกได้ในอาหาร Rose bengal ที่เติมสาร 2,4-D ความเข้มข้น 100 มิลลิกรัมต่อลิตร ไปเลี้ยงเชื้อให้บริสุทธิ์และนำไปจำแนก โดยสามารถแยกแบคทีเรียจำนวน 2 ไอโซเลท ได้แก่ *Bacillus cereus* และ *Bacillus albus* แอคติโนมัยซีท 1 ไอโซเลท ได้แก่ *Nocardioideis aromaticivorans* และราจำนวน 3 ไอโซเลท ได้แก่ *Penicillium pimiteouiense* และ *Penicillium shearii* โดยจุลินทรีย์ทั้ง 5 สายพันธุ์นี้สามารถเจริญในอาหารที่เติมสาร 2,4-D ได้ดี (ตารางที่ 7) Huong *et al.* (2007) ได้ทำการคัดแยกแบคทีเรียที่สามารถย่อยสลายสาร 2,4-D ในดินเวียดนาม พบว่ามีแบคทีเรีย 3 กลุ่มใหญ่ที่สามารถย่อยสลายสาร 2,4-D ได้ คือ *Burkholderias* spp. (43.3 เปอร์เซ็นต์), *Sphingomonas* spp. (40.2 เปอร์เซ็นต์) และ *Ralstonia* spp. (15.3 เปอร์เซ็นต์) Silva *et al.* (2007) คัดเลือกจุลินทรีย์ที่ย่อยสลายสาร 2,4-D ในดินที่ปนเปื้อน พบว่า *Serratia marcescens* และ *Penicillium* sp. มีประสิทธิภาพในการย่อยสลายสาร 2,4-D ซึ่งทั้ง 2 ไอโซเลทมีประสิทธิภาพในการฟื้นฟูสิ่งแวดล้อมทางชีวภาพ (Bioremediation)

Table 7 Microorganism species for degradation test of 2,4-dichlorophenoxyacetic acid.

No.	Code	Microorganism species	Locations
1	LB-B8	<i>Bacillus cereus</i>	แปลงข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ จ.ลพบุรี
2	NR-B3	<i>Nocardoides aromaticivorans</i>	แปลงข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ จ.นครราชสีมา
3	NR-B5	<i>Bacillus albus</i>	แปลงข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ จ.นครราชสีมา
4	NR-F5	<i>Penicillium pimateouiense</i>	แปลงข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ จ.นครราชสีมา
5	NR-F14	<i>Penicillium pimateouiense</i>	แปลงข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ จ.นครราชสีมา
6	NR-F15	<i>Penicillium shearii</i>	แปลงข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ จ.นครราชสีมา

สรุปผลการทดลอง

การพ่นสาร 2,4-D ส่งผลกระทบต่อปริมาณแบคทีเรีย รา และแอคติโนมัยสีทในแปลงควบคุมและแปลงพ่นสาร 2,4-D ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติทั้งในจังหวัดลพบุรีและนครราชสีมา แต่ในจังหวัดนครราชสีมา แปลงพ่นสาร 2,4-D หลังพ่น 15, 30 และ 60 วัน มีปริมาณแอคติโนมัยสีทเพิ่มขึ้น อาจเนื่องมาจากใช้ 2,4-D เป็นแหล่งคาร์บอน จึงมีส่วนช่วยในการเพิ่มการเจริญของแอคติโนมัยสีทได้

2,4-D ตกค้างในดินหลังพ่น 2 ชั่วโมง มีค่า 0.21 และ 1.52 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมดิน ในจังหวัดลพบุรีและนครราชสีมา ตามลำดับ และหลังพ่นสาร 2,4-D ที่ 15, 30 และ 60 วัน ตรวจไม่พบปริมาณ 2,4-D ที่ตกค้างอยู่ในตัวอย่างดินทั้ง 2 จังหวัด นอกจากนี้ยังพบว่า ปริมาณ 2,4-D ที่ตกค้างในดินจังหวัดนครราชสีมาจะมีปริมาณสูงกว่าจังหวัดลพบุรี เนื่องจากดินจังหวัดนครราชสีมามีอนุภาคดินเหนียวสูงกว่า

จากการวิจัยนี้สามารถคัดเลือกเชื้อแบคทีเรีย รา และแอคติโนมัยสีท ที่มีประสิทธิภาพในการย่อยสลายสาร 2,4-D จากดินในจังหวัดลพบุรี ได้แก่ *Bacillus cereus* และจากดินในจังหวัดนครราชสีมา ได้แก่ *Bacillus albus* *Nocardoides aromaticivorans* และ *Penicillium sp.*

การนำผลงานวิจัยไปใช้ประโยชน์

ได้แบคทีเรีย รา และแอคติโนมัยสีทที่จะนำไปทดสอบการย่อยสลายสาร 2,4-D หรือสารกำจัดวัชพืชตัวอื่น ๆ เพื่อเป็นแนวทางในการเฝ้าระวัง ฟันฟู และรักษาสีแวลล์อมเกษตรที่ยั่งยืนในพื้นที่เสี่ยงที่มีการใช้สารกำจัดวัชพืช รวมถึงเป็นแนวทางในการนำจุลินทรีย์ดินไปใช้ประโยชน์ทางการเกษตรและการย่อยสลายสารกำจัดศัตรูพืชที่ตกค้างในดิน

เอกสารอ้างอิง

- กรมควบคุมมลพิษ. 2553. 2,4-ไดคลอโรฟีนอกซีอะซีติก แอซิด (2,4-ดี). 76 น. ใน *เอกสารเผยแพร่ทางวิชาการของสารเคมีเฉพาะเรื่อง*. โรงพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, กรุงเทพฯ.
- กลุ่มวิจัยวัชพืช. 2554. *คำแนะนำการป้องกันกำจัดวัชพืชและการใช้สารกำจัดวัชพืช ปี 2554*. โรงพิมพ์ชุมนุมสหกรณ์การเกษตรแห่งประเทศไทย จำกัด, กรมวิชาการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, กรุงเทพฯ. 149 น.
- กองสำรวจดิน. 2523. *คู่มือการจำแนกความเหมาะสมของดินสำหรับพืชเศรษฐกิจ*. เอกสารวิชาการ ฉบับที่ 28. กรมพัฒนาที่ดิน กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, กรุงเทพฯ. 76 น.
- เอิบ เขียวรีนนม. 2548. *การสำรวจดิน*. พิมพ์ครั้งที่ 2. สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ. 733 น.
- Amarante, D.O.P., N.M. Brito, T.C.R.D. Santos, G.S. Nunes and M.L. Ribeiro. 2003. Determination of 2,4-dichlorophenoxyacetic acid and its major transformation product in soil samples by liquid chromatographic analysis. *Talanta* 60:115-121.
- Baumgartner, D., E.G. de Souza, S.R.M. Coelho and M.F. Maggi. 2017. Correlation between 2,4-D herbicide residues and soil attributes in southern of Brazil. *Revista Ciencia Agronomica* 48 (3):428-437.
- Celina Zabaloy, M. and M.A. Gómez. 2014. Isolation and characterization of indigenous 2,4-D herbicide degrading bacteria from an agricultural soil in proximity of Sauce Grande River, Argentina. *Annals of Microbiology* 64:969-974.
- Duah-Yentumi, S. and S. Kuwatsuka. 1990. Effect of organic matter and chemical fertilizers on 2, 4-D degradation: Changes in microbiological status of 2, 4-D-perfused soil. *Ghana Journal of Agricultural Science* 20-23:101-109.
- Gardes, M., and T.D. Bruns. 1993. ITS primers with enhanced specificity for basidiomycetes-application to the identification of mycorrhizae and rusts. *Molecular Ecology* 2(2): 113-118.
- Grossmann, K. 2003. Mediation of herbicide effects by hormone interactions. *Journal of plant growth regulation* 22:109-122. <https://doi.org/10.1007/s00344-003-0020-0>.
- Huong, N.L., K. Itoh and K. Suyama. 2007. Diversity of 2,4-Dichlorophenoxyacetic Acid (2,4-D) and 2,4,5-Trichlorophenoxyacetic Acid (2,4,5-T)-Degrading Bacteria in Vietnamese Soils. *Microbes and Environments* 22(3):243-256.
- Itoh, K., M. Kinoshita, S. Morishita, M. Chida and K. Suyama. 2013. Characterization of 2,4-dichlorophenoxyacetic acid and 2,4,5-trichlorophenoxyacetic acid-degrading fungi in Vietnamese soils. *FEMS Microbiology Ecology* 84:1574-6941.
- Leahy, J., M. Mendelsohn, J. Kough, R. Jones and N. Berckes. 2014. Biopesticide oversight and registration at the U.S. Environmental Protection Agency. *ACS symposium series. American Chemical Society* 1172:3-18. <https://doi.org/10.1021/bk-2014-1172.ch001>.
- Magnoli, K., C.S. Carranza, M.E. Aluffi, C.E. Magnoli and C.L. Barberis. 2020. Herbicides based on 2,4-D: its behavior in agricultural environments and microbial biodegradation aspects. A review. *Environmental Science and Pollution Research*. doi:10.1007/s11356-020-10370-6.

- Ordaz-Guillén Y., C.J. Galíndez-Mayer, N. Ruiz-Ordaz, C. Juárez-Ramírez, F. Santoyo-Tepole, O. Ramos-Monroy. 2014. Evaluating the degradation of the herbicides picloram and 2,4-D in a compartmentalized reactive biobarrier with internal liquid recirculation. *Environmental Science and Pollution Research* 21:8765–8773. <https://doi.org/10.1007/s11356-014-2809-8>
- Rose, M.T., T.R. Cavagnaro, C.A. Scanlan, T.J. Rose, T. Vancov, S. Kimber, I.R. Kennedy, R.S. Kookana and L.V. Zwieten. 2016. Impact of herbicides on soil biology and function. *Advances in Agronomy* 136:133–220. <https://doi.org/10.1016/BS.AGRON.2015.11.005>
- Silva, T.M., M.I. Stets, A.M. Mazzetto, F.D. Andrade, S.A.V. Pileggi, P.R. Fávero, M.D. Cantú, E. Carrilho, P.I.B. Carneiro and M. Pileggi. 2007. Degradation of 2,4-d herbicide by microorganisms isolated from brazilian contaminated soil. *Brazilian Journal of Microbiology* 38:522-525.
- Smith, A.E. and K. Mortensen. 1991. Degradation of waste 2,4-D residues using a soil bacterium in a sprayer tank system. *Canadian Journal of Soil Science* 71:243-246.
- Soil Survey Division Staff. 1993. *Soil Survey Manual*. US. Dep. of Agr. Handbook No. 18, U.S. Government Printing Office, Washington D.C.
- Sutherland, D.J., G.K. Stearman and M. J.M. Wells. 2003. Development of an analytical scheme for simazine and 2,4-D in soil and water runoff from ornamental plant nursery plots. *Journal of Agriculture and Food Chemistry* 51:14-20.
- Weisburg, W.G., S.M. Barns, D.A. Pelletier and D.J. Lane. 1991. 16S ribosomal DNA amplification for phylogenetic study. *Journal of Bacteriology* 173: 697-703.
- White, T.J., T.D. Brun, S.B. Lee and J.W. Taylor. 1990. Amplification and direct sequencing of fungal ribosomal RNA genes for phylogenetics. pp. 315-322. In M.A., Innis, D.H. Gelfand, J.J. Sninsky and White, T.J., eds., *PCR Protocols: A Guide to Methods and Applications*, Academic Press, New York.
- WHO (World Health Organization). 2017. *Guidelines for drinking-water quality*. Fourth edition incorporating the first addendum.

ภาคผนวก

Table 1 Soil fertility evaluation.

Soil fertility	OM (g kg ⁻¹)	BS (%)	CEC (cmol kg ⁻¹)	Available P (mg kg ⁻¹)	Available K (mg kg ⁻¹)
Low	< 15 (1)	< 35 (1)	< 10 (1)	< 10 (1)	< 60 (1)
Medium	15-35 (2)	35-75 (2)	10-25 (2)	10-25 (2)	60-90 (2)
High	> 35 (3)	> 75 (3)	> 25 (3)	> 25 (3)	> 90 (3)

Remark : Soil fertility evaluation (Sum of score in bracket)

Low soil fertility = Score equal or less than 7

Medium soil fertility = Score between 8-12

High soil fertility = Score more than 13

Note: Adapted from กองสำรวจดิน (2523)

Table 2 Soil fertility evaluation.

Soil properties	Range	Rating
Soil pH (1:1 Soil:H ₂ O)	< 3.5	Ultra acid
	3.5-4.4	Extremely acid
	4.5-5.0	Very strongly acid
	5.1-5.5	Strongly acid
	5.6-6.0	Moderately acid
	6.1-6.5	Slightly acid
	6.6-7.3	Neutral
	7.4-7.8	Slightly alkaline
	7.9-8.4	Moderately alkaline
	8.5-9.0	Strongly alkaline
	> 9.0	Very strongly alkaline

Note: Adapted from Soil Survey Division Staff (1993)

ผลกระทบของการใช้ glyphosate ต่อจุลินทรีย์ดินในแปลงปลูกมันสำปะหลัง
จังหวัดลพบุรีและนครราชสีมา

Impact of glyphosate on soil microorganisms in cassava field in Lopburi
and Nakhon Ratchasima provinces

อำนาจ เอี่ยมวิจารณ์¹ บุนทริก ฉิมชาติ¹ กิตจเมธ แจ่มสิริกุล¹ อำนาจ กะฐินเทศ¹
อมรรัตน์ ไชยะเสน² จริญญา ปิ่นสุภา³ เมอร์ชัต์พัชร เขียววิชัย⁴

Amnat Eamvijarn¹ Boontarik Chimchat¹ Kitjamate Jangsirikul¹ Amnaj Katintet¹
Amornrat Chaiyasen² Jarunya Pinsupa³ Choeratphatchra Khieowichai⁴

กลุ่มวิจัยปฐพีวิทยา

กองวิจัยพัฒนาปัจจัยการผลิตทางการเกษตร

ABSTRACT

Study on microbial population in cassava field treated with glyphosate in Nakhon Ratchasima and Lopburi provinces. The quantity of bacteria in control and glyphosate treatments were 6.31 – 6.98 Log₁₀CFU/g and 6.51 – 7.02 Log₁₀CFU/g, fungi were 4.45 – 4.78 Log₁₀CFU/g and 4.39 – 5.05 Log₁₀CFU/g and actinomycetes were 5.81 – 6.97 Log₁₀CFU/g and 6.77 – 7.05 Log₁₀CFU/g. However, the amount of microorganism was difference significantly at 2 hours, 15 and 30 days after spraying. Fourteen of bacterial isolates were selected by specific medium that mixed with glyphosate as phosphorus source. The result revealed that, strain GS-LRI-CO.1 showed highest growth rate at 754.6 percent, followed by GS-NMA-CO.5, *Chitinophaga terrae* (GS-NMA-CO.1) and *Dyadobacter fermentans* (GS-LRI-CO.3) by 266.7 113.3 and 53.3 percent, respectively. Screening of fungal strains for glyphosate tolerance, 20 isolates had potential to growth on specific medium. Nine strains of *Trichoderma* sp., *Rhizopus* sp. and *Aspergillus flavus* can be able to grow rapidly. Moreover, sterile mycelium (GS-481-2, GS-488-1 and GS-488-4) and *A. niger* (GS-541) had capability to grow in high concentration of glyphosate and colony diameter were 46.5, 46, 55 and 67.2 mm. respectively. While *Talaromyces* and *Penicillium* were not tolerant to glyphosate.

Key words: Glyphosate, soil microorganism, cassava

¹ กองวิจัยพัฒนาปัจจัยการผลิตทางการเกษตร กรมวิชาการเกษตร กรุงเทพฯ 10900

¹ Agricultural Production Sciences Research and Development Division, Department of Agriculture, Bangkok, 10900

² ศูนย์วิจัยและพัฒนาเมล็ดพันธุ์พืชเชียงใหม่ จังหวัดเชียงใหม่ 50290

² Chiang Mai Seed Research and Development Center, Chiang Mai 50290

³ สำนักวิจัยพัฒนาการอารักขาพืช กรมวิชาการเกษตร กรุงเทพฯ 10900

³ Plant Protection Research and Development Office, Department of Agriculture, Bangkok, 10900

⁴ กลุ่มวิจัยและพัฒนา ศูนย์วิจัยและพัฒนาเมล็ดพันธุ์พืชลพบุรี จังหวัดลพบุรี 15210

⁴ Research and Development Group, Lopburi Seed Research and Development Center, Lopburi, 15210

บทคัดย่อ

การศึกษาปริมาณจุลินทรีย์ในปลวกแปลงมันสำปะหลังจังหวัดนครราชสีมาและลพบุรีที่ใช้สารไกลโฟเซต พบปริมาณแบคทีเรียเฉลี่ยในแปลงควบคุมและแปลงฉีดพ่นไกลโฟเซต 6.31 – 6.98 Log₁₀CFU/g และ 6.51 – 7.02 Log₁₀CFU/g ปริมาณราเฉลี่ยในแปลงควบคุมและแปลงฉีดพ่นไกลโฟเซต 4.45 – 4.78 Log₁₀CFU/g และ 4.39 – 5.05 Log₁₀CFU/g และปริมาณแอคติโนมัยซีทเฉลี่ยในแปลงควบคุมและแปลงฉีดพ่นไกลโฟเซต 5.81 – 6.97 Log₁₀CFU/g และ 6.77 – 7.05 Log₁₀CFU/g ซึ่งหลังฉีดพ่นสาร 2 ชั่วโมง 15 และ 30 วัน มีปริมาณจุลินทรีย์เฉลี่ยแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ แยกแบคทีเรียที่สามารถเจริญในอาหารผสมไกลโฟเซตเป็นแหล่งฟอสฟอรัสได้ จำนวน 14 ไอโซเลท พบว่าสายพันธุ์ GS-LRI-CO.1 มีอัตราการเจริญสูงสุด 754.6 เปอร์เซ็นต์ รองลงมาเป็น สายพันธุ์ GS-NMA-CO.5, *Chitinophaga terrae* (GS-NMA-CO.1) และ *Dyadobacter fermentans* (GS-LRI-CO.3) มีอัตราการเจริญ 266.7, 113.3 และ 53.3 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ และแยกราที่ทนต่อไกลโฟเซตได้ จำนวน 20 ไอโซเลท โดย *Trichoderma* sp. จำนวน 9 สายพันธุ์ *Rhizopus* sp. และ *Aspergillus flavus* สามารถเจริญในอาหารผสมไกลโฟเซตความเข้มข้น 1 และ 10 mM ได้เร็วที่สุด มีความกว้างของโคโลนี 9 เซนติเมตร ขณะที่ Sterile mycelium (GS-481-2, GS-488-1 และ GS-488-4) และ *A. niger* (GS-541) เจริญได้ดีที่สุดที่ความเข้มข้น 10 mM มีความกว้างของโคโลนี 46.5, 46, 55 และ 67.2 มิลลิเมตร ตามลำดับ ส่วน *Talaromyces* sp. และ *Penicillium* sp. ไม่ทนต่อไกลโฟเซต

คำสำคัญ: ไกลโฟเซต, จุลินทรีย์ดิน, มันสำปะหลัง

คำนำ

ไกลโฟเซต (Glyphosate) หรือ N-(phosphonomethyl) glycine (C₃H₈NO₅P) เป็นสารประกอบจำพวกออร์แกนอพอสฟอรัส (Organophosphorus compound) จัดเป็นสารกำจัดวัชพืชประเภทดูดซึม (Systemic herbicide) กำจัดวัชพืชประเภทไม่เลือกทำลาย ใช้หลังวัชพืชงอก สามารถใช้กำจัดวัชพืชได้มากกว่า 150 ชนิด และได้ผลิตเข้าสู่ตลาดเพื่อการเกษตรกรรมในปี ค.ศ. 1974 ภายใต้ชื่อทางการค้าว่า Roundup® (Dill *et al.*, 2010) ค่าเฉลี่ยครึ่งชีวิตของไกลโฟเซตในดินมีค่าระหว่าง 2 ถึง 197 วัน ทั้งนี้ชนิดดินและสภาพภูมิอากาศมีผลต่อการคงอยู่ของไกลโฟเซตในดิน (Henderson *et al.*, 2010) ไกลโฟเซตถูกดูดซับโดยสารฮิวมิกบริสุทธิ์และเกี่ยวข้องกับอินทรีย์วัตถุในดิน ไกลโฟเซตถูกดูดซับด้วยสารฮิวมิกตามธรรมชาติในดินได้ง่ายกว่าการดูดซับโดยผลึกของเหล็กและอะลูมิเนียมออกไซด์ (Albers *et al.*, 2009) มีการศึกษาผลกระทบของการใช้ไกลโฟเซตต่อจุลินทรีย์ดิน Valerie *et al.* (2016) มีรายงานการใช้ไกลโฟเซตต่อการเจริญของราดิน *Aspergillus nidulans* ในห้องปฏิบัติการ พบว่าความเข้มข้นของสารต่ำกว่าอัตราแนะนำสามารถยับยั้งการงอกของสปอร์และการเจริญของเส้นใยของราดิน และพบว่าการใช้ไกลโฟเซตทำให้โรคพืชมีความรุนแรงและความถี่ในการเกิดมากขึ้น เนื่องจากความสมดุลของจุลินทรีย์และธาตุอาหารที่เปลี่ยนแปลงบริเวณรากพืช เช่น เชื้อ *Fusarium solani* f. sp. *Glycines* สาเหตุโรค Sudden death syndrome ในถั่วเหลืองพันธุ์ต้านทานไกลโฟเซต ซึ่งจะมีอาการโรคที่รุนแรงในแปลงที่มีการฉีดพ่นสารมากกว่าแปลงที่ไม่ใช้สาร (Sanogo *et al.*, 2000) นอกจากนี้มีรายงานจุลินทรีย์ที่ทนทานและสามารถย่อยสลายไกลโฟเซตโดยใช้เป็นแหล่งของอาหารที่ใช้ในการเจริญเติบโต Massot *et al.* (2021) แยกแบคทีเรียจากดินและดินรอบรากพืชที่มีการใช้สารไกลโฟเซต พบว่า แบคทีเรียจำนวน 16 สายพันธุ์สามารถใช้ไกลโฟเซตเป็นแหล่งของฟอสฟอรัส เมื่อนำไปทดสอบการย่อยสลายสารไกลโฟเซต สายพันธุ์ *Ochrobactrum haematophilum* สามารถย่อยสลายได้ถึง 97 เปอร์เซ็นต์ ภายใน

20 วัน และ *Achromobacter*, *Agrobacterium*, *Alcaligenes*, *Alterbacter*, *Bacillus*, *Comamonas*, *Enterobacter*, *Pseudomonas* และ *Streptomyces* สามารถย่อยสลายไกลโฟเซตได้เช่นกัน (Zhan et al., 2018) ในทางเดียวกันมีการศึกษาราดินหลายชนิด เช่น *Aspergillus*, *Trichoderma*, *Penicillium*, *Mucor* และ *Fusarium* สามารถทนทานและย่อยสลายไกลโฟเซตโดยใช้เป็นแหล่งของคาร์บอนและฟอสฟอรัสในการเจริญเติบโต (Spinelli et al., 2021) ดังนั้นการศึกษามลกระทบและคัดเลือกจุลินทรีย์ที่มีศักยภาพและทดสอบการย่อยสลายไกลโฟเซตจึงจำเป็นเพื่อเป็นการหาแนวทางลดการปนเปื้อนของสารในดินให้เหมาะสมกับการทำการเกษตรในปัจจุบัน

อุปกรณ์และวิธีการ

อุปกรณ์

1. เครื่องซังไฟฟ้าทศนิยม 2 และ 4 ตำแหน่ง
2. เครื่องวัดความเป็นกรด-ด่าง (pH meter)
3. หม้อนึ่งฆ่าเชื้อ (Autoclave)
4. ตู้อบความร้อน (Hot air oven)
5. ตู้ปลอดเชื้อ (Laminar flow)
6. ตู้บ่มเชื้อแบบควบคุมอุณหภูมิ (Incubator)
7. ตู้บ่มเชื้อแบบเขย่า (Incubator shaker)
8. เครื่องปั่นผสมสารละลาย (Vortex mixer)
9. เครื่องดูดจ่ายสารละลายแบบอัตโนมัติ (Autopipette)
10. เครื่องแก้วและวัสดุอื่น ๆ ที่ใช้ในการปฏิบัติการทดสอบ

วิธีการ

1. แปลงปลูกรมันสำปะหลังในจังหวัดลพบุรีและนครราชสีมา โดยแบ่งแปลงเป็น 2 แปลงย่อย ขนาดแปลงละ 400 ตารางเมตร ได้แก่ แปลงที่ฉีดพ่นเฉพาะสารไกลโฟเซต ตามอัตราแนะนำเพียงอย่างเดียวโดยไม่มีการฉีดพ่นสารกำจัดศัตรูพืชชนิดอื่น และแปลงที่ไม่มีการฉีดพ่นสารกำจัดศัตรูพืช โดยเก็บตัวอย่างดินแปลงละ 5 รอบ ได้แก่ ก่อนฉีดพ่น (0 ชั่วโมง), หลังฉีดพ่น 2 ชั่วโมง, 15 วัน, 30 วัน และ 60 วัน เก็บตัวอย่างดินที่ระดับความลึก 20 เซนติเมตร สุ่มเก็บตัวอย่างดินกระจายให้ทั่วแปลง ๆ ละ 11 จุด เพื่อนำไปนับปริมาณจุลินทรีย์ดิน และนำตัวอย่างดินทั้ง 11 จุดมาวัดปริมาณเอนไซม์ดิน จากนั้นเก็บตัวอย่างดินแบบ Composite sample ที่ระดับความลึก 20 เซนติเมตร โดยสุ่มเก็บตัวอย่างดินกระจายให้ทั่วแปลง ๆ ละ 20 จุด (เอิบ, 2548) เพื่อนำมาวิเคราะห์ปริมาณสารกำจัดวัชพืชที่ตกค้างในดินและสมบัติทางกายภาพและเคมีของดิน บันทึกลักษณะของพื้นที่ พิกัด และข้อมูลพืชที่ปลูกในพื้นที่

2. วิเคราะห์สมบัติทางกายภาพและเคมีของดิน ได้แก่ การกระจายขนาดอนุภาค (Particle size distribution) ความเป็นกรด-ด่าง อินทรีย์วัตถุ ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ โพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ และค่าความจุในการแลกเปลี่ยนแคตไอออน (Cation exchange capacity, CEC)

3. การนับปริมาณรา แบคทีเรีย และแอคติโนมัยซีตในดิน

ซังตัวอย่างดิน 10 กรัม ใส่ในน้ำกรองนึ่งฆ่าเชื้อปริมาตร 90 มิลลิลิตร เขย่าให้เข้ากัน จากนั้นเจือจางลำดับส่วนจนได้ระดับ 10^{-1} - 10^{-7} นำตัวอย่างไปนับปริมาณด้วยวิธี Spread plate บนอาหาร Nutrient agar สำหรับนับแบคทีเรีย เต็มไซโคลเฮกซิไมด์เพื่อยับยั้งการเจริญของรา อาหาร Glucose ammonium nitrate agar สำหรับนับรา เต็มสเตรปโตมัยซินเพื่อยับยั้งการเจริญของแบคทีเรีย และอาหาร Starch Casein Agar สำหรับนับ

แอสติโนมายีสท์ เติมกรดนาลิตซิกและคีโตโคนาโซลเพื่อยับยั้งการเจริญของแบคทีเรียและรา (รัชนี, 2552) บ่มที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3-7 วัน นับปริมาณและคัดเลือกสายพันธุ์จุลินทรีย์ที่เจริญบนอาหารเพื่อใช้ทดสอบต่อไป

4. การตรวจปริมาณไกลโฟเซตในดิน

ทำการสกัดตัวอย่างดินด้วยสารผสมระหว่าง Disodium hydrogen phosphate (Na_2HPO_4) และ Trisodium citrate ($\text{C}_6\text{H}_5\text{Na}_3\text{O}_7$) จากนั้นทำการเปลี่ยนอนุพันธ์ (Derivatization) ด้วยสารละลาย 9-Fluorenylmethylchloroformate (FMOC-Cl) ในสารละลายบอเรตบัฟเฟอร์ (borate buffer) และทำการตรวจวัดด้วยเครื่อง High Performance Liquid Chromatograph with Fluorescence Detector (HPLC-FLD) โดยใช้คอลัมน์ชนิด C_{18} (Miles *et al.*, 1986)

5. การแยกแบคทีเรียจากดินด้วยอาหาร Basal salt-glyphosate medium broth (MSB) (Radosevich *et al.*, 1995)

เตรียมอาหาร MSB ที่เติมไกลโฟเซต ความเข้มข้น 500 มิลลิกรัม/ลิตร (MSB-Gly) ซั่งตัวอย่างดินจากแปลงปลูกมันสำปะหลัง จำนวน 2 กรัม เติลงในอาหาร ใช้ลูมิเนียมฟอยล์ห่อเพื่อป้องกันแสง นำไปบ่มในตู้บ่มเชื้อแบบเขย่าที่ความเร็วประมาณ 150 รอบ/นาที อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 10 วัน เมื่อครบกำหนด นำตัวอย่างไปแยกแบคทีเรียด้วยวิธี Spread plate บนอาหาร MSB-Gly ที่เติมน้ำ 15 กรัม/ลิตร (MSA-Gly) และเติมไซโคลเฮกซิไมด์เพื่อยับยั้งการเจริญของรา บ่มจานเพาะเชื้อในที่มืด ที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3-5 วัน คัดเลือกแบคทีเรียที่เจริญไปทดสอบประสิทธิภาพการย่อยสลายสารไกลโฟเซตต่อไป

6. การทดสอบการใช้ไกลโฟเซตเป็นแหล่งของฟอสฟอรัส (Radosevich *et al.*, 1995)

นำแบคทีเรียที่คัดเลือกได้เลี้ยงบนอาหาร Basal salt-glyphosate medium agar (MSA) และอาหาร MSA ที่เติมไกลโฟเซต ความเข้มข้น 500 มิลลิกรัม/ลิตร (MSA-Gly) โดยการเพาะจุลินทรีย์แบบจุด (Spot inoculation) บ่มจานเพาะเชื้อในที่มืด ที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 7 วัน วัดความกว้างของโคโลนีและประเมินประสิทธิภาพการเจริญของแบคทีเรีย

$$\% \text{ Growth} = \frac{\text{Growth rate of colony on MSA-Gly} - \text{Growth rate of colony on MSA}}{\text{Growth rate of colony on MSA}} \times 100$$

7. การทดสอบการทนทานไกลโฟเซตของเชื้อรา (Spinelli *et al.*, 2021)

นำเชื้อราที่คัดเลือกได้เลี้ยงบนอาหาร Potato dextrose agar (PDA) ที่มีการเติมไกลโฟเซตความเข้มข้น 1 และ 10 mM โดยการเพาะเชื้อราแบบจุด บ่มจานเพาะเชื้อในที่มืด อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 7 วัน วัดความกว้างของโคโลนี

8. การจำแนกจุลินทรีย์

แบคทีเรีย ด้วยเทคนิคทางอนุชีวโมเลกุล (Molecular identification) โดยเลี้ยงแบคทีเรียในอาหาร NB เป็นระยะเวลา 24 ชั่วโมง ปั่นตกตะกอนเซลล์และสกัดดีเอ็นเอด้วยชุดสกัด Genomic DNA Mini Kit (Tissue) (Geneaid Biotech Ltd., Taiwan) เพิ่มปริมาณดีเอ็นเอบริเวณยีน 16S rRNA และนำลำดับนิวคลีโอไทด์ไปเปรียบเทียบกับความคล้ายคลึงกันกับฐานข้อมูลของ The National Center for Biotechnology Information เพื่อจำแนกสกุลและชนิดแบคทีเรียเบื้องต้น (กรมวิชาการเกษตร, 2566)

รา โดยศึกษาลักษณะทางสัณฐานวิทยา (Morphology) ได้แก่ สี และรูปแบบการเจริญของโคโลนี การสร้างสปอร์ รูปร่าง และขนาดสปอร์ภายใต้กล้องจุลทรรศน์ และการเจริญบนอาหารจำเพาะ (Specific media) เพื่อจำแนกสกุลและชนิดรา (Domsch *et al.*, 1993)

ระยะเวลา ตุลาคม 2565 – กันยายน 2567

สถานที่ทำการทดลอง กลุ่มงานวิจัยจุลินทรีย์ดิน กลุ่มวิจัยปฐพีวิทยา กองวิจัยพัฒนาปัจจัยการผลิตทางการเกษตร กรุงเทพมหานคร

ผลการทดลองและวิจารณ์

1. สมบัติของดินในแปลงปลูกมันสำปะหลังจังหวัดลพบุรี

ผลการวิเคราะห์ตัวอย่างดินแปลงปลูกมันสำปะหลังทำการทดลองในจังหวัดลพบุรี พบว่า แปลงที่ไม่ฉีดพ่น ไกลโฟเซตที่ 0 และ 2 ชั่วโมง 15 30 และ 60 วัน มีอินทรีย์วัตถุอยู่ในระดับต่ำถึงปานกลาง เท่ากับ 1.26, 1.22, 1.18, 1.16 และ 1.77 กรัมต่อกิโลกรัม ตามลำดับ ปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์อยู่ในระดับปานกลาง เท่ากับ 12.74, 12.28, 13.68, 16.02 และ 17.71 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ตามลำดับ ปริมาณโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้อยู่ในระดับสูง เท่ากับ 121.96, 118.24, 120.98, 115.65 และ 112.15 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ตามลำดับ ความจุแลกเปลี่ยนแคตไอออนอยู่ในระดับปานกลาง มีค่าพีเอชอยู่ในพิสัยเป็นกรดอ่อนถึงเป็นกลาง อยู่ในช่วง 6.01 - 6.64 และเนื้อดินเป็นดินร่วน และแปลงที่ฉีดพ่นไกลโฟเซตที่ 0 และ 2 ชั่วโมง 15 30 และ 60 วัน มีอินทรีย์วัตถุอยู่ในระดับต่ำถึงปานกลาง เท่ากับ 1.30, 1.30, 1.20, 1.17 และ 1.30 กรัมต่อกิโลกรัม ตามลำดับ ปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์อยู่ในระดับปานกลางที่ เท่ากับ 13.96, 13.96, 17.62, 15.22 และ 16.62 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ตามลำดับ ปริมาณโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้อยู่ในระดับสูง เท่ากับ 119.77, 119.77, 113.32, 102.27 และ 138.72 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ตามลำดับ ความจุแลกเปลี่ยนแคตไอออนอยู่ในระดับปานกลาง อยู่ในช่วง 11.47 - 13.22 มีค่าพีเอชอยู่ในพิสัยเป็นกรดอ่อนถึงเป็นกลาง อยู่ในช่วง 6.19 - 6.85 และเนื้อดินเป็นดินร่วนเช่นกัน (Table 1)

Table 1 Chemical and physical properties of soil in cassava field in Lopburi province

Treatments	pH	OM (%)	Avail. P (mg/kg)	Exch. K (mg/kg)	CEC (cmol/kg)	Particle size distribution (%)			Textural class
						Sand	Silt	Clay	
Control									
Before spraying glyphosate	6.59	1.26	12.74	121.96	12.06	47.49	31.49	21.02	Loam
2 Hr. AS ¹	6.38	1.22	12.28	118.24	12.09	50.96	29.94	19.10	Loam
15 D AS	6.01	1.18	13.68	120.98	11.65	49.36	29.29	21.35	Loam
30 D AS	6.16	1.16	16.02	115.65	11.47	51.04	30.93	18.04	Loam
60 D AS	6.64	1.77	17.71	112.15	11.84	47.36	32.11	20.53	Loam
Glyphosate									
Before spraying glyphosate	6.85	1.30	13.96	119.77	13.22	41.39	37.35	21.26	Loam
2 Hr. AS ¹	6.85	1.30	13.96	119.77	13.22	41.39	37.59	21.02	Loam
15 D AS	6.19	1.20	17.62	113.32	12.52	40.57	39.57	19.86	Loam
30 D AS	6.61	1.17	15.22	102.27	13.22	41.65	37.25	21.10	Loam
60 D AS	6.22	1.30	16.62	138.72	12.66	37.44	43.23	19.32	Loam

AS¹ = After spraying glyphosate

2. ผลของการใช้ไกลโฟเสตต่อปริมาณจุลินทรีย์ดินในแปลงปลูกมันสำปะหลังจังหวัดลพบุรี

ปริมาณจุลินทรีย์ในดินในจังหวัดลพบุรีแปลงไม่ฉีดพ่นสารไกลโฟเสต ซึ่งเก็บตัวอย่างดินจำนวน 5 ครั้ง ในช่วง 0 และ 2 ชั่วโมง 15 30 และ 60 วัน พบว่า ปริมาณแบคทีเรียเฉลี่ย 6.68 – 6.98 Log₁₀CFU/g ปริมาณราเฉลี่ย 4.64 – 4.78 Log₁₀CFU/g และปริมาณแอกติโนมัยสีทเฉลี่ย 6.61 – 6.97 Log₁₀CFU/g (Table 2) ขณะที่แปลงฉีดพ่นสารไกลโฟเสตซึ่งเก็บตัวอย่างดินจำนวน 5 ครั้ง พบว่า ปริมาณแบคทีเรียเฉลี่ย 6.65 – 6.99 Log₁₀CFU/g ปริมาณราเฉลี่ย 4.68 – 5.05 Log₁₀CFU/g และปริมาณแอกติโนมัยสีทเฉลี่ย 6.67 – 7.05 Log₁₀CFU/g (Table 2) โดยพบว่าปริมาณราหลังฉีดพ่นสาร 2 ชั่วโมง มีปริมาณราเฉลี่ยแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95% โดยมีปริมาณราในแปลงพ่นสารไกลโฟเสตเฉลี่ย 5.05 Log₁₀CFU/g สูงกว่าแปลงควบคุม (Table 2) และปริมาณแอกติโนมัยสีทหลังพ่นสาร 30 วัน มีปริมาณแอกติโนมัยสีทเฉลี่ยแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95% โดยมีปริมาณแอกติโนมัยสีทในแปลงพ่นสารไกลโฟเสตเฉลี่ย 7.05 Log₁₀CFU/g สูงกว่าแปลงควบคุม ซึ่งมีรายงานของ Meriles *et al.* (2006) และ Hadi *et al.* (2013) พบว่าไกลโฟเสตมีผลกระทบต่อความหลากหลายของจุลินทรีย์ดิน เช่น แบคทีเรีย รา และแอกติโนมัยสีท และทำให้จุลินทรีย์สาเหตุโรคพืชบางชนิดเพิ่มสูงขึ้น เช่น *Aspergills*, *Fusarium*, *Pythium*, *Penicillium* และ *Trichoderma* ทั้งเมื่อครบ 60 วันปริมาณเฉลี่ยของแบคทีเรีย รา และแอกติโนมัยสีทไม่แตกต่างกันทางสถิติ

Table 2 Microbial density in soil from cassava field in Lopburi province

Time	Bacteria ¹ (Log ₁₀ CFU/g)		Fungi ¹ (Log ₁₀ CFU/g)		Actinomycete ¹ (Log ₁₀ CFU/g)	
	Control	Glyphosate	Control	Glyphosate	Control	Glyphosate
Pretreatment	6.68	6.65	4.66	4.90	6.97	6.90
2 Hr.	6.80	6.77	4.75*	5.05*	6.92	6.98
15 D	6.98	6.99	4.70	4.76	6.74	6.81
30 D	6.72	6.83	4.64	4.68	6.84*	7.05*
60 D	6.81	6.90	4.78	4.94	6.61	6.67

Note. ¹ Average of data from 12 replicates

* Significance level of 0.05

3. ผลตกค้างของไกลโฟเซตในดินที่ระยะเวลาต่าง ๆ ในแปลงปลูกมันสำปะหลังจังหวัดลพบุรี

ผลการวิเคราะห์สารไกลโฟเซตในดินแปลงไม่ฉีดพ่น พบว่า มีปริมาณสารไกลโฟเซต เท่ากับ 0.70 0.75 0.67 0.71 และ 0.88 มิลลิกรัม/กิโลกรัม ซึ่งเก็บตัวอย่างดินจำนวน 5 ครั้ง ในช่วง 0 และ 2 ชั่วโมง 15 30 และ 60 วัน ตามลำดับ ส่วนแปลงฉีดพ่นสารไกลโฟเซต พบว่า มีปริมาณสารไกลโฟเซตเท่ากับ 1.12, 1.16, 1.06, 1.13 และ 1.24 มิลลิกรัม/กิโลกรัม ตามระยะที่เวลาเก็บตัวอย่างดินจำนวน 5 ครั้ง ตามลำดับ ซึ่งปริมาณไกลโฟเซต ตกค้างในดินสามารถอยู่ได้มากกว่า 60 วัน ซึ่งค่าเฉลี่ยครึ่งชีวิตของไกลโฟเซตในดินมีค่าระหว่าง 2 ถึง 197 วัน ทั้งนี้ชนิดดินและสภาพภูมิอากาศมีผลต่อการคงอยู่ของไกลโฟเซตในดิน (Henderson *et al.*, 2010) ไกลโฟเซต ถูกดูดซับโดยสารฮิวมิกบริสุทธิ์และพบไกลโฟเซตในปริมาณที่มีนัยสำคัญเกี่ยวข้องกับอินทรีย์วัตถุในดิน ซึ่ง ไกลโฟเซตถูกดูดซับด้วยสารฮิวมิกตามธรรมชาติในดินได้ง่ายกว่าการดูดซับโดยผลึกของเหล็กและ อะลูมิเนียมออกไซด์ (Albers *et al.*, 2009)

4. สมบัติของดินในแปลงปลูกมันสำปะหลังจังหวัดนครราชสีมา

ผลการวิเคราะห์ตัวอย่างดินแปลงปลูกมันสำปะหลังทำการทดลองในจังหวัดนครราชสีมา พบว่า แปลงที่ไม่ฉีดพ่นสารไกลโฟเซตที่ 0 และ 2 ชั่วโมง 15 30 และ 60 วัน มีอินทรีย์วัตถุอยู่ในช่วง 1.81- 3.20 กรัมต่อกิโลกรัม ปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์อยู่ในระดับสูง เท่ากับ 71.22, 76.20, 69.17, 68.61 และ 86.55 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ตามลำดับ ปริมาณโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้อยู่ในระดับสูงมาก เท่ากับ 155.33, 167.72, 139.78, 129.35 และ 134.92 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ตามลำดับ ความจุแลกเปลี่ยนแคตไอออนอยู่ในระดับสูง อยู่ในช่วง 27.14 31.32 cmol/kg มีค่าพีเอชอยู่ในพิสัยเป็นกรดอ่อนถึงเป็นกลาง อยู่ในช่วง 5.92 - 6.80 และเนื้อดินเป็นดินเหนียว และแปลงที่ฉีดพ่นสารไกลโฟเซต ซึ่งเก็บตัวอย่างดินจำนวน 5 ครั้ง มีอินทรีย์วัตถุอยู่ในช่วง 1.82 - 2.89 กรัมต่อกิโลกรัม ปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์อยู่ในระดับสูง เท่ากับ 87.76, 93.07, 82.90, 73.62 และ 92.86 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ตามลำดับ ปริมาณโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้อยู่ในระดับสูงมาก เท่ากับ 157.74, 155.24, 147.50, 129.86 และ 142.09 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ตามลำดับ ความจุแลกเปลี่ยนแคตไอออนอยู่ในระดับสูง อยู่ในช่วง 25.78 - 30.28 มีค่าพีเอชอยู่ในพิสัยเป็นกรดอ่อนถึงเป็นกลาง อยู่ในช่วง 5.81 - 6.70 และเนื้อดินเป็นดินเหนียวเช่นกัน (Table 3)

Table 3 Chemical and physical properties of soil in cassava field in Nakhon Ratchasima province

Treatments	pH	OM (%)	Avail. P (mg/kg)	Exch. K (mg/kg)	CEC (cmol/kg)	Particle size distribution (%)			Textural class
						Sand	Silt	Clay	
Control									
Before spraying glyphosate	6.37	3.20	71.22	155.33	30.27	30.40	19.48	50.11	Clay
2 Hr. AS ¹	6.80	3.23	76.20	167.72	31.32	32.31	15.69	51.99	Clay
15 D AS	5.98	1.92	69.17	139.78	28.95	33.42	17.83	48.75	Clay
30 D AS	6.80	1.81	68.61	129.35	27.79	37.81	15.45	46.74	Clay
60 D AS	5.92	2.21	86.55	134.92	27.14	36.21	18.53	45.26	Clay
Glyphosate									
Before spraying glyphosate	6.70	2.89	87.76	157.74	30.28	32.86	16.76	50.38	Clay
2 Hr. AS ¹	6.0	2.85	93.07	155.24	29.26	32.88	18.54	48.58	Clay
15 D AS	5.81	1.92	82.90	147.50	27.72	34.16	19.32	46.53	Clay
30 D AS	6.21	1.82	73.62	129.86	26.89	36.59	18.31	45.10	Clay
60 D AS	6.18	1.89	92.86	142.09	25.78	39.46	17.49	43.04	Clay

AS¹ = After spraying glyphosate

5. ผลของการใช้ไกลโฟเสตต่อปริมาณจุลินทรีย์ดินในแปลงปลูกมันสำปะหลังจังหวัดนครราชสีมา

ปริมาณจุลินทรีย์ในดินแปลงปลูกมันสำปะหลังในจังหวัดนครราชสีมา ซึ่งเก็บตัวอย่างดินจำนวน 5 ครั้ง ในช่วง 0 และ 2 ชั่วโมง 15 30 และ 60 วัน พบว่า แปลงควบคุมมีปริมาณแบคทีเรียเฉลี่ย 6.31 – 6.81 Log₁₀CFU/g ปริมาณราเฉลี่ย 4.45 – 4.78 Log₁₀CFU/g และปริมาณแอคติโนมัยสีทเฉลี่ย 5.83 – 5.95 Log₁₀CFU/g (Table 4) โดยแปลงพ่นสารไกลโฟเสต พบว่า มีปริมาณแบคทีเรียเฉลี่ย 6.51- 6.82 Log₁₀CFU/g ซึ่งหลังพ่นสารที่ 30 วัน มีปริมาณแบคทีเรียเฉลี่ยแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95% โดยมีปริมาณแบคทีเรียในแปลงพ่นสารไกลโฟเสตเฉลี่ย 6.81 Log₁₀CFU/g สูงกว่าแปลงควบคุม ขณะที่ปริมาณราเฉลี่ย 4.39 – 4.86 Log₁₀CFU/g ซึ่งหลังพ่นสารที่ 15 และ 30 วัน มีปริมาณราเฉลี่ยแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95% (Table 4) ทั้งนี้มีรายงานว่า จุลินทรีย์หลายชนิดสามารถย่อยสลายไกลโฟเสตและใช้เป็นแหล่งของคาร์บอนและฟอสฟอรัสในการเจริญเติบโต (Zhan *et al.*, 2018; Massot *et al.*, 2021; Spinelli *et al.*, 2021) ส่วนปริมาณแอคติโนมัยสีทเฉลี่ยไม่แตกต่างกันทางสถิติ

Table 4 Microbial density in soil from cassava field in Nakhon Ratchasima province

Time	Bacteria ¹ (Log ₁₀ CFU/g)		Fungi ¹ (Log ₁₀ CFU/g)		Actinomycete ¹ (Log ₁₀ CFU/g)	
	Control	Glyphosate	Control	Glyphosate	Control	Glyphosate
Pretreatment	6.31	6.51	4.45	4.39	5.83	5.80
2 Hr.	6.55	6.61	4.47	4.52	5.83	5.88
15 D	6.59	6.68	4.71*	4.56*	5.95	5.82
30 D	6.67*	6.81*	4.47*	4.58*	5.81	5.77
60 D	6.81	6.82	4.78	4.86	5.87	5.90

Note. ¹ Average of data from 12 replicates

* Significance level of 0.05

6. ผลตกค้างของไกลโฟเซตในดินที่ระยะเวลาต่าง ๆ ในแปลงปลูกมันสำปะหลังจังหวัดนครราชสีมา

ผลการวิเคราะห์สารไกลโฟเซตในดินแปลงไม่ฉีดพ่น พบว่า มีปริมาณสารไกลโฟเซต เท่ากับ 1.17, 2.99, 1.67, 2.13 และ 1.05 มิลลิกรัม/กิโลกรัม ซึ่งเก็บตัวอย่างดินจำนวน 5 ครั้ง ในช่วง 0 และ 2 ชั่วโมง 15 30 และ 60 วัน ตามลำดับ ส่วนแปลงฉีดพ่นสารไกลโฟเซต พบว่า มีปริมาณสารไกลโฟเซตเท่ากับ 1.38, 6.94, 1.76, 2.28 และ 1.16 มิลลิกรัม/กิโลกรัม ตามระยะที่เวลาเก็บตัวอย่างดินจำนวน 5 ครั้ง ตามลำดับ

7. ความสามารถในการใช้ไกลโฟเซตเป็นแหล่งฟอสเฟตของแบคทีเรียในแปลงปลูกมันสำปะหลัง

แยกแบคทีเรียจากแปลงปลูกมันสำปะหลังได้ จำนวน 14 ไอโซเลท ผลทดสอบความสามารถในการใช้ไกลโฟเซตเป็นแหล่งฟอสฟอรัสในอาหารเพียงอย่างเดียว พบว่า อัตราการเจริญอยู่ในช่วง 11.1 – 754.6 เปอร์เซ็นต์ โดยสายพันธุ์ GS-LRI CO.1 มีอัตราการเจริญสูงสุดที่ 754.6 เปอร์เซ็นต์ มีความกว้างของโคโลนี 31.3 ± 6.7 มิลลิเมตร รองลงมาสายพันธุ์ GS-NMA CO.5, *Chitinophaga terrae* (GS-NMA CO.1) และ *Dyadobacter fermentans* (GS-LRI CO.3) มีอัตราการเจริญ 266.7, 113.3 และ 53.3 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ (Table 5, Fig. 1) โดยแบคทีเรียในวงศ์ Bacillaceae เช่น *Bacillus subtilis*, *B. cereus* มีความสามารถย่อยไกลโฟเซตได้ถึง 98.84 และ 94.47 เปอร์เซ็นต์ โดยมีประสิทธิภาพในการผลิตเอนไซม์ย่อยไกลโฟเซตให้เป็น aminomethylphosphonic acid (AMPA) ไกลออกซิเลท ซาโคซีน ไกลซีน และฟอร์มัลดีไฮด์ เพื่อใช้เป็นแหล่งของอาหารที่ใช้ในการเจริญ (Fan et al., 2012) ทั้งนี้อัตราการเจริญของแบคทีเรียมีความแตกต่างกันขึ้นอยู่กับสกุลและชนิดของแบคทีเรีย

Table 5 Diametric values of bacterial colonies after 7 days of growth on MSA and MSA-Gly at 30 °C.

Strain	MSA (mm)	MSA-Gly (mm)	% Growth
GS-LRI CO.1	3.7 ± 0.6*	31.3 ± 6.7	754.6
GS-LRI CO.2	4.0 ± 0.0	6.0 ± 0.0	50.0
<i>Dyadobacter fermentans</i> (GS-LRI CO.3)	5.0 ± 0.0	7.7 ± 0.0	53.3
GS-LRI CO.4	3.7 ± 0.6	5.0 ± 0.6	15.4
<i>D. fermentans</i> (GS-LRI CO.5)	6.0 ± 0.0	8.3 ± 1.0	38.9
<i>D. fermentans</i> (GS-LRI CO.9)	6.0 ± 0.0	6.7 ± 0.6	11.1
<i>Chitinophaga terrae</i> (GS-NMA CO.1)	5.0 ± 0.0	10.7 ± 0.6	113.3
GS-NMA CO.3	3.3 ± 0.6	5.0 ± 0.0	50.0
GS-NMA CO.4	5.3 ± 0.6	8.0 ± 0.0	50.0
GS-NMA CO.5	5.0 ± 0.0	18.3 ± 1.2	266.7
GS-NMA CO.6	17.3 ± 2.5	21.3 ± 0.6	23.1
GS-NMA CO.7	4.3 ± 0.6	5.7 ± 0.6	24. 6
GS-NMA CO.8	3.7 ± 0.6	5.3 ± 0.6	30.2
GS-NMA CO.10	5.0 ± 0.0	7.3 ± 0.6	31.5

Note. * mean ± SD.

8. ความสามารถในการใช้ไกลโฟเซตเป็นแหล่งของฟอสฟอรัสของราในแปลงปลูกมันสำปะหลัง

ราหลายชนิด เช่น *Aspergillus fumigatus*, *A. niger*, *A. nidulans*, *A. flavus*, *Fusarium verticillioides*, *Penicillium simplicissimum*, *Trichoderma harzianum* และ *T. gamsii* สามารถย่อยสลาย ไกลโฟเซตให้เป็นแหล่งของคาร์บอน ฟอสฟอรัส และไนโตรเจนเพื่อใช้ในการเจริญ ซึ่งมีประสิทธิภาพในการผลิตเอนไซม์ glyphosate oxidoreductase and C-P lyase และ glyphosate oxidoreductase (Castrejón-Godínez *et al.*, 2021) การทดลองนี้แยกได้จากแปลงปลูกมันสำปะหลังได้ จำนวน 20 ไอโซเลท ผลการทดสอบ การทนทานต่อไกลโฟเซตของรา พบว่า *Trichoderma* จำนวน 9 ไอโซเลท (GS-485, 486, 486-1, 504, 510, 515, 517, 549 และ 522) *Rhizopus* (GS-523) และ *Aspergillus flavus* (GS-531) สามารถเจริญบน PDA ที่ผสมไกลโฟเซต ความเข้มข้น 1 และ 10 mM ได้สูงที่สุด มีความกว้างของโคโลนี 90 มิลลิเมตร ขณะที่ Sterile mycelium (GS-481-2, 488-1 และ 488-4) และ *Aspergillus niger* (GS-541) เจริญได้ดีที่สุดที่ความเข้มข้น 10 mM มีความกว้างของโคโลนี 46.5, 46, 55 และ 67.2 มิลลิเมตร ตามลำดับ ส่วน *Talaromyces* sp. (GS-483, 488-3, 508) และ *Penicillium* sp. (GS-523-1) ไม่ทนต่อไกลโฟเซตเนื่องจากความกว้างของโคโลนีลดลง (Table 6, Fig. 2)

Table 6 Diametric values of fungal colonies after 14 days of growth exposed to Glyphosate on Potato Dextrose Agar (PDA) at 30 °C.

Strain	Diameter (mm)		
	PDA	PDA 1mM Gly	PDA 10 mM Gly
Sterile mycelium (GS-481-2)	38.0 ± 0.0*	35.7 ± 1.2	46.5 ± 0.0
<i>Talaromyces</i> sp. (GS-483)	49.3 ± 0.6	46.8 ± 0.3	46.5 ± 1.3
<i>Trichoderma</i> sp. (GS-485)	90.0 ± 0.0	90.0 ± 0.0	90.0 ± 0.0
<i>Trichoderma</i> sp. (GS-486)	90.0 ± 0.0	90.0 ± 0.0	90.0 ± 0.0
<i>Trichoderma</i> sp. (GS-486-1)	90.0 ± 0.0	90.0 ± 0.0	90.0 ± 0.0
Sterile mycelium (GS-488-1)	39.0 ± 1.0	42.0 ± 0.0	46.0 ± 0.0
<i>Talaromyces</i> sp. (GS-488-3)	52.7 ± 2.5	49.5 ± 0.5	45.7 ± 0.6
Sterile mycelium (GS-488-4)	34.7 ± 0.6	32.8 ± 0.3	55.0 ± 0.0
<i>Trichoderma</i> sp. (GS-504)	90.0 ± 0.0	90.0 ± 0.0	90.0 ± 0.0
<i>Talaromyces</i> sp. (GS-508)	63.3 ± 1.5	63.8 ± 0.8	60.7 ± 0.6
<i>Trichoderma</i> sp. (GS-510)	90.0 ± 0.0	90.0 ± 0.0	90.0 ± 0.0
<i>Paecilomyces</i> sp. (GS-511)	34.8 ± 0.3	44.3 ± 0.6	44.7 ± 0.3
<i>Trichoderma</i> sp. (GS-515)	90.0 ± 0.0	90.0 ± 0.0	90.0 ± 0.0
<i>Trichoderma</i> sp. (GS-517)	90.0 ± 0.0	90.0 ± 0.0	90.0 ± 0.0
<i>Rhizopus</i> sp. (GS-523)	90.0 ± 0.0	90.0 ± 0.0	90.0 ± 0.0
<i>Penicillium</i> sp. (GS-523-1)	43.0 ± 0.0	40.0 ± 1.0	39.7 ± 0.3
<i>Aspergillus flavus</i> (GS-531)	90.0 ± 0.0	90.0 ± 0.0	90.0 ± 0.0
<i>Aspergillus niger</i> (GS-541)	64.8 ± 1.3	61.3 ± 0.6	67.2 ± 0.8
<i>Trichoderma</i> sp. (GS-549)	90.0 ± 0.0	90.0 ± 0.0	90.0 ± 0.0
<i>Trichoderma</i> sp. (GS-552)	90.0 ± 0.0	90.0 ± 0.0	90.0 ± 0.0

Note. * mean ± SD.

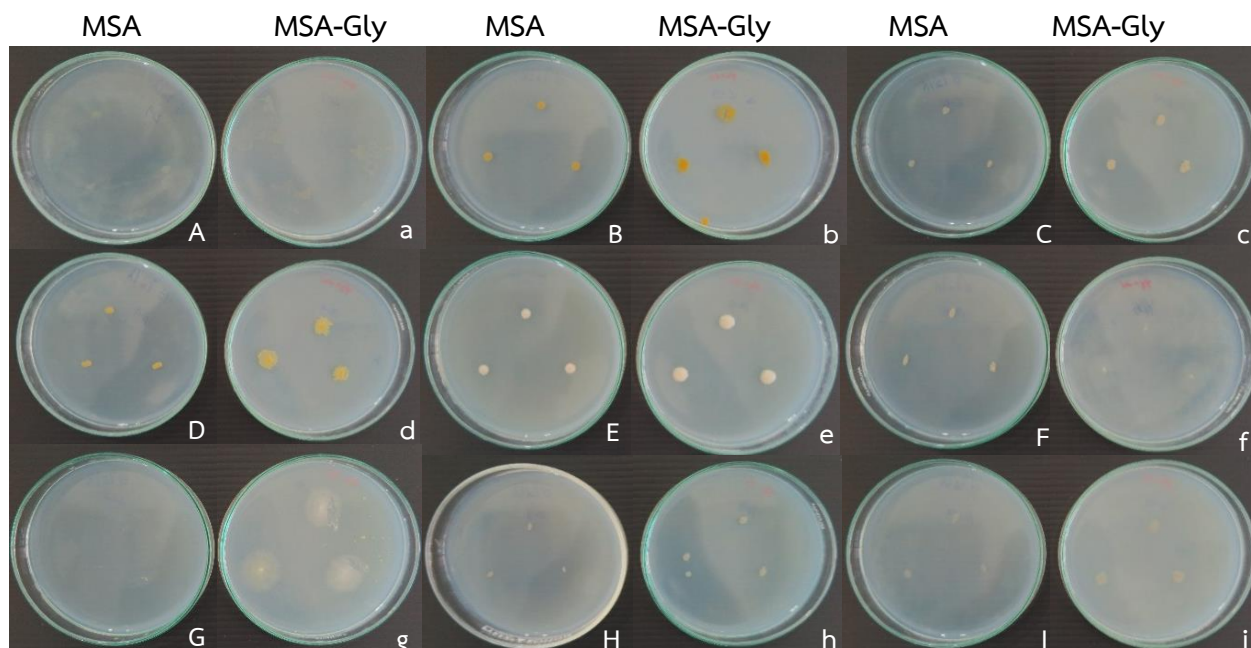


Figure 1 Bacterial colonies on MSA and MSA-Gly at 7 days of incubation

GS-LRI CO.1 (A, a), *Dyadobacter fermentans* (GS-LRI CO.3) (B, b), GS-LRI CO.4 (C, c), *Chitinophaga terrae* (GS-NMA CO.1) (D,d), GS-NMA CO.4 (E, e), *Bacillus* sp. (GS-NMA CO.5) (F, f), *Bacillus* sp. (GS-NMA CO.6) (G, g), GS-NMA CO.8 (H, h), GS-NMA CO.10 (I, i)

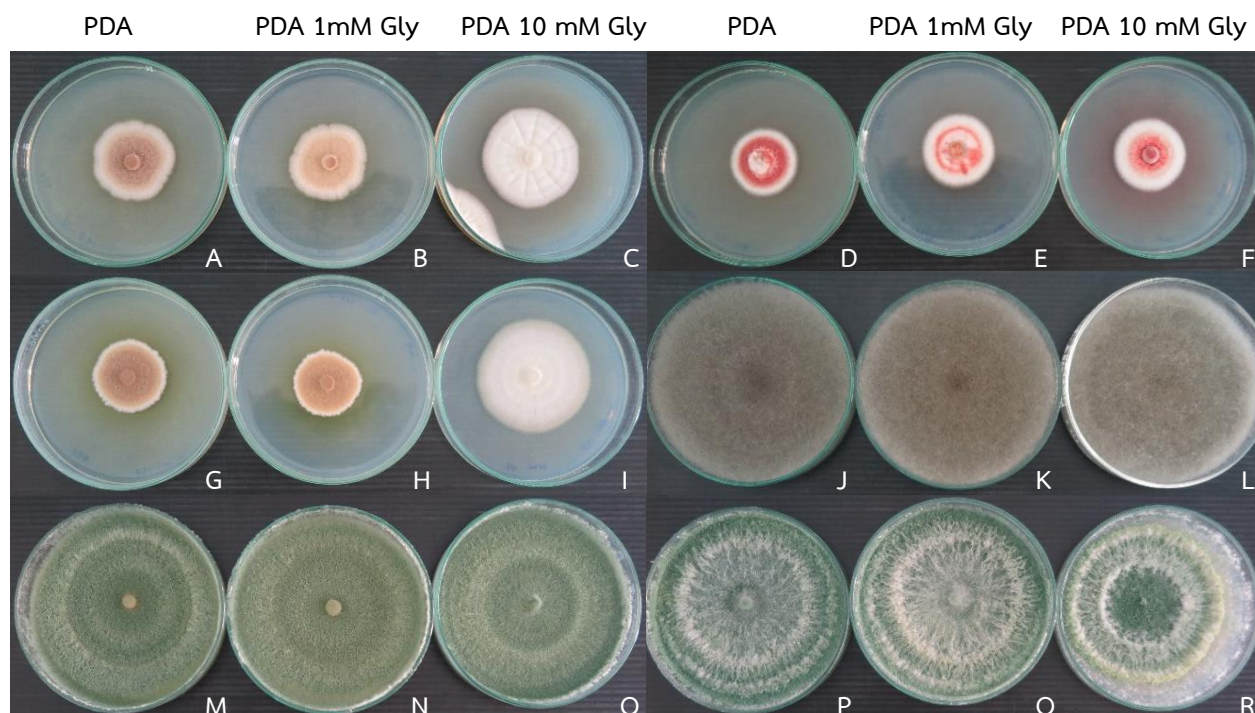


Figure 2 Fungal colonies on PDA, PDA 1mM Gly and PDA 10 mM Gly at 14 days of incubation
Sterile mycelium (GS-481-2) (A, B, C), Sterile mycelium (GS-488-1) (D, E, F), Sterile mycelium (GS-488-4) (G, H, I), *Rhizopus* sp. (GS-523) (J, K, L), *Trichoderma* sp. (GS-486) (M, N, O), *Trichoderma* sp. (GS-552) (P, Q, R)

สรุปผลการทดลอง

ผลการทดลองในจังหวัดนครราชสีมาเนื้อดินเป็นดินเหนียวและลพบุรีเนื้อดินเป็นดินร่วน นับปริมาณจุลินทรีย์ในตัวอย่างดินหลังการฉีดพ่นไกลโฟเซต จำนวน 5 ครั้ง ในช่วง 0 และ 2 ชั่วโมง 15 30 และ 60 วัน มีปริมาณแบคทีเรียเฉลี่ยในแปลงควบคุม 6.31 – 6.98 Log₁₀CFU/g และแปลงฉีดพ่นสารไกลโฟเซตมีปริมาณแบคทีเรียเฉลี่ย 6.51 – 7.02 Log₁₀CFU/g ปริมาณราเฉลี่ยในแปลงควบคุม 4.45 – 4.78 Log₁₀CFU/g และแปลงฉีดพ่นสารไกลโฟเซตมีปริมาณราเฉลี่ย 4.39 – 5.05 Log₁₀CFU/g ส่วนปริมาณแอกติโนมัยสีทเฉลี่ยในแปลงควบคุม 5.81 – 6.97 Log₁₀CFU/g และแปลงฉีดพ่นสารไกลโฟเซตมีปริมาณแอกติโนมัยสีทเฉลี่ย 6.77 – 7.05 Log₁₀CFU/g ปริมาณเฉลี่ยของแบคทีเรีย รา และแอกติโนมัยสีท มีการเปลี่ยนแปลงหลังจากฉีดพ่นสารไกลโฟเซตมีความแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95% และแยกแบคทีเรียทนต่อไกลโฟเซตได้ จำนวน 14 ไอโซเลท สายพันธุ์ GS-LRI CO.1 มีอัตราการเจริญในอาหารผสมไกลโฟเซตเป็นแหล่งฟอสฟอรัสได้สูงสุดที่ 754.6 เปอร์เซ็นต์ รองลงมาเป็น สายพันธุ์ GS-NMA CO.5, *Chitinophaga terrae* (GS-NMA CO.1) และ *Dyadobacter fermentans* (GS-LRI CO.3) และแยกราได้ จำนวน 20 ไอโซเลท รา *Trichoderma* sp. (GS-485, GS-486, GS-486-1, GS-504, GS-510, GS-515, GS-517, GS-549 และ GS-522), *Rhizopus* sp. (GS-523) และ *Aspergillus flavus* (GS-531) สามารถเจริญบน PDA ที่ผสมไกลโฟเซตได้รวดเร็วที่สุด ขณะที่ Sterile mycelium (GS-481-2, GS-488-1 และ GS-488-4) และ *Aspergillus niger* (GS-541) เจริญได้ดีที่สุดที่ความเข้มข้น 10 mM ส่วน *Talaromyces* sp. (GS-483, GS-488-3, GS-508) และ *Penicillium* sp. (GS-523-1) ไม่ทนต่อไกลโฟเซต

การนำผลงานวิจัยไปใช้ประโยชน์

เผยแพร่ความรู้เกี่ยวกับการนำจุลินทรีย์ที่มีประสิทธิภาพในการย่อยสลายสารไกลโฟเซตไปพัฒนาต่อยอดในการบำบัดสารพิษตกค้างในดินได้ และสร้างความตระหนักเกี่ยวกับผลกระทบจากการใช้สารไกลโฟเซตต่อจุลินทรีย์ดิน โดยการนำผลงานวิจัยไปใช้ประโยชน์จะอยู่ในรูปแบบเอกสารวิชาการ และการนำเสนอผลงานวิจัยในที่ประชุมต่าง ๆ

เอกสารอ้างอิง

- กรมวิชาการเกษตร. 2566. คู่มือตรวจวิเคราะห์ปุ๋ยชีวภาพ. กลุ่มงานวิจัยจุลินทรีย์ดิน กลุ่มวิจัยปฐพีวิทยา กองวิจัยพัฒนาปัจจัยการผลิตทางการเกษตร, กรุงเทพฯ.
- รัชนี้ มิ่งมา. 2552. แอคติโนมัยซีทจากรากและดินรอบรากพืชตระกูลถั่วและการยับยั้ง จุลินทรีย์ก่อโรค. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. 128 หน้า.
- Albers, C.N., G.T. Banta, P.E. Hansen and O.S. Jacobsen. 2009. The influence of organic matter on sorption and fate of glyphosate in soil-comparing different soils and humic substances. *Environmental Pollution*. 157 (10): 2865–70.
- Castrejón-Godínez, M.L., E. Tovar-Sánchez, L. Valencia-Cuevas, M.E. Rosas-Ramírez, A. Rodríguez and P. Mussali-Galante. 2021. Glyphosate pollution treatment and microbial degradation alternatives, a review. *Microorganisms* 9: 2322.
- Dill, G.M., R.D. Sammons, P.C. Feng, F. Kohn, K. Kretzmer, A. Mehrsheikh, M. Bleeke, J.L. Honegger, D. Farmer, D. Wright and E.A. Hauptfear. 2010. Glyphosate: Discovery, development, applications, and properties *In* Nandula V.K. (ed.). *Glyphosate resistance in crops and weeds: history, development, and management*. Hoboken, NJ: Wiley.
- Domsch, K.H., W. Gams and T.H. Anderson. 1993. *Compendium of Soil Fungi*. 2nd ed. Vol. 1, 2. IHW, Verlag. 860 p.
- Fan, J., G. Yang, H. Zhao, G. Shi, Y. Geng, T. Hou, and K. Tao. 2012. Isolation, identification and characterization of a glyphosate-degrading bacterium, *Bacillus cereus* CB4, from soil. *The Journal of General and Applied Microbiology* 58: 263-271.
- Hadi, F., A. Mousavi, K.A. Noghabi, H.G. Tabar and A.H. Salmanian. 2013. New bacterial strain of the genus *Ochrobactrum* with glyphosate-degrading activity. *Journal of Environmental Science and Health, Part B, Pesticides, Food Contaminants, and Agricultural Wastes* 48: 208-213.
- Henderson, A. M., J.A. Gervais, B. Luukinen, K. Buhl, D. Stone, A. Strid, A. Cross and J. Jenkins. 2010. Glyphosate technical fact sheet. National Pesticide Information Center, Oregon State University Extension Services. <http://npic.orst.edu/factsheets/archive/glyphotech.html>.
- Massot, F., P. Gkorezis, J.V. Hamme, D. Marino, B.S. Trifunovic, G. Vukovic, J. d’Haen, I. Pintelon, A.M. Giulietti, L. Merini, J. Vangronsveld and S. Thijs. 2021. Isolation, Biochemical and Genomic characterization of glyphosate tolerant bacteria to perform microbe-assisted phytoremediation. *Frontiers in Microbiology* 11: 598507.
- Meriles, J.M., S.V.V. Gil, R.J. Haro, G.J March and C.A. Guzman 2006. Glyphosate and previous crop residue effect on deleterious and beneficial soil-borne fungi from a peanut-corn-soybean rotations. *Journal of Phytopathology* 154(5): 309316.
- Miles, C.J., L.R. Wallace, and H.A. Moye. 1986. Determination of Glyphosate Herbicide and Aminomethyl phosphonic acid in Natural Waters by Liquid Chromatography Using Pre-Column Fluorogenic Labeling with 9-Fluorenylmethyl Chloroformate. *Journal of the Association of the Official Analytical Chemists* 69: 458-461.

- Radosevich, M., S.J. Traina, Y.L. Hao and O.H. Tuovinen. 1995. Degradation and mineralization of atrazine by a soil bacterial isolate. *Applied and Environmental Microbiology* 61(1): 297-302.
- Sanogo, S., X.B. Yang and H. Scherm. 2000. Effects of herbicide on *Fusarium solani* f. sp. *Glycines* and development of sudden death syndrome in glyphosate tolerant soybean. *Phytopathology* 90(1): 57-66.
- Spinelli, V., A. Ceci, C.D. Bosco, A. Gentili and A.M. Persiani. Glyphosate-eating fungi: study on fungal saprotrophic strains' ability to tolerate and utilise glyphosate as a nutritional source and on the ability of *Purpureocillium lilacinum* to degrade it. *Microorganisms* 9: 2179.
- Valerie, N., N. Oestreicher and C. Velot. 2016. Multiple effects of a commercial Roundup® formulation on the soil filamentous fungus *Aspergillus nidulans* at low doses: evidence of an unexpected impact on energetic metabolism. *Environmental science and pollution research international* 23(14): 14393-404.
- Zhan, H., Y. Feng, X. Fan and S. Chen. 2018. Recent advances in glyphosate biodegradation. *Applied Microbiology and Biotechnology* 102(12): 5033-5043.

ผลกระทบของการใช้ glufosinate-ammonium ต่อจุลินทรีย์ดินใน
แปลงปลูกมันสำปะหลังจังหวัดลพบุรีและนครราชสีมา
Effects of glufosinate-ammonium herbicide on soil microorganisms in
cassava fields of Lopburi and Nakhon Ratchasima provinces

กนกอร บุญพา¹ อำนาจ เอี่ยมวิจารณ์¹ บุณทริก ฉิมชาติ¹ กิตจเมธ แจ่มศิริกุล¹
เมอรซ์พัชร เขียววิชัย²

Kanokon Bunpha¹ Amnat Eamvijarn¹ Boontarik Chimchart¹ Kitjamate Jangsirikul¹
Choeratphachra Khieowichai²

กลุ่มวิจัยปฐพีวิทยา

กองวิจัยพัฒนาปัจจัยการผลิตทางการเกษตร

ABSTRACT

The application of herbicides may impact soil microbial diversity, which plays a crucial role in agricultural ecosystems. This study aimed to analyze the effects of herbicide on the structure and abundance of soil microbial communities using Next-generation sequencing (NGS) to investigate unculturable microorganisms and culture-based methods to quantify culturable microbes. The results indicated that glufosinate-ammonium residues varied depending on soil physical properties, with clay soils retaining residues for a longer duration than sandy loam soils. Additionally, the herbicide influenced the composition of soil microbial communities, as evidenced by an increased proportion of fungi in the phylum Ascomycota following herbicide application, while bacterial phyla such as Actinobacteriota, Proteobacteria, and Firmicutes exhibited changes in abundance. However, the quantity of culturable bacteria and fungi remained relatively stable throughout the 2022 and 2023 growing seasons. These findings suggest that glufosinate-ammonium affects soil microbial community composition, which may have significant implications for long-term soil ecological processes.

Keywords: soil microorganisms; herbicide; glufosinate-ammonium; microbial community

¹ กลุ่มวิจัยปฐพีวิทยา กองวิจัยพัฒนาปัจจัยการผลิตทางการเกษตร กรมวิชาการเกษตร กรุงเทพฯ 10900

¹ Soil Science Research Group, Agriculture Production Science Research and Development Division, Department of Agriculture, Bangkok, 10900

² ศูนย์วิจัยและพัฒนาเมล็ดพันธุ์พืชลพบุรี อ.เมืองลพบุรี จ.ลพบุรี 15210

² Lopburi Seed Research and Development Centre, Mueang, Lopburi, 15210

บทคัดย่อ

การใช้สารกำจัดวัชพืชอาจส่งผลกระทบต่อความหลากหลายของจุลินทรีย์ในดิน ซึ่งมีบทบาทสำคัญต่อระบบนิเวศทางการเกษตร การศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อวิเคราะห์ผลกระทบของสารกำจัดวัชพืชต่อโครงสร้างและปริมาณประชากรจุลินทรีย์ดิน โดยใช้เทคนิค Next-generation sequencing (NGS) สำหรับการศึกษาชุมชนจุลินทรีย์ที่ไม่สามารถเพาะเลี้ยงได้ และใช้การเพาะเลี้ยงบนอาหารเลี้ยงเชื้อสำหรับการวิเคราะห์ปริมาณของจุลินทรีย์ที่สามารถเพาะเลี้ยงได้ ผลการศึกษาพบว่า สารกำจัดวัชพืช glufosinate-ammonium มีการตกค้างในดินที่แตกต่างกันขึ้นอยู่กับลักษณะทางกายภาพของดิน โดยดินเหนียวมีแนวโน้มกักเก็บสารตกค้างเป็นระยะเวลานานกว่าดินร่วน อีกทั้งยังส่งผลกระทบต่อองค์ประกอบของชุมชนจุลินทรีย์ในดิน โดยพบว่าสัดส่วนของราในไฟลัม Ascomycota เพิ่มขึ้นหลังการใช้สาร ขณะที่แบคทีเรียในไฟลัม Actinobacteriota, Proteobacteria และ Firmicutes มีการเปลี่ยนแปลงในด้านปริมาณ อย่างไรก็ตาม ปริมาณของแบคทีเรียและราที่สามารถเพาะเลี้ยงได้มีแนวโน้มคงที่ตลอดฤดูกาลเพาะปลูกในปี 2565 และ 2566 ผลการศึกษานี้ชี้ให้เห็นว่าสารกำจัดวัชพืช glufosinate-ammonium ส่งผลกระทบต่อองค์ประกอบของชุมชนจุลินทรีย์ดิน ซึ่งอาจมีนัยสำคัญต่อกระบวนการทางนิเวศวิทยาของดินในระยะยาว

คำสำคัญ: จุลินทรีย์ดิน, สารกำจัดวัชพืช, กลูโฟซิเนตแอมโมเนียม, ชุมชนจุลินทรีย์

บทนำ

Glufosinate-ammonium (กลูโฟซิเนต-แอมโมเนียม) มีชื่อเรียกทางการค้าหลายชื่อ เช่น Finale, Basta, Liberty, Phosphinothricin, Ignite, Dash เป็นต้น (National Library of Medicine, n.d.) เป็นสารกำจัดวัชพืชที่มีคุณสมบัติไม่เลือกทำลาย (non-selective) จึงมีฤทธิ์ในการควบคุมวัชพืชหลายชนิด เป็นสารเคมีทางการเกษตรที่มีคุณสมบัติใกล้เคียงพาราควอตที่กรมวิชาการเกษตรแนะนำให้ใช้ในการกำจัดวัชพืชเพราะปลอดภัยกว่า เมื่อสารลงสู่ดินจะถูกย่อยสลายอย่างรวดเร็ว แต่ราคาค่อนข้างสูง (กรมวิชาการเกษตร, 2563) โดยสารนี้จะยับยั้งการทำงานของกระบวนการสังเคราะห์เอนไซม์ glutamine synthetase (GS) ทำให้พืชไม่สามารถนำแอมโมเนียไปใช้ในการสังเคราะห์สารประกอบอินทรีย์ได้ ส่งผลให้เกิดการสะสมแอมโมเนียปริมาณมากในเซลล์พืชจนเป็นพิษต่อพืช และทำให้พืชตาย (Brunharo *et al.*, 2019) เมื่อพืชได้รับสารจะแสดงอาการ chlorosis และเหี่ยว หลังฉีดพ่นเพียง 3-5 วัน หลังจากนั้น 1-2 สัปดาห์ จะแสดงอาการ necrosis สารจะเข้าทำลายทางใบโดยไม่ทำลายส่วนของรากพืช จึงต้องระวังไม่ให้ละอองสารสัมผัสกับพืชปลูก (ศิริโชค, 2545; Lacuesta *et al.*, 1989; Wild *et al.*, 1987) ครึ่งชีวิตของกลูโฟซิเนต-แอมโมเนียม มีค่าระหว่าง 3-10 วัน (MacLachlan, n.d.; Zhang *et al.*, 2014) แต่ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับชนิดของเนื้อดิน อุณหภูมิ และสภาพพื้นที่เปิดหรือปิด อย่างไรก็ตามสารนี้จัดว่ามีการสลายตัวค่อนข้างเร็วซึ่งส่งผลดีต่อผู้ใช้และสิ่งแวดล้อม แต่ในส่วนของจุลินทรีย์มีงานวิจัยที่พบว่า paraquat, glyphosate, glufosinate-ammonium และ metsulfuron-methyl มีผลในการยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อราและแบคทีเรียในดินซึ่งส่งผลกระทบต่อความอุดมสมบูรณ์ของดิน (Zain *et al.*, 2013) ซึ่งการใช้สารเคมีทางการเกษตรอาจรบกวนสมดุลทางชีวภาพและนำไปสู่การปนเปื้อนของสิ่งแวดล้อมทางดินความสามารถของดินในการต้านทานมลพิษประเภทนี้ขึ้นอยู่กับสมบัติทางกายภาพ เคมี และชีวภาพของดิน ความคงทนของสารเคมีในดินมีบทบาทต่อความเป็นมลพิษทางสิ่งแวดล้อม การวิจัยนี้จึงศึกษาผลกระทบของกลูโฟซิเนตแอมโมเนียม ต่อจำนวนประชากรของจุลินทรีย์ดินเพื่อเป็นแนวทางในการเฝ้าระวังถึงผลกระทบที่อาจเกิดขึ้นจากการใช้สารกำจัดวัชพืชกลูโฟซิเนตแอมโมเนียมต่อการเปลี่ยนแปลงของประชากรของจุลินทรีย์ในดิน

อุปกรณ์และวิธีการ

อุปกรณ์

1. ท่อนพ่นธูมันสำปะหลัง
2. สารกำจัดวัชพืช glufosinate-ammonium
3. ปุ๋ยเคมี 15-7-18
4. ถังเก็บความเย็นสำหรับบรรจุถุงเก็บตัวอย่างดิน
5. อาหารเพาะเลี้ยงแบคทีเรียนับจำนวนจุลินทรีย์ ได้แก่ Rose Bengal Agar (RBA) และ Nutrient Agar (NA)
6. สารเคมีสำหรับวิเคราะห์ตัวอย่างดิน เช่น กรดซัลฟิวริก (H_2SO_4) กรดไฮโดรคลอริก (HCl) กรดเปอร์คลอริก (HClO_4) กรดไนตริก (HNO_3) กรดฟอสฟอริก (H_3PO_4) โซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) เพอร์รัสแอมโมเนียมซัลเฟต ($\text{Fe}(\text{NH}_4)_2(\text{SO}_4) \cdot 6\text{H}_2\text{O}$) แอมโมเนียมโมลิบเดต ($(\text{NH}_4)_6\text{Mo}_7\text{O}_{24} \cdot 4\text{H}_2\text{O}$) ฯลฯ
7. สารเคมีสำหรับงานอณูชีววิทยา เช่น สีย้อมดีเอ็นเอ DNA primer, Agarose, TAE buffer, One PCR ultra mastermix, PureLink quick PCR purification kit ฯลฯ
8. วัสดุและอุปกรณ์วิทยาศาสตร์ เช่น จานเพาะเลี้ยง (petri dish) หลอดทดลอง (test tube) กระบอกตวง (cylinder) ปีกเกอร์ (beaker) ขวดรูปชมพู่ (erlenmeyer flask) กรวยกรอง (funnel) บิวเรต (buret) ขวดวัดปริมาตร (volumetric flask) ปิเปตแก้ว (pipette) กระดาษกรอง (filter paper) ฯลฯ
9. เครื่องมือวิทยาศาสตร์ เช่น เครื่องชั่งสาร (balance) หม้อนึ่งไอน้ำแรงดันสูง (autoclave) ตู้ปลอดเชื้อ (laminar flow) ตู้ดูดไอสารเคมี (fume hood) เครื่องบ่มเขย่า (incubator shaker) เครื่องปั่นเหวี่ยง (centrifuge) เครื่องให้ความร้อน (hotplate) สเปกโตรโฟโตมิเตอร์ (UV-VIS spectrophotometer) เครื่องวัดการดูดกลืนแสงของอะตอม (atomic absorption spectrophotometer) ฯลฯ

วิธีการ

1. ศึกษาผลกระทบของการใช้ glufosinate-ammonium ต่อจุลินทรีย์ดินในแปลงมันสำปะหลัง
ดำเนินการปลูกมันสำปะหลังในจังหวัดลพบุรีและนครราชสีมา ในแต่ละจังหวัดทำการแบ่งแปลงเป็น 2 แปลงย่อย ขนาดแปลงละ 400 ตารางเมตร โดย แปลงที่ 1 ฉีดพ่นเฉพาะสาร glufosinate-ammonium ตามอัตราแนะนำเพียงอย่างเดียวโดยไม่มีการฉีดพ่นสารกำจัดศัตรูพืชชนิดอื่น และแปลงที่ 2 ไม่มีการฉีดพ่นสารกำจัดศัตรูพืช เก็บตัวอย่างดินแบบ composite sample ที่ระดับความลึก 0-15 เซนติเมตร โดยสุ่มเก็บตัวอย่างดินกระจายให้ทั่วแปลง ๆ ละ 20 จุด (เอิบ, 2548) เพื่อนำมาวิเคราะห์ปริมาณสารกำจัดวัชพืชที่ตกค้างในดินและสมบัติทางกายภาพและเคมีของดิน จากนั้นสุ่มเก็บตัวอย่างดินกระจายให้ทั่วแปลง ๆ ละ 12 จุด เพื่อนำไปนับปริมาณจุลินทรีย์ดิน โดยปี 2565 เก็บตัวอย่างดินแปลงละ 5 รอบ ได้แก่ ก่อนฉีดพ่น, หลังฉีดพ่น 2 ชั่วโมง, 15 วัน, 30 วัน และ 60 วัน ขณะที่ปี 2566 เก็บตัวอย่างดินแปลงละ 7 รอบ ได้แก่ ก่อนฉีดพ่น, หลังฉีดพ่น 2 ชั่วโมง, 1 วัน, 3 วัน, 7 วัน, 15 วัน และ 30 วัน
2. วิเคราะห์ตัวอย่างดิน
 - 2.1 วิเคราะห์สมบัติดิน โดยวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพและเคมีของดิน ได้แก่ การกระจายขนาดอนุภาค (particle size distribution) ความเป็นกรด-ด่าง (1:1) ด้วยเครื่องพีเอชมิเตอร์ อินทรีย์วัตถุ ตามวิธีของ Walkley และ Black (Walkley and Black, 1934) ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ด้วยวิธี Bray II (Bray and Kurtz, 1945) โพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ด้วยเครื่อง Atomic absorption spectrophotometer (AAS) และค่าความจุในการแลกเปลี่ยนแคตไอออน (cation exchange capacity, CEC)

2.2 วิเคราะห์ปริมาณสาร glufosinate-ammonium ตกค้างในดินด้วยเทคนิค High Performance Liquid Chromatography (HPLC)

2.3 นับจำนวนจุลินทรีย์ได้แก่ รา แอคติโนมัยสีท และแบคทีเรีย ที่แยกได้บนอาหารเลี้ยงเชื้อ โดยวิธี Plate count บนอาหารเลี้ยงเชื้อ Rose Bengal Agar (RBA) และ Nutrient Agar (NA)

2.4 วิเคราะห์ชนิดและชุมชนของจุลินทรีย์ดิน โดยสกัดดีเอ็นเอโดยตรงจากตัวอย่างดิน เพิ่มปริมาณดีเอ็นเอของชุดยีนที่สนใจ อ่านลำดับเบสของดีเอ็นเอจากตัวอย่างที่เพิ่มปริมาณได้ด้วยเทคนิค Next generation sequencing ทำการเปรียบเทียบชนิดของจุลินทรีย์ดินที่พบในระยะก่อนฉีดพ่นสารกำจัดวัชพืชและหลังฉีดพ่นสารกำจัดวัชพืช เพื่อศึกษาความสัมพันธ์ของจุลินทรีย์ดินที่พบและวิเคราะห์ชุมชนของจุลินทรีย์ดิน

ระยะเวลา เริ่มต้น ตุลาคม 2565 สิ้นสุด กันยายน 2567

สถานที่ทำการทดลอง

ห้องปฏิบัติการกลุ่มงานวิจัยจุลินทรีย์ดิน กองวิจัยพัฒนาปัจจัยการผลิตทางการเกษตร

แปลงปลูกมันสำปะหลังของศูนย์วิจัยและพัฒนาเมล็ดพันธุ์พืชลพบุรี อำเภอเมือง จังหวัดลพบุรี

(14°79'83.8"N 100°80'15.5"E)

แปลงปลูกมันสำปะหลังของ นางละมุน สมน้อย บ้านดอนแขวง อำเภอเสิงสาง จังหวัดนครราชสีมา

(14°34'09.4"N 102°28'44.3"E)

ผลการทดลองและวิจารณ์

1. สมบัติของดินก่อนทำการทดลอง

ผลวิเคราะห์ตัวอย่างดินแปลงปลูกมันสำปะหลังก่อนทำการทดลอง พบว่า แปลงทดลองในศูนย์วิจัยและพัฒนาเมล็ดพันธุ์พืชลพบุรี มีเนื้อดินเป็นดินร่วน (loam) ค่าความเป็นกรด-ด่างของดิน (1:1 ดินต่อน้ำ) เป็นกรดปานกลาง เท่ากับ 5.71 และ 5.79 ความจุแลกเปลี่ยนแคตไอออนในดินอยู่ในระดับปานกลาง เท่ากับ 11.32 และ 16.72 เซนติโมลต่อกิโลกรัม ปริมาณอินทรีย์วัตถุอยู่ในระดับปานกลางถึงต่ำ เท่ากับ 1.59 และ 1.21 เปอร์เซ็นต์ ปริมาณฟอสฟอรัสในรูปที่เป็นประโยชน์อยู่ในระดับปานกลาง เท่ากับ 17.13 และ 13.73 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม และปริมาณโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้อยู่ในระดับสูงถึงปานกลาง เท่ากับ 97.30 และ 68.41 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม (ตารางที่ 1) ส่วนแปลงเกษตรกร จังหวัดนครราชสีมา มีเนื้อดินเป็นดินเหนียว (clay) ค่าความเป็นกรด-ด่างของดิน (1:1 ดินต่อน้ำ) เป็นกรดอ่อน เท่ากับ 6.59 และ 6.23 ความจุแลกเปลี่ยนแคตไอออนในดินอยู่ในระดับสูง กลาง เท่ากับ 31.54 และ 28.02 เซนติโมลต่อกิโลกรัม ปริมาณอินทรีย์วัตถุอยู่ในระดับปานกลาง เท่ากับ 3.12 และ 2.99 เปอร์เซ็นต์ ปริมาณฟอสฟอรัสในรูปที่เป็นประโยชน์อยู่ในระดับต่ำถึงปานกลาง เท่ากับ 8.24 และ 12.96 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม และปริมาณโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้อยู่ในระดับต่ำ เท่ากับ 10.81 และ 14.59 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม (ตารางที่ 1)

ตารางที่ 1 สมบัติทางกายภาพและเคมีของดินก่อนการทดลอง

Provinces	Treatments	Particle size distribution (%)			Soil texture	pH (1:1)	CEC (cmol/kg)	OM (%)	Avail. P (mg/kg)	Exch. K (mg/kg)
		Sand	Silt	Clay						
Lop buri	Control	46.99	35.52	17.49	Loam	5.71	11.32	1.59	17.13	97.30
	Glufosinate-ammonium	35.36	39.36	25.28	Loam	5.79	16.72	1.21	13.73	68.41
Nakhon	Control	31.27	16.25	52.48	Clay	6.59	31.54	3.12	8.24	10.81
Ratchasima	Glufosinate-ammonium	34.78	19.00	46.22	Clay	6.23	28.02	2.99	12.96	14.59

2. ผลตกค้างของสารกำจัดวัชพืช glufosinate-ammonium ในดิน

ปี 2565 ผลการวิเคราะห์ปริมาณสาร glufosinate-ammonium ที่ตกค้างในตัวอย่างดินของแปลงปลูกมันสำปะหลังที่ใช้ในการทดลอง พบว่าแปลงที่ใช้เป็นแปลงควบคุมหรือแปลงที่ไม่พ่นสาร glufosinate-ammonium ในพื้นที่แปลงจังหวัดลพบุรีและจังหวัดนครราชสีมา ตรวจไม่พบปริมาณ glufosinate-ammonium ที่ตกค้างในดินตลอดช่วงระยะเวลาที่ทำการทดลอง ในขณะที่แปลงมันสำปะหลังจังหวัดลพบุรี ที่ทำการพ่นสาร glufosinate-ammonium 15% อัตรา 270 กรัมสารออกฤทธิ์ต่อไร่ ทิ้งไว้ 2 ชั่วโมง เท่ากับ 1.83 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม และลดลงเป็น 0.34 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม หลังฉีดพ่น 15 วัน และไม่พบการตกค้างในดินหลังฉีดพ่นที่ 30 และ 60 วัน (ตารางที่ 2) ส่วนแปลงปลูกมันสำปะหลังจังหวัดนครราชสีมา ที่ฉีดพ่น glufosinate-ammonium 15% อัตรา 270 กรัมสารออกฤทธิ์ต่อไร่ ตรวจพบปริมาณ glufosinate-ammonium ตกค้างในดินหลังฉีดพ่น 2 ชั่วโมง ตกค้างในดินหลังฉีดพ่น 2 ชั่วโมง เท่ากับ 1.72 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม และลดลงเป็น 0.30 และ 0.06 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม หลังฉีดพ่น 15 และ 30 วันตามลำดับ (ตารางที่ 2)

ปี 2566 ผลการวิเคราะห์ปริมาณสาร glufosinate-ammonium ที่ตกค้างในตัวอย่างดินของแปลงปลูกมันสำปะหลังที่ใช้ในการทดลอง พบว่าแปลงที่ใช้เป็นแปลงควบคุมหรือแปลงที่ไม่พ่นสาร glufosinate-ammonium ในพื้นที่แปลงจังหวัดลพบุรีและจังหวัดนครราชสีมา ตรวจไม่พบปริมาณ glufosinate-ammonium ที่ตกค้างในดินตลอดช่วงระยะเวลาที่ทำการทดลอง ในขณะที่แปลงมันสำปะหลังจังหวัดลพบุรี ที่ทำการพ่นสาร glufosinate-ammonium 15% อัตรา 270 กรัมสารออกฤทธิ์ต่อไร่ ทิ้งไว้ 2 ชั่วโมง, 1 วัน, 3 วัน, 7 วัน และ 15 วัน ตรวจพบปริมาณ glufosinate-ammonium ตกค้างในดินหลังฉีดพ่น เท่ากับ 1.50, 0.60, 0.20, 0.21 และ 0.16 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมดิน ตามลำดับ แต่วันที่ 30 หลังฉีดพ่นสารตรวจไม่พบปริมาณ glufosinate-ammonium ที่ตกค้างในดิน (ตารางที่ 3) ส่วนแปลงปลูกมันสำปะหลังจังหวัดนครราชสีมา ที่ฉีดพ่น glufosinate-ammonium 15% อัตรา 270 กรัมสารออกฤทธิ์ต่อไร่ ตรวจพบปริมาณ glufosinate-ammonium ตกค้างในดินหลังฉีดพ่น 2 ชั่วโมง, 1 วัน, 3 วัน, 7 วัน, 15 วัน และ 30 วัน ตรวจพบปริมาณ glufosinate-ammonium เท่ากับ 0.69, 1.63, 1.36, 1.74, 0.93 และ 0.26 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมดิน ตามลำดับ (ตารางที่ 3)

จากผลการตรวจปริมาณการตกค้างของสาร glufosinate-ammonium ของปี 2565 และ ปี 2566 พบว่าเป็นไปในทิศทางเดียวกัน โดยจะพบการตกค้างของสาร glufosinate-ammonium ในแปลงปลูกมันสำปะหลัง จ.นครราชสีมา ในดินยาวนานกว่าแปลงปลูกมันสำปะหลัง จ. ลพบุรี อาจเนื่องมาจากลักษณะของเนื้อดินที่แตกต่างกัน ซึ่งแปลงปลูกมันสำปะหลัง จ.นครราชสีมา มีเนื้อดินเป็นดินเหนียว ในขณะที่แปลงปลูกมันสำปะหลัง จ.ลพบุรี มีเนื้อดินเป็นดินร่วน ทำให้การย่อยสลายตัวเกิดช้ากว่า สอดคล้องกับงานวิจัยของ Ismail and Ahmad (1994) ที่พบว่าในดินเหนียว สารกำจัดวัชพืช glufosinate ammonium จะสามารถย่อยสลายตัวได้ช้ากว่าดินร่วนปนเหนียว

ตารางที่ 2 ผลการวิเคราะห์ปริมาณ glufosinate-ammonium ที่ตกค้างในดิน ของแปลงปลูกมันสำปะหลัง จังหวัดลพบุรีและนครราชสีมา ปี 2565

Provinces	Treatments	glufosinate-ammonium concentration (mg/kg)				
		BS ¹	2 H AS ²	15 D AS	30 D AS	60 D AS
Lop buri	Control	ND	ND	ND	ND	ND
	Glufosinate-ammonium	ND	1.83	0.34	ND	ND
Nakhon Ratchasima	Control	ND*	ND	ND	ND	ND
	Glufosinate-ammonium	0.02	1.72	0.30	0.06	ND

¹ BS = Before spraying glufosinate-ammonium

² AS = After spraying glufosinate-ammonium

* ND = Not detected (< Limit of detection (LOD) = 0.03 mg/kg)

ตารางที่ 3 ผลการวิเคราะห์ปริมาณ glufosinate-ammonium ที่ตกค้างในดิน ของแปลงปลูกมันสำปะหลัง จังหวัดลพบุรีและนครราชสีมา ปี 2566

Provinces	Treatments	glufosinate-ammonium concentration (mg/kg)						
		BS ¹	2 H AS ²	1 D AS	3 D AS	7 D AS	15 D AS	30 D AS
Lop buri	Control	ND*	ND	ND	ND	ND	ND	ND
	Glufosinate-ammonium	ND	1.50	0.60	0.20	0.21	0.16	ND
Nakhon Ratchasima	Control	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
	Glufosinate-ammonium	ND	0.69	1.63	1.36	1.74	0.93	0.26

¹ BS = Before spraying glufosinate-ammonium

² AS = After spraying glufosinate-ammonium

* ND = Not detected (< Limit of detection (LOD) = 0.03 mg/kg)

3. ผลการใช้สารกำจัดวัชพืช glufosinate-ammonium ต่อภาพรวมชุมชนจุลินทรีย์ดิน

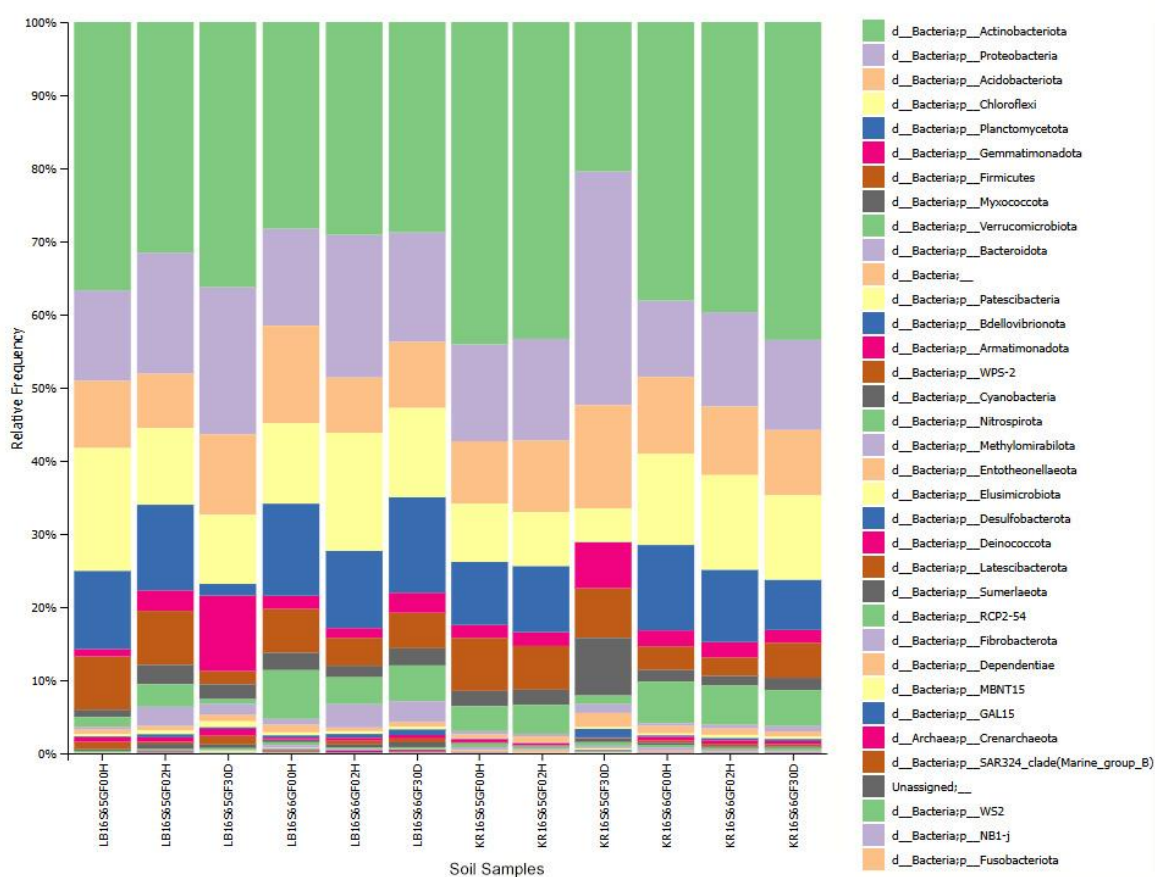
3.1 ภาพรวมชุมชนแบคทีเรีย

เก็บตัวอย่างดินแปลงปลูกมันสำปะหลังในจังหวัดลพบุรีและนครราชสีมา จำนวน 3 ครั้งต่อปี ในปี 2565–2566 รวม 12 ครั้ง ผลการศึกษาชุมชนแบคทีเรียในดินพบว่าจำนวนรวมทั้งหมดของหน่วยอนุกรมวิธานเชิงปฏิบัติการ หรือ operational taxonomic unit (OTUs) ซึ่งใช้เป็นตัวชี้วัดความหลากหลายของจุลินทรีย์ มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 67,133 fragments ส่วนใหญ่อยู่ใน ไฟล์ม Actinobacteriota (32.9 เปอร์เซ็นต์) รองลงมาได้แก่ Proteobacteria (18.7 เปอร์เซ็นต์) Acidobacteriota (10.4 เปอร์เซ็นต์) Chloroflexi (10.1 เปอร์เซ็นต์) Planctomycetota (7.0 เปอร์เซ็นต์) Firmicutes (5.0 เปอร์เซ็นต์) Gemmatimonadota (4.3 เปอร์เซ็นต์) Myxococcota (3.0 เปอร์เซ็นต์) Verrucomicrobiota (3.0 เปอร์เซ็นต์) และBacteroidota (1.4 เปอร์เซ็นต์) ตามลำดับ (ภาพที่ 1) โดยภาพรวมชุมชนแบคทีเรียในดินจากการสุ่มเก็บตัวอย่างดินสามารถแบ่งออกได้ดังนี้

3.1.1) ภาพรวมชุมชนแบคทีเรียในแปลงปลูกมันสำปะหลัง จ.ลพบุรี แสดงให้เห็นถึงความผันแปรของโครงสร้างชุมชนแบคทีเรียในดินภายหลังการใช้สาร glufosinate-ammonium โดยในปี พ.ศ. 2565 ก่อนการพ่นสาร (รหัสตัวอย่าง LB16S65GF00H) ตรวจพบ Operational Taxonomic Units (OTUs) หรือหน่วย

อนุกรมวิธานเชิงปฏิบัติการ จำนวนทั้งสิ้น 1,423 หน่วย โดยมีแบคทีเรียในไฟลัม Actinobacteriota เป็นกลุ่มหลัก (36.7 เปอร์เซ็นต์) รองลงมาคือ Chloroflexi (16.8 เปอร์เซ็นต์) และ Proteobacteria (12.4 เปอร์เซ็นต์) ภายหลังการพ่นสาร 2 ชั่วโมง (LB16S65GF02H) จำนวน OTUs เพิ่มขึ้นเป็น 2,612 หน่วย โดยสัดส่วนของ Actinobacteriota ลดลงเหลือ 31.6 เปอร์เซ็นต์ ขณะที่ Proteobacteria เพิ่มขึ้นเป็น 16.6 เปอร์เซ็นต์ และตรวจพบการเพิ่มขึ้นของไฟลัม Bacteroidota และ Gemmatimonadota ซึ่งไม่ปรากฏในกลุ่มก่อนพ่นสาร ภายหลังการพ่นสาร 30 วัน (LB16S65GF30D) จำนวน OTUs เพิ่มขึ้นเป็น 5,851 หน่วย โดยสัดส่วนของ Actinobacteriota ยังคงสูง (36.2 เปอร์เซ็นต์) และ Proteobacteria เพิ่มขึ้นเป็น 20.1 เปอร์เซ็นต์ ขณะที่ Chloroflexi และ Firmicutes ลดลงอย่างมีนัยสำคัญ ส่วนในปี พ.ศ. 2566 ก่อนการพ่นสาร (LB16S66GF00H) พบ OTUs จำนวน 2,441 หน่วย โดย Actinobacteriota ลดลงเหลือ 28.3 เปอร์เซ็นต์ และมีสัดส่วนของ Acidobacteriota และ Proteobacteria เท่ากันที่ 13.3 เปอร์เซ็นต์ ภายหลังการพ่นสาร 2 ชั่วโมง (LB16S66GF02H) OTUs เพิ่มขึ้นเป็น 2,860 หน่วย โดย Actinobacteriota เพิ่มขึ้นเล็กน้อยเป็น 29.1 เปอร์เซ็นต์ และ Proteobacteria เพิ่มขึ้นเป็น 19.5 เปอร์เซ็นต์ ขณะที่ Acidobacteriota ลดลงเหลือ 7.6 เปอร์เซ็นต์ ภายหลังการพ่นสาร 30 วัน (LB16S66GF30D) จำนวน OTUs ลดลงเหลือ 1,827 หน่วย โดยมีแนวโน้มการเพิ่มขึ้นของสัดส่วน Gemmatimonadota และ Bacteroidota เมื่อเปรียบเทียบกับกลุ่มก่อนการพ่นสาร ผลการศึกษานี้แสดงให้เห็นว่าสาร glufosinate-ammonium ส่งผลกระทบต่อความหลากหลายและองค์ประกอบของกลุ่มแบคทีเรียในดินทั้งในระยะสั้นและระยะยาว โดยเฉพาะหลังการพ่นสาร 30 วัน ซึ่งปรากฏความเปลี่ยนแปลงอย่างชัดเจนในทั้งสองปีของการทดลอง

3.1.2) ภาพรวมชุมชนแบคทีเรียในดินจากแปลงปลูกมันสำปะหลังในจังหวัดนครราชสีมา แสดงให้เห็นถึงความเปลี่ยนแปลงของโครงสร้างชุมชนแบคทีเรียภายหลังการพ่นสาร glufosinate-ammonium โดยในปี พ.ศ. 2565 ก่อนการพ่นสาร (KR16S65GF00H) ตรวจพบ OTUs จำนวน 2,065 หน่วย โดยแบคทีเรียในไฟลัม Actinobacteriota เป็นกลุ่มหลัก (44.1 เปอร์เซ็นต์) ตามด้วย Proteobacteria (13.3 เปอร์เซ็นต์) Planctomycetota (8.6 เปอร์เซ็นต์) และ Acidobacteriota (8.5 เปอร์เซ็นต์) ภายหลังการพ่นสาร 2 ชั่วโมง (KR16S65GF02H) จำนวน OTUs ลดลงเหลือ 1,053 หน่วย โดยสัดส่วน Actinobacteriota ลดลงเล็กน้อยเป็น 43.3 เปอร์เซ็นต์ และสัดส่วนของ Acidobacteriota และ Planctomycetota เพิ่มขึ้นเล็กน้อย ขณะที่หลังการพ่นสาร 30 วัน (KR16S65GF30D) OTUs เพิ่มขึ้นอย่างมากเป็น 7,091 หน่วย โดยพบการเปลี่ยนแปลงชัดเจนในองค์ประกอบกลุ่มแบคทีเรีย ได้แก่ Proteobacteria ที่เพิ่มขึ้นเป็น 31.9 เปอร์เซ็นต์ และ Actinobacteriota ลดลงเหลือ 20.4 เปอร์เซ็นต์ รวมถึงการเพิ่มขึ้นของกลุ่ม Myxococcota (7.9 เปอร์เซ็นต์) และ Gemmatimonadota (6.3 เปอร์เซ็นต์) พร้อมกับการปรากฏของไฟลัม Bdellovibrionota (1.2 เปอร์เซ็นต์) ซึ่งไม่พบก่อนการพ่นสาร สำหรับปี พ.ศ. 2566 ก่อนการพ่นสาร (KR16S66GF00H) ตรวจพบ OTUs จำนวน 2,358 หน่วย โดย Actinobacteriota ยังคงเป็นกลุ่มเด่น (38.1 เปอร์เซ็นต์) รองลงมาคือ Chloroflexi (12.5 เปอร์เซ็นต์) และ Planctomycetota (11.7 เปอร์เซ็นต์) ภายหลังการพ่นสาร 2 ชั่วโมง (KR16S66GF02H) จำนวน OTUs ลดลงเหลือ 1,582 หน่วย โดย Actinobacteriota เพิ่มขึ้นเล็กน้อยเป็น 39.7 เปอร์เซ็นต์ และ Proteobacteria เพิ่มขึ้นเป็น 12.9 เปอร์เซ็นต์ ขณะที่สัดส่วนของกลุ่มอื่นเปลี่ยนแปลงเล็กน้อย ภายหลังพ่นสาร 30 วัน (KR16S66GF30D) OTUs ลดลงอีกครั้งเหลือเพียง 1,472 หน่วย โดย Actinobacteriota กลับมาเพิ่มขึ้นเป็น 43.5 เปอร์เซ็นต์ และ Proteobacteria ลดลงเล็กน้อยเป็น 12.3 เปอร์เซ็นต์ การเปลี่ยนแปลงในระดับ OTUs และสัดส่วนของไฟลัมต่าง ๆ เหล่านี้ชี้ให้เห็นว่าสาร glufosinate-ammonium มีผลกระทบอย่างมีนัยสำคัญต่อความหลากหลายและองค์ประกอบของแบคทีเรียในดิน โดยเฉพาะในช่วง 30 วันภายหลังการพ่นสาร ซึ่งอาจส่งผลกระทบต่อสมดุลของระบบนิเวศจุลินทรีย์ในระยะยาว



ภาพที่ 1 แสดงสัดส่วนของแบคทีเรียแต่ละไฟลัม (Phylum) ที่ตรวจพบในตัวอย่างดินแปลงปลูกมันสำปะหลังใน จังหวัดลพบุรีและนครราชสีมา ปี 2565–2566 (LB=จังหวัดลพบุรี; KR = จังหวัดนครราชสีมา; 16S = 16S rRNA (ใช้เป็นดีเอ็นเอบาร์โค้ดสำหรับการจำแนกแบคทีเรีย); 65–66 = ปีที่เก็บตัวอย่าง; GF = glufosinate-ammonium; 00H, 02H และ 30D = ระยะเวลาเก็บตัวอย่างดินหลังฉีดพ่น glufosinate-ammonium ที่ 0 ชั่วโมง, 2 ชั่วโมง และ 30 วัน)

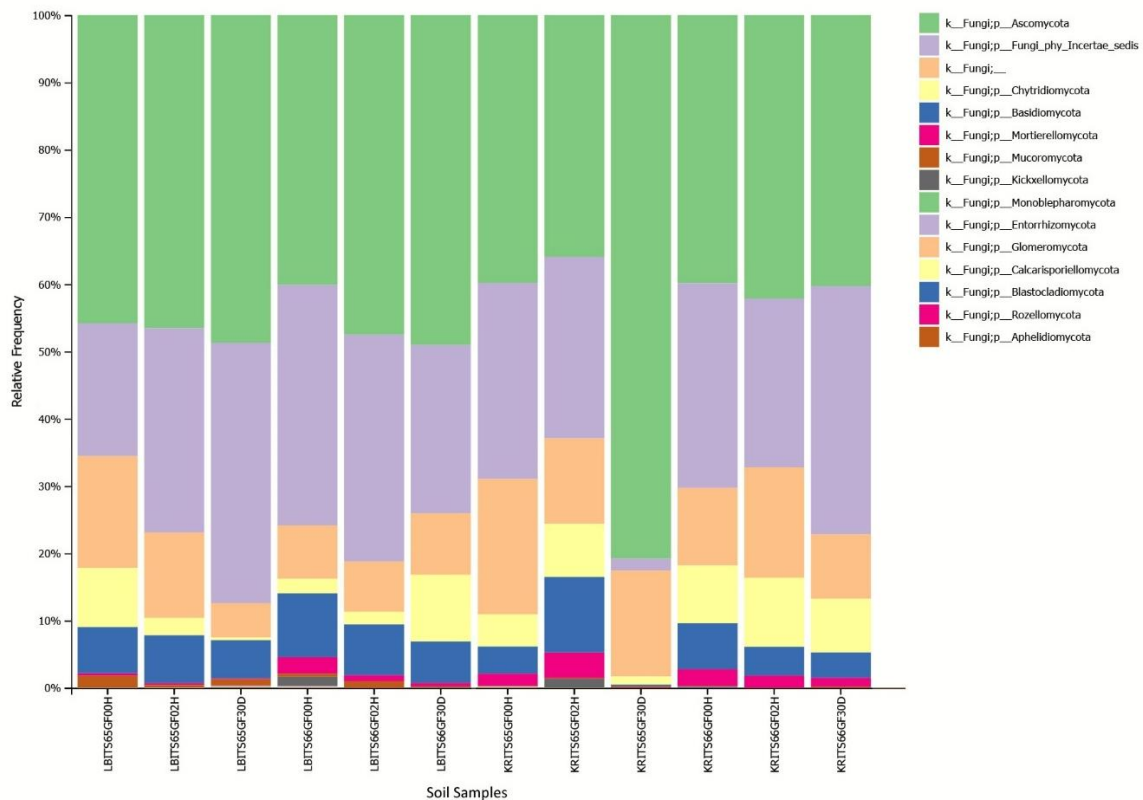
3.2 ภาพรวมชุมชนรา

เก็บตัวอย่างดินแปลงปลูกมันสำปะหลังในจังหวัดลพบุรีและนครราชสีมา จำนวน 3 ครั้งต่อปี ในปี 2565–2566 รวม 12 ครั้ง ผลการศึกษาชุมชนราในดินพบว่าจำนวนรวมทั้งหมดของหน่วยอนุกรมวิธานเชิงปฏิบัติการ หรือ operational taxonomic unit (OTUs) ที่ตรวจพบลำดับเบสในทุก ๆ ตัวอย่างดินมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 79,048 fragments ที่สามารถระบุได้ในแต่ละตัวอย่างดิน ส่วนใหญ่จัดจำแนกอยู่ใน ไฟลัม Ascomycota (46.9 เปอร์เซ็นต์) รองลงมาได้แก่ Incertae sedis (28.8 เปอร์เซ็นต์) Basidiomycota (5.8 เปอร์เซ็นต์) Chytridiomycota (5.4 เปอร์เซ็นต์) Mortierellomycota (1.1 เปอร์เซ็นต์) Mucoromycota (0.4 เปอร์เซ็นต์) และ Kickxellomycota (0.2 เปอร์เซ็นต์) ตามลำดับ (ภาพที่ 3) โดยภาพรวมชุมชนราดินจากการสุ่มเก็บตัวอย่างดินสามารถแบ่งออกได้ดังนี้

3.2.1.) ภาพรวมชุมชนราในแปลงปลูกมันสำปะหลัง จ.ลพบุรี ในปี พ.ศ. 2565 ดินจากแปลงปลูกมันสำปะหลังก่อนการพ่นสาร glufosinate-ammonium (รหัสตัวอย่าง LBITS65GF00H) มีจำนวน OTUs เท่ากับ 608 หน่วย โดยไฟลัม Ascomycota พบมากที่สุด (45.8 เปอร์เซ็นต์) รองลงมาคือ Incertae sedis

(19.7 เปอร์เซ็นต์) และ Chytridiomycota (8.8 เปอร์เซ็นต์) ภายหลังการพ่น 2 ชั่วโมง (LBITS65GF02H) จำนวน OTUs เพิ่มขึ้นเป็น 712 โดยสัดส่วนของ Ascomycota เพิ่มขึ้นเล็กน้อย (46.5 เปอร์เซ็นต์) ขณะที่ Chytridiomycota ลดลงอย่างเด่นชัดเหลือเพียง 2.6 เปอร์เซ็นต์ ส่วน Incertae sedis เพิ่มขึ้นเป็น 30.4 เปอร์เซ็นต์ และหลังการพ่น 30 วัน (LBITS65GF30D) จำนวน OTUs ลดลงเหลือ 575 แต่สัดส่วนของ Ascomycota เพิ่มขึ้นอีกเป็น 48.7 เปอร์เซ็นต์ ในขณะที่ Incertae sedis ยังคงอยู่ในระดับสูง (38.7 เปอร์เซ็นต์) และ Chytridiomycota ลดลงเหลือเพียง 0.4 เปอร์เซ็นต์ แสดงให้เห็นถึงการเปลี่ยนแปลงอย่างมีนัยสำคัญในโครงสร้างชุมชนรา ส่วนในปี พ.ศ. 2566 จำนวน OTUs ก่อนการพ่นสาร glufosinate-ammonium (LBITS66GF00H) เพิ่มขึ้นเป็น 832 หน่วย โดยมี Ascomycota 40.1 เปอร์เซ็นต์ และ Incertae sedis 35.8 เปอร์เซ็นต์ เป็นกลุ่มเด่น หลังการพ่น 2 ชั่วโมง (LBITS66GF02H) OTUs ลดลงเล็กน้อยเป็น 817 หน่วย แต่สัดส่วนของ Ascomycota เพิ่มขึ้นชัดเจนเป็น 47.5 เปอร์เซ็นต์ และ Incertae sedis ลดลงเล็กน้อยเป็น 33.7 เปอร์เซ็นต์ ส่วนหลังการพ่น 30 วัน (LBITS66GF30D) จำนวน OTUs เพิ่มขึ้นเป็น 859 หน่วย โดย Ascomycota เพิ่มขึ้นเป็น 49.0 เปอร์เซ็นต์ ขณะที่ Incertae sedis ลดลงเหลือ 25.0 เปอร์เซ็นต์ และ Chytridiomycota เพิ่มขึ้นเด่นชัดเป็น 9.9 เปอร์เซ็นต์ แสดงถึงแนวโน้มการฟื้นตัวของกลุ่มราในบางโพลัมภายใต้การรบกวนจากสารเคมี

3.2.2.) ภาพรวมชุมชนราในดินจากแปลงปลูกมันสำปะหลังในจังหวัดนครราชสีมา ในปี พ.ศ. 2565 จำนวน OTUs ก่อนพ่นสาร glufosinate-ammonium (KRITS65GF00H) อยู่ที่ 785 หน่วย โดยพบ Ascomycota 39.8 เปอร์เซ็นต์ และ Incertae sedis 29.2 เปอร์เซ็นต์ ภายหลังการพ่น 2 ชั่วโมง (KRITS65GF02H) จำนวน OTUs ลดลงเหลือ 673 หน่วย โดยสัดส่วนของ Ascomycota ลดลงเป็น 35.9 เปอร์เซ็นต์ แต่ Basidiomycota และ Chytridiomycota เพิ่มขึ้นเป็น 11.2 เปอร์เซ็นต์ และ 7.9 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ หลังการพ่น 30 วัน (KRITS65GF30D) จำนวน OTUs ลดลงต่อเนื่องเป็น 544 หน่วย ขณะที่สัดส่วนของ Ascomycota เพิ่มขึ้นอย่างชัดเจนเป็น 80.8 เปอร์เซ็นต์ และ Incertae sedis ลดลงเหลือเพียง 1.8 เปอร์เซ็นต์ แสดงให้เห็นว่าการใช้สาร glufosinate-ammonium มีผลกระทบเชิงลบต่อความหลากหลายของราในดินโดยรวม แต่ทำให้บางกลุ่มราโดยเฉพาะ Ascomycota มีความได้เปรียบในการแพร่กระจาย ในขณะที่ในปี พ.ศ. 2566 จำนวน OTUs ก่อนพ่นสาร glufosinate-ammonium (KRITS66GF00H) อยู่ที่ 754 หน่วย โดย Ascomycota และ Incertae sedis มีสัดส่วนเท่ากับ 39.8 เปอร์เซ็นต์ และ 30.5 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ภายหลังพ่น 2 ชั่วโมง (KRITS66GF02H) จำนวน OTUs เพิ่มขึ้นเล็กน้อยเป็น 758 หน่วย โดย Ascomycota เพิ่มขึ้นเป็น 42.1 เปอร์เซ็นต์ และ Chytridiomycota เพิ่มขึ้นเป็น 10.3 เปอร์เซ็นต์ ขณะที่ Incertae sedis ลดลงเหลือ 25.1 เปอร์เซ็นต์ และเมื่อพ่นสารครบ 30 วัน (KRITS66GF30D) จำนวน OTUs เพิ่มขึ้นต่อเนื่องเป็น 864 หน่วย โดย Ascomycota คงที่ที่ 40.3 เปอร์เซ็นต์ และ Incertae sedis เพิ่มขึ้นเป็น 36.9 เปอร์เซ็นต์ ขณะที่ Chytridiomycota คงอยู่ในระดับสูง (8.0 เปอร์เซ็นต์) สะท้อนให้เห็นถึงการเปลี่ยนแปลงเชิงโครงสร้างของชุมชนราในระยะยาว ซึ่งอาจเกิดจากการปรับตัวของกลุ่มราในดินต่อสารเคมีดังกล่าว



ภาพที่ 3 แสดงสัดส่วนของราแต่ละไฟลัม (Phylum) ที่ตรวจพบในตัวอย่างดินแปลงปลูกมันสำปะหลังในจังหวัดลพบุรีและนครราชสีมา ปี 2565–2566 (LB = จังหวัดลพบุรี; KR = จังหวัดนครราชสีมา; ITS = ลำดับ DNA ที่ใช้ในการจำแนกชนิดของรา; 65–66 = ปีที่เก็บตัวอย่าง; GF = glufosinate-ammonium; 00H, 02H และ 30D = ระยะเวลาเก็บตัวอย่างดินหลังฉีดพ่น glufosinate-ammonium ที่ 0 ชั่วโมง 2 ชั่วโมง และ 30 วัน

4. ผลการใช้สารกำจัดวัชพืช glufosinate-ammonium ต่อปริมาณจุลินทรีย์ดินที่สามารถนับได้

การศึกษาผลกระทบของการใช้สารกำจัดวัชพืช glufosinate-ammonium เพื่อกำจัดวัชพืชหลังออกในแปลงปลูกมันสำปะหลังใน จ.ลพบุรี และแปลงเกษตรกร จ.นครราชสีมา ต่อปริมาณแบคทีเรียที่สามารถนับได้ แนวโน้มโดยภาพรวมทิศทางการเปลี่ยนแปลงของปริมาณแบคทีเรียระหว่างแปลงที่ไม่มีการฉีดพ่นสารกับแปลงที่มีการฉีดพ่นสารกำจัดวัชพืช glufosinate-ammonium ส่วนใหญ่เป็นไปในทิศทางเดียวกัน ในแปลงที่มีการใช้สารกำจัดวัชพืช glufosinate-ammonium ได้รับผลกระทบเล็กน้อยต่อปริมาณแบคทีเรียในช่วงแรกหลังฉีดพ่น 2 ชั่วโมง ถึง 15 วัน โดยมีปริมาณแบคทีเรียเพิ่มขึ้นเล็กน้อย แต่ในระยะยาวไม่มีผลกระทบที่ชัดเจน ยกเว้นแปลงมันสำปะหลัง จ.นครราชสีมา ในปี 2566 ที่แปลงปลูกมันสำปะหลังที่ไม่มีการฉีดพ่นสาร ปริมาณแบคทีเรียในดินค่อนข้างคงที่ แต่ในแปลงที่มีการฉีดพ่นสารกำจัดวัชพืช glufosinate-ammonium มีปริมาณแบคทีเรียสูงกว่าแปลงที่ไม่มีการฉีดพ่นสาร อาจบอกได้ว่าแปลงปลูกมันสำปะหลัง จ.นครราชสีมา มีแนวโน้มได้รับผลกระทบจากสารกำจัดวัชพืช glufosinate-ammonium มากกว่าแปลงปลูกมันสำปะหลัง จ.ลพบุรี (ตารางที่ 4 และ 5)

แนวโน้มโดยภาพรวมของผลกระทบจากการใช้สารกำจัดวัชพืช glufosinate-ammonium ต่อปริมาณราที่สามารถนับได้ พบว่า การใช้สารกำจัดวัชพืช glufosinate-ammonium ส่งผลให้ปริมาณราเพิ่มขึ้นเล็กน้อยในระยะสั้นหลังฉีดพ่น (2 ชั่วโมง) แต่อย่างไรก็ตามในระยะยาว (30–60 วัน หลังฉีดพ่น) ปริมาณราในดินของแปลงมันสำปะหลังที่ไม่ฉีดพ่นสาร และแปลงมันสำปะหลัง ที่ใช้สาร glufosinate-ammonium มีแนวโน้มกลับมาใกล้เคียงกัน โดยในปี 2565 แนวโน้มโดยภาพรวมไม่ชัดเจน แต่ใน ปี 2566 แปลงมันสำปะหลัง

จ.นครราชสีมา มีผลกระทบจากการใช้สารกำจัดวัชพืช glufosinate-ammonium ที่ชัดเจนกว่าแปลงมันสำปะหลัง จ.ลพบุรี (ตารางที่ 6 และ 7)

ตารางที่ 4 ปริมาณแบคทีเรียในดินแปลงทดลองจังหวัดลพบุรีและนครราชสีมา ปี 2565

Provinces	Treatments	Bacteria (log ₁₀ cfu/g)				
		BS ¹	2 H AS ²	15 D AS	30 D AS	60 D AS
Lop buri	Control	6.63±0.13	6.83±0.11	7.02±0.13	6.73±0.23	6.79±0.11
	glufosinate-ammonium	6.49±0.12	6.57±0.11	7.00±0.32	6.74±0.15	6.77±0.10
t Stat		2.75	5.89	0.24	-0.18	0.51
t Critical two-tail		2.07	2.07	2.07	2.07	2.07
Nakhon Ratchasima	Control	6.59±0.10	6.46±0.16	6.65±0.11	6.64±0.12	6.76±0.18
	glufosinate-ammonium	6.29±0.23	6.55±0.16	6.85±0.17	6.74±0.11	6.69±0.18
t Stat		4.08	-1.35	-3.49	-2.14	0.97
t Critical two-tail		2.07	2.07	2.09	2.07	2.07

¹ BS = Before spraying glufosinate-ammonium

² AS = After spraying glufosinate-ammonium

ตารางที่ 5 ปริมาณแบคทีเรียในดินแปลงทดลองจังหวัดลพบุรีและนครราชสีมา ปี 2566

Provinces	Treatments	Bacteria (log ₁₀ cfu/g)						
		BS ¹	2 H AS ²	1 D AS	3 D AS	7 D AS	15 D AS	30 D AS
Lop buri	Control	6.35±0.30	6.65±0.13	6.72±0.10	6.43±0.10	6.41±0.26	6.28±0.27	6.51±0.19
	glufosinate-ammonium	6.76±0.09	6.98±0.09	7.02±0.16	6.58±0.17	6.70±0.16	6.53±0.23	6.28±0.18
t Stat		-4.51	-7.14	-5.62	-2.60	-3.31	-2.48	3.12
t Critical two-tail		2.16	2.09	2.07	2.07	2.10	2.07	2.07
Nakhon Ratchasima	Control	5.49±0.24	5.46±0.18	5.45±0.26	5.45±0.20	5.44±0.23	5.40±0.21	5.53±0.18
	glufosinate-ammonium	6.49±0.21	6.59±0.16	6.27±0.19	6.47±0.29	6.10±0.22	6.66±0.11	6.74±0.09
t Stat		-10.81	-16.41	-8.96	-9.98	-2.05	-18.23	-21.14
t Critical two-tail		2.07	2.07	2.07	2.09	2.07	2.11	2.12

¹ BS = Before spraying glufosinate-ammonium

² AS = After spraying glufosinate-ammonium

ตารางที่ 6 ปริมาณราในดินแปลงทดลองจังหวัดลพบุรีและนครราชสีมา ปี 2565

Locations	Treatments	Fungi (log ₁₀ cfu/g)				
		BS ¹	2 H AS ²	15 D AS	30 D AS	60 D AS
Lop buri	Control	4.67±0.23	4.98±0.28	4.73±0.12	4.63±0.11	4.81±0.12
	glufosinate-ammonium	4.70±0.14	4.79±0.34	4.70±0.25	4.39±0.53	4.70±0.21
t Stat		-0.39	1.51	0.40	1.58	1.53
t Critical two-tail		2.07	2.08	2.07	2.07	2.10
Nakhon Ratchasima	Control	4.61±0.16	4.62±0.08	4.57±0.08	4.51±0.11	4.62±0.15
	glufosinate-ammonium	4.54±0.14	4.63±0.12	4.71±0.17	4.45±0.19	4.66±0.11
t Stat		1.17	-0.22	-2.50	1.04	-0.65
t Critical two-tail		2.07	2.09	2.07	2.10	2.07

¹ BS = Before spraying glufosinate-ammonium

² AS = After spraying glufosinate-ammonium

ตารางที่ 7 ปริมาณราในดินแปลงทดลองจังหวัดลพบุรีและนครราชสีมา ปี 2566

Provinces	Treatments	Fungi (log ₁₀ cfu/g)						
		BS ¹	2 H AS ²	1 D AS	3 D AS	7 D AS	15 D AS	30 D AS
Lop buri	Control	4.31±0.12	4.49±0.11	4.38±0.17	4.27±0.14	4.35±0.14	4.37±0.15	4.53±0.20
	glufosinate-ammonium	4.26±0.19	4.61±0.13	4.65±0.08	4.45±0.16	4.54±0.14	4.52±0.14	4.47±0.16
t Stat		0.72	-2.55	-4.97	-3.09	-3.33	-2.71	0.80
t Critical two-tail		2.10	2.07	2.12	2.07	2.07	2.07	2.07
Nakhon Ratchasima	Control	4.56±0.17	4.40±0.16	4.39±0.21	4.38±0.15	4.56±0.14	4.44±0.16	4.34±0.29
	glufosinate-ammonium	4.87±0.32	5.00±0.39	4.77±0.28	4.83±0.40	4.75±0.09	4.72±0.05	4.68±0.10
t Stat		-2.97	-4.97	-3.71	-3.62	-3.90	-5.97	-3.84
t Critical two-tail		2.07	2.07	2.09	2.07	2.07	2.16	2.16

¹ BS = Before spraying glufosinate-ammonium

² AS = After spraying glufosinate-ammonium

สรุปผลการทดลอง

การใช้สารกำจัดวัชพืชกลูโฟซิเนตแอมโมเนียม (glufosinate-ammonium, อัตรา 270 กรัมสารออกฤทธิ์ต่อไร่) ในแปลงปลูกมันสำปะหลัง ส่งผลให้เกิดการตกค้างของสารในดินในระดับที่แตกต่างกัน โดยพบว่าปริมาณสารตกค้างในแปลงทดลองจังหวัดลพบุรีมีค่ามากกว่าแปลงทดลองจังหวัดนครราชสีมา ทั้งในปีการเพาะปลูก 2565 และ 2566 อย่างไรก็ตาม ความคงอยู่ของสาร glufosinate-ammonium ในดินของแปลงทดลองจังหวัดนครราชสีมา มีระยะเวลายาวนานกว่าแปลงทดลองจังหวัดลพบุรี ซึ่งอาจสัมพันธ์กับลักษณะของดิน โดยดินของแปลงทดลองจังหวัดนครราชสีมาเป็นดินเหนียว (clay) ส่วนที่จังหวัดลพบุรีเป็นดินร่วน (loam) ในด้านผลกระทบต่อชุมชนจุลินทรีย์ดิน พบว่า glufosinate-ammonium มีผลต่อองค์ประกอบของจุลินทรีย์ โดยเฉพาะกลุ่มราไฟลัม Ascomycota ที่มีสัดส่วนเพิ่มขึ้นหลังการฉีดพ่น ขณะที่แบคทีเรียในไฟลัม Actinobacteriota, Proteobacteria และ Firmicutes มีการเปลี่ยนแปลงในด้านปริมาณ อย่างไรก็ตาม ปริมาณแบคทีเรียและราดินที่สามารถเพาะเลี้ยงได้ มีแนวโน้มไม่ชัดเจน และส่วนใหญ่คงที่ตลอดทั้งฤดูกาลเพาะปลูกในปี 2565 และ 2566

คำขอบคุณ

งานวิจัยนี้ได้รับการสนับสนุนงบประมาณจากกองทุนส่งเสริมวิทยาศาสตร์ วิจัยและนวัตกรรม (ววน.) ประเภทงบประมาณเพื่อสนับสนุนงานวิจัยมูลฐาน (Fundamental Fund) สำนักงานคณะกรรมการส่งเสริมวิทยาศาสตร์ วิจัยและนวัตกรรม (สกสว.) ของกรมวิชาการเกษตร ตามรหัสการทดลอง FF65-58-02-65-00-06-65

การนำผลงานวิจัยไปใช้ประโยชน์

ข้อมูลที่ได้จากการศึกษาผลของกลูโฟซิเนตแอมโมเนียมต่อจำนวนประชากรของจุลินทรีย์ดินทำให้ทราบถึงการเปลี่ยนแปลงของจุลินทรีย์ในสภาวะแวดล้อมที่ต่างกัน เพื่อใช้เป็นแนวทางในการเฝ้าระวังถึงผลกระทบที่อาจเกิดขึ้นจากการใช้สารกำจัดวัชพืชกลูโฟซิเนตแอมโมเนียมต่อการเปลี่ยนแปลงของประชากรของจุลินทรีย์ในดิน

เอกสารอ้างอิง

- กรมวิชาการเกษตร. 2563. เอกสารวิชาการ การจัดการศัตรูพืช เมื่อประกาศให้ พาราควอตและคลอร์ไพริฟอส เป็น วอ.4. กรมวิชาการเกษตร, กรุงเทพฯ. แหล่งข้อมูล: <http://www.doa.go.th/ard/wp-content/uploads/2020/06/Academic-documents-paraqpi.pdf>. สืบค้น: 31 พฤษภาคม 2563.
- ศิริโชค แซ่ลื้อ. 2545. การศึกษาทางชีวเคมีในข้าวโพดทนทานต่อสารกำจัดวัชพืชกลูโฟซิเนท. ปัญหาพิเศษปริญญาตรี, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- เอิบ เขียววีรณมณ. 2548. *การสำรวจดิน*. พิมพ์ครั้งที่ 2. สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.
- Bray, R.H., and L.T. Kurtz. 1945. Determination of total organic and available forms of phosphorus in soils. *Soil Sci.* 59: 39–45.
- Ismail, B.S., and A.R. Ahmad. 1994. Attenuation of the herbicidal activities of glufosinate-ammonium and imazapyr in two soils. *Agric. Ecosyst. Environ.* 47(4): 279–285. doi:10.1016/0167-8809(94)90094-9.
- Jezierska-Tys, S. and A. Rutkowska. 2014. *Chemical and enzymatic changes in soil treated with glufosinate ammonium*. *J. Elem.*, 19(1): 129–141. DOI: 10.5601/jelem.2014.19.1.357.
- Lacuesta, M., B. González-Moro, C. González-Murua, P. Aparicio-Tejo and A. Muñoz-Rueda. 1989. Effect of phosphinothricin (glufosinate) on activities of glutamine synthetase and glutamate dehydrogenase in *Medicago sativa* L. *J. Plant Physiol.* 134 (3): 304–307.
- MacLachlan D. n.d. GLUFOSINATE AMMONIUM (175). Available at: http://www.fao.org/fileadmin/templates/agphome/documents/Pests_Pesticides/JMPR/Evaluation12/Glufosinate.pdf. Assessment: May 31, 2024.
- National Library of Medicine, National Center for Biotechnology Information. n.d. Glufosinate-ammonium (Compound). Available at: <https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/compound/Glufosinate-ammonium#section=3D-Conformer>. Assessment: March 31, 2024.
- Walkley, A.J., and I.A. Black. 1934. Estimation of soil organic carbon by the chromic acid titration method. *Soil Sci.* 37: 29–38.
- Wild A., H. Sauer and W. Rühle. 1987. The effects of phosphinothricin (gluphosinate) on photosynthesis I. Inhibition of photosynthesis and accumulation of ammonia. *Z. Naturforsch.* 42c: 263–269.
- Zain, N.M.M., R.B. Mohamad, K. Sijam, Md.M. Morshed and Y. Awang. 2013. Effects of selected herbicides on soil microbial populations in oil palm plantation of Malaysia: A microcosm experiment. *Afr. J. Microbiol. Res.* 7(5): 367–374.
- Zhang, Y., K. Wang, J. Wu and H. Zhang. 2014. Field dissipation and storage stability of glufosinate ammonium and its metabolites in soil. *Int. J. Anal. Chem.* Volume 2014: 1–8.

การเพิ่มศักยภาพการใช้เชื้อไรโซเบียมในการส่งเสริมความทนแล้ง ให้กับถั่วลิสงในพื้นที่แล้ง

Increasing the potential of Rhizobium to promote drought tolerance of peanuts in drought-prone areas

มนต์ชัย มนัสสิลา¹ กิตจเมธ แจ้งศิริกุล¹ อนุสรณ์ เทียนศิริฤกษ์¹ รัฐกร สืบคำ² ว่าที่ร้อยตรีอนุชา เหลาเคน³
อมรรัตน์ ไชยะเสน⁴ พรรณลดา ติตตะบุตร⁵
Monchai Manassila¹ Kitjamate Jangsirikul¹ Anusorn Tiensirihoek¹ Ratgon Suebkam²
Acting 2 LT. Anucha Laoken³ Amornrat Chaiyasen⁴ Panlada Tittabutr⁵

กลุ่มวิจัยปฐพีวิทยา

กองวิจัยพัฒนาปัจจัยการผลิตทางการเกษตร

ABSTRACT

Study on the potential of rhizobium to promote drought tolerance of peanuts in drought-prone areas. Rhizobium were isolated from peanut fields and undisturbed areas in drought-prone areas in Nong Bua Lamphu, Khon Kaen, Chaiyaphum, Mahasarakham and Roi Et provinces. Fifty-nine isolates of rhizobium that were effective in promoting plant growth and had drought tolerance were isolated. Rhizobium isolated from drought-prone areas and from stock cultures in the laboratory totaled 167 isolates. It was found that 120 rhizobium isolates were able to produce Indole-3-Acetic Acid (IAA) and 84 isolates were able to grow under drought conditions. A total of 12 genera of Rhizobium were identified, namely *Bradyrhizobium centrosema*, *B. daqingense*, *B. diazoefficiens*, *B. elkanii*, *B. frederickii*, *B. guangzhouense*, *B. intermedium*, *B. japonicum*, *B. liaoningense*, *B. subterraneum*, *B. yuanmingense*, and *B. zhanjiangense*. Rhizobium isolate DASA 03731 in YM medium + 1 g/L Soluble starch had the highest viable count of 3.64×10^9 CFU/ml. It is suitable for developing rhizobial biofertilizer for peanut. Efficiency of promoting the growth of Rhizobium in conjunction with peanut in experimental pots. The experimental results showed that rhizobium strain DASA 03139 had the highest nitrogen fixation efficiency. Rhizobium strain DASA 03710 had the highest number of nodes and nodule dry weight. The Positive control treatment

¹ กลุ่มวิจัยปฐพีวิทยา กองวิจัยพัฒนาปัจจัยการผลิตทางการเกษตร กรมวิชาการเกษตร กรุงเทพฯ 10900

² Soil Science Research Group, Agricultural Production Science Research and Development Division, Department of Agriculture, Bangkok 10900, Thailand

³ ศูนย์วิจัยพืชไร่ขอนแก่น สถาบันวิจัยพืชไร่และพืชทดแทนพลังงาน ขอนแก่น 40000

⁴ Khon Kaen Field Crops Research Center, Khon Kaen 40000, Thailand

⁵ ศูนย์วิจัยและพัฒนาการเกษตรมหาสารคาม สำนักวิจัยและพัฒนาการเกษตร เขตที่ 4 มหาสารคาม 44000

⁶ Mahasarakham Agricultural Research and Development Center, Mahasarakham 44000, Thailand

⁷ ศูนย์วิจัยและพัฒนาเมล็ดพันธุ์พืชเชียงใหม่ กองวิจัยพัฒนาเมล็ดพันธุ์พืช เชียงใหม่ 50290

⁸ Chiang Mai Seed Research and Development Center, Chiang Mai 50290, Thailand

⁹ สาขาวิชาเทคโนโลยีชีวภาพ สำนักวิชาเทคโนโลยีการเกษตร มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี นครราชสีมา 30000

¹⁰ School of Biotechnology, Institute of Agricultural Technology, Suranaree University of Technology, Nakhon Ratchasima 30000, Thailand

gave the highest root dry weight. Rhizobium strain DASA 03696 gave the highest plant dry weight. The growth promotion of Rhizobium with peanut in the experimental plot showed that stop watering during flowering, drought-resistant rhizobium powder + PK treatment had the highest nitrogen fixation efficiency. Normal watering, drought-resistant liquid rhizobium + PK treatment had the highest number of nodules at 123.13, and commercial rhizobium powder + PK treatment had the highest nodule dry weight, root dry weight, and plant dry weight. The yield of peanut in the experimental plot showed that normal watering, no rhizobium treatment + NPK fertilizer treatment had the highest total dry weight. And the highest pod dry weight at 1,405.3 kg/rai and 229.4 kg/rai, respectively. The commercial rhizobium powder + PK treatment had the highest seed dry weight at 150.67 kg/rai. The chlorophyll content in leaves during harvest period showed that when water was withheld during pod formation, the commercial rhizobium powder + PK treatment had the highest chlorophyll content. The proline accumulated in leaves during growth period showed that when water was withheld during flowering, the treatment without rhizobium + NPK had the highest accumulated proline content. During harvest period, it was found that when watered normally, the treatment without rhizobium + NPK had the highest accumulated proline content. From the experimental results, rhizobial isolate DASA 03731 is suitable to be developed as a biofertilizer for peanuts.

Keywords: drought tolerance; Ground nut; Rhizobium

บทคัดย่อ

ศึกษาศักยภาพของเชื้อไรโซเบียมในการส่งเสริมความทนแล้งให้กับถั่วลิสงในพื้นที่แล้ง ทำการคัดแยกเชื้อไรโซเบียมจากแปลงปลูกถั่วลิสงและพื้นที่ที่ไม่ถูกรบกวนในพื้นที่แล้งจังหวัดหนองบัวลำภู จังหวัดขอนแก่น จังหวัดชัยภูมิ จังหวัดมหาสารคาม และจังหวัดร้อยเอ็ด สามารถคัดแยกไรโซเบียมที่มีประสิทธิภาพในการส่งเสริมการเจริญเติบโตของพืชและมีคุณสมบัติทนแล้งได้ จำนวน 59 ไอโซเลท เชื้อไรโซเบียมที่แยกจากพื้นที่แล้ง และจาก stock culture ในห้องปฏิบัติการ จำนวน 167 ไอโซเลท พบว่าเชื้อไรโซเบียม 120 ไอโซเลท สามารถสร้างสร้าง Indole-3-Acetic Acid (IAA) และเชื้อ 84 ไอโซเลทสามารถเจริญเติบโตได้ในสภาวะแล้งสามารถจำแนกเชื้อไรโซเบียมได้ทั้งหมด 1 ชนิด 12 สกุล ได้แก่ *Bradyrhizobium centrosema*, *B. daqingense*, *B. diazoefficiens*, *B. elkanii*, *B. frederickii*, *B. guangzhouense*, *B. intermedium*, *B. japonicum*, *B. liaoningense*, *B. subterraneum*, *B. yuanmingense*, และ *B. zhanjiangense* เชื้อไรโซเบียมไอโซเลท DASA 03731 ในสูตรอาหาร YM medium + Soluble starch 1 กรัม/ลิตร มีปริมาณเชื้อที่มีชีวิตสูงสุดที่ 3.64×10^9 CFU/ml เหมาะสมที่จะนำไปพัฒนาเป็นปุ๋ยชีวภาพไรโซเบียมสำหรับถั่วลิสง ประสิทธิภาพการส่งเสริมการเจริญเติบโตของเชื้อไรโซเบียมร่วมกับถั่วลิสงในกระถางทดลอง ผลการทดลองพบว่าเชื้อไรโซเบียมสายพันธุ์ DASA 03139 มีประสิทธิภาพการตรึงไนโตรเจนตรึงไนโตรเจนสูงสุด เชื้อไรโซเบียมสายพันธุ์ DASA 03710 มีจำนวนปมและน้ำหนักปมแห้งสูงที่สุด กรรมวิธี Positive control ให้น้ำหนักรากแห้งมากที่สุดที่ เชื้อไรโซเบียมสายพันธุ์ DASA 03696 ให้น้ำหนักต้นแห้งมากที่สุด การส่งเสริมการเจริญเติบโตของเชื้อไรโซเบียมร่วมกับถั่วลิสงในแปลงทดลอง พบว่าการรดน้ำช่วงออกดอก กรรมวิธีไรโซเบียมผงทนแล้ง+ PK มีประสิทธิภาพการตรึงไนโตรเจนสูงสุด การให้น้ำปกติ กรรมวิธีไรโซเบียมเหลวทนแล้ง+ PK มีจำนวนปมมากที่สุดที่ 123.13 ปม กรรมวิธีไรโซเบียม

ผงการค้า + PK มีน้ำหนักแห้งปม น้ำหนักแห้งราก และน้ำหนักแห้งต้นมากที่สุด ผลผลิตของถั่วลิสงในแปลงทดลองพบว่า การให้น้ำปกติ กรรมวิธีไม่ใส่โรโซเปียม + ใส่ปุ๋ย NPK มีน้ำหนักแห้งทั้งหมด และน้ำหนักแห้งฝักสูงที่สุดที่ 1,405.3 กิโลกรัมต่อไร่ และ 229.4 กิโลกรัมต่อไร่ แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ตามลำดับ กรรมวิธีโรโซเปียมผงการค้า + PK มีน้ำหนักแห้งเมล็ดสูงที่สุดที่ 150.67 กิโลกรัมต่อไร่ ปริมาณคลอโรฟิลล์ในใบช่วงเก็บเกี่ยวผลผลิตพบว่า การงดให้น้ำในช่วงติดฝัก กรรมวิธีโรโซเปียมผงการค้า + PK มีปริมาณคลอโรฟิลล์สูงที่สุด ปริมาณโพสลินที่สะสมในใบในช่วงการเจริญเติบโต พบว่าการรดน้ำในช่วงออกดอก กรรมวิธีไม่ใส่โรโซเปียม + NPK มีปริมาณโพสลินสะสมสูงที่สุด ในช่วงเก็บเกี่ยวผลผลิต พบว่าการให้น้ำปกติ กรรมวิธีไม่ใส่โรโซเปียม + NPK มีปริมาณโพสลินสะสมสูงที่สุด จากผลการทดลองเชื้อโรโซเปียมไอโซเลท DASA 03731 มีความสมที่จะนำไปพัฒนาเป็นปุ๋ยชีวภาพให้กับถั่วลิสง

คำสำคัญ: ทนแล้ง; ถั่วลิสง; เชื้อโรโซเปียม

บทนำ

ประเทศไทยมีพื้นที่แล้งซ้ำซากมากถึง 59,910,457 ไร่ ส่วนใหญ่อยู่ในภาคตะวันออกเฉียงเหนือคิดเป็นพื้นที่ 39,667,081 ไร่ ส่งผลให้พืชที่ปลูกขาดน้ำและชะงักการเจริญเติบโต ทำให้ผลผลิตทางการเกษตรเสียหายเป็นวงกว้าง เกษตรกรสูญเสียพื้นที่ทำการเกษตรและขาดรายได้ การแก้ปัญหาภัยแล้งนอกจากจะแก้ไขได้ด้วยการจัดการน้ำและการปรับปรุงพันธุ์พืชทนแล้งแล้ว ยังมีการวิจัยพบว่าแบคทีเรียบางชนิดสามารถทำให้พืชเจริญเติบโตอย่างเป็นปกติหรือทนทานต่อสภาวะความเครียดต่าง ๆ เช่น ความแห้งแล้ง อุณหภูมิที่ไม่เหมาะสม ความเค็ม และปริมาณธาตุโลหะหนักได้ โดยแบคทีเรียมีปฏิสัมพันธ์กับพืชในสภาวะเครียดจากความแห้งแล้งผ่านกลไกการต้านทานในพืชที่ถูกกระตุ้นจากการปลูกเชื้อแบคทีเรีย (induced systemic resistance: ISR) โดยแบคทีเรียมีความสามารถในการกระตุ้นให้พืชอาศัยผลิตไซโตไคนินที่ควบคุมการแบ่งเซลล์และการเปลี่ยนแปลงของเซลล์พืชผลิตสารต้านอนุมูลอิสระป้องกันการเกิด oxidative stress และสามารถสร้าง ACC เพิ่มขึ้น แต่พืชไม่สามารถควบคุมปริมาณ ACC ได้ ซึ่ง ACC เป็นสารตั้งต้นของการสังเคราะห์เอทิลีน โดยเอทิลีนจะกระตุ้นให้พืชเกิดการแก่และการร่วงของใบเร็วขึ้น

แบคทีเรียหลายสกุลส่งเสริมการเจริญเติบโตของพืช เช่น *Azospirillum*, *Burkholderia*, *Bacillus*, *Bradyrhizobium*, *Pseudomonas*, *Paenibacillus* สามารถผลิตเอนไซม์ ACC deaminase เพื่อเปลี่ยน ACC เป็นสารประกอบไนโตรเจน โดยการย่อยให้เป็นแอมโมเนีย และ α -ketobutyrate ทำให้ปริมาณ ACC ในรากลดลง (Cheng *et al.*, 2007; Vurukonda *et al.*, 2016) แบคทีเรียหลายชนิดสามารถสร้างไบโอฟิล์มและสะสม exopolysaccharides (EPS) ในสภาวะแห้งแล้ง โดย EPS ประกอบด้วยสารประกอบคาร์โบไฮเดรตเชิงซ้อน ได้แก่ lipopolysaccharide-protein complex และ polysaccharide-lipid complex ที่มีบทบาทสำคัญในการปกป้องพืชและแบคทีเรียที่เจริญในสภาวะขาดน้ำ โดยการเพิ่มความสามารถในการดูดซับน้ำจากการรวมตัวของดิน (soil aggregation) และรักษาศักยภาพของน้ำรอบราก (water potential) (Bashan *et al.*, 2004; Vurukonda *et al.*, 2016) และ indole-3-acetic acid (IAA) ช่วยกระตุ้นการเจริญเติบโตและการพัฒนาของพืช ตามลำดับ (Vurukonda *et al.*, 2016) แบคทีเรียส่งเสริมการเจริญของพืชสามารถสร้างเอนไซม์ที่เกี่ยวข้องกับการปรับสมดุลของอนุมูลอิสระภายในเซลล์ เช่น ascorbate peroxidase (APX) (Szymanska *et al.*, 2014) และยังกระตุ้นให้พืชสร้าง proline, choline และ trehalose มากขึ้นเพื่อช่วยปรับสมดุลแรงดันออสโมติกภายในเซลล์และช่วยลดความเสียหายของดีเอ็นเอ โปรตีน และไขมันจากการทำลายของอนุมูลอิสระเกิดขึ้น (Daffonchi *et al.*, 2015; Farooq *et al.*, 2009)

แบคทีเรียตรึงไนโตรเจนที่อยู่ร่วมกับพืชแบบพึ่งพาอาศัยกัน (symbiosis N₂-fixing bacteria) ได้แก่ เชื้อไรโซเบียม (Rhizobiaceae) กับพืชตระกูลถั่วสามารถสร้างเอนไซม์ไนโตรจีเนส (nitrogenase enzyme) ทำหน้าที่ตรึงไนโตรเจนทางชีวภาพ (Biological Nitrogen Fixation) โดยกระบวนการทางเอนไซม์นี้สามารถเปลี่ยนแก๊สไนโตรเจนให้เป็นแอมโมเนียที่พืชสามารถนำไปใช้เป็นแหล่งไนโตรเจนได้ การผลิตพืชวงศ์ถั่วให้ได้ผลผลิตสูงและลดต้นทุนจำเป็นต้องมีการใช้ปุ๋ยชีวภาพไรโซเบียม เนื่องจากก่อให้เกิดความคุ้มค่าทางเศรษฐกิจและเป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม (Mazid and Khan, 2015) Pimratch *et al.* (2008) ได้ทดสอบปลูกถั่วลิสงจำนวน 12 จีโนไทป์ โดยควบคุมการให้น้ำ 3 ระดับ คือ 1) field capacity (FC) 2) 2/3 AW และ 3) 1/3 AW ในพื้นที่ภาคตะวันออกเฉียงเหนือในช่วงฤดูแล้ง พบว่า การตรึงไนโตรเจนและการผลิตมวลชีวภาพของจีโนไทป์ถั่วลิสงที่ระดับ 2/3 AW และ 1/3 AW จะมีค่าลดลงเมื่อระดับความเครียดจากสภาวะแล้งเพิ่มขึ้น ในขณะที่ Esfahani *et al.* (2011) พบว่าไรโซเบียมช่วยเพิ่มความทนทานของพืชอาศัยต่อสภาวะความเครียดจากความแห้งแล้ง ซึ่งเกี่ยวข้องกับการเพิ่มขึ้นของกิจกรรมเอนไซม์ต้านอนุมูลอิสระ คือ ascorbate peroxidase (APX) และ nodular peroxidase (POX) ภายใต้สภาวะความแห้งแล้ง

อุปกรณ์และวิธีการ

อุปกรณ์

1. เชื้อไรโซเบียมสายพันธุ์บริสุทธิ์
2. เมล็ดพันธุ์ถั่วลิสง ไทนาน 9
3. อาหาร yeast mannitol broth medium
4. สารละลายธาตุอาหาร N-free plant nutrient
5. เครื่องมือและวัสดุวิทยาศาสตร์ เช่น ตู้บ่มเชื้อ หม้อนึ่งฆ่าเชื้อ เครื่องเพิ่มปริมาณสารพันธุกรรม (PCR) เครื่องถ่ายภาพเจล เครื่องเขย่า กล้องจุลทรรศน์ ตู้ปลอดเชื้อ เครื่อง Gas Chromatograph (GC) ฯลฯ
6. สารเคมีในกระบวนการสกัดสารพันธุกรรม เช่น ชุดสกัดดีเอ็นเอ, DNA primer, TAE buffer, ฯลฯ
7. สารเคมีที่ใช้ในการวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพและเคมีของดิน เช่น แอมโมเนียมเมตาฟอสเฟต กรดซัลฟิวริก กรดเปอร์คลอริก กรดไนตริก โซเดียมไฮดรอกไซด์ โพแทสเซียมคลอไรด์ แอมโมเนียมอะซิเตต ฯลฯ
8. อุปกรณ์ภาคสนามสำหรับเก็บตัวอย่างดินและพืช เช่น พลั่วมือ ถุงพลาสติก ถังเก็บความเย็น ฯลฯ

วิธีการ

การสำรวจและเก็บตัวอย่างในพื้นที่แห้งแล้ง

สำรวจและเก็บตัวอย่างดินบริเวณแปลงปลูกถั่วลิสงและพื้นที่ที่ไม่ถูกรบกวนในพื้นที่แล้งซ้ำซาก 5 จังหวัด จังหวัดละ 2 อำเภอ อำเภอละ 3 พื้นที่ ได้แก่ จังหวัดหนองบัวลำภู (อำเภอศรีบุญเรืองและอำเภอเมืองหนองบัวลำภู) จังหวัดขอนแก่น (อำเภอหนองเรือและอำเภอชุมแพ) จังหวัดชัยภูมิ (อำเภอแก้งคร้อและอำเภอจัตุรัส) จังหวัดมหาสารคาม (อำเภอบรบือและอำเภอนาดูน) และจังหวัดร้อยเอ็ด (อำเภอหนองพอกและอำเภอเมยวดี) จำนวน 15–20 จุดต่อพื้นที่ แบบ composite sample ที่ระดับความลึก 0–20 ซม. และ 20–50 ซม. แบ่งเป็น 2 ช่วง ได้แก่ ฤดูแล้ง (เดือนกุมภาพันธ์ 2565) และฝนทิ้งช่วง (เดือนกรกฎาคม 2565) วิเคราะห์สมบัติทางกายภาพของดิน ได้แก่ เนื้อดิน (soil texture) ความหนาแน่นรวมของดิน (bulk density) ความชื้นดินที่ระดับความจุความชื้นสนาม (field capacity) ปริมาณความชื้นดิน (soil moisture content) และความชื้นดินที่ระดับจุดเหี่ยวเฉาถาวร (permanent wilting point) และวิเคราะห์สมบัติทางเคมีของดิน

ได้แก่ความเป็นกรด-ด่าง (pH) อินทรีย์วัตถุ (organic matter) ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ (available phosphorus) และโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ (exchangeable potassium)



ภาพที่ 1 สำรวจและเก็บตัวอย่างดินแปลงปลูกถั่วลิสงในพื้นที่แห้งแล้ง

การคัดแยกและคัดเลือกเชื้อไรโซเบียมจากตัวอย่างดินพื้นที่แล้ง

นำตัวอย่างดินมานับปริมาณเชื้อไรโซเบียมโดยวิธี most probable number (MPN) และทำการดักเชื้อไรโซเบียมในดินด้วยการใช้ถั่วลิสงเป็นพืชกับดัก (trap plant) นำปมรากที่ได้มาแยกเชื้อไรโซเบียมให้บริสุทธิ์ด้วยวิธี cross streak

การทดสอบคุณสมบัติการส่งเสริมการเจริญเติบโตและทนแล้งของเชื้อไรโซเบียม

การทดสอบการสร้าง Indole-3-Acetic Acid (IAA)

เลี้ยงเชื้อไรโซเบียมบนอาหารเลี้ยงเชื้อ Yeast mannitol agar (YMA) ไปเลี้ยงในอาหาร Yeast mannitol broth (YMB) ที่มีการเติม L-tryptophan 2 มิลลิกรัม/มิลลิลิตร นำไปบ่มแบบเขย่าที่อุณหภูมิ 28 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 7 วัน นำสารละลายแขวนลอยเชื้อที่ได้ไปปั่นเหวี่ยงที่ความเร็ว 3000 รอบ/นาที เป็นเวลา 1 นาที ดูดส่วนใส 2 มิลลิลิตร ใส่ลงในหลอดทดลอง เติม 4 ml Salkowski reagent (0.01 M FeCl_3 ใน 35% HClO_4) นำไปบ่มในที่มืดที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที จากนั้นนำสารละลายไปวัดปริมาณ IAA ด้วยเครื่อง Spectrophotometer ค่า Optical density (OD) ที่ 530 นาโนเมตร โดยเปรียบเทียบกับสารละลาย IAA ที่ความเข้มข้น 2.5 5.0 10 20 30 40 50 60 70 80 90 และ 100 ppm

ทดสอบคุณสมบัติการทนแล้งของเชื้อไรโซเบียม

นำเชื้อไรโซเบียมแต่ละไอโซเลทที่มีอยู่เดิมใน culture collection และที่แยกได้จากดินในพื้นที่แห้งแล้ง (ในข้อ 1) มาทำการทดสอบคุณสมบัติการทนแล้ง ไอโซเลทละ 4 ซ้ำ ดังนี้ ทดสอบการสร้าง ACC deaminase โดยใช้อาหารเลี้ยงเชื้อ modified DF (Dworkin and Foster, 1958) minimal salts medium และทดสอบความสามารถในการเจริญเติบโตในสภาวะที่มีค่าศักย์ของน้ำต่ำ (-0.73 MPa) โดยการเติม polyethylene glycol (PEG 6000) แล้วบันทึกผลการเจริญเติบโตของเชื้อ

การจำแนกชนิดของแบคทีเรียที่ผ่านการคัดเลือก

คัดเลือกไอโซเลทที่มีประสิทธิภาพมาจำแนกชนิดของเชื้อไรโซเบียมโดยอาศัยอนุกรมวิธานระดับโมเลกุล ด้วยการเปรียบเทียบลำดับนิวคลีโอไทด์บริเวณ 16S rRNA gene ด้วย universal primer คือ forward primer 27F (5'-AGAGTTTGATCMTGGCTCAG-3') และ reverse primer 1492R (5'-TACGGYTACCTTGTACGACTT-3') เปรียบเทียบความเหมือนของลำดับนิวคลีโอไทด์ด้วยฐานข้อมูล GenBank บนเว็บไซต์ของ NCBI (<https://blast.ncbi.nlm.nih.gov/Blast.cgi>) และจัดเก็บข้อมูลของแต่ละไอโซเลทลงในระบบฐานข้อมูลจุลินทรีย์ฯ

การพัฒนาต้นแบบปุ๋ยชีวภาพไรโซเบียม

นำเชื้อไรโซเบียมที่มีศักยภาพส่งเสริมความทนแล้งให้กับถั่วลิสงที่ได้จากการทดสอบระดับกระถาง มาทำการทดลองเพื่อศึกษาอายุการเก็บรักษาปุ๋ยชีวภาพไรโซเบียมในวัสดุรองรับแบบเหลว 4 สูตร ได้แก่

1. สูตรอาหารมาตรฐาน (YM medium)
2. สูตรอาหาร YM medium + CMC 1.5 กรัม/ลิตร
3. สูตรอาหาร YM medium + Soluble starch 1 กรัม/ลิตร
4. สูตรอาหาร YM medium + MgO 1 กรัม/ลิตร

วางแผนการทดลอง แบบ CRD 5 ซ้ำ 10 กรรมวิธี กรรมวิธีคือเชื้อไรโซเบียม 10 สายพันธุ์เลี้ยงเชื้อไรโซเบียมในอาหารเหลวได้ปริมาณและจำนวนเซลล์ตามที่ต้องการแล้วเติมเชื้อไรโซเบียมปริมาตร 2 มิลลิลิตรลงในวัสดุรองรับแบบเหลวทั้ง 4 สูตร ปริมาตร 98 มิลลิลิตร เก็บเชื้อไรโซเบียมในขวดพลาสติกที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส นับปริมาณเชื้อไรโซเบียมที่มีชีวิตด้วยวิธี viable plate count บนอาหาร YMB ที่อายุการเก็บรักษา 0 30 60 90 120 150 และ 180 วัน

การทดสอบประสิทธิภาพการส่งเสริมการเจริญเติบโตของเชื้อไรโซเบียมร่วมกับถั่วลิสงในระดับกระถาง

นำไรโซเบียมสายพันธุ์บริสุทธิ์แต่ละไอโซเลทที่มีประสิทธิภาพในการส่งเสริมการทนแล้งของถั่วลิสงซึ่งคัดเลือกได้จากการทดลองในปีที่ 1 มาไปปลูกทดสอบในระดับกระถาง เป็นเวลาประมาณ 28 วัน โดยใช้ดินจากพื้นที่แล้ง จังหวัดมหาสารคาม วางแผนการทดลองแบบ CRD จำนวน 5 ซ้ำ 12 กรรมวิธี ชุดควบคุม (ไม่ใส่เชื้อ+ไม่ใส่ปุ๋ย), positive control (ไม่ใส่เชื้อ+ใส่ปุ๋ย NPK) และใส่ไรโซเบียมแต่ละไอโซเลท+ปุ๋ย PK จำนวน 10 ไอโซเลท เก็บข้อมูลประสิทธิภาพการตรึงไนโตรเจนด้วยวิธี Acetylene Reduction Assay (ARA) และบันทึกการเจริญเติบโตของถั่ว ได้แก่ จำนวนปม น้ำหนักแห้งของต้น รากและปม

การทดสอบคุณสมบัติการทนแล้งของต้นแบบปุ๋ยชีวภาพไรโซเบียมร่วมกับพืชอาศัยในระดับแปลงทดลอง

ปลูกถั่วลิสงพันธุ์ไทนาน 9 ที่แปลงทดลองในศูนย์วิจัยและพัฒนาการเกษตรมหาสารคาม เมื่อวันที่ 8-9 พฤษภาคม 2567 ทดสอบประสิทธิภาพการส่งเสริมการเจริญเติบโตของเชื้อไรโซเบียมร่วมกับถั่วลิสงในแปลงทดลอง โดยใช้เชื้อไรโซเบียมที่คัดเลือกได้ มาทำการทดสอบกับถั่วลิสง วางแผนการทดลอง แบบ split plot 5 ซ้ำ 3 กรรมวิธี เก็บข้อมูลประสิทธิภาพการตรึงไนโตรเจนด้วยวิธี Acetylene Reduction Assay (ARA) และบันทึก

การเจริญเติบโตของถั่ว ได้แก่ จำนวนปม น้ำหนักแห้งของต้น รากและปม โดยวางแผนการทดลองแบบ Split plot จำนวน 3 ซ้ำ ดังนี้

Main plot การควบคุมการให้น้ำ 3 ระดับ

- 1) ให้น้ำในปริมาณเท่า ๆ กัน ตลอดฤดูปลูก
- 2) water stressed at early flowering (WSF)
- 3) water stressed at pegging (WSP)

Subplot การคลุมและไม่คลุมเมล็ดด้วยโรโซเปียม ได้แก่

- 1) ไม่ใส่โรโซเปียม + ไม่ใส่ปุ๋ย
- 2) ไม่ใส่โรโซเปียม + ปุ๋ย NPK
- 3) ใส่โรโซเปียมผงการค้า + ปุ๋ย PK
- 4) ใส่โรโซเปียมเหลวทอนแล้ง + ปุ๋ย PK
- 5) ใส่โรโซเปียมผงทอนแล้ง + ปุ๋ย PK

การควบคุมการให้น้ำ คือ ให้น้ำ 3 ระดับ 1) ให้น้ำในปริมาณเท่า ๆ กัน ตลอดฤดูปลูก 2) การจำกัดการให้น้ำในช่วงวิกฤตของพืช โดยเริ่มต้นให้น้ำในปริมาณเท่า ๆ กัน จนถึงก่อนระยะออกดอก (water stressed at early flowering, WSF) และ 3) การจำกัดการให้น้ำในช่วงวิกฤตของพืช โดยเริ่มต้นให้น้ำในปริมาณเท่า ๆ กัน จนถึงก่อนระยะติดฝัก (water stressed at pegging (WSP) จะงดการให้น้ำจนกระทั่งพืชแสดงอาการเหี่ยวจึงให้น้ำใหม่

การบันทึกข้อมูล

1. ลักษณะของพื้นที่ พิกัด อุณหภูมิ และปริมาณน้ำฝน
2. สมบัติทางกายภาพของดิน ได้แก่ เนื้อดิน และปริมาณความชื้นดิน
3. สมบัติทางเคมีของดิน ได้แก่ ความเป็นกรด-ด่าง อินทรีย์วัตถุ ไนโตรเจนทั้งหมด ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ และโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้
4. ปริมาณเชื้อโรโซเปียมในดินจากวิธี MPN
5. ผลการเจริญเติบโตของเชื้อบนอาหารที่เติม ACC และ EPS
6. สกุลและชนิดของโรโซเปียมแต่ละไอโซเลท
7. ผลของวัสดุรองรับที่เหมาะสมต่อการเจริญของเชื้อโรโซเปียม
8. ปริมาณเชื้อโรโซเปียมที่มีชีวิตที่อายุการเก็บรักษา 0 7 15 30 60 90 120 150 และ 180 วัน
9. ประสิทธิภาพการตรึงไนโตรเจนของโรโซเปียมในกระถางและแปลงทดลอง
10. น้ำหนักสดและน้ำหนักแห้งของต้น จำนวนและน้ำหนักปมรากในกระถางและแปลงทดลอง
11. ผลผลิตของถั่วลิสงในแปลงทดลอง
12. ปริมาณคลอโรฟิลล์ และปริมาณโปรตีนในใบ

เวลาและสถานที่

ระยะเวลา ตุลาคม 2564 - กันยายน 2567

สถานที่ ห้องปฏิบัติการกลุ่มงานวิจัยจุลินทรีย์ดิน กลุ่มวิจัยปฐพีวิทยา กองวิจัยพัฒนาปัจจัยการผลิตทางการเกษตร ศูนย์วิจัยและพัฒนาการเกษตรมหาสารคาม

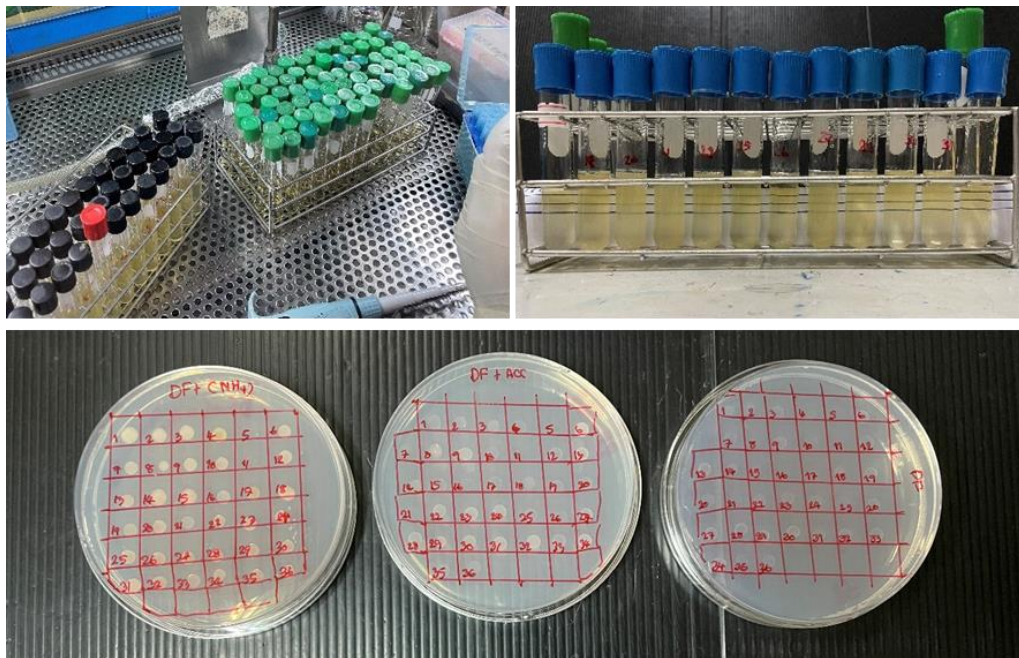
ผลการทดลองและวิจารณ์

การสำรวจและเก็บตัวอย่างในพื้นที่แห้งแล้ง

จากการสำรวจและเก็บตัวอย่างดินบริเวณแปลงปลูกถั่วลิสงและในพื้นที่ที่ไม่ถูกรบกวนในพื้นที่แล้งซ้ำซาก จังหวัดหนองบัวลำภู ขอนแก่น ชัยภูมิ มหาสารคาม และร้อยเอ็ด พบว่า ที่ระดับความลึก 0-20 ซม. เนื้อดินที่พบส่วนใหญ่เป็นดินร่วนทราย (Sandy loam) ความชื้นดิน อยู่ในช่วง 24.61 – 0.37 % ค่า pH อยู่ในช่วง 4.27 – 8.39 ปริมาณอินทรีย์วัตถุมีตั้งแต่ระดับต่ำถึงสูง (0.41- 6.96%) ปริมาณฟอสฟอรัสในรูปที่เป็นประโยชน์อยู่ในระดับต่ำถึงสูง (1.0 - 235.5 mg/kg) ปริมาณโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้อยู่ในระดับต่ำถึงสูง (6.9 - 296.5 mg/kg) ที่ระดับความลึก 20-50 ซม. เนื้อดินที่พบส่วนใหญ่เป็นทรายปนดินร่วน (Loamy sand) ความชื้นดิน อยู่ในช่วง 0.31 – 21.35 % ค่า pH อยู่ในช่วง 4.16- 7.71 ปริมาณอินทรีย์วัตถุมีตั้งแต่ระดับต่ำถึงสูง (0.1 – 3.52 %) ปริมาณฟอสฟอรัสในรูปที่เป็นประโยชน์อยู่ในระดับต่ำถึงสูง (0.6 – 499.6 mg/kg) ปริมาณโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้อยู่ในระดับต่ำถึงสูง (4.0- 204.1 mg/kg)

การคัดแยกและคัดเลือกเชื้อไรโซเบียมจากตัวอย่างดินพื้นที่แล้ง

การดักเชื้อไรโซเบียมในดินด้วยการใช้ถั่วลิสงเป็นพืชกับดัก (trap plant) สามารถคัดแยกไรโซเบียมที่มีประสิทธิภาพในการส่งเสริมการเจริญเติบโตของพืชและมีคุณสมบัติทนแล้งได้ จำนวน 59 ไอโซเลท



ภาพที่ 2 ทดสอบคุณสมบัติการสร้าง ACC deaminase ของเชื้อไรโซเบียม

การทดสอบคุณสมบัติการส่งเสริมการเจริญเติบโตและทนแล้งของเชื้อไรโซเบียม

การทดสอบคุณสมบัติในการส่งเสริมการเจริญเติบโตของพืชและมีคุณสมบัติทนแล้ง พบว่าเชื้อไรโซเบียม 120 ไอโซเลท สามารถสร้าง Indole-3-Acetic Acid (IAA) 84 ไอโซเลทสามารถเจริญเติบโตได้ในสภาวะที่มีค่าศักย์ของน้ำต่ำ (-0.73 MPa) เมื่อนำมาทดสอบการสร้าง ACC deaminase พบปริมาณโปรตีนทั้งหมดของเชื้อมีค่าอยู่ในช่วง 21.11–1,003.63 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร ข้อมูลกิจกรรมเอนไซม์ ACC deaminase อยู่ในช่วง 17.37×10^{-4} ถึง 1.33×10^{-1} หน่วยต่อมิลลิลิตร และข้อมูลกิจกรรมจำเพาะของเอนไซม์ ACC deaminase อยู่ในช่วง 3.41×10^{-7} ถึง 1.02×10^{-3} หน่วยต่อไมโครกรัมโปรตีน คัดเลือกเชื้อไรโซเบียมที่มีคุณสมบัติดีที่สุดจำนวน 10 ไอโซเลท ไปทดสอบร่วมกับถั่วลิสงในกระถางทดลอง และนำไปพัฒนาเป็นต้นแบบปุ๋ยชีวภาพไรโซเบียม (ตารางที่ 1)

ตารางที่ 1 เชื้อไรโซเบียมที่มีคุณสมบัติการส่งเสริมการเจริญเติบโตและทนแล้งของเชื้อไรโซเบียม

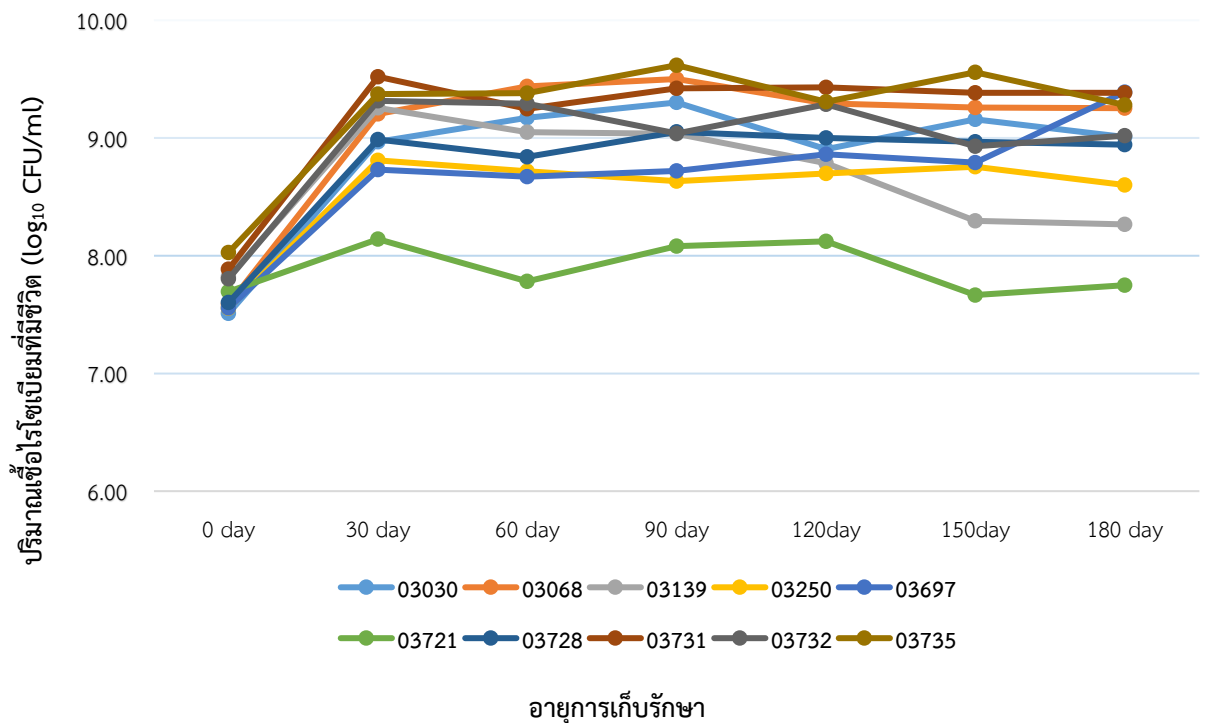
ไอโซเลท	IAA (mg/ml)	ACC deaminase activity	ชนิดและสกุล
DASA 03030	8.27	+++	<i>Bradyrhizobium yuanmingense</i>
DASA 03068	7.94	+++	<i>Bradyrhizobium yuanmingense</i>
DASA 03139	9.25	+++	<i>Bradyrhizobium daqingense</i>
DASA 03250	4.53	+++	<i>Bradyrhizobium liaoningense</i>
DASA 03697	4.36	+++	<i>Bradyrhizobium liaoningense</i>
DASA 03721	6.85	+++	<i>Bradyrhizobium daqingense</i>
DASA 03728	4.30	+++	<i>Bradyrhizobium japonicum</i>
DASA 03731	7.92	+++	<i>Bradyrhizobium japonicum</i>
DASA 03732	5.71	+++	<i>Bradyrhizobium japonicum</i>
DASA 03735	5.02	+++	<i>Bradyrhizobium liaoningense</i>

การจำแนกชนิดของเชื้อไรโซเบียมที่ผ่านการคัดเลือก

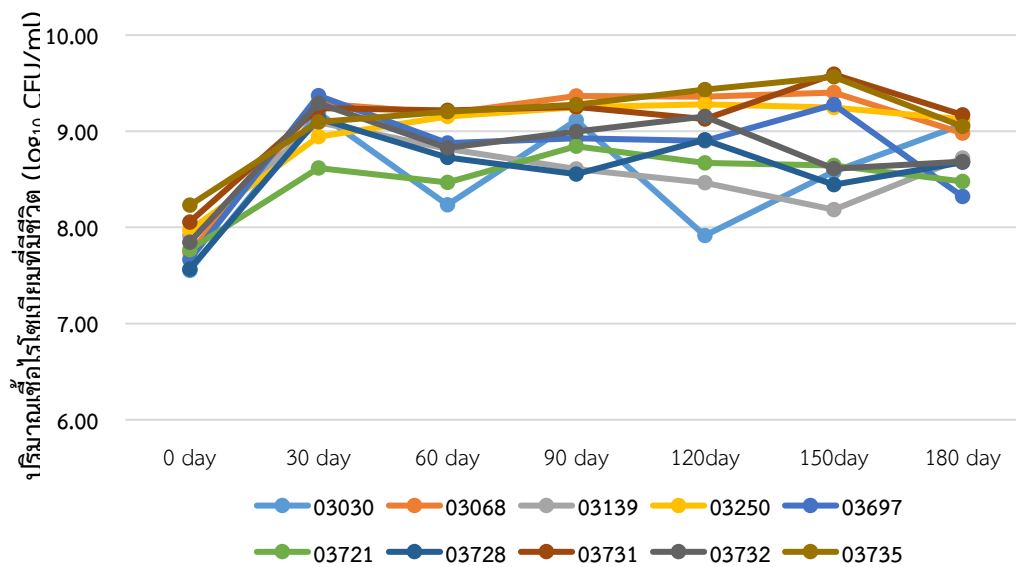
จำแนกชนิดของเชื้อไรโซเบียมทั้งหมดได้ 1 ชนิด 12 สกุล ได้แก่ *Bradyrhizobium centrosema* 7 ไอโซเลท *Bradyrhizobium daqingense* 4 ไอโซเลท *Bradyrhizobium diazoefficiens* 2 ไอโซเลท *Bradyrhizobium elkanii* 1 ไอโซเลท *Bradyrhizobium frederickii* 1 ไอโซเลท *Bradyrhizobium guangzhouense* 3 ไอโซเลท *Bradyrhizobium intermedium* 1 ไอโซเลท *Bradyrhizobium japonicum* 24 ไอโซเลท *Bradyrhizobium liaoningense* 8 ไอโซเลท *Bradyrhizobium subterraneum* 2 ไอโซเลท *Bradyrhizobium yuanmingense* 43 ไอโซเลท *Bradyrhizobium zhanjiangense* 1 ไอโซเลท โดยทุกไอโซเลทที่คัดแยกได้เก็บรักษาด้วยการทำแห้งแบบเยือกแข็ง (Freeze-drying) และ/หรือเก็บไว้ที่อุณหภูมิ -20 °C และ/หรือ -80 °C เก็บรักษาไว้ใน Culture collection ของกลุ่มงานวิจัยจุลินทรีย์ดิน

การพัฒนาต้นแบบปุ๋ยชีวภาพไรโซเบียม

ผลการทดลองพบว่าเมื่อมีอายุการเก็บรักษา 180 วัน ในสูตรอาหารมาตรฐาน (YM medium) เชื้อไรโซเบียมสายพันธุ์ 03731 มีปริมาณเชื้อที่มีชีวิตสูงสุดที่ 2.43×10^9 CFU/ml (ภาพที่ 3) สูตรอาหาร YM medium + CMC 1.5 กรัม/ลิตร เชื้อไรโซเบียมสายพันธุ์ 03731 มีปริมาณเชื้อที่มีชีวิตสูงสุดที่ 1.47×10^9 CFU/ml (ภาพที่ 4) สูตรอาหาร YM medium + Soluble starch 1 กรัม/ลิตร เชื้อไรโซเบียมสายพันธุ์ 03731 มีปริมาณเชื้อที่มีชีวิตสูงสุดที่ 3.64×10^9 CFU/ml (ภาพที่ 5) สูตรอาหาร YM medium + MgO 1 กรัม/ลิตร เชื้อไรโซเบียมสายพันธุ์ 03731 มีปริมาณเชื้อที่มีชีวิตสูงสุดที่ 1.78×10^9 CFU/ml (ภาพที่ 6) ผลการทดลองพบว่าเชื้อไรโซเบียมสายพันธุ์ 03731 มีปริมาณเชื้อที่มีชีวิตสูงสุดในทุกสูตรอาหาร และมีปริมาณสูงที่สุด 3.64×10^9 CFU/ml ในสูตรอาหาร YM medium + Soluble starch 1 กรัม/ลิตร

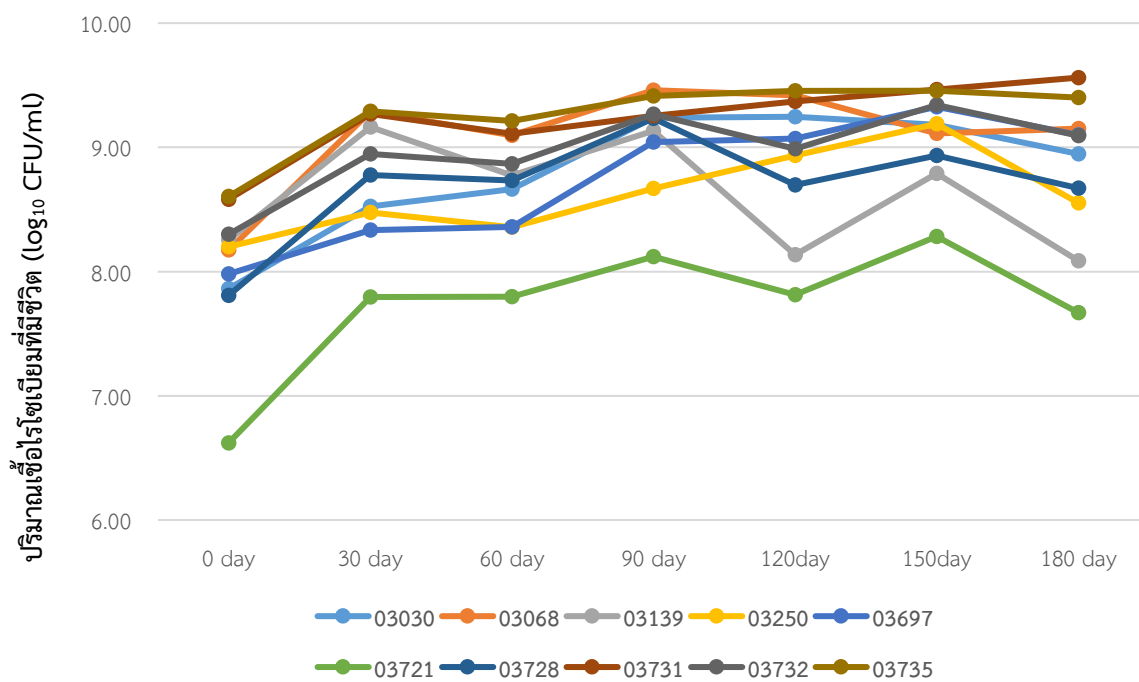


ภาพที่ 3 ปริมาณเชื้อไรโซเบียมที่มีชีวิตในสูตรอาหารมาตรฐาน (YM medium) เมื่อมีอายุการเก็บรักษา 180 วัน



อายุการเก็บรักษา

ภาพที่ 4 ปริมาณเชื้อโรโซเปียมที่มีชีวิตในสูตรอาหาร YM medium + CMC 1.5 กรัม/ลิตร เมื่อมีอายุการเก็บรักษา 180 วัน

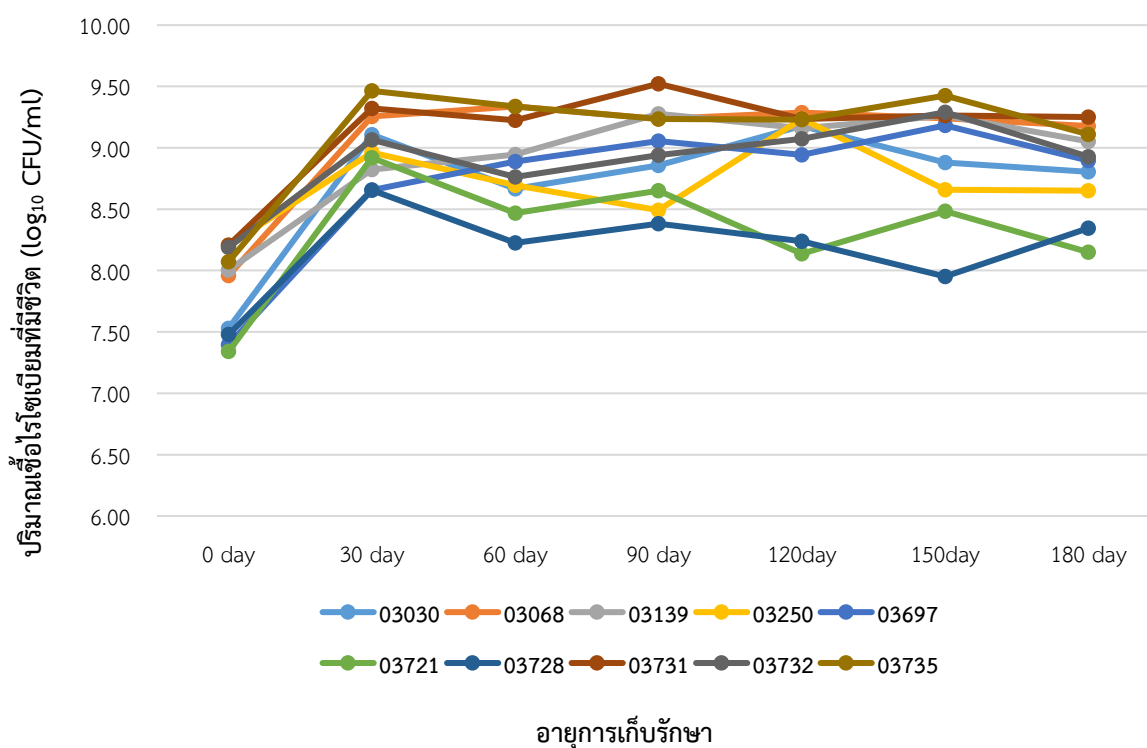


อายุการเก็บรักษา

ภาพที่ 5 ปริมาณเชื้อโรโซเปียมที่มีชีวิตในสูตรอาหาร YM medium + Soluble starch 1 กรัม/ลิตร เมื่อมีอายุการเก็บรักษา 180 วัน

การทดสอบประสิทธิภาพการส่งเสริมการเจริญเติบโตของเชื้อไรโซเบียมร่วมกับถั่วลิสงในกระถางทดลอง

การทดสอบประสิทธิภาพการส่งเสริมการเจริญเติบโตของเชื้อไรโซเบียมร่วมกับถั่วลิสงในกระถางทดลอง พบว่าเชื้อไรโซเบียมสายพันธุ์ 03139 มีประสิทธิภาพการตรึงไนโตรเจนตรึงไนโตรเจนสูงสุดที่ $3.80 \mu\text{mol/hr/plant}$ แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ เชื้อไรโซเบียมสายพันธุ์ 03710 มีจำนวนปมและน้ำหนักปมแห้งที่ 436.67 ปมและ 0.3033 กรัม แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ กรรมวิธี Positive control ให้น้ำหนักรากแห้งมากที่สุดที่ 0.6533 กรัม แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ เชื้อไรโซเบียมสายพันธุ์ 03696 ให้น้ำหนักต้นแห้งมากที่สุดที่ 5.5576 กรัม แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (ตารางที่ 2)



ภาพที่ 6 ปริมาณเชื้อไรโซเบียมที่มีชีวิตในสูตรอาหาร YM medium + MgO 1 กรัม/ลิตร เมื่อมีอายุการเก็บรักษา 180 วัน

ตารางที่ 2 ทดสอบประสิทธิภาพการส่งเสริมการเจริญเติบโตของเชื้อไรโซเบียมร่วมกับถั่วลิสง

กรรมวิธี (เชื้อไร โซเบียม)	จำนวนปม	น.น.ปมแห้ง (กรัม/ต้น)	น.น.รากแห้ง (กรัม/ต้น)	น.น.ต้นแห้ง (กรัม/ต้น)	ประสิทธิภาพการ ตรึงไนโตรเจน ($\mu\text{mol/hr/plant}$)
control	0.0000 f	0.0000 f	0.4167 b	2.3467 e	0.3333 c
Positive control	0.0000 f	0.0000 f	0.6533 a	5.2067 ab	0.6900 c
03139	327.00 b	0.2600 ab	0.4000 b	4.0900 abcde	3.8000 a
03731	194.00 c	0.3133 a	0.4567 b	5.5567 a	3.2067 ab
03735	145.33 cde	0.1333 cd	0.5100 ab	4.8267 abc	2.4433 b
03697	73.333 def	0.1933 bc	0.3733 b	3.1000 cde	2.3600 b
03697	161.67 cd	0.2000 bc	0.4500 b	4.6600 abc	2.2433 b
03068	160.67 cd	0.1533 c	0.3467 b	3.6033 bcde	2.1933 b
03721	436.67 a	0.3033 a	0.4233 b	3.5733 bcde	2.1633 b
03030	200.33 c	0.1600 c	0.4333 b	4.3367 abcd	2.1533 b
03250	47.000 ef	0.0400 ef	0.3433 b	2.5833 de	2.0933 b
03732	93.333 cdef	0.0800 de	0.4700 b	4.6500 abc	2.0867 b
CV.	41.54	26.04	22.63	27.26	31.00

ค่าที่อยู่ในคอลัมน์เดียวกันที่ตามด้วยตัวอักษรเดียวกันไม่มีค่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($\alpha = 0.05$, DMRT)

การทดสอบประสิทธิภาพการส่งเสริมการเจริญเติบโตของเชื้อไรโซเบียมร่วมกับถั่วลิสงในแปลงทดลอง

ผลการทดลองพบว่า การรดน้ำช่วงออกดอก กรรมวิธีไรโซเบียมผงทนแล้ง+ PK มีประสิทธิภาพการตรึงไนโตรเจนตรึงไนโตรเจนสูงสุดที่ 6.16 $\mu\text{mol/hr/ต้น}$ แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ การให้น้ำปกติ กรรมวิธีไรโซเบียมเหลวทนแล้ง+ PK มีจำนวนปมมากที่สุดที่ 123.13 ปม แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ กรรมวิธีไรโซเบียมผงการค้า + PK มีน้ำหนักแห้งปม น้ำหนักแห้งราก และน้ำหนักแห้งต้นมากที่สุดที่ 0.18 กรัม 1.20 กรัม และ 16.36 กรัม ตามลำดับกิโลกรัมต่อไร่ แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (ตารางที่ 3)

ตารางที่ 3 ประสิทธิภาพการตรึงไนโตรเจนและการเจริญเติบโตของถั่วลิสงในแปลงทดลอง

การให้น้ำ	วิธีการใส่ปุ๋ย	จำนวนปม	น้ำหนักแห้งปม (กรัม/ต้น)	น.น.แห้งราก (กรัม/ต้น)	น.น.แห้งต้น (กรัม/ต้น)	ประสิทธิภาพการ ตรึงไนโตรเจน ($\mu\text{mol/hr/plant}$)
ให้น้ำปกติ	ไม่ใส่ไรโซเบียม ไม่ใส่ปุ๋ย (b1)	17.88 C	0.03 C	0.72 BC	8.89 CD	2.65 B
	ไม่ใส่ไรโซเบียม + ใส่ปุ๋ยNPK (b2)	50.75 ABC	0.07 BC	1.08 AB	14.69 AB	2.27 B
	ไรโซเบียมผงการค้า + PK (b3)	102.63 AB	0.18 A	1.20 A	16.36 A	1.88 B
	ไรโซเบียมเหลวทนแล้ง + PK	102.38 AB	0.15 AB	0.91 ABC	14.81 AB	2.25 B
	ไรโซเบียมผงทนแล้ง + PK (b5)	60.75 ABC	0.09 ABC	0.66 BC	10.18 BCD	4.18 AB
งดน้ำช่วงแห้ง เข็ม (WSP)	ไม่ใส่ไรโซเบียม ไม่ใส่ปุ๋ย (b1)	25.25 C	0.02 C	0.65 C	8.78 D	0.95 B
	ไม่ใส่ไรโซเบียม + NPK (b2)	17.25 C	0.01 C	0.90 ABC	13.70 ABC	1.64 B
	ไรโซเบียมผงการค้า + PK (b3)	50.75 ABC	0.07 BC	0.73 BC	10.83 BCD	1.36 B
	ไรโซเบียมเหลวทนแล้ง + PK	50.13 ABC	0.06 BC	0.82 ABC	12.62 ABCD	1.19 B
	ไรโซเบียมผงทนแล้ง + PK (b5)	61.38 ABC	0.10 ABC	0.72 BC	12.94 ABCD	1.91 B
งดน้ำช่วงออก ดอก (WSF)	ไม่ใส่ไรโซเบียม ไม่ใส่ปุ๋ย (b1)	11.63 C	0.0250 C	0.65 C	12.32 ABCD	4.03 AB
	ไม่ใส่ไรโซเบียม + ปุ๋ยNPK (b2)	26.25 C	0.04 C	0.88 ABC	14.89 AB	3.70 AB
	ไรโซเบียมผงการค้า + PK (b3)	38.88 BC	0.06 BC	0.67 BC	11.94 ABCD	3.41 AB
	ไรโซเบียมเหลวทนแล้ง + PK	123.13 A	0.08 ABC	0.83 ABC	15.87 A	3.49 AB
	ไรโซเบียมผงทนแล้ง + PK (b5)	51.00 ABC	0.07 ABC	0.84 ABC	10.66 BCD	6.16 A
water		Ns	ns	ns	ns	*
nutrient		*	*	*	*	ns
water*nutrient		ns	ns	ns	ns	ns
CV(Rep*water)		87.94	90.59	25.61	30.22	50.37
CV(Rep*water*nutrient)		99.28	100.8	18.68	25.1	89.02

ค่าที่อยู่ในคอลัมน์เดียวกันที่ตามด้วยตัวอักษรเดียวกันไม่มีค่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($\alpha = 0.05$, DMRT)

ผลผลิตถั่วลิสงในแปลงทดลอง

ผลการทดลองพบว่า การให้น้ำปกติ กรรมวิธีไม่ใส่ไรโซเบียม + ใส่ปุ๋ย NPK มีน้ำหนักแห้งทั้งหมด และน้ำหนักแห้งฝักสูงที่สุดที่ 1,405.3 กิโลกรัมต่อไร่ และ 229.4 กิโลกรัมต่อไร่ แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติตามลำดับ กรรมวิธีไรโซเบียมผงการค้า + PK มีน้ำหนักแห้งเมล็ดสูงที่สุดที่ 150.67 กิโลกรัมต่อไร่ แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (ตารางที่ 4)

ตารางที่ 4 ผลผลิตถั่วลิสงในแปลงทดลอง

การให้น้ำ	วิธีการใส่ปุ๋ย	น้ำหนักสดต้น (กก./ไร่)	น้ำหนักสดฝัก (กก./ไร่)	น้ำหนักแห้งทั้งหมด (กก./ไร่)	น้ำหนักแห้งฝัก (กก./ไร่)	น้ำหนักแห้งเมล็ด (กก./ไร่)
ให้น้ำปกติ	ไม่ใส่โรตเปียม ไม่ใส่ปุ๋ย (b1)	3,924.00	408.00	624.5 B	223.87 ABC	130.76 AB
	ไม่ใส่โรตเปียม + NPK (b2)	5,968.00	594.00	1,405.3 A	299.40 A	131.50 AB
	โรตเปียมผงการค้า + PK (b3)	4,768.00	442.00	1,023.5 AB	250.36 AB	150.67 A
	โรตเปียมเหลวทอนแล้ง + PK (b4)	3,919.00	338.00	896.0 AB	184.67 ABC	91.63 ABC
	โรตเปียมผงทอนแล้ง + PK (b5)	4,512.00	348.00	1,013.0 AB	173.57 ABC	54.34 BC
งดน้ำช่วงแห้งเต็ม (WSP)	ไม่ใส่โรตเปียม ไม่ใส่ปุ๋ย (b1)	3,174.00	342.00	1,175.2 AB	114.90 BC	45.58 C
	ไม่ใส่โรตเปียม + NPK (b2)	3,726.00	292.00	1,262.0 AB	112.35 BC	38.25 C
	โรตเปียมผงการค้า + PK (b3)	4,084.00	318.00	1,057.6 AB	117.77 BC	45.62 C
	โรตเปียมเหลวทอนแล้ง + PK (b4)	3,462.00	208.00	1,170.2 AB	123.71 BC	91.63A BC
	โรตเปียมผงทอนแล้ง + PK (b5)	4,694.00	256.00	1,232.8 AB	92.00 BC	31.36 C
งดน้ำช่วงออกดอก (WSF)	ไม่ใส่โรตเปียม ไม่ใส่ปุ๋ย (b1)	3,984.00	430.00	1,519.0 A	163.60 ABC	61.72B C
	ไม่ใส่โรตเปียม + NPK (b2)	4,238.00	368.00	1,317.0 AB	172.22 ABC	61.60B C
	โรตเปียมผงการค้า + PK (b3)	3,624.00	406.00	1,261.3 AB	138.29 ABC	55.69B C
	โรตเปียมเหลวทอนแล้ง + PK (b4)	2,938.00	366.00	941.8 AB	123.71 BC	48.77B C
	โรตเปียมผงทอนแล้ง + PK (b5)	3,456.00	366.00	1,224.3 AB	163.42 ABC	53.23 BC
water		ns	ns	ns	*	*
nutrient		ns	ns	ns	ns	ns
water*nutrient		ns	ns	ns	ns	ns
CV(Rep*water)		82.44	73.59	64.89	75.66	82.79
CV(Rep*water*nutrient)		36.14	47.24	41.31	70.65	80.79

ค่าที่อยู่ในคอลัมน์เดียวกันที่ตามด้วยตัวอักษรเดียวกันไม่มีค่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($\alpha = 0.05$, DMRT)

ปริมาณคลอโรฟิลล์และโปรตีนของถั่วลิสงในแปลงทดลอง

ปริมาณคลอโรฟิลล์ในใบช่วงเก็บเกี่ยวผลผลิต พบว่าการรดให้น้ำในช่วงติดฝัก กรรมวิธีโรโซเปียมผงการค้า + PK มีปริมาณคลอโรฟิลล์สูงที่สุดที่ 40.25 µg/g แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (ตารางที่ 4) ปริมาณโปรตีนที่สะสมในใบในช่วงการเจริญเติบโต พบว่าการรดน้ำในช่วงออกดอก กรรมวิธีไม่ใส่โรโซเปียม + NPK มีปริมาณโปรตีนสะสมสูงที่สุดที่ 6.34 mg/g แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ในช่วงเก็บผลผลิต พบว่าการให้น้ำปกติ กรรมวิธีไม่ใส่โรโซเปียม + NPK มีปริมาณโปรตีนสะสมสูงที่สุดที่ 5.66 mg/g แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (ตารางที่ 5)

ตารางที่ 5 ปริมาณคลอโรฟิลล์ และโปรตีนของถั่วลิสงในแปลงทดลอง

การให้น้ำ	วิธีการใส่ปุ๋ย	คลอโรฟิลล์ ช่วงเก็บผลผลิต (mg/g)	โปรตีน ช่วงการ เจริญเติบโต (mg/g)	โปรตีน ช่วงเก็บผลผลิต (mg/g)
ให้น้ำปกติ (A1)	ไม่ใส่โรโซเปียม ไม่ใส่ปุ๋ย (b1)	38.77 ABCD	1.39 B	1.54 B
	ไม่ใส่โรโซเปียม + ใส่ปุ๋ยNPK (b2)	37.69 ABCDE	1.62 B	5.66 A
	โรโซเปียมผงการค้า + PK (b3)	35.48 EF	1.58 B	1.95 B
	โรโซเปียมเหลวทนแล้ง + PK (b4)	35.26 EF	1.92 B	2.08 B
	โรโซเปียมผงทนแล้ง + PK (b5)	37.57 ABCDEF	1.89 B	1.42 B
รดน้ำช่วงติดฝัก (WSP)	ไม่ใส่โรโซเปียม ไม่ใส่ปุ๋ย (b1)	37.66 ABCDE	1.38 B	1.51 B
	ไม่ใส่โรโซเปียม + ใส่ปุ๋ยNPK (b2)	39.40 AB	3.05 B	0.92 B
	โรโซเปียมผงการค้า + PK (b3)	40.25 A	1.84 B	1.74 B
	โรโซเปียมเหลวทนแล้ง + PK (b4)	39.32 ABC	1.92 B	1.89 B
	โรโซเปียมผงทนแล้ง + PK (b5)	38.62 ABCD	1.43 B	1.80 B
รดน้ำช่วงออกดอก (WSF)	ไม่ใส่โรโซเปียม ไม่ใส่ปุ๋ย (b1)	36.55 CDEF	1.59 B	1.84 B
	ไม่ใส่โรโซเปียม + ใส่ปุ๋ยNPK (b2)	34.78 F	6.34 A	2.86 AB
	โรโซเปียมผงการค้า + PK (b3)	36.63 BCDEF	1.89 B	2.29 B
	โรโซเปียมเหลวทนแล้ง + PK (b4)	36.02 DEF	2.14 B	1.34 B
	โรโซเปียมผงทนแล้ง + PK (b5)	36.16 DEF	1.41 B	0.77 B
water		*	ns	ns
nutrient		ns	*	ns
water*nutrient		ns	*	ns
CV(Rep*water)		5.3	85.27	83.94
CV(Rep*water*nutrient)		4.93	65.76	99.91

ค่าที่อยู่ในคอลัมน์เดียวกันที่ตามด้วยตัวอักษรเดียวกันไม่มีค่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($\alpha = 0.05$, DMRT)

สรุปผลการทดลอง

ตัวอย่างดินที่เก็บจากแปลงปลูกถั่วลิสงและในพื้นที่ที่ไม่ถูกรบกวนในพื้นที่แล้งซ้ำซาก จังหวัดหนองบัวลำภู ขอนแก่น ชัยภูมิ มหาสารคาม และร้อยเอ็ด เมื่อทำการวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพและเคมีของดิน พบว่า ที่ระดับความลึก 0–20 ซม. เนื้อดินที่พบส่วนใหญ่เป็นดินร่วนทราย (Sandy loam) ความชื้นดิน อยู่ในช่วง 24.61 – 0.37 % ค่า pH อยู่ในช่วง 4.27 – 8.39 ปริมาณอินทรีย์วัตถุมีตั้งแต่ระดับต่ำถึงสูง (0.41– 6.96%) ปริมาณฟอสฟอรัสในรูปที่เป็นประโยชน์อยู่ในระดับต่ำถึงสูง (1.0 – 235.5 mg/kg) ปริมาณโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้อยู่ในระดับต่ำถึงสูง (6.9 – 296.5 mg/kg) ที่ระดับความลึก 20–50 ซม. เนื้อดินที่พบส่วนใหญ่เป็นทรายปนดินร่วน (Loamy sand) ความชื้นดิน อยู่ในช่วง 0.31 – 21.35 % ค่า pH อยู่ในช่วง 4.16– 7.71 ปริมาณอินทรีย์วัตถุมีตั้งแต่ระดับต่ำถึงสูง (0.1 – 3.52 %) ปริมาณฟอสฟอรัสในรูปที่เป็นประโยชน์อยู่ในระดับต่ำถึงสูง (0.6 – 499.6 mg/kg) ปริมาณโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้อยู่ในระดับต่ำถึงสูง (4.0– 204.1 mg/kg) สามารถคัดแยกไรโซเบียมที่มีประสิทธิภาพในการส่งเสริมการเจริญเติบโตของพืช และมีคุณสมบัติทนแล้งได้ จำนวน 59 ไอโซเลท ทดสอบคุณสมบัติในการส่งเสริมการเจริญเติบโตของพืชและคุณสมบัติทนแล้งเชื้อไรโซเบียมที่แยกจากพื้นที่แล้ง และจาก stock culture ในห้องปฏิบัติการ จำนวน 167 ไอโซเลท พบว่าเชื้อไรโซเบียม 120 ไอโซเลท สามารถสร้างสร้าง Indole-3-Acetic Acid (IAA) การทดสอบคุณสมบัติการทนแล้งของเชื้อพบว่า 84 ไอโซเลทสามารถเจริญเติบโตได้ในสถานะแล้ง

การพัฒนาต้นแบบปุ๋ยชีวภาพไรโซเบียม เมื่อมีอายุการเก็บรักษา 180 วัน พบว่าในสูตรอาหารมาตรฐาน สูตรอาหาร YM medium + CMC 1.5 กรัม/ลิตร สูตรอาหาร YM medium + Soluble starch 1 กรัม/ลิตร และสูตรอาหาร YM medium + MgO 1 กรัม/ลิตร เชื้อไรโซเบียมสายพันธุ์ 03731 มีปริมาณเชื้อที่มีชีวิตสูงสุดที่ 2.43×10^9 CFU/ml 1.47×10^9 CFU/ml 3.64×10^9 CFU/ml และ 1.78×10^9 CFU/ml ตามลำดับ เชื้อไรโซเบียมสายพันธุ์ DASA 03731 ในสูตรอาหาร YM medium + Soluble starch 1 กรัม/ลิตร มีปริมาณเชื้อที่มีชีวิตสูงสุดที่ 3.64×10^9 CFU/ml เหมาะสมที่จะนำไปพัฒนาเป็นปุ๋ยชีวภาพไรโซเบียมสำหรับถั่วลิสง

ประสิทธิภาพการส่งเสริมการเจริญเติบโตของเชื้อไรโซเบียมร่วมกับถั่วลิสงในกระถางทดลอง ผลการทดลองพบว่าเชื้อไรโซเบียมสายพันธุ์ DASA 03139 มีประสิทธิภาพการตรึงไนโตรเจนตรึงไนโตรเจนสูงสุดที่ $3.80 \mu\text{mol/hr/plant}$ แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ เชื้อไรโซเบียมสายพันธุ์ DASA 03710 มีจำนวนปมและน้ำหนักปมแห้งที่ 436.67 ปมและ 0.3033 กรัม แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ กรรมวิธี Positive control ให้น้ำหนักรากแห้งมากที่สุดที่ 0.6533 กรัม แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ เชื้อไรโซเบียมสายพันธุ์ DASA 03696 ให้น้ำหนักต้นแห้งมากที่สุดที่ 5.5576 กรัม แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

ประสิทธิภาพการส่งเสริมการเจริญเติบโตของเชื้อไรโซเบียมร่วมกับถั่วลิสงในแปลงทดลอง พบว่าการรดน้ำช่วงออกดอก กรรมวิธีไรโซเบียมผงทนแล้ง+ PK มีประสิทธิภาพการตรึงไนโตรเจนตรึงไนโตรเจนสูงสุดที่ $6.16 \mu\text{mol/hr/plant}$ แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ การให้น้ำปกติ กรรมวิธีไรโซเบียมเหลวทนแล้ง+ PK มีจำนวนปมมากที่สุดที่ 123.13 ปม แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ กรรมวิธีไรโซเบียมผงการค้า + PK มีน้ำหนักแห้งปม น้ำหนักแห้งราก และน้ำหนักแห้งต้นมากที่สุดที่ 0.18 กรัม 1.20 กรัม และ 16.36 กรัม ตามลำดับ กิโลกรัมต่อไร่ ผลผลิตของถั่วลิสงในแปลงทดลองพบว่า การให้น้ำปกติ กรรมวิธีไม่ใส่ไรโซเบียม + ใส่ปุ๋ย NPK มีน้ำหนักแห้งทั้งหมด และน้ำหนักแห้งฝักสูงที่สุดที่ 1,405.3 กิโลกรัมต่อไร่ และ 229.4 กิโลกรัมต่อไร่ แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ตามลำดับ กรรมวิธีไรโซเบียมผงการค้า + PK มีน้ำหนักแห้งเมล็ดสูงที่สุดที่ 150.67 กิโลกรัมต่อไร่ แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

ปริมาณคลอโรฟิลล์ในใบช่วงเก็บเกี่ยวผลผลิต พบว่าการรดให้น้ำในช่วงติดฝัก กรรมวิธีโรโซเปียม ผงการค้า + PK มีปริมาณคลอโรฟิลล์สูงที่สุดที่ 40.25 $\mu\text{g/g}$ แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ปริมาณโพรงินที่สะสมในใบในช่วงการเจริญเติบโต พบว่าการรดน้ำในช่วงออกดอก กรรมวิธีไม่ใส่โรโซเปียม + NPK มีปริมาณโพรงินสะสมสูงที่สุดที่ 6.34 mg/g แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ในช่วงเก็บผลผลิต พบว่าการให้น้ำปกติ กรรมวิธีไม่ใส่โรโซเปียม + NPK มีปริมาณโพรงินสะสมสูงที่สุดที่ 5.66 mg/g แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

คำขอบคุณ

งานวิจัยนี้ ได้รับทุนสนับสนุนจากสำนักงานคณะกรรมการส่งเสริมวิทยาศาสตร์ วิจัยและนวัตกรรม (สกสว.) และศูนย์วิจัยและพัฒนาการเกษตรมหาสารคามที่ให้ความอนุเคราะห์แปลงทดลอง คณะผู้วิจัยขอขอบคุณมา ณ โอกาสนี้ด้วย

การนำผลงานวิจัยไปใช้ประโยชน์

สามารถพัฒนาต้นแบบปุ๋ยชีวภาพโรโซเปียมถั่วลิสง เพื่อนำไปใช้เพิ่มศักยภาพการผลิตถั่วลิสงในพื้นที่แล้ง

เอกสารอ้างอิง

- Bashan, Y., G. Holguin and L.E. de-Bashan. 2004. *Azospirillum*-plant relationships: Physiological, molecular, agricultural, and environmental advances. *Can. J. Microbiol.* 50: 521–577.
- Cheng, Z., E. Park and B.R. Glick. 2007. 1-Aminocyclopropane1-carboxylate deaminase from *Pseudomonas putida* UW4 facilitates the growth of canola in the presence of salt. *Can. J. Microbiol.* 53: 912–918.
- Daffonchio, D., H. Hirt and G. Berg. 2015. Plant-microbe interactions and water management in arid and saline soils, pp. 265–276. *In* B. Lugtenberg, ed. *Principles of Plant-Microbe Interactions*. Springer, Cham.
- Esfahani, M.N. and A. Mostajeran. 2011. Rhizobial strain involvement in symbiosis efficiency of chickpea-rhizobia under drought stress: plant growth, nitrogen fixation and antioxidant enzyme activities. *Acta Physiol. Plant.* 33: 1075–1083.
- Farooq, M., A. Wahid, N. Kobayashi, D. Fujita and S.M.A. Basra. 2009. Plant drought stress: effects, mechanisms and management. *Agron. Sustain. Dev.* 29: 185–212.
- Mazid, M. and T.A. Khan. 2015. Future of bio-fertilizers in Indian agriculture: An overview. *Int. J. Agric. Food Res.* 3: 10–23.
- Pimratch, S., S. Jogloy, N. Vorasoot, B. Toomsan, A. Patanothai and C. Holbrook. 2008. Relationship between biomass production and nitrogen fixation under drought-stress conditions in peanut genotypes with different levels of drought resistance. *J. Agron. Crop Sci.* 194: 15–25.
- Szymanska R., D. Latowski, B. Nowicka and K. Strzalka. 2014. Lipophilic molecules as a part of antioxidant system in plants, pp. 321–344. *In* P. Ahmad, ed. *Oxidative Damage to Plants*. Elsevier, USA.
- Vurukonda, S.S.K.P., S. Vardharajula, M. Shrivastava and A. SkZ. 2016. Enhancement of drought stress tolerance in crops by plant growth promoting rhizobacteria. *Microbiological Research* 184: 13–24.

การเพิ่มศักยภาพการใช้แบคทีเรียละลายโพแทสเซียม
ในการส่งเสริมความทนแล้งให้กับข้าวโพดในพื้นที่แล้ง : แบคทีเรียละลายโพแทสเซียมที่
มีประสิทธิภาพในการสร้างเอนไซม์ ACC deaminase ที่คัดแยกได้จากดินใน
ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ

Potential enhancement of potassium-solubilizing bacteria to promote
drought tolerance in maize in drought-prone areas : potassium-
solubilizing bacteria with ACC deaminase production efficiency isolated
from soil in the Northeastern region

กนกอร บุญพา¹ สอนทยา ขำตึบ¹ อำนาจ เอี่ยมวิจารณ์¹ รัฐกร สืบคำ² กิตจเมธ แจ่มศิริกุล¹
Kanokon Bunpha¹ Sontaya Khamtib¹ Amnat Eamvijarn¹ Ratgon Suebkam²
Kitjamate Jangsirikul¹

กลุ่มวิจัยปฐพีวิทยา

กองวิจัยพัฒนาปัจจัยการผลิตทางการเกษตร

ABSTRACT

This study aimed to identify potassium-solubilizing bacteria (KSB) with high efficiency in producing ACC deaminase by isolating strains from soil samples collected from maize fields and public forest areas in drought-prone regions of Nong Bua Lamphu, Khon Kaen, Chaiyaphum, Maha Sarakham, and Roi Et provinces, as well as from strains preserved at the soil microbiology research subgroup. The results revealed that 100 KSB isolates were able to grow under low water potential conditions (-0.73 MPa), did not hemolyze red blood cells, and could produce ACC deaminase. The enzyme activity ranged from 1.32×10^{-4} to 1.33×10^{-1} units/mL, with specific enzyme activity ranging from 2.63×10^{-6} to 1.02×10^{-3} units/ μ g protein. Molecular identification based on 16S rRNA gene sequencing revealed that the isolates could be classified into 18 genera, with the most common genera being *Burkholderia* (19 isolates), *Dyella* (13 isolates), *Leifsonia* (12 isolates), and *Enterobacter* (9 isolates), all of which have been reported to be involved in potassium solubilization and ACC deaminase production. The KSB isolate with the highest specific ACC deaminase activity was *Dyella jiangningensis* (KSM220922), which shows promise for further research and development as a biofertilizer to improve plant drought tolerance.

Keywords: Bacteria; efficiency; biofertilizer; potassium

¹ กลุ่มวิจัยปฐพีวิทยา กองวิจัยพัฒนาปัจจัยการผลิตทางการเกษตร กรมวิชาการเกษตร กรุงเทพฯ 10900

¹ Soil Science Research Group, Agriculture Production Science Research and Development Division, Department of Agriculture, Bangkok, 10900

² ศูนย์วิจัยพืชไร่ขอนแก่น อ.เมือง จ.ขอนแก่น 40000

² Khon Kaen Field Crops Research Center, Mueang, Khon Kaen, 40000

บทคัดย่อ

การศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อหาแบคทีเรียละลายโพแทสเซียม (K-solubilizing bacteria: KSB) ที่มีประสิทธิภาพในการผลิตเอนไซม์ ACC deaminase โดยดำเนินการคัดแยกเชื้อจากตัวอย่างดินแปลงข้าวโพดและพื้นที่ป่าสาธิตประโยชน์ในพื้นที่แห้งแล้ง จังหวัดหนองบัวลำภู ขอนแก่น ชัยภูมิ มหาสารคาม และร้อยเอ็ด และจากเชื้อพันธุ์ที่เก็บรักษาไว้ใน Culture collection ของกลุ่มงานวิจัยจุลินทรีย์ดิน ผลการวิจัยพบแบคทีเรียละลายโพแทสเซียมที่สามารถเจริญได้ในสภาวะศักย์ของน้ำต่ำ (-0.73 MPa) ไม่ย่อยสลายเม็ดเลือดแดง และสามารถสร้างเอนไซม์ ACC deaminase ได้ จำนวน 100 ไอโซเลท โดยมีค่ากิจกรรมเอนไซม์อยู่ในช่วง 1.32×10^{-4} ถึง 1.33×10^{-1} หน่วย/มิลลิลิตร และค่ากิจกรรมจำเพาะของเอนไซม์อยู่ในช่วง 2.63×10^{-6} ถึง 1.02×10^{-3} หน่วย/ไมโครกรัมโปรตีน และเมื่อนำไปจำแนกชนิดโดยการเปรียบเทียบลำดับนิวคลีโอไทด์บริเวณยีน 16S rRNA สามารถจำแนกได้ 18 สกุล โดยสกุลที่พบมากที่สุด ได้แก่ *Burkholderia* (19 ไอโซเลท), *Dyella* (13 ไอโซเลท), *Leifsonia* (12 ไอโซเลท) และ *Enterobacter* (9 ไอโซเลท) ซึ่งหลายสกุลมีรายงานว่าเกี่ยวข้องกับการละลายโพแทสเซียมและการผลิตเอนไซม์ ACC deaminase โดยแบคทีเรียละลายโพแทสเซียมที่มีกิจกรรมจำเพาะของเอนไซม์สูงสุด ได้แก่ KSM220922 *Dyella jiangningensis* ซึ่งเหมาะสมในการนำไปศึกษาต่อในการพัฒนาเป็นปุ๋ยชีวภาพที่ช่วยเพิ่มความทนทานต่อสภาวะแห้งแล้งในพืชต่อไป

คำสำคัญ: แบคทีเรีย; ประสิทธิภาพ; ปุ๋ยชีวภาพ; โพแทสเซียม

บทนำ

โพแทสเซียม (K) เป็นธาตุอาหารหลักที่สำคัญต่อการเจริญเติบโตและผลผลิตของพืช โดยพืชสามารถดูดใช้ในรูปแบบโพแทสเซียมไอออน (K^+) แต่ไม่สามารถนำโพแทสเซียมในรูปแบบแร่ไปใช้ได้ งานวิจัยพบว่าแบคทีเรียหลายสกุล เช่น *Bacillus*, *Burkholderia*, *Enterobacter*, *Paenibacillus* และ *Pseudomonas* สามารถละลายแร่โพแทช เช่น เฟลด์สปาร์ มัสโคไวต์ และไบโอไทต์ ให้อยู่ในรูปแบบที่พืชนำไปใช้ได้ (Etesami et al., 2017; Sarikhani et al., 2018; Sun et al., 2020; Boubekri et al., 2021; Pérez-Pérez et al., 2021) นอกจากนี้ แบคทีเรียบางชนิดยังช่วยให้พืชเจริญเติบโตภายใต้สภาวะเครียด เช่น ความแห้งแล้งและความเค็ม โดยเหนี่ยวนำระบบต้านทานแบบไม่เฉพาะเจาะจง (Induced Systemic Resistance: ISR) ซึ่งพืชแต่ละชนิดตอบสนองต่อความแล้งได้แตกต่างกัน ขึ้นอยู่กับความรุนแรงและระยะเวลาการขาดน้ำ เช่น ปิดปากใบ ม้วนใบ ลดพื้นที่ใบ หรือเปลี่ยนแปลงช่วงการออกดอก (plasticity) ภายใต้ความเครียด พืชมักสะสมอนุมูลอิสระ (ROS) และ ACC ซึ่งเป็นสารตั้งต้นของเอทิลินที่กระตุ้นการแก่และการร่วงของใบ แบคทีเรีย เช่น *Azospirillum*, *Burkholderia*, *Bacillus*, *Bradyrhizobium*, *Pseudomonas* และ *Paenibacillus* สามารถผลิตเอนไซม์ ACC deaminase (ACCd) เพื่อย่อย ACC ให้เป็นแอมโมเนียและ α -ketobutyrate ลดการผลิตเอทิลินและบรรเทาความเครียดของพืช (Cheng et al., 2007; Vurukonda et al., 2016) แบคทีเรียเหล่านี้ยังช่วยรักษาศักยภาพน้ำรอบราก และผลิตสารควบคุมการเจริญเติบโตคล้ายฮอร์โมนพืช เช่น ABA, GA, cytokinins และ IAA อีกทั้งกระตุ้นให้พืชสร้างสารป้องกันความเครียด เช่น proline, choline และ trehalose ช่วยรักษาสสมดุลออสโมติกและลดความเสียหายต่อดีเอ็นเอ โปรตีน และไขมัน (Farooq et al., 2009; Daffonchio et al., 2015) งานวิจัยนี้มีเป้าหมายเพื่อคัดแยกแบคทีเรียละลายโพแทสเซียมจากพื้นที่แล้งซ้ำซากในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ที่สามารถผลิตเอนไซม์ ACCd และนำไปศึกษา ร่วมกับพืชภายใต้สภาวะเครียด เพื่อคัดเลือกสายพันธุ์ที่มีศักยภาพสำหรับใช้ประโยชน์ในภาคเกษตรกรรมต่อไป

อุปกรณ์และวิธีการ

อุปกรณ์

1. อุปกรณ์ภาคสนามสำหรับเก็บตัวอย่างดินและพืช เช่น พลั่วมือ ถุงพลาสติก ถังเก็บความเย็น ฯลฯ
2. อาหารเพาะเลี้ยงแบคทีเรีย เช่น Nutrient agar, Tryptic soy broth (TSB), Alexandrow medium, DF salts minimal medium, 1-aminocyclopropane-1-carboxylic acid (ACC), polyethylene glycol ฯลฯ
3. สารเคมีสำหรับวิเคราะห์ตัวอย่างดิน เช่น กรดซัลฟิวริก (H_2SO_4) กรดไฮโดรคลอริก (HCl) กรดไนตริก (HNO_3) กรดเปอร์คลอริก ($HClO_4$) โซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) เพอร์รัสแอมโมเนียมซัลเฟต ($Fe(NH_4)_2(SO_4) \cdot 6H_2O$) แอมโมเนียมโมลิบเดต ($(NH_4)_6Mo_7O_{24} \cdot 4H_2O$) กรดฟอสฟอริก (H_3PO_4) ฯลฯ
4. สารเคมีสำหรับงานอณูชีววิทยา เช่น สีย้อมดีเอ็นเอ, Agarose, TAE buffer, DNA primer, One PCR ultra mastermix ฯลฯ
5. วัสดุและอุปกรณ์วิทยาศาสตร์ เช่น จานเพาะเลี้ยง (petri dish) หลอดทดลอง (test tube) กระบอกตวง (cylinder) ปีกเกอร์ (beaker) ขวดรูปชมพู่ (erlenmeyer flask) กรวยกรอง (funnel) บิวเรต (buret) ขวดวัดปริมาตร (volumetric flask) ปิเปตแก้ว (pipette) กระดาษกรอง (filter paper) ฯลฯ
6. เครื่องมือวิทยาศาสตร์ เช่น เครื่องชั่งสาร (balance) หม้อนึ่งไอน้ำแรงดันสูง (autoclave) ตู้ปลอดเชื้อ (laminar flow) ตู้ดูดไอสารเคมี (fume hood) เครื่องบ่มเขย่า (incubator shaker) เครื่องปั่นเหวี่ยง (centrifuge) เครื่องให้ความร้อน (hotplate) สเปกโตรโฟโตมิเตอร์ (UV-VIS spectrophotometer) เครื่องวัดการดูดกลืนแสงของอะตอม (atomic absorption spectrophotometer) ฯลฯ

วิธีการ

1. สํารวจ เก็บตัวอย่างดิน และวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพของดินในพื้นที่แห้งแล้ง

สำรวจและเก็บตัวอย่างดินบริเวณแปลงปลูกข้าวโพดและพื้นที่ที่ไม่ถูกรบกวนในพื้นที่แล้งซ้ำซาก 5 จังหวัด จังหวัดละ 2 อำเภอ ได้แก่ จังหวัดหนองบัวลำภู (อำเภอศรีบุญเรืองและอำเภอเมืองหนองบัวลำภู) จังหวัดขอนแก่น (อำเภอหนองเรือและอำเภอชุมแพ) จังหวัดชัยภูมิ (อำเภอแก้งคร้อและอำเภอจัตุรัส) จังหวัดมหาสารคาม (อำเภอบรบือและอำเภอนาคู) และจังหวัดร้อยเอ็ด (อำเภอหนองพอกและอำเภอมะยาด) ในแปลงข้าวโพดและพื้นที่ที่ไม่ถูกรบกวน เก็บตัวอย่าง แบบ composite sample ที่ระดับความลึก 0–20 ซม. และ 20–50 ซม. จากนั้นนำไปวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพของดิน ได้แก่ เนื้อดิน (soil texture) และปริมาณความชื้นดิน (soil moisture content) และวิเคราะห์สมบัติทางเคมีของดิน ได้แก่ ความเป็นกรด-ด่าง (pH) อินทรีย์วัตถุ (organic matter, OM) ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ (available phosphorus, Avail. P) และโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ (exchangeable potassium, Exch. K)

2. คัดแยกแบคทีเรียละลายโพแทสเซียมจากตัวอย่างดินและวัดกิจกรรมเอนไซม์ ACCd

2.1 นำตัวอย่างดินมาคัดแยกแบคทีเรียละลายโพแทสเซียม (K-Solubilizing Bacteria, KSB) ใช้เทคนิคการเพาะเลี้ยงที่ปรับสภาพให้เหมาะสมต่อการเจริญ (enrichment technique) ของ KSB โดยดัดแปลงตามวิธีของสนธยาและคณะ (2561) และ Hu et al. (2006) ชั่งตัวอย่างดิน 10 กรัม ลงในขวดรูปชมพู่ที่มีอาหาร Aleksandrow broth (Aleksandrov et al., 1967) ปริมาตร 90 มิลลิลิตร บ่มบนเครื่องเขย่า ที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 3 วัน จากนั้นนำตัวอย่างมาเจือจางด้วยสารละลายโซเดียมคลอไรด์ ความเข้มข้นร้อยละ 0.85 โดยมวลต่อปริมาตร ให้ได้ค่าการเจือจาง 10^{-1} ถึง 10^{-5} แล้วนำตัวอย่างแต่ละระดับความเจือจางมาคัดแยกแบคทีเรียละลายโพแทสเซียม ระดับละ 3 ซ้ำ ด้วยเทคนิค Spread plate บนอาหาร Aleksandrow agar (Aleksandrov et al., 1967) บ่มที่อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 48 ชั่วโมง เลือกลโคไลที่สร้างวงใสรอบ ๆ และมีลักษณะของโคไลนีที่

แตกต่างกันในแต่ละตัวอย่างมาทำให้บริสุทธิ์ด้วยเทคนิค Cross streak บนอาหาร Nutrient agar บ่มที่อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 48 ชั่วโมง นำ KSB ที่คัดแยกได้ มาทดสอบการย่อยสลายเม็ดเลือดแดง (Hemolytic activity) เพื่อความปลอดภัยในการนำ KSB ไปใช้งาน โดยเทคนิค Streak plate บนอาหาร Blood agar บ่มที่อุณหภูมิ 37 °C เป็นเวลา 5 วัน ถ้าเกิดวงใสขึ้นรอบโคโลนีของแบคทีเรียแสดงว่าแบคทีเรียสามารถย่อยสลายเม็ดเลือดแดงได้ (hemolysis) จะไม่นำไปศึกษาต่อ

2.2 คัดแยก KSB ที่สามารถเจริญเติบโตในสภาวะที่มีค่าศักย์ของน้ำต่ำ โดยเฉพาะเลี้ยง KSB ที่คัดแยกได้ในอาหาร Tryptic soy broth (TSB) (ประกอบด้วย casein (pancreatic digest) 17 กรัมต่อลิตร soya peptone (papaic digest) 3 กรัมต่อลิตร sodium chloride 5 กรัมต่อลิตร dipotassium phosphate 2.5 กรัมต่อลิตร และ dextrose 2.5 กรัมต่อลิตร) เป็นเวลา 24 ชั่วโมง ปรับความเข้มข้นของเชื้อ KSB ด้วยอาหาร TSB ให้มีค่าใกล้เคียงกับสารละลายมาตรฐาน McFarland 4 (Approximate cell density = 12×10^8 cells/ml) จากนั้นดูด KSB ขวณลอย 1 มิลลิลิตร ใส่ในหลอดทดลองที่มีอาหาร TSB (positive control) 4 มิลลิลิตร และ หลอดที่มีอาหาร TSB ที่เติม polyethylene glycol-6000 (PEG 6000) ความเข้มข้น 250 กรัมต่อลิตร (อาหารมีค่าศักย์ของน้ำ (water potential) เท่ากับ -0.73 MPa) 4 มิลลิลิตร (Michel and Kaufmann, 1973) ไอโซเลทละ 3 ข้างนำไปบ่มบนเครื่องบ่มเขย่าความเร็ว 150 รอบต่อนาที เป็นเวลา 48 ชั่วโมง เทียบความเข้มข้นของแบคทีเรียที่เจริญในอาหาร TSB ที่เติม PEG 6000 กับ positive control (อาหาร TSB) และ negative control (อาหาร TSB ที่ไม่ใส่เชื้อ) นำ KSB ที่สามารถเจริญใน TSB ที่เติม PEG 6000 (มีความเข้มข้นมากกว่าสารละลายมาตรฐาน McFarland 4) ไปทดสอบการผลิตเอนไซม์ ACC deaminase (ACCD)

2.3 วัดกิจกรรมเอนไซม์ ACC deaminase (ACCD) ด้วยการวัดปริมาณ alpha-ketobutyrate ที่ปลดปล่อยออกมาจากการย่อย ACC ของเอนไซม์ ACCd โดยดัดแปลงจากวิธีการของ Honma and Shimomura (1978) และ Penrose and Glick (2003) และ เริ่มต้นจากเพาะเลี้ยง KSB ที่สามารถผลิตเอนไซม์ ACCd ในอาหาร DF salts minimal (Dworkin and Foster, 1958) ที่มี ACC 303.3 มิลลิกรัมต่อลิตร เป็นแหล่งไนโตรเจน ไอโซเลทละ 3 ข้าง จากนั้นนำ KSB ที่ได้มาปั่นเหวี่ยง ที่ความเร็ว 12,000 รอบต่อนาที เป็นเวลา 5 นาที ที่ทั้งส่วนใสและล้างตะกอนเซลล์ด้วย 0.1 M Tris HCl (pH 7.5) จำนวน 2 ครั้ง ขวณลอยตะกอนเซลล์ด้วย 0.1 M Tris HCl (pH 8.5) 400 ไมโครลิตร เติมโกลูอิน 20 ไมโครลิตร ผสมให้เข้ากัน จากนั้นดูดตัวอย่าง KSB ที่ถูกตรึงด้วยโกลูอิน (toluenized cells) 100 ไมโครลิตร ใส่ในหลอดไมโครทิวป์ ที่มี 0.3 M ACC 10 ไมโครลิตร บ่มที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที แล้วจึงเติม 0.56 M HCl 1,000 ไมโครลิตร ผสมให้เข้ากัน นำไปปั่นแยกเซลล์ด้วยเครื่องปั่นเหวี่ยง ที่ความเร็ว 12,000 รอบต่อนาที เป็นเวลา 5 นาที ดูดส่วนใส 1,000 ไมโครลิตร ใส่ในหลอดทดลอง จากนั้นเติม 0.56 M HCl 800 ไมโครลิตร และ DNF solution (ละลาย 2,4-dinitrophenylhydrazine 0.1 กรัม ใน 2 M HCl 100 มิลลิลิตร) 300 ไมโครลิตร บ่มที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที แล้วจึงเติม 2 N NaOH 2 มิลลิลิตร วัดค่าการดูดกลืนแสงด้วยเครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ ที่ความยาวคลื่น 540 นาโนเมตร นำค่าที่ได้เปรียบเทียบกับกราฟมาตรฐานที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่างการดูดกลืนแสงและความเข้มข้นสารละลายมาตรฐาน alpha-ketobutyrate (0–1 mM) เพื่อหาความเข้มข้นของ alpha-ketobutyrate และคำนวณกิจกรรมของเอนไซม์ ACCd วิเคราะห์หาปริมาณโปรตีนทั้งหมดของตัวอย่าง KSB ที่ถูกตรึงด้วยโกลูอิน ด้วยวิธี Bradford method (Bradford, 1976) เพื่อนำมาคำนวณกิจกรรมจำเพาะของเอนไซม์ ACCd

$$\text{กิจกรรมจำเพาะของเอนไซม์ ACCd (Unit/}\mu\text{g Protein)} = \frac{\text{กิจกรรมของเอนไซม์ ACCd (Unit/mL)}}{\text{ปริมาณโปรตีนทั้งหมด (}\mu\text{g Protein/mL)}}$$

3. จำแนกชนิดของ KSB เบื้องต้น

จำแนกชนิดของ KSB เบื้องต้นโดยอาศัยอนุกรมวิธานระดับโมเลกุลด้วยการเปรียบเทียบลำดับนิวคลีโอไทด์บริเวณ 16S rRNA gene ด้วย universal primer คือ forward primer 27F (5'-AGAGTTTGATCMTGGCTCAG-3') และ reverse primer 1492R (5'-TACGGYTACCTTGTTACGACTT-3') (Lane, 1991) เปรียบเทียบความคล้ายคลึงของลำดับนิวคลีโอไทด์กับฐานข้อมูลลำดับนิวคลีโอไทด์บริเวณ 16S rRNA gene ของแบคทีเรียบนเว็บไซต์ของ EZBioCloud (<https://www.ezbiocloud.net/>)

ระยะเวลา เริ่มต้น ตุลาคม 2564 สิ้นสุด กันยายน 2567

สถานที่ทำการทดลอง

ห้องปฏิบัติการกลุ่มงานวิจัยจุลินทรีย์ดินและห้องปฏิบัติการกลุ่มงานวิจัยเกษตรเคมี กองวิจัยพัฒนาปัจจัยการผลิตทางการเกษตร

ผลการทดลองและวิจารณ์

1. การสำรวจ เก็บตัวอย่าง และวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพของดิน

จากการสำรวจและเก็บตัวอย่างแปลงปลูกข้าวโพดและพื้นที่ที่ไม่ถูกรบกวนในพื้นที่แห่งแล้ง จังหวัดหนองบัวลำภู จังหวัดขอนแก่น จังหวัดชัยภูมิ จังหวัดมหาสารคาม และจังหวัดร้อยเอ็ด ได้ตัวอย่างดิน จำนวน 119 ตัวอย่าง แบ่งเป็นพื้นที่ป่าสาธิตประโยชน์ 32 แห่ง แปลงปลูกข้าวโพด 19 แห่ง วัดป่าฯ 7 แห่ง และสวนรุกขชาติฯ 2 แห่ง ที่ความสูงจากระดับทะเลปานกลาง ตั้งแต่ 149–248 เมตร (ตารางที่ 1) ผลการวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพและเคมีดิน พบว่า ตัวอย่างดินกว่า 80 เปอร์เซ็นต์ เป็นดินเนื้อหยาบ (ตารางที่ 1) แบ่งเป็น ดินร่วนทราย (Sandy loam) 39 ตัวอย่าง (33%) ดินทราย (Sand) 32 ตัวอย่าง (27%) และดินทรายร่วน (Loamy sand) 29 ตัวอย่าง (24%) มีค่าความเป็นกรด-ด่างของดิน (1:1 ดินต่อน้ำ) อยู่ระหว่าง 4.16 ถึง 7.85 ปริมาณอินทรีย์วัตถุ (organic matter : OM) อยู่ในช่วง 0.08–6.96 ปริมาณฟอสฟอรัสในรูปที่เป็นประโยชน์ (available phosphorus, Avail. P) อยู่ในช่วง 0.63–499.59 และปริมาณโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ (exchangeable potassium, Exch. K) อยู่ในช่วง 3.79–296.46 (ตารางที่ 2) เมื่อประเมินระดับของธาตุอาหาร (คณาจารย์ ภาควิชาปฐพีวิทยา, 2544) แล้วนำไปคำนวณค่าดัชนีธาตุอาหารในดิน (Nutrient Index, NI = [(1 × จำนวนตัวอย่างที่อยู่ในระดับต่ำ) + (2 × จำนวนตัวอย่างที่อยู่ในระดับปานกลาง) + (3 × จำนวนตัวอย่างที่อยู่ในระดับสูง)] / จำนวนตัวอย่างทั้งหมด) โดยค่า NI < 1.67, หมายถึงความอุดมสมบูรณ์ของดินต่ำ (Low); NI = 1.67–2.33, หมายถึงความอุดมสมบูรณ์ของดินปานกลาง (Medium); NI > 2.33, หมายถึงความอุดมสมบูรณ์ของดินสูง (High) (Ravikumar และ Somashekar, 2013) จากการคำนวณพบว่าค่าดัชนีธาตุอาหารในดินของตัวอย่างดินที่ระดับความลึก 0–20 ซม. มีค่าเท่ากับ 1.48 และตัวอย่างดินที่ระดับความลึก 20–50 ซม. มีค่าเท่ากับ 1.22 แสดงว่าตัวอย่างดินที่เก็บจาก 5 จังหวัดภาคตะวันออกเฉียงเหนือมีค่าความอุดมสมบูรณ์อยู่ในระดับต่ำ

ตารางที่ 1 พิกัดของพื้นที่ที่เก็บตัวอย่างในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ

provinces	Codes	Locations	Coordinates	Alt. (m)
Chaiya phum	P01	Community Forest 1, Chaturat District	15°29'24.8"N 101°54'11.8"E	243
	P02	Community Forest 2, Noen Sa-nga District	15°29'5.9"N 101°55'1.2"E	248
	P03	Corn Plantation 1, Chaturat District	15°29'38.0"N 101°53'21.2"E	244
	P04	Corn Plantation 2, Mueang Chaiyaphum District	15°53'42.5"N 102°3'9.4"E	195
	P05	Corn Plantation 3, Kaeng Khro District	16°15'12.7"N 102°18'14.3"E	234
	P06	Community Forest 3, Ban Thaen District	16°16'11.8"N 102°23'43.0"E	242
Khon Kaen	P07	Community Forest 4, Chum Phae District	16°28'23.2"N 102°16'51.0"E	211
	P08	Corn Plantation 4, Chum Phae District	16°28'49.5"N 102°17'10.3"E	211
	P09	Corn Plantation 5, Chum Phae District	16°28'57.0"N 102°17'1.6"E	209
	P10	Corn Plantation 6, Nong Ruea District	16°30'23.8"N 102°22'37.7"E	188
	P11	Community Forest 5, Kut Kwang Subdistrict	16°28'21.6"N 102°19'0.1"E	201
	P12	Community Forest 6, Nong Ruea District	16°28'31.9"N 102°18'13.6"E	205
Nong Bua Lamphu	P18	Community Forest 9, Nong Ruea District	16°31'24.29"N 102°20'39.9"E	215
	P13	Community Forest 7, Mueang Nong Bua Lamphu District	17°7'58.1"N 102°23'52.9"E	228
	P14	Community Forest 8, Mueang Nong Bua Lamphu District	17°10'13.0"N 102°27'51.8"E	219
	P15	Corn Plantation 7, Si Bun Rueang District	17°3'45.2"N 102°22'22.7"E	230
	P16	Corn Plantation 8, Si Bun Rueang District	16°58'40.5"N 102°7'47.2"E	236
Maha Sara kham	P17	Community Forest 9, Nong Ruea District	16°58'30.1"N 102°10'35.7"E	217
	P19	Corn Plantation 9, Borabue District	16°4'44.0"N 103°6'39.6"E	192
	P20	Wat Pa Sok Nok Ten, Borabue District	16°8'7.0"N 103°6'19.8"E	191
	P21	Community Forest 10, Borabue District	16°4'30.7"N 103°4'26.8"E	193
	P22	Community Forest 11, Na Dun District	15°47'28.5"N 103°12'8.6"E	196
Roi Et	P23	Corn Plantation 10, Na Dun District	15°40'48.3"N 103°13'49.6"E	149
	P24	Community Forest 12, Na Dun District	15°40'26.2"N 103°13'28.0"E	157
	P25	Maize field 11, Moei Wadi District	16°21'54.3"N 104°6'7.9"E	161
Nong Bua Lamphu	P26	Community Forest 13, Moei Wadi District	16°21'36.3"N 104°6'25.9"E	157
	P27	Community Forest 14, Moei Wadi District	16°22'12.5"N 104°6'50.1"E	166
	P28	Maize field 12, Nong Phok District	16°16'0.4"N 104°15'8.1"E	201
	P29	Community Forest 15, Nong Phok District	16°15'36.9"N 104°15'26.0"E	202
	P30	Wat Pa Nong Khaen Nam Aranya Santitham, Nong Phok District	16°13'13.1"N 104°10'45.6"E	194
	P31	Community Forest 16, Mueang Nong Bua Lamphu District	17°11'37.9"N 102°24'56.5"E	219
Nong Bua Lamphu	P32	Maize field 13, Mueang Nong Bua Lamphu District	17°10'47.7"N 102°22'53.6"E	220
	P33	Community Forest 17, Mueang Nong Bua Lamphu District	17°10'51.7"N 102°21'54.7"E	232
	P34	Community Forest 18, Si Bun Rueang District	16°57'3.4"N 102°16'53.8"E	218
	P35	Maize field 14, Si Bun Rueang District	16°58'18.7"N 102°10'24.0"E	221
	P36	Community Forest 19, Si Bun Rueang District	16°57'11.6"N 102°11'9.9"E	218
	P37	Community Forest 20, Chum Phae District	16°32'51.9"N 102°8'0.6"E	232
Khon Kaen	P38	Community Forest 21, Chum Phae District	16°30'58.5"N 102°14'35.0"E	210
	P39	Wat Pa Hin Lat Non Lan, Chum Phae District	16°30'37.5"N 102°15'30.4"E	208
	P40	Community Forest 22, Nong Ruea District	16°28'20.0"N 102°19'2.3"E	203
	P41	Maize field 15, Nong Ruea District	16°28'48.7"N 102°17'17.6"E	220
	P42	Community Forest 23, Nong Ruea District	16°27'47.2"N 102°22'33.9"E	217

ตารางที่ 1 (ต่อ)

provinces	Codes	Locations	Coordinates	Alt. (m)
Chaiya phum	P43	Wat Pa Khok Kung, Kaeng Khro District	16°8'18.0"N 102°10'17.0"E	225
	P44	Community Forest 24, Kaeng Khro District	16°8'12.6"N 102°9'22.3"E	236
	P45	Community Forest 25, Kaeng Khro District	16°8'55.7"N 102°7'51.2"E	245
	P46	Community Forest 26, Chaturat District	15°40'3.7"N 101°57'26.1"E	197
	P47	Community Forest 27, Chaturat District	15°38'9.2"N 101°56'17.4"E	201
	P48	Maize field 16, Chaturat District	15°29'56.0"N 101°49'15.4"E	212
Roi Et	P49	Wat Nong Doen Chumphon, Moei Wadi District	16°21'29.9"N 104°02'59.8"E	151
	P50	Community Forest 28, Moei Wadi District	16°23'17.4"N 104°5'12.8"E	166
	P51	Maize field 17, Moei Wadi District	16°23'19.4"N 104°05'27.1"E	160
	P52	Maize field 18, Nong Phok District	16°21'10.4"N 104°11'52.0"E	172
	P53	Dong Ma-i Arboretum, Nong Phok District	16°18'52.8"N 104°12'18.0"E	186
	P54	Community Forest 29, Nong Phok District	16°16'48.1"N 104°6'55.6"E	175
Maha Sara kham	P55	Community Herbal Forest 30, Borabue District	16°6'58.9"N 103°11'40.0"E	175
	P56	Maize field 19, Borabue District	15°59'36.7"N 103°6'27.0"E	192
	P57	Wat Pa Thamma Uthayan, Borabue District	15°54'40.9"N 103°8'14.2"E	188
	P58	Community Forest 31, Na Dun District	15°47'38.1"N 103°11'59.7"E	204
	P59	Community Forest 32, Na Dun District	15°46'45.9"N 103°12'40.3"E	194
	P60	Phutthamonthon Isan Arboretum, Na Dun District	15°42'20.8"N 103°13'42.9"E	171

ตารางที่ 2 คุณสมบัติทางเคมีและกายภาพของดินของตัวอย่าง

Sample codes	Soil layers (cm)	^{1/} Soil texture	^{2/} Soil moisture (% wt.)	pH (1:1)	OM (%)	^{3/} Avail. P (mg/kg)	^{4/} Exch. K (mg/kg)
P01	0-20	Loamy sand	86.1	6.29	0.89	8.0	84.0
	20-50	Loamy sand	76.0	6.42	0.65	8.0	64.0
P02	0-20	Sand	88.7	5.77	0.94	15.0	65.0
	20-50	Sand	65.1	5.77	0.16	15.0	32.0
P03	0-20	Sandy loam	251.2	5.76	1.28	63.0	118.0
	20-50	Sandy loam	214.5	5.92	1.37	9.0	194.0
P04	0-20	Sand	50.6	5.9	0.45	15.0	32.0
	20-50	Sand	41.5	6.38	0.24	5.0	16.0
P05	0-20	Sand	90.0	5.93	0.61	22.0	20.0
	20-50	Loamy sand	130.5	6.02	0.24	6.0	8.0
P06	0-20	Sand	44.0	5.57	0.86	6.0	14.0
	20-50	Sand	39.0	5.57	0.11	5.0	4.0
P07	0-20	Loamy sand	24.2	5.2	1.72	8.0	58.0
	20-50	Sandy loam	75.6	5.53	0.60	3.0	30.0
P08	0-20	Sand	105.8	5.15	0.62	12.0	36.0
	20-50	Loamy sand	139.7	5.57	0.12	6.0	13.0
P09	0-20	Loamy sand	93.6	5.71	0.54	9.0	26.0
	20-50	Loamy sand	62.0	6.58	0.12	5.0	8.0
P10	0-20	Sandy loam	195.6	4.89	1.54	80.0	38.0
	20-50	Sandy loam	175.3	5.95	0.44	1.0	36.0
P11	0-20	Loamy sand	134.3	5.17	0.70	1.0	18.0
	20-50	Loamy sand	135.9	4.85	0.26	1.0	12.0
P12	0-20	Sandy loam	162.9	6.09	2.42	125.0	92.0
	20-50	Sandy loam	120.7	6.47	0.36	100.0	48.0
P13	0-20	Sand	20.2	6.11	0.67	5.0	14.0
	20-50	Sand	33.6	5.86	0.35	3.0	12.0
P14	0-20	Loamy sand	39.2	5.4	2.63	9.0	67.0
	20-50	Sandy loam	68.5	5.52	0.48	3.0	28.0
P15	0-20	Sand	16.7	5.38	1.89	5.0	38.0
	20-50	Sand	27.2	5.84	0.47	3.0	14.0
P16	0-20	Sand	48.6	5.49	0.89	45.0	32.0
	20-50	Sand	59.4	5.95	0.20	21.0	8.0
P17	0-20	Sandy loam	-	6.14	1.92	10.0	68.0
	20-50	Sandy loam	-	5.14	0.81	3.0	38.0
P18	0-20	Sand	26.9	5.92	1.04	3.0	30.0
	20-50	Loamy sand	22.3	6.12	0.14	1.0	8.0
P19	0-20	Sand	83.9	6.63	0.47	43.0	114.0
	20-50	Sand	48.8	5.45	0.10	3.0	24.0
P20	0-20	Sand	79.3	5.87	0.51	3.0	28.0
	20-50	Sand	7.8	6.2	0.11	1.0	14.0
P21	0-20	Sand	82.0	6.99	0.49	61.0	50.0

ตารางที่ 2 (ต่อ)

Sample codes	Soil layers (cm)	^{1/} Soil texture	^{2/} Soil moisture (% wt.)	pH (1:1)	OM (%)	^{3/} Avail. P (mg/kg)	^{4/} Exch. K (mg/kg)
P22	20-50	Sand	107.9	6.88	0.19	45.0	72.0
	0-20	Sand	86.1	4.93	0.42	3.0	45.0
	20-50	Sand	51.4	5	0.11	1.0	18.0
P23	0-20	Loamy sand	131.0	4.48	0.78	12.0	52.0
	20-50	Sandy loam	213.5	5.06	0.19	3.0	32.0
P24	0-20	Sand	95.3	5.29	0.92	4.0	14.0
	20-50	Loamy sand	83.9	4.37	0.32	3.0	8.0
P25	0-20	Loamy sand	81.9	6.7	0.22	22.0	12.0
	20-50	Sand	106.6	5.48	0.09	8.0	10.0
P26	0-20	Sand	15.6	4.49	0.59	8.0	32.0
	20-50	Sand	8.8	4.72	0.68	1.0	10.0
P27	0-20	Sand	5.8	4.94	0.40	3.0	14.0
	20-50	Loamy sand	7.6	5.15	0.08	1.0	8.0
P28	0-20	Sand	47.0	4.48	0.70	75.0	60.0
	20-50	Sand	66.6	4.43	0.84	5.0	16.0
P29	0-20	Loamy sand	22.7	4.27	1.45	3.0	24.0
	20-50	Loamy sand	44.2	4.16	0.64	1.0	10.0
P30	0-20	Sand	17.3	5.1	1.06	4.0	20.0
	20-50	Loamy sand	22.7	5.2	0.15	1.0	6.0
P31	0-20	Sandy clay loam	59.3	5.36	4.48	11.66	80.01
P32	0-20	Sandy loam	83.4	6.68	2.17	92.75	42.19
	20-50	Sandy clay loam	115.1	7.48	0.78	13.51	25.51
P33	0-20	Sandy loam	15.0	5.27	1.17	19.43	52.17
	20-50	Sandy loam	23.2	5.44	0.47	15.14	48.81
P34	0-20	Loamy sand	54.0	5.18	1.68	4.76	14.49
	20-50	Loamy sand	10.0	4.83	0.27	2.73	8.93
P35	0-20	Sandy loam	129.0	6.97	1.91	95.47	97.14
	20-50	Sandy clay loam	146.0	7.36	1.18	4.67	41.70
P36	0-20	Loam	147.4	5.4	1.45	2.35	113.88
	20-50	Clay	125.4	5.19	3.52	2.76	50.79
P37	0-20	Sandy loam	125.5	5.06	2.82	3.60	296.46
	20-50	Sandy clay loam	72.2	5.29	0.78	1.34	43.71
P38	0-20	Loam	143.0	5.75	6.72	235.46	26.48
	20-50	Clay loam	103.1	6.79	2.19	499.59	131.82
P39	0-20	Sandy loam	121.1	6.29	3.82	4.10	72.21
	20-50	Clay loam	96.0	6.19	1.61	1.50	78.21
P40	0-20	Sandy loam	35.3	4.77	2.15	9.34	56.98
	20-50	Sandy loam	29.9	4.73	0.59	3.69	38.35
P41	0-20	Sandy loam	89.7	7.85	2.45	137.30	12.30
	20-50	Sandy loam	44.2	7.32	0.30	4.75	37.34
P42	0-20	Sandy Loam	15.1	4.35	1.93	4.34	6.86

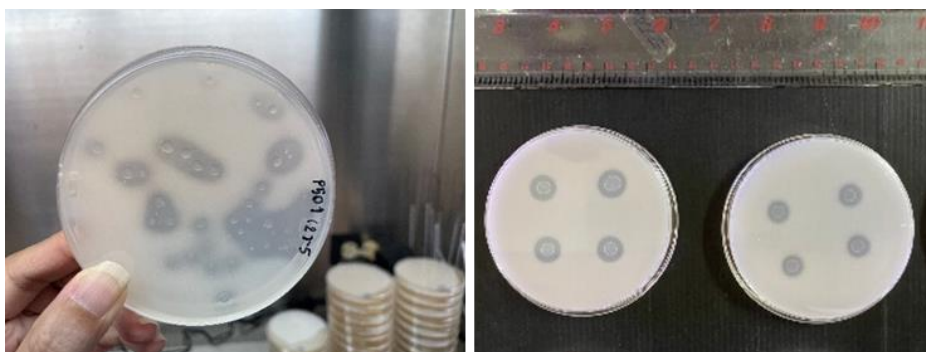
ตารางที่ 2 (ต่อ)

Sample codes	Soil layers (cm)	^{1/} Soil texture	^{2/} Soil moisture (% wt.)	pH (1:1)	OM (%)	^{3/} Avail. P (mg/kg)	^{4/} Exch. K (mg/kg)
P43	20-50	Loamy sand	12.9	4.66	0.24	3.85	25.06
	0-20	Sandy loam	17.7	5.54	4.81	7.51	71.77
	20-50	Sandy clay loam	30.0	4.42	0.62	3.42	34.37
P44	0-20	Sandy loam	18.0	5.49	4.14	6.88	17.64
	20-50	Sandy clay loam	36.9	4.56	0.73	1.95	41.48
P45	0-20	Loam	69.4	5.44	6.96	4.55	20.70
	20-50	Clay	152.5	5.59	1.67	2.13	88.70
P46	0-20	Sandy loam	25.9	5.47	3.90	23.18	54.75
	20-50	Sandy loam	36.2	5.29	1.07	4.08	24.99
P47	0-20	Loamy sand	24.9	5.56	4.25	24.67	18.04
	20-50	Sandy loam	40.5	5.58	1.21	4.82	23.01
P48	0-20	Loam	237.8	7.63	1.93	76.09	37.72
	20-50	Clay loam	223.9	7.44	1.93	9.62	204.07
P49	0-20	Sandy loam	16.9	4.65	3.67	15.32	67.75
	20-50	Sandy clay loam	58.2	4.53	0.81	0.71	56.85
P50	0-20	Sandy loam	12.7	5.18	2.51	2.70	22.69
	20-50	Sandy loam	7.5	5.06	0.09	6.68	6.61
P51	0-20	Sandy loam	27.3	4.96	1.34	20.71	71.95
	20-50	Sandy clay loam	115.0	5.3	0.18	0.95	45.25
P52	0-20	Sandy loam	59.1	4.46	1.79	2.75	32.94
	20-50	Clay loam	143.1	4.89	1.07	1.45	17.56
P53	0-20	Sandy loam	19.1	5.13	3.31	3.84	19.09
	20-50	Loamy sand	11.1	4.6	0.27	1.34	5.31
P54	0-20	Sandy loam	7.5	5.05	2.19	3.06	32.06
	20-50	Sandy loam	10.7	4.58	0.13	1.03	3.79
P55	0-20	Sandy loam	5.5	4.54	2.33	5.71	48.76
	20-50	Loamy sand	11.8	4.2	0.67	4.37	17.15
P56	0-20	Sandy loam	50.4	5.02	1.69	8.25	87.86
	20-50	Loamy sand	99.8	7.66	0.44	2.06	59.06
P57	0-20	Sandy loam	9.2	4.88	1.52	2.98	32.69
	20-50	Sandy clay loam	49.9	4.56	0.43	1.35	20.21
P58	0-20	Sand	5.7	4.9	1.88	2.76	33.09
	20-50	Loamy sand	4.7	4.79	0.20	0.63	11.27
P59	0-20	Loamy sand	3.8	4.97	1.52	2.60	28.12
	20-50	Loamy sand	10.8	4.81	0.20	1.75	8.17
P60	0-20	Loamy sand	17.2	4.72	3.00	3.40	39.31
	20-50	Sandy loam	24.6	4.61	0.49	2.70	9.32

หมายเหตุ : ^{1/}Soil textures analyzed by pipette method; ^{2/}Soil moisture content (% by weight); ^{3/}Soil Available Phosphorus extracted with Bray II; ^{4/}Soil Exchangeable Potassium extracted with 1 N NH₄OAc pH 7

2. การคัดแยกแบคทีเรียละลายโพแทสเซียมจากตัวอย่างดินและวัฏจักรเอนไซม์ ACCd

จากการคัดแยกแบคทีเรียละลายโพแทสเซียม (K-Solubilizing bacteria, KSB) พบแบคทีเรียที่สร้างวงใสบนอาหาร Aleksandrow agar ทั้งหมด 173 ไอโซเลท (ภาพที่ 1) จากตัวอย่างดินทั้งหมด 119 ตัวอย่าง จากนั้นนำ KSB ที่คัดแยกได้และตัวอย่างใน culture collection ของกลุ่มงานวิจัยจุลินทรีย์ดิน มาทดสอบการย่อยสลายเม็ดเลือดแดงและความสามารถในการเจริญเติบโตในสภาวะที่มีค่าศักย์ของน้ำต่ำ (-0.73 MPa) พบว่า KSB ที่ไม่ย่อยสลายเม็ดเลือดแดง (non-hemolytic) และสามารถเจริญได้ในสภาวะที่มีค่าศักย์ของน้ำต่ำ (ภาพที่ 2) มีจำนวน 146 ไอโซเลท โดยทุกไอโซเลทที่สามารถเจริญใน TSB ที่เติม PEG 6000 มีความชุ่มชื้นในช่วงสารละลายมาตรฐาน McFarland 2 ถึง McFarland 5 แสดงว่า KSB สามารถทนทานได้ในสภาวะแห้งแล้งโดยเชื้อสามารถเจริญได้มีความหนาแน่นเซลล์ อยู่ในช่วงระหว่าง 6×10^8 ถึง 1.5×10^9 เซลล์ต่อมิลลิลิตร จากนั้นนำทุกไอโซเลทที่คัดเลือกได้มาทดสอบการผลิตเอนไซม์ ACC deaminase เบื้องต้นบนอาหารแข็ง DF salts minimal พบว่ามี KSB ที่สามารถเจริญบนอาหาร DF salts minimal ที่มี ACC เป็นแหล่งไนโตรเจน จำนวน 100 ไอโซเลท (ตารางที่ 3) จากทั้งหมด 146 ไอโซเลท คิดเป็นร้อยละ 68 ของ KSB ทั้งหมดที่นำมาทดสอบ จากนั้นนำทั้ง 100 ไอโซเลท มาวัดกิจกรรมเอนไซม์ ACCd (ภาพที่ 3) พบว่า กิจกรรมเอนไซม์ ACC deaminase อยู่ในช่วง 1.32×10^{-4} ถึง 1.33×10^{-1} หน่วยต่อมิลลิลิตร โดยแบคทีเรียละลายโพแทสเซียมที่มีกิจกรรมเอนไซม์ ACC deaminase ต่ำสุดคือ KSM230132 ในขณะที่แบคทีเรียละลายโพแทสเซียมที่มีกิจกรรมเอนไซม์ ACC deaminase สูงสุดคือ KSM220440 และข้อมูลกิจกรรมจำเพาะของเอนไซม์ ACC deaminase อยู่ในช่วง 2.63×10^{-6} ถึง 1.02×10^{-3} หน่วยต่อไมโครกรัมโปรตีน โดยแบคทีเรียละลายโพแทสเซียมที่มีกิจกรรมจำเพาะของเอนไซม์ ACC deaminase ต่ำสุดคือ KSM230291 ในขณะที่แบคทีเรียละลายโพแทสเซียมที่มีกิจกรรมจำเพาะของเอนไซม์ ACC deaminase สูงสุดคือ KSM220922 (ตารางที่ 4)



ภาพที่ 1 แบคทีเรียละลายโพแทสเซียมบนอาหาร Aleksandrow agar



ภาพที่ 2 ทดสอบความสามารถการเจริญของแบคทีเรียในสภาวะที่มีค่าศักย์ของน้ำต่ำ (-0.73 MPa) ในอาหาร TSB เติม PEG-6000 ความเข้มข้น 250 กรัมต่อลิตร



ภาพที่ 3 วัดกิจกรรมเอนไซม์ ACC deaminase ของแบคทีเรียละลายโพแทสเซียม

ตารางที่ 3 แหล่งที่มาของแบคทีเรียละลายโพแทสเซียมจำนวน 100 ไอโซเลตที่มีประสิทธิภาพในการสร้าง ACC deaminase

Soil codes	Isolate codes	Soil codes	Isolate codes
P01	KSM220060, KSM220440	P27	KSM220631, KSM220632, KSM220633
P02	KSM220320	P29	KSM220701, KSM220702, KSM220703
P03	KSM220030, KSM220511, KSM220512, KSM220513, KSM220570	P45	KSM230091, KSM230092, KSM230093
P07	KSM220160	P46	KSM230111, KSM230112, KSM230113
P08	KSM220180	P49	KSM230121, KSM230122, KSM230123, KSM230131, KSM230132, KSM230133
P10	KSM220861, KSM220862, KSM220870, KSM220871, KSM220872, KSM220873, KSM220874, KSM220875	P50	KSM230571, KSM230572
P11	KSM220930, KSM220940	P53	KSM230191, KSM230192, KSM230193, KSM230231, KSM230232, KSM230233, KSM230241, KSM230242, KSM230243, KSM230271, KSM230272, KSM230273, KSM230281, KSM230282, KSM230283, KSM230291, KSM230292, KSM230293
P14	KSM220560	P54	KSM230141, KSM230142, KSM230143, KSM230151, KSM230152, KSM230153
P19	KSM220910, KSM220921, KSM220922, KSM220923, KSM220924, KSM220925, KSM220926, KSM220927, KSM220928	P55	KSM230421, KSM230422, KSM230423
P20	KSM220760, KSM220810, KSM220840, KSM220850, KSM220880, KSM220890, KSM220900	P56	KSM230361, KSM230362, KSM230363, KSM230401, KSM230402, KSM230403
P23	KSM220790, KSM220800	P59	KSM230331, KSM230332, KSM230333
P24	KSM220770, KSM220780	C01	KSM220430
P26	KSM220600, KSM220710		

ตารางที่ 4 ปริมาณโปรตีนทั้งหมด กิจกรรมและกิจกรรมจำเพาะของเอนไซม์ ACCd ของแบคทีเรียละลาย
โพแทสเซียมแต่ละไอโซเลท

No.	Isolate Codes	Protein Concentration (µg Protein/mL)	ACCd activity (Unit/mL)	Specific ACCd activity (Unit/µg Protein)	No.	Isolate Codes	Protein Concentration (µg Protein/mL)	ACCd activity (Unit/mL)	Specific ACCd activity (Unit/µg Protein)
1	KSM220030	69.52	3.80×10^{-4}	5.47×10^{-6}	26	KSM220810	126.67	6.81×10^{-2}	6.38×10^{-4}
2	KSM220060	153.33	8.53×10^{-2}	5.56×10^{-4}	27	KSM220840	85.88	5.18×10^{-2}	6.03×10^{-4}
3	KSM220160	66.43	2.72×10^{-4}	4.09×10^{-6}	28	KSM220850	107.06	6.27×10^{-2}	5.86×10^{-4}
4	KSM220180	47.65	2.46×10^{-2}	5.16×10^{-4}	29	KSM220861	58.33	2.64×10^{-4}	4.53×10^{-6}
5	KSM220320	63.53	3.42×10^{-2}	5.38×10^{-4}	30	KSM220862	58.93	2.48×10^{-4}	4.21×10^{-6}
6	KSM220430	50.39	2.69×10^{-2}	5.34×10^{-4}	31	KSM220870	93.45	4.13×10^{-4}	4.42×10^{-6}
7	KSM220440	222.55	1.33×10^{-1}	5.98×10^{-4}	32	KSM220871	92.86	4.21×10^{-4}	4.53×10^{-6}
8	KSM220511	89.76	3.88×10^{-4}	4.32×10^{-6}	33	KSM220872	93.21	4.70×10^{-4}	5.04×10^{-6}
9	KSM220512	90.00	4.21×10^{-4}	4.68×10^{-6}	34	KSM220873	94.29	3.47×10^{-4}	3.68×10^{-6}
10	KSM220513	89.64	3.96×10^{-4}	4.42×10^{-6}	35	KSM220874	93.06	4.45×10^{-4}	4.78×10^{-6}
11	KSM220560	53.10	2.15×10^{-4}	4.05×10^{-6}	36	KSM220875	93.67	4.20×10^{-4}	4.48×10^{-6}
12	KSM220570	65.71	2.97×10^{-4}	4.52×10^{-6}	37	KSM220880	90.98	4.83×10^{-2}	5.31×10^{-4}
13	KSM220600	52.22	2.42×10^{-4}	4.63×10^{-6}	38	KSM220890	127.84	6.21×10^{-2}	4.86×10^{-4}
14	KSM220631	88.93	2.64×10^{-4}	2.97×10^{-6}	39	KSM220900	67.06	3.62×10^{-2}	5.40×10^{-4}
15	KSM220632	89.64	2.48×10^{-4}	2.77×10^{-6}	40	KSM220910	76.27	4.21×10^{-2}	5.52×10^{-4}
16	KSM220633	88.93	2.97×10^{-4}	3.34×10^{-6}	41	KSM220921	115.49	6.70×10^{-2}	5.80×10^{-4}
17	KSM220701	97.06	4.99×10^{-2}	5.14×10^{-4}	42	KSM220922	82.94	8.48×10^{-2}	1.02×10^{-3}
18	KSM220702	105.88	5.52×10^{-2}	5.21×10^{-4}	43	KSM220923	160.00	5.49×10^{-2}	3.43×10^{-4}
19	KSM220703	104.12	4.30×10^{-2}	4.13×10^{-4}	44	KSM220924	103.53	6.12×10^{-2}	5.91×10^{-4}
20	KSM220710	86.67	4.36×10^{-2}	5.03×10^{-4}	45	KSM220925	121.47	6.99×10^{-2}	5.75×10^{-4}
21	KSM220760	183.14	9.95×10^{-2}	5.43×10^{-4}	46	KSM220926	112.15	6.55×10^{-2}	5.84×10^{-4}
22	KSM220770	82.35	4.58×10^{-2}	5.56×10^{-4}	47	KSM220927	116.81	6.69×10^{-2}	5.73×10^{-4}
23	KSM220780	100.00	4.06×10^{-2}	4.06×10^{-4}	48	KSM220928	114.48	6.36×10^{-2}	5.56×10^{-4}
24	KSM220790	27.25	1.30×10^{-2}	4.77×10^{-4}	49	KSM220930	105.88	6.57×10^{-2}	6.21×10^{-4}
25	KSM220800	25.69	1.45×10^{-2}	5.64×10^{-4}	50	KSM220940	62.38	2.81×10^{-4}	4.50×10^{-6}

ตารางที่ 4 (ต่อ)

No.	Isolate Codes	Protein Concentration (µg Protein/mL)	ACCd activity (Unit/mL)	Specific ACCd activity (Unit/µg Protein)	No.	Isolate Codes	Protein Concentration (µg Protein/mL)	ACCd activity (Unit/mL)	Specific ACCd activity (Unit/µg Protein)
51	KSM230091	51.30	1.54×10^{-4}	3.00×10^{-6}	76	KSM230242	85.00	2.86×10^{-4}	3.36×10^{-6}
52	KSM230092	49.44	1.54×10^{-4}	3.11×10^{-6}	77	KSM230243	87.22	3.08×10^{-4}	3.53×10^{-6}
53	KSM230093	51.11	1.76×10^{-4}	3.44×10^{-6}	78	KSM230271	85.19	2.28×10^{-4}	2.68×10^{-6}
54	KSM230111	37.04	1.91×10^{-4}	5.16×10^{-6}	79	KSM230272	91.67	2.42×10^{-4}	2.64×10^{-6}
55	KSM230112	42.22	1.76×10^{-4}	4.17×10^{-6}	80	KSM230273	82.78	2.20×10^{-4}	2.66×10^{-6}
56	KSM230113	35.56	1.54×10^{-4}	4.33×10^{-6}	81	KSM230281	24.81	1.76×10^{-4}	7.09×10^{-6}
57	KSM230121	43.33	1.76×10^{-4}	4.06×10^{-6}	82	KSM230282	25.56	1.76×10^{-4}	6.89×10^{-6}
58	KSM230122	41.11	1.54×10^{-4}	3.75×10^{-6}	83	KSM230283	21.11	1.76×10^{-4}	8.34×10^{-6}
59	KSM230123	44.44	2.20×10^{-4}	4.95×10^{-6}	84	KSM230291	95.00	2.50×10^{-4}	2.63×10^{-6}
60	KSM230131	42.96	1.76×10^{-4}	4.10×10^{-6}	85	KSM230292	94.64	2.68×10^{-4}	2.83×10^{-6}
61	KSM230132	45.56	1.32×10^{-4}	2.90×10^{-6}	86	KSM230293	96.07	2.64×10^{-4}	2.75×10^{-6}
62	KSM230133	42.22	1.54×10^{-4}	3.65×10^{-6}	87	KSM230331	60.56	2.72×10^{-4}	4.49×10^{-6}
63	KSM230141	65.37	2.42×10^{-4}	3.70×10^{-6}	88	KSM230332	63.33	2.64×10^{-4}	4.17×10^{-6}
64	KSM230142	68.33	2.20×10^{-4}	3.22×10^{-6}	89	KSM230333	66.11	2.20×10^{-4}	3.33×10^{-6}
65	KSM230143	65.56	1.98×10^{-4}	3.02×10^{-6}	90	KSM230361	58.33	4.46×10^{-4}	7.65×10^{-6}
66	KSM230151	42.78	3.74×10^{-4}	8.74×10^{-6}	91	KSM230362	57.14	4.70×10^{-4}	8.23×10^{-6}
67	KSM230152	28.33	4.18×10^{-4}	1.48×10^{-5}	92	KSM230363	60.00	4.21×10^{-4}	7.02×10^{-6}
68	KSM230153	30.56	3.30×10^{-4}	1.08×10^{-5}	93	KSM230401	48.93	3.88×10^{-4}	7.93×10^{-6}
69	KSM230191	46.3	1.84×10^{-4}	3.97×10^{-6}	94	KSM230402	48.93	3.96×10^{-4}	8.09×10^{-6}
70	KSM230192	42.78	1.54×10^{-4}	3.60×10^{-6}	95	KSM230403	47.86	3.71×10^{-4}	7.75×10^{-6}
71	KSM230193	41.67	1.76×10^{-4}	4.22×10^{-6}	96	KSM230421	51.31	3.05×10^{-4}	5.94×10^{-6}
72	KSM230231	35.19	2.94×10^{-4}	8.35×10^{-6}	97	KSM230422	50.00	2.97×10^{-4}	5.94×10^{-6}
73	KSM230232	32.78	1.98×10^{-4}	6.04×10^{-6}	98	KSM230423	52.14	3.22×10^{-4}	6.18×10^{-6}
74	KSM230233	34.44	2.42×10^{-4}	7.03×10^{-6}	99	KSM230571	86.19	2.72×10^{-4}	3.16×10^{-6}
75	KSM230241	84.44	2.86×10^{-4}	3.39×10^{-6}	100	KSM230572	86.07	2.48×10^{-4}	2.88×10^{-6}

3. การจำแนกชนิดของแบคทีเรียละลายโพแทสเซียมเบื้องต้น

จากการจำแนกชนิดของแบคทีเรียละลายโพแทสเซียม (K-Solubilizing bacteria, KSB) ที่มีความสามารถในการสร้างเอนไซม์ ACC deaminase จำนวน 100 ไอโซเลท โดยเปรียบเทียบลำดับนิวคลีโอไทด์บริเวณยีน 16S rRNA กับฐานข้อมูล EzBioCloud พบว่า KSB ทั้งหมดสามารถจำแนกได้เป็น 18 สกุล ได้แก่ *Burkholderia* (19 ไอโซเลท), *Dyella* (13 ไอโซเลท), *Leifsonia* (12 ไอโซเลท), *Enterobacter* (9 ไอโซเลท), *Klebsiella* (7 ไอโซเลท), *Paraburkholderia* (6 ไอโซเลท), *Neobacillus* (5 ไอโซเลท), *Microbacterium* (4 ไอโซเลท), *Agrobacterium*, *Bacillus*, *Mesorhizobium*, *Niallia*, *Paenibacillus*, *Priestia* และ *Pseudomonas* (สกุลละ 3 ไอโซเลท), *Frateruia* (2 ไอโซเลท), *Caballeronia* และ *Pantoea* (สกุลละ 1 ไอโซเลท) (ตารางที่ 5) จากผลการจำแนกทำให้ทราบว่าแบคทีเรียหลายสกุลที่คัดแยกได้ในงานวิจัยครั้งนี้เคยมีรายงานว่ามีศักยภาพในการละลายโพแทสเซียม เช่น แบคทีเรียสกุล *Burkholderia*, *Enterobacter* และ *Frateruia* (Zhang and Kong, 2014; Sun et al., 2020; Olaniyan et al., 2022; Bangun et al., 2023) นอกจากประสิทธิภาพในการละลายโพแทสเซียมแล้ว มีแบคทีเรียในสกุล *Burkholderia* หลายชนิดที่ถูกรายงานว่ามีความสามารถในการสร้างเอนไซม์ ACC deaminase ด้วย (Onofre-Lemus et al., 2009) ซึ่งผลการศึกษาในครั้งนี้พบว่าแบคทีเรียละลายโพแทสเซียม KSM220922 เป็นแบคทีเรียที่มีกิจกรรมจำเพาะของเอนไซม์ ACC deaminase สูงสุด เท่ากับ 1.02×10^{-3} หน่วยต่อไมโครกรัมโปรตีน และเมื่อนำไปเปรียบเทียบกับลำดับนิวคลีโอไทด์บริเวณยีน 16S rRNA กับฐานข้อมูล EzBioCloud พบว่า KSM220922 มีความคล้ายคลึงกับ *Dyella jiangningensis* ซึ่งแบคทีเรียชนิดนี้เคยมีรายงานว่ายแยกได้จากหินอัคนีที่มีโพแทสเซียมซิลิเกตเป็นองค์ประกอบ (potassic trachytes) และจากการศึกษาพบว่าแบคทีเรียไอโซเลทนี้มีประสิทธิภาพสูงทั้งในการละลายโพแทสเซียมและสร้างเอนไซม์ ACC deaminase ซึ่งเหมาะแก่การนำไปศึกษาต่อเพื่อพัฒนาเป็นปุ๋ยชีวภาพแบคทีเรียละลายโพแทสเซียมที่มีประสิทธิภาพในการส่งเสริมให้พืชทนทานต่อสภาวะเครียดในรูปแบบต่าง ๆ

ตารางที่ 5 ผลการเปรียบเทียบลำดับนิวคลีโอไทด์บริเวณ 16S rRNA gene ของแบคทีเรียละลายโพแทสเซียมกับฐานข้อมูล EzBioCloud

No.	Isolates	Related species	No.	Isolates	Related species
1	KSM220030	<i>Enterobacter hormaechei</i>	51	KSM230091	<i>Bacillus cereus</i>
2	KSM220060	<i>Burkholderia latens</i>	52	KSM230092	<i>Bacillus cereus</i>
3	KSM220160	<i>Enterobacter pseudoroggenkampii</i>	53	KSM230093	<i>Bacillus cereus</i>
4	KSM220180	<i>Burkholderia territorii</i>	54	KSM230111	<i>Paenibacillus sinensis</i>
5	KSM220320	<i>Burkholderia orbicola</i>	55	KSM230112	<i>Paenibacillus sinensis</i>
6	KSM220430	<i>Burkholderia cepacia</i>	56	KSM230113	<i>Paenibacillus sinensis</i>
7	KSM220440	<i>Burkholderia latens</i>	57	KSM230121	<i>Niallia taxi</i>
8	KSM220511	<i>Enterobacter sichuanensis</i>	58	KSM230122	<i>Niallia taxi</i>
9	KSM220512	<i>Enterobacter sichuanensis</i>	59	KSM230123	<i>Niallia taxi</i>
10	KSM220513	<i>Enterobacter sichuanensis</i>	60	KSM230131	<i>Microbacterium resistens</i>
11	KSM220560	<i>Pantoea dispersa</i>	61	KSM230132	<i>Microbacterium resistens</i>
12	KSM220570	<i>Enterobacter pseudoroggenkampii</i>	62	KSM230133	<i>Microbacterium resistens</i>
13	KSM220600	<i>Caballeronia zhejiangensis</i>	63	KSM230141	<i>Mesorhizobium soli</i>
14	KSM220631	<i>Paraburkholderia tropica</i>	64	KSM230142	<i>Mesorhizobium soli</i>

ตารางที่ 5 (ต่อ)

No.	Isolates	Related species	No.	Isolates	Related species
15	KSM220632	<i>Paraburkholderia tropica</i>	65	KSM230143	<i>Mesorhizobium soli</i>
16	KSM220633	<i>Paraburkholderia tropica</i>	66	KSM230151	<i>Priestia megaterium</i>
17	KSM220701	<i>Paraburkholderia silvatlantica</i>	67	KSM230152	<i>Priestia megaterium</i>
18	KSM220702	<i>Paraburkholderia silvatlantica</i>	68	KSM230153	<i>Priestia megaterium</i>
19	KSM220703	<i>Paraburkholderia silvatlantica</i>	69	KSM230191	<i>Pseudomonas</i> <i>pergaminensis</i>
20	KSM220710	<i>Burkholderia nigropunctata</i>	70	KSM230192	<i>Pseudomonas</i> <i>pergaminensis</i>
21	KSM220760	<i>Burkholderia territorii</i>	71	KSM230193	<i>Pseudomonas</i> <i>pergaminensis</i>
22	KSM220770	<i>Burkholderia territorii</i>	72	KSM230231	<i>Klebsiella quasivariicola</i>
23	KSM220780	<i>Burkholderia territorii</i>	73	KSM230232	<i>Klebsiella quasivariicola</i>
24	KSM220790	<i>Burkholderia orbicola</i>	74	KSM230233	<i>Klebsiella quasivariicola</i>
25	KSM220800	<i>Burkholderia orbicola</i>	75	KSM230241	<i>Leifsonia shinshuensis</i>
26	KSM220810	<i>Burkholderia territorii</i>	76	KSM230242	<i>Leifsonia shinshuensis</i>
27	KSM220840	<i>Burkholderia territorii</i>	77	KSM230243	<i>Leifsonia shinshuensis</i>
28	KSM220850	<i>Burkholderia territorii</i>	78	KSM230271	<i>Leifsonia shinshuensis</i>
29	KSM220861	<i>Frateuria defendens</i>	79	KSM230272	<i>Leifsonia shinshuensis</i>
30	KSM220862	<i>Frateuria defendens</i>	80	KSM230273	<i>Leifsonia shinshuensis</i>
31	KSM220870	<i>Microbacterium resistens</i>	81	KSM230281	<i>Leifsonia shinshuensis</i>
32	KSM220871	<i>Dyella jiangningensis</i>	82	KSM230282	<i>Leifsonia shinshuensis</i>
33	KSM220872	<i>Dyella jiangningensis</i>	83	KSM230283	<i>Leifsonia shinshuensis</i>
34	KSM220873	<i>Dyella jiangningensis</i>	84	KSM230291	<i>Leifsonia shinshuensis</i>
35	KSM220874	<i>Dyella jiangningensis</i>	85	KSM230292	<i>Leifsonia shinshuensis</i>
36	KSM220875	<i>Dyella jiangningensis</i>	86	KSM230293	<i>Leifsonia shinshuensis</i>
37	KSM220880	<i>Burkholderia anthina</i>	87	KSM230331	<i>Agrobacterium pusense</i>
38	KSM220890	<i>Burkholderia orbicola</i>	88	KSM230332	<i>Agrobacterium pusense</i>
39	KSM220900	<i>Burkholderia cepacia</i>	89	KSM230333	<i>Agrobacterium pusense</i>
40	KSM220910	<i>Burkholderia dolosa</i>	90	KSM230361	<i>Neobacillus cucumis</i>
41	KSM220921	<i>Dyella jiangningensis</i>	91	KSM230362	<i>Neobacillus cucumis</i>
42	KSM220922	<i>Dyella jiangningensis</i>	92	KSM230363	<i>Neobacillus cucumis</i>
43	KSM220923	<i>Dyella jiangningensis</i>	93	KSM230401	<i>Enterobacter</i> <i>pseudoroggenkampii</i>
44	KSM220924	<i>Dyella jiangningensis</i>	94	KSM230402	<i>Enterobacter</i> <i>pseudoroggenkampii</i>
45	KSM220925	<i>Dyella jiangningensis</i>	95	KSM230403	<i>Enterobacter</i> <i>pseudoroggenkampii</i>
46	KSM220926	<i>Dyella jiangningensis</i>	96	KSM230421	<i>Klebsiella quasivariicola</i>
47	KSM220927	<i>Dyella jiangningensis</i>	97	KSM230422	<i>Klebsiella quasivariicola</i>
48	KSM220928	<i>Dyella jiangningensis</i>	98	KSM230423	<i>Klebsiella quasivariicola</i>
49	KSM220930	<i>Burkholderia territorii</i>	99	KSM230571	<i>Neobacillus cucumis</i>
50	KSM220940	<i>Klebsiella quasivariicola</i>	100	KSM230572	<i>Neobacillus cucumis</i>

สรุปผลการทดลอง

จากการวิเคราะห์สมบัติดินจำนวน 119 ตัวอย่าง ที่เก็บจากพื้นที่แห้งแล้งในแปลงข้าวโพดและพื้นที่ที่ไม่ถูกรบกวน 5 จังหวัด ได้แก่ จังหวัดหนองบัวลำภู ขอนแก่น ชัยภูมิ มหาสารคาม และร้อยเอ็ด พบว่า ดินส่วนใหญ่ (>80%) เป็นดินเนื้อหยาบ มีค่าความเป็นกรด-ด่างอยู่ในช่วง 4.16–7.85 มีปริมาณอินทรีย์วัตถุและธาตุอาหารพืชในระดับต่ำ และค่าดัชนีความอุดมสมบูรณ์ของดิน (Nutrient Index) เฉลี่ยอยู่ที่ 1.48 ซึ่งจัดอยู่ในระดับต่ำ สามารถคัดแยกแบคทีเรียละลายโพแทสเซียม (KSB) ได้จำนวน 173 ไอโซเลท จากตัวอย่างดิน 119 ตัวอย่าง โดย 146 ไอโซเลทเป็นแบคทีเรียที่ไม่แสดงการย่อยสลายเม็ดเลือดแดงและสามารถเจริญได้ภายใต้สภาวะที่มีค่าศักย์ของน้ำต่ำ (-0.73 MPa) จากนั้นทำการทดสอบความสามารถในการผลิตเอนไซม์ ACC deaminase พบว่ามี 100 ไอโซเลท (คิดเป็น 68%) ที่สามารถเจริญบนอาหาร DF salts minimal ซึ่งใช้ ACC เป็นแหล่งไนโตรเจน และจากการวัดค่ากิจกรรมเอนไซม์ ACC deaminase พบว่าอยู่ในช่วง 1.32×10^{-4} ถึง 1.33×10^{-1} หน่วย/มิลลิลิตร และค่ากิจกรรมจำเพาะของเอนไซม์อยู่ในช่วง 2.63×10^{-6} ถึง 1.02×10^{-3} หน่วย/ไมโครกรัมโปรตีน โดย KSM220922 มีค่ากิจกรรมจำเพาะของเอนไซม์สูงสุด เมื่อนำ KSB 100 ไอโซเลท ไปจำแนกชนิด โดยวิเคราะห์ลำดับยีน 16S rRNA เทียบกับฐานข้อมูล EzBioCloud สามารถจำแนกได้ 18 สกุล เช่น *Burkholderia* (19 ไอโซเลท), *Dyella* (13 ไอโซเลท), *Leifsonia* (12 ไอโซเลท) เป็นต้น ซึ่งหลายสกุลเคยมีรายงานว่ามีศักยภาพในการละลายโพแทสเซียมและผลิตเอนไซม์ ACC deaminase จากการวิจัยพบว่า *Dyella jiangningensis* KSM220922 เป็นแบคทีเรียละลายโพแทสเซียมที่มีประสิทธิภาพสูงในการสร้างเอนไซม์ ACC deaminase จึงเหมาะแก่การนำไปศึกษาต่อเพื่อพัฒนาเป็นปุ๋ยชีวภาพแบคทีเรียละลายโพแทสเซียมที่มีประสิทธิภาพในการส่งเสริมให้พืชทนทานต่อสภาวะเครียดในรูปแบบต่าง ๆ ต่อไป

คำขอบคุณ

งานวิจัยนี้ได้รับการสนับสนุนงบประมาณจากกองทุนส่งเสริมวิทยาศาสตร์ วิจัยและนวัตกรรม (ววน.) ประเภทงบประมาณเพื่อสนับสนุนงานวิจัยมูลฐาน (Fundamental Fund) สำนักงานคณะกรรมการส่งเสริมวิทยาศาสตร์ วิจัยและนวัตกรรม (สกสว.) ของกรมวิชาการเกษตร ตามรหัสการทดลอง FF65-02-06-65-00-02-65

การนำผลงานวิจัยไปใช้ประโยชน์

เชื้อพันธุ์แบคทีเรียละลายโพแทสเซียมที่มีคุณสมบัติทนแล้งที่ได้จากการศึกษาถูกเก็บรักษาไว้ที่กลุ่มงานวิจัยจุลินทรีย์ดิน กลุ่มวิจัยปฐพีวิทยา กองวิจัยพัฒนาปัจจัยการผลิตทางการเกษตร เป็นการสร้างฐานทรัพยากรชีวภาพของจุลินทรีย์ดิน และสามารถนำมาต่อยอดพัฒนาเป็นนวัตกรรมอื่น ๆ ต่อไปได้

เอกสารอ้างอิง

- คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา. 2544. **ปฐพีวิทยาเบื้องต้น**. พิมพ์ครั้งที่ 9. สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. กรุงเทพฯ.
- สนธยา ขำดีบ, สุปรานี มั่นหมาย, กนกอร บุญพา, และ บุญพริก ฉิมชาติ. 2561. การคัดเลือกแบคทีเรียละลายฟอสเฟตและโพแทชจากดินรอบรากและรากสับปะรด. ใน: **การประชุมวิชาการ กองวิจัยพัฒนาปัจจัยการผลิตทางการเกษตร ประจำปี 2561 “บูรณาการงานวิจัยสู่เกษตรกรไทยยุคดิจิทัล”**. โรงแรมศุภาลัย ป่าสัก รีสอร์ท แอนด์ สปา. สระบุรี, หน้า 174–178.
- Aleksandrov, V.G., R.N. Blagodyr, and I.P. Iliiev. 1967. Liberation of phosphoric acid from apatite by silicate bacteria. *Mikrobiol. Zh. (Kiev)* 29: 111–114.
- Bangun I.H., H. Hanum, and T. Sabrina. 2023. Isolation and molecular characterization of potassium-solubilizing bacteria from limestone mountain of Bahorok, Langkat District, Indonesia. *Biodiversitas* 24: 4175–4184.
- Boubekri, K., A. Soumare, I. Mardad, K. Iyamlouli, M. Hafidi, Y. Ouhdouch, and L. Kouisni, 2021. The screening of potassium- and phosphate-solubilizing actinobacteria and the assessment of their ability to promote wheat growth parameters. *Microorganisms*. 9(3): 470.
- Bradford, M.M. 1976. A Rapid and Sensitive Method for the Quantification of Microgram Quantities of Protein Utilizing the Principle of Protein-Dye Binding. *Anal. Biochem.* 72: 248–254.
- Cheng, Z., E. Park, and B.R. Glick. 2007. 1-Aminocyclopropane-1-carboxylate deaminase from *Pseudomonas putida* UW4 facilitates the growth of canola in the presence of salt. *Can. J. Microbiol.* 53: 912–918.
- Daffonchio, D., H. Hirt, and G. Berg. 2015. **Plant-microbe interactions and water management in arid and saline soils**. In: Lugtenberg, B. (Ed.). Principles of Plant-Microbe Interactions. Springer, Cham.
- Dworkin, M., and J. Foster. 1958. Experiments with some microorganisms which utilize ethane and hydrogen. *J. Bacteriol.* 75: 592–603.
- Etesami, H., S. Emami, and H.A. Alikhani. 2017. Potassium solubilizing bacteria (KSB): mechanisms, promotion of plant growth, and future prospects - a review. *J. Soil Sci. Plant Nutr.* 17(4): 897–911.
- Farooq, M., A. Wahid, N. Kobayashi, D. Fujita, and S.M.A. Basra. 2009. Plant drought stress: effects, mechanisms and management. *Agron. Sustain. Dev.* 29: 185–212.
- Honma, M., and T. Shimomura. 1978. Metabolism of 1-aminocyclopropane-1-carboxylic acid. *Agric Biol Chem* 42: 1825–1831.
- Hu, X., J. Chen, and J. Guo. 2006. Two Phosphate- and Potassium-solubilizing Bacteria Isolated from Tianmu Mountain, Zhejiang, China. *World J. Microbiol. Biotechnol.* 22: 983–990.
- Michel, B.E., and M.R. Kaufmann, 1973. The Osmotic Potential of Polyethylene Glycol 6000. *Plant Physiol.* 51: 914–916.

- Olaniyan, F.T, E. Alori, A.O. Adekiya, B.B. Ayorinde, F.Y. Daramola, O.O. Osemwegie, and O.O. Babalola. 2022. The use of soil microbial potassium solubilizers in potassium nutrient availability in soil and its dynamics. *Ann. Microbiol.* 72: 45. doi.org/10.1186/s13213-022-01701-8
- Onofre-Lemus, J., I. Hernández-Lucas, L. Girard, and J. Caballero-Mellado. 2009. ACC (1-aminocyclopropane-1-carboxylate) deaminase activity, a widespread trait in *Burkholderia* species, and its growth-promoting effect on tomato plants. *Appl. Environ. Microbiol.* 75(20): 6581–90.
- Penrose, D., and B. Glick. 2003. Methods for isolating and characterizing ACC deaminase-containing plant growth-promoting rhizobacteria. *Physiol. Plant.* 118: 10–15.
- Pérez-Pérez, R., I.H. Forte, Y.O.S. Álvarez, J.C.S. Benítez, D.S. Castillo, and S. Pérez-Martínez. 2021. Characterization of potassium solubilizing bacteria isolated from corn rhizosphere. *Agron. Colomb.* 39 (3): 415–425.
- Ravikumar, P., and R.K. Somashekar. 2013. Evaluation of nutrient index using organic carbon, available P and available K concentrations as a measure of soil fertility in Varahi River basin, India. *In Proceedings of the International Academy of Ecology and Environmental Sciences Volume 3, Number 4*, Hong Kong. December 1, 2013., Pp. 330-343.
- Sarikhani, M.R., S. Oustan, M. Ebrahimi, and N. Aliasgharzad, 2018. Isolation and identification of potassium-releasing bacteria in soil and assessment of their ability to release potassium for plants. *Eur. J. Soil Sci.* 69: 1078–1086.
- Sun, F., Q. Ou, N. Wang, Z.X. Guo, Y. Ou, N. Li, and C. Peng. 2020. Isolation and identification of potassium-solubilizing bacteria from *Mikania micrantha* rhizospheric soil and their effect on *M. micrantha* plants. *Glob. Ecol. Conserv.* 23: e01141. doi.org/10.1016/j.gecco.2020.e01141
- Zhang, C., and F. Kong. 2014. Isolation and identification of potassium-solubilizing bacteria from tobacco rhizospheric soil and their effect on tobacco plants. *Appl. Soil Ecol.* 82: 18–25.

การเพิ่มศักยภาพการใช้แบคทีเรียละลายฟอสเฟตในการส่งเสริมความทนแล้ง ให้กับอ้อยในพื้นที่แล้ง

Enhancing the utilization potential of phosphate-solubilizing bacteria to promote sugarcane drought tolerance in drought-prone area

สนธยา ขำตึบ¹ อำนาจ เอี่ยมวิจารณ์¹ กนกอร บุญพา¹ บุญทริก ฉิมชาติ¹ กิตจเมธ แจ่มศิริกุล¹ รัฐกร สืบคำ²
*Sontaya Khamtib¹ Amnat Eamvijarn¹ Kanokon Bunpha¹ Boontarik Chimchart¹
Kitjamate Jangsirikul¹ Ratgon Suebkam²*

กลุ่มวิจัยปฐพีวิทยา

กองวิจัยพัฒนาปัจจัยการผลิตทางการเกษตร

ABSTRACT

This study aimed to investigate the effects of phosphate-solubilizing bacteria (PSB) on the growth, proline and chlorophyll accumulation in leaves, and yield of sugarcane under drought conditions. A 3×4 factorial in RCB experimental design was used, with the studied factors being drought duration (7, 14, and 21 days) and PSB application (no bacteria, DAS19024, DAS19031, and DAS19035). The results showed that PSB application mitigated the adverse effects of drought, particularly with DAS19031 and DAS19035, which significantly increased sugarcane height and maintained the number of stalks better than the control. Additionally, proline accumulation in sugarcane leaves increased with prolonged drought stress, indicating a physiological response to water deficiency. However, PSB applications, particularly DAS19031, reduced proline accumulation. Similarly, chlorophyll content decreased with increasing drought duration, but DAS19031 and DAS19035 helped maintain higher chlorophyll levels compared to the control. Regarding yield, sugarcane productivity decreased with longer drought periods, but PSB application helped preserve yield levels. DAS19031 and DAS19035 were the most effective maintaining sugarcane yield even under 21 days of drought stress. Meanwhile, the °Brix value of sugarcane juice tended to increase with prolonged drought, although no significant difference was observed between PSB-treated and untreated groups. These findings indicate that DAS19031 is a promising strain for alleviating the negative impacts of drought, promoting sugarcane growth, and preserving yield under water-limited conditions. This suggests its potential application in agriculture to enhance sugarcane drought tolerance.

Keywords: ACCd producing bacteria; Chlorophyll accumulation; Proline accumulation; Soil microorganisms

¹ กลุ่มวิจัยปฐพีวิทยา กองวิจัยพัฒนาปัจจัยการผลิตทางการเกษตร กรมวิชาการเกษตร กรุงเทพฯ 10900

¹ Soil Science Research Group, Agriculture Production Science Research and Development Division, Department of Agriculture, Bangkok, 10900

² ศูนย์วิจัยพืชไร่ขอนแก่น ตำบลศิลา อำเภอเมือง จังหวัดขอนแก่น 40000

² Khon Kaen Field Crops Research Center, Sila, Mueang, Khon Kaen, 40000

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลของแบคทีเรียละลายฟอสเฟตต่อการเจริญเติบโต ปริมาณโปรตีนและคลอโรฟิลล์ในใบ และผลผลิตของอ้อยภายใต้ภาวะขาดน้ำ วางแผนการทดลองแบบ 3x4 factorial in RCB โดยมีปัจจัยที่ศึกษา ได้แก่ ระยะเวลางดให้น้ำ (7, 14 และ 21 วัน) และการใส่แบคทีเรียละลายฟอสเฟต (ไม่ใส่แบคทีเรีย, DASI19024, DASI19031 และ DASI19035) ผลการศึกษาพบว่า การใส่แบคทีเรียละลายฟอสเฟตช่วยลดผลกระทบจากการขาดน้ำ โดยเฉพาะแบคทีเรียละลายฟอสเฟตไอโซเลท DASI19031 และ DASI19035 ที่ช่วยเพิ่มความสูงของอ้อยและรักษาจำนวนลำอ้อยได้ดีกว่าการไม่ใส่แบคทีเรียละลายฟอสเฟต นอกจากนี้ยังพบว่าปริมาณโปรตีนในใบอ้อยเพิ่มขึ้นตามระยะเวลางดให้น้ำ ซึ่งเป็นกลไกตอบสนองของพืชต่อภาวะเครียดจากการขาดน้ำ อย่างไรก็ตาม การใส่แบคทีเรียละลายฟอสเฟตสามารถลดการสะสมโปรตีน โดยแบคทีเรียละลายฟอสเฟตไอโซเลท DASI19031 ในขณะเดียวกันปริมาณคลอโรฟิลล์ในใบอ้อยลดลงเมื่อระยะเวลางดให้น้ำเพิ่มขึ้น แต่การใส่แบคทีเรียละลายฟอสเฟต โดยแบคทีเรียละลายฟอสเฟตไอโซเลท DASI19031 และ DASI19035 ช่วยคงปริมาณคลอโรฟิลล์ในใบให้สูงกว่าการไม่ใส่แบคทีเรียละลายฟอสเฟต สำหรับผลผลิตอ้อย พบว่าผลผลิตอ้อยลดลงตามระยะเวลางดให้น้ำ แต่การใส่แบคทีเรียละลายฟอสเฟตช่วยลดการสูญเสียผลผลิต โดยแบคทีเรียละลายฟอสเฟตไอโซเลท DASI19031 และ DASI19035 สามารถคงปริมาณผลผลิตได้มากที่สุด แม้ในสภาวะขาดน้ำ 21 วัน ส่วนค่าเฉลี่ย °Brix ของน้ำอ้อยมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามระยะเวลาขาดน้ำ แต่ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญระหว่างการใช้และไม่ใช้แบคทีเรียจากการทดลองนี้ แสดงให้เห็นว่าแบคทีเรียละลายฟอสเฟต โดยเฉพาะไอโซเลท DASI19031 มีศักยภาพในการลดผลกระทบจากภาวะขาดน้ำ ช่วยให้ต้นอ้อยสามารถเจริญเติบโตและให้ผลผลิตได้ดียิ่งขึ้น จึงอาจนำไปประยุกต์ใช้ในภาคการเกษตรเพื่อเพิ่มความทนทานของอ้อยต่อสภาวะแห้งแล้งได้ต่อไป

คำสำคัญ: แบคทีเรียผลิต ACCd; การสะสมคลอโรฟิลล์; การสะสมโปรตีน; จุลินทรีย์ดิน

บทนำ

ภัยแล้ง เป็นหนึ่งในภัยคุกคามที่ร้ายแรงต่อการผลิตพืชทั่วโลกและมีแนวโน้มทวีความรุนแรงตามการเปลี่ยนแปลงของสภาพอากาศที่คาดการณ์ไว้ ความแห้งแล้งจะส่งผลกระทบต่อการเจริญเติบโตของพืช รบกวนความสัมพันธ์ของน้ำและลดประสิทธิภาพการใช้น้ำในพืช ส่งผลให้พืชต้องปรับตัวเพื่อความอยู่รอด เช่น การปรับตัวระดับสัณฐานวิทยาและสรีรวิทยา เพื่อรักษาสมดุลของน้ำในเซลล์ ได้แก่ ลดพื้นที่ใบ ลดความสูงของต้น สร้างชั้นขี้ผึ้งเคลือบใบ ควบคุมการเปิดปากใบ เป็นต้น และการตอบสนองทางชีวเคมี ได้แก่ การสะสมโปรตีนโพลีเอมีน ทรีฮาโลส การเพิ่มกิจกรรมของไนเตรตรีดักเตส และการสะสมคาร์โบไฮเดรตที่ระดับเซลล์ เป็นต้น (Ammar, et al., 2014; Conesa, et al., 2016; Haworth, et al., 2013) หนึ่งในกลไกสำคัญที่พืชใช้ตอบสนองต่อสภาวะความแห้งแล้ง คือ การผลิตเอทิลีน (ethylene) เพื่อทำหน้าที่ควบคุมการทำงานทางสรีรวิทยาของพืช เช่น การหลุดร่วงของใบ ดอก และผล แม้ว่ากลไกการตอบสนองของพืช จะทำให้พืชมีชีวิตรอดในสภาวะแห้งแล้ง แต่ทำให้พืชชะงักการเจริญเติบโต และส่งผลต่อปริมาณผลผลิตที่ลดลง หรือหากพืชผลิตเอทิลีนในปริมาณมากเกินไปเกินสมดุลเป็นระยะเวลานานก็จะส่งผลให้พืชตายได้ ปัจจุบันมีนักวิจัยจำนวนมากให้ความสนใจศึกษาปฏิสัมพันธ์ระหว่างแบคทีเรียกับพืชที่ช่วยลดความเครียดของพืชจากความแห้งแล้ง โดยแบคทีเรียจะมีปฏิสัมพันธ์กับพืชในสภาวะเครียดจากความแห้งแล้งผ่านกลไกการต้านทานในพืชที่ถูกกระตุ้นจากการปลูกเชื้อแบคทีเรีย (induced systemic resistance: ISR) โดยแบคทีเรียมีความสามารถในการกระตุ้นให้พืชอาศัยผลิตไซโตไคนินที่ควบคุมการแบ่งเซลล์และการเปลี่ยนแปลงของเซลล์พืช การผลิตสารต้านอนุมูลอิสระป้องกันการเกิด oxidative stress และการผลิตเอนไซม์ 1-อะมิโนไซโคลโพรเพน-1-คาร์บอกซิเลต คืออะมิโน (1-aminocyclopropane-1-carboxylate (ACC)

deaminase) เพื่อเปลี่ยน 1-อะมิโนไซโคลโพรเพน-1-คาร์บอกซิเลต (1-aminocyclopropane-1-carboxylate; ACC) ซึ่งเป็นสารตั้งต้นของการสังเคราะห์เอทิลีน ให้กลายเป็นสารประกอบไนโตรเจน ทำให้การผลิตเอทิลีนของพืชลดลง จึงช่วยลดความเครียดและอันตรายที่มีต่อการเจริญเติบโตของพืช (Sarkar, et al., 2018)

แบคทีเรียละลายฟอสเฟตหลายสกุลที่มีรายงานความสามารถในการผลิต ACC deaminase เช่น *Bacillus*, *Burkholderia*, *Enterobacter*, *Klebsiella*, *Pantoea*, *Pseudomonas* และ *Variovorax* เป็นต้น (Alemneh, et al., 2021; Kang, et al., 2021) ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงมุ่งเน้นการศึกษาผลการใช้แบคทีเรียละลายฟอสเฟตที่สามารถผลิตเอนไซม์ ACC deaminase เพื่อช่วยลดความเครียดจากสภาวะแห้งแล้งในอ้อย ซึ่งเป็นแนวทางในการคัดเลือกแบคทีเรียละลายฟอสเฟตสำหรับนำมาพัฒนาให้ได้ปุ๋ยชีวภาพละลายฟอสเฟตที่มีประสิทธิภาพและช่วยลดความเครียดของพืชในสภาวะแห้งแล้งในระดับห้องปฏิบัติการที่เป็นต้นแบบในการพัฒนาขยายผลในเชิงพาณิชย์ต่อไปได้

อุปกรณ์และวิธีการ

อุปกรณ์

1. ถังพลาสติกเก็บตัวอย่างดิน ขนาด 6×9 นิ้ว
2. ถังเพาะชำ ขนาด 5×10 นิ้ว
3. วงบ่อซีเมนต์ ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 80 เซนติเมตร สูง 50 เซนติเมตร พร้อมฝารอง
4. ท่อนพันธุ์อ้อยขอนแก่น 3
5. วัสดุเพาะชำท่อนพันธุ์อ้อย ได้แก่ หน้าดิน ปุ๋ยคอก และใบจามจุรี
6. วัสดุและอุปกรณ์วิทยาศาสตร์ ได้แก่ จานเพาะเลี้ยง หลอดไมโครเซนตริฟิวก์ หลอดทดลอง ปีกเกอร์ ขวดรูปชมพู่ แผ่นสไลด์ ลูกปัดเชื่อม หลอดพีซีอาร์ กรวยกรอง กระดาษกรอง และไมโครปิเปตต์
7. เครื่องแก้ว เช่น หลอดทดลอง ปีกเกอร์ ขวดรูปชมพู่ ฯลฯ
8. ปุ๋ยเคมี ได้แก่ ปุ๋ยเคมีเกรด 16-16-8 ปุ๋ยยูเรีย (46-0-0) และโพแทสเซียมคลอไรด์ (0-0-60)
9. อาหารเพาะเลี้ยงแบคทีเรีย ได้แก่ Pikovskaya broth, Pikovskaya agar, Nutrient broth, Nutrient agar, Tryptic soy broth และ Dworkin-Foster minimal salt medium
10. สารเคมีสำหรับทดสอบกิจกรรมต่าง ๆ ของแบคทีเรีย ได้แก่ DNF solution โพลีเอทิลีนไกลคอล-6000 อัลฟาดีทอกซูราเรต ทริสไฮโดรคลอไรด์ แบรดฟอร์ตรีเอเจนต์ โทลูอิน กรดไฮโดรคลอริก โซเดียมไฮดรอกไซด์ แอมโมเนียมซัลเฟต ซีรัมอัลบูมิน และ 1-อะมิโนไซโคลโพรเพน-1-คาร์บอกซิเลต
11. สารเคมีสำหรับงานอณูชีววิทยา ได้แก่ สีย้อมดีเอ็นเอ DNA primer, Agarose, TAE buffer, TIANamp
12. สารเคมีสำหรับการวิเคราะห์ดิน เช่น กรดเปอร์คลอริก กรดไนตริก กรดบอริก โซเดียมไฮดรอกไซด์ กรดซัลฟิวริก เพอร์รัสแอมโมเนียมซัลเฟต โพแทสเซียมไดโครเมต ฟีนานโทรีนอินดิเคเตอร์ ซีลีเนียมมิกซ์เจอร์ แอมโมเนียมอะซิเตต ฯลฯ
13. สารเคมีสำหรับการวิเคราะห์โปรตีนและคลอโรฟิลล์ในใบอ้อย ได้แก่ กรดซัลโฟซาลิไซลิก กรดอะซิติก กรดฟอสฟอริก นินไฮดริน โทลูอิน โปรตีน และอะซิโตน

วิธีการ

1. การเตรียมแบคทีเรียละลายฟอสเฟต

คัดเลือกแบคทีเรียละลายฟอสเฟตที่มีศักยภาพผลิตเอนไซม์ ACC deaminase จำนวน 3 ไอโซเลท คือ DASI19024 (*Bacillus altitudinis*) DASI19031 (*Neobacillus* sp.) และ DASI19035 (*Neobacillus* sp.) เพื่อนำมาทดสอบการส่งเสริมความทนแล้งของอ้อยในสภาพกระถาง โดยเพาะเลี้ยงแบคทีเรียละลายฟอสเฟตแต่ละไอโซเลทในอาหาร Tryptic soy broth บ่มบนเครื่องเขย่าความเร็ว 150 รอบต่อนาที ที่อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 48 ชั่วโมง วัดและปรับความเข้มข้นของเซลล์แบคทีเรียละลายฟอสเฟตให้เท่ากับ 10^7 cfu/mL ด้วยน้ำกลั่นปลอดเชื้อ

2. การเตรียมดิน

การทดลองใช้หน้าดินที่ความลึก 0–50 เซนติเมตร ของแปลงปลูกอ้อยของเกษตรกร ตำบลกุดกว้าง อำเภอนองเรือ จังหวัดขอนแก่น (16°27'46.4"N 102°20'11.0"E) ซึ่งมีเนื้อดินเป็นดินร่วนปนทราย (Sandy loam; SL) ค่าความเป็นกรด-ด่าง (1:1 ดินต่อน้ำ) 8.17 ± 0.03 ค่าการนำไฟฟ้า 167.30 ± 0.26 ไมโครซีเมนส์ต่อเซนติเมตร ปริมาณอินทรีย์วัตถุ 0.21 ± 0.07 เปอร์เซ็นต์ (อยู่ในระดับต่ำมาก คือ น้อยกว่า 0.75 เปอร์เซ็นต์) ปริมาณฟอสฟอรัสในรูปที่เป็นประโยชน์ 5.98 ± 1.24 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม (อยู่ในระดับต่ำมาก คือ น้อยกว่า 7 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม) ปริมาณโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ 22.97 ± 1.46 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม (อยู่ในระดับต่ำมาก คือ น้อยกว่า 30 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม) และปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมด 154.12 ± 2.37 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม จากคุณสมบัติดินข้างต้นสามารถกำหนดอัตราการใส่ปุ๋ยตามคำแนะนำของกรมวิชาการเกษตร (กรมวิชาการเกษตร, 2564) ดังนี้ ใส่ปุ๋ยเคมีอัตราแนะนำ 27-9-18 กิโลกรัม $N-P_2O_5-K_2O$ ต่อไร่ หรือ 8.4-2.8-5.6 กรัม $N-P_2O_5-K_2O$ ต่อวงบ่อ (ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายในวงบ่อ 80 เซนติเมตร สูง 50 เซนติเมตร ใช้ดินปลูก 280 กิโลกรัมต่อวงบ่อ) โดยแบ่งใส่ 2 ครั้ง ครั้งที่ 1 รองกันหลุมด้วยปุ๋ยเคมีเกรด 16-16-8 อัตรา 56 กิโลกรัมต่อไร่ (17.50 กรัมต่อวงบ่อ) ครั้งที่ 2 ปุ๋ยยูเรีย (46-0-0) และปุ๋ยโพแทสเซียมคลอไรด์ (0-0-60) อัตรา 39 กิโลกรัมต่อไร่ (12.19 กรัมต่อวงบ่อ) และ 23 กิโลกรัมต่อไร่ (7.19 กรัมต่อวงบ่อ) ตามลำดับ

3. การเตรียมต้นพันธุ์อ้อย

ในการทดลองใช้อ้อยพันธุ์ขอนแก่น 3 เตรียมต้นพันธุ์อ้อยด้วยการเพาะชำท่อนพันธุ์ เมื่อวันที่ 23 กุมภาพันธ์ 2566 โดยตัดท่อนพันธุ์เป็นท่อน ท่อนละ 1 ตา เพาะในถุงเพาะชำ ถุงละ 1 ท่อน ใช้ดินผสมปุ๋ยคอกและใบจามจุรี ในอัตรา 2:1:1 เป็นวัสดุเพาะ รดน้ำทุก 3 วัน เป็นเวลา 40 วัน คัดเลือกต้นพันธุ์อ้อยที่มีขนาดใกล้เคียงกัน เพื่อใช้ในการทดลอง



ภาพที่ 1 ท่อนพันธุ์อ้อย (A) วัสดุเพาะ (B) และต้นพันธุ์อ้อยหลังเพาะชำเป็นเวลา 15 วัน (10 มีนาคม 2566) (C)

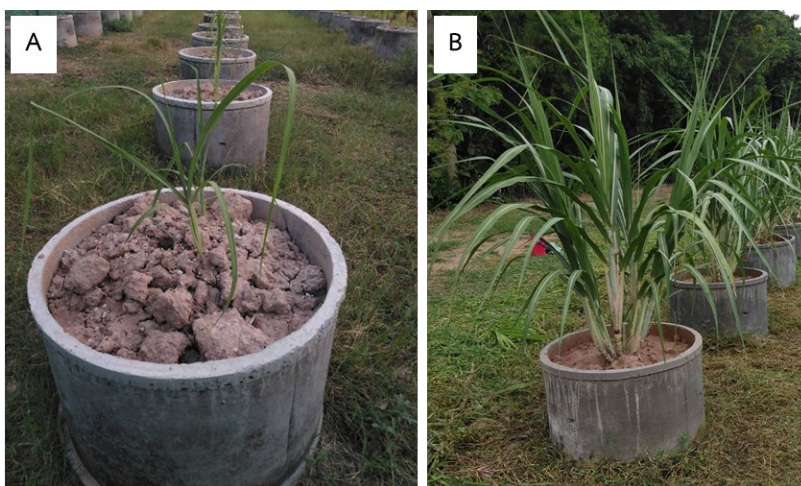
4. การศึกษาผลของการใส่แบคทีเรียละลายฟอสเฟตต่อการส่งเสริมการทนแล้งของอ้อยในวงบ่อซีเมนต์

4.1 การวางแผนการทดลอง

การศึกษาศักยภาพของแบคทีเรียละลายฟอสเฟตต่อการส่งเสริมการทนแล้งของอ้อยในวงบ่อซีเมนต์วางแผนการทดลองแบบ 3x4 factorial in RCB โดยมีปัจจัยที่ 1 คือ ระยะเวลาให้น้ำ เมื่ออ้อยอายุ 3 เดือนหลังย้ายปลูก จำนวน 3 ระดับ ได้แก่ 1) งดการให้น้ำ 7 วัน 2) งดการให้น้ำ 14 วัน และ 3) งดการให้น้ำ 21 วัน ปัจจัยที่ 2 คือ การใส่แบคทีเรียละลายฟอสเฟต ได้แก่ ไม่ใส่แบคทีเรียละลายฟอสเฟต ใส่แบคทีเรียละลายฟอสเฟต DASI19024 ใส่แบคทีเรียละลายฟอสเฟต DASI19031 และใส่แบคทีเรียละลายฟอสเฟต DASI19035 ดำเนินการทดลองจำนวน 3 ซ้ำ

4.2 การดำเนินการทดลอง

ย้ายต้นอ้อยลงปลูกในวงบ่อซีเมนต์ (ภาพที่ 2 A) รองกันหลุมด้วยปุ๋ยเคมี เกรด 16-16-8 อัตรา 17.50 กรัมต่อวงบ่อ ใส่แบคทีเรียละลายฟอสเฟตแขวนลอย DASI19024 DASI19031 และ DASI19035 ที่มีความเข้มข้น 10^7 cfu/mL ปริมาตร 10 มิลลิลิตรต่อวงบ่อ ตามกรรมวิธีการทดลอง ให้น้ำ 730 มิลลิลิตรต่อวงบ่อ ทุก 3 วัน ทุกวงบ่อ ใส่ปุ๋ยครั้งที่ 2 ด้วยปุ๋ยยูเรีย (46-0-0) และปุ๋ยโพแทสเซียมคลอไรด์ (0-0-60) อัตรา 12.19 และ 7.19 กรัมต่อวงบ่อ ตามลำดับ เมื่อต้นอ้อยอายุ 4 เดือนหลังย้ายปลูก (ภาพที่ 2 B) ให้ใส่แบคทีเรียละลายฟอสเฟตแขวนลอย DASI19024 DASI19031 และ DASI19035 ที่มีความเข้มข้นแบคทีเรียละลายฟอสเฟต 10^7 cfu/mL ปริมาตร 10 มิลลิลิตรต่อวงบ่อ ตามกรรมวิธีการทดลองอีกครั้ง ก่อนเริ่มศึกษาผลของระยะเวลาให้น้ำ ที่ 7 14 และ 21 วัน ตามกรรมวิธีการทดลอง เก็บตัวอย่างใบอ้อยก่อนให้น้ำ เพื่อวิเคราะห์ปริมาณโปรตีนและคลอโรฟิลล์ที่สะสมในใบ ติดตามการเจริญเติบโตของต้นอ้อยโดยวัดความสูงของอ้อยที่ 4, 6, 8 และ 10 เดือนหลังย้ายปลูก เก็บเกี่ยวผลผลิตอ้อยที่ 11 เดือนหลังย้ายปลูก ชั่งน้ำหนักผลผลิตและสุ่มวัดค่า °Brix ของน้ำอ้อย



ภาพที่ 2 ต้นอ้อยที่ย้ายลงปลูกในวงบ่อซีเมนต์ เมื่อวันที่ 3 เมษายน 2566 (A) และต้นอ้อยหลังย้ายปลูกในวงบ่อซีเมนต์ 4 เดือน (3 สิงหาคม 2566) (B)



ภาพที่ 3 การเก็บเกี่ยวผลผลิตอ้อยที่อายุเก็บเกี่ยว 11 เดือน (10 มีนาคม 2567)

ระยะเวลา เริ่มต้น ตุลาคม 2564 สิ้นสุด กันยายน 2567

สถานที่ทำการทดลอง

ห้องปฏิบัติการกลุ่มงานวิจัยจุลินทรีย์ดิน กองวิจัยพัฒนาปัจจัยการผลิตทางการเกษตร
แปลงปลูกอ้อยของเกษตรกร ต.กุดกว้าง อ.หนองเรือ จ.ขอนแก่น (16°30'14.5"N 102°17'28.7"E)

ผลการทดลองและวิจารณ์

1. ผลของแบคทีเรียละลายฟอสเฟตต่อการเจริญเติบโตของอ้อย

จากการศึกษาพบว่า จำนวนลำอ้อยมีความแปรปรวนในช่วงเดือนที่ 4 และ 6 แต่เริ่มคงที่ในเดือนที่ 8 และ 10 โดยมีค่าเฉลี่ยอยู่ในช่วง 3.7 ± 0.6 – 9.3 ± 1.2 ลำต่อวงบ่อ (ตารางที่ 1) เมื่อพิจารณาแนวโน้มโดยรวมของระยะเวลางดให้น้ำและการใส่แบคทีเรียละลายฟอสเฟตต่อจำนวนลำอ้อยที่ได้เดือนที่ 8 และ 10 (ตารางที่ 1 และ ภาพที่ 4) พบว่า ระยะเวลางดให้น้ำและการใส่แบคทีเรียละลายฟอสเฟต ส่งผลต่อจำนวนลำอ้อยที่ได้ โดยการงดให้น้ำเป็นเวลา 7 วัน พบว่าการใส่แบคทีเรียละลายฟอสเฟต DASI19024 หรือ DASI19031 ให้จำนวนลำอ้อยสูงกว่าการไม่ใส่แบคทีเรียละลายฟอสเฟต การงดให้น้ำเป็นเวลา 14 วัน พบว่าการใส่แบคทีเรียละลายฟอสเฟตทั้ง DASI19024, DASI19031 และ DASI19035 ให้จำนวนลำอ้อยสูงกว่าการไม่ใส่แบคทีเรียละลายฟอสเฟต ขณะที่การงดให้น้ำเป็นเวลา 21 วัน พบว่าการใส่แบคทีเรียละลายฟอสเฟต DASI19031 หรือ DASI19035 ให้จำนวนลำอ้อยสูงกว่าการไม่ใส่แบคทีเรียละลายฟอสเฟต จากผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าการใส่แบคทีเรียละลายฟอสเฟตสามารถช่วยลดผลกระทบจากการงดให้น้ำที่มีต่อจำนวนลำอ้อย

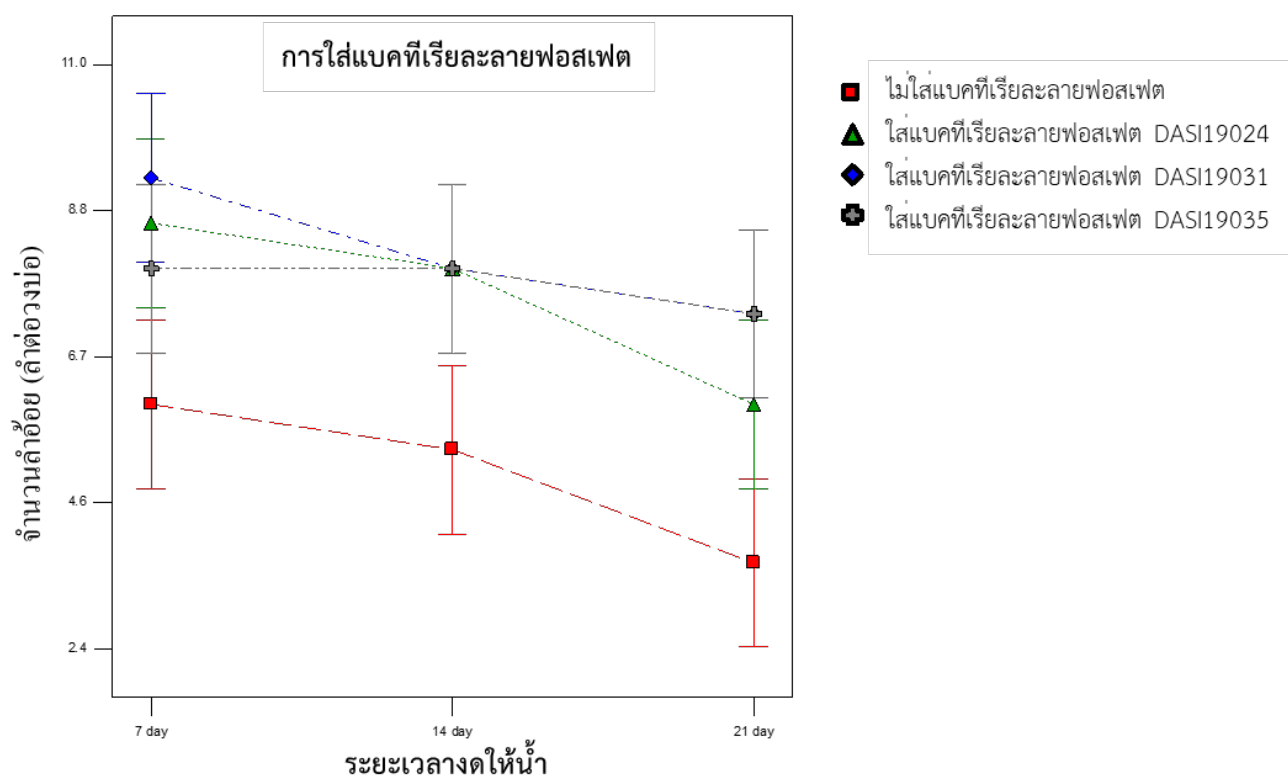
ผลต่อความสูงของอ้อย พบว่า เดือนที่ 4 และ 6 ความสูงเฉลี่ยของอ้อยอยู่ระหว่าง 24.2 ± 5.9 – 33.8 ± 4.1 เซนติเมตร และ 63.5 ± 3.0 – 86.9 ± 6.9 เซนติเมตร ตามลำดับ โดยระยะเวลางดให้น้ำและการใส่แบคทีเรียละลายฟอสเฟตส่งผลต่อความสูงของอ้อยอย่างมีนัยสำคัญ การงดน้ำเป็นเวลา 7, 14 และ 21 วัน พบว่า

แบคทีเรียละลายฟอสเฟต DASI19035 ช่วยเพิ่มความสูงของอ้อยได้มากกว่าการไม่ใส่แบคทีเรียละลายฟอสเฟต แต่อย่างไรก็ตามในเดือนที่ 8 ความสูงของอ้อยมีความแปรปรวนสูง โดยเฉลี่ยอยู่ระหว่าง 85.7 ± 2.4 - 98.8 ± 5.0 เซนติเมตร และไม่พบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ในเดือนที่ 10 ความสูงของอ้อยเฉลี่ยอยู่ระหว่าง 94.5 ± 6.2 - 132.8 ± 8.1 เซนติเมตร โดยพบว่าระยะเวลาการให้น้ำและการใส่แบคทีเรียละลายฟอสเฟตส่งผลต่อความสูงของอ้อยอย่างชัดเจน (ตารางที่ 2 และภาพที่ 5) การงดให้น้ำเป็นเวลา 7 - 14 วัน และใส่แบคทีเรียละลายฟอสเฟต DASI19031 หรือ DASI19035 ช่วยเพิ่มความสูงของอ้อยได้มากกว่าการไม่ใส่แบคทีเรียละลายฟอสเฟต ขณะที่ การงดให้น้ำเป็นเวลา 21 วัน ไม่พบความแตกต่างของความสูงระหว่างอ้อยที่ใส่และไม่ใส่แบคทีเรียละลายฟอสเฟต

ตารางที่ 1 จำนวนลำอ้อยหลังย้ายปลูกในวงบ่อซีเมนต์ 4 6 8 และ 10 เดือน

กรรมวิธี	ระยะเวลาการให้น้ำ (วัน)	แบคทีเรียละลาย ฟอสเฟต	จำนวนลำอ้อย (ลำต่อวงบ่อ)			
			4 เดือน	6 เดือน	8 เดือน	10 เดือน
T1	7 วัน	ไม่ใส่	11.0 ± 1.0^{ab}	6.3 ± 1.5^{bcd}	6.0 ± 1.0^{bcd}	6.0 ± 1.0^{bcd}
T2	7 วัน	DASI19024	10.7 ± 1.2^{abc}	8.7 ± 0.6^{ab}	8.7 ± 0.6^a	8.7 ± 0.6^a
T3	7 วัน	DASI19031	11.0 ± 1.0^{ab}	9.0 ± 1.0^a	9.3 ± 1.2^a	9.3 ± 1.2^a
T4	7 วัน	DASI19035	9.7 ± 0.6^{abcd}	8.3 ± 1.2^{abc}	8.0 ± 1.0^{ab}	8.0 ± 1.0^{ab}
T5	14 วัน	ไม่ใส่	9.3 ± 0.6^{bcd}	6.0 ± 1.0^{cd}	5.3 ± 0.6^{cd}	5.3 ± 0.6^{cd}
T6	14 วัน	DASI19024	11.3 ± 0.6^a	7.7 ± 0.6^{abc}	8.0 ± 1.0^{ab}	8.0 ± 1.0^{ab}
T7	14 วัน	DASI19031	8.7 ± 0.6^d	8.0 ± 1.0^{abc}	8.0 ± 1.0^{ab}	8.0 ± 1.0^{ab}
T8	14 วัน	DASI19035	9.7 ± 1.2^{abcd}	8.0 ± 1.0^{abc}	8.0 ± 1.0^{ab}	8.0 ± 1.0^{ab}
T9	21 วัน	ไม่ใส่	9.3 ± 0.6^{bcd}	4.0 ± 0.0^d	3.7 ± 0.6^d	3.7 ± 0.6^d
T10	21 วัน	DASI19024	9.3 ± 1.5^{bcd}	6.0 ± 1.7^{cd}	6.0 ± 2.0^{bcd}	6.0 ± 2.0^{bcd}
T11	21 วัน	DASI19031	9.3 ± 0.6^{bcd}	7.7 ± 1.5^{abc}	7.3 ± 1.5^{abc}	7.3 ± 1.5^{abc}
T12	21 วัน	DASI19035	9.0 ± 2.6^{cd}	7.7 ± 3.5^{abc}	7.3 ± 3.5^{abc}	7.3 ± 3.5^{abc}
F-test			*	*	*	*
C.V. (%)			11.9	20.6	21.2	21.2

ns = no significant; * = significantly different at 0.05 probability level; means with different superscript lowercase letters within column indicate significant difference according to DMRT.

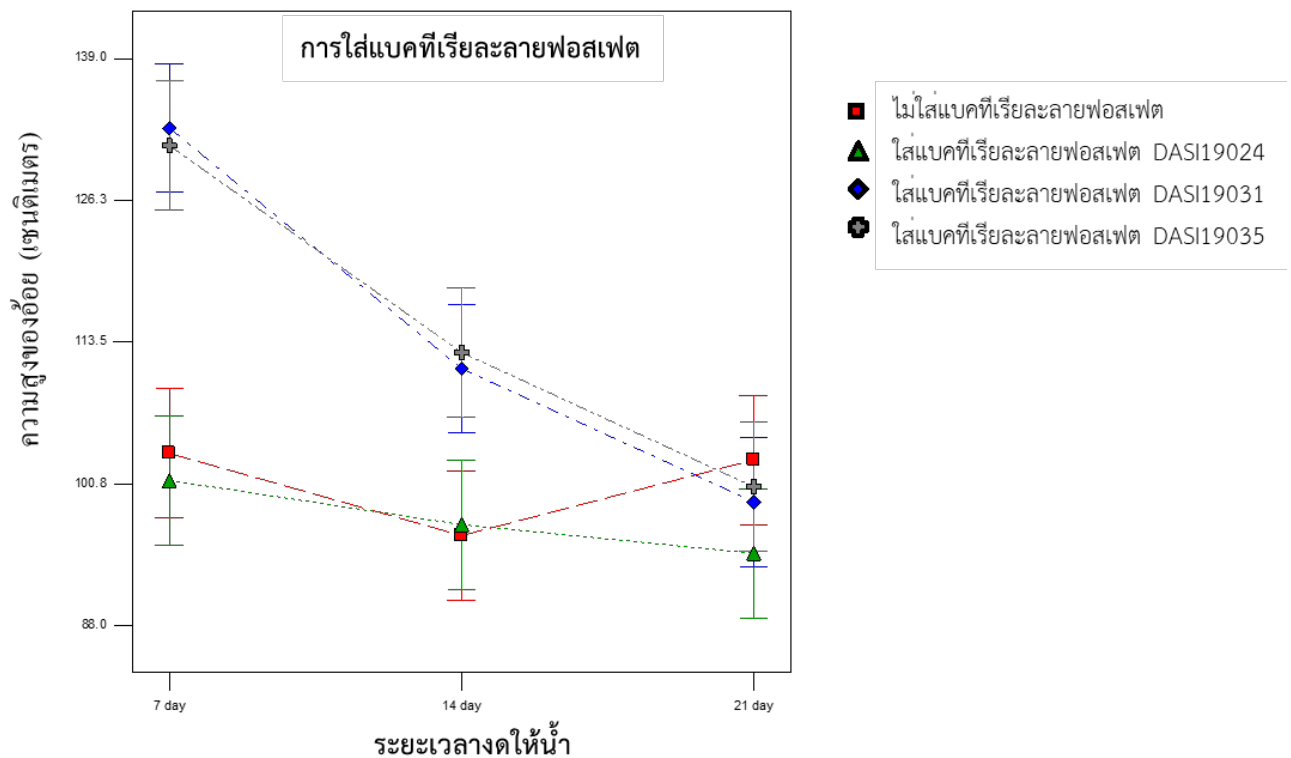


ภาพที่ 4 ผลของระยะเวลาการให้น้ำและการใส่แบคทีเรียละลายฟอสเฟตต่อจำนวนลำอ้อยเฉลี่ย (เดือนที่ 10)

ตารางที่ 2 ความสูงของอ้อยหลังย้ายปลูกในวงบ่อซีเมนต์ 4 6 8 และ 10 เดือน

กรรมวิธี	ระยะเวลาการให้น้ำ (วัน)	แบคทีเรียละลายฟอสเฟต	ความสูงของอ้อย (เซนติเมตร)			
			4 เดือน	6 เดือน	8 เดือน	10 เดือน
T1	7 วัน	ไม่ใส่	25.4±3.3 ^{bc}	77.4±4.4 ^{abc}	87.2±2.0	103.5±6.1 ^{bcd}
T2	7 วัน	DASI19024	29.4±3.5 ^{abc}	80.6±14.5 ^{ab}	87.2±8.2	101.1±9.4 ^{bcd}
T3	7 วัน	DASI19031	28.2±9.6 ^{abc}	86.9±6.9 ^a	98.8±5.0	132.8±8.1 ^a
T4	7 วัน	DASI19035	28.8±1.2 ^{abc}	86.4±9.4 ^a	98.0±21.4	131.2±5.5 ^a
T5	14 วัน	ไม่ใส่	31.9±3.8 ^{abc}	78.5±5.8 ^{abc}	84.3±3.1	96.1±7.2 ^d
T6	14 วัน	DASI19024	24.2±5.9 ^c	81.0±7.6 ^{ab}	92.0±9.5	97.1±2.8 ^d
T7	14 วัน	DASI19031	28.6±4.2 ^{abc}	79.0±6.4 ^{ab}	91.9±1.2	111.1±7.6 ^{bc}
T8	14 วัน	DASI19035	33.1±7.4 ^{ab}	86.6±11.8 ^a	92.5±7.0	112.6±3.7 ^b
T9	21 วัน	ไม่ใส่	30.8±4.2 ^{abc}	63.5±3.0 ^d	85.7±2.4	102.9±11.3 ^{bcd}
T10	21 วัน	DASI19024	28.7±4.7 ^{abc}	66.7±2.9 ^{cd}	91.6±17.3	94.5±6.2 ^d
T11	21 วัน	DASI19031	31.5±2.8 ^{abc}	77.3±10.3 ^{abc}	90.8±14.1	99.2±3.9 ^{cd}
T12	21 วัน	DASI19035	33.8±4.1 ^a	70.3±12.1 ^{bcd}	88.2±20.7	100.5±5.9 ^{bcd}
F-test			*	*	ns	*
C.V. (%)			16.0	9.1	9.8	6.7

ns = no significant; * = significantly different at 0.05 probability level; means with different superscript lowercase letters within column indicate significant difference according to DMRT.



ภาพที่ 5 ผลของระยะเวลาการให้น้ำและการใส่แบคทีเรียละลายฟอสเฟตต่อความสูงของอ้อยเฉลี่ย (เดือนที่ 10)

2. ผลของแบคทีเรียละลายฟอสเฟตต่อปริมาณโปรตีนและคลอโรฟิลล์ในใบอ้อย

ผลของแบคทีเรียละลายฟอสเฟตต่อปริมาณโปรตีนในใบอ้อย พบว่า เมื่อระยะเวลาการให้น้ำเพิ่มขึ้น (7, 14, และ 21 วัน) ใบอ้อยมีการสะสมโปรตีนเพิ่มขึ้นทั้งที่ใส่และไม่ใส่แบคทีเรียละลายฟอสเฟต (ตารางที่ 3) ซึ่งเป็นไปตามกลไกการตอบสนองของพืชต่อความเครียดจากการขาดน้ำ โดยการไม่ใส่แบคทีเรียละลายฟอสเฟต พบว่ามีปริมาณโปรตีนที่สะสมในใบอ้อยสูงสุดโดยเฉลี่ย (253 $\mu\text{g/g}$ fresh weight) ซึ่งอาจบ่งชี้ว่าพืชอยู่ภายใต้ความเครียดสูงสุด ขณะที่การใส่แบคทีเรียละลายฟอสเฟตทั้ง 3 ไอโซเลท พบว่ามีปริมาณโปรตีนที่สะสมในใบอ้อยลดลงเล็กน้อยเมื่อเทียบกับการไม่ใส่แบคทีเรียละลายฟอสเฟต ซึ่งแสดงให้เห็นว่าแบคทีเรียละลายฟอสเฟตทั้ง 3 ไอโซเลทสามารถช่วยลดความเครียดจากการขาดน้ำของอ้อยได้ โดยเฉพาะแบคทีเรียละลายฟอสเฟตไอโซเลท DASI19031 ช่วยลดการสะสมโปรตีนในใบอ้อยโดยเฉลี่ยมากที่สุด (211 $\mu\text{g/g}$ fresh weight)

ผลของแบคทีเรียละลายฟอสเฟตต่อปริมาณคลอโรฟิลล์ในใบอ้อย พบว่า ปริมาณคลอโรฟิลล์ลดลงเมื่อระยะเวลาการให้น้ำเพิ่มขึ้น โดยเฉพาะช่วง 21 วัน (ตารางที่ 4) ซึ่งเป็นไปตามกลไกการสูญเสียความสามารถในการสังเคราะห์แสงของพืชภายใต้ภาวะขาดน้ำ การไม่ใส่แบคทีเรียละลายฟอสเฟต พบว่ามีปริมาณคลอโรฟิลล์ในใบอ้อยต่ำสุดโดยเฉลี่ย (1.69 mg/g fresh weight) ซึ่งแสดงให้เห็นว่าอ้อยได้รับผลกระทบจากความเครียดมากที่สุด ขณะที่การใส่แบคทีเรียละลายฟอสเฟตมีปริมาณคลอโรฟิลล์ในใบอ้อยเฉลี่ยสูงกว่าการไม่ใส่แบคทีเรียละลายฟอสเฟต โดยเฉพาะแบคทีเรียละลายฟอสเฟต DASI19031 และ DASI19035 มีปริมาณคลอโรฟิลล์ในใบอ้อยสูงสุด (1.81 mg/g fresh weight) (ตารางที่ 4)

ตารางที่ 3 ค่าเฉลี่ยปริมาณโพสเฟต (µg/g fresh weight)

การใส่แบคทีเรีย ละลายโพสเฟต	ระยะเวลาการให้น้ำ ⁽¹⁾			การใส่แบคทีเรียละลาย โพสเฟต -เฉลี่ย
	7 วัน	14 วัน	21 วัน	
ไม่ใส่	191 a B	282 a A	285 a A	253
DASI19024	155 ab B	251 ab A	276 a A	227
DASI19031	142 b C	218 b B	274 a A	211
DASI19035	164 ab B	254 ab A	283 a A	234
ระยะเวลาการให้น้ำ-เฉลี่ย	163	251	280	231

C.V. = 11.45 เปอร์เซ็นต์

(1) เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยปริมาณโพสเฟต โดยใช้ LSD ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์

- ความแตกต่างระหว่างการใส่แบคทีเรียละลายโพสเฟตในระยะเวลาการให้น้ำเดียวกัน ใช้อักษร a, b, c
- ความแตกต่างระหว่างระยะเวลาการให้น้ำในการใส่แบคทีเรียละลายโพสเฟตเดียวกัน ใช้อักษร A, B, C

ตารางที่ 4 ค่าเฉลี่ยปริมาณคลอโรฟิลล์ (mg/g fresh weight)

การใส่แบคทีเรีย ละลายโพสเฟต	ระยะเวลาการให้น้ำ ⁽¹⁾			การใส่แบคทีเรียละลาย โพสเฟต -เฉลี่ย
	7 วัน	14 วัน	21 วัน	
ไม่ใส่	1.77 b A	1.79 a A	1.50 a B	1.69
DASI19024	1.82 a A	1.85 a A	1.57 a B	1.75
DASI19031	1.96 a A	1.86 a A	1.62 a B	1.81
DASI19035	1.97 a A	1.85 a A	1.60 a B	1.81
ระยะเวลาการให้น้ำ-เฉลี่ย	1.88	1.84	1.57	1.76

C.V. = 5.69 เปอร์เซ็นต์

(1) เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยปริมาณคลอโรฟิลล์ โดยใช้ LSD ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์

- ความแตกต่างระหว่างการใส่แบคทีเรียละลายโพสเฟตในระยะเวลาการให้น้ำเดียวกัน ใช้อักษร a, b, c
- ความแตกต่างระหว่างระยะเวลาการให้น้ำในการใส่แบคทีเรียละลายโพสเฟตเดียวกัน ใช้อักษร A, B, C

3. ผลของแบคทีเรียละลายโพสเฟตต่อผลผลิตอ้อย

จากผลการศึกษา พบว่า ระยะเวลาการให้น้ำเมื่ออ้อยอายุ 3 เดือน และการใส่แบคทีเรียละลายโพสเฟตมีผลต่อผลผลิตอ้อย โดยผลผลิตลดลงเมื่อระยะเวลาการให้น้ำเพิ่มขึ้น ที่ระยะเวลาการให้น้ำ 7 วัน ให้ผลผลิตอ้อยสูงสุด (เฉลี่ย 6.26 กิโลกรัมต่อวงบ่อ) ขณะที่ระยะเวลาการให้น้ำ 21 วัน ผลผลิตอ้อยลดลงถึงร้อยละ 37 (เฉลี่ย 3.96 กิโลกรัมต่อวงบ่อ) ซึ่งสะท้อนถึงผลกระทบของการขาดน้ำ (ตารางที่ 5) การไม่ใส่แบคทีเรียละลายโพสเฟตมีผลผลิตอ้อยต่ำที่สุดทุกช่วงเวลา โดยเฉพาะที่ระยะเวลาการให้น้ำ 21 วัน ให้ผลผลิตอ้อยเพียง 2.20 กิโลกรัมต่อวงบ่อ ซึ่งน้อยกว่าการใส่แบคทีเรียละลายโพสเฟตทั้ง 3 ไอโซเลท นอกจากนี้ยังพบว่าการใส่แบคทีเรียละลายโพสเฟต DASI19031 และ DASI19035 มีศักยภาพดีที่สุดในการรักษาผลผลิตอ้อย แม้ในสภาวะขาดน้ำ 21 วัน (ตารางที่ 5)

ส่วนค่าเฉลี่ย °Brix ของน้ำอ้อย ซึ่งเป็นค่าที่บ่งบอกปริมาณของแข็งที่ละลายในน้ำอ้อย เช่น น้ำตาล ส่งผลต่อคุณภาพน้ำอ้อย แลวน้ำมันโดยรวม พบว่า ค่าเฉลี่ย °Brix ของน้ำอ้อยเพิ่มขึ้นเมื่อระยะเวลาการให้น้ำเพิ่มขึ้น แสดงให้เห็นว่าความเข้มข้นของน้ำตาลเพิ่มขึ้นเนื่องจากลำต้นสูญเสีย น้ำ แต่อย่างไรก็ตามค่าเฉลี่ย °Brix ของน้ำอ้อยไม่มีความแตกต่างกันอย่างเด่นชัดระหว่างการใส่และไม่ใส่แบคทีเรียละลายโพสเฟต (ตารางที่ 6)

ตารางที่ 5 ค่าเฉลี่ยผลผลิตอ้อยเฉลี่ย (กิโลกรัมต่อวงบ่อ)

การใส่แบริที่เรีย ละลายฟอสเฟต	ระยะเวลางดให้น้ำ ⁽¹⁾			การใส่แบริที่เรียละลาย ฟอสเฟต -เฉลี่ย
	7 วัน	14 วัน	21 วัน	
ไม่ใส่	5.33 b A	2.77 b B	2.20 c B	3.43
DASI19024	6.27 a A	5.67 a A	3.93 b B	5.29
DASI19031	6.77 a A	5.90 a B	4.87 a C	5.85
DASI19035	6.67 a A	5.80 a A	4.83 a B	5.77
ระยะเวลางดให้น้ำ-เฉลี่ย	6.26	5.04	3.96	5.08

C.V. = 7.29 เปอร์เซนต์

⁽¹⁾ เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยผลผลิตอ้อย โดยใช้ LSD ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซนต์

- ความแตกต่างระหว่างการใส่แบริที่เรียละลายฟอสเฟตในระยะเวลางดให้น้ำเดียวกัน ใช้อักษร a, b, c
- ความแตกต่างระหว่างระยะเวลางดให้น้ำในการใส่แบริที่เรียละลายฟอสเฟตเดียวกัน ใช้อักษร A, B, C

ตารางที่ 6 ค่าเฉลี่ย °Brix ของน้ำอ้อยเฉลี่ย

การใส่แบริที่เรีย ละลายฟอสเฟต	ระยะเวลางดให้น้ำ			การใส่แบริที่เรียละลาย ฟอสเฟต -เฉลี่ย
	7 วัน	14 วัน	21 วัน	
ไม่ใส่	18.73	19.17	19.23	19.04
DASI19024	19.10	19.40	19.60	19.37
DASI19031	18.93	18.93	19.50	19.12
DASI19035	18.70	18.93	19.50	19.04
ระยะเวลางดให้น้ำ-เฉลี่ย	18.87	19.11	19.46	19.14

C.V. = 3.57 เปอร์เซนต์

สรุปผลการทดลอง

แบริที่เรียละลายฟอสเฟตช่วยให้พืชทนทานต่อความเครียดจากการขาดน้ำ โดยพิจารณาจากการลดลง การสะสมโพรงและค่าปริมาณคลอโรฟิลล์ในใบอ้อย โดยแบริที่เรียละลายฟอสเฟต DASI19031 เป็นสายพันธุ์ที่มีประสิทธิภาพดีที่สุด เนื่องจากช่วยลดการสะสมโพรงและรักษาปริมาณคลอโรฟิลล์ในใบอ้อยได้ดีที่สุด การใส่แบริที่เรียละลายฟอสเฟตช่วยเพิ่มผลผลิตอ้อย โดยเฉพาะแบริที่เรียละลายฟอสเฟต DASI19031 และ DASI19035 ซึ่งให้ผลผลิตอ้อยสูงสุดแม้ในภาวะขาดน้ำ ส่วนค่าเฉลี่ย °Brix ของน้ำอ้อยไม่มีความแตกต่างกันอย่างเด่นชัดระหว่างการใส่และไม่ใส่แบริที่เรียละลายฟอสเฟต

คำขอบคุณ

งานวิจัยนี้ได้รับการสนับสนุนงบประมาณด้านวิทยาศาสตร์ วิจัยและนวัตกรรม (ววน.) ตามกรอบการสนับสนุนงานวิจัยมูลฐาน (Fundamental Fund) จากสำนักงานคณะกรรมการส่งเสริมวิทยาศาสตร์ วิจัยและนวัตกรรม (สกสว.)

การนำผลงานวิจัยไปใช้ประโยชน์

ได้แบคทีเรียละลายฟอสเฟตที่สามารถผลิตเอนไซม์ ACC deaminase เพื่อช่วยลดความเครียดจากสภาวะแห้งแล้งในอ้อยสำหรับนำไปพัฒนาให้ได้ต้นแบบปุ๋ยชีวภาพละลายฟอสเฟตมีประสิทธิภาพและช่วยลดความเครียดของพืชในสภาวะแห้งแล้ง

เอกสารอ้างอิง

- กรมวิชาการเกษตร. 2564. คำแนะนำการใช้ปุ๋ยตามค่าวิเคราะห์ดินสำหรับพืชไร่เศรษฐกิจ. กรุงเทพฯ: กองวิจัยพัฒนาปัจจัยการผลิตทางการเกษตร กรมวิชาการเกษตร.
- Alemneh, A.A., Y. Zhou, M.H. Ryder, and M.D. Denton. 2021. Is phosphate solubilizing ability in plant growth-promoting rhizobacteria isolated from chickpea linked to their ability to produce ACC deaminase. **Journal of Applied Microbiology** 131: 2416–2432.
- Ammar, M.H., F. Anwar, E.H. El-Harty, H.M. Migdadi, S.M. Abdel-Khalik, S.A. Al-Faifi, et al., 2014. Physiological and yield responses of faba bean (*Vicia faba* L.) to drought stress in managed and open field environments. **Journal of Agronomy and Crop Science** 201: 280–287.
- Conesa, M.R., J.M. de la Rosa, R. Domingo, S. Bañon, and A. Pérez-Pastor. 2016. Changes induced by water stress on water relations, stomatal behaviour and morphology of table grapes (cv. Crimson Seedless) grown in pots. **Scientia Horticulturae** 202: 9–16.
- Haworth, M., C. Elliott-Kingston, and J.C. McElwain. 2013. Co-ordination of physiological and morphological responses of stomata to elevated $[CO_2]$ in vascular plants. **Oecologia** 171: 71–82.
- Kang, S.M., M.A. Khan, M. Hamayun, L.R. Kim, E.H. Kwon, Y.S. Kang, et al., 2021. Phosphate-solubilizing *Enterobacter ludwigii* AFFR02 and *Bacillus megaterium* Mj1212 rescues alfalfa's growth under post-drought stress. **Agriculture** 11: 485.
- Sarkar, A., P.K. Ghosh, K. Pramanik, S. Mitra, T. Soren, S. Pandey, et al., 2018. A halotolerant *Enterobacter* sp. displaying ACC deaminase activity promotes rice seedling growth under salt stress. **Research in Microbiology** 169: 20–32.

การศึกษาอิทธิพลของชนิดอาหารเลี้ยงเชื้อและอุณหภูมิต่อการสร้าง In-house library
ของแบคทีเรียทนแล้งด้วยเทคนิค MALDI-TOF MS

Influence of culture media and temperature on the creation of an
In-house library of drought-tolerant bacteria using a Maldi-tof MS

อำนาง เอี่ยมวิจารณ์ กนกอร บุญพา มนต์ชัย มนต์สิลา สนธยา ขำดีบ จิตรา เกาะแก้ว บุญทริก ฉิมชาติ
*Amnat Eamvijarn Kanokon Bunpha Monchai Manassila Sontaya Khamtib
jitra Kokeaw Boontarik Chimchat*

กลุ่มวิจัยปฐพีวิทยา

กองวิจัยพัฒนาปัจจัยการผลิตทางการเกษตร

ABSTRACT

Peptide mass fingerprinting (PMF) database for genus-species Identification of drought-tolerant bacteria: rhizobium, potassium-solubilizing bacteria and phosphate-solubilizing bacteria were established and added in MALDI-TOF MS. A total of 300 isolates were included, comprising 18 genera and 40 species. The study on the effects of culture media and temperature on microbial identification revealed that 30°C is the optimal temperature for growth. Rhizobium exhibited better growth on YMA medium than on DF medium with colony diameters ranging from 0.28 to 0.52 cm on YMA and 0 to 0.28 cm on DF. Potassium-solubilizing and phosphate-solubilizing bacteria had colony diameters on NA and DF media ranging from 0.30 to 1.65 cm and 0 to 0.49 cm, and 0.30 to 1.60 cm and 0 to 0.40 cm, respectively. Some microbial species also grew well at 35°C, while 45°C inhibited microbial growth entirely. Identification of rhizobium and phosphate-solubilizing bacteria on YMA, NA, and DF media at various temperatures corresponded with the PMF database in the MALDI-TOF MS. However, some potassium-solubilizing bacteria could not be identified. The PMF database verification of drought-tolerant microbes showed a coefficient of variation (CV) less than 10 percent, indicating that the database is accurate and can reliably be used for microbial species identification.

Keywords: Peptide mass fingerprinting; In-house library; drought-tolerant bacteria; Maldi-tof MS

บทคัดย่อ

การสร้างฐานข้อมูล Peptide mass fingerprinting (PMF) ในการจำแนกสกุล-ชนิดของแบคทีเรียที่เรื้อนแล้งในแบคทีเรียไรโซเบียม กลุ่มแบคทีเรียละลายโพแทสเซียม และแบคทีเรียละลายฟอสเฟตในเครื่อง MALDI-TOF MS ได้ จำนวน 300 ไอโซเลท ประกอบด้วยแบคทีเรีย 18 สกุล 40 ชนิด การศึกษาผลกระทบของอาหารเลี้ยงเชื้อและอุณหภูมิต่อการจำแนกชนิดจุลินทรีย์ พบว่า ที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส เป็นอุณหภูมิเหมาะสมกับการเจริญ โดยแบคทีเรียไรโซเบียมเจริญบนอาหาร YMA ได้ดีกว่าอาหาร DF มีความกว้างของโคโลนีบนอาหาร YMA และอาหาร DF อยู่ในช่วง 0.28-0.52 และ 0-0.28 เซนติเมตร แบคทีเรียละลายโพแทสเซียมและแบคทีเรียละลายฟอสเฟต มีความกว้างของโคโลนีบนอาหาร NA และอาหาร DF อยู่ในช่วง 0.30-1.65 และ 0-0.49 เซนติเมตร และ 0.30-1.60 และ 0-0.400 เซนติเมตร ตามลำดับ และมีจุลินทรีย์บางชนิดเจริญได้ดีที่อุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียส โดยที่อุณหภูมิ 45 องศาเซลเซียส ยับยั้งการเจริญของจุลินทรีย์ และการจัดจำแนกแบคทีเรียไรโซเบียมและแบคทีเรียละลายฟอสเฟตบนอาหาร YMA, NA และ DF ที่อุณหภูมิต่าง ๆ ได้ผลตรงกับฐานข้อมูล PMF ในเครื่อง MALDI-TOF MS ขณะที่แบคทีเรียละลายโพแทสเซียมบางชนิดไม่สามารถจำแนกชนิดได้ และการทวนสอบฐานข้อมูล PMF ของจุลินทรีย์ที่เรื้อนแล้งมีค่า CV ไม่เกิน 10 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งแสดงว่าฐานข้อมูลมีความถูกต้องและสามารถใช้จำแนกชนิดจุลินทรีย์ได้อย่างแม่นยำ

คำสำคัญ: Peptide mass fingerprinting; ฐานข้อมูล; แบคทีเรียที่เรื้อนแล้ง, MALDI-TOF MS

บทนำ

การจำแนกชนิดของจุลินทรีย์โดยเทคนิค MALDI-TOF MS (Matrix Assisted Laser Desorption Ionization-time of flight mass spectrometry) เป็นการวิเคราะห์สัดส่วนมวลต่อประจุของอนุภาคที่มีประจุ เพื่อระบุมวลของอนุภาคหรือในโมเลกุล และเพื่อแสดงถึงโครงสร้างทางเคมีของโมเลกุล เช่น เปปไทด์ และสารประกอบทางเคมีอื่น ๆ และใช้ลายนิ้วมือเปปไทด์ (Peptide mass fingerprinting) หรือโปรตีนที่เฉพาะเจาะจงในการบ่งบอกความแตกต่างของจุลินทรีย์ในระดับสกุลและชนิด เทคนิคนี้ถูกนำมาใช้ในการบ่งบอกชนิดของแบคทีเรียครั้งแรกโดย Anhalt and Fenselau (1975) และกลายเป็นเทคนิคมาตรฐานในการระบุชนิดแบคทีเรียอย่างรวดเร็วทางห้องปฏิบัติการจุลชีววิทยาคลินิกและจุลชีววิทยาทางอาหาร นับตั้งแต่ปี พ.ศ. 2553 มีงานวิจัยการใช้เครื่องมือลัดติฟในการจำแนกชนิดแบคทีเรียทางด้านการแพทย์และอุตสาหกรรมจำนวนมาก เช่น Varadi *et al.* (2017) สามารถจำแนกแบคทีเรียชนิด *Pseudomonas aeruginosa*, *Ralstonia pickettii*, *Burkholderia multivorans*, *B.cenocepacia* และ *B. contaminans* ซึ่งเป็นสาเหตุโรคของคนได้อย่างรวดเร็ว ด้านอุตสาหกรรมอาหาร Elbehiry *et al.* (2017) สํารวจอาหารในประเทศซาอุดีอาระเบีย จำนวน 80 ตัวอย่าง โดยแยกเชื้อบนอาหารสูตรจำเพาะ และใช้เทคนิค MALDI-TOF MS จำแนกแบคทีเรียได้ 69 ไอโซเลท เช่น *Campylobacter jejuni*, *Escherichia coli*, *Salmonella enterica*, *Staphylococcus aureus*, *Acinetobacter baumannii*, *Enterobacter cloacae* และ *Klebsiella pneumoniae* ในทางเดียวกันมีการประยุกต์ใช้เทคนิคนี้ทางด้านการเกษตรโดยทดสอบศักยภาพของวิธีเพื่อจำแนกชนิดของแบคทีเรียในวงศ์ Rhizobiaceae ได้แก่ *Rhizobium*, *Ensifer*, *Shinella*, *Mesorhizobium* และ *Azorhizobium* โดยเปรียบเทียบกับวิธี Phylogenetic analyses พบว่าทั้ง 2 วิธี ให้ผลการจำแนกเหมือนกัน 100 เปอร์เซ็นต์ (Ferreira *et al.*, 2011) และยังสามารถจำแนกชนิดไรโซเบียมในรูปแบบ bacteroids ที่แยกออกมาโดยตรงจากปมรากของพืชตระกูลถั่ว Phaseoleae (ถั่วพุ่ม ถั่วเหลือง ถั่วซีกาโตร) ได้อย่างถูกต้องถึง 97% (Ziegler *et al.*, 2012) Jia *et al.* (2015) ได้ทดสอบ

ปัจจัยที่มีผลต่อความถูกต้องของการจำแนกชนิดไรโซเบียมด้วยเครื่อง MALDI-TOF MS ได้แก่ อาหารเลี้ยงเชื้อ ชนิดเหลวและชนิดแข็ง ระยะการเจริญของเชื้อที่ต่างกัน การเก็บรักษาเชื้อไว้ในอุณหภูมิ 4 หรือ 21 องศาเซลเซียส และการใช้ชนิดและสกุลของไรโซเบียมที่หลากหลายในการทำ In-house library โดยพบว่าชนิดของอาหารมีผลกระทบต่อสเปกตรัมของโปรไฟล์โปรตีนเพียงเล็กน้อย และเวลาในการสุมตัวอย่างที่เหมาะสมอยู่ระหว่าง exponential phase และ stationary phase ส่วนการเก็บรักษาเชื้อไว้ในอุณหภูมิ 4 หรือ 21°C ไม่กระทบต่อโปรไฟล์โปรตีนของเชื้อ นอกจากนี้ Schott *et al.* (2016) พบว่าเครื่อง MALDI-TOF MS สามารถประยุกต์ใช้ในการศึกษาการสร้างโปรตีนของจุลินทรีย์ที่เกิดจากความเครียดในสภาวะต่าง ๆ เช่น ความเข้มข้นของสารในอาหารเลี้ยงเชื้อจุลินทรีย์ (Osmotic pressure) การเกิดออกซิเดชัน (Oxidative stress) อุณหภูมิ (Temperature stress) ความเป็นกรด-ด่าง (pH stress) การขาดแคลนอาหาร (Starvation stress) และความแห้งแล้ง (Drought stress) เป็นต้น โดยศึกษาการเปลี่ยนแปลงของโปรตีนที่เชื้อ *Lactobacillus paracasei* subsp. *paracasei* สร้างขึ้นในสภาวะความเครียดแบบต่าง ๆ พบว่า เครื่อง MALDI-TOF MS สามารถตรวจสอบโปรตีนน้ำหนักโมเลกุลต่ำที่ถูกสร้างขึ้นขณะที่เชื้อเกิดความเครียดหรือถูกเปลี่ยนแปลงสภาพแวดล้อม เพื่อสร้าง biomarker ในการจำแนกชนิดของโปรตีนที่ง่ายและรวดเร็ว งานวิจัยนี้ศึกษาผลของอาหารเลี้ยงเชื้อและอุณหภูมิที่มีผลต่อการสร้าง In-house library ในการจำแนกสกุล-ชนิดของแบคทีเรียไรโซเบียม แบคทีเรียละลายโพแทสเซียมและแบคทีเรียละลายฟอสเฟตด้วยเครื่อง MALDI-TOF MS และสร้างฐานข้อมูลการจำแนกจุลินทรีย์ให้ครอบคลุมกับชนิดและคุณสมบัติของแบคทีเรีย อีกทั้งยังสามารถนำมาประยุกต์ใช้ในการจำแนกชนิดแบคทีเรียทางการเกษตรได้อย่างมีประสิทธิภาพ

อุปกรณ์และวิธีการ

อุปกรณ์

1. เชื้อแบคทีเรียกลุ่มไรโซเบียม แบคทีเรียละลายโพแทสเซียมและแบคทีเรียละลายฟอสเฟต จำนวน 300 ไอโซเลต
2. อาหารเพาะเลี้ยงแบคทีเรีย ได้แก่ Yeast mannitol broth (YMB), Yeast mannitol agar (YMA), Nutrient broth (NB), Nutrient agar (NA) และ modified minimal salts medium (DF) (Dworkin and Foster, 1958) ที่เติม 3 mM 1-aminocyclopropane-1-carboxylic acid (ACC)
3. สารเคมีสำหรับวิเคราะห์โปรตีนแบคทีเรีย ได้แก่ Bacterial Test Standard (BTS), α -Cyano-4-hydroxycinnamic acid (HCCA), Standard solvent (อะซิโตนไตรล 50%, น้ำ 47.5% และกรดไตรฟลูออโรอะซิติก 2.5%) กรดฟอร์มิก 70% และเอทานอล 70%
4. เครื่องมือวิทยาศาสตร์ ได้แก่ ตู้บ่มเชื้อ ตู้บลมร้อน เครื่องเขย่า หม้อนึ่งฆ่าเชื้อ เครื่องปั่นเหวี่ยง เครื่องชั่ง ทศนิยม 2 และ 4 ตำแหน่ง เครื่องเขย่าสาร และเครื่อง MALDI-TOF MS
5. ที่ดูดจ่ายสารละลายแบบอัตโนมัติ เครื่องแก้ว target plate และวัสดุอื่น ๆ ที่ใช้ในการปฏิบัติการวิเคราะห์และเก็บรักษาเชื้อแบคทีเรียไว้เป็นเชื้ออ้างอิง (Reference culture)

วิธีการ

1. การสร้างฐานข้อมูล In-house library ของ Peptide mass fingerprint (PMF) ของจุลินทรีย์ทนแล้ง ด้วย MALDI-TOF MS

เลี้ยงแบคทีเรียกลุ่มไรโซเบียมในอาหาร YMB และเลี้ยงแบคทีเรียละลายโพแทสเซียมและแบคทีเรียละลายฟอสเฟตในอาหาร NB เป็นเวลา 2-5 วัน ปั่นตกตะกอนเซลล์แบคทีเรียและล้างตะกอนเซลล์ด้วยเอทานอล 70% และสกัดโปรตีนแบคทีเรียด้วยกรดฟอร์มิก 70% และอะซิโตนไนไตรล์ (acetonitrile) (Bruker, 2016) นำโปรตีนที่สกัดได้ปริมาณ 1 ไมโครลิตร หยดลง Target plate รอให้ตัวอย่างแห้ง จากนั้นหยด HCCA ปริมาตร 1 ไมโครลิตร เพื่อตกผลึกโปรตีน รอให้ตัวอย่างแห้ง นำตัวอย่างวิเคราะห์โปรตีนโปรไฟล์และสร้างฐานข้อมูล PMF

2. ทดสอบอาหารเลี้ยงเชื้อและอุณหภูมิที่ใช้ในการเลี้ยงจุลินทรีย์ทนแล้ง

เลี้ยงแบคทีเรียกลุ่มไรโซเบียมบนอาหาร YMA และเลี้ยงแบคทีเรียละลายโพแทสเซียมและแบคทีเรียละลายฟอสเฟตบนอาหาร NA และอาหาร DF ที่อุณหภูมิ 25 30 35 และ 45 องศาเซลเซียส บ่มเชื้อเป็นเวลา 7 วัน บันทึกการเจริญและจำแนกชนิดของจุลินทรีย์ทนแล้งด้วยเทคนิค MALDI-TOF MS

3. การทวนสอบ (Verify) ฐานข้อมูล PMF ของจุลินทรีย์ทนแล้ง

การนำแบคทีเรียที่สร้างฐานข้อมูลแล้วมาวิเคราะห์โปรตีนโปรไฟล์ด้วยเครื่อง MALDI-TOF MS โดยทำการทดสอบไม่น้อยกว่า 10 ซ้ำ และหาค่าร้อยละสัมประสิทธิ์ความแปรปรวน (%CV) บันทึกค่า Score value ที่ได้จากการจำแนกชนิดแบคทีเรีย

4. การเก็บรักษาจุลินทรีย์ทนแล้งไว้เป็นเชื้ออ้างอิง (Reference culture)

เชื้อจุลินทรีย์สำหรับใช้งาน (Working culture) โดยจะเพาะเลี้ยงเชื้อในหลอดอาหารวุ้นเอียง (Agar slant culture) และเก็บรักษาในตู้เย็นอุณหภูมิ 5-8 องศาเซลเซียส และการเก็บรักษาเชื้อจุลินทรีย์แบบระยะยาวจะเก็บตู้เย็นที่ -80 องศาเซลเซียส

ระยะเวลา เริ่มต้น ตุลาคม 2565 สิ้นสุด กันยายน 2567

สถานที่ทำการทดลอง กลุ่มงานวิจัยจุลินทรีย์ดิน กลุ่มวิจัยปฐพีวิทยา กองวิจัยพัฒนาปัจจัยการผลิตทางการเกษตร กรุงเทพมหานคร

ผลการทดลองและวิจารณ์

การสร้างฐานข้อมูลโปรตีนโปรไฟล์แบคทีเรียในฐานข้อมูล In-house library ของ Peptide mass fingerprinting (PMF)

1. การจำแนกลักษณะโปรไฟล์โปรตีนของไรโซเบียมด้วยเทคนิค MALDI-TOF MS

เลี้ยงแบคทีเรียไรโซเบียมในอาหาร Yeast mannitol broth (YMB) เพื่อจัดทำโปรไฟล์โปรตีนแบคทีเรียไรโซเบียม จำนวน 100 สายพันธุ์ โดยพบ *Bradyrhizobium* ทั้งหมด 8 ชนิด ได้แก่ *Bradyrhizobium daqingense* จำนวน 4 สายพันธุ์ *B. diazoefficiens* จำนวน 2 สายพันธุ์ *B. elkanii* จำนวน 1 สายพันธุ์ *B. intermedium* จำนวน 1 สายพันธุ์ *B. japonicum* จำนวน 23 สายพันธุ์ *B. liaoningense* จำนวน 4 สายพันธุ์ *B. yuanmingense* จำนวน 48 สายพันธุ์ และ *Bradyrhizobium* sp. จำนวน 16 สายพันธุ์ (ภาพที่ 1) *Bradyrhizobium* เป็นแบคทีเรียแกรมลบรูปแท่ง (rod shape) ที่มี flagella อยู่ที่ยึดปลายด้านใดด้านหนึ่งหรือด้านข้างของเซลล์ พบได้ทั่วไปในดิน และมีสัมพันธ์แบบพึ่งพาอาศัยกับพืชตระกูลถั่ว (symbiosis) โดยทำหน้าที่ตรึงไนโตรเจนจากบรรยากาศเพื่อแลกกับการไปไฮเดรตจากพืช สายพันธุ์ของแบคทีเรียที่เจริญเติบโตช้า และโดยทั่วไป *Bradyrhizobium* เจริญเติบโตได้ดีที่สุดเมื่อใช้เพนโทส เป็นแหล่งของคาร์บอน (Somasegaran and Hoben, 1994) มีรายงานของ Sánchez-Juanes *et al.* (2013) ศึกษาการจำแนก *Bradyrhizobium* ชนิดต่าง ๆ ที่มีความใกล้เคียงทางพันธุกรรมกันได้ แม้จะมีความคล้ายคลึงของยีน *rrs* (Ribosomal RNA small subunit gene) มากกว่า 99 เปอร์เซ็นต์ ที่แยกจากพืชตระกูลถั่วบนอาหาร YMA และ Tryptone yeast extract เครื่องมัลติโทพสามารถจำแนกได้ถึงระดับชนิด (species)

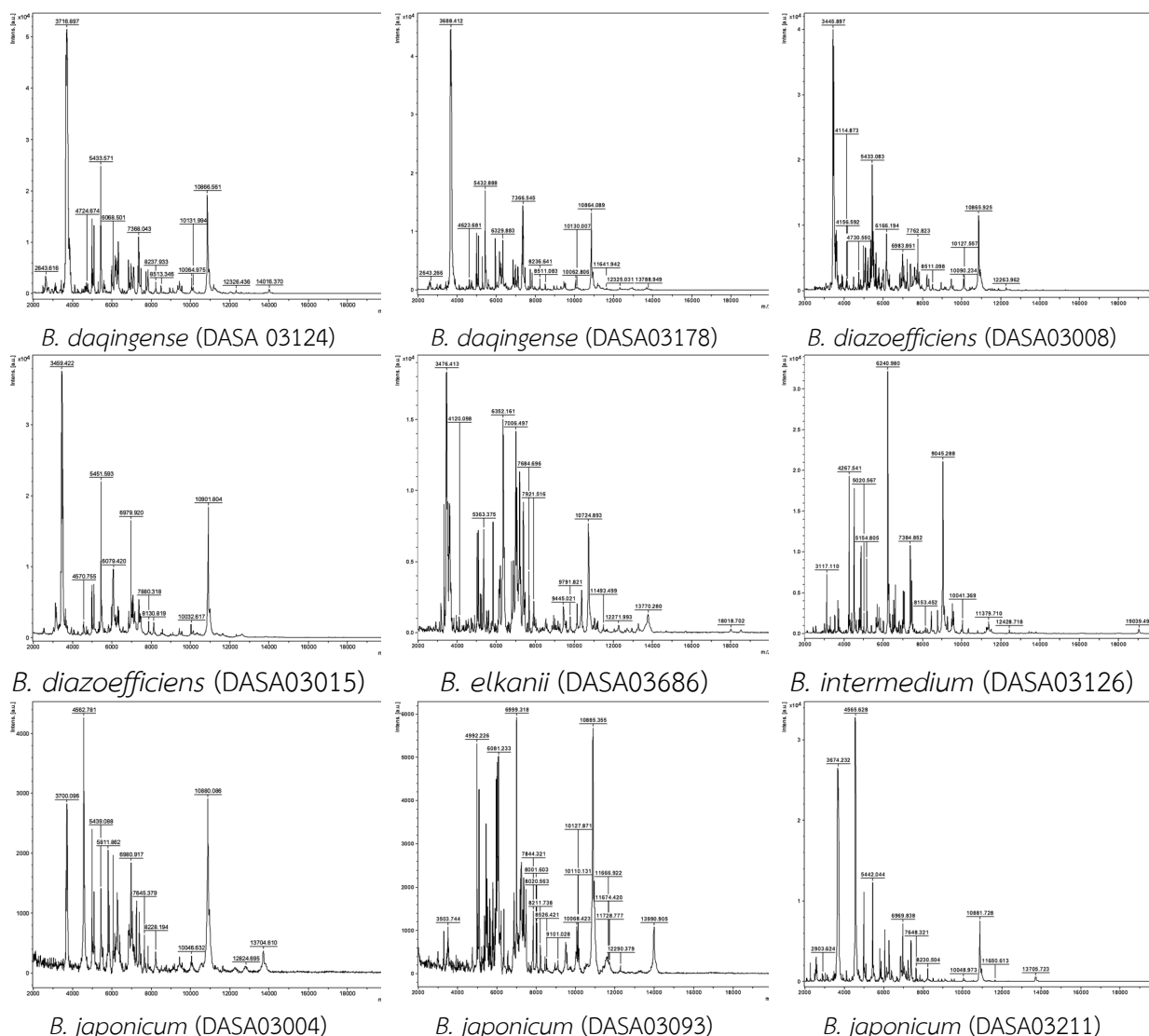
2. การจำแนกลักษณะโปรไฟล์โปรตีนของแบคทีเรียละลายโพแทสเซียมด้วยเทคนิค MALDI-TOF MS

เลี้ยงแบคทีเรียละลายโพแทสเซียมในอาหาร Nutrient broth (NB) เพื่อจัดทำโปรไฟล์โปรตีนแบคทีเรียละลายโพแทสเซียม จำนวน 100 สายพันธุ์ ได้แก่ *Enterobacter hormaechei* จำนวน 1 สายพันธุ์ *Burkholderia latens* จำนวน 2 สายพันธุ์ *Enterobacter pseudoroggenkampii* จำนวน 5 สายพันธุ์ *Burkholderia territorii* จำนวน 8 สายพันธุ์ *Burkholderia orbicola* จำนวน 4 สายพันธุ์ *Burkholderia cepacia* จำนวน 2 สายพันธุ์ *Enterobacter sichuanensis* จำนวน 3 สายพันธุ์ *Pantoea dispersa* จำนวน 1 สายพันธุ์ *Caballeronia zhejiangensis* จำนวน 1 สายพันธุ์ *Paraburkholderia tropica* จำนวน 3 สายพันธุ์ *Paraburkholderia silvatlantica* จำนวน 3 สายพันธุ์ *Burkholderia nigropunctata* จำนวน 1 สายพันธุ์ *Microbacterium resistens* จำนวน 4 สายพันธุ์ *Dyella jiangningensis* จำนวน 13 สายพันธุ์ *Burkholderia anthina* จำนวน 1 สายพันธุ์ *Burkholderia dolosa* จำนวน 1 สายพันธุ์ *Klebsiella quasivariicola* จำนวน 6 สายพันธุ์ *Bacillus cereus* จำนวน 3 สายพันธุ์ *Paenibacillus sinensis* จำนวน 3 สายพันธุ์ *Niallia taxi* จำนวน 3 สายพันธุ์ *Mesorhizobium soli* จำนวน 3 สายพันธุ์ *Priestia megaterium* จำนวน 3 สายพันธุ์ *Pseudomonas pergaminensis* จำนวน 3 สายพันธุ์ *Klebsiella quasivariicola* จำนวน 6 สายพันธุ์ *Leifsonia shinshuensis* จำนวน 15 สายพันธุ์ *Agrobacterium pusense* จำนวน 3 สายพันธุ์ และ *Neobacillus cucumis* จำนวน 3 สายพันธุ์ (ภาพที่ 2) แบคทีเรียละลายโพแทสเซียม เป็นจุลินทรีย์ที่ปลดปล่อยกรดอินทรีย์และกรดอนินทรีย์ เช่น กรดซิตริก กรดมาลิก กรดฟอร์มิก และกรดออกซาลิก เป็นต้น ช่วยละลายแร่ธาตุที่มีโพแทสเซียมเป็นองค์ประกอบในกลุ่มไมกาและกลุ่มเฟลด์สปาร์ เช่น ไบโอไทต์ มัสโคไวต์ ไมโครไคลน์ ออโทเคลส ให้อยู่ในรูปที่พืชสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้ (Styriakova *et al.*, 2003; Sheng and He, 2006) โดยทั่วไปอาหารเลี้ยงเชื้อจุลินทรีย์ในกลุ่มนี้ ได้แก่ Nutrient agar และ Tryptic soy agar มีรายงานการแยกความแตกต่างของชนิด *Burkholderia cepacia* complex ที่มีความใกล้เคียงกันทางพันธุกรรม พบว่า เครื่อง MALDI-TOF MS สามารถแยก ออกเป็น *B. cepacia*, *B. cenocepacia*, *B. vietnamiensis*, *B. multivorans* และ *B. lata* ได้

อย่างชัดเจน (Volpato et al., 2022) ในทางเดียวกันเครื่อง MALDI-TOF MS ยังเป็นเครื่องมือพื้นฐานในการจำแนกแบคทีเรียสกุลอื่น ๆ เช่น *Pseudomonas* *Enterobacter* และ *Klebsiella* เป็นต้น

3. การจำแนกลักษณะโปรไฟล์โปรตีนของแบคทีเรียละลายฟอสเฟตด้วยเทคนิค MALDI-TOF MS

เลี้ยงแบคทีเรียละลายฟอสเฟตในอาหาร Nutrient broth (NB) เพื่อจัดทำโปรไฟล์โปรตีนแบคทีเรียละลายฟอสเฟต จำนวน 100 สายพันธุ์ พบ *Klebsiella quasipneumoniae* จำนวน 4 สายพันธุ์ *Pantoea dispersa* จำนวน 4 สายพันธุ์ *Burkholderia vietnamiensis* จำนวน 4 สายพันธุ์ *Enterobacter ludwigii* จำนวน 4 สายพันธุ์ *Pantoea septic*a จำนวน 4 สายพันธุ์ *Klebsiella pneumoniae* จำนวน 9 สายพันธุ์ *Enterobacter kobei* จำนวน 4 สายพันธุ์ *Klebsiella variicola* จำนวน 5 สายพันธุ์ *Burkholderia ubonensis* จำนวน 4 สายพันธุ์ *Burkholderia latens* จำนวน 5 สายพันธุ์ *Bacillus altitudinis* จำนวน 10 สายพันธุ์ *Serratia nematodiphila* จำนวน 5 สายพันธุ์ *Bacillus aerius* จำนวน 15 สายพันธุ์ *Bacillus niacin* จำนวน 5 สายพันธุ์ *Burkholderia* sp. จำนวน 4 สายพันธุ์ *Klebsiella* sp. จำนวน 9 สายพันธุ์ และ *Pantoea* sp. จำนวน 5 สายพันธุ์ (ภาพที่ 3) แบคทีเรียละลายฟอสเฟต เป็นจุลินทรีย์ที่สามารถละลายสารประกอบฟอสเฟตที่ละลายน้ำยากให้อยู่ในรูปที่พืชนำไปใช้ประโยชน์ได้ โดยการสร้างกรดอินทรีย์และกรดอนินทรีย์ ออกมาละลายฟอสเฟต (กรมวิชาการเกษตร, 2566)



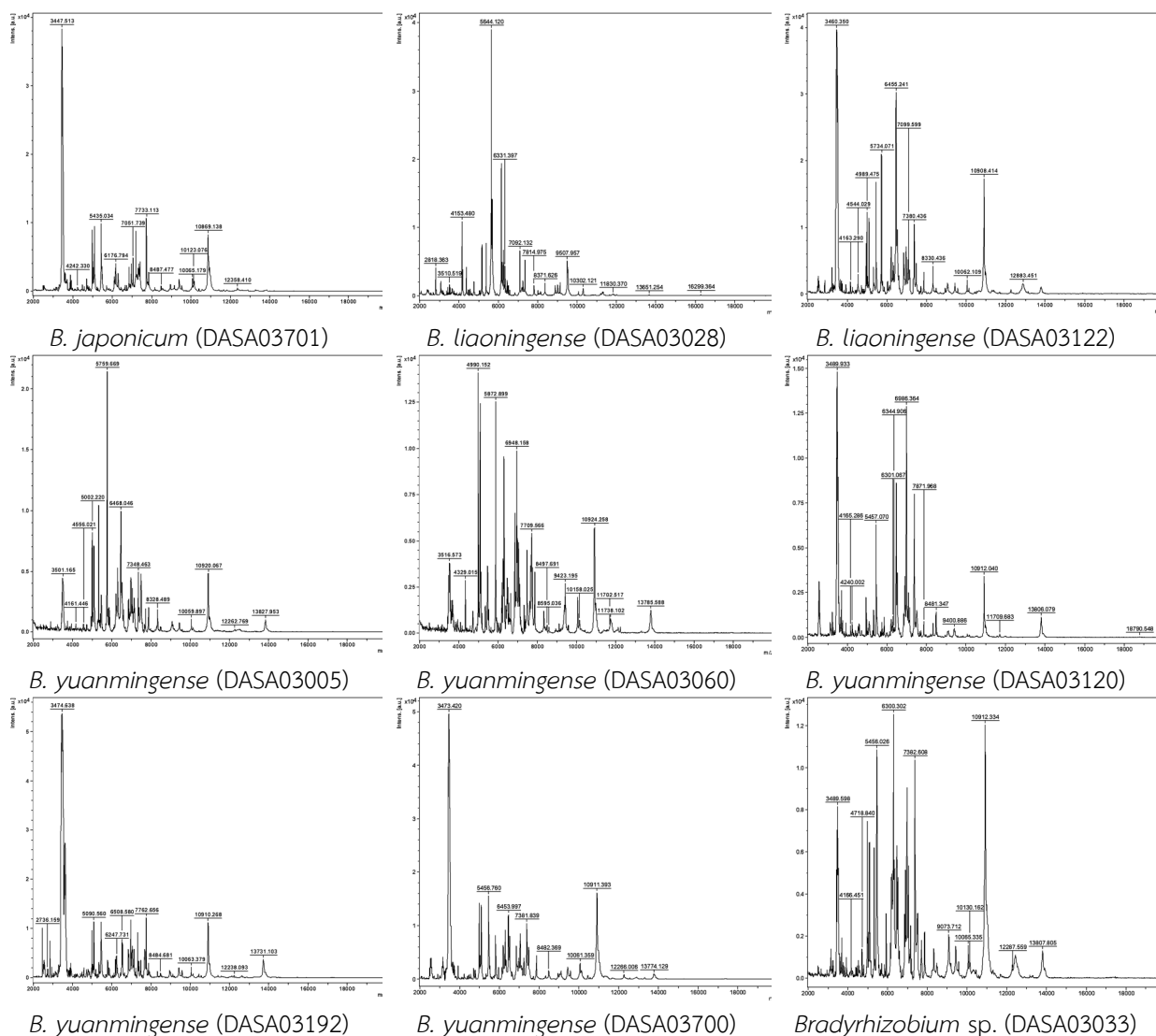
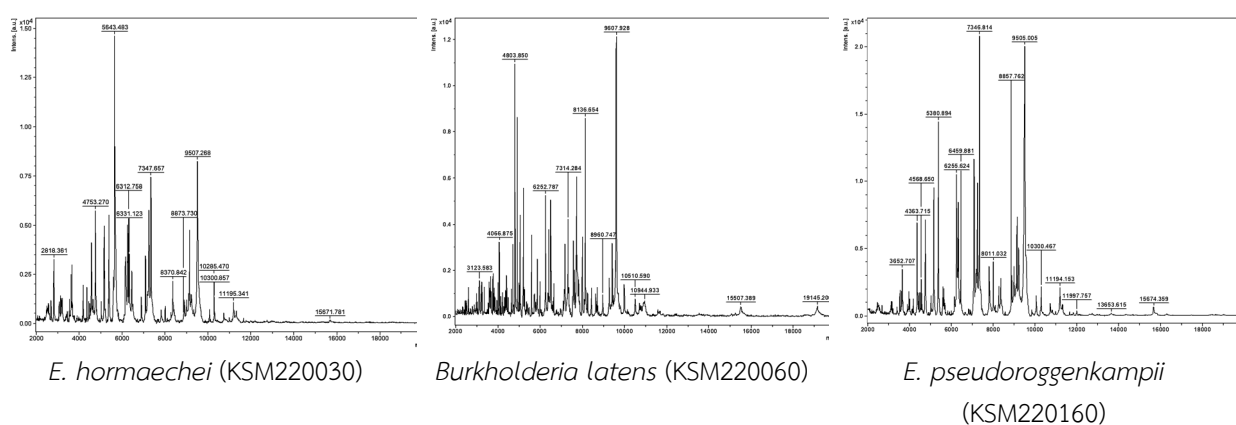
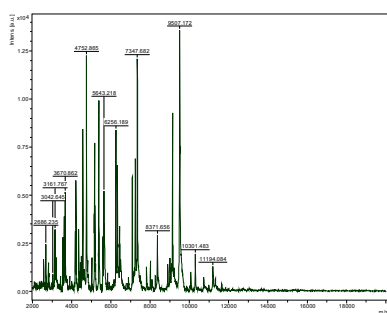
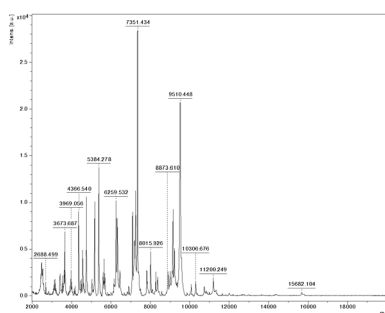


Figure 1 The protein profile of rhizobium analyzed by using MALDI-TOF MS

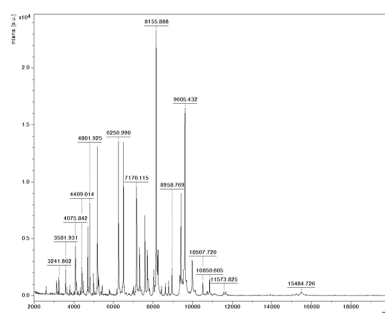




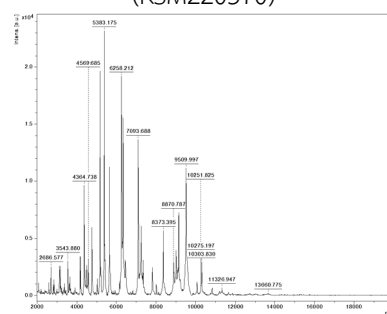
E.pseudoroggenkampii
(KSM220570)



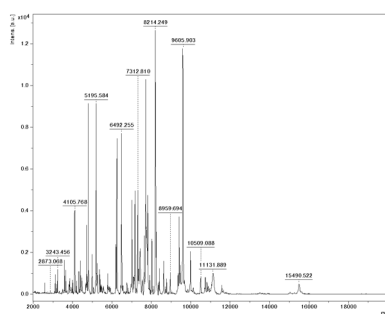
B. territorii (KSM220180)



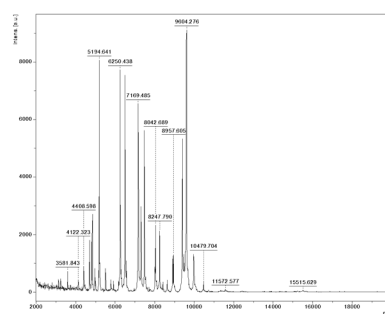
B. territorii (KSM220810)



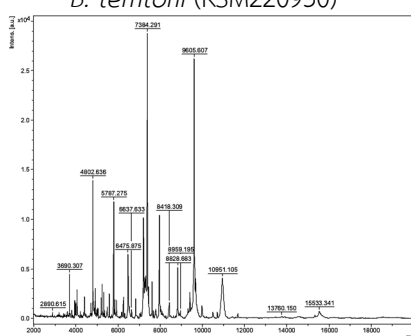
B. territorii (KSM220930)



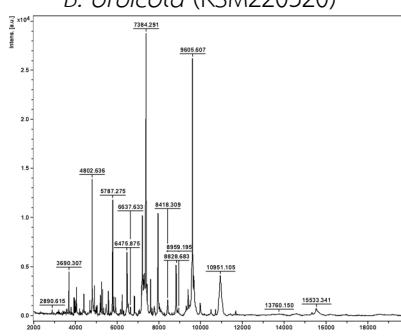
B. orbicola (KSM220320)



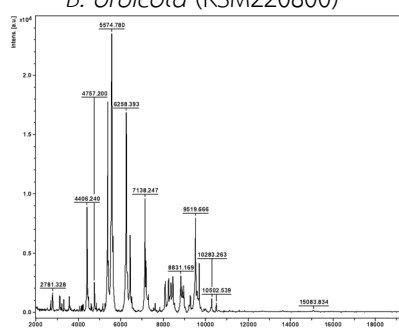
B. orbicola (KSM220800)



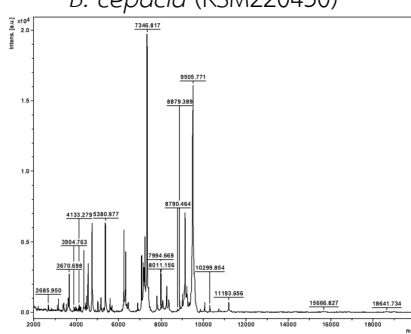
B. cepacia (KSM220430)



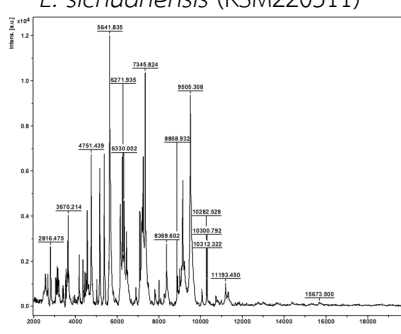
E. sichuanensis (KSM220511)



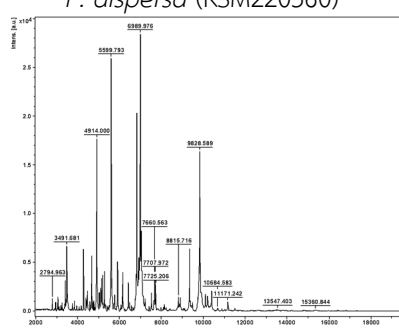
P. dispersa (KSM220560)



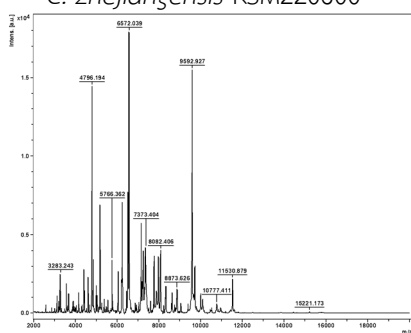
C. zhejiangensis KSM220600



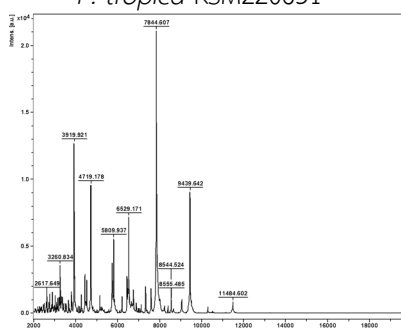
P. tropica KSM220631



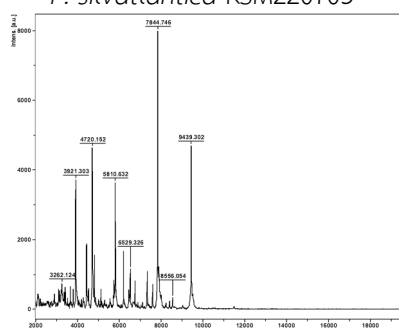
P. silvatlantica KSM220703



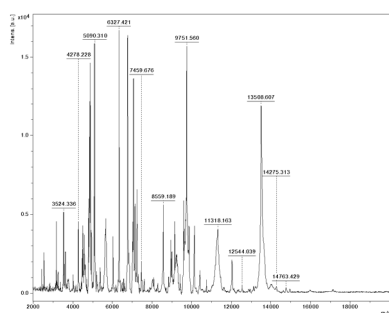
B. nigropunctata KSM220710



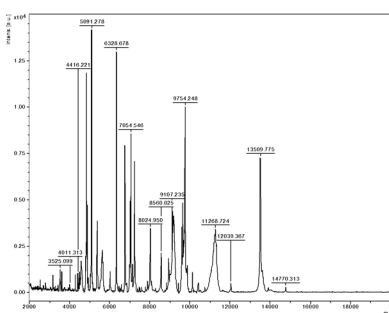
M. resistens KSM220870



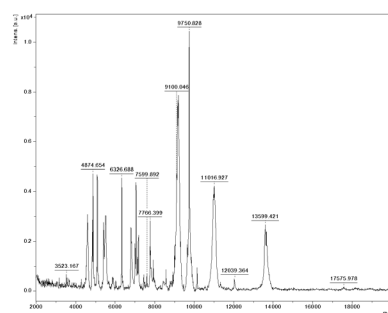
M. resistens KSM230131



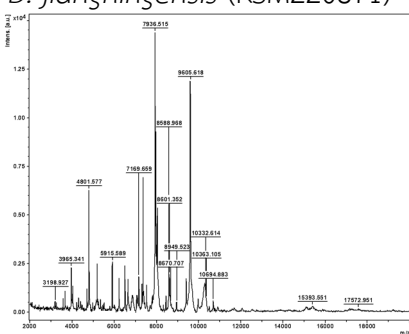
D. jiangningensis (KSM220871)



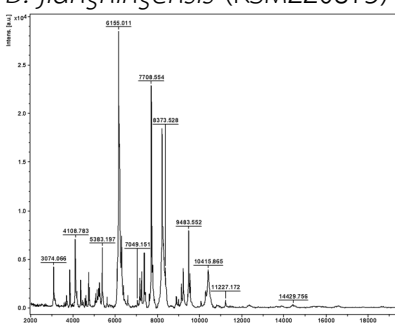
D. jiangningensis (KSM220875)



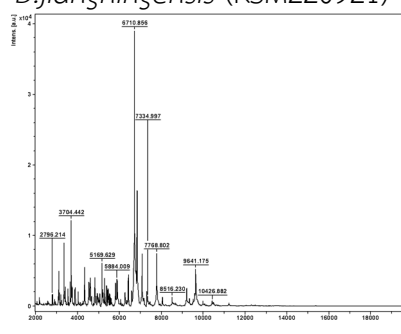
D. jiangningensis (KSM220921)



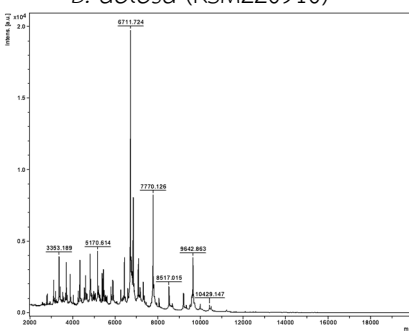
B. dolosa (KSM220910)



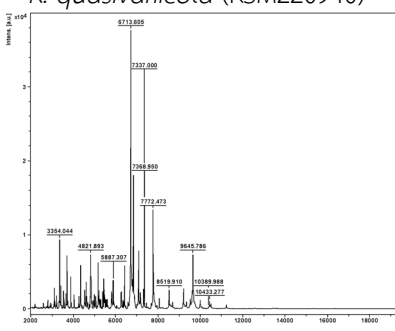
K. quasivariicola (KSM220940)



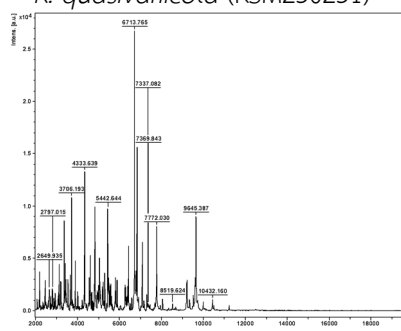
K. quasivariicola (KSM230231)



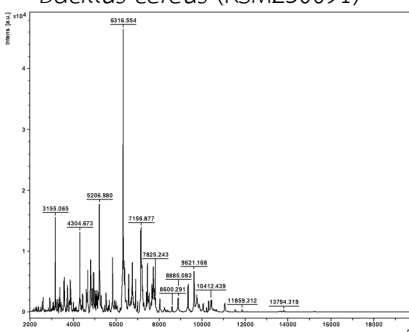
Bacillus cereus (KSM230091)



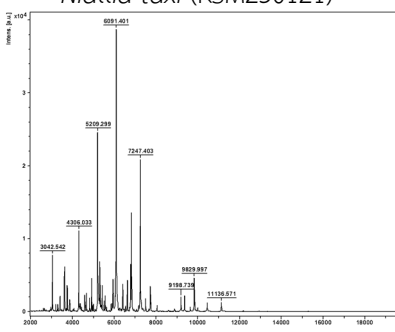
Niallia taxi (KSM230121)



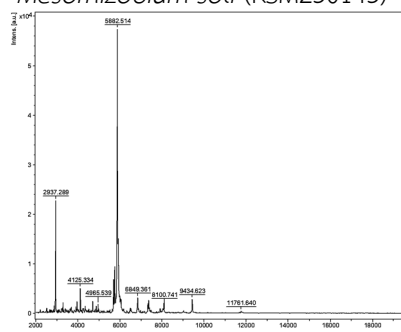
Mesorhizobium soli (KSM230143)



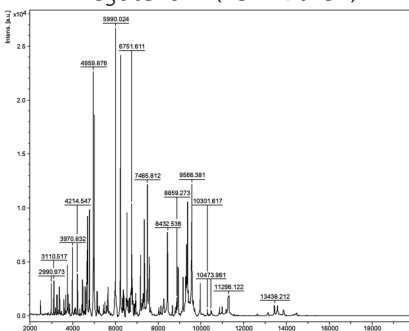
P. megaterium (KSM230151)



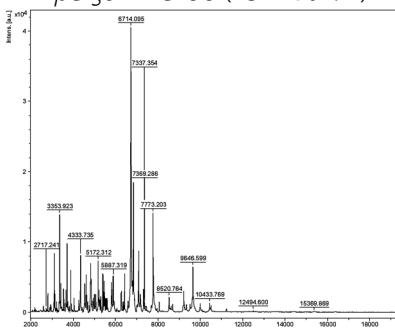
P. pergaminensis (KSM230191)



L. shinshuensis (KSM230241)

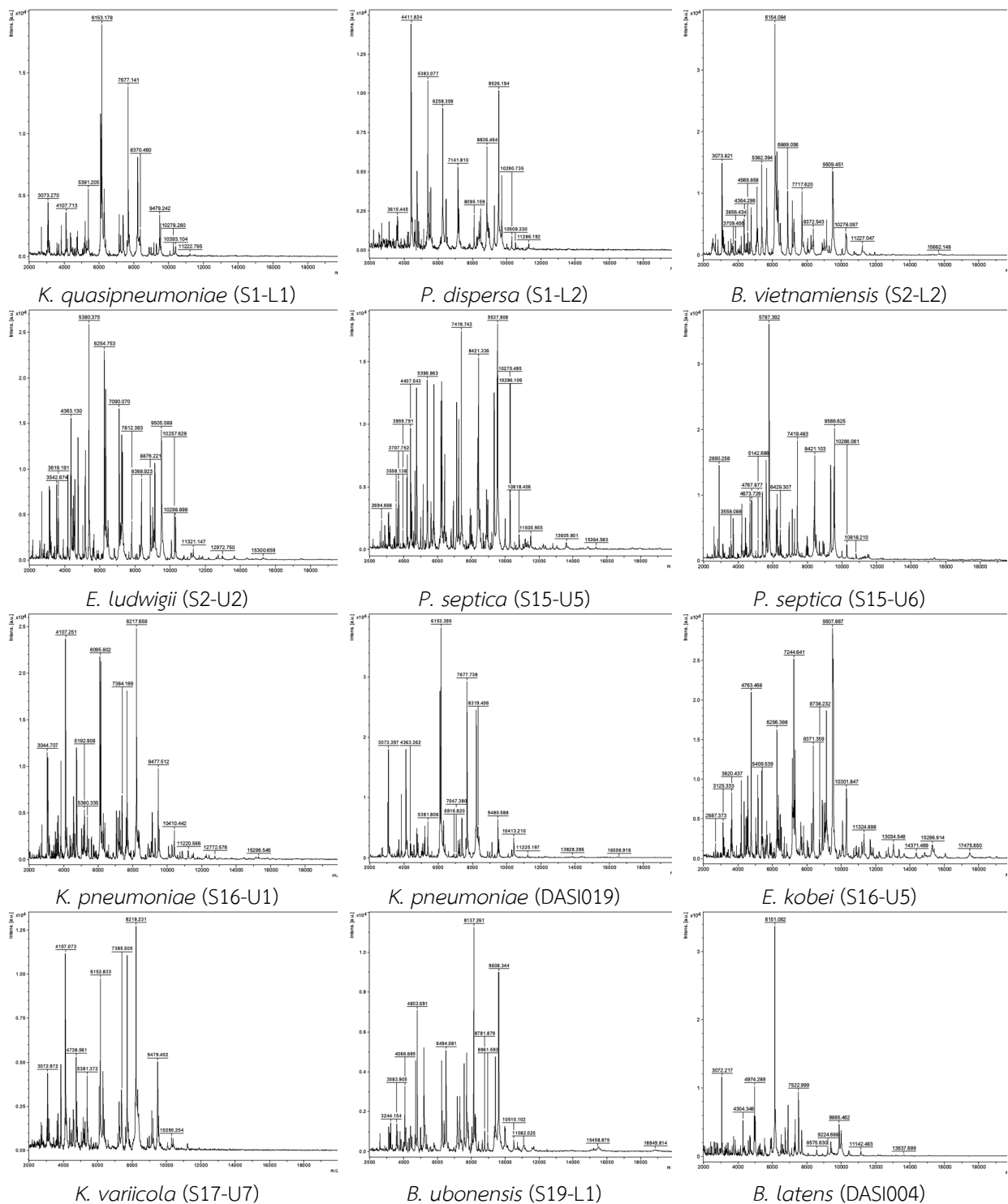


Agrobacterium pusense
(KSM230331)



Neobacillus cucumis
(KSM230572)

Figure 2 The protein profile of potassium-solubilizing bacteria analyzed by using MALDI-TOF MS



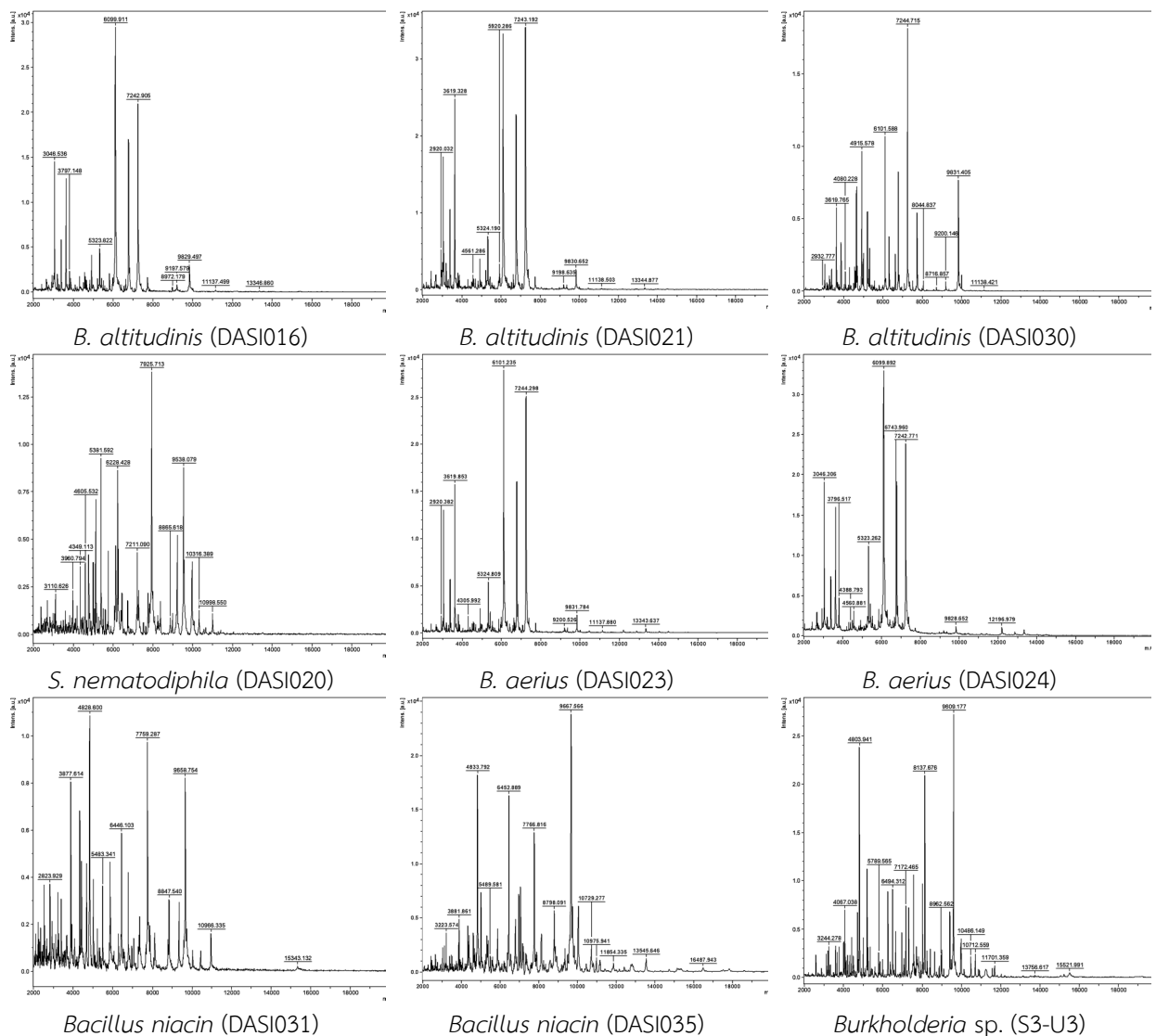


Figure 3 The protein profile of phosphate-solubilizing bacteria analyzed by using MALDI-TOF MS

การเจริญของจุลินทรีย์บนอาหารเลี้ยงเชื้อแต่ละชนิดที่อุณหภูมิ 25 30 35 และ 45 องศาเซลเซียส

การเจริญของแบคทีเรียไรโซเปียมในอาหาร Yeast mannitol agar (YMA) และอาหาร modified DF minimal salts medium (DF) ที่อุณหภูมิ 25 30 35 และ 45 องศาเซลเซียส พบว่า บนอาหาร YMA แบคทีเรียไรโซเปียมเจริญได้ดีกว่าบนอาหาร DF และอุณหภูมิที่เหมาะสมในการเจริญคือ 30 องศาเซลเซียส มีความกว้างของโคโลนีบนอาหาร YMA และอาหาร DF อยู่ในช่วง 0.28-0.52 และ 0-0.28 เซนติเมตร โดย *Bradyrhizobium subterraneum* (DASA 03033) เจริญได้สูงที่สุด มีความกว้างของโคโลนี 0.52 เซนติเมตร รองลงมาเป็น *Bradyrhizobium japonicum* (DASA 03009), *Bradyrhizobium yuanmingense* (DASA 03026) และ *Bradyrhizobium* sp. (DASA 03005) มีความกว้างของโคโลนี 0.52, 0.52 และ 0.49 เซนติเมตร ขณะที่ *Bradyrhizobium diazoefficiens* (DASA 03008), *Bradyrhizobium subterraneum* (DASA 03033) และ *Bradyrhizobium liaoningense* (DASA 03028) สามารถเจริญบนอาหาร ได้ดีทั้งที่อุณหภูมิ 30 และ 35 องศาเซลเซียส และส่วนใหญ่เจริญได้เพียง 0-0.28 เซนติเมตร บนอาหาร DF มีงานวิจัยของ Marsh *et al.*, (2006) ศึกษาผลของอุณหภูมิต่อการเจริญของ *Bradyrhizobium* spp. สายพันธุ์ต่าง ๆ บนอาหาร YMA และ YMB และ

ศึกษาการเจริญร่วมกับถั่วมะแฮะ (Pigeon pea) และถั่วพุ่ม (Cowpea) พบว่าที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส ในช่วงกลางวัน ทำให้ถั่วมะแฮะและถั่วพุ่มเจริญเติบโตได้ดีกว่าอุณหภูมิ 20 และ 38 องศาเซลเซียส ขณะที่ผลการจำแนกสกุล-ชนิดของไรโซเบียมบนอาหาร YMA และ DF บ่มเชื้อที่อุณหภูมิ 25 30 35 และ 45 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 7 วัน ด้วยเครื่อง MALDI-TOF MS พบว่าสามารถจำแนกสกุล-ชนิดของแบคทีเรียไรโซเบียมทั้งหมดได้ตรงกับฐานข้อมูล In-house library

การเจริญของแบคทีเรียละลายโพแทสเซียมในอาหาร Nutrient Agar (NA) และอาหาร DF ที่อุณหภูมิ 25 30 35 และ 45 องศาเซลเซียส พบว่า บนอาหาร NA แบคทีเรียละลายโพแทสเซียมเจริญได้ดีกว่าบนอาหาร DF และอุณหภูมิที่เหมาะสมในการเจริญคือ 30 และ 35 องศาเซลเซียส แบคทีเรียกลุ่มละลายโพแทสเซียม มีความกว้างของโคโลนีบนอาหาร NA และอาหาร DF อยู่ในช่วง 0.30-1.65 และ 0-0.49 เซนติเมตร โดยที่อุณหภูมิ 45 องศาเซลเซียส เป็นอุณหภูมิที่ไม่เหมาะสมกับการเจริญของแบคทีเรียส่วนใหญ่ ยกเว้น *Paraburkholderia silvatlantica* (KSM220702), *Burkholderia cepacia* (KSM220900), *Bacillus cereus* (KSM230091, KSM230092), *Niallia taxi* (KSM230121, KSM230122), *Priestia megaterium* (KSM230151, KSM230153), *Pseudomonas pergaminensis* (KSM230191) และ *Leifsonia shinshuensis* (KSM230271) มีความกว้างของโคโลนีเท่ากับ 1.58, 0.70, 1.38, 1.42, 1.50, 1.32, 0.90, 0.95, 0.58 และ 1.40 เซนติเมตร บนอาหาร NA ตามลำดับ ขณะที่แบคทีเรียละลายโพแทสเซียมส่วนใหญ่เจริญได้เพียง 0-0.38 เซนติเมตร บนอาหาร DF และพบว่า *Burkholderia latens* (KSM220060), *Burkholderia cepacia* (KSM220900) และ *Dyella jiangningensis* (KSM220926) สามารถเจริญบนอาหารที่อุณหภูมิ 45 องศาเซลเซียส มีความกว้างของโคโลนีเท่ากับ 0.30, 0.38 และ 0.30 เซนติเมตร ตามลำดับ ซึ่งแบคทีเรียละลายโพแทสเซียมส่วนใหญ่ไม่สามารถเจริญได้ การจำแนกเชื้อแบคทีเรียละลายโพแทสเซียมบนอาหาร NA และ DF บ่มที่อุณหภูมิ 25 30 35 และ 45 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 7 วัน ด้วยเครื่อง MALDI-TOF MS พบว่า MALDI-TOF MS ไม่สามารถจำแนกสกุล-ชนิดของแบคทีเรียละลายโพแทสเซียมที่เจริญบนอาหาร DF ได้ ยกเว้น *Burkholderia cepacia* (KSM220430), *Burkholderia latens* (KSM220440) *Enterobacter sichuanensis* (KSM220511-513), *Pantoea dispersa* (KSM220560), *Paraburkholderia tropica* (KSM220631-633), *Burkholderia territorii* (KSM220760), *Burkholderia territorii* (KSM220770), *Burkholderia territorii* (KSM220780), *Burkholderia territorii* (KSM220810), *Microbacterium resistens* (KSM220870), *Dyella jiangningensis* (KSM220921-927), *Burkholderia dolosa* (KSM220910), *Priestia megaterium* (KSM230151-153), *Leifsonia shinshuensis* (KSM230241-43), *Leifsonia shinshuensis* (KSM230281-83), *Leifsonia shinshuensis* (KSM230291, KSM230293), *Enterobacter pseudoroggenkampii* (KSM230422) และ *Microbacterium resistens* (KSM230131-33) มีรายงานพบว่า Peptide mass fingerprints ของแบคทีเรียบางชนิดมีความแตกต่างกันขึ้นอยู่กับชนิดของอาหารเลี้ยงเชื้อ เพราะสามารถกระตุ้นหรือยับยั้งการสังเคราะห์โปรตีนบางชนิดได้ (Al-Kass et al., 2020) ดังนั้นสารอาหารต่าง ๆ ในอาหารเลี้ยงเชื้อจึงมีผลต่อรูปแบบการผลิตเอนไซม์ Protease ในแบคทีเรีย ตัวอย่างเช่น *Bacillus subtilis* หลายสายพันธุ์มีความแปรผันของระดับกาแลคโตส (Galactose) และกาแลคโตซามีน (Galactosamine) ในโครงสร้างเซลล์สูง หากอาหารเลี้ยงเชื้อที่ใช้เลี้ยงต่างกัน (Longo et al., 1999; Valentine et al., 2005) นอกจากนี้อุณหภูมิที่แตกต่างกันในการเลี้ยงแบคทีเรียทำให้ลักษณะฟิโนไทป์มีความแตกต่างกัน เช่น ความสามารถในการเปลี่ยนแปลงรูปของเยื่อหุ้มเซลล์ โดยการเปลี่ยนแปลงองค์ประกอบของฟอสโฟลิปิด (Phospholipid) ในเยื่อหุ้มเซลล์ (Ramos et al., 2001) เมื่อวิเคราะห์ด้วยเครื่อง MALDI-TOF MS พบว่าโปรตีนในแมสสเปกตรัม (Mass spectrum) มีการเปลี่ยนแปลง

การเจริญของแบคทีเรียละลายฟอสเฟตในอาหาร NA และอาหาร DF ที่อุณหภูมิ 25 30 35 และ 45 องศาเซลเซียส พบว่า บนอาหาร NA แบคทีเรียละลายฟอสเฟตเจริญได้ดีกว่าบนอาหาร DF และอุณหภูมิที่เหมาะสมในการเจริญ 30 และ 35 องศาเซลเซียส แบคทีเรียกลุ่มละลายฟอสเฟต มีความกว้างของโคโลนีบนอาหาร NA และอาหาร DF อยู่ในช่วง 0.30-1.60 และ 0-0.40 เซนติเมตร และพบว่า *Enterobacter ludwigii* (S2-U2-1-5), *Klebsiella* sp. (S6-U3-1-5), *Klebsiella pneumoniae* (S16-U1-1-4), *Enterobacter kobei* (S16-U5-1-4), *Klebsiella variicola* (S17-U7-1-5), *Burkholderia ubonensis* (S19-L1-1-4), *Burkholderia latens* (DASI004-1-4), *Bacillus altitudinis* (DASI016-1-4), *Klebsiella pneumoniae* (DASI019-1-5), *Bacillus aerius* (DASI023-1-5) และ *Bacillus niacin* (DASI031-1-5) เจริญได้สูงสุดที่อุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียส โดยที่อุณหภูมิ 45 องศาเซลเซียส เป็นอุณหภูมิที่ไม่เหมาะสมกับการเจริญของแบคทีเรียส่วนใหญ่ ยกเว้น *Bacillus altitudinis* (DASI021-1-5) และ *Bacillus aerius* (DASI024-1-5) มีความกว้างของโคโลนีอยู่ในช่วง 0.75-0.85 และ 1.40-1.50 เซนติเมตร บนอาหาร NA และส่วนใหญ่เจริญได้เพียง 0-0.40 เซนติเมตร บนอาหาร DF โดยที่ อุณหภูมิ 45 องศาเซลเซียส แบคทีเรียไม่สามารถเจริญได้ ขณะที่ผลการจำแนกเชื้อแบคทีเรียละลายฟอสเฟตบนอาหาร NA และ DF บ่มที่อุณหภูมิ 25 30 35 และ 45 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 7 วัน ด้วยเครื่อง MALDI-TOF MS พบว่าสามารถจำแนกสกุล-ชนิดของแบคทีเรียละลายฟอสเฟตได้ตรงกับฐานข้อมูล In-house library

การทวนสอบ (Verify) ฐานข้อมูล PMF ของแบคทีเรียด้วยการนำแบคทีเรียที่สร้างฐานข้อมูลแล้วมาวิเคราะห์โปรไฟล์โปรตีน ด้วย MALDI-TOF MS

การทวนสอบฐานข้อมูล PMF ของแบคทีเรียไรโซเบียมจำนวน 10 สายพันธุ์ ได้แก่ สายพันธุ์ DASA 03001, DASA 03007, DASA 03008, DASA 03017, DASA 03021, DASA 03026, DASA 03031, DASA 03018, DASA 03139 และ DASA 03211 มีค่า score value อยู่ในช่วง 2.00-2.59 มีค่าเปอร์เซ็นต์สัมประสิทธิ์ของความแปรปรวน (% CV) เท่ากับ 3.77, 3.32, 2.63, 3.71, 2.95, 2.56, 2.65, 3.40, 2.04 และ 1.05 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งมีค่า CV ไม่เกิน 10 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งผ่านเกณฑ์การประเมิน (กนิษฐา และคณะ 2559) โดยผลการจำแนกสกุล-ชนิดจุลินทรีย์ ได้แก่ *Bradyrhizobium yuanmingense*, *B. japonicum*, *B. diazoefficiens*, *B. yuanmingense*, *B. japonicum*, *B. yuanmingense*, *B. yuanmingense*, *B. liaoningense*, *B. daqingense* และ *B. japonicum* (Table 1) ซึ่งตรงกับฐานข้อมูล In-house library ของ Peptide mass fingerprinting (PMF) ที่สร้างในเครื่อง MALDI-TOF MS

การทวนสอบฐานข้อมูล PMF ของแบคทีเรียละลายโพแทสเซียม จำนวน 10 สายพันธุ์ ได้แก่ สายพันธุ์ KSM 220511, KSM 220921, KSM 220770, KSM 230121, KSM 230131, KSM 230151, KSM 230152, KSM 230191, KSM 230241 และ KSM 230291 มีค่า score value อยู่ในช่วง 2.00-2.58 มี CV เท่ากับ 2.88, 3.98, 4.34, 3.61, 3.13, 3.95, 0.99, 2.12, 2.29 และ 3.76 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งมีค่า CV ไม่เกิน 10 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งผ่านเกณฑ์การประเมิน โดยผลการจำแนกสกุล-ชนิดจุลินทรีย์ ได้แก่ *Enterobacter sichuanensis*, *Dyella jiangningensis*, *Burkholderia territorii*, *Niallia taxi*, *Microbacterium resistens*, *Priestia megaterium*, *Priestia megaterium*, *Pseudomonas pergaminensis*, *Leifsonia shinshuensis* และ *Leifsonia shinshuensis* (Table 2) ซึ่งตรงกับฐานข้อมูล In-house library ของ Peptide mass fingerprinting (PMF) ที่สร้างในเครื่อง MALDI-TOF MS

การทวนสอบฐานข้อมูล PMF ของแบคทีเรียละลายฟอสเฟต จำนวน 10 สายพันธุ์ ได้แก่ สายพันธุ์ DASI004-1, DASI031-1, DASI024-1, DASI028-1, S16-U1-1, S16-U5-1, S17-U7-1, S19-L1, DASI020-1 และ DASI021-1 มีค่า score value อยู่ในช่วง 2.14-2.56 มี CV เท่ากับ 2.35, 1.24, 1.50, 4.15, 3.11, 3.80, 3.29,

3.11, 3.29 และ 2.58 เปอร์เซนต์ ซึ่งมีค่า CV ไม่เกิน 10 เปอร์เซนต์ ซึ่งผ่านเกณฑ์การประเมิน โดยผลการจำแนกสกุล-ชนิดจุลินทรีย์ ได้แก่ *Burkholderia latens*, *Bacillus niacin*, *Bacillus aerius*, *Bacillus aerius*, *Klebsiella pneumoniae*, *Enterobacter kobei*, *Klebsiella variicola*, *Burkholderia ubonensis*, *Serratia nematodiphila* และ *Bacillus altitudinis* (Table 3) ซึ่งตรงกับฐานข้อมูล In-house library ของ Peptide mass fingerprinting (PMF) ที่สร้างในเครื่อง MALDI-TOF MS

Table 1 Verification of the In-house library database of 10 strains of rhizobium peptide mass fingerprinting (PMF) in MALDI-TOF Mass spectrophotometer

Rep.	Score value*									
	DASA 03001	DASA 03007	DASA 03008	DASA 03017	DASA 03021	DASA 03026	DASA 03031	DASA 03018	DASA 03139	DASA 03211
1	2.44	2.29	2.38	2.39	2.21	2.30	2.35	2.42	2.50	2.39
2	2.32	2.27	2.32	2.26	2.12	2.26	2.32	2.30	2.47	2.45
3	2.45	2.17	2.25	2.21	2.23	2.32	2.31	2.48	2.54	2.43
4	2.57	2.17	2.38	2.29	2.18	2.28	2.28	2.34	2.44	2.40
5	2.63	2.24	2.31	2.23	2.10	2.43	2.43	2.51	2.46	2.42
6	2.47	2.18	2.22	2.47	2.21	2.41	2.35	2.39	2.43	2.42
7	2.55	2.34	2.25	2.39	2.07	2.35	2.32	2.29	2.52	2.43
8	2.57	2.40	2.27	2.31	2.12	2.35	2.30	2.42	2.59	2.37
9	2.59	2.27	2.24	2.22	2.05	2.32	2.24	2.30	2.45	2.44
10	2.44	2.24	2.33	2.32	2.11	2.25	2.21	2.30	2.46	2.39
Mean	2.503	2.257	2.292	2.309	2.140	2.327	2.311	2.375	2.486	2.414
SD.	0.094	0.075	0.060	0.086	0.063	0.060	0.061	0.081	0.051	0.025
**% CV.	3.77	3.32	2.63	3.71	2.95	2.56	2.65	3.40	2.04	1.05
Sp.	<i>B.</i> <i>yuanmingense</i>	<i>B.</i> <i>japonicum</i>	<i>B.</i> <i>diazoefficiens</i>	<i>B.</i> <i>yuanmingense</i>	<i>B.</i> <i>japonicum</i>	<i>B.</i> <i>yuanmingense</i>	<i>B.</i> <i>yuanmingense</i>	<i>B.</i> <i>liaoningense</i>	<i>B.</i> <i>dqingense</i>	<i>B.</i> <i>japonicum</i>

* Score ระหว่าง 0.00 - 1.69 แสดงผลเป็นสีแดง แปลผลว่า ไม่สามารถจำแนกได้

Score ระหว่าง 1.70 - 1.99 แสดงผลเป็นสีเหลือง แปลผลว่า สามารถรายงานระดับสกุล (Genus) ของจุลินทรีย์

Score ระหว่าง 2.00 - 3.00 แสดงผลเป็นสีเขียว แปลผลว่า สามารถรายงานระดับสกุล (Genus) และชนิด (Species) ของจุลินทรีย์

** เกณฑ์กายอมรับ %CV ≤ 10

Table 2 Verification of the In-house library database of 10 strains of potassium-solubilizing bacteria peptide mass fingerprinting (PMF) in MALDI-TOF Mass spectrophotometer

Rep.	Score value*									
	KSM 220511	KSM 220921	KSM 220770	KSM 230121	KSM 230131	KSM 230151	KSM 230152	KSM 230191	KSM 230241	KSM 230291
1	2.51	2.05	2.20	2.55	2.22	2.58	2.38	2.42	2.03	2.27
2	2.49	2.13	2.14	2.52	2.2	2.56	2.38	2.38	2.10	2.25
3	2.53	2.06	2.04	2.39	2.34	2.40	2.36	2.39	2.12	2.20
4	2.48	2.03	2.10	2.35	2.31	2.4	2.39	2.34	2.06	2.12
5	2.51	2.29	2.06	2.56	2.20	2.36	2.37	2.36	2.00	2.40
6	2.40	2.16	2.02	2.53	2.21	2.36	2.43	2.25	2.00	2.37
7	2.37	2.10	2.23	2.35	2.15	2.38	2.41	2.42	2.09	2.29
8	2.37	2.21	2.29	2.34	2.18	2.31	2.41	2.39	2.07	2.27
9	2.51	2.11	2.25	2.48	2.21	2.33	2.37	2.32	2.00	2.37
10	2.35	2.03	2.15	2.48	2.35	2.32	2.36	2.38	2.00	2.34
Mean	2.452	2.117	2.148	2.455	2.237	2.40	2.386	2.365	2.047	2.288
SD.	0.071	0.084	0.093	0.089	0.070	0.095	0.024	0.051	0.047	0.086
**% CV.	2.88	3.98	4.34	3.61	3.13	3.95	0.99	2.17	2.29	3.76
Sp.	<i>Enterobacter sichuanensis</i>	<i>Dyella jiangningensis</i>	<i>Burkholderia territorii</i>	<i>Niallia taxi</i>	<i>Microbacteri um resistens</i>	<i>Priestia megoterium</i>	<i>Priestia megoterium</i>	<i>Pseudomonas pergaminensis</i>	<i>Leifsonia shinshuensis</i>	<i>Leifsonia shinshuensis</i>

* Score ระหว่าง 0.00 - 1.69 แสดงผลเป็นสีแดง แปลผลว่า ไม่สามารถจำแนกได้

Score ระหว่าง 1.70 - 1.99 แสดงผลเป็นสีเหลือง แปลผลว่า สามารถรายงานระดับสกุล (Genus) ของจุลินทรีย์

Score ระหว่าง 2.00 - 3.00 แสดงผลเป็นสีเขียว แปลผลว่า สามารถรายงานระดับสกุล (Genus) และชนิด (Species) ของจุลินทรีย์

** เกณฑ์กายอมรับ %CV ≤ 10

Table 3 Verification of the In-house library database of 10 strains of phosphate-solubilizing bacteria peptide mass fingerprinting (PMF) in MALDI-TOF Mass spectrophotometer

Rep.	Score value*									
	DASI00 4-1	DASI03 1-1	DASI02 4-1	DASI02 8-1	S16- U1-1	S16-U 5-1	S17-U 7-1	S19-L1	DASI02 0-1	DASI02 1-1
1	2.40	2.39	2.37	2.23	2.18	2.41	2.38	2.48	2.38	2.27
2	2.47	2.45	2.32	2.40	2.29	2.40	2.33	2.45	2.33	2.38
3	2.51	2.42	2.27	2.43	2.30	2.11	2.14	2.57	2.14	2.42
4	2.55	2.39	2.33	2.36	2.29	2.42	2.38	2.52	2.38	2.43
5	2.49	2.38	2.29	2.36	2.25	2.35	2.27	2.55	2.27	2.48
6	2.55	2.44	2.31	2.37	2.40	2.39	2.34	2.47	2.34	2.43
7	2.61	2.40	2.27	2.13	2.41	2.33	2.24	2.53	2.24	2.48
8	2.47	2.44	2.30	2.26	2.32	2.35	2.33	2.49	2.33	2.42
9	2.56	2.43	2.25	2.21	2.23	2.38	2.23	2.52	2.23	2.36
10	2.51	2.47	2.31	2.31	2.34	2.34	2.32	2.34	2.32	2.44
Mean	2.512	2.421	2.302	2.306	2.301	2.348	2.296	2.492	2.296	2.411
SD.	0.059	0.030	0.035	0.096	0.072	0.089	0.076	0.065	0.076	0.062
**% CV.	2.35	1.24	1.50	4.15	3.11	3.80	3.29	2.61	3.29	2.58
Sp.	<i>Burkholderia latens</i>	<i>Bacillus niacin</i>	<i>Bacillus aerius</i>	<i>Bacillus aerius</i>	<i>Klebsiella pneumoniae</i>	<i>Enterobacter kobei</i>	<i>Klebsiella varicola</i>	<i>Burkholderia ubonensis</i>	<i>Serratia nematodiphila</i>	<i>Bacillus altitudinis</i>

* Score ระหว่าง 0.00 - 1.69 แสดงผลเป็นสีแดง แปลผลว่า ไม่สามารถจำแนกได้

Score ระหว่าง 1.70 - 1.99 แสดงผลเป็นสีเหลือง แปลผลว่า สามารถรายงานระดับสกุล (Genus) ของจุลินทรีย์

Score ระหว่าง 2.00 - 3.00 แสดงผลเป็นสีเขียว แปลผลว่า สามารถรายงานระดับสกุล (Genus) และชนิด (Species) ของจุลินทรีย์

** เกณฑ์ที่ยอมรับ %CV ≤ 10

สรุปผลการทดลอง

ฐานข้อมูล PMF ใน In-house library ของจุลินทรีย์ทนแล้ง จำนวน 300 ไอโซเลท จำแนกโดยเทคนิค MALDI-TOF MS ได้เป็น 47 ชนิดประกอบด้วย แบคทีเรียกลุ่มไรโซเบียม ได้แก่ *Bradyrhizobium daqingense*, *B. diazoefficiens*, *B. elkanii*, *B. intermedium*, *B. japonicum*, *B. liaoningense* และ *B. yuanmingense* แบคทีเรียละลายโพแทสเซียม ได้แก่ *Enterobacter hormaechei*, *E. pseudoroggenkampii*, *E. sichuanensis*, *Burkholderia latens*, *B. territorii*, *B. orbicola*, *B. cepacia*, *B. nigropunctata*, *B. dolosa*, *B. anthina*, *Paraburkholderia tropica*, *P. silvatlantica*, *Pantoea dispersa*, *Caballeronia zhejiangensis*, *Microbacterium resistens*, *Dyella jiangningensis*, *Klebsiella quasivariicola*, *Bacillus cereus*, *Paenibacillus sinensis*, *Niallia taxi*, *Mesorhizobium soli*, *Priestia megaterium*, *Pseudomonas pergaminensis*, *Leifsonia shinshuensis*, *Agrobacterium pusense*, *Neobacillus cucumis* และแบคทีเรียละลายฟอสเฟต ได้แก่ *Klebsiella quasipneumoniae*, *K. pneumoniae*, *K. variicola*, *Burkholderia latens*, *B. ubonensis*, *B. vietnamiensis*, *Enterobacter ludwigii*, *E. kobei*, *Pantoea dispersa*, *P. septica*, *Bacillus altitudinis*, *B. aerius*, *B. niacin* และ *Serratia nematodiphila* จุลินทรีย์ทนแล้งส่วนใหญ่เจริญบนอาหาร YMA และ NA ได้ดีกว่าอาหาร DF ที่อุณหภูมิ 30 และ 35 องศาเซลเซียส ขณะที่อุณหภูมิ 45 องศาเซลเซียส จุลินทรีย์หลายชนิดไม่สามารถเจริญได้ ที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส แบคทีเรียกลุ่มไรโซเบียมมีความกว้างของโคโลนีบนอาหาร YMA และอาหาร DF อยู่ในช่วง 0.28-0.52 และ 0.10-0.28 เซนติเมตร แบคทีเรียกลุ่มละลายโพแทสเซียม มีความกว้างของโคโลนีบนอาหาร NA และอาหาร DF อยู่ในช่วง 0.30-1.65 และ 0-0.49 เซนติเมตร และแบคทีเรียกลุ่มละลายฟอสเฟต มีความกว้างของโคโลนีบนอาหาร NA และอาหาร DF อยู่ในช่วง 0.30-1.60 และ 0-0.40 เซนติเมตร ทั้งนี้ผลการจัดจำแนกแบคทีเรียไรโซเบียมและแบคทีเรียละลายฟอสเฟตบนอาหาร YMA, NA และ DF ที่อุณหภูมิต่าง ๆ ได้ผลตรงกับฐานข้อมูล PMF ใน In-house library ของเครื่อง MALDI-TOF MS ขณะที่แบคทีเรียละลายโพแทสเซียมบางชนิดไม่สามารถจำแนกชนิดได้ และการทวนสอบฐานข้อมูล PMF ของจุลินทรีย์ทนแล้งมีค่า CV ไม่เกิน 10 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งแสดงว่าฐานข้อมูลมีความถูกต้องและสามารถใช้จำแนกชนิดจุลินทรีย์ได้อย่างแม่นยำ

การนำผลงานวิจัยไปใช้ประโยชน์

มีฐานข้อมูลของ Peptide mass fingerprinting ในเครื่อง MALDI-TOF MS เพื่อใช้จำแนกชนิดแบคทีเรียที่มีประโยชน์ทางการเกษตรและมีคุณสมบัติทนแล้งอย่างรวดเร็ว ลดขั้นตอนในการปฏิบัติงาน และสามารถวิเคราะห์ตัวอย่างได้มากขึ้น

เอกสารอ้างอิง

- กนิษฐา ภูวนาถนรานูบาล วิชชุดา จิระพันธุ์ และสายวรุฬ จตุรภิตตินันท์. 2559. การทดสอบความถูกต้องของวิธีการตรวจวิเคราะห์ความแรงของอิมมูโนโกลบูลินที่ทำจากมนุษย์สำหรับป้องกันโรคบาดทะยักด้วยชุดน้ำยาทดสอบสำเร็จรูป. วารสารกรมวิทยาศาสตร์การแพทย์ 58: 169-179.
- กรมวิชาการเกษตร. 2566. คู่มือตรวจวิเคราะห์ปุ๋ยชีวภาพ. กลุ่มงานวิจัยจุลินทรีย์ดิน กลุ่มวิจัยปฐพีวิทยา กองวิจัยพัฒนาปัจจัยการผลิตทางการเกษตร, กรุงเทพฯ.
- Al-Kass, Z., E. Eriksson, E. Bagge, M. Wallgren and J.M. Morrell. 2020. Microbiota of semen from stallions in Sweden identified by MALDI-TOF: bacteria in stallion semen. Veterinary and Animal Science 10: 100143.
- Anhalt, J. and C. Fenselau. 1975. Identification of bacteria using mass spectrometry. Analytical Chemistry 47: 219–225.
- Elbehiry, A., E. Marzouk, M. Hamada, M. Al-Dubaib, E. Alyamani, I.M. Moussa, A. AlRowaidhan and H.A. Hemeg. 2017. Application of MALDI-TOF MS fingerprinting as a quick tool for identification and clustering of foodborne pathogens isolated from food products. New Microbiologica 40: 269–278.
- Ferreira, L., F. Sanchez-Juanes, P. Gracia-Fraile, R. Rivas, P. Mateos, E. Martinez-Molina, J.M. Gonzales-Buitrago and E. Velazquez. 2011. MALDI-TOF mass spectrometry is a fast and reliable platform for identification and ecological studies of species from family Rhizobiaceae. Plos One 6 (5): e20223.
- Jia, R.Z., R.J. Zhang, Q. Wei, W.F. Chen, I. K.Cho, W.X. Chen and Q. X. Li. 2015. Identification and classification of Rhizobia by matrix-assisted laser desorption/ionization time-of-flight mass spectrometry. Journal of Proteomics and Bioinformatics 8: 98–107.
- Longo, M.A., I.S. Novella, L.A. Garcia and M. Diaz. 1999. Comparison of *Bacillus subtilis* and *Serratia marcescens* as protease producers under different operating conditions. Journal of Bioscience and Bioengineering 88: 35-40.
- Marsh, L.E., R. Baptiste, D.B. Marsh, D. Trinklein and R.J. Kremer. 2006. Temperature Effects on *Bradyrhizobium* spp. Growth and Symbiotic Effectiveness with Pigeon pea and Cowpea. Journal of Plant Nutrition 29: 331–346.
- Ramos, J.L., M.T. Gallegos, S. Marqués, M.I. Ramos-González, M. Espinosa-Urgel and A. Segura. 2001. Responses of Gram-negative bacteria to certain environmental stressors. Current Opinion in Microbiology 4(2): 166-171.
- Sánchez-Juanes, F., L. Ferreira, P.A. Vega, A. Valverde, M.L. Barrios, R. Rivas, P.F. Mateos, E. Martínez-Molina, J.M. González-Buitrago, M.E. Trujillo and E. Velázquez. 2013. MALDI-TOF mass spectrometry as a tool for differentiation of *Bradyrhizobium* species: Application to the identification of *Lupinus* nodulating strains. Systematic and Applied Microbiology 36: 565-571.

- Schott, A., J. Behr, J. Quinn and R.F. Vogel. 2016. MALDI-TOF mass spectrometry enables a comprehensive and fast analysis of dynamics and qualities of stress responses of *Lactobacillus paracasei* subsp. *paracasei* F19. PLoS One 11 (10): e0165504.
- Sheng, X.F. and L.Y. He. 2006. Solubilization of potassium bearing minerals by a wild type strain of *Bacillus edaphicus* and its mutants and increased potassium uptake by wheat. Canadian Journal of Microbiology 52(1): 66-72.
- Somasegaran, P. and H.J. Hoben. 1994. Handbook for Rhizobia: Methods in legume-Rhizobium Technology. University of Hawaii, NifTAL project, Paia, Hawaii. 450 p.
- Styriakova, I., I. Styriak, D. Hradil and P. Bezdicka. 2003. The release of iron bearing minerals and dissolution of feldspar by heterotrophic bacteria of *Bacillus* species. Ceramic-Silicaty 47(1): 20-26.
- Valentine, N., S. Wunschel, D. Wunschel, C. Petersen and K. Wahl. 2005. Effect of culture conditions on microorganism identification by matrix-assisted laser desorption ionization time-of-flight mass spectrometry. Applied and Environmental Microbiology 71(1): 58-64.
- Várad, L., J.L. Luo, D.E. Hibbs, J.D. Perry, R.J. Anderson, S. Orenge and P.W. Groundwater. 2017. Methods for the detection and identification of pathogenic bacteria: past, present, and future. Chemical Society Reviews 46: 4818-4832.
- Volpato, F.C.Z., M.K. Hernandez, P.L. Wink, D.S. Martins and A.L. Barth. 2022. Evaluation of MALDI-TOF MS System for the Identification and Differentiation of *Burkholderia cepacia* Complex Species. Brazilian Archives of Biology and Technology 65: e22210572.
- Ziegler, D., A. Mariotti, V. Pfluger, M. Saad, G. Vogel, M. Tonolla and X. Perret. 2012. *In Situ* identification of plant-invasive bacteria with MALDI-TOF mass spectrometry. Plos One 7 (5): e37189.

การทดสอบอัตราปุ๋ยที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของกาแฟอาราบิกา

Testing the Optimal Fertilizer Rate for the Growth of Arabica Coffee

วริศ แคนคอง¹ ปิยะนันท์ วิวัฒน์วิทยา¹ กิตจเมธ แจ่มศิริกุล¹ ณัฐพงศ์ ศรีสมบัติ¹

ฉัตรดนภา ข่มอาวุธ² ศิริภรณ์ จรินทร์³

Varis Khaenkhongh¹ Piyanun Wiwatwittaya¹ Kitjamate Jangsirikul¹

Nuttapong Srisombat¹ Chatnapa Khomarwut² Siriporn Jarintorn³

กลุ่มวิจัยปฐพีวิทยา

กองวิจัยพัฒนาปัจจัยการผลิตทางการเกษตร

ABSTRACT

Arabica coffee is a major economic crop in Thailand, and appropriate fertilizer management plays a critical role in reducing production costs while enhancing both yield and quality. This study was conducted to determine the optimal fertilizer application rate for Arabica coffee growth and yield. The field experiment was carried out in Doi Saket District, Chiang Mai Province, using six-year-old coffee trees grown in strongly acidic soil characterized by high organic matter, low available phosphorus, and high available potassium. A randomized complete block design (RCBD) with seven replications and six trees per plot was employed. Three fertilizer treatments were evaluated: (1) farmer's practice, consisting of a mixture of 46-0-0 and 15-15-15 fertilizers in a 1:3 ratio, applied at 100 g/tree/year; (2) the Department of Agriculture's recommendation, applied at 110-46-90 g N-P₂O₅-K₂O/tree/year; and (3) fertilizer application based on soil analysis, applied at 110-92-45 g N-P₂O₅-K₂O/tree/year. The results revealed that fertilizer applications based on soil analysis significantly increased fresh coffee cherry yield, producing 1,940 g/tree, compared with 1,516 g/tree from the Department of Agriculture's recommendation and 1,092 g/tree from the farmer's practice. These findings highlight the importance of soil-test-based fertilizer management for enhancing Arabica coffee productivity.

Keywords: Arabica Coffee, Fertilizer management, Inorganic fertilizer, Chiang Mai

¹กองวิจัยพัฒนาปัจจัยการผลิตทางการเกษตร

¹Agricultural Production Science Research and Development Division

²ศูนย์วิจัยและพัฒนาการเกษตรแพร่

²Phare Agricultural Research and Development Center

³ศูนย์วิจัยเกษตรหลวงเชียงใหม่

³Chiang Mai Royal Agricultural Research Center

บทคัดย่อ

กาแฟอะราบิกาเป็นพืชเศรษฐกิจที่มีความสำคัญของประเทศไทย การจัดการปุ๋ยอย่างเหมาะสมเป็นปัจจัยสำคัญที่ส่งผลต่อต้นทุนและศักยภาพในการเพิ่มผลผลิตทั้งในด้านปริมาณและคุณภาพของกาแฟ การทดลองนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อทดสอบอัตราปุ๋ยที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตและผลผลิตกาแฟอะราบิกา ดำเนินการทดลองที่แปลงเกษตรกร อ.ดอยสะเก็ด จ.เชียงใหม่ ต้นกาแฟอายุ 6 ปี ดินมีค่าปฏิกริยาดินเป็นดินกรดจัด อินทรีย์วัตถุอยู่ในระดับสูง ปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์อยู่ในระดับต่ำ และโพแทสเซียมที่เป็นประโยชน์อยู่ในระดับสูง วางแผนการทดลองแบบ Randomized complete block (RCB) จำนวน 7 ซ้ำๆ ละ 6 ต้น ประกอบด้วย 3 กรรมวิธี คือ 1) การใส่ปุ๋ยตามอัตราเกษตรกร คือ ปุ๋ยเคมี 46-0-0 ผสมกับ 15-15-15 อัตราส่วน 1:3 อัตรา 100 กรัม/ต้น/ปี 2) ใส่ปุ๋ยตามคำแนะนำกรมวิชาการเกษตร อัตรา 110-46-90 กรัม N-P₂O₅-K₂O/ต้น/ปี 3) ใส่ปุ๋ยตามค่าวิเคราะห์ดิน อัตรา 110-92-45 กรัม N-P₂O₅-K₂O/ต้น/ปี ผลการทดลอง พบว่า การใส่ปุ๋ยตามค่าวิเคราะห์ดิน ให้ผลผลิตกาแฟสดสูงกว่าการใส่ปุ๋ยอัตราอื่นอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ คือเท่ากับ 1,940 กรัมต่อต้น รองลงมาคือการใส่ปุ๋ยตามคำแนะนำกรมวิชาการเกษตร ให้ผลผลิตเท่ากับ 1,516 กรัมต่อต้น ขณะที่การใส่ปุ๋ยตามอัตราของเกษตรกร ให้ผลผลิตต่ำสุด คือเท่ากับ 1,092 กรัมต่อต้น แสดงให้เห็นว่าการใช้ปุ๋ยตามค่าวิเคราะห์ดินทำให้เพิ่มผลผลิตกาแฟอะราบิกา

คำสำคัญ: กาแฟอะราบิกา, การจัดการปุ๋ย, ปุ๋ยเคมี, เชียงใหม่

บทนำ

กาแฟเป็นหนึ่งในสินค้าเกษตรที่สำคัญที่สุดในการค้าระหว่างประเทศ และเป็นแหล่งรายได้หลักของหลายประเทศ กระแสความต้องการบริโภคกาแฟในไทยมีแนวโน้มสูงขึ้น ทำให้ตลาดกาแฟไทยเติบโตขึ้นอย่างต่อเนื่อง ปี 2566 มีมูลค่าตลาด 34,470.3 ล้านบาท ขยายตัวร้อยละ 7.34 นอกจากนี้มูลค่าการส่งออกกาแฟของไทย ปี 2566 มีมูลค่าถึง 125.89 ล้านดอลลาร์สหรัฐ แต่ยังไม่เพียงพอกับความต้องการของตลาด จำเป็นต้องมีการนำเข้ากาแฟจากต่างประเทศ ปี 2566 ไทยมีมูลค่าการนำเข้ากาแฟ 338.42 ล้านดอลลาร์สหรัฐ (สำนักนโยบายและยุทธศาสตร์การค้า กระทรวงพาณิชย์, 2567) ในปี 2567 ประเทศไทยมีพื้นที่ปลูกกาแฟอะราบิกาประมาณ 129,778 ไร่ ผลผลิตรวม 10,690 ตัน ผลผลิตต่อไร่ 90 กิโลกรัม มีแหล่งปลูกที่สำคัญส่วนใหญ่ปลูกในพื้นที่ภาคเหนือ ได้แก่ จังหวัดเชียงใหม่ เชียงราย แม่ฮ่องสอน และน่าน (สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร, 2568) การผลิตกาแฟอะราบิกาให้ได้ผลผลิตสูงและมีคุณภาพนั้นนอกจากการใช้พันธุ์ที่เหมาะสมกับสภาพพื้นที่แล้วต้องมีการจัดการดินและการใช้ปุ๋ยให้เหมาะสมกับสภาพพื้นที่ปลูกและความอุดมสมบูรณ์ของดิน เนื่องจากกาแฟแต่ละสายพันธุ์มีลักษณะประจำพันธุ์และมีการตอบสนองต่อการใช้ปุ๋ยแตกต่างกัน ต้นกาแฟจำเป็นต้องได้รับสารอาหารที่เพียงพอ การให้ธาตุอาหารช่วยชดเชยธาตุอาหารที่สูญเสียไปจากการสร้างเนื้อเยื่อ การเก็บเกี่ยว การชะล้าง และการก่อตัวของสารประกอบที่รากดูดซึมได้ยาก ดังนั้นจึงจำเป็นต้องใส่ปุ๋ยเพื่อให้สารอาหารที่จำเป็นในปริมาณที่เหมาะสม (Ali, 1999) เมื่อใส่ปุ๋ยให้กับต้นกาแฟ ควรพิจารณาสองประเด็นสำคัญ ได้แก่ การชดเชยสารอาหารที่ขาดแคลนจริง และการเติมสารอาหารที่จำเป็นเพื่อทดแทนการสูญเสียที่เกิดจากต้นกาแฟเองและการชะล้างของดิน นอกจากนี้ การใส่ปุ๋ยควรช่วยสนับสนุนความต้องการของจุลินทรีย์ต่างๆ ที่มีบทบาทสำคัญในการรักษาคุณภาพของหน้าดิน การทดแทนแร่ธาตุที่สูญเสียไปในหน้าดินและการลดผลกระทบของธาตุที่เป็นพิษเป็นเงื่อนไขพื้นฐานที่จำเป็นเพื่อให้มั่นใจถึงการผลิตและคุณภาพของกาแฟในสวนกาแฟ (Snoeck & Lambot, 2005) FAO (2005) รายงานว่าระดับความอุดมสมบูรณ์ในดินที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของกาแฟอะราบิกาที่ประเทศลาว พบว่าปริมาณอินทรีย์วัตถุ อยู่ในช่วง 1-3 เปอร์เซ็นต์ และฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ อยู่ในช่วง 60-80 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ส่วน Sousa *et al.* (2017) พบว่าระดับปริมาณธาตุอาหารพืชที่เหมาะสมในใบกาแฟอะราบิกาในบราซิล

พบว่า ไนโตรเจนอยู่ในช่วง 3.3-3.6 เปอร์เซ็นต์ ฟอสฟอรัส อยู่ในช่วง 0.14-0.16 เปอร์เซ็นต์ และโพแทสเซียม อยู่ในช่วง 2.4-2.7 เปอร์เซ็นต์ และระดับความอุดมสมบูรณ์ในดินที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของกาแฟอะราบิกา พบว่า ปริมาณอินทรีย์วัตถุ อยู่ในช่วง 3.7-5.2 เปอร์เซ็นต์ Fisseha *et al.* (1993) รายงานว่า อัตราปุ๋ยไนโตรเจน และฟอสเฟตที่เหมาะสมกับการเจริญเติบโตและผลผลิตกาแฟคือ 32 และ 10.56 (N-P₂O₅) กิโลกรัมต่อไร่ ต่อมา Paulos (1994) พบว่าพื้นที่ปลูกกาแฟทางตะวันตกเฉียงใต้ของประเทศเอธิโอเปียอัตราปุ๋ยไนโตรเจนที่ให้ผลผลิตดีที่สุดคือ 48 กิโลกรัมต่อไร่ ขณะที่ Clemente *et al.* (2015) รายงานว่า ปริมาณปุ๋ยโพแทชที่ใส่เป็นปัจจัยสำคัญที่ส่งผลต่อคุณภาพของกาแฟเมื่อชงเป็นเครื่องดื่ม (cup quality) พบว่า คุณภาพที่ดีที่สุด ที่อัตราส่วนปุ๋ย N:K เท่ากับ 1:1.56 นอกจากนี้สถาบันวิจัยพืชสวน (2562) แนะนำการใช้ปุ๋ยเคมีตามอายุของต้นกาแฟ และใส่ปุ๋ย อินทรีย์ 3-5 กิโลกรัมต่อต้นหลังการเก็บเกี่ยว โดยระยะเวลาการใส่ปุ๋ยกาแฟอะราบิกาขึ้นอยู่กับระดับความสูงของ สภาพพื้นที่ปลูกซึ่งมีผลต่ออายุการเก็บเกี่ยว

Dawid (2018) รายงานว่า การใช้ปุ๋ยและคำแนะนำในการใส่ปุ๋ยขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายประการ เช่น ประเภทของระบบการปลูก สภาพความอุดมสมบูรณ์ของดินและปฏิกิริยาของดิน ชนิดของสายพันธุ์กาแฟ อายุของ ต้นกาแฟ และความหนาแน่นของต้นกาแฟในแปลง การใส่ปุ๋ยมากหรือน้อยเกินไปอาจส่งผลให้คุณภาพของรสชาติ กาแฟลดลง สถานะของธาตุอาหารในดินส่วนใหญ่อาจเปลี่ยนแปลงไปหลังจากมีการใช้ประโยชน์ที่ดินเพื่อการ เพาะปลูกเป็นเวลานาน นอกจากนี้ สายพันธุ์กาแฟที่ได้รับการพัฒนาและส่งเสริมใหม่ อาจมีการตอบสนองหรือ ความต้องการธาตุอาหารที่แตกต่างกัน ดังนั้น คำแนะนำในการใช้ปุ๋ยที่เคยมีอยู่จึงควรได้รับการปรับปรุงให้ทันสมัย อยู่เสมอ

ปีงบประมาณ 2565-2567 คณะผู้วิจัยได้ทำการวิจัยและพัฒนาคำแนะนำการใช้ปุ๋ยสำหรับกาแฟอะราบิกา โดยศึกษาการตอบสนองต่อการใส่ปุ๋ยไนโตรเจน ฟอสเฟต และปุ๋ยโพแทชของกาแฟอะราบิการะยะให้ผลผลิตใน พื้นที่จังหวัดเชียงใหม่ที่มีสมบัติทางเคมีของดินแตกต่างกัน ทำให้ได้ข้อมูลเบื้องต้นด้านการตอบสนองต่อการใส่ปุ๋ย และข้อมูลการใช้ปุ๋ยตามค่าวิเคราะห์ดินสำหรับกาแฟอะราบิกาที่เป็นอัตราประเมินที่ได้จากงานวิจัยดังกล่าว ดังนั้น จึงจำเป็นต้องนำอัตราปุ๋ยที่ได้จากการประเมินมาทดสอบอัตราปุ๋ยที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตและผลผลิตของ กาแฟอะราบิกา เพื่อเปรียบเทียบกับการใช้ปุ๋ยตามอัตราของเกษตรกร และการใช้ปุ๋ยตามคำแนะนำเดิมของกรม วิชาการเกษตรที่เป็นคำแนะนำที่ไม่เฉพาะเจาะจงกับสมบัติดิน (สถาบันวิจัยพืชสวน, 2562) เพื่อให้ได้ข้อมูลพื้นฐาน ในการพัฒนาคำแนะนำการใช้ปุ๋ยที่เหมาะสมกับสมบัติดินในพื้นที่ปลูกกาแฟอะราบิกา ช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการ ผลิตกาแฟให้มีคุณภาพดี เสริมสร้างโอกาสในการพัฒนาการผลิตกาแฟในทุกขั้นตอนของกระบวนการผลิต เพื่อความยั่งยืนและการยกระดับศักยภาพในการพัฒนาอย่างต่อเนื่อง โดยยึดหลักความเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม

อุปกรณ์และวิธีการ

อุปกรณ์

1. กาแฟพันธุ์อะราบิกา อายุ 6 ปี
2. ปุ๋ยเคมี ได้แก่ ปุ๋ยยูเรีย (46-0-0) ปุ๋ยทริปเปิลซูเปอร์ฟอสเฟต (0-46-0) ปุ๋ยโพแทสเซียมคลอไรด์ (0-0-60) และปุ๋ยเคมี (15-15-15)
3. สารเคมีสำหรับวิเคราะห์ตัวอย่างดินและพืชในห้องปฏิบัติการ
4. เครื่องมือวิทยาศาสตร์ และวัสดุวิทยาศาสตร์สำหรับวิเคราะห์ตัวอย่างดินและพืชในห้องปฏิบัติการ
5. เครื่องมือ และอุปกรณ์สำหรับเก็บตัวอย่างดินและพืช

วิธีการ

1. ดำเนินการทดลองที่แปลงเกษตรกร ตำบลแม่เทพเสด็จ อำเภอดอยสะเก็ด จังหวัดเชียงใหม่ จำนวน 1 แปลง พิกัดแปลง 47Q 534606X 2093192Y กาแฟอายุ 6 ปี ระยะปลูก 2x2 เมตร จำนวน 400 ต้นต่อไร่

2. เก็บตัวอย่างดิน 4 จุดรอบโคนต้น ก่อนการใส่ปุ๋ยที่ต้นกาแฟอยู่ในระยะก่อนออกดอก โดยเก็บที่ระดับความลึก 0-15 เซนติเมตร นำมาผึ่งให้แห้งในที่ร่มเมื่อตัวอย่างดินแห้งแล้ว ทำการแยกเศษพืชและกรวดออก นำตัวอย่างดินไปร่อนผ่านตะแกรง ขนาด 0.5 และ 2 มิลลิเมตร จากนั้นจึงนำไปวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพและสมบัติทางเคมีของดินในห้องปฏิบัติการ ได้แก่ เนื้อดินด้วยวิธีวิเคราะห์การแจกกระจายขนาดอนุภาคดิน (particle size distribution: sand, silt, clay) โดยวิธี pipette (Gee and Bauder, 1986) วิเคราะห์สมบัติทางเคมีประกอบด้วย พีเอช ดินต่อน้ำ 1:1 (pH 1:1) ค่าการนำไฟฟ้าขณะดินอิ่มตัวด้วยน้ำ ดินต่อน้ำ 1:5 (EC 1:5) ปริมาณคาร์บอนอินทรีย์ (organic carbon: OC) โดยวิธี Walkley and Black และคำนวณเป็นปริมาณอินทรีย์วัตถุในดิน (OM) โดย $OC \times 1.724$ โดยวิธี Kjeldahl distillation วิเคราะห์ปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ (Available phosphorus) โดยวิธี Bray II (Bray and Kurtz, 1945) แล้ววัดปริมาณฟอสฟอรัสด้วยเครื่อง spectrophotometer วิเคราะห์ปริมาณโพแทสเซียมที่เป็นประโยชน์ แคลเซียม และแมกนีเซียมที่สกัดได้ โดยวิธีสกัดด้วย 1N NH_4OAc pH 7.0 แล้ววัดด้วยเครื่อง Atomic Absorption Spectrophotometer (AAS) (กลุ่มงานวิจัยเคมีดิน, 2544; National Soil Survey Center, 1996)

3. วางแผนการทดลองแบบ Randomized Complete Block (RCB) จำนวน 7 ซ้ำๆ ละ 6 ต้น ประกอบด้วย 3 กรรมวิธี

1) ใส่ปุ๋ยตามอัตราของเกษตรกร; ยูเรีย (46-0-0) ผสมกับปุ๋ยเคมี 15-15-15 อัตราส่วน 1:3 อัตรา 100 กรัมต่อต้นต่อปี (ใส่ครั้งเดียวในต้นฤดูฝนช่วงเดือนพฤษภาคม)

2) ใส่ปุ๋ยอัตราคำแนะนำกรมวิชาการเกษตร (สถาบันวิจัยพืชสวน, 2562); ปุ๋ยเคมี อัตรา 110-46-90 กรัม $N-P_2O_5-K_2O$ /ต้น/ปี

3) ใส่ปุ๋ยอัตราตามค่าวิเคราะห์ดิน; ปุ๋ยเคมีอัตรา 110-92-45 กรัม $N-P_2O_5-K_2O$ /ต้น/ปี ซึ่งเป็นอัตราประเมินที่ได้จากโครงการและพัฒนาคำแนะนำการจัดการดินและธาตุอาหารในการผลิตกาแฟอาราบิก้า ในกิจกรรมการวิจัยและพัฒนาคำแนะนำการใช้ปุ๋ยสำหรับกาแฟอาราบิก้า

หมายเหตุ

กรรมวิธีที่ 1 ใส่ครั้งเดียวในต้นฤดูฝนช่วงเดือนพฤษภาคม

กรรมวิธีที่ 2 ปุ๋ยไนโตรเจนแบ่งใส่ 3 ครั้งในเดือนพฤษภาคม สิงหาคม และตุลาคม จำนวน 32, 55 และ 23 กรัม N/ต้น ตามลำดับ ปุ๋ยฟอสเฟต แบ่งใส่ 2 ครั้งๆ ละ 23 กรัม P_2O_5 /ต้น ในเดือน พฤษภาคมและสิงหาคม ส่วนปุ๋ยโพแทสเซียมแบ่งใส่ 2 ครั้ง ครั้งละ 45 กรัม K_2O /ต้น ในเดือน สิงหาคม และตุลาคม (สถาบันวิจัยพืชสวน, 2562)

กรรมวิธีที่ 3 ปุ๋ยไนโตรเจนแบ่งใส่ 3 ครั้งในเดือนพฤษภาคม สิงหาคม และตุลาคม จำนวน 32, 55 และ 23 กรัม N/ต้น ตามลำดับ ปุ๋ยฟอสเฟต แบ่งใส่ 2 ครั้งๆ ละ 46 กรัม P_2O_5 /ต้น ในเดือน พฤษภาคมและสิงหาคม ส่วนปุ๋ยโพแทสเซียมแบ่งใส่ 2 ครั้ง ครั้งละ 22.5 กรัม K_2O /ต้น ในเดือน สิงหาคม และตุลาคม

พร้อมทั้งดูแลกำจัดวัชพืช และแมลงศัตรูพืช

4. วัดขนาดเส้นรอบวงโคนต้น และขนาดทรงพุ่มทึบเหนือ-ใต้ ทิศตะวันออก-ตะวันตก หลังใส่ปุ๋ย เก็บเกี่ยวผลผลิตกาแฟ จำนวน 6 ต้นต่อซ้ำ พื้นที่เก็บเกี่ยว 24 ตารางเมตร และ เก็บตัวอย่างใบหลังเก็บเกี่ยวผลผลิต

5. วิเคราะห์ความเข้มข้นธาตุอาหารในใบและผลผลิตเมล็ดกาแฟ โดยวิเคราะห์ปริมาณไนโตรเจน ปริมาณ ฟอสฟอรัส ปริมาณโพแทสเซียม แคลเซียม และแมกนีเซียม ทั้งหมด (กลุ่มงานวิจัยเคมีดิน, 2544)

6. บันทึกข้อมูลผลวิเคราะห์ดิน ข้อมูลผลวิเคราะห์พืช และข้อมูลผลผลิต

ระยะเวลา เริ่มต้น ตุลาคม 2565 สิ้นสุด กันยายน 2567

สถานที่ทำการทดลอง 1. กลุ่มวิจัยปฐพีวิทยา กองวิจัยพัฒนาปัจจัยการผลิตทางการเกษตร กรมวิชาการเกษตร
2. แปลงเกษตรกร ตำบลเทพเสด็จ อำเภอดอยสะเก็ด จังหวัดเชียงใหม่

ผลการทดลองและวิจารณ์

1. สมบัติของดินก่อนทำการทดลอง

ผลการวิเคราะห์ดินก่อนทำการทดลองที่ระดับความลึก 0-15 เซนติเมตร พบว่า ดินมีเนื้อดินเป็นดิน ร่วนเหนียวปนทราย มีค่าปฏิกิริยาดิน 5.57 ซึ่งจัดเป็นดินกรดจัด ค่าการนำไฟฟ้าของดิน 0.03 เดซิซีเมนต่อ เมตร ดินไม่มีความเค็ม ปริมาณอินทรีย์วัตถุในดินอยู่ในระดับสูง เท่ากับ 5.59 เปอร์เซ็นต์ ปริมาณฟอสฟอรัส ที่เป็นประโยชน์อยู่ในระดับต่ำ เท่ากับ 2.82 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม และปริมาณโพแทสเซียมที่เป็นประโยชน์อยู่ในระดับสูง เท่ากับ 218 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม (ตารางที่ 1) ซึ่งปริมาณโพแทสเซียมที่สูงเกินไปพืชจะดูดขึ้นไป สะสมในปริมาณที่เกินความต้องการแต่ไม่ทำให้ผลผลิตเพิ่มขึ้น เมื่อเก็บเกี่ยวผลผลิตปริมาณโพแทสเซียมที่ สะสมมากเกินไปก็จะสูญหายไปด้วย (คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา, 2548) เมื่อเทียบกับการใช้ปุ๋ยตามค่า วิเคราะห์ดินสำหรับกาแฟอาราบิกายะให้ผลผลิตที่ปลูกในพื้นที่ จ. เชียงใหม่ การใส่ปุ๋ยตามค่าวิเคราะห์ดิน จะใส่ปุ๋ย 110-92-45 กก. N-P₂O₅-K₂O/ตัน/ปี

ตารางที่ 1 สมบัติทางกายภาพและเคมีของดินปลูกกาแฟอาราบิกาแปลงเกษตรกร อำเภอดอยสะเก็ด จังหวัดเชียงใหม่

ความลึก (ซม.)	เนื้อดิน	pH (1:1)	(EC) (1:5) (dS/m)	OM (%)	Avail-P (มก./กก.)	Avail-K (มก./กก.)	Exch.Ca (มก./กก.)	Exch.Mg (มก./กก.)
0-15	ดินร่วน เหนียวปน ทราย	5.57	0.03	5.59	2.82	218	580	148
15-30	ดินร่วน เหนียวปน ทราย	5.54	0.03	5.13	2.08	214	303	143
ค่าที่ เหมาะสม*	-	5.0-6.0	<0.2	1.0-3.0	60-80	>0.75	-	-

ที่มา : * FAO (2005)

2. การเจริญเติบโตของต้นกาแฟอาราบิก้า

การเจริญเติบโตของต้นกาแฟหลังการการใส่ปุ๋ย ได้แก่ เส้นรอบวงโคนต้น และขนาดทรงพุ่ม พบว่า การใส่ปุ๋ยในอัตราที่แตกต่างกัน การเจริญเติบโตของกาแฟระยะให้ผลผลิตไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ พบว่า มีเส้นรอบวงโคนต้น เฉลี่ย 11.6 เซนติเมตร ขนาดทรงพุ่มทิศเหนือ-ใต้ เฉลี่ย 126.03 เซนติเมตร และขนาดทรงพุ่มทิศตะวันออก-ตะวันตก เฉลี่ย 128.44 เซนติเมตร (ตารางที่ 2)

ตารางที่ 2 การเจริญเติบโตของต้นกาแฟหลังการใส่ปุ๋ยที่แปลงเกษตรกร อำเภอดอยสะเก็ด จังหวัดเชียงใหม่ กาแฟอายุ 6 ปี

กรรมวิธี	เส้นรอบวงโคนต้น (ซม.)	ขนาดทรงพุ่มทิศเหนือ-ใต้ (ซม.)	ขนาดทรงพุ่มทิศตะวันออก-ตะวันตก (ซม.)
ปุ๋ยเคมี 46-0-0 + 15-15-15 อัตราส่วน 1:3 อัตรา 100 กรัม/ต้น/ปี	11.35	125.10	128.50
ปุ๋ยเคมี 110-46-90 กรัม N-P ₂ O ₅ -K ₂ O/ต้น/ปี	11.65	121.86	122.62
ปุ๋ยเคมี 110-92-45 กรัม N-P ₂ O ₅ -K ₂ O/ต้น/ปี	11.70	131.12	134.31
CV (%)	18.03	7.93	7.72

3. ปริมาณธาตุอาหารในใบกาแฟ

ปริมาณธาตุอาหารในใบกาแฟหลังเก็บเกี่ยวผลผลิต พบว่า ใส่ปุ๋ยตามอัตราของเกษตรกร ใส่ปุ๋ยอัตราคำแนะนำกรมวิชาการเกษตร และใส่ปุ๋ยอัตราตามค่าวิเคราะห์ดิน ทำให้ปริมาณการดูดใช้ในโตรเจน ฟอสฟอรัสในใบกาแฟแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยกรรมวิธีใส่ปุ๋ยอัตราตามค่าวิเคราะห์ดิน 110-92-45 กรัม N-P₂O₅-K₂O/ต้น/ปี มีปริมาณไนโตรเจน ฟอสฟอรัส ในใบมีค่าเท่ากับ 2.515 และ 0.590 เปอร์เซ็นต์ สูงกว่ากรรมวิธีใส่ปุ๋ยอัตราคำแนะนำกรมวิชาการเกษตร 110-46-90 กรัม N-P₂O₅-K₂O/ต้น/ปี และใส่ปุ๋ยตามอัตราของเกษตรกร 46-0-0 ผสมกับ 15-15-15 อัตราส่วน 1:3 อัตรา 100 กรัม/ต้น/ปี (ตารางที่ 3) สอดคล้องกับการรายงานของ Khemira *et al.*, (2023) พบว่า การใส่ปุ๋ยอัตราที่เพิ่มขึ้นส่งผลให้ปริมาณไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และสังกะสีในใบกาแฟเพิ่มขึ้น นอกจากนี้ Dias *et al.* (2015) พบว่า การใส่ปุ๋ยฟอสเฟตมีผลทำให้ปริมาณฟอสฟอรัสในใบกาแฟอาราบิก้าเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยเริ่มตั้งแต่ปริมาณ 12 กก. P₂O₅ ต่อไร่ และมีแนวโน้มคงที่ที่ประมาณ 0.18 ถึง 0.18 เปอร์เซ็นต์ เมื่อใส่ปุ๋ยฟอสเฟตถึงปริมาณ 48 กก. P₂O₅ ต่อไร่ คล้ายกันกับ Reis *et al.* (2011) ได้การศึกษาจากกาแฟที่มีการให้น้ำการชลประทานในประเทศบราซิล ซึ่งพบว่าปริมาณฟอสฟอรัส ในใบมีค่าคงที่ที่ 0.198 เปอร์เซ็นต์ เมื่อใส่ปุ๋ยฟอสเฟตปริมาณ 43.20 กก. P₂O₅ ต่อไร่ ส่วน Gallo *et al.* (1999) พบว่า ความเข้มข้นของฟอสฟอรัสในใบเพิ่มขึ้น เมื่อเพิ่มปริมาณ P₂O₅ จาก 4.8 เป็น 14.40 กก.ต่อไร่ Reis *et al.* (2011) พบว่าปริมาณฟอสฟอรัสในใบที่สอดคล้องกับผลผลิตที่สูงกว่าอยู่ที่มากกว่า 0.18 เปอร์เซ็นต์ แสดงให้เห็นว่า ค่าต่ำสุดของช่วงที่นักวิจัยส่วนใหญ่มองว่าเหมาะสมอาจต่ำเกินไป ดังนั้น ผลลัพธ์ที่ได้จากการศึกษาภาคสนามในระยะเวลายาวนานนี้ ชี้ให้เห็นว่า หากต้องการให้ได้ผลผลิตเฉลี่ยมากกว่า 528 กิโลกรัมต่อไร่ ค่าฟอสฟอรัสวิกฤติในใบควรสูงกว่า 0.18 เปอร์เซ็นต์ ขณะที่ Sousa *et al.* (2017) รายงานว่า ระดับปริมาณธาตุอาหารพืชที่เหมาะสมในใบกาแฟอาราบิก้าในบราซิล พบว่า ไนโตรเจนอยู่ในช่วง 3.3-3.6 เปอร์เซ็นต์ ฟอสฟอรัส อยู่ในช่วง 0.14-0.16 เปอร์เซ็นต์ โพแทสเซียม อยู่ในช่วง 2.4-2.7 เปอร์เซ็นต์ แคลเซียม อยู่ระหว่าง 1.19-1.36 และแมกนีเซียม อยู่ระหว่าง 0.38-0.45 เปอร์เซ็นต์ ญัฐพงศ์ และคณะ (2567) พบว่า ธาตุอาหารพืชในใบกาแฟอาราบิก้าระดับที่เพียงพอ

จะมีปริมาณ ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส โพแทสเซียม แคลเซียมและแมกนีเซียมทั้งหมดอยู่ในช่วง 2.25-2.59, 0.166-0.2, 2.18-2.83, 0.752-0.95 และ 0.229-0.295 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ

ตารางที่ 3 ปริมาณธาตุอาหารในใบกาแฟ

กรรมวิธี	ไนโตรเจน (เปอร์เซ็นต์)	ฟอสฟอรัส (เปอร์เซ็นต์)	โพแทสเซียม (เปอร์เซ็นต์)	แคลเซียม (เปอร์เซ็นต์)	แมกนีเซียม (เปอร์เซ็นต์)
ปุ๋ยเคมี 46-0-0 + 15-15-15 อัตราส่วน 1:3 อัตรา 100 กรัม/ต้น/ปี	1.995b	0.471b	1.453	1.051	0.294
ปุ๋ยเคมี 110-46-90 กรัม N-P ₂ O ₅ -K ₂ O/ต้น/ปี	2.123b	0.494b	1.309	0.994	0.296
ปุ๋ยเคมี 110-92-45 กรัม N-P ₂ O ₅ -K ₂ O/ต้น/ปี	2.515a	0.590a	1.413	0.982	0.273
CV (%)	10.70	13.65	12.23	17.45	10.98

ตัวอักษรที่เหมือนกันในคอลัมน์เดียวกันไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% โดยวิธี DMRT

ผลผลิตและคุณภาพเมล็ดกาแฟ

ปริมาณผลผลิตเมล็ดกาแฟ พบว่า การใส่ปุ๋ยตามกรรมวิธีต่างๆ ทำให้ผลผลิตเมล็ดกาแฟแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยการใส่ปุ๋ยตามค่าวิเคราะห์ดินที่อัตรา 110-92-45 กรัม N-P₂O₅-K₂O/ต้น/ปี ให้ผลผลิตกาแฟสูงกว่าการใส่ปุ๋ยอัตราอื่นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ คือเท่ากับ 1,940 กรัมต่อต้น รองลงมาคือการใส่ปุ๋ยอัตราคำแนะนำกรมวิชาการเกษตร (สถาบันวิจัยพืชสวน, 2562) ที่ใส่ปุ๋ยเคมี 110-46-90 กรัม N-P₂O₅-K₂O/ต้น/ปี ให้ผลผลิตเท่ากับ 1,516 กรัมต่อต้น ขณะที่การใส่ปุ๋ยตามอัตราของเกษตรกรคือปุ๋ยเคมี 46-0-0 ผสมกับ 15-15-15 อัตราส่วน 1:3 อัตรา 100 กรัม/ต้น/ปี ให้ผลผลิตต่ำสุด คือเท่ากับ 1,092 กรัมต่อต้น สอดคล้องกับ กิตจเมธ และคณะ (2567) รายงานว่าแปลงปลูกกาแฟที่มีปริมาณอินทรีย์วัตถุ 5.6 เปอร์เซ็นต์ แนะนำให้ใส่ปุ๋ยอัตรา 110 กรัม N ต่อต้นต่อปีทำให้ผลผลิตกาแฟเพิ่มขึ้นจากการไม่ใส่ปุ๋ยไนโตรเจน 58 เปอร์เซ็นต์ โดยให้ผลผลิต สูงสุด 1,098 กิโลกรัมต่อไร่ วัชร และคณะ (2567) รายงานว่า แปลงปลูกกาแฟที่มีปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ต่ำ (9.60 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม) การใส่ปุ๋ยฟอสเฟต อัตรา 92 กรัม P₂O₅ ต่อต้น จะมีประสิทธิภาพในการใช้ปุ๋ยฟอสเฟตมากที่สุด นอกจากนี้ ปิยะนันท์ และคณะ (2567) พบว่า แปลงกาแฟที่มีปริมาณโพแทสเซียมที่เป็นประโยชน์สูง (209.0 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม) การใส่ปุ๋ยโพแทช อัตรา 45 กรัม K₂O ต่อต้นต่อปี มีประสิทธิภาพในการใช้ปุ๋ยโพแทชมากที่สุด ส่วนคุณภาพของผลผลิตเช่น ขนาดความกว้าง ความยาว ความหนาของเมล็ดกาแฟ น้ำหนักต่อเมล็ด และปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ ผลการทดลองพบว่า ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ (ตารางที่ 4) จากการรายงานของ De et al. (2014) พบว่าปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ (Brix degree) ไม่ใช่ตัวบ่งชี้ถึงคุณภาพเมล็ดกาแฟ ซึ่งไม่มีความสัมพันธ์กับคุณภาพของเครื่องดื่มจากกาแฟดังกล่าว (cup test)

ตารางที่ 4 ปริมาณผลผลิตเมล็ดกาแฟสด ความกว้าง ความยาว ความหนา น้ำหนักต่อเมล็ด และปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ (Total soluble solid content ; %Brix)

กรรมวิธี	ผลผลิต (กรัม/ตัน)	ความกว้าง (มม.)	ความยาว (มม.)	ความหนา (มม.)	น้ำหนัก (กรัม/เมล็ด)	TSSC (%brix)
ปุ๋ยเคมี 46-0-0 + 15-15-15 อัตราส่วน 1:3 อัตรา 100 กรัม/ตัน/ปี	1,092 c	14.1	15.4	12.6	1.8	17.8
ปุ๋ยเคมี 110-46-90 กรัม N-P ₂ O ₅ -K ₂ O/ตัน/ปี	1,516 b	14.5	15.5	12.4	1.8	18.2
ปุ๋ยเคมี 110-92-45 กรัม N-P ₂ O ₅ -K ₂ O/ตัน/ปี	1,940 a	14.6	15.6	12.7	1.8	18.7
CV (%)	6.83	3.62	3.60	5.75	10.97	7.54

ตัวอักษรที่เหมือนกันในคอลัมน์เดียวกันไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% โดยวิธี DMRT

4. ปริมาณธาตุอาหารในเมล็ดกาแฟ

ปริมาณธาตุอาหารในเมล็ดกาแฟ พบว่า ใส่ปุ๋ยตามอัตราของเกษตรกร ใส่ปุ๋ยอัตราคำแนะนำกรมวิชาการเกษตร และใส่ปุ๋ยอัตราตามค่าวิเคราะห์ดิน ทำให้ปริมาณการดูดใช้ในโตรเจน ฟอสฟอรัส โพแทสเซียม แคลเซียม และแมกนีเซียมในผลผลิตเมล็ดกาแฟแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ โดยกรรมวิธีใส่ปุ๋ยอัตราตามค่าวิเคราะห์ดินที่ปุ๋ยเคมี 110-92-45 กรัม N-P₂O₅-K₂O/ตัน/ปี มีปริมาณการดูดใช้ในโตรเจน ฟอสฟอรัส โพแทสเซียม แคลเซียม และแมกนีเซียมสูงที่สุด มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 10.78, 2.27, 10.27, 1.17 และ 0.79 กรัมต่อตัน ตามลำดับ (ตารางที่ 5)

ตารางที่ 5 ปริมาณธาตุอาหารในเมล็ดกาแฟ

กรรมวิธี	น้ำหนักแห้ง เมล็ดกาแฟ (กรัม/ตัน)	ไนโตรเจน กรัม/ตัน	ฟอสฟอรัส กรัม/ตัน	โพแทสเซียม กรัม/ตัน	แคลเซียม กรัม/ตัน	แมกนีเซียม กรัม/ตัน
ปุ๋ยเคมี 46-0-0 + 15-15-15 อัตราส่วน 1:3 อัตรา 100 กรัม/ตัน/ปี	364	5.47c	1.16c	4.71c	0.82c	0.47c
ปุ๋ยเคมี 110-46-90 กรัม N-P ₂ O ₅ -K ₂ O/ตัน/ปี	505	7.86b	1.81b	7.65b	0.98b	0.61b
ปุ๋ยเคมี 110-92-45 กรัม N-P ₂ O ₅ -K ₂ O/ตัน/ปี	647	10.78a	2.27a	10.27a	1.17a	0.79a
CV (%)		10.55	4.05	12.84	7.80	12.39

ตัวอักษรที่เหมือนกันในคอลัมน์เดียวกันไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% โดยวิธี DMRT

4. การเปรียบเทียบรายรับที่เพิ่มขึ้น

เมื่อเปรียบเทียบระหว่างการใส่ปุ๋ยอัตราคำแนะนำกรมวิชาการเกษตร และ ใส่ปุ๋ยอัตราตามค่าวิเคราะห์ดิน กับการใส่ปุ๋ยตามอัตราของเกษตรกร พบว่าใส่ปุ๋ยอัตราตามค่าวิเคราะห์ดิน 110-92-45 กรัม N-P₂O₅-K₂O/ตัน/ปี ให้รายรับที่เพิ่มขึ้นมากกว่าใส่ปุ๋ยอัตราคำแนะนำกรมวิชาการเกษตร 110-46-90 กรัม N-P₂O₅-K₂O/ตัน/ปี เมื่อพิจารณาร่วมกับผลผลิตกาแฟอะราบิก้าที่ได้รับและรายรับแล้ว จะเห็นว่า การใส่ปุ๋ยอัตราตามค่าวิเคราะห์ดิน ให้ผลผลิตสูงสุด 776 กิโลกรัมต่อไร่ มีรายรับ

ที่เพิ่มขึ้น 12,890 บาท คิดเป็น 77.68 เปอร์เซ็นต์ของการใช้ปุ๋ยตามอัตราของเกษตรกร คือ ปุ๋ยเคมี 46-0-0 ผสมกับ 15-15-15 อัตราส่วน 1:3 อัตรา 100 กรัม/ต้น/ปี (ตารางที่ 6)

ตารางที่ 6 ผลผลิตและรายรับที่เพิ่มขึ้นจากการใช้ปุ๋ย

กรรมวิธี	ผลผลิต (กก./ไร่)	ผลผลิตเพิ่ม (กก./ไร่)	รายรับที่เพิ่ม	% รายรับที่เพิ่ม
ปุ๋ยเคมี 46-0-0 +15-15-15 อัตราส่วน 1:3 อัตรา 100 กรัม/ต้น/ปี	437	-	-	-
ปุ๋ยเคมี 110-46-90 กรัม N-P ₂ O ₅ -K ₂ O/ต้น/ปี	606	170	6,445	38.83
ปุ๋ยเคมี 110-92-45 กรัม N-P ₂ O ₅ -K ₂ O/ต้น/ปี	776	339	12,890	77.68

กาแฟ 1 ไร่มีจำนวน 400 ต้น ผลผลิต : ราคา 38 บาท/กก.

สรุปผลการทดลอง

จากการทดสอบอัตราปุ๋ยที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตและผลผลิตกาแฟอาราบิก้า ในแปลงเกษตรกรที่ดินมีเนื้อดินเป็นดินร่วนเหนียวปนทราย มีค่าปฏิกิริยาดิน 5.57 ซึ่งจัดเป็นดินกรดจัด ปริมาณอินทรีย์วัตถุในดินอยู่ในระดับสูง เท่ากับ 5.59 เปอร์เซ็นต์ ปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์อยู่ในระดับต่ำ เท่ากับ 2.82 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม และปริมาณโพแทสเซียมที่เป็นประโยชน์อยู่ในระดับสูง เท่ากับ 218 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ผลการทดลองพบว่า การใส่ปุ๋ยตามค่าวิเคราะห์ดิน อัตรา 110-92-45 กรัม N-P₂O₅-K₂O/ต้น/ปี ให้ผลผลิตเมล็ดกาแฟสดสูงกว่าการใส่ปุ๋ยอัตราอื่นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ คือ เท่ากับ 1,940 กรัมต่อต้น รองลงมาคือการใส่ปุ๋ยตามคำแนะนำกรมวิชาการเกษตร (สถาบันวิจัยพืชสวน, 2562) อัตรา 110-46-90 กรัม N-P₂O₅-K₂O/ต้น/ปี ให้ผลผลิตเท่ากับ 1,516 กรัมต่อต้น ขณะที่การใส่ปุ๋ยตามอัตราของเกษตรกร ที่ใส่ปุ๋ยเคมี 46-0-0 ผสมกับ 15-15-15 อัตราส่วน 1:3 อัตรา 100 กรัม/ต้น/ปี ให้ผลผลิตต่ำสุด คือ เท่ากับ 1,092 กรัมต่อต้น นอกจากนี้ยังพบว่า การใส่ปุ๋ยตามค่าวิเคราะห์ดินมีปริมาณธาตุอาหารในผลผลิตเมล็ดสดกาแฟสูงกว่าการใส่ปุ๋ยตามคำแนะนำกรมวิชาการเกษตร และตามอัตราของเกษตรกรอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยกรรมวิธีใส่ปุ๋ยอัตราตามค่าวิเคราะห์ดิน มีปริมาณการดูดใช้ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส โพแทสเซียม แคลเซียม และแมกนีเซียมในเมล็ดกาแฟสดสูงที่สุด มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 10.78, 2.27, 10.27, 1.17 และ 0.79 กรัมต่อต้น ตามลำดับ

คำขอบคุณ

งานวิจัยนี้ได้รับทุนสนับสนุนจากสำนักงานคณะกรรมการส่งเสริมวิทยาศาสตร์ วิจัยและนวัตกรรม (สกสว.) ร่วมกับกรมวิชาการเกษตร และขอขอบคุณนายสิริโชค อารีย์ เกษตรกรผู้ปลูกกาแฟอาราบิก้าที่ได้อนุเคราะห์แปลงกาแฟอาราบิก้าสำหรับการทดลอง สุดท้ายขอขอบคุณเจ้าหน้าที่ทุกท่านที่ได้ให้การช่วยเหลือในการทำงานวิจัยในครั้งนี้

การนำผลงานวิจัยไปใช้ประโยชน์

สามารถนำข้อมูลที่ได้จากงานวิจัยครั้งนี้ไปขยายผลหรือปรับใช้กับพื้นที่อื่นๆ ซึ่งจะเป็นประโยชน์กับนักวิชาการเกษตรของกรมวิชาการเกษตรและหน่วยงานอื่นๆ นำไปใช้ในการพัฒนางานวิจัยด้านดินและปุ๋ย และสามารถจัดทำคำแนะนำการใช้ปุ๋ยกับกาแฟอาราบิก้าสำหรับให้คำแนะนำการใช้ปุ๋ยแก่เกษตรกรได้อย่างถูกต้อง

เอกสารอ้างอิง

- กลุ่มงานวิจัยเคมีดิน. 2544. **คู่มือการวิเคราะห์ดินและพืช**. กองปฐพีวิทยา กรมวิชาการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์ กรุงเทพฯ. 164 หน้า
- กิตจเมธ แจ่มศิริกุล, วริศ แคนคอง, ปิยะนันท์ วิวัฒน์วิทยา, ณัฐพงศ์ ศรีสมบัติ, ฉัตรดนภา ช่มอาวุธ และ ศิริภรณ์ จรินทร์ 2567. ศึกษาการตอบสนองต่อการใช้ปุ๋ยไนโตรเจนของกาแฟอะราบิกา. **ผลการปฏิบัติงานประจำปีงบประมาณ 2566 กองวิจัยพัฒนาปัจจัยการผลิตทางการเกษตร**. กรุงเทพฯ : กรมวิชาการเกษตร.
- คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา. 2548. ปฐพีวิทยาเบื้องต้น. พิมพ์ครั้งที่ 10. สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. กรุงเทพฯ.
- ณัฐพงศ์ ศรีสมบัติ, วริศ แคนคอง, กิตจเมธ แจ่มศิริกุล, ปิยะนันท์ วิวัฒน์วิทยา, ปฐมาภรณ์ จินจาคาม, ทิพวรรณ แก้วหนู และ อนุรักษ์ พู่ระหง. 2567. ศึกษาสมบัติดินทางเคมี และปริมาณธาตุอาหารพืชต่อการเจริญเติบโตและผลผลิตของกาแฟอะราบิกาในพื้นที่จังหวัดเชียงใหม่. **ผลการปฏิบัติงานประจำปีงบประมาณ 2566 กองวิจัยพัฒนาปัจจัยการผลิตทางการเกษตร**. กรุงเทพฯ : กรมวิชาการเกษตร.
- ปิยะนันท์ วิวัฒน์วิทยา, วริศ แคนคอง, กิตจเมธ แจ่มศิริกุล, ณัฐพงศ์ ศรีสมบัติ, ฉัตรดนภา ช่มอาวุธ และ ศิริภรณ์ จรินทร์ 22567. ศึกษาการตอบสนองต่อการใช้ปุ๋ยโพแทสเซียมของกาแฟอะราบิกา. **ผลการปฏิบัติงานประจำปีงบประมาณ 2566 กองวิจัยพัฒนาปัจจัยการผลิตทางการเกษตร**. กรุงเทพฯ : กรมวิชาการเกษตร.
- วริศ แคนคอง, ปิยะนันท์ วิวัฒน์วิทยา, กิตจเมธ แจ่มศิริกุล, ณัฐพงศ์ ศรีสมบัติ, ฉัตรดนภา ช่มอาวุธ และ ศิริภรณ์ จรินทร์. 2567. ศึกษาการตอบสนองต่อการใช้ปุ๋ยฟอสเฟตของกาแฟอะราบิกา. **ผลการปฏิบัติงานประจำปีงบประมาณ 2566 กองวิจัยพัฒนาปัจจัยการผลิตทางการเกษตร**. กรุงเทพฯ : กรมวิชาการเกษตร.
- สถาบันวิจัยพืชสวน. 2562. **คู่มือการจัดการการผลิตกาแฟอะราบิกา**. สถาบันวิจัยพืชสวน กรมวิชาการเกษตร. กรุงเทพฯ.
- สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร. 2568. ข้อมูลการผลิตสินค้าเกษตร: ตารางแสดงรายละเอียดกาแฟ แหล่งข้อมูล <http://www.oae.go.th/view/1/ตารางแสดงรายละเอียดกาแฟ/TH-TH> สืบค้น: 10 มีนาคม 2568
- สำนักนโยบายและยุทธศาสตร์การค้า กระทรวงพาณิชย์, 2567. กาแฟไทยร้อนแรง! ตลาดโตต่อเนื่อง ดันส่งออกพุ่ง. แหล่งข้อมูล <https://tpso.go.th/news/2405-0000000010> สืบค้น: 12 มีนาคม 2567
- Ali, M. 1999. Textbook of Coffee action and management. A teaching material, Jimma University, College of Agriculture and veterinary Medicine, pp80-83. Calle, 1977. Selected bibliography under Section 3
- Bray, R.H. and L.T. Kurtz. 1945. Determination of total, organic and available forms of phosphorus in soils. **Soil Sci.** 59: 39-45.
- Clemente, J.M., H.E.P. Martinez, L.C. Alves, F.L. Finger and P.R. Cecon. 2015. Effects of nitrogen and potassium on the chemical composition of coffee beans and on beverage quality. Acta Scientiarum. **Agronomy**, 37(3): 297-305.
- Dawid, J. 2018. Inorganic fertilizers requirement of coffee (*Coffea arabica* L.) review. **International Journal of Research Studies in Agricultural Sciences**. 4(8): 24-34

- De A. Silva, S., D.M. De Queiroz, F. de Ac Pinto and N.T. Santos. 2014. Coffee quality and its relationship with Brix degree and colorimetric information of coffee cherries. *Precision agriculture*. 15(5): 543-554.
- Dias, K.G.D.L., Neto, A.E.F., Guimarães, P.T.G., Reis, T.H.P. and C.H.C.D. Oliveira. 2015. Coffee yield and phosphate nutrition provided to plants by various phosphorus sources and levels. *Ciência e Agrotecnologia*. 39: 110-120.
- Fisseha, H., D. Paulos, M. Zebene, K.M. Petros and G. Gram. 1993. The effect of coffee (*Coffea Arabica* L.) to N and P fertilizers at Wonago. In Soil: the resource base for survival. Proceedings of the second conference of Ethiopian society of soil science (ESSS) (pp. 23-24).
- Food and Agriculture Organization of the United Nations. 2005. Arabica coffee manual for Lao-PDR. FAO Regional Office for Asia and the Pacific. Bangkok. Thailand. Available at: <https://www.fao.org/3/ae939e/ae939e06.htm#bm06>. Assessment: March 7, 2024.
- Gallo, P.B., B.V. Raji, J.A. Quaggio and L.C.E. Pereira. 1999. Resposta de cafezais adensados à adubação NPK. *Bragantia*. 58: 341-351.
- Gee, G.W., and J.W. Bauder. 1986. *Particle-size analysis*, pp 383-411. In A. Klute, ed, Methods of Soil Analysis Part 1. Soil Science Society of America Book Series 5, Madison, Wisconsin, USA.
- Khemira, H., A. Medebesh, K.H. Mehrez and N. Hamadi. 2023. Effect of fertilization on yield and quality of Arabica coffee grown on mountain terraces in southwestern Saudi Arabia. *Scientia Horticulturae*. 321: 112370.
- National Soil Survey Center. 1996. *Soil Survey Laboratory Methods* Manual. Soil Survey Investigation Report No. 42, Version 3.0. Natural Conservation Service, United States Department of Agriculture.
- Paulos Dubale. 1994. Ecology and soils of the major coffee growing regions of Ethiopia. In *Mineral Fertilization of Coffee in Ethiopia*. Institute of Agricultural Research. Addis Ababa. Ethiopia
- Reis, T.H.P., P.T.G. Guimarães, A.E. Furtini Neto, A.F. Guerra and N. Curi. 2011. Soil phosphorus dynamics and availability and irrigated coffee yield. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*. 35: 503-515.
- Snoeck, J. and C. Lambot. 2005. *Crop Maintenance*. In: Wintgens, J.N. Coffee: Growing, Processing, Sustainable Production, A guidebook for Growers, Processors, Traders and Researchers. Wiley-VCH Verlag GmbH & Co.KGaA, Weinheim, 246-323.
- Sousa, S.J., Neves, L.C.J., Martinez, H.E.P. and V.H.V. Alvarez. 2017. Relationship between Coffee Leaf Analysis and Soil Chemical Analysis. *Rev Bra Ciencia Solo*. 42, e0170109.

ผลของการใช้ปุ๋ยอินทรีย์ต่อประสิทธิภาพปุ๋ยเคมีสำหรับการผลิตกาแฟอาราบิกา

Effect of organic fertilizer application on the efficiency of chemical fertilizers in Arabica coffee production

ทิพวรรณ แก้วหนู¹ พีรพงษ์ ชาวนพงษ์¹ ปณิมาภรณ์ จินจาคาม¹ ศรีสุดา รื่นเจริญ¹

ทิวาพร ผดุง¹ ฉัตรันภา ข่มอาวุธ² ศิริภรณ์ จรินทร์³

Tipawan Kaewnoo¹ Peerapong Chaovanapong¹ Patimaporn Jinjakam¹

Srisuda Reuncharoen¹ Thiwaporn Phadung¹ Chatnapa Khomarwut² Siriporn Jarintorn³

กลุ่มวิจัยปฐพีวิทยา

กองวิจัยพัฒนาปัจจัยการผลิตทางการเกษตร

ABSTRACT

The combined application of organic and chemical fertilizers is an integrated fertilization approach that can enhance crop productivity. This method promotes better plant growth and results in higher-quality yields. Therefore, the objective of this study was to investigate the effect of organic fertilizer on the efficiency of chemical fertilizers in Arabica coffee production. The experiment was arranged in a split-plot design with 20 treatments, each replicated three times, with six plants per replication. The main factor was chemical fertilizer applied at four levels: 0 (no chemical or organic fertilizer), 100% of the recommended rate (220-92-45 g N-P₂O₅-K₂O per plant), 75% of the recommended rate (165-69-34 g N-P₂O₅-K₂O per plant), and 50% of the recommended rate (110-46-23 g N-P₂O₅-K₂O per plant). The sub-factor was organic fertilizer (cow manure) applied at five levels: 0, 1.25, 2.5, 5, and 10 kg per plant. The results showed that the combined application of organic and chemical fertilizers significantly increased Arabica coffee yield. The highest yield was obtained from the treatment using 5 kg of organic fertilizer per plant combined with 100% of the recommended chemical fertilizer rate (220-92-45 g N-P₂O₅-K₂O per plant), producing 1,131 kg per rai. This yield was significantly higher than those of other treatments. Additionally, this treatment resulted in the highest net profit, amounting to 19,846 baht per rai.

Keywords: Arabica coffee; Organic fertilizer; chemical fertilizer

¹ กองวิจัยพัฒนาปัจจัยการผลิตทางการเกษตร

¹ Agricultural Production Science Research and Development Division

² ศูนย์วิจัยและพัฒนาการเกษตรแพร่

² Phare Agricultural Research and Development Center

³ ศูนย์วิจัยเกษตรหลวงเชียงใหม่

³ Chiang Mai Royal Agricultural Research Center

บทคัดย่อ

การใช้ปุ๋ยอินทรีย์ร่วมกับปุ๋ยเคมี เป็นการใช้ปุ๋ยแบบผสมผสานที่สามารถเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตพืชได้ ช่วยให้พืชเจริญเติบโตและให้ผลผลิตที่ดีมีคุณภาพ การทดลองนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาการใช้ปุ๋ยอินทรีย์ต่อประสิทธิภาพปุ๋ยเคมีสำหรับการผลิตกาแฟอาราบิกา วางแผนการทดลองแบบ Split plot จำนวน 20 กรรมวิธีๆ ละ 3 ซ้ำๆ ละ 6 ต้น ประกอบด้วย ปัจจัยหลัก คือ ปุ๋ยเคมี 4 ระดับ ดังนี้ 0 (ไม่ใส่ปุ๋ยเคมี และปุ๋ยอินทรีย์), 100% ของอัตราแนะนำ (220-92-45 ก. N-P₂O₅-K₂O ต่อต้น), 75% ของอัตราแนะนำ (165-69-34 ก. N-P₂O₅-K₂O ต่อต้น) และ 50% ของอัตราแนะนำ (110-46-23 ก. N-P₂O₅-K₂O ต่อต้น) ปัจจัยรอง คือ ปุ๋ยอินทรีย์ (มูลวัว) 5 ระดับ ดังนี้ 0, 1.25, 2.5, 5 และ 10 กิโลกรัมต่อต้น ผลการทดลอง พบว่า การใช้ปุ๋ยอินทรีย์ร่วมกับปุ๋ยเคมีสามารถเพิ่มผลผลิตกาแฟอาราบิกาได้ โดยการใช้ปุ๋ยอินทรีย์อัตรา 5 กิโลกรัมต่อต้นร่วมกับปุ๋ยเคมี 100% ของอัตราแนะนำ (220-92-45 ก. N-P₂O₅-K₂O ต่อต้น) ให้ผลผลิตกาแฟอาราบิกาสูงที่สุด โดยมีค่าเท่ากับ 1,131 กิโลกรัมต่อไร่ แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญจากกรรมวิธีอื่น ๆ และนอกจากนี้ยังให้กำไรสุทธิสูงที่สุด เท่ากับ 19,846 บาทต่อไร่

คำสำคัญ: กาแฟอาราบิกา; ปุ๋ยอินทรีย์; ปุ๋ยเคมี

บทนำ

กาแฟเป็นเครื่องดื่มที่ได้รับความนิยมของคนทั่วโลก และเป็นพืชเศรษฐกิจที่สำคัญชนิดหนึ่งของไทย กาแฟมีถิ่นกำเนิดบริเวณทวีปแอฟริกา ก่อนที่จะมีการนำมาปลูกตามภูมิภาคต่าง ๆ สายพันธุ์กาแฟที่ได้รับความนิยมในการบริโภคหลัก ๆ มีอยู่ 2 สายพันธุ์ ได้แก่ *Coffea canephora* หรือที่รู้จักในชื่อ *Coffea Robusta* มีถิ่นกำเนิดบริเวณภาคกลางและตะวันตกของแอฟริกา กับ *Coffea arabica* ซึ่งสายพันธุ์นี้มีถิ่นกำเนิดในเอธิโอเปียและเยเมน ซึ่งสายพันธุ์ที่นิยมปลูกและบริโภคกันมากที่สุด ได้แก่ กาแฟอาราบิกา มีปริมาณการผลิต 80 เปอร์เซ็นต์ ในภาพรวมของตลาดโลก ขณะที่กาแฟโรบัสตามีปริมาณการผลิตเพียง 20 เปอร์เซ็นต์ (กรมวิชาการเกษตร, 2567) โดยในช่วง 5 ปีที่ผ่านมา การบริโภคกาแฟของโลกเติบโตเฉลี่ย 1.90 เปอร์เซ็นต์ต่อปีทั่วโลกดื่มกาแฟเฉลี่ยวันละ 2,250 ล้านแก้ว ซึ่งมูลค่าตลาดกาแฟโลก ในปี 2565 สูงถึง 433,600 ล้านดอลลาร์และอัตราการเติบโตในปี 2565-2568 เฉลี่ย 7.64 เปอร์เซ็นต์ต่อปี ประเทศที่บริโภคกาแฟมากที่สุดในโลก ได้แก่ ฟินแลนด์ แบรินด์ Starbuck เป็นเครือร้านกาแฟที่ใหญ่ที่สุดในโลก มีรายได้ 26,000 ล้านดอลลาร์ต่อปี ตามด้วย Costs Coffee และ Dunkin Donuts ส่วนผู้ผลิตกาแฟสำเร็จรูป มี Nescafé เป็นแบรนด์กาแฟที่ใหญ่ที่สุดในโลก มีรายได้ 99,000 ล้านดอลลาร์ต่อปี (กรมวิชาการเกษตร, 2567) ในปี 2567 ประเทศไทยมีพื้นที่ปลูกกาแฟทั้งสิ้น 216,517 ไร่ โดยเป็นพันธุ์อาราบิกาซึ่งมีพื้นที่ปลูก 129,778 ไร่ ให้ผลผลิต 10,690 ตัน ผลผลิตเฉลี่ย 82 กิโลกรัมต่อไร่ และพันธุ์โรบัสตามีพื้นที่ปลูก 86,739 ไร่ ให้ผลผลิต 5,933 ตัน ผลผลิตเฉลี่ย 68 กิโลกรัมต่อไร่ สร้างรายได้ให้กับเกษตรกร ประมาณ 2,278 ล้านบาท (สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร, 2567) ซึ่งปัจจุบันผลผลิตกาแฟไม่เพียงพอต่อความต้องการบริโภคภายในประเทศ เกษตรกรไทยส่วนใหญ่ยังขาดเทคโนโลยีการผลิตกาแฟที่เหมาะสม (สายพันธุ์ดี การจัดการดิน การใส่ปุ๋ยในช่วงที่เหมาะสม การเก็บเกี่ยวผลผลิตให้ได้คุณภาพ ฯลฯ) ผลผลิตต่อไร่ต่ำ รวมทั้งราคาปัจจัยการผลิตสูงขึ้น ทำให้ต้นทุนการผลิตสูง เมื่อเปรียบเทียบกับประเทศคู่แข่ง นอกจากนี้ยังพบปัญหาความแปรปรวนของสภาพอากาศ ภาวะโลกร้อน การเกิดภัยแล้ง ดินมีความอุดมสมบูรณ์ต่ำ ส่งผลให้ผลผลิตกาแฟในประเทศลดลงเป็นเท่าตัว การจัดการธาตุอาหารพืชสำหรับการผลิตกาแฟอาราบิกา จึงมีบทบาทสำคัญต่อการเพิ่มปริมาณและคุณภาพผลผลิตกาแฟ ซึ่งการใช้ปุ๋ยอินทรีย์ร่วมกับปุ๋ยเคมีจะช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตกาแฟอาราบิกาได้ โดยปุ๋ยอินทรีย์จะช่วยปรับปรุงโครงสร้างของดินให้เหมาะสมต่อ

การเจริญเติบโตของต้นกาแฟ ได้แก่ ปุ๋ยคอก ปุ๋ยหมัก ปุ๋ยพืชสด โดยใส่อย่างน้อยปีละ 4 ครั้ง ในอัตราครั้งละ 2-6 กิโลกรัมต่อต้น (กรมส่งเสริมการเกษตร, 2554) อมรรัตน์ และคณะ รายงานว่า การใช้ปุ๋ยเคมี 15-15-15 อัตรา 300 กรัมต่อต้นต่อปี ร่วมกับปุ๋ยอินทรีย์มูลไก่อัดเม็ด อัตรา 8 กิโลกรัมต่อต้นต่อปี ช่วยให้ต้นกาแฟโรบัสตาเจริญเติบโตได้ดีและให้ขนาดผลดีที่สุด แสดงให้เห็นว่า สมบัติของปุ๋ยมูลไก่อัดเม็ด มีประสิทธิภาพในการช่วยเพิ่มการเจริญเติบโตและการให้ผลผลิตของกาแฟโรบัสตา นอกจากนี้ การใช้ปุ๋ยอินทรีย์ (ปุ๋ยหมักกากกาแฟร่วมกับปุ๋ยเคมีช่วยเพิ่มปริมาณอินทรีย์วัตถุ ความชื้นในดิน ไนโตรเจนทั้งหมด ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ และความสามารถในการแลกเปลี่ยนประจุของดิน (CEC) และยังช่วยเพิ่มผลผลิตกาแฟอาราบิก้าได้อีกด้วย (Takala Bikila and Gemechu Chali, 2025) งานวิจัยนี้จึงได้ศึกษาการใช้ปุ๋ยอินทรีย์ต่อประสิทธิภาพปุ๋ยเคมีสำหรับการผลิตกาแฟอาราบิก้า เพื่อเพิ่มผลผลิตกาแฟอาราบิก้าด้วยการใช้ปุ๋ยอินทรีย์ร่วมกับปุ๋ยเคมี และลดต้นทุนการผลิตจากค่าปุ๋ยเคมีลงได้

อุปกรณ์และวิธีการ

อุปกรณ์

1. กาแฟพันธุ์อาราบิก้า ระยะให้ผลผลิต อายุ 5 ปี
2. ปุ๋ยเคมีเกรด 46-0-0, 18-46-0 และ 0-0-60
3. ปุ๋ยอินทรีย์ (มูลวัว)
4. สารเคมีสำหรับวิเคราะห์ตัวอย่างดินและพืชในห้องปฏิบัติการ
5. เครื่องมือวิทยาศาสตร์ และวัสดุวิทยาศาสตร์สำหรับวิเคราะห์ตัวอย่างดินและพืชในห้องปฏิบัติการ
6. เครื่องมือ และอุปกรณ์สำหรับเก็บตัวอย่างดินและพืช

วิธีการ

วางแผนการทดลองแบบ Split plot จำนวน 20 กรรมวิธีๆ ละ 3 ซ้ำๆ 6 ต้น ประกอบด้วย

ปัจจัยหลัก คือ ปุ๋ยเคมี 4 ระดับ ดังนี้ 0, 100%, 75% และ 50% ของอัตราแนะนำ

ปัจจัยรอง คือ ปุ๋ยอินทรีย์ 5 ระดับ ดังนี้ 0, 1.25, 2.5, 5 และ 10 กิโลกรัมต่อต้น

หมายเหตุ: ใส่ปุ๋ยตามอัตราประเมินที่ได้จากโครงการวิจัยและพัฒนาคำแนะนำการจัดการดินและธาตุอาหารในการผลิตกาแฟอาราบิก้า ปี 2565 คือ 220-92-45 ก. N-P₂O₅-K₂O ต่อต้น

1. ดำเนินการทดลองในแปลงเกษตรกรผู้ปลูกกาแฟอาราบิก้า อายุ 5 ปี ในตำบลแม่วิน อำเภอแม่วาง จังหวัดเชียงใหม่ พิกัดแปลง 47P 452596 2069141

2. จัดเตรียมปุ๋ยอินทรีย์ พร้อมวิเคราะห์สมบัติทางเคมีและปริมาณธาตุอาหารในปุ๋ยอินทรีย์ที่ใช้ในการทดลอง ได้แก่ ความชื้น ความเป็นกรด-ด่าง (pH) ค่าการนำไฟฟ้า (EC) ปริมาณอินทรีย์วัตถุ ปริมาณไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียมทั้งหมด

3. ใส่ปุ๋ยในเดือนพฤษภาคม สิงหาคม และตุลาคม ตามอัตราที่กำหนดในกรรมวิธีต่างๆ

4. ดูแลกำจัดวัชพืช และแมลงศัตรูพืช

5. เก็บข้อมูลการเจริญเติบโตของกาแฟก่อนทดลอง เช่น ความสูง ขนาดทรงพุ่ม ขนาดลำต้น

6. เก็บเกี่ยวผลผลิตกาแฟ จำนวน 6 ต้นต่อซ้ำ โดยเริ่มเก็บเกี่ยวผลผลิตตั้งแต่เดือนพฤศจิกายน ปี 2565 จนถึงเดือนกุมภาพันธ์ 2566 เก็บเกี่ยวจำนวน 4 ครั้ง พร้อมประเมินผลของการใช้ปุ๋ยอินทรีย์ในแต่ละกรรมวิธี ต่อการเจริญเติบโต และผลผลิตของกาแฟ เช่น น้ำหนักสด ผลผลิตต่อไร่ และคุณภาพของกาแฟ โดยวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของกาแฟ เช่น ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ (Total soluble solid content; %Brix)

7. ประเมินผลตอบแทนทางเศรษฐกิจและความคุ้มค่าทางเศรษฐกิจ จากการจัดการดินและปุ๋ยวิธีต่าง ๆ ในการผลิตกาแฟ โดยการวิเคราะห์ Value to cost ratio (VCR) เปรียบเทียบผลตอบแทน

ระยะเวลา เริ่มต้น ตุลาคม 2564 สิ้นสุด กันยายน 2567

สถานที่ทำการทดลอง

1. กลุ่มวิจัยปฐพีวิทยา กองวิจัยพัฒนาปัจจัยการผลิตทางการเกษตร
2. ศูนย์วิจัยเกษตรหลวงเชียงใหม่
3. แปลงเกษตรกรผู้ปลูกกาแฟ ตำบลแม่วีน อำเภอแม่วาง จังหวัดเชียงใหม่

ผลการทดลองและวิจารณ์

1. ผลวิเคราะห์สมบัติของดินก่อนทดลอง

ดำเนินการทดลองในแปลงเกษตรกรผู้ปลูกกาแฟอาราบิก้า อายุ 5 ปี ในอำเภอแม่วาง จังหวัดเชียงใหม่ พิกัดแปลง 47P 452596 2069141 ผลวิเคราะห์สมบัติของดินก่อนทดลอง พบว่า ดินบน (0-15 เซนติเมตร) เป็นดินร่วนปนทราย ส่วนดินล่าง (15-30 เซนติเมตร) เป็นดินร่วนเหนียวปนทราย จัดเป็นดินกรดจัด (pH 5.5) ซึ่งความเป็นกรด-ด่างของดินที่เหมาะสมสำหรับกาแฟอาราบิก้าอยู่ในช่วงกรดจัดถึงกรดปานกลาง (pH 5.5-6.0) (สถาบันวิจัยพืชสวน, 2562) ปริมาณอินทรีย์วัตถุอยู่ในระดับต่ำ ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์อยู่ในระดับต่ำ และโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้อยู่ในระดับสูง (Table 1) เมื่อพิจารณาค่าวิเคราะห์ดิน จะเห็นว่า กาแฟอาราบิก้ามีความต้องการปุ๋ยเท่ากับ 220-92-45 ก. N-P₂O₅-K₂O ต่อต้น

Table 1 The properties of the soil used in this experiment.

Soil depth (cm)	Soil texture	pH (1:1)	EC (1:5) (dS/m)	OM (%)	Avail.	Exch.	Exch.	Exch.
					P	K	Ca	Mg
					(mg/kg)			
0-15	Sandy Loam	5.5	0.03	3.34	47.67	275.50	485.24	174.86
15-30	Sandy Clay Loam	5.3	0.03	2.55	48.96	234.98	214.60	216.59

2. ข้อมูลผลวิเคราะห์สมบัติของมูลวัวที่ใช้ในการทดลอง

ปุ๋ยอินทรีย์ที่ใช้ในการทดลองนี้ คือ มูลวัว ซึ่งหาได้ง่ายตามท้องถนนในพื้นที่ที่ปลูกกาแฟอาราบิก้าจึงมีราคาถูก และมูลวัวยังมีปริมาณอินทรีย์วัตถุสูงกว่ามูลสัตว์ชนิดอื่น ๆ ซึ่งสามารถช่วยเพิ่มปริมาณอินทรีย์วัตถุให้แก่ดิน จากผลวิเคราะห์ พบว่า มูลวัวมีค่าความชื้น 4.30 เปอร์เซ็นต์ มีค่า pH เท่ากับ 8.5 ค่าการนำไฟฟ้า 1.76 เดซิซีเมนส์ต่อเมตร ปริมาณอินทรีย์วัตถุ 49.52 เปอร์เซ็นต์ ปริมาณไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียมทั้งหมด เท่ากับ 1.28 1.51 และ 1.25 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ และค่าสัดส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน (C/N ratio) เท่ากับ 22.41 (Table 2) ซึ่งมีค่าสูงกว่าเกณฑ์มาตรฐานของปุ๋ยอินทรีย์ (มากกว่า 20) ทั้งนี้การนำมูลวัวที่มีค่าสัดส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนมากกว่า 20 ไปใช้เป็นปุ๋ยอินทรีย์ควรหมักให้ย่อยสลายก่อนนำไปใช้เพื่อป้องกันการดูด

ซีเมนต์ไนโตรเจนจากจุลินทรีย์ดิน (immobilization) ซึ่งส่งผลให้พืชขาดไนโตรเจนในช่วงแรกของการใส่ปุ๋ยได้ (ทิพวรรณ และคณะ, 2567)

Table 2 The properties of the cow manure used in this experiment.

moisture content (% by fresh weight)	pH (1:5)	EC (1:10) (dS/m)	OM	N (%)	P ₂ O ₅	K ₂ O	C/N ratio
4.30	8.5	1.76	49.52	1.28	1.51	1.25	22.41

3. ข้อมูลองค์ประกอบผลผลิตและผลผลิตกาแฟอะราบิกาที่อายุ 5 ปี

3.1 น้ำหนักผลกาแฟเชอร์รี่ต่อ 1 ผล

น้ำหนักผลกาแฟเชอร์รี่ต่อ 1 ผล พบว่า การจัดการปุ๋ยในทุกกรรมวิธี คือ การใส่ปุ๋ยเคมีและปุ๋ยอินทรีย์ในแต่ละอัตรา รวมถึงการไม่ใส่ปุ๋ย ไม่มีผลให้น้ำหนักเฉลี่ยผลกาแฟเชอร์รี่ต่อ 1 ผล ที่อายุ 5 ปี แตกต่างกันทางสถิติ โดยมีค่าเฉลี่ยน้ำหนักผลกาแฟเชอร์รี่ต่อ 1 ผล เท่ากับ 1.93 กรัม (Table 3)

3.2 ความเข้มข้นของของแข็งที่ละลายอยู่ในสารละลายของผลกาแฟเชอร์รี่ (°Bx)

ความเข้มข้นของของแข็งที่ละลายอยู่ในสารละลายของผลกาแฟเชอร์รี่ พบว่า การจัดการปุ๋ยในทุกกรรมวิธี คือ การใส่ปุ๋ยเคมีและปุ๋ยอินทรีย์ในแต่ละอัตรา รวมถึงการไม่ใส่ปุ๋ย ไม่มีผลให้ความเข้มข้นของของแข็งที่ละลายอยู่ในสารละลายของผลกาแฟเชอร์รี่ แตกต่างกันทางสถิติ โดยมีค่าเฉลี่ยความเข้มข้นของของแข็งที่ละลายอยู่ในสารละลายของผลกาแฟเชอร์รี่ เท่ากับ 16.33 องศาบริกซ์ (Table 3)

3.3 ความกว้าง ความยาว และความหนาของผลกาแฟเชอร์รี่

ความกว้าง ความยาว และความหนาของผลกาแฟเชอร์รี่ พบว่า การจัดการปุ๋ยในทุกกรรมวิธี คือ การใส่ปุ๋ยเคมีและปุ๋ยอินทรีย์ในแต่ละอัตรา รวมถึงการไม่ใส่ปุ๋ย ไม่มีผลให้ความกว้าง ความยาว และความหนาของผลกาแฟเชอร์รี่ แตกต่างกันทางสถิติ โดยมีค่าเฉลี่ยความกว้าง ความยาว และความหนาของผลกาแฟเชอร์รี่ เท่ากับ 14.24 15.62 และ 12.70 มิลลิเมตร ตามลำดับ (Table 3)

ทั้งนี้การจัดการปุ๋ยในกรรมวิธีต่าง ๆ ไม่มีผลให้องค์ประกอบผลผลิตกาแฟอะราบิกาแตกต่างกันทางสถิติ อาจเนื่องมาจากองค์ประกอบผลผลิตเหล่านี้ล้วนเป็นลักษณะเฉพาะทางพันธุกรรมของกาแฟอะราบิกา

Table 3 Composition of Arabica coffee yield.

Method	Average fresh weight (g/fruit)	Brix (° Bx)	coffee cherry width (mm)	coffee cherry length (mm)	coffee cherry thickness (mm)
1. 0+0	2.13	17.41	14.48	15.64	13.39
2. 0+1.25	1.95	16.05	14.28	16.03	12.68
3. 0+2.5	1.84	17.65	13.91	15.45	12.46
4. 0+5	2.07	17.18	14.37	15.44	12.99
5. 0+10.0	1.97	17.08	13.81	15.69	12.70
6. 220-92-45+0	1.86	16.85	14.05	15.45	12.44
7. 220-92-45+1.25	1.93	16.13	14.22	15.72	12.66
8. 220-92-45+2.5	1.61	15.53	13.69	15.16	12.04
9. 220-92-45+5.0	1.62	15.91	13.57	15.04	11.99
10. 220-92-45+10.0	2.11	15.92	14.81	15.94	13.16
11. 165-69-34+0	2.08	16.14	14.58	15.80	12.86
12. 165-69-34+1.25	2.01	15.35	14.50	15.89	12.83
13. 165-69-34+2.5	2.03	15.65	14.57	15.77	12.68
14. 165-69-34+5.0	2.09	15.33	14.69	16.33	13.11
15. 165-69-34+10.0	1.91	16.91	14.40	15.26	12.84
16. 110-46-23+0	1.85	15.87	14.00	15.74	12.69
17. 110-46-23+1.25	1.78	16.54	14.19	15.39	12.50
18. 110-46-23+2.5	2.07	16.29	14.59	15.89	12.77
19. 110-46-23+5.0	1.97	16.07	14.23	15.46	12.97
20. 110-46-23+10.0	1.78	16.72	13.84	15.21	12.30
Mean	1.93	16.33	14.24	15.62	12.70
CV (M) %	13.9	18.7	6.8	6.8	5.0
CV (S) %	11.9	8.6	4.2	4.2	5.0

หมายเหตุ : ns ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

3.4 ผลผลิตกาแฟอาราบิกา (ผลเชอรี่)

จากการศึกษาการจัดการปุ๋ยอินทรีย์ร่วมกับปุ๋ยเคมีที่อัตราต่าง ๆ ต่อปริมาณผลผลิตกาแฟอาราบิกา โดยทำการเปรียบเทียบการใช้ปุ๋ยเคมี 4 ระดับ ได้แก่ 1) ไม่ใส่ปุ๋ยเคมี 2) ใส่ปุ๋ยเคมี 100 เปอร์เซ็นต์ของอัตราแนะนำ 3) ใส่ปุ๋ยเคมี 75 เปอร์เซ็นต์ของอัตราแนะนำ และ 4) ใส่ปุ๋ยเคมี 50 เปอร์เซ็นต์ของอัตราแนะนำ ร่วมกับการใช้ปุ๋ยอินทรีย์ในอัตราต่างๆ พบว่า ผลผลิตกาแฟอาราบิกา (ผลเชอรี่) ที่อายุ 5 ปี การใช้ปุ๋ยอินทรีย์มีปฏิสัมพันธ์กับปุ๋ยเคมี โดยการใส่ปุ๋ยอินทรีย์อัตรา 5 กิโลกรัมต่อต้น ร่วมกับปุ๋ยเคมี 100 เปอร์เซ็นต์ของอัตราแนะนำ ให้ผลผลิตกาแฟเชอรี่สูงที่สุด เท่ากับ 1,131 กิโลกรัมต่อไร่ ซึ่งไม่แตกต่างกับการใส่ปุ๋ยอินทรีย์อัตรา 10 กิโลกรัมต่อต้น

ร่วมกับปุ๋ยเคมี 100 เปอร์เซ็นต์ของอัตราแนะนำ (Table 4) อมรรัตน์ และคณะ (2566) รายงานว่า การใส่ปุ๋ยอินทรีย์ช่วยให้ปริมาณธาตุอาหารต่างๆ และอินทรีย์วัตถุเพิ่มสูงขึ้น นอกจากนี้การใส่ปุ๋ยอินทรีย์ยังช่วยให้ปริมาณจุลินทรีย์ในดินเพิ่มสูงขึ้นด้วย ซึ่งจะช่วยให้กระบวนการย่อยสลายในดินเกิดขึ้นได้ดีมีการปลดปล่อยธาตุอาหารที่ประโยชน์ได้มากขึ้น โดยการใช้ปุ๋ยเคมี 15-15-15 อัตรา 300 กรัมต่อต้นต่อปี ร่วมกับปุ๋ยอินทรีย์ (มูลไก่อัดเม็ด) อัตรา 8 กิโลกรัมต่อต้นต่อปี สามารถทำให้ต้นกาแฟโรบัสตาเจริญเติบโตได้ดีและให้ขนาดผลดีที่สุด ทั้งนี้การใช้ปุ๋ยอินทรีย์ร่วมกับปุ๋ยเคมีสามารถลดปริมาณการใช้ปุ๋ยเคมีลง ได้จากเดิม 20-40 เปอร์เซ็นต์ (กรมพัฒนาที่ดิน, 2549)

Table 4 The effect of using organic fertilizers combined with chemical fertilizers on the yield of Arabica coffee cultivated in farmers' fields at Mae Win Sub-district, Mae Wang District, Chiang Mai Province, in 2023.

Coffee Cherry (kg/rai)					
Cow manure rate (kg/plant)	Fertilizer rate (g N-P ₂ O ₅ -K ₂ O/plant)				
	0	100% of RDF	75% of RDF	50% of RDF	Mean (S)
0	316 b A	442 c A	589 a A	432 b A	445
1.25	499 ab A	752 b A	720 a A	744 a A	679
2.5	591 ab B	1,068 a A	539 a B	775 a B	743
5	572 ab B	1,131 a A	703 a B	597 ab B	751
10	654 a B	1,119 a A	838 a B	585 ab B	799
Mean (M)	526	902	678	626	683
F-Test	Fertilizer (M) = **, Cow dung (S) = **, (M) x (S) = *				
CV (%)	(M) = 21.1, (S) = 23.9				

หมายเหตุ : ** แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

* แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยผลผลิตกาแฟ โดยใช้ DMRT ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 % '

- ความแตกต่างระหว่างอัตรามูลวัวแต่ละระดับในอัตราปุ๋ยเคมีเดียวกัน (ด้านสดมภ์) ใช้อักษร a, b, c
- ความแตกต่างระหว่างอัตราปุ๋ยเคมีแต่ละระดับในอัตรามูลวัวเดียวกัน (ด้านแถว) ใช้อักษร A, B,

5. ผลตอบแทนทางเศรษฐศาสตร์

จากการวิเคราะห์ผลตอบแทนทางเศรษฐศาสตร์จากการจัดการปุ๋ยในกรรมวิธีต่าง ๆ พบว่า การใช้ปุ๋ยอินทรีย์เพียงอย่างเดียวที่อัตรา 1.25 กิโลกรัมต่อต้น ให้ผลตอบแทนทางเศรษฐศาสตร์สูงสุด โดยมีค่าเท่ากับ 6.94 แต่เมื่อพิจารณาถึงกำไรสุทธิที่ได้รับจากการจัดการปุ๋ย จะเห็นว่า การใช้ปุ๋ยอินทรีย์อัตรา 5 กิโลกรัมต่อต้น ร่วมกับปุ๋ยเคมี 100 เปอร์เซ็นต์ของอัตราแนะนำ (อัตรา 220-92-45 ก. N-P₂O₅-K₂O ต่อต้น) ให้ผลกำไรสุทธิสูงสุด มีค่าเท่ากับ 19,846 บาทต่อไร่ และมีค่า VCR เท่ากับ 2.79 รองลงมาคือ การใช้ปุ๋ยอินทรีย์อัตรา 2.5 กิโลกรัมต่อต้น ร่วมกับปุ๋ยเคมี 100 เปอร์เซ็นต์ของอัตราแนะนำ (อัตรา 220-92-45 ก. N-P₂O₅-K₂O ต่อต้น) ให้ผลกำไรสุทธิ เท่ากับ 19,464 บาทต่อไร่ และมีค่า VCR เท่ากับ 3.14 ซึ่งการวิเคราะห์ผลตอบแทนทางเศรษฐศาสตร์ หากค่า VCR มากกว่า 2 จะมีความคุ้มค่าต่อการลงทุน (Table 5)

Table 5 Economic returns from various fertilizer management methods.

Method	Yield (kg/rai)	Yield increase	Yield value (baht/rai)	Fertilizer cost (baht/rai)	profit (baht/rai)	VCR
1. 0+0	63	-				
2. 0+1.25	100	37	6,935	1,000	5,935	6.94
3. 0+2.5	118	55	10,440	2,000	8,440	5.22
4. 0+5	114	51	9,709	4,000	5,709	2.43
5. 0+10.0	131	67	12,821	8,000	4,821	1.60
6. 220-92-45+0	88	25	4,786	7,096	2,310	0.67
7. 220-92-45+1.25	150	87	16,563	8,096	8,467	2.05
8. 220-92-45+2.5	214	150	28,560	9,096	19,464	3.14
9. 220-92-45+5.0	226	163	30,942	11,096	19,846	2.79
10. 220-92-45+10.0	224	160	30,484	15,096	15,388	2.02
11. 165-69-34+0	118	54	10,349	5,322	5,027	1.94
12. 165-69-34+1.25	144	81	15,319	6,322	8,997	2.42
13. 165-69-34+2.5	108	44	8,464	7,322	1,142	1.16
14. 165-69-34+5.0	141	77	14,694	9,322	5,372	1.58
15. 165-69-34+10.0	168	104	19,832	13,322	6,510	1.49
16. 110-46-23+0	86	23	4,377	3,548	829	1.23
17. 110-46-23+1.25	149	86	16,253	4,548	11,705	3.57
18. 110-46-23+2.5	155	92	17,425	5,548	11,877	3.14
19. 110-46-23+5.0	119	56	10,654	7,548	3,106	1.41
20. 110-46-23+10.0	117	54	10,192	11,548	1,356	0.88

ปุ๋ย 46-0-0 ราคา กก. ละ 11.37 บาท, ปุ๋ย 18-46-0 ราคา กก. ละ 27.65 บาท, ปุ๋ย 0-0-60 ราคา กก. ละ 26.80 บาท, มูลวัว กก. ละ 2 บาท, ราคาจำหน่ายเมล็ดกาแฟ กก. ละ 190 บาท

สรุปผลการทดลอง

การทดลองการใช้ปุ๋ยอินทรีย์ร่วมกับการใช้ปุ๋ยเคมีในการผลิตกาแฟอาราบิก้า พบว่า การใช้ปุ๋ยอินทรีย์อัตรา 5 กิโลกรัมต่อต้น ร่วมกับปุ๋ยเคมี 100 เปอร์เซ็นต์ของอัตราแนะนำ (อัตรา 220-92-45 ก. N-P₂O₅-K₂O ต่อต้น) ให้ผลกำไรสุทธิสูงสุด เท่ากับ 19,846 บาทต่อไร่ สามารถใช้เป็นแนวทางให้เกษตรกรนำไปปฏิบัติเพื่อเพิ่มผลผลิตกาแฟอาราบิก้า และมีรายได้เพิ่มขึ้น

คำขอบคุณ

งานวิจัยนี้ได้รับทุนสนับสนุนจากสำนักงานคณะกรรมการส่งเสริมวิทยาศาสตร์ วิจัยและนวัตกรรม (สกสว.) ร่วมกับกรมวิชาการเกษตร และขอขอบคุณกลุ่มงานวิจัยจุลินทรีย์ดิน กลุ่มวิจัยปฐพีวิทยา กองวิจัยพัฒนาปัจจัยการผลิตทางการเกษตร กรมวิชาการเกษตรที่ให้ความอนุเคราะห์ปุ๋ยชีวภาพสำหรับการวิจัยครั้งนี้ สุดท้ายนี้ขอขอบคุณเจ้าหน้าที่และทีมงานวิจัยทุกท่านที่ให้ความช่วยเหลืองานวิจัยในครั้งนี้

การนำผลงานวิจัยไปใช้ประโยชน์

ผลงานวิจัยนี้เป็นการจัดการปุ๋ย โดยการใช้ปุ๋ยอินทรีย์ร่วมกับปุ๋ยเคมีที่สามารถใช้เป็นแนวทางให้เกษตรกรนำไปปฏิบัติเพื่อเพิ่มผลผลิตกาแฟอาราบิก้า และมีรายได้เพิ่มขึ้นได้

เอกสารอ้างอิง

- กรมพัฒนาที่ดิน. 2549. คู่มือการถ่ายทอดเทคโนโลยีการผลิต และการใช้ปุ๋ยที่เหมาะสมกับสภาพดิน และชนิดพืช. **ในเอกสารเพื่อการถ่ายทอดเทคโนโลยี ชุดความรู้และเทคโนโลยีการพัฒนาที่ดิน**. สำนักนิเทศและถ่ายทอดเทคโนโลยี การพัฒนาที่ดิน กรมพัฒนาที่ดิน กระทรวงเกษตรและสหกรณ์.
- กรมวิชาการเกษตร. 2567. **ยกระดับอัตลักษณ์กาแฟไทยด้วยนวัตกรรมกาแฟสู่ตลาดสากล**. การันตี Guarantee. นนทบุรี. 134 หน้า.
- กรมส่งเสริมการเกษตร. 2554. การปลูกและดูแลรักษาต้นกาแฟอาราบิก้า. **รายงานผลการดำเนินการพัฒนาบุคลากร ปีงบประมาณ พ.ศ. 2554. กลุ่มพัฒนาพื้นที่สูงกองพัฒนาการเกษตรพื้นที่เฉพาะ**. กรมส่งเสริมการเกษตร. กระทรวงเกษตรและสหกรณ์.
- ทิพวรรณ แก้วหนู ศุภกาญจน์ ล้วนมณี ศิริลักษณ์ แก้วสุริยจิต วนิดา โนบรرتها สมฤทัย ตันเจริญ ชัชชนพร เกื้อหนู นิสารัตน์ ทวีบุตร ศรีสุตา รื่นเจริญ ศราริน กลิ่นโพธิ์กลับ แววดา พลกุล ปฐมาภรณ์ จินจาคาม กมลชนก เจริญศรี นุชนาฏ ตันวรรณ สายน้ำ อุดพั่ว ภิญญาลักษณ์ รัตนวิระกุล และ อนุรักษ์ ภูระหงษ์. 2567.
- การประเมินการปลดปล่อยไนโตรเจนของปุ๋ยหมัก มูลไก่กลบ มูลวัวนม และแหนแดงแห้ง. **แก่นเกษตร**. (52)(ฉบับเพิ่มเติม 1), 392-400.
- สถาบันวิจัยพืชสวน. 2562. **คู่มือการจัดการการผลิตกาแฟอาราบิก้า**. การันตี Guarantee. นนทบุรี. 91 หน้า.
- สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร. 2567. กาแฟ : กาแฟแยกตามพันธุ์เนื้อที่ยืนต้น เนื้อที่ให้ผล ผลผลิต ผลผลิตต่อไร่ ปีเพาะปลูก 2567. แหล่งข้อมูล <https://www.oae.go.th/assets/portals/1/fileups/prcaidata/files/Varieties%20coffee%2067.pdf>. สืบค้น: 15 กุมภาพันธ์ 2568.
- อมรรัตน์ ชุมทอง ศิริรัฐสพล หนูพรหม ศุภครชา อภิรติกร กมลทิพย์ นิคมรัตน์ และ ระวี เจริญวิภา. 2566. ผลของปุ๋ยอินทรีย์ต่างชนิดกันต่อการเจริญเติบโตและผลผลิตของกาแฟโรบัสตาที่ปลูกร่วมยางพารา. **วารสารพืชศาสตร์สงขลานครินทร์**. (10)2, 90-97.
- Takala, B., & Chali, G. 2025. Integrated Use of Coffee Husk Compost and Inorganic Fertilizer Enhances Soil Properties, Coffee Growth and Yield in West Wollega, Ethiopia. **Middle East Research Journal of Agriculture and Food Science**. 5(1): 1-8.

ผลของการใช้ไบโอชาร์ต่อประสิทธิภาพปุ๋ยเคมีสำหรับการผลิตกาแฟอาราบิกา

Effect of biochar on the efficiency of chemical fertilizers for Arabica coffee production

ปัทมามากรณ์ จินจาคาม¹ ศรีสุตา รื่นเจริญ¹ ทิพวรรณ แก้วหนู¹ พีรพงษ์ เชาวนพงษ์¹
ทิวาพร ผดุง¹ ฉัตรนภา ข่มอาวุธ² ศิริภรณ์ จรินทร์³
Patimaporn Jinjakam¹ Srisuda Ruencharoen¹ Tipawan Kaewnoo¹ Peerapong Chaovanapong¹
Thiwaporn Phadung¹ Chatnapa Khomarwut² Siriporn Jarintorn³

กลุ่มวิจัยปฐพีวิทยา

กองวิจัยพัฒนาปัจจัยการผลิตทางการเกษตร

ABSTRACT

Biochar is a porous material with a large surface area that can absorb moisture and nutrients, thereby enhancing the long-term availability of nutrients for plants. Incorporating biochar with chemical fertilizers can increase production efficiency. Therefore, this study investigated the use of Arabica coffee fertilizer in combination with biochar to improve the efficiency of chemical fertilizers in Arabica coffee production. The experiment was conducted from October 2022 to September 2024 at the Royal Agricultural Research Center in Chiang Mai (Khun Wang), Mae Win Subdistrict, Mae Wang District, Chiang Mai Province. A split-plot experimental design was used, consisting of 4 replications with 6 plants per replication. The main plot was the chemical fertilizer rate determined based on the evaluation rate from Research and Development of Soil and Nutrient Recommendation for Arabica Coffee (*Coffea arabica* L.) Production, Activity 1 Research and Development Fertilizer Use Recommendations for Arabica Coffee at 3 levels: 1) 100% Evaluation Fertilizer Rate (EFR 110-69-45 g N-P₂O₅-K₂O/plant) 2) 75% EFR (83-52-34 g N-P₂O₅-K₂O/plant) 3) 50% EFR (55-35-23 g N-P₂O₅-K₂O/plant). The sub-plot was the rate of biochar application at 4 levels: 1) No biochar 2) biochar 1.25 kg/plant 3) biochar 2.5 kg/plant and 4) biochar 5 kg/plant. The result was that the combination of the recommended fertilizer (110-69-45 g N-P₂O₅-K₂O/plant) with biochar at 1.25 kg/plant resulted in the highest production efficiency, yielding 1,972 kilograms per rai and the highest profit of 25,946.99 baht.

Keywords: coffee; biochar; fertilizer

¹ กลุ่มวิจัยปฐพีวิทยา กองวิจัยพัฒนาปัจจัยการผลิตทางการเกษตร

¹ Soil Science Research Group, Agriculture Production Sciences Research and Development Division

² ศูนย์วิจัยและพัฒนากาแฟเกษตรแพร่

² Phare Agricultural Research and Development Center

³ ศูนย์วิจัยเกษตรหลวงเชียงใหม่

³ Chiang Mai Royal Agricultural Research Center

บทคัดย่อ

ไบโอชาร์เป็นวัสดุที่มีความพรุนและพื้นผิวมากสามารถดูดซับความชื้นและธาตุอาหารเพิ่มความชื้นประโยชน์ของธาตุอาหารพืชในระยะยาว การนำไบโอชาร์มาใส่ร่วมกับปุ๋ยเคมีจะทำให้สามารถเพิ่มประสิทธิภาพการผลิต ดังนั้นจึงทำการศึกษการใช้ปุ๋ยกาแฟอะราบิการ่วมกับการใส่ไบโอชาร์เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพปุ๋ยเคมีในการผลิตกาแฟอะราบิกา ดำเนินการทดลองที่แปลงทดลองในศูนย์วิจัยเกษตรหลวงเชียงใหม่ (ขุนวาง) ตำบลแม่วิน อำเภอแม่วาง จังหวัดเชียงใหม่ ระยะเวลาในการทดลองตั้งแต่ ตุลาคม 2565 ถึง กันยายน 2567 วางแผนการทดลองแบบ Split plot จำนวน 4 ซ้ำๆ ละ 6 ต้น ประกอบด้วย ปัจจัยหลักคืออัตราปุ๋ยเคมีที่ได้จากการวิเคราะห์อัตราประเมินของโครงการวิจัยและพัฒนาคำแนะนำการจัดการดินและธาตุอาหารในการผลิตกาแฟอะราบิกา กิจกรรมที่ 1 วิจัยและพัฒนาคำแนะนำการใช้ปุ๋ยสำหรับกาแฟอะราบิกา จำนวน 3 ระดับ 1) ใส่ปุ๋ยเคมีตามค่าวิเคราะห์ที่ได้จากอัตราประเมิน (110-69-45 กรัม $N-P_2O_5-K_2O$ /ตัน) 2) ใส่ปุ๋ยเคมี 75 เปอร์เซ็นต์ของอัตราประเมิน (83-52-34 กรัม $N-P_2O_5-K_2O$ /ตัน) และ 3) ใส่ปุ๋ยเคมี 50 เปอร์เซ็นต์ของอัตราประเมิน (55-35-23 กรัม $N-P_2O_5-K_2O$ /ตัน) ปัจจัยรองคืออัตราไบโอชาร์ จำนวน 4 ระดับ 1) ไม่ใส่ไบโอชาร์ 2) ใส่ไบโอชาร์ 1.25 กิโลกรัมต่อต้น 3) ใส่ไบโอชาร์ 2.5 กิโลกรัมต่อต้น และ 4) ใส่ไบโอชาร์ 5 กิโลกรัมต่อต้น ผลการทดลอง พบว่า การใส่ปุ๋ยเคมีตามอัตราประเมิน (110-69-45 กรัม $N-P_2O_5-K_2O$ /ตัน) ร่วมกับการใส่ไบโอชาร์ 1.25 กิโลกรัมต่อต้นมีประสิทธิภาพในการผลิตโดยให้ผลผลิตสูงสุด 1,972 กิโลกรัมต่อไร่ และให้ผลกำไรสูงสุด 25,946.99 บาท

คำสำคัญ: กาแฟ; ไบโอชาร์; ปุ๋ยเคมี

บทนำ

กาแฟอะราบิกาเป็นพืชเศรษฐกิจที่สำคัญชนิดหนึ่งของประเทศไทยที่ทำรายได้ให้เกษตรกรปีละ 2,034 ล้านบาท เนื้อที่ให้ผล 119,076 ไร่ ผลผลิต 10,690 ตัน และผลผลิตต่อไร่ 90 กิโลกรัม (สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร, 2567) ปัจจุบันผู้นิยมดื่มกาแฟเป็นจำนวนมาก ทำให้ตลาดมีการขยายตัว เกษตรกรจึงสนใจปลูกกาแฟอะราบิกาเพิ่มมากขึ้น แต่เกษตรกรส่วนใหญ่ยังขาดความรู้ความเข้าใจเทคโนโลยีการผลิตที่เหมาะสม เช่น การจัดการดิน ปุ๋ย การเขตกรรม ทำให้ผลผลิตส่วนใหญ่ไม่ได้มาตรฐาน ปริมาณผลผลิตไม่เพียงพอต่อความต้องการของโรงงานแปรรูป ส่งผลให้ต้องนำเข้าเมล็ดกาแฟ 63,676 ตัน มูลค่า 9,600 ล้านบาท (สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร, 2567) ขณะที่ราคาปุ๋ยเคมีมีแนวโน้มสูงขึ้น ทำให้ต้นทุนการผลิตเพิ่มขึ้นด้วย ซึ่งการทดลองนี้จัดทำขึ้นเพื่อศึกษาการเพิ่มประสิทธิภาพการใช้ปุ๋ยสำหรับกาแฟอะราบิกา โดยการใช้ปุ๋ยให้มีประสิทธิภาพสูงสุดเป็นแนวทางการลดต้นทุนการผลิต ดังนั้นหากมีการนำถ่านชีวภาพ หรือ ไบโอชาร์ ที่เป็นผลพลอยได้จากกระบวนการผลิตไฟฟ้าชีวมวล ที่เกิดจากการให้ความร้อนมวลชีวภาพโดยไม่ใช้ออกซิเจนหรือใช้น้อยมาก เรียกว่า กระบวนการแยกสลายด้วยความร้อน (pyrolysis) มีโครงสร้างที่ประกอบด้วยคาร์บอนที่เสถียร (Sohi *et al.*, 2009) จึงทนทานต่อการย่อยสลาย (Verheijen *et al.*, 2010) ไบโอชาร์ที่ได้จากไม้เนื้อแข็งแยกสลายด้วยความร้อนสูงจะมีคาร์บอนสูง Gaskin *et al.* (2008) รายงานว่า การผลิตไบโอชาร์จากไม้สน ที่อุณหภูมิ 500 องศาเซลเซียส ให้คาร์บอน 817 กรัมต่อกิโลกรัม องค์ประกอบทางเคมีของถ่านชีวภาพ ประกอบด้วยค่าความเป็นกรดเป็นด่าง (pH) เบสที่แลกเปลี่ยนได้ (BS) ค่าการนำไฟฟ้า (EC) ความจุในการแลกเปลี่ยนประจุบวก (Cation Exchange Capacity, CEC) ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ (P_2O_5) ปริมาณธาตุประจุบวกที่สามารถแลกเปลี่ยนได้ ได้แก่ K^+ Ca^{2+} Mg^{2+} และ Na^+ เป็นต้น มีความหนาแน่นรวม (bulk density) น้อยกว่าดิน (Brady and Weil, 2004) เป็นวัสดุที่มีความพรุนสูงและพื้นผิวมาก จึงช่วยดูดซับความชื้นได้เป็นอย่างดี มีปริมาณธาตุอาหารต่ำไม่มีผลต่อการเจริญเติบโตของพืชในช่วงแรก แต่ช่วยเพิ่มความชื้นเป็นประโยชน์ของธาตุอาหารพืชในระยะยาว เนื่องจากพื้นผิวมีความสามารถในการออกซิเดชันและความสามารถในการแลกเปลี่ยนไอออนบวกสูง (Lehmann *et al.*, 2003) นำมาใช้ร่วมกับการใส่ปุ๋ยเคมีส่งผลต่อประสิทธิภาพการจัดการดินและธาตุอาหารพืช อีกทั้งยังช่วยในการวางแผนการผลิต และลดค่าใช้จ่ายปัจจัยการผลิตด้านปุ๋ยอย่างมีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น

อุปกรณ์และวิธีการ

อุปกรณ์

1. กาแฟพันธุ์อะราบิกา อายุอยู่ในช่วงให้ผลผลิต (ต้นกาแฟอายุ 17 ปี)
2. ไบโอชาร์จากไม้สับที่เป็นผลพลอยได้จากกระบวนการผลิตไฟฟ้าชีวมวล
2. ปุ๋ยเคมี ได้แก่ ปุ๋ยยูเรีย (46-0-0) ปุ๋ยโดแอมโมเนียมฟอสเฟต (18-46-0) และปุ๋ยโพแทสเซียมคลอไรด์ (0-0-60)
3. สารเคมีสำหรับวิเคราะห์ตัวอย่างดินและพืชในห้องปฏิบัติการ
4. เครื่องมือและอุปกรณ์สำหรับเก็บตัวอย่างดินและพืช
5. เครื่องมือวิทยาศาสตร์ และวัสดุวิทยาศาสตร์สำหรับวิเคราะห์ตัวอย่างในห้องปฏิบัติการ

วิธีการ

1. ดำเนินการทดลองในแปลงทดลองศูนย์วิจัยเกษตรหลวงเชียงใหม่ (ขุนวาง) ตำบลแม่วิน อำเภอแม่วาง จังหวัดเชียงใหม่ พิกัดแปลง 47Q 447527X 2059840Y ต้นกาแฟอายุ 17 ปี

2. ไบโอชาร์ ผลิตจากไม้สับที่เป็นผลพลอยได้จากกระบวนการผลิตไฟฟ้าชีวมวล โดยการให้ความร้อนมวลชีวภาพโดยไม่ใช้ออกซิเจนหรือใช้น้อยมาก เรียกว่า กระบวนการแยกสลายด้วยความร้อน (pyrolysis) มีโครงสร้างที่ประกอบด้วยคาร์บอนที่เสถียร อุณหภูมิที่ใช้ 500 องศาเซลเซียส ระยะเวลาในการผ่านความร้อน 30 นาที วิเคราะห์คุณสมบัติทางเคมีไบโอชาร์ ได้แก่ ค่าความเป็นกรด-ด่าง โดยใช้อัตราส่วนดินต่อน้ำเท่ากับ 1:5 วัดค่าด้วย pH meter ค่าการนำไฟฟ้าโดยใช้อัตราส่วนดินต่อน้ำเท่ากับ 1:10 วัดค่าด้วย EC meter อินทรีย์คาร์บอน (organic carbon; OC) ตามวิธี Walkley and Black ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด ตามวิธี Kjeldahl Method วัดปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมด โดยการย่อยตัวอย่างด้วยกรดผสมไนตริกกับเปอร์คลอริก อัตราส่วน 1:1 ทำให้เกิดสีตามวิธี vanadomelydate และวัดปริมาณฟอสฟอรัสเทียบกับสารละลายมาตรฐานด้วยเครื่อง UV/Vis spectrophotometer ที่ความยาวคลื่น 420 นาโนเมตร และปริมาณโพแทสเซียมทั้งหมด วัดปริมาณด้วยเครื่อง Atomic Absorption Spectrophotometer (AAS) เทียบกับสารละลายมาตรฐาน (กลุ่มงานวิจัยปุ๋ยและสารปรับปรุงดิน, 2548)

3. เก็บตัวอย่างดิน 4 จุดรอบโคนต้น ก่อนการใส่ปุ๋ยและหลังเก็บเกี่ยว โดยเก็บที่ระดับความลึก 0-15 เซนติเมตร นำมาผึ่งให้แห้งในที่ร่มเมื่อตัวอย่างดินแห้งแล้ว ทำการแยกเศษพืชและกรวดออก นำตัวอย่างดินไปร่อนผ่านตะแกรง ขนาด 2 มิลลิเมตร จากนั้นจึงนำไปวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพและสมบัติทางเคมีของดินในห้องปฏิบัติการ ได้แก่ เนื้อดิน ค่าความเป็นกรด-ด่างของดิน (pH) โดยใช้อัตราส่วนดินต่อน้ำเท่ากับ 1:1 วัดค่าด้วย pH Meter อินทรีย์วัตถุในดิน (organic matter; OM) ตามวิธี Walkley and Black ปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ในดิน (Available phosphorus; Avail.P) สกัดด้วยสารละลาย Bray II ในกรณีที่ดินมีค่า pH > 7.3 สกัดด้วยสารละลาย 0.5 M NaHCO₃ (pH 8.5) ตามวิธี Olsen ทำให้เกิดสีตามวิธี molybdenum blue และวัดปริมาณฟอสฟอรัสเทียบกับสารละลายมาตรฐานด้วยเครื่อง UV/Vis spectrophotometer ที่ความยาวคลื่น 882 นาโนเมตร และปริมาณโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ (exchangeable potassium; Exch.K) สกัดดินด้วย 1 M NH₄OAc. pH 7.0 วัดปริมาณด้วยเครื่อง Atomic Absorption Spectrophotometer (AAS) เทียบกับสารละลายมาตรฐาน (กลุ่มงานวิจัยเคมีดิน, 2544)

4. วางแผนการทดลองแบบ Split plot มี 4 ซ้ำๆ ละ 6 ต้น ประกอบด้วย

ปัจจัยหลัก คือ ปุ๋ยเคมี 3 ระดับ ดังนี้ 100%, 75% และ 50% ของอัตราประเมินที่ได้จากโครงการวิจัย และพัฒนาคำแนะนำการจัดการดินและธาตุอาหารในการผลิตกาแฟอาราบิก้า กิจกรรมที่ 1 วิจัยและพัฒนา คำแนะนำการใช้ปุ๋ยสำหรับกาแฟอาราบิก้า ดำเนินการปี 2565-2566 โดยมีอัตราประเมินการให้ปุ๋ยสำหรับกาแฟอาราบิก้า 110-69-45, 83-52-34 และ 55-35-23 กรัม N-P₂O₅-K₂O/ต้น ตามลำดับ

ปัจจัยรอง คือ ไบโอชาร์จากไม้สับ 4 ระดับ ดังนี้ ไบโอชาร์อัตรา 0, 1.25, 2.5 และ 5 กิโลกรัมต่อต้น

5. ใส่ปุ๋ยในเดือนพฤษภาคม สิงหาคม และตุลาคม ตามอัตราที่กำหนดในกรรมวิธีต่างๆ (สถาบันวิจัยพืชสวน, 2562) พร้อมทั้งดูแลกำจัดวัชพืช และแมลงศัตรูพืช

6. เก็บเกี่ยวผลผลิตกาแฟ

7. บันทึกข้อมูลผลวิเคราะห์ดินก่อนและหลังใส่ปุ๋ย ข้อมูลผลวิเคราะห์พืช และข้อมูลผลผลิต

8. ประเมินผลตอบแทนทางเศรษฐกิจ โดยการวิเคราะห์สัดส่วนรายได้ต่อการลงทุน (Benefit Cost Ratio: BCR)

ระยะเวลา เริ่มต้น ตุลาคม 2565 สิ้นสุด กันยายน 2567

สถานที่ทำการทดลอง

1. กลุ่มวิจัยปฐพีวิทยา กองวิจัยพัฒนาปัจจัยการผลิตทางการเกษตร กรมวิชาการเกษตร
2. ศูนย์วิจัยเกษตรหลวงเชียงใหม่ ตำบลแม่วิน อำเภอแม่วาง จังหวัดเชียงใหม่

ผลการทดลองและวิจารณ์

1. สมบัติดินและไบโอชาร์

ผลการวิเคราะห์ดินก่อนการทดลองที่ระดับความลึก 0-15 เซนติเมตร พบว่า ดินมีเนื้อเป็นดินร่วนเหนียวปนทราย มีค่าปฏิกิริยาดิน 5.1 ซึ่งเป็นกรดจัด มีปริมาณอินทรีย์วัตถุอยู่ในระดับสูง ปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์อยู่ในระดับสูง และปริมาณโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้อยู่ในระดับสูง (ตารางที่ 1) จากค่าวิเคราะห์ดินนำมาพิจารณาการให้ปุ๋ยในกาแฟ พบว่า กาแฟจะราบิกามีอัตราประเมินความต้องการปุ๋ยเท่ากับ 110-69-45 กรัม $N-P_2O_5-K_2O$ /ตัน

ผลวิเคราะห์ไบโอชาร์ (ตารางที่ 2) พบว่า ไบโอชาร์มีค่าเป็นด่างจัดมาก (pH 9.8) ค่าการนำไฟฟ้า 1.0 เดซิซีเมนส์/เมตร ปริมาณอินทรีย์คาร์บอน 28.4 เปอร์เซ็นต์ ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด 1.0 เปอร์เซ็นต์ ปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมด 0.08 เปอร์เซ็นต์ ปริมาณโพแทสเซียมทั้งหมด 1.09 เปอร์เซ็นต์

ผลวิเคราะห์ดินหลังการเก็บเกี่ยว (ตารางที่ 3) พบว่า ดินมีค่า อินทรีย์วัตถุ และแมกนีเซียมที่แลกเปลี่ยนได้มีค่าลดลง (4.87 เปอร์เซ็นต์ และ 67 มิลลิกรัม/กิโลกรัม ตามลำดับ) แต่ค่าการนำไฟฟ้า ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ โพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ และแคลเซียมที่แลกเปลี่ยนได้มีค่าเพิ่มขึ้น (0.061 เดซิซีเมนส์/เมตร 137 มิลลิกรัม/กิโลกรัม และ 325 มิลลิกรัม/กิโลกรัม ตามลำดับ)

ตารางที่ 1 ผลวิเคราะห์ดินปลูกกาแฟราบิกาก่อนการทดลองแปลงศูนย์วิจัยเกษตรหลวงเชียงใหม่ ตำบลแม่วิน อำเภอแม่วาง จังหวัดเชียงใหม่

ความลึก (ซม.)	pH (1:1)	EC (1:5) (dS/m)	OM (%)	Avail. P	Exch. K	Exch. Ca	Exch. Mg
0-15	5.1	0.035	5.5	76.6	237	312	110

ตารางที่ 2 ผลวิเคราะห์ไบโอชาร์จากไม้สับ

รายการ	ไบโอชาร์
1. ค่าความเป็นกรด-ด่าง (1:1)	9.8
2. ค่าการนำไฟฟ้า (1:10) (dS/m)	1.0
3. ปริมาณอินทรีย์คาร์บอน (%)	28.4
4. C/N ratio	28.4
5. ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด (%)	1.0
6. ปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมด (%)	0.08
7. ปริมาณโพแทสเซียมทั้งหมด (%)	1.09

ตารางที่ 3 ผลวิเคราะห์ดินปลูกกาแฟอะราบิกาหลังการเก็บเกี่ยว ที่ความลึก 0-15 เซนติเมตร แปลงศูนย์วิจัย
เกษตรหลวงเชียงใหม่ ตำบลแม่วิน อำเภอแม่วาง จังหวัดเชียงใหม่

อัตราการใส่ ไบโอชาร์ (กก./ตัน)	ความเป็นกรด-ด่าง (pH)			การนำไฟฟ้า (เดซิซีเมนส์/เมตร)			อินทรีย์วัตถุ (%)		
	อัตราปุ๋ยเคมี (กรัม N-P ₂ O ₅ -K ₂ O/ตัน)			อัตราปุ๋ยเคมี (กรัม N-P ₂ O ₅ -K ₂ O/ตัน)			อัตราปุ๋ยเคมี (กรัม N-P ₂ O ₅ -K ₂ O/ตัน)		
	110-69-45	83-52-34	55-35-23	110-69-45	83-52-34	55-35-23	110-69-45	83-52-34	55-35-23
0	5.1	4.9	4.7	0.065	0.065	0.049	4.78	5.30	5.15
1.25	4.6	4.7	4.7	0.071	0.052	0.064	4.74	4.80	4.95
2.5	4.8	4.7	4.9	0.059	0.047	0.058	4.54	4.66	5.06
5.0	4.7	5.0	5.0	0.078	0.052	0.067	4.69	4.76	4.98
เฉลี่ย		4.8			0.061			4.87	
CV (M) %		6.8			34.1			7.8	
CV (S) %		4.5			30.4			11.7	

ตารางที่ 3 ผลวิเคราะห์ดินปลูกกาแฟอะราบิกาหลังการเก็บเกี่ยว ที่ความลึก 0-15 เซนติเมตร แปลงศูนย์วิจัย
เกษตรหลวงเชียงใหม่ ตำบลแม่วิน อำเภอแม่วาง จังหวัดเชียงใหม่ (ต่อ)

อัตราการใส่ ไบโอชาร์ (กก./ตัน)	ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ (มก./กก.)			โพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ (มก./กก.)		
	อัตราปุ๋ยเคมี (กรัม N-P ₂ O ₅ -K ₂ O/ตัน)			อัตราปุ๋ยเคมี (กรัม N-P ₂ O ₅ -K ₂ O/ตัน)		
	110-69-45	83-52-34	55-35-23	110-69-45	83-52-34	55-35-23
0	130	133	132	378	288	313
1.25	160	150	139	347	369	362
2.5	123	162	137	267	333	286
5.0	136	146	101	301	327	338
เฉลี่ย		137			326	
CV (M) %		22.5			48.0	
CV (S) %		25.7			37.1	

ตารางที่ 3 ผลวิเคราะห์ดินปลูกกาแฟอะราบิกาหลังการเก็บเกี่ยว ที่ความลึก 0-15 เซนติเมตร แปลงศูนย์วิจัย
เกษตรหลวงเชียงใหม่ ตำบลแม่วิน อำเภอแม่วาง จังหวัดเชียงใหม่ (ต่อ)

อัตราการใส่ ไบโอชาร์ (กก./ตัน)	แคลเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ (มก./กก.)			แมกนีเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ (มก./กก.)		
	อัตราปุ๋ยเคมี (กรัม N-P ₂ O ₅ -K ₂ O/ตัน)			อัตราปุ๋ยเคมี (กรัม N-P ₂ O ₅ -K ₂ O/ตัน)		
	110-69-45	83-52-34	55-35-23	110-69-45	83-52-34	55-35-23
0	638	476	312	90	56	57
1.25	401	412	370	53	78	61
2.5	463	435	530	65	66	96
5.0	287	355	380	48	64	72
เฉลี่ย		421			67	
CV (M) %		33.6			35.7	
CV (S) %		46.1			35.4	

2. ผลผลิตและคุณภาพเมล็ดกาแฟ

2.1 ปริมาณผลผลิตเมล็ดกาแฟ จากผลการทดลองพบว่าอัตราไบโอชาร์มีปฏิสัมพันธ์กับอัตราปุ๋ยเคมี 110-69-45 กรัม N-P₂O₅-K₂O/ตัน โดยอัตราไบโอชาร์ 1.25 กรัม/ตัน ให้ผลผลิตมากที่สุดเท่ากับ 1,972 กิโลกรัม/ไร่ อัตราปุ๋ยเคมี 83-52-34 กรัม N-P₂O₅-K₂O/ตัน ร่วมกับอัตราการใส่ไบโอชาร์ 1.25 กรัม/ตัน ให้ผลผลิตมากที่สุดเท่ากับ 1,555 กิโลกรัม/ไร่ และอัตราปุ๋ยเคมี 55-35-23 กรัม N-P₂O₅-K₂O/ตันโดยไม่ใส่ไบโอชาร์ ให้ผลผลิตมากที่สุดเท่ากับ 1,519 กิโลกรัม/ไร่ การใส่ไบโอชาร์ ที่อัตรา 1.25 กรัม/ตัน ให้ผลผลิตกาแฟเฉลี่ยมากที่สุด

1,581 กิโลกรัม/ตัน ซึ่งแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญกับกรรมวิธีใส่ไบโอชาร์ อัตรา 2.5 และ 5.0 กรัม/ตัน แต่ไม่แตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญกับกรรมวิธีไม่ใส่ไบโอชาร์ (ตาราง 4)

2.2 น้ำหนักต่อผลกาแฟ (ตารางที่ 5) กรรมวิธีที่ใส่ปุ๋ยเคมีอัตรา 83-52-34 กรัม $N-P_2O_5-K_2O$ ต่อต้น ร่วมกับการใส่ไบโอชาร์ 5 กิโลกรัมต่อต้นให้น้ำหนักต่อผลกาแฟสูงสุดคือ 2.15 กรัม รองลงมาคือ กรรมวิธีที่ใส่ปุ๋ยเคมีอัตรา 55-35-23 กรัม $N-P_2O_5-K_2O$ ต่อต้น และ กรรมวิธีที่ใส่ปุ๋ยเคมีอัตรา 83-52-34 กรัม $N-P_2O_5-K_2O$ ต่อต้น ร่วมกับการใส่ไบโอชาร์ 2.5 กิโลกรัมต่อต้น (2.14 และ 2.12 กรัม ตามลำดับ)

2.3 ปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายน้ำได้ในสารละลาย (ตารางที่ 5) พบว่า กรรมวิธีที่ใส่ปุ๋ยเคมีอัตรา 55-35-23 กรัม $N-P_2O_5-K_2O$ ต่อต้น มีค่าปริมาณของแข็งที่ละลายอยู่ในสารละลายสูงสุด 24.37 องศาบริกซ์ รองลงมาคือ กรรมวิธีที่ใส่ปุ๋ยเคมีอัตรา 55-35-23 กรัม $N-P_2O_5-K_2O$ ต่อต้น ร่วมกับการใส่ไบโอชาร์ 2.5 กิโลกรัมต่อต้น และกรรมวิธีที่ใส่ปุ๋ยเคมีอัตรา 110-69-45 กรัม $N-P_2O_5-K_2O$ ต่อต้น ร่วมกับการใส่ไบโอชาร์ 5 กิโลกรัมต่อต้น (22.47 และ 22.03 องศาบริกซ์ตามลำดับ)

2.4 ความกว้างผล (ตารางที่ 5) พบว่า กรรมวิธีที่ใส่ปุ๋ยเคมีอัตรา 110-69-45 กรัม $N-P_2O_5-K_2O$ ต่อต้น ร่วมกับการใส่ไบโอชาร์ 1.25 กิโลกรัมต่อต้น มีความกว้างผลสูงสุดคือ 14.77 มิลลิเมตร รองลงมา คือ กรรมวิธีที่ใส่ปุ๋ยเคมีอัตรา 55-35-23 กรัม $N-P_2O_5-K_2O$ ต่อต้น และ กรรมวิธีที่ใส่ปุ๋ยเคมีอัตรา 83-52-34 กรัม $N-P_2O_5-K_2O$ ต่อต้น ร่วมกับการใส่ไบโอชาร์ 5 กิโลกรัมต่อต้น (14.70 และ 14.43 มิลลิเมตร ตามลำดับ)

2.5 ความยาวผล (ตารางที่ 5) พบว่า กรรมวิธีที่ใส่ปุ๋ยเคมีอัตรา 83-52-34 กรัม $N-P_2O_5-K_2O$ ต่อต้น ร่วมกับการใส่ไบโอชาร์ 2.5 กิโลกรัมต่อต้นมีความยาวผลสูงสุดเท่ากับ 16.19 มิลลิเมตร รองลงมาคือ กรรมวิธีที่ใส่ปุ๋ยเคมีอัตรา 55-35-23 กรัม $N-P_2O_5-K_2O$ ต่อต้น และ กรรมวิธีที่ใส่ปุ๋ยเคมีอัตรา 110-69-45 กรัม $N-P_2O_5-K_2O$ ต่อต้น ร่วมกับการใส่ไบโอชาร์ 1.25 กิโลกรัมต่อต้น (16.07 และ 16.06 มิลลิเมตร ตามลำดับ)

2.6 ความหนาผล (ตารางที่ 5) พบว่า กรรมวิธีที่ใส่ปุ๋ยเคมีอัตรา 110-69-45 กรัม $N-P_2O_5-K_2O$ ต่อต้น ร่วมกับการใส่ไบโอชาร์ 1.25 กิโลกรัมต่อต้น มีความหนาผลสูงสุดเท่ากับ 15.24 มิลลิเมตร รองลงมาคือ กรรมวิธีที่ใส่ปุ๋ยเคมีอัตรา 83-52-34 กรัม $N-P_2O_5-K_2O$ ต่อต้น และ กรรมวิธีที่ใส่ปุ๋ยเคมีอัตรา 55-35-23 กรัม $N-P_2O_5-K_2O$ ต่อต้น (13.24 และ 13.09 มิลลิเมตร ตามลำดับ)

ตารางที่ 4 ปริมาณผลผลิตเมล็ดกาแฟอะราบิกา (กิโลกรัมต่อไร่)

อัตราการใช้ ไบโอชาร์ (กิโลกรัม/ตัน)	ผลผลิตเมล็ดกาแฟอะราบิกา (กก./ไร่)			อัตราการใช้ ไบโอชาร์ เฉลี่ย
	อัตราปุ๋ยเคมี (กรัม N-P ₂ O ₅ -K ₂ O/ต้น)			
	110-69-45	83-52-34	55-35-23	
0	879 b B	1,552 a A	1,519 a A	1,316 ab
1.25	1,972 a A	1,555 a AB	1,218 ab B	1,581 a
2.5	865 b A	940 b A	1,305 ab A	1,037 b
5.0	1,392 b A	1,264 ab AB	758 b B	1,138 b
อัตราปุ๋ยเคมี-เฉลี่ย	1,277	1,328	1,200	1,268
CV (M) %	31.6			
CV (S) %	30.1			

เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยปริมาณผลผลิตเมล็ดกาแฟอะราบิกา โดยใช้ LSD ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

- ความแตกต่างระหว่างอัตราไบโอชาร์ ใช้อักษร a, b
- ความแตกต่างระหว่างอัตราปุ๋ยเคมี ใช้อักษร A, B

ตารางที่ 5 น้ำหนักต่อผล ปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายน้ำได้ในสารละลาย ความกว้าง ความยาว และความหนาผลของเมล็ดกาแฟ

อัตราปุ๋ยเคมี (กรัม N-P ₂ O ₅ -K ₂ O/ตัน)	น้ำหนักต่อผล กาแฟ (กรัม)	ปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ ละลายน้ำได้ในสารละลาย (°brix)	ความกว้างผล (มิลลิเมตร)	ความยาวผล (มิลลิเมตร)	ความหนาผล (มิลลิเมตร)
1. 110-69-45+0	1.94	21.96	14.25	15.81	12.71
2. 110-69-45+1.25	2.11	21.62	14.77	16.06	15.24
3. 110-69-45+2.5	1.91	21.37	14.42	15.67	12.64
4. 110-69-45+5.0	1.98	22.03	14.41	15.94	12.86
5. 83-52-34+0	2.07	21.44	14.39	15.75	13.24
6. 83-52-34+1.25	1.94	21.80	14.33	15.93	12.81
7. 83-52-34+2.5	2.12	21.73	14.32	16.19	13.06
8. 83-52-34+5.0	2.15	21.6	14.43	15.55	12.81
9. 55-35-23+0	2.14	24.37	14.70	16.07	13.09
10. 55-35-23+1.25	2.04	21.01	14.36	15.72	12.82
11. 55-35-23+2.5	1.86	22.47	14.09	15.71	12.53
12. 55-35-23+5.0	1.96	21.73	14.35	15.6	12.87
Mean	2.02	21.93	14.40	15.84	13.06
CV (M) %	17.1	18.0	8.1	7.7	12.2
CV (S) %	9.4	14.4	2.9	3.3	8.2

3. ผลตอบแทนทางเศรษฐศาสตร์

ต้นทุนการผลิตเป็นสิ่งสำคัญโดยเฉพาะการใส่ปุ๋ยเป็นปัจจัยสำคัญต่อการเพิ่มผลผลิตของพืช การพิจารณาการลงทุนโดยการวิเคราะห์หาผลตอบแทนทางเศรษฐกิจ อัตราส่วนรายได้ต่อการลงทุน (Benefit-Cost Ratio หรือ BCR) เป็นทฤษฎีที่ใช้ในการวิเคราะห์ความเป็นไปได้ของการลงทุน โดยเปรียบเทียบผลประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับกับต้นทุนที่เกิดขึ้น $BCR = \text{รายได้ต่อไร่} / \text{ต้นทุนผันแปรต่อไร่}$ $BCR < 1$ รายได้น้อยกว่ารายจ่าย กิจกรรมที่ดำเนินการนั้นขาดทุนไม่ควรทำการผลิต $BCR = 1$ รายได้เท่ากับรายจ่าย กิจกรรมที่ดำเนินการนั้นไม่มีกำไร ไม่ขาดทุน มีความเสี่ยงในการผลิต $BCR > 1$ รายได้มากกว่ารายจ่าย กิจกรรมที่ดำเนินการนั้นมีกำไร ความเสี่ยงน้อย ทำการผลิตได้

ผลตอบแทนทางเศรษฐศาสตร์ (ตารางที่ 6 และ 7) พบว่า พบว่า การใส่ปุ๋ยอัตรา 55-35-23 กรัม N-P₂O₅-K₂O/ตัน ให้อัตราส่วนรายได้ต่อการลงทุนมากที่สุด เท่ากับ 4.5 รองลงมาคือ การใส่ปุ๋ยอัตรา 83-52-34 กรัม N-P₂O₅-K₂O /ตัน และการใส่ปุ๋ยอัตรา 110-69-45 กรัม N-P₂O₅-K₂O/ตัน ร่วมกับการใส่ไบโอชาร์ 1.25 กิโลกรัมต่อตัน ให้อัตราส่วนรายได้ต่อการลงทุนเท่ากับ 3.8 และ 2.6

ตารางที่ 6 ข้อมูลต้นทุนผันแปรในการผลิตกาแฟอาราบิก้าแปลงศูนย์วิจัยเกษตรหลวงเชียงใหม่ ตำบลแม่วิน
อำเภอแม่วาง จังหวัดเชียงใหม่

กรรมวิธีทดลอง	ค่าจ้างแรงงาน (บาท/ไร่)				ค่าวัสดุการเกษตร (บาท/ไร่)		รวม (บาท/ไร่)
	ตัดแต่ง กิ่งกาแฟ	พ่นสารเคมี กำจัดศัตรูพืช	ใส่ ปุ๋ยเคมี	เก็บเกี่ยว ผลผลิต	ปุ๋ยเคมี	ไบโอชาร์	
1. 110-69-45+0	1,000	600	600	2,000	3,293.01	-	7,493.01
2. 110-69-45+1.25	1,000	600	600	2,000	3,293.01	6,000	13,493.01
3. 110-69-45+2.5	1,000	600	600	2,000	3,293.01	12,000	19,493.01
4. 110-69-45+5.0	1,000	600	600	2,000	3,293.01	24,000	31,493.01
5. 83-52-34+0	1,000	600	600	2,000	2,513.65	-	6,713.65
6. 83-52-34+1.25	1,000	600	600	2,000	2,513.65	6,000	12,713.65
7. 83-52-34+2.5	1,000	600	600	2,000	2,513.65	12,000	18,713.65
8. 83-52-34+5.0	1,000	600	600	2,000	2,513.65	24,000	30,713.65
9. 55-35-23+0	1,000	600	600	2,000	1,695.27	-	5,895.27
10. 55-35-23+1.25	1,000	600	600	2,000	1,695.27	6,000	11,895.27
11. 55-35-23+2.5	1,000	600	600	2,000	1,695.27	12,000	17,895.27
12. 55-35-23+5.0	1,000	600	600	2,000	1,695.27	24,000	29,895.27

ปุ๋ย 46-0-0 ราคา กก. ละ 11.37 บาท, ปุ๋ย 18-46-0 ราคา กก. ละ 27.65 บาท, ปุ๋ย 0-0-60 ราคา กก. ละ 26.80 บาท,
ไบโอชาร์ กก. ละ 30 บาท, ราคาจำหน่ายสารกาแฟ กก. ละ 20 บาท

ตารางที่ 7 ผลตอบแทนทางเศรษฐกิจ จากการเก็บเกี่ยวผลผลิตกาแฟอาราบิก้าแปลงศูนย์วิจัยเกษตรหลวง
เชียงใหม่ ตำบลแม่วิน อำเภอแม่วาง จังหวัดเชียงใหม่

กรรมวิธีทดลอง	ผลตอบแทนทางเศรษฐกิจ				
	ผลผลิต (กก./ไร่)	ต้นทุน (บาท/ไร่)	รายได้ (บาท/ไร่)	ผลตอบแทน (บาท/ไร่)	BCR
1. 110-69-45+0	879	7,493.01	17,580	10,086.99	2.3
2. 110-69-45+1.25	1,972	13,493.01	39,440	25,946.99	2.9
3. 110-69-45+2.5	865	19,493.01	17,300	-2,193.01	0.9
4. 110-69-45+5.0	1,392	31,493.01	27,840	-3,653.01	0.9
5. 83-52-34+0	1,552	6,713.65	31,040	24,326.35	4.6
6. 83-52-34+1.25	1,555	12,713.65	31,100	18,386.35	2.4
7. 83-52-34+2.5	940	18,713.65	18,800	86.35	1.0
8. 83-52-34+5.0	1,264	30,713.65	25,280	-5,433.65	0.8
9. 55-35-23+0	1,519	5,895.27	30,380	24,484.73	5.2
10. 55-35-23+1.25	1,218	11,895.27	24,360	12,464.73	2.0
11. 55-35-23+2.5	1,305	17,895.27	26,100	8,204.73	1.5
12. 55-35-23+5.0	758	29,895.27	15,160	-14,735.27	0.5
เฉลี่ย	1,268.25	17,200.64	25,365	8,164.36	2.1

ราคาจำหน่ายเมล็ดกาแฟ กก. ละ 20 บาท

สรุปผลการทดลอง

จากการทดลองสามารถสรุปได้ว่าการใส่ปุ๋ยเคมีตามอัตราประเมินจากโครงการฯ (110-69-45 กรัม N-P₂O₅-K₂O/ตัน) ร่วมกับการใส่ไบโอชาร์ 1.25 กิโลกรัมต่อตันมีประสิทธิภาพในการผลิตโดยให้ผลผลิตสูงสุด 1,972 กิโลกรัมต่อไร่ และให้ผลกำไรสูงสุด 25,946.99 บาท ผลตอบแทนทางเศรษฐกิจจากสัดส่วนรายได้ต่อการลงทุน (Benefit Cost Ration : BCR) เท่ากับ 2.9 เนื่องจากการใช้ไบโอชาร์เป็นการเพิ่มต้นทุนการผลิต ทำให้ต้นทุนการผลิตสูงขึ้น หากเกษตรกรสามารถผลิตเองได้จะสามารถลดต้นทุนการผลิตได้ และเนื่องจากการทดลองนี้ทำการทดลองเพียง 1 ปี หากสามารถนำผลที่ได้ไปทดลองซ้ำปีต่อไปหรือพื้นที่อื่นจะทำให้ให้ได้ผลสรุปที่ดีขึ้น

คำขอบคุณ

งานวิจัยนี้ได้รับทุนสนับสนุนจากสำนักงานคณะกรรมการส่งเสริมวิทยาศาสตร์ วิจัยและนวัตกรรม (สกสว.) ร่วมกับกรมวิชาการเกษตร และขอขอบคุณผู้อำนวยการศูนย์วิจัยเกษตรหลวงเชียงใหม่ ที่ได้อนุเคราะห์แปลงกาแฟอะราบิกาสำหรับใช้ในการทดลอง สุดท้ายขอขอบคุณเจ้าหน้าที่ทุกท่านที่ได้ให้การช่วยเหลือในการทำงานวิจัยในครั้งนี้

การนำผลงานวิจัยไปใช้ประโยชน์

1. การใส่ไบโอชาร์ร่วมกับการใส่ปุ๋ยเคมีสามารถช่วยลดเพิ่มประสิทธิภาพการใส่ปุ๋ยได้ เป็นแนวทางให้เกษตรกรสามารถนำไปใช้ในการเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตกาแฟอะราบิกาที่ให้ผลตอบแทนทางเศรษฐกิจคุ้มค่าแก่การลงทุน
2. สามารถนำข้อมูลที่ได้จากงานวิจัยครั้งนี้ไปขยายผลหรือปรับใช้กับพื้นที่อื่นๆ ซึ่งจะเป็นประโยชน์กับนักวิชาการเกษตรของกรมวิชาการเกษตรและหน่วยงานอื่นๆ นำไปใช้ในการพัฒนางานวิจัยด้านดินและปุ๋ย และสามารถจัดทำคำแนะนำการใส่ปุ๋ยกับกาแฟอะราบิกาสำหรับให้คำแนะนำการใส่ปุ๋ยแก่เกษตรกรได้อย่างถูกต้อง

เอกสารอ้างอิง

- กลุ่มงานวิจัยเคมีดิน. 2544. คู่มือการวิเคราะห์ดินและพืช. กองปฐพีวิทยา กรมวิชาการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์ กรุงเทพฯ. 164 หน้า
- กลุ่มงานวิจัยปุ๋ยและสารปรับปรุงดิน. 2584. วิธีวิเคราะห์ปุ๋ยเคมีและปุ๋ยอินทรีย์. กลุ่มวิจัยปฐพีวิทยา สำนักวิจัยพัฒนาปัจจัยการผลิตทางการเกษตร กรมวิชาการเกษตร
- สถาบันวิจัยพืชสวน. 2562. คู่มือการจัดการการผลิตกาแฟอาราบิก้า. สถาบันวิจัยพืชสวน กรมวิชาการเกษตร. กรุงเทพฯ.
- สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร. 2567. สารสนเทศเศรษฐกิจการเกษตรรายสินค้า ปี 2567. เอกสารเผยแพร่สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร. แหล่งข้อมูล <https://www.oae.go.th/assets/portals/1/files/journal/2568/commodity2567.pdf> สืบค้น: 6 มีนาคม 2568
- Brady N.C. and R.R. Weil. 2004. Elements of the nature and Properties of Soils. 2nd Ed. Pearson Prentice Hall. Upper addle River Nj. pp. 111-112.
- Chan, K.Y., L. Van Zwieten, I. Meszaros, A. Downie and S. Joseph. 2007. Agronomic values of green waste biochar as a soil amendment. Australian J. of Soil Research. 45:629-634.
- Lehmann, J., and Rondon, M. 2003. Bio-char soil management on highly weathered soils in the humid tropics. ResearchGate. Biological approaches to sustainable soil systems: 517-530.
- Gaskin, J. W., Steiner, C., Harris, K., Das, K. C. and Bibens, B. 2008. Effect of low-temperature pyrolysis conditions on biochar for agricultural use. ResearchGate, Vol. 51(6): 2061-2069.
- Verheijen, F., S. Jeffery, A.C. Bastos, M. van der Valde. And I. Diafas, 2010. Biochar application to soils – A critical scientific review of effects on soil properties, processes and functions. ResearchGate: 166p.
- Sohi, S., E. Lopez-Capel, E. Kull and R. Bol. 2009. Biochar, climate change and soil : a review to guide future research. CSIRO Land and water Science Report.

ผลการใช้ปุ๋ยชีวภาพละลายฟอสเฟตต่อประสิทธิภาพการใช้ปุ๋ยฟอสเฟต
ในการผลิตกาแฟอาราบิกา

Effect of phosphate-solubilizing biofertilizer on phosphate fertilizer
efficiency in Arabica coffee production

ศรีสุตา รื่นเจริญ¹ ปฐิมาภรณ์ จินจาคาม¹ ทิพวรรณ แก้วหนู¹ พีรพงษ์ เชาวนพงษ์¹

สุปราณี มั่นหมาย¹ ทิwaporn ผดุง¹ ฉัตตน์ภา ช่มอาวุธ² ศิริภรณ์ จรินทร์³

Patimaporn Jinjakam¹ Srisuda Ruencharoen¹ Tipawan Kaewnoo¹ Peerapong Chaovanapong¹

Supranee Munmai¹ Thiwaporn Phadung¹ Chatnapa Khomarwut² Siriporn Jarintorn³

กลุ่มวิจัยปฐพีวิทยา

กองวิจัยพัฒนาปัจจัยการผลิตทางการเกษตร

ABSTRACT

Biofertilizers are fertilizers that contain microorganisms capable of producing and providing nutrients beneficial to plants. Phosphate-solubilizing biofertilizers have the property of dissolving phosphorus that is fixed in the soil, thereby improving the efficiency of fertilizer use for plants. Therefore, this experiment was conducted to study the use of phosphate-solubilizing biofertilizers in combination with phosphate chemical fertilizer to enhance the production efficiency of Arabica coffee production. The experiment was conducted in a farmer's plot in Mae Wang District, Chiang Mai Province, using a Randomized Complete Block Design (RCBD) with 5 replications, each consisting of 6 plants. There were 4 treatments from the evaluation fertilizer rate: 1) 100% phosphate chemical fertilizer 2) 75% phosphate chemical fertilizer combined with phosphate-solubilizing biofertilizer (PS) 3) 50% phosphate chemical fertilizer combined with PS and 4) 25% phosphate chemical fertilizer combined with PS. The results showed that the treatment using 75% of the recommended rate of phosphate chemical fertilizer (220-69-45 g N-P₂O₅-K₂O/plant) combined with phosphate-solubilizing biofertilizer gave the highest coffee bean yield at 778 kg/rai and the highest benefit-cost ratio at 3.2. This demonstrates that the use of phosphate-solubilizing biofertilizer helps reduce phosphate fertilizer costs, thereby increasing farmers' income.

Keywords: coffee; phosphate-solubilizing biofertilizer; phosphate fertilizer

¹ กลุ่มวิจัยปฐพีวิทยา กองวิจัยพัฒนาปัจจัยการผลิตทางการเกษตร

¹ Soil Science Research Group, Agriculture Production Sciences Research and Development Division

² ศูนย์วิจัยและพัฒนาการเกษตรแพร่

² Phare Agricultural Research and Development Center

³ ศูนย์วิจัยเกษตรหลวงเชียงใหม่

³ Chiang Mai Royal Agricultural Research Center

บทคัดย่อ

ปุ๋ยชีวภาพเป็นปุ๋ยที่ประกอบด้วยจุลินทรีย์ที่สามารถสร้างและให้ธาตุอาหารที่เป็นประโยชน์กับพืช ซึ่งปุ๋ยชีวภาพละลายฟอสเฟตมีคุณสมบัติที่ช่วยละลายธาตุฟอสฟอรัสที่ถูกตรึงอยู่ในดินทำให้ช่วยประสิทธิภาพการให้ปุ๋ยให้พืชได้ ดังนั้นการทดลองนี้จึงทำการศึกษาการใช้ปุ๋ยชีวภาพละลายฟอสเฟตร่วมกับการใส่ปุ๋ยฟอสเฟตเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตกาแฟอะราบิกา ดำเนินการแปลงทดลองเกษตรกร อำเภอแม่วาง จังหวัดเชียงใหม่ วางแผนวางแผนการทดลองแบบ Randomized complete block (RCB) จำนวน 5 ซ้ำๆ ละ 6 ต้น ประกอบด้วย 4 กรรมวิธี คือ 1) ใส่ปุ๋ยเคมีฟอสเฟตตามอัตราประเมิน 2) ใส่ปุ๋ยเคมีฟอสเฟต 75 เปอร์เซ็นต์ของอัตราประเมิน ร่วมกับใส่ปุ๋ยชีวภาพละลายฟอสเฟต 3) ใส่ปุ๋ยเคมีฟอสเฟต 50 เปอร์เซ็นต์ของอัตราประเมินร่วมกับใส่ปุ๋ยชีวภาพละลายฟอสเฟต 4) ใส่ปุ๋ยเคมีฟอสเฟต 25 เปอร์เซ็นต์ของอัตราประเมินร่วมกับใส่ปุ๋ยชีวภาพละลายฟอสเฟต ผลการทดลองพบว่า กรรมวิธีใส่ปุ๋ยเคมีฟอสเฟต 75 เปอร์เซ็นต์ของอัตราประเมิน (220-69-45 กรัม N-P₂O₅-K₂O ต่อต้น) ร่วมกับการใส่ปุ๋ยชีวภาพละลายฟอสเฟตให้ผลผลิตเมล็ดกาแฟสูงสุดเท่ากับ 778 กิโลกรัมต่อไร่ สัดส่วนรายได้ต่อการลงทุน (Benefit Cost Ratio : BCR) เท่ากับ 3.2 แสดงให้เห็นว่าการใช้ปุ๋ยชีวภาพละลายฟอสเฟตช่วยลดต้นทุนปุ๋ยฟอสเฟต ทำให้เกษตรกรมีรายได้เพิ่มขึ้น

คำสำคัญ: กาแฟ; ปุ๋ยชีวภาพละลายฟอสเฟต; ปุ๋ยฟอสเฟต

บทนำ

กาแฟอะราบิกาเป็นพืชเศรษฐกิจที่สำคัญชนิดหนึ่งของประเทศไทยที่ทำรายได้ให้เกษตรกรปีละ 2,034 ล้านบาท ปัจจุบันการบริโภคกาแฟมีแนวโน้มสูงขึ้น ส่งผลให้ความต้องการเมล็ดกาแฟเพิ่มขึ้นตามไปด้วย โดยปี 2567 ประเทศไทยมีพื้นที่ปลูกกาแฟอะราบิกาประมาณ 119,076 ไร่ ผลผลิตรวม 10,690 ตัน ผลผลิตต่อไร่ 90 กิโลกรัม มีแหล่งปลูกที่สำคัญส่วนใหญ่ในภาคเหนือ โดยมีผลผลิต 10,641 ตัน จังหวัดที่มีพื้นที่เพาะปลูกมากได้แก่ จังหวัดเชียงราย เชียงใหม่ แม่ฮ่องสอน และน่าน ตามลำดับ ผลผลิตต่อไร่ 4,709 3,430 877 และ 791 ตัน ตามลำดับ(สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร, 2567) สภาพพื้นที่ที่เหมาะสมในการปลูกกาแฟอะราบิกาควรมีความสูงไม่ต่ำกว่า 700 เมตรจากระดับทะเลปานกลาง อุณหภูมิเฉลี่ย 15-25 องศาเซลเซียส มีปริมาณน้ำฝนไม่ต่ำกว่า 1,500 มิลลิเมตรต่อปี และต้องมีการกระจายน้ำฝนอย่างน้อย 5-8 เดือน มีแหล่งน้ำสะอาดและปริมาณเพียงพอในการให้น้ำได้ตลอดช่วงแล้ง สภาพดินมีชั้นดินลึกไม่ต่ำกว่า 50 เซนติเมตร (สถาบันวิจัยพืชสวน, 2562) การผลิตกาแฟอะราบิกาให้ได้ผลผลิตสูงและมีคุณภาพนอกจากการใช้พันธุ์ที่เหมาะสมกับสภาพพื้นที่แล้วต้องมีการจัดการดินและการให้ปุ๋ยให้เหมาะสมกับสภาพพื้นที่ปลูกและความอุดมสมบูรณ์ของดิน ระดับความอุดมสมบูรณ์ในดินที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของกาแฟอะราบิกาที่ประเทศลาว พบว่า ปริมาณอินทรีย์วัตถุอยู่ในช่วง 1-3 เปอร์เซ็นต์ ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์อยู่ในช่วง 60-80 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม (FAO, 2005) ในบราซิลระดับความอุดมสมบูรณ์ในดินที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของกาแฟอะราบิกา พบว่า ปริมาณอินทรีย์วัตถุ 3.72-5.2 เปอร์เซ็นต์ ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ 7.4-15.6 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม และโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ 76.4-127.2 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม (Sousa et al., 2017) เนื่องจากพื้นที่การปลูกกาแฟอะราบิกาส่วนใหญ่อยู่ในภาคเหนือที่มีความลาดชันสูงทำให้เกิดการชะล้างของธาตุอาหารพืชในดินจากการไหลบ่าของน้ำที่พาธาตุอาหารตามไปด้วยซึ่งเป็นเหตุทำให้ความอุดมสมบูรณ์ของดินลดลง

ฟอสฟอรัสเป็นธาตุอาหารหลักที่มีบทบาทสำคัญต่อการเจริญเติบโตของพืช โดยเฉพาะการเจริญของราก การออกดอก และการให้ผลผลิตพืช ฟอสฟอรัสเป็นหนึ่งในสามธาตุอาหารหลักที่ละลายไปในดินในรูปของปุ๋ยซึ่งช่วยในการเจริญเติบโตของราก และเพิ่มประสิทธิภาพการดูดธาตุโพแทสเซียม กระตุ้นการออกดอก การสร้างเมล็ด

เพิ่มความต้านโรคและแมลง (กรมส่งเสริมการเกษตร, 2557) ดินส่วนใหญ่มีอินทรีย์ฟอสฟอรัสอยู่ในรูปที่ไม่ละลายจึงเป็นฟอสฟอรัสที่ไม่เป็นประโยชน์ต่อพืชโดยถูกดินดูดตรึงเอาไว้ การใส่ปุ๋ยฟอสเฟตจึงจำเป็นเพื่อให้ได้ผลผลิตสูง ปุ๋ยชีวภาพละลายฟอสเฟตประกอบด้วยจุลินทรีย์ที่เพิ่มความเป็นประโยชน์ของฟอสฟอรัส โดยสามารถเปลี่ยนสารประกอบอินทรีย์ฟอสเฟต หรือสารประกอบอินทรีย์ฟอสเฟตที่ไม่ละลายน้ำให้อยู่ในรูปที่ละลายน้ำได้ ทำให้พืชสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้ (กรมวิชาการเกษตร, 2567) ดังนั้นการนำปุ๋ยชีวภาพละลายฟอสเฟตมาใช้ร่วมกับปุ๋ยเคมีจะทำให้ความเป็นประโยชน์ของฟอสฟอรัสเพิ่มขึ้น ส่งผลให้เพิ่มประสิทธิภาพการดูดใช้ธาตุอาหาร และเป็นข้อมูลพื้นฐานในการให้คำแนะนำการใช้ปุ๋ยเคมีร่วมกับปุ๋ยชีวภาพละลายฟอสเฟตที่เหมาะสมในการผลิตกาแฟอาราบิก้าต่อไป

อุปกรณ์และวิธีการ

อุปกรณ์

1. กาแฟพันธุ์อาราบิก้า อายุอยู่ในช่วงให้ผลผลิต (อายุ 6 ปี)
2. ปุ๋ยชีวภาพละลายฟอสเฟต (กลุ่มงานวิจัยจุลินทรีย์ดิน กลุ่มวิจัยปฐพีวิทยา กองวิจัยพัฒนาปัจจัยการผลิตทางการเกษตร มีจุลินทรีย์รับรองคือ *Taralomyces flavus* ไม่น้อยกว่า 10^7 โคโลนีต่อกรัม)
3. ปุ๋ยเคมี ได้แก่ ปุ๋ยยูเรีย (46-0-0) ปุ๋ยไดแอมโมเนียมฟอสเฟต (18-46-0) และปุ๋ยโพแทสเซียมคลอไรด์ (0-0-60)
4. สารเคมีสำหรับวิเคราะห์ตัวอย่างดินและพืชในห้องปฏิบัติการ
5. เครื่องมือและอุปกรณ์สำหรับเก็บตัวอย่างดินและพืช
6. เครื่องมือวิทยาศาสตร์ และวัสดุวิทยาศาสตร์สำหรับวิเคราะห์ตัวอย่างในห้องปฏิบัติการ

วิธีการ

1. ดำเนินการทดลองในแปลงเกษตรกรผู้ปลูกกาแฟอาราบิก้า อายุ 6 ปี ตำบลแม่วิน อำเภอแม่วาง จังหวัดเชียงใหม่ พิกัด 47Q 452584X 2069148Y
2. เก็บตัวอย่างดิน 4 จุดรอบโคนต้น ก่อนการใส่ปุ๋ยและหลังการใส่ปุ๋ย โดยเก็บที่ระดับความลึก 0-15 เซนติเมตร นำมาผึ่งให้แห้งในที่ร่ม เมื่อตัวอย่างดินแห้งแล้ว ทำการแยกเศษพืชและกรวดออก นำตัวอย่างดินไปร่อนผ่านตะแกรง ขนาด 2 มิลลิเมตร จากนั้นจึงนำไปวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพและสมบัติทางเคมีของดินในห้องปฏิบัติการ ได้แก่ เนื้อดิน ค่าความเป็นกรด-ด่างของดิน (pH) อินทรีย์วัตถุ (organic matter; OM) ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ (available phosphorus; Avail.P) และโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ (exchangeable potassium; Exch.K) (กลุ่มงานวิจัยเคมีดิน, 2544)
3. วางแผนการทดลองแบบ RCB มี 5 ซ้ำๆ ละ 6 ต้น ประกอบด้วย 4 กรรมวิธี
กรรมวิธีที่ 1 ใส่ปุ๋ยเคมีฟอสเฟต 100% P_2O_5 ของอัตราประเมิน
กรรมวิธีที่ 2 ใส่ปุ๋ยเคมีฟอสเฟต 75% P_2O_5 ของอัตราประเมิน+ปุ๋ยชีวภาพละลายฟอสเฟต
กรรมวิธีที่ 3 ใส่ปุ๋ยเคมีฟอสเฟต 50% P_2O_5 ของอัตราประเมิน+ปุ๋ยชีวภาพละลายฟอสเฟต
กรรมวิธีที่ 4 ใส่ปุ๋ยเคมีฟอสเฟต 25% P_2O_5 ของอัตราประเมิน+ปุ๋ยชีวภาพละลายฟอสเฟต

อัตราประเมินที่ได้จากโครงการวิจัยและพัฒนาคำแนะนำการจัดการดินและธาตุอาหารในการผลิต
กาแฟอาราบิกา กิจกรรมที่ 1 การวิจัยและพัฒนาคำแนะนำการใช้ปุ๋ยสำหรับกาแฟอาราบิกา ปี 2566

ใส่ปุ๋ยชีวภาพละลายฟอสเฟต 20 กรัมต่อต้น ปริมาณปุ๋ยไนโตรเจน และปุ๋ยโพแทชใส่ตามอัตรา
ประเมิน

4. ใส่ปุ๋ยในเดือนพฤษภาคม สิงหาคม และตุลาคม ตามอัตราที่กำหนดในกรรมวิธีต่างๆ (สถาบันวิจัยพืชสวน,
2562) พร้อมทั้งดูแลกำจัดวัชพืช และแมลงศัตรูพืช
5. เก็บเกี่ยวผลผลิตกาแฟ
6. บันทึกข้อมูลผลวิเคราะห์ดินก่อนใส่ปุ๋ยและหลังเก็บเกี่ยว ข้อมูลผลวิเคราะห์พืช และข้อมูลผลผลิต
7. ประเมินผลตอบแทนทางเศรษฐกิจ โดยการวิเคราะห์สัดส่วนรายได้ต่อการลงทุน (Benefit Cost
Ration : BCR)

ระยะเวลา เริ่มต้น ตุลาคม 2565 สิ้นสุด กันยายน 2567

สถานที่ทำการทดลอง

1. กลุ่มวิจัยปฐพีวิทยา กองวิจัยพัฒนาปัจจัยการผลิตทางการเกษตร กรมวิชาการเกษตร
2. แปลงเกษตรกร ตำบลแม้ว อำเภอแม่วาง จังหวัดเชียงใหม่

ผลการทดลองและวิจารณ์

1. สมบัติดิน

ผลการวิเคราะห์ดินก่อนการทดลองที่ระดับความลึก 0-15 เซนติเมตร ตามคำแนะนำการใช้ปุ๋ยตามค่าวิเคราะห์ดิน
ในการผลิตกาแฟ กลุ่มวิจัยปฐพีวิทยา กองวิจัยพัฒนาปัจจัยการผลิตทางการเกษตร กรมวิชาการเกษตร ปี 2567
พบว่า ดินเป็นกรดจัด ปริมาณอินทรีย์วัตถุอยู่ในระดับต่ำ ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์อยู่ในระดับต่ำ และ
โพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้อยู่ในระดับสูง จากผลวิเคราะห์ดิน (ตารางที่ 1) พบว่า กาแฟอาราบิกาในพื้นที่นี้มี
อัตราประเมินความต้องการปุ๋ยเท่ากับ 220-92-45 กรัม N-P₂O₅-K₂O ต่อต้น

ผลวิเคราะห์ดินหลังเก็บเกี่ยว ปี 2567 (ตารางที่ 2) พบว่า ความเป็นกรด-ด่างของดินไม่ค่อยมีการ
เปลี่ยนแปลง ปริมาณอินทรีย์วัตถุเพิ่มขึ้นเล็กน้อย ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ลดลงอาจเกิดจากจุลินทรีย์ในปุ๋ย
ชีวภาพละลายฟอสเฟตช่วยให้พืชดูดใช้ฟอสเฟตในดินมากขึ้น และโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ แคลเซียมที่
แลกเปลี่ยนได้ และแมกนีเซียมที่แลกเปลี่ยนได้มีปริมาณเพิ่มขึ้น

ตารางที่ 1 ผลวิเคราะห์ดินปลูกกาแฟอาราบิกาก่อนการทดลองแปลงเกษตรกร อำเภอแม่วาง จังหวัดเชียงใหม่
ปี 2566 ที่ระดับความลึก 15-30 เซนติเมตร

ความลึก (cm)	pH (1:1)	EC (1:5) (dS/m)	OM (%)	Avail. P (mg/kg)	Exch. K (mg/kg)	Exch. Ca (mg/kg)	Exch. Mg (mg/kg)
0-15	5.5	0.031	3.3	47	275	343	132

ตารางที่ 2 ผลวิเคราะห์ดินปลูกกาแฟอะราบิกาล้างการการเก็บเกี่ยวแปลงเกษตรกร อำเภอแม่วาง จังหวัดเชียงใหม่ ปี 2567 ที่ระดับความลึก 0-15 เซนติเมตร

อัตราปุ๋ยเคมี (กรัม N-P ₂ O ₅ -K ₂ O/ต้น/ปี)	pH (1:1)	EC (1:5) (dS/m)	OM (%)	Avail. P (mg/kg)	Exch. K (mg/kg)	Exch. Ca (mg/kg)	Exch. Mg (mg/kg)
1. 220-92-45	5.5	0.17	3.93	26	390	731	244
2. 220-69-45 + PS	5.3	0.13	3.72	27	378	649	184
3. 220-46-45 + PS	5.4	0.16	3.84	31	441	641	196
4. 220-23-45 + PS	5.5	0.12	3.71	29	353	699	234
Mean	5.4	0.015	3.80	28	391	680	24
CV (%)	4.9	55.4	12.9	29	28	40	37

หมายเหตุ PS = phosphate-solubilizing biofertilizer (ปุ๋ยชีวภาพละลายฟอสเฟต)

2. ผลผลิตและคุณภาพเมล็ดกาแฟ

2.1 ปริมาณผลผลิตเมล็ดกาแฟอะราบิกาทุกกรรมวิธีไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ ปริมาณผลผลิตเมล็ดกาแฟเฉลี่ยเท่ากับ 632 กิโลกรัมต่อไร่ กรรมวิธีใส่ปุ๋ยเคมีอัตรา 220-69-45 กรัม N-P₂O₅-K₂O ต่อต้น ร่วมกับการใส่ปุ๋ยชีวภาพละลายฟอสเฟตให้ผลผลิตเมล็ดกาแฟสูงสุดเท่ากับ 778 กิโลกรัมต่อไร่ รองลงมาคือกรรมวิธี 220-92-45 กรัม N-P₂O₅-K₂O ต่อต้น 220-23-45 กรัม N-P₂O₅-K₂O ต่อต้น ร่วมกับการใส่ปุ๋ยชีวภาพละลายฟอสเฟต และ 220-46-45 กรัม N-P₂O₅-K₂O ต่อต้น ร่วมกับการใส่ปุ๋ยชีวภาพละลายฟอสเฟต ให้ผลผลิตเมล็ดกาแฟเฉลี่ย 628 565 และ 556 กิโลกรัมต่อไร่ ตามลำดับ (ตาราง 3)

2.2 ผลผลิตสารกาแฟอะราบิกากรรมวิธีที่ใส่ปุ๋ยเคมีอัตรา 220-69-45 กรัม N-P₂O₅-K₂O ต่อต้น ร่วมกับการใส่ปุ๋ยชีวภาพละลายฟอสเฟตให้ผลผลิตเมล็ดกาแฟสูงสุดเท่ากับ 156 กิโลกรัมต่อไร่ รองลงมาคือกรรมวิธีใส่ปุ๋ยเคมีอัตรา 220-92-45 กรัม N-P₂O₅-K₂O ต่อต้น 220-23-45 กรัม N-P₂O₅-K₂O ต่อต้น ร่วมกับการใส่ปุ๋ยชีวภาพละลายฟอสเฟต และ 220-46-45 กรัม N-P₂O₅-K₂O ต่อต้น ร่วมกับการใส่ปุ๋ยชีวภาพละลายฟอสเฟต ให้ผลผลิตสารกาแฟเฉลี่ย 126 113 และ 111 กิโลกรัมต่อไร่ ตามลำดับ (ตาราง 3)

2.3 น้ำหนักต่อผลกาแฟอะราบิกาเฉลี่ย 1.9 กรัมต่อผล (ตารางที่ 4) โดยกรรมวิธีที่ใส่ปุ๋ยเคมีอัตรา 220-69-45 กรัม N-P₂O₅-K₂O ต่อต้น ร่วมกับการใส่ปุ๋ยชีวภาพละลายฟอสเฟตให้น้ำหนักต่อผลกาแฟสูงสุดคือ 1.93 กรัมต่อผล รองลงมาคือกรรมวิธีใส่ปุ๋ยเคมีอัตรา 220-46-45 กรัม N-P₂O₅-K₂O ต่อต้น ร่วมกับการใส่ปุ๋ยชีวภาพละลายฟอสเฟต 220-23-45 กรัม N-P₂O₅-K₂O ต่อต้น ร่วมกับการใส่ปุ๋ยชีวภาพละลายฟอสเฟต และ 220-92-45 กรัม N-P₂O₅-K₂O ต่อต้น ร่วมกับการใส่ปุ๋ยชีวภาพละลายฟอสเฟตให้น้ำหนักต่อผลกาแฟ 1.92 1.88 และ 1.88 กรัมต่อผล ตามลำดับ

2.4 ความหวานเฉลี่ยเท่ากับ 17.36 องศาบริกซ์ โดยกรรมวิธีที่ใส่ปุ๋ยเคมีอัตรา 220-92-45 กรัม N-P₂O₅-K₂O ต่อต้น มีค่าความหวานสูงสุด 17.54 องศาบริกซ์ รองลงมาคือกรรมวิธีใส่ปุ๋ยเคมีอัตรา 220-23-45 กรัม N-P₂O₅-K₂O ต่อต้น ร่วมกับการใส่ปุ๋ยชีวภาพละลายฟอสเฟต 220-69-45 กรัม N-P₂O₅-K₂O ต่อต้น ร่วมกับการใส่ปุ๋ยชีวภาพละลายฟอสเฟต และ 220-46-45 กรัม N-P₂O₅-K₂O ต่อต้น ร่วมกับการใส่ปุ๋ยชีวภาพละลายฟอสเฟต ให้ความหวานเฉลี่ย 17.43 17.39 และ 17.07 องศาบริกซ์ ตามลำดับ (ตารางที่ 4)

2.5 ความกว้างผลเฉลี่ยเท่ากับ 14.05 มิลลิเมตร โดยกรรมวิธีที่ใส่ปุ๋ยเคมีอัตรา 220-69-45 กรัม N-P₂O₅-K₂O ต่อต้น ร่วมกับการใส่ปุ๋ยชีวภาพละลายฟอสเฟตมีความกว้างผลสูงสุดคือ 14.77 มิลลิเมตร รองลงมาคือกรรมวิธี ใส่ปุ๋ยเคมีอัตรา 220-92-45 กรัม N-P₂O₅-K₂O ต่อต้น 220-23-45 กรัม N-P₂O₅-K₂O ต่อต้น ร่วมกับ

การใส่ปุ๋ยชีวภาพละลายฟอสเฟต และ 220-46-45 กรัม N-P₂O₅-K₂O ต่อต้น ร่วมกับการใส่ปุ๋ยชีวภาพละลายฟอสเฟต ให้ความกว้างผลเฉลี่ยเท่ากับ 14.08 14.02 และ 13.99 มิลลิเมตร ตามลำดับ (ตารางที่ 4)

2.6 ความยาวผลเฉลี่ยเท่ากับ 15.42 มิลลิเมตร โดยกรรมวิธีที่ใส่ปุ๋ยเคมีอัตรา 220-23-45 กรัม N-P₂O₅-K₂O ต่อต้น ร่วมกับการใส่ปุ๋ยชีวภาพละลายฟอสเฟตมีความยาวผลสูงสุดเท่ากับ 15.44 มิลลิเมตร รองลงมาคือกรรมวิธีใส่ปุ๋ยเคมีอัตรา 220-92-45 กรัม N-P₂O₅-K₂O ต่อต้น 220-69-45 กรัม N-P₂O₅-K₂O ต่อต้น ร่วมกับการใส่ปุ๋ยชีวภาพละลายฟอสเฟต และ 220-46-45 กรัม N-P₂O₅-K₂O ต่อต้น ร่วมกับการใส่ปุ๋ยชีวภาพละลายฟอสเฟต ให้ความยาวผลเฉลี่ยเท่ากับ 15.43 15.41 และ 15.40 มิลลิเมตร ตามลำดับ (ตารางที่ 4)

2.7 ความหนาผลเฉลี่ยเท่ากับ 12.54 มิลลิเมตร โดยกรรมวิธีที่ใส่ปุ๋ยเคมีอัตรา 220-92-45 กรัม N-P₂O₅-K₂O ต่อต้น และ 220-23-45 กรัม N-P₂O₅-K₂O ต่อต้น ร่วมกับการใส่ปุ๋ยชีวภาพละลายฟอสเฟตมีความหนาผลสูงสุดเท่ากับ 15.58 มิลลิเมตร รองลงมาคือกรรมวิธีใส่ปุ๋ยเคมีอัตรา 220-69-45 กรัม N-P₂O₅-K₂O ต่อต้น ร่วมกับการใส่ปุ๋ยชีวภาพละลายฟอสเฟต และ 220-46-45 กรัม N-P₂O₅-K₂O ต่อต้น ร่วมกับการใส่ปุ๋ยชีวภาพละลายฟอสเฟต ให้ความหนาผลเฉลี่ยเท่ากับ 12.1 และ 12.48 มิลลิเมตร ตามลำดับ (ตารางที่ 4)

ตารางที่ 3 ผลของการใช้ปุ๋ยต่อปริมาณผลผลิตเมล็ดกาแฟอาราบิก้าและผลผลิตสารกาแฟแปลงเกษตรกร อำเภอม่วงสามสิบ จังหวัดชัยภูมิ ปี 2567

อัตราปุ๋ยเคมี (กรัม N-P ₂ O ₅ -K ₂ O/ต้น/ปี)	ผลผลิตเมล็ดกาแฟอาราบิก้า (กก./ไร่)	ผลผลิตสารกาแฟ (กก./ไร่)
1. 220-92-45	628	126
2. 220-69-45 + PS	778	156
3. 220-46-45 + PS	556	111
4. 220-23-45 + PS	565	113
Mean	632	126
CV (%)	23.1	23.1

ตารางที่ 4 ผลของการใช้ปุ๋ยต่อน้ำหนักต่อผล ความหวาน ความกว้าง ความยาว และความหนาของเมล็ดกาแฟแปลงเกษตรกร อำเภอม่วงสามสิบ จังหวัดชัยภูมิ ปี 2567

อัตราปุ๋ยเคมี (กรัม N-P ₂ O ₅ -K ₂ O/ต้น/ปี)	น้ำหนักต่อผล (กรัม)	ความหวาน (องศาบริกซ์)	ความกว้างผล (มม.)	ความยาวผล (มม.)	ความหนาผล (มม.)
1. 220-92-45	1.88	17.54	14.08	15.43	12.58
2. 220-69-45 + PS	1.93	17.39	14.09	15.41	12.51
3. 220-46-45 + PS	1.92	17.07	13.99	15.40	12.48
4. 220-23-45 + PS	1.88	17.43	14.02	15.44	12.58
Mean	1.9	17.36	14.05	15.42	12.54
CV (%)	7.3	4.2	2.0	2.5	2.8

3. ผลตอบแทนทางเศรษฐศาสตร์

ผลตอบแทนทางเศรษฐกิจ อัตราส่วนรายได้ต่อการลงทุน (Benefit-Cost Ratio หรือ BCR) เป็นทฤษฎีที่ใช้ในการวิเคราะห์ความเป็นไปได้ของการลงทุน โดยเปรียบเทียบผลประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับกับต้นทุนที่เกิดขึ้น $BCR = \text{รายได้ต่อไร่} / \text{ต้นทุนผันแปรต่อไร่}$ $BCR < 1$ รายได้น้อยกว่ารายจ่าย กิจกรรมที่ดำเนินการนั้นขาดทุนไม่ควรทำการผลิต $BCR = 1$ รายได้เท่ากับรายจ่าย กิจกรรมที่ดำเนินการนั้นไม่มีกำไร ไม่ขาดทุน มีความเสี่ยงในการผลิต $BCR > 1$ รายได้มากกว่ารายจ่าย กิจกรรมที่ดำเนินการนั้นมีกำไร ความเสี่ยงน้อย ทำการผลิตได้

ผลตอบแทนทางเศรษฐศาสตร์ (ตารางที่ 6 และ 7) พบว่า การใส่ปุ๋ยอัตรา 220-69-45 กรัม $N-P_2O_5-K_2O$ /ตัน ร่วมกับการใส่ปุ๋ยชีวภาพละลายฟอสเฟต ให้อัตราส่วนรายได้ต่อการลงทุนมากที่สุด เท่ากับ 3.2 รองลงมาคือ รองลงมาคือ การใส่ปุ๋ยอัตรา 220-23-45 กรัม $N-P_2O_5-K_2O$ /ตัน ร่วมกับการใส่ปุ๋ยชีวภาพละลายฟอสเฟต ให้ผลตอบแทนคุ้มค่ากับการลงทุน 2.6 เมื่อวิเคราะห์ผลกำไรที่ได้การใส่ปุ๋ยอัตรา 220-69-45 กรัม $N-P_2O_5-K_2O$ /ตัน ร่วมกับการใส่ปุ๋ยชีวภาพละลายฟอสเฟตให้กำไรสูงสุดเท่ากับ 20,346.84 บาท

ตารางที่ 5 ข้อมูลต้นทุนผันแปรในการผลิตกาแฟอาราบิก้าอำเภอแม่วาง จังหวัดเชียงใหม่ ปี 2567

กรรมวิธีทดลอง อัตราปุ๋ยเคมี (กรัม $N-P_2O_5-K_2O$ /ตัน/ปี)	ค่าจ้างแรงงาน (บาท/ไร่)				ค่าวัสดุการเกษตร (บาท/ไร่)		รวม (บาท/ไร่)
	ตัดแต่ง กิ่งกาแฟ	พ่นสารเคมี กำจัดศัตรูพืช	ใส่ ปุ๋ยเคมี	เก็บเกี่ยว ผลผลิต	ปุ๋ยเคมี	ปุ๋ยชีวภาพ จุลินทรีย์ละลาย ฟอสเฟต	
1. 220-92-45	1,000	600	600	2,000	4,835.20	-	9,035.20
2. 220-69-45 + PS	1,000	600	600	2,000	4,373.16	720	9,293.16
3. 220-46-45 + PS	1,000	600	600	2,000	3,911.12	720	8,831.12
4. 220-23-45 + PS	1,000	600	600	2,000	3,449.08	720	8,369.08

ปุ๋ย 46-0-0 ราคา กก. ละ 11.37 บาท, ปุ๋ย 18-46-0 ราคา กก. ละ 27.65 บาท, ปุ๋ย 0-0-60 ราคา กก. ละ 26.80 บาท, จุลินทรีย์ละลายฟอสเฟต กก.ละ 90 บาท

ตารางที่ 6 ผลตอบแทนทางเศรษฐกิจ จากการเก็บเกี่ยวผลผลิตกาแฟอาราบิก้าอำเภอแม่วาง จังหวัดเชียงใหม่ ปี 2567

กรรมวิธีทดลอง อัตราปุ๋ยเคมี (กรัม $N-P_2O_5-K_2O$ /ตัน/ปี)	ผลตอบแทนทางเศรษฐกิจ				
	ผลผลิต (กก./ไร่)	ต้นทุน (บาท/ไร่)	รายได้ (บาท/ไร่)	ผลตอบแทน (บาท/ไร่)	BCR
1. 220-92-45	126	9,035.20	23,940	14,904.80	2.6
2. 220-69-45 + PS	156	9,293.16	29,640	20,346.84	3.2
3. 220-46-45 + PS	111	8,831.12	21,090	12,258.88	2.4
4. 220-23-45 + PS	113	8,369.08	21,470	13,100.92	2.6
เฉลี่ย	127	8,882.14	24,035	15,152.86	2.7

ราคาจำหน่ายสารกาแฟ กก. ละ 190 บาท

สรุปผลการทดลอง

จากการทดลองสามารถสรุปได้ว่าการใช้ปุ๋ยชีวภาพละลายฟอสเฟตร่วมกับการใส่ปุ๋ยเคมีอัตรา 220-69-45 กรัม $N-P_2O_5-K_2O$ ต่อต้น ซึ่งเป็นกรรมวิธีที่สามารถลดปริมาณปุ๋ยฟอสเฟตลง 25 เปอร์เซ็นต์ ให้ผลผลิตเมล็ดกาแฟสูงสุดเท่ากับ 778 กิโลกรัมต่อไร่ แสดงให้เห็นว่าการใช้ปุ๋ยชีวภาพละลายฟอสเฟตช่วยลดต้นทุนปุ๋ยฟอสเฟตให้เกษตรกรได้ นอกจากนี้จะเห็นได้ว่า ดินที่ใช้ปลูกกาแฟอาราบิก้าในพื้นที่ตำบลแม่วิน อำเภอแม่ว่าง จังหวัดเชียงใหม่มีความหลากหลายด้านความอุดมสมบูรณ์ของดิน เพราะฉะนั้นจำเป็นต้องมีการจัดการปุ๋ยแบบเฉพาะเจาะจงกับสภาพพื้นที่เพื่อให้เพิ่มผลผลิตและคุณภาพของกาแฟอาราบิก้าต่อไป

คำขอบคุณ

งานวิจัยนี้ได้รับทุนสนับสนุนจากสำนักงานคณะกรรมการส่งเสริมวิทยาศาสตร์ วิจัยและนวัตกรรม (สกสว.) ร่วมกับกรมวิชาการเกษตร และขอขอบคุณเจ้าหน้าที่ทุกท่านที่ได้ให้การช่วยเหลือในการทำงานวิจัยในครั้งนี้

การนำผลงานวิจัยไปใช้ประโยชน์

1. การใช้ปุ๋ยชีวภาพละลายฟอสเฟตช่วยลดต้นทุนปุ๋ยฟอสเฟตซึ่งเป็นแนวทางให้เกษตรกรสามารถนำไปใช้ในการเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตกาแฟอาราบิก้า
2. สามารถนำข้อมูลที่ได้จากงานวิจัยครั้งนี้ไปขยายผลหรือปรับใช้กับพื้นที่อื่นๆ ซึ่งจะเป็นประโยชน์กับนักวิชาการเกษตรของกรมวิชาการเกษตรและหน่วยงานอื่นๆ นำไปใช้ในการพัฒนางานวิจัยด้านดินและปุ๋ย และสามารถจัดทำคำแนะนำการใช้ปุ๋ยกับกาแฟอาราบิก้าสำหรับให้คำแนะนำการใช้ปุ๋ยแก่เกษตรกรได้อย่างถูกต้อง

เอกสารอ้างอิง

- กรมวิชาการเกษตร. 2567. ป่วยชี้วภาพละลายฟอสเฟต. กรมวิชาการเกษตร. แหล่งข้อมูล <https://www.doa.go.th/oard5/wp-content/uploads/2024/03/penicillum.pdf> สืบค้น: 6 เมษายน 2568
- กรมส่งเสริมการเกษตร. 2557. การเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตกาแฟ. กรมส่งเสริมการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์. กรุงเทพฯ.
- กลุ่มงานวิจัยเคมีดิน. 2544. คู่มือการวิเคราะห์ดินและพืช. กองปฐพีวิทยา กรมวิชาการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์ กรุงเทพฯ. 164 หน้า
- สถาบันวิจัยพืชสวน. 2562. คู่มือการจัดการการผลิตกาแฟอาราบิกา. สถาบันวิจัยพืชสวน กรมวิชาการเกษตร. กรุงเทพฯ.
- สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร. 2567. สารสนเทศเศรษฐกิจการเกษตรรายสินค้า ปี 2567. เอกสารเผยแพร่ สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร. แหล่งข้อมูล <https://www.oae.go.th/assets/portals/1/files/journal/2568/commodity2567.pdf> สืบค้น: 6 มีนาคม 2568
- Food and Agriculture Organization of the United Nations. 2005. Arabica coffee manual for Lao PDR. FAO Regional Office for Asia and the Pacific. Bangkok. Thailand. Available at: <https://www.fao.org/3/ae939e/ae939e06.htm#bm06>. Assessment: March 7, 2024
- Sousa, S. J., Neves, L. C. J., Martinez, H. E. P. and V.H.V. Alvarez. 2017. Relationship between Coffee Leaf Analysis and Soil Chemical Analysis. Rev Bra Cience Solo. 42, e0170109.

การศึกษาปริมาณรอยเท้าน้ำสำหรับกาแฟที่ให้ผลผลิตแล้ว

A Study of Water Footprint Amount of Yielded Arabica Coffee

ฤทัยรัตน์ ห้อยสัน¹ รัฐกร สืบคำ² อนุสรณ์ เทียนศิริฤกษ์¹ พชรินทร์ นามวงษ์¹ อรัญญ์ ชันติยวิชัย³
ฉัตรันภา ข่มอาวุธ⁴ และ สุภัทรา เลิศวัฒนาเกียรติ⁵

Ruethairat Hoysan¹ Ratgon Suebkam² Anusorn Tiensiroek¹ Patcharin Namwong¹

Aran Khuntiyawit³ Chatnapa Khomarwut⁴ and Supattra Lertwattanakit⁵

กลุ่มวิจัยปฐพีวิทยา

กองวิจัยพัฒนาปัจจัยการผลิตทางการเกษตร

ABSTRACT

The rationale of the research was to study the water footprint of Arabica coffee under rainfed conditions, providing baseline data for water management of productive coffee in Thailand. Results found the Catimor coffee cultivar aged 8–9 years at the Chiang Mai Royal Agricultural Research Center (Khun Wang), across two productive years (March 2022 – February 2023 and March 2023 – February 2024), experienced an average annual rainfall of $2,406.5 \pm 386.5$ mm per year. This resulted in an average fresh cherry yield of 5.6 ± 1.5 tons per rai of productive area. The green, blue, grey, and total water footprints were measured at $2,188.4 \pm 738.4$, 0.0 ± 0.0 , 1.8 ± 0.6 , and $2,190.1 \pm 769.4$ liters per kilogram, respectively. In comparison, the H420 coffee cultivar aged 6–7 years at the Chiang Mai Royal Agricultural Research Center (Mae Jon Luang) received an average annual rainfall of $1,144.5 \pm 27.2$ mm per year. This resulted in an average fresh cherry yield of 4.8 ± 0.1 tons per rai of productive area. The green, blue, grey, and total water footprints were recorded as $1,224.7 \pm 156.9$, 42.8 ± 21.4 , 0.3 ± 0.1 , and $2,057.6 \pm 259.4$ liters per kilogram, respectively.

Keyword: Water footprint; Arabica coffee

บทคัดย่อ

งานวิจัยครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาปริมาณรอยเท้าน้ำของกาแพะราบิกาที่ให้ผลผลิตแล้วในพื้นที่อาศัยน้ำฝนเพื่อเป็นข้อมูลพื้นฐานในการจัดการให้น้ำกาแพที่ให้ผลผลิตแล้วในประเทศไทย พบว่ากาแพะราบิกาพันธุ์คาติมอร์อายุ 8 - 9 ปี ณ ศูนย์วิจัยเกษตรหลวงเชียงใหม่ (ขุนวาง) ทั้ง 2 ปีที่ให้ผลผลิต (มีนาคม 2565 - กุมภาพันธ์ 2566 และ มีนาคม 2566 - กุมภาพันธ์ 2567) มีปริมาณน้ำฝนทั้งปีเฉลี่ย $2,406.5 \pm 386.5$ มิลลิเมตรต่อปี ทำให้มีค่าเฉลี่ยผลผลิตสดเชอร์รี่เท่ากับ 5.6 ± 1.5 ตันต่อไร่เนื้อที่ให้ผล ปริมาณรอยเท้าน้ำสีเขียว สีนํ้าเงิน สีเทา และปริมาณรอยเท้าน้ำรวมทั้งหมดเท่ากับ $2,188.4 \pm 738.4$, 0.0 ± 0.0 , 1.8 ± 0.6 และ $2,190.1 \pm 769.4$ ลิตรต่อกิโลกกรัมตามลำดับ เมื่อเปรียบเทียบกับกาแพะราบิกาสายพันธุ์ H420 อายุ 6 - 7 ปี ณ ศูนย์วิจัยเกษตรหลวงเชียงใหม่ (แม่จอนหลวง) มีปริมาณน้ำฝนทั้งปีเฉลี่ย $1,144.5 \pm 27.2$ มิลลิเมตรต่อปี ทำให้มีค่าเฉลี่ยผลผลิตสดเชอร์รี่เท่ากับ 4.8 ± 0.1 ตันต่อไร่เนื้อที่ให้ผล ปริมาณรอยเท้าน้ำสีเขียว สีนํ้าเงิน สีเทา และปริมาณรอยเท้าน้ำรวมทั้งหมดเท่ากับ $1,224.7 \pm 156.9$, 42.8 ± 21.4 , 0.3 ± 0.1 และ $2,057.6 \pm 259.4$ ลิตรต่อกิโลกกรัมตามลำดับ

คำสำคัญ: ปริมาณรอยเท้าน้ำ; กาแพะราบิกา

บทนำ

กาแพเป็นพืชเศรษฐกิจที่สำคัญชนิดหนึ่งของประเทศไทยในสำหรับปี 2566 ประเทศไทยมีผลผลิตกาแพ 16,575 ตัน แบ่งเป็นพันธุ์อะราบิกา และโรบัสตาร้อยละ 48.2 และ 51.8 ตามลำดับ โดยพบว่ามูลค่าการส่งออกกาแพของไทยขยายตัวอย่างต่อเนื่องตั้งแต่ปี 2564 โดยในปี 2566 ไทยมีมูลค่าการส่งออกกาแพ 125.89 ล้านเหรียญสหรัฐ ขยายตัวร้อยละ 15.59 เมื่อเทียบกับปี 2565 (108.92 ล้านเหรียญสหรัฐ) ดังนั้นเกษตรกรจึงเริ่มหันมาให้ความสนใจในการปลูกกาแพะราบิกามากขึ้น จากความต้องการของกาแพะราบิกาของผู้บริโภคในประเทศไทยที่มีแนวโน้มสูงขึ้น ดังนั้นการเพิ่มศักยภาพสำหรับอุตสาหกรรมกาแพทั้งทางด้านการผลิต และการแปรรูปเป็นสิ่งจำเป็นอย่างยิ่ง (สำนักงานนโยบายและยุทธศาสตร์การค้า, 2567) ส่งผลทำให้ทางด้านการผลิตอุตสาหกรรมกาแพมีแนวโน้มการใช้ทรัพยากรน้ำที่เพิ่มขึ้นในอนาคตตามลำดับ ปริมาณรอยเท้าน้ำ คือเครื่องมือทางสิ่งแวดล้อมในการคำนวณปริมาณการใช้น้ำทั้งทางตรง และทางอ้อมตั้งแต่กระบวนการผลิตจนถึงมือผู้บริโภค การคำนวณปริมาณรอยเท้าน้ำรวมทั้งหมดเป็นผลรวมของปริมาณรอยเท้าน้ำ 3 ส่วน คือ ปริมาณรอยเท้าน้ำสีเขียวเป็นการใช้ปริมาณน้ำฝนในกระบวนการผลิต, ปริมาณรอยเท้าน้ำสีนํ้าเงินเป็นการใช้น้ำชลประทาน น้ำใต้ดิน และน้ำบาดาลในกระบวนการผลิต และปริมาณรอยเท้าน้ำสีเทาเป็นการใช้น้ำที่มีคุณภาพดีในการใช้เจือจางปริมาณไนเตรทไม่ให้เกินมาตรฐานสำหรับใช้เป็นน้ำดื่มที่ผ่านการบำบัดน้ำเสียให้กลายเป็นน้ำดีก่อนการปล่อยสู่แหล่งน้ำตามธรรมชาติ (พิชญาภา, 2555) นอกจากนี้ความผันผวนของปริมาณ และคุณภาพของผลผลิตกาแพ อันเนื่องมาจากสภาพภูมิอากาศที่มีแนวโน้มอุณหภูมิที่สูงมากขึ้นส่งผลทำให้ปริมาณน้ำฝนที่ตกในช่วงฤดูฝนถ้ามีปริมาณน้อยสามารถส่งผลกระทบต่อพัฒนาของผลเชอร์รี่สดของกาแพ (Fruit Formation Stage) ขณะที่ในช่วงฤดูแล้งถ้ามีปริมาณน้ำฝนตกในพื้นที่ที่สามารถส่งผลกระทบต่อปริมาณตาดอกของกาแพะราบิกาก่ออย่างประปราย ให้ผลผลิตต่ำ ยากแก่การดูแลรักษาและเก็บเกี่ยว เพราะการเจริญเติบโตของตาดอกต้องอาศัยสภาวะความเครียดจากการขาดน้ำในช่วงฤดูแล้งประมาณ 2 ถึง 3 เดือนดังกล่าวในการพัฒนาของตาดอกให้สมบูรณ์ (Bud Formation Stage) (Visser and Mallon, 2021) จากปัญหาที่กล่าวมาจึงมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาปริมาณรอยเท้าน้ำของกาแพะราบิกาที่ให้ผลผลิตแล้วในพื้นที่อาศัยน้ำฝนเพื่อเป็นข้อมูลพื้นฐานในการจัดการให้น้ำกาแพที่ให้ผลผลิต

แล้วในประเทศไทย และเป็นแนวทางในการบริหารจัดการทรัพยากรน้ำอย่างยั่งยืน รวมทั้งลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมอย่างเหมาะสม

อุปกรณ์และวิธีการ

อุปกรณ์

1. กาแฟอะราบิกาพันธุ์คาติมอร์ อายุ 8-9 ปี
2. กาแฟอะราบิกาพันธุ์ H420 อายุ 6-7 ปี
3. อุปกรณ์เก็บตัวอย่างดิน
4. กรอบสังกะสีวัดสมมูลน้ำ ขนาดกว้างxยาวxลึก เท่ากับ 200 x 200 x 60 เซนติเมตร
5. ถังขนาด 200 ลิตร
6. เครื่องตรวจวัดอากาศอัตโนมัติแบบเคลื่อนย้ายได้
7. เครื่องมือวัดความชื้นดิน PR2 Profile Probe
8. ปุ๋ยเคมี ได้แก่ สูตร 46-0-0 15-15-15 13-13-21 และ 0-0-60

วางแผนการทดลอง

ไม่มีแผนการทดลอง เป็นแบบสุ่มทดลอง ไม่มีการใส่ตัวรับการทดลอง (Non-experimental method)

วิธีการ

3.1 ใช้สังกะสีขนาดกว้าง 60 เซนติเมตร ทำการฝังสังกะสีที่ระดับความลึกดิน 50 เซนติเมตร ล้อมรอบพื้นที่ทรงพุ่มของต้นกาแฟ มีความสูงจากพื้นดิน 10 เซนติเมตร และทำการติดตั้งถังดักน้ำขนาดความจุ 200 ลิตร ฝังลงในดินให้ความสูงของปากถังดักน้ำสูงจากพื้นดิน 10 เซนติเมตร ทำการเจาะรูทางด้านข้างของถัง เพื่อดักน้ำไหลบ่าของดิน รวมทั้งทำการฝังกระเปาะวัดความชื้นดินทั้ง 2 จุด ที่ระดับความลึกดิน 0-60 เซนติเมตร ภายในบริเวณทรงพุ่มของต้นกาแฟทุกต้น เพื่อวัดความชื้นที่เปลี่ยนแปลงโดยใช้เครื่องมือ Probmeter รุ่น PR 2 รวมทั้งจดปริมาณความสูงของน้ำในถังดักน้ำทุกๆ สัปดาห์ตามลำดับ

3.2 การเก็บปริมาณน้ำไหลบ่าของดินโดยใช้ไม้วัดความสูงของน้ำที่ดักได้ในถัง 200 ลิตร ที่มีขนาดพื้นที่หน้าตัดเท่ากับ 0.22 ตารางเมตร ให้ผลลัพธ์ที่ได้เป็นหน่วยลิตรต่อพื้นที่ครอบคลุมตามทรงพุ่มของต้นกาแฟต่อสัปดาห์ จากนั้นนำมาคำนวณทำให้สามารถทราบปริมาณน้ำไหลบ่าผิวดิน (Runoff; RF) เป็นหน่วยมิลลิเมตรต่อพื้นที่ เพื่อเป็นพารามิเตอร์ส่วนหนึ่งนำไปคำนวณในสมการการคายน้ำของพืชแท้จริง (Actual Crop Evapotranspiration; ET_c) ดัง Equation 1 และเป็นพารามิเตอร์ส่วนหนึ่งในการคำนวณสัมประสิทธิ์การระบายน้ำ (Drainage Water Coefficient; α) ดัง Equation 6.1 เพื่อใช้ในการคำนวณปริมาณรอยเท้าน้ำสีเทา (Grey Water Footprint; WF_{grey}) ดัง Equation 6

3.3 การเก็บข้อมูลสภาพภูมิอากาศ ได้แก่ อุณหภูมิสูงสุด อุณหภูมิต่ำสุด ความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ย ปริมาณน้ำฝน และความเร็วลมที่ระดับความสูงจากพื้นดิน 2 เมตร ข้อมูลความชื้นของดินที่เปลี่ยนแปลงโดยปริมาตร (Soil Moisture Change by Volume; θ_v) ในรายสัปดาห์ โดยใช้เครื่องมือวัดความชื้นดิน PR2 Profile Probe นำข้อมูลที่ได้มาคำนวณการเปลี่ยนแปลงความชื้นดิน (Soil Moisture Change ; ΔSW_{weekly}) ที่ระดับความลึกดิน 0-50 เซนติเมตร ให้มีหน่วยเป็นมิลลิเมตรต่อสัปดาห์ดัง Equation 1.4 and 1.5 เพื่อเป็นพารามิเตอร์ส่วนหนึ่งในการคำนวณการคายน้ำของพืชแท้จริง (Actual Crop Evapotranspiration; ET_c) และข้อมูลชั่วโมงแสงต่อวันที่ได้รวบรวมจากเว็บไซต์ www.accuweather.com เพื่อนำมาคำนวณปริมาณรังสีสุทธิที่ตกกระทบในพื้นที่ (Net Radiation; R_a หน่วยเมกะจูลต่อตารางเมตรต่อวัน) และการคายน้ำของพืชอ้างอิง (Reference Crop

Evapotranspiration; ETo หน่วยมิลลิเมตรต่อวัน) ดัง Equation 2 ทั้ง 2 ปีในการให้ผลผลิตโดยใช้โปรแกรม Cropwat version 8.0 ในการประมวลผล

3.4 การคำนวณผลผลิตกาแฟ (กิโลกรัมต่อไร่หรือเฮกตาร์) ทำการเก็บเกี่ยวผลผลิตเชอร์รี่สดของกาแฟ ตั้งแต่ปลายเดือนมกราคมถึงปลายเดือนกุมภาพันธ์ โดยทำการชั่งน้ำหนักของผลเชอร์รี่สดต่อต้น เนื่องจากระยะปลูกกาแฟทั้งแปลงศูนย์วิจัยเกษตรหลวงเชียงใหม่ (ทั้งขุนวางและแม่จอนหลวง) มีระยะปลูกที่ไม่ชัดเจน ดังนั้นการคำนวณผลผลิตน้ำหนักสดของผลเชอร์รี่ต่อไร่ ตามคำแนะนำของกรมวิชาการเกษตร (2562) ระยะระหว่างแถว และต้นที่เหมาะสมกับการปลูกกาแฟอาราบิก้าที่คือ 2x2 เมตร เป็นจำนวน 400 ต้นต่อพื้นที่ให้ผลผลิต 1 ไร่ ตามลำดับ เพื่อนำไปคำนวณปริมาณรอยเท้าน้ำสีเขียว ปริมาณรอยเท้าน้ำสีน้ำเงิน และปริมาณรอยเท้าน้ำสีเทาตั้ง Equation 4 to 6

3.5 การใส่ปุ๋ยของแปลงศูนย์วิจัยเกษตรหลวงเชียงใหม่ (ขุนวาง) ทั้ง 2 ปีที่ปลูกกาแฟพันธุ์คาติมอร์ ใส่ปุ๋ยเคมีครั้งที่ 1 สูตร 46-0-0 ร่วมกับ 15-15-15 อัตราส่วน 1:1 ปริมาณ 150 กรัมต่อต้นในเดือนพฤษภาคม ครั้งที่ 2 สูตร 13-13-21 อัตรา 200 กรัมต่อต้นในเดือนสิงหาคม และครั้งที่ 3 สูตร 0-0-60 อัตรา 200 กรัมต่อต้นในเดือนพฤศจิกายน คิดเป็นปริมาณธาตุอาหารไนโตรเจน (N) เท่ากับ 72 กรัมต่อต้น แล้วคำนวณเป็น 28.8 กิโลกรัมไนโตรเจน (N) ต่อ 400 ต้นต่อไร่ตามลำดับ ขณะที่แปลงศูนย์วิจัยเกษตรหลวงเชียงใหม่ (แม่จอนหลวง) มีการใส่ปุ๋ยเคมีเพียงครั้งเดียวสูตร 15-15-15 อัตรา 100 กรัมต่อต้นในเดือนกุมภาพันธ์ เป็นปริมาณธาตุอาหารไนโตรเจน (N) 15 กรัมต่อต้น แล้วคำนวณเป็น 6.0 กิโลกรัม (N) ต่อ 400 ต้นต่อไร่ตามลำดับจากข้อมูลดังกล่าวสามารถคำนวณปริมาณธาตุอาหารไนโตรเจน (N) คำนวณเป็นหน่วยกิโลกรัมต่อเฮกตาร์ (Nitrogen Application; apply) เพื่อเป็นพารามิเตอร์ในการคำนวณปริมาณรอยเท้าน้ำสีเทา (Grey Water Footprint; WF_{grey}) ดัง Equation 6

การบันทึกข้อมูล

4.1 เก็บตัวอย่างดินไปวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพบางประการได้แก่ เนื้อดิน ความหนาแน่นรวมของดิน ค่าการนำน้ำของดินและความเป็นประโยชน์ของน้ำในดินที่ระดับความลึกดิน 0-50 เซนติเมตร (จักรพงษ์, 2546) ดัง Table 1 and 2

4.2 เก็บข้อมูลค่าการคายน้ำแท้จริงของพืชรายสัปดาห์ (Weekly Actual Crop Evapotranspiration; ET_{c-weekly}) คำนวณการคายน้ำของกาแฟรายสัปดาห์จากสมการสมดุลน้ำดัง Equation 1 เพื่อนำผลรวมที่ได้มาคำนวณเป็นข้อมูลรายเดือนตามลำดับ (Allen *et al.*, 1998)

$$ET_{c-weekly} = I_{weekly} + P_{weekly} - DP_{weekly} - RF_{weekly} \pm \Delta SW_{weekly} \quad (1)$$

$$P_{eff-daily} = \begin{cases} P \times (125 - (0.2 \times 3 \times P) / 125 & \text{When } P \leq 250/3 \\ 125/3 + 0.1 \times P & \text{When } P > 250/3 \end{cases} \quad (1.1)$$

$$DP_{weekly} = P_{weekly} - P_{eff-weekly} - RF_{weekly} \quad (1.2)$$

$$\Delta SW_{weekly} = \frac{\theta_{mass} (after-before) \times BD_{soil} \times SD}{BD_{water}} \quad (1.3)$$

$$\Delta SW_{weekly} = \theta_{volume} (after-before) \times SD \quad (1.4)$$

$$ET_{c-weekly} = \text{ปริมาณการคายน้ำของกาแฟ (มิลลิเมตร/สัปดาห์)}$$

$$I_{weekly} = \text{ปริมาณน้ำที่ให้ชลประทาน (Weekly Irrigation; } I_{weekly} \text{ มิลลิเมตร/สัปดาห์)}$$

$$P_{weekly} = \text{ปริมาณน้ำฝน (Weekly Precipitation; } P_{weekly} \text{ มิลลิเมตร/สัปดาห์)}$$

$P_{eff-weekly}$ = ปริมาณน้ำฝนใช้การรายสัปดาห์ (Weekly Effective Precipitation; $P_{eff-weekly}$ มิลลิเมตร/สัปดาห์) คือผลรวมของปริมาณน้ำฝนใช้การรายวัน (Daily Effective Precipitation; $P_{eff-daily}$ มิลลิเมตร/วัน) หมายถึง ส่วนของฝนที่ตกลงพื้นที่เพาะปลูกซึ่งพืชสามารถนำไปใช้ในการเจริญเติบโตได้ โดยฝนทั้งหมดที่ตกลงบน

พื้นดินบางส่วนไม่ได้เก็บอยู่ในพื้นที่เพาะปลูก เนื่องจากมีการไหลล้นออกไปทางผิวดินและทางใต้ดิน (Runoff) รวมทั้งการซึมลงไปในดินระดับที่ลึกลงไป (Deep percolation) นอกจากนี้บางส่วนติดค้างอยู่ตามใบ กิ่ง และลำต้นพืชแล้วระเหยไป (Evaporation) ส่วนของฝนที่ตกลงมาที่เป็นประโยชน์ต่อพืชและพืชสามารถนำไปใช้ในการเจริญเติบโตได้คือฝนใช้การโดยคำนวณปริมาณฝนทำการรายวันจากสมการ USDA Soil Conservation Service (กรมอุตุนิยมิวิทยา, 2562; Xu *et al.*, 2015) โดยใช้โปรแกรม Cropwat version 8.0 ในการประมวลผลดัง Equation 1.1 and 1.2

DP_{weekly} = ปริมาณการทรานสปิเรชันลึกของน้ำ (Deep Percolation; DP_{weekly} มิลลิเมตร/สัปดาห์) ดัง Equation 1.3 (กรมอุตุนิยมิวิทยา, 2562)

RF_{weekly} = ปริมาณการไหลบ่าของน้ำผิวดิน (Runoff; RF_{weekly} มิลลิเมตร/สัปดาห์)

คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา (2544) กล่าวว่า $\pm \Delta SW_{\text{weekly}}$ = ปริมาณน้ำในดินที่เปลี่ยนแปลง (Soil Water Change; $\Delta SW_{\text{weekly}}$ มิลลิเมตร/สัปดาห์)

θ_{mass} = ความชื้นดินที่เปลี่ยนแปลงโดยน้ำหนัก (Soil Moisture Change by Weight; θ_{mass} กรัม/กรัม)

θ_{volume} = ความชื้นดินที่เปลี่ยนแปลงโดยปริมาตร (Soil Moisture Change by Volume; θ_{volume} ลูกบาศก์เซนติเมตร/ลูกบาศก์เซนติเมตร) โดยใช้เครื่องมือวัดความชื้นดิน PR2 Profile Probe เพื่อเก็บข้อมูลความชื้นของดินที่เปลี่ยนแปลงโดยปริมาตรทุกสัปดาห์

BD_{soil} = ความหนาแน่นรวมของดิน (Soil Bulk Density; BD_{soil} กรัม/ลูกบาศก์เซนติเมตร), BD_{water} = ความหนาแน่นรวมของน้ำ (Water Bulk Density; BD_{water} เท่ากับ 1.004 กรัม/ลูกบาศก์เซนติเมตร)

SD = ความลึกดินที่พิจารณา 0-50 เซนติเมตร (Soil Depth; SD เท่ากับ 500 มิลลิเมตร)

4.3 เก็บข้อมูลการคายน้ำของพืชอ้างอิงรายวัน (Reference Crop Evapotranspiration; $ET_{\text{o-daily}}$ มิลลิเมตร/วัน) คำนวณการคายน้ำของพืชอ้างอิงรายวันโดยใช้สมการ Penman-Monteith เพื่อรวมเป็นข้อมูลรายเดือนดัง Equation 2 (Allen *et al.*, 1998)

$$ET_{\text{o-daily}} = \frac{0.408 \Delta (R_n - G) + \gamma 900 / (T + 273) U_2 (e_s - e_a)}{\Delta + \gamma (1 + 0.34 U_2)} \quad (2)$$

$ET_{\text{o-daily}}$ = การคายน้ำของพืชอ้างอิง (Reference Crop Evapotranspiration; ET_{o} มิลลิเมตร/วัน)

R_n = ปริมาณรังสีของดวงอาทิตย์ทั้งหมดที่พืชได้รับ (Net Radiation; R_n เมกกะจูล/ตารางเมตร/วัน)

G = ค่าความไหลของความร้อนพื้นดิน (Soil Heat Flux; G เมกกะจูล/ตารางเมตร/วัน), T = อุณหภูมิของอากาศ (Air Temperature; T องศาเซลเซียส)

Δ = ค่าความลาดเทของเส้นแรงดันไอ (Slope of Saturation Vapour Pressure Curve; Δ กิโลปาสกาล/องศาเซลเซียส)

γ = ค่าคงที่ของ psychrometric (Psychrometric Constant; γ กิโลปาสกาล/องศาเซลเซียส)

U_2 = ค่าความเร็วของลมที่ระดับความสูงจากพื้นดิน 2 เมตร (Wind Speed above on Ground 2 Meters เมตร/วินาที)

$(e_s - e_a)$ = ค่าความต่างของแรงดันไอน้ำ (Saturation Vapor Pressure Deficit; $e_s - e_a$ กิโลปาสกาล)

4.4 คำนวณสัมประสิทธิ์การใช้น้ำของพืชรายเดือน (K_c monthly) สัมประสิทธิ์การใช้น้ำของพืชคือสัดส่วนของการคายน้ำของพืชในสภาวะจริงต่อการคายน้ำของพืชอ้างอิงที่คำนวณจากสภาพภูมิอากาศในพื้นที่ปลูกพืชดัง Equation 3 (Allen *et al.*, 1998)

$$K_c \text{ monthly} = \frac{ET_{\text{c-monthly}}}{ET_{\text{o-monthly}}} \quad (3)$$

$KC_{monthly}$ = สัมประสิทธิ์การใช้น้ำของพืช (Monthly Crop Water Coefficient; $KC_{monthly}$ มิลลิเมตร/มิลลิเมตร)

$ET_{c-monthly}$ = ปริมาณการคายน้ำของกาแฟ (Monthly Actual Crop Evapotranspiration; $ET_{c-monthly}$ มิลลิเมตร/เดือน)

$ET_{O-monthly}$ = การคายน้ำของพืชอ้างอิง (Monthly Reference Crop Evapotranspiration; $ET_{O-monthly}$ มิลลิเมตร/เดือน)

4.5 ปริมาณรอยเท้าน้ำของพืช

4.5.1 ปริมาณรอยเท้าน้ำสีเขียว (Green Water Footprint) หมายถึง ปริมาณการคายน้ำของพืชหรือปริมาณน้ำฝนที่ถูกใช้ไปเพื่อการเจริญเติบโตของพืชในการให้ผลผลิตดัง Equation 4

$$WF_{green} = \frac{10 \times \text{minimum} (ET_{c-seasonal} \text{ or } P_{eff-seasonal})}{Y} \quad (4)$$

$$\text{When } ET_c \geq P_{eff} \text{ using } WF_{green} = P_{eff-seasonal} \quad (4.1)$$

$$\text{When } ET_c < P_{eff} \text{ using } WF_{green} = ET_{c-seasonal} \quad (4.2)$$

WF_{green} = ปริมาณรอยเท้าน้ำสีเขียว (Green Water Footprint; WF_{green} ลูกบาศก์เมตร/ตัน)

$P_{eff-seasonal}$ = ปริมาณน้ำฝนทำการในตลอดฤดูกาลให้ผลผลิตพืช (Seasonal Effective Precipitation; $P_{eff-seasonal}$ มิลลิเมตร/ฤดูกาลให้ผลผลิต)

$ET_{c-seasonal}$ = การคายน้ำของพืชตลอดฤดูกาลให้ผลผลิตพืช (Seasonal Actual Crop Evapotranspiration; $ET_{c-seasonal}$ มิลลิเมตรต่อฤดูกาลให้ผลผลิต)

Y = ผลผลิตของพืช (Cherry Fresh Weight; Y ตัน/เฮกตาร์) และ 10 = ค่าการกลับหน่วยจาก (มิลลิเมตร) เป็น (ลูกบาศก์เมตร/เฮกตาร์) (Babel *et al.*, 2011)

4.5.2 ปริมาณรอยเท้าน้ำสีน้ำเงิน (Blue Water Footprint) คือ ปริมาณน้ำชลประทานที่ให้กับพืชดัง Equation 5

$$WF_{blue} = \frac{10 \times \text{maximum} (0 \text{ or } I_{seasonal})}{Y} \quad (5)$$

$$\text{When } I_{seasonal} \geq 0 \text{ using } WF_{blue} = I_{seasonal} \quad (5.1)$$

WF_{blue} = ปริมาณรอยเท้าน้ำสีน้ำเงิน (Blue Water Footprint; WF_{blue} ลูกบาศก์เมตร/ตัน)

$I_{seasonal}$ = ปริมาณน้ำชลประทานที่ให้กับพืช (Seasonal Irrigation; $I_{seasonal}$ มิลลิเมตร/ฤดูกาลให้ผลผลิต)

Y = ผลผลิตของพืช (Cherry Fresh Weight; Y ตัน/เฮกตาร์)

10 = ค่าการกลับหน่วยจาก (มิลลิเมตร) เป็น (ลูกบาศก์เมตร/เฮกตาร์) (Babel *et al.*, 2011)

4.5.3 ปริมาณรอยเท้าน้ำสีเทา (Grey water footprint, ลูกบาศก์เมตร/ตัน) หมายถึง ปริมาณน้ำเสียที่เกิดจากการปลูกพืชโดยพิจารณาปริมาณไนเตรท (NO_3^-) ที่สูญเสียไปกับปริมาณการให้น้ำชลประทานโดยมีการใส่ปุ๋ยไนโตรเจนให้กับพืชให้กลายเป็นน้ำดีตามค่ามาตรฐานของแต่ละประเทศเพราะไนเตรทเป็นสาเหตุของโรคมะเร็งสำหรับผู้บริโภคหากดื่มน้ำที่ปนเปื้อนที่มีปริมาณน้อยเป็นระยะเวลายาวนานสามารถเสี่ยงต่อการเป็นมะเร็งทางเดินอาหาร มะเร็งต่อมน้ำเหลือง มะเร็งกระเพาะและมะเร็งรังไข่ได้ (Picetti and Deeney, 2022) ดัง Equation 6

$$WF_{grey} = \frac{(\alpha \times apply)/(C_{max}-C_{nat})}{Y} \quad (6)$$

$$\alpha = \frac{DP_{\text{seasonal}} + RF_{\text{seasonal}}}{P_{\text{seasonal}} + I_{\text{seasonal}}} \quad (6.1)$$

WF_{grey} = ปริมาณรอยเท้าน้ำสีเทา (Grey Water Footprint; WF_{grey} ลูกบาศก์เมตร/ตัน หรือ ลิตร/กิโลกรัม)

α = สัมประสิทธิ์การระบายน้ำ (Water Drainage Coefficient; α มิลลิเมตร/มิลลิเมตร/เดือน) คือ สัดส่วนของการระบายน้ำของดินในรูปไหลบ่าผิวดินและซบซึมลึกต่อผลบวกของปริมาณน้ำฝนและปริมาณน้ำชลประทานที่ให้กับพืช

apply = อัตราการใส่ปุ๋ยเคมีไนโตรเจน (Nitrogen Fertilizer Application; apply กิโลกรัม/เฮกตาร์)

C_{max} = มาตรฐานของน้ำดื่มที่ให้มีไนโตรเจนในรูปไนเตรทปนเปื้อนได้ไม่เกิน 10 (Maximum Nitrate Contamination in European Drinking Water Standardize; C_{max} มิลลิกรัม/ลิตร)

C_{nat} = การปนเปื้อนของไนโตรเจนในรูปต่างๆในแหล่งน้ำตามธรรมชาติสามารถมีเกณฑ์มาตรฐานได้หลายเกณฑ์แต่ในที่นี้อิงมาตรฐานจาก (Global Nutrient Export from Watersheds) มีค่าเท่ากับ 0.2 (Average Natural Rivers Nitrate Accepted Contamination in European Standardize Condition; C_{nat} มิลลิกรัม/ลิตร)

DP_{seasonal} = การระบายของน้ำในดินในรูปซบซึมลึก (Seasonal Deep Percolation; DP_{seasonal} มิลลิเมตร/ฤดูกาลให้ผลผลิต)

RF_{seasonal} = ไหลบ่าผิวดิน (Seasonal Runoff; RF_{seasonal} มิลลิเมตร/ฤดูกาลให้ผลผลิต)

P_{seasonal} = ปริมาณน้ำฝนตลอดฤดูกาลให้ผลผลิตพืช (Seasonal Precipitation; P_{seasonal} มิลลิเมตร/ฤดูกาลให้ผลผลิต)

I_{seasonal} = ปริมาณน้ำชลประทานที่ให้กับพืช (Seasonal Irrigation; I_{seasonal} มิลลิเมตร/ฤดูกาลให้ผลผลิต) และ Y = ผลผลิตของพืช (Cherry Fresh Weight; Y ตัน/เฮกตาร์) (Chapagain *et al.*, 2009; Liu *et al.*, 2012; Sun *et al.*, 2010)

4.5.4) ปริมาณรอยเท้าน้ำรวมทั้งหมดคือผลรวมของปริมาณรอยเท้าน้ำสีน้ำเงิน ปริมาณรอยเท้าน้ำสีเขียวและปริมาณรอยเท้าน้ำสีเทาดัง Equation 7

$$WF_{\text{TOTAL}} = WF_{\text{green}} + WF_{\text{blue}} + WF_{\text{grey}} \quad (7)$$

WF_{Total} = ปริมาณรอยเท้าน้ำรวม (Total Water Footprint; WF_{Total} ลูกบาศก์เมตร/ตัน)

WF_{green} = ปริมาณรอยเท้าน้ำสีเขียว (Green Water Footprint; WF_{green} ลูกบาศก์เมตร/ตัน)

WF_{blue} = ปริมาณรอยเท้าน้ำสีน้ำเงิน (Blue Water Footprint; WF_{blue} ลูกบาศก์เมตร/ตัน)

WF_{grey} = ปริมาณรอยเท้าน้ำสีเทา (Grey Water Footprint; WF_{grey} ลูกบาศก์เมตรต่อตัน) (Babel *et al.*, 2011)

ระยะเวลา เริ่มต้น ตุลาคม 2564 สิ้นสุด มีนาคม 2568

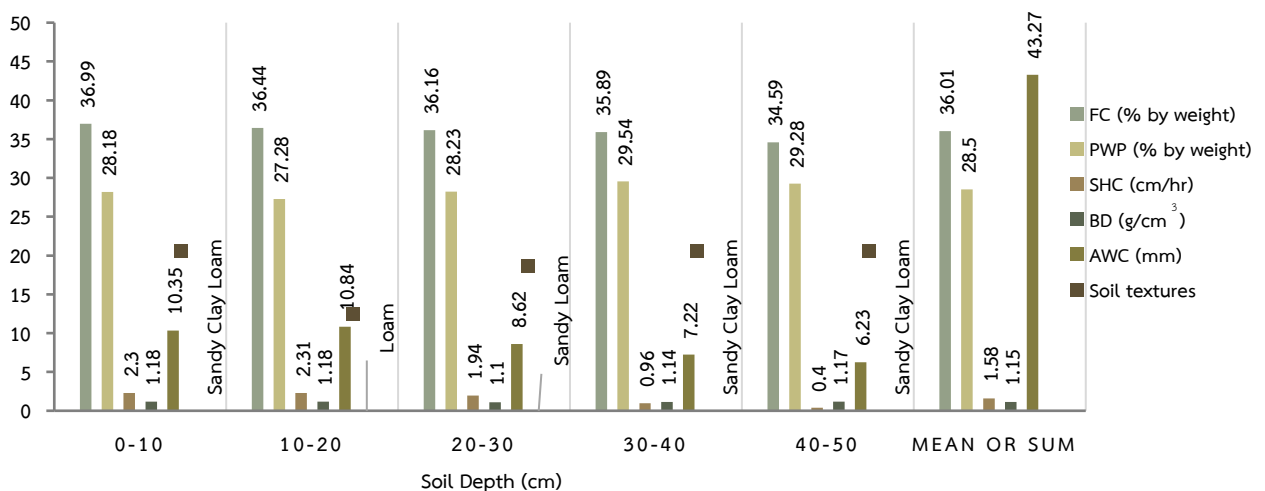
สถานที่ทำการทดลอง

1. กลุ่มวิจัยปฐพีวิทยา กองวิจัยพัฒนาปัจจัยการผลิตทางการเกษตร กรมวิชาการเกษตร
2. แปลงปลูกกาแฟอะราบิกา ศูนย์วิจัยเกษตรหลวงเชียงใหม่ (ขุนวาง) ตำบลแม่วีน อำเภอแม่ว่าง จังหวัดเชียงใหม่ (พิกัดแปลง 47Q 447556 2059825)
3. แปลงปลูกกาแฟอะราบิกา ศูนย์วิจัยเกษตรหลวงเชียงใหม่ (แม่จอนหลวง) ตำบลแม่่นาจร อำเภอแม่แจ่ม จังหวัดเชียงใหม่ (พิกัดแปลง 47Q 444396 2061893)

ผลการทดลองและวิจารณ์

1. สภาพดิน

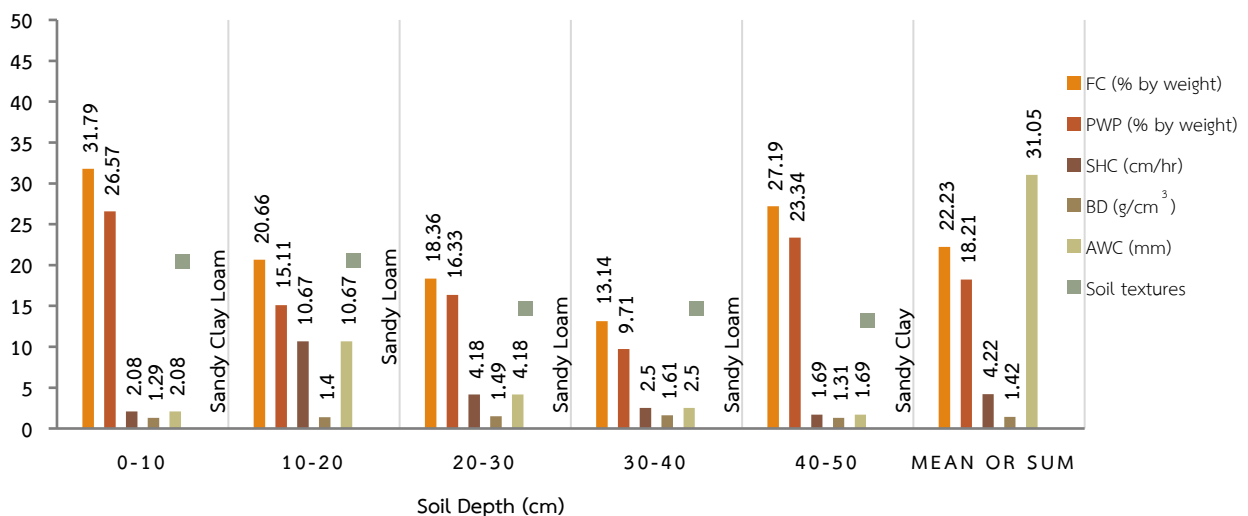
สมบัติทางกายภาพของดินบางประการก่อนทำการทดลองในแปลงศูนย์วิจัยเกษตรหลวงเชียงใหม่ (ขุนวาง) พบว่า ที่ระดับความลึกดิน 0-50 เซนติเมตร เป็นดินร่วนเหนียวปนทราย ส่วนที่ 10-20 และ 20-30 เซนติเมตร เป็นดินร่วนและดินร่วนทราย มีค่าการนำน้ำของดินเฉลี่ย 1.58 เซนติเมตรต่อชั่วโมง ความหนาแน่นรวมของดินเฉลี่ย 1.15 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร และความเป็นประโยชน์ของน้ำในดินทั้งหมด 43.47 มิลลิเมตร **Figure 1**



FC = Field Capacity, PWP = Permanent Wilting Point, SHC = Soil Hydraulic Conductivity, BD = Bulk Density, AWC = Available Water Content

Figure 1 Soil physical properties of Khun Wang agricultural experiment center

สำหรับแปลงศูนย์วิจัยเกษตรหลวงเชียงใหม่ (แม่จอนหลวง) พบว่า ที่ระดับความลึกดิน 0-50 เซนติเมตร เป็นดินร่วนทราย ซึ่งที่ 0-10 และ 40-50 เซนติเมตร เป็นดินร่วนเหนียวปนทราย และดินเหนียวปนทรายตามลำดับ มีค่าการนำน้ำของดินเฉลี่ย 4.22 เซนติเมตรต่อชั่วโมง ความหนาแน่นรวมของดินเฉลี่ย 1.42 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร และความเป็นประโยชน์ของน้ำในดินทั้งหมด 31.05 มิลลิเมตร **Figure 2**



FC = Field Capacity, PWP = Permanent Wilting Point, SHC = Soil Hydraulic Conductivity, BD = Bulk Density, AWC = Available Water Content

Figure 2 Soil physical properties of Mae Jon Luang agricultural experiment center

2.ข้อมูลสภาพภูมิอากาศ

ข้อมูลสภาพภูมิอากาศของกาแพะราบิกาที่ระยะให้ผลผลิตในแปลงศูนย์วิจัยเกษตรหลวงเชียงใหม่ (ขุนวาง) ปีที่ 1 (มีนาคม 2565 – กุมภาพันธ์ 2566) และ ปีที่ 2 (มีนาคม 2566 – กุมภาพันธ์ 2567) พบว่า อุณหภูมิสูงสุดเฉลี่ย 26.3 และ 21.7 องศาเซลเซียส อุณหภูมิต่ำสุดเฉลี่ย 16.2 และ 17.3 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ย 85.0 และ 86.1 เปอร์เซ็นต์ ความเร็วลมที่ระดับความสูงจากพื้นดิน 2 เมตร เฉลี่ย 0.83 ± 0.26 และ 1.78 ± 0.20 เมตรต่อวินาที ชั่วโมงแสงต่อวันเฉลี่ย 5.8 และ 6.6 ชั่วโมงต่อวัน ปริมาณรังสีสุทธิที่ตกกระทบพื้นดิน (Rn) เฉลี่ย 16.7 และ 17.8 เมกกะจูลต่อตารางเมตรต่อวัน ปริมาณน้ำฝนตกในพื้นที่เท่ากับ 2,792.9 และ 2,020.0 มิลลิเมตรต่อปี คิดเป็นน้ำฝนใช้การ (Peff) 1,117.7 และ 907.0 มิลลิเมตรต่อปี ทำให้มีปริมาณการคายน้ำของพืชอ้างอิง (ETo) รวมทั้งหมดเท่ากับ 1,134.8 และ 1,144.4 มิลลิเมตรต่อปี **Figure 3**

สำหรับข้อมูลสภาพภูมิอากาศของกาแพะราบิกาที่ระยะให้ผลผลิตในแปลงศูนย์วิจัยเกษตรหลวงเชียงใหม่ (แม่จอนหลวง) ปีที่ 1 ปีที่ 1 (มีนาคม 2565 – กุมภาพันธ์ 2566) และ ปีที่ 2 (มีนาคม 2566 – กุมภาพันธ์ 2567) พบว่า มีอุณหภูมิสูงสุดเฉลี่ย 26.2 และ 25.2 องศาเซลเซียส อุณหภูมิต่ำสุดเฉลี่ย 15.3 และ 15.8 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ย 86.3 และ 85.8 เปอร์เซ็นต์ ความเร็วลมที่ระดับความสูงจากพื้นดิน 2 เมตรเฉลี่ย 0.50 และ 0.92 เมตรต่อวินาที ชั่วโมงแสงต่อวันเฉลี่ย 5.8 และ 6.8 ชั่วโมงต่อวัน ปริมาณรังสีสุทธิที่ตกกระทบพื้นดิน (Rn) 16.6 และ 18.0 เมกกะจูลต่อตารางเมตรต่อวัน ปริมาณน้ำฝนตกในพื้นที่เท่ากับ 2,839.3 และ 2,415.6 มิลลิเมตรต่อปี คิดเป็นน้ำฝนใช้การ (Peff) 1,197.5 และ 942.5 มิลลิเมตรต่อปี ทำให้มีปริมาณการคายน้ำของพืชอ้างอิง (ETo) รวมทั้งหมดเท่ากับ 1,117.3 และ 1,171.7 มิลลิเมตรต่อปี **Figure 4**

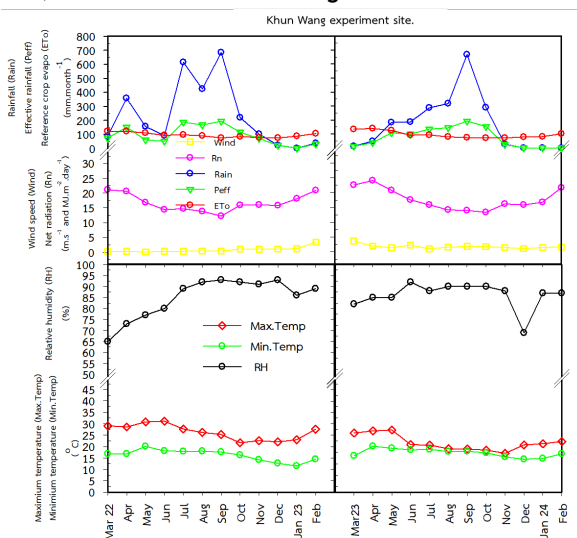


Figure 3 Weather data collected of Khun Wang agricultural experiment center

ที่มา: อนุสรณ์ (2567)

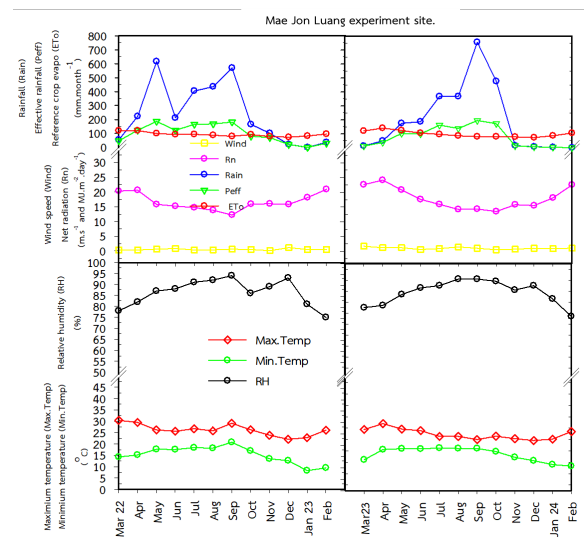


Figure 4 Weather data collected of Mae Jon Luang agricultural experiment center

3. ผลผลิตสดเชอร์รี่ และปริมาณรอยเท้าน้ำของกาแพะราบิกา

ผลผลิตสดเชอร์รี่ของกาแพะราบिकासายพันธุ์คาติมอร์อายุ 8 ถึง 9 ปี ในแปลงศูนย์วิจัยเกษตรหลวงเชียงใหม่ (ขุนวาง) ปีที่ 1 (มีนาคม 2565- กุมภาพันธ์ 2566) ให้ผลผลิตสดเชอร์รี่ มีค่าเฉลี่ย 1.24 ± 0.28 ตันต่อไร่ เนื้อที่ให้ผล (เนื้อที่ให้ผลคำนวณจากระยะระหว่างแถวและต้น 2×2 เมตร จำนวน 400 ต้นที่ให้ผลผลิตทุกต้นต่อไร่) ขณะที่ปีที่ 2 มีค่าเฉลี่ย 4.31 ± 0.86 ตันต่อไร่ตามลำดับ สำหรับกาแพะราบिकासายพันธุ์ H420 อายุ 6 ถึง 7 ปี ในแปลงศูนย์วิจัยเกษตรหลวงเชียงใหม่ (แม่จอนหลวง) ปีที่ 1 ให้ผลผลิตสดเชอร์รี่ มีค่าเฉลี่ย 2.29 ± 0.78 ตันต่อไร่ ขณะที่ปีที่ 2 มีค่าเฉลี่ย 2.53 ± 0.51 ตันต่อไร่ตามลำดับดัง **Tabel 1**

จากข้อมูลดังกล่าวผลผลิตสดเชอร์รี่ของกาแพะราบิกาสายพันธุ์ 2 สายพันธุ์ ให้ผลผลิตแต่ละฤดูกาลค่อนข้างมากกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับ *Usva et al.* (2020) ได้ทำการสำรวจผลผลิตสดเชอร์รี่ของแปลงเกษตรกรรมที่ปลูกกาแพะราบิกาในประเทศบราซิล ฮอว์นดรัส และนิคารากัวมีผลผลิตเฉลี่ย 1.78, 0.89 และ 0.76 ตันต่อไร่ นอกจากนี้ *Silva et al.* (2022) รายงานว่าผลผลิตสดเชอร์รี่ของกาแพะราบิกาในสภาพอากาศประเทศบราซิลให้ผลผลิตเฉลี่ย 0.82 ตันต่อไร่ นอกจากนี้ในปีที่ 2 ให้ผลผลิตมากกว่าปีที่ 1 เนื่องจากระยะเก็บเกี่ยวผลผลิตจนถึงสร้างตาดอก (ธันวาคม-กุมภาพันธ์) มีปริมาณน้ำฝนที่ตกในปีที่ 2 เฉลี่ย 1.7 ± 1.1 มิลลิเมตรต่อเดือน น้อยกว่าปีที่ 1 เฉลี่ย 19.5 ± 6.7 มิลลิเมตรต่อเดือน เพราะ Visser and Mallon (2021) กล่าวว่าในช่วงแล้ง (เดือนธันวาคมถึงกุมภาพันธ์) ถ้ามีปริมาณน้ำฝนตกในพื้นที่สามารถส่งผลกระทบต่อปริมาณตาดอกออกอย่างประปราย ให้ผลผลิตต่ำ ยากแก่การดูแลรักษาและเก็บเกี่ยว เพราะการเจริญเติบโตของตาดอกต้องอาศัยสภาวะความเครียดจากการขาดน้ำในช่วงฤดูแล้งประมาณ 2 ถึง 3 เดือนดังกล่าวในการพัฒนาของตาดอกให้สมบูรณ์ (Bud Formation Stage)

สำหรับปริมาณรอยเท้าน้ำสีเขียว ปริมาณรอยเท้าน้ำสีเทาและปริมาณรอยเท้าน้ำรวมทั้งหมดแปลงเกษตรหลวงเชียงใหม่ (ขุนวาง) ในปีที่ 1 (มีนาคม 2565- กุมภาพันธ์ 2566) มีปริมาณรอยเท้าน้ำสีเขียวมีเฉลี่ย $1,832.6 \pm 636.2$ ลิตรต่อไร่ต่อปี ปริมาณรอยเท้าน้ำสีเทาเฉลี่ย 1.5 ± 0.5 ลิตรต่อไร่ต่อปี รวมเป็นปริมาณรอยเท้าน้ำรวมทั้งหมดเฉลี่ย $1,834.1 \pm 636.8$ ลิตรต่อไร่ต่อปี

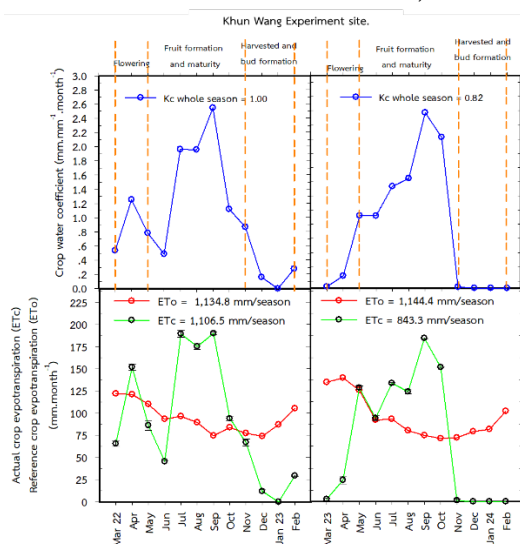


Figure 5 Actual crop evapotranspiration (ETc) and crop water coefficient (Kc) of Catimor cultivar.

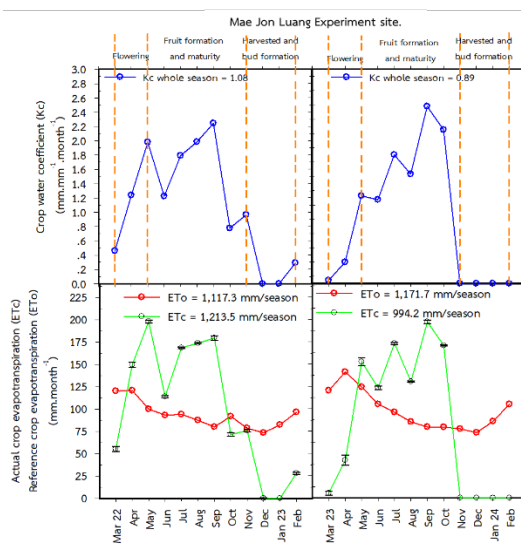


Figure 6 Actual crop evapotranspiration (ETc) and crop water coefficient (Kc) of H420 cultivar.

ขณะที่ในปีที่ 2 (มีนาคม 2566- กุมภาพันธ์ 2567) มีปริมาณรอยเท้าน้ำสีเขียว ปริมาณรอยเท้าน้ำสีเทา และปริมาณรอยเท้าน้ำรวมทั้งหมดลดลง เนื่องจากมีผลผลิตเชอร์รี่สดต่อไร่ที่เพิ่มขึ้นจากปีที่ 1 จากค่าเฉลี่ย 1.24 ± 0.28 ตันต่อไร่เนื้อที่ให้ผลเป็น 4.31 ± 0.86 ตันต่อไร่เนื้อที่ให้ผล ทำให้มีปริมาณการใช้น้ำ (ลิตรต่อหน่วยผลผลิตเชอร์รี่สด) ของกาแฟอะราบิกาสดลง ที่มีปริมาณรอยเท้าน้ำสีเขียวเฉลี่ย 355.8 ± 71.7 ลิตรต่อกิโลกรัม ปริมาณรอยเท้าน้ำสีเทาเฉลี่ย 0.3 ± 0.1 ลิตรต่อกิโลกรัม รวมเป็นปริมาณรอยเท้าน้ำรวมทั้งหมดเฉลี่ย 356.0 ± 71.7 ลิตรต่อกิโลกรัม ตามลำดับดัง **Tabel 1** คล้ายคลึงกับแปลงศูนย์วิจัยเกษตรหลวงเชียงใหม่ (แม่จอนหลวง) ในปีที่ 1 มีปริมาณรอยเท้าน้ำสีเขียวเฉลี่ย $1,245.3 \pm 294.1$ ลิตรต่อกิโลกรัม ปริมาณรอยเท้าน้ำสีน้ำเงินเฉลี่ย 42.8 ± 10.0 ลิตรต่อกิโลกรัม ปริมาณรอยเท้าน้ำสีเทาเฉลี่ย 0.2 ± 0.0 ลิตรต่อกิโลกรัม รวมเป็นปริมาณรอยเท้าน้ำรวมทั้งหมดเฉลี่ย $1,288.2 \pm 303.1$ ลิตรต่อกิโลกรัมตามลำดับ เนื่องจากมีการให้น้ำชลประทานเสริมในปีที่ 1 เพียงระยะเวลา 2 เดือน ในช่วงมีนาคม 2565 ที่มีการให้น้ำเฉลี่ย 20.7 ± 2.7 มิลลิเมตรต่อเดือน และเดือนเมษายน 2565 มีการให้น้ำเฉลี่ย 21.3 ± 2.1 มิลลิเมตรต่อเดือน เนื่องจากความชื้นดินในช่วงระยะเวลาดังกล่าวมีความชื้นดินอยู่ในระดับต่ำประกอบกับเพื่อรักษาความสมบูรณ์ของต้นกาแฟอะราบिकासายพันธุ์ H420 ในการเริ่มต้นการทดลองและเก็บข้อมูลดังกล่าว ทำให้มีการแสดงผลของปริมาณรอยเท้าน้ำสีน้ำเงินในช่วงปีที่ 1 ดังกล่าว ขณะที่ในปีที่ 2 (มีนาคม 2566 - กุมภาพันธ์ 2567) มีปริมาณรอยเท้าน้ำสีเขียว ปริมาณรอยเท้าน้ำสีเทา และปริมาณรอยเท้าน้ำรวมทั้งหมดลดลง เนื่องจากมีผลผลิตเชอร์รี่สดต่อไร่ที่เพิ่มขึ้นจากปีที่ 1 มีค่าเฉลี่ย 2.29 ± 0.78 ตันต่อไร่เนื้อที่ให้ผลเป็น 2.53 ± 0.51 ตันต่อไร่เนื้อที่ให้ผล ทำให้มีปริมาณการใช้น้ำลิตรต่อหน่วยผลผลิตเชอร์รี่สดของกาแฟอะราบิกาสดลง ที่มีปริมาณรอยเท้าน้ำสีเขียวเฉลี่ย 769.2 ± 175.0 ลิตรต่อกิโลกรัม ปริมาณรอยเท้าน้ำสีเทาเฉลี่ย 0.1 ± 0.0 ลิตรต่อกิโลกรัม รวมเป็นปริมาณรอยเท้าน้ำรวมทั้งหมดเฉลี่ย 769.4 ± 175.0 ตามลำดับดัง **Tabel 1**

จากผลดังกล่าวทั้งหมดพบว่าปริมาณรอยเท้าน้ำรวมทั้งหมด ทั้ง 2 ปีที่กาแฟให้ผลผลิต ทั้งในแปลงศูนย์วิจัยเกษตรหลวงเชียงใหม่ (ขุนวางและแม่จอนหลวง) มีปริมาณรอยเท้าน้ำรวมทั้งหมดเฉลี่ยน้อยกว่า Silva *et al.* (2022) รายงานว่าปริมาณรอยเท้าน้ำรวมทั้งหมดของกาแฟอะราบิกาในสภาพอากาศของประเทศบราซิลมีปริมาณรอยเท้าน้ำรวมทั้งหมดของกาแฟอะราบิกาเฉลี่ย $2,498.7$ ลิตรต่อกิโลกรัมของผลสดเชอร์รี่ ขณะที่ Hoekstra and Chapagian (2008) รายงานว่าปริมาณรอยเท้าน้ำรวมทั้งหมดต่อผลผลิตเชอร์รี่สดของกาแฟทั่วโลกเฉลี่ย $17,373$ ลิตรต่อกิโลกรัมตามลำดับ

Tabel 1 Cherry fresh yield and water footprint amount on both experimental sites.

Location	Months	Yield	Green	Blue	Grey	Total
		(tons.ra ⁻¹)	(liters.kg ⁻¹)	(liters.kg ⁻¹)	(liters.kg ⁻¹)	(liters.kg ⁻¹)
Khun Wang	Mar 22 to Feb 23	1.24	1,832.6	0	1.5	1,834.1
	Mar 23 to Feb 24	4.31	355.8	0	0.3	356.0
	Mar 22 to Feb 24	5.6	2,188.4	0.0	1.8	2,190.1
Mae Jon Luang	Mar 22 to Feb 23	2.29	769.2	42.8	0.2	1,288.2
	Mar 23 to Feb 24	2.53	455.5	0	0.1	769.4
	Mar 22 to Feb 24	4.8	1,224.7	42.8	0.3	2,057.6

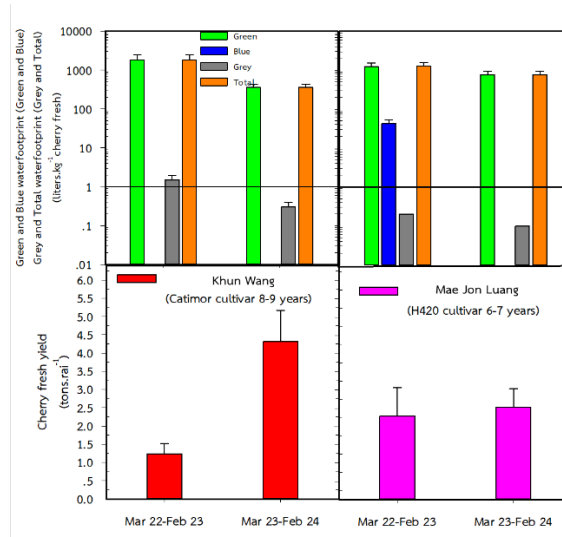


Figure 7 Cherry fresh yield and water footprint amount on both experimental sites.

สรุปผลการทดลอง

การผลิตกาแฟอาราบิก้าพันธุ์คาติมอร์อายุต้น 8 ถึง 9 ปี ณ ศูนย์วิจัยเกษตรหลวงเชียงใหม่ (ขุนวาง) ตำบลแม่วิน อำเภอแม่วาง จังหวัดเชียงใหม่ ระหว่างปี 2565 ถึง 2566 ซึ่งมีปริมาณน้ำฝนทั้งปีเฉลี่ย 2,792.9 มิลลิเมตร กาแฟให้ผลผลิตสดเชอร์รี่มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 1.24 ± 0.28 ตันต่อไร่เนื้อที่ให้ผล มีปริมาณรอยเท้าน้ำสีเขียว น้ำเงิน สีเทา และปริมาณรอยเท้าน้ำรวมทั้งหมดเฉลี่ยเท่ากับ $1,832 \pm 636.2$, 0.0 ± 0.0 , 1.5 ± 0.5 และ $1,834.1 \pm 636.8$ ลิตรต่อกิโลกรัม ตามลำดับ และระหว่างปี 2566 ถึง 2567 มีปริมาณน้ำฝนทั้งปีเฉลี่ย 2,020.0 มิลลิเมตร กาแฟให้ผลผลิตสดเชอร์รี่มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 4.31 ± 0.86 ตันต่อไร่เนื้อที่ให้ผล มีปริมาณรอยเท้าน้ำสีเขียว น้ำเงิน สีเทา และปริมาณรอยเท้าน้ำรวมทั้งหมดเฉลี่ยเท่ากับ 355.8 ± 71.7 , 0.0 ± 0.0 , 0.3 ± 0.1 และ 356.0 ± 71.7 ลิตรต่อกิโลกรัมของผลเชอร์รี่สดตามลำดับ

สำหรับการผลิตกาแฟอาราบิก้าสายพันธุ์ H420 อายุต้น 6 ถึง 7 ปี ณ ศูนย์วิจัยเกษตรหลวงเชียงใหม่ (แม่จอนหลวง) ตำบลแม่นาจร อำเภอแม่แจ่ม จังหวัดเชียงใหม่ ระหว่างปี 2565 ถึง 2566 ซึ่งมีปริมาณน้ำฝนทั้งปีเฉลี่ย 2,839.3 มิลลิเมตร กาแฟให้ผลผลิตสดเชอร์รี่มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 2.29 ± 0.78 ตันต่อไร่เนื้อที่ให้ผล มีปริมาณรอยเท้าน้ำสีเขียว น้ำเงิน สีเทา และปริมาณรอยเท้าน้ำรวมทั้งหมดเฉลี่ยเท่ากับ $1,245.3 \pm 294.1$, 42.8 ± 10.0 , 0.2 ± 0.0 และ $1,288.2 \pm 303.1$ ลิตรต่อกิโลกรัมของผลเชอร์รี่สดตามลำดับ และระหว่างปี 2566 ถึง 2567 ปริมาณน้ำฝนทั้งปีเฉลี่ย 2,415.6 มิลลิเมตร กาแฟให้ผลผลิตสดเชอร์รี่มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 2.53 ± 0.51 ตันต่อไร่เนื้อที่ให้ผล มีปริมาณรอยเท้าน้ำสีเขียว น้ำเงิน สีเทา และปริมาณรอยเท้าน้ำรวมทั้งหมดเฉลี่ยเท่ากับ 769 ± 175.0 , 0.0 ± 0.0 , 0.1 ± 0.0 และ 769.4 ± 175.0 ลิตรต่อกิโลกรัมของผลเชอร์รี่สดตามลำดับ

การนำผลงานวิจัยไปใช้ประโยชน์

สามารถนำข้อมูลมาปรับใช้เพื่อให้เกษตรกรสามารถจัดการน้ำในแปลงกาแฟได้อย่างมีประสิทธิภาพ ทำให้ผลผลิตเพิ่มและคุณภาพของผลผลิตดีขึ้น เกษตรกรมีรายได้เพิ่มขึ้น

เอกสารอ้างอิง

- กรมวิชาการเกษตร. 2562. คู่มือการจัดการการผลิตกาแฟอาราบิกา. สถาบันวิจัยพืชสวน กรมวิชาการเกษตร. กรุงเทพฯ.
- กรมอุตุนิยมวิทยา . 2562. อุตุนิยมวิทยา. โครงการตำราวิทยาศาสตร์และคณิตศาสตร์ (สอวน) กระทรวงดิจิทัลเพื่อเศรษฐกิจและสังคม.
- คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา. 2544. ปฐพีวิทยาเบื้องต้น. ภาควิชาปฐพีวิทยา คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- จักรพงษ์ เจริญศิริ. 2546. วิเคราะห์สมบัติทางกายภาพของดิน. สำนักวิจัยพัฒนาปัจจัยการผลิตทางการเกษตร กรมวิชาการเกษตร.
- พิชญาภา ราชธรรมมา. 2555. การใช้น้ำอย่างคุ้มค่ากับ Water footprint. วารสารกรมวิทยาศาสตร์บริการ ปีที่ 60 ฉบับที่ 189. 35-37.
- อนุสรณ์ เทียนศิริฤกษ์. 2567. วิจัยการจัดการน้ำเพื่อเพิ่มผลผลิตและคุณภาพของกาแฟอาราบิกา. (รายงานผลการวิจัย). กรุงเทพฯ: กรมวิชาการเกษตร.
- Allen, R. G., L. S. Pereira., D. Raes. and M. Smith. 1998. Guidelines for computing crop water requirement. FAO Irrigation and Drainage Paper.
- Babel, M. S., B. Shrestha, and S. R. Perret. 2011. Hydrological impact of biofuel production: A case study of the Khlong Phlo Watershed in Thailand. Agriculture Water Management. 101: 8-26.
- Chapagain, A. K., A. Y. Hoekstra, H. H. G. Savenije, and R. Gautam. 2009. The water footprint of cotton consumption: An assessment of the impact of worldwide consumption of cotton products on the water resources in the cotton producing countries. Ecological Economics. 60: 186-203.
- Hoekstra, A.Y. and Chapagain, A.K. 2008. Globalization of water: Sharing the planet's freshwater resources. Blackwell Publishing Oxford UK.
- Liu, C., Kroeze, C., Hoekstra, A.Y. and W. Gerbens-Leenes. 2012. Past and future trends in grey water footprints of anthropogenic nitrogen and phosphorus input to major world rivers. Ecological Indicators. 18: 42-49.
- Picetti, R. and Deeney, M. 2022. Nitrate and nitrite contamination in drinking water and cancer risk. A system review with meta-analysis.
- Sun, H., Y. Shen, Q. Yu, G. N. Flerchinger, Y. Zhang, C. Liu, and X. Zhang. 2010. Effect of precipitation change on water balance and WUE of the winter wheat-summer maize rotation in the North China Plain. Agricultural Water Management. 97: 1139-1145.
- Usva K., Sinkko, T., Silvenius, F., Riipi, L. and Hannele. H. 2020. Carbon and water footprint of coffee consumed in Finland-life cycle assessment. The International Journal of Life Cycle Assessment. 25: 1976-1990.
- Visser, M. and Mallon, G. 2021. The water footprint of Arabica and Robusta coffee bean production in South America. Bachelor's project "The consequences of climate change on the feasibility of the South America continent for coffee production".

Xu, Y., K. Huang, Y. Yu, and X. Wang. 2015. Changes in water footprint of crop production in Beijing from 1978 to 2012: a logarithmic mean Divisia index decomposition analysis. *Journal of Cleaner production*. 87: 180-187.

การศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อดัชนีความเครียดกับสมดุลน้ำในการผลิตกัญชา

The Study of Depletion Factor Index on Water Balance of Cannabis Production

อนุสรณ์ เทียนศิริฤกษ์¹ พชรินทร์ นามวงศ์¹ ฤทัยรัตน์ ห้อยสัน¹ รัฐกร สืบคำ²

Anusorn Tiensiroek¹ Patcharin Namwong¹ Ruethairat Hoysan¹ Ratgon Suebkam²

กลุ่มวิจัยปฐพีวิทยา

กองวิจัยพัฒนาปัจจัยการผลิตทางการเกษตร

ABSTRACT

This research aimed to study the water balance stress index of cannabis as a fundamental guideline for water management in both greenhouse and open-field conditions in Bangkok, from October 2021 to September 2024. In greenhouse conditions, during the first cultivation of the "Foi Thong" cannabis strain, the actual crop evapotranspiration (ETc) during the vegetative and pre-flowering stages averaged 141.9 ± 15.5 mm/week and 186.5 ± 3.8 mm/week, respectively. The water stress index (DP) averaged $2.2 \pm 1.9\%$ and 0.0% , with the average irrigation being 142.6 ± 13.6 mm/week and 197.2 mm/week. This resulted in good plant growth in terms of height and stem diameter, with an average height of 9.7 ± 1.3 cm/week and 175.5 ± 0.3 cm/week, and an average stem diameter of 9.7 ± 1.3 cm/week and 15.6 ± 0.4 cm/week, respectively. In the second cultivation of the "Kanchanaburi" strain under greenhouse conditions, the average ETc during the vegetative and pre-flowering stages was 137.6 ± 15.4 mm/week and 191.3 ± 27.5 mm/week, respectively, with no recorded water stress. The average irrigation levels were 145.7 ± 15.7 mm/week and 197.2 mm/week. The growth performance included an average height of 128.9 ± 13.9 cm/week and 198.7 ± 0.8 cm/week, average stem diameter of 11.6 ± 1.4 cm/week and 17.5 cm/week, and average canopy width of 88.0 ± 9.4 cm/week and 131.2 ± 0.7 cm/week, respectively. In outdoor conditions during the third cultivation of the "KUAK 5" cannabis strain, the average ETc during the vegetative and pre-flowering stages was 119.6 ± 9.3 mm/week and 154.1 ± 23.6 mm/week, respectively. The water stress index (DP) averaged $7.33 \pm 6.93\%$ and 0.0% , respectively, with irrigation levels at 166.8 ± 5.5 mm/week and 184.2 mm/week. Plant growth included average heights of 44.9 ± 4.9 cm/week and 71.8 ± 3.0 cm/week, average stem diameters of 4.6 ± 0.6 cm/week and 10.5 ± 1.0 cm/week, and average canopy widths of 30.8 ± 2.6 cm/week and 59.6 ± 4.3 cm/week, respectively.

Keywords: Depletion Factor; Cannabis

¹ กลุ่มวิจัยปฐพีวิทยา กองวิจัยพัฒนาปัจจัยการผลิตทางการเกษตร 50 พหลโยธิน แขวงลาดยาว เขตจตุจักร กรุงเทพมหานคร 10900

¹ Soil Science Research Group, 50 Phaholyothin Road, Lat-Yao Subdistrict, Chatuchak District, Bangkok 10900, Thailand

² ศูนย์วิจัยพืชไร่ขอนแก่น 180 ถนนมิตรภาพ อำเภอเมือง จังหวัดขอนแก่น 40000

² Khon Kaen Field Crops Research Center, 180 Mittraphap Road, Mueang District, Khon Kaen Province 40000, Thailand

บทคัดย่อ

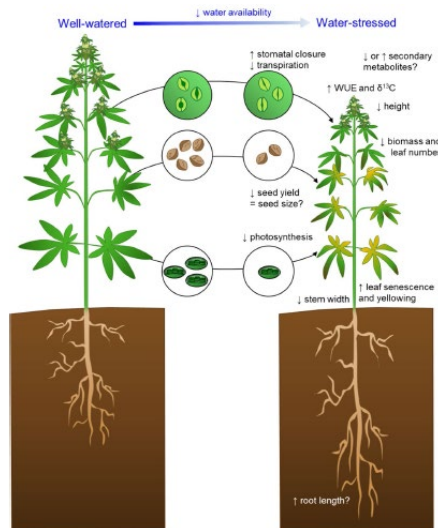
งานวิจัยครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาดัชนีความเครียดของสมตุลน้ำของกัญชาเพื่อเป็นข้อมูลพื้นฐานในการจัดการให้น้ำในสภาวะโรงเรือน และนอกโรงเรือน ที่กรุงเทพมหานคร ตั้งแต่เดือนตุลาคม 2564 ถึง กันยายน 2567 พบว่า ในสภาวะโรงเรือน การปลูกครั้งที่ 1 กัญชาพันธุ์ฝอยทอง ที่ช่วงระยะการเจริญเติบโตทางลำต้นและใบ (Vegetative stage) และระยะก่อนการเริ่มต้นออกดอกของกัญชา (Pre flowering stage) มีการคายน้ำของพืชแท้จริง (ETc) เฉลี่ยเท่ากับ 141.9 ± 15.5 และ 186.5 ± 3.8 มิลลิเมตรต่อสัปดาห์ ที่มีดัชนีความเครียด (DP) เฉลี่ย 2.2 ± 1.9 และ 0.0 เปอร์เซ็นต์ ที่มีการให้น้ำเฉลี่ย 142.6 ± 13.6 และ 197.2 มิลลิเมตรต่อสัปดาห์ ทำให้การเจริญเติบโตของกัญชาได้แก่ ความสูง และความกว้างของลำต้น โดยมีความสูงเฉลี่ย 9.7 ± 1.3 และ 175.5 ± 0.3 เซนติเมตรต่อสัปดาห์ สอดคล้องกับการเจริญเติบโตของความกว้างลำต้นกัญชาที่มีความกว้างเฉลี่ย 9.7 ± 1.3 และ 15.6 ± 0.4 เซนติเมตรต่อสัปดาห์ตามลำดับ และการปลูกครั้งที่ 2 กัญชาพันธุ์กาญจนบุรี ที่ระยะการเจริญเติบโตทางลำต้นและใบ และระยะก่อนการเริ่มต้นออกดอกของกัญชา มีการคายน้ำของพืชแท้จริง (ETc) เฉลี่ยเท่ากับ 137.6 ± 15.4 และ 191.3 ± 27.5 มิลลิเมตรต่อสัปดาห์ ตลอดการเจริญเติบโตไม่มีดัชนีความเครียด ที่มีการให้น้ำเฉลี่ย 145.7 ± 15.7 และ 197.2 มิลลิเมตรต่อสัปดาห์ ส่งผลทำให้การเจริญเติบโตของกัญชาได้แก่ ความสูง ความกว้างของลำต้น และความกว้างทรงพุ่ม โดยมีความสูงเฉลี่ย 128.9 ± 13.9 และ 198.7 ± 0.8 เซนติเมตรต่อสัปดาห์สอดคล้องกับการเจริญเติบโตของความกว้างลำต้นกัญชาที่มีความกว้างเฉลี่ย 11.6 ± 1.4 และ 17.5 เซนติเมตรต่อสัปดาห์ รวมทั้งความกว้างของทรงพุ่มเฉลี่ย 88.0 ± 9.4 และ 131.2 ± 0.7 เซนติเมตรต่อสัปดาห์ตามลำดับ สำหรับในสภาพแปลง การปลูกครั้งที่ 3 กัญชาพันธุ์ กวก. 5 ระยะการเจริญเติบโตทางลำต้นและใบ และระยะก่อนการเริ่มต้นออกดอกของกัญชา มีการคายน้ำของพืชแท้จริง (ETc) เฉลี่ยเท่ากับ 119.6 ± 9.3 และ 154.1 ± 23.6 มิลลิเมตรต่อสัปดาห์ ที่มีปัจจัยดัชนีความเครียด (DP) เฉลี่ย 7.33 ± 6.93 เปอร์เซ็นต์ และไม่มีปัจจัยความเครียด เมื่อมีการให้น้ำ 166.8 ± 5.5 และ 184.2 มิลลิเมตรต่อสัปดาห์ รวมทั้งการเจริญเติบโตของกัญชาได้แก่ ความสูง ความกว้างของลำต้น และความกว้างทรงพุ่ม โดยมีความสูงเฉลี่ย 44.9 ± 4.9 และ 71.8 ± 3.0 เซนติเมตรต่อสัปดาห์ สำหรับความกว้างของลำต้นมีค่าเฉลี่ย 4.6 ± 0.6 และ 10.5 ± 1.0 เซนติเมตรต่อสัปดาห์ ตลอดจนความกว้างทรงพุ่มของกัญชาเฉลี่ย 30.8 ± 2.6 และ 59.6 ± 4.3 เซนติเมตรต่อสัปดาห์

คำสำคัญ: ดัชนีความเครียด; กัญชา

บทนำ

กล้วยาเป็นพืชเศรษฐกิจที่มีศักยภาพโดยเฉพาะการนำมาใช้ประโยชน์ทางการแพทย์ และสุขภาพมีการใช้ประโยชน์จากส่วนต่างๆของกล้วยา เช่น ลำต้นนำมาใช้ประโยชน์ในการทำเครื่องนุ่งห่ม เชือก และกระดาด สำหรับ ใบ ราก และช่อดอกของกล้วยานำมาใช้ประโยชน์เป็นยาสมุนไพร และอาหาร นอกจากนี้เมล็ดกล้วยา และกากเมล็ดกล้วยานำมาใช้เป็นแหล่งโปรตีน และกรดไขมันที่เป็นประโยชน์ (โอเมกา 3 และ โอเมกา 6) เพื่อเป็นอาหารคนและสัตว์ ซึ่งสามารถสร้างรายได้และต่อยอดเป็นผลิตภัณฑ์ที่เกี่ยวข้องได้หลากหลาย โดยที่เกษตรกรหรือกลุ่มเกษตรกรผู้ผลิตจำเป็นต้องมีองค์ความรู้ในการผลิตตั้งแต่เรื่องพันธุ์ การปลูกไปจนถึงการเก็บเกี่ยว (กรมวิชาการเกษตร, 2564) โดยเฉพาะอย่างยิ่งการจัดการให้น้ำสำหรับกล้วยาตลอดการเจริญเติบโตทั้งในโรงเรือนและแปลงปลูก พบว่ากล้วยาเป็นพืชที่มีความต้องการน้ำสำหรับการเจริญเติบโตมากกว่าพืชบางชนิด เช่น ข้าวสาลี ข้าวโพด ถั่วเหลือง และฝ้าย เป็นต้น เมื่อปลูกกล้วยาในสภาพแปลงปลูกบริเวณพื้นที่ทางรัฐแคลิฟอร์เนีย ของสหรัฐอเมริกา พบว่ามีความต้องการน้ำของกล้วยาตลอดการเจริญเติบโตเฉลี่ยอยู่ในช่วง 19 ถึง 21 ลิตรต่อวัน เมื่อเปรียบเทียบการปลูกกล้วยาในสภาพโรงเรือนที่มีความต้องการน้ำเฉลี่ยน้อยกว่าอยู่ในช่วง 10 ถึง 11 ลิตรต่อวันตามลำดับ (Wilson et al., 2019) สำหรับการเจริญเติบโตทั้งทางลำต้นและใบของพืชสกุลกล้วยาในระยะกล้ำมีความต้องการน้ำของพืชเพื่อใช้ในการเจริญเติบโต โดยปกติใช้ระยะเวลา 4 ถึง 6 สัปดาห์ แต่ในบางกรณีอาจใช้ระยะเวลา 15 สัปดาห์เพื่อให้มีการสร้างจำนวนกิ่งที่เพิ่มขึ้น รวมทั้งการใช้วัสดุที่เหมาะสมที่มีการระบายน้ำเป็นอย่างดีช่วยส่งเสริมให้ต้นกล้วยาสามารถเจริญเติบโตได้เฉลี่ยสูงถึง 7 เซนติเมตรต่อวัน ซึ่งในช่วงระยะการเจริญเติบโตทางลำต้นและใบควรได้รับชั่วโมงแสง 18 ชั่วโมงต่อวัน ขณะที่ระยะก่อนออกดอก และระยะออกดอกควรได้รับชั่วโมงแสง 12 ชั่วโมงต่อวัน ตั้งแต่ช่วงระยะสัปดาห์ 16 ถึง 29 สัปดาห์ การเจริญเติบโตจะลดลงตามลำดับ (Clarke and Merlin, 2016) ขณะที่ กรมการแพทย์แผนไทยและการแพทย์ทางเลือก (2565) กล่าวว่ากล้วยาในแปลงปลูกของเกษตรกรมีความต้องการปริมาณน้ำเพื่อการเจริญเติบโตเฉลี่ย 500 ถึง 600 มิลลิเมตรต่อฤดูกาลปลูก ขึ้นอยู่กับปัจจัยแต่ละสายพันธุ์ ความสั้น และยาวของชั่วโมงแสงในแต่ละวัน ซึ่งส่งผลต่อการเจริญเติบโตของกล้วยา และผลผลิตช่อดอกดังกล่าว

Gill et al. (2022) รายงานว่าเมื่อกล้วยาสายพันธุ์ Black lable ได้รับผลกระทบการขาดน้ำส่งผลต่อมวลชีวภาพ ความสูง และผลผลิตเมล็ดลดลง มีแนวโน้มส่งผลต่อการเปิดปากใบ อัตราการคายน้ำ และอัตราการสังเคราะห์แสงน้อยลง นอกจากนี้ประสิทธิภาพการใช้น้ำ (Water use efficiency; WUE) ของกล้วยาไม่เพิ่มขึ้นขณะที่ Cosentino et al. (2013) พบว่ากล้วยาพันธุ์ Futura 75 มีประสิทธิภาพการใช้น้ำกล้วยาที่เพิ่มขึ้นจาก 2.73 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร เป็น 3.45 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร นอกจากนี้ Tang et al. (2018) รายงานว่าเมื่อเกิดสภาพการขาดน้ำเป็นระยะเวลายาวนานส่งผลทำให้ใบกล้วยาแก่และมีเหลือง ความกว้างของลำต้นลดลง และ Amaducci et al. (2008) รายงานว่าความยาวรากของกล้วยาเพิ่มมากขึ้นเมื่อมีการขาดน้ำในสภาพแปลง ดังแสดงในภาพที่ 1



ภาพที่ 1 แผนภาพแสดงความเข้าใจที่เป็นที่ยอมรับโดยทั่วไปของการตอบสนองต่อสภาวะการขาดน้ำของกัญชา รวมไปถึงการตอบสนองต่อสภาวะการขาดน้ำของกัญชาที่ขัดแย้งกัน หรือการขาดหลักฐานสนับสนุนดังแสดงโดยการใช้เครื่องหมายคำถาม

ที่มา : Gill et al. (2023)

อุปกรณ์และวิธีการ

อุปกรณ์

1. อุปกรณ์วัดความชื้นดิน
2. ถังเก็บน้ำ
3. อุปกรณ์ให้น้ำ
4. เครื่องวัดสภาพอากาศ
5. สายพันธุ์กัญชา ได้แก่ ฝอยทอง กาญจนบุรี และ กวก.5
6. กระถางพลาสติกแบบแอโรพอด ขนาด 30 x 40 เซนติเมตร พร้อมจานรอง
7. วัสดุปลูก ได้แก่ พีทมอส เพอร์ไลท์ และเวอร์มิคูไลท์

วิธีการ

ไม่มีการวางแผนการทดลอง

1 ศึกษาสมบัติทางกายภาพบางประการของวัสดุปลูกกัญชา

วางแผนทดลองแบบ CRD ประกอบด้วย 4 กรรมวิธี ๆ ละ 5 ซ้ำ ประกอบด้วย ได้แก่ 1. พีทมอส 2. พีทมอส : เพอร์ไลท์ : เวอร์มิคูไลท์ (70 : 15 : 15) 3. พีทมอส : เพอร์ไลท์ : เวอร์มิคูไลท์ (60 : 20 : 20) และ 4. พีทมอส : เพอร์ไลท์ : เวอร์มิคูไลท์ (50 : 25 : 25) เพอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก แช่วัสดุปลูกเพื่อให้อิ่มตัวด้วยน้ำเป็นเวลา 24 ชั่วโมง จากนั้นทำการอัดวัสดุปลูกโดยอาศัยแรงโน้มถ่วงให้พอดีกับปริมาตรกระบอกบรรจุวัสดุปลูก นำมาแช่เพื่อให้อิ่มตัวด้วยน้ำเป็นระยะเวลาอีก 1 ชั่วโมง นำวัสดุปลูกที่อิ่มตัวด้วยน้ำมาใส่ในกรวยกรองปล่อยให้ น้ำไหลจากวัสดุปลูกจนกระทั่งหยุดไหล นำน้ำที่ระบายออกจากวัสดุปลูกมาชั่ง เพื่อหาเปอร์เซ็นต์การระบายน้ำ และระดับความจุ ความชื้นความจุสนาม จากนั้นนำตัวอย่างวัสดุปลูกเข้าหม้อแรงดันที่ระดับความดัน 15 บรรยากาศ จนกว่าน้ำระบายออกจากวัสดุปลูกหยุดไหล แล้วนำมาชั่งเพื่อหาความชื้นที่จุดเหี่ยวเฉาถาวรแล้วทำการอบที่อุณหภูมิ

60 องศาเซลเซียส เป็นเวลาอย่างน้อย 72 ชั่วโมง แล้วนำมาซึ่งหาความชื้นตามลำดับดังแสดงใน ภาพที่ 2 ถึง ภาพที่ 4 (จักรพงษ์, 2546)



ภาพที่ 2 แสดงการอัดวัสดุปลูกโดยอาศัยแรงโน้มถ่วงให้พอดีกับปริมาตรกระบอกบรรจุวัสดุปลูก แล้วนำมาแช่ เพื่อให้อืดตัวด้วยน้ำเป็นระยะเวลา 1 ชั่วโมง



ภาพที่ 3 แสดงวิธีการวัดปริมาณน้ำที่ระบายออกจากวัสดุปลูกและนำน้ำหนักของวัสดุปลูกหลังจากน้ำระบายออก เพื่อใช้ในการคำนวณระดับความจุความชื้นความจุสนาม (FC)



ภาพที่ 4 แสดงการคำนวณความชื้นที่จุดเหี่ยวเฉาถาวร (PWP) โดยการอัดวัสดุปลูกที่ความดัน 15 บรรยากาศ จนกระทั่งน้ำระบายออกจนหมด หลังจากนั้นนำตัวอย่างมาอบที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 วัน

ปลูกกล้วยสาวยพันธุ์ เช่น พันธุ์ฝอยทอง กาญจนบุรี และ กวก. 5 ที่อายุต้นกล้า 1 เดือน ในกระถางแบบ แอร์พอตที่มีเส้นผ่านศูนย์กลาง 30 เซนติเมตร คิดเป็นพื้นที่ 0.071 ตารางเมตร และความสูงของกระถาง 40 เซนติเมตร บรรจุวัสดุปลูกที่มีส่วนผสมของ พีทมอส : เพอร์ไลต์ : เวอร์มิคูไลต์ ในอัตราส่วนที่ต่างกันให้ความสูงจากก้นกระถาง 32 เซนติเมตร บันทึกข้อมูล ได้แก่ (1) ความชื้นของวัสดุปลูกที่เปลี่ยนแปลงโดยวิธีการ ชั่งน้ำหนักก่อนการให้น้ำรายวัน (2) ปริมาณน้ำที่ให้ และน้ำที่ระบายออกรายวัน (3) สภาพอากาศของโรงเรือน รายวัน (4) ความสูงต้นกล้วย ความกว้างทรงพุ่ม และขนาดลำต้นรายสัปดาห์ ดังแสดงในภาพที่ 5



ภาพที่ 5 วิธีการวัดการเปลี่ยนแปลงความชื้นของวัสดุปลูก ปริมาณของน้ำที่ระบายออก และปริมาณน้ำที่เติมเข้าไปในทุกวัน และวัดความสูง ความกว้างของทรงพุ่ม และขนาดของลำต้นในทุกสัปดาห์

2 การคายน้ำของพืชอ้างอิง (Reference crop evapotranspiration, ETo)

1) คำนวณหาการคายน้ำของพืชอ้างอิงรายวัน ($E_{To \text{ daily}}$) หมายถึง อัตราการคายน้ำรวมกับการระเหยน้ำจากพื้นที่ผิวที่มีหญ้าปกคลุมสูงจากพื้นดิน 15 เซนติเมตร โดยมีการใช้ข้อมูลพิกัดของสถานีอุตุนิยมวิทยา ความสูงจากระดับน้ำทะเล ข้อมูลอุณหภูมิสูงสุด อุณหภูมิต่ำสุด ความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ย ความเร็วลมที่ระดับความสูงจากพื้นดิน 2 เมตร และความยาวนานชั่วโมงแสงในแต่ละวัน โดยใช้สมการ Penman-Monteith (Allen et al., 1998) ดังสมการที่ 1 และภาพที่ 6

$$E_{To \text{ daily}} = \frac{0.408\Delta (R_n - G) + \gamma 900 / (T + 273) U_2 (e_s - e_a)}{\Delta + \gamma (1 + 0.34 U_2)} \quad (1)$$

$E_{To \text{ daily}}$ = การคายน้ำของพืชอ้างอิง (Reference crop evapotranspiration, มิลลิเมตร/วัน)

R_n = ปริมาณรังสีของดวงอาทิตย์ทั้งหมดที่พืชได้รับ (เมกกะจูล/ตารางเมตร/วัน)

G = ค่าความไหลของความร้อนพื้นดิน (เมกกะจูล/ตารางเมตร/วัน)

T = อุณหภูมิของอากาศ (องศาเซลเซียส)

Δ = ค่าความลาดเทของเส้นแรงดันไอ (กิโลปาสกาล/องศาเซลเซียส)

γ = ค่าคงที่ของ psychrometric (กิโลปาสกาล/องศาเซลเซียส)

U_2 = ค่าความเร็วของลมที่ระดับความสูงจากพื้นดิน 2 เมตร (เมตร/วินาที)

$(e_s - e_a)$ = ค่าความต่างของแรงดันไอน้ำ (กิโลปาสกาล)

3 การคายน้ำแท้จริง และค่าสัมประสิทธิ์การใช้น้ำของกัญชา

หาค่าคายน้ำของพืชรายสัปดาห์ ($K_c \text{ weekly}$) ดังสมการที่ 2

$$ETC_{\text{weekly}} = I + P - DP \pm \Delta GMMC \quad (2)$$

ETC_{weekly} = การคายน้ำของกัญชา (มิลลิเมตรต่อสัปดาห์)

P = ปริมาณน้ำฝนมีค่าเท่ากับ 0 (มิลลิเมตรต่อสัปดาห์)

I = ปริมาณน้ำที่ให้ (มิลลิเมตรต่อสัปดาห์)

DP = การทราบซึมลึกของน้ำ (มิลลิเมตรต่อวัน)

$\Delta GMMC$ = ปริมาณความชื้นที่เปลี่ยนแปลงในวัสดุปลูก (มิลลิเมตรต่อสัปดาห์)

เนื่องจากการปลูกกัญชาทำในโรงเรือนโดยการปลูกในกระถางเส้นผ่านศูนย์กลาง 30 เซนติเมตร ความสูง 40 เซนติเมตร และบรรจุวัสดุปลูกกัญชาสูง 32 เซนติเมตรตามลำดับ ดังนั้นการเจริญเติบโตของรากกัญชาจึงถูกจำกัดไว้ที่ความลึกเพียง 32 เซนติเมตร มนตรี (2538) ได้ให้คำแนะนำค่าปัจจัยการพร่องน้ำ (Depletion factor, p) ที่เหมาะสมกับรากพืช ดังนี้ สำหรับรากพืชที่ระดับความลึก 10- 50 เซนติเมตร ควรใช้ค่า Depletion factor เท่ากับ 0.20 ของการอุ้มน้ำของ ดิน สำหรับรากพืชที่ระดับความลึกมากกว่า 50 เซนติเมตร ควรใช้ค่า Depletion factor เท่ากับ 0.30 ของการอุ้มน้ำของดินตามลำดับ สอดคล้องกับ Allen et. al. (1998) แนะนำว่าค่าปัจจัยการพร่องน้ำของดินที่มีรากพืชที่ระดับความลึก 30-60 เซนติเมตร ควรใช้ค่าปัจจัยการพร่องน้ำ (Depletion factor) 0.20-0.30 ภายใต้ที่พืชมีการคายน้ำของพืชแท้จริง 5 มิลลิเมตรต่อวัน เพราะฉะนั้นสมการในการคำนวณปัจจัยการพร่องน้ำของกัญชาสามารถคำนวณได้ดังสมการที่ 3

Depletion factor (p) = 0.20 + 0.04 (5-ETc) (3)

5 = การคายน้ำของพืชแท้จริง 5 มิลลิเมตรต่อวัน

ETc = การคายน้ำของพืชแท้จริงที่วัดได้ (มิลลิเมตรต่อวัน)

CROPWAT - Session: untitled - [Daily ETo Penman-Monteith - C:\ProgramData\CROPWAT\data\climate\Canabis Bangkok.PE]

File Edit Calculations Charts Settings Window Language Help

New Open Save Close Print Chart Options

Country Thailand Station Bangkok Year 2022

Altitude 1 m. Latitude 13.85 N Longitude 100.60 E

Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec	Year
Day	Min Temp	Max Temp	Humidity	Wind	Sun	Rad	ETo					
	°C	°C	%	km/day	hours	MJ/m ² /day	mm/day					
1	25.0	34.0	57	14	4.0	13.4	2.78					
2	26.0	34.0	57	21	4.0	13.5	2.89					
3	25.0	34.0	57	13	8.9	20.3	3.81					
4	25.0	34.0	57	1	8.2	19.4	3.54					
5	25.0	32.0	57	9	2.8	11.9	2.45					
6	24.0	32.0	44	29	7.2	18.1	3.45					
7	24.0	34.0	48	17	10.3	22.5	4.01					
8	25.0	35.0	57	17	10.5	22.9	4.33					
9	28.4	35.3	64	16	1.1	9.7	2.34					
10	27.5	36.9	70	25	8.1	19.6	4.28					
11	26.8	36.1	72	0	1.1	9.7	2.22					
12	26.4	36.9	73	9	7.2	18.4	3.95					
13	25.8	38.6	71	8	2.8	12.2	2.80					
14	25.9	32.9	75	8	2.8	12.2	2.65					
15	25.5	32.4	74	9	2.2	11.4	2.50					
16	24.9	33.8	74	20	0.3	8.7	2.13					
17	25.7	34.0	77	24	1.1	9.9	2.37					
18	25.3	35.4	71	29	4.5	14.9	3.33					
19	25.5	36.8	69	16	7.5	19.2	4.09					
20	27.4	35.5	70	17	3.5	13.5	3.06					
21	23.0	31.0	60	27	2.8	12.5	2.73					

Climate/ETo

Rain

Crop

Soil

CWR

Schedule

Crop Pattern

Scheme

ETo file Rain file Crop file Soil

canabis bangkok.ped

ภาพที่ 6 แสดงค่าการคายน้ำของพืชอ้างอิงรายวันคำนวณจากโปรแกรม Cropwat 8.0

การบันทึกข้อมูล

- 1) วัดความชื้นในวัสดุปลูกทุกวัน (ปริมาณน้ำที่สะสมในวัสดุปลูก)
- 2.) บันทึกปริมาณน้ำที่ให้ และน้ำที่ระบายออกรายวัน
- 3) บันทึกข้อมูล อุณหภูมิสูงสุด อุณหภูมิต่ำสุด ความชื้นสัมพัทธ์สูงสุด ความชื้นสัมพัทธ์ต่ำสุด ชั่วโมงแสง ความเร็วลม และปริมาณน้ำฝนที่ตกในพื้นที่ตลอดการปลูกจนกระทั่งกัญชาให้ผลผลิต
- 4) บันทึกข้อมูลการเจริญเติบโตรายสัปดาห์ เช่น ความสูง เส้นผ่านศูนย์กลางลำต้น ขนาดทรงพุ่ม

ระยะเวลา เริ่มต้น ตุลาคม 2564 สิ้นสุด กันยายน 2567

สถานที่ทำการทดลอง

1. อาคารปฏิบัติการ สำนักวิจัยพัฒนาเทคโนโลยีชีวภาพ
2. กลุ่มวิจัยปฐพีวิทยา กองวิจัยพัฒนาปัจจัยการผลิตทางการเกษตร

ผลการทดลองและวิจารณ์

1. สมบัติทางกายภาพบางประการของวัสดุปลูกกัญชา

จากผลการทดลอง พบว่าที่ระดับความจุความชื้นสนาม (FC) ในช่วง 83.1 ถึง 84.0 เปอร์เซ็นต์ ความชื้นที่จุดเหี่ยวเฉาถาวร (PWP) ในช่วง 62.4 ถึง 65.3 เปอร์เซ็นต์ ความหนาแน่นรวม (BD) ในช่วง 0.14 ถึง 0.16 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร และการระบายน้ำ (Water drainage) ในช่วง 15.8 ถึง 16.9 เปอร์เซ็นต์ ของวัสดุปลูกทุกกรรมวิธี ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยพบว่าวัสดุผสมระหว่าง พีทมอส : เพอร์ไลต์ : เวอร์มิคูไลต์ (50 : 25 : 25) โดยน้ำหนักมีการระบายน้ำดีที่สุด ขณะที่ความสามารถในการอุ้มน้ำของวัสดุปลูก (WHC) วัสดุผสมระหว่างพีทมอส : เพอร์ไลต์ : เวอร์มิคูไลต์ (50 : 25 : 25) มีความสามารถในการอุ้มน้ำน้อยที่สุด เท่ากับ 17.8 เปอร์เซ็นต์ น้อยกว่าวัสดุผสมระหว่างพีทมอส : เพอร์ไลต์ : เวอร์มิคูไลต์ (70 : 15 : 15) เท่ากับ 19.9 เปอร์เซ็นต์ ตามด้วยพีทมอสเพียงอย่างเดียวเท่ากับ 21.4 เปอร์เซ็นต์ และวัสดุผสมระหว่างพีทมอส : เพอร์ไลต์ : เวอร์มิคูไลต์ (60 : 20 : 20) เท่ากับ 21.6 เปอร์เซ็นต์ ทุกกรรมวิธีมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติดังแสดงใน ตารางที่ 1 เพราะฉะนั้นการศึกษาความต้องการน้ำของกัญชาในสภาพโรงเรือนได้เลือกใช้วัสดุปลูกในอัตราส่วนผสม พีทมอส : เพอร์ไลต์ : เวอร์มิคูไลต์ (50 : 25 : 25) โดยน้ำหนัก ที่มีการระบายน้ำของวัสดุปลูกดีที่สุด และความสามารถในการอุ้มน้ำของวัสดุปลูกน้อยที่สุด เพราะกัญชาเป็นพืชที่ชอบการระบายน้ำของวัสดุปลูกที่ดี สำหรับในการหายใจของรากเพื่อการเจริญเติบโตของกัญชาได้เป็นอย่างดี (กรมวิชาการเกษตร, 2564)

ขณะที่หนึ่งและคณะ (2564) พบว่าอัตราส่วนระหว่าง ขุยมะพร้าว เปลือกมะพร้าวสับ และกากหม้อกรอง 3 : 1 : 1 โดยปริมาตร ให้ผลผลิตกัญชาดีที่สุดแต่ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ เมื่อเปรียบเทียบกับวัสดุปลูกอัตราส่วนระหว่าง ขุยมะพร้าว เปลือกมะพร้าวสับ และแกลบดิบ 3 : 1 : 1 โดยปริมาตร และวัสดุปลูกอัตราส่วนระหว่าง ขุยมะพร้าว และเปลือกมะพร้าวสับ 3 : 1 โดยปริมาตร นอกจากนี้เมื่อมีส่วนผสมของแกลบดินทำให้วัสดุปลูกมีการระบายน้ำที่ดีขึ้น แต่อย่างไรก็ตามก็สามารถทำให้สูญเสียธาตุอาหารที่จำเป็นต่อกัญชาไปได้ง่ายเช่นกัน

ตารางที่ 1 สมบัติทางกายภาพของวัสดุปลูกที่ใช้ในการปลูกกล้วยา

อัตราส่วนของวัสดุปลูก (พีทมอส : เพอร์ไลท์ : เวอร์มิคูไลท์)	% FC ^{1/} (โดยน้ำหนัก)	% PWP ^{2/} (โดยน้ำหนัก)	% WHC ^{3/} (โดยน้ำหนัก)	BD ^{4/} (g cm ⁻³)	% การระบายน้ำ (โดยน้ำหนัก)
(100 : 0 : 0)	84.2 ± 0.3 ^{5/}	62.8 ± 0.6	21.4 ± 0.5a	0.15 ± 0.002	15.8 ± 0.3
(50 : 25 : 25)	83.1 ± 0.5	65.3 ± 0.8	17.8 ± 0.7b	0.16 ± 0.004	16.9 ± 0.5
(60 : 20 : 20)	84.0 ± 0.4	62.4 ± 0.7	21.6 ± 0.3a	0.14 ± 0.002	16.0 ± 0.4
(70 : 15 : 15)	83.9 ± 0.5	64.0 ± 1.7	19.9 ± 1.4ab	0.15 ± 0.002	16.1 ± 0.5
F-test (df error=16)	1.31	1.34	4.23*	2.33	1.35
% CV	1.10	3.93	9.33	4.27	5.70

หมายเหตุ: ^{1/} FC = ระดับความจุความชื้นสนาม ^{2/} PWP = ความชื้นที่จุดเหี่ยวเฉาถาวร ^{3/} WHC = ความสามารถในการอุ้มน้ำของวัสดุปลูก (FC-PWP). ^{4/} BD = ความหนาแน่นรวม ^{5/} * = ทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 99% โดยคำนวณจากวิธี LSD Means ± S.E (n = 5)

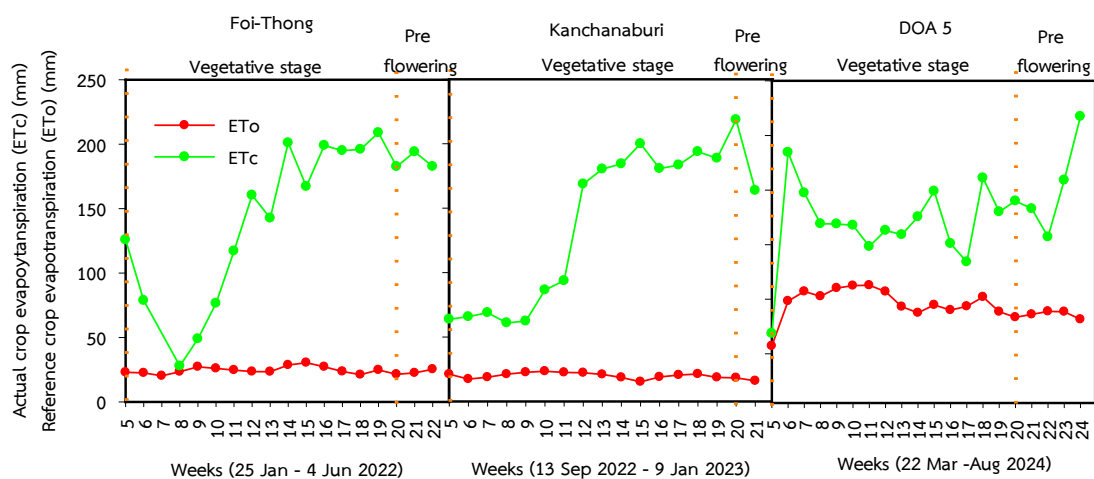
2. การคายน้ำของพืชอ้างอิง (ET_o) การคายน้ำแท้จริงของกล้วยา (ET_c) ปัจจัยความเครียด (DP) และการเจริญเติบโตของกล้วยา

จากผลการทดลอง พบว่า การปลูกครั้งที่ 1 (วันที่ 25 มกราคม – 4 มิถุนายน 2565) ในสภาพโรงเรือน กล้วยาฟอยทองที่มีอายุต้นกล้า 1 เดือน ช่วงระยะการเจริญเติบโตทางลำต้นและใบ (Vegetative stage) มีการคายน้ำแท้จริงของกล้วยา (ET_c) อยู่ในช่วง 27.8 ถึง 208.9 มิลลิเมตรต่อสัปดาห์ ที่มีค่าเฉลี่ย ± S.E. เท่ากับ 141.9 ± 15.5 มิลลิเมตรต่อสัปดาห์ ตามด้วยระยะก่อนการเริ่มต้นออกดอกของกล้วยา (Pre flowering stage) มีค่าการคายน้ำของกล้วยาอยู่ในช่วง 182.7 ถึง 194.2 มิลลิเมตรต่อสัปดาห์ มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 186.5 ± 3.8 มิลลิเมตรต่อสัปดาห์ ที่มีค่าปัจจัยความเครียดอยู่ในช่วง 0.0 ถึง 28.7 เปอร์เซ็นต์ มีค่าเฉลี่ย 2.2 ± 1.9 เปอร์เซ็นต์ และมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.0 เปอร์เซ็นต์ ภายใต้ที่มีการให้น้ำในระยะการเจริญเติบโตทางลำต้นและใบอยู่ในช่วง 78.9 ถึง 197.2 มิลลิเมตรต่อสัปดาห์ มีค่าเฉลี่ย 142.6 ± 13.6 มิลลิเมตรต่อสัปดาห์ และช่วงระยะก่อนการออกดอกของกล้วยาที่มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 197.2 มิลลิเมตรต่อสัปดาห์ ที่มีการปลูกในกระถางเส้นผ่านศูนย์กลาง 30 เซนติเมตร และความสูงของกระถาง 40 เซนติเมตรในสภาพโรงเรือน ส่งผลทำให้การเจริญเติบโตได้แก่ ความสูง และความกว้างของลำต้นที่ระดับสูงจากพื้น 8 เซนติเมตร เพิ่มขึ้นในช่วงระยะการเจริญเติบโตทางลำต้นและใบที่มีความสูงอยู่ในช่วง 6.0 ถึง 174.8 มีค่าเฉลี่ย 111.9 ± 15.1 เซนติเมตรต่อสัปดาห์ ตามด้วยระยะก่อนการเริ่มต้นออกดอกของกล้วยาที่มีความสูงอยู่ในช่วง 174.8 ถึง 175.8 เซนติเมตรต่อสัปดาห์ มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 175.5 ± 0.3 เซนติเมตรต่อสัปดาห์ สอดคล้องกับการเจริญเติบโตของความกว้างลำต้นกล้วยาในช่วงการเจริญเติบโตทางลำต้นและใบอยู่ในช่วง 1.0 ถึง 15.8 เซนติเมตรต่อสัปดาห์ มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 9.7 ± 1.3 เซนติเมตรต่อสัปดาห์ และระยะก่อนการเริ่มต้นออกดอกของกล้วยาที่มีความสูงอยู่ในช่วง 14.7 ถึง 16.1 เซนติเมตรต่อสัปดาห์ มีค่าเฉลี่ย 15.6 ± 0.4 เซนติเมตรต่อสัปดาห์ตามลำดับ

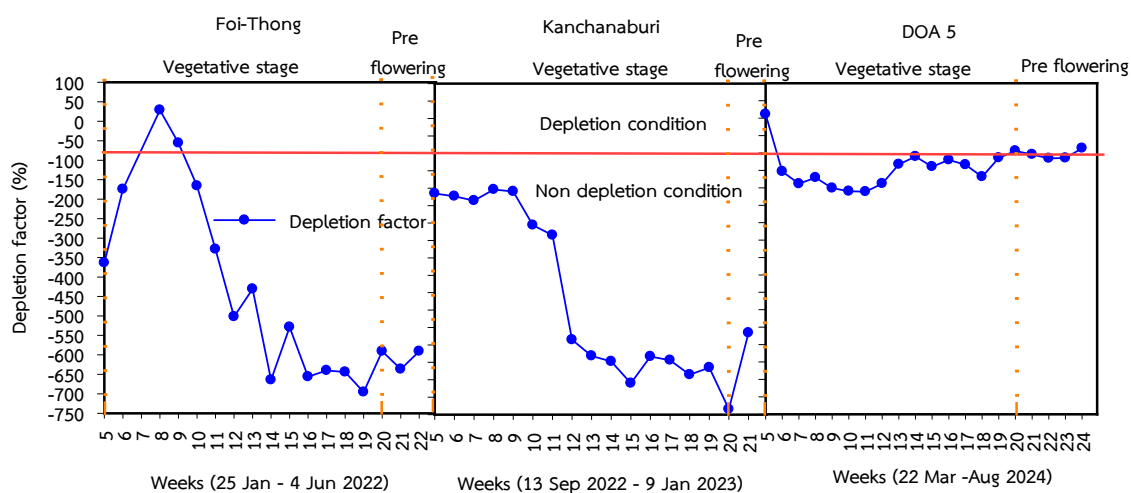
สำหรับการปลูกครั้งที่ 2 (วันที่ 13 กันยายน 2565 – 9 มกราคม 2566) ในสภาพโรงเรือน ใช้กล้วยาพันธุ์ กาญจนบุรีที่มีอายุต้นกล้า 1 เดือน พบว่า ระยะการเจริญเติบโตทางลำต้นและใบมีค่าการคายน้ำแท้จริงของกล้วยา (ET_c) อยู่ในช่วง 61.0 ถึง 218.7 มิลลิเมตรต่อสัปดาห์ ที่มีค่าเฉลี่ย 137.6 ± 15.4 มิลลิเมตรต่อสัปดาห์ ตามด้วยระยะก่อนการเริ่มต้นออกดอกของกล้วยามีค่าการคายน้ำของกล้วยาอยู่ในช่วง 183.8 ถึง 218.7 มิลลิเมตรต่อสัปดาห์ มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 191.3 ± 27.5 มิลลิเมตรต่อสัปดาห์ ตลอดระยะเวลาการปลูกไม่มีปัจจัยความเครียดของน้ำ ภายใต้ที่มีการให้น้ำในระยะการเจริญเติบโตทางลำต้นและใบอยู่ในช่วง 49.3 ถึง 197.2 มิลลิเมตรต่อสัปดาห์ มีค่าเฉลี่ย 145.7 ± 15.7 มิลลิเมตรต่อสัปดาห์ และระยะก่อนการออกดอกของกล้วยาเฉลี่ยเท่ากับ 197.2 มิลลิเมตรต่อสัปดาห์ ที่มีการปลูกในกระถางเส้นผ่านศูนย์กลาง 30 เซนติเมตร และความสูงของกระถาง

40 เซนติเมตรในสภาพโรงเรือน ที่ส่งผลทำให้การเจริญเติบโตได้แก่ ความสูง ความกว้างของลำต้นที่ระดับสูงจากพื้น 8 เซนติเมตร และขนาดของทรงพุ่มของกัญชาเพิ่มขึ้นในช่วงระยะเวลาการเจริญเติบโตทางลำต้นและใบที่มีความสูงอยู่ในช่วง 26.2 ถึง 197.8 เซนติเมตรต่อสัปดาห์ มีค่าเฉลี่ย 128.9 ± 13.9 เซนติเมตรต่อสัปดาห์ ตามด้วยระยะก่อนการเริ่มต้นออกดอกของกัญชาอยู่ในช่วง 197.8 ถึง 199.5 เซนติเมตรต่อสัปดาห์ มีค่าเฉลี่ย 198.7 ± 0.8 เซนติเมตรต่อสัปดาห์ สอดคล้องกับการเจริญเติบโตของความกว้างของลำต้นกัญชาในช่วงการเจริญเติบโตทางลำต้นและใบอยู่ในช่วง 2.6 ถึง 18.7 เซนติเมตรต่อสัปดาห์ มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 11.6 ± 1.4 เซนติเมตรต่อสัปดาห์ ตามด้วยระยะก่อนออกดอกของกัญชาที่มีค่าเฉลี่ย 17.5 เซนติเมตรต่อสัปดาห์ รวมทั้งความกว้างทรงพุ่มของกัญชาในช่วงระยะเวลาการเจริญเติบโตทางลำต้นและใบอยู่ในช่วง 17.8 ถึง 130.5 เซนติเมตรต่อสัปดาห์ มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 88.0 ± 9.4 เซนติเมตรต่อสัปดาห์ และระยะก่อนการออกดอกของกัญชาอยู่ในช่วง 130.5 ถึง 131.8 เซนติเมตรต่อสัปดาห์ มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 131.2 ± 0.7 เซนติเมตรต่อสัปดาห์ตามลำดับ

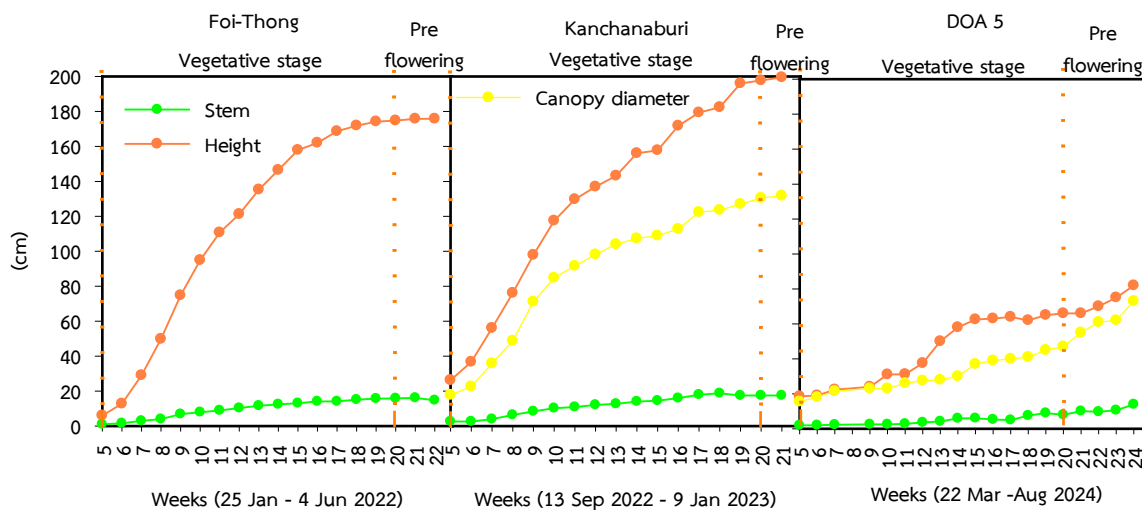
ขณะที่การปลูกครั้งที่ 3 (วันที่ 22 มีนาคม 2567 – 1 สิงหาคม 2567) ในสภาพแปลง ใช้กัญชาพันธุ์ กวก. 5 อายุต้นกล้า 1 เดือน พบว่า ระยะการเจริญเติบโตทางลำต้นและใบมีการคายน้ำแท้จริงของกัญชา (ETc) อยู่ในช่วง 18.7 ถึง 184.5 มิลลิเมตรต่อสัปดาห์ ที่มีค่าเฉลี่ย 119.6 ± 9.3 มิลลิเมตรต่อสัปดาห์ ส่วนช่วงระยะก่อนการเริ่มต้นออกดอกของกัญชามีค่าการคายน้ำของกัญชาอยู่ในช่วง 107.1 ถึง 217.4 มิลลิเมตรต่อสัปดาห์ มีค่าเฉลี่ย 154.1 ± 23.6 มิลลิเมตรต่อสัปดาห์ ที่มีค่าปัจจัยดัชนีความเครียดช่วง 0.0 ถึง 111.08 เปอร์เซ็นต์ มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 7.33 ± 6.93 เปอร์เซ็นต์ และไม่มีค่าปัจจัยดัชนีความเครียด ตามลำดับ ภายใต้ที่มีการให้น้ำในระยะเวลาการเจริญเติบโตทางลำต้นและใบอยู่ในช่วง 115.7 ถึง 184.2 มิลลิเมตรต่อสัปดาห์ มีค่าเฉลี่ย 166.8 ± 5.5 มิลลิเมตรต่อสัปดาห์ และระยะก่อนการออกดอกของกัญชาเฉลี่ยเท่ากับ 184.2 มิลลิเมตรต่อสัปดาห์ ที่มีการปลูกในกระถางเส้นผ่านศูนย์กลาง 30 เซนติเมตร และความสูงของกระถาง 40 เซนติเมตรในสภาพโรงเรือน ที่ส่งผลทำให้การเจริญเติบโตได้แก่ ความสูง ความกว้างของลำต้นที่ระดับสูงจากพื้น 8 เซนติเมตร และขนาดของทรงพุ่มของกัญชาเพิ่มขึ้นในช่วงระยะเวลาการเจริญเติบโตทางลำต้นและใบที่มีความสูงอยู่ในช่วง 18.5 ถึง 66.0 เซนติเมตรต่อสัปดาห์ มีค่าเฉลี่ย 44.9 ± 4.9 เซนติเมตรต่อสัปดาห์ ตามด้วยระยะก่อนการเริ่มต้นออกดอกของกัญชาอยู่ในช่วง 66.0 ถึง 82.0 เซนติเมตรต่อสัปดาห์ มีค่าเฉลี่ย 71.8 ± 3.0 เซนติเมตรต่อสัปดาห์ สอดคล้องกับการเจริญเติบโตของความกว้างของลำต้นกัญชาในช่วงการเจริญเติบโตทางลำต้นและใบอยู่ในช่วง 1.9 ถึง 9.0 เซนติเมตรต่อสัปดาห์ มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 4.6 ± 0.6 เซนติเมตรต่อสัปดาห์ ตามด้วยระยะก่อนออกดอกของกัญชาอยู่ในช่วง 8.0 ถึง 13.9 เซนติเมตรต่อสัปดาห์ ที่มีค่าเฉลี่ย 10.5 ± 1.0 เซนติเมตรต่อสัปดาห์ รวมทั้งความกว้างทรงพุ่มของกัญชาในช่วงระยะเวลาการเจริญเติบโตทางลำต้นและใบอยู่ในช่วง 15.5 ถึง 47.0 เซนติเมตรต่อสัปดาห์ มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 30.8 ± 2.6 เซนติเมตรต่อสัปดาห์ และระยะก่อนการออกดอกของกัญชาอยู่ในช่วง 47.0 ถึง 73.0 เซนติเมตรต่อสัปดาห์ มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 59.6 ± 4.3 เซนติเมตรต่อสัปดาห์ตามลำดับดังภาพที่ 7 ถึงภาพที่ 9



ภาพที่ 7 แสดงการคายน้ำแท้จริงของกัญชา (ETc) และการคายน้ำของพืชอ้างอิง (ETo) ของกัญชาพันธุ์ฝอยทอง กาญจนบุรี และ กวก.5



ภาพที่ 8 แสดงปัจจัยความเครียด (DP) ของกัญชาพันธุ์ฝอยทอง กาญจนบุรี และ กวก.5



ภาพที่ 9 แสดงการเจริญเติบโตของกล้วยาพันธุ์ฟอยทอง กาญจนบุรี และ กว. 5

สรุปผลการทดลอง

ในสภาวะโรงเรือน การปลูกครั้งที่ 1 กล้วยาพันธุ์ฟอยทอง ที่ช่วงระยะการเจริญเติบโตทางลำต้นและใบ (Vegetative stage) และระยะก่อนการเริ่มต้นออกดอกของกล้วยา (Pre flowering stage) มีการคายน้ำของพืชแท้จริง (ETc) เฉลี่ยเท่ากับ 141.9 ± 15.5 และ 186.5 ± 3.8 มิลลิเมตรต่อสัปดาห์ ที่มีดัชนีความเครียด (DP) เฉลี่ย 2.2 ± 1.9 และ 0.0 เปอร์เซ็นต์ ที่มีการให้น้ำเฉลี่ย 142.6 ± 13.6 และ 197.2 มิลลิเมตรต่อสัปดาห์ ทำให้การเจริญเติบโตของกล้วยาได้แก่ ความสูง และความกว้างของลำต้น โดยมีความสูงเฉลี่ย 9.7 ± 1.3 และ 175.5 ± 0.3 เซนติเมตรต่อสัปดาห์ สอดคล้องกับการเจริญเติบโตของความกว้างลำต้นกล้วยามีความกว้างเฉลี่ย 9.7 ± 1.3 และ 15.6 ± 0.4 เซนติเมตรต่อสัปดาห์ตามลำดับ และการปลูกครั้งที่ 2 กล้วยาพันธุ์กาญจนบุรี ที่ระยะการเจริญเติบโตทางลำต้นและใบ และระยะก่อนการเริ่มต้นออกดอกของกล้วยา มีการคายน้ำของพืชแท้จริง (ETc) เฉลี่ยเท่ากับ 137.6 ± 15.4 และ 191.3 ± 27.5 มิลลิเมตรต่อสัปดาห์ ตลอดการเจริญเติบโตไม่มีดัชนีความเครียด ที่มีการให้น้ำเฉลี่ย 145.7 ± 15.7 และ 197.2 มิลลิเมตรต่อสัปดาห์ ส่งผลทำให้การเจริญเติบโตของกล้วยาได้แก่ ความสูง ความกว้างของลำต้น และความกว้างทรงพุ่ม โดยมีความสูงเฉลี่ย 128.9 ± 13.9 และ 198.7 ± 0.8 เซนติเมตรต่อสัปดาห์ สอดคล้องกับการเจริญเติบโตของความกว้างลำต้นกล้วยามีความกว้างเฉลี่ย 11.6 ± 1.4 และ 17.5 เซนติเมตรต่อสัปดาห์ รวมทั้งความกว้างของทรงพุ่มเฉลี่ย 88.0 ± 9.4 และ 131.2 ± 0.7 เซนติเมตรต่อสัปดาห์ตามลำดับ

สำหรับในสภาพแปลง การปลูกครั้งที่ 3 กล้วยาพันธุ์ กว. 5 ระยะการเจริญเติบโตทางลำต้นและใบ และระยะก่อนการเริ่มต้นออกดอกของกล้วยามีการคายน้ำของพืชแท้จริง (ETc) เฉลี่ยเท่ากับ 119.6 ± 9.3 และ 154.1 ± 23.6 มิลลิเมตรต่อสัปดาห์ ที่มีปัจจัยดัชนีความเครียด (DP) เฉลี่ย 7.33 ± 6.93 เปอร์เซ็นต์ และไม่มีปัจจัยความเครียด เมื่อมีการให้น้ำ 166.8 ± 5.5 และ 184.2 มิลลิเมตรต่อสัปดาห์ รวมทั้งการเจริญเติบโตของกล้วยาได้แก่ ความสูง ความกว้างของลำต้น และความกว้างทรงพุ่ม โดยมีความสูงเฉลี่ย 44.9 ± 4.9 และ 71.8 ± 3.0 เซนติเมตรต่อสัปดาห์ สำหรับความกว้างของลำต้นมีค่าเฉลี่ย 4.6 ± 0.6 และ 10.5 ± 1.0 เซนติเมตรต่อสัปดาห์ ตลอดจนความกว้างทรงพุ่มของกล้วยาเฉลี่ย 30.8 ± 2.6 และ 59.6 ± 4.3 เซนติเมตรต่อสัปดาห์

คำขอบคุณ

ขอขอบคุณทุนวิจัยสำนักงานคณะกรรมการส่งเสริมวิทยาศาสตร์ วิจัยและนวัตกรรม (สกสว) ที่ให้การสนับสนุนงบประมาณสำหรับการดำเนินการวิจัยในครั้งนี้ รวมทั้งกรมวิชาการเกษตรที่สนับสนุนสถานที่ และเครื่องมือวิทยาศาสตร์ในการดำเนินการทดลองในครั้งนี้เป็นอย่างดี

การนำผลงานวิจัยไปใช้ประโยชน์

ได้ข้อมูลเบื้องต้นเพื่อประกอบเป็นคำแนะนำการจัดการน้ำสำหรับกัญชา และได้เทคโนโลยีการจัดการน้ำสำหรับการผลิตกัญชาในรูปแบบบทความวิจัยสำหรับเผยแพร่ในวารสาร ตลอดจนนำเสนอผลงานในระดับชาติให้กับนักวิชาการที่สนใจนำไปประยุกต์ใช้

เอกสารอ้างอิง

- กรมการแพทย์แผนไทยและการแพทย์ทางเลือก. 2565. การเพาะปลูกกัญชาทางการแพทย์. กรมการแพทย์แผนไทยและการแพทย์ทางเลือก กระทรวงสาธารณสุข. 9 หน้า.
- กรมวิชาการเกษตร. 2564. คู่มือเกษตรกรการผลิตพืชสกุลกัญชา (*Cannabis sativa* L.) เพื่อประโยชน์ทางการแพทย์และอุตสาหกรรม. กรมวิชาการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์. 152 หน้า.
- จักรพงษ์ เจริญศิริ. 2546. วิธีวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพของดิน. สำนักวิจัยพัฒนาปัจจัยการผลิตทางการเกษตร กรมวิชาการเกษตร. 72 หน้า.
- หนึ่ง เตียอำรุง นันทกร บุญเกิด และ พรรณลดา ติตตะบุตร. 2564. การผลิตและใช้ประโยชน์จากกัญชา. รายงานการวิจัยของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี. 71 หน้า.
- Allen, R. G., L. S. Perreira., D. Raes. and M. Smith. 1998. Guidelines for computing crop water requirement. FAO Irrigation and Drainage Paper. 300 pages.
- Amaducci, S., M. T. Amaducci., R. Benati, and G. Venturi. 2008. Crop yield and quality parameters of four annual fiber crops (hemp, kenaf, maize and sorghum) in the North of Italy. *Industrial Crops Production*. 11: 179-186.
- Clarke, R. C. and M. D. Merlin. 2016. Cannabis Domestication, Breeding History, Present-day Genetic Diversity, and Future Prospects. *Critical Reviews in Plant Sciences*. 35: (5-6). 293–327.
- Cosentino, S. L., E. Riggi, and G. Testa. 2013. Evaluation of European developed fiber hemp genotype (*Cannabis sativa* L.) in semi-arid Mediterranean environment. *Industrial Crop Production*. 50: 312-324.
- Gill, A. R., B. R. Loveys, and J. M. Cowley. 2022. Physiological and morphological responses of industrial hemp (*Cannabis sativa* L.) to water deficit. *Industrial Crop Production*. 187: 115-121.
- Gill, A. R., B. R. Loveys, T.R. Cavagnaro and R.A. Burton. 2023. The Potential of industrial hemp (*Cannabis sativa* L.) as an emerging drought resistant fiber crop. *Plant and Soil*. 493 (1-2): 7-16.
- Tang, K., A. Fracasso, and P. C. Struik. 2018. Water and nitrogen use efficiency of hemp (*Cannabis sativa* L.) based on whole-canopy measurement and modeling. *Front Plant Science*. 9: 1-14.

การศึกษาความถี่และปริมาณการให้น้ำที่ระดับต่างๆ ต่อการเจริญเติบโตของกัญชา

The Study of Frequency and Different Water Amount Applied of Cannabis

พัชรินทร์ นามวงศ์¹ รัฐกร สืบคำ² อนุสรณ์ เทียนศิริฤกษ์¹ ฤทัยรัตน์ ห้อยสัน¹
Patcharin Namwong¹ Ratgon Suebkam² Anusorn Tiensiroek¹ Ruethairat Hoysan¹

กลุ่มวิจัยปฐพีวิทยา

กองวิจัยพัฒนาปัจจัยการผลิตทางการเกษตร

ABSTRACT

This study aimed to investigate the effects of different irrigation frequencies and water volumes on the growth of cannabis, as a foundation for water management in both greenhouse and open-field conditions. The experiment was conducted in Bangkok from October 2021 to September 2024. In greenhouse conditions, during the first cultivation of the Foi Thong cannabis strain at the vegetative stage, the treatment with the highest irrigation frequency and volume (Treatment 1) showed an average actual evapotranspiration (ET_c) of 125.4 ± 13.1 mm/week, with an average irrigation amount of 131.6 ± 11.9 mm/week. In the pre-flowering stage, ET_c averaged 178.3 ± 7.2 mm/week, with an average irrigation of 177.5 mm/week. The average plant height was 159.7 ± 2.2 cm/week. For Treatment 2, with moderate irrigation frequency and volume, ET_c averaged 108.4 ± 11.5 mm/week at the vegetative stage, with an average irrigation of 115.1 ± 10.4 mm/week, and 165.4 ± 9.0 mm/week at the pre-flowering stage, with 157.0 mm/week of irrigation. The average plant height was 142.8 ± 4.6 cm/week. For Treatment 3, which had the lowest irrigation frequency and volume, the ET_c at the vegetative stage was 99.9 ± 9.1 mm/week, with an average irrigation of 106.5 ± 7.7 mm/week, while in the pre-flowering stage, ET_c averaged 147.7 ± 8.8 mm/week with 138.0 mm/week of irrigation. The average plant height was 141.2 ± 0.2 cm/week. In outdoor conditions, during the second cultivation of the KUAK 5 cannabis strain at the vegetative stage, Treatment 1 (highest irrigation frequency and volume) had an average ET_c of 106.2 ± 3.9 mm/week, with irrigation at 130.3 ± 5.0 mm/week. In the pre-flowering stage, ET_c was 107.1 ± 10.3 mm/week, with irrigation at 143.0 mm/week. Treatment 2 (moderate irrigation) had ET_c of 94.3 ± 4.0 mm/week at the vegetative stage, with irrigation at 119.7 ± 3.3 mm/week, and 84.3 ± 10.6 mm/week during the pre-flowering stage, with 128.2 mm/week irrigation. For Treatment 3 (lowest irrigation frequency and volume), ET_c averaged 85.7 ± 3.6 mm/week at the vegetative stage, with irrigation at 109.2 ± 1.7 mm/week, and 71.4 ± 11.6 mm/week in the pre-flowering stage, with 113.4 mm/week irrigation. In the third outdoor cultivation of the KUAK 5 strain, during the vegetative stage, Treatment 1 (highest irrigation) had an average ET_c of 118.7 ± 9.0 mm/week, with irrigation at 144.2 ± 10.1 mm/week. In the pre-flowering stage,

¹ กลุ่มวิจัยปฐพีวิทยา กองวิจัยพัฒนาปัจจัยการผลิตทางการเกษตร 50 พหลโยธิน แขวงลาดยาว เขตจตุจักร กรุงเทพมหานคร 10900

¹ Soil Science Research Group, 50 Phaholyothin Road, Lat-Yao Subdistrict, Chatuchak District, Bangkok 10900, Thailand

² ศูนย์วิจัยพืชไร่ขอนแก่น 180 ถนนมิตรภาพ อำเภอเมือง จังหวัดขอนแก่น 40000

² Khon Kaen Field Crops Research Center, 180 Mittraphap Road, Mueang District, Khon Kaen Province 40000, Thailand

ETc was 136.7 ± 16.5 mm/week, with irrigation at 177.5 mm/week. The average plant height was 93.5 ± 5.0 cm/week. Treatment 2 (moderate irrigation) showed ETc of 118.7 ± 8.7 mm/week, with irrigation at 128.6 ± 8.8 mm/week at the vegetative stage, and ETc of 116.1 ± 12.4 mm/week with 157.0 mm/week irrigation during the pre-flowering stage. The average height was 89.3 ± 2.2 cm/week. Treatment 3 (lowest irrigation) had ETc of 88.2 ± 8.7 mm/week, with irrigation at 109.6 ± 8.3 mm/week, and plant height during the vegetative stage averaged 50.1 ± 4.7 cm/week.

Keywords: Frequency and Different Water Amount Applied; Cannabis

บทคัดย่อ

งานวิจัยครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาความถี่และปริมาณการให้น้ำที่ระดับต่างๆต่อการเจริญเติบโตของกัญชา เพื่อเป็นข้อมูลพื้นฐานในการจัดการให้น้ำในสภาวะโรงเรือน และนอกโรงเรือน ดำเนินการทดลองที่กรุงเทพมหานคร ตั้งแต่เดือนตุลาคม 2564 ถึง เดือนกันยายน 2567 พบว่า ในสภาพโรงเรือน การปลูกครั้งที่ 1 กัญชาฝอยทอง ที่ช่วงระยะการเจริญเติบโตทางลำต้นและใบ (Vegetative stage) มีการคายน้ำแท้จริงของกัญชาต่อการทดลองที่ 1 ที่มีความถี่และปริมาณน้ำมากที่สุดมีค่าเฉลี่ย 125.4 ± 13.1 มิลลิเมตรต่อสัปดาห์ เมื่อมีการให้น้ำเฉลี่ย 131.6 ± 11.9 มิลลิเมตรต่อสัปดาห์ และระยะก่อนการเริ่มต้นออกดอกของกัญชามีค่าการคายน้ำของกัญชาเฉลี่ย 178.3 ± 7.2 มิลลิเมตรต่อสัปดาห์ เมื่อมีการให้น้ำเฉลี่ย 177.5 มิลลิเมตรต่อสัปดาห์ ความสูงของกัญชามีค่าเฉลี่ย 159.7 ± 2.2 เซนติเมตรต่อสัปดาห์ ขณะที่ทำการทดลองที่ 2 ที่มีความถี่และปริมาณน้ำปานกลางมีการคายน้ำแท้จริงของกัญชาเฉลี่ย 108.4 ± 11.5 มิลลิเมตรต่อสัปดาห์ เมื่อมีการให้น้ำเฉลี่ย 115.1 ± 10.4 มิลลิเมตรต่อสัปดาห์ และระยะก่อนการเริ่มต้นออกดอกของกัญชามีค่าการคายน้ำของกัญชาเฉลี่ย 165.4 ± 9.0 มิลลิเมตรต่อสัปดาห์ เมื่อมีการให้น้ำเฉลี่ย 157.0 มิลลิเมตรต่อสัปดาห์ ความสูงของกัญชามีค่าเฉลี่ย 142.8 ± 4.6 เซนติเมตรต่อสัปดาห์ สำหรับทำการทดลองที่ 3 ที่มีความถี่และปริมาณน้ำน้อยที่สุดมีการคายน้ำแท้จริงของกัญชา มีค่าเฉลี่ย 99.9 ± 9.1 มิลลิเมตรต่อสัปดาห์ เมื่อมีการให้น้ำเฉลี่ย 106.5 ± 7.7 มิลลิเมตรต่อสัปดาห์ และระยะก่อนการเริ่มต้นออกดอกของกัญชามีค่าการคายน้ำของกัญชาเฉลี่ย 147.7 ± 8.8 มิลลิเมตรต่อสัปดาห์ เมื่อมีการให้น้ำเฉลี่ย 138.0 มิลลิเมตรต่อสัปดาห์ ความสูงของกัญชามีค่าเฉลี่ย 141.2 ± 0.2 เซนติเมตรต่อสัปดาห์ ในสภาพนอกโรงเรือน การปลูกครั้งที่ 2 กัญชาพันธุ์ กวก. 5 ที่ช่วงระยะการเจริญเติบโตทางลำต้นและใบ มีการคายน้ำแท้จริงของกัญชาต่อการทดลองที่ 1 ที่มีความถี่และปริมาณน้ำมากที่สุดเฉลี่ย 106.2 ± 3.9 มิลลิเมตรต่อสัปดาห์ เมื่อมีการให้น้ำเฉลี่ย 130.3 ± 5.0 มิลลิเมตรต่อสัปดาห์ และระยะก่อนการเริ่มต้นออกดอกของกัญชามีค่าการคายน้ำของกัญชาเฉลี่ย 107.1 ± 10.3 มิลลิเมตรต่อสัปดาห์ เมื่อมีการให้น้ำเฉลี่ย 143.0 มิลลิเมตรต่อสัปดาห์ ขณะที่ทำการทดลองที่ 2 ที่มีความถี่และปริมาณน้ำปานกลางมีการคายน้ำแท้จริงของกัญชาเฉลี่ย 94.3 ± 4.0 มิลลิเมตรต่อสัปดาห์ เมื่อมีการให้น้ำเฉลี่ย 119.7 ± 3.3 มิลลิเมตรต่อสัปดาห์ และระยะก่อนการเริ่มต้นออกดอกของกัญชามีค่าการคายน้ำของกัญชาเฉลี่ย 84.3 ± 10.6 มิลลิเมตรต่อสัปดาห์ เมื่อมีการให้น้ำเฉลี่ย 128.2 มิลลิเมตรต่อสัปดาห์ สำหรับทำการทดลองที่ 3 ที่มีความถี่และปริมาณน้ำน้อยที่สุดมีการคายน้ำแท้จริงของกัญชาเฉลี่ย 85.7 ± 3.6 มิลลิเมตรต่อสัปดาห์ เมื่อมีการให้น้ำเฉลี่ย 109.2 ± 1.7 มิลลิเมตรต่อสัปดาห์ตามลำดับ และระยะก่อนการเริ่มต้นออกดอกของกัญชามีค่าการคายน้ำของกัญชาเฉลี่ย 71.4 ± 11.6 มิลลิเมตรต่อสัปดาห์ เมื่อมีการให้น้ำเฉลี่ย 113.4 มิลลิเมตรต่อสัปดาห์

ในสภาพนอกโรงเรือน การปลูกครั้งที่ 3 กัญชาพันธุ์ กวก. 5 ที่ช่วงระยะการเจริญเติบโตทางลำต้นและใบมีการคายน้ำแท้จริงของกัญชาต่อการทดลองที่ 1 ที่มีความถี่และปริมาณน้ำมากที่สุดที่มีค่าเฉลี่ย

118.7 ± 9.0 มิลลิเมตรต่อสัปดาห์ เมื่อมีการให้น้ำเฉลี่ย 144.2 ± 10.1 มิลลิเมตรต่อสัปดาห์ และระยะก่อนการเริ่มต้นออกดอกของกัญชามีค่าการคายน้ำของกัญชาเฉลี่ย 136.7 ± 16.5 มิลลิเมตรต่อสัปดาห์ เมื่อมีการให้น้ำเฉลี่ย 177.5 มิลลิเมตรต่อสัปดาห์ ความสูงของกัญชามีค่าเฉลี่ย 93.5 ± 5.0 เซนติเมตรต่อสัปดาห์ ขณะที่ทำการทดลองที่ 2 ที่มีความถี่และปริมาณน้ำปานกลางมีการคายน้ำแท้จริงของกัญชาเฉลี่ย 118.7 ± 8.7 มิลลิเมตรต่อสัปดาห์ เมื่อมีการให้น้ำเฉลี่ย 128.6 ± 8.8 มิลลิเมตรต่อสัปดาห์ และระยะก่อนการเริ่มต้นออกดอกของกัญชามีค่าการคายน้ำของกัญชาเฉลี่ย 116.1 ± 12.4 มิลลิเมตรต่อสัปดาห์ เมื่อมีการให้น้ำเฉลี่ย 157.0 มิลลิเมตรต่อสัปดาห์ ความสูงของกัญชามีค่าเฉลี่ย 89.3 ± 2.2 เซนติเมตรต่อสัปดาห์ สำหรับทำการทดลองที่ 3 ที่มีความถี่และปริมาณน้ำน้อยที่สุดมีการคายน้ำแท้จริงของกัญชาเฉลี่ย 88.2 ± 8.7 มิลลิเมตรต่อสัปดาห์ เมื่อมีการให้น้ำเฉลี่ย 109.6 ± 8.3 มิลลิเมตรต่อสัปดาห์ ที่มีการเจริญเติบโตทางลำต้นและใบที่มีความสูงเฉลี่ย 50.1 ± 4.7 เซนติเมตร

คำสำคัญ: ความถี่และปริมาณการให้น้ำ; กัญชา

บทนำ

กัญชาเป็นพืชเศรษฐกิจที่มีศักยภาพโดยเฉพาะการนำมาใช้ประโยชน์ทางการแพทย์ และสุขภาพ ซึ่งกัญชาเป็นพืชที่มีความต้องการน้ำสำหรับการเจริญเติบโตมากกว่าพืชบางชนิด เช่น ข้าวสาลี ข้าวโพด ถั่วเหลือง และฝ้าย เป็นต้น เมื่อปลูกกัญชาในสภาพแปลงปลูกบริเวณพื้นที่ทางรัฐแคลิฟอร์เนีย ของสหรัฐอเมริกา พบว่ามีความต้องการน้ำของกัญชาตลอดการเจริญเติบโตเฉลี่ยอยู่ในช่วง 19 ถึง 21 ลิตรต่อวัน เมื่อเปรียบเทียบการปลูกกัญชาในสภาพโรงเรือนที่มีความต้องการน้ำเฉลี่ยน้อยกว่าอยู่ในช่วง 10 ถึง 11 ลิตรต่อวันตามลำดับ (Wilson et al., 2019) สำหรับการเจริญเติบโตทั้งทางลำต้นและใบของพืชสกุลกัญชาในระยะกล้ามีความต้องการน้ำของพืชเพื่อใช้ในการเจริญเติบโต โดยปกติใช้ระยะเวลา 4 ถึง 6 สัปดาห์ แต่ในบางกรณีอาจใช้ระยะเวลา 15 สัปดาห์ เพื่อให้มีการสร้างจำนวนกิ่งที่เพิ่มขึ้น รวมทั้งการใช้วัสดุที่เหมาะสมที่มีการระบายน้ำเป็นอย่างดีช่วยส่งเสริมให้ต้นกัญชาสามารถเจริญเติบโตได้เฉลี่ยสูงถึง 7 เซนติเมตรต่อวัน ซึ่งในช่วงระยะการเจริญเติบโตทางลำต้นและใบ ควรได้รับชั่วโมงแสง 18 ชั่วโมงต่อวัน ขณะที่ระยะก่อนออกดอก และระยะออกดอกควรได้รับชั่วโมงแสง 12 ชั่วโมงต่อวัน ตั้งแต่ช่วงระยะสัปดาห์ 16 ถึง 29 สัปดาห์ การเจริญเติบโตจะลดลงตามลำดับ (Clarke and Merlin, 2016) ขณะที่ กรมการแพทย์แผนไทยและการแพทย์ทางเลือก (2565) กล่าวว่ากัญชาในแปลงปลูกของเกษตรกรมีความต้องการปริมาณน้ำเพื่อการเจริญเติบโตเฉลี่ย 500 ถึง 600 มิลลิเมตรต่อฤดูกาลปลูก ขึ้นอยู่กับปัจจัยแต่ละสายพันธุ์ ความชื้น และยาวของชั่วโมงแสงในแต่ละวัน ซึ่งส่งผลต่อการเจริญเติบโตของกัญชา และผลผลิตช่อดอกดังกล่าว

Gill et al. (2022) รายงานว่าเมื่อกัญชาสายพันธุ์ Black Lable ได้รับผลกระทบการขาดน้ำส่งผลต่อมวลชีวภาพ ความสูง และผลผลิตเมล็ดลดลง มีแนวโน้มส่งผลต่อการเปิดปากใบ อัตราการคายน้ำ และอัตราการสังเคราะห์แสงน้อยลง นอกจากนี้ประสิทธิภาพการใช้น้ำ (Water use efficiency; WUE) ของกัญชาไม่เพิ่มขึ้น ขณะที่ Cosentino et al. (2013) พบว่ากัญชาพันธุ์ Futura 75 มีประสิทธิภาพการใช้น้ำกัญชาที่เพิ่มขึ้นจาก 2.73 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร เป็น 3.45 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร นอกจากนี้ Tang et al. (2018) รายงานว่าเมื่อเกิดสภาพการขาดน้ำเป็นระยะเวลายาวนานส่งผลทำให้ใบกัญชาแก่และมีเหลือง ความกว้างของลำต้นลดลง และ Amaducci et al. (2008) รายงานว่าความยาวรากของกัญชาเพิ่มมากขึ้นเมื่อมีการขาดน้ำ

ดังนั้นจึงต้องศึกษาความถี่และปริมาณการให้น้ำที่ระดับต่างๆต่อการเจริญเติบโตของกัญชา เพื่อเป็นข้อมูลพื้นฐานในการจัดการให้น้ำในสภาวะโรงเรือน และนอกโรงเรือน

อุปกรณ์และวิธีการ

อุปกรณ์

1. สายพันธุ์กัญชา ได้แก่ ฝอยทอง และ กวาก.5
2. ถังเก็บน้ำ
3. อุปกรณ์ให้น้ำ
4. เครื่องวัดสภาพอากาศ
5. เครื่องชั่ง
6. กระถางพลาสติกแบบแอโรพอต ขนาด 30 x 40 เซนติเมตร พร้อมจานรอง
7. วัสดุปลูก ได้แก่ พีทมอส เพอร์ไลต์ และเวอร์มิคูไลต์

วิธีการ

1 ศึกษาสมบัติทางกายภาพบางประการของวัสดุปลูกกัญชา

วางแผนทดลองแบบ CRD ประกอบด้วย 4 กรรมวิธี กรรมวิธีละ 5 ซ้ำ ประกอบด้วย ได้แก่ 1. พีทมอส 2. พีทมอส : เพอร์ไลต์ : เวอร์มิคูไลต์ (70 : 15 : 15) 3. พีทมอส : เพอร์ไลต์ : เวอร์มิคูไลต์ (60 : 20 : 20) และ 4. พีทมอส : เพอร์ไลต์ : เวอร์มิคูไลต์ (50 : 25 : 25) เพอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก แช่วัสดุปลูกเพื่อให้อิ่มตัวด้วยน้ำเป็นเวลา 24 ชั่วโมง จากนั้นทำการอัดวัสดุปลูกโดยอาศัยแรงโน้มถ่วงให้พอดีกับปริมาตรกระบอกบรรจุวัสดุปลูก นำมาแช่เพื่อให้อิ่มตัวด้วยน้ำเป็นระยะเวลาอีก 1 ชั่วโมง นำวัสดุปลูกที่อิ่มตัวด้วยน้ำมาใส่ในกรวยกรองปล่อยให้ น้ำไหลจากวัสดุปลูกจนกระทั่งหยุดไหล นำน้ำที่ระบายออกจากวัสดุปลูกมาชั่ง เพื่อหาเปอร์เซ็นต์การระบายน้ำ และระดับความจุ ความชื้นความจุสนาม จากนั้นนำตัวอย่างวัสดุปลูกเข้าหม้อแรงดันที่ระดับความดัน 15 บรรยากาศ จนกว่าน้ำระบายออกจากวัสดุปลูกหยุดไหล แล้วนำมาชั่งเพื่อหาความชื้นที่จุดเหี่ยวเฉาถาวรแล้วทำการอบที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลาอย่างน้อย 72 ชั่วโมง แล้วนำมาชั่งหาความชื้นตามลำดับดังแสดงในภาพที่ 1 ถึง ภาพที่ 3 (จักรพงษ์, 2546)



ภาพที่ 1 แสดงการอัดวัสดุปลูกโดยอาศัยแรงโน้มถ่วงให้พอดีกับปริมาตรกระบอกบรรจุวัสดุปลูก แล้วนำมาแช่ เพื่อให้อิ่มตัวด้วยน้ำเป็นระยะเวลา 1 ชั่วโมง



ภาพที่ 2 แสดงวิธีการวัดปริมาณน้ำที่ระบายออกจากวัสดุปลูกและนำน้ำหนักของวัสดุปลูกหลังจากน้ำระบายออก เพื่อใช้ในการคำนวณระดับความจุความชื้นความจุสนาม (FC)



ภาพที่ 3 แสดงการคำนวณความชื้นที่จุดเหี่ยวเฉาถาวร (PWP) โดยการอัดวัสดุปลูกที่ความดัน 15 บรรยากาศจนกระทั่งน้ำระบายออกจนหมด หลังจากนั้นนำตัวอย่างมาอบที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 วัน

ปลูกกัญชาสายพันธุ์ เช่น พันธุ์ฝอยทอง และ กวก. 5 ที่อายุต้นกล้า 1 เดือน ในกระถางแบบแอร์พอตที่มีเส้นผ่านศูนย์กลาง 30 เซนติเมตร คิดเป็นพื้นที่ 0.071 ตารางเมตร และความสูงของกระถาง 40 เซนติเมตร บรรจุวัสดุปลูกที่มีส่วนผสมของ พีทมอส : เพอร์ไลต์ : เวอร์มิคูไลต์ ในอัตราส่วนที่ต่างกันให้มีความสูงจากกันกระถาง 32 เซนติเมตร บันทึกข้อมูล ได้แก่ (1) ความชื้นของวัสดุปลูกที่เปลี่ยนแปลงโดยวิธีการชั่งน้ำหนักก่อนการให้น้ำรายวัน (2) ปริมาณน้ำที่ให้ และน้ำที่ระบายออกรายวัน (3) สภาพอากาศของโรงเรือนรายวัน (4) ความสูงต้นกัญชา ความกว้างทรงพุ่ม และขนาดลำต้นรายสัปดาห์ ดังแสดงในภาพที่ 4



ภาพที่ 4 วิธีการวัดการเปลี่ยนแปลงความชื้นของวัสดุปลูก ปริมาณของน้ำที่ระบายออก และปริมาณน้ำที่เติมเข้าไปในทุกวัน และวัดความสูง ความกว้างของทรงพุ่ม และขนาดของลำต้นในทุกสัปดาห์

2 การคายน้ำของพืชอ้างอิง (Reference crop evapotranspiration, ETo)

1) คำนวณหาการคายน้ำของพืชอ้างอิงรายวัน (ETo-daily) หมายถึง อัตราการคายน้ำรวมกับการระเหยน้ำจากพื้นที่ผิวที่มีหญ้าปกคลุมสูงจากพื้นดิน 15 เซนติเมตร โดยมีการใช้ข้อมูลพิกัดของสถานีอุตุนิยมวิทยา ความสูงจากระดับน้ำทะเล ข้อมูลอุณหภูมิสูงสุด อุณหภูมิต่ำสุด ความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ย ความเร็วลมที่ระดับความสูงจากพื้นดิน 2 เมตร และความยาวนานชั่วโมงแสงในแต่ละวัน โดยใช้สมการ Penman-Monteith (Allen et al., 1998) ดังสมการที่ 1 และภาพที่ 5

$$ET_{O \text{ daily}} = \frac{0.408\Delta (R_n - G) + \gamma 900 / (T + 273) U_2 (e_s - e_a)}{\Delta + \gamma (1 + 0.34 U_2)} \quad (1)$$

$ET_{O \text{ daily}}$ = การคายน้ำของพืชอ้างอิง (Reference crop evapotranspiration, มิลลิเมตร/วัน)

R_n = ปริมาณรังสีของดวงอาทิตย์ทั้งหมดที่พืชได้รับ (เมกกะจูล/ตารางเมตร/วัน)

G = ค่าความไหลของความร้อนพื้นดิน (เมกกะจูล/ตารางเมตร/วัน)

T = อุณหภูมิของอากาศ (องศาเซลเซียส)

Δ = ค่าความลาดเทของเส้นแรงดันไอ (กิโลปาสกาล/องศาเซลเซียส)

γ = ค่าคงที่ของ psychrometric (กิโลปาสกาล/องศาเซลเซียส)

U_2 = ค่าความเร็วของลมที่ระดับความสูงจากพื้นดิน 2 เมตร (เมตร/วินาที)

$(e_s - e_a)$ = ค่าความต่างของแรงดันไอน้ำ (กิโลปาสกาล)

CROPWAT - Session: untitled - [Daily ETo Penman-Monteith - C:\ProgramData\CROPWAT\data\climate\Canabis Bangkok.PE]

File Edit Calculations Charts Settings Window Language Help

New Open Save Close Print Chart Options

Country Thailand Station Bangkok Year 2022

Altitude 1 m. Latitude 13.85 N Longitude 100.60 E

	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec	Year
Day													
Min Temp	25.0	26.0	25.0	25.0	25.0	24.0	24.0	24.0	25.0	25.0	25.5	26.4	25.8
Max Temp	34.0	34.0	34.0	34.0	32.0	32.0	34.0	34.0	35.0	35.3	36.9	36.1	36.8
Humidity	57	57	57	57	57	44	48	48	57	64	70	72	73
Wind	km/day	14	21	13	1	8.2	9	2.8	2.8	1.1	8.1	0	9
Sun	hours	4.0	4.0	8.9	1	8.2	2.8	2.8	2.8	1.1	8.1	0	9
Rad	MJ/m ² /day	13.4	13.5	20.3	19.4	11.3	18.1	22.5	22.9	9.7	19.6	9.7	18.4
ETo	mm/day	2.78	2.89	3.81	3.54	2.45	3.45	4.01	4.33	2.34	4.28	2.22	3.95
Rain	mm/day												
Crop													
Soil													
CWR													
Schedule													
Crop Pattern													
Scheme													

ETo file canabis bangkok.ped Rain file Crop file Soil

ภาพที่ 5 แสดงค่าการคายน้ำของพืชอ้างอิงรายวันคำนวณจากโปรแกรม Cropwat 8.0

3 การคายน้ำแท้จริง และค่าสัมประสิทธิ์การใช้น้ำของกัญชา

จากนั้นดำเนินการศึกษาความถี่และปริมาณการให้น้ำที่ระดับต่างๆ ต่อการเจริญเติบโตของกัญชา โดยวางแผนการทดลองแบบ RCB 3 ดำรับทดลอง จำนวน 10 ซ้ำ ได้แก่

1. ให้น้ำกับพืชเมื่อความชื้นในดินลดลงน้อยกว่าปัจจัยการพร่องของน้ำในดิน 10 เปอร์เซ็นต์
2. ให้น้ำกับพืชเมื่อความชื้นในดินลดลงน้อยกว่าปัจจัยการพร่องของน้ำในดิน 20 เปอร์เซ็นต์
3. ให้น้ำกับพืชเมื่อความชื้นในดินลดลงมากกว่าปัจจัยการพร่องของน้ำในดิน 30 เปอร์เซ็นต์

แล้วหาค่าคายน้ำของพืชรายสัปดาห์ (K_c weekly) ดังสมการที่ 2

$$ET_{c \text{ weekly}} = I + P - DP \pm \Delta GMMC \quad (2)$$

$ET_{c \text{ weekly}}$ = การคายน้ำของกัญชา (มิลลิเมตรต่อสัปดาห์)

P = ปริมาณน้ำฝนมีค่าเท่ากับ 0 (มิลลิเมตรต่อสัปดาห์)

I = ปริมาณน้ำที่ให้ (มิลลิเมตรต่อสัปดาห์)

DP = การทรานสปิเรชันของน้ำ (มิลลิเมตรต่อวัน)

$\Delta GMMC$ = ปริมาณความชื้นที่เปลี่ยนแปลงในวัสดุปลูก (มิลลิเมตรต่อสัปดาห์)

ดำเนินการปลูกกัญชาสายพันธุ์ เช่น พันธุ์ฝอยทอง และ กว. 5 ที่อายุต้นกล้า 1 เดือน ในกระถางแบบแอร์พอตที่มีเส้นผ่านศูนย์กลาง 30 เซนติเมตร ความสูงของกระถาง 40 เซนติเมตร และคิดเป็นพื้นที่ 0.071 ตารางเซนติเมตร จากนั้นบรรจุวัสดุปลูกที่มีส่วนผสมของ พีทมอส : เพอร์ไลท์ : เวอร์มิคูไลท์ ในอัตราส่วน 50 : 25 : 25 ลงในกระถาง และวางให้ต้นกล้ามีความสูงจากก้นกระถาง 32 เซนติเมตร แล้วให้น้ำตามกรรมวิธีหลังปลูกต้นกัญชาแล้ว 2 สัปดาห์ และเก็บเกี่ยวเมื่อต้นกัญชาออกดอก แล้วนำผลที่ได้ไปหาความสัมพันธ์การคายน้ำแท้จริงของกัญชา และปริมาณการให้น้ำที่แตกต่างกัน ต่อการเจริญเติบโตของต้นกัญชา

การบันทึกข้อมูล

- 1) วัดความชื้นในวัสดุปลูกทุกวัน (ปริมาณน้ำที่สะสมในวัสดุปลูก)
- 2.) บันทึกปริมาณน้ำที่ให้ และน้ำที่ระบายออกรายวัน
- 3) บันทึกข้อมูลสภาพอากาศ อุณหภูมิสูงสุด อุณหภูมิต่ำสุด ความชื้นสัมพัทธ์สูงสุด ความชื้นสัมพัทธ์ต่ำสุด ชั่วโมงแสง ความเร็วลม และปริมาณน้ำฝนที่ตกในพื้นที่ตลอดการปลูกจนกระทั่งกัญชาให้ผลผลิต
- 4) บันทึกข้อมูลการเจริญเติบโตรายสัปดาห์ เช่น ความสูง เส้นผ่านศูนย์กลางลำต้น ขนาดทรงพุ่ม

ระยะเวลา เริ่มต้น ตุลาคม 2564 สิ้นสุด กันยายน 2567

สถานที่ทำการทดลอง

1. อาคารปฏิบัติการ สำนักวิจัยพัฒนาเทคโนโลยีชีวภาพ
2. กลุ่มวิจัยปฐพีวิทยา กองวิจัยพัฒนาปัจจัยการผลิตทางการเกษตร

ผลการทดลองและวิจารณ์

1. สมบัติทางกายภาพบางประการของวัสดุปลูกกัญชา

จากผลการทดลอง พบว่า วัสดุปลูกตามกรรมวิธีต่าง ๆ มีความจุความชื้นสนาม (FC) ในช่วง 83.1 ถึง 84.0 เปอร์เซ็นต์ ความชื้นที่จุดเหี่ยวเฉาถาวร (PWP) ในช่วง 62.4 ถึง 65.3 เปอร์เซ็นต์ ความหนาแน่นรวม (BD) ในช่วง 0.14 ถึง 0.16 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร และการระบายน้ำ (Water drainage) ในช่วง 15.8 ถึง 16.9 เปอร์เซ็นต์ ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยพบว่าวัสดุผสมระหว่าง พีทมอส : เพอร์ไลต์ : เวอร์มิคูไลต์ (50 : 25 : 25) โดยน้ำหนักมีการระบายน้ำดีที่สุด ขณะที่ความสามารถในการอุ้มน้ำของวัสดุปลูก (WHC) วัสดุผสมระหว่างพีทมอส : เพอร์ไลต์ : เวอร์มิคูไลต์ (50 : 25 : 25) มีความสามารถในการอุ้มน้ำน้อยที่สุดเท่ากับ 17.8 เปอร์เซ็นต์ น้อยกว่าวัสดุผสมระหว่างพีทมอส : เพอร์ไลต์ : เวอร์มิคูไลต์ (70 : 15 : 15) เท่ากับ 19.9 เปอร์เซ็นต์ ตามด้วยพีทมอสเพียงอย่างเดียวเท่ากับ 21.4 เปอร์เซ็นต์ และวัสดุผสมระหว่าง พีทมอส : เพอร์ไลต์ : เวอร์มิคูไลต์ (60 : 20 : 20) เท่ากับ 21.6 เปอร์เซ็นต์ ทุกกรรมวิธีมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ดังแสดงใน ตารางที่ 1 เพราะฉะนั้นการศึกษาความต้องการน้ำของกัญชาในสภาพโรงเรือนได้เลือกใช้วัสดุปลูกในอัตราส่วนผสม พีทมอส : เพอร์ไลต์ : เวอร์มิคูไลต์ (50 : 25 : 25) โดยน้ำหนัก ที่มีการระบายน้ำของวัสดุปลูกดีที่สุด และความสามารถในการอุ้มน้ำของวัสดุปลูกน้อยที่สุด เพราะกัญชาเป็นพืชที่ชอบการระบายน้ำของวัสดุปลูกที่ดี สำหรับในการหายใจของรากเพื่อการเจริญเติบโตของกัญชาได้เป็นอย่างดี (กรมวิชาการเกษตร, 2564)

ขณะที่หนึ่งและคณะ (2564) พบว่า อัตราส่วนระหว่าง ขุยมะพร้าว เปลือกมะพร้าวสับ และกากหม้อกรอง 3 : 1 : 1 โดยปริมาตร ให้ผลผลิตกัญชาดีที่สุดแต่ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ เมื่อเปรียบเทียบกับวัสดุปลูกอัตราส่วนระหว่าง ขุยมะพร้าว เปลือกมะพร้าวสับ และแกลบดิบ 3 : 1 : 1 โดยปริมาตร และวัสดุปลูกอัตราส่วนระหว่าง ขุยมะพร้าว และเปลือกมะพร้าวสับ 3 : 1 โดยปริมาตร นอกจากนี้เมื่อมีส่วนผสมของแกลบดินทำให้วัสดุปลูกมีการระบายน้ำที่ดีขึ้น แต่อย่างไรก็ตามก็สามารถทำให้สูญเสียธาตุอาหารที่จำเป็นต่อกัญชาไปได้ง่ายเช่นกัน

ตารางที่ 1 สมบัติทางกายภาพของวัสดุปลูกที่ใช้ในการปลูกกล้วยา

อัตราส่วนของวัสดุปลูก (พีทมอส : เพอร์ไลท์ : เวอร์มิคูไลท์)	% FC ^{1/} (โดยน้ำหนัก)	% PWP ^{2/} (โดยน้ำหนัก)	% WHC ^{3/} (โดยน้ำหนัก)	BD ^{4/} (g cm ⁻³)	% การระบายน้ำ (โดยน้ำหนัก)
(100 : 0 : 0)	84.2 ± 0.3 ^{5/}	62.8 ± 0.6	21.4 ± 0.5a	0.15 ± 0.002	15.8 ± 0.3
(50 : 25 : 25)	83.1 ± 0.5	65.3 ± 0.8	17.8 ± 0.7b	0.16 ± 0.004	16.9 ± 0.5
(60 : 20 : 20)	84.0 ± 0.4	62.4 ± 0.7	21.6 ± 0.3a	0.14 ± 0.002	16.0 ± 0.4
(70 : 15 : 15)	83.9 ± 0.5	64.0 ± 1.7	19.9 ± 1.4ab	0.15 ± 0.002	16.1 ± 0.5
F-test (df error=16)	1.31	1.34	4.23*	2.33	1.35
% CV	1.10	3.93	9.33	4.27	5.70

หมายเหตุ: ^{1/} FC = ระดับความจุความชื้นสนาม ^{2/} PWP = ความชื้นที่จุดเหี่ยวเฉาถาวร ^{3/} WHC = ความสามารถในการอุ้มน้ำของวัสดุปลูก (FC-PWP). ^{4/} BD = ความหนาแน่นรวม ^{5/} * = ทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 99% โดยคำนวณจากวิธี LSD Means ± S.E (n = 5)

2. การคายน้ำแท้จริงของกล้วยา (ETc) และการให้น้ำที่แตกต่างกัน (I)

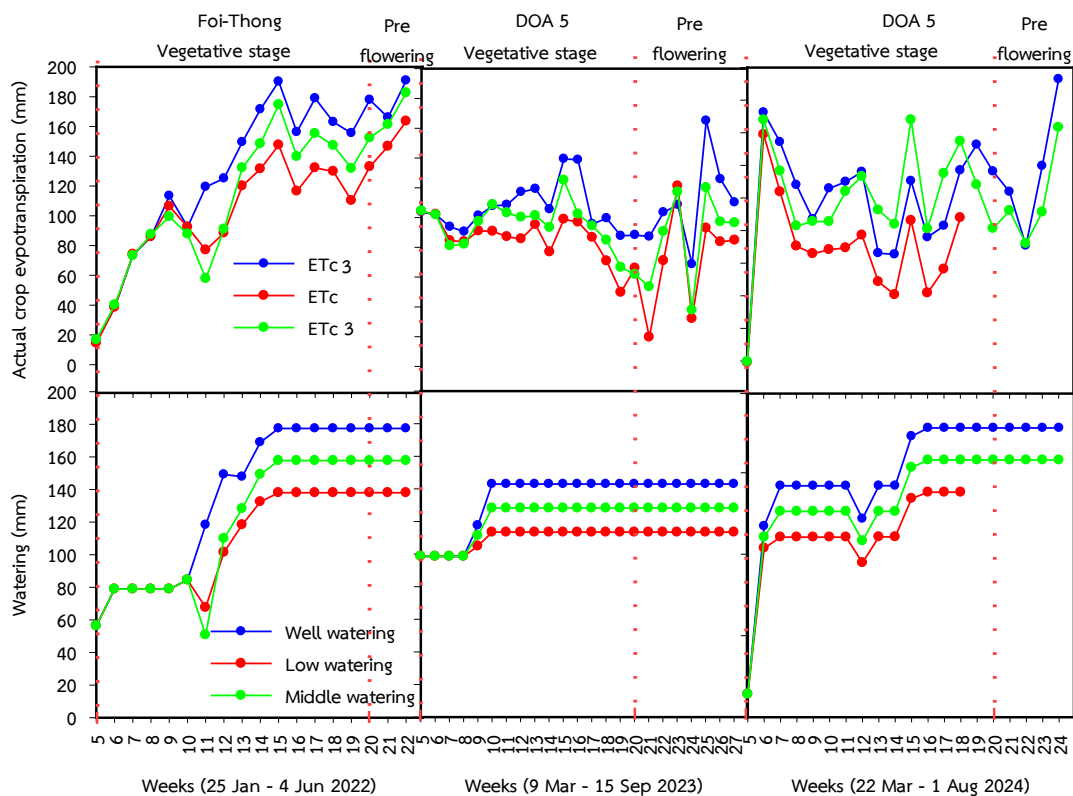
จากผลการทดลอง พบว่า การปลูกครั้งที่ 1 (วันที่ 25 มกราคม – 4 มิถุนายน 2565) ในสภาพโรงเรือน กล้วยาพันธุ์ฟลอยทอง ที่อายุต้นกล้า 1 เดือน แต่ละตำรับการทดลอง ที่ช่วงระยะการเจริญเติบโตทางลำต้นและใบ (Vegetative stage) มีการคายน้ำแท้จริงของกล้วยา (ETc) ตำรับการทดลองที่ 1 ที่มีความถี่และปริมาณน้ำมากที่สุดอยู่ในช่วง 15.2 ถึง 190.2 มิลลิเมตรต่อสัปดาห์ ที่มีค่าเฉลี่ย 125.4 ± 13.1 มิลลิเมตรต่อสัปดาห์ เมื่อมีการให้น้ำ (I) อยู่ในช่วง 56.3 ถึง 177.5 มิลลิเมตรต่อสัปดาห์ มีค่าเฉลี่ย 131.6 ± 11.9 มิลลิเมตรต่อสัปดาห์ ที่มีการเจริญเติบโตทางลำต้นและใบที่มีความสูงอยู่ในช่วง 13.4 ถึง 157.5 เซนติเมตร มีค่าเฉลี่ย 95.2 ± 28.7 เซนติเมตร รวมทั้งขนาดลำต้นอยู่ในช่วง 0.1 ถึง 1.9 เซนติเมตรต่อสัปดาห์ มีค่าเฉลี่ย 1.2 ± 0.3 เซนติเมตรต่อสัปดาห์ ตามด้วยระยะก่อนการเริ่มต้นออกดอกของกล้วยา (Pre flowering stage) มีค่าการคายน้ำของกล้วยาอยู่ในช่วง 166.1 ถึง 190.8 มิลลิเมตรต่อสัปดาห์ มีค่าเฉลี่ย 178.3 ± 7.2 มิลลิเมตรต่อสัปดาห์ เมื่อมีการให้น้ำเฉลี่ย 177.5 มิลลิเมตรต่อสัปดาห์ ส่งผลต่อการเจริญเติบโตของความสูงของกล้วยาอยู่ในช่วง 157.5 ถึง 161.8 เซนติเมตรต่อสัปดาห์ ที่มีค่าเฉลี่ย 159.7 ± 2.2 เซนติเมตรต่อสัปดาห์ รวมทั้งความกว้างของลำต้นอยู่ในช่วง 1.9 ถึง 2.0 เซนติเมตรต่อสัปดาห์ ค่าเฉลี่ย 1.9 ± 0.1 เซนติเมตรต่อสัปดาห์ ขณะที่ตำรับการทดลองที่ 2 ที่มีความถี่และปริมาณน้ำปานกลางในช่วงระยะการเจริญเติบโตทางลำต้น และใบมีการคายน้ำแท้จริงของกล้วยาอยู่ในช่วง 16.7 ถึง 174.6 มิลลิเมตรต่อสัปดาห์ มีค่าเฉลี่ย 108.4 ± 11.5 มิลลิเมตรต่อสัปดาห์ เมื่อมีการให้น้ำอยู่ในช่วง 50.7 ถึง 157.7 มิลลิเมตรต่อสัปดาห์ มีค่าเฉลี่ย 115.1 ± 10.4 มิลลิเมตรต่อสัปดาห์ ที่มีความสูงของต้นกล้วยาอยู่ในช่วง 13.4 ถึง 138.2 เซนติเมตรต่อสัปดาห์ มีค่าเฉลี่ย 80.9 ± 24.7 รวมทั้งความกว้างของลำต้นกล้วยาอยู่ในช่วง 0.1 ถึง 1.8 เซนติเมตรต่อสัปดาห์ ที่มีค่าเฉลี่ย 1.1 ± 0.3 เซนติเมตรต่อสัปดาห์ตามลำดับ ตามด้วยระยะก่อนการเริ่มต้นออกดอกของกล้วยามีค่าการคายน้ำของกล้วยาอยู่ในช่วง 152.3 ถึง 182.6 มิลลิเมตรต่อสัปดาห์ มีค่าเฉลี่ย 165.4 ± 9.0 มิลลิเมตรต่อสัปดาห์ เมื่อมีการให้น้ำเฉลี่ย 157.0 มิลลิเมตรต่อสัปดาห์ ส่งผลต่อการเจริญเติบโตของความสูงของกล้วยาอยู่ในช่วง 138.2 ถึง 147.3 เซนติเมตรต่อสัปดาห์ ที่มีค่าเฉลี่ย 142.8 ± 4.6 เซนติเมตรต่อสัปดาห์ รวมทั้งความกว้างของลำต้นอยู่ในช่วง 1.8 ถึง 2.0 เซนติเมตรต่อสัปดาห์ ค่าเฉลี่ย 1.9 ± 0.1 เซนติเมตรต่อสัปดาห์ตามลำดับ สำหรับตำรับการทดลองที่ 3 ที่มีความถี่และปริมาณน้ำน้อยที่สุดในช่วงระยะการเจริญเติบโตทางลำต้นและใบมีการคายน้ำแท้จริงของกล้วยา (ETc) อยู่ในช่วง 14.5 ถึง 147.6 มิลลิเมตรต่อสัปดาห์ มีค่าเฉลี่ย 99.9 ± 9.1 มิลลิเมตรต่อสัปดาห์ เมื่อมีการให้น้ำอยู่ในช่วง 56.3 ถึง 138.0 มิลลิเมตรต่อสัปดาห์ มีค่าเฉลี่ย 106.5 ± 7.7 มิลลิเมตรต่อสัปดาห์ ที่มีความสูงของต้นกล้วยาอยู่ในช่วง

13.4 ถึง 141.0 เซนติเมตรต่อสัปดาห์ มีค่าเฉลี่ย 85.9 ± 26.3 รวมทั้งความกว้างของลำต้นกัญชาอยู่ในช่วง 0.1 ถึง 1.6 เซนติเมตรต่อสัปดาห์ ที่มีค่าเฉลี่ย 1.1 ± 0.3 เซนติเมตรต่อสัปดาห์ตามลำดับ ตามด้วยระยะก่อนการเริ่มต้นออกดอกของกัญชามีค่าการคายน้ำของกัญชาอยู่ในช่วง 133.0 ถึง 163.6 มิลลิเมตรต่อสัปดาห์ มีค่าเฉลี่ย 147.7 ± 8.8 มิลลิเมตรต่อสัปดาห์ เมื่อมีการให้น้ำเฉลี่ย 138.0 มิลลิเมตรต่อสัปดาห์ ส่งผลต่อการเจริญเติบโตของ ความสูงของกัญชาอยู่ในช่วง 141.0 ถึง 141.3 เซนติเมตรต่อสัปดาห์ ที่มีค่าเฉลี่ย 141.2 ± 0.2 เซนติเมตรต่อสัปดาห์ รวมทั้งความกว้างของลำต้นอยู่ในช่วง 1.6 ถึง 1.8 เซนติเมตรต่อสัปดาห์ ค่าเฉลี่ย 1.7 ± 0.1 เซนติเมตรต่อสัปดาห์ตามลำดับ

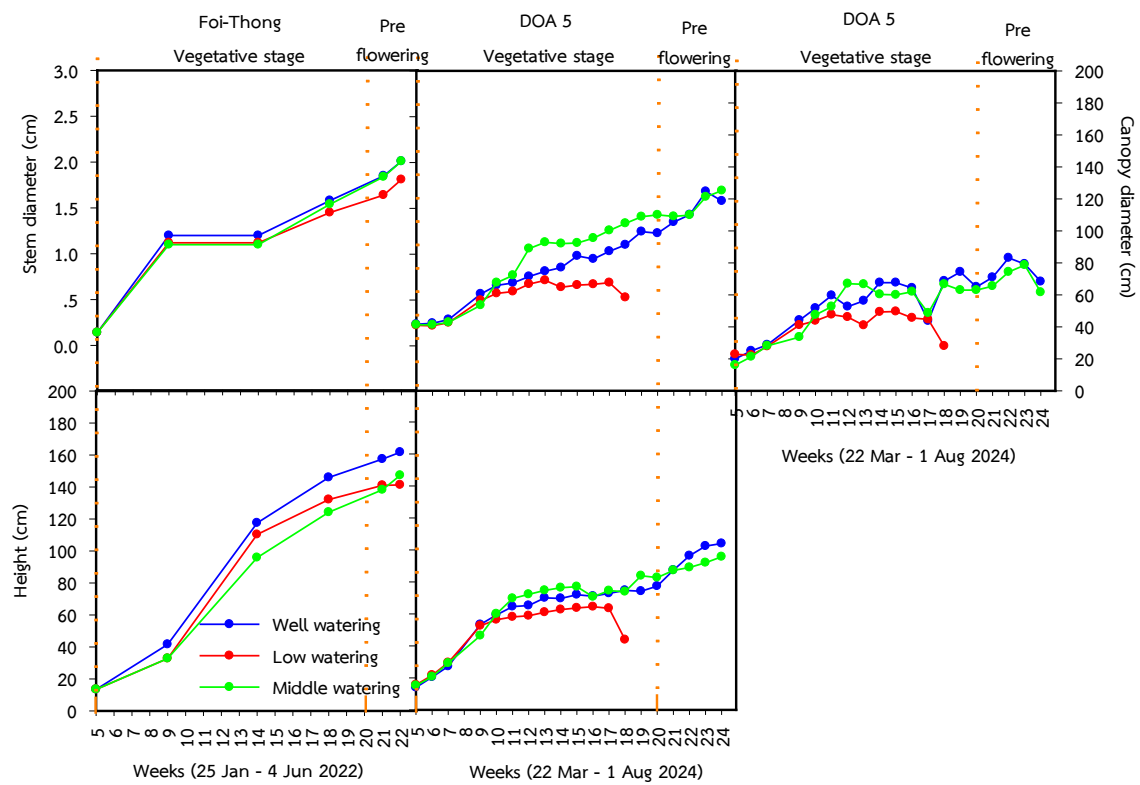
สำหรับการปลูกครั้งที่ 2 (วันที่ 9 มีนาคม 2566 – 15 กันยายน 2566) ในสภาพนอกโรงเรือน ใช้กัญชาพันธุ์ กวก.5 ที่อายุต้นกล้า 1 เดือน แต่ละตำรับการทดลอง ที่ช่วงระยะการเจริญเติบโตทางลำต้นและใบ มีการคายน้ำแท้จริงของกัญชาตำรับการทดลองที่ 1 ที่มีความถี่และปริมาณน้ำมากที่สุดอยู่ในช่วง 87.7 ถึง 139.4 มิลลิเมตรต่อสัปดาห์ ที่มีค่าเฉลี่ย 106.2 ± 3.9 มิลลิเมตรต่อสัปดาห์ เมื่อมีการให้น้ำอยู่ในช่วง 98.6 ถึง 143.0 มิลลิเมตรต่อสัปดาห์ มีค่าเฉลี่ย 130.3 ± 5.0 มิลลิเมตรต่อสัปดาห์ ตามด้วยระยะก่อนการเริ่มต้นออกดอกของกัญชามีค่าการคายน้ำของกัญชาอยู่ในช่วง 68.6 ถึง 165.1 มิลลิเมตรต่อสัปดาห์ มีค่าเฉลี่ย 107.1 ± 10.3 มิลลิเมตรต่อสัปดาห์ เมื่อมีการให้น้ำเฉลี่ย 143.0 มิลลิเมตรต่อสัปดาห์ ขณะที่ตำรับการทดลองที่ 2 ที่มีความถี่และปริมาณน้ำปานกลางในช่วงระยะการเจริญเติบโตทางลำต้นและใบมีการคายน้ำแท้จริงของกัญชาอยู่ในช่วง 61.8 ถึง 125.1 มิลลิเมตรต่อสัปดาห์ มีค่าเฉลี่ย 94.3 ± 4.0 มิลลิเมตรต่อสัปดาห์ เมื่อมีการให้น้ำอยู่ในช่วง 98.6 ถึง 128.2 มิลลิเมตรต่อสัปดาห์ มีค่าเฉลี่ย 119.7 ± 3.3 มิลลิเมตรต่อสัปดาห์ ตามด้วยระยะก่อนการเริ่มต้นออกดอกของกัญชามีค่าการคายน้ำของกัญชาอยู่ในช่วง 37.8 ถึง 120.1 มิลลิเมตรต่อสัปดาห์ มีค่าเฉลี่ย 84.3 ± 10.6 มิลลิเมตรต่อสัปดาห์ เมื่อมีการให้น้ำเฉลี่ย 128.2 มิลลิเมตรต่อสัปดาห์ตามลำดับ สำหรับตำรับการทดลองที่ 3 ที่มีความถี่และปริมาณน้ำน้อยที่สุดในช่วงระยะการเจริญเติบโตทางลำต้นและใบมีการคายน้ำแท้จริงของกัญชาอยู่ในช่วง 49.8 ถึง 104.2 มิลลิเมตรต่อสัปดาห์ มีค่าเฉลี่ย 85.7 ± 3.6 มิลลิเมตรต่อสัปดาห์ เมื่อมีการให้น้ำอยู่ในช่วง 98.6 ถึง 113.4 มิลลิเมตรต่อสัปดาห์ มีค่าเฉลี่ย 109.2 ± 1.7 มิลลิเมตรต่อสัปดาห์ตามลำดับ ตามด้วยระยะก่อนการเริ่มต้นออกดอกของกัญชามีค่าการคายน้ำของกัญชาอยู่ในช่วง 66.0 ถึง 121.2 มิลลิเมตรต่อสัปดาห์ มีค่าเฉลี่ย 71.4 ± 11.6 มิลลิเมตรต่อสัปดาห์ เมื่อมีการให้น้ำเฉลี่ย 113.4 มิลลิเมตรต่อสัปดาห์ตามลำดับ

สำหรับการปลูกครั้งที่ 3 (วันที่ 22 มีนาคม 2567 – 1 สิงหาคม 2567) ในสภาพนอกโรงเรือน ใช้กัญชาพันธุ์ กวก. 5 ที่อายุต้นกล้า 1 เดือน แต่ละตำรับการทดลอง ที่ช่วงระยะการเจริญเติบโตทางลำต้นและใบ มีการคายน้ำแท้จริงของกัญชาตำรับการทดลองที่ 1 ที่มีความถี่และปริมาณน้ำมากที่สุดอยู่ในช่วง 19.3 ถึง 136.3 มิลลิเมตรต่อสัปดาห์ ที่มีค่าเฉลี่ย 118.7 ± 9.0 มิลลิเมตรต่อสัปดาห์ เมื่อมีการให้น้ำอยู่ในช่วง 14.1 ถึง 177.5 มิลลิเมตรต่อสัปดาห์ มีค่าเฉลี่ย 144.2 ± 10.1 มิลลิเมตรต่อสัปดาห์ ที่มีการเจริญเติบโตทางลำต้นและใบที่มีความสูงอยู่ในช่วง 14.0 ถึง 77.3 เซนติเมตร มีค่าเฉลี่ย 59.0 ± 5.4 เซนติเมตร รวมทั้งขนาดลำต้นอยู่ในช่วง 0.2 ถึง 1.2 เซนติเมตรต่อสัปดาห์ มีค่าเฉลี่ย 0.8 ± 0.1 เซนติเมตรต่อสัปดาห์ ตลอดจนความกว้างทรงพุ่มอยู่ในช่วง 20.0 ถึง 74.3 เซนติเมตรต่อสัปดาห์ ที่มีค่าเฉลี่ย 52.6 ± 4.4 เซนติเมตรต่อสัปดาห์ ตามด้วยระยะก่อนการเริ่มต้นออกดอกของกัญชามีค่าการคายน้ำของกัญชาอยู่ในช่วง 90.8 ถึง 192.9 มิลลิเมตรต่อสัปดาห์ มีค่าเฉลี่ย 136.7 ± 16.5 มิลลิเมตรต่อสัปดาห์ เมื่อมีการให้น้ำเฉลี่ย 177.5 มิลลิเมตรต่อสัปดาห์ ส่งผลต่อการเจริญเติบโตของความสูงของกัญชาอยู่ในช่วง 77.3 ถึง 104.0 เซนติเมตรต่อสัปดาห์ ที่มีค่าเฉลี่ย 93.5 ± 5.0 เซนติเมตรต่อสัปดาห์ รวมทั้งความกว้างของลำต้นอยู่ในช่วง 1.2 ถึง 1.7 เซนติเมตรต่อสัปดาห์ ค่าเฉลี่ย 1.5 ± 0.1 เซนติเมตรต่อสัปดาห์ และความกว้างทรงพุ่มอยู่ในช่วง 65.0 ถึง

83.2 เซนติเมตรต่อสัปดาห์ ที่มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 73.4 ± 3.4 เซนติเมตรต่อสัปดาห์ตามลำดับ ขณะที่ทำการทดลองที่ 2 ที่มีความถี่และปริมาณน้ำปานกลางในช่วงระยะการเจริญเติบโตทางลำต้น และใบมีการคายน้ำแท้จริงของกัญชาอยู่ในช่วง 19.6 ถึง 168.0 มิลลิเมตรต่อสัปดาห์ มีค่าเฉลี่ย 118.7 ± 8.7 มิลลิเมตรต่อสัปดาห์ เมื่อมีการให้น้ำอยู่ในช่วง 14.1 ถึง 157.7 มิลลิเมตรต่อสัปดาห์ มีค่าเฉลี่ย 128.6 ± 8.8 มิลลิเมตรต่อสัปดาห์ ที่มีความสูงของต้นกัญชาอยู่ในช่วง 15.2 ถึง 83.8 เซนติเมตรต่อสัปดาห์ มีค่าเฉลี่ย 61.8 ± 5.9 รวมทั้งความกว้างของลำต้นกัญชาอยู่ในช่วง 0.2 ถึง 1.4 เซนติเมตรต่อสัปดาห์ ที่มีค่าเฉลี่ย 0.9 ± 0.1 เซนติเมตรต่อสัปดาห์ ตลอดจนความกว้างทรงพุ่มอยู่ในช่วง 16.1 ถึง 67.0 เซนติเมตร มีค่าเฉลี่ย 50.5 ± 4.5 เซนติเมตรตามลำดับ ตามด้วยระยะก่อนการเริ่มต้นออกดอกของกัญชามีค่าการคายน้ำของกัญชาอยู่ในช่วง 92.0 ถึง 163.3 มิลลิเมตรต่อสัปดาห์ มีค่าเฉลี่ย 116.1 ± 12.4 มิลลิเมตรต่อสัปดาห์ เมื่อมีการให้น้ำเฉลี่ย 157.0 มิลลิเมตรต่อสัปดาห์ ส่งผลต่อการเจริญเติบโตของความสูงของกัญชาอยู่ในช่วง 82.7 ถึง 95.7 เซนติเมตรต่อสัปดาห์ ที่มีค่าเฉลี่ย 89.3 ± 2.2 เซนติเมตรต่อสัปดาห์ รวมทั้งความกว้างของลำต้นอยู่ในช่วง 1.4 ถึง 1.7 เซนติเมตรต่อสัปดาห์ ค่าเฉลี่ย 1.5 ± 0.1 เซนติเมตรต่อสัปดาห์ และความกว้างทรงพุ่มอยู่ในช่วง 61.7 ถึง 78.7 เซนติเมตรต่อสัปดาห์ ที่มีค่าเฉลี่ย 68.6 ± 3.3 เซนติเมตรต่อสัปดาห์ ตามลำดับ สำหรับการทำการทดลองที่ 3 ที่มีความถี่และปริมาณน้ำน้อยที่สุดในช่วงระยะการเจริญเติบโตทางลำต้นและใบมีการคายน้ำแท้จริงของกัญชาอยู่ในช่วง 19.0 ถึง 158.9 มิลลิเมตรต่อสัปดาห์ ที่มีค่าเฉลี่ย 88.2 ± 8.7 มิลลิเมตรต่อสัปดาห์ เมื่อมีการให้น้ำอยู่ในช่วง 14.1 ถึง 138.0 มิลลิเมตรต่อสัปดาห์ มีค่าเฉลี่ย 109.6 ± 8.3 มิลลิเมตรต่อสัปดาห์ ที่มีการเจริญเติบโตทางลำต้นและใบที่มีความสูงอยู่ในช่วง 15.6 ถึง 64.5 เซนติเมตร มีค่าเฉลี่ย 50.1 ± 4.7 เซนติเมตร รวมทั้งขนาดลำต้นอยู่ในช่วง 0.2 ถึง 0.7 เซนติเมตรต่อสัปดาห์ มีค่าเฉลี่ย 0.5 ± 0.1 เซนติเมตรต่อสัปดาห์ ตลอดจนความกว้างทรงพุ่มอยู่ในช่วง 22.3 ถึง 49.7 เซนติเมตรต่อสัปดาห์ ที่มีค่าเฉลี่ย 39.2 ± 2.8 เซนติเมตรต่อสัปดาห์ตามลำดับ ดังภาพที่ 6 และภาพที่ 7



ภาพที่ 6 แสดงการคายน้ำแท้จริง (ETc) และการรดน้ำที่แตกต่างกัน (I) ของกัญชาพันธุ์ฝอยทองและกวก. 5



ภาพที่ 7 แสดงการเจริญเติบโตของกล้วยาพันธุ์ฟอยทองและกวก. 5

คำขอบคุณ

ขอขอบคุณทุนวิจัยสำนักงานคณะกรรมการส่งเสริมวิทยาศาสตร์ วิจัยและนวัตกรรม (สกว.) ที่ให้การสนับสนุนงบประมาณสำหรับการดำเนินการวิจัยในครั้งนี้ รวมทั้งกรมวิชาการเกษตรที่สนับสนุนสถานที่และเครื่องมือวิทยาศาสตร์ในการดำเนินการทดลองในครั้งนี้เป็นอย่างดี

การนำผลงานวิจัยไปใช้ประโยชน์

ได้ข้อมูลเบื้องต้นเพื่อประกอบเป็นคำแนะนำการจัดการน้ำสำหรับกัญชา และได้เทคโนโลยีการจัดการน้ำสำหรับการผลิตกัญชาในรูปแบบบทความวิจัยสำหรับเผยแพร่ในวารสาร ตลอดจนนำเสนอผลงานในระดับชาติให้กับนักวิชาการที่สนใจนำไปประยุกต์ใช้

เอกสารอ้างอิง

- กรมการแพทย์แผนไทยและการแพทย์ทางเลือก. 2565. การเพาะปลูกกัญชาทางการแพทย์. กรมการแพทย์แผนไทยและการแพทย์ทางเลือก กระทรวงสาธารณสุข. 9 หน้า.
- กรมวิชาการเกษตร. 2564. คู่มือเกษตรกรการผลิตพืชสกุลกัญชา (*Cannabis sativa* L.) เพื่อประโยชน์ทางการแพทย์และอุตสาหกรรม. กรมวิชาการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์. 152 หน้า.
- จักรพงษ์ เจริญศิริ. 2546. วิธีวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพของดิน. สำนักวิจัยพัฒนาปัจจัยการผลิตทางการเกษตร กรมวิชาการเกษตร. 72 หน้า.
- หนึ่ง เตียอำรุง นันทกร บุญเกิด และ พรรณลดา ติตตะบุตร. 2564. การผลิตและใช้ประโยชน์จากกัญชา. รายงานการวิจัยของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี. 71 หน้า.
- Allen, R. G., L. S. Pereira., D. Raes. and M. Smith. 1998. Guidelines for computing crop water requirement. FAO Irrigation and Drainage Paper. 300 pages.
- Amaducci, S., M. T. Amaducci., R. Benati, and G. Venturi. 2008. Crop yield and quality parameters of four annual fiber crops (hemp, kenaf, maize and sorghum) in the North of Italy. *Industrial Crops Production*. 11: 179-186.
- Clarke, R. C. and M. D. Merlin. 2016. Cannabis Domestication, Breeding History, Present-day Genetic Diversity, and Future Prospects. *Critical Reviews in Plant Sciences*. 35: (5-6). 293–327.
- Cosentino, S. L., E. Riggi, and G. Testa. 2013. Evaluation of European developed fiber hemp genotype (*Cannabis sativa* L.) in semi-arid Mediterranean environment. *Industrial Crop Production*. 50: 312-324.
- Gill, A. R., B. R. Loveys, and J. M. Cowley. 2022. Physiological and morphological responses of industrial hemp (*Cannabis sativa* L.) to water deficit. *Industrial Crop Production*. 187: 115-121.
- Tang, K., A. Fracasso, and P. C. Struik. 2018. Water and nitrogen use efficiency of hemp (*Cannabis sativa* L.) based on whole-canopy measurement and modeling. *Front Plant Science*. 9: 1-14.

การประเมินความต้องการธาตุอาหารและการจัดการปุ๋ยของมะขามหวานเพชรบูรณ์

Evaluation of Nutrient Requirements and Fertilizer Management for Phetchabun Sweet Tamarind

สายน้ำ อุดพัย¹ สมฤทัย ตันเจริญ¹ ภิญญาลักษณ์ รัตนวิระกุล¹ สโรชา ถึงสุข²
ชัชชนพร เกื้อหนู¹ วณิดา โนบรันทะ¹ นุชนาฏ ตันวรรณ¹

Sainam Uduay¹ Somrutai Tancharoen¹ Pinyaluk Ratanavirakul¹ Sarocha Thuengsuk²
Chattanaporn Kernoon¹ Wanida Nobuntou¹ Nutchanat Tanwan¹

กลุ่มวิจัยปฐพีวิทยา

กองวิจัยพัฒนาปัจจัยการผลิตทางการเกษตร

ABSTRACT

This experiment aimed to investigate soil fertility and plant nutrient status of ‘Si Thong’ and ‘Pra Kai Thong’ sweet tamarind with fertilizer management according to farmer’s methods. The sampling of soil and plants was collected from farmer’s orchards in Phetchabun province. The sampling of leaves, flowers and fruits was collected in four growth stages, i.e., shoot growth, flower development, fruit growth and fruit maturation stage. The macronutrients, secondary nutrients and micronutrients in each organ and soil properties were examined. The results showed that the soil for the growing of sweet tamarind is moderately to highly fertile. Leave and flower of two varieties had the highest nitrogen concentration in shoot growth and flower development phases. The concentration of potassium was highest in a pulp of the fruit. Regarding nutrient requirement of Si Thong sweet tamarind production, it requires at 5.83, 0.76, 6.61, 4.61, and 1.10 g/kg of nitrogen, phosphorus, potassium, calcium, and magnesium, respectively. The levels of iron, manganese, copper and zinc in microelements were required at 15.38, 14.31, 2.78 and 11.35 mg/kg, respectively. The N, P₂O₅ and K₂O removed by yield were 5.83 1.74 and 7.97 g/kg fruit production, or the fertilizer ratio was 3:1:5. While, nutrient requirement of Pra Kai Thong sweet tamarind production, it requires at 7.82, 1.32, 11.0, 1.32 and 0.60 g/kg of nitrogen, phosphorus, potassium, calcium, and magnesium, respectively. The levels of iron, manganese, copper and zinc in microelements were required at 11.27, 13.94, 6.50 and 8.78 mg/kg, respectively. The N, P₂O₅ and K₂O removed by yield were 7.82 3.02 and 13.25 g/kg fruit production, or the fertilizer ratio was 3:1:4.

Keywords: Nutrient concentration; Fertilizer ratio; Crop removal; Soil fertility

¹ กองวิจัยและพัฒนาปัจจัยการผลิตทางการเกษตร กรมวิชาการเกษตร กรุงเทพฯ 10900

¹ Agricultural Production Sciences Research and Development Division, Department of Agriculture, Bangkok 10900

² ศูนย์วิจัยและพัฒนาการเกษตรเพชรบูรณ์ กรมวิชาการเกษตร เพชรบูรณ์ 67000

² Phetchabun Agricultural Research and Development Center, Department of Agriculture, Phetchabun 67000

บทคัดย่อ

การศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อประเมินสถานะความอุดมสมบูรณ์ของดินและธาตุอาหารพืชในมะขามหวาน พันธุ์สีทองและพันธุ์ประกายทองที่มีการจัดการปุ๋ยตามวิธีการของเกษตรกร โดยเก็บตัวอย่างดิน และตัวอย่างพืช ตัวอย่างใบ ดอก และผล ทั้งสิ้น 4 ระยะ ได้แก่ ระยะการเจริญเติบโตทางลำต้นและใบ ระยะออกดอก ระยะพัฒนาผล และระยะเก็บเกี่ยว จากสวนจังหวัดเพชรบูรณ์ เพื่อวิเคราะห์หาสมบัติดิน ค่าความเข้มข้นและปริมาณธาตุอาหารหลัก ธาตุอาหารรอง และจุลธาตุอาหาร พบว่า ดินปลูกมะขามหวานมีความอุดมสมบูรณ์อยู่ในเกณฑ์ปานกลางถึงสูง ช่วงระยะการเจริญเติบโตทางลำต้นและพัฒนาดอก ใบและดอกของมะขามหวานพันธุ์สีทองมีความเข้มข้นของธาตุไนโตรเจนสูงที่สุด ขณะที่ส่วนของเนื้อจากผลในระยะการเก็บเกี่ยวมีความเข้มข้นของธาตุโพแทสเซียมสูงที่สุด สำหรับการสร้างผลมะขามหวานพันธุ์สีทอง 1 กิโลกรัม ต้องการธาตุไนโตรเจน ฟอสฟอรัส โพแทสเซียม แคลเซียม และแมกนีเซียม เท่ากับ 5.83 0.76 6.61 4.61 และ 1.10 กรัม ตามลำดับ และมีความต้องการเหล็ก แมงกานีส ทองแดง และสังกะสี เท่ากับ 15.38 14.31 2.78 และ 11.35 มิลลิกรัม ตามลำดับ ทั้งนี้คิดเป็นปริมาณธาตุอาหารหลักในรูปของปุ๋ยที่ต้องสูญเสียไปกับผลผลิต 1 กิโลกรัม เท่ากับ 5.83–1.74–7.97 กรัม $N-P_2O_5-K_2O$ หรือคิดเป็นเรโซปุ๋ย คือ 3:1:5 ส่วนการสร้างผลมะขามหวานพันธุ์ประกายทอง 1 กิโลกรัม ต้องการธาตุไนโตรเจน ฟอสฟอรัส โพแทสเซียม แคลเซียม และแมกนีเซียม เฉลี่ย 7.82 1.32 11.0 1.32 และ 0.60 กรัม ตามลำดับ และมีความต้องการธาตุเหล็ก แมงกานีส ทองแดง และสังกะสี เฉลี่ย 11.27 13.94 6.50 และ 8.78 มิลลิกรัม ตามลำดับ ทั้งนี้คิดเป็นปริมาณธาตุอาหารในรูปของปุ๋ยที่ต้องสูญเสียไปกับผลผลิต เฉลี่ย 7.82–3.02–13.25 กรัม $N-P_2O_5-K_2O$ หรือคิดเป็นเรโซปุ๋ย 3:1:4

คำสำคัญ: ความเข้มข้นของธาตุอาหารพืชในมะขาม; เรโซปุ๋ย; สูญเสียไปกับผลผลิต; ความอุดมสมบูรณ์ของดิน

บทนำ

มะขามหวาน (*Tamarindus indica* L.) เป็นไม้ผลเขตร้อน ที่มีทรงพุ่มขนาดใหญ่ จัดอยู่ในวงศ์ Fabaceae ในปี 2565 ประเทศไทยมีพื้นที่เพาะปลูกทั้งหมด 209,772 ไร่ ผลผลิตรวม 122,656 ตัน คิดเป็นผลผลิตเฉลี่ย 1,058 กิโลกรัมต่อไร่ มูลค่า 6,930 ล้านบาท แหล่งปลูกที่สำคัญ ได้แก่ จังหวัดเพชรบูรณ์ (96,265 ไร่) เลย (37,403 ไร่) อุดรดิตถ์ (14,365 ไร่) และชัยภูมิ (11,841 ไร่) ตามลำดับ (กรมส่งเสริมการเกษตร, 2566) มะขามจัดเป็นพืชที่มีสรรพคุณทางยาสมุนไพรที่เติบโตในแถบภาคพื้นเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ พันธุ์มะขามหวานมีอยู่มากมายหลายพันธุ์ในประเทศไทย ได้แก่ พันธุ์สีทอง พันธุ์ศรีชมภู พันธุ์ขันตี พันธุ์อินทผลัม และพันธุ์ประกายทอง (วันแข็ง และดวงฤดี, 2554) สำหรับพันธุ์ของมะขามหวาน สามารถแบ่งได้เป็น 3 กลุ่ม คือ กลุ่มที่ 1 พันธุ์เบา ซึ่งให้ผลผลิต ก่อนและเก็บเกี่ยวระหว่างเดือนธันวาคม–มกราคม ได้แก่ พันธุ์น้ำผึ้ง พันธุ์ศรีชมภูและพันธุ์ประกายทอง กลุ่มที่ 2 พันธุ์กลาง ซึ่งให้ผลผลิตช้ากว่าพันธุ์เบาประมาณ 7–15 วัน และเก็บเกี่ยวระหว่าง เดือนมกราคม–กุมภาพันธ์ ได้แก่ พันธุ์อินทผลัมและ พันธุ์ขันตี และกลุ่มที่ 3 พันธุ์หนัก ซึ่งให้ผลผลิตช้า มีระยะเจริญของผลนาน และเก็บเกี่ยวระหว่างเดือนกุมภาพันธ์ ได้แก่ พันธุ์สีทอง พันธุ์หมื่นจง และพันธุ์เพชรเกษตร (เทคโนโลยีชาวบ้านออนไลน์, 2561) มะขามหวานเป็นพืชทนแล้ง เริ่มให้ผลผลิต หลังจากปลูก 4 ปี และสามารถเก็บเกี่ยวผลผลิตได้ไม่ต่ำกว่า 30 ปี โดยนิยมใช้ระยะปลูก 6×6 8×8 หรือ 10×10 เมตร สำหรับระยะติดดอกถึงดอกบานใช้เวลาประมาณ 20 วัน ระยะดอกบานถึงฝักแก่ใช้เวลาประมาณ 8 เดือน ทั้งนี้มะขามหวาน อายุ 10 ปี สามารถให้ผลผลิตประมาณ 100 กิโลกรัมต่อต้น ผลผลิต 1 กิโลกรัม มีฝักประมาณ 30–45 ฝัก ซึ่งเก็บเกี่ยว

ตั้งแต่เดือนธันวาคม-กุมภาพันธ์ (ขึ้นอยู่กับพันธุ์และสภาพแวดล้อม) หลังจากเก็บผลผลิต (เดือนมีนาคม) มะขามหวานจะมี การพักตัวโดยผลัดใบ (ทิ้งใบแก่) และเริ่มแตกใบใหม่ พร้อมออกดอกติดฝักในฤดูกาลถัดไป ซึ่งจำเป็นจะต้องมีการตัดแต่งกิ่ง (มีนาคม-เมษายน) และพรวนดินรอบทรงพุ่ม

สภาพภูมิอากาศที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตมะขามหวาน ต้องการปริมาณน้ำฝนเฉลี่ย 1,200-1,800 มิลลิเมตรต่อปี สมบัติของดินที่เหมาะสมสำหรับการปลูกมะขามหวานเจริญเติบโตได้ดีในดินร่วนปนทราย มีการระบายน้ำและถ่ายเทอากาศดี มีความอุดมสมบูรณ์สูง ดินมีความเป็นกรดจัดถึงกลาง (pH 5.5-6.8) (สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ, 2557) ทั้งนี้ใบและผลของมะขามหวานสามารถรับประทานได้อีกด้วย โดยเนื้อมะขาม 100 กรัม จะมีธาตุอาหารพืชเป็นองค์ประกอบ ดังนี้ โพแทสเซียม (62-570 มิลลิกรัม) แคลเซียม (81-466 มิลลิกรัม) โซเดียม (24-29 มิลลิกรัม) ฟอสฟอรัส (86-190 มิลลิกรัม) แมกนีเซียม (26-30 มิลลิกรัม) เหล็ก (1.3-11 มิลลิกรัม) ทองแดง (0.8-1.2 มิลลิกรัม) และสังกะสี (0.8-0.9 มิลลิกรัม) (Roa *et al.*, 1999) ส่วนใบมะขามเป็นแหล่งแทนนิน วิตามินซี และเบต้าแคโรทีน และมีแร่ธาตุสูง โดยเฉพาะโพแทสเซียม ฟอสฟอรัส แคลเซียม และแมกนีเซียม (Sadiq *et al.*, 2016) ไม้ผลมีความต้องการธาตุอาหารที่แตกต่างกันในแต่ละช่วงของการพัฒนาและเจริญเติบโต โดยระยะการสร้างใบมีความต้องการไนโตรเจนสูง ระยะสร้างดอกต้องได้รับฟอสฟอรัสสูง ระยะติดผลช่วงแรกต้องให้ไนโตรเจนเพื่อสร้างผลอ่อน และระยะต่อมาต้องให้โพแทสเซียมเพื่อเพิ่มคุณภาพของผลผลิต (มุกดา, 2547) กรมส่งเสริมการเกษตร (2556) แนะนำการใส่ปุ๋ยมะขามหวานที่ให้ผลผลิตแล้ว ดังนี้ 1) ระยะบำรุงต้น ใช้ปุ๋ยเคมีสูตร 15-15-15 หรือ 16-16-16 2) ระยะสร้างตาดอก ใช้ปุ๋ยเคมีสูตร 12-24-12 หรือ 8-24-24 3) ระยะบำรุงผล ใช้ปุ๋ยเคมีสูตร 15-15-15 และ 4) ระยะปรับปรุงคุณภาพผลผลิต ใช้ปุ๋ยเคมีสูตร 13-13-21 โดยใส่ประมาณครั้งละ 2-3 กิโลกรัมต่อต้น สำหรับอายุต้น 8-10 ปี

ปัจจุบันปริมาณผลผลิตมะขามหวานยังไม่เพียงพอกับความต้องการบริโภคภายในประเทศ ผลผลิตมีคุณภาพต่ำ เกษตรกรผู้ปลูกมะขามหวานมักใส่ปุ๋ย 15-15-15 เพียงอย่างเดียวตลอดการปลูก หรืออาจใส่ร่วมกับปุ๋ย 8-24-24 ในอัตราสูง (เทคโนโลยีชาวบ้านออนไลน์, 2561) โดยไม่ได้พิจารณาถึงปริมาณธาตุอาหารที่มีอยู่ในดิน จึงอาจทำให้เกิดการสะสมธาตุฟอสฟอรัส และโพแทสเซียมในดินปริมาณสูงได้ อาจส่งผลต่อการดูดใช้ธาตุอาหารบางตัวในดิน เช่น ระดับธาตุฟอสฟอรัสที่มีอยู่สูง ในดินหรือการใส่ปุ๋ยฟอสฟอรัสอัตราสูงอาจทำให้พืชขาดธาตุสังกะสี (Gianquinto *et al.*, 2000) การขาดธาตุแมกนีเซียม เนื่องจากการใส่ปุ๋ยโพแทสเซียมมากเกินไป ทำให้ดินมีธาตุโพแทสเซียมมากกว่า 600 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ซึ่งสูงกว่าความเข้มข้น ของดินที่เหมาะสม (240-300 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม) (Xie *et al.*, 2021) ต้นทุนการผลิตที่เพิ่มขึ้น และคุณภาพผลผลิตที่ลดลงได้ รวมทั้งยังขาดข้อมูลปริมาณธาตุอาหารและค่าความเข้มข้นมาตรฐานของธาตุอาหารจากใบเพื่อใช้เป็นแนวทางในการจัดการปุ๋ยกับมะขามหวานที่เฉพาะเจาะจงอีกด้วย การปลูกมะขามหวานในประเทศอินเดีย นิยมใส่ปุ๋ยอินทรีย์เพียงอย่างเดียว อัตรา 5 กิโลกรัมต่อต้น (เดือนมีนาคม-เมษายน) และได้ทดลองศึกษาการตอบสนองของมะขาม การใส่ปุ๋ยสูตร 46-0-0 อัตรา 25 กรัมต่อต้น และ ปุ๋ยสูตร 0-46-0 อัตรา 25 กรัมต่อต้น แต่ผลที่ได้มีการตอบสนองต่ออัตราปุ๋ยต่ำ ส่วนประเทศฟิลิปปินส์มีการแนะนำให้ใส่ปุ๋ยสูตร 21-0-0 อัตรา 100-200 กรัมต่อต้น (El-Sidding *et al.*, 2006) สำหรับผู้ปลูกมะขามหวานในประเทศไทย ส่วนใหญ่นิยมใส่ปุ๋ยสูตร 46-0-0 อัตรา 100-200 กรัมต่อต้น ทั้งนี้จังหวัดเพชรบูรณ์เป็นพื้นที่ที่มีการปลูกมะขามหวานที่สำคัญของประเทศไทย

อย่างไรก็ตามมะขามหวานยังคงเป็นพืชที่ไม่มีผู้ใดทำการศึกษาสถานะธาตุอาหารพืชอย่างแท้จริง ทำให้ยังไม่สามารถจัดการปุ๋ยได้อย่างเหมาะสม และปัจจุบันยังไม่มีคำแนะนำการจัดการปุ๋ยตามความต้องการของมะขามหวาน การประเมินปริมาณธาตุอาหารในใบ ดอก และผลสดน่าจะเป็นข้อมูลสนับสนุนถึงปริมาณธาตุอาหารที่ต้นมะขามต้องการในแต่ละระยะการเจริญเติบโต รวมถึงการชดเชยปริมาณธาตุอาหารที่สูญเสียไป และการวิเคราะห์ดิน (นันทลี และคณะ, 2561) ดังนั้นงานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาสถานะของธาตุอาหารในดินและ

พืชในแต่ละระยะการเจริญเติบโตและปริมาณธาตุอาหารที่สูญเสียไปกับผลผลิตของมะขามหวานพันธุ์สีทองและพันธุ์ประกายทอง สำหรับใช้เป็นข้อมูล กำหนดการจัดการธาตุอาหารของมะขามหวานในจังหวัดเพชรบูรณ์ต่อไป

อุปกรณ์และวิธีการ

อุปกรณ์

1. ต้นมะขามหวานที่ให้ผลผลิตแล้ว จำนวน 10 ต้นต่อพันธุ์ ได้แก่ พันธุ์สีทอง และพันธุ์ประกายทอง
2. เครื่องมือ และอุปกรณ์ในการเก็บตัวอย่างดินและพืช
3. สารเคมี สำหรับวิเคราะห์ตัวอย่างดินและพืชในห้องปฏิบัติการ
4. เครื่องมือวิทยาศาสตร์ และวัสดุวิทยาศาสตร์สำหรับวิเคราะห์ตัวอย่างดินและพืชในห้องปฏิบัติการ

พื้นที่ศึกษา

สวนมะขามหวาน พันธุ์สีทอง

ที่ตั้งตำบลตะเภา อำเภอมะนัง จังหวัด เพชรบูรณ์ จำนวน 1 สวน พิกัดแปลง ละติจูด 16°21'50.5" เหนือ ลองจิจูด 101°15'41.3" ตะวันออก ความสูงจากระดับทะเลปานกลาง 171 เมตร และเลือกต้นมะขามที่ให้ผลผลิตแล้ว จำนวน 10 ต้น โดยคัดเลือกต้นมะขามหวานพันธุ์สีทองที่มีความอุดมสมบูรณ์ อายุใกล้เคียงกัน ประมาณ 6 ปี และได้รับการปฏิบัติดูแลเหมือนกัน

สำหรับการจัดการปุ๋ยของเกษตรกร มีดังนี้ ระยะบำรุงต้น ใส่มูลวัว 5 กิโลกรัมต่อต้น ส่วนปุ๋ยเคมีทางดิน ได้แก่ ปุ๋ย 46-0-0 (ยูเรีย) อัตรา 0.8 กิโลกรัมต่อต้น ปุ๋ย 18-46-0 (ไดแอมโมเนียมฟอสเฟต) อัตรา 0.6 กิโลกรัมต่อต้น และปุ๋ย 0-0-60 (โพแทสเซียมคลอไรด์) อัตรา 0.8 กิโลกรัมต่อต้น เพียงครั้งเดียว (ช่วงเดือน มิถุนายน) ในขณะที่ดินมีความชื้นเพียงพอต่อการละลายของปุ๋ย ซึ่งคิดเป็นปริมาณธาตุอาหารหลัก เท่ากับ 418-276-480 กรัม N-P₂O₅-K₂O ต่อต้นต่อปี ร่วมกับการให้ปุ๋ยแคลเซียมโบรอนทางใบ อัตรา 20 ซีซี/น้ำ 20 ลิตร

สวนมะขามหวาน พันธุ์ประกายทอง

ที่ตั้งตำบลปากช่อง อำเภอหล่มสัก จังหวัดเพชรบูรณ์ จำนวน 1 สวน พิกัดแปลง พิกัดแปลง ละติจูด 16°41'52.4" เหนือ ลองจิจูด 101°16'31.6" ตะวันออก ความสูงจากระดับทะเลปานกลาง 153 เมตร ทำการคัดเลือกต้นมะขามหวานพันธุ์ประกายทองที่ให้ผลผลิตแล้ว จำนวน 10 ต้น อายุต้นประมาณ 8-10 ปี

สำหรับการจัดการปุ๋ยของเกษตรกร มีดังนี้ ระยะบำรุงต้น ใส่ปุ๋ยมูลแพะ อัตรา 3 กิโลกรัมต่อต้นต่อปี ส่วนปุ๋ยเคมีทางดิน ใส่ปุ๋ยสูตร 15-15-15 อัตรา 1.5 กิโลกรัมต่อต้น ในขณะที่ดินมีความชื้นเพียงพอต่อการละลายปุ๋ย ซึ่งคิดเป็นปริมาณธาตุอาหารหลัก เท่ากับ 225-255-255 กรัม N-P₂O₅-K₂O ต่อต้นต่อปี

การเก็บตัวอย่างดินและการวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพและเคมี

เก็บตัวอย่างดินใต้ทรงพุ่มของต้นมะขามหวาน หลังเก็บเกี่ยวมะขามหวานแล้ว รายต้น ต้นละ 4 จุด (4 ทิศ) ห่างจากชายพุ่มประมาณ 50 เซนติเมตร แล้วนำมาผสมกันเป็นตัวอย่างรวม (composite sample) น้ำหนักประมาณ 1 กิโลกรัม (กรมวิชาการเกษตร, 2553) โดยแยกเก็บที่ระดับความลึก 0-15 และ 15-30 เซนติเมตร นำตัวอย่างดินมาตากให้แห้งในที่ร่ม (กรมวิชาการเกษตร, 2548) แยกเศษซากพืช บดตัวอย่างดิน และร่อนผ่านตะแกรง 0.5 มิลลิเมตร และ 2 มิลลิเมตร ตามลำดับ แล้วนำไปวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพและเคมี ได้แก่ เนื้อดิน โดยวิธี Hydrometer (Bouyoucos, 1962) พีเอชดิน อัตราส่วนดินต่อน้ำ เท่ากับ 1:1 (Davis, 1943) ค่าการนำไฟฟ้าของดิน อัตราส่วนดินต่อน้ำ เท่ากับ 1:5 แล้ววัดด้วยเครื่อง electrical conductivity meter (Rayment and Higginson, 1992) อินทรีย์วัตถุ โดยวิธีของ Walkley and Black titration (Walkley

and Black, 1934) ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ โดยสกัดดินด้วยน้ำยาสกัด Bray II แล้ววัดค่าดูดกลืนแสงด้วยเครื่อง spectrophotometer (Bray and Kurtz, 1945) โพแทสเซียม แคลเซียมและแมกนีเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ โดยสกัดดินด้วย 1N Ammonium acetate (pH 7.0) แล้ววัดด้วยเครื่อง atomic absorption spectrophotometer (Pratt, 1965) ปริมาณเหล็ก แมงกานีส สังกะสี และทองแดงที่สกัดได้ในดิน โดยสกัดด้วย DTPA แล้ววัดด้วยเครื่อง atomic absorption spectrophotometer (Lindsay and Norvell, 1978)

การเก็บตัวอย่างพืชและการวิเคราะห์ปริมาณธาตุอาหารพืช

เก็บตัวอย่างมะขามหวานแบบแยกส่วน ได้แก่ ใบ ดอก และผล ในแต่ละระยะการเจริญเติบโต ดังนี้ 1) ระยะการเจริญทางด้านลำต้นและใบ (shoot growth stage) ทำการสุ่มเก็บตัวอย่างใบอ่อน 2) ระยะออกดอก (flower development stage) ทำการสุ่มเก็บตัวอย่างดอก 3) ระยะพัฒนาผล (fruit growth stage) ทำการสุ่มเก็บตัวอย่างใบและผล และ 4) ระยะเก็บเกี่ยว (fruit maturation stage) ทำการสุ่มเก็บตัวอย่างผลแก่

จากนั้นนำตัวอย่างพืชล้างด้วยน้ำสะอาด 3-4 ครั้ง และล้างด้วยน้ำกลั่นอย่างน้อย 2 ครั้ง ผึ่งหรือซับน้ำให้แห้ง ทำการแยกตัวอย่างฝักมะขามหวานออกเป็น 4 ส่วน ได้แก่ เปลือก เมล็ด เนื้อ และรก

ก่อนนำไปใส่ถุงกระดาษ โดย เปลือก เมล็ด และรก อบตัวอย่างให้แห้งที่อุณหภูมิ 65-70 °C เป็นเวลา 48 ชั่วโมง หรือจนกระทั่งน้ำหนักคงที่ ส่วนเนื้อ อบแห้งแบบเยือกแข็ง (Freeze drying) ที่อุณหภูมิ -80 °C จนกระทั่งน้ำหนักคงที่ ชั่งน้ำหนักแห้ง เพื่อบำบัดเพอร์เซ็นต์ความชื้นและน้ำหนักแห้ง บดตัวอย่างให้ละเอียด นำไปวิเคราะห์ความเข้มข้นของธาตุอาหารในเนื้อเยื่อพืชในส่วนต่าง ๆ ได้แก่ ไนโตรเจนทั้งหมด ทำการย่อยตัวอย่างด้วยกรด H_2SO_4 เข้มข้น และกลั่นโดยวิธี Kjeldahl method (Bremner, 1960) ฟอสฟอรัสทั้งหมดย่อยตัวอย่างด้วยกรด HNO_3-HClO_4 อัตรา 2:1 โดยปริมาตร แล้ววัดปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมดด้วยวิธี Vanado-molybdate yellow color โพแทสเซียม แคลเซียม แมกนีเซียม เหล็ก แมงกานีส ทองแดง และสังกะสีทั้งหมด ทำการย่อยตัวอย่างเช่นเดียวกับฟอสฟอรัสทั้งหมด วิเคราะห์โดยใช้เครื่อง atomic absorption spectrophotometer (กรมวิชาการเกษตร, 2544) และนำผลวิเคราะห์ที่ได้มาคำนวณเป็นปริมาณธาตุอาหารใน ใบ ดอก และผล เพื่อประเมินความต้องการธาตุอาหารของมะขามหวานพันธุ์สีทองและพันธุ์ประกายทองในแต่ละระยะการเจริญเติบโต

ระยะเวลา เริ่มต้น ตุลาคม 2564 สิ้นสุด กันยายน 2567

สถานที่ทำการทดลอง

1. สวนมะขามหวานของเกษตรกร จังหวัดเพชรบูรณ์
2. กลุ่มวิจัยปฐพีวิทยา กองวิจัยพัฒนาปัจจัยการผลิตทางการเกษตร

ผลการทดลองและวิจารณ์

สมบัติทางกายภาพและเคมีดิน

มะขามหวาน พันธุ์สีทอง

เนื้อดินบนเป็นดินร่วนถึงดินร่วนเหนียวปนทราย ดินล่างเป็นดินร่วนเหนียวถึงดินร่วนเหนียวปนทราย ดินเป็นกรดจัดมาก ถึงปานกลาง และไม่จัดเป็นดินเค็ม เนื่องจากมีค่า EC ไม่เกิน 0.41 เดซิซีเมนส์ต่อเมตร (Patterson, 2001) ปริมาณอินทรีย์วัตถุและฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์อยู่ในระดับต่ำถึงปานกลาง ปริมาณโพแทสเซียม แคลเซียม แมกนีเซียม เหล็ก และแมงกานีสที่สกัดได้อยู่ในระดับปานกลางถึงสูง ส่วนสังกะสีและทองแดงที่สกัดได้อยู่ในระดับปานกลาง (Table 1) จากการประเมินระดับความอุดมสมบูรณ์ของดินในพื้นที่ปลูกมะขามหวานพันธุ์ประกายทองตัดแปลงจากกองสำรวจดิน, 2523 พบว่า ดินมีความอุดมสมบูรณ์อยู่ในเกณฑ์สูง

มะขามหวาน พันธุ์ประกายทอง

เนื้อดินเป็นดินร่วนเหนียวปนทรายถึงดินร่วนปนทราย ดินเป็นกรดจัดถึงกลาง และดินไม่มีความเค็ม มีปริมาณอินทรีย์วัตถุ ฟอสฟอรัส และแมกนีเซียมที่เป็นประโยชน์อยู่ในระดับปานกลาง ปริมาณโพแทสเซียม แคลเซียมที่เป็นประโยชน์ เหล็ก และแมงกานีสที่สกัดได้อยู่ในระดับค่อนข้างสูง ส่วนปริมาณสังกะสี และทองแดงที่สกัดได้อยู่ในช่วงที่เหมาะสมสำหรับการปลูกมะขามหวาน (Table 1) จากการประเมินระดับความอุดมสมบูรณ์ของดินในพื้นที่ปลูกมะขามหวานพันธุ์ประกายทองตัดแปลงจากกองสำรวจดิน, 2523 พบว่า ดินมีความอุดมสมบูรณ์อยู่ในเกณฑ์ปานกลาง

Table 1 Soil properties in tamarind orchard in Phetchabun province after the harvesting of Si Thong and Pra Kai Thong varieties

Items	Si Thong		Pra Kai Thong		Optimal range ^{1/}
	0-15 (cm)	15-30 (cm)	0-15 (cm)	15-30 (cm)	
pH (1:1)	5.9–6.8	4.9–6.7	5.4-7.1	5.2-7.1	5.5–6.5
EC (1:5) (dS/m)	0.02–0.05	0.01–0.07	0.03-0.09	0.02-0.09	Non-saline
OM (%) (Walkley and Black)	2.7–4.2	1.7–2.4	1.5-6.2	0.6-2.5	2–4
Available P (mg/kg) (Bray II)	3–27	2–8	6-89	5-40	10–25
Extractable K (mg/kg) (NH ₄ OAc pH7)	34–257	28–210	109-310	58-252	51–100
Extractable Ca (mg/kg) (NH ₄ OAc pH7)	2,108–2,862	1,562–3,325	676-1,733	571-1,603	400–1,000
Extractable Mg (mg/kg) (NH ₄ OAc pH7)	241–372	165–481	143-446	113-231	120–360
DTPA Extractable Fe (mg/kg)	8–22	15–58	9.0-35.9	9.8-48.9	2.5–5
DTPA Extractable Mn (mg/kg)	31–64	32–69	28.1-71.8	28.6-72.4	1–2
DTPA Extractable Zn (mg/kg)	1.5–2.8	0.5–0.9	0.9-1.9	0.7-2.0	0.5–2
DTPA Extractable Cu (mg/kg)	1.1–2.1	1.3–2.3	1.3-2.1	1.2-3.2	0.12–2.5
Textural Classes (Hydrometer)	sandy clay loam, clay loam, loam	sandy clay loam, clay loam	sandy clay loam, sandy loam	sandy clay loam, sandy loam	

^{1/} Soil fertility and fertilizer research group for horticultural and perennial plants (2002)

ความเข้มข้นธาตุอาหารพืช

มะขามหวาน พันธุ์สีทอง

ความเข้มข้นของธาตุอาหารในใบมะขามที่ระยะการเจริญเติบโตทางลำต้น พบว่า ใบมีความเข้มข้นของธาตุไนโตรเจนสูงที่สุด เท่ากับ 1.86% รองลงมาคือ โพแทสเซียมเท่ากับ 1.24% แคลเซียมเท่ากับ 1.00% แมกนีเซียมเท่ากับ 0.48% และฟอสฟอรัสเท่ากับ 0.23% ส่วนจุลธาตุอาหาร พบว่า สามารถเรียงลำดับความเข้มข้นจากมากไปหาน้อยได้ดังนี้ เหล็กเท่ากับ 41.4 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม แมงกานีสเท่ากับ 27.3 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม สังกะสีเท่ากับ 17.9 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม และทองแดงเท่ากับ 9.3 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัย Gomathinayagam *et al.* (2017) ที่รายงานว่า ใบมะขามมีความเข้มข้นของไนโตรเจนสูงที่สุด เท่ากับ 2.24% รองลงมาเป็น โพแทสเซียมเท่ากับ 0.65% ฟอสฟอรัสเท่ากับ 0.20% แคลเซียมเท่ากับ 0.18% และแมกนีเซียมเท่ากับ 0.35% ขณะที่ความเข้มข้นของจุลธาตุอาหารในใบมะขามที่พบมีดังนี้ เหล็กเท่ากับ 228.69 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม แมงกานีสเท่ากับ 19.64 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม สังกะสีเท่ากับ 32.87 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม และทองแดงเท่ากับ 3.59 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ตามลำดับ และใกล้เคียงกับการศึกษาของ El-Siddig *et al.* (2006) ซึ่งรายงานว่าใบมะขามอุดมไปด้วย ฟอสฟอรัส โพแทสเซียม แคลเซียม และแมกนีเซียม โดยมีปริมาณแมกนีเซียมสูงระหว่าง 0.15–0.34% (Esther *et al.*, 2020) (Table 2)

สำหรับระยะออกดอก พบว่า ส่วนของดอกมะขามหวาน มีความเข้มข้นของธาตุอาหารพืชใกล้เคียงกับส่วนของใบอ่อน โดยมีความเข้มข้นของไนโตรเจนสูงที่สุด เท่ากับ 1.89% รองลงมาเป็น โพแทสเซียม แคลเซียม ฟอสฟอรัส และแมกนีเซียม เท่ากับ 1.39 0.43 0.25 และ 0.22% ตามลำดับ และเหล็ก สังกะสี แมงกานีสและทองแดง เท่ากับ 59.7 18.1 14.6 และ 13.6 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ตามลำดับ (Table 2)

ส่วนที่ระยะเก็บเกี่ยวผลผลิต พบว่า ส่วนของเมล็ดมีความเข้มข้นของ N สูงที่สุด เมื่อเทียบกับในส่วนของเปลือก รก และเนื้อมะขาม โดยมีค่าเฉลี่ยของไนโตรเจนในเมล็ด เท่ากับ 1.66% ในขณะที่ส่วนของใบแก่ มีไนโตรเจนเฉลี่ยเท่ากับ 1.33% รองลงมาเป็นแคลเซียมเท่ากับ 0.58% แมกนีเซียมเท่ากับ 0.58% โพแทสเซียมเท่ากับ 0.50% และฟอสฟอรัสเท่ากับ 0.12% ตามลำดับ และความเข้มข้นของจุลธาตุอาหาร ได้แก่ เหล็กเท่ากับ 119.4 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม แมงกานีสเท่ากับ 48.8 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม สังกะสีเท่ากับ 33.9 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม และทองแดงเท่ากับ 3.6 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ส่วนของเนื้อมะขามมีความเข้มข้นของโพแทสเซียมสูงที่สุด เฉลี่ยเท่ากับ 1.42% รองลงมาเป็นไนโตรเจนเท่ากับ 0.51% แคลเซียมเท่ากับ 0.14% แมกนีเซียมเท่ากับ 0.20% และฟอสฟอรัสเท่ากับ 0.11% และจุลธาตุอาหารมีความเข้มข้นดังนี้ เหล็กเท่ากับ 14.2 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม แมงกานีสเท่ากับ 22.8 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม สังกะสีเท่ากับ 10.1 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม และทองแดงเท่ากับ 1.9 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ตามลำดับ (Table 2) ทั้งนี้ผลการวิเคราะห์ปริมาณธาตุอาหารในใบแก่และผลของมะขามหวานในระยะเก็บเกี่ยวเป็นไปในทิศทางเดียวกันกับงานทดลองของ Esther *et al.* (2020) ซึ่งรายงานว่าใบมะขามมีระดับของธาตุแคลเซียมและแมกนีเซียมสูงกว่าส่วนของเนื้อมะขาม ผลจากการวิเคราะห์ปริมาณธาตุอาหารในส่วนต่าง ๆ ของมะขามหวานสรุปได้ดังนี้ ปริมาณธาตุอาหารในใบของมะขามหวานที่ระยะแตกใบอ่อน และใบและดอกของมะขามหวานที่ระยะออกดอก มีความเข้มข้นของไนโตรเจนมากที่สุด รองลงมาเป็นโพแทสเซียม แต่เมื่อเข้าสู่ระยะเก็บเกี่ยว พบว่าผลของมะขามหวานโดยเฉพาะส่วนของเนื้อมีความเข้มข้นของโพแทสเซียมมากที่สุด เนื่องจากโพแทสเซียมเป็นธาตุที่มีผลต่อคุณภาพผลผลิตของมะขาม เพราะช่วยในการสร้างและเคลื่อนย้ายแป้งและน้ำตาลภายในพืชนั่นเอง (คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา, 2548) ส่วนธาตุที่พบในปริมาณรองลงมาคือ ไนโตรเจน ทั้งนี้มูกดา (2547) รายงานว่าไม้ผลมีความต้องการธาตุอาหารที่แตกต่างกันในแต่ละช่วงของการพัฒนาและเจริญเติบโต โดยระยะการสร้างใบมีความต้องการไนโตรเจนสูง ระยะสร้างดอกต้องได้รับฟอสฟอรัสสูงระยะติดผลช่วงแรกต้องให้ไนโตรเจนเพื่อสร้างผลอ่อนและระยะต่อมาต้องให้โพแทสเซียมเพื่อเพิ่มคุณภาพของผลผลิต

มะขามหวาน พันธุ์ประกายทอง

ความเข้มข้นของธาตุอาหารในใบมะขาม พบว่า ที่ระยะการเจริญเติบโตทางลำต้นและใบมีความเข้มข้นของไนโตรเจนสูงที่สุด เฉลี่ย 1.84 เปอร์เซ็นต์ สอดคล้องกับการศึกษาของ Balasubramanian *et al.* (2016) ที่พบปริมาณความเข้มข้นของธาตุไนโตรเจนในใบมะขาม ประเทศอินเดีย อายุต้น 10-20 ปี เฉลี่ย 1.54 เปอร์เซ็นต์ เนื่องจากไนโตรเจนเป็นองค์ประกอบที่สำคัญของกรดอะมิโน และพบอยู่ในโปรตีน มีหน้าที่ในการเสริมสร้างส่วนที่เจริญเติบโตและระบบการหายใจของพืช มักพบอยู่ตามส่วนที่เพิ่งเจริญเติบโต เช่น ใบอ่อน ปลายกิ่ง หรือช่อดอก และปลายราก (กองปฐพีวิทยา, 2536) รองลงมาคือ โพแทสเซียม 1.40 เปอร์เซ็นต์ แคลเซียม 0.75 เปอร์เซ็นต์ แมกนีเซียม 0.23 เปอร์เซ็นต์ และฟอสฟอรัส 0.21 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ สำหรับจุลธาตุอาหาร พบว่า เหล็กมีความเข้มข้นสูงที่สุด เฉลี่ย 78.4 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม เนื่องจากเหล็กเป็นองค์ประกอบที่สำคัญของรีดอกซ์เอนไซม์ และโปรตีนในการส่งผ่านอิเล็กตรอนในกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสง การหายใจและการตรึงไนโตรเจน (ลิลลี่และคณะ, 2560) รองลงมาคือ แมงกานีส สังกะสี และทองแดง เฉลี่ย 21.1 17.3 และ 14.8 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ตามลำดับ (Table 2)

ระยะออกดอก พบว่า ความเข้มข้นของธาตุอาหารพืชมีปริมาณใกล้เคียงกันกับใบอ่อน คือ มีความเข้มข้นของไนโตรเจนสูงที่สุด 1.79 เปอร์เซ็นต์ รองลงมาคือ โพแทสเซียม แคลเซียม ฟอสฟอรัส และแมกนีเซียม เฉลี่ย 1.40 0.28 0.22 และ 0.17 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ เช่นเดียวกันกับจุลธาตุอาหารที่พบว่า ความเข้มข้นของเหล็กสูงที่สุด เฉลี่ย 70.2 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม รองลงมาคือ สังกะสี ทองแดง และแมงกานีส เฉลี่ย 18.3 14.9 และ 10.9 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ตามลำดับ (Table 2)

ระยะพัฒนาผล พบว่า ความเข้มข้นของไนโตรเจน ฟอสฟอรัส แคลเซียม และแมกนีเซียมในใบแก่ของมะขามหวานพันธุ์ประกายทองเฉลี่ย 2.04 0.17 0.86 1.97 และ 0.37 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ มีความเข้มข้นสูงกว่าในผลอ่อน (ฝักดิบ เมล็ดสีขาว) ยกเว้นโพแทสเซียมที่มีความเข้มข้นในผลอ่อน (1.28 เปอร์เซ็นต์) สูงกว่าในใบแก่ (0.86 เปอร์เซ็นต์) จุลธาตุอาหารเหล็ก แมงกานีส และสังกะสีมีความเข้มข้นในใบแก่ เฉลี่ย 59.2 42.1 และ 7.4 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ตามลำดับ ซึ่งสูงกว่าในผลอ่อน (37.0 10.5 และ 6.5 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ตามลำดับ) ยกเว้นทองแดงมีความเข้มข้นในผลอ่อน (4.2 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม) สูงกว่าในใบแก่ (3.0 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม) (Table 2) จะเห็นว่า ธาตุอาหารหลักและรองมีบทบาทสำคัญในการพัฒนาผลมะขาม โดยเฉพาะธาตุไนโตรเจนและโพแทสเซียม

ระยะเก็บเกี่ยว มะขามหวานพันธุ์ประกายทองมีความเข้มข้นของโพแทสเซียมสูงที่สุด เมื่อเปรียบเทียบกับธาตุอื่น ๆ โดยมีค่า 1.53 เปอร์เซ็นต์ในเนื้อ 1.24 เปอร์เซ็นต์ในรก 1.06 เปอร์เซ็นต์ในเปลือก และ 0.62 เปอร์เซ็นต์ในเมล็ด เนื่องจากโพแทสเซียมจะช่วยให้การลำเลียงน้ำตาลที่สังเคราะห์ได้จากใบไปสะสมที่ผล (สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ, 2557) ความเข้มข้นของธาตุไนโตรเจนในเมล็ดมีความเข้มข้นสูงที่สุด เฉลี่ย 2.10 เปอร์เซ็นต์ เมื่อเปรียบเทียบกับ รก เปลือก และเนื้อ (0.66 0.59 และ 0.50 เปอร์เซ็นต์) ตามลำดับ ซึ่งการใส่ปุ๋ยไนโตรเจนอย่างเพียงพอในเวลาที่เหมาะสมจะช่วยเพิ่มปริมาณโปรตีนในเมล็ดให้สูงขึ้น (ยงยุทธ, 2558) เช่นเดียวกับฟอสฟอรัสที่มีความเข้มข้นในเมล็ดสูงที่สุด 0.22 เปอร์เซ็นต์ ส่วนเปลือก รก และเนื้อ มีค่าใกล้เคียงกัน (0.12–0.13 เปอร์เซ็นต์) ธาตุอาหารรอง พบว่า ความเข้มข้นของแคลเซียมสูงที่สุดในส่วนเปลือก เฉลี่ย 0.46 เปอร์เซ็นต์ เนื่องจากแคลเซียมเป็นองค์ประกอบของมิตติเตลาเมลตาของผนังเซลล์ มีบทบาทสำคัญต่อการแบ่งเซลล์และช่วยให้ผนังเซลล์แข็งแรง (กองปฐพีวิทยา, 2543; ลิลลี่และคณะ, 2560) แมกนีเซียมมีความเข้มข้นสูงที่สุดในเมล็ด เฉลี่ย 0.14 เปอร์เซ็นต์ ส่วนจุลธาตุ พบว่า เหล็กมีความเข้มข้นสูงที่สุดในส่วนรก เฉลี่ย 19.5 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม แมงกานีสมีความเข้มข้นสูงที่สุดในส่วนเปลือก เฉลี่ย 28.1 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ทองแดงมีความเข้มข้น

สูงที่สุดในเนื้อ เฉลี่ย 9.8 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม และสังกะสีมีความเข้มข้นสูงที่สุดในเมล็ด 18.9 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม (Table 2)

Table 2 Mean of nutrient concentration in different parts of sweet tamarind growth stages in Phetchabun province cv. Si Thong and Pra Kai Thong varieties

Plant nutrient	Shoot growth	Flower development	Fruit Growth		Fruit maturation			
	Leaf	Flower	Leaf	Fruit	Peel	Seed	Fiber	Pulp
Si Thong								
N (%)	1.86	1.89	1.44	1.30	0.69	1.66	0.54	0.51
P (%)	0.23	0.25	0.15	0.18	0.10	0.13	0.11	0.11
K (%)	1.24	1.39	0.36	1.14	0.86	0.36	1.01	1.42
Ca (%)	1.00	0.43	1.70	0.74	1.88	0.36	0.23	0.14
Mg (%)	0.48	0.22	0.61	0.21	0.12	0.14	0.23	0.20
Fe (mg/kg)	41.4	59.7	45.1	25.8	33.5	25.9	16.8	14.2
Mn (mg/kg)	27.3	14.6	44.7	7.2	16.8	22.8	21.6	22.8
Cu (mg/kg)	9.3	13.6	1.1	4.0	7.2	4.6	3.2	1.9
Zn (mg/kg)	17.9	18.1	8.6	8.1	18.7	25.0	14.2	10.1
Pra Kai Thong								
N (%)	1.84	1.79	2.04	1.14	0.59	2.10	0.66	0.50
P (%)	0.21	0.22	0.17	0.16	0.13	0.22	0.12	0.13
K (%)	1.40	1.40	0.86	1.28	1.06	0.62	1.24	1.53
Ca (%)	0.75	0.28	1.97	0.34	0.46	0.12	0.13	0.03
Mg (%)	0.23	0.17	0.37	0.13	0.06	0.14	0.05	0.04
Fe (mg/kg)	78.4	70.2	59.2	37.0	12.7	16.9	19.5	10.1
Mn (mg/kg)	21.1	10.9	42.1	10.5	28.1	19.7	10.3	9.2
Cu (mg/kg)	14.8	14.9	3.0	4.2	5.1	4.4	0.7	9.8
Zn (mg/kg)	17.3	18.3	7.4	6.5	7.7	18.9	5.5	7.1

ปริมาณธาตุอาหารพืชที่สูญเสียไปกับผลผลิต

พันธุ์สีทอง

น้ำหนักแห้งของผลมะขามหวาน พันธุ์สีทองมีน้ำหนักแห้งรวม 899 กรัม/ผล ส่วนของเนื้อผล (Pulp) มีน้ำหนักแห้งรวม 480 กรัม รองลงมาเป็นส่วนของเมล็ด เปลือก และรก(เส้นใยในผล) เฉลี่ย 194 192 และ 33 กรัม ตามลำดับ ปริมาณธาตุอาหารในส่วนต่าง ๆ ของผลผลิตมะขามหวานน้ำหนัก 1 กิโลกรัม พบว่า เปลือกของมะขามหวานพันธุ์สีทอง มีปริมาณธาตุอาหารแคลเซียมสูงที่สุด ถึง 3.48 กรัม (Table 3) เพราะแคลเซียมเป็นองค์ประกอบสำคัญของผนังเซลล์ อยู่ในรูปแคลเซียมเพคเตต (คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา, 2548) รองลงมาเป็นโพแทสเซียม ไนโตรเจน แมกนีเซียม และฟอสฟอรัส เท่ากับ 1.60 1.28 0.22 และ 0.18 กรัม ตามลำดับ และจุลธาตุอาหาร ได้แก่ เหล็ก แมงกานีส ทองแดง และสังกะสี เท่ากับ 6.20 3.13 1.34 และ 3.51 มิลลิกรัมตามลำดับ ในขณะที่เมล็ด มีปริมาณไนโตรเจนสูงที่สุดเท่ากับ 2.91 กรัม รองลงมาเป็นแคลเซียม โพแทสเซียม แมกนีเซียม และฟอสฟอรัส เท่ากับ 0.64 0.63 0.24 และ 0.24 กรัม ตามลำดับ ส่วนจุลธาตุอาหาร พบว่า มีเหล็กสูงที่สุด เท่ากับ 4.51 มิลลิกรัม สำหรับส่วนของเนื้อมะขามหวานนั้น พบว่า มีปริมาณธาตุอาหารโพแทสเซียมสูงที่สุดเท่ากับ 4.09 กรัม เช่นเดียวกับรกรมะขามที่มีโพแทสเซียมสูงที่สุด เท่ากับ 0.30 กรัม

Table 3 Mean of dry weight and nutrient content in one-kilogram of sweet tamarind fruit in Phetchabun province cv. Si thong and Pra kai Thong varieties

Fruit part	Dry weight (g)	N (g)	P (g)	P ₂ O ₅ (g)	K (g)	K ₂ O (g)	Ca (g)	Mg (g)	Fe (mg)	Mn (mg)	Cu (mg)	Zn (mg)
Si Thong												
Peel	192	1.28	0.18	0.40	1.60	1.93	3.48	0.22	6.20	3.13	1.34	3.51
Seed	194	2.91	0.24	0.54	0.63	0.75	0.64	0.24	4.51	4.03	0.82	4.46
Fiber	33	0.16	0.03	0.07	0.30	0.36	0.07	0.07	0.52	0.64	0.09	0.43
Pulp	480	1.48	0.32	0.72	4.09	4.92	0.42	0.57	4.15	6.52	0.53	2.95
Yield 1 kg		5.83	0.76	1.74	6.61	7.97	4.61	1.10	15.38	14.31	2.78	11.35
Pra Kai Thong												
Peel	186	1.13	0.25	0.57	2.04	2.46	0.89	0.12	2.43	5.39	0.98	1.48
Seed	176	4.09	0.43	0.98	1.21	1.46	0.22	0.27	3.30	3.83	0.87	3.68
Fiber	30	0.22	0.04	0.09	0.41	0.50	0.04	0.02	0.65	0.35	0.02	0.18
Pulp	290	2.38	0.60	1.38	7.34	8.84	0.16	0.19	4.88	4.38	4.63	3.43
Yield 1 kg		7.82	1.32	3.02	11.0	13.25	1.32	0.60	11.27	13.94	6.50	8.78

ดังนั้นเมื่อเก็บเกี่ยวผลผลิตมะขามหวานฝักสดหนัก 1 กิโลกรัม พบว่า มะขามหวานพันธุ์สีทองจะสูญเสียธาตุอาหารหลักและรอง ได้แก่ ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส โพแทสเซียม แคลเซียม และแมกนีเซียม เท่ากับ 5.83 0.76 6.61 4.61 และ 1.10 กรัม ตามลำดับ และจุลธาตุอาหาร ได้แก่ เหล็ก แมงกานีส ทองแดง และสังกะสี เท่ากับ 15.38 14.31 2.78 และ 11.35 มิลลิกรัม ตามลำดับ (Table 3) ทั้งนี้เมื่อนำมาคำนวณเป็นปริมาณธาตุอาหารในรูปของปุ๋ย พบว่า ธาตุอาหารหลักที่สูญเสียไปกับผลผลิตมะขามหวานฝักสดหนัก 1 กิโลกรัม เท่ากับ 5.83-1.74-7.97 กรัม $N-P_2O_5-K_2O$ หรือคิดเป็นเรโซปุ๋ยเท่ากับประมาณ 3:1:5 มะขามหวาน พันธุ์สีทอง อำเภอเมือง ให้ผลผลิตระหว่าง 15-46 กิโลกรัมต่อต้น ถ้ามะขามหวานพันธุ์สีทอง ให้ผลผลิต 50-100 กิโลกรัมต่อต้น สามารถคิดเป็นอัตราประเมินการสูญเสียไปกับผลผลิต คือ 290-580 กรัม N 90-170 กรัม P_2O_5 และ 400-800 กรัม K_2O

พันธุ์ประกายทอง

น้ำหนักแห้งของผลมะขามหวาน พันธุ์สีทองมีน้ำหนักแห้งรวม 682 กรัม/ผล ส่วนของเนื้อผล มีน้ำหนักแห้งรวม 290 กรัม รองลงมาเป็นส่วนเปลือก เมล็ด และรก(เส้นใยในผล) เฉลี่ย 186 176 และ 30 กรัม ตามลำดับ ปริมาณธาตุอาหารในส่วนต่าง ๆ ของผลมะขามหวานน้ำหนัก 1 กิโลกรัม พบว่า มะขามหวานพันธุ์ประกายทอง มีปริมาณโพแทสเซียมสูงที่สุด เฉลี่ย 7.34 กรัม ในส่วนเนื้อ ซึ่งช่วยในการสร้างแป้งและน้ำตาล เพิ่มขนาดผลผลิต เมล็ด และปรับปรุงคุณภาพของผลผลิต (กองปฐพีวิทยา, 2536, 2543) รองลงมาคือ เปลือก เมล็ด และรก เฉลี่ย 2.04 1.21 และ 0.41 กรัม ตามลำดับ ในขณะที่ปริมาณไนโตรเจนนั้น พบว่า มีมากในส่วนเมล็ดเฉลี่ย 4.09 กรัม รองลงมาคือ เนื้อ เปลือก และรก เฉลี่ย 2.38 1.13 และ 0.22 กรัม ตามลำดับ ปริมาณฟอสฟอรัสในส่วนเนื้อ เมล็ด เปลือก และรก เฉลี่ย 0.60 0.43 0.25 และ 0.04 กรัม ตามลำดับ (Table 3)

เปลือกฝักมะขามหวานมีปริมาณแคลเซียมสูงที่สุด เฉลี่ย 0.89 กรัม รองลงมาเป็นเมล็ด เนื้อ และรก เฉลี่ย 0.22 0.16 และ 0.04 กรัม ตามลำดับ ปริมาณแมกนีเซียมในส่วนเมล็ด เนื้อ เปลือก และรก เฉลี่ย 0.27 0.19 0.12 และ 0.02 กรัม ตามลำดับ สำหรับจุลธาตุอาหาร พบว่า มีปริมาณแมงกานีสสูงที่สุด เฉลี่ย 5.39 กรัม ในส่วนเปลือก ปริมาณเหล็กและทองแดงมีค่าสูงที่สุดในส่วนเนื้อ เฉลี่ย 4.88 และ 4.63 กรัม ตามลำดับ ส่วนสังกะสีมีปริมาณสูงที่สุดในส่วนเมล็ดเฉลี่ย 3.68 กรัม

เมื่อเก็บเกี่ยวผลผลิตมะขามหวานพันธุ์ประกายทองฝักสดหนัก 1 กิโลกรัม พบว่า มะขามหวานจะสูญเสียธาตุอาหารหลักและรอง ได้แก่ ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส โพแทสเซียม แคลเซียม และแมกนีเซียม เฉลี่ย 7.82 1.32 11.0 1.32 และ 0.60 กรัม ตามลำดับ และจุลธาตุอาหาร ได้แก่ เหล็ก แมงกานีส ทองแดง และสังกะสี มีปริมาณธาตุอาหารเฉลี่ย 11.27 13.94 6.50 และ 8.78 มิลลิกรัม ตามลำดับ ทั้งนี้เมื่อนำมาคำนวณเป็นปริมาณธาตุอาหารในรูปของปุ๋ยเคมีไนโตรเจนทั้งหมด ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ และโพแทสเซียมที่ละลายน้ำ พบว่า ธาตุอาหารหลักที่สูญเสียไปกับผลผลิตมะขามหวานฝักสดหนัก 1 กิโลกรัม เท่ากับ 7.82-3.02-13.25 กรัม $N-P_2O_5-K_2O$ หรือคิดเป็นเรโซปุ๋ย เท่ากับ 3:1:4 มะขามหวานพันธุ์ประกายทอง สวน อำเภอหล่มสัก ให้ผลผลิตระหว่าง 5-25 กิโลกรัมต่อต้น ถ้ามะขามหวาน พันธุ์ประกายทองให้ผลผลิตอยู่ในช่วง 50-100 กิโลกรัมต่อต้น สามารถคิดเป็นอัตราประเมินการสูญเสียไปกับผลผลิต เท่ากับ 390-780 กรัม N 150-300 กรัม P_2O_5 และ 650-1,300 กรัม K_2O สอดคล้องกับการศึกษาของสายน้ำและคณะ (2566) รายงานว่า ปริมาณธาตุอาหารหลักในรูปของปุ๋ยที่ต้องสูญเสียไปกับผลผลิตมะขามหวานพันธุ์สีทอง 1 กิโลกรัม เท่ากับ 5.83-1.74-7.97 กรัม $N-P_2O_5-K_2O$ หรือคิดเป็นเรโซปุ๋ย เท่ากับ 3:1:5 (Table 3)

สรุปผลการทดลอง

ดินสวนมะขามหวานพันธุ์สีทองและพันธุ์ประกายทองที่ปลูกในตำบลตะเบาะ อำเภอมะนัง และตำบลปากช่อง อำเภอหล่มสัก จังหวัดเพชรบูรณ์ มีความอุดมสมบูรณ์ระดับปานกลางถึงสูง มะขามหวานพันธุ์สีทองและพันธุ์ประกายทองมีการดูดใช้ธาตุไนโตรเจนสูงในระยะการเจริญเติบโตทางลำต้น การสร้างดอกและสร้างผล ส่วนระยะการให้ผลผลิตนั้น มะขามหวานพันธุ์สีทองผลผลิตฝักสดหนัก 1 กิโลกรัม มีการดูดใช้ธาตุอาหารหลักซึ่งคิดเทียบเป็นปริมาณธาตุอาหารในรูปของปุ๋ยที่ต้องสูญเสียไปกับผลผลิตที่ถูกเก็บเกี่ยว เท่ากับ 5.83–1.74–7.97 กรัม $N-P_2O_5-K_2O$ หรือคิดเป็นเรโซปุ๋ยประมาณ 3:1:5 ส่วนมะขามหวานพันธุ์ประกายทอง ผลผลิตฝักสดหนัก 1 กิโลกรัม มีการดูดใช้ธาตุอาหารหลักซึ่งคิดเทียบเป็นปริมาณธาตุอาหารในรูปของปุ๋ยที่ต้องสูญเสียไปกับผลผลิตเฉลี่ย 7.82–3.02–13.25 กรัม $N-P_2O_5-K_2O$ หรือคิดเป็นเรโซปุ๋ย 3:1:4 อย่างไรก็ตาม ควรต้องมีการศึกษาเพิ่มเติมมากขึ้น โดยเพิ่มจำนวนการเก็บตัวอย่าง จำนวนสวน และจำนวนพันธุ์ของมะขามหวาน เพื่อให้การประเมินสถานะของธาตุอาหารมีความแม่นยำและเหมาะสมในการใช้ในการจัดการปุ๋ยมากยิ่งขึ้น

คำขอบคุณ

ขอขอบคุณเกษตรกร ตำบลตะเบาะ อำเภอมะนัง และ ตำบลปากช่อง อำเภอหล่มสัก ที่ให้ความอนุเคราะห์ในการเก็บข้อมูล

การนำผลงานวิจัยไปใช้ประโยชน์

ได้ข้อมูลกำหนดการจัดการธาตุอาหารของมะขามหวานในจังหวัดเพชรบูรณ์

เอกสารอ้างอิง

- กรมวิชาการเกษตร. 2544. **คู่มือวิเคราะห์ดินและพืช**. ชุมชนสหกรณ์การเกษตรแห่งประเทศไทย. กรุงเทพฯ.
- กรมวิชาการเกษตร. 2548. **คู่มือการเก็บตัวอย่างดินและน้ำเพื่อวิเคราะห์**. กลุ่มงานพัฒนาระบบตรวจสอบคุณภาพดินและน้ำ สำนักวิจัยพัฒนาปัจจัยการผลิตทางการเกษตร กรมวิชาการเกษตร, กรุงเทพฯ.
- กรมวิชาการเกษตร. 2553. **คำแนะนำการใช้ปุ๋ยกับพืชเศรษฐกิจ**. กลุ่มวิจัยปฐพีวิทยา สำนักวิจัยพัฒนาปัจจัยการผลิตทางการเกษตร กรมวิชาการเกษตร, กระทรวงเกษตรและสหกรณ์. กรุงเทพฯ.
- กรมส่งเสริมการเกษตร. 2556. **องค์ความรู้เพิ่มประสิทธิภาพการผลิตสู่การเป็น smart officer ไม่ผล ไม่ยืนต้น**. กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, กรุงเทพฯ.
- กรมส่งเสริมการเกษตร. 2566. ระบบสารสนเทศการผลิตทางด้านการเกษตร. แหล่งข้อมูล <https://production.doae.go.th/service/report-product-statistic/index?ReportProductStatistic> สืบค้น: 28 กันยายน 2566
- กองปฐพีวิทยา. 2536. **เอกสารวิชาการ ความรู้ทั่วไปเรื่องดิน**. กรมวิชาการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, กรุงเทพฯ.
- กองปฐพีวิทยา. 2543. **เอกสารวิชาการประกอบภาพ ลักษณะอาการขาดธาตุอาหารของพืช**. โรงพิมพ์ชุมนุมสหกรณ์การเกษตรแห่งประเทศไทย, กรุงเทพฯ.
- กองสำรวจดิน. 2523. **คู่มือการจำแนกความเหมาะสมของที่ดินสำหรับพืชเศรษฐกิจ**. เล่มที่ 28. กรมพัฒนาที่ดิน กระทรวงเกษตรและสหกรณ์ กรุงเทพฯ.
- คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา. 2548. **ปฐพีวิทยาเบื้องต้น**, พิมพ์ครั้งที่ 10. สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ กรุงเทพฯ.
- เทคโนโลยีชาวบ้านออนไลน์. 2561. ทำไมแหล่งมะขามหวานคุณภาพดีต้องอยู่ที่ จ. เพชรบูรณ์ เกษตรกรมีอาชีพมีคำตอบ. แหล่งข้อมูล https://www.sentangsedtee.com/farming-trendy/article_72559 สืบค้น: 10 ธันวาคม 2565
- นันทรัตน์ ศุภกานี. 2545. **การประเมินความต้องการและระดับธาตุอาหารของลิ้นจี่โดยการวิเคราะห์พืช**. รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์. สำนักงานกองทุนสนับสนุนงานวิจัย (สกว.).
- นันทลี เอียนโฮสง, ราไฟ นามพิลา, สมยศ มีทา, สุภัทร อิศรางกูร ณ อยุธยา, พงษ์ศักดิ์ ยั่งยืน, สังคม เตชะวงศ์ เสถียร. 2561. ผลของการจัดการปุ๋ยตามค่าวิเคราะห์ธาตุอาหารในผลผลิตต่อคุณภาพผลผลิตส้มโอพันธุ์มณีอีสาน. **วารสารแก่นเกษตร** 46: 459-468.
- มุกดา สุขสวัสดิ์. 2547. **ปุ๋ยและการใช้ปุ๋ยอย่างมีประสิทธิภาพ**, พิมพ์ครั้งที่ 2. สำนักพิมพ์โอเดียนสโตร์. กรุงเทพฯ.
- ยงยุทธ โอสธสภ. 2558. **ธาตุอาหารพืช**. พิมพ์ครั้งที่ 4. สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.
- ลิลลี่ กาวีตะ, มาลี ณ นคร, ศรีสม สุวรรณวงศ์, สุริยา ตันติวิวัฒน์ และณรงค์ วงศ์กันทราก. 2560. **สรีรวิทยาของพืช**. พิมพ์ครั้งที่ 4. สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.
- วันแข็ง สิทธิกิจโยธิน และดวงฤดี เขียววงศ์เจริญสุข. 2554. ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระของสารสกัดจากเปลือกหุ้มเมล็ดมะขามหวานและมะขามเปรี้ยว. **วารสารวิทยาศาสตร์บูรพา** 16(1): 47-55.
- สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ. 2557. **เอกสารเผยแพร่การผลิตมะขามหวาน**. กองบริหารและงบประมาณการวิจัย. กรุงเทพฯ.

- สายน้ำ อุดพ้วย, ชัยชนพร เกื้อหนุน, สมฤทัย ตันเจริญ, สโรชา ถึงสุข, วนิดา โนบรรเทา, นุชนาฏ ตันวรรณ และภิญญาลักษณ์ รัตนวิระกุล. 2566. ปริมาณธาตุอาหารของมะขามหวานพันธุ์สีทองในจังหวัดเพชรบูรณ์ การประชุมทางวิชาการครั้งที่ 61 วันที่ 1-3 มีนาคม 2566 ณ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, น. 343-350
- Balasubramanian, A., C.N. Hari Prasath, and S. Radhakrishnan. 2016. Leaf nutrient status and fruit yield in different age-classes of tamarind plantation in northern tamil nadu, india. *The Bioscan* 12(1): 625-627.
- Bouyoucos, G.J. 1962. Hydrometer method improved for making particle size analysis of soils *Agronomy Journal* 54: 464-465.
- Bray, R.H., and N. Kurtz. 1945. Determination of total, organic and available forms of phosphorus in soil. *Soil Science* 59: 39-45.
- Bremner, J.M. 1960. Determination of nitrogen in soil by the Kjeldahl method. *Journal of Agricultural Science* 55: 11-33.
- Davis, L.E. 1943. Measurements of pH with the glass electrode as affected by soil moisture. *Soil Science* 56: 405-422.
- El-Siddig, K., H.P.M. Gunasena, B.A. Prasad, D.K.N.G. Pushpakumara, K.V.R. Ramana, P. Vijayanand, and J.R. Williams. 2006. *Tamarind (Tamarindus indica L.)*. Fruits for the future 1-revised (International Centre for Underutilised Crops, Southampton, UK.
- Esther, E.O., D.K. John, N. Philip, N. Dorothy, and M. Antony. 2020. Nutritional potential of tamarind (*Tamarindus indica L.*) from semi-arid and subhumid zones of Uganda. *Journal of Food Measurement and Characterization* 14: 1125-1134.
- Gianquinto, G., A. Abu-Rayyan, and L. Di Tola. 2000. Interaction effects of phosphorus and zinc on photosynthesis, growth and yield of dwarf bean grown in two environments. *Plant Soil* 220: 219-228.
- Gomathinayagam, S., B.B.Tewari, and G. Rekha. 2017. Heavy Metal and Phytochemical Studies of Crude Leaf Extract of Tamarind (*Tamarindus Indica*). *International Journal of Advanced Life Sciences* 7(1): 1-4.
- Linsay, W.L., and W.A. Norbell. 1978. Development of a DTPA soil test for zinc, iron, manganese and copper. *Soil Science Society of America Journal* 42:421-428.
- Patterson, R.A. 2001. Consideration of soil salinity when assessing land application of effluent. Available at: <http://projects.mans.edu.eg/heepf/ilppp/courses/12/pdf%20course/1/pressure/osmotic%20soil%20salinity.pdf> Assessment: 22 January 2023.
- Pratt, P.F. 1965. Potassium, In: Black, C.A. (Eds.). Methods of Soil Analysis. Part II. American Society of Agronomy, Inc. Madison, Wisconsin. pp. 1022-1030.
- Rao, Y.S., M. Mathew, and S.N. Potty. 1999. Tamarind (*Tamarindus indica L.*) research - a review. *Indian Journal of Arecanut, Spices and Medicinal Plants* 1: 127-145.

- Rayment, G.E., and F.R. Higginson. 1992. Australian laboratory handbook of soil and water chemical methods. Inkata press. Melbourne.
- Sadiq, I.S., N.I. Duruminiya, J.B. Balogun, D. Kwada, and T. Izuagie. 2016. Nutritional and Anti-nutritional Value of Tamarind Fruit (*Tamarindus indica*). *Journal of Applied Research and Technology* 5: 50–56.
- Soil Fertility and Fertilizer Research Group for Horticultural and Perennial Plants. 2002. *Fertilizer recommendations for horticultural crops*. Division of Soil Science, Department of Agriculture, Ministry of Agriculture and Cooperatives. Bangkok. (in Thai)
- Walkley, A. and I.A. Black. 1934. An examination of Degtjareff method for determining soil organic matter, and a proposed modification of the chromic acid titration method. *Soil Science* 37(1): 29-38.
- Xie, K., I.Cakmak, S. Wang, F. Zhang, and S. Guo. 2021. Synergistic and antagonistic interactions between potassium and magnesium in higher plant. *The Crop Journal* 9:249-256.

ศึกษาการจัดการธาตุอาหารแบบผสมผสานเพื่อการผลิตมะคาเดเมีย

Study on Integrated Plant Nutrient Management for Macadamia Production

สุปราณี มั่นหมาย¹ ลาวันย์ จันทร์อัมพร² ชิดชนก ก่อเจดีย์³ กันต์นิฐา ปิงชัย⁴

Supranee Munmai¹ Lawan Chanamporn² Chitchanok Kawchadee³ Gunnitha Pingchai⁴

กลุ่มวิจัยปฐพีวิทยา

กองวิจัยพัฒนาปัจจัยการผลิตทางการเกษตร

ABSTRACT

This research investigated integrated nutrient management to enhance macadamia yield at the Chiang Mai Royal Agricultural Research Center and Loei Horticultural Research Center. Four treatments were compared: 1) Farmers' conventional practice; 2) Chemical fertilizers based on soil analysis combined with organic fertilizer and phosphate-solubilizing bacteria (PSB); 3) Chemical fertilizers based on soil analysis combined with organic fertilizer and arbuscular mycorrhizal fungi (AMF); and 4) Chemical fertilizers based on soil analysis combined with organic fertilizer, PSB, and AMF. At the Chiang Mai Royal Agricultural Research Center, the application of chemical fertilizers at 47.5-3.75-3.75 kg N-P₂O₅-K₂O/rai, along with 500 kg/rai of cow manure and 2.5 kg/rai of PSB, resulted in the highest dry kernel yield and economic returns (BCR 5.37), significantly exceeding the farmers' practice (BCR 1.46). At the Loei Horticultural Research Center, applying chemical fertilizers at 40-5-3.5 kg N-P₂O₅-K₂O/rai, along with 500 kg/rai of chicken manure and 2.5 kg/rai of PSB, also yielded the highest dry kernel yield and economic returns (BCR 10.84), outperforming the farmers' practice (BCR 5.39). Although there were no significant differences in plant height, trunk circumference, and canopy size, treatments incorporating bio-fertilizers tended to promote better growth than the farmers' conventional method. Phosphate-solubilizing microorganisms (*Talaromyces favus*) and mycorrhizal fungi maintained their effectiveness and presence in the soil after 30 months, demonstrating the long-term potential of bio-fertilizers in enhancing nutrient availability. Further long-term studies are therefore recommended.

Keywords: Arbuscular Mycorrhizal Bio-Fertilizer; Phosphate Solubilizing Bio-Fertilizer; Chicken manure; Cow manure; Macadamia

¹ กองวิจัยและพัฒนาปัจจัยการผลิตทางการเกษตร 50 ถนนพหลโยธิน แขวงลาดยาว เขตจตุจักร กรุงเทพฯ 10900

¹Agricultural Production Sciences Research and Development Division, 50 Phahon Yothin Rd., Ladyao, Chatuchak, Bangkok, 10900

² ศูนย์วิจัยและการพัฒนาการเกษตรเลย 81 หมู่ 8 ตำบลนาโป่ง อำเภอเมืองเลย จังหวัดเลย 42000

² Loei Agricultural Research and Development Center, 81 moo 8, Na pong, Mueang Loei, Loei, 42000

³ ศูนย์วิจัยพืชสวนเลย 85 หมู่ 5 ตำบลปลาบ่า อำเภอภูเรือ จังหวัดเลย 42160

³ Loei Horticultural Research Center, 85 moo 6, Pla Ba, Phu Ruea, Loei, 42160

⁴ ศูนย์วิจัยเกษตรหลวงเชียงใหม่ 313 หมู่ 12 ตำบลหนองควาย อำเภอหางดง จังหวัดเชียงใหม่ 50230

⁴ Chiang Mai Royal Agricultural Research Center, 313 moo 12, Nong Khwai, Hang Dong, Chiang Mai, 50230

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ศึกษาการจัดการธาตุอาหารแบบผสมผสานเพื่อเพิ่มผลผลิตมะคาเดเมียในศูนย์วิจัยเกษตรหลวงเชียงใหม่และศูนย์วิจัยพืชสวนเลย โดยเปรียบเทียบ 4 กรรมวิธี: 1) กรรมวิธีเกษตรกร 2) ปุ๋ยเคมีตามค่าวิเคราะห์ดินร่วมกับปุ๋ยอินทรีย์และปุ๋ยชีวภาพละลายฟอสเฟต (PSB) 3) ปุ๋ยเคมีตามค่าวิเคราะห์ดินร่วมกับปุ๋ยอินทรีย์และปุ๋ยชีวภาพอาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซา (AMF) และ 4) ปุ๋ยเคมีตามค่าวิเคราะห์ดินร่วมกับปุ๋ยอินทรีย์ PSB และ AMF การทดลองที่ศูนย์วิจัยเกษตรหลวงเชียงใหม่ พบว่า การใช้ปุ๋ยเคมีอัตรา 47.5-3.75-3.75 กิโลกรัม N-P₂O₅-K₂O ต่อไร่ ร่วมกับมูลวัว 500 กิโลกรัมต่อไร่ และ PSB 2.5 กิโลกรัมต่อไร่ให้ผลผลิตกะลาแห้งและผลตอบแทนทางเศรษฐกิจสูงสุด (BCR 5.37) ซึ่งสูงกว่ากรรมวิธีเกษตรกร (BCR 1.46) การทดลองที่ศูนย์วิจัยพืชสวนเลย พบว่า การใช้ปุ๋ยเคมีอัตรา 40-5-3.5 กิโลกรัม N-P₂O₅-K₂O ต่อไร่ร่วมกับมูลไก่เกล็ด 500 กิโลกรัมต่อไร่ และ PSB 2.5 กิโลกรัมต่อไร่ให้ผลผลิตกะลาแห้งและผลตอบแทนทางเศรษฐกิจสูงสุด (BCR 10.84) ซึ่งสูงกว่ากรรมวิธีเกษตรกร (BCR 5.39) แม้ว่าการเจริญเติบโตด้านความสูง เส้นรอบวงโคนต้น และขนาดทรงพุ่มจะไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ แต่กรรมวิธีที่มีการใช้ปุ๋ยชีวภาพมีแนวโน้มส่งเสริมการเจริญเติบโตได้ดีกว่ากรรมวิธีของเกษตรกร โดยพบว่าเชื้อจุลินทรีย์ละลายฟอสเฟต (*Talaromyces favus*) และเชื้อราไมคอร์ไรซายังคงมีประสิทธิภาพและปริมาณในดินหลัง 30 เดือน แสดงให้เห็นถึงศักยภาพของปุ๋ยชีวภาพในการเพิ่มปริมาณธาตุอาหารในระยะยาว จึงควรมีการศึกษาผลกระทบระยะยาวต่อไป

คำสำคัญ: ปุ๋ยชีวภาพอาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซา; ปุ๋ยชีวภาพละลายฟอสเฟต; มูลไก่เกล็ด; มูลวัว; มะคาเดเมีย

บทนำ

มะคาเดเมีย เป็นไม้ประเภทยืนต้นขนาดใหญ่ ใบมีสีเขียวตลอดปีและไม่ผลัดใบ ลักษณะของผลมีเปลือกแข็งและหนา มีแหล่งกำเนิดในบริเวณใกล้เขตร้อนและฝนตกชุกของประเทศออสเตรเลีย สำหรับประเทศไทย มะคาเดเมียถูกนำเข้ามาใน ปี พ.ศ. 2496 กรมวิชาการเกษตรทดลองปลูกและดำเนินการวิจัยเกี่ยวกับมะคาเดเมียและพัฒนาสายพันธุ์อย่างต่อเนื่อง ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2528 มะคาเดเมียสามารถปลูกได้ในพื้นที่สูงตั้งแต่ 400 เมตรจากระดับน้ำทะเล เป็นพืชที่ต้องการอากาศหนาวเย็นเพื่อกระตุ้นการออกดอกติดผล (18-20 องศาเซลเซียส) และช่วงที่ผลกำลังเจริญเติบโตควรมีอุณหภูมิระหว่าง 20-25 องศาเซลเซียส และไม่ควรเกิน 30 องศาเซลเซียส จังหวัดที่มีพื้นที่ปลูกมากที่สุด คือ เชียงราย รองลงมา คือ เลย เพชรบูรณ์ ตาก แม่ฮ่องสอน ลำปาง เชียงใหม่ พิชญ์โลก และชัยภูมิ ตามลำดับ (ศูนย์เทคโนโลยีสารสนเทศและการสื่อสาร, 2562) การปลูกมะคาเดเมียทางภาคเหนือ เป็นการเพาะปลูกในพื้นที่ที่เปลี่ยนแปลงมาจากพื้นที่ปลูกฝิ่นในอดีตเพื่อสร้างอาชีพและรายได้ให้กับเกษตรกรชาวเขา สำหรับจังหวัดเลย มะคาเดเมียเป็นพืชเศรษฐกิจที่มีศักยภาพ มีพื้นที่ปลูกส่วนใหญ่อยู่ในอำเภอภูเรือ นาแห้ว และด่านซ้าย ซึ่งมีพื้นที่สูงกว่าระดับน้ำทะเลปานกลาง 700-900 เมตร โดยปี 2563 จังหวัดเลยมีพื้นที่ปลูกรวมประมาณ 9,124 ไร่ มีผลผลิตเฉลี่ย 300-700 กิโลกรัมต่อไร่ (สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร, 2563) ในขณะที่ผลผลิตเฉลี่ยทั้งประเทศคือ 2,565 กิโลกรัมต่อไร่ ทั้งนี้เกษตรกรส่วนใหญ่ใส่ปุ๋ยคอกเพื่อบำรุงดิน มีการใส่ปุ๋ยเคมีบ้าง เช่นปุ๋ย 15-15-15 ปีละ 1-2 ครั้งในช่วงต้นฝนและปลายฝน ซึ่งปริมาณธาตุอาหารที่มะคาเดเมียได้รับอาจไม่เพียงพอในการเจริญเติบโตและสร้างผลผลิตที่มีคุณภาพ

การผลิตมะคาเดเมียให้มีคุณภาพ มีปัจจัยหลายอย่างเช่น แสง อุณหภูมิ สภาพอากาศ สภาพแวดล้อม น้ำ คาร์บอนไดออกไซด์ ออกซิเจน ธาตุอาหารพืช เป็นปัจจัยสำคัญที่มีผลต่อการผลิตพืชคุณภาพ ซึ่งจะต้องทำความเข้าใจสิ่งที่เกี่ยวข้องคือ ประวัติของดิน การจำแนกชนิดดิน ลักษณะพืช ลักษณะใบพืช ช่วงเวลาการให้ปุ๋ย

และการจัดการปุ๋ย มะคาเดเมีย ต้องการดินที่มีค่าพีเอชต่ำระหว่าง 5.0 - 5.5 ความต้องการธาตุไนโตรเจน มีผลกระทบต่อผลผลิตและคุณภาพมะคาเดเมียมาก ฟอสฟอรัสเป็นธาตุอาหารที่ยากในการจัดการดิน การวิเคราะห์ใบพืชจะช่วยให้ทราบความต้องการใช้ฟอสฟอรัสของพืช มะคาเดเมียจำเป็นต้องได้รับแสงเพียงพอต่อการสังเคราะห์แสงพร้อม ๆ กับการได้รับปุ๋ยที่เพียงพอ การให้ปุ๋ยไม่ควรน้อยกว่าปีละ 2 ครั้ง ในบริเวณที่มีฝนตกมาก น้ำฝนอาจจะชะล้างเอาปุ๋ยที่ให้ต้นพืชไปเสียก่อนที่จะต้นไม้จะดูดซึมได้หมด จึงควรที่จะแบ่งใส่ ปีละ 4 ครั้ง การใส่ไม่ควรหว่าน ควรขุดเป็นร่องต้น ๆ รอบ ๆ ต้น หรือขุดเป็นหลุมกระจายภายในทรงพุ่ม เมื่อใส่ปุ๋ยลงไปแล้วกลบด้วยดินเพื่อป้องกันการถูกชะล้าง ต้นมะคาเดเมียที่ให้ผลมาก จะต้องการปุ๋ย โปแทสเซียม ฟอสฟอรัส และไนโตรเจน ในปริมาณที่มากด้วย ปุ๋ยไนโตรเจนจะช่วยเพิ่มการเจริญเติบโตของต้น และขนาดของผลนัท ปุ๋ยโปแทสเซียม ช่วยให้มีการเจริญเติบโตที่ดี มีเนื้อในเมล็ดที่สมบูรณ์ และมีปริมาณ น้ำมันเมล็ดเพิ่มมากขึ้น ปุ๋ยฟอสฟอรัสมีความสำคัญในแง่ของการเคลื่อนย้ายพลังงานที่ผลิตได้จากกระบวนการสังเคราะห์แสงไปยังส่วนต่าง ๆ ของต้น สารประกอบอินทรีย์ที่มีฟอสฟอรัสเป็นองค์ประกอบ เป็นตัวสำคัญในการเคลื่อนย้ายพลังงาน เพื่อขบวนการสังเคราะห์ ซึ่งรวมถึงการเจริญเติบโต และการรวมตัวของน้ำมันในต้นพืช ทั้งไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโปแทสเซียม ควรจะใส่ให้มาก เพื่อป้องกันการขาดแคลน ส่วนธาตุอาหารรองที่สำคัญ และพบว่ามีจะขาดแคลนอยู่เสมอ คือ เหล็ก แมกนีเซียม และสังกะสี ดังนั้นจึงควรระวังไม่ให้พืชขาด แคลนธาตุอาหารรองเหล่านี้ และการใส่ปูนขาว เป็นผลดีต่อการเจริญเติบโตเป็นอย่างยิ่ง ในดินที่มีระดับความเป็นกรด-ด่าง ต่ำกว่า 5.0 ซึ่งเกณฑ์ทั่วไปที่ถือปฏิบัติในการให้ปุ๋ย

ฟอสฟอรัสมีความสำคัญในแง่ของการเคลื่อนย้ายพลังงานที่ผลิตได้จากกระบวนการสังเคราะห์แสงไปยังส่วนต่าง ๆ ของต้น สารประกอบอินทรีย์ที่มีฟอสฟอรัสเป็นองค์ประกอบ เป็นตัวสำคัญในการเคลื่อนย้ายพลังงาน เพื่อขบวนการสังเคราะห์ ซึ่งรวมถึงการเจริญเติบโต และการรวมตัวของน้ำมันในต้นพืช ทั้งไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโปแทสเซียม ควรจะใส่ให้พอเหมาะ ตรงตามความต้องการของพืช และสมบัติของดิน ส่วนธาตุอาหารรองที่สำคัญ และพบว่ามีจะขาดแคลนอยู่เสมอ คือ เหล็ก แมกนีเซียม และสังกะสี ดังนั้นจึงควรระวังไม่ให้พืชขาดแคลนธาตุอาหารรอง ปุ๋ยชีวภาพเป็นปุ๋ยที่ประกอบด้วยจุลินทรีย์ที่มีชีวิตที่สามารถสร้างธาตุอาหาร และช่วยให้ธาตุอาหารที่เป็นประโยชน์กับพืช ปุ๋ยชีวภาพเป็นปุ๋ยทางเลือกหนึ่งในการนำมาใช้เพิ่มประสิทธิภาพการใช้ปุ๋ยเคมี และสร้างระบบการผลิตทางการเกษตรให้เกิดความยั่งยืน ปุ๋ยชีวภาพที่สำคัญทางการเกษตร ได้แก่ ปุ๋ยชีวภาพอาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซา ปุ๋ยชีวภาพละลายฟอสเฟต เป็นต้น จากงานวิจัยในหลายประเทศที่นำเชื้อราไมคอร์ไรซามาใช้ในการผลิตพืช พบว่าเชื้อราช่วยดูดซับธาตุอาหารให้กับพืชเพิ่มมากขึ้นโดยเฉพาะ ฟอสฟอรัส เนื่องจาก hyphae ของไมคอร์ไรซานั้นนอกจากช่วยในการดูดซับธาตุฟอสฟอรัสแล้ว ยังสามารถสะสมฟอสเฟตโมเลกุลใหญ่ (Polyphosphates) ใน vacuoles เสมือนเป็นแหล่งเก็บฟอสเฟตเพื่อเป็นพลังงาน และยังช่วยให้พืชทนทานต่อสภาพแวดล้อมที่ไม่เหมาะสม Gianninazzi-Pearson (1983) การใช้ปุ๋ยชีวภาพที่มีจุลินทรีย์ดินที่เป็นประโยชน์ เมื่อใส่ลงไปดินจะช่วยให้เกิดสมดุลในระบบนิเวศทางดิน เพิ่มความหลากหลายทางชีวภาพให้แก่ดิน ช่วยส่งเสริมการเจริญเติบโตของพืช ทำให้พืชได้ประโยชน์สูงสุดจากการใช้ปุ๋ย โดยจุลินทรีย์ดินจะเป็นตัวช่วยนำปุ๋ยที่ใส่ลงไปดินแล้วพืชใช้ไม่หมดนำกลับมาใช้ได้

ราอาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซา เป็นราในดินที่อาศัยอยู่ร่วมกับรากพืชแบบพึ่งพาอาศัยกัน (symbiosis) จะสร้างเส้นใยสานกันเป็นแผ่นรอบรากแขนง แล้วแทงเส้นใยเข้าไปในรากและเจริญอยู่ระหว่างเซลล์ในชั้นคอร์เทกซ์ การมีเส้นใยของราเหล่านี้รอบ ๆ รากจะส่งผลให้รากมีเส้นผ่านศูนย์กลางใหญ่ขึ้น มีพื้นที่ผิวเพิ่มมากขึ้น ช่วยเพิ่มความเป็นประโยชน์ของธาตุอาหารพืช และการดูดซับธาตุอาหารของรากพืช โดยเฉพาะอย่างยิ่ง ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโปแทสเซียมได้ ช่วยทำให้พืชมีชีวิตรอดภายใต้สภาวะแวดล้อมที่ไม่เหมาะสม เช่น เพิ่มความทนแล้ง เพิ่มความต้านทานโรคที่อยู่ในดิน อีกทั้งเส้นใยของเชื้อรายังช่วยเพิ่มการเกาะตัวกันของเม็ดดิน ช่วยในการกักเก็บน้ำและเพิ่ม

อินทรียวัตถุในดิน Castillo *et al.*, (2009) ได้ทดลองใช้ราอราบัสคูลาไมคอร์ไรซา 2 สายพันธุ์ ได้แก่ *Glomus intraradices* และ *G. claroideum* กับพริก (Cacho de cabra) พบว่าจะช่วยเพิ่มการเจริญเติบโตและให้ผลผลิตออกเร็วขึ้น และมีคุณภาพมากขึ้น Selvakumar and Thamizhiniyan (2011) พบว่าราอราบัสคูลาไมคอร์ไรซา ช่วยเพิ่มการเจริญเติบโตและผลผลิตของพริกในสภาพดินเค็ม Marhalet *et al.*, (2011) ศึกษาการใช้ปุ๋ยชีวภาพอราบัสคูลาไมคอร์ไรซาร่วมกับการใส่ปุ๋ยเคมีเพื่อเพิ่มการเจริญเติบโตของพริก พบว่ากรรมวิธีที่มีการใส่ปุ๋ยเคมี 50 เปอร์เซ็นต์ ร่วมกับปุ๋ยชีวภาพให้ผลผลิตสูงที่สุด พบว่าราอราบัสคูลาไมคอร์ไรซา มีผลต่อพริกในเชิงบวก อาจเป็นผลมาจากความสามารถในการดูดธาตุอาหาร

การใช้ปุ๋ยอินทรีย์และปุ๋ยชีวภาพที่เป็นประโยชน์ร่วมกับปุ๋ยเคมี สามารถเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตให้ได้ปริมาณและคุณภาพผลผลิต เกษตรกรจำเป็นต้องมีองค์ความรู้ในด้านการจัดการธาตุอาหารพืชที่เฉพาะเจาะจงกับสภาพพื้นที่ เนื่องจากดินแต่ละชนิดมีความอุดมสมบูรณ์แตกต่างกัน ทำให้มีศักยภาพในการให้ผลผลิตแตกต่างกันด้วย และความต้องการธาตุอาหารพืชในแต่ละระยะการเจริญเติบโตก็ย่อมต่างกัน หากมีการให้ปุ๋ยไม่สอดคล้องกับความต้องการของพืช จะทำให้พืชไม่สามารถเจริญเติบโตและให้ผลผลิตได้ตรงตามความต้องการ ในทางกลับกันหากมีการให้ปุ๋ยมากเกินไปเกินความต้องการของพืช ทำให้เกิดความไม่สมดุลของธาตุอาหารและส่งผลเสียต่อสิ่งแวดล้อมซึ่งเป็นปัจจัยส่งเสริมให้คุณภาพของดินเสื่อมโทรมและไม่เหมาะสมต่อการผลิตพืชปลอดภัยอย่างยั่งยืน นอกจากนี้ยังทำให้ต้นทุนการผลิตสูงขึ้น

อุปกรณ์และวิธีการ

อุปกรณ์

1. ต้นมะคาเดเมีย อายุ 10 ปี
2. ปุ๋ยชีวภาพละลายฟอสเฟต ปุ๋ยชีวภาพอาร์บัสคูลารไมคอร์ไรซา
3. ปุ๋ยเคมี ได้แก่ ยูเรีย ทรีปเปิ้ลซูเปอร์ฟอสเฟต และโพแทสเซียมคลอไรด์
4. ปุ๋ยอินทรีย์ ได้แก่ มูลวัว มูลไก่เกลบ
5. วัสดุอุปกรณ์ทางการเกษตร ได้แก่ กรรไกรตัดกิ่ง ถุงตาข่าย สำหรับใช้ในการเก็บตัวอย่างพืช ผักกระดาด ผักพลาสติก จอบ เสียม พลั่วมือ
6. เครื่องแก้วสำหรับการวิเคราะห์ดินและพืช เช่น หลอดแก้วสำหรับการย่อยตัวอย่าง ปีกเกอร์ หลอดพลาสติกสำหรับใช้กับเครื่องเหวี่ยง (centrifuge) เครื่องแก้วสำหรับตรวจนับจุลินทรีย์ละลายฟอสเฟต
7. วัสดุวิทยาศาสตร์ ได้แก่ กระดาษกรอง ตัวดูดสารละลายอัตโนมัติ ตัวดูดจ่ายสารละลาย
8. อาหารเลี้ยงเชื้อจุลินทรีย์ Nutrient Agar, Potato Dextrose Agar

วิธีการ

1. แผนการทดลอง

- 1.1 แปลงทดลองศูนย์วิจัยเกษตรหลวงเชียงใหม่ (แม่จอนหลวง) อ.แม่แจ่ม จ.เชียงใหม่ ใช้มะคาเดเมียพันธุ์ เชียงใหม่ 660 วางแผนการทดลองแบบ RCB มี 4 กรรมวิธี จำนวน 2 ซ้ำ เก็บข้อมูล 1 ต้นต่อหน่วยการทดลอง ได้แก่
T1 กรรมวิธีปฏิบัติของเกษตรกร
T2 ใส่ปุ๋ยตามค่าวิเคราะห์ดินร่วมกับการใช้ปุ๋ยชีวภาพละลายฟอสเฟต
T3 ใส่ปุ๋ยตามค่าวิเคราะห์ดินร่วมกับการใช้ปุ๋ยชีวภาพอาร์บัสคูลารไมคอร์ไรซา
T4 ใส่ปุ๋ยตามค่าวิเคราะห์ดินร่วมกับการใช้ปุ๋ยชีวภาพละลายฟอสเฟตและปุ๋ยชีวภาพอาร์บัสคูลารไมคอร์ไรซา

หมายเหตุ

- กรรมวิธีเกษตรกร มีการใส่ปุ๋ยเคมีสูตร 15-15-15 อัตรา 500 กรัมต่อต้น 2 ครั้งต่อปี ช่วงต้นฝนและปลายฝน และ สูตร 12-12-24 อัตรา 500 กรัมต่อต้น ก่อนระยะออกดอก และติดผล (ต.ค.-พ.ย. และ ก.ค. - ส.ค.) ของทุกปีเมื่อเริ่มให้ผลผลิต ทั้งนี้ ปุ๋ยอินทรีย์อัตรา 5 กิโลกรัมต่อต้น ทุกครั้งที่ใส่ปุ๋ยเคมี

- กรรมวิธีปุ๋ยตามค่าวิเคราะห์ดินร่วมกับการใช้ปุ๋ยชีวภาพละลายฟอสเฟตและปุ๋ยชีวภาพอาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซา ใส่ปุ๋ยเคมี อัตรา 2.3-2.2-0.19 กิโลกรัม $N-P_2O_5-K_2O$ ต่อต้น ร่วมกับปุ๋ยชีวภาพละลายฟอสเฟตและปุ๋ยชีวภาพอาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซา อัตรา 100 กรัมต่อต้น แบ่งใส่ปุ๋ยเคมี 3 ครั้งต่อปี บริเวณทรงพุ่ม ลาวัญ และคณะ (2565) คือ ครั้งที่ 1 หลังเก็บเกี่ยว ใส่ปุ๋ยไนโตรเจนทั้งหมด และแบ่งใส่ปุ๋ยฟอสฟอรัสครึ่งหนึ่ง

ครั้งที่ 2 ก่อนออกดอกหรือหลังดอกบาน 1 สัปดาห์ ใส่ปุ๋ยฟอสฟอรัสอีกครั้งที่เหลือ

ครั้งที่ 3 หลังดอกบาน 13 สัปดาห์ ใส่ปุ๋ยโพแทสเซียมทั้งหมด

1.2 แปลงทดลองศูนย์วิจัยพืชสวนเลย ต.ปลาบ่า อ.ภูเรือ จ.เลย ใช้มะคาเดเมียพันธุ์ เชียงใหม่ 660 วางแผนการทดลองแบบ RCB มี 4 กรรมวิธี จำนวน 3 ซ้ำ เก็บข้อมูล 1 ต้นต่อหน่วยการทดลองได้แก่

T1 กรรมวิธีปฏิบัติของเกษตรกร

T2 ใส่ปุ๋ยตามค่าวิเคราะห์ดินร่วมกับการใช้ปุ๋ยชีวภาพละลายฟอสเฟต

T3 ใส่ปุ๋ยตามค่าวิเคราะห์ดินร่วมกับการใช้ปุ๋ยชีวภาพอาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซา

T4 ใส่ปุ๋ยตามค่าวิเคราะห์ดินร่วมกับการใช้ปุ๋ยชีวภาพละลายฟอสเฟตและปุ๋ยชีวภาพอาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซา

หมายเหตุ

- กรรมวิธีเกษตรกร มีการใส่ปุ๋ยเคมีสูตร 15-15-15 อัตรา 500 กรัมต่อต้น 2 ครั้งต่อปี ช่วงต้นฝนและปลายฝน และ สูตร 12-12-24 อัตรา 500 กรัมต่อต้น ก่อนระยะออกดอก และติดผล (ต.ค.-พ.ย. และ ก.ค. - ส.ค.) ของทุกปีเมื่อเริ่มให้ผลผลิต ทั้งนี้ ปุ๋ยอินทรีย์อัตรา 5 กิโลกรัมต่อต้น ทุกครั้งที่ใส่ปุ๋ยเคมี

- กรรมวิธีปุ๋ยตามค่าวิเคราะห์ดินร่วมกับการใช้ปุ๋ยชีวภาพละลายฟอสเฟตและปุ๋ยชีวภาพอาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซา ใส่ปุ๋ยเคมี อัตรา 2.3-2.2-0.19 กิโลกรัม $N-P_2O_5-K_2O$ ต่อต้น ร่วมกับปุ๋ยชีวภาพละลายฟอสเฟตและปุ๋ยชีวภาพอาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซา อัตรา 100 กรัมต่อต้น แบ่งใส่ปุ๋ยเคมี 3 ครั้งต่อปี บริเวณทรงพุ่ม ลาวัญ และคณะ (2565) คือ ครั้งที่ 1 หลังเก็บเกี่ยว ใส่ปุ๋ยไนโตรเจนทั้งหมด และแบ่งใส่ปุ๋ยฟอสฟอรัสครึ่งหนึ่ง

ครั้งที่ 2 ก่อนออกดอกหรือหลังดอกบาน 1 สัปดาห์ ใส่ปุ๋ยฟอสฟอรัสอีกครั้งที่เหลือ

ครั้งที่ 3 หลังดอกบาน 13 สัปดาห์ ใส่ปุ๋ยโพแทสเซียมทั้งหมด

2. การปฏิบัติการทดลอง

1. คัดเลือกแปลงปลูกมะคาเดเมียที่ให้ผลผลิตแล้วที่มีอายุ 8 -10 ปี ในจังหวัดเชียงใหม่และจังหวัดเลย ศึกษาข้อมูลระยะการเจริญเติบโต การให้ผลผลิต และระยะการเก็บตัวอย่างในช่วงที่เหมาะสมสำหรับการวิเคราะห์ธาตุอาหาร

2. สุ่มเก็บตัวอย่างดินในแปลงปลูก วิเคราะห์ปริมาณธาตุอาหาร วิเคราะห์สมบัติทางเคมีของดินในห้องปฏิบัติการ ได้แก่ ความเป็นกรดเป็นด่างของดิน วัดโดย pH meter ใช้อัตราส่วนดิน:น้ำ เท่ากับ 1:1 (Peech, 1965) อินทรีย์วัตถุ วิเคราะห์ด้วยวิธี Walkley and Black (Jackson, 1967) ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ วิเคราะห์โดยการสกัดดินด้วยน้ำยาสกัด Bray II (Bray and Kurtz, 1945) วัดการเกิดสีตามวิธี molybdenum blue วัดค่าการดูดกลืนแสงด้วยเครื่อง Spectrophotometer ส่วนปริมาณโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ แคลเซียม และแมกนีเซียม วิเคราะห์โดยการสกัดดินด้วย 1N Ammonium Acetate, pH 7.0 วัดด้วยเครื่อง Atomic Absorption Spectrophotometer (Chapman, 1965)

3. สุ่มเก็บตัวอย่างใบมะคาเดเมียในระยะแตกใบใหม่ ในระยะเพสลาด โดยเก็บใบในข้อที่ 2 นับจากปลายยอด ให้กระจายทั่วต้น จำนวน 16-20 ใบต่อต้น พร้อมสุ่มเก็บตัวอย่างผลในระยะเก็บเกี่ยว นำไปวิเคราะห์ปริมาณธาตุอาหารหลักและธาตุอาหารรอง ในห้องปฏิบัติการ โดยเก็บใบรวมก้านใบ (petiole) บริเวณข้อที่ 2 นับจากปลายยอด กระจายทั่วต้น จำนวนไม่น้อยกว่า 20 ใบต่อต้น พร้อมสุ่มเก็บตัวอย่างผลที่ร่วงหล่นใต้ทรงพุ่ม นำไปชั่งน้ำหนักสด กะเทาะเปลือกผล กะลา และเนื้อใน นำไปวิเคราะห์ปริมาณธาตุอาหารพืชในห้องปฏิบัติการ ได้แก่ ไนโตรเจนทั้งหมด โดยวิธี Kjeldahl method (Jackson, 1967) ฟอสฟอรัสทั้งหมด โดยวิธี Vanado molybdate method และโพแทสเซียมทั้งหมด วัดค่าการดูดกลืนแสงด้วยเครื่อง Spectrophotometer ในส่วนใบ เปลือกผล (pericarp) กะลา (shell) และเนื้อใน (kernel)

4. ประมวลผลความต้องการธาตุอาหารของมะคาเดเมีย
การบันทึกข้อมูล

1. อายุต้นมะคาเดเมีย
2. การใช้ปุ๋ยหรือการปรับปรุงดิน และปริมาณผลผลิต ก่อนการทดลอง ย้อนหลัง 2-3 ปี
3. คุณภาพผลผลิต ได้แก่ ขนาดผล น้ำหนักสดและน้ำหนักแห้ง ของผล เนื้อ และเปลือก
4. ปริมาณธาตุอาหาร ได้แก่ ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส โพแทสเซียม แคลเซียม และแมกนีเซียม ในใบและผล

ระยะเวลาดำเนินการ

ปี 2565 - 2567

- สถานที่ดำเนินการ

1. ศูนย์วิจัยพืชสวนเลย ต.ปลาบ่า อ.ภูเรือ จ.เลย
2. ศูนย์วิจัยเกษตรหลวงเชียงใหม่ (แม่จอนหลวง) อ.แม่แจ่ม จ.เชียงใหม่
3. กองวิจัยพัฒนาปัจจัยการผลิตทางการเกษตร เขตจตุจักร กรุงเทพฯ

ผลการทดลองและวิจารณ์

1. สมบัติทางเคมีของดิน

สมบัติของดินในแปลงปลูกมะคาเดเมียในศูนย์วิจัยพืชสวนเลย มีค่าความเป็นกรดเป็นด่าง (pH) เท่ากับ 5.1 อินทรีย์วัตถุ (OM) เท่ากับ 2.24 เปอร์เซ็นต์ ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์มีค่า (available P) 14.7 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม โพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ (exchangeable K) มีค่า 239.8 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม แคลเซียม (Ca) เท่ากับ 95.4 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม และแมกนีเซียม (Mg) เท่ากับ 37.7 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม แปลงปลูกในศูนย์วิจัยเกษตรหลวงเชียงใหม่ แม่จอนหลวง พบว่า มีค่าความเป็นกรด-ด่างเท่ากับ 4.9 อินทรีย์วัตถุ เท่ากับ 6.20 เปอร์เซ็นต์ ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์มีค่า 13.5 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม โพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้มีค่า 243.7 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม แคลเซียมเท่ากับ 176.8 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม และแมกนีเซียมเท่ากับ 41.0 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม (ตารางที่ 1) จากผลวิเคราะห์ดินเมื่อเปรียบเทียบกับค่ามาตรฐานอ้างอิง (norm) ที่เสนอโดย Kuperus and Abercrombie (2003) จากประเทศแอฟริกาใต้ พบว่า ความเป็นกรดเป็นด่าง และปริมาณแมกนีเซียมในดินที่อยู่ในเกณฑ์มาตรฐาน ส่วนปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ โพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ และปริมาณแคลเซียมในดิน อยู่ในระดับที่ต่ำกว่าค่ามาตรฐานอ้างอิง

จากผลวิเคราะห์ดินแปลงปลูกมะคาเดเมียในศูนย์วิจัยพืชสวนเลย ใส่ปุ๋ยเคมีตามค่าวิเคราะห์ดินในอัตรา 47.5-3.75-3.75 กิโลกรัม $N-P_2O_5-K_2O$ ต่อไร่ แปลงศูนย์วิจัยเกษตรหลวงเชียงใหม่ ใส่ปุ๋ยเคมีตามค่าวิเคราะห์ดินในอัตรา 40-5-3.5 กิโลกรัม $N-P_2O_5-K_2O$ ต่อไร่

ตารางที่ 1 สมบัติทางเคมีของดินปลูกมะคาเดเมีย ที่ระดับความลึก 0-20 เซนติเมตร

รายการวิเคราะห์ สถานที่	pH	อินทรีย์วัตถุ (%)	ฟอสฟอรัสที่ เป็นประโยชน์	โพแทสเซียมที่ สกัดได้	แคลเซียม	แมกนีเซียม
			(มก./กก.)			
ศูนย์วิจัยพืชสวนเลย	5.1	2.24	14.7	239.8	95.4	37.7
ศูนย์วิจัยเกษตรหลวงเชียงใหม่	4.9	6.20	13.5	243.7	176.8	41.0
ค่ามาตรฐานอ้างอิง (norm)*	5.5-6.5	-	20-80	80-150	400-800	100-200

* Kuperus and Abercrombie (2003)



ภาพที่ 1 ต้นมะคาเดเมียที่ใช้ในการทดลอง ศูนย์วิจัยเกษตรหลวงเชียงใหม่ (แม่จอนหลวง)



ภาพที่ 2 ต้นมะคาเดเมียที่ใช้ในการทดลอง ศูนย์วิจัยพืชสวนเลย

พบปริมาณจุลินทรีย์ดินที่เป็นประโยชน์ประเภทแบคทีเรียทั้งหมดประมาณ 2.40×10^8 และ 1.39×10^8 โคโลนีต่อดิน 1 กรัม ประเภทราทั้งหมดประมาณ 2.20×10^6 และ 2.34×10^5 โคโลนีต่อดิน 1 กรัม พบจำนวนสปอร์อาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซา ประมาณ 75 และ 120 สปอร์ต่อดิน 100 กรัม ซึ่งค่อนข้างมากในดินพื้นที่ป่า และพื้นที่ปลูกไม้ผล พบจำนวนจุลินทรีย์ละลายฟอสเฟตประมาณ 2.46×10^4 และ 1.25×10^4 โคโลนีต่อดิน 1 กรัม แต่เป็นจุลินทรีย์ละลายฟอสเฟตที่มีประสิทธิภาพการละลายฟอสเฟตต่ำ และไม่พบจุลินทรีย์ละลายฟอสเฟตสายพันธุ์ *Talaromyces* aff. *macrosporus* ที่ใช้ในการทดลอง ทั้ง 2 พื้นที่ใช้ในการทดลอง

ตารางที่ 2 จำนวนจุลินทรีย์ในดิน และรากมะคาเดเมียที่ระยะเวลา 6 เดือน และ ระยะ 30 เดือน หลังใส่ปุ๋ยชีวภาพ

กรรมวิธี	ศูนย์วิจัยเกษตรหลวงเชียงใหม่				ศูนย์วิจัยพืชสวนเลย			
	จำนวนจุลินทรีย์ละลายฟอสเฟต (cfu/soil 1 g)		การเข้ารากของไมคอร์ไรซา (%)		จำนวนจุลินทรีย์ละลายฟอสเฟต (cfu/soil 1 g)		การเข้ารากของไมคอร์ไรซา (%)	
	6 เดือน	30 เดือน	6 เดือน	30 เดือน	6 เดือน	30 เดือน	6 เดือน	30 เดือน
T1	-	1.5×10^3	24	58	-	1.0×10^3	24	75
T2	1.5×10^3	2.5×10^4	35	75	2.5×10^4	2.2×10^5	63	98
T3	1.0×10^3	1.9×10^4	75	115	1.0×10^4	1.2×10^3	85	112
T4	2.0×10^4	2.5×10^5	184	286	2.0×10^4	2.8×10^6	129	265

หลังใส่ปุ๋ยชีวภาพตามกรรมวิธีการทดลอง ที่ระยะเวลา 30 เดือน ยังคงพบจุลินทรีย์ละลายฟอสเฟต *Talaromyces* aff. *macrosporus* จำนวน 1.0×10^3 ถึง 2.8×10^6 โคโลนีต่อดิน 1 กรัม และยังคงประสิทธิภาพการละลายตะกอนแคลเซียมไฮดรเจนฟอสเฟต การเก็บตัวอย่างรากเพื่อตรวจสอบการเข้าอาศัยในรากพืชของเชื้อราไมคอร์ไรซา พบการเข้ารากที่จำนวน 58 ถึง 286 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งจุลินทรีย์สามารถเพิ่มปริมาณในธรรมชาติ และยังคงมีประสิทธิภาพด้านการให้ปุ๋ยแก่พืชได้ (ตารางที่ 2)

2. การเจริญเติบโต

การเจริญเติบโตด้านความสูง เส้นรอบวงโคน ต้นเฉลี่ยทรงพุ่ม ไม่มีความแตกต่างทางสถิติ โดยมะคาเดเมียพันธุ์เชียงใหม่ 660 ที่ปลูกที่แปลงศูนย์วิจัยเกษตรหลวงเชียงใหม่ที่ระยะเวลา 3 ปี กรรมวิธีการใส่ปุ๋ยเคมีอัตรา 2.3-2.2-0.19 กิโลกรัม $N-P_2O_5-K_2O$ ต่อต้น ร่วมกับปุ๋ยชีวภาพละลายฟอสเฟตและปุ๋ยชีวภาพอาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซา อัตรา 100 กรัมต่อต้น ทำให้ความสูงเพิ่มขึ้นมากที่สุด 2.5 เมตร รองลงมาคือการใส่ปุ๋ยเคมีอัตรา 2.3-2.2-0.19 กิโลกรัม $N-P_2O_5-K_2O$ ต่อต้น ร่วมกับปุ๋ยชีวภาพอาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซา อัตรา 100 กรัมต่อต้น ความสูงเพิ่มขึ้น 1.6 เมตร ส่วนกรรมวิธีการใส่ปุ๋ยเคมีอัตรา 2.3-2.2-0.19 กิโลกรัม $N-P_2O_5-K_2O$ ต่อต้น ร่วมกับปุ๋ยชีวภาพละลายฟอสเฟต อัตรา 100 กรัมต่อต้น ความสูงเพิ่มขึ้นต่ำสุดเท่ากับ 1.1 เมตร ด้านเส้นรอบวงโคนต้น กรรมวิธีการใส่ปุ๋ยตามกรรมวิธีเกษตรกร ทำให้เส้นรอบวงโคนต้นเพิ่มขึ้นมากที่สุด 10.1 เซนติเมตร รองลงมาคือกรรมวิธีการใส่ปุ๋ยเคมีอัตรา 2.3-2.2-0.19 กิโลกรัม $N-P_2O_5-K_2O$ ต่อต้น ร่วมกับปุ๋ยชีวภาพละลายฟอสเฟตและปุ๋ยชีวภาพอาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซา อัตรา 100 กรัมต่อต้น เส้นรอบวงโคนต้นเพิ่มขึ้น 9.1 เซนติเมตร ส่วนกรรมวิธีการใส่ปุ๋ยเคมีอัตรา 2.3-2.2-0.19 กิโลกรัม $N-P_2O_5-K_2O$ ต่อต้น ร่วมกับปุ๋ยชีวภาพละลายฟอสเฟต อัตรา 100 กรัมต่อต้น เส้นรอบวงโคนต้นเพิ่มขึ้นต่ำสุดเท่ากับ 7.2 เซนติเมตร (ตารางที่ 3)

แปลงศูนย์วิจัยพืชสวนเลย พบว่าการเจริญเติบโตด้านความสูง เส้นรอบวงโคน ต้นเฉลี่ยทรงพุ่ม ไม่มีความแตกต่างทางสถิติ กรรมวิธีการใส่ปุ๋ยเคมีอัตรา 2.3-2.2-0.19 กิโลกรัม $N-P_2O_5-K_2O$ ต่อต้น ร่วมกับปุ๋ยชีวภาพละลายฟอสเฟตและปุ๋ยชีวภาพอาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซา อัตรา 100 กรัมต่อต้น ทำให้ความสูงเพิ่มขึ้นมากที่สุด

1.0 เมตร รองลงมาคือกรรมวิธีการใส่ปุ๋ยเคมีอัตรา 2.3-2.2-0.19 กิโลกรัม N-P₂O₅-K₂O ต่อต้น ร่วมกับปุ๋ยชีวภาพละลายฟอสเฟต อัตรา 100 กรัมต่อต้น และกรรมวิธีการใส่ปุ๋ยเคมีอัตรา 2.3-2.2-0.19 กิโลกรัม N-P₂O₅-K₂O ต่อต้น ร่วมกับปุ๋ยชีวภาพอาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซา อัตรา 100 กรัมต่อต้น ความสูงเพิ่มขึ้น 0.8 เมตร ส่วนกรรมวิธีเกษตรกร ความสูงเพิ่มขึ้นต่ำสุดเท่ากับ 0.6 เมตร ด้านเส้นรอบวงโคนต้น กรรมวิธีการใส่ปุ๋ยเคมีอัตรา 2.3-2.2-0.19 กิโลกรัม N-P₂O₅-K₂O ต่อต้น ร่วมกับปุ๋ยชีวภาพละลายฟอสเฟตและปุ๋ยชีวภาพอาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซา อัตรา 100 กรัมต่อต้น ทำให้เส้นรอบวงโคนต้นเพิ่มขึ้นมากที่สุด 5.7 เซนติเมตร รองลงมาคือกรรมวิธีการใส่ปุ๋ยเคมีอัตรา 2.3-2.2-0.19 กิโลกรัม N-P₂O₅-K₂O ต่อต้น ร่วมกับปุ๋ยชีวภาพละลายฟอสเฟต อัตรา 100 กรัมต่อต้น เส้นรอบวงโคนต้นเพิ่มขึ้น 5.4 เซนติเมตร ส่วนกรรมวิธีเกษตรกร และกรรมวิธีการใส่ปุ๋ยเคมีอัตรา 2.3-2.2-0.19 กิโลกรัม N-P₂O₅-K₂O ต่อต้น ร่วมกับปุ๋ยชีวภาพอาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซา อัตรา 100 กรัมต่อต้น เส้นรอบวงโคนต้นเพิ่มขึ้นต่ำสุดเท่ากับ 4.3 เซนติเมตร (ตารางที่ 4)

ตารางที่ 3 การเจริญเติบโตของต้นมะคาเดเมียตามกรรมวิธีการทดลองแปลงศูนย์วิจัยเกษตรหลวงเชียงใหม่

กรรมวิธี	ความสูง (ม.)			เส้นรอบวงโคนต้น (ซม)			ค่าเฉลี่ยทรงพุ่ม (ม.)					
	ปี			ปี			ปี 65		ปี 66		ปี 67	
	65	66	67	65	66	67	เหนือ-ใต้ (ม.)	ออก-ตก (ม.)	เหนือ-ใต้ (ม.)	ออก-ตก (ม.)	เหนือ-ใต้ (ม.)	ออก-ตก (ม.)
T1	7.0	7.7	8.3	71.0	77.3	80.1	6.4	7.0	6.9	7.5	8.1	8.6
T2	8.1	8.8	9.2	39.0	42.4	46.2	5.8	6.4	6.1	6.7	6.3	7.1
T3	7.3	8.4	8.9	49.3	54.0	57.3	5.8	6.4	6.2	6.9	6.7	7.0
T4	6.8	7.3	8.3	44.6	50.3	54.1	5.3	5.2	5.4	5.6	5.6	6.6

ตารางที่ 4 การเจริญเติบโตของต้นมะคาเดเมียตามกรรมวิธีการทดลอง แปลงศูนย์วิจัยพืชสวนเลย

กรรมวิธี	ความสูง (ม.)			เส้นรอบวงโคนต้น (ซม)			ค่าเฉลี่ยทรงพุ่ม (ม.)					
	ปี 65			ปี 66			ปี 65		ปี 66		ปี 67	
	65	66	67	65	66	67	เหนือ-ใต้ (ซม.)	ออก-ตก (ซม.)	เหนือ-ใต้ (ซม.)	ออก-ตก (ซม.)	เหนือ-ใต้ (ซม.)	ออก-ตก (ซม.)
T1	7.9	8.3	8.5	69.7	71.7	74.0	6.3	6.7	7.0	7.2	7.3	7.7
T2	7.5	7.8	8.3	70.3	74.0	75.7	7.1	7.9	7.4	7.3	8.7	8.7
T3	8.0	8.5	8.8	83.7	87.0	88.0	7.0	6.9	7.3	7.2	8.0	8.1
T4	7.6	7.7	8.6	64.0	67.2	69.7	6.7	6.1	6.8	7.3	7.5	8.1

3. ผลผลิต

แปลงทดลองศูนย์วิจัยเกษตรหลวงเชียงใหม่ พบว่าทุกกรรมวิธีไม่แตกต่างกันทางสถิติ แต่มีแนวโน้มกรรมวิธีการใส่ปุ๋ยเคมีอัตรา 2.3-2.2-0.19 กิโลกรัม N-P₂O₅-K₂O ต่อต้น ร่วมกับปุ๋ยชีวภาพละลายฟอสเฟต อัตรา 100 กรัมต่อต้น ให้น้ำหนักผลสดเฉลี่ยรวมสูงสุด 20.2 29.8 และ 39.2 กิโลกรัมต่อต้น ตามลำดับ ส่วนกรรมวิธีเกษตรกรให้ผลผลิตน้ำหนักผลสดเฉลี่ยต่ำสุด 8.2 11.2 และ 13.5 กิโลกรัมต่อต้น ตามลำดับ ด้านน้ำหนักกะลาสดเฉลี่ยรวม พบว่า กรรมวิธีการใส่ปุ๋ยเคมีอัตรา 2.3-2.2-0.19 กิโลกรัม N-P₂O₅-K₂O ต่อต้น ร่วมกับปุ๋ยชีวภาพละลายฟอสเฟต อัตรา 100 กรัมต่อต้น ให้น้ำหนักกะลาสดเฉลี่ยรวมสูงสุด 12.3 18.2 และ 28.8 กิโลกรัมต่อต้น ตามลำดับ ส่วนกรรมวิธีเกษตรกรให้ผลผลิตน้ำหนักกะลาสดเฉลี่ยต่ำสุด 4.8 5.5 และ 8.5 กิโลกรัมต่อต้น

ตามลำดับ (ตารางที่ 5) เนื่องจากแปลงศูนย์วิจัยเกษตรหลวงเชียงใหม่ พบการเข้าทำลายผลผลิต จากหนู กระรอก และกระแต ทำให้ผลผลิตเสียหาย ทำให้ข้อมูลผลผลิตต่ำกว่าที่ควรจะเป็นไม่เป็นไปตามกรรมวิธีที่วางไว้

แปลงทดลองศูนย์วิจัยพืชสวนเลย พบว่ากรรมวิธีการใส่ปุ๋ยเคมีอัตรา 2.3-2.2-0.19 กิโลกรัม N-P₂O₅-K₂O ต่อต้น ร่วมกับปุ๋ยชีวภาพละลายฟอสเฟต อัตรา 100 กรัมต่อต้น ให้น้ำหนักผลสดเฉลี่ยรวมสูงสุด 37.1 54.0 และ 74.0 กิโลกรัมต่อต้น ตามลำดับ และน้ำหนักกะลาสดเฉลี่ยรวม 17.0 23.3 และ 40.1 กิโลกรัมต่อต้น ตามลำดับ ส่วนกรรมวิธีการใส่ปุ๋ยเคมีอัตรา 2.3-2.2-0.19 กิโลกรัม N-P₂O₅-K₂O ต่อต้น ร่วมกับปุ๋ยชีวภาพละลายฟอสเฟตและปุ๋ยชีวภาพอาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซา อัตรา 100 กรัมต่อต้น ให้น้ำหนักผลสดเฉลี่ยรวมสูงสุด ให้น้ำหนักผลสดเฉลี่ยรวมต่ำสุด 20.3 37.9 และ 39.4 กิโลกรัมต่อต้น และน้ำหนักกะลาสดเฉลี่ยรวม 9.6 16.4 และ 19.6 กิโลกรัมต่อต้น ตามลำดับ (ตารางที่ 6)

ตารางที่ 5 น้ำหนักผลผลิตของมะคาเดเมียปี 2565 - 2567 แปลงศูนย์วิจัยเกษตรหลวงเชียงใหม่

กรรมวิธี	น้ำหนักผลสดเฉลี่ยรวม (ก.ก.)			น้ำหนักกะลาสดเฉลี่ยรวม (ก.ก.)		
	ปี 65	ปี 66	ปี 67	ปี 65	ปี 66	ปี 67
T1	8.2c	11.2c	13.5ab	4.8c	5.5c	8.5c
T2	20.2a	29.8a	39.2a	12.3a	18.2a	28.8a
T3	12.4ab	17.4b	24.5b	6.8b	8.3b	15.3b
T4	10.5b	19.5ab	26.8ab	6.7b	9.2b	12.2b
CV (%)	7.5	8.3	7.4	5.8	7.6	9.2

อักษรที่เหมือนกันในคอลัมน์เดียวกันไม่แตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซนต์เปรียบเทียบโดยวิธี DMRT

ตารางที่ 6 น้ำหนักผลผลิตของมะคาเดเมียปี 2565 - ปี 2567 แปลงศูนย์วิจัยพืชสวนเลย

กรรมวิธี	น้ำหนักผลสดเฉลี่ยรวม (ก.ก./ต้น)			น้ำหนักกะลาสดเฉลี่ยรวม (ก.ก./ต้น)		
	ปี 65	ปี 66	ปี 67	ปี 65	ปี 66	ปี 67
T1	16.4b	44.5ab	48.5b	7.6b	19.7ab	20.8b
T2	37.1a	54.0a	74a	17.0a	23.3a	40.1a
T3	21.0ab	42.7ab	41bc	9.6b	19.6ab	22.1b
T4	20.3ab	37.9b	39.4c	9.6b	16.4b	19.6b
CV (%)	5.6	6.3	7.1	7.5	8.3	7.4

อักษรที่เหมือนกันในคอลัมน์เดียวกันไม่แตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซนต์เปรียบเทียบโดยวิธี DMRT

4. ความเข้มข้นของธาตุอาหาร

แปลงศูนย์วิจัยเกษตรหลวงเชียงใหม่ พบว่าปริมาณไนโตรเจนในส่วนของใบและองค์ประกอบผลผลิตเปลือกผล กะลา และเนื้อใน พบปริมาณไนโตรเจนที่เข้มข้นสูงขึ้นหลังจากใช้ปุ๋ยเคมีตามค่าวิเคราะห์ดินร่วมกับการใช้ปุ๋ยชีวภาพละลายฟอสเฟต และปุ๋ยชีวภาพอาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาอย่างใดอย่างหนึ่ง หรือปุ๋ยชีวภาพทั้ง 2 ชนิดรวมกัน (ตารางที่ 7) วิเคราะห์ปริมาณธาตุอาหารพืชในตัวอย่างใบ และในองค์ประกอบผลผลิต แยกเป็นเปลือก กะลา และเนื้อมะคาเดเมีย พบว่าปริมาณไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียม โดยการเปลี่ยนแปลงในทิศทางเพิ่มขึ้นเมื่อมีการใช้ปุ๋ยตามค่าวิเคราะห์ดินร่วมกับการใช้ปุ๋ยชีวภาพไม่ว่าจะเป็นปุ๋ยชีวภาพละลายฟอสเฟต หรือปุ๋ยชีวภาพอาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซา เนื่องจากพืชสามารถดูดใช้ธาตุอาหารมาสะสมในใบและ

องค์ประกอบผลผลิตมากขึ้น โดยธาตุอาหารมีปริมาณเหมาะสมและจุลินทรีย์ที่ใช้ผลิตชีวภาพสามารถปลดปล่อยธาตุอาหารให้อยู่ในรูปที่พืชสามารถใช้ประโยชน์ได้ง่าย

ด้านฟอสฟอรัส และโพแทสเซียม พบว่าปริมาณในส่วนของใบและองค์ประกอบผลผลิต เปลือกผล กะลา และเนื้อใน พบฟอสฟอรัส และโพแทสเซียม ปริมาณที่เข้มข้นเพิ่มสูงขึ้นหลังจากใช้ปุ๋ยเคมีตามค่าวิเคราะห์ดินร่วมกับการใช้ปุ๋ยชีวภาพละลายฟอสเฟต และปุ๋ยชีวภาพอาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาอย่างใดอย่างหนึ่ง หรือปุ๋ยชีวภาพทั้ง 2 ชนิดรวมกัน เช่นเดียวกันกับไนโตรเจน

ตารางที่ 7 ความเข้มข้นของธาตุอาหารในใบ เปลือกผล กะลา และเนื้อในผลมะคาเดเมียแปลงศูนย์วิจัยเกษตรหลวงเชียงใหม่

ธาตุอาหาร	กรรมวิธี	ใบ	เปลือกผล	กะลา	เนื้อใน
ไนโตรเจน (%)	T1	2.40	0.86	0.42	1.44
	T2	2.15	1.25	0.36	1.48
	T3	2.31	1.30	0.34	1.71
	T4	2.29	1.48	0.36	1.56
ฟอสฟอรัส (%)	T1	0.55	0.24	0.29	0.74
	T2	0.49	0.51	0.21	0.54
	T3	0.53	0.49	0.22	0.56
	T4	0.52	0.71	0.27	0.59
โพแทสเซียม (%)	T1	1.01	0.78	0.08	0.33
	T2	1.02	1.12	0.05	0.56
	T3	1.02	1.17	0.05	0.65
	T4	1.02	1.45	0.07	0.82

แปลงศูนย์วิจัยพืชสวนเลย เมื่อวิเคราะห์ปริมาณความเข้มข้นของธาตุอาหาร ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียม ในส่วนของใบและองค์ประกอบผลผลิต เปลือกผล กะลา และเนื้อใน พบว่าในทุกองค์ประกอบมีความเข้มข้นของธาตุอาหารเข้มข้นเพิ่มสูงขึ้นหลังจากใช้ปุ๋ยเคมีตามค่าวิเคราะห์ดินร่วมกับการใช้ปุ๋ยชีวภาพละลายฟอสเฟต และปุ๋ยชีวภาพอาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาอย่างใดอย่างหนึ่ง หรือปุ๋ยชีวภาพทั้ง 2 ชนิดรวมกัน (ตารางที่ 8)

ตารางที่ 8 ความเข้มข้นของธาตุอาหารในใบ เปลือกผล กะลา และเนื้อในผลมะคาเดเมียแปลงศูนย์วิจัยพืชสวนเลย

ธาตุอาหาร	กรรมวิธี	ใบ	เปลือกผล	กะลา	เนื้อใน
ไนโตรเจน (%)	T1	2.40	0.98	0.42	0.88
	T2	2.15	1.05	0.36	1.29
	T3	2.31	1.07	0.34	1.14
	T4	2.29	1.28	0.36	1.25
ฟอสฟอรัส (%)	T1	0.55	0.34	0.19	0.07
	T2	0.49	0.35	0.27	0.05
	T3	0.53	0.39	0.22	0.06
	T4	0.52	0.41	0.24	0.05
โพแทสเซียม (%)	T1	1.01	1.35	0.64	0.23
	T2	1.02	1.42	0.74	0.20
	T3	1.02	1.37	0.54	0.28
	T4	1.02	1.46	0.52	0.28

5. อัตราส่วนผลตอบแทนต่อต้นทุน (Benefit Cost Ratio: BCR)

ในปี 2567 แปลงศูนย์วิจัยเกษตรหลวงเชียงใหม่ วิเคราะห์อัตราส่วนผลตอบแทนต่อต้นทุน พบว่าการใส่ปุ๋ยเคมีตามค่าวิเคราะห์ดินร่วมกับปุ๋ยชีวภาพละลายฟอสเฟต ทำให้ผลตอบแทนทางเศรษฐกิจสูงกว่าการใช้ปุ๋ยเคมีตามกรรมวิธีของเกษตรกร คือการใช้ปุ๋ยเคมีอัตรา 40-5-3.5 กิโลกรัม $N-P_2O_5-K_2O$ ต่อไร่ ร่วมกับปุ๋ยชีวภาพละลายฟอสเฟตอัตรา 2.5 กิโลกรัมต่อไร่ อัตราส่วนผลตอบแทนต่อต้นทุนสูงที่สุดเท่ากับ 5.37 ส่วนกรรมวิธีเกษตรกรเท่ากับ 1.46 (ตารางที่ 9) การใส่ปุ๋ยเคมีตามค่าวิเคราะห์ดินร่วมกับปุ๋ยชีวภาพละลายฟอสเฟตจึงคุ้มค่ากับการลงทุน

ตารางที่ 9 จำนวนผลผลิต รายได้ ต้นทุนการผลิต รายได้สุทธิ และสัดส่วนรายได้ต่อต้นทุนการผลิตในการผลิตมะคาเดเมีย 1 ไร่ ในศูนย์วิจัยเกษตรหลวงเชียงใหม่

กรรมวิธี	ผลผลิต (กก./ไร่)	รายได้ (บาท)	ต้นทุน (บาท)	รายได้สุทธิ (บาท)	BCR
T1 15-15-15 อัตรา 25 กก./ไร่ +มูลวัว 500 กก./ไร่	172.5	17,250	7,000	10,250	1.46
T2 40-5-3.5 กก. $N-P_2O_5-K_2O$ /ไร่ +มูลวัว 500 กก./ไร่ +ปุ๋ยชีวภาพละลายฟอสเฟต 2.5 กก./ไร่	502.5	50,250	7,894	42,356	5.37
T3 40-5-3.5 กก. $N-P_2O_5-K_2O$ /ไร่ +มูลวัว 500 กก./ไร่ +ปุ๋ยชีวภาพอาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซา 2.5 กก./ไร่	337.5	33,750	7,969	25,781	3.24
T4 40-5-3.5 กก. $N-P_2O_5-K_2O$ /ไร่ +มูลวัว 500 กก./ไร่ +ปุ๋ยชีวภาพละลายฟอสเฟต 2.5 กก./ไร่ +ปุ๋ยชีวภาพอาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซา 2.5 กก./ไร่	257.5	25,750	8,194	17,556	2.14

หมายเหตุ : ราคาเกลาแห้ง กิโลกรัม 100 บาท

- ราคาปุ๋ยเคมีขายปลีกเดือน กุมภาพันธ์ 2567

- ราคาปุ๋ยเคมี 15-15-15 ราคากระสอบละ 1,500 บาท

- มูลวัว กิโลกรัมละ 2.5 บาท

- ราคาปุ๋ยเคมี 46-0-0 ราคากระสอบละ 1,400 บาท 0-46-0 ราคากระสอบละ 1,800 บาท 0-0-60 ราคากระสอบละ 1,700 บาท

- ปุ๋ยชีวภาพละลายฟอสเฟต ถุงละ 45 บาท (500 กรัม) - ปุ๋ยชีวภาพอาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซา ถุงละ 60 บาท (500 กรัม)

ในปี 2567 แปลงศูนย์วิจัยพืชสวนเลย วิเคราะห์อัตราส่วนผลตอบแทนต่อต้นทุน พบว่าการใส่ปุ๋ยเคมีตามค่าวิเคราะห์ดินร่วมกับปุ๋ยชีวภาพละลายฟอสเฟต ทำให้ผลตอบแทนทางเศรษฐกิจสูงกว่าการใช้ปุ๋ยเคมีตามกรรมวิธีของเกษตรกร คือการใช้ปุ๋ยเคมีอัตรา 47.5-3.75-3.75 กิโลกรัม $N-P_2O_5-K_2O$ ต่อไร่ ร่วมกับปุ๋ยชีวภาพละลายฟอสเฟตอัตรา 2.5 กิโลกรัมต่อไร่ อัตราส่วนผลตอบแทนต่อต้นทุนสูงที่สุดเท่ากับ 10.84 ส่วนกรรมวิธีเกษตรกรเท่ากับ 5.39 (ตารางที่ 10) การใส่ปุ๋ยเคมีตามค่าวิเคราะห์ดินร่วมกับปุ๋ยชีวภาพละลายฟอสเฟตจึงคุ้มค่ากับการลงทุน ส่วนกรรมวิธีการใส่ปุ๋ยเคมีตามค่าวิเคราะห์ดินร่วมกับปุ๋ยชีวภาพอาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซา และใส่ปุ๋ยชีวภาพทั้ง 2 ชนิดร่วมกันจำเป็นต้องดูแลระยะยาว เนื่องจากปุ๋ยชีวภาพใส่เพียงครั้งเดียวและจุลินทรีย์ยังมีชีวิตสามารถเพิ่มปริมาณในธรรมชาติได้ และยังคงมีประสิทธิภาพเพิ่มประโยชน์การใช้ปุ๋ยในมะคาเดเมีย

ตารางที่ 10 จำนวนผลผลิต รายได้ ต้นทุนการผลิต รายได้สุทธิ และสัดส่วนรายได้ต่อต้นทุนการผลิตในการผลิตมะคาเดเมีย 1 ไร่ ในศูนย์วิจัยพืชสวนเลย

กรรมวิธี	ผลผลิต (กก./ไร่)	รายได้ (บาท)	ต้นทุน (บาท)	รายได้สุทธิ (บาท)	BCR
T1 15-15-15 อัตรา 25 กก/ไร่ +มูลไก่ 500 กก./ไร่	477.5	44,750	7,000	37,750	5.39
T2 47.5-3.75-3.75 กก. N-P ₂ O ₅ -K ₂ O/ไร่ +มูลไก่ 500 กก/ไร่ +ปุ๋ยชีวภาพละลายฟอสเฟต 2.5 กก/ไร่	955	95,500	8,068	87,432	10.84
T3 47.5-3.75-3.75 กก. N-P ₂ O ₅ -K ₂ O/ไร่ +มูลไก่ 500 กก/ไร่ +ปุ๋ยชีวภาพอาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซา 2.5 กก/ไร่	512.5	51,250	8,164	43,086	5.28
T4 47.5-3.75-3.75 กก. N-P ₂ O ₅ -K ₂ O/ไร่ +มูลไก่ 500 กก/ไร่ +ปุ๋ยชีวภาพละลายฟอสเฟต 2.5 กก/ไร่ +ปุ๋ยชีวภาพอาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซา 2.5 กก/ไร่	445	44,500	8,368	36,132	4.32

หมายเหตุ : ราคากะลาแห้ง กิโลกรัม 100 บาท - ราคาปุ๋ยเคมีขายปลีกเดือน กุมภาพันธ์ 2567
 - ราคาปุ๋ยเคมี 15-15-15 ราคากระสอบละ 1,500 บาท - มูลไก่เกลบ กิโลกรัมละ 2.5 บาท
 - ราคาปุ๋ยเคมี 46-0-0 ราคากระสอบละ 1,400 บาท 0-46-0 ราคากระสอบละ 1,800 บาท 0-0-60 ราคากระสอบละ 1,700 บาท
 - ปุ๋ยชีวภาพละลายฟอสเฟต ถุงละ 45 บาท (500 กรัม) - ปุ๋ยชีวภาพอาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซา ถุงละ 60 บาท (500 กรัม)

สรุปผลการทดลอง

1. การใช้ปุ๋ยเคมีตามค่าวิเคราะห์ดิน ร่วมกับการใช้ปุ๋ยอินทรีย์ ปุ๋ยชีวภาพละลายฟอสเฟต ให้ผลผลิตมะคาเดเมียสูงที่สุด รองลงมาเป็นการใช้ปุ๋ยเคมีตามค่าวิเคราะห์ดิน ร่วมกับการใช้ปุ๋ยอินทรีย์ ปุ๋ยชีวภาพละลายฟอสเฟตและปุ๋ยชีวภาพอาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซา ซึ่งให้ผลผลิตมากกว่ากรรมวิธีการปฏิบัติของเกษตรกร
2. การใช้ปุ๋ยเคมีตามค่าวิเคราะห์ดิน ร่วมกับการใช้ปุ๋ยอินทรีย์ ปุ๋ยชีวภาพละลายฟอสเฟตและปุ๋ยชีวภาพอาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซา ทำให้การเจริญเติบโตด้านความสูงและขนาดทรงพุ่มมากกว่าการใช้ปุ๋ยตามการปฏิบัติของเกษตรกร
3. แปลงทดลองเกษตรหลวงเชียงใหม่มีแนวโน้มการเจริญเติบโตและผลผลิตก็เช่นเดียวกับแปลงศูนย์วิจัยพืชสวนเลย แต่มีการเข้าทำลายผลผลิตจากสัตว์ฟันแทะทำให้การแสดงผลไม่ชัดเจน
4. เมื่อเก็บตัวอย่างดินตรวจนับจำนวนจุลินทรีย์ละลายฟอสเฟตยังคงพบรา *Talaromyces* *off. macrosporus* จำนวน 10^4 cfu/g.soil และยังคงมีประสิทธิภาพการละลาย CaH_2PO_4 และพบการเข้าอาศัยในรากพืชของเชื้อราไมคอร์ไรซา ที่จำนวน 58 ถึง 286 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งจุลินทรีย์สามารถเพิ่มปริมาณในธรรมชาติ และยังคงมีประสิทธิภาพด้านการให้ปุ๋ยแก่พืช

การนำผลงานวิจัยไปใช้ประโยชน์

สามารถแนะนำเกษตรกร นักวิชาการ และผู้ที่สนใจนำปุ๋ยชีวภาพละลายฟอสเฟต และปุ๋ยชีวภาพอาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาไปใช้เพื่อเพิ่มการเจริญเติบโต และผลผลิตของไม้ผลชนิดอื่น ๆ ได้

เอกสารอ้างอิง

- ศูนย์เทคโนโลยีสารสนเทศและการสื่อสาร. 2562. มะคาเดเมีย: ปีเพาะปลูก 2561. ศูนย์เทคโนโลยีสารสนเทศและการสื่อสาร กรมส่งเสริมการเกษตร. <http://www.agriinfo.doae.go.th/year63/plant/rortor/perennial/macademia.pdf>. ค้นเมื่อ 16 ตุลาคม 2562
- สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร. 2563. 'แมคคาเดเมีย' พืชเศรษฐกิจทางเลือกสำหรับพื้นที่สูง แนวโน้มตลาดในอนาคตทิศทางดี. ข่าวที่ 118/2563 วันที่ 7 ตุลาคม 2563 <https://www.oae.go.th/view/1/รายละเอียดข่าว/ข่าว%20สศก./35118/TH-TH>. ค้นเมื่อ 10 ตุลาคม 2563
- Bray, R.L. and L.T. Kurtz. 1945. Determination of total organic and Available forms of phosphorus in soils. *Soil Science*. 59: 39-45.
- Chapman, D.D. 1965. Total exchangeable bases. p. 902-904. In: Black, C. A. (ed). *Method of Soil analysis Part 2: Chemical and Microbiological Properties No.9*. Madison, Wisconsin: American Society of Agronomy Inc.
- Jackson, M.L. 1967. *Soil Chemical Analysis*. New Delhi: Prentice-Hall of India Pvt. Ltd.
- Kuperus, K.H. and R.A. Abercrombie. 2003. Fertilization. p. 89-99. In: E.A. de Villiers. *The cultivation of Macadamia* (ed.).
- Peech, M. 1965. Hydrogen-ion Activity. p. 914-925. In: Black, C.A. (ed). *Method of Soil Analysis Part 2: Chemical and Microbiological Properties No.9*. Madison, Wisconsin: American Society of Agronomy Inc.
- Castillo, C., Sotomayor, L., Ortiz, C., Leonell, G., Borie, F. and Rubio, R. 2009. Effect of arbuscular mycorrhizal fungi on an ecological crop of chili peppers (*Capsicum annuum* L.). *Chil J Agric Res*. 69(1):79-87.
- Gianinazzi-Pearson, V. and S. Gianinazzi, 1983. The physiology of vesicular-arbuscula Mycorrhizal roots. *Plant and Soil*. 71: 107-209.
- Marihal, A.K., Pradeep, S.M. and Jagadeesh, K.S..2011. Effect of commercial mycorrhizal inoculant on growth and yield of chilli (*Capsicum annum* L.) in field conditions. *Karnataka J. Agric. Sci*. 24 (4): 589-590.
- Selvakumar, G. and Thamizhiniyan, P. 2011. The effect of the arbuscular mycorrhizal (AM) fungus *Glomus intraradices* on the growth and yield of chilli (*Capsicum annum* L.) under salinity stress. *World Applied Sci. J*. 14: 1209-1214.

ศึกษาการใช้ปุ๋ยตามค่าวิเคราะห์ดินและพืชในแปลงมะพร้าว

Study on Fertilizer Application Based on Soil and Plant Analysis in Coconut Plantations

ปิยะนันท์ วิวัฒน์วิทยา¹ ทิพวรรณ แก้วหนู¹ ศรีสุดา รื่นเจริญ¹ ปฐิมาภรณ์ จินจาคาม¹
ทิพย์ ไกรทอง² หยกทิพย์ สุดารีย์² กุลินดา แทนจันทร์² พันธุ์ทิพย์ มีสฤติย²
Piyanun Wiwatwittaya¹ Tipawan Kaewnoo¹ Srisuda Ruencharoen Patimaporn Jinjaka¹
Tippaya Kraitong² Yokthip Sudaree² Kunlinda Thunjan² Phanthip Meethit²

กลุ่มวิจัยปฐพีวิทยา

กองวิจัยพัฒนาปัจจัยการผลิตทางการเกษตร

ABSTRACT

Fertilizer management by considering the application rate based on the nutrient content in the soil, along with adjusting the fertilizer application to match the nutrient requirements of the plants, can enhance production efficiency, reduce chemical fertilizer costs, and increase returns from crop production. Therefore, a study was conducted on fertilizer application based on soil and plant analysis values in coconut plantations to develop appropriate nutrient management strategies for improving coconut yield in southern Thailand. The experiment was carried out at the Chumphon Horticultural Research Center in Chumphon Province and the Khanthuli Hybrid Coconut Seed Production Plantation in Surat Thani Province. The experiment was designed using a Randomized Complete Block Design (RCB) consisting of 3 treatments, each with 8 replications, as follows:

1. Fertilizer application based on farmers' practices (application of 14-14-21 fertilizer at a rate of 2 kg/tree/year combined with farmyard manure at a rate of 20 kg/tree/year).
2. Fertilization according to the recommendation of the Department of Agriculture (application of 13-13-21 fertilizer at a rate of 4 kg/tree/year, farmyard manure at 50 kg/tree/year, and magnesium sulfate at 500 g/tree/year)
3. Fertilization based on soil and leaf analysis values: For tall Thai coconut varieties: 46-0-0 fertilizer at 3.3 kg/tree/year, 0-46-0 at 1.1 kg/tree/year, and 0-0-60 at 1.7 kg/tree/year. For aromatic coconut varieties: 46-0-0 at 2.6 kg/tree/year, 0-46-0 at 1.1 kg/tree/year, and 0-0-60 at 1.3 kg/tree/year. The experimental results from harvesting the yields of both Thai tall coconuts and aromatic coconuts, it was found that the different fertilization treatments did not result in statistically significant differences in coconut yield. However, there was a trend indicating that fertilization based on soil and leaf analysis values and the Department of Agriculture's recommendations provided higher yields compared to the Fertilizer application based on farmers' practices. For Thai tall coconuts, the average yield per tree was: 90.9, 82.3, and 71.3 fruits, respectively. For aromatic coconuts 64.63, 64.25, and 47.13 fruits, respectively. Regarding costs and returns, the third method applying fertilizer based on soil and leaf analysis provided the most cost-effective return on investment for both tall Thai and aromatic coconut

¹ กองวิจัยพัฒนาปัจจัยการผลิตทางการเกษตร

¹ Agricultural Production Science Research and Development Division

² ศูนย์วิจัยพืชสวนชุมพร

² Chumphon Horticultural Research Center

varieties. Farmers can adopt this method to manage their coconut plantations more efficiently, reducing fertilizer costs while achieving higher and more economically viable yields.

Keywords: Coconut, Fertilizer, Soil analysis, Plant analysis

บทคัดย่อ

การจัดการปุ๋ยโดยการพิจารณาอัตราการใช้ปุ๋ยจากปริมาณธาตุอาหารที่มีอยู่ในดินร่วมกับการปรับอัตราการใช้ปุ๋ยให้สอดคล้องกับความต้องการธาตุอาหารของพืชซึ่งจะสามารถช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการผลิต ลดต้นทุนปุ๋ยเคมีและเพิ่มผลตอบแทนจากการผลิตพืชได้ ดังนั้น จึงได้ศึกษาการใช้ปุ๋ยตามค่าวิเคราะห์ดินและพืชในแปลงมะพร้าว เพื่อให้ได้การจัดการธาตุอาหารพืชต่อการเพิ่มผลผลิตของมะพร้าวในเขตภาคใต้ที่เหมาะสม ดำเนินการทดลองที่ศูนย์วิจัยพืชสวนชุมพร จังหวัดชุมพร และสวนผลิตพันธุ์มะพร้าวลูกผสมพันธุ์ดี จังหวัดสุราษฎร์ธานี วางแผนการทดลองแบบ Randomized Complete Block Design (RCB) ประกอบด้วย 3 กรรมวิธี กรรมวิธีละ 8 ซ้ำ ดังนี้ กรรมวิธีที่ 1 ใส่ปุ๋ยตามวิธีเกษตรกร (ใส่ปุ๋ย 14-14-21 อัตรา 2 กิโลกรัมต่อต้นต่อปี ร่วมกับปุ๋ยคอกอัตรา 20 กิโลกรัมต่อต้นต่อปี) กรรมวิธีที่ 2 ใส่ปุ๋ยตามคำแนะนำของกรมวิชาการเกษตร (ใส่ปุ๋ย 13-13-21 อัตรา 4 กิโลกรัมต่อต้นต่อปี ร่วมกับปุ๋ยคอก อัตรา 50 กิโลกรัมต่อต้นต่อปี และแมกนีเซียมซัลเฟต อัตรา 500 กรัมต่อต้นต่อปี) กรรมวิธีที่ 3 ใส่ปุ๋ยตามค่าวิเคราะห์ดินและใบพืช (แปลงมะพร้าวพันธุ์ไทยต้นสูง ใส่ปุ๋ย 46-0-0 อัตรา 3.3 กิโลกรัมต่อต้นต่อปี ร่วมกับปุ๋ย 0-46-0 อัตรา 1.1 กิโลกรัมต่อต้นต่อปี และปุ๋ย 0-0-60 อัตรา 1.7 กิโลกรัมต่อต้นต่อปี แปลงมะพร้าวน้ำหอม ใส่ปุ๋ย 46-0-0 อัตรา 2.6 กิโลกรัมต่อต้นต่อปี ร่วมกับปุ๋ย 0-46-0 อัตรา 1.1 กิโลกรัมต่อต้นต่อปี และปุ๋ย 0-0-60 อัตรา 1.3 กิโลกรัมต่อต้นต่อปี) ผลการทดลอง จากการเก็บเกี่ยวผลผลิตมะพร้าวพันธุ์ไทยต้นสูง และมะพร้าวน้ำหอม พบว่า การใช้ปุ๋ยตามกรรมวิธีต่างๆ ไม่ทำให้ผลผลิตมะพร้าวแตกต่างกันทางสถิติ โดยมีแนวโน้มการใส่ปุ๋ยตามค่าวิเคราะห์ดินและใบพืช และการใส่ปุ๋ยตามคำแนะนำของกรมวิชาการเกษตรจะให้ผลผลิตสูงกว่าการใส่ปุ๋ยตามวิธีเกษตรกร ซึ่งมะพร้าวพันธุ์ไทยต้นสูงให้ผลผลิตเฉลี่ย 90.9 82.3 และ 71.3 ผลต่อต้น ตามลำดับ สำหรับมะพร้าวน้ำหอม พบว่า การใช้ปุ๋ยตามคำแนะนำของกรมวิชาการเกษตรและการใส่ปุ๋ยตามค่าวิเคราะห์ดินและใบพืช จะให้ผลผลิตสูงกว่าการใส่ปุ๋ยตามวิธีเกษตรกร ซึ่งให้ผลผลิตเฉลี่ย 64.63 64.25 และ 47.13 ผลต่อต้น ตามลำดับ ต้นทุนและผลตอบแทนจากการใส่ปุ๋ยในการผลิตมะพร้าวพันธุ์ไทยต้นสูง และน้ำหอม พบว่า กรรมวิธีที่ 3 การใส่ปุ๋ยตามค่าวิเคราะห์ดินและใบพืช จะให้ผลตอบแทนคุ้มค่าแก่การลงทุนมากที่สุด เกษตรกรสามารถนำไปใช้ในการจัดการสวนมะพร้าว เพื่อลดต้นทุนจากการใช้ปุ๋ย และได้ผลผลิตพืชสูงคุ้มค่ากับการลงทุน

คำสำคัญ: มะพร้าว ปุ๋ย การวิเคราะห์ดิน การวิเคราะห์พืช

บทนำ

มะพร้าวเป็นพืชยืนต้นที่มีอายุนานนับร้อยปี หรือเป็นพืชบรรพบุรุษที่เป็นมรดกทั้งต้นมะพร้าวและพื้นที่ที่ส่งต่อรุ่นลูก รุ่นหลาน นอกจากนั้นมะพร้าวยังได้รับการขนานนามว่า เป็นพืชแห่งชีวิต (Tree for life) เป็นพืชสารพัดประโยชน์จากทุกส่วนของต้น โดยปี 2565 ประเทศไทยมีพื้นที่ปลูกทั่วประเทศ 862,718 ไร่ ผลผลิตรวม 676,324,744 ผล ผลผลิตเฉลี่ย 830 ผลต่อไร่ แหล่งผลิตที่สำคัญ ได้แก่ จังหวัดประจวบคีรีขันธ์ ชุมพร และสุราษฎร์ธานี (สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร, 2566) ซึ่งเป็นแหล่งปลูกเดิมที่ปลูกมะพร้าวพันธุ์ไทยต้นสูง มีทั้งพื้นที่ที่ต้นมะพร้าวมีอายุต้นมากกว่า 20 ปี และพื้นที่ที่ปลูกทดแทนต้นที่ได้รับผลกระทบจากการระบาดของหนอนหัวดำและแมลงดำหนาม ถึงแม้ว่ามะพร้าวเป็นพืชที่มีอายุการให้ผลผลิตยาวนานถึง 60 ปี แต่ปัญหาการปลูกมะพร้าวในปัจจุบัน คือ มะพร้าวขาดการบำรุงต้นอย่างต่อเนื่อง เกษตรกรมีการใช้ปุ๋ยที่หลากหลายหรือบางรายไม่ใช้ปุ๋ยเคมีเลย บางรายก็ใช้มากเกินความต้องการของมะพร้าว หรือใส่ปุ๋ย 15-15-15 ตลอดฤดูปลูก จึงไม่สอดคล้องกับความต้องการของพืชในแต่ละระยะการเจริญเติบโต ทำให้ต้นมะพร้าวให้ผลผลิตต่ำ ผลมีขนาดเล็ก เนื้อและน้ำมะพร้าวมีปริมาณน้อย การเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตและผลผลิตให้เพียงพอต่อความต้องการของตลาดต้องมีการศึกษาการใช้ปัจจัยการผลิตที่เหมาะสม ต้นทุนต่ำ สอดคล้องกับสภาพดินและความต้องการธาตุอาหารของพืช ซึ่งการจัดการปุ๋ยเป็นปัจจัยหลักที่มีผลต่อต้นทุนการผลิตและศักยภาพการผลิตทั้งในด้านปริมาณและคุณภาพ

การใส่ปุ๋ยตามความต้องการของพืชช่วยให้พืชสามารถนำธาตุอาหารไปใช้ได้อย่างมีประสิทธิภาพ พืชแต่ละชนิดมีความต้องการธาตุอาหารแตกต่างกันจึงจำเป็นต้องวิเคราะห์ดินและพืชก่อนการใส่ปุ๋ย โดยการวิเคราะห์ดินแสดงให้เห็นถึงคุณสมบัติดินว่ามีปริมาณธาตุอาหารในรูปที่เป็นประโยชน์เพียงพอต่อความต้องการของพืชหรือไม่ ส่วนการวิเคราะห์พืชแสดงถึงปริมาณธาตุอาหารที่พืชดูดจากดินมาใช้ประโยชน์ได้ ซึ่งข้อมูลที่ได้จากการวิเคราะห์ทำให้ทราบสถานะธาตุอาหารพืชได้ดีกว่าการสังเกตอาการของพืช ในปัจจุบันนิยมใช้ค่าวิเคราะห์ธาตุอาหารระดับที่เหมาะสมในใบพืชเป็นเกณฑ์ในการพิจารณาการใช้ธาตุอาหารที่เชื่อกันว่าจะใกล้เคียงกับความต้องการของพืชมากที่สุด (กลุ่มงานวิจัยความอุดมสมบูรณ์ของดินและปุ๋ยพืชสวนและไม้ยืนต้น, 2545) การนำค่าวิเคราะห์ดินและพืชมาใช้ร่วมกันทำให้สามารถวางแผนการให้ปุ๋ยเป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพสอดคล้องกับความต้องการธาตุอาหารของพืช เพิ่มศักยภาพการผลิตพืช ลดต้นทุนการผลิตและช่วยเพิ่มผลตอบแทน ดังนั้นการทดลองนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาการเจริญเติบโต การให้ผลผลิตที่ได้จากการใส่ปุ๋ยตามค่าวิเคราะห์ดินและพืชเปรียบเทียบกับการใส่ปุ๋ยแบบอื่นๆ เพื่อใช้เป็นข้อมูลในการจัดการธาตุอาหารพืชที่เหมาะสมในพื้นที่ปลูกมะพร้าวในปีต่อๆ ไป

อุปกรณ์และวิธีการ

อุปกรณ์

1. ปุ๋ยเคมีเกรด 13-13-21, 14-14-21, 46-0-0, 0-46-0, 0-0-60 และแมกนีเซียมซัลเฟต
2. ปุ๋ยคอก
3. สารเคมีสำหรับวิเคราะห์ตัวอย่างดินและพืชในห้องปฏิบัติการ
4. เครื่องมือวิทยาศาสตร์ และวัสดุวิทยาศาสตร์สำหรับวิเคราะห์ตัวอย่างดินและพืชในห้องปฏิบัติการ
5. เครื่องมือ และอุปกรณ์สำหรับเก็บตัวอย่างดินและพืช

วิธีการ

1. ดำเนินการทดลองที่แปลงมะพร้าวพันธุ์ไทยต้นสูงในศูนย์วิจัยพืชสวนชุมพร ตำบลวิสัยใต้ อำเภอสวี จังหวัดชุมพร พิกัดแปลง 47P 510774 1069150 และแปลงมะพร้าวน้ำหอมในสวนผลิตพันธุ์มะพร้าวลูกผสมคันธุลี ตำบลคันธุลี อำเภอท่าชนะ จังหวัดสุราษฎร์ธานี พิกัดแปลง 47P 509853 1070018

2. เก็บตัวอย่างดิน 4 จุดรอบโคนต้น จำนวน 96 ต้นต่อแปลง ก่อนการใส่ปุ๋ยและหลังการเก็บใส่ปุ๋ยโดยเก็บที่ระดับความลึก 0-15 เซนติเมตร และ 15-30 เซนติเมตร นำมาผึ่งให้แห้งในที่ร่มเมื่อตัวอย่างดินแห้งแล้ว ทำการแยกเศษพืชและกรวดออก นำตัวอย่างดินไปร่อนผ่านตะแกรง ขนาด 2 มิลลิเมตร จากนั้นจึงนำไปวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพและสมบัติทางเคมีของดินในห้องปฏิบัติการ ได้แก่ เนื้อดิน โดยวิธีไฮโดรมิเตอร์ (hydrometer method) ค่าความเป็นกรด-ด่างของดิน (pH) วัดโดย pH meter ใช้อัตราส่วนดิน:น้ำ เท่ากับ 1:1 (Peech, 1965) อินทรีย์วัตถุ (organic matter; OM) วิเคราะห์ด้วยวิธี Walkley and Black (Jackson, 1967) ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ (available phosphorus; Avail.P) วิเคราะห์โดยการสกัดดินด้วยน้ำยาสกัด Bray II (Bray and Kurtz, 1945) วัดการเกิดสีตามวิธี molybdenum blue วัดค่าการดูดกลืนแสงด้วยเครื่อง Spectrophotometer และ โพแทสเซียมที่เป็นประโยชน์ (available potassium; Avail.K) วิเคราะห์โดยการสกัดดินด้วย 1N Ammonium Acetate, pH 7.0 วัดด้วยเครื่อง Atomic Absorption Spectrophotometer (Chapman, 1965)
3. เก็บตัวอย่างใบมะพร้าว ตำแหน่งทางใบที่ 14 จากยอดลงมาซึ่งมีอายุใบไม่มากหรือน้อยเกินไป เลือกใบย่อยในทางใบที่ 14 ตรงกึ่งกลางทางใบข้างละ 5-10 ใบย่อย ตัดโคนใบและปลายใบย่อยออก เหลือเฉพาะตรงส่วนกลางยาวประมาณ 10-12 นิ้ว แล้วลอกเส้นกลางใบทิ้ง ชั่งน้ำหนักสดแล้วนำไปอบที่อุณหภูมิ 65-70 องศาเซลเซียส จนน้ำหนักพืชมีน้ำหนักคงที่ นำมาชั่งน้ำหนักแห้ง นำไปวิเคราะห์ปริมาณธาตุอาหารในพืช ได้แก่ ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส โพแทสเซียม แคลเซียม และแมกนีเซียม วิเคราะห์ปริมาณไนโตรเจนในพืช โดยวิธี Kjeldahl method (Jackson, 1967) ปริมาณฟอสฟอรัสในพืชโดยวิธี Vanadomolybdate method วัดค่าการดูดกลืนแสงด้วยเครื่อง Spectrophotometer ปริมาณโพแทสเซียม แคลเซียม และแมกนีเซียมทั้งหมด วัดด้วยเครื่อง Atomic absorption spectrophotometer (Ryan and Rashid, 2001)
4. วางแผนการทดลองแบบ Randomized Complete Block Design (RCB) ประกอบด้วย 3 กรรมวิธี กรรมวิธีละ 8 ซ้ำๆ ละ 4 หน่วยทดลอง ระยะปลูก 8x8 เมตร โดยดำเนินการทดลองที่แปลงมะพร้าวพันธุ์ไทยต้นสูงในศูนย์วิจัยพืชสวนชุมพร ตำบลวิสัยใต้ อำเภอสวี จังหวัดชุมพร จำนวน 1 แปลง และแปลงมะพร้าวน้ำหอมในสวนผลิตพันธุ์มะพร้าวลูกผสมพันธุ์ ตำบลคันธู อำเภอท่าชนะ จังหวัดสุราษฎร์ธานี จำนวน 1 แปลง ดังนี้
กรรมวิธีที่ 1 ใส่ปุ๋ยตามวิธีเกษตรกร (ใส่ปุ๋ย 14-14-21 อัตรา 2 กิโลกรัมต่อต้นต่อปี ร่วมกับปุ๋ยคอก อัตรา 20 กิโลกรัมต่อต้นต่อปี)
กรรมวิธีที่ 2 ใส่ปุ๋ยตามคำแนะนำของกรมวิชาการเกษตร (กรมวิชาการเกษตร, 2562) (ใส่ปุ๋ย 13-13-21 อัตรา 4 กิโลกรัมต่อต้นต่อปี ร่วมกับปุ๋ยคอก อัตรา 50 กิโลกรัมต่อต้นต่อปี และแมกนีเซียมซัลเฟต อัตรา 500 กรัมต่อต้นต่อปี)
กรรมวิธีที่ 3 ใส่ปุ๋ยตามค่าวิเคราะห์ดิน (กรมวิชาการเกษตร 2553) และใบพืช* (กรมวิชาการเกษตร, 2562) (แปลงมะพร้าวพันธุ์ไทยต้นสูง ใส่ปุ๋ย 46-0-0 อัตรา 3.3 กิโลกรัมต่อต้นต่อปี ร่วมกับปุ๋ย 0-46-0 อัตรา 1.1 กิโลกรัมต่อต้นต่อปี และปุ๋ย 0-0-60 อัตรา 1.7 กิโลกรัมต่อต้นต่อปี แปลงมะพร้าวน้ำหอม ใส่ปุ๋ย 46-0-0 อัตรา 2.6 กิโลกรัมต่อต้นต่อปี ร่วมกับปุ๋ย 0-46-0 อัตรา 1.1 กิโลกรัมต่อต้นต่อปี และปุ๋ย 0-0-60 อัตรา 1.3 กิโลกรัมต่อต้นต่อปี) แบ่งใส่ปุ๋ยปีละ 2 ครั้ง ต้นฤดูฝน และปลายฤดูฝน
หมายเหตุ : * การประเมินความต้องการธาตุอาหารตามค่าวิเคราะห์ใบ โดยการให้ปุ๋ยทางดิน
1) ถ้าค่าวิเคราะห์ใบ มีธาตุไนโตรเจนและฟอสฟอรัสอยู่ในช่วงเบี่ยงเบนร้อยละ 5 จากค่าวิกฤติ และโพแทสเซียมในช่วงเบี่ยงเบนร้อยละ 10 ให้ใส่ปุ๋ยในอัตราเดิม ตามปกติในปีถัดไป
2) ถ้าระดับธาตุอาหารในการวิเคราะห์ใบน้อยกว่าค่าต่ำสุดของค่าเบี่ยงเบนจากค่าวิกฤติ ควรเพิ่มปุ๋ยให้ได้ธาตุอาหารชนิดนั้นอีกร้อยละ 25 ในการใส่ปุ๋ยปีต่อไป
3) ถ้าค่าวิเคราะห์ใบสูงกว่าค่าเบี่ยงเบนจากค่าวิกฤติ ให้ลดปุ๋ยร้อยละ 25 ในปีต่อไป
5. ใส่ปุ๋ยตามกรรมวิธีที่กำหนด และหมั่นสำรวจโรคและแมลงที่เข้าทำลาย เพื่อหาทางป้องกันกำจัด

6. ประเมินผลของการใช้ปุ๋ยตามกรรมวิธีต่างๆ ต่อปริมาณของผลผลิตมะพร้าว เช่น ปริมาณผลผลิตต่อไร่ ผลผลิตต่อแปลง และผลผลิตต่อต้น
7. สุ่มเก็บตัวอย่างผลผลิตที่มีอายุผล 12 เดือน 1-2 ผล ต่อทะลาย นำมาชั่ง น้ำหนักสดและแยกผลมะพร้าวออกเป็นส่วนๆ องค์ประกอบผล (fruit component) ได้แก่ เปลือก เนื้อ น้ำ และกะลา เพื่อวิเคราะห์ปริมาณธาตุอาหาร ได้แก่ ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส โพแทสเซียม แคลเซียม และแมกนีเซียม วิเคราะห์ปริมาณไนโตรเจนในพืชโดยวิธี Kjeldahl method (Jackson, 1967) ปริมาณฟอสฟอรัสในพืชโดยวิธี Vanadomolybdate method วัดค่าการดูดกลืนแสงด้วยเครื่อง Spectrophotometer ปริมาณโพแทสเซียม แคลเซียม และแมกนีเซียมทั้งหมด วัดด้วยเครื่อง Atomic absorption spectrophotometer (Ryan and Rashid, 2001) วิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติโดยใช้ analysis of variance และเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยใช้ Duncan's New Multiple Range Test โดยใช้โปรแกรม IRRISTAT version 4.0 for Windows
8. ประเมินผลตอบแทนทางเศรษฐกิจและความคุ้มค่าทางเศรษฐกิจ จากการใช้ปุ๋ยกรรมวิธีต่าง ๆ ในการผลิตมะพร้าว โดยการวิเคราะห์ Value to cost ratio (VCR) เปรียบเทียบผลตอบแทน
9. บันทึกข้อมูลผลวิเคราะห์ดินก่อนและหลังใส่ปุ๋ย ข้อมูลผลวิเคราะห์พืช ข้อมูลผลผลิต และผลตอบแทนทางเศรษฐศาสตร์

ระยะเวลา	เริ่มต้น ตุลาคม 2564 สิ้นสุด กันยายน 2567
สถานที่ทำการทดลอง	1. กลุ่มวิจัยปฐพีวิทยา กองวิจัยพัฒนาปัจจัยการผลิตทางการเกษตร กรมวิชาการเกษตร 2. ศูนย์วิจัยพืชสวนชุมพร ตำบลวิสัยใต้ อำเภอสวี จังหวัดชุมพร 3. สวนผลิตพันธุ์มะพร้าวลูกผสมคันธุลี ตำบลคันธุลี อำเภอบางขัน จังหวัดสุราษฎร์ธานี

ผลการทดลองและวิจารณ์

1. สมบัติของดินก่อนทำการทดลอง

แปลงมะพร้าวพันธุ์ไทยต้นสูงที่ศูนย์วิจัยพืชสวนชุมพร ทำการเก็บตัวอย่างดินก่อนการใส่ปุ๋ย และวิเคราะห์ปริมาณธาตุอาหารในดิน พบว่า ดินมีปฏิกิริยาดินเป็นกรดจัด มีปริมาณอินทรีย์วัตถุ ปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ และปริมาณโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้อยู่ในระดับต่ำ แปลงมะพร้าวน้ำหอมที่สวนผลิตพันธุ์มะพร้าวลูกผสมคันธุลี พบว่า ดินมีปฏิกิริยาดินเป็นกรดจัด มีปริมาณอินทรีย์วัตถุ ปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ และปริมาณโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้อยู่ในระดับต่ำ (ตารางที่ 1) ซึ่งจากการแปลผลค่าวิเคราะห์ดิน ทั้ง 2 แปลงสามารถประเมินการใช้ปุ๋ยตามค่าวิเคราะห์ดินสำหรับมะพร้าว คือ 1,200-500-1,000 กรัม N-P₂O₅-K₂O ต่อต้นต่อปี (กรมวิชาการเกษตร, 2553) ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบกับเกณฑ์ที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของพืชแล้ว ทั้ง 2 แปลงปริมาณธาตุอาหารพืชอยู่ในระดับไม่เพียงพอต่อการเจริญเติบโต ต้องมีการปรับปรุงและรักษาความอุดมสมบูรณ์ของดินเพิ่มมากขึ้น อาจเนื่องมาจากเนื้อดินเป็นดินทรายปนดินร่วน ความสามารถในการดูดซับธาตุอาหารและแลกเปลี่ยนธาตุอาหารต่ำมาก เมื่อมีการใส่ปุ๋ยเคมีลงไปทำให้เกิดการสูญเสียไปจากดินได้ง่าย ทำให้การตอบสนองต่อการใส่ปุ๋ยเคมีของพืชน้อย อีกทั้งพื้นที่นี้ยังมีการปลูกมะพร้าวติดต่อกันเป็นระยะเวลานาน ซึ่งการปลูกพืชติดต่อกันเป็นเวลานานโดยไม่มีการปรับปรุงดินหรือเพิ่มความอุดมสมบูรณ์แก่ดินเท่าที่ควรทำให้ความอุดมสมบูรณ์ของดินลดลง (กรมพัฒนาที่ดิน, 2560) ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของ ฤกษ์ และคณะ (2555) ทำการเก็บข้อมูลการดูแลสวนมะพร้าว พบว่า ชาวสวนมะพร้าวใส่ปุ๋ยอินทรีย์และเคมีค่อนข้างน้อย จึงอาจเป็นไปได้ว่าปุ๋ยที่ใส่ให้มันไม่เพียงพอชดเชยกับการสะสมในผลผลิตมะพร้าว ระดับธาตุอาหารที่เหลืออยู่ในดินจึงต่ำ

ตารางที่ 1 สมบัติของดินก่อนทำการทดลอง แปลงมะพร้าวพันธุ์ไทยต้นสูงที่ศูนย์วิจัยพืชสวนชุมพร จังหวัดชุมพร และแปลงมะพร้าวน้ำหอมที่สวนผลิตพันธุ์มะพร้าวลูกผสมพันธุ์ จังหวัดสุราษฎร์ธานี ปี 2566

สถานที่	เนื้อดิน	pH (1:1)	อินทรีย์วัตถุ (%)	ฟอสฟอรัสที่เป็น ประโยชน์ (มก./กก.)	โพแทสเซียมที่สกัดได้ (มก./กก.)
1.แปลงมะพร้าวพันธุ์ ไทยต้นสูง	ดินทรายร่วน	5.5	0.90	13.58	3.84
2. แปลงมะพร้าว น้ำหอม	ดินร่วนปนทราย	5.2	1.44	12.17	11.72
ค่าที่เหมาะสม*	-	5.5-7.5	>1.5	15-45	50-100

ที่มา : * กรมวิชาการเกษตร (2553)

2. ปริมาณธาตุอาหารในใบก่อนการทดลอง

ทำการเก็บตัวอย่างใบก่อนการใส่ปุ๋ย วิเคราะห์ปริมาณธาตุอาหารในใบ ได้แก่ ปริมาณไนโตรเจน ฟอสฟอรัส โพแทสเซียม แคลเซียม และแมกนีเซียมทั้งหมด พบว่า แปลงมะพร้าวพันธุ์ไทยต้นสูงมีปริมาณไนโตรเจน แคลเซียม และแมกนีเซียมทั้งหมดอยู่ในระดับต่ำกว่าค่ามาตรฐาน สำหรับปริมาณฟอสฟอรัส และโพแทสเซียมทั้งหมดอยู่ในระดับค่ามาตรฐาน ซึ่งจากการแปลผลจากค่าวิเคราะห์ใบ โดยใช้ค่ามาตรฐานของธาตุอาหารประเมินการใส่ปุ๋ย พบว่า ความเข้มข้นของไนโตรเจนมีระดับธาตุอาหารในการวิเคราะห์ใบน้อยกว่าค่าต่ำสุดของค่าเบี่ยงเบนจากค่ามาตรฐานต้องเพิ่มปุ๋ยให้ธาตุอาหารชนิดนั้นอีกร้อยละ 25 ของการใส่ปุ๋ย แต่ความเข้มข้นของฟอสฟอรัสและโพแทสเซียมมีระดับธาตุอาหารในการวิเคราะห์ใบอยู่ในช่วงค่าเบี่ยงเบนจากค่ามาตรฐานไม่ต้องเพิ่มปุ๋ยให้ใส่อัตราเดิม (กรมวิชาการเกษตร, 2562) ดังนั้นจากค่าวิเคราะห์ดินและใบสามารถกำหนดอัตราปุ๋ยตามคำแนะนำการใส่ปุ๋ยตามค่าวิเคราะห์ดินและใบพืชของแปลงมะพร้าวพันธุ์ไทยต้นสูง ได้เป็น 1,500-500-1,000 กรัม N-P₂O₅-K₂O ต่อต้นต่อปี และแปลงมะพร้าวน้ำหอมมีความเข้มข้นของไนโตรเจน และฟอสฟอรัสอยู่ในช่วงค่าเบี่ยงเบนจากค่ามาตรฐานไม่ต้องเพิ่มปุ๋ยให้ใส่อัตราเดิม แต่ความเข้มข้นของโพแทสเซียมระดับธาตุอาหารในการวิเคราะห์ใบสูงกว่าค่าสูงสุดของค่าเบี่ยงเบนจากค่ามาตรฐานต้องลดปุ๋ยให้ธาตุอาหารชนิดนั้นลงร้อยละ 25 ของการใส่ปุ๋ย (ตารางที่ 2) ดังนั้นจากค่าวิเคราะห์ดินและใบสามารถกำหนดอัตราปุ๋ยตามคำแนะนำการใส่ปุ๋ยตามค่าวิเคราะห์ดินและใบพืชของแปลงมะพร้าวน้ำหอม ได้เป็น 1,200-500-750 กรัม N-P₂O₅-K₂O ต่อต้นต่อปี เนื่องจากบางธาตุเป็นส่วนประกอบของคลอโรฟิลล์สำหรับการสังเคราะห์แสง และเสริมสร้างการเจริญเติบโต อีกทั้งปริมาณอินทรีย์วัตถุในดินที่มีอยู่ในระดับต่ำ ซึ่งสอดคล้องกับ ภาสนต์ และคณะ (2556) ทำการศึกษาความเข้มข้นของธาตุอาหารพืชในใบมะพร้าวน้ำหอมที่ได้จากการวิเคราะห์ และเปรียบเทียบกับข้อมูลที่มีผู้รายงานไว้กับมะพร้าวต้นเตี้ยของศรีลังกา พบว่า ระดับไนโตรเจนในใบมะพร้าวน้ำหอมมีต่ำกว่าเล็กน้อย ซึ่งสอดคล้องกับค่าไนโตรเจนและอินทรีย์วัตถุในดินที่มีในระดับต่ำ ส่วนธาตุอื่นๆ พบในมะพร้าวน้ำหอมในระดับที่ใกล้เคียงหรือสูงกว่าเล็กน้อย

ตารางที่ 2 ปริมาณธาตุอาหารในใบมะพร้าว แผลงมะพร้าวพันธุ์ไทยต้นสูงที่ศูนย์วิจัยพืชสวนชุมพร จังหวัดชุมพร และแผลงมะพร้าวน้ำหอมที่สวนผลิตพันธุ์มะพร้าวลูกผสมคันธูลี จังหวัดสุราษฎร์ธานี ปี 2566

สถานที่	N (%)	P (%)	K (%)	Ca (%)	Mg (%)
1. แผลงมะพร้าวพันธุ์ไทยต้นสูง	1.59	0.13	0.99	0.34	0.14
2. แผลงมะพร้าวน้ำหอม	1.80	0.14	1.34	0.23	0.18
ความเข้มข้นธาตุอาหารพืช มาตรฐานในใบมะพร้าว *	1.80-2.00	0.12-0.13	0.80-1.00	0.30-0.50	0.25

ที่มา : * Chew (1982)

3. การเจริญเติบโตก่อนใส่ปุ๋ย

การเจริญเติบโตก่อนใส่ปุ๋ย พบว่า แผลงมะพร้าวพันธุ์ไทยต้นสูง มีขนาดรอบโคนอยู่ระหว่าง 68.2-90.5 เซนติเมตร จำนวนทางใบอยู่ระหว่าง 28-32 ทางใบ และมีจำนวนใบย่อยอยู่ระหว่าง 230-248 ใบต่อ 1 ทางใบ และแผลงมะพร้าวน้ำหอม มีขนาดรอบโคนอยู่ระหว่าง 73.0-79.4 เซนติเมตร จำนวนทางใบอยู่ระหว่าง 23-25 ทางใบ และมีจำนวนใบย่อยอยู่ระหว่าง 177-189 ใบต่อ 1 ทางใบ (ตารางที่ 3)

ตารางที่ 3 การเจริญเติบโตก่อนใส่ปุ๋ย แผลงมะพร้าวพันธุ์ไทยต้นสูงที่ศูนย์วิจัยพืชสวนชุมพร จังหวัดชุมพร และแผลงมะพร้าวน้ำหอมที่สวนผลิตพันธุ์มะพร้าวลูกผสมคันธูลี จังหวัดสุราษฎร์ธานี ปี 2566

กรรมวิธี/สถานที่	แผลงมะพร้าวพันธุ์ไทยต้นสูง			แผลงมะพร้าวน้ำหอม		
	ขนาดรอบ โคน (ซม.)	จำนวน ทางใบ	จำนวนใบย่อย ต่อ 1 ทางใบ	ขนาดรอบ โคน (ซม.)	จำนวน ทางใบ	จำนวนใบย่อย ต่อ 1 ทางใบ
1. ใส่ปุ๋ยตามวิธีเกษตรกร	89.1	32	248	79.4	25	189
2. ใส่ปุ๋ยตามคำแนะนำของ กรมวิชาการเกษตร	68.2	28	234	76.6	23	177
3. ใส่ปุ๋ยตามค่าวิเคราะห์ ดินและใบพืช	90.5	28	230	73.0	23	187

4. การเจริญเติบโตและส่วนประกอบของผลมะพร้าวก่อนการเก็บเกี่ยว ปี 2566

การเจริญเติบโตของมะพร้าวพันธุ์ไทยต้นสูง จากการใส่ปุ๋ยตามกรรมวิธีต่างๆ พบว่า มะพร้าวพันธุ์ไทยต้นสูงมีขนาดรอบโคน จำนวนทางใบต่อต้น และจำนวนทางใบเพิ่มต่อต้น ไม่แตกต่างกันทางสถิติ โดยทุกกรรมวิธีมีขนาดรอบโคนอยู่ระหว่าง 133-135 เซนติเมตร มีจำนวนทางใบต่อต้นเฉลี่ย 25 ทางใบ และมีจำนวนทางใบเพิ่มต่อต้นเฉลี่ย 7.4 ทางใบ สำหรับส่วนประกอบของผลมะพร้าวพันธุ์ไทยต้นสูง ประกอบด้วย น้ำหนักผลทั้งเปลือก น้ำหนักผลปอกเปลือก น้ำหนักเปลือก น้ำหนักกะลา น้ำหนักเนื้อ และน้ำหนักน้ำ โดยพบว่า ทุกกรรมวิธี ไม่ทำให้ส่วนประกอบของผลแตกต่างกันทางสถิติ ซึ่งน้ำหนักผลที่มาก จะส่งผลให้น้ำหนักเปลือก น้ำหนักกะลา น้ำหนักเนื้อ และน้ำหนักน้ำ เพิ่มขึ้นตามไปด้วย โดยกรรมวิธีใส่ปุ๋ยตามคำแนะนำของกรมวิชาการเกษตร และใส่ปุ๋ยตามค่าวิเคราะห์ดินและใบพืชมีน้ำหนักผลมะพร้าวและส่วนประกอบอื่นๆ ของผลใกล้เคียงกันเมื่อเปรียบเทียบกับกรรมวิธีใส่ปุ๋ยตามวิธีเกษตรกร (ตารางที่ 4)

การเจริญเติบโตของมะพร้าว น้ำหอม จากการใส่ปุ๋ยตามกรรมวิธีต่างๆ พบว่า มีขนาดรอบโคน จำนวนทางใบ ต่อต้น และจำนวนทางใบเพิ่มต่อต้น ไม่แตกต่างกันทางสถิติ โดยทุกกรรมวิธีมีขนาดรอบโคนอยู่ระหว่าง 74.4-79.0 เซนติเมตร มีจำนวนทางใบต่อต้นอยู่ระหว่าง 18.0-20.0 ทางใบ และมีจำนวนทางใบเพิ่มต่อต้นเฉลี่ย 2.7 ทางใบ สำหรับส่วนประกอบของผลมะพร้าว น้ำหอมจากการใส่ปุ๋ยตามกรรมวิธีต่างๆ พบว่า ทุกกรรมวิธีไม่ทำให้ ส่วนประกอบของผลแตกต่างกันทางสถิติ โดยทุกกรรมวิธีมีน้ำหนักผลทั้งเปลือก อยู่ในช่วง 2,552.8-2,622.9 กรัม น้ำหนักผลปอกเปลือก 972.0-1,203.5 กรัม น้ำหนักเปลือก 1,594.4-1,694.3 กรัม น้ำหนักกะลา 185.2-197.4 กรัม น้ำหนักเนื้อ 196.8-209.5 กรัม น้ำหนักน้ำ 556.2-566.2 กรัม และความหวาน 6.9-7.0 องศาบริกซ์ (ตารางที่ 5)

ตารางที่ 4 การเจริญเติบโตและส่วนประกอบของผลมะพร้าว ก่อนการเก็บเกี่ยว แปลงมะพร้าวพันธุ์ไทยต้น สูงที่ศูนย์วิจัยพืชสวนชุมพร จังหวัดชุมพร ปี 2566

กรรมวิธี	การเจริญเติบโต				ส่วนประกอบของผล				
	ขนาด รอบโคน (ซม.)	จำนวน ทางใบ	จำนวน ทางใบ เพิ่ม	นน.ผลทั้ง เปลือก (กรัม)	นน.ผลปอก เปลือก (กรัม)	นน. เปลือก (กรัม)	นน. กะลา (กรัม)	นน.เนื้อ (กรัม)	นน.น้ำ (กรัม)
1. ใส่ปุ๋ยตามวิธี เกษตรกร	133.3	25.9	7.1	2,533.1	1,487.6	448.0	321.3	561.7	655.0
2. ใส่ปุ๋ยตาม คำแนะนำของกรม วิชาการเกษตร	135.5	25.9	7.4	2,628.3	1,778.6	797.5	331.3	639.6	736.0
3. ใส่ปุ๋ยตามค่า วิเคราะห์ดินและใบ พืช	133.3	25.5	7.6	2,560.7	1,729.6	771.0	333.9	673.9	740.2
Mean	134.0	25.6	7.4	2,574.1	1,665.2	672.2	328.8	625.1	710.4
F-test	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
CV (%)	14.2	14.5	10.5	21.7	21.9	17.6	20.7	24.4	18.5

หมายเหตุ ns = ไม่แตกต่างกันทางสถิติ

ตารางที่ 5 การเจริญเติบโตและส่วนประกอบของผลมะพร้าวก่อนการเก็บเกี่ยว แปลงมะพร้าวน้ำหอมที่สวนผลิตพันธุ์มะพร้าวลูกผสมพันธุ์ดี จังหวัดสุราษฎร์ธานี ปี 2566

กรรมวิธี	การเจริญเติบโต			ส่วนประกอบของผล					
	ขนาด รอบโคน (ซม.)	จำนวน ทางใบ	จำนวน ทางใบ เพิ่ม	นน.ผลทั้ง เปลือก (กรัม)	นน.ผลปอก เปลือก (กรัม)	นน. เปลือก (กรัม)	นน.กะลา (กรัม)	นน.เนื้อ (กรัม)	นน.น้ำ (กรัม)
1. ใส่ปุ๋ยตามวิธี เกษตรกร	74.4	18.0	2.4	2,533.1	1,676.5 b	650.8	1,011.2 b	121.9	157.4
2. ใส่ปุ๋ยตาม คำแนะนำของ กรมวิชาการ เกษตรกร	76.1	19.9	2.5	2,628.3	1,875.0 ab	729.0	1,165.1 ab	132.3	162.3
3. ใส่ปุ๋ยตามค่า วิเคราะห์ดินและ ใบพืช	79.0	20.0	3.3	2,560.7	2,003.9 a	717.0	1,219.3 a	132.5	158.4
Mean	76.5	19.3	2.7	2,574.1	1,851.8	698.9	1,131.9	128.9	159.3
F-test	ns	ns	ns	ns	*	ns	*	ns	ns
CV (%)	6.5	5.1	9.5	21.7	10.8	14.5	11.3	14.0	12.8

หมายเหตุ ns = ไม่แตกต่างกันทางสถิติ

* = แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ตัวอักษรที่เหมือนกันในคอลัมน์เดียวกันไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% โดยวิธี DMRT

** = แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 99% ตัวอักษรที่เหมือนกันในคอลัมน์เดียวกันไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 99% โดยวิธี DMRT

5. ปริมาณผลผลิตมะพร้าว ปี 2566

ปริมาณผลผลิตมะพร้าว พบว่า แปลงมะพร้าวพันธุ์ไทยต้นสูง ผลผลิตไม่แตกต่างกันทางสถิติ แต่มีแนวโน้มการใส่ปุ๋ยตามค่าวิเคราะห์ดินและใบพืชให้ผลผลิตเฉลี่ยต่อต้นมากที่สุด 91 ผล ส่วนกรรมวิธีอื่นๆ ให้ผลผลิตเฉลี่ยใกล้เคียงกัน (71-82 ผล) สำหรับแปลงมะพร้าวน้ำหอมจากการใส่ปุ๋ยตามกรรมวิธีต่างๆ ไม่ทำให้ผลผลิตมะพร้าวแตกต่างกันทางสถิติ โดยพบว่า การใส่ปุ๋ยตามคำแนะนำของกรมวิชาการเกษตรกรให้ผลผลิตเฉลี่ยสูงที่สุด 65 ผล ซึ่งใกล้เคียงกับการใส่ปุ๋ยตามค่าวิเคราะห์ดินและใบพืช (ตารางที่ 6)

ตารางที่ 6 ปริมาณผลผลิตของมะพร้าว แปลงมะพร้าวพันธุ์ไทยต้นสูงที่ศูนย์วิจัยพืชสวนชุมพร จังหวัดชุมพร และแปลงมะพร้าวน้ำหอมที่สวนผลิตพันธุ์มะพร้าวลูกผสมคันธูลี จังหวัดสุราษฎร์ธานี ปี 2566

กรรมวิธี	ผลผลิตเฉลี่ย (ผลต่อต้น)	
	แปลงมะพร้าวพันธุ์ไทยต้นสูง	แปลงมะพร้าวน้ำหอม
1. ใส่ปุ๋ยตามวิธีเกษตรกร	71	47.13
2. ใส่ปุ๋ยตามคำแนะนำของกรมวิชาการเกษตร	82	64.63
3. ใส่ปุ๋ยตามค่าวิเคราะห์ดินและใบพืช	91	64.25
Mean	81.5	58.67
F-test	ns	ns
CV (%)	22.8	28.6

หมายเหตุ ns = ไม่แตกต่างกันทางสถิติ

6. ผลวิเคราะห์ดินหลังการเก็บเกี่ยวมะพร้าว ปี 2566

ผลวิเคราะห์ดินหลังการเก็บเกี่ยวมะพร้าว พบว่า แปลงมะพร้าวพันธุ์ไทยต้นสูง การใส่ปุ๋ยตามกรรมวิธีต่างๆ ไม่ทำให้ปฏิกิริยาดิน ค่าการนำไฟฟ้าของดิน ปริมาณโพแทสเซียม และแคลเซียมที่แลกเปลี่ยนได้แตกต่างกันทางสถิติ โดยปฏิกิริยาดินมีค่าอยู่ในช่วง 5.0-5.5 ค่าการนำไฟฟ้าของดินเท่ากับ 0.01 เดซิซีเมนต่อเมตร ปริมาณโพแทสเซียม และแคลเซียมที่แลกเปลี่ยนได้อยู่ในช่วง 15.37-22.22 และ 15.39-21.88 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ตามลำดับ สำหรับปริมาณอินทรีย์วัตถุ ปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ และปริมาณแมกนีเซียมที่แลกเปลี่ยนได้พบว่า การใส่ปุ๋ยตามกรรมวิธีต่างๆ ทำให้มีปริมาณแตกต่างกันทางสถิติ โดยการใส่ปุ๋ยตามคำแนะนำกรมวิชาการเกษตรทำให้มีปริมาณอินทรีย์วัตถุ ปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ และปริมาณแมกนีเซียมที่แลกเปลี่ยนได้สูงที่สุด เท่ากับ 1.28 เปอร์เซ็นต์ 28.32 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมและ 14.91 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ตามลำดับ ซึ่งไม่แตกต่างกับการใส่ปุ๋ยตามค่าวิเคราะห์ดินและใบพืช แต่แตกต่างกับการปุ๋ยตามวิธีเกษตรกร (ตารางที่ 7) สำหรับแปลงมะพร้าวน้ำหอมการใส่ปุ๋ยตามกรรมวิธีต่างๆ ไม่ทำให้สมบัติของดินแตกต่างกันทางสถิติ โดยปฏิกิริยาดินมีค่าอยู่ในช่วง 4.7-5.1 ค่าการนำไฟฟ้าของดินอยู่ในช่วง 0.02-0.03 เดซิซีเมนต่อเมตร ปริมาณอินทรีย์วัตถุอยู่ในช่วง 1.03-1.16 เปอร์เซ็นต์ ปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์อยู่ในช่วง 18.24-40.44 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ปริมาณโพแทสเซียม แคลเซียม และแมกนีเซียมที่แลกเปลี่ยนได้อยู่ในช่วง 15.59-29.42 86.90-193.01 และ 15.48-33.77 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมตามลำดับ (ตารางที่ 8)

ตารางที่ 7 ผลวิเคราะห์สมบัติของดินที่ความลึก 0-15 เซนติเมตร หลังการเก็บเกี่ยวมะพร้าว แปลงมะพร้าวพันธุ์ไทย
ต้นสูงที่ ศูนย์วิจัยพืชสวนชุมพร จังหวัดชุมพร ปี 2566

กรรมวิธี	pH (1:1)	EC (1:5) (dS/m)	OM (%)	Available P (mg/kg)	Exchangeable K (mg/kg)	Exchangeable Ca (mg/kg)	Exchangeable Mg (mg/kg)
1.ใส่ปุ๋ยตามวิธี เกษตรกร	5.0	0.01	0.87b	8.60c	18.15	15.66	8.41b
2. ใส่ปุ๋ยตามคำแนะนำ ของกรมวิชาการเกษตร	5.3	0.01	1.28a	28.32a	22.22	15.39	14.91a
3. ใส่ปุ๋ยตามค่า วิเคราะห์ดินและใบพืช	5.5	0.01	1.00ab	19.98b	15.37	21.88	10.26ab
Mean	5.3	0.01	1.05	18.97	18.58	17.65	11.19
F-test	ns	ns	*	**	ns	ns	*
CV (%)	11.7	27.9	20.5	25.2	30.7	23.2	31.1

หมายเหตุ ns = ไม่แตกต่างกันทางสถิติ

* = แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ตัวอักษรที่เหมือนกันในคอลัมน์เดียวกันไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% โดยวิธี DMRT

** = แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 99% ตัวอักษรที่เหมือนกันในคอลัมน์เดียวกันไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 99% โดยวิธี DMRT

ตารางที่ 8 ผลวิเคราะห์สมบัติของดินที่ความลึก 0-15 เซนติเมตร หลังการเก็บเกี่ยวมะพร้าว แปลงมะพร้าว
น้ำหอมที่สวนผลิตพันธุ์มะพร้าวลูกผสมคันธุลี จังหวัดสุราษฎร์ธานี ปี 2566

กรรมวิธี	pH (1:1)	EC (1:5) (dS/m)	OM (%)	Available P (mg/kg)	Exchangeable K (mg/kg)	Exchangeable Ca (mg/kg)	Exchangeable Mg (mg/kg)
1.ใส่ปุ๋ยตามวิธี เกษตรกร	5.1	0.03	1.07	40.44	24.72	193.01	30.18
2. ใส่ปุ๋ยตามคำแนะนำ ของกรมวิชาการเกษตร	5.0	0.02	1.16	31.94	29.42	142.63	33.77
3. ใส่ปุ๋ยตามค่าวิเคราะห์ ดินและใบพืช	4.7	0.03	1.03	18.24	15.59	86.90	15.48
Mean	4.9	0.02	1.08	30.21	23.26	140.85	26.48
F-test	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
CV (%)	6.9	60.8	21.4	81.6	45.8	61.8	55.0

หมายเหตุ ns = ไม่แตกต่างกันทางสถิติ

7. ปริมาณธาตุอาหารในใบหลังการเก็บเกี่ยวมะพร้าว ปี 2566

ปริมาณธาตุอาหารในใบหลังการเก็บเกี่ยว พบว่า แปลงมะพร้าวพันธุ์ไทยต้นสูง การใส่ปุ๋ยตามกรรมวิธีต่างๆ ไม่ทำให้ปริมาณไนโตรเจน ฟอสฟอรัส โพแทสเซียม แคลเซียม และแมกนีเซียมในใบมะพร้าวแตกต่างกันทางสถิติ โดยมีค่าเฉลี่ย 1.35 0.12 0.98 0.88 และ 0.24 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ และเมื่อเปรียบเทียบระดับความเข้มข้นธาตุอาหารพืชมাত্রฐานในใบมะพร้าว พบว่า ปริมาณไนโตรเจน และแมกนีเซียมยังอยู่ในระดับต่ำกว่าระดับความเข้มข้นธาตุอาหารพืชมাত্রฐานในใบมะพร้าว แต่ปริมาณฟอสฟอรัส โพแทสเซียม และแคลเซียม อยู่ในระดับความเข้มข้นธาตุอาหารพืชมাত্রฐานในใบมะพร้าว (ตารางที่ 9 และ 11) สำหรับแปลงมะพร้าวน้ำหอม การใส่ปุ๋ยตามกรรมวิธีต่างๆ ไม่ทำให้ปริมาณไนโตรเจน ฟอสฟอรัส โพแทสเซียม แคลเซียม และแมกนีเซียมในใบมะพร้าวแตกต่างกันทางสถิติ โดยมีค่าอยู่ในช่วง 3.61-3.64 0.33-0.35 1.09-1.10 0.04-0.07 และ 0.14-0.16 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ และเมื่อเปรียบเทียบระดับความเข้มข้นธาตุอาหารพืชมাত্রฐานในใบมะพร้าว พบว่า ปริมาณไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียม อยู่ในระดับความเข้มข้นธาตุอาหารพืชมাত্রฐานในใบมะพร้าว แต่แคลเซียม และแมกนีเซียมยังอยู่ในระดับต่ำกว่าระดับความเข้มข้นธาตุอาหารพืชมাত্রฐานในใบมะพร้าว (ตารางที่ 10 และ 11)

ตารางที่ 9 ปริมาณธาตุอาหารในใบมะพร้าวหลังการเก็บเกี่ยว แปลงมะพร้าวพันธุ์ไทยต้นสูงที่ศูนย์วิจัยพืชสวนชุมพร จังหวัดชุมพร ปี 2566

กรรมวิธี	N (%)	P (%)	K (%)	Ca (%)	Mg (%)
1. ใส่ปุ๋ยตามวิธีเกษตรกร	1.31	0.12	0.99	0.89	0.28
2. ใส่ปุ๋ยตามคำแนะนำของกรมวิชาการเกษตร	1.37	0.13	0.96	0.86	0.24
3. ใส่ปุ๋ยตามค่าวิเคราะห์ดินและใบพืช	1.36	0.11	0.98	0.88	0.19
Mean	1.35	0.12	0.98	0.88	0.24
F-test	ns	ns	ns	ns	ns
CV (%)	7.0	14.3	26.0	20.2	28.5

หมายเหตุ ns = ไม่แตกต่างกันทางสถิติ

ตารางที่ 10 ปริมาณธาตุอาหารในใบมะพร้าวหลังการเก็บเกี่ยว แปลงมะพร้าวน้ำหอมที่สวนผลิตพันธุ์มะพร้าวลูกผสมคันธุลี จังหวัดสุราษฎร์ธานี ปี 2566

กรรมวิธี	N (%)	P (%)	K (%)	Ca (%)	Mg (%)
1. ใส่ปุ๋ยตามวิธีเกษตรกร	3.63	0.34	1.10	0.04	0.16
2. ใส่ปุ๋ยตามคำแนะนำของกรมวิชาการเกษตร	3.61	0.33	1.09	0.07	0.16
3. ใส่ปุ๋ยตามค่าวิเคราะห์ดินและใบพืช	3.64	0.35	1.10	0.07	0.14
Mean	3.63	0.34	1.09	0.06	0.15
F-test	ns	ns	ns	ns	ns
CV (%)	4.0	6.3	9.5	84.9	15.3

หมายเหตุ ns = ไม่แตกต่างกันทางสถิติ

ตารางที่ 11 ความเข้มข้นธาตุอาหารพืชมาตรฐานในใบมะพร้าว (ทางใบที่ 14)

N (%)	P (%)	K (%)	Ca (%)	Mg (%)
1.80-2.00	0.12-0.13	0.80-1.00	0.30-0.50	0.25

ที่มา Chew (1982)

8. ต้นทุนและผลตอบแทนจากการใส่ปุ๋ย

มะพร้าวพันธุ์ไทยต้นสูง พบว่า ต้นทุนการผลิตของกรรมวิธีที่ 2 ใส่ปุ๋ยตามคำแนะนำของกรมวิชาการเกษตรมากที่สุด 7,860.78 บาท ส่วนกรรมวิธีที่ 1 และ 3 มีต้นทุนการผลิต 3,296.66 และ 3,032.30 บาท ตามลำดับ ในขณะที่ผลตอบแทนเมื่อคิดจากรายได้ที่ได้รับลบด้วยต้นทุนการผลิตรวมของแต่ละกรรมวิธี พบว่า กรรมวิธีที่ 3 ใส่ปุ๋ยตามค่าวิเคราะห์ดินและใบพืช ให้ผลตอบแทนมากที่สุด 15,167.70 บาท ตามด้วย กรรมวิธีที่ 1 10,743.34 บาท ส่วนกรรมวิธีที่ 2 ให้ผลตอบแทนน้อยที่สุด 8,539.22 บาท เนื่องจากต้นทุนส่วนใหญ่เป็นต้นทุนของมูลวัวที่มีราคาสูง ส่งผลให้ผลตอบแทนที่ได้รับคิดเป็นรายได้สุทธิน้อยตามไปด้วย (ตารางที่ 12)

มะพร้าวน้ำหอม พบว่า ต้นทุนการผลิตของกรรมวิธีที่ 2 ใส่ปุ๋ยตามคำแนะนำของกรมวิชาการเกษตรมากที่สุด 13,835.75 บาท ส่วนกรรมวิธีที่ 1 และ 3 มีต้นทุนการผลิต 5,802.12 และ 4,430.80 บาท ตามลำดับ ในขณะที่ผลตอบแทนเมื่อคิดจากรายได้ที่ได้รับลบด้วยต้นทุนการผลิตรวมของแต่ละกรรมวิธี พบว่า กรรมวิธีที่ 3 ใส่ปุ๋ยตามค่าวิเคราะห์ดินและใบพืช ให้ผลตอบแทนมากที่สุด 23,840.20 บาท ตามด้วย กรรมวิธีที่ 2 14,601.45 บาท ส่วนกรรมวิธีที่ 1 ให้ผลตอบแทนน้อยที่สุด 14,935.08 บาท เนื่องจากต้นทุนส่วนใหญ่เป็นต้นทุนของมูลวัวที่มีราคาสูง ส่งผลให้ผลตอบแทนที่ได้รับคิดเป็นรายได้สุทธิน้อยตามไปด้วย (ตารางที่ 13)

ตารางที่ 12 ต้นทุนและผลตอบแทนต่อไร่ของมะพร้าวพันธุ์ไทยต้นสูง

ต้นทุนการผลิต	กรรมวิธี 1*	กรรมวิธี 2*	กรรมวิธี 3*
ปุ๋ยเคมี (ทางดิน)	1,046.66	1,998.28	3,032.30
มูลวัว	2,250.00	5,625.00	
แมกนีเซียมซัลเฟต		237.50	
ต้นทุนรวม/ไร่ (บาท)	3,296.66	7,860.78	3,032.30
ผลผลิตเฉลี่ย (ผล/ไร่)	1,775	2,050	2,275
ราคาขายได้ (บาท/ผล)	8	8	8
รายได้ (บาท)	14,040.00	16,400	18,200
รายได้สุทธิ (บาท/ไร่)	10,743.34	8,539.22	15,167.7

หมายเหตุ จำนวน 25 ต้น/ไร่

ราคาปุ๋ยปี 2566 ราคาปุ๋ยผันแปรตามต้นทุนการผลิต

ปุ๋ยเคมี 46-0-0 กระสอบละ 812 บาท 18-46-0 กระสอบละ 1,300 บาท 0-0-60 กระสอบละ 1,150 บาท

มูลวัว กระสอบละ 45 บาท แมกนีเซียมซัลเฟต ราคา 19 บาทต่อกิโลกรัม

* กรรมวิธีที่ 1 ใส่ปุ๋ยตามวิธีเกษตรกร (ใส่ปุ๋ย 14-14-21 อัตรา 2 กิโลกรัมต่อต้นต่อปี ร่วมกับปุ๋ยคอก อัตรา 20 กิโลกรัมต่อต้นต่อปี)

* กรรมวิธีที่ 2 ใส่ปุ๋ยตามคำแนะนำของกรมวิชาการเกษตร (ใส่ปุ๋ย 13-13-21 อัตรา 4 กิโลกรัมต่อต้นต่อปี ร่วมกับปุ๋ยคอก อัตรา 50 กิโลกรัมต่อต้นต่อปี และแมกนีเซียมซัลเฟต อัตรา 500 กรัมต่อต้นต่อปี)

* กรรมวิธีที่ 3 ใส่ปุ๋ยตามค่าวิเคราะห์ดินและใบพืช** (ใส่ปุ๋ย 46-0-0 อัตรา 3.3 กิโลกรัมต่อต้นต่อปี ร่วมกับปุ๋ย 18-46-0 อัตรา 1.1 กิโลกรัมต่อต้นต่อปี และปุ๋ย 0-0-60 อัตรา 1.7 กิโลกรัมต่อต้นต่อปี)

ตารางที่ 13 ต้นทุนและผลตอบแทนต่อไร่ของมะพร้าวพันธุ์น้ำหอม

ต้นทุนการผลิต	กรรมวิธี 1*	กรรมวิธี 2*	กรรมวิธี 3*
ปุ๋ยเคมี (ทางดิน)	1,842.12	3,517.75	4,430.80
มูลวัว	3,960.00	9,900.00	
แมกนีเซียมซัลเฟต		418.00	
ต้นทุนรวม/ไร่ (บาท)	5,802.12	13,835.75	4,430.80
ผลผลิตเฉลี่ย (ผล/ไร่)	2,073.72	2,843.72	2,827.00
ราคาขายได้ (บาท/ผล)	10.00	10.00	10.00
รายได้ (บาท)	20,737.20	28,437.20	28,271.00
รายได้สุทธิ (บาท/ไร่)	14,935.08	14,601.45	23,840.20

หมายเหตุ จำนวน 44 ต้น/ไร่

ราคาปุ๋ยปี 2566 ราคาปุ๋ยผันแปรตามต้นทุนการผลิต

ปุ๋ยเคมี 46-0-0 กระสอบละ 812 บาท 18-46-0 กระสอบละ 1,300 บาท 0-0-60 กระสอบละ 1,150 บาท

มูลวัว กระสอบละ 45 บาท แมกนีเซียมซัลเฟต ราคา 19 บาทต่อกิโลกรัม

* กรรมวิธีที่ 1 ใส่ปุ๋ยตามวิธีเกษตรกร (ใส่ปุ๋ย 14-14-21 อัตรา 2 กิโลกรัมต่อต้นต่อปี ร่วมกับปุ๋ยคอก อัตรา 20 กิโลกรัมต่อต้นต่อปี)

* กรรมวิธีที่ 2 ใส่ปุ๋ยตามคำแนะนำของกรมวิชาการเกษตร (ใส่ปุ๋ย 13-13-21 อัตรา 4 กิโลกรัมต่อต้นต่อปี ร่วมกับปุ๋ยคอก อัตรา 50 กิโลกรัมต่อต้นต่อปี และแมกนีเซียมซัลเฟต อัตรา 500 กรัมต่อต้นต่อปี)

* กรรมวิธีที่ 3 ใส่ปุ๋ยตามค่าวิเคราะห์ดินและใบพืช* (ใส่ปุ๋ย 46-0-0 อัตรา 2.6 กิโลกรัมต่อต้นต่อปี ร่วมกับปุ๋ย 18-46-0 อัตรา 1.1 กิโลกรัมต่อต้นต่อปี และปุ๋ย 0-0-60 อัตรา 1.3 กิโลกรัมต่อต้นต่อปี)

** การประเมินความต้องการธาตุอาหารตามค่าวิเคราะห์ใบ โดยการให้ปุ๋ยทางดิน

1) ถ้าค่าวิเคราะห์ใบ มีธาตุไนโตรเจนและฟอสฟอรัสอยู่ในช่วงเบี่ยงเบนร้อยละ 5 จากค่าวิกฤติ และโพแทสเซียมในช่วงเบี่ยงเบนร้อยละ 10 ให้ใส่ปุ๋ยในอัตราเดิม ตามปกติในปีถัดไป

2) ถ้าระดับธาตุอาหารในการวิเคราะห์ใบน้อยกว่าค่าต่ำสุดของค่าเบี่ยงเบนจากค่าวิกฤติ ควรเพิ่มปุ๋ยให้ได้ธาตุอาหารชนิดนั้นอีกร้อยละ 25 ในการใส่ปุ๋ยปีต่อไป

3) ถ้าค่าวิเคราะห์ใบสูงกว่าค่าเบี่ยงเบนจากค่าวิกฤติ ให้ลดปุ๋ยร้อยละ 25 ในปีต่อไป

สรุปผลการทดลอง

ศึกษาการใช้ปุ๋ยตามค่าวิเคราะห์ดินและพืชในแปลงมะพร้าว จากการเก็บเกี่ยวผลผลิตมะพร้าวพันธุ์ไทย ต้นสูง และมะพร้าวพันธุ์น้ำหอม การใส่ปุ๋ยตามกรรมวิธีต่างๆ ไม่ทำให้ผลผลิตมะพร้าวแตกต่างกันทางสถิติ โดยมีแนวโน้มการใส่ปุ๋ยตามค่าวิเคราะห์ดินและใบพืช และการใส่ปุ๋ยตามคำแนะนำของกรมวิชาการเกษตรจะให้ผลผลิตสูงกว่าการใส่ปุ๋ยตามวิธีเกษตรกร ซึ่งมะพร้าวพันธุ์ไทยต้นสูงให้ผลผลิตเฉลี่ย 90.9 82.3 และ 71.3 ผลต่อต้น ตามลำดับ สำหรับมะพร้าวพันธุ์น้ำหอม การใส่ปุ๋ยตามคำแนะนำของกรมวิชาการเกษตรและการใส่ปุ๋ยตามค่าวิเคราะห์ดินและใบพืช จะให้ผลผลิตสูงกว่าการใส่ปุ๋ยตามวิธีเกษตรกร ซึ่งให้ผลผลิตเฉลี่ย 64.63 64.25 และ 47.13 ผลต่อต้น ตามลำดับ ต้นทุนและผลตอบแทนจากการใส่ปุ๋ยในการผลิตมะพร้าวพันธุ์ไทยต้นสูง และน้ำหอม กรรมวิธีที่ 3 การใส่ปุ๋ยตามค่าวิเคราะห์ดินและใบพืช จะให้ผลตอบแทนคุ้มค่าแก่การลงทุนมากที่สุด เกษตรกรสามารถนำไปใช้ในการจัดการสวนมะพร้าว เพื่อลดต้นทุนจากการใช้ปุ๋ย และได้ผลผลิตพืชสูงคุ้มค่ากับการลงทุน

คำขอบคุณ

งานวิจัยนี้ได้รับทุนสนับสนุนจากสำนักงานคณะกรรมการส่งเสริมวิทยาศาสตร์ วิจัยและนวัตกรรม (สกสว.) ร่วมกับกรมวิชาการเกษตร และขอขอบคุณผู้อำนวยการศูนย์วิจัยพืชสวนชุมพร ตำบลวิสัยใต้ อำเภอสวี จังหวัดชุมพร และผู้อำนวยการศูนย์วิจัยและพัฒนาเมล็ดพันธุ์พืชสุราษฎร์ธานี ตำบลคันธู อำเภอกาญจน จังหวัดสุราษฎร์ธานี ที่ได้อนุเคราะห์แปลงมะพร้าวสำหรับใช้ในการทดลอง สุดท้ายขอขอบคุณเจ้าหน้าที่ทุกท่านที่ได้ให้การช่วยเหลือในการทำงานวิจัยในครั้งนี้

การนำผลงานวิจัยไปใช้ประโยชน์

1. ข้อมูลการใส่ปุ๋ยสำหรับมะพร้าวสามารถนำไปปรับใช้ให้เหมาะสมกับพื้นที่ ชนิดของดิน และสภาพแวดล้อมอื่นๆ เพื่อเป็นแนวทางให้เกษตรกรสามารถนำไปใช้ในการเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตมะพร้าวที่ให้ผลตอบแทนทางเศรษฐกิจคุ้มค่าแก่การลงทุน
2. สามารถนำข้อมูลที่ได้จากงานวิจัยครั้งนี้ไปขยายผลหรือปรับใช้กับพื้นที่อื่นๆ ซึ่งจะเป็นประโยชน์กับนักวิชาการเกษตรของกรมวิชาการเกษตรและหน่วยงานอื่นๆ นำไปใช้ในการพัฒนางานวิจัยด้านดินและปุ๋ย

เอกสารอ้างอิง

- กรมพัฒนาที่ดิน. 2560. *ข้อมูลการจัดการดิน*. แหล่งข้อมูล https://www.ddd.go.th/Web_Soil/sandy.htm.
- กรมวิชาการเกษตร. 2553. *คำแนะนำการใช้ปุ๋ยกับพืชเศรษฐกิจ*. กลุ่มวิจัยปฐพีวิทยา กรมวิชาการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์. กรุงเทพฯ.
- กรมวิชาการเกษตร. 2562. *การจัดการความรู้เทคโนโลยีการผลิตมะพร้าวน้ำหอม*. สถาบันวิจัยพืชสวน กรมวิชาการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์. กรุงเทพฯ.
- กฤษณา กฤษณพุกต์, เกรียงศักดิ์ ไทยพงษ์, ชราวดี ไทยพงษ์, ภาสันต์ ศารทูลทัต, วชิรญา อิมสบาย, ปิยะณัฐ ผนากาศ, ศุภิตา ศิริสวัสดิ์, ราตรี บุญเรืองรอด, วันชาติ นิตพันธ์ และอุไรวรรณ นิลเพชร. 2555. *การสำรวจข้อมูลเบื้องต้นในการผลิตและปัจจัยที่เกี่ยวข้องของมะพร้าวอ่อนเพื่อส่งออก รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์*. ภาควิชาพืชสวน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. นครปฐม
- กลุ่มงานวิจัยความอุดมสมบูรณ์ของดินและปุ๋ยพืชสวนและไม้ยืนต้น. 2545. *คำแนะนำการใช้ปุ๋ยพืชสวนอย่างมีประสิทธิภาพ*. กองปฐพีวิทยา กรมวิชาการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์. กรุงเทพฯ.
- ภาสันต์ ศารทูลทัต, โสฬส ธรรมรัตน์, ภัชชา เทตใจธรรม, บุษราภรณ์ พรประดิษฐ์, ลพ ภาณุตานนท์ และศิริลักษณ์ แก้วสุริยิต. 2556. *ธาตุอาหารในดินและพืชของมะพร้าวน้ำหอมใน อ.ดำเนินสะดวก จ.ราชบุรี*. วิทยาศาสตร์เกษตร. 44 (2) (พิเศษ), 529-532.
- Bray, R. L. & Kurtz, L. T. 1945. Determination of total organic and Available forms of phosphorus in soils. *Soil Sci*, 59, 39-45.
- Chapman, D.D. (1965). "Total exchangeable bases", In Black, C. A. (ed). *Method of Soil analysis Part 2: Chemical and Microbiological Properties No.9*. 902-904.
- Madison, Wisconsin : American Society of Agronomy Inc.
- Chew, P.S. 1982. Nutrition of coconuts - a review for formulation guide lines on fertilizer recommendations in Malaysia. *Planter*, 54, 141-155.
- Jackson, M.L. 1967. *Soil Chemical Analysis*. New Delhi : Prentice-Hall of India Pvt. Ltd.

- Peech, M. 1965. "Hydrogen-ion Activity", In Black, C.A. (ed). *Method of Soil Analysis Part 2: Chemical and Microbiological Properties No.9*. 914-925. Madison, Wisconsin : American Society of Agronomy Inc.
- Ryan, J., Estefan, G. & Rashid, A. 2001. *Soil and Plant Analysis Laboratory Manual*. Aleppo : Syrian Arab Republic ICARDA.

ศึกษาวัสดุเพาะกล้าที่เหมาะสมต่อการผลิตต้นกล้ามะพร้าวลูกผสมชุมพร 2

Study on the suitability of nursery media for the production of Chumphon 2 hybrid coconut seedlings

ทิพวรรณ แก้วหนู¹ สุปรานี มั่นหมาย¹ พีรพงษ์ เซาวนพงษ์¹ นิศารัตน์ ทวีนุต¹ กุลินดา แทนจันทร์²
ธนพันธ์ พงษ์ไทย³ ปริญดา หรุ่นหิม⁴
Tipawan Kaewnoo¹ Supranee Munmai¹ Peerapong Chaovanapong¹ Nisarut Thaweenut¹
Kulinda Thanjun² Tanapan Pongthai³ Parinda Hrunheem⁴

กลุ่มวิจัยปฐพีวิทยา

กองวิจัยพัฒนาปัจจัยการผลิตทางการเกษตร

ABSTRACT

Coconut seedlings that grow vigorously and healthily are better able to adapt to environmental conditions after being transplanted to the field, leading to continued robust growth and high yield potential. Therefore, the objective of this study was to determine the most suitable nursery media for the production of Chumphon 2 hybrid coconut seedlings. The experiment was conducted over a three-year period, from 2022 to 2024, at the Surat Thani Seed Research and Development Center, Surat Thani Province, Thailand. The results indicated that, at 20 weeks of age, differences in nursery media over the three years had no statistically significant effect on germination index or germination percentage. In 2022, the application of sandy loam combined with mycorrhizal biofertilizer at the rate of 1 kg per 10 square meters resulted in the highest seedling height and number of leaves, with statistically significant differences. In 2023, the combination of sandy loam, rice husk charcoal, and cow manure (1:1:1), supplemented with mycorrhizal biofertilizer, produced the highest seedling height and number of leaves, also with statistically significant differences. In 2024, the use of sandy loam, rice husk charcoal, and cow manure (1:1:1) combined with dolomite, rock phosphate fertilizer, phosphate-solubilizing biofertilizer, and mycorrhizal biofertilizer resulted in the highest number of leaves in 20-week-old coconut seedlings, with statistically significant differences.

Keywords: Coconut seedlings; Seedling propagation material; Arbuscular mycorrhiza; Rock phosphate; Cow manure

¹ กองวิจัยพัฒนาปัจจัยการผลิตทางการเกษตร

¹ Agricultural Production Science Research and Development Division

² ศูนย์วิจัยพืชสวนชุมพร

² Chumphon Horticultural Research Center

³ ศูนย์วิจัยและพัฒนาเมล็ดพันธุ์พืชสุราษฎร์ธานี

³ Surat Thani Seed Research and Development Center

⁴ ศูนย์วิจัยและพัฒนาการเกษตรกระบี่

⁴ Krabi Agricultural and Research Center

บทคัดย่อ

ต้นกล่ำมะพร้าวที่เจริญเติบโตแข็งแรง สมบูรณ์ จะสามารถปรับตัวเข้ากับสภาพแวดล้อมหลังการย้ายปลูกในแปลงได้ดี เจริญเติบโตดี และให้ผลผลิตสูงต่อไปได้ การทดลองนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาวัสดุเพาะกล้าที่เหมาะสมต่อการผลิตต้นกล่ำมะพร้าวลูกผสมชุมพร 2 ดำเนินการทดลอง 3 ปี ตั้งแต่ปี 2565-2567 ที่ศูนย์วิจัยและพัฒนาเมล็ดพันธุ์พืชสุราษฎร์ธานี จังหวัดสุราษฎร์ธานี ผลการทดลอง พบว่า ต้นกล่ำมะพร้าวที่อายุ 20 สัปดาห์ วัสดุเพาะกล้าที่แตกต่างกันทั้ง 3 ปี ไม่มีผลให้ค่าดัชนีการงอกและเปอร์เซ็นต์การงอกของผลพันธุ์แตกต่างกันทางสถิติ โดยปี 2565 การใช้ดินร่วนปนทราย+ปุ๋ยชีวภาพไมคอร์ไรซา อัตรา 1 กก. ต่อพื้นที่ 10 ตรม. ให้ความสูงต้นและจำนวนใบของต้นกล่ำมะพร้าวสูงที่สุดแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ปี 2566 การใช้ดินร่วนปนทราย + ถ่านแกลบ + มูลวัว (1:1:1) + ปุ๋ยชีวภาพไมคอร์ไรซา ให้ความสูงต้นและจำนวนใบของต้นกล่ำมะพร้าวสูงที่สุดแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ และปี 2567 การใช้ดินร่วนปนทราย+ถ่านแกลบ+มูลวัว (1:1:1) + ปูนโดโลไมต์ + ปุ๋ยหินฟอสเฟต + ปุ๋ยชีวภาพละลายฟอสเฟต + ปุ๋ยชีวภาพไมคอร์ไรซา ให้จำนวนใบของต้นกล่ำมะพร้าวสูงที่สุดแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

คำสำคัญ: ต้นกล่ำมะพร้าว; วัสดุเพาะต้นกล้า; อาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซา; หินฟอสเฟต; มูลวัว

บทนำ

มะพร้าวพันธุ์ลูกผสมชุมพร 2 (ซึ่งเป็นลูกผสมระหว่างมลายูสีเหลืองต้นเตี้ยกับพันธุ์ไทยต้นสูง) เป็นพันธุ์ที่เกษตรกรสั่งจองมากที่สุด ศูนย์วิจัยและพัฒนาเมล็ดพันธุ์พืชสุราษฎร์ธานี มีภารกิจที่ต้องผลิตต้นกล่ำมะพร้าวที่แข็งแรง สมบูรณ์ในปริมาณที่เพียงพอต่อความต้องการของเกษตรกร แต่ไม่สามารถผลิตต้นกล่ำมะพร้าวให้เพียงพอ กับความต้องการของเกษตรกรได้ เนื่องจากการผลิตต้นกล่ำมะพร้าวในศูนย์วิจัยและพัฒนาเมล็ดพันธุ์พืชสุราษฎร์ธานี มักมีเปอร์เซ็นต์ความงอกในแปลงเพาะกล้าต่ำเฉลี่ยเพียง 60 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งวัสดุเพาะกล้าที่ใช้เป็นดินเพียงอย่างเดียวและมีความเป็นกรดจัด ความอุดมสมบูรณ์ของดินต่ำ วัสดุเพาะกล้ามีความสำคัญโดยตรงต่อการงอกและเจริญเติบโตของต้นกล้า โดยวัสดุเพาะกล้าที่นิยมนำมาเพาะต้นกล่ำมะพร้าวมากที่สุดคือ ดิน ขุยมะพร้าว ถ่านแกลบ เป็นต้น เนื่องจากเป็นวัสดุที่หาได้ง่ายและราคาถูก นอกจากนี้ถ่านแกลบยังมีฟอสฟอรัสสูงเร่งการเจริญเติบโตของราก ช่วยให้รากงอกออกมาเร็วขึ้น และอุ้มน้ำ ปุ๋ยคอก ซึ่งเป็นวัสดุอินทรีย์ที่มีปริมาณธาตุอาหารไนโตรเจน ฟอสฟอรัส โพแทสเซียม ที่เพียงพอต่อการเจริญเติบโตของต้นกล้า เหมาะกับพืชในช่วงขยายราก บำรุงรากได้ดีแต่ควรใช้ปุ๋ยคอกที่มีการย่อยสลายสมบูรณ์ เพราะหากการย่อยสลายไม่สมบูรณ์จะเกิดความร้อน และเกิดกระบวนการดึงไนโตรเจนจากดินไปใช้โดยจุลินทรีย์ดิน พืชอาจมีอาการใบเหลืองและตายได้ (บ้านและสวน, 2565) ปิยาภรณ์ (2565) ศึกษาวัสดุเพาะกล้าที่จะสามารถใช้ทดแทนการใช้พีทมอสในการเพาะกล้าผักสลัด โดยใช้แกลบดำผสมกับปุ๋ยคอกในอัตราส่วน 1:1 พบว่า มีเปอร์เซ็นต์การงอก ดัชนีการงอก และระยะเวลาเฉลี่ยในการงอกดีที่สุด และต้นทุนถูกที่สุด นอกจากนี้ ศิริลักษณ์ และคณะ (2566) รายงานว่า ต้นกล่ำมะพร้าวน้ำหอมที่ซาลงในวัสดุผสมที่ผสมด้วยแหนแดงแห้งร่วมกับราอาบัสคูลาร์ไมคอร์ไรซา ให้ความสูงต้นกล่ำมะพร้าวเฉลี่ยสูงที่สุด 11.62 เซนติเมตร เส้นผ่านศูนย์กลางลำต้นเฉลี่ยสูงที่สุด 4.22 มิลลิเมตร และจำนวนใบเฉลี่ยสูงที่สุด มีค่าเท่ากับ 2 ใบ แต่ทั้งนี้ดินที่ใช้เป็นวัสดุเพาะกล้าของศูนย์วิจัยและพัฒนาเมล็ดพันธุ์พืชสุราษฎร์ธานี เป็นดินกรดจัด ความอุดมสมบูรณ์ของดินต่ำ ธาตุอาหารหลัก ธาตุอาหารรองและจุลินทรีย์ชนิดถูกจำกัดจากความเป็นกรดของดิน โดยเฉพาะฟอสฟอรัสที่มักถูกตรึงอยู่กับธาตุเหล็กและอะลูมิเนียมที่ละลายออกมาอยู่ในสารละลายดินมากในดินกรดจัด ซึ่งการใช้โดโลไมต์จะสามารถช่วยลดระดับความเป็นกรดของดินลง ประกอบกับปุ๋ยหินฟอสเฟตที่ให้ธาตุฟอสฟอรัสในดินจะค่อย ๆ ปลดปล่อยธาตุฟอสฟอรัสออกมาอย่างช้าๆ จึงเป็นการช่วยเพิ่มธาตุฟอสฟอรัสใน

ดินให้แก่พืช ทิพวรรณ และคณะ (2566) รายงานว่า การใช้ปุ๋ยชีวภาพไมคอร์ไรซา ปุ๋ยคอก หรือปุ๋ยหินฟอสเฟต สามารถส่งเสริมให้ต้นกล้ามะพร้าวเจริญเติบโตได้ดีกว่าการใช้ดินเป็นวัสดุเพาะเพียงอย่างเดียว โดยการใส่ปุ๋ยชีวภาพไมคอร์ไรซาทำให้การเจริญเติบโตของต้นกล้ามะพร้าวดีกว่าการใส่ปุ๋ยคอกและปุ๋ยหินฟอสเฟต เนื่องจากปุ๋ยชีวภาพไมคอร์ไรซา ประกอบด้วยจุลินทรีย์ที่มีชีวิตมีประสิทธิภาพในการส่งเสริมการเจริญเติบโตของพืช โดยราอาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาจะช่วยดูดธาตุอาหารจากภายนอกราก แล้วส่งผ่านไปตามเส้นใยของราชนิดนี้เข้าไปภายในรากพืช ทำให้พืชได้รับธาตุอาหารและเจริญเติบโตได้ดียิ่งขึ้น (กรมวิชาการเกษตร, 2564) จึงได้ทำการทดลองนี้ โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาวัสดุเพาะกล้าที่เหมาะสมต่อการผลิตต้นกล้ามะพร้าวลูกผสมชุมพร 2

อุปกรณ์และวิธีการ

อุปกรณ์

1. ผลพันธุ์มะพร้าวพันธุ์ลูกผสมชุมพร 2
2. แปลงเพาะกล้า และอุปกรณ์เพาะผลพันธุ์
3. มูลวัว ปุ๋ยหินฟอสเฟต (0-3-0) ปุ๋ยชีวภาพไมคอร์ไรซา ปุ๋ยชีวภาพละลายฟอสเฟต ปูนโดโลไมต์
4. สารเคมีป้องกันกำจัดโรคและแมลงศัตรูพืช

วิธีการ

ปี 2565

วางแผนการทดลองแบบ RCBD 7 กรรมวิธี 4 ซ้ำ ซ้ำละ 20 ผล ดังนี้

- 1) ดินร่วนปนทราย (กรรมวิธีควบคุม) 2) ดินร่วนปนทราย + มูลวัวอัตรา 20 กก. ต่อพื้นที่ 10 ตารางเมตร
- 3) ดินร่วนปนทราย + มูลวัวอัตรา 30 กก. ต่อพื้นที่ 10 ตารางเมตร 4) ดินร่วนปนทราย + ปุ๋ยหินฟอสเฟตอัตรา 0.5 กก. ต่อพื้นที่ 10 ตารางเมตร 5) ดินร่วนปนทราย + ปุ๋ยหินฟอสเฟตอัตรา 1 กก. ต่อพื้นที่ 10 ตารางเมตร
- 6) ดินร่วนปนทราย + ปุ๋ยชีวภาพไมคอร์ไรซา อัตรา 0.5 กก. ต่อพื้นที่ 10 ตารางเมตร และ 7) ดินร่วนปนทราย + ปุ๋ยชีวภาพไมคอร์ไรซา อัตรา 1 กก. ต่อพื้นที่ 10 ตารางเมตร

1. คัดเลือกผลพันธุ์มะพร้าวพันธุ์ลูกผสมชุมพร 2 โดยเก็บเกี่ยวที่อายุ 12 เดือนหลังจากผสมเกสร และเลือกผลที่มีลักษณะและขนาดใกล้เคียงกัน

2. เตรียมผลพันธุ์ โดยปาดเปลือกผลใกล้จุดมะพร้าวขนาดเท่าฝ่ามือ จากนั้นจึงวางบ่มไว้ในที่ร่ม 2 สัปดาห์

3. เก็บตัวอย่างดินที่ระดับความลึก 0-30 เซนติเมตร โดยสุ่มเก็บในแต่ละแปลงย่อยจำนวน 5 จุด แล้วนำมารวมเป็น 1 ตัวอย่าง สำหรับนำมาวิเคราะห์สมบัติทางเคมีและปริมาณธาตุอาหาร ได้แก่ ความเป็นกรด-ด่าง ของดิน ค่าการนำไฟฟ้า ปริมาณอินทรีย์วัตถุ ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ โพแทสเซียม แคลเซียม และแมกนีเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ และปริมาณเชื้อราอาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาในดินก่อนทดลอง

4. เตรียมวัสดุเพาะกล้า พร้อมวิเคราะห์สมบัติทางเคมีและปริมาณธาตุอาหาร ได้แก่ ความชื้น ความเป็นกรด-ด่าง ค่าการนำไฟฟ้า ปริมาณอินทรีย์วัตถุ ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียมทั้งหมด

5. ใส่วัสดุเพาะกล้าตามกรรมวิธี จากนั้นพรวนดินที่ระดับความลึก 15 เซนติเมตร แล้วจึงนำผลพันธุ์ที่ปาดผลแล้วมาวางลงในดิน โดยวางเรียงผลให้เกือบชิดกันเอาผลด้านที่ปาดวางขึ้นข้างบน หันไปทางทิศเดียวกัน แล้วจึงกลบดินให้ผลพันธุ์อยู่ใต้ดินประมาณ 2 ใน 3 ส่วนของผลมะพร้าว แล้วให้น้ำ และดูแลรักษาป้องกันกำจัดโรคและแมลงตามความเหมาะสม

6. เก็บข้อมูลเปอร์เซ็นต์ความงอกของผลพันธุ์และดัชนีการงอก (germination index; GI) โดยนับต้นกล้า ปกติทุกวัน จนครบ 4 เดือน

7. เก็บข้อมูลการเจริญเติบโตของต้นกล้า เช่น จำนวนใบ ความสูง เส้นรอบโคนต้น ที่อายุ 10 16 และ 20 สัปดาห์หลังเพาะผลพันธุ์

8. วิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ

ปี 2566

วางแผนการทดลองแบบ RCB มี 8 กรรมวิธี จำนวน 3 ซ้ำๆ ละ 10 ผล

1) ดินร่วนปนทราย (กรรมวิธีควบคุม) 2) ดินร่วนปนทราย+ถ่านแกลบ (1:1) 3) ดินร่วนปนทราย + ถ่านแกลบ + มูลวัว (1:1:1) 4) ดินร่วนปนทราย+ถ่านแกลบ (1:1) + ปุ๋ยหินฟอสเฟต 5) ดินร่วนปนทราย + ถ่านแกลบ (1:1) + ปูนโดโลไมต์ 6) ดินร่วนปนทราย+ถ่านแกลบ+มูลวัว (1:1:1) + ปุ๋ยชีวภาพไมคอร์ไรซา 7) ดิน ร่วนปนทราย + ถ่านแกลบ (1:1) + ปุ๋ยชีวภาพไมคอร์ไรซา+ปุ๋ยหินฟอสเฟต และ 8) ดินร่วนปนทราย+ถ่านแกลบ (1:1) + ปุ๋ยชีวภาพไมคอร์ไรซา + ปูนโดโลไมต์

หมายเหตุ : ใส่ปุ๋ยหินฟอสเฟต ปูนโดโลไมต์ และปุ๋ยชีวภาพไมคอร์ไรซา อัตรา 10 กรัม/ต้น ตามกรรมวิธี

1. คัดเลือกผลพันธุ์มะพร้าวพันธุ์ลูกผสมชุมพร 2 โดยเก็บเกี่ยวที่อายุ 12 เดือนหลังจากผสมเกสร และ เลือกผลที่มีลักษณะและขนาดใกล้เคียงกัน

2. เตรียมผลพันธุ์ โดยปาดเปลือกผลใกล้ๆ ทุ่มะพร้าวขนาดเท่าฝ่ามือ จากนั้นจึงวางบ่มไว้ในที่ร่ม 2 สัปดาห์

3. วิเคราะห์ตัวอย่างดินที่ใช้ในการทดลอง ได้แก่ ความเป็นกรด-ด่าง ค่าการนำไฟฟ้า ปริมาณอินทรีย์วัตถุ ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ โพแทสเซียม แคลเซียม และแมกนีเซียมที่แลกเปลี่ยนได้

4. เตรียมวัสดุเพาะกล้าแต่ละชนิดตามกรรมวิธี พร้อมวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพ เคมี และปริมาณธาตุอาหาร ได้แก่ ความชื้น ความเป็นกรด-ด่าง ค่าการนำไฟฟ้า ปริมาณอินทรีย์วัตถุ ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และ โพแทสเซียมทั้งหมด

5. ผสมวัสดุเพาะกล้าตามกรรมวิธีใส่ถุงเพาะชำพลาสติกสีดำ ขนาด 9 x 18 นิ้ว สัดส่วนโดยปริมาตร แล้ว จึงนำผลพันธุ์ที่ปาดผลแล้วมาวางลงในถุงเพาะ โดยวางเรียงถุงเพาะให้เกือบชิดกันเอาผลด้านที่ปาดวางขึ้นข้างบน หันไปทางทิศเดียวกัน แล้วจึงกลบดินให้ผลพันธุ์อยู่ใต้ดินประมาณ 2 ใน 3 ส่วนของผลมะพร้าว พร้อมใช้ขุยมะพร้าวคลุมเพื่อช่วยรักษาความชื้น แล้วให้น้ำ และดูแลรักษาป้องกันกำจัดโรคและแมลงตามความเหมาะสม

6. เก็บข้อมูลดัชนีการงอก (germination index; GI) และเปอร์เซ็นต์การงอกของผลพันธุ์ โดยนับต้นกล้า ปกติทุกวัน จนครบ 4 เดือน

7. เก็บข้อมูลการเจริญเติบโตของต้นกล้า เช่น จำนวนใบ ความสูง เส้นรอบโคนต้น ที่อายุ 10 16 และ 20 สัปดาห์หลังเพาะผลพันธุ์

8. วิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ

ปี 2567

วางแผนการทดลองแบบ RCB มี 7 กรรมวิธี จำนวน 4 ซ้ำๆ ละ 20 ผล ดังนี้

1) ดินร่วนปนทราย (กรรมวิธีควบคุม) 2) ดินร่วนปนทราย+ถ่านแกลบ + มูลวัว (1:1:1) 3) ดินร่วนปน ทราย + ถ่านแกลบ+มูลวัว (1:1:1) + ปูนโดโลไมต์ 4) ดินร่วนปนทราย+ถ่านแกลบ + มูลวัว (1:1:1) + ปุ๋ยหิน ฟอสเฟต + ปุ๋ยชีวภาพละลายฟอสเฟต 5) ดินร่วนปนทราย+ถ่านแกลบ + มูลวัว (1:1:1)+ปุ๋ยชีวภาพไมคอร์ไรซา 6) ดินร่วนปนทราย + ถ่านแกลบ + มูลวัว (1:1:1) + ปูนโดโลไมต์+ปุ๋ยหินฟอสเฟต + ปุ๋ยชีวภาพละลายฟอสเฟต

7) ดินร่วนปนทราย + ถ่านกลบ+มูลวัว (1:1:1) + ปูนโดโลไมต์ + ปุ๋ยหินฟอสเฟต + ปุ๋ยชีวภาพละลายฟอสเฟต + ปุ๋ยชีวภาพไมคอร์ไรซา

หมายเหตุ : ใส่หินฟอสเฟต ปูนโดโลไมต์ ปุ๋ยชีวภาพไมคอร์ไรซา และปุ๋ยชีวภาพละลายฟอสเฟต อัตรา 10 กรัม/ต้น

1. คัดเลือกผลพันธุ์มะพร้าวพันธุ์ลูกผสมชุมพร 2 โดยเก็บเกี่ยวที่อายุ 12 เดือนหลังจากผสมเกสร และเลือกผลที่มีลักษณะและขนาดใกล้เคียงกัน

2. เตรียมผลพันธุ์ โดยปาดเปลือกผลใกล้จุดมะพร้าวขนาดเท่าฝ่ามือ จากนั้นจึงวางบ่มไว้ในที่ร่ม 2 สัปดาห์

3. เก็บตัวอย่างดินที่ระดับความลึก 0-30 เซนติเมตร โดยสุ่มเก็บในแต่ละแปลงย่อยจำนวน 5 จุด แล้วนำมารวมเป็น 1 ตัวอย่าง สำหรับนำมาวิเคราะห์สมบัติทางเคมีและปริมาณธาตุอาหาร ได้แก่ ความเป็นกรด-ด่าง ของดิน ค่าการนำไฟฟ้า ปริมาณอินทรีย์วัตถุ ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ โพแทสเซียม แคลเซียม และแมกนีเซียมที่แลกเปลี่ยนได้

4. เตรียมวัสดุเพาะกล้า พร้อมวิเคราะห์สมบัติทางเคมีและปริมาณธาตุอาหาร ได้แก่ ความชื้น ความเป็นกรด-ด่าง ค่าการนำไฟฟ้า ปริมาณอินทรีย์วัตถุ ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียมทั้งหมด

5. ใส่วัสดุเพาะกล้าตามกรรมวิธี จากนั้นพรวนดินที่ระดับความลึก 15 เซนติเมตร แล้วจึงนำผลพันธุ์ที่ปาดผลแล้วมาวางลงในดิน โดยวางเรียงผลให้เกือบชิดกันเอาผลด้านที่ปาดวางขึ้นข้างบน หันไปทางทิศเดียวกัน แล้วจึงกลบดินให้ผลพันธุ์อยู่ใต้ดินประมาณ 2 ใน 3 ส่วนของผลมะพร้าว แล้วให้น้ำ และดูแลรักษาป้องกันกำจัดโรคและแมลงตามความเหมาะสม

6. เก็บข้อมูลเปอร์เซ็นต์ความงอกของผลพันธุ์และดัชนีการงอก (germination index; GI) โดยนับต้นกล้าปกติทุกวัน จนครบ 4 เดือน

7. เก็บข้อมูลการเจริญเติบโตของต้นกล้า เช่น จำนวนใบ ความสูง เส้นรอบโคนต้น ที่อายุ 10 16 และ 20 สัปดาห์หลังเพาะผลพันธุ์

ระยะเวลา เริ่มต้น ตุลาคม 2564 สิ้นสุด กันยายน 2567

สถานที่ทำการทดลอง

1. กลุ่มวิจัยปฐพีวิทยา กองวิจัยพัฒนาปัจจัยการผลิตทางการเกษตร
2. ศูนย์วิจัยและพัฒนาเมล็ดพันธุ์พืชสุราษฎร์ธานี

ผลการทดลองและวิจารณ์

ปี 2565

1. ข้อมูลผลวิเคราะห์สมบัติของดินที่ใช้เป็นวัสดุเพาะกล้าในการทดลอง

สมบัติของดินที่ใช้ในการทดลอง พบว่า เนื้อดินเป็นดินร่วนปนทราย มีค่า pH เท่ากับ 4.7 จัดเป็นดินกรดจัดมาก (คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา, 2544) ค่าการนำไฟฟ้าของดิน 0.02 เดซิซีเมนส์ต่อเมตร ปริมาณอินทรีย์วัตถุในดิน 1.17 เปอร์เซ็นต์ ปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ในดิน 8.81 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ปริมาณโพแทสเซียม แคลเซียม และแมกนีเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ในดิน 73.58 117.80 และ 35.42 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ตามลำดับ (ตารางที่ 1)

ตารางที่ 1 ผลวิเคราะห์สมบัติของดินที่ใช้เป็นวัสดุเพาะกล้าในการทดลอง ปี 2565

เนื้อดิน	pH	EC (1:5)	OM	Avail. P	Exch. K	Exch. Ca	Exch. Mg
	(1:1)	(dS/m)	(%)	(mg/kg)	(mg/kg)	(mg/kg)	(mg/kg)
ร่วนปนทราย	4.7	0.02	1.17	8.81	73.58	117.80	35.42

2. ข้อมูลผลวิเคราะห์สมบัติของมูลวัวที่ใช้ในการทดลอง

สมบัติทางเคมีและปริมาณธาตุอาหารในมูลวัว พบว่า มีค่าความชื้น 3 เปอร์เซ็นต์ ค่า pH เท่ากับ 7.9 ค่าการนำไฟฟ้า 2.33 เดซิซีเมนส์ต่อเมตร ปริมาณอินทรีย์วัตถุ 58.59 เปอร์เซ็นต์ ปริมาณไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียมทั้งหมด มีค่า 1.54 1.97 และ 1.38 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ซึ่งค่าดังกล่าวอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานของปุ๋ยอินทรีย์ตามประกาศของกรมวิชาการเกษตร (2557) ยกเว้นค่าสัดส่วนระหว่างคาร์บอนต่อไนโตรเจน ที่มีค่าสูงกว่าเกณฑ์เล็กน้อย ซึ่งมีค่าเท่ากับ 22.01 (ตารางที่ 2)

ตารางที่ 2 ผลวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพ เคมีและปริมาณธาตุอาหารในมูลวัว ปี 2565

Moisture	pH	EC	OM	Total	Total	Total	C/N
(% by fresh weight)	(1:5)	(1:10)	(%)	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	ratio
		(dS/m)		(%)	(%)	(%)	
3	7.9	2.33	58.59	1.54	1.97	1.38	22.01

3. การเจริญเติบโตของต้นกล้ามะพร้าว

3.1 ดัชนีการงอกและเปอร์เซ็นต์การงอกของต้นกล้ามะพร้าว

ดัชนีการงอกของต้นกล้ามะพร้าว พบว่า กรรมวิธีที่ใช้ดินร่วนปนทราย+ปุ๋ยชีวภาพไมคอร์ไรซา อัตรา 1 กก. ต่อพื้นที่ 10 ตารางเมตร ให้ค่าดัชนีการงอกของต้นกล้ามะพร้าวสูงสุด 2.27 แต่ไม่แตกต่างกันทางสถิติกับทุกกรรมวิธี และเปอร์เซ็นต์การงอกของต้นกล้ามะพร้าว พบว่า กรรมวิธีที่ใช้ดิน+ปุ๋ยชีวภาพไมคอร์ไรซา อัตรา 1 กก. ต่อพื้นที่ 10 ตารางเมตร ให้ค่าเปอร์เซ็นต์การงอกของต้นกล้ามะพร้าวสูงสุด 84.70 เปอร์เซ็นต์ แต่ไม่แตกต่างกันทางสถิติกับทุกกรรมวิธี (ตารางที่ 3)

ตารางที่ 3 ค่าดัชนีการงอกและเปอร์เซ็นต์การงอกของต้นกล้ามะพร้าว ปี 2565

กรรมวิธี	ดัชนีการงอก	เปอร์เซ็นต์การงอก (%)
1. ดิน (กรรมวิธีควบคุม)	2.06	72.47
2. ดิน+มูลวัวอัตรา 20 กก. ต่อพื้นที่ 10 ตารางเมตร	2.08	76.65
3. ดิน+มูลวัว อัตรา 30 กก. ต่อพื้นที่ 10 ตารางเมตร	2.19	78.60
4. ดิน+ปุ๋ยหินฟอสเฟตอัตรา 0.5 กก. ต่อพื้นที่ 10 ตารางเมตร	1.97	78.08
5. ดิน+ปุ๋ยหินฟอสเฟตอัตรา 1 กก. ต่อพื้นที่ 10 ตารางเมตร	1.99	80.00
6. ดิน+ปุ๋ยชีวภาพไมคอร์ไรซา อัตรา 0.5 กก. ต่อพื้นที่ 10 ตารางเมตร	2.21	81.93
7. ดิน+ปุ๋ยชีวภาพไมคอร์ไรซา อัตรา 1 กก. ต่อพื้นที่ 10 ตารางเมตร	2.27	84.70
เฉลี่ย	2.11	78.92
F-test	ns	ns
C.V. (%)	12.1	6.7

3.2 เส้นรอบโคนต้นของต้นกล้ามะพร้าว

เส้นรอบโคนต้นกล้ามะพร้าวที่อายุ อายุ 20 สัปดาห์ พบว่า กรรมวิธีที่ใช้ดินร่วนปนทราย + ปุ๋ยชีวภาพไมคอร์ไรซา อัตรา 1 กก. ต่อพื้นที่ 10 ตารางเมตร ให้ค่าเส้นรอบโคนต้นของต้นกล้ามะพร้าวสูงสุด 13.51 เซนติเมตร แต่ไม่แตกต่างกันทางสถิติกับทุกกรรมวิธี (ตารางที่ 4)

3.3 ความสูงของต้นกล้ามะพร้าว

ความสูงต้นกล้ามะพร้าวที่อายุ 20 สัปดาห์ พบว่า กรรมวิธีที่ใช้ดินร่วนปนทราย+ปุ๋ยชีวภาพไมคอร์ไรซา อัตรา 1 กก. ต่อพื้นที่ 10 ตารางเมตร ให้ค่าความสูงต้นกล้ามะพร้าวสูงสุดแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ โดยมีค่าเท่ากับ 106.45 เซนติเมตร ไม่แตกต่างกับกรรมวิธีที่ใช้ดินร่วนปนทราย+ปุ๋ยชีวภาพไมคอร์ไรซา อัตรา 0.5 กก. ต่อพื้นที่ 10 ตารางเมตร ในขณะที่กรรมวิธีควบคุมให้ค่าความสูงต้นกล้ามะพร้าวต่ำที่สุด มีค่าเท่ากับ 91.30 เซนติเมตร (ตารางที่ 4)

3.4 จำนวนใบของต้นกล้ามะพร้าว

จำนวนใบต้นกล้ามะพร้าวที่อายุ 10 สัปดาห์ พบว่า กรรมวิธีที่ใช้ดิน+ปุ๋ยหินฟอสเฟตอัตรา 0.5 กก. ต่อพื้นที่ 10 ตารางเมตร ให้จำนวนใบเฉลี่ยของต้นกล้ามะพร้าวสูงสุด 2.50 ใบ แต่ไม่แตกต่างกันทางสถิติกับทุกกรรมวิธี ส่วนจำนวนใบต้นกล้ามะพร้าวที่อายุ 16 สัปดาห์ พบว่า กรรมวิธีที่ใช้ดิน+ปุ๋ยชีวภาพไมคอร์ไรซา อัตรา 1 กก. ต่อพื้นที่ 10 ตารางเมตร ให้จำนวนใบเฉลี่ยของต้นกล้ามะพร้าวสูงสุด 4.70 ใบ แต่ไม่แตกต่างกันทางสถิติกับทุกกรรมวิธี ทั้งนี้จำนวนใบต้นกล้ามะพร้าวที่อายุ 20 สัปดาห์ พบว่า กรรมวิธีที่ใช้ดิน+ปุ๋ยชีวภาพไมคอร์ไรซา อัตรา 1 กก. ต่อพื้นที่ 10 ตารางเมตร ให้จำนวนใบเฉลี่ยของต้นกล้ามะพร้าวสูงสุดแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ โดยมีค่าเท่ากับ 7.18 ใบ (ตารางที่ 4)

ตารางที่ 4 เส้นรอบโคนต้น ความสูงต้น และจำนวนใบของต้นกล้ามะพร้าวที่อายุ 20 สัปดาห์ ปี 2565

กรรมวิธี	เส้นรอบโคนต้น (ซม.)	ความสูงต้น (ซม.)	จำนวนใบ (ใบ)
1. ดินร่วนปนทราย (กรรมวิธีควบคุม)	11.81	91.30 c	6.15 b
2. ดินร่วนปนทราย +มูลวัวอัตรา 20 กก. ต่อ 10 ตรม.	12.55	95.28 bc	6.60 b
3. ดินร่วนปนทราย +มูลวัว อัตรา 30 กก. ต่อ 10 ตรม.	12.89	96.60 bc	6.40 b
4. ดินร่วนปนทราย +ปุ๋ยหินฟอสเฟตอัตรา 0.5 กก. ต่อ 10 ตรม.	12.85	97.68 bc	6.33 b
5. ดินร่วนปนทราย +ปุ๋ยหินฟอสเฟตอัตรา 1 กก. ต่อ 10 ตรม.	12.79	97.83 bc	6.35 b
6. ดินร่วนปนทราย +ปุ๋ยชีวภาพไมคอร์ไรซา อัตรา 0.5 กก. ต่อ 10 ตรม.	13.27	101.40 ab	6.50 b
7. ดินร่วนปนทราย +ปุ๋ยชีวภาพไมคอร์ไรซา อัตรา 1 กก. ต่อ 10 ตรม.	13.51	106.45 a	7.18 a
เฉลี่ย	12.81	98.08	6.50
F-test	ns	**	**
C.V. (%)	6.7	4.5	4.6

หมายเหตุ : ns = ไม่แตกต่างกันทางสถิติ

* = แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

** = แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ

ปี 2566

1. ข้อมูลผลวิเคราะห์สมบัติของดินที่ใช้เป็นวัสดุเพาะกล้าในการทดลอง

ดินที่ใช้เป็นวัสดุเพาะกล้าเป็นดินร่วนปนทราย มีความเป็นกรดจัด (pH เท่ากับ 4.8) ค่าการนำไฟฟ้าของดิน 0.02 เดซิซีเมนส์ต่อเมตร ปริมาณอินทรีย์วัตถุในดิน 0.35 เปอร์เซ็นต์ ปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ในดิน 6.23 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ปริมาณโพแทสเซียม แคลเซียม และแมกนีเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ในดิน เท่ากับ 52.14 98.45 และ 23.56 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ตามลำดับ จะเห็นได้ว่าดินที่ใช้เป็นวัสดุเพาะกล้ามีความอุดมสมบูรณ์ของดินต่ำ ประกอบกับความเป็นกรดจัดของดินส่งผลให้ธาตุอาหารหลัก ธาตุอาหารรองและจุลธาตุหลายชนิดถูกจำกัด ทำให้พืชไม่สามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้ โดยเฉพาะฟอสฟอรัสที่ถูกตรึงอยู่กับธาตุเหล็กและอะลูมิเนียมที่ละลายออกมาอยู่ในสารละลายดินมากในดินกรดจัด ซึ่งการใช้ดินร่วนปนทรายเป็นวัสดุเพาะกล้าจึงอาจทำให้ต้นกล้ามะพร้าวได้รับธาตุอาหารไม่เพียงพอต่อการเจริญเติบโต (ตารางที่ 5)

ตารางที่ 5 ผลวิเคราะห์สมบัติของดินที่ใช้เป็นวัสดุเพาะกล้าในการทดลอง ปี 2566

เนื้อดิน	pH (1:1)	EC (1:5) (dS/m)	OM (%)	Avail. P (mg/kg)	Exch. K (mg/kg)	Exch. Ca (mg/kg)	Exch. Mg (mg/kg)
ร่วนปนทราย	4.8	0.02	0.35	6.23	52.14	98.45	23.56

2. ข้อมูลผลวิเคราะห์สมบัติของมูลวัวและถ่านแกลบที่ใช้ในการทดลอง

จากผลวิเคราะห์ พบว่า มูลวัวมีค่าความชื้น 3.37 เปอร์เซ็นต์ มีค่า pH เท่ากับ 7.7 ค่าการนำไฟฟ้า 2.41 เดซิซีเมนส์ต่อเมตร ปริมาณอินทรีย์วัตถุ 76.10 เปอร์เซ็นต์ ปริมาณไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียมทั้งหมด เท่ากับ 1.77 0.73 และ 3.75 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ และค่าสัดส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน (C/N ratio) เท่ากับ 23.74 ส่วนถ่านแกลบมีค่าความชื้น 2.80 เปอร์เซ็นต์ มีค่า pH เท่ากับ 7.9 ค่าการนำไฟฟ้า 0.17 เดซิซีเมนส์ต่อเมตร ปริมาณอินทรีย์วัตถุ 10.29 เปอร์เซ็นต์ ปริมาณไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียมทั้งหมด เท่ากับ 0.10 0.16 และ 1.73 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ และค่าสัดส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน (C/N ratio) เท่ากับ 59.7 จะเห็นว่า ถ่านแกลบและมูลวัวมีปริมาณธาตุหลักที่พืชต้องการใช้ในการเจริญเติบโต ยางูท และคณะ (2556) รายงานว่า ปุ๋ยคอกมีทั้งธาตุอาหารหลัก ธาตุรองและจุลธาตุ โดยพืชจะได้รับธาตุอาหารในรูปที่เป็นประโยชน์อย่างช้า ๆ และต่อเนื่อง ด้วยเหตุนี้การใช้มูลวัวเป็นวัสดุเพาะกล้าจึงเป็นการเพิ่มธาตุอาหารให้แก่ต้นกล้ามะพร้าวด้วย ดังนั้น การเลือกใช้วัสดุเพาะกล้าจะต้องพิจารณาถึงปริมาณธาตุอาหารในวัสดุนั้นๆ ก่อนนำมาใช้ด้วยเพื่อช่วยในการเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตต้นกล้ามะพร้าว (ตารางที่ 6)

ตารางที่ 6 ผลวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพ เคมีและปริมาณธาตุอาหารในมูลวัวและถ่านแกลบ ปี 2566

รายการ	Moisture (% by fresh weight)	pH (1:5)	EC (1:10) (dS/m)	OM (%)	Total N (%)	Total P ₂ O ₅ (%)	Total K ₂ O (%)	C/N ratio
มูลวัว	3.37	7.7	2.41	76.10	1.77	0.73	3.75	23.74
ถ่านแกลบ	2.80	7.9	0.17	10.29	0.10	0.16	1.73	59.70

3. การเจริญเติบโตของต้นกล้ามะพร้าว

3.1 ดัชนีการงอกและเปอร์เซ็นต์การงอกของต้นกล้ามะพร้าว

ดัชนีการงอกของต้นกล้ามะพร้าว พบว่า กรรมวิธีที่ใช้ดินร่วนปนทราย + ถ่านแกลบ + มูลวัว อัตรา 1:1:1 + ปุ๋ยชีวภาพไมคอร์ไรซา 10 กรัมต่อต้น ให้ค่าดัชนีการงอกของต้นกล้ามะพร้าวสูงสุด 0.69 แต่ไม่แตกต่างกันทางสถิติกับทุกกรรมวิธี และเปอร์เซ็นต์การงอกของต้นกล้ามะพร้าว พบว่า กรรมวิธีที่ใช้ดินร่วนปนทราย + ถ่านแกลบ + มูลวัว อัตรา 1:1:1 และกรรมวิธีที่ใช้ดินร่วนปนทราย + ถ่านแกลบ อัตรา 1:1 + ปูนโดโลไมต์ 10 กรัมต่อต้น ให้ค่าเปอร์เซ็นต์การงอกของต้นกล้ามะพร้าวสูงสุด 93.33 เปอร์เซ็นต์ แต่ไม่แตกต่างกันทางสถิติกับทุกกรรมวิธี (ตารางที่ 7)

ตารางที่ 7 ค่าดัชนีการงอกและเปอร์เซ็นต์การงอกของต้นกล้ามะพร้าว ปี 2566

กรรมวิธี	ดัชนีการงอก	เปอร์เซ็นต์การงอก (%)
1. ดิน (กรรมวิธีควบคุม)	0.38	79.00
2. ดิน+ถ่านแกลบ (1:1)	0.42	73.33
3. ดิน+ถ่านแกลบ+มูลวัว (1:1:1)	0.66	93.33
4. ดิน+ถ่านแกลบ (1:1)+ปุ๋ยหินฟอสเฟต	0.47	83.33
5. ดิน+ถ่านแกลบ (1:1)+ปุ๋ยโดโลไมต์	0.54	93.33
6. ดิน+ถ่านแกลบ+มูลวัว (1:1:1)+ปุ๋ยชีวภาพไมคอร์ไรซา	0.69	86.67
7. ดิน+ถ่านแกลบ (1:1)+ปุ๋ยชีวภาพไมคอร์ไรซา+ปุ๋ยหินฟอสเฟต	0.44	86.67
8. ดิน+ถ่านแกลบ (1:1)+ปุ๋ยชีวภาพไมคอร์ไรซา+ปุ๋ยโดโลไมต์	0.43	80.00
เฉลี่ย	0.50	84.46
F-test	ns	ns
C.V. (%)	26.6	14.1

หมายเหตุ : ns = ไม่แตกต่างกันทางสถิติ

3.2 เส้นรอบโคนต้นของต้นกล้ามะพร้าว

เส้นรอบโคนต้นกล้ามะพร้าวที่อายุ 20 สัปดาห์ พบว่า กรรมวิธีที่ใช้ดินร่วนปนทราย + ถ่านแกลบ อัตรา 1:1 + ปุ๋ยชีวภาพไมคอร์ไรซา 10 กรัมต่อต้น + ปุ๋ยหินฟอสเฟต 10 กรัมต่อต้น ให้ค่าเส้นรอบโคนต้นของต้นกล้ามะพร้าวสูงสุด 17.00 เซนติเมตร แต่ไม่แตกต่างกันทางสถิติกับทุกกรรมวิธี (ตารางที่ 8)

3.3 ความสูงของต้นกล้ามะพร้าว

ความสูงต้นกล้ามะพร้าวที่อายุ 20 สัปดาห์ พบว่า กรรมวิธีที่ใช้ดินร่วนปนทราย + ถ่านแกลบ + มูลวัว อัตรา 1:1:1 + ปุ๋ยชีวภาพไมคอร์ไรซา 10 กรัมต่อต้น ให้ค่าความสูงต้นกล้ามะพร้าวสูงสุด 98.62 เซนติเมตร ไม่แตกต่างกับกรรมวิธีที่ใช้วัสดุอื่น ๆ แต่แตกต่างจากกรรมวิธีควบคุม (ตารางที่ 8)

3.4 จำนวนใบของต้นกล้ามะพร้าว

จำนวนใบต้นกล้ามะพร้าวที่อายุ 20 สัปดาห์ พบว่า กรรมวิธีที่ใช้ดินร่วนปนทราย + ถ่านแกลบ + มูลวัว อัตรา 1:1:1 + ปุ๋ยชีวภาพไมคอร์ไรซา 10 กรัมต่อต้น ให้จำนวนใบเฉลี่ยของต้นกล้ามะพร้าวสูงสุด 5.60 ใบ ไม่แตกต่างกับกรรมวิธีที่ใช้วัสดุอื่น ๆ แต่แตกต่างจากกรรมวิธีควบคุม (ตารางที่ 8)

ตารางที่ 8 เส้นรอบโคนต้น ความสูงต้น และจำนวนใบของต้นกล้วยที่อายุ 20 สัปดาห์ ปี 2566

กรรมวิธี	เส้นรอบโคนต้น (ซม.)	ความสูงต้น (ซม.)	จำนวนใบ (ใบ)
1. ดินร่วนปนทราย (กรรมวิธีควบคุม)	14.86	59.44c	3.63b
2. ดินร่วนปนทราย + ถ่านแกลบ (1:1)	15.14	74.80ab	5.32a
3. ดินร่วนปนทราย + ถ่านแกลบ+มูลวัว (1:1:1)	15.91	95.70a	5.23a
4. ดินร่วนปนทราย + ถ่านแกลบ (1:1)+ปุ๋ยหินฟอสเฟต	14.58	88.38a	4.58a
5. ดินร่วนปนทราย + ถ่านแกลบ (1:1)+ปุ๋ยโดโลไมต์	16.37	88.60a	5.49a
6. ดินร่วนปนทราย + ถ่านแกลบ+มูลวัว (1:1:1)+ปุ๋ย ชีวภาพไมคอร์ไรซา	16.33	98.62a	5.60a
7. ดินร่วนปนทราย + ถ่านแกลบ (1:1)+ปุ๋ยชีวภาพไมคอร์ไร ซา+ปุ๋ยหินฟอสเฟต	17.00	88.68a	5.14a
8. ดินร่วนปนทราย + ถ่านแกลบ (1:1)+ปุ๋ยชีวภาพไม คอร์ไรซา+ปุ๋ยโดโลไมต์	14.07	86.07ab	5.30a
เฉลี่ย	15.54	85.04	5.04
F-test	ns	**	**
C.V. (%)	14.2	7.7	10.7

หมายเหตุ : ns = ไม่แตกต่างกันทางสถิติ

* = แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

** = แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ

ปี 2567

1. ข้อมูลผลวิเคราะห์สมบัติของดินที่ใช้เป็นวัสดุเพาะกล้าในการทดลอง

ดินที่ใช้ในการทดลอง เป็นดินร่วนปนทราย มีค่า pH เท่ากับ 4.9 ค่าการนำไฟฟ้าของดิน 0.03 เดซิซีเมนส์ต่อเมตร ปริมาณอินทรีย์วัตถุในดิน 0.68 เปอร์เซ็นต์ ปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ในดิน 3.96 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ปริมาณโพแทสเซียม แคลเซียม และแมกนีเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ในดิน เท่ากับ 57.64 110.64 และ 32.54 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ตามลำดับ (ตารางที่ 9)

ตารางที่ 9 ผลวิเคราะห์สมบัติของดินที่ใช้เป็นวัสดุเพาะกล้าในการทดลอง ปี 2567

เนื้อดิน	pH (1:1)	EC (1:5) (dS/m)	OM (%)	Avail. P (mg/kg)	Exch. K (mg/kg)	Exch. Ca (mg/kg)	Exch. Mg (mg/kg)
ร่วนปนทราย	4.9	0.03	0.68	3.96	57.64	110.41	32.54

2. ข้อมูลผลวิเคราะห์สมบัติของมูลวัวและถ่านแกลบที่ใช้ในการทดลอง

จากผลวิเคราะห์ พบว่า มูลวัวมีค่าความชื้น 2.84 เปอร์เซ็นต์ มีค่า pH เท่ากับ 7.8 ค่าการนำไฟฟ้า 2.41 เดซิซีเมนส์ต่อเมตร ปริมาณอินทรีย์วัตถุ 62.11 เปอร์เซ็นต์ ปริมาณไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียม ทั้งหมด เท่ากับ 2.53 0.35 และ 3.75 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ และค่าสัดส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน (C/N ratio) เท่ากับ 14 ส่วนถ่านแกลบมีค่าความชื้น 3.20 เปอร์เซ็นต์ มีค่า pH เท่ากับ 8.4 ค่าการนำไฟฟ้า 0.17 เดซิซีเมนส์ต่อเมตร ปริมาณอินทรีย์วัตถุ 12.76 เปอร์เซ็นต์ ปริมาณไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียมทั้งหมด เท่ากับ 0.19 0.27 และ 1.73 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ และค่าสัดส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน (C/N ratio) เท่ากับ 39 (ตารางที่ 10)

ตารางที่ 10 ผลวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพ เคมีและปริมาณธาตุอาหารในมูลวัวและถ่านแกลบ ปี 2567

รายการ	Moisture (% by fresh weight)	pH (1:5)	EC (1:10) (dS/m)	OM (%)	Total N (%)	Total P ₂ O ₅ (%)	Total K ₂ O (%)	C/N ratio
มูลวัว	2.84	7.8	2.41	62.11	2.53	0.35	3.75	14
ถ่านแกลบ	3.20	8.4	0.17	12.76	0.19	0.27	1.73	39

3. การเจริญเติบโตของต้นกล้ามะพร้าว

3.1 ดัชนีการงอกและเปอร์เซ็นต์การงอกของต้นกล้ามะพร้าว

ดัชนีการงอกของต้นกล้ามะพร้าว พบว่า กรรมวิธีที่ใช้ดินร่วนปนทราย+ถ่านแกลบ+มูลวัว (1:1:1) ให้ค่าดัชนีการงอกของต้นกล้ามะพร้าวสูงสุด 0.34 แต่ไม่แตกต่างกันทางสถิติกับทุกกรรมวิธี และเปอร์เซ็นต์การงอกของต้นกล้ามะพร้าว พบว่า กรรมวิธีที่ใช้ดินร่วนปนทราย+ถ่านแกลบ+มูลวัว (1:1:1) ให้ค่าเปอร์เซ็นต์การงอกของต้นกล้ามะพร้าวสูงสุด 65.00 เปอร์เซ็นต์ แต่ไม่แตกต่างกันทางสถิติกับทุกกรรมวิธี (ตารางที่ 11)

ตารางที่ 11 ค่าดัชนีการงอกและเปอร์เซ็นต์การงอกของต้นกล้ามะพร้าว ปี 2567

กรรมวิธี	ดัชนีการงอก	เปอร์เซ็นต์การงอก (%)
1. ดิน (กรรมวิธีควบคุม)	0.26	48.75
2. ดิน+ถ่านแกลบ+มูลวัว (1:1:1)	0.34	65.00
3. ดิน+ถ่านแกลบ+มูลวัว (1:1:1)+ปุ๋ยโดโลไมต์	0.28	56.25
4. ดิน+ถ่านแกลบ+มูลวัว (1:1:1)+ปุ๋ยหินฟอสเฟต+ปุ๋ยชีวภาพ ละลายฟอสเฟต	0.31	63.75
5. ดิน+ถ่านแกลบ+มูลวัว (1:1:1)+ปุ๋ยชีวภาพไมคอร์ไรซา	0.28	55.00
6. ดิน+ถ่านแกลบ+มูลวัว (1:1:1)+ปุ๋ยโดโลไมต์+ปุ๋ยหิน ฟอสเฟต+ปุ๋ยชีวภาพละลายฟอสเฟต	0.26	52.50
7. ดิน+ถ่านแกลบ+มูลวัว (1:1:1)+ปุ๋ยโดโลไมต์+ปุ๋ยหิน ฟอสเฟต+ปุ๋ยชีวภาพละลายฟอสเฟต+ปุ๋ยชีวภาพไมคอร์ไรซา	0.28	53.75
เฉลี่ย	0.29	56.43
F-test	ns	ns
C.V. (%)	21.3	23.6

หมายเหตุ : ns = ไม่แตกต่างกันทางสถิติ

3.2 เส้นรอบโคนต้นของต้นกล้ามะพร้าว

เส้นรอบโคนต้นกล้ามะพร้าวที่อายุ 20 สัปดาห์ พบว่า กรรมวิธีที่ใช้ดินร่วนปนทราย+ถ่านแกลบ+มูลวัว (1:1:1)+ปุ๋ยโดโลไมต์+ปุ๋ยหินฟอสเฟต+ปุ๋ยชีวภาพละลายฟอสเฟต+ปุ๋ยชีวภาพไมคอร์ไรซา ให้ค่าเส้นรอบโคนต้นของต้นกล้ามะพร้าวสูงสุด 10.32 เซนติเมตร แต่ไม่แตกต่างกันทางสถิติกับทุกกรรมวิธี (ตารางที่ 12)

3.3 ความสูงของต้นกล้ามะพร้าว

ความสูงต้นกล้ามะพร้าวที่อายุ 20 สัปดาห์ พบว่า กรรมวิธีที่ใช้ดินร่วนปนทราย+ถ่านแกลบ+มูลวัว (1:1:1)+ปุ๋ยโดโลไมต์+ปุ๋ยหินฟอสเฟต+ปุ๋ยชีวภาพละลายฟอสเฟต+ปุ๋ยชีวภาพไมคอร์ไรซา ให้ค่าความสูงต้นกล้ามะพร้าวสูงสุด 94.09 เซนติเมตร แต่ไม่แตกต่างกับกรรมวิธีอื่น ๆ (ตารางที่ 12)

3.3 จำนวนใบของต้นกล้ามะพร้าว

จำนวนใบต้นกล้ามะพร้าวที่อายุ 20 สัปดาห์ พบว่า กรรมวิธีที่ใช้ดินร่วนปนทราย+ถ่านแกลบ+มูลวัว (1:1:1)+ปุ๋ยโดโลไมต์+ปุ๋ยหินฟอสเฟต+ปุ๋ยชีวภาพละลายฟอสเฟต+ปุ๋ยชีวภาพไมคอร์ไรซา ให้จำนวนใบเฉลี่ยของต้นกล้ามะพร้าวสูงสุดแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยมีค่าเท่ากับ 5.33 ใบ (ตารางที่ 12)

ตารางที่ 12 เส้นรอบโคนต้น ความสูงต้น และจำนวนใบของต้นกล้ามะพร้าวที่อายุ 20 สัปดาห์ ปี 2567

กรรมวิธี	เส้นรอบ โคนต้น (ซม.)	ความสูงต้น (ซม.)	จำนวนใบ (ใบ)
1. ดินร่วนปนทราย (กรรมวิธีควบคุม)	20 สัปดาห์	78.00	4.17 b
2. ดินร่วนปนทราย+ถ่านแกลบ+มูลวัว (1:1:1)	8.27	83.00	4.92 a
3. ดินร่วนปนทราย+ถ่านแกลบ+มูลวัว (1:1:1)+ปุ๋ยโดโลไมต์	9.28	83.84	5.25 a
4. ดินร่วนปนทราย+ถ่านแกลบ+มูลวัว (1:1:1)+ปุ๋ยหินฟอสเฟต+ ปุ๋ยชีวภาพละลายฟอสเฟต	9.83	87.29	5.08 a
5. ดินร่วนปนทราย+ถ่านแกลบ+มูลวัว (1:1:1)+ปุ๋ยชีวภาพไมคอร์ ไรซา	9.42	88.08	4.92 a
6. ดินร่วนปนทราย+ถ่านแกลบ+มูลวัว (1:1:1)+ปุ๋ยโดโลไมต์+ปุ๋ย หินฟอสเฟต+ปุ๋ยชีวภาพละลายฟอสเฟต	9.33	92.50	5.09 a
7. ดินร่วนปนทราย+ถ่านแกลบ+มูลวัว (1:1:1)+ปุ๋ยโดโลไมต์+ปุ๋ย หินฟอสเฟต+ปุ๋ยชีวภาพละลายฟอสเฟต+ปุ๋ยชีวภาพไมคอร์ไรซา	10.01	94.09	5.33 a
เฉลี่ย	10.32	86.68	4.96
F-test	9.49	ns	*
C.V. (%)	ns	10.9	9.5

หมายเหตุ : ns = ไม่แตกต่างกันทางสถิติ

* = แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

** = แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ

สรุปผลการทดลอง

การใช้ปุ๋ยหินฟอสเฟต ปูนโดโลไมต์ ถ่านแกลบ มูลวัว ปุ๋ยชีวภาพไมคอร์ไรซา และปุ๋ยชีวภาพละลายฟอสเฟตเป็นส่วนผสมกับดินร่วนปนทรายเป็นวัสดุเพาะกล้า สามารถช่วยส่งเสริมการเจริญเติบโตของต้นกล้ามะพร้าวและยังสามารถลดระยะเวลาการอนุบาลต้นกล้าให้สั้นลงได้ โดยการใช้ดินร่วนปนทราย + ถ่านแกลบ + มูลวัว (1:1:1) + ปูนโดโลไมต์ อัตรา 10 กรัมต่อต้น + ปุ๋ยหินฟอสเฟต อัตรา 10 กรัมต่อต้น + ปุ๋ยชีวภาพละลายฟอสเฟต อัตรา 10 กรัมต่อต้น+ปุ๋ยชีวภาพไมคอร์ไรซา อัตรา 10 กรัมต่อต้น เป็นสูตรวัสดุเพาะต้นกล้ามะพร้าวที่เหมาะสมที่สุด

คำขอบคุณ

งานวิจัยนี้ได้รับทุนสนับสนุนจากสำนักงานคณะกรรมการส่งเสริมวิทยาศาสตร์ วิจัยและนวัตกรรม (สกสว.) ร่วมกับกรมวิชาการเกษตร และขอขอบคุณกลุ่มงานวิจัยจุลินทรีย์ดิน กลุ่มวิจัยปฐพีวิทยา กองวิจัยพัฒนาปัจจัยการผลิตทางการเกษตร กรมวิชาการเกษตรที่ให้ความอนุเคราะห์ปุ๋ยชีวภาพสำหรับการวิจัยครั้งนี้ สุดท้ายนี้ขอขอบคุณเจ้าหน้าที่และทีมงานวิจัยทุกท่านที่ให้ความช่วยเหลืองานวิจัยในครั้งนี้

การนำผลงานวิจัยไปใช้ประโยชน์

ผลงานวิจัยนี้สามารถใช้เป็นแนวทางให้ศูนย์วิจัยพืชสวนชุมพร หรือศูนย์วิจัยและพัฒนาเมล็ดพันธุ์พืชสุราษฎร์ธานี รวมถึงเกษตรกร ผู้ประกอบการที่สนใจนำไปปฏิบัติเพื่อเพิ่มศักยภาพการผลิตต้นกล้ามะพร้าวต่อไปได้

เอกสารอ้างอิง

- กรมวิชาการเกษตร. 2557. ประกาศกรมวิชาการเกษตร เรื่อง กำหนดเกณฑ์ปุ๋ยอินทรีย์ พ.ศ. 2557. กรมวิชาการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์
- กรมวิชาการเกษตร. 2564. **ปุ๋ยชีวภาพ**. กลุ่มงานวิจัยจุลินทรีย์ดิน กลุ่มวิจัยปฐพีวิทยา กองวิจัยพัฒนาปัจจัยการผลิตทางการเกษตร กรมวิชาการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์.: กรุงเทพมหานคร. 30 หน้า.
- คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา. 2544. **ปฐพีวิทยาเบื้องต้น**. สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. กรุงเทพมหานคร. 528 หน้า.
- ทิพวรรณ แก้วหนู พิรพงษ์ เซาวนพงษ์ สุปรานี มั่นหมาย ศรีสุตา รื่นเจริญ นิสารัตน์ ทวีนุต ปิยะนันท์ วิวัฒน์วิทยา ปฏิมาภรณ์ จินจาคาม กุลินดา แท่นจันทร์ ธนพันธ์ พงษ์ไทย และ ปริญดา หรุ่นหิม. 2566. ผลของปุ๋ยคอก ปุ๋ยหินฟอสเฟต และปุ๋ยชีวภาพไมคอร์ไรซาต่อการเจริญเติบโตของต้นกล้วยน้ำว้า. **วารสารเทคโนโลยีและนวัตกรรมเกษตร** 1(1): 34-42.
- บ้านและสวน. 2565. ของดีในมูลสัตว์. แหล่งข้อมูล <https://www.baanlaesuan.com/229342/gardenfarm/farming-101/manure>. สืบค้น 12 มกราคม 2568.
- ปิยาภรณ์ เข็มวิชัย 2565. การศึกษาวัสดุเพาะเพื่อทดแทนการใช้ฟัทมอสในการเพาะกล้าผักสลัด. แหล่งข้อมูล https://www.wisdomking.or.th/files/media_manager/12075f8459499dd19b4bc0eed7ccbf39/research/2566/01.pdf. สืบค้น 12 มกราคม 2568.
- ยงยุทธ โอสดสภา อรรถศิษฐ์ วงศ์มณีโรจน์ และ ขวลิต ยงประยูร. 2556. **ปุ๋ยเพื่อการเกษตรยั่งยืน**. สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. กรุงเทพมหานคร. 519 หน้า.
- ศิริลักษณ์ แก้วสุรลิขิต นิสารัตน์ ทวีนุต และ สุภาภรณ์ สาชาติ. การอนุบาลต้นกล้วยน้ำว้าหอมจากการเพาะเลี้ยงเอ็มบริโอโดยใช้วัสดุอินทรีย์ ร่วมกับราอับสคูลาร์ไมคอร์ไรซา. แหล่งข้อมูล <https://www.doa.go.th/hort/?p=59872>. สืบค้น 2 มกราคม 2568).

ศึกษาการใช้ประโยชน์ปุ๋ยชีวภาพพีจีพีอาร์-วันที่เหมาะสมต่อการผลิตข้าวโพดหวาน
พันธุ์ไฮ-บรिซ 59

Study on the Utilization of PGPR-I Biofertilizer Suitable for Sweet Corn
Variety Hi-brix 59 Production

กัลยกร โปร่งจันทิก¹ สรตนา เสนาะ¹ พีชณิดา ธารานุกูล²

Kunlayakorn Prongjunthuek¹ Sarattana Sanoh¹ Peechanida Tharanugool²

กลุ่มวิจัยปฐพีวิทยา

กองวิจัยพัฒนาปัจจัยการผลิตทางการเกษตร

ABSTRACT

Canned sweet corn in Thailand has the world's number 1 export value and quantity. Sweet corn is therefore classified as another important economic crop in Thailand. But farmers still face the problem of the higher cost of production because of agricultural production. In particular, the price of chemical fertilizers has increased dramatically. The purpose of this experiment was to study the utilization of PGPR-I biofertilizer suitable for sweet corn variety Hi-brix 59 production under farmland conditions. Two types of PGPR-I biofertilizers with different bacterial species and aseptic carriers were used together with chemical fertilizer application of 75–100 percent of the recommended rates based on soil analysis values. Chemical fertilizers in combination with PGPR-I biofertilizers were used to grow sweet corn variety Hi-brix 59 under medium fertility and high exchangeable potassium content in farmland gave the results in the same direction as the experiments in the experimental field of the research center. The sweet corn variety Hi-brix 59 had un-husked ear yields between 1,264–1,542 kg per rai and the husked ear yields ranged from 970–1,287 kg per rai and all treatments were not statistically different. In addition, all treatments also had length of ear without husk and sweetness standards according to the THAI AGRICULTURAL STANDARD TAS.1512–2011 and when calculating the economic return by finding the ratio between the income from increased productivity from fertilization (Value to Cost Ratio, VCR) that considers a VCR lower than two, fertilizing will not be able to generate a profitable return to the farmers, it was found that all treatments had a minus VCR. It was pointed out that the application of both types of PGPR-I biofertilizer increased the production of Hi-Brix 59 sweet corn, although the amount of chemical fertilizer was reduced by 25 percent, did not increase farmers' returns.

Keywords: PGPR biofertilizer; sweet corn; Hi-brix 59

¹ กองวิจัยพัฒนาปัจจัยการผลิตทางการเกษตร

¹ Agricultural Production Science Research and Development Division

² ศูนย์วิจัยและพัฒนาการเกษตรโนนสูง

² Nonsung Agricultural Research and Development Center

บทคัดย่อ

ข้าวโพดหวานบรรจุกระป๋องของไทยมีปริมาณและมูลค่าการส่งออกเป็นอันดับ 1 ของโลก ข้าวโพดหวานจึงจัดเป็นพืชเศรษฐกิจที่มีความสำคัญอีกชนิดของไทย แต่เกษตรกรยังประสบปัญหาในเรื่อง ต้นทุนการผลิตที่สูงขึ้นเพราะว่าปัจจัยการผลิต โดยเฉพาะราคาปุ๋ยเคมีที่เพิ่มสูงขึ้นแบบก้าวกระโดด การทดลองนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาการใช้ประโยชน์ปุ๋ยชีวภาพฟิซีฟิอาร์-วัน ที่เหมาะสมต่อการผลิตข้าวโพดหวานพันธุ์ไฮ-บริดจ์ 59 ในสภาพพื้นที่เกษตรกร โดยใช้ปุ๋ยชีวภาพฟิซีฟิอาร์-วัน 2 แบบ ที่มีชนิดแบคทีเรียและวัสดุพาที่ใช้วิธีปลอดเชื้อแตกต่างกัน ร่วมกับการใส่ปุ๋ยเคมี 75–100 เปอร์เซ็นต์ของอัตราแนะนำตามค่าวิเคราะห์ดิน ผลการทดลอง พบว่า การใช้ปุ๋ยเคมีร่วมกับปุ๋ยชีวภาพฟิซีฟิอาร์-วัน ในการปลูกข้าวโพดหวานพันธุ์ไฮ-บริดจ์ 59 ในสภาพพื้นที่เกษตรกรซึ่งมีความอุดมสมบูรณ์ปานกลาง ให้ผลการทดลองไปในทิศทางเดียวกันกับการทดลองในแปลงทดลองของศูนย์วิจัยฯ โดยข้าวโพดหวานพันธุ์ไฮ-บริดจ์ 59 มีน้ำหนักฝักสดรวมเปลือกอยู่ระหว่าง 1,264–1,542 กิโลกรัมต่อไร่ และน้ำหนักฝักสดเปลือกอยู่ระหว่าง 970–1,287 กิโลกรัมต่อไร่ ซึ่งทุกกรรมวิธีทดลองไม่แตกต่างทางสถิติ นอกจากนี้ทุกกรรมวิธีทดลองยังมีความยาวฝักเปลือกและมีความหวานได้มาตรฐานตาม มกษ.1512-2554 และเมื่อคำนวณผลตอบแทนทางเศรษฐกิจโดยหาอัตราส่วนระหว่างรายได้จากผลผลิตที่เพิ่มขึ้นจากการใส่ปุ๋ย (Value to Cost Ratio, VCR) ถ้าค่า VCR ต่ำกว่า 2.0 การใส่ปุ๋ยจะไม่สามารถสร้างผลตอบแทนที่คุ้มค่าให้แก่เกษตรกร พบว่า ทุกกรรมวิธีทดลองมีค่า VCR ติดลบ ชี้ให้เห็นว่า การใส่ปุ๋ยชีวภาพฟิซีฟิอาร์-วัน ทั้งสองแบบเพิ่มในการผลิตข้าวโพดหวานพันธุ์ไฮ-บริดจ์ 59 แม้จะลดปริมาณปุ๋ยเคมีลง 25 เปอร์เซ็นต์ ไม่ทำให้เกษตรกรได้รับผลตอบแทนเพิ่มขึ้น

คำสำคัญ: ปุ๋ยชีวภาพฟิซีฟิอาร์; ข้าวโพดหวาน; พันธุ์ไฮ-บริดจ์ 59

คำนำ

ประเทศไทยเป็นฐานการผลิตและส่งออกข้าวโพดหวานที่สำคัญของโลก ปัจจุบัน ข้าวโพดหวานบรรจุกระป๋องมีปริมาณและมูลค่าการส่งออกอันดับ 1 ของโลก (ศูนย์วิจัยกสิกรรมไทย, 2550) ส่วนแบ่งมูลค่าและปริมาณในตลาดโลก 22 และ 27 เปอร์เซ็นต์ โดยในปี 2563 ประเทศไทยส่งออกข้าวโพดหวานบรรจุกระป๋อง มูลค่า 6,722 ล้านบาท โดยส่งออก 115 ประเทศทั่วโลก ในขณะที่ข้าวโพดหวานแช่แข็งส่งออก 18 ประเทศทั่วโลก มูลค่า 168 ล้านบาท ซึ่งโรงงานแปรรูปในประเทศมีความต้องการผลผลิต 1,200 ตันต่อวัน และคาดว่าปริมาณความต้องการจะเพิ่มขึ้นเนื่องจากความต้องการด้านอาหารมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น โดยพื้นที่เพาะปลูกสำคัญอยู่ทางภาคเหนือ ภาคตะวันตก และภาคกลาง (สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร, 2563) ถึงแม้ว่าเกษตรกรนิยมการเพาะปลูกข้าวโพดหวานเป็นจำนวนมาก แต่ก็ยังต้องเผชิญกับปัญหาต่าง ๆ เช่น ผลผลิตต่ำ ต้นทุนการผลิตที่สูงขึ้นเพราะว่าปัจจัยการผลิต เช่น ปุ๋ย สารเคมี ป้องกันกำจัดวัชพืชและศัตรูพืชมีราคาแพง และปัญหาคุณภาพของผลผลิตไม่ได้มาตรฐาน ทำให้กำไรที่ได้จากการเพาะปลูกข้าวโพดหวานของเกษตรกรลดลง เกษตรกรจึงเปลี่ยนไปปลูกพืชอื่น ๆ ทดแทน เช่น อ้อย มันสำปะหลัง เป็นต้น จึงเป็นสาเหตุทำให้พื้นที่เพาะปลูกและผลผลิตข้าวโพดหวานมีแนวโน้มลดลง

ปัจจุบันนักวิจัยได้มีความสนใจศึกษาประโยชน์ของแบคทีเรียที่อาศัยบริเวณรอบ ๆ รากพืช (rhizosphere bacteria) เพิ่มขึ้น เนื่องจากพบว่าแบคทีเรียกลุ่มนี้มีศักยภาพในการใช้เป็นปุ๋ยชีวภาพได้ (Diem, 1978; Bashan and Levanyon 1990) โดยประโยชน์ที่สำคัญของแบคทีเรียส่งเสริมการเจริญเติบโตของพืช (Plant Growth

Promoting Rhizobacteria, PGPR) ที่อาศัยอยู่รอบ ๆ รากพืชเหล่านี้ คือ การตรึงไนโตรเจน (Boddey, 1995; Meunchang et al., 2004) ผลิตฮอร์โมนสำหรับพืช เช่น indole acetic acid (IAA) (Meunchang et al., 2004) ช่วยให้รากมีพื้นที่ผิวมากขึ้นมีผลช่วยให้พืชดูดน้ำและธาตุอาหารได้เพิ่มมากขึ้นกว่าเดิม (Jacoud et al., 1999) จึงนำมาพัฒนาเป็น ปุ๋ยชีวภาพแบคทีเรียส่งเสริมการเจริญเติบโตของพืช หรือ ปุ๋ยชีวภาพฟิสิกัล ซึ่งเป็นปุ๋ยชีวภาพที่ประกอบด้วยแบคทีเรียที่อาศัยอยู่บริเวณรากพืช ทั้งบริเวณดินรอบ ๆ ราก ผิวราก ภายในราก ต้นและใบพืช การใช้ปุ๋ยชีวภาพฟิสิกัลในการช่วยเพิ่มผลผลิตและลดต้นทุนการผลิตจึงเป็นอีกทางเลือกหนึ่ง อนึ่งการวิจัยการใช้ปุ๋ยชีวภาพฟิสิกัลในการปลูกข้าวโพดหวานก็ยังประสบปัญหาจากด้านอื่น ๆ เช่น ความอุดมสมบูรณ์ของดิน พันธุ์ข้าวโพดหวานที่ใช้ และการจัดการดินและน้ำ ซึ่งทำให้ผลผลิตที่ได้รับจากการใช้ปุ๋ยชีวภาพฟิสิกัลแตกต่างกันออกไป นอกจากนี้ประสิทธิภาพของปุ๋ยชีวภาพนั้นขึ้นอยู่กับปัจจัยต่าง ๆ ดังนี้ สกูลและสายพันธุ์แบคทีเรีย ชนิดของพืช สมบัติของดิน ประชากรจุลินทรีย์ที่ออกฤทธิ์ และเงื่อนไขทางสภาพแวดล้อม โดยทั่วไปหลังการใส่ปุ๋ยชีวภาพปริมาณแบคทีเรียจะลดอย่างรวดเร็ว ทั้งนี้เนื่องจากความไม่สม่ำเสมอของสภาพแวดล้อม ซึ่งไม่สามารถควบคุมได้ จึงมักพบว่าผลการทดลองในสภาพปลอดเชื้อกับในธรรมชาติมีความแตกต่างกันมาก (Bashan and Levany, 1988) การศึกษาการใช้ปุ๋ยชีวภาพฟิสิกัลที่เฉพาะเจาะจงกับพันธุ์ข้าวโพดหวานที่เกษตรกรนิยมปลูก จึงเป็นเรื่องที่น่าสนใจซึ่งควรทำความเข้าใจกับการจัดการปุ๋ยและปัจจัยอื่น ๆ เพื่อวิจัยพัฒนาเป็นเทคโนโลยีช่วยเพิ่มศักยภาพในการผลิตและปริมาณผลผลิตข้าวโพดหวานเพื่อการส่งออกและจำหน่ายภายในประเทศต่อไป การทดลองนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาการใช้ประโยชน์ปุ๋ยชีวภาพฟิสิกัล-วัน ที่เหมาะสมต่อการผลิตข้าวโพดหวานพันธุ์ไฮบริด 59 ในสภาพพื้นที่เกษตรกร โดยใช้ปุ๋ยชีวภาพฟิสิกัล-วัน 2 แบบ ที่มีชนิดแบคทีเรียและวัสดุพาที่ใช้วิธีปลอดเชื้อแตกต่างกันร่วมกับการใส่ปุ๋ยเคมี 75-100 เปอร์เซ็นต์ ของอัตราแนะนำตามค่าวิเคราะห์ดิน ตามรายงานวิจัยของ กัลยกรและคณะ (2560) ที่ได้ทำการวิจัยการใช้ปุ๋ยชีวภาพฟิสิกัล-วันร่วมกับปุ๋ยเคมีในการผลิตข้าวโพดหวานพันธุ์ไฮ-บริด 3 เพื่อนำผลที่ได้ไปใช้ในการพัฒนาคำแนะนำการใช้ประโยชน์และพัฒนาผลิตภัณฑ์ปุ๋ยชีวภาพฟิสิกัลต่อไปในอนาคต

อุปกรณ์และวิธีการ

อุปกรณ์

1. เมล็ดข้าวโพดหวานพันธุ์ไฮ-บริด 59
2. ปุ๋ยเคมี 46-0-0 18-46-0 และ 0-0-60
3. ปุ๋ยชีวภาพฟิสิกัล-วัน
4. อุปกรณ์สำหรับเก็บตัวอย่างพืชและผลผลิต เช่น ถุงกระดาษ ถุงตาข่าย เป็นต้น

วิธีการ

1. เก็บตัวอย่างดินก่อนการทดลองที่ระดับความลึก 0-20 เซนติเมตรเพื่อวิเคราะห์สมบัติทางเคมีบางประการ ได้แก่ ความเป็นกรด-ด่าง (Peech, 1965) ปริมาณอินทรีย์วัตถุ (Walkley and Black, 1934) ปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ (Bray and Kurtz, 1945) และปริมาณโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ (Thomas, 1982) สำหรับใช้คำนวณอัตราปุ๋ยเคมีตามค่าวิเคราะห์ดิน (กองวิจัยพัฒนาปัจจัยการผลิตทางการเกษตร, 2564)

2. ทำการปลูกข้าวโพดหวานพันธุ์ไฮ-บริด 59 ในแปลงทดลองย่อยขนาด 6x5 เมตร มีระยะปลูก 0.75x0.25 เมตร แปลงละ 8 แถว ๆ ละ 20 หลุม ๆ ละ 1 ต้น (โดยทำการถอนแยกหลังปลูก 7 วัน) ใส่ปุ๋ยชีวภาพฟิสิกัล-วันและปุ๋ยเคมีตามที่กำหนดในกรรมวิธีทดลอง พร้อมทั้งให้น้ำเมื่อความชื้นในดินต่ำ ดูแลรักษาแปลงข้าวโพด ด้านอารักขาพืชตามความจำเป็นโดยเตรียมแปลงปลูก วางระบบน้ำ ดำเนินการปลูกและใส่ปุ๋ยรองพื้น เมื่อวันที่ 13 ธันวาคม 2566

ถอนแยกให้เหลือ 1 ต้น/หลุม เมื่อวันที่ 20 ธันวาคม 2566 และใส่ปุ๋ยแต่งหน้า เมื่อวันที่ 3 มกราคม 2567 และทำการเก็บเกี่ยวผลผลิตเมื่อวันที่ 20 กุมภาพันธ์ 2567 โดยใช้พื้นที่เก็บเกี่ยว 2.00x3.00 เมตร

3. บันทึกข้อมูลการเจริญเติบโตและผลผลิต เมื่ออายุ 55-65 วัน และหลังการเก็บเกี่ยวเก็บตัวอย่างดินเพื่อนับปริมาณฟิสิกส์ฟอสฟอรัส รากพร้อมวัดอัตราการตรึงไนโตรเจน (Acetylene Reduction Assay : ARA) ตามวิธีของ Hardy et al., (1968)

4. วิเคราะห์ค่าความแปรปรวนทางสถิติ (analysis of variance) และค่าทางสถิติอื่น ๆ สำหรับการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ย โดยวิธี Duncan's New Multiple's Range Test (DMRT) โดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูปทางสถิติ และคำนวณผลตอบแทนทางเศรษฐกิจจากอัตราส่วนระหว่างรายได้จากผลผลิตที่เพิ่มขึ้นจากการใส่ปุ๋ย (Value to Cost Ratio, VCR) ดังนี้

$$VCR = (\text{รายได้ที่เพิ่มขึ้นจากการใส่ปุ๋ย} / \text{รายจ่ายจากการใส่ปุ๋ย})$$

*ถ้าค่า VCR ต่ำกว่า 2.0 การใส่ปุ๋ยจะไม่สามารถสร้างผลตอบแทนที่ทำได้กำไรให้แก่เกษตรกร

วางแผนการทดลองแบบ Randomized Complete Block จำนวน 4 ซ้ำ 5 กรรมวิธี

1. ใส่ปุ๋ย 30-10-10 กิโลกรัม N-P₂O₅-K₂O ต่อไร่ (อัตราแนะนำตามค่าวิเคราะห์ดิน)
2. ใส่ปุ๋ยชีวภาพฟิสิกส์ฟอสฟอรัส-วัน แบบที่ 1 ร่วมกับปุ๋ย 30-10-10 กิโลกรัม N-P₂O₅-K₂O ต่อไร่
3. ใส่ปุ๋ยชีวภาพฟิสิกส์ฟอสฟอรัส-วัน แบบที่ 2 ร่วมกับปุ๋ย 30-10-10 กิโลกรัม N-P₂O₅-K₂O ต่อไร่
4. ใส่ปุ๋ยชีวภาพฟิสิกส์ฟอสฟอรัส-วัน แบบที่ 1 ร่วมกับปุ๋ย 22.5-7.5-7.5 กิโลกรัม N-P₂O₅-K₂O ต่อไร่
5. ใส่ปุ๋ยชีวภาพฟิสิกส์ฟอสฟอรัส-วัน แบบที่ 2 ร่วมกับปุ๋ย 22.5-7.5-7.5 กิโลกรัม N-P₂O₅-K₂O ต่อไร่

หมายเหตุ – ปุ๋ยชีวภาพฟิสิกส์ฟอสฟอรัส-วัน แบบที่ 1 หมายถึง ปุ๋ยชีวภาพฟิสิกส์ฟอสฟอรัสที่ใช้วัสดุพาแบบนิ่งมาเชื่อมประกอบด้วยจุลินทรีย์ 3 กลุ่ม ได้แก่ *Azospirillum* sp. *Azotobacter* sp. และ *Beijerinckia* sp. โดย *Azospirillum* sp. ที่ใช้เป็นโอโซเลทที่แยกได้จากดินบริเวณรอบ ๆ รากหญ้าแฝก (Vetiver grass) (Meanchang et al., 2004) และมีปริมาณ *Azospirillum* sp. 5.13×10^{10} โคโลนี ต่อ 1 กรัมปุ๋ยชีวภาพ *Azotobacter* sp. 1.15×10^{10} โคโลนี ต่อ 1 กรัมปุ๋ยชีวภาพ และ *Beijerinckia* sp. 2.53×10^8 โคโลนี ต่อ 1 กรัมปุ๋ยชีวภาพ

- ปุ๋ยชีวภาพฟิสิกส์ฟอสฟอรัส-วัน แบบที่ 2 หมายถึง ปุ๋ยชีวภาพฟิสิกส์ฟอสฟอรัสที่ใช้วัสดุพาแบบฉ่ำยรังสีประกอบด้วยจุลินทรีย์ 3 กลุ่ม ได้แก่ *Azospirillum* sp. *Azotobacter* sp. และ *Beijerinckia* sp. โดย *Azospirillum* sp. ที่ใช้เป็นโอโซเลทที่แยกได้จากรากข้าวโพดหวานพันธุ์ไฮบริด 3 (*Zea mays saccharata*) (Prongjunthuek et al., 2019) และมีปริมาณ *Azospirillum* sp. 7.10×10^{10} โคโลนี ต่อ 1 กรัมปุ๋ยชีวภาพ *Azotobacter* sp. 1.53×10^{10} โคโลนี ต่อ 1 กรัมปุ๋ยชีวภาพ และ *Beijerinckia* sp. 2.30×10^6 โคโลนี ต่อ 1 กรัมปุ๋ยชีวภาพ

- การใส่ปุ๋ย ปุ๋ยเคมีทำการแบ่งใส่ 2 ครั้ง คือ ครั้งที่ 1 ใส่รองพื้นพร้อมปลูกอัตรา 50%N-100%P-100%K ของกรรมวิธีต่าง ๆ และครั้งที่ 2 ใส่ปุ๋ยยูเรียเป็นปุ๋ยแต่งหน้าเมื่อข้าวโพดอายุ 21 วันหลังปลูก อัตรา 50%N ของกรรมวิธีต่าง ๆ โดยโรยข้างแถวแล้วพูนโคนและกำจัดวัชพืช ส่วนปุ๋ยชีวภาพฟิสิกส์ฟอสฟอรัส-วัน ทั้ง 2 แบบ ใช้คลุกเมล็ดพร้อมปลูก อัตราส่วนปุ๋ยชีวภาพฟิสิกส์ฟอสฟอรัส-วัน 500 กรัม ต่อเมล็ดข้าวโพด 3 กิโลกรัมต่อไร่

ระยะเวลา เริ่มต้น ตุลาคม 2566 สิ้นสุด กันยายน 2567

สถานที่ดำเนินการ กลุ่มวิจัยปฐพีวิทยา กองวิจัยพัฒนาปัจจัยการผลิตทางการเกษตร และแปลงเกษตรกร ตำบลเมืองเกษตร อำเภอลำทะเมนชัย จังหวัดนครราชสีมา พิกัดแปลง 48P X= 195858 Y= 1706147

ผลการทดลองและวิจารณ์

1. ความอุดมสมบูรณ์ของดิน (Soil fertility)

ได้ทำการเก็บตัวอย่างดินที่ระดับความลึก 0–20 เซนติเมตร และนับปริมาณจุลินทรีย์ในดินก่อนปลูก จากตารางที่ 10 พบว่า ดินในแปลงเกษตรกรมีความอุดมสมบูรณ์ปานกลาง (กองสำรวจดิน, 2523 และ เอ็บ, 2548) โดยมีปริมาณอินทรีย์วัตถุ 0.91 เปอร์เซ็นต์ ความเป็นกรด-ด่าง 6.13 ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ 8.4 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม โพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ 115 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม สามารถคำนวณปุ๋ยเคมีอัตราแนะนำตามค่าวิเคราะห์ดินตามกองวิจัยพัฒนาปัจจัยการผลิตทางการเกษตร (2564) ได้ดังแสดงใน Table 1

Table 1 Soil analysis, chemical fertilizer recommendation rate and number of PGPR in soil of farmer plot in Nakhon Ratchasima province

OM ¹	Available P ²	Exchangeable K ³	pH ⁴	Chemical fertilizer recommendation rate	Number of PGPR in soil (Log ₁₀ CFU/g)		
(%)	(mg/kg)	(mg/kg)	(1:1)	(kg N-P ₂ O ₅ -K ₂ O/rai)	<i>Azospirillum</i> sp.	<i>Azotobacter</i> sp.	<i>Beijerinckia</i> sp.
0.91	8.4	115	6.13	30-10-10	3.73	3.73	5.54

¹Walkley and Black (1934)

²Bray and Kurtz (1945)

³Thomas (1982)

⁴Peech (1965)

2. ความสูงที่ 30 วันและวันเก็บเกี่ยว (Height at 30 days after transplanted and harvest)

ความสูงที่ 30 วันหลังปลูกและวันเก็บเกี่ยวของข้าวโพดหวานพันธุ์ไฮ-บริดจ์ 59 พบว่า ทุกกรรมวิธีทดลองไม่แตกต่างกันทางสถิติ โดยมีความสูงที่ 30 วันหลังปลูกอยู่ระหว่าง 88.75–94.69 เซนติเมตร และความสูงวันเก็บเกี่ยวอยู่ระหว่าง 163.8–169.2 เซนติเมตร (Table 2) โดยกรรมวิธีที่ข้าวโพดหวานพันธุ์ไฮ-บริดจ์ 59 มีความสูงวันเก็บเกี่ยวสูงสุด คือ กรรมวิธีที่ 2 ใส่ปุ๋ยชีวภาพฟิซีฟิอาร์-วัน แบบที่ 1 ร่วมกับปุ๋ยเคมี 30-10-10 กิโลกรัม N-P₂O₅-K₂O ต่อไร่ มีความสูงวันเก็บเกี่ยว 169.2 เซนติเมตร รองลงมา คือ กรรมวิธีที่ 1 ใส่ปุ๋ยเคมี 30-10-10 กิโลกรัม N-P₂O₅-K₂O ต่อไร่ ซึ่งทั้งสองกรรมวิธีไม่แตกต่างทางสถิติ (Table 2)

3. ผลผลิต (Un-husked ear and husked ear yields)

พบว่าน้ำหนักฝักสดรวมเปลือก และน้ำหนักฝักสดปอกเปลือก ทุกกรรมวิธีทดลองไม่แตกต่างกันทางสถิติ โดยกรรมวิธีที่ 1 ใส่ปุ๋ยเคมี 30-10-10 กิโลกรัม N-P₂O₅-K₂O ต่อไร่ เพียงอย่างเดียว มีน้ำหนักฝักสดรวมเปลือกสูงที่สุด คือ 1,542 กิโลกรัมต่อไร่ (Table 2) แต่ไม่แตกต่างทางสถิติกับกรรมวิธีที่ 2 ใส่ปุ๋ยชีวภาพฟิซีฟิอาร์-วัน แบบที่ 1 ร่วมกับปุ๋ยเคมี 30-10-10 กิโลกรัม N-P₂O₅-K₂O ต่อไร่ และกรรมวิธีที่ 3 ใส่ปุ๋ยชีวภาพฟิซีฟิอาร์-วัน แบบที่ 2 ร่วมกับปุ๋ยเคมี 30-10-10 กิโลกรัม N-P₂O₅-K₂O ต่อไร่ ที่มีน้ำหนักฝักสดรวมเปลือก 1,468 และ 1,420 กิโลกรัมต่อไร่ ตามลำดับ นอกจากนี้ยังพบว่า กรรมวิธีที่ 1 ใส่ปุ๋ยเคมีอัตราแนะนำเพียงอย่างเดียว นั้น ข้าวโพดหวานพันธุ์ไฮ-บริดจ์ 59 มีน้ำหนักฝักสดปอกเปลือกสูงที่สุด คือ 1,287 กิโลกรัมต่อไร่ ซึ่งไม่แตกต่างทางสถิติกับกรรมวิธีที่ 2 และ 3 ซึ่งมีน้ำหนักฝักสดปอกเปลือกรองลงมา (1,179 และ 1,158 กิโลกรัมต่อไร่ ตามลำดับ) จากผลการทดลองดังกล่าวพบว่า กรรมวิธีที่ 2 และ 3 ใส่ปุ๋ยชีวภาพฟิซีฟิอาร์-วัน คนละแบบ แต่ใส่ปุ๋ยเคมีอัตราเดียวกัน ข้าวโพดหวานพันธุ์ไฮ-บริดจ์ 59 มีน้ำหนักฝักสดรวมเปลือกและน้ำหนักฝักสดปอกเปลือกไม่แตกต่างทาง

สถิติ ชี้ให้เห็นว่าปุ๋ยชีวภาพฟิซีฟิอาร์-วัน ทั้งสองแบบมีประสิทธิภาพไม่แตกต่างกัน และไม่แตกต่างจากกรรมวิธีที่ 1 ที่ใส่ปุ๋ยเคมีอัตราแนะนำเพียงอย่างเดียว ดังแสดงใน Table 2

4. ความกว้างฝักและความยาวฝักปอกเปลือก (Width of ear and length of ear without husk)

ด้านความกว้างฝักปอกเปลือกของข้าวโพดหวานพันธุ์ไฮ-บริดจ์ 59 พบว่า ทุกกรรมวิธีไม่แตกต่างกันทางสถิติ แต่พบว่าความยาวฝักปอกเปลือกของทุกกรรมวิธีทดลองแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ โดยกรรมวิธีที่ 3 ใส่ปุ๋ยเคมี 30-10-10 กิโลกรัม $N-P_2O_5-K_2O$ ต่อไร่ (อัตราแนะนำ) มีความกว้างฝักปอกเปลือกสูงสุด คือ 5.43 เซนติเมตร ซึ่งไม่แตกต่างทางสถิติกับกรรมวิธีที่ 2 ใส่ปุ๋ยชีวภาพฟิซีฟิอาร์-วัน แบบที่ 1 ร่วมกับปุ๋ยเคมี 30-10-10 กิโลกรัม $N-P_2O_5-K_2O$ ต่อไร่ และกรรมวิธีที่ 3 ใส่ปุ๋ยชีวภาพฟิซีฟิอาร์-วัน แบบที่ 2 ร่วมกับปุ๋ยเคมี 30-10-10 กิโลกรัม $N-P_2O_5-K_2O$ ต่อไร่ ที่มีความกว้างฝักปอกเปลือก 5.38 และ 5.33 เซนติเมตร ตามลำดับ (Table 2) ส่วนกรรมวิธีที่ 4 และ 5 ที่ใส่ปุ๋ยเคมีเพียง 75 เปอร์เซ็นต์ ของอัตราแนะนำร่วมกับปุ๋ยชีวภาพฟิซีฟิอาร์ทั้งสองแบบนั้น พบว่า ทั้งสองกรรมวิธีข้าวโพดหวานพันธุ์ไฮ-บริดจ์ 59 มีความกว้างฝักปอกเปลือกไม่แตกต่างทางสถิติ ซึ่งจากผลการทดลองดังกล่าว พบว่า กรรมวิธีที่ 2 กับ 3 และ 4 กับ 5 นั้น ใช้ปุ๋ยชีวภาพฟิซีฟิอาร์-วัน คนละแบบ ชี้ให้เห็นว่าปุ๋ยชีวภาพฟิซีฟิอาร์-วัน ทั้งสองแบบมีประสิทธิภาพไม่แตกต่างกัน ส่วนความยาวฝักปอกเปลือกของข้าวโพดหวานพันธุ์ไฮ-บริดจ์ 59 นั้น พบว่า กรรมวิธีที่ 2 ใส่ปุ๋ยชีวภาพฟิซีฟิอาร์-วัน แบบที่ 1 ร่วมกับปุ๋ยเคมี 30-10-10 กิโลกรัม $N-P_2O_5-K_2O$ ต่อไร่ มีความยาวฝักปอกเปลือกสูงสุด คือ 18.28 เซนติเมตร ซึ่งไม่แตกต่างทางสถิติกับกรรมวิธีที่ 1 ใส่ปุ๋ยเคมี 30-10-10 กิโลกรัม $N-P_2O_5-K_2O$ ต่อไร่ เพียงอย่างเดียว และกรรมวิธีที่ 3 ใส่ปุ๋ยชีวภาพฟิซีฟิอาร์-วัน แบบที่ 2 ร่วมกับปุ๋ยเคมี 30-10-10 กิโลกรัม $N-P_2O_5-K_2O$ ต่อไร่ ที่มีความยาวฝักปอกเปลือกเท่ากับ 18.13 และ 17.85 เซนติเมตร ตามลำดับ นอกจากนี้ ยังพบว่า กรรมวิธีที่ 4 และ 5 ที่ใส่ปุ๋ยเคมีเพียง 75 เปอร์เซ็นต์ ของอัตราแนะนำร่วมกับปุ๋ยชีวภาพฟิซีฟิอาร์ทั้งสองแบบนั้น ข้าวโพดหวานพันธุ์ไฮ-บริดจ์ 59 มีความยาวฝักปอกเปลือกไม่แตกต่างทางสถิติ แต่กรรมวิธีที่ 5 ใส่ปุ๋ยชีวภาพฟิซีฟิอาร์-วัน แบบที่ 2 ร่วมกับปุ๋ยเคมี 22.5-7.5-7.5 กิโลกรัม $N-P_2O_5-K_2O$ ต่อไร่ นั้น ข้าวโพดหวานพันธุ์ไฮ-บริดจ์ 3 มีความยาวฝักปอกเปลือกไม่แตกต่างทางสถิติกับกรรมวิธีที่ 1 และ 3 ชี้ให้เห็นว่าปุ๋ยชีวภาพฟิซีฟิอาร์-วัน แบบที่ 1 ทำให้ข้าวโพดหวานพันธุ์ไฮ-บริดจ์ 59 มีความยาวฝักปอกเปลือกแตกต่างกันเล็กน้อย แม้จะลดการใส่ปุ๋ยเคมีลง 25 เปอร์เซ็นต์ นอกจากนี้ยังพบว่า ทุกกรรมวิธีทดลองข้าวโพดหวานพันธุ์ไฮ-บริดจ์ 59 มีความยาวฝักปอกเปลือกอยู่ในระดับ 2 (> 15 ถึง 20 เซนติเมตร) ดังแสดงใน Table 2

5. ความหวาน (Sweetness)

ตามมาตรฐาน มกษ.1512-2554 (สำนักมาตรฐานสินค้าเกษตรและอาหารแห่งชาติ, 2554) ได้กำหนดนิยามของ ข้าวโพดหวาน ว่า หมายถึง ข้าวโพดที่มีความหวาน โดยมีปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายน้ำได้ไม่น้อยกว่า 9 องศาบริกซ์ ($^{\circ}$ brix) ในลักษณะทั้งฝักที่มีหรือไม่มีเปลือกหุ้มเมล็ดติดกับชัง จากผลการทดลอง พบว่า ทุกกรรมวิธีทดลองมีความหวานอยู่ระหว่าง 13.25–14.73 องศาบริกซ์ อยู่ในเกณฑ์มาตรฐาน มกษ.1512-2554 (สำนักมาตรฐานสินค้าเกษตรและอาหารแห่งชาติ, 2554) ดังแสดงใน Table 2

Table 2 Height at 30 DAP, Height at harvest, un-husked ear yield, husked ear yield, width of ear without husk, length of ear without husk and sweetness of sweet corn variety Hi-Brix 59 of farmer plot in Nakhon Ratchasima province

Treatments	Height at 30 DAP	Height at harvest	Un-husked ear yield	Husked ear yield	Width of ear without husk	Length of ear without husk	Sweetness
	← (cm) →		← (kg/rai) →		← (cm) →		(°brix)
1	94.69	166.8	1,542	1,287	4.74	19.6 abc	11.50
2	90.94	169.2	1,468	1,179	4.75	19.9 ab	11.20
3	91.62	166.6	1,420	1,158	4.85	20.3 a	11.40
4	89.85	163.9	1,264	970	4.63	18.7 c	11.25
5	88.75	163.8	1,400	1,023	4.66	18.9 bc	11.40
C.V. (%)	4.71	4.45	18.71	14.82	3.06	3.52	6.59
Significant	ns	ns	ns	ns	ns	*	ns

Remarks: ns = Nonsignificant
 * = Numbers within columns not having letters in common were significantly different at P (0.05) by DMRT
 DAP = Days after transplanted

6. ผลตอบแทนทางเศรษฐกิจ (Value to Cost Ratio)

การคำนวณผลตอบแทนทางเศรษฐกิจ (Value to Cost Ratio, VCR) โดยหาอัตราส่วนระหว่างรายได้จากผลผลิตที่เพิ่มขึ้นจากการใส่ปุ๋ยต่อรายจ่ายจากการใส่ปุ๋ยนั้น ในการทดลองนี้เทียบจากการกรรมวิธีที่ 1 ใส่ปุ๋ย 30-10-10 กิโลกรัม N-P₂O₅-K₂O ต่อไร่ (อัตราแนะนำตามค่าวิเคราะห์ดิน) พบว่า ทุกกรรมวิธีทดลองมีผลตอบแทนค่าปุ๋ย หรือ VCR ติดลบ ซึ่งต่ำกว่าระดับค่าวิกฤต (2.00) ชี้ให้เห็นว่า การใส่ปุ๋ยชีวภาพฟิซีฟิอาร์-วัน ทั้งสองแบบในการผลิตข้าวโพดข้าวหวานพันธุ์ไฮ-บรிகซ์ 59 แม้จะลดปริมาณปุ๋ยเคมีลง 25 เปอร์เซ็นต์ ไม่ทำให้เกษตรกรได้รับผลตอบแทนเพิ่มขึ้น ดังแสดงใน Table 3

7. ปริมาณฟิซีฟิอาร์และปริมาณการตรึงไนโตรเจน (Number of PGPR in soil and Nitrogen fixation of PGPR from root area)

ก่อนดำเนินการทดลอง ได้ทำการสุ่มเก็บตัวอย่างดินเพื่อนับจำนวนประชากรแบคทีเรียทั้ง 3 ชนิด โดยในแปลงทดลองมีจำนวนประชากร *Azospirillum* sp. 3.73 Log₁₀ CFU/g *Azotobacter* sp. 3.73 Log₁₀ CFU/g และ *Beijerinikia* sp. 5.54 Log₁₀ CFU/g และหลังการทดลอง พบว่า ทุกกรรมวิธีทดลองที่ใช้ ปุ๋ยชีวภาพฟิซีฟิอาร์-วัน ทำให้จำนวนประชากร *Azospirillum* sp. *Azotobacter* sp. และ *Beijerinikia* sp. ในดินเพิ่มสูงขึ้น ดังแสดงใน Table 1 และ Figure 1 และเมื่อวัดการตรึงไนโตรเจน พบว่า แบคทีเรียทั้งสามสกุลสามารถส่งเสริมให้มีการตรึงไนโตรเจนในราก โดยมีการตรึงไนโตรเจนอยู่ระหว่าง 0.003-0.011 μmol C₂H₂ hr⁻¹ (Figure 2) ซึ่งโดยทั่วไปหลังการใส่ปุ๋ยชีวภาพปริมาณประชากรแบคทีเรียจะลดอย่างรวดเร็ว ทั้งนี้เนื่องจากความไม่สม่ำเสมอของสภาพแวดล้อมซึ่งไม่สามารถควบคุมได้ จึงมักพบว่าผลการทดลองในสภาพปลอดเชื้อกับในธรรมชาติมีความแตกต่างกันมาก (Bashan and Levanyon, 1990; สมปองและศุภมาศ, 2551; Meunchang et al., 2006a; Meunchang et al., 2006b)

Table 3 Value to Cost Ratio of sweet corn variety Hi-brix 59 production with combination between PGPR-I biofertilizer and chemical fertilizer at farmer plot in Nakhon Ratchasima province

Treatments	Unhusked ear yield (kg/rai)	Increase yield (kg/rai)	Fertilizer cost (baht) ¹	Increase income (baht) ²	VCR ³
1	1,542	0	1,972	0	0
2	1,486	-56	2,042	-728	-0.36
3	1,420	-122	2,042	-1,586	-0.78
4	1,264	-278	1,502	-3,614	-2.41
5	1,400	-142	1,502	-1,846	-1.23

¹ Chemical fertilizer price: 18-46-0 = 18 baht/kg, 46-0-0 = 22 baht/kg, 0-0-60 = 20 baht/kg and PGPR-I = 70 baht/bag (1 bag/rai)

² Sweet corn price = 13,000 baht/ton

³ (Value to Cost Ratio, VCR) VCR = (increase income from fertilizer /fertilizer cost), a VCR lower than 2.00, fertilizing will not be able to generate a profitable return to the farmers

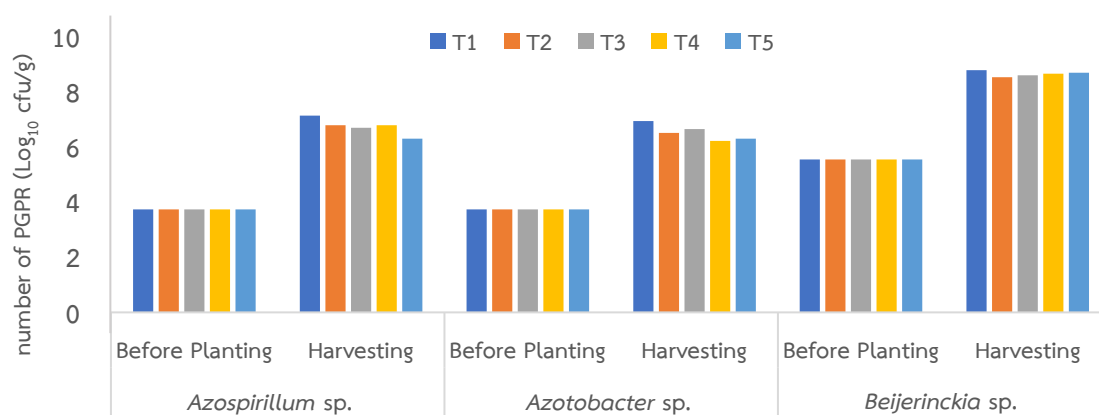


Figure 1 Number of PGPR in soil before planting and harvesting of sweet corn variety Hi-brix 59 at farmer plot in Nakhon Ratchasima province

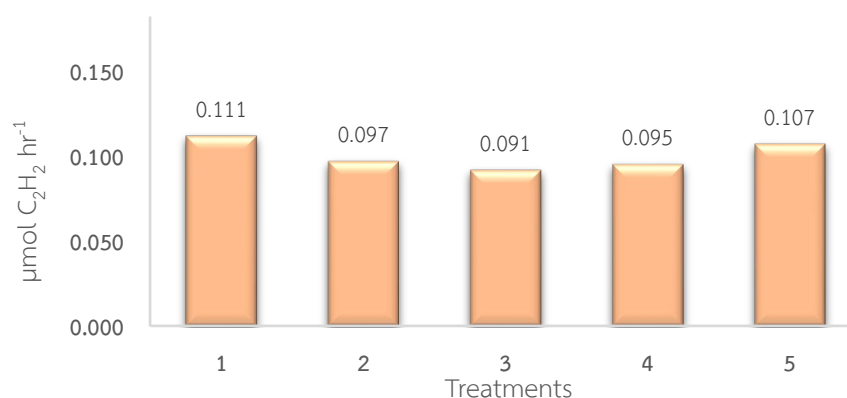


Figure 2 Nitrogen fixation of PGPR from root area of sweet corn variety Hi-brix 59 at farmer plot in Nakhon Ratchasima province

สรุปผลการทดลอง

การใช้ปุ๋ยเคมีร่วมกับปุ๋ยชีวภาพฟิซีฟิอาร์-วัน ทั้งสองแบบในการปลูกข้าวโพดหวานพันธุ์ไฮ-บริดส์ 59 ในสภาพพื้นที่เกษตรกรซึ่งมีความอุดมสมบูรณ์ปานกลาง ให้ผลการทดลองไปในทิศทางเดียวกันกับการทดลองในแปลงทดลองของศูนย์วิจัยฯ ซึ่งข้าวโพดหวานพันธุ์ไฮ-บริดส์ 59 ทุกกรรมวิธีทดลองมีน้ำหนักฝักสดรวมเปลือก (1,264–1,542 กิโลกรัมต่อไร่) และน้ำหนักฝักสดเปลือก (970–1,287 กิโลกรัมต่อไร่) ไม่แตกต่างทางสถิติ โดยกรรมวิธีที่ 1 ใส่ปุ๋ยเคมี 30-10-10 กิโลกรัม N-P₂O₅-K₂O ต่อไร่ (อัตราแนะนำ) ให้ผลผลิตสูงที่สุด นอกจากนี้ทุกกรรมวิธีทดลองมีค่า VCR ตีลบ ชี้ให้เห็นว่า การใช้ปุ๋ยชีวภาพฟิซีฟิอาร์-วัน ทั้งสองแบบเพิ่มในการผลิตข้าวโพดหวานพันธุ์ไฮ-บริดส์ 59 แม้จะลดปริมาณปุ๋ยเคมีลง 25 เปอร์เซ็นต์ ไม่ทำให้เกษตรกรได้รับผลตอบแทนเพิ่มขึ้น อย่างไรก็ตามควรมีการศึกษาเพิ่มเติมและต่อเนื่องและควรมีการศึกษาการยอมรับของเกษตรกรเพิ่มเติมด้วย

การนำผลงานวิจัยไปใช้ประโยชน์

สามารถช่วยเกษตรกรในการลดต้นทุนการผลิตจากการใช้ปุ๋ยเคมีลดลง นอกจากนี้ยังช่วยเพิ่มรายได้ให้กับเกษตรกรและเพิ่มขีดความสามารถในการผลิตและเพิ่มความมั่นคงทางด้านอาหารในอนาคตได้อีกด้วย ในด้านประโยชน์ทางวิชาการ นักวิชาการและผู้สนใจสามารถนำงานวิจัยไปต่อยอดและใช้เป็นแนวทางในการลดต้นทุนการผลิตกับพืชชนิดอื่นหรือข้าวโพดสายพันธุ์อื่นได้

เอกสารอ้างอิง

- กัลยกร โปร่งจันทิก ภัสชญณ หมื่นแจ้ง นงลักษณ์ ปันลาย และวีระพงษ์ เย็นอ่วม. 2560. ผลการใช้ปุ๋ยชีวภาพฟิซีฟิอาร์-วันต่อการลดต้นทุนการผลิตข้าวโพดหวาน. หน้า 346–354. ใน: รายงานการประชุมวิชาการดินและปุ๋ยแห่งชาติ ครั้งที่ 5. ณ โรงแรมเซ็นทารา บาย เซ็นทารา แจ้งวัฒนะ กรุงเทพฯ.
- กองวิจัยพัฒนาปัจจัยการผลิตทางการเกษตร. 2564. คำแนะนำการใช้ปุ๋ยตามค่าวิเคราะห์ดิน สำหรับพืชไร่เศรษฐกิจ. กรมวิชาการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์. ISBN: 978-616-358-578-3.
- กองสำรวจดิน. 2523. คู่มือการจำแนกความเหมาะสมของที่ดินสำหรับพืชเศรษฐกิจ. เอกสารวิชาการ เล่มที่ 28. กองสำรวจดิน กรมพัฒนาที่ดิน กระทรวงเกษตรและสหกรณ์. 76 หน้า.
- สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร. 2563. ข้าวโพดหวาน: เนื้อที่เพาะปลูก เก็บเกี่ยว ผลผลิต และผลผลิตต่อไร่ รวมทั้งประเทศ ปี 2562. (ระบบออนไลน์) แหล่งข้อมูล <http://www.oae.go.th/assets/portals/1/fileups/prcaidata/files/sweet%20corn62.pdf>. สืบค้นวันที่ 15 มกราคม 2564.
- สำนักมาตรฐานสินค้าเกษตรและอาหารแห่งชาติ. 2554. มาตรฐานสินค้าเกษตร มกษ.1512-2554: ข้าวโพดหวาน. 18 หน้า. ICS 67.080.20. กระทรวงเกษตรและสหกรณ์.
- สมปอง หมื่นแจ้ง และศุภมาศ พนิชศักดิ์พัฒนา. 2551. การใช้ผลพลอยได้จากโรงงานน้ำตาลแบคทีเรีย ตรัง ไนโตรเจนและส่งเสริมการเจริญเติบโตของพืชในการผลิตพืช. รางวัลสภาวิจัยแห่งชาติ : รางวัลวิทยานิพนธ์ ประจำปี 2550. หน้า 250–252.
- ศูนย์วิจัยกสิกรรมไทย. 2550. ข้าวโพดหวาน : ผลกระทบจากภาษีตอบโต้การทุ่มตลาดในสหภาพยุโรป (มองเศรษฐกิจ ฉบับที่ 1963). แหล่งข้อมูล <https://www.kasikornresearch.com/th/analysis/k-econ/business/Pages/8897.aspx>. สืบค้นเมื่อ 15 มกราคม 2564
- เอิบ เขียวรีรัมย์. 2548. การสำรวจดิน. ภาควิชาปฐพีวิทยา คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. 733 น.

- Bashan, Y. and Levanony, H. 1988. Adsorption of the rhizosphere bacterium *Azospirillum brasilense* Cd to soil, sand and peat particles. *Journal of General Microbiology* 134: 1811-1820.
- Bashan, Y. and H. Levanony. 1990. Current status of *Azospirillum* inoculation Technology: *Azospirillum* as a challenge for agriculture. *Canadian Journal of Microbiology* 36: 591–608.
- Boddey, R.M. 1995. Biological nitrogen fixation associated with sugarcane and rice: contribution and prospects for improvement. *Plant and Soil*. 174: 195–209.
- Bray, R.H. and L.T. Kurtz. 1945. Determination of total, organic, and available forms of phosphorus in soils, *Soil Science* 59: 39–45.
- Diem, G. 1978. Colonization of rice roots by diazotroph bacteria. In *Environmental role of nitrogen-fixing blue-green algae and asymbiotic bacteria*. Edited by U. Granhall. *Ecol. Bull. (Stockholm)*. 26: 305–311.
- Hardy R. W. F., R. D., Holsten, E. K., Jackson and R. C. Burns. 1968. The Acetylene- Ethylene Assay for N₂ fixation: laboratory and field evaluation. *Plant Physiology* 43: 1,185–1,207.
- Jacoud, C. 1999. Initiation of root growth stimulation by *Azospirillum lipoferum* CTR1 during maize seed germination. *Canadian Journal of Microbiology* 45: 339–342.
- Meunchang, S., S. Panichsakpatana, S. Ando and T. Yokoyama. 2004. Phylogenetic and physiological characterization of indigenous *Azospirillum* isolates in Thailand. *Soil Science and Plant Nutrition*. 50(3): 413–421.
- Meunchang, S., S. Panichsakpatana and R. W. Weaver. 2006a. Tomato growth in soil amended with Sugar mill by-products compost containing N₂-fixing bacteria. *Plant and Soil*. 280: 171–176.
- Meunchang, S., S. Panichsakpatana, S. Ando, T. Yokoyama and R. W. Weaver. 2006b. Bio-organic Fertilizer production development from compost and plant growth promoting rhizobacteria. Abstract of 14th world fertilizer congress. January 21–27, 2006. Chiang Mai Thailand.
- Peech, M. 1965. Hydrogen-ion activity in *Methods of Soil Analysis Part 2*; C.A. Black, ed. pp. 914–926.
- Prongjunthuek, K., P., Meunchang and S. Panichsakpatana. 2019. Effects of *Azospirillum* on germination and seedling growth of commercial sweet corn varieties Insee 2 and Hi-Brix 3. *Songklanakarin Journal of Science and Technology*. 41(4): 838–845.
- Thomas, G.W. 1982. Exchangeable cations. In: *Methods of Soil Analysis*. (AL Page *et al*, eds) *Agronomy*. 9: 154–157 (Madison).
- Walkley, A. and I.A. Black. 1934. An examination of the Degtjareff method for determining soil organic matter and a proposed modification of the chromic acid titration method. *Soil Science*. 37: 29–38.

ศึกษาผลของปุ๋ยชีวภาพพีจีพีอาร์ต่อการเจริญเติบโตและผลผลิตของข้าวโพด
ข้าวเหนียวพันธุ์สวีทไวท์ 25

Study on effect of PGPR Biofertilizer on Growth and Yield of Waxy Corn
Variety Sweet White 25

กัลยกร โปร่งจันทิก¹ สรตนา เสนาะ¹ วีระพงษ์ เย็นอ่วม²

Kunlayakorn Prongjunthuek¹ Sarattana Sanoh¹ Werapong Yenoum²

กลุ่มวิจัยปฐพีวิทยา

กองวิจัยพัฒนาปัจจัยการผลิตทางการเกษตร

ABSTRACT

In the past, studies on the utilization of PGPR-I biofertilizer by the Department of Agriculture were conducted on sweet corn and maize. The utilization of waxy corn production has not yet been studied to support the needs of farmers in reducing production costs. Therefore, research on waxy corn has been conducted. The purpose of this experiment was to increase production efficiency and reduce production costs of Sweet White 25 waxy corn cultivar under farmer's field conditions. Two types of PGPR-I biofertilizers with different bacterial species and aseptic carriers were used together with chemical fertilizer application at 75–100 percent of the recommended rates based on soil analysis values. In order to use the results to develop recommendations for the utilization and development of PGPR-I biofertilizer products in the future. Sweet White 25 waxy corn was grown in moderately fertile farmland. Yielded unclear experimental results. Sweet White 25 waxy corn was tested in all treatments. The weight of the un-husked ear yields was between 1,206-1,313 kg per rai and the husked ear yields ranged from 878-1,013 kg per rai. All treatments were not statistically different. In addition, Sweet White 25 waxy corn ear width and ear length were not statistically different. The economic returns for treatments 4 and 5 have a negative VCR and treatment 2 and 3 has a VCR at 0.01 which is lower than 2.00. Indicating that adding both PGPR-I biofertilizer to Sweet White 25 waxy corn production, despite reducing chemical fertilizers use by 25 percent, it did not increase the yields of farmers.

Keywords: PGPR biofertilizer; waxy corn; sweet white 25

¹ กองวิจัยพัฒนาปัจจัยการผลิตทางการเกษตร

¹ Agricultural Production Science Research and Development Division

² สำนักวิจัยและพัฒนาการเกษตร เขตที่ 5

² Office of Agricultural Research and Development Region 5

บทคัดย่อ

การศึกษาการใช้ประโยชน์ปุ๋ยชีวภาพฟิสิกซ์-วัน ของกรมวิชาการเกษตร ที่ผ่านมาทำการศึกษาในข้าวโพดหวานและข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ ยังไม่มีการศึกษาการใช้ประโยชน์ในการผลิตข้าวโพดข้าวเหนียวเพื่อรองรับความต้องการของเกษตรกรในการลดต้นทุนการผลิตจึงเริ่มดำเนินการวิจัยในข้าวโพดข้าวเหนียว การทดลองนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตและลดต้นทุนการผลิตข้าวโพดข้าวเหนียวพันธุ์สวีทไวท์ 25 ในสภาพพื้นที่เกษตรกร โดยใช้ปุ๋ยชีวภาพฟิสิกซ์-วัน 2 แบบ ที่มีชนิดแบคทีเรียและวัสดุพาที่ใช้วิธีปลอดเชื้อแตกต่างกัน ร่วมกับการใส่ปุ๋ยเคมี 75-100 เปอร์เซ็นต์ ของอัตราแนะนำตามค่าวิเคราะห์ดิน เพื่อนำผลที่ได้ไปใช้ในการพัฒนาคำแนะนำการใช้ประโยชน์และพัฒนาผลิตภัณฑ์ปุ๋ยชีวภาพฟิสิกซ์-วัน ต่อไปในอนาคต ผลการทดลอง พบว่า การใช้ปุ๋ยเคมีร่วมกับปุ๋ยชีวภาพฟิสิกซ์-วัน ในการปลูกข้าวโพดข้าวเหนียวพันธุ์สวีทไวท์ 25 ในสภาพพื้นที่เกษตรกรซึ่งมีความอุดมสมบูรณ์ปานกลาง ให้ผลการทดลองที่ยังไม่ชัดเจน โดยทุกกรรมวิธีทดลองข้าวโพดข้าวเหนียวพันธุ์สวีทไวท์ 25 มีน้ำหนักฝักสดรวมเปลือกอยู่ระหว่าง 1,206-1,313 กิโลกรัมต่อไร่ และน้ำหนักฝักสดเปลือกอยู่ระหว่าง 878-1,013 กิโลกรัมต่อไร่ ซึ่งไม่แตกต่างทางสถิติ นอกจากนี้ทุกกรรมวิธีทดลองข้าวโพดข้าวเหนียวพันธุ์สวีทไวท์ 25 มีความกว้างฝักและความยาวฝักเปลือกไม่แตกต่างทางสถิติ ส่วนการคำนวณผลตอบแทนทางเศรษฐกิจกรรมวิธีที่ 4 และ 5 มีค่า VCR ติดลบ และกรรมวิธีที่ 2 และ 3 มีค่า VCR เท่ากับ 0.01 ซึ่งต่ำกว่า 2.00 ชี้ให้เห็นว่า การใส่ปุ๋ยชีวภาพฟิสิกซ์-วัน ทั้งสองแบบเพิ่มในการผลิตข้าวโพดข้าวเหนียวพันธุ์สวีทไวท์ 25 แม้จะลดปริมาณปุ๋ยเคมีลง 25 เปอร์เซ็นต์ ไม่ทำให้เกษตรกรได้รับผลตอบแทนเพิ่มขึ้น

คำสำคัญ: ปุ๋ยชีวภาพฟิสิกซ์-วัน; ข้าวโพดข้าวเหนียว; พันธุ์สวีทไวท์ 25

คำนำ

พื้นที่เพาะปลูกข้าวโพดข้าวเหนียว มีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้นทุกปี ทำรายได้ให้แก่เกษตรกร 10,000-20,000 บาท ต่อไร่ต่อฤดู คิดเป็นมูลค่าประมาณ 1,000 ล้านบาทต่อปี (พีระวรรณ, 2551) การส่งออกข้าวโพดข้าวเหนียวไปยังต่างประเทศแถบเอเชีย ได้แก่ ญี่ปุ่น ออสเตรเลีย บังคลาเทศ กัมพูชา เยอรมนี และเวียดนาม เป็นต้น โดยข้าวโพดข้าวเหนียวที่ส่งออกส่วนใหญ่อยู่ในรูปของเมล็ดพันธุ์ และฝักสดแช่แข็ง โดยมีปริมาณการส่งออกปี 2561-2564 เพียง 41 15 14 และ 10 ตัน ตามลำดับ คิดเป็นมูลค่าการส่งออก 10 8 8 และ 8 ล้านบาท ตามลำดับ (สำนักควบคุมพืชและวัสดุทางการเกษตร, 2565) ปัจจุบันความนิยมบริโภคข้าวโพดฝักสดเพิ่มมากขึ้น เนื่องจากเป็นแหล่งโภชนาการที่สำคัญโดยเฉพาะสารต้านอนุมูลอิสระ (Antioxidant) อาทิ แอนโทไซยานิน (Anthocyanin) จากข้าวโพดข้าวเหนียวสีม่วงที่ผ่านการปรับปรุงพันธุ์ ซึ่งแอนโทไซยานินช่วยเสริมสร้างการทำงานของเม็ดเลือดแดง ช่วยควบคุมระดับน้ำตาลในผู้ป่วยเบาหวาน ช่วยลดการเกิดไขมันอุดตันในหลอดเลือด ช่วยลดการเกิดมะเร็ง ลดภาวะเสี่ยงต่อการเป็นโรคหัวใจ เพิ่มความสามารถในการมองเห็นและชะลอความเสื่อมของดวงตา (ณัฐนีและคณะ, 2559) ทำให้ในปัจจุบันเกิดการพัฒนาผลิตภัณฑ์ภายใต้ห่วงโซ่คุณค่าของข้าวโพดอย่างต่อเนื่อง และจากการวิเคราะห์ประเด็นปัญหาการผลิต พบว่า เทคโนโลยีการผลิตไม่เหมาะสมกับสภาพพื้นที่ประกอบปัญหาการเปลี่ยนแปลงของสภาพภูมิอากาศ การระบาดของศัตรูพืชที่สำคัญ ส่งผลให้ต้นทุนการผลิตสูง ผลผลิตต่ำ คุณภาพผลผลิตไม่ได้มาตรฐาน (อุดมและคณะ, 2565) จึงจำเป็นต้องวิจัยเทคโนโลยีในการเพิ่มผลผลิตต่อไร่ให้สูงขึ้น โดยการใช้ปัจจัยการผลิตอย่างมีประสิทธิภาพ เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม เพื่อให้ผลผลิตเพียงพอต่อความต้องการและคุณภาพผลผลิตสูง

กรมวิชาการเกษตรได้ทำการวิจัยและพัฒนาปุ๋ยชีวภาพแบคทีเรียส่งเสริมการเจริญเติบโตของพืช หรือ ปุ๋ยชีวภาพฟิซีฟิอาร์ ซึ่งเป็นปุ๋ยชีวภาพที่ประกอบด้วยแบคทีเรียที่อาศัยอยู่บริเวณรากพืช ทั้งบริเวณดินรอบ ๆ ราก ผิวนอก ภายในราก ต้นและใบพืช ซึ่งจุลินทรีย์เหล่านี้ก็ให้ผลที่แตกต่างกันไปขึ้นอยู่กับประสิทธิภาพของแต่ละสกุล โดยสกุลแบคทีเรียที่นิยมใช้ร่วมกับข้าวโพด ได้แก่ *Azospirillum* เช่นเดียวกับรายงานของ Hungria et al. (2010) ที่กล่าวว่า การใส่เชื้อจุลินทรีย์ *Azospirillum brasilense* ก่อนการปลูกสามารถช่วยเพิ่มผลผลิตข้าวโพดได้ 24-30 เปอร์เซ็นต์ เมื่อเปรียบเทียบกับการไม่ใส่เชื้อจุลินทรีย์ อย่างไรก็ตาม การเลือกสายพันธุ์จุลินทรีย์ที่เหมาะสมกับชนิดพืชมากที่สุดก็จะช่วยส่งผลให้พืชมีการเจริญเติบโตที่ดีและให้ผลผลิตเพิ่มขึ้น รวมถึงช่วยลดปริมาณการใช้ปุ๋ยเคมีในการผลิตพืช นอกจากนี้ประสิทธิภาพของปุ๋ยชีวภาพนั้นขึ้นอยู่กับปัจจัยต่าง ๆ ดังนี้ สกูลและสายพันธุ์แบคทีเรีย ชนิดของพืช สมบัติของดิน ประชากรจุลินทรีย์ที่ออกฤทธิ์ และเงื่อนไขทางสภาพแวดล้อม โดยทั่วไปหลังการใส่ปุ๋ยชีวภาพปริมาณแบคทีเรียจะลดอย่างรวดเร็ว ทั้งนี้เนื่องจากความไม่สม่ำเสมอของสภาพแวดล้อม ซึ่งไม่สามารถควบคุมได้ จึงมักพบว่าผลการทดลองในสภาพปลอดเชื้อกับในธรรมชาติมีความแตกต่างกันมาก (Bashan and Levany, 1988) อนึ่งการวิจัยที่ผ่านมาเป็นการใช้ปุ๋ยชีวภาพฟิซีฟิอาร์ในการปลูกข้าวโพดหวานและข้าวโพดเลี้ยงสัตว์พันธุ์การค้าและพันธุ์ที่กรมวิชาการเกษตรพัฒนาขึ้นมา ซึ่งยังประสบปัญหาจากด้านอื่น ๆ เช่น ความอุดมสมบูรณ์ของดิน พันธุ์ข้าวโพดที่ใช้ รวมถึงการจัดการดินและน้ำ ซึ่งทำให้ผลผลิตที่ได้รับจากการใช้ปุ๋ยชีวภาพฟิซีฟิอาร์แตกต่างกันออกไป และยังไม่มีการศึกษาการใช้ประโยชน์ในการผลิตข้าวโพดข้าวเหนียวเพื่อรองรับความต้องการของเกษตรกรในการลดต้นทุนการผลิตจึงเริ่มดำเนินการวิจัยในข้าวโพดข้าวเหนียว

การศึกษการใช้ปุ๋ยชีวภาพฟิซีฟิอาร์กับข้าวโพดข้าวเหนียวจึงเป็นเรื่องที่น่าสนใจซึ่งควรทำความเข้าใจกับการจัดการปุ๋ยและปัจจัยอื่น ๆ เพื่อวิจัยพัฒนาเป็นเทคโนโลยีช่วยเพิ่มศักยภาพในการผลิตและปริมาณผลผลิตข้าวโพดข้าวเหนียวซึ่งในปัจจุบันเกษตรกรนิยมปลูกเพิ่มมากขึ้น การทดลองนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตและลดต้นทุนการผลิตข้าวโพดข้าวเหนียวพันธุ์สวีทไวท์ 25 ในสภาพพื้นที่เกษตรกร โดยใช้ปุ๋ยชีวภาพฟิซีฟิอาร์-วัน 2 แบบ ที่มีชนิดแบคทีเรียและวัสดุพาที่ใช้วิธีปลอดเชื้อแตกต่างกันร่วมกับการใส่ปุ๋ยเคมี 75-100 เปอร์เซ็นต์ ของอัตราแนะนำตามค่าวิเคราะห์ดิน เพื่อนำผลที่ได้ไปใช้ในการพัฒนาคำแนะนำการใช้ประโยชน์และพัฒนาผลิตภัณฑ์ปุ๋ยชีวภาพฟิซีฟิอาร์ต่อไปในอนาคต

อุปกรณ์และวิธีการ

อุปกรณ์

1. เมล็ดข้าวโพดข้าวเหนียวพันธุ์สวีทไวท์ 25
2. ปุ๋ยเคมี 46-0-0 18-46-0 0-46-0 และ 0-0-60
3. ปุ๋ยชีวภาพฟิซีฟิอาร์-วัน
4. อุปกรณ์สำหรับเก็บตัวอย่างพืชและผลผลิต เช่น ถังกระดาษ ถังตาข่าย เป็นต้น

วิธีการ

1. เก็บตัวอย่างดินก่อนการทดลองที่ระดับความลึก 0-20 เซนติเมตร เพื่อวิเคราะห์สมบัติทางเคมีบางประการ ได้แก่ ความเป็นกรด-ด่าง (Peech, 1965) ปริมาณอินทรีย์วัตถุ (Walkley and Black, 1934) ปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ (Bray and Kurtz, 1945) และปริมาณโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ (Thomas, 1982) เพื่อคำนวณปุ๋ยเคมีอัตราแนะนำตามค่าวิเคราะห์ดิน (กองวิจัยพัฒนาปัจจัยการผลิตทางการเกษตร, 2564)

2. ดำเนินการทดลองในพื้นที่ดินร่วนปนเหนียวที่แปลงเกษตรกร จังหวัดชัยนาท ขนาดแปลงทดลองย่อยขนาด 6.0x5.0 เมตร ระยะปลูก 0.80x0.25 เมตร แปลงละ 7 แถว แถวละ 20 หลุม หลุมละ 1 ต้น ปลูกข้าวโพดข้าวเหนียว

พันธุ์สวีทไวท์ 25 ใส่ปุ๋ยชีวภาพฟิสิกซ์ฟิอาร์และปุ๋ยเคมีตามกรรมวิธีที่กำหนด ดูแลรักษาและกำจัดวัชพืชตามคำแนะนำของ
กรมวิชาการเกษตร โดยเตรียมแปลงปลูก วางระบบน้ำ ดำเนินการปลูกและใส่ปุ๋ยรองพื้น เมื่อวันที่ 27 ธันวาคม 2566
ถอนแยกให้เหลือ 1 ต้นต่อหลุม วันที่ 5 มกราคม 2567 และใส่ปุ๋ยแต่งหน้า เมื่อวันที่ 16 มกราคม 2567 และทำการเก็บ
เกี่ยวผลผลิต เมื่อวันที่ 28 กุมภาพันธ์ 2567 โดยใช้พื้นที่เก็บเกี่ยว 2.00x3.00 เมตร

3. บันทึกข้อมูลการเจริญเติบโตและผลผลิต เมื่ออายุ 62-64 วัน และหลังการเก็บเกี่ยวเก็บตัวอย่างดินเพื่อนับ
ปริมาณฟิสิกซ์ฟิอาร์รอบ ๆ รากพร้อมวัดอัตราการตรึงไนโตรเจน (Acetylene Reduction Assay : ARA) ตามวิธีของ
Hardy et al., (1968)

4. วิเคราะห์ค่าความแปรปรวนทางสถิติ (analysis of variance) และค่าทางสถิติอื่น ๆ สำหรับการ
เปรียบเทียบค่าเฉลี่ย โดยวิธี Duncan's New Multiple's Range Test (DMRT) โดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูปทาง
สถิติ และคำนวณผลตอบแทนทางเศรษฐกิจจากอัตราส่วนระหว่างรายได้จากผลผลิตที่เพิ่มขึ้นจากการใส่ปุ๋ย
(Value to Cost Ratio, VCR) ดังนี้

$$VCR = (\text{รายได้ที่เพิ่มขึ้นจากการใส่ปุ๋ย} / \text{รายจ่ายจากการใส่ปุ๋ย})$$

*ถ้าค่า VCR ต่ำกว่า 2.0 การใส่ปุ๋ยจะไม่สามารถสร้างผลตอบแทนที่ทำได้ให้แก่เกษตรกร

วางแผนการทดลองแบบ Randomized Complete Block จำนวน 4 ซ้ำ 5 กรรมวิธี

1. ใส่ปุ๋ย 20-8-20 กิโลกรัม N-P₂O₅-K₂O ต่อไร่ (อัตราแนะนำตามค่าวิเคราะห์ดิน)
2. ใส่ปุ๋ยชีวภาพฟิสิกซ์ฟิอาร์-วัน แบบที่ 1 ร่วมกับปุ๋ย 20-8-20 กิโลกรัม N-P₂O₅-K₂O ต่อไร่
3. ใส่ปุ๋ยชีวภาพฟิสิกซ์ฟิอาร์-วัน แบบที่ 2 ร่วมกับปุ๋ย 20-8-20 กิโลกรัม N-P₂O₅-K₂O ต่อไร่
4. ใส่ปุ๋ยชีวภาพฟิสิกซ์ฟิอาร์-วัน แบบที่ 1 ร่วมกับปุ๋ย 15-6-15 กิโลกรัม N-P₂O₅-K₂O ต่อไร่
5. ใส่ปุ๋ยชีวภาพฟิสิกซ์ฟิอาร์-วัน แบบที่ 2 ร่วมกับปุ๋ย 15-6-15 กิโลกรัม N-P₂O₅-K₂O ต่อไร่

หมายเหตุ – ปุ๋ยชีวภาพฟิสิกซ์ฟิอาร์-วัน แบบที่ 1 หมายถึง ปุ๋ยชีวภาพฟิสิกซ์ฟิอาร์ที่ใช้วัสดุพาแบบหนึ่งมาเชื้อประกอบด้วย
จุลินทรีย์ 3 กลุ่ม ได้แก่ *Azospirillum* sp. *Azotobacter* sp. และ *Beijerinckia* sp. โดย *Azospirillum* sp. ที่ใช้เป็นโอโซเลทที่
แยกได้จากดินบริเวณรอบ ๆ รากหญ้าแฝก (Vetiver grass) (Meanchang et al., 2004) และมีปริมาณ *Azospirillum* sp.
5.13x10¹⁰ โคโลนี ต่อ 1 กรัมปุ๋ยชีวภาพ *Azotobacter* sp. 1.15x10¹⁰ โคโลนี ต่อ 1 กรัมปุ๋ยชีวภาพ และ *Beijerinckia* sp.
2.53x10⁸ โคโลนี ต่อ 1 กรัมปุ๋ยชีวภาพ

- ปุ๋ยชีวภาพฟิสิกซ์ฟิอาร์-วัน แบบที่ 2 หมายถึง ปุ๋ยชีวภาพฟิสิกซ์ฟิอาร์ที่ใช้วัสดุพาแบบฉายรังสีประกอบด้วย
จุลินทรีย์ 3 กลุ่ม ได้แก่ *Azospirillum* sp. *Azotobacter* sp. และ *Beijerinckia* sp. โดย *Azospirillum* sp. ที่ใช้เป็นโอโซเลทที่
แยกได้จากรากข้าวโพดหวานพันธุ์ไฮบริด 3 (*Zea mays saccharata*) (Prongjunthuek et al., 2019) และมีปริมาณ
Azospirillum sp. 7.10x10¹⁰ โคโลนี ต่อ 1 กรัมปุ๋ยชีวภาพ *Azotobacter* sp. 1.53x10¹⁰ โคโลนี ต่อ 1 กรัมปุ๋ยชีวภาพ และ
Beijerinckia sp. 2.30x10⁶ โคโลนี ต่อ 1 กรัมปุ๋ยชีวภาพ

- การใส่ปุ๋ย ปุ๋ยเคมีทำการแบ่งใส่ 2 ครั้ง คือ ครั้งที่ 1 ใส่รองพื้นพร้อมปลูกอัตรา 50%N-100%P-100%K
ของกรรมวิธีต่าง ๆ และครั้งที่ 2 ใส่ปุ๋ยยูเรียเป็นปุ๋ยแต่งหน้าเมื่อข้าวโพดอายุ 21 วันหลังปลูก อัตรา 50%N ของกรรมวิธีต่าง ๆ โดย
โรยข้างแถวแล้วพูนโคนและกำจัดวัชพืช ส่วนปุ๋ยชีวภาพฟิสิกซ์ฟิอาร์-วัน ทั้ง 2 แบบ ใช้คลุกเมล็ดพร้อมปลูก อัตราส่วนปุ๋ยชีวภาพฟิสิกซ์
ฟิอาร์-วัน 500 กรัม ต่อเมล็ดข้าวโพด 3 กิโลกรัมต่อไร่

ระยะเวลา เริ่มต้น เดือนตุลาคม 2566 สิ้นสุด กันยายน 2567

สถานที่ดำเนินการ กลุ่มวิจัยปฐพีวิทยา กองวิจัยพัฒนาปัจจัยการผลิตทางการเกษตร และไร่เกษตรกร
จังหวัดชัยนาท พิกัดแปลง 47P X= 629745 Y= 1673120

ผลการทดลองและวิจารณ์

1. ความอุดมสมบูรณ์ของดิน (Soil fertility)

ได้ทำการเก็บตัวอย่างดินที่ระดับความลึก 0-20 เซนติเมตร และนับปริมาณจุลินทรีย์ในดินก่อนปลูก จาก Table 1 พบว่า ดินในแปลงเกษตรกรรมมีความอุดมสมบูรณ์ปานกลาง (กองสำรวจดิน, 2523 และเอิบ, 2548) โดยมีปริมาณอินทรีย์วัตถุ 1.79 เปอร์เซ็นต์ ความเป็นกรด-ด่าง 5.78 ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ 11.31 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม โพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ 54.95 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม สามารถคำนวณปุ๋ยเคมีอัตราแนะนำตามค่าวิเคราะห์ดินได้ 20-8-20 กิโลกรัม N-P₂O₅-K₂O ต่อไร่ ดังแสดงใน Table 1

Table 1 Soil analysis, chemical fertilizer recommendation rate and number of PGPR in soil of farmer plot in Chai Nat province

OM ¹	Available P ²	Exchangeable K ³	pH ⁴	Chemical fertilizer recommendation rate	Number of PGPR in soil (Log ₁₀ CFU/g)		
(%)	(mg/kg)	(mg/kg)	(1:1)	(kg N-P ₂ O ₅ -K ₂ O/rai)	<i>Azospirillum</i> sp.	<i>Azotobacter</i> sp.	<i>Beijerinckia</i> sp.
1.79	11.31	54.95	5.78	20-8-20	5.38	6.78	4.78

¹Walkley and Black (1934)

²Bray and Kurtz (1945)

³Thomas (1982)

⁴Peech (1965)

2. ความสูงวันเก็บเกี่ยว (Height at harvest)

ความสูงวันเก็บเกี่ยวของข้าวโพดข้าวเหนียวพันธุ์สวีทไวท์ 25 พบว่า ทุกกรรมวิธีทดลองไม่แตกต่างกันทางสถิติ โดยมีความสูงวันเก็บเกี่ยวอยู่ระหว่าง 181.8-187.8 เซนติเมตร ตามลำดับ โดยกรรมวิธีที่ข้าวเหนียวพันธุ์สวีทไวท์ 25 มีความสูงวันเก็บเกี่ยวสูงสุด คือ กรรมวิธีที่ 1 ใส่ปุ๋ยเคมี 20-8-20 กิโลกรัม N-P₂O₅-K₂O ต่อไร่ มีความสูงวันเก็บเกี่ยว เท่ากับ 187.8 เซนติเมตร รองลงมา คือ กรรมวิธีที่ 5 ใส่ปุ๋ยชีวภาพฟิซิฟอาร์-วัน แบบที่ 2 ร่วมกับปุ๋ยเคมี 15-6-15 กิโลกรัม N-P₂O₅-K₂O ต่อไร่ กรรมวิธีที่ 3 ใส่ปุ๋ยชีวภาพฟิซิฟอาร์-วัน แบบที่ 2 ร่วมกับปุ๋ยเคมี 20-8-20 กิโลกรัม N-P₂O₅-K₂O ต่อไร่ ซึ่งเห็นว่า การใช้ปุ๋ยชีวภาพฟิซิฟอาร์-วัน แบบที่ 2 ร่วมกับปุ๋ยเคมี ทำให้ข้าวโพดข้าวเหนียวพันธุ์สวีทไวท์ 25 มีความสูงไม่แตกต่างกัน แม้ในกรรมวิธีที่ 5 ที่ลดการใส่ปุ๋ยเคมีลง 25 เปอร์เซ็นต์ (Table 2)

3. ผลผลิต (Un-husked ear and husked ear yields)

ผลผลิตของข้าวโพดข้าวเหนียวพันธุ์สวีทไวท์ 25 ที่ปลูก ณ แปลงเกษตรกร จังหวัดชัยนาท พบว่า ทุกกรรมวิธีทดลองมีน้ำหนักฝักสดทั้งเปลือกและน้ำหนักฝักสดปอกเปลือก ไม่แตกต่างกันทางสถิติ โดยกรรมวิธีที่ 3 ใส่ปุ๋ยชีวภาพฟิซิฟอาร์-วัน แบบที่ 2 ร่วมกับปุ๋ยเคมี 20-8-20 กิโลกรัม N-P₂O₅-K₂O ต่อไร่ มีน้ำหนักฝักสดทั้งเปลือกและน้ำหนักฝักสดปอกเปลือกสูงสุด คือ 1,313 และ 1,013 กิโลกรัมต่อไร่ รองลงมา คือ กรรมวิธีที่ 3 ใส่ปุ๋ยชีวภาพฟิซิฟอาร์-วัน แบบที่ 1 ร่วมกับปุ๋ยเคมี 20-8-20 กิโลกรัม N-P₂O₅-K₂O ต่อไร่ มีน้ำหนักฝักสดรวมเปลือกและน้ำหนักฝักสดปอกเปลือก คือ 1,313 และ 997 กิโลกรัมต่อไร่ ซึ่งไม่แตกต่างจาก กรรมวิธีที่ 1 ใส่ปุ๋ยเคมี 20-8-20 กิโลกรัม N-P₂O₅-K₂O ต่อไร่ มีน้ำหนักฝักสดรวมเปลือกและน้ำหนักฝักสดปอกเปลือก เท่ากับ 1,312 และ 1,000 กิโลกรัมต่อไร่ จากผลการทดลองดังกล่าวพบว่า กรรมวิธีที่ 2 ใส่ปุ๋ยชีวภาพฟิซิฟอาร์-วัน แบบที่ 1 ร่วมกับปุ๋ยเคมี 20-8-20 กิโลกรัม N-P₂O₅-K₂O ต่อไร่ และกรรมวิธีที่ 3 ใส่ปุ๋ยชีวภาพฟิซิฟอาร์-วัน แบบที่ 2

ร่วมกับปุ๋ยเคมี 20-8-20 กิโลกรัม $N-P_2O_5-K_2O$ ต่อไร่ ซึ่งใช้ปุ๋ยชีวภาพฟิซีฟิอาร์-วัน คนละแบบ ข้าวโพดข้าวเหนียวพันธุ์สวิตไวท์ 25 มีน้ำหนักฝักสดรวมเปลือกและน้ำหนักฝักสดปอกเปลือกไม่แตกต่างกันทางสถิติ ซึ่งให้เห็นว่าปุ๋ยชีวภาพฟิซีฟิอาร์-วัน ทั้งสองแบบมีแนวโน้มช่วยเพิ่มผลผลิตได้ (Table 2)

4. ความกว้างฝักและความยาวฝักปอกเปลือก (Width of ear and length of ear without husk)

ด้านความกว้างฝักและความยาวฝักหลังปอกเปลือก พบว่า ข้าวโพดข้าวเหนียวพันธุ์สวิตไวท์ 25 ทุกกรรมวิธีทดลองมีความกว้างฝักปอกเปลือกและความยาวฝักปอกเปลือกไม่แตกต่างกันทางสถิติ โดยกรรมวิธีที่ 1 ใส่ปุ๋ยเคมี 20-8-20 กิโลกรัม $N-P_2O_5-K_2O$ ต่อไร่ (อัตราแนะนำ) มีความกว้างฝักปอกเปลือกสูงที่สุด คือ 4.67 เซนติเมตร รองลงมา คือ กรรมวิธีที่ 3 ใส่ปุ๋ยชีวภาพฟิซีฟิอาร์-วัน แบบที่ 2 ร่วมกับปุ๋ยเคมี 20-8-20 กิโลกรัม $N-P_2O_5-K_2O$ ต่อไร่ 2 มีความกว้างฝักปอกเปลือก 4.67 เซนติเมตร ความยาวฝักปอกเปลือกของข้าวโพดข้าวเหนียวพันธุ์สวิตไวท์ 25 พบว่า กรรมวิธีที่ 2 ใส่ปุ๋ยชีวภาพฟิซีฟิอาร์-วัน แบบที่ 1 ร่วมกับปุ๋ยเคมี 20-8-20 กิโลกรัม $N-P_2O_5-K_2O$ ต่อไร่ มีความยาวฝักปอกเปลือกสูงที่สุด คือ 16.30 เซนติเมตร รองลงมา คือ กรรมวิธีที่ 1 ใส่ปุ๋ยเคมี 20-8-20 กิโลกรัม $N-P_2O_5-K_2O$ ต่อไร่ มีความยาวฝักปอกเปลือก 16.20 เซนติเมตร แต่ทั้ง 2 กรรมวิธีไม่แตกต่างกัน (Table 2) จากผลการทดลองดังกล่าว พบว่า กรรมวิธีที่ 1 2 และ 3 ใส่ปุ๋ยเคมีอัตราเดียวกัน ซึ่งให้เห็นว่าปุ๋ยชีวภาพฟิซีฟิอาร์-วันทั้งสองแบบ สามารถช่วยเพิ่มคุณภาพผลผลิตได้ นอกจากนี้ยังพบว่ากรรมวิธีที่ 2 และ 3 ใช้ปุ๋ยชีวภาพฟิซีฟิอาร์-วัน คนละแบบ แสดงให้เห็นว่าปุ๋ยชีวภาพฟิซีฟิอาร์-วัน ทั้งสองแบบมีประสิทธิภาพไม่แตกต่างกัน

5. ความหวาน (Sweetness)

ข้าวโพดข้าวเหนียวพันธุ์สวิตไวท์ 25 เป็นพันธุ์การค้าที่มีการปรับปรุงพันธุ์โดยห้างหุ้นส่วนจำกัดศรแดง การเกษตร ซึ่งระบุไว้ว่า เป็นพันธุ์ที่ได้รับการพัฒนาให้มีเมล็ดหวานมากขึ้นถึง 25 เปอร์เซ็นต์ จากผลการทดลองใน Table 2 พบว่า ด้านความหวาน พบว่า ทุกกรรมวิธีทดลองมีความหวานแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยมีความหวานอยู่ระหว่าง 10.25-14.48 องศาบริกซ์ (ตารางที่ 14) และเมื่อเปรียบเทียบกับมาตรฐาน มกษ. 1512-2554 ที่ได้กำหนดนิยามของ ข้าวโพดหวาน ว่า หมายถึง ข้าวโพดที่มีความหวาน โดยมีปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายน้ำได้ไม่น้อยกว่า 9 องศาบริกซ์ ($^{\circ}$ brix) ในลักษณะทั้งฝักที่มีหรือไม่มีเปลือกหุ้ม เมล็ดติดกับซัง (สำนักมาตรฐานสินค้าเกษตรและอาหารแห่งชาติ, 2554) จากผลการทดลองข้างต้น พบว่า ทุกกรรมวิธีทดลอง ข้าวโพดข้าวเหนียวพันธุ์สวิตไวท์ 25 มีความหวานอยู่ในเกณฑ์มาตรฐาน มกษ.1512-2554 (สำนักมาตรฐานสินค้าเกษตรและอาหารแห่งชาติ, 2554) ดังแสดงใน Table 2

Table 2 Height at harvest, unhusked ear yield, husked ear yield, width of ear without husk, length of ear without husk and sweetness of waxy corn variety Sweet White 25 of farmer plot in Chai Nat province

Treatments	Height at harvest (cm)	Un-husked ear yield ← (kg/rai) →	Husked ear yield	Width of ear without husk ← (cm) →	Length of ear without husk ← (cm) →	Sweetness (°brix)
1	187.8	1,312	1,000	4.68	16.2	13.35
2	182.6	1,313	997	4.52	16.3	14.20
3	185.6	1,313	1,013	4.67	15.9	13.50
4	181.8	1,206	878	4.51	15.7	10.25
5	186.1	1,282	981	4.52	15.7	14.48
C.V. (%)	2.89	11.30	12.08	3.96	3.99	12.74
Significant	ns	ns	ns	ns	ns	ns

Remarks: ns = nonsignificant

6. ผลตอบแทนทางเศรษฐกิจ (Value to Cost Ratio)

การคำนวณผลตอบแทนทางเศรษฐกิจ (Value to Cost Ratio, VCR) โดยหาอัตราส่วนระหว่างรายได้จากผลผลิตที่เพิ่มขึ้นจากการใส่ปุ๋ยต่อรายจ่ายจากการใส่ปุ๋ยนั้น ในการทดลองนี้เทียบจากการกรรมวิธีที่ 1 ใส่ปุ๋ย 20-8-20 กิโลกรัม N-P₂O₅-K₂O ต่อไร่ (อัตราแนะนำตามค่าวิเคราะห์ดิน) พบว่า กรรมวิธีที่ 2 และ 3 มีผลตอบแทนค่าปุ๋ย หรือ VCR เท่ากับ 0.01 และ 0.01 ตามลำดับ ส่วนกรรมวิธีทดลองที่ 4 และ 5 มีค่า VCR ติดลบ (-1.44 และ -0.41) ซึ่งต่ำกว่าระดับค่าวิกฤต (2.00) ซึ่งให้เห็นว่า การใส่ปุ๋ยชีวภาพฟิสิกส์ฟิอาร์-วันทั้งสองแบบเพิ่มในการผลิตข้าวโพดข้าวเหนียวพันธุ์สวีทไวท์ 25 แม้จะลดปริมาณปุ๋ยเคมีลง 25 เปอร์เซ็นต์ ไม่ทำให้เกษตรกรได้รับผลตอบแทนเพิ่มขึ้น (Table 3)

Table 3 Value to Cost Ratio of waxy corn variety Sweet White 25 production with combination between PGPR-I biofertilizer and chemical fertilizer at farmer plot in Chai Nat province

Treatments	Unhusked ear yield (kg/rai)	Increase yield (kg/rai)	Fertilizer cost (baht) ¹	Increase income (baht) ²	VCR ³
1	1,312	0	1,787	0	0
2	1,313	1	1,857	20	0.01
3	1,313	1	1,857	20	0.01
4	1,206	- 106	1,475	- 2,120	- 1.44
5	1,282	- 30	1,475	- 600	- 0.41

¹ Chemical fertilizer price: 18-46-0 = 18 baht/kg, 46-0-0 = 22 baht/kg, 0-0-60 = 20 baht/kg and PGPR-I = 70 baht/bag (1 bag/rai)

² Waxy corn price = 20,000 baht/ton

³ (Value to Cost Ratio, VCR) VCR = (increase income from fertilizer /fertilizer cost), a VCR lower than 2.00, fertilizing will not be able to generate a profitable return to the farmers

7. ปริมาณพีจีพีอาร์และปริมาณการตรึงไนโตรเจน (Number of PGPR in soil and Nitrogen fixation of PGPR from root area)

ก่อนดำเนินการทดลองได้ทำการสุ่มเก็บตัวอย่างดินเพื่อนับจำนวนประชากรแบคทีเรียทั้ง 3 ชนิด โดยในแปลงทดลองมีจำนวนประชากร *Azospirillum* sp. $5.38 \text{ Log}_{10} \text{ CFU/g}$ *Azotobacter* sp. $6.78 \text{ Log}_{10} \text{ CFU/g}$ และ *Beijerinckia* sp. $4.78 \text{ Log}_{10} \text{ CFU/g}$ และหลังการทดลอง พบว่า ทุกกรรมวิธีทดลองที่ใช้ปุ๋ยชีวภาพพีจีพีอาร์ทำให้จำนวนประชากร *Azospirillum* sp. *Azotobacter* sp. และ *Beijerinckia* sp. ในดินเพิ่มสูงขึ้น ดังแสดงใน Table 1 และ Figure 1 ซึ่งโดยทั่วไปหลังการใส่ปุ๋ยชีวภาพปริมาณประชากรแบคทีเรียจะลดอย่างรวดเร็ว ทั้งนี้เนื่องจากความไม่สม่ำเสมอของสภาพแวดล้อมซึ่งไม่สามารถควบคุมได้ จึงมักพบว่าผลการทดลองในสภาพปลอดเชื้อกับในธรรมชาติมีความแตกต่างกันมาก (Bashan and Levany, 1990; สมปองและศุภมาศ, 2551; Meunchang et al., 2006a; Meunchang et al., 2006b) และเมื่อวัดการตรึงไนโตรเจน พบว่า แบคทีเรียทั้งสามสกุลสามารถส่งเสริมให้มีการตรึงไนโตรเจนในราก โดยมีประสิทธิภาพการตรึงไนโตรเจนอยู่ระหว่าง $0.091\text{--}0.101 \mu\text{mol C}_2\text{H}_2 \text{ hr}^{-1}$ (Figure 2)

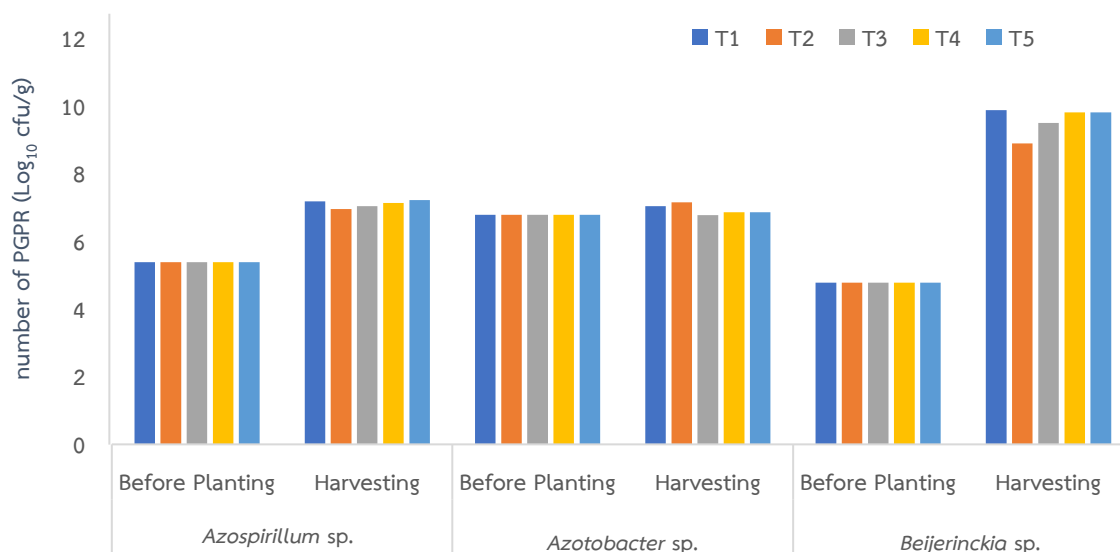


Figure 1 Number of PGPR in soil before planting and harvesting of waxy corn variety Sweet White 25 at farmer plot in Chai Nat province

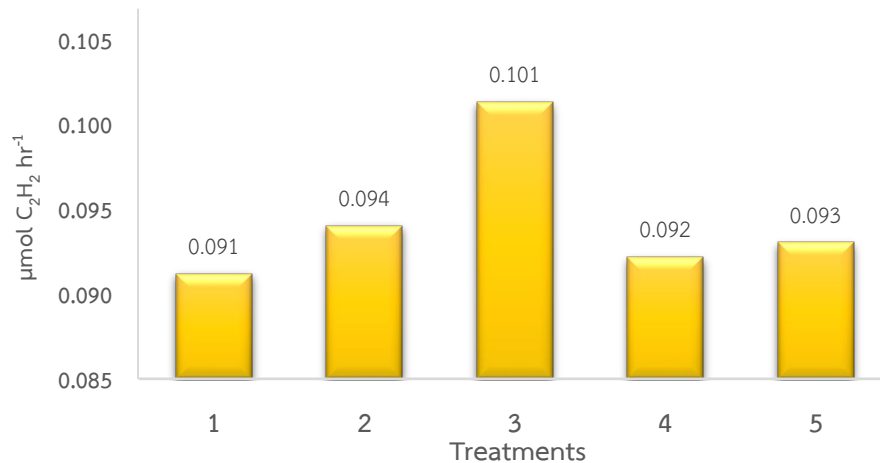


Figure 2 Nitrogen fixation of PGPR from root area of waxy corn variety Sweet White 25 at farmer plot in Chai Nat province

สรุปผลการทดลอง

การใช้ปุ๋ยเคมีร่วมกับปุ๋ยชีวภาพฟิสิกซ์ฟิอาร์-วัน ในการปลูกข้าวโพดข้าวเหนียวพันธุ์สวีทไวท์ 25 ในสภาพพื้นที่เกษตรกรซึ่งมีความอุดมสมบูรณ์ปานกลาง ให้ผลการทดลองที่ยังไม่ชัดเจน โดยทุกกรรมวิธีทดลองข้าวโพดข้าวเหนียวพันธุ์สวีทไวท์ 25 มีน้ำหนักฝักสดรวมเปลือกอยู่ระหว่าง 1,206-1,313 กิโลกรัมต่อไร่ และน้ำหนักฝักสดเปลือกอยู่ระหว่าง 878-1,013 กิโลกรัมต่อไร่ ซึ่งทุกกรรมวิธีทดลองไม่แตกต่างทางสถิติ นอกจากนี้ทุกกรรมวิธีทดลองข้าวโพดข้าวเหนียวพันธุ์สวีทไวท์ 25 มีความกว้างฝักและความยาวฝักเปลือกไม่แตกต่างทางสถิติ ส่วนการคำนวณผลตอบแทนทางเศรษฐกิจพบว่า กรรมวิธีที่ 2 และ 3 มีค่า VCR เท่ากับ 0.01 ส่วนกรรมวิธีที่ 4 และ 5 มีค่า VCR ติดลบ ซึ่งต่ำกว่าค่าวิกฤต (2.00) แสดงให้เห็นว่าการใส่ปุ๋ยชีวภาพฟิสิกซ์ฟิอาร์-วัน ทั้งสองแบบในการผลิตข้าวโพดข้าวเหนียวพันธุ์สวีทไวท์ 25 แม้จะลดปริมาณปุ๋ยเคมีลง 25 เปอร์เซ็นต์ ไม่ทำให้เกษตรกรได้รับผลตอบแทนเพิ่มขึ้น อย่างไรก็ตามควรมีการศึกษาเพิ่มเติมและต่อเนื่องในระยะยาวเพื่อให้ได้ข้อมูลที่ชัดเจนมากขึ้น พร้อมทำการศึกษายอมรับของเกษตรกรควบคู่กันไปด้วย

การนำผลงานวิจัยไปใช้ประโยชน์

สามารถช่วยเกษตรกรในการลดต้นทุนการผลิตจากการใช้ปุ๋ยเคมีลดลง นอกจากนี้ยังช่วยเพิ่มรายได้ให้กับเกษตรกรและเพิ่มขีดความสามารถในการผลิตและเพิ่มความมั่นคงทางด้านอาหารในอนาคตได้อีกด้วย ในด้านประโยชน์ทางวิชาการ นักวิชาการและผู้สนใจสามารถนำงานวิจัยไปต่อยอดและใช้เป็นแนวทางในการลดต้นทุนการผลิตกับพืชชนิดอื่นหรือข้าวโพดสายพันธุ์อื่นได้

เอกสารอ้างอิง

- กองวิจัยพัฒนาปัจจัยการผลิตทางการเกษตร. 2564. คำแนะนำการใช้ปุ๋ยตามค่าวิเคราะห์ดิน สำหรับพืชไร่เศรษฐกิจ. กรมวิชาการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์. ISBN: 978-616-358-578-3.
- กองสำรวจดิน. 2523. คู่มือการจำแนกความเหมาะสมของที่ดินสำหรับพืชเศรษฐกิจ. เอกสารวิชาการ เล่มที่ 28. กองสำรวจดิน กรมพัฒนาที่ดิน กระทรวงเกษตรและสหกรณ์. 76 หน้า.
- ณัฐณี จุติโรจน์ปกรณ์, พิรณัฐ จอมพุก, วิจิตร ใจอารีย์ และชูศักดิ์ จอมพุก. 2559. การปรับปรุงพันธุ์ข้าวโพดข้าวเหนียวลูกผสมเดี่ยวสีม่วง. หน้า 22-31. ใน: *รายงานการประชุมวิชาการระดับชาติ ครั้งที่ 13 มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน*. วันที่ 8-9 ธันวาคม 2559.
- พีระวรรณ พัฒนวิภาส. 2551. เอกสารวิชาการ โรคข้าวโพดฝักสด. สำนักวิจัยการอารักขาพืช กรมวิชาการเกษตร. 72 หน้า.
- สำนักมาตรฐานสินค้าเกษตรและอาหารแห่งชาติ. 2554. มาตรฐานสินค้าเกษตร มกษ.1512-2554: ข้าวโพดหวาน. 18 หน้า. ICS 67.080.20. กระทรวงเกษตรและสหกรณ์.
- สมปอง หมั่นแจ้ง และศุภมาส พนิชศักดิ์พัฒนา. 2551. การใช้ผลพลอยได้จากโรงงานน้ำตาลแบคทีเรีย ตรึงไนโตรเจนและส่งเสริมการเจริญเติบโตของพืชในการผลิตพืช. *รางวัลสภาวิจัยแห่งชาติ : รางวัลวิทยานิพนธ์ ประจำปี 2550*. หน้า 250-252.
- สำนักควบคุมพืชและวัสดุทางการเกษตร. 2565. ข้อมูลการนำเข้า-ส่งออกข้าวโพดฝักสดของประเทศไทย ปี 2560-2564. กรมวิชาการเกษตร, กรุงเทพมหานคร.
- อุดม วงศ์ชัยชนะ, เพ็ญลักษณ์ ชูดี และสุภาพร สุขโต. 2565. ความสำคัญของข้าวโพดฝักสดในภาคกลางและภาคตะวันตก. หน้า 1-17. ใน: *เอกสารวิชาการการจัดการความรู้เรื่อง เทคโนโลยีการผลิตข้าวโพดฝักสดที่เหมาะสมในเขต พื้นที่ภาคกลางและภาคตะวันตก*. สำนักวิจัยและพัฒนาการเกษตรเขตที่ 5 กรมวิชาการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์.
- เอิบ เขียวรีนรมย์. 2548. การสำรวจดิน. ภาควิชาปฐพีวิทยา คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. 733 น.
- Bashan, Y. and Levany, H. 1988. Adsorption of the rhizosphere bacterium *Azospirillum brasilense* Cd to soil, sand and peat particles. *Journal of General Microbiology* 134: 1811-1820.
- Bashan, Y. and H. Levany. 1990. Current status of *Azospirillum* inoculation Technology: *Azospirillum* as a challenge for agriculture. *Canadian Journal of Microbiology* 36: 591-608.
- Bray, R.H. and L.T. Kurtz. 1945. Determination of total, organic, and available forms of phosphorus in soils, *Soil Science* 59: 39-45.
- Hardy R. W. F., R. D., Holsten, E. K., Jackson and R. C. Burns. 1968. The Acetylene- Ethylene Assay for N₂ fixation: laboratory and field evaluation. *Plant Physiology* 43: 1,185-1,207.
- Hungria, M., R.J. Campo, E.M. Souza and F.O. Pedrosa. 2010. Inoculation with selected strains of *Azospirillum brasilense* and *A. lipoferum* improves yields of maize and wheat in Brazil. *Plant Soil*. 331: 413-425.
- Meunchang, S., S. Panichsakpatana and R. W. Weaver. 2006a. Tomato growth in soil amended with Sugar mill by-products compost containing N₂-fixing bacteria. *Plant and Soil*. 280: 171-176.

- Meunchang, S., S. Panichsakpatana, S. Ando, T. Yokoyama and R. W. Weaver. 2006b. Bio-organic Fertilizer production development from compost and plant growth promoting rhizobacteria. Abstract of 14th world fertilizer congress. January 21–27, 2006. Chiang Mai Thailand.
- Peech, M. 1965. Hydrogen-ion activity in Methods of Soil Analysis Part 2; C.A. Black, ed. pp. 914–926.
- Prongjunthuek, K., P., Meunchang and S. Panichsakpatana. 2019. Effects of *Azospirillum* on germination and seedling growth of commercial sweet corn varieties Insee 2 and Hi-Brix 3. Songklanakarin Journal of Science and Technology. 41(4): 838–845.
- Thomas, G.W. 1982. Exchangeable cations. In: Methods of Soil Analysis. (AL Page *et al*, eds) Agronomy. 9: 154–157 (Madison).
- Walkley, A. and I.A. Black. 1934. An examination of the Degtjareff method for determining soil organic matter and a proposed modification of the chromic acid titration method. Soil Science. 37: 29–38.

ศึกษาผลของปุ๋ยชีวภาพพีจีพีอาร์ต่อการเจริญเติบโตและผลผลิตของข้าวโพด
ข้าวเหนียวพันธุ์ CNW18109

Study on effect of PGPR Biofertilizer on Growth and Yield of Waxy Corn
Variety CNW18109

กัลยกร โปรงจันทิก¹ สรตนา เสนาะ¹ วีระพงษ์ เย็นอ่วม²

Kunlayakorn Prongjunthuek¹ Sarattana Sanoh¹ Werapong Yenoum²

กลุ่มวิจัยปฐพีวิทยา

กองวิจัยพัฒนาปัจจัยการผลิตทางการเกษตร

ABSTRACT

In the past, studies on the utilization of PGPR-I biofertilizer, Department of Agriculture study on sweet corn and maize only. The utilization in waxy corn production has not been studied. To support the farmers in reducing production costs and issuing planting recommendations for different varieties of waxy corn that the Department of Agriculture conducted research. Therefore, began to conduct research on glutinous rice corn. The objective of this experiment was to increase production efficiency and reduce production costs of waxy corn variety CNW18109 under farmer's field conditions. Two types of PGPR-I biofertilizers with different bacterial species and aseptic carriers were used together with chemical fertilizer application at 75–100 percent of the recommended rates based on soil analysis values. In order to use the results to develop recommendations for utilization and development of PGPR-I biofertilizer products in the future. The experimental results are still unclear. There should be further studies and long-term continuation, together with a study on farmer acceptance. In all treatments, there was no statistical difference in un-husked ear yields and husked ear yields. The CNW18109 variety has the un-husked ear yields between 1,350-1,475 kg per rai and husked ear yields ranged from 1,007-1,125 kg per rai which is lower than the average of the varieties at the Chai Nat Field Crops Research Center, Department of Agriculture stated. In addition, For the calculation of economic returns, treatment 2, 3 and 5 had a negative VCR value which was lower than 2.00, indicating that adding PGPR biofertilizers in CNW18109 waxy corn production, despite reducing of chemical fertilizers use by 25 percent, did not increase farmers' yields.

Keywords: PGPR biofertilizer; waxy corn; CNW18109

¹ กองวิจัยพัฒนาปัจจัยการผลิตทางการเกษตร

¹ Agricultural Production Science Research and Development Division

² สำนักวิจัยและพัฒนาการเกษตร เขตที่ 5

² Office of Agricultural Research and Development Region 5

บทคัดย่อ

ที่ผ่านมาการศึกษาการใช้ประโยชน์ปุ๋ยชีวภาพฟิซีฟิอาร์-วัน ของกรมวิชาการเกษตรทำการศึกษาในข้าวโพดหวานและข้าวโพดเลี้ยงสัตว์เท่านั้น ยังไม่มีการศึกษาการใช้ประโยชน์ในการผลิตข้าวโพดข้าวเหนียว เพื่อรองรับความต้องการของเกษตรกรในการลดต้นทุนการผลิตและการออกคำแนะนำการปลูกสำหรับข้าวโพดข้าวเหนียวสายพันธุ์ต่าง ๆ ที่กรมวิชาการเกษตรเป็นผู้ทำการวิจัย จึงเริ่มดำเนินการวิจัยในข้าวโพดข้าวเหนียว การทดลองนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตและลดต้นทุนการผลิตข้าวโพดข้าวเหนียวพันธุ์ CNW18109 ในสภาพพื้นที่เกษตรกร โดยใช้ปุ๋ยชีวภาพฟิซีฟิอาร์-วัน 2 แบบ ที่มีชนิดแบคทีเรียและวัสดุพาที่ใช้วิธีปลดปล่อยแตกต่างกันร่วมกับการใส่ปุ๋ยเคมี 75-100 เปอร์เซ็นต์ ของอัตราแนะนำตามค่าวิเคราะห์ดิน เพื่อนำผลที่ได้ไปใช้ในการพัฒนาคำแนะนำการใช้ประโยชน์และพัฒนาผลิตภัณฑ์ปุ๋ยชีวภาพฟิซีฟิอาร์-วัน ต่อไปในอนาคต ผลการทดลอง พบว่า การใช้ปุ๋ยเคมีร่วมกับปุ๋ยชีวภาพฟิซีฟิอาร์-วัน ทั้งสองแบบในการปลูกข้าวโพดข้าวเหนียวพันธุ์ CNW18109 ในสภาพพื้นที่เกษตรกรซึ่งมีความอุดมสมบูรณ์ปานกลาง ให้ผลการทดลองที่ยังไม่ชัดเจน ควรมีการศึกษาเพิ่มเติมและต่อเนื่องในระยะยาวพร้อมทำการศึกษาการยอมรับของเกษตรกรควบคู่กันไปด้วย โดยทุกกรรมวิธีทดลองมีน้ำหนักฝักสดรวมเปลือกและน้ำหนักฝักสดปอกเปลือกไม่แตกต่างกันทางสถิติ ซึ่งข้าวโพดข้าวเหนียวพันธุ์ CNW18109 มีน้ำหนักฝักสดรวมเปลือกอยู่ระหว่าง 1,350-1,475 กิโลกรัมต่อไร่ และมีน้ำหนักฝักสดปอกเปลือกอยู่ระหว่าง 1,007-1,125 กิโลกรัมต่อไร่ ซึ่งต่ำกว่าค่าเฉลี่ยของพันธุ์ที่ศูนย์วิจัยพืชไร่ชัยนาท กรมวิชาการเกษตรระบุไว้ นอกจากนี้ทุกกรรมวิธีทดลองข้าวโพดข้าวเหนียวพันธุ์ CNW18109 มีความกว้างฝักและความยาวฝักปอกเปลือกไม่แตกต่างกันทางสถิติ ส่วนการคำนวณผลตอบแทนทางเศรษฐกิจกรรมวิธีที่ 2,3 และ 5 มีค่า VCR ติดลบซึ่งต่ำกว่า 2.00 ชี้ให้เห็นว่าการใส่ปุ๋ยชีวภาพฟิซีฟิอาร์-วัน เพิ่มในการผลิตข้าวโพดข้าวเหนียวพันธุ์ CNW18109 แม้จะลดปริมาณปุ๋ยเคมีลง 25 เปอร์เซ็นต์ ไม่ทำให้เกษตรกรได้รับผลตอบแทนเพิ่มขึ้น

คำหลัก: ปุ๋ยชีวภาพฟิซีฟิอาร์ ข้าวโพดข้าวเหนียว พันธุ์ CNW18109

คำนำ

พื้นที่เพาะปลูกข้าวโพดข้าวเหนียว มีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้นทุกปี ทำรายได้ให้แก่เกษตรกร 10,000-20,000 บาทต่อไร่ต่อฤดู คิดเป็นมูลค่าประมาณ 1,000 ล้านบาทต่อปี (พิระวรรณ, 2551) การส่งออกข้าวโพดข้าวเหนียวไปยังต่างประเทศแถบเอเชีย ได้แก่ ญี่ปุ่น ออสเตรเลีย บังคลาเทศ กัมพูชา เยอรมนี และเวียดนาม เป็นต้น โดยข้าวโพดข้าวเหนียวที่ส่งออกส่วนใหญ่อยู่ในรูปของเมล็ดพันธุ์ และฝักสดแช่แข็ง โดยมีปริมาณการส่งออกปี 2561-2564 เพียง 41 15 14 และ 10 ตัน ตามลำดับ คิดเป็นมูลค่าการส่งออก 10 8 8 และ 8 ล้านบาท ตามลำดับ (สำนักควบคุมพืชและวัสดุทางการเกษตร, 2565) ปัจจุบันความนิยมบริโภคข้าวโพดฝักสดเพิ่มมากขึ้น เนื่องจากเป็นแหล่งโภชนาการที่สำคัญโดยเฉพาะสารต้านอนุมูลอิสระ (Antioxidant) อาทิ แอนโทไซยานิน (Anthocyanin) จากข้าวโพดข้าวเหนียวสีม่วงที่ผ่านการปรับปรุงพันธุ์ ซึ่งแอนโทไซยานินช่วยเสริมสร้างการทำงานของเม็ดเลือดแดง ช่วยควบคุมระดับน้ำตาลในผู้ป่วยเบาหวาน ช่วยลดการเกิดไขมันอุดตันในหลอดเลือด ช่วยลดการเกิดมะเร็ง ลดภาวะเสี่ยงต่อการเป็นโรคหัวใจ เพิ่มความสามารถในการมองเห็นและชะลอความเสื่อมของดวงตา (ณัฐนิและคณะ, 2559) ทำให้ในปัจจุบันเกิดการพัฒนาผลิตภัณฑ์ภายใต้ห่วงโซ่คุณค่าของข้าวโพดอย่างต่อเนื่อง และจากการวิเคราะห์ประเด็นปัญหาการผลิต พบว่าเทคโนโลยีการผลิตไม่เหมาะสมกับสภาพพื้นที่ประกอบปัญหาการเปลี่ยนแปลงของสภาพภูมิอากาศ การระบาดของ

ของศัตรูพืชที่สำคัญ ส่งผลให้ต้นทุนการผลิตสูง ผลผลิตต่ำ คุณภาพผลผลิตไม่ได้มาตรฐาน (อุดมและคณะ, 2565) จึงจำเป็นต้องวิจัยเทคโนโลยีในการเพิ่มผลผลิตต่อไร่ให้สูงขึ้น โดยใช้ปัจจัยการผลิตอย่างมีประสิทธิภาพ เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม เพื่อให้ผลผลิตเพียงพอต่อความต้องการและคุณภาพผลผลิตสูง

กรมวิชาการเกษตรได้ทำการวิจัยและพัฒนาปุ๋ยชีวภาพแบคทีเรียส่งเสริมการเจริญเติบโตของพืช หรือ ปุ๋ยชีวภาพฟิซีฟิอาร์ ซึ่งเป็นปุ๋ยชีวภาพที่ประกอบด้วยแบคทีเรียที่อาศัยอยู่บริเวณรากพืช ทั้งบริเวณดินรอบ ๆ ราก ผิวนอก ราก ภายในราก ต้นและใบพืช ซึ่งจุลินทรีย์เหล่านี้ก็ให้ผลที่แตกต่างกันไปขึ้นอยู่กับประสิทธิภาพของแต่ละสกุล โดยสกุลแบคทีเรียที่นิยมใช้กับข้าวโพด ได้แก่ *Azospirillum* เช่นเดียวกับรายงานของ Hungria et al. (2010) ที่กล่าวว่า การใส่เชื้อจุลินทรีย์ *Azospirillum brasilense* ก่อนการปลูกสามารถช่วยเพิ่มผลผลิตข้าวโพดได้ 24-30 เปอร์เซ็นต์ เมื่อเปรียบเทียบกับที่ไม่ใส่เชื้อจุลินทรีย์ อย่างไรก็ตาม การเลือกสายพันธุ์จุลินทรีย์ที่เหมาะสมกับชนิดพืชมากที่สุดก็จะช่วยส่งผลให้พืชมีการเจริญเติบโตที่ดีและให้ผลผลิตเพิ่มขึ้น รวมถึงช่วยลดปริมาณการใช้ปุ๋ยเคมีในการผลิตพืช นอกจากนี้ประสิทธิภาพของปุ๋ยชีวภาพนั้นขึ้นอยู่กับปัจจัยต่าง ๆ ดังนี้ สกุลและสายพันธุ์แบคทีเรีย ชนิดของพืช สมบัติของดิน ประชากรจุลินทรีย์ที่ออกฤทธิ์ และเงื่อนไขทางสภาพแวดล้อม (Bashan and Levany, 1988) อนึ่งการวิจัยที่ผ่านมาเป็นการใช้ปุ๋ยชีวภาพฟิซีฟิอาร์-วันในการปลูกข้าวโพดหวานและข้าวโพดเลี้ยงสัตว์พันธุ์การค้าและพันธุ์ที่กรมวิชาการเกษตรพัฒนาขึ้นมา ซึ่งยังประสบปัญหาจากด้านอื่น ๆ เช่น ความอุดมสมบูรณ์ของดิน พันธุ์ข้าวโพดที่ใช้ รวมถึงการจัดการดินและน้ำ ซึ่งทำให้ผลผลิตที่ได้รับจากการใช้ปุ๋ยชีวภาพฟิซีฟิอาร์-วัน แตกต่างกันไป และยังไม่มีการศึกษาการใช้ประโยชน์ในการผลิตข้าวโพดข้าวเหนียว เพื่อรองรับความต้องการของเกษตรกรในการลดต้นทุนการผลิตจึงเริ่มดำเนินการวิจัยในข้าวโพดข้าวเหนียว

ข้าวโพดข้าวเหนียวพันธุ์ CNW18109 เป็นข้าวโพดข้าวเหนียวลูกผสมของกรมวิชาการเกษตร ความสูงต้นและความสูงฝัก 169 และ 100-87 เซนติเมตร อายุวันออกดอกตัวผู้ 42 วัน อายุวันออกไหม 44 วัน อายุวันเก็บเกี่ยว 64 วัน ให้ผลผลิตฝักทั้งเปลือก 2,052 กิโลกรัมต่อไร่ ผลผลิตฝักเปลือก 1,315 กิโลกรัมต่อไร่ ฝักเปลือกเปลือกมีความยาว 17.0 เซนติเมตร ฝักกว้าง 4.4 เซนติเมตร ลักษณะเด่น เนื้อเหนียวนุ่ม รสชาติฝักดี เมล็ดสีขาวปนม่วง พื้นที่แนะนำ สามารถปลูกได้ทั่วไปในพื้นที่ที่เหมาะสมที่เป็นแหล่งปลูกข้าวโพดข้าวเหนียว เช่น จังหวัดชัยนาท สุพรรณบุรี กาญจนบุรี และสงขลา ข้อจำกัด เป็นพันธุ์ที่ไม่ต้านทานต่อโรคราน้ำค้าง และโรคใบไหม้ แผลใหญ่ (ศูนย์วิจัยพืชไร่ชัยนาท, 2564) การทดลองนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตและลดต้นทุนการผลิตข้าวโพดข้าวเหนียวพันธุ์ CNW18109 ในสภาพพื้นที่เกษตรกร โดยใช้ปุ๋ยชีวภาพฟิซีฟิอาร์-วัน 2 แบบ ที่มีชนิดแบคทีเรียและวัสดุพาที่ใช้วิธีปลดเชื้อแตกต่างกันร่วมกับการใส่ปุ๋ยเคมี 75-100 เปอร์เซ็นต์ ของอัตราแนะนำตามค่าวิเคราะห์ดิน เพื่อนำผลที่ได้ไปใช้ในการพัฒนาคำแนะนำการใช้ประโยชน์และพัฒนาผลิตภัณฑ์ปุ๋ยชีวภาพฟิซีฟิอาร์-วัน ต่อไปในอนาคต

อุปกรณ์และวิธีการ

อุปกรณ์

1. เมล็ดข้าวโพดข้าวเหนียวพันธุ์ CNW18109
2. ปุ๋ยเคมี 46-0-0 18-46-0 และ 0-0-60
3. ปุ๋ยชีวภาพฟิซีฟิอาร์-วัน
4. อุปกรณ์สำหรับเก็บตัวอย่างพืชและผลผลิต เช่น ถังกระดาษ ถังตาข่าย เป็นต้น

วิธีการ

1. เก็บตัวอย่างดินก่อนการทดลองที่ระดับความลึก 0-20 เซนติเมตรเพื่อวิเคราะห์สมบัติทางเคมีบางประการ ได้แก่ ความเป็นกรด-ด่าง (Peech, 1965) ปริมาณอินทรีย์วัตถุ (Walkley and Black, 1934) ปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ (Bray and Kurtz, 1945) และปริมาณโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ (Thomas, 1982) เพื่อคำนวณปุ๋ยเคมีอัตราแนะนำตามค่าวิเคราะห์ดิน (กองวิจัยพัฒนาปัจจัยการผลิตทางการเกษตร, 2564)

2. ดำเนินการทดลองในพื้นที่ดินร่วนปนเหนียวที่แปลงเกษตรกร จังหวัดชัยนาท ขนาดแปลงทดลองย่อย ขนาด 6.0×5.0 เมตร ระยะปลูก 0.80×0.25 เมตร แปลงละ 7 แถว แถวละ 20 หลุม หลุมละ 1 ต้น ปลูกข้าวโพดข้าวเหนียวพันธุ์ชัยนาท 2 ใส่ปุ๋ยชีวภาพฟิสิกซ์อาร์และปุ๋ยเคมีตามกรรมวิธีที่กำหนด ดูแลรักษาและกำจัดวัชพืชตามคำแนะนำของกรมวิชาการเกษตร โดยเตรียมแปลงปลูก วางระบบน้ำ ดำเนินการปลูกและใส่ปุ๋ยรองพื้น เมื่อวันที่ 27 ธันวาคม 2566 ถอนแยกให้เหลือ 1 ต้นต่อหลุม วันที่ 5 มกราคม 2567 และใส่ปุ๋ยแต่งหน้า เมื่อวันที่ 16 มกราคม 2567 และทำการเก็บเกี่ยวผลผลิต เมื่อวันที่ 28 กุมภาพันธ์ 2567 โดยใช้พื้นที่เก็บเกี่ยว 2.00×3.00 เมตร

3. บันทึกข้อมูลการเจริญเติบโตและผลผลิต เมื่ออายุ 62-64 วัน และหลังการเก็บเกี่ยวเก็บตัวอย่างดินเพื่อนับปริมาณฟิสิกซ์อาร์รอบ ๆ รากพร้อมวัดอัตราการตรึงไนโตรเจน (Acetylene Reduction Assay : ARA) ตามวิธีของ Hardy et al., (1968)

4. วิเคราะห์ค่าความแปรปรวนทางสถิติ (analysis of variance) และค่าทางสถิติอื่น ๆ สำหรับการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ย โดยวิธี Duncan's New Multiple's Range Test (DMRT) โดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูปทางสถิติ และคำนวณผลตอบแทนทางเศรษฐกิจจากอัตราส่วนระหว่างรายได้จากผลผลิตที่เพิ่มขึ้นจากการใส่ปุ๋ย (Value to Cost Ratio, VCR) ดังนี้

$$VCR = \frac{\text{รายได้ที่เพิ่มขึ้นจากการใส่ปุ๋ย}}{\text{รายจ่ายจากการใส่ปุ๋ย}}$$

*ถ้าค่า VCR ต่ำกว่า 2.0 การใส่ปุ๋ยจะไม่สามารถสร้างผลตอบแทนที่ทำให้กำไรให้แก่เกษตรกร

วางแผนการทดลองแบบ Randomized Complete Block จำนวน 4 ซ้ำ 5 กรรมวิธี

1. ใส่ปุ๋ย 20-8-20 กิโลกรัม $N-P_2O_5-K_2O$ ต่อไร่ (อัตราแนะนำตามค่าวิเคราะห์ดิน)
2. ใส่ปุ๋ยชีวภาพฟิสิกซ์อาร์-วัน แบบที่ 1 ร่วมกับปุ๋ย 20-8-20 กิโลกรัม $N-P_2O_5-K_2O$ ต่อไร่
3. ใส่ปุ๋ยชีวภาพฟิสิกซ์อาร์-วัน แบบที่ 2 ร่วมกับปุ๋ย 20-8-20 กิโลกรัม $N-P_2O_5-K_2O$ ต่อไร่
4. ใส่ปุ๋ยชีวภาพฟิสิกซ์อาร์-วัน แบบที่ 1 ร่วมกับปุ๋ย 15-6-15 กิโลกรัม $N-P_2O_5-K_2O$ ต่อไร่
5. ใส่ปุ๋ยชีวภาพฟิสิกซ์อาร์-วัน แบบที่ 2 ร่วมกับปุ๋ย 15-6-15 กิโลกรัม $N-P_2O_5-K_2O$ ต่อไร่

หมายเหตุ – ปุ๋ยชีวภาพฟิสิกซ์อาร์-วัน แบบที่ 1 หมายถึง ปุ๋ยชีวภาพฟิสิกซ์อาร์ที่ใช้วัสดุพาแบบนิ่งฆ่าเชื้อประกอบด้วยจุลินทรีย์ 3 กลุ่ม ได้แก่ *Azospirillum* sp. *Azotobacter* sp. และ *Beijerinckia* sp. โดย *Azospirillum* sp. ที่ใช้เป็นไอโซเลทที่แยกได้จากดินบริเวณรอบ ๆ รากหญ้าแฝก (Vetiver grass) (Meanchang et al., 2004) และมีปริมาณ *Azospirillum* sp. 5.13×10^{10} โคโลนี ต่อ 1 กรัมปุ๋ยชีวภาพ *Azotobacter* sp. 1.15×10^{10} โคโลนี ต่อ 1 กรัมปุ๋ยชีวภาพ และ *Beijerinckia* sp. 2.53×10^8 โคโลนี ต่อ 1 กรัมปุ๋ยชีวภาพ

- ปุ๋ยชีวภาพฟิสิกซ์อาร์-วัน แบบที่ 2 หมายถึง ปุ๋ยชีวภาพฟิสิกซ์อาร์ที่ใช้วัสดุพาแบบฉายรังสีประกอบด้วยจุลินทรีย์ 3 กลุ่ม ได้แก่ *Azospirillum* sp. *Azotobacter* sp. และ *Beijerinckia* sp. โดย *Azospirillum* sp. ที่ใช้เป็นไอโซเลทที่แยกได้จากรากข้าวโพดหวานพันธุ์ไฮบริดส์ 3 (*Zea mays saccharata*) (Prongjunthuek et al., 2019) และมีปริมาณ *Azospirillum* sp. 7.10×10^{10} โคโลนี ต่อ 1 กรัมปุ๋ยชีวภาพ *Azotobacter* sp. 1.53×10^{10} โคโลนี ต่อ 1 กรัมปุ๋ยชีวภาพ และ *Beijerinckia* sp. 2.30×10^6 โคโลนี ต่อ 1 กรัมปุ๋ยชีวภาพ

- การใส่ปุ๋ย ปุ๋ยเคมีทำการแบ่งใส่ 2 ครั้ง คือ ครั้งที่ 1 ใส่รองพื้นพร้อมปลูกอัตรา 50%N-100%P-100%K ของกรรมวิธีต่าง ๆ และครั้งที่ 2 ใส่ปุ๋ยยูเรียเป็นปุ๋ยแต่งหน้าเมื่อข้าวโพดอายุ 21 วันหลังปลูก อัตรา 50%N ของกรรมวิธีต่าง ๆ โดยโรยข้างแถวแล้วพูนโคนและกำจัดวัชพืช ส่วนปุ๋ยชีวภาพฟิซีฟาร์-วัน ทั้ง 2 แบบ ใช้คลุกเมล็ดพร้อมปลูก อัตราส่วนปุ๋ยชีวภาพฟิซีฟาร์-วัน 500 กรัม ต่อเมล็ดข้าวโพด 3 กิโลกรัมต่อไร่

ระยะเวลา เริ่มต้น เดือนตุลาคม 2566 สิ้นสุด กันยายน 2567

สถานที่ดำเนินการ กลุ่มวิจัยปฐพีวิทยา กองวิจัยพัฒนาปัจจัยการผลิตทางการเกษตร และไร่เกษตรกร จังหวัดชัยนาท พิกัดแปลง 47P X= 629745 Y= 1673120

ผลการทดลองและวิจารณ์

1. ความอุดมสมบูรณ์ของดิน (Soil fertility)

ได้ทำการเก็บตัวอย่างดินที่ระดับความลึก 0-20 เซนติเมตร และนับปริมาณจุลินทรีย์ในดินก่อนปลูก จาก Table 1 พบว่า ดินในแปลงเกษตรกรมีความอุดมสมบูรณ์ปานกลาง (กองสำรวจดิน, 2523 และ เอิบ, 2548) โดยมีปริมาณอินทรีย์วัตถุ 1.79 เปอร์เซ็นต์ ความเป็นกรด-ด่าง 5.78 ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ 11.31 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม โพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ 54.95 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม สามารถคำนวณปุ๋ยเคมีอัตราแนะนำตามค่าวิเคราะห์ดินได้ 20-8-20 กิโลกรัม N-P₂O₅-K₂O ต่อไร่ ดังแสดงใน Table 1

Table 1 Soil analysis, chemical fertilizer recommendation rate and number of PGPR in soil of farmer plot in Chai Nat province

OM ¹	Available P ²	Exchangeable K ³	pH ⁴	Chemical fertilizer recommendation rate	Number of PGPR in soil (Log ₁₀ CFU/g)		
(%)	(mg/kg)	(mg/kg)	(1:1)	(kg N-P ₂ O ₅ -K ₂ O/rai)	<i>Azospirillum</i> sp.	<i>Azotobacter</i> sp.	<i>Beijerinckia</i> sp.
1.79	11.31	54.95	5.78	20-8-20	5.38	6.78	4.78

¹Walkley and Black (1934)

²Bray and Kurtz (1945)

³Thomas (1982)

⁴Peech (1965)

2. ความสูงวันเก็บเกี่ยว (Height at harvest)

ด้านความสูง พบว่า ทุกกรรมวิธีทดลองข้าวโพดข้าวเหนียวพันธุ์ CNW18109 มีความสูงวันเก็บเกี่ยวไม่แตกต่างกันทางสถิติ โดยกรรมวิธีที่มีความสูงวันเก็บเกี่ยวสูงที่สุด คือ กรรมวิธีที่ 2 ใส่ปุ๋ยชีวภาพฟิซีฟาร์-วัน แบบที่ 1 ร่วมกับปุ๋ยเคมี 20-8-20 กิโลกรัม N-P₂O₅-K₂O ต่อไร่ มีความสูงวันเก็บเกี่ยว 173.2 เซนติเมตร รองลงมา คือ กรรมวิธีที่ 3 ใส่ปุ๋ยชีวภาพฟิซีฟาร์-วัน แบบที่ 2 ร่วมกับปุ๋ยเคมี 20-8-20 กิโลกรัม N-P₂O₅-K₂O ต่อไร่ มีความสูงวันเก็บเกี่ยว 171.4 เซนติเมตร (Table 2) นอกจากนี้ยังพบว่า 2 กรรมวิธีข้างต้น ข้าวโพดข้าวเหนียวพันธุ์ CNW18109 มีความสูงวันเก็บเกี่ยวไม่แตกต่างกันทางสถิติ กับกรรมวิธีที่ 1 ใส่ปุ๋ยเคมี 20-8-20 กิโลกรัม N-P₂O₅-K₂O ต่อไร่ (อัตราแนะนำ) ที่มีความสูงวันเก็บเกี่ยว 170.5 เซนติเมตร ซึ่งให้เห็นว่าการใส่ปุ๋ยเคมีร่วมกับปุ๋ยชีวภาพฟิซีฟาร์-วัน ทั้งสองแบบ ทำให้ข้าวโพดข้าวเหนียวพันธุ์ CNW18109 มีความสูงไม่แตกต่างกัน (Table 2)

3. ผลผลิต (Un-husked ear and husked ear yields)

ผลผลิตของข้าวโพดข้าวเหนียวพันธุ์ CNW18109 ที่ปลูก ณ แปลงเกษตรกร จังหวัดชัยนาท พบว่าทุกกรรมวิธีทดลองน้ำหนักฝักสดรวมเปลือก (un-husked ear yields) และน้ำหนักฝักสดปอกเปลือก (husked ear yields) ไม่แตกต่างกันทางสถิติ โดยกรรมวิธีที่ 4 ใส่ปุ๋ยชีวภาพฟิซีฟิอาร์-วัน แบบที่ 1 ร่วมกับปุ๋ยเคมี 15-6-15 กิโลกรัม $N-P_2O_5-K_2O$ ต่อไร่ มีน้ำหนักฝักสดรวมเปลือกสูงสุด คือ 1,475 กิโลกรัมต่อไร่ (Table 2) รองลงมาคือ กรรมวิธีที่ 1 ใส่ปุ๋ยเคมี 20-8-20 กิโลกรัม $N-P_2O_5-K_2O$ ต่อไร่ เพียงอย่างเดียว คือ 1,453 กิโลกรัมต่อไร่ แต่มีน้ำหนักฝักสดปอกเปลือกสูงสุด คือ 1,125 กิโลกรัมต่อไร่ รองลงมา คือ กรรมวิธีที่ 2 ใส่ปุ๋ยชีวภาพฟิซีฟิอาร์-วัน แบบที่ 1 ร่วมกับปุ๋ยเคมี 20-8-20 กิโลกรัม $N-P_2O_5-K_2O$ ต่อไร่ มีน้ำหนักฝักสดปอกเปลือก คือ 1,093 กิโลกรัมต่อไร่ จากผลการทดลองดังกล่าวพบว่า กรรมวิธีที่ 1 และ 2 ใส่ปุ๋ยเคมีอัตราเดียวกันแสดงให้เห็นว่า ปุ๋ยชีวภาพฟิซีฟิอาร์-วัน แบบที่ 1 มีแนวโน้มช่วยเพิ่มผลผลิตได้ นอกจากนี้ยังพบว่า กรรมวิธีที่ 2 ใส่ปุ๋ยชีวภาพฟิซีฟิอาร์-วัน แบบที่ 1 ร่วมกับปุ๋ยเคมี 20-8-20 กิโลกรัม $N-P_2O_5-K_2O$ ต่อไร่ และกรรมวิธีที่ 4 ใส่ปุ๋ยชีวภาพฟิซีฟิอาร์-วัน แบบที่ 1 ร่วมกับปุ๋ยเคมี 15-6-15 กิโลกรัม $N-P_2O_5-K_2O$ ต่อไร่ ซึ่งใช้ปุ๋ยชีวภาพฟิซีฟิอาร์-วัน แบบเดียว ข้าวโพดข้าวเหนียวพันธุ์ CNW18109 มีน้ำหนักฝักสดรวมเปลือกและน้ำหนักฝักสดปอกเปลือกไม่แตกต่างกันทางสถิติ (Table 2) ผลการทดลองข้างต้นสอดคล้องกับรายงานของ กัลยกรและคณะ (2560) ที่รายงานว่า ปุ๋ยชีวภาพฟิซีฟิอาร์-วันสามารถช่วยลดการใช้ปุ๋ยเคมีลงได้ 25 เปอร์เซ็นต์ โดยที่ผลผลิตของข้าวโพดหวานไม่แตกต่างกันทางสถิติกับกรรมวิธีที่ใส่ปุ๋ยเคมีอัตราแนะนำตามค่าวิเคราะห์ดินเพียงอย่างเดียวหรือใช้ร่วมกับปุ๋ยชีวภาพฟิซีฟิอาร์-วัน

4. ความกว้างฝักและความยาวฝักปอกเปลือก (Width of ear and length of ear without husk)

ด้านความกว้างฝักและความยาวฝักปอกเปลือกของข้าวโพดข้าวเหนียวพันธุ์ CNW18109 พบว่าทุกกรรมวิธีทดลองไม่แตกต่างกันทางสถิติ โดยกรรมวิธีที่ 4 ใส่ปุ๋ยชีวภาพฟิซีฟิอาร์-วัน แบบที่ 1 ร่วมกับปุ๋ยเคมี 15-6-15 กิโลกรัม $N-P_2O_5-K_2O$ ต่อไร่ มีความกว้างฝักปอกเปลือกสูงสุด คือ 4.75 เซนติเมตร ซึ่งสูงกว่าค่าเฉลี่ยของพันธุ์ ซึ่งให้เห็นว่าปุ๋ยชีวภาพฟิซีฟิอาร์-วันสามารถช่วยเพิ่มคุณภาพผลผลิตได้ รองลงมา คือ กรรมวิธีที่ 5 ใส่ปุ๋ยชีวภาพฟิซีฟิอาร์-วัน แบบที่ 2 ร่วมกับปุ๋ยเคมี 15-6-15 กิโลกรัม $N-P_2O_5-K_2O$ ต่อไร่ มีความกว้างฝักปอกเปลือก 4.66 เซนติเมตร ส่วนความยาวฝักปอกเปลือกของข้าวโพดข้าวเหนียวพันธุ์ CNW18109 พบว่า ทุกกรรมวิธีทดลองมีความยาวฝักปอกเปลือกต่ำกว่าค่าเฉลี่ยของพันธุ์ โดยกรรมวิธีที่ 3 ใส่ปุ๋ยชีวภาพฟิซีฟิอาร์-วัน แบบที่ 2 ร่วมกับปุ๋ยเคมี 20-8-20 กิโลกรัม $N-P_2O_5-K_2O$ ต่อไร่ และกรรมวิธีที่ 5 ใส่ปุ๋ยชีวภาพฟิซีฟิอาร์-วัน แบบที่ 2 ร่วมกับปุ๋ยเคมี 15-6-15 กิโลกรัม $N-P_2O_5-K_2O$ ต่อไร่ มีความยาวฝักปอกเปลือกสูงสุด คือ 16.50 เซนติเมตร รองลงมา คือ กรรมวิธีที่ 4 ใส่ปุ๋ยชีวภาพฟิซีฟิอาร์-วัน แบบที่ 1 ร่วมกับปุ๋ยเคมี 15-6-15 กิโลกรัม $N-P_2O_5-K_2O$ ต่อไร่ มีความยาวฝักปอกเปลือก 16.40 เซนติเมตร (Table 2) จากผลการทดลองที่กล่าวมา พบว่า ในการปลูกข้าวโพดข้าวเหนียวพันธุ์ CNW18109 ในแปลงเกษตรกรจังหวัดชัยนาท การใส่ปุ๋ยชีวภาพฟิซีฟิอาร์-วัน ร่วมกับการใส่ปุ๋ยเคมี 75 เปอร์เซ็นต์ของอัตราแนะนำ ข้าวโพดข้าวเหนียวพันธุ์ CNW18109 มีความยาวฝักปอกเปลือกไม่แตกต่างกับกรรมวิธีที่ใส่ปุ๋ยเคมีอัตราแนะนำเพียงอย่างเดียว แสดงให้เห็นว่า เกษตรกรสามารถลดปริมาณการใช้ปุ๋ยเคมีลงได้เมื่อใช้ร่วมกับปุ๋ยชีวภาพฟิซีฟิอาร์-วัน

5. ความหวาน (Sweetness)

ด้านความหวาน พบว่า ทุกกรรมวิธีทดลองข้าวโพดข้าวเหนียวพันธุ์ CNW18109 ทุกกรรมวิธีทดลองมีความหวานไม่แตกต่างกันทางสถิติ โดยกรรมวิธีที่ 5 ใส่ปุ๋ยชีวภาพฟิซีฟิอาร์-วัน แบบที่ 2 ร่วมกับใส่ปุ๋ยเคมีอัตรา 15-6-15 กิโลกรัม N-P₂O₅-K₂O ต่อไร่ มีค่าความหวานสูงสุด คือ 13.98 องศาบริกซ์ รองลงมา คือ กรรมวิธีที่ 2 ใส่ปุ๋ยชีวภาพฟิซีฟิอาร์-วัน แบบที่ 1 ร่วมกับปุ๋ยเคมี 20-8-20 กิโลกรัม N-P₂O₅-K₂O ต่อไร่ และกรรมวิธีที่ 3 ใส่ปุ๋ยชีวภาพฟิซีฟิอาร์-วัน แบบที่ 2 ร่วมกับปุ๋ยเคมี 20-8-20 กิโลกรัม N-P₂O₅-K₂O ต่อไร่ มีค่าความหวาน 13.38 และ 12.98 องศาบริกซ์ ตามลำดับ จากผลการทดลองข้างต้น กรรมวิธีที่ 2 และ 3 ใช้ปุ๋ยเคมีอัตราเดียวกัน และกรรมวิธีที่ 3 และ 5 ใส่ปุ๋ยชีวภาพฟิซีฟิอาร์-วัน แบบเดียวกัน ชี้ให้เห็นว่า เมื่อใส่ปุ๋ยชีวภาพฟิซีฟิอาร์-วัน ร่วมกับปุ๋ยเคมี 75 เปอร์เซ็นต์ของอัตราแนะนำตามค่าวิเคราะห์ดิน ทำให้ข้าวโพดข้าวเหนียวพันธุ์ CNW18109 มีความหวานใกล้เคียงกับการใส่ปุ๋ยเคมีอัตราแนะนำ (Table 2) และเมื่อเปรียบเทียบกับมาตรฐาน มกษ.1512-2554 ที่ได้กำหนดนิยามของ ข้าวโพดหวาน ว่า หมายถึง ข้าวโพดที่มีความหวาน โดยมีปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายน้ำได้ไม่น้อยกว่า 9 องศาบริกซ์ (° brix) ในลักษณะทั้งฝักที่มีหรือไม่มีเปลือกหุ้มเมล็ดติดกับซัง (สำนักมาตรฐานสินค้าเกษตรและอาหารแห่งชาติ, 2554) จากผลการทดลองข้างต้น พบว่า ทุกกรรมวิธีทดลองข้าวโพดข้าวเหนียวพันธุ์ CNW18109 มีความหวานอยู่ในเกณฑ์มาตรฐาน มกษ.1512-2554 ดังแสดงใน Table 2

Table 2 Height at harvest, unhusked ear yield, husked ear yield, width of ear without husk, length of ear without husk and sweetness of waxy corn variety CNW18109 of farmer plot in Chai Nat province

Treatments	Height at harvest	Unhusked ear yield	Husked ear yield	Width of ear without husk	Length of ear without husk	Sweetness
	(cm)	← (kg/rai) →		← (cm) →		(°brix)
1	170.5	1,453	1,125	4.61	16.2	12.98
2	173.2	1,407	1,093	4.61	16.2	13.38
3	171.4	1,375	1,031	4.61	16.5	12.98
4	165.1	1,475	1,069	4.75	16.4	12.68
5	168.3	1,350	1,007	4.66	16.5	13.98
C.V. (%)	3.25	8.82	11.58	5.01	3.38	14.42
Significant	ns	ns	ns	ns	ns	ns

Remarks: ns = nonsignificant

6. ผลตอบแทนทางเศรษฐกิจ (Value to Cost Ratio)

การคำนวณผลตอบแทนทางเศรษฐกิจ (Value to Cost Ratio, VCR) โดยหาอัตราส่วนระหว่างรายได้จากผลผลิตที่เพิ่มขึ้นจากการใส่ปุ๋ยต่อรายจ่ายจากการใส่ปุ๋ยนั้น ในการทดลองนี้เทียบจากการกรรมวิธีที่ 1 ใส่ปุ๋ย 20-8-20 กิโลกรัม N-P₂O₅-K₂O ต่อไร่ (อัตราแนะนำตามค่าวิเคราะห์ดิน) พบว่า กรรมวิธีที่ 4 ใส่ปุ๋ยชีวภาพฟิซีฟิอาร์-วัน แบบที่ 1 ร่วมกับปุ๋ยเคมี 15-6-15 กิโลกรัม N-P₂O₅-K₂O ต่อไร่ มีค่า VCR เท่ากับ 0.30 ส่วนกรรมวิธีที่ 2, 3 และ 5 มีค่า VCR ตีลบ ซึ่งต่ำกว่าระดับ 2.00 ซึ่งให้เห็นว่า การใส่ปุ๋ยชีวภาพฟิซีฟิอาร์-วัน เพิ่มในการผลิตข้าวโพดข้าวเหนียวพันธุ์ CNW18109 แม้จะลดปริมาณปุ๋ยเคมีลง 25 เปอร์เซ็นต์ ไม่ทำให้เกษตรกรได้รับผลตอบแทนเพิ่มขึ้น (Table 3)

Table 3 Value to Cost Ratio of waxy corn variety CNW18109 production with combination between PGPR-I biofertilizer and chemical fertilizer at farmer plot in Chai Nat province

Treatments	Unhusked ear yield (kg/rai)	Increase yield (kg/rai)	Fertilizer cost (baht) ¹	Increase income (baht) ²	VCR ³
1	1,453	0	1,787	0	0
2	1,407	- 46	1,857	- 920	- 0.50
3	1,375	- 78	1,857	- 1,560	- 0.84
4	1,475	22	1,475	440	0.30
5	1,350	- 103	1,475	- 2,060	- 1.40

¹ Chemical fertilizer price: 18-46-0 = 18 baht/kg, 46-0-0 = 22 baht/kg, 0-0-60 = 20 baht/kg and PGPR-I = 70 baht/bag (1 bag/rai)

² Waxy corn price = 20,000 baht/ton

³ (Value to Cost Ratio, VCR) VCR = (increase income from fertilizer /fertilizer cost), a VCR lower than 2.00, fertilizing will not be able to generate a profitable return to the farmers

7. ปริมาณฟิซีฟิอาร์และปริมาณการตรึงไนโตรเจน (Number of PGPR in soil and Nitrogen fixation of PGPR from root area)

ก่อนดำเนินการทดลอง ได้ทำการสุ่มเก็บตัวอย่างดินเพื่อนับจำนวนประชากรแบคทีเรียทั้ง 3 ชนิด โดยในแปลงทดลองมีจำนวนประชากร *Azospirillum* sp. 5.38 Log₁₀ CFU/g *Azotobacter* sp. 6.78 Log₁₀ CFU/g และ *Beijerinckia* sp. 4.78 Log₁₀ CFU/g และหลังการทดลอง พบว่า เกือบทุกกรรมวิธีทดลองที่ใช้ปุ๋ยชีวภาพฟิซีฟิอาร์ทำให้จำนวนประชากร *Azospirillum* sp. *Azotobacter* sp. และ *Beijerinckia* sp. ในดินเพิ่มขึ้น ดังแสดงใน Table 1 และ Figure 1 ซึ่งโดยทั่วไปหลังการใส่ปุ๋ยชีวภาพปริมาณประชากรแบคทีเรียจะลดอย่างรวดเร็ว ทั้งนี้เนื่องจากความไม่สม่ำเสมอของสภาพแวดล้อมซึ่งไม่สามารถควบคุมได้ จึงมักพบว่าผลการทดลองในสภาพปลอดเชื้อกับในธรรมชาติมีความแตกต่างกันมาก (Bashan and Levany, 1990; สมปองและศุภมาศ, 2551; Meunchang et al., 2006a; Meunchang et al., 2006b) และเมื่อวัดการตรึงไนโตรเจน พบว่าแบคทีเรียทั้งสามสกุลสามารถส่งเสริมให้มีการตรึงไนโตรเจนในราก โดยมีการตรึงไนโตรเจนอยู่ระหว่าง 0.194–0.551 μmol C₂H₂ hr⁻¹ (Figure 2)

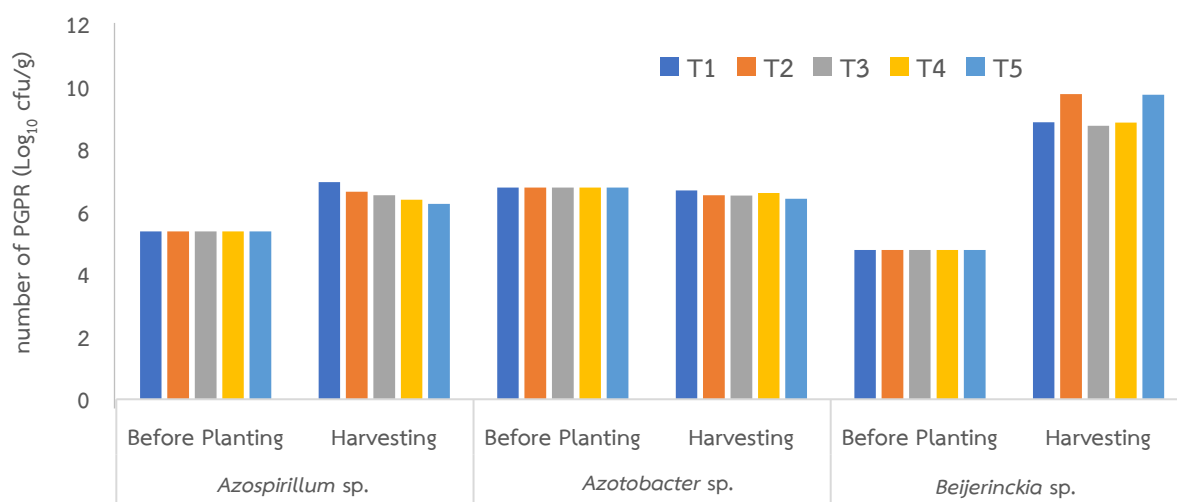


Figure 1 Number of PGPR in soil before planting and harvesting of waxy corn variety CNW18109 at farmer plot in Chai Nat province

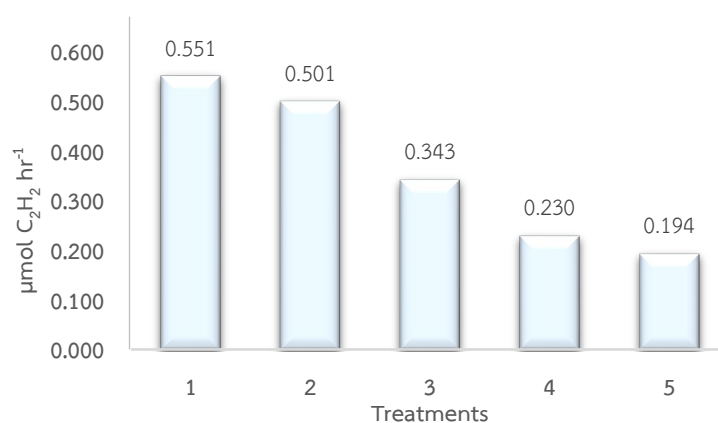


Figure 2 Nitrogen fixation of PGPR from root area of waxy corn variety CNW18109 at farmer plot in Chai Nat province

สรุปผลการทดลอง

การใช้ปุ๋ยเคมีร่วมกับปุ๋ยชีวภาพฟิซีฟิอาร์-วัน ในการปลูกข้าวโพดข้าวเหนียวพันธุ์ CNW18109 ในสภาพพื้นที่เกษตรกรซึ่งมีความอุดมสมบูรณ์ปานกลาง ให้ผลการทดลองที่ยังไม่ชัดเจน โดยทุกกรรมวิธีทดลองมีน้ำหนักฝักสดรวมเปลือกและน้ำหนักฝักสดปอกเปลือกไม่แตกต่างกันทางสถิติ ซึ่งข้าวโพดข้าวเหนียวพันธุ์ CNW18109 มีน้ำหนักฝักสดรวมเปลือกอยู่ระหว่าง 1,350-1,475 กิโลกรัมต่อไร่ มีน้ำหนักฝักสดปอกเปลือกอยู่ระหว่าง 1,007-1,125 กิโลกรัมต่อไร่ ซึ่งต่ำกว่าค่าเฉลี่ยของพันธุ์ที่ศูนย์วิจัยพืชไร่ชัยนาท กรมวิชาการเกษตรระบุไว้ นอกจากนี้ทุกกรรมวิธีทดลองข้าวโพดข้าวเหนียวพันธุ์ CNW18109 มีความกว้างฝักและความยาวฝักปอกเปลือกไม่แตกต่างกันทางสถิติ ส่วนการคำนวณผลตอบแทนทางเศรษฐกิจกรรมวิธีที่ 2, 3 และ 5 มีค่า VCR ติดลบ ซึ่งต่ำกว่า 2.00 ชี้ให้เห็นว่า การใส่ปุ๋ยชีวภาพฟิซีฟิอาร์-วัน เพิ่มในการผลิตข้าวโพดข้าวเหนียวพันธุ์ CNW18109 แม้จะลดปริมาณปุ๋ยเคมีลง 25 เปอร์เซ็นต์ ไม่ทำให้เกษตรกรได้รับผลตอบแทนเพิ่มขึ้น อย่างไรก็ตามควรมีการศึกษาเพิ่มเติมและต่อเนื่องในระยะยาวพร้อมทำการศึกษายอมรับของเกษตรกรควบคู่กันไปด้วย

การนำผลงานวิจัยไปใช้ประโยชน์

สามารถช่วยเกษตรกรในการลดต้นทุนการผลิตจากการใช้ปุ๋ยเคมีลดลง นอกจากนี้ยังช่วยเพิ่มรายได้ให้กับเกษตรกรและเพิ่มขีดความสามารถในการผลิตและเพิ่มความมั่นคงทางด้านอาหารในอนาคตได้อีกด้วย ในด้านประโยชน์ทางวิชาการ นักวิชาการและผู้สนใจสามารถนำงานวิจัยไปต่อยอดและใช้เป็นแนวทางในการลดต้นทุนการผลิตกับพืชชนิดอื่นหรือข้าวโพดสายพันธุ์อื่นได้

เอกสารอ้างอิง

- กัลยกร โปรงจันทร์ ภัสชญณ หมื่นแจ้ง นงลักษณ์ ปันลาย และวีระพงษ์ เย็นอ่วม. 2560. ผลการใช้ปุ๋ยชีวภาพ ฟิซิฟิอาร์-วันต่อการลดต้นทุนการผลิตข้าวโพดหวาน. หน้า 346–354. ใน: *รายงานการประชุมวิชาการดิน และปุ๋ยแห่งชาติ ครั้งที่ 5*. ณ โรงแรมเซ็นทรา บาย เซ็นทารา แจ้งวัฒนะ กรุงเทพฯ.
- กองวิจัยพัฒนาปัจจัยการผลิตทางการเกษตร. 2564. คำแนะนำการใช้ปุ๋ยตามค่าวิเคราะห์ดิน สำหรับพืชไร่ เศรษฐกิจ. กรมวิชาการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์. ISBN: 978-616-358-578-3.
- กองสำรวจดิน. 2523. คู่มือการจำแนกความเหมาะสมของที่ดินสำหรับพืชเศรษฐกิจ. เอกสารวิชาการ เล่มที่ 28. กองสำรวจดิน กรมพัฒนาที่ดิน กระทรวงเกษตรและสหกรณ์. 76 หน้า.
- ณัฐณี จุติโรจน์ปกรณ์, พิรณช จอมพุก, วิจิตร ใจอารีย์ และชูศักดิ์ จอมพุก. 2559. การปรับปรุงพันธุ์ข้าวโพด ข้าวเหนียวลูกผสมเดี่ยวสีม่วง. หน้า 22-31. ใน: *รายงานการประชุมวิชาการระดับชาติ ครั้งที่ 13 มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน*. วันที่ 8-9 ธันวาคม 2559.
- พิระวรรณ พัฒนวิภาส. 2551. เอกสารวิชาการ โรคข้าวโพดฝักสด. สำนักวิจัยการอารักขาพืช กรมวิชาการ เกษตร. 72 หน้า.
- สำนักมาตรฐานสินค้าเกษตรและอาหารแห่งชาติ. 2554. มาตรฐานสินค้าเกษตร มกษ.1512-2554: ข้าวโพดหวาน. 18 หน้า. ICS 67.080.20. กระทรวงเกษตรและสหกรณ์.
- สมปอง หมื่นแจ้ง และศุภมาส พนิชศักดิ์พัฒนา. 2551. การใช้ผลพลอยได้จากโรงงานน้ำตาลแบคทีเรีย ตรึง ไนโตรเจนและส่งเสริมการเจริญเติบโตของพืชในการผลิตพืช. *รางวัลสภาวิจัยแห่งชาติ : รางวัล วิทยานิพนธ์ ประจำปี 2550*. หน้า 250–252.
- สำนักควบคุมพืชและวัสดุทางการเกษตร. 2565. ข้อมูลการนำเข้า-ส่งออกข้าวโพดฝักสดของประเทศไทย ปี 2560-2564. กรมวิชาการเกษตร, กรุงเทพมหานคร.
- อุดม วงศ์ชัยชนะ, เพ็ญลักษณ์ ชูดี และสุภาพร สุขโต. 2565. ความสำคัญของข้าวโพดฝักสดในภาคกลางและ ภาคตะวันตก. หน้า 1-17. ใน: *เอกสารวิชาการการจัดการความรู้เรื่อง เทคโนโลยีการผลิตข้าวโพดฝักสดที่เหมาะสมในเขต พื้นที่ภาคกลางและภาคตะวันตก*. สำนักวิจัยและพัฒนาการเกษตรเขตที่ 5 กรมวิชาการ เกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์.
- เอิบ เขียวรินทร์มย์. 2548. การสำรวจดิน. ภาควิชาปฐพีวิทยา คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. 733 น.
- ศูนย์วิจัยพืชไร่ชัยนาท. 2564. ข้าวโพดข้าวเหนียวพันธุ์ชัยนาท 2. ข้าวโพดข้าวเหนียวพันธุ์ชัยนาท 2 – ศูนย์วิจัยพืชไร่ชัยนาท (doa.go.th). สืบค้นเมื่อวันที่ 8 ตุลาคม 2564
- Bashan, Y. and Levanony, H. 1988. Adsorption of the rhizosphere bacterium *Azospirillum brasilense* Cd to soil, sand and peat particles. *Journal of General Microbiology* 134: 1811-1820.
- Bashan, Y. and H. Levanony. 1990. Current status of *Azospirillum* inoculation Technology: *Azospirillum* as a challenge for agriculture. *Canadian Journal of Microbiology* 36: 591–608.
- Bray, R.H. and L.T. Kurtz. 1945. Determination of total, organic, and available forms of phosphorus in soils, *Soil Science* 59: 39–45.
- Hardy R. W. F., R. D., Holsten, E. K., Jackson and R. C. Burns. 1968. The Acetylene- Ethylene Assay for N₂ fixation: laboratory and field evaluation. *Plant Physiology* 43: 1,185–1,207.

- Hungria, M., R.J. Campo, E.M. Souza and F.O. Pedrosa. 2010. Inoculation with selected strains of *Azospirillum brasilense* and *A. lipoferum* improves yields of maize and wheat in Brazil. *Plant Soil*. 331: 413–425.
- Meunchang, S., S. Panichsakpatana and R. W. Weaver. 2006a. Tomato growth in soil amended with Sugar mill by-products compost containing N₂-fixing bacteria. *Plant and Soil*. 280: 171–176.
- Meunchang, S., S. Panichsakpatana, S. Ando, T. Yokoyama and R. W. Weaver. 2006b. Bio-organic Fertilizer production development from compost and plant growth promoting rhizobacteria. Abstract of 14th world fertilizer congress. January 21–27, 2006. Chiang Mai Thailand.
- Peech, M. 1965. Hydrogen-ion activity in *Methods of Soil Analysis Part 2*; C.A. Black, ed. pp. 914–926.
- Prongjunthuek, K., P., Meunchang and S. Panichsakpatana. 2019. Effects of *Azospirillum* on germination and seedling growth of commercial sweet corn varieties Insee 2 and Hi-Brix 3. *Songklanakarin Journal of Science and Technology*. 41(4): 838–845.
- Thomas, G.W. 1982. Exchangeable cations. In: *Methods of Soil Analysis*. (AL Page *et al*, eds) *Agronomy*. 9: 154–157 (Madison).
- Walkley, A. and I.A. Black. 1934. An examination of the Degtjareff method for determining soil organic matter and a proposed modification of the chromic acid titration method. *Soil Science*. 37: 29–38.

การศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อดัชนีความเครียดกับสมดุลน้ำในกาแฟอาราบิกา

The Study of Stress Index Factor with Water Balance of Arabica Coffee

อนุสรณ์ เทียนศิริฤกษ์¹ รัฐกร สืบคำ² พัชรินทร์ นามวงษ์¹ ฤทัยรัตน์ ห้อยสัน¹
Anusorn Tiensiroek¹ Ratgon Suebkam² Patcharin Namwong¹ Ruethairat Hoysan¹

กลุ่มวิจัยปฐพีวิทยา

กองวิจัยพัฒนาปัจจัยการผลิตทางการเกษตร

ABSTRACT

The rational of soil depletion factor with water balance of Arabica coffee was investigated for coffee water management database. Result revealed the actual Catimor coffee cultivar evapotranspiration (8-9 years) in Khun Wang experimental site on both seasonal (Mar 2022 to Feb 2023) was 1,329.9 mm comparing with H420 coffee cultivar (6-7 years) in Mae Jon Luang experimental site was 1,218.8 mm. Whereas, the second seasonal (Mar 2023 to 2024) H420 coffee cultivar more actual plant evapotranspiration than Catimor coffee cultivar were 1,012.8 and 839.8 mm respectively. For cherry fresh yield on both H420 and Catimor cultivars (Mar 2022 to Feb 2023) averaged $1,595 \pm 376$ and $1,140 \pm 660$ kg per 1 yielded rai area while the second seasonal (Mar 2023 to Feb 2024) were $2,125 \pm 626$ and $4,416 \pm 1,272$ kg per 1 yielded rai area respectively.

In the part of soil depletion factor (SD) and plant water stress coefficient both 2 seasonals (initial Mar 2022 to Feb 2023 until Mar 2023 to Feb 2024) of Khun Wang experimental site averaged 0.46 and 0.90 including with 0.51 and 0.82 under middle soil water stress level corresponding with in Mae Jon Luang experimental site averaged 0.47 and 0.88 together with 0.49 and 0.85 respectively. The dry seasonal (Nov to Apr) on both experimental sites of soil depletion factor and soil water stress coefficient were 0.40 to 0.63 and 0.62 to 1.00 under slightly to highly soil water stress levels while rain seasonal (Mar to Oct) were 0.33 to 0.55 and 0.82 to 1.12 under non to middle soil water stress levels condition respectively.

Keyword: Soil depletion factor; Soil water stress coefficient; Arabica coffee

¹ กลุ่มวิจัยปฐพีวิทยา 50 พหลโยธิน แขวงลาดยาว เขตจตุจักร กรุงเทพมหานคร 10900

¹ Soil Science Research Group, 50 Phaholyothin Road, Lat-Yao Subdistrict, Chatuchak District, Bangkok 10900, Thailand

² ศูนย์วิจัยพืชไร่ขอนแก่น 180 ถนนมิตรภาพ อำเภอเมือง จังหวัดขอนแก่น 40000

² Khon Kaen Field Crops Research Center, 180 Mittraphap Road, Mueang District, Khon Kaen Province 40000, Thailand

บทคัดย่อ

การศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อดัชนีความเครียดกับสมดุลน้ำในกาแฟอะราบิกาที่มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาเป็นข้อมูลพื้นฐานการจัดการให้น้ำแก่ต้นกาแฟ จากผลการทดลองพบว่าการคายน้ำของพืชแท้จริง (ETc) ในแปลงเกษตรหลวงขุนวางที่ปลูกกาแฟอะราบिकासายพันธุ์คาติมอร์อายุ 8-9 ปี ทั้ง 2 ช่วงฤดูกาลให้ผลผลิต (เดือนมีนาคม 2565 ถึงเดือนกุมภาพันธ์ 2566) มีค่าการคายน้ำของพืชแท้จริงรวมเท่ากับ 1,329.9 มิลลิเมตร มากกว่าแปลงเกษตรหลวงแม่จอนหลวง สายพันธุ์ H420 อายุ 6-7 ปีที่มีค่าเท่ากับ 1,218.8 มิลลิเมตร ขณะที่ในช่วง (เดือนมีนาคม 2566 ถึง กุมภาพันธ์ 2567) แปลงเกษตรหลวงแม่จอนหลวงมีค่าการคายน้ำของพืชแท้จริงรวมเท่ากับ 1,012.8 มิลลิเมตร มากกว่าแปลงเกษตรหลวงขุนวางเท่ากับ 839.8 มิลลิเมตร สำหรับน้ำหนักสดของผลกาแฟอะราบิกาของแปลงเกษตรหลวงแม่จอนหลวงในช่วงฤดูกาลปลูก (เดือนมีนาคม 2565 ถึงเดือนกุมภาพันธ์ 2566) ให้ผลผลิตมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ $1,595 \pm 376$ กิโลกรัมต่อไร่ต่อพื้นที่ให้ผลผลิตมากกว่าแปลงเกษตรหลวงขุนวางเฉลี่ยเท่ากับ $1,140 \pm 660$ ขณะที่ฤดูกาลปลูก (เดือนมีนาคม 2566 ถึง กุมภาพันธ์ 2567) พบว่าแปลงเกษตรหลวงขุนวางให้ผลผลิตเฉลี่ย $4,416 \pm 1,272$ กิโลกรัมต่อไร่ มากกว่าแปลงเกษตรหลวงแม่จอนหลวงให้ผลผลิตเฉลี่ย $2,125 \pm 626$ กิโลกรัมต่อไร่ ตามลำดับ

ขณะที่ปัจจัยการพร่องน้ำของดิน (SD) และสัมประสิทธิ์การขาดน้ำของพืช (Ks) ทั้ง 2 แปลงการทดลองมีค่าใกล้เคียงกันทั้ง 2 ฤดูกาลให้ผลผลิต (ตั้งแต่เดือนมีนาคม 2565 ถึง เดือนกุมภาพันธ์ 2566 รวมทั้งในช่วงเดือนมีนาคม 2566 ถึง กุมภาพันธ์ 2567) พบว่าแปลงเกษตรหลวงขุนวางมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.46 และ 0.90 รวมทั้ง 0.51 และ 0.82 ที่มีระดับความเครียดของน้ำในดินอยู่ในระดับปานกลาง สอดคล้องกับแปลงเกษตรหลวงแม่จอนหลวงที่มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.47 และ 0.88 รวมทั้ง 0.49 และ 0.85 ที่มีระดับความเครียดของน้ำในดินอยู่ในระดับปานกลาง ภายใต้สภาวะช่วงฤดูแล้ง (ตั้งแต่เดือนพฤศจิกายนถึงเดือนเมษายน) พืชมีปัจจัยการพร่องน้ำของดินและสัมประสิทธิ์การขาดน้ำของพืชอยู่ในช่วง 0.40 – 0.63 และ 0.62 - 1.00 ที่อยู่ในระดับเครียดเล็กน้อยถึงระดับเครียดมาก ขณะที่ในช่วงฤดูฝนตั้งแต่ (เดือนพฤษภาคมถึงเดือนตุลาคม) มีปัจจัยการพร่องน้ำของดินและสัมประสิทธิ์การขาดน้ำของพืชอยู่ในช่วง 0.33 - 0.51 และ 0.82 - 1.12 อยู่ในระดับไม่เครียดจนถึงระดับปานกลางตามลำดับ

คำสำคัญ: ปัจจัยดัชนีความเครียด; สัมประสิทธิ์การขาดน้ำของพืช; กาแฟอะราบิกา

บทนำ

กาแฟอะราบิกา (*Coffea arabica* L.) เป็นพืชเศรษฐกิจที่สำคัญชนิดหนึ่งของประเทศไทยในสำหรับปี 2566 ประเทศไทยมีผลผลิตกาแฟ 16,575 ตัน แบ่งเป็นพันธุ์อะราบิกา และโรบัสต้าร้อยละ 48.2 และ 51.8 ตามลำดับ โดยพบว่ามูลค่าการส่งออกกาแฟของไทยขยายตัวอย่างต่อเนื่องตั้งแต่ปี 2564 โดยในปี 2566 ไทยมีมูลค่าการส่งออกกาแฟ 125.89 ล้านดอลลาร์สหรัฐ ขยายตัวร้อยละ 15.59 เมื่อเทียบกับปี 2565 (108.92 ล้านดอลลาร์สหรัฐ) พื้นที่ปลูกกาแฟอะราบิกาส่วนใหญ่จะอยู่ในพื้นที่สูงของภาคเหนือ เช่น เชียงใหม่ เชียงราย และแม่ฮ่องสอน ซึ่งมีสภาพภูมิอากาศและภูมิประเทศที่เหมาะสม กาแฟอะราบิกาไม่เพียงแต่สร้างรายได้และยกระดับคุณภาพชีวิตของเกษตรกร แต่ยังมีบทบาทด้านการอนุรักษ์ทรัพยากรธรรมชาติ อย่างไรก็ตามกาแฟอะราบิกาเป็นพืชที่มีความไวต่อความเครียดจากการขาดน้ำ (water stress) ซึ่งอาจส่งผลกระทบต่อการเจริญเติบโต การติดดอกออกผล และคุณภาพของเมล็ดกาแฟ ปัญหาดังกล่าวนี้น่าจะรุนแรงมากขึ้นภายใต้สถานการณ์การเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ เพื่อให้การจัดการน้ำมีประสิทธิภาพ คือการใช้ดัชนีความเครียดที่สัมพันธ์กับสมดุลน้ำของพืช เช่น Depletion factor (p) และ Crop water stress coefficient (Ks) ซึ่งดัชนีความเครียด (Depletion factor, p และ Crop water stress coefficient, Ks) มีความสำคัญในการประเมินสมดุลน้ำในดินและความต้องการน้ำของพืช

โดย p แสดงถึงระดับการพร่องน้ำในดินที่พืชสามารถทนได้ และ K_s แสดงถึงผลกระทบของความเครียดจากน้ำต่ออัตราการระเหยและการคายน้ำของพืช ดัชนีความเครียด (Depletion factor, p) เป็นตัวเลขที่แสดงถึงระดับการพร่องน้ำในดินที่พืชยังสามารถเจริญเติบโตได้โดยไม่เกิดความเครียดจากน้ำอย่างรุนแรง ค่า p มักจะแตกต่างกันไปตามชนิดของพืชและระยะการเจริญเติบโต Crop water stress coefficient, K_s เป็นตัวเลขที่แสดงถึงผลกระทบของความเครียดจากน้ำต่ออัตราการระเหยและการคายน้ำของพืช เมื่อค่า K_s มีค่าน้อยกว่า 1 หมายความว่าความเครียดจากน้ำได้จำกัดการระเหยและการคายน้ำของพืชแล้ว ค่า K_s มีความสำคัญในการประเมินผลกระทบของความเครียดจากน้ำต่อการเจริญเติบโตของพืชและผลผลิต ส่วนความสัมพันธ์กับสมดุลน้ำ เป็นการใช้ดัชนีความเครียด (p และ K_s) ร่วมกับการวัดปริมาณน้ำฝน การให้น้ำ และการระเหยของน้ำจากดิน (evaporation) ช่วยในการสร้างสมดุลน้ำในดิน (water balance) สมดุลน้ำในดินคือการเปรียบเทียบปริมาณน้ำที่เข้ามาในระบบ (น้ำฝน, การให้น้ำ) กับปริมาณน้ำที่สูญเสียไป (การระเหยและการคายน้ำ, การซึมลงใต้ดิน) การใช้ p และ K_s ช่วยในการประมาณปริมาณน้ำที่สูญเสียไปจากพืช (การคายน้ำ) ได้อย่างแม่นยำมากขึ้น โดยเฉพาะอย่างยิ่งเมื่อพืชอยู่ในภาวะเครียดจากน้ำ ข้อมูลจากสมดุลน้ำจึงมีความสำคัญในการวางแผนการให้น้ำแก่พืชอย่างเหมาะสมเพื่อให้พืชได้รับน้ำเพียงพอต่อการเจริญเติบโตและเพิ่มผลผลิต ดังนั้นดัชนีเหล่านี้สามารถสะท้อนถึงระดับความชื้นในดินที่พืชสามารถใช้ได้และระดับความเครียดจากน้ำที่เกิดขึ้นในแต่ละช่วงการเจริญเติบโตของพืช ซึ่งเป็นประโยชน์ต่อการกำหนดเกณฑ์การให้น้ำอย่างแม่นยำ งานวิจัยนี้จึงมุ่งศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อดัชนีความเครียดและความสัมพันธ์กับสมดุลน้ำของกาแฟอะราบิกาในประเทศไทย เพื่อเป็นข้อมูลเชิงวิชาการสำหรับการพัฒนาการจัดการน้ำที่เหมาะสมและยั่งยืน

อุปกรณ์และวิธีการ

1. สถานที่และระยะทำการทดลอง

ทำการทดลองแปลงเกษตรหลวงเชียงใหม่ (ขุนวาง) ที่ปลูกกาแฟพันธุ์คาติมอร์อายุ 8-9 ปี มีระดับความสูงจากน้ำทะเล 1,450 เมตร และแปลงเกษตรหลวงเชียงใหม่ (แม่จอมหลวง) ปลูกกาแฟพันธุ์ H420 อายุ 6-7 ปี มีระดับความสูงจากระดับน้ำทะเล 1,288 เมตร ทั้ง 2 ฤดูกาลปลูก ในช่วงมีนาคม 2565 ถึงกุมภาพันธ์ 2566 และ มีนาคม 2566 ถึง กุมภาพันธ์ 2567)

2. วางแผนการทดลอง

คัดเลือกต้นกาแฟที่มีอายุการปลูก สภาพดิน และสภาพภูมิอากาศที่ใกล้เคียงกัน โดยทำการทดลองในแปลงเกษตรหลวงเชียงใหม่ (ขุนวาง) สำหรับกาแฟพันธุ์คาติมอร์อายุ 1-3 ปี จำนวน 3 ต้น โดยไม่มีการใส่ปุ๋ยการทดลอง (Non-experimental method) สำหรับแปลงเกษตรหลวงเชียงใหม่ (แม่จอมหลวง) ที่ปลูกกาแฟพันธุ์ H420 อายุ 1-3 ปี จำนวน 3 ต้น

3. วิธีการ

3.1. ใช้สังกะสีขนาดกว้าง 60 เซนติเมตร ทำการฝังสังกะสีที่ระดับความลึกดิน 50 เซนติเมตร ล้อมรอบพื้นที่ทรงพุ่มของต้นกาแฟ เนื่องจากระดับความลึกของรากที่มีประสิทธิภาพของกาแฟอะราบิกาควรมีความลึกอย่างน้อย 0-50 เซนติเมตร (Effective Roots Zone) โดยพิจารณาจากค่า $\frac{1}{2}$ ของความยาวรากสูงสุดของกาแฟอะราบิกาโดยทั่วไปควรมีความลึกของรากอย่างน้อย 1 เมตร ที่ระดับความลึกดิน (Niyibigira, 2019) ที่มีความสูงจากพื้นดิน 10 เซนติเมตร และทำการติดตั้งถังดักน้ำขนาดความจุ 200 ลิตร ฝังลงในดินให้ความสูงของปากถังดักน้ำสูงจากพื้นดิน 10 เซนติเมตร ทำการเจาะรูทางด้านข้างของถังขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 2 นิ้ว เพื่อดักน้ำไหลบ่าของดิน รวมทั้งทำการฝังกระเปาะวัดความชื้นดินทั้ง 2 จุด ที่ระดับความลึกดิน 0-60 เซนติเมตร ภายใน

บริเวณทรงพุ่มของต้นกาแฟทุกต้น เพื่อวัดความชื้นที่เปลี่ยนแปลงโดยใช้เครื่องมือ รุ่น PR2-Probe รวมทั้งจดปริมาณความสูงของน้ำในถังดักน้ำทุกๆ สัปดาห์ตามลำดับ

3.2 การเก็บปริมาณน้ำไหลบ่าของดินโดยใช้ไม้วัดความสูงของน้ำที่ดักได้ในถัง 200 ลิตร แปลงเป็นหน่วยมิลลิเมตรต่อพื้นที่ที่ครอบคลุมตามทรงพุ่มของต้นกาแฟต่อสัปดาห์ จากนั้นนำข้อมูลที่ได้มาคูณกับพื้นที่หน้าตัดของถังดักน้ำ 200 ลิตร ที่มีขนาดพื้นที่หน้าตัดเท่ากับ 0.22 ตารางเมตร ให้ผลลัพธ์ที่ได้เป็นหน่วยลิตรต่อพื้นที่ที่ครอบคลุมตามทรงพุ่มของต้นกาแฟต่อสัปดาห์ ต่อจากนั้นนำมาแปลงเป็นหน่วยความสูงของน้ำต่อพื้นที่ที่ครอบคลุมตามทรงพุ่มของต้นกาแฟต่อสัปดาห์ โดยนำผลลัพธ์ที่ได้หน่วยลิตรหารด้วยพื้นที่ที่ครอบคลุมตามทรงพุ่มของต้นกาแฟตามลำดับ ทำให้สามารถทราบปริมาณน้ำไหลบ่าผิวดิน (Runoff; RF) เป็นหน่วยมิลลิเมตรต่อพื้นที่ เพื่อเป็นพารามิเตอร์ส่วนหนึ่งนำไปคำนวณในสมการการคายน้ำของพืชแท้จริง (Actual Crop Evapotranspiration; ET_c) ดัง Equation 1

3.3 การเก็บข้อมูลสภาพภูมิอากาศโดยตรงที่ได้จากพื้นที่ทดลอง ได้แก่ อุณหภูมิสูงสุด อุณหภูมิต่ำสุด ความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ย ปริมาณน้ำฝน และความเร็วลมที่ระดับความสูงจากพื้นดิน 2 เมตร ข้อมูลความชื้นของดินที่เปลี่ยนแปลงโดยปริมาตร (Soil Moisture Change by Volume; θ_v) ในรายสัปดาห์ โดยใช้เครื่องมือ รุ่น PR2-Probe นำข้อมูลที่ได้มาคำนวณการเปลี่ยนแปลงความชื้นดิน (Soil Moisture Change ; ΔSW_{weekly}) ที่ระดับความลึกดิน 0-50 เซนติเมตร ให้มีหน่วยเป็นมิลลิเมตรต่อสัปดาห์ดัง Equation 1.4 and 1.5 เพื่อเป็นพารามิเตอร์ส่วนหนึ่งในการคำนวณการคายน้ำของพืชแท้จริง (Actual Crop Evapotranspiration; ET_c) และข้อมูลชั่วโมงแสงต่อวันที่ได้รวบรวมจากเว็บไซต์ www.accuweather.com เพื่อนำมาคำนวณปริมาณรังสีสุทธิที่ตกกระทบในพื้นที่ (Net Radiation; R_a หน่วยเมกะจูลต่อตารางเมตรต่อวัน) และการคายน้ำของพืชอ้างอิง (Reference Crop Evapotranspiration; ET_o หน่วยมิลลิเมตรต่อวัน) ดัง Equation 2 ทั้ง 2 ช่วงฤดูกาลเก็บเกี่ยวโดยใช้โปรแกรม Cropwat version 8.0 ในการประมวลผล

3.4 การคำนวณผลผลิตกาแฟ (กิโลกรัมต่อไร่หรือเฮกตาร์) ทำการเก็บเกี่ยวผลผลิตเชอร์รี่สดของกาแฟตั้งแต่ปลายเดือนมกราคมถึงปลายเดือนกุมภาพันธ์ โดยทำการชั่งน้ำหนักของผลเชอร์รี่สดต่อต้น เนื่องจากระยะปลูกกาแฟทั้งแปลงทดลองเกษตรหลวงเชียงใหม่ (ทั้งขุนวางและแม่จอมหลวง) มีระยะปลูกที่ไม่ชัดเจน ดังนั้นการคำนวณผลผลิตน้ำหนักสดของผลเชอร์รี่ต่อไร่ (คำนวณจากพื้นที่ให้ผลผลิต 1 ไร่ หารด้วยระยะปลูกกาแฟอะราบิกาที่เหมาะสม) ตามคำแนะนำของกรมวิชาการเกษตร (2562) ระยะระหว่างแถวและต้นที่เหมาะสมกับการปลูกกาแฟอะราบิกาที่คือ 2x2 เมตร เป็นจำนวน 400 ต้นต่อพื้นที่ให้ผลผลิต 1 ไร่ ตามลำดับ จากนั้นนำผลผลิตน้ำหนักเชอร์รี่สดในแต่ละต้น x จำนวน 400 ต้นต่อพื้นที่ให้ผลผลิต 1 ไร่ ทำให้ทราบผลผลิตกิโลกรัมต่อไร่ ตามลำดับ

3.5 การใส่ปุ๋ยของแปลงทดลองเกษตรหลวงเชียงใหม่ (ขุนวาง) ทั้ง 2 ฤดูกาลปลูกกาแฟพันธุ์คาติมอร์ ใส่ปุ๋ยเคมีครั้งที่ 1 สูตร 46-0-0 ร่วมกับ 15-15-15 อัตราส่วน 1:1 ปริมาณ 150 กรัมต่อต้นในเดือนพฤษภาคม ครั้งที่ 2 สูตร 13-13-21 อัตรา 200 กรัมต่อต้นในเดือนสิงหาคม และครั้งที่ 3 สูตร 0-0-60 อัตรา 200 กรัมต่อต้นในเดือนพฤศจิกายน คิดเป็นปริมาณธาตุอาหารไนโตรเจน (N) เท่ากับ 72 กรัมต่อต้น แล้วคำนวณเป็น 28.8 กิโลกรัมไนโตรเจน (N) ต่อ 400 ต้นต่อไร่ตามลำดับ ขณะที่แปลงเกษตรหลวงเชียงใหม่ (แม่จอมหลวง) มีการใส่ปุ๋ยเคมีเพียงครั้งเดียวสูตร 15-15-15 อัตรา 100 กรัมต่อต้นในเดือนกุมภาพันธ์ เป็นปริมาณธาตุอาหารไนโตรเจน (N) 15 กรัมต่อต้น แล้วคำนวณเป็น 6.0 กิโลกรัม (N) ต่อ 400 ต้นต่อไร่ตามลำดับ

4. การบันทึกข้อมูล

4.1 เก็บตัวอย่างดินไปวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพบางประการได้แก่ เนื้อดิน ความหนาแน่นรวมของดิน ค่าการนำน้ำของดิน และความเป็นประโยชน์ของน้ำในดินที่ระดับความลึกดิน 0-50 เซนติเมตร (จักรพงษ์, 2546) ดัง Table 1 and 2 นอกจากนี้ Niyibigira (2019) กล่าวว่าระดับความลึกของรากที่มีประสิทธิภาพของ

กาแพะราบิการมีความลึกอย่างน้อย 0-50 เซนติเมตร (Effective Roots Zone) โดยพิจารณาจาก ½ ของความยาวรากสูงสุดของกาแพะราบิการโดยทั่วไปควรมีความลึกของรากอย่างน้อย 1 เมตร ที่ระดับความลึกดินสอดคล้องกับ Allen et al. (1998) กล่าวว่าความยาวรากสูงสุดของกาแพะราบิการอยู่ในช่วง 0.9 ถึง 1.5 เมตร ขึ้นอยู่กับว่ามีชั้นดานของดินในการยับยั้งการเจริญเติบโตของรากกาแพะหรือไม่

การคำนวณสมดุลน้ำ การคายน้ำแท้จริงของพืชรายสัปดาห์ (Weekly Actual Crop Evapotranspiration, $ET_{c-weekly}$) โดยคำนวณการคายน้ำของกาแพะรายสัปดาห์จากสมการสมดุลน้ำดัง Equation 1 เพื่อนำผลรวมที่ได้มาคำนวณเป็นข้อมูลรายเดือน ตามลำดับ (Allen et al., 1998)

$$ET_{c-weekly} = I_{weekly} + P_{weekly} - DP_{weekly} - RF_{weekly} \pm \Delta SW_{weekly} \quad (1)$$

$$\text{โดยที่ } P_{eff} = \begin{cases} P \times (125 - (0.2 \times 3 \times P) / 125 & \text{เมื่อ } P \leq 250/3 \\ 125/3 + 0.1 \times P & \text{เมื่อ } P > 250/3 \end{cases} \quad (1.1)$$

$$(1.2)$$

$$DP_{weekly} = P_{weekly} - P_{eff-weekly} - RF_{weekly} \quad (1.3)$$

$$\Delta SW_{weekly} = \frac{\theta_{mass} (\text{after-before}) \times BD_{soil} \times SD}{BD_{water}} \quad (1.4)$$

$$\Delta SW_{weekly} = \theta_{volume} (\text{after-before}) \times SD \quad (1.5)$$

เมื่อ $ET_{c-weekly}$ = ปริมาณการคายน้ำของกาแพะ (มิลลิเมตร/สัปดาห์)

I_{weekly} = ปริมาณน้ำที่ให้ชลประทาน (Weekly Irrigation; I_{weekly} มิลลิเมตร/สัปดาห์)

P_{weekly} = ปริมาณน้ำฝน (Weekly Precipitation; P_{weekly} มิลลิเมตร/สัปดาห์)

$P_{eff-weekly}$ = ปริมาณน้ำฝนใช้การรายสัปดาห์ (Weekly Effective Precipitation, $P_{eff-weekly}$ มิลลิเมตร/สัปดาห์)

คือ ผลรวมของปริมาณน้ำฝนใช้การรายวัน (Daily Effective Precipitation; $P_{eff-daily}$ มิลลิเมตร/วัน) หมายถึง ส่วนของฝนที่ตกลงพื้นที่เพาะปลูกซึ่งพืชสามารถนำไปใช้ในการเจริญเติบโตได้ โดยฝนทั้งหมดที่ตกลงบนพื้นดินบางส่วนไม่ได้เก็บอยู่ในพื้นที่เพาะปลูก เนื่องจากการไหลล้นออกไปทางผิวดินและทางใต้ดิน (Runoff) รวมทั้งการซึมลงใต้ดินระดับที่ลึกเกินไป (Deep percolation) นอกจากนี้บางส่วนติดค้างอยู่ตามใบ กิ่ง และลำต้นพืชแล้วระเหยไป (Evaporation) ส่วนของฝนที่ตกลงมาที่เป็นประโยชน์ต่อพืชและพืชสามารถนำไปใช้ในการเจริญเติบโตได้คือฝนใช้การ โดยคำนวณปริมาณฝนทำการรายวันจากสมการ USDA Soil Conservation Service (กรมอุตุนิยมวิทยา, 2562; Xu et al., 2015) โดยใช้โปรแกรม Cropwat version 8.0 ในการประมวลผลดัง Equation 1.1 and 1.2

DP_{weekly} = ปริมาณการซาบซึมลึกของน้ำ (Deep Percolation; DP_{weekly} มิลลิเมตร/สัปดาห์)
ตั้ง Equation 1.3 (กรมอุตุฯ, 2562)

RF_{weekly} = ปริมาณการไหลบ่าของน้ำผิวดิน (Runoff; RF_{weekly} มิลลิเมตร/สัปดาห์)
ซึ่งคณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา (2544) กล่าวว่า $\pm \Delta SW_{weekly}$ = ปริมาณน้ำในดินที่เปลี่ยนแปลง (Soil Water Change; ΔSW_{weekly} มิลลิเมตร/สัปดาห์)

θ_{mass} = ความชื้นดินที่เปลี่ยนแปลงโดยน้ำหนัก (Soil Moisture Change by Weight; θ_{mass} กรัม/กรัม)

θ_{volume} = ความชื้นดินที่เปลี่ยนแปลงโดยปริมาตร (Soil Moisture Change by Volume; θ_{volume} ลูกบาศก์เซนติเมตร/ลูกบาศก์เซนติเมตร) โดยใช้เครื่องวัดความชื้นของดิน รุ่น PR2-Probe เพื่อเก็บข้อมูลความชื้นของดินที่เปลี่ยนแปลงโดยปริมาตรทุกสัปดาห์

BD_{soil} = ความหนาแน่นรวมของดิน (Soil Bulk Density; BD_{soil} กรัม/ลูกบาศก์เซนติเมตร), BD_{water} = ความหนาแน่นรวมของน้ำ (Water Bulk Density; BD_{water} เท่ากับ 1.004 กรัม/ลูกบาศก์เซนติเมตร)

SD = ความลึกดินที่พิจารณา 0-50 เซนติเมตร (Soil Depth; SD เท่ากับ 500 มิลลิเมตร)

4.3 เก็บข้อมูลการคายน้ำของพืชอ้างอิงรายวัน (Reference Crop Evapotranspiration, ET_{O-daily} มิลลิเมตร/วัน) โดยคำนวณการคายน้ำของพืชอ้างอิงรายวัน โดยใช้สมการ Penman-Monteith เพื่อรวมเป็นข้อมูลรายเดือน ตั้ง Equation 2 (Allen et al., 1998)

$$ET_{O-daily} = \frac{0.408\Delta (R_n - G) + \gamma 900 / (T + 273) U_2 (e_s - e_a)}{\Delta + \gamma (1 + 0.34 U_2)} \quad (2)$$

เมื่อ ET_{O-daily} = การคายน้ำของพืชอ้างอิง (Reference Crop Evapotranspiration; ET_O มิลลิเมตร/วัน)

R_n = ปริมาณรังสีของดวงอาทิตย์ทั้งหมดที่พืชได้รับ (Net Radiation; R_n เมกกะจูล/ตารางเมตร/วัน)

G = ค่าความไหลของความร้อนพื้นดิน (Soil Heat Flux; G เมกกะจูล/ตารางเมตร/วัน), T = อุณหภูมิของอากาศ (Air Temperature; T องศาเซลเซียส)

Δ = ค่าความลาดเทของเส้นแรงดันไอ (Slope of Saturation Vapour Pressure Curve; Δ กิโลปาสกาล/องศาเซลเซียส)

γ = ค่าคงที่ของ psychrometric (Psychrometric Constant; γ กิโลปาสกาล/องศาเซลเซียส)

U₂ = ค่าความเร็วของลมที่ระดับความสูงจากพื้นดิน 2 เมตร (Wind Speed above on Ground 2 Meters เมตร/วินาที)

(e_s - e_a) = ค่าความต่างของแรงดันไอน้ำ (Saturation Vapor Pressure Deficit; e_s - e_a กิโลปาสกาล)

4.4 ปัจจัยการพร่องน้ำในดิน (Soil Depletion Factor; SD)

ปัจจัยการพร่องน้ำในดินสามารถคำนวณได้จากสมการที่ 4 จากข้อมูลดังกล่าว Allen et al. (1998) ได้แนะนำว่าเมื่อรากกาแฟมีความยาวรากลึกสูงสุดอยู่ในช่วง 90 ถึง 150 เซนติเมตร ให้มีค่าปัจจัยการพร่องน้ำ (Depletion factor, p) เท่ากับ 0.40 อย่างไรก็ตามเราสามารถปรับค่าดังกล่าวได้ตามสภาพอากาศที่ปลูกพืชโดยนำค่าการคายน้ำของพืชแท้จริงมาคำนวณ (มิลลิเมตร/วัน) Equation 3 (Allen et al., 1998)

$$SD = p + 0.04 (5 - ET_c) \quad (3)$$

เมื่อ SD = ค่าปัจจัยการพร่องน้ำในดินที่วัดได้จริง (มิลลิเมตร/มิลลิเมตร)

p = ค่าแนะนำปัจจัยการพร่องน้ำในดิน (0.40) ที่กาแฟเจริญเติบโตได้โดยไม่เกิดสภาวะความเครียดจากการขาดน้ำที่มีความยาวรากลึกสูงสุด 0.90 – 1.50 เมตร

0.04 = ค่าคงที่ในการแปลงหน่วย (มิลลิเมตร) ให้เป็นหน่วย (มิลลิเมตร/มิลลิเมตร)

5 = ค่าการคายน้ำของพืชแท้จริงที่ควรได้รับในแต่ละวันอย่างน้อย 5 มิลลิเมตร/วัน

ET_c = ค่าการคายน้ำของพืชแท้จริงที่วัดรายเดือนนำมาเฉลี่ยเป็นรายวัน (มิลลิเมตร/วัน)

4.5. สัมประสิทธิ์การขาดน้ำของพืช (Plant Water Stress Coefficient, K_s)

ประสิทธิภาพการใช้น้ำของพืช คือ สัดส่วนความชื้นในดินที่วัดได้ ณ เวลาปัจจุบันต่อความชื้นดินที่ส่งผลต่อการเจริญเติบโตของพืชที่เกิดจากสภาวะความเครียดของน้ำในดินที่ลดลง โดยคำนวณดังสมการที่ 4

$$K_s = \frac{(1-SD) \times TAW}{(1-p) \times TAW} \quad (4)$$

เมื่อ K_s = สัมประสิทธิ์การขาดน้ำของพืช (มิลลิเมตร/มิลลิเมตร)

ถ้า K_s มีค่ามากกว่าและเท่ากับ 1.00 พืชไม่เกิดสภาวะความเครียด ขณะที่ K_s น้อยกว่า 1.00 พืชเริ่มเกิดสภาวะความเครียดเนื่องจากการขาดน้ำ

TAW = น้ำที่เป็นประโยชน์ทั้งหมดในเขตรากพืช 0-0.50 เมตร (มิลลิเมตร)

SD = ค่าปัจจัยการพร่องน้ำในดินที่วัดได้จริงจากสมการที่ 4 (มิลลิเมตร/มิลลิเมตร)

p = ค่าแนะนำปัจจัยการพร่องน้ำในดิน (0.40) ที่กาแฟเจริญเติบโตได้โดยไม่เกิดสภาวะความเครียดจากการขาดน้ำที่มีความยาวรากลึกสูงสุด 0.90 – 1.50 เมตร เท่ากับ 0.40 (Allen et al., 1998)

5. ระยะเวลาและสถานที่ทำการทดลอง

ระยะเวลา เริ่มต้น 1 ตุลาคม 2564 สิ้นสุด 1 มีนาคม 2568

สถานที่ทำการทดลอง

1. กลุ่มวิจัยปฐพีวิทยา กองวิจัยพัฒนาปัจจัยการผลิตทางการเกษตร กรมวิชาการเกษตร
2. แปลงปลูกกาแฟอะราบิกา ศูนย์วิจัยเกษตรหลวงเชียงใหม่ (ขุนวาง) ตำบลแม่วีน อำเภอแม่ว่าง จังหวัดเชียงใหม่ (พิกัดแปลง 47Q 447556 2059825)
3. แปลงปลูกกาแฟอะราบิกา ศูนย์วิจัยเกษตรหลวงเชียงใหม่ (แม่จอนหลวง) ตำบลแม่นาจร อำเภอแม่แจ่ม จังหวัดเชียงใหม่ (พิกัดแปลง 47Q 444396 2061893)

ผลการทดลองและวิจารณ์

1. สภาพดินและภูมิอากาศ

จากการวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพของดินในแปลงทดลอง พบความแตกต่างของเนื้อดินและการนำน้ำของแปลงเกษตรหลวงขุนวาง และแปลงเกษตรหลวงแม่จอมหลวง ดังแสดงใน Table 1 และ Table 2 ดังนี้

ในแปลงเกษตรหลวงแม่จอมหลวง พบว่าดินที่ระดับความลึก 10–40 เซนติเมตรมีเนื้อดินเป็น ดินร่วนปนทราย (Sandy Loam) ซึ่งเป็นดินที่มีลักษณะเนื้อหยาบ ส่งผลให้ค่าการนำน้ำ (Soil Hydraulic Conductivity, SHC) เฉลี่ยสูงกว่าแปลงเกษตรหลวงขุนวาง (4.22 ± 1.67 เซนติเมตรต่อชั่วโมง และ 1.58 ± 0.38 เซนติเมตรต่อชั่วโมง ตามลำดับ) แสดงว่าแปลงแม่จอมหลวงมีการระบายน้ำของดินดีกว่า อย่างไรก็ตามความเป็นประโยชน์ของน้ำในดิน (Available Water Content, AWC) พบว่าแปลงเกษตรหลวงขุนวางมีค่าความเป็นประโยชน์ของน้ำในดินรวมมากกว่า (43.27 มิลลิเมตร) เมื่อเปรียบเทียบกับแปลงเกษตรหลวงแม่จอมหลวง (31.05 มิลลิเมตร) โดยเฉพาะที่ระดับความลึก 0–50 เซนติเมตร แสดงให้เห็นว่าแปลงเกษตรหลวงแม่จอมหลวงจะมีการระบายน้ำที่ดี แต่ความสามารถในการกักเก็บน้ำไว้ให้รากพืชใช้น้อยกว่าเมื่อเทียบกับแปลงเกษตรหลวงขุนวาง นอกจากนี้ความหนาแน่นรวมของดิน (Bulk Density, BD) พบว่าแปลงเกษตรหลวงแม่จอมหลวงมีค่าเฉลี่ยสูงกว่า (1.42 ± 0.06 กรัมต่อตารางเซนติเมตร) เมื่อเปรียบเทียบกับแปลงเกษตรหลวงขุนวาง (1.15 ± 0.02 กรัมต่อตารางเซนติเมตร) แสดงถึงความหนาแน่นดินที่มากขึ้นในแปลงแม่จอมหลวง ซึ่งอาจส่งผลต่อการเจริญเติบโตและการขนถ่ายของรากพืช กล่าวคือ แปลงเกษตรหลวงแม่จอมหลวงมีการระบายน้ำที่ดีกว่า ขณะที่แปลงเกษตรหลวงขุนวางมีการกักเก็บน้ำและความเป็นประโยชน์ของน้ำในดินสูงกว่า

Table 1 Soil physical properties of Khun Wang Agricultural Experiment Center

Soil Depth (cm)	FC ^{1/} % by weight	Soil textures	PWP ^{2/} % by weight	SHC ^{3/} (cm/hr)	BD ^{4/} (g/cm ³)	AWC ^{5/} (mm)
0-10	36.99	SCL ^{6/}	28.18	2.30	1.18	10.35
10-20	36.44	L	27.28	2.31	1.18	10.84
20-30	36.16	SL	28.23	1.94	1.10	8.62
30-40	35.89	SCL	29.54	0.96	1.14	7.22
40-50	34.59	SCL	29.28	0.40	1.17	6.23
Mean $\pm$ S.E. ^{7/} or Sum	36.01 $\pm$ 0.40		28.50 $\pm$ 0.41	1.58 $\pm$ 0.38	1.15 $\pm$ 0.02	43.27

^{1/}FC = Field Capacity, ^{2/} PWP =Permanent Wilting Point, ^{3/} SHC = Soil Hydraulic Conductivity, ^{4/} BD = Bulk Density, ^{5/} AWC = Available Water Content, ^{6/} SCL = Sandy Clay Loam, L= Loam, SL = Sandy Loam and ^{7/}S.E. = Standard Error

Table 2 Soil physical properties of Mae Jon Luang Agricultural Experiment Center

Soil Depth (cm)	FC ^{1/} % by weight	Soil textures	PWP ^{2/} % by weight	SHC ^{3/} (cm/hr)	BD ^{4/} (g/cm ³)	AWC ^{5/} (mm)
0-10	31.79	SCL ^{6/}	26.57	2.08	1.29	2.08
10-20	20.66	SL	15.11	10.67	1.40	10.67
20-30	18.36	SL	16.33	4.18	1.49	4.18
30-40	13.14	SL	9.71	2.50	1.61	2.50
40-50	27.19	SC	23.34	1.69	1.31	1.69
Mean $\pm$ S.E. ^{7/} or Sum	22.23 $\pm$ 3.29		18.21 $\pm$ 3.01	4.22 $\pm$ 1.67	1.42 $\pm$ 0.06	31.05

^{1/}FC = Field Capacity, ^{2/} PWP =Permanent Wilting Point, ^{3/} SHC = Soil Hydraulic Conductivity, ^{4/} BD = Bulk Density, ^{5/} AWC = Available Water Content, ^{6/} SCL = Sandy Clay Loam, SL = Sandy Loam, SC = Sandy Clay and ^{7/}S.E.= Standard Error

จากการเก็บข้อมูลภูมิอากาศในแปลงทดลองเกษตรหลวงเชียงใหม่ (ขุนวางและแม่จอนหลวง) ทั้ง 2 ฤดูกาลปลูก (เดือนมีนาคม 2565 – กุมภาพันธ์ 2566 และมีนาคม 2566 – กุมภาพันธ์ 2567) พบว่า อุณหภูมิสูงสุดเฉลี่ยอยู่ในช่วง 21.7–26.3 องศาเซลเซียส และอุณหภูมิต่ำสุดเฉลี่ยอยู่ในช่วง 15.3–17.3 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ยอยู่ในช่วง 85.0–86.3 เปอร์เซ็นต์ ความเร็วลมเฉลี่ยที่ระดับความสูง 2 เมตรอยู่ในช่วง 0.50–1.78 มิลลิเมตรต่อวินาที ชั่วโมงแสงเฉลี่ยต่อวันอยู่ในช่วง 5.8–6.8 ชั่วโมงต่อวัน ปริมาณรังสีสุทธิ (Rn) อยู่ที่ 16.6–18.0 เมกกะจูลต่อตารางเมตรต่อวัน และการคายน้ำของพืชอ้างอิง (ET_o) รวมทั้งฤดูกาลอยู่ที่ 1,117–1,172 มิลลิเมตรต่อฤดูกาล ส่วนปริมาณน้ำฝนรวมอยู่ในช่วง 2,020–2,839 มิลลิเมตรต่อฤดูกาล คิดเป็นน้ำฝนใช้การ (P_{eff}) ประมาณ 907–1,197 มิลลิเมตรต่อฤดูกาล ดัง Figure 1 และ Figure 2

เมื่อเปรียบเทียบกับเกณฑ์ความเหมาะสมของการปลูกกาแฟอาราบิก้า พบว่า อุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ที่ได้อยู่ในช่วงเหมาะสม ซึ่ง Hagggar and Schepp (2012) กล่าวว่าอุณหภูมิที่เหมาะสมสำหรับกาแฟอาราบิก้าอยู่ในช่วง 14 - 28 องศาเซลเซียส สอดคล้องกับกรมวิชาการเกษตร (2562) กล่าวว่าสภาพพื้นที่ปลูกกาแฟอาราบิก้าควรมีความสูงจากระดับน้ำทะเลอย่างน้อย 700 เมตร อุณหภูมิอยู่ในช่วง 15-25 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์มากกว่า 60 เปอร์เซ็นต์ และปริมาณน้ำฝนในฤดูกาลแรก (2,792.9 ถึง 2,839.3 มิลลิเมตรต่อฤดูกาล) สูงกว่าช่วงแนะนำ ขณะที่ในฤดูกาลที่สองอยู่ในช่วงเหมาะสม (2,020.0 ถึง 2,415.6 มิลลิเมตรต่อฤดูกาล) เปรียบเทียบกับ Hagggar and Schepp (2012) กล่าวว่าปริมาณน้ำฝนที่ตกในพื้นที่อยู่ในช่วง 1,400 - 2,400 มิลลิเมตรต่อฤดูกาล สอดคล้องกับ Willson. (1985) กล่าวว่าปริมาณน้ำฝนควรอยู่ในช่วง 1,750 - 2,000 มิลลิเมตรต่อฤดูกาล ช่วงระยะเวลาในการกระจายตัวของฝนควรนานถึง 9 เดือน ส่วนอีก 3 เดือนควรเป็นหน้าแล้ง ซึ่งเป็นการกระตุ้นให้เกิดตาดอกของกาแฟ สำหรับในพื้นที่ที่มีปริมาณน้ำฝนสูงสามารถช่วยลดในการให้น้ำได้ สอดคล้องกับ Visser and Mallon (2021) กล่าวว่าปริมาณน้ำฝนที่ตกในช่วงฤดูฝน (เดือนพฤษภาคมถึงกันยายน) ถ้ามีปริมาณน้อยสามารถส่งผลกระทบต่อพัฒนาของผลเชอร์รี่สดของกาแฟได้ ขณะที่ในช่วงฤดูแล้ง (เดือนธันวาคมถึงกุมภาพันธ์) ถ้ามีปริมาณน้ำฝนตกในพื้นที่สามารถส่งผลกระทบต่อปริมาณตาดอกออกอย่างประปราย ให้ผลผลิตต่ำ ยากแก่การดูแลรักษาและเก็บเกี่ยว เพราะการเจริญเติบโตของตาดอกต้องอาศัยภาวะความเครียดจากการขาดน้ำในช่วงฤดูแล้งประมาณ 2 ถึง 3 เดือนดังกล่าวในการพัฒนาของตาดอกให้สมบูรณ์ (Bud Formation Stage) สอดคล้องกับกรมวิชาการเกษตร (2562) กล่าวว่าควรมีปริมาณน้ำฝนไม่ต่ำกว่า 1,500 มิลลิเมตรต่อปี และต้องมีการกระจายน้ำฝนอย่างน้อย 5 - 8 เดือน สภาพภูมิอากาศโดยรวมจึงเหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของกาแฟอาราบิก้า โดยเฉพาะในด้านอุณหภูมิและความชื้น แต่ปริมาณฝนที่มากเกินไปอาจกระทบต่อการพัฒนาตาดอก หากไม่มีช่วงแล้งกระตุ้นการออกดอกที่เพียงพอ

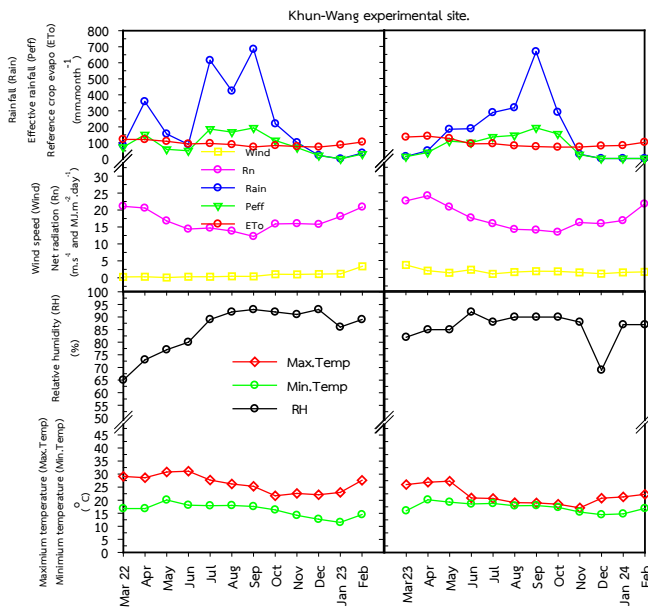


Figure 1 Weather data collected of Khun Wang agricultural experiment center at msl 1,450 meters.

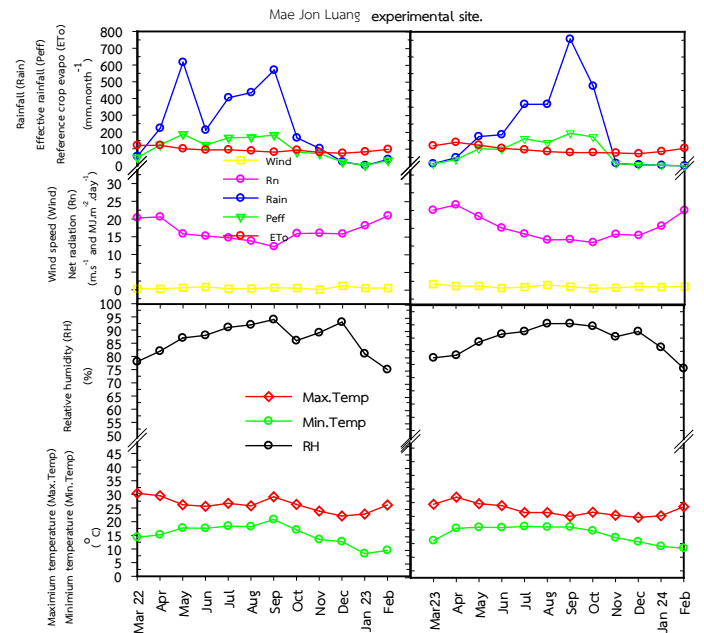


Figure 2 Weather data collected of Mae Jon Luang agricultural experiment center at msl 1,288 meters.

2. การคายน้ำของพืชแท้จริง (ET_c) ปัจจัยการพร่องน้ำของดิน (SD) และสัมประสิทธิ์การขาดน้ำของพืช (K_s) กาแฟอะราบิกา

การคายน้ำของพืชแท้จริง (ET_c) พบว่าในแปลงเกษตรหลวงขุนวางที่ปลูกกาแฟอะราบิกา สายพันธุ์คาติมอร์อายุ 8-9 ปี ทั้ง 2 ช่วงฤดูกาลให้ผลผลิต (เดือนมีนาคม 2565 ถึงเดือนกุมภาพันธ์ 2566) มีค่าการคายน้ำของพืชแท้จริงรวมเท่ากับ 1,329.9 มิลลิเมตร มากกว่าแปลงเกษตรหลวงแม่จอนหลวงที่มีค่าเท่ากับ 1,218.8 มิลลิเมตร ขณะที่ในช่วง (เดือนมีนาคม 2566 ถึง กุมภาพันธ์ 2567) แปลงเกษตรหลวงแม่จอนหลวงมีค่าการคายน้ำของพืชแท้จริงรวมเท่ากับ 1,012. มิลลิเมตร มากกว่าแปลงเกษตรหลวงขุนวางเท่ากับ 839.8 มิลลิเมตร

สำหรับปัจจัยการพร่องน้ำของดิน (SD) และสัมประสิทธิ์การขาดน้ำของพืช (K_s) ทั้ง 2 แปลงการทดลองมีค่าใกล้เคียงกันทั้ง 2 ฤดูกาลให้ผลผลิต (ตั้งแต่เดือนมีนาคม 2565 ถึง เดือนกุมภาพันธ์ 2566 รวมทั้งในช่วงเดือนมีนาคม 2566 ถึง กุมภาพันธ์ 2567) พบว่าแปลงเกษตรหลวงขุนวางมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.46 และ 0.90 รวมทั้ง 0.51 และ 0.82 ที่มีระดับความเครียดของน้ำในดินอยู่ในระดับปานกลาง โดยพบว่าฤดูกาลให้ผลผลิตครั้งที่ 1 (เดือนเมษายน 2565 ถึงพฤษภาคม 2565) มีค่าปัจจัยการพร่องน้ำอยู่ในช่วง 0.33-0.40 และค่าสัมประสิทธิ์การขาดน้ำอยู่ในช่วง 1.00-1.12 และ (เดือนกรกฎาคม 2565 ถึง กันยายน 2565) มีค่าปัจจัยการพร่องน้ำอยู่ในช่วง 0.35-0.37 และค่าสัมประสิทธิ์การขาดน้ำอยู่ในช่วง 1.05 – 1.08 เป็นช่วงที่กาแฟไม่มีความเครียดเนื่องจากการขาดน้ำ เพราะมีปริมาณฝนตกเพียงพอในพื้นที่ ขณะที่ในฤดูกาลให้ผลผลิตครั้งที่ 2 (เดือนมีนาคม 2566 ถึง กุมภาพันธ์ 2567) พบว่าเดือนกันยายนเป็นช่วงที่กาแฟไม่มีความเครียดเนื่องจากการขาดน้ำ เพราะมีปริมาณฝนตกเพียงพอในพื้นที่ที่มีค่าปัจจัยการพร่องน้ำในดิน และสัมประสิทธิ์การขาดน้ำของพืชเฉลี่ยเท่ากับ 0.35 และ 1.08 ตามลำดับ

สำหรับแปลงเกษตรหลวงแม่จอนหลวง (เดือนมีนาคม 2565 ถึง เดือนกุมภาพันธ์ 2566 รวมทั้งในช่วงเดือนมีนาคม 2566 ถึง กุมภาพันธ์ 2567) ที่มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.47 และ 0.88 รวมทั้ง 0.49 และ 0.85 ที่มีระดับความเครียดของน้ำในดินอยู่ในระดับปานกลาง โดยพบว่าฤดูกาลให้ผลผลิตครั้งที่ 1 (เดือนเมษายน 2565 ถึง

พฤษภาคม 2565) มีค่าปัจจัยการพร่องน้ำอยู่ในช่วง 0.34-0.40 และค่าสัมประสิทธิ์การขาดน้ำอยู่ในช่วง 1.00-1.10 และ (เดือนกรกฎาคม 2565 ถึง กันยายน 2565) มีค่าปัจจัยการพร่องน้ำอยู่ในช่วง 0.36-0.38 และค่าสัมประสิทธิ์การขาดน้ำอยู่ในช่วง 1.03 – 1.07 เป็นช่วงที่กาแฟไม่มีความเครียดเนื่องจากการขาดน้ำเพราะมีปริมาณฝนตกเพียงพอในพื้นที่ ขณะที่ในฤดูกาลที่ 2 (เดือนมีนาคม 2566 ถึง กุมภาพันธ์ 2567) พบว่าเดือนพฤษภาคม กรกฎาคม และกันยายนถึงตุลาคมเป็นช่วงที่กาแฟไม่มีความเครียดเนื่องจากการขาดน้ำเพราะมีปริมาณฝนตกเพียงพอที่มีค่าปัจจัยการพร่องน้ำในดินเฉลี่ยเท่ากับ 0.39 0.38 และ 0.34 ถึง 0.38 ตามลำดับ รวมทั้งสัมประสิทธิ์การขาดน้ำของพืชเฉลี่ยเท่ากับ 1.02 1.03 และ 1.03 ถึง 1.10 ตามลำดับดัง Figure 3 และ Figure 4

จากความสัมพันธ์ของการคายน้ำแท้จริงของพืช (ETc) ที่เพิ่มขึ้นส่งผลทำให้ปัจจัยการพร่องน้ำของดินลดลง (SD) และสัมประสิทธิ์การขาดน้ำของพืช (Ks) มีค่าเพิ่มขึ้น โดยพบว่าในช่วงฤดูแล้ง (เดือนพฤศจิกายนถึงเดือนเมษายน) พืชมีปัจจัยการพร่องน้ำของดิน และสัมประสิทธิ์การขาดน้ำของพืชที่อยู่ในช่วง 0.40 – 0.63 และ 0.62 – 1.00 คือมีระดับเครียดของน้ำในดินอยู่ในระดับเล็กน้อยถึงระดับเครียดมาก ขณะที่ในฤดูฝน (เดือนพฤษภาคมถึงเดือนตุลาคม) มีปัจจัยการพร่องน้ำของดิน และสัมประสิทธิ์การขาดน้ำของพืชอยู่ในช่วง 0.33 – 0.51 และ 0.82 – 1.12 คือมีระดับเครียดของน้ำในดินอยู่ในระดับไม่เครียดจนถึงระดับปานกลางดัง Figure 3 และ Figure 4

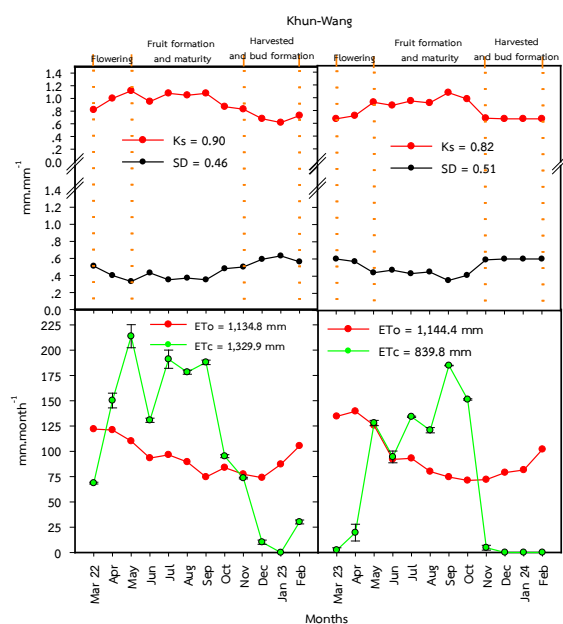


Figure 3 Actual crop evapotranspiration (ETc) of Arabica coffee (Catimor cultivar) 8 - 9 years applied to calculate depletion factor (SD) and crop water stress coefficient (Ks) in Khun Wang agricultural site 2 replications

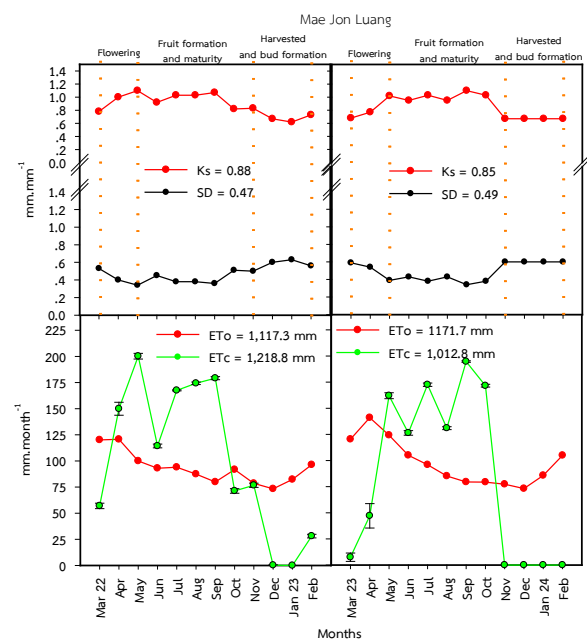


Figure 4 Actual crop evapotranspiration (ETc) of Arabica coffee (H420 cultivar) 6 - 7 years applied to calculate depletion factor (SD) and crop water stress coefficient (Ks) in Mae Jon Luang agricultural site 3 replications

สำหรับน้ำหนักรากของผลกาแพะราบิกาของเกษตรกรหลวงแม่จอนหลวงในช่วงฤดูกาลปลูกแรก (เดือนมีนาคม 2565 ถึง เดือนกุมภาพันธ์ 2566) ให้ผลผลิตมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ $1,595 \pm 376$ กิโลกรัมต่อไร่ต่อพื้นที่ให้ผลผลิตมากกว่าแปลงเกษตรกรหลวงขุนวางเฉลี่ยเท่ากับ $1,140 \pm 660$ ขณะที่ฤดูกาลปลูกที่ 2 (เดือนมีนาคม 2566 ถึง เดือนกุมภาพันธ์ 2567) พบว่า แปลงเกษตรกรหลวงขุนวางให้ผลผลิตเฉลี่ย $4,416 \pm 1,272$ กิโลกรัมต่อไร่มากกว่าแปลงเกษตรกรหลวงแม่จอนหลวงให้ผลผลิตเฉลี่ย $2,125 \pm 626$ กิโลกรัมต่อไร่ตามลำดับ ดัง Figure 5 อย่างไรก็ตามปริมาณน้ำฝนที่ตกในพื้นที่เป็นปัจจัยหนึ่งที่ช่วยกระตุ้นตาดอกของกาแพะราบิกาปริมาณน้ำฝนควรอยู่ระหว่าง 1,750 - 2,000 มิลลิเมตรต่อฤดูกาลให้ผลผลิต ระยะเวลาฝนตกควรนานถึง 9 เดือน ส่วนอีก 3 เดือนควรเป็นหน้าแล้งซึ่งเป็นการกระตุ้นให้เกิดตาดอกของกาแพ สำหรับในพื้นที่ที่มีปริมาณน้ำฝนสูงสามารถช่วยลดในการให้น้ำได้ นอกจากนี้พันธุ์กาแพ และอายุกาแพที่แตกต่างกันของแต่ละแปลงการทดลองทำให้ไม่สามารถสรุปได้แน่ชัดว่าได้ว่ากาแพพันธุ์ไหนให้ผลผลิตได้ดีกว่ากัน เมื่อมีค่าการคายน้ำของพืชแท้จริงเพิ่มขึ้น ปัจจัยการพร่องน้ำในดินลดลง และสัมประสิทธิ์การขาดน้ำเพิ่มขึ้นดังกล่าว

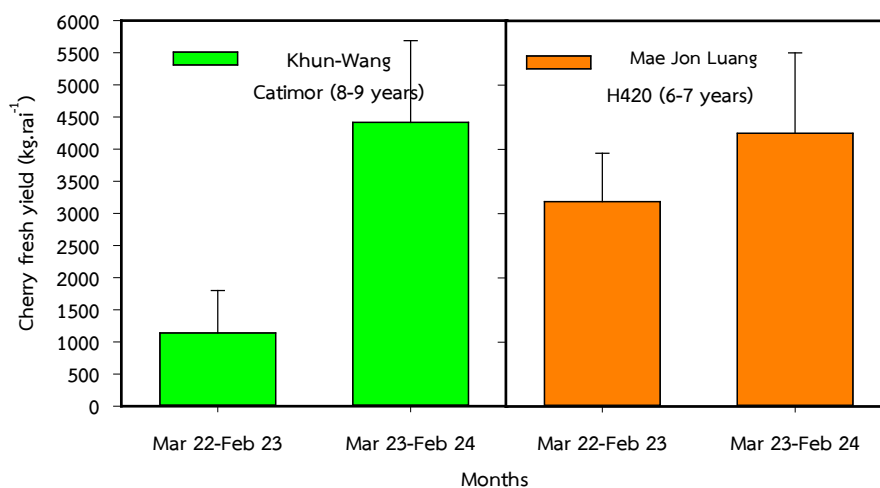


Figure 5 Cherry fresh yield on both experimental sites.

ผลการทดลองและวิจารณ์

จากผลการทดลองพบว่า การคายน้ำของพืชแท้จริง (ETc) ในแปลงเกษตรกรหลวงเชียงใหม่ (ขุนวาง) ที่ปลูกกาแพะราบิกาสายพันธุ์คาติมอร์อายุ 8-9 ปี ทั้ง 2 ช่วงฤดูกาลให้ผลผลิตแรก (เดือนมีนาคม 2565 ถึงเดือนกุมภาพันธ์ 2566) มีค่าการคายน้ำของพืชแท้จริงรวมเท่ากับ 1,329.9 มิลลิเมตร มากกว่าแปลงเกษตรกรหลวงเชียงใหม่ (แม่จอนหลวง) ที่มีค่าเท่ากับ 1,218.8 มิลลิเมตร ขณะที่ฤดูกาลที่ 2 (เดือนมีนาคม 2566 ถึง กุมภาพันธ์ 2567) แปลงเกษตรกรหลวงแม่จอนหลวงมีค่าการคายน้ำของพืชแท้จริงรวมเท่ากับ 1,012.8 มิลลิเมตร มากกว่าแปลงเกษตรกรหลวงขุนวางเท่ากับ 839.8 มิลลิเมตร สำหรับน้ำหนักรากของผลกาแพะราบิกาของเกษตรกรหลวงแม่จอนหลวงในช่วงฤดูกาลปลูกแรก (เดือนมีนาคม 2565 ถึงเดือนกุมภาพันธ์ 2566) ให้ผลผลิตมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ $1,595 \pm 376$ กิโลกรัมต่อไร่ต่อพื้นที่ให้ผลผลิตมากกว่าแปลงเกษตรกรหลวงขุนวางเฉลี่ยเท่ากับ $1,140 \pm 660$ ขณะที่ฤดูกาลปลูกที่ 2 (เดือนมีนาคม 2566 ถึง กุมภาพันธ์ 2567) พบว่าแปลงเกษตรกรหลวงขุนวางให้ผลผลิตเฉลี่ย $4,416 \pm 1,272$ กิโลกรัมต่อไร่ มากกว่าแปลงเกษตรกรหลวงแม่จอนหลวงให้ผลผลิตเฉลี่ย $2,125 \pm 626$ กิโลกรัมต่อไร่ตามลำดับ

ขณะที่ปัจจัยการพร่องน้ำของดิน (SD) และสัมประสิทธิ์การขาดน้ำของพืช (Ks) ทั้ง 2 แปลงการทดลองมีค่าใกล้เคียงกันทั้ง 2 ฤดูกาลให้ผลผลิต (เดือนมีนาคม 2565 ถึง เดือนกุมภาพันธ์ 2566 และเดือนมีนาคม 2566 ถึง กุมภาพันธ์ 2567) พบว่า แปลงเกษตรหลวงขุนวางมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.46 และ 0.90 รวมทั้ง 0.51 และ 0.82 ที่มีระดับความเครียดของน้ำในดินอยู่ในระดับปานกลาง สอดคล้องกับแปลงเกษตรหลวงแม่จอนหลวงที่มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.47 และ 0.88 รวมทั้ง 0.49 และ 0.85 ที่มีระดับความเครียดของน้ำในดินอยู่ในระดับปานกลาง ขณะที่ในช่วงฤดูแล้ง (เดือนพฤศจิกายนถึงเดือนเมษายน) พืชมีปัจจัยการพร่องน้ำของดินที่อยู่ในระดับเครียดเล็กน้อยถึงระดับเครียดมาก ขณะที่ในฤดูฝน (เดือนพฤษภาคมถึงเดือนตุลาคม) มีปัจจัยการพร่องน้ำของดินอยู่ในระดับไม่เครียดจนถึงระดับปานกลางดังแสดงใน Table 6 and 8 อย่างไรก็ตามปริมาณน้ำฝนที่ตกในพื้นที่เป็นปัจจัยหนึ่งที่ช่วยกระตุ้นตาดอกของกาแฟอะราบิกาปริมาณน้ำฝนควรอยู่ระหว่าง 1,750 - 2,000 มิลลิเมตรต่อฤดูกาลให้ผลผลิต ระยะเวลาฝนตกควรนานถึง 9 เดือน ส่วนอีก 3 เดือนควรเป็นหน้าแล้งซึ่งเป็นการกระตุ้นให้เกิดตาดอกของกาแฟ สำหรับในพื้นที่ที่มีปริมาณน้ำฝนสูงสามารถช่วยลดในการให้น้ำได้ นอกจากนี้พันธุ์กาแฟ และอายุกาแฟที่แตกต่างกันของแต่ละแปลงการทดลองทำให้ไม่สามารถสรุปได้แน่ชัดว่าได้ว่ากาแฟพันธุ์ไหนให้ผลผลิตได้ดีกว่ากัน เมื่อมีค่าการคายน้ำของพืชแท้จริงเพิ่มขึ้น ปัจจัยการพร่องน้ำในดินลดลง และสัมประสิทธิ์การขาดน้ำเพิ่มขึ้น ดังกล่าว

คำขอบคุณ

ขอขอบคุณทุนวิจัยสำนักงานคณะกรรมการส่งเสริมวิทยาศาสตร์ วิจัยและนวัตกรรม (สกว) ที่ให้การสนับสนุนงบประมาณสำหรับการดำเนินการวิจัยในครั้งนี้ รวมทั้งศูนย์วิจัยเกษตรหลวงเชียงใหม่ (ขุนวางและแม่จอนหลวง) กรมวิชาการเกษตรที่สนับสนุนสถานที่ดำเนินการทดลอง ตลอดจนกลุ่มวิจัยปฐพีกายภาพ กลุ่มวิจัยปฐพีวิทยา กองวิจัยพัฒนาปัจจัยการผลิตทางการเกษตร กรมวิชาการเกษตรที่สนับสนุนเครื่องมือวิทยาศาสตร์ในการดำเนินการทดลองในครั้งนี้เป็นอย่างดี

การนำผลงานวิจัยไปใช้ประโยชน์

สามารถนำข้อมูลมาปรับใช้เพื่อให้เกษตรกรสามารถจัดการน้ำในแปลงกาแฟได้อย่างมีประสิทธิภาพ ทำให้ผลผลิตเพิ่มและคุณภาพของผลผลิตดีขึ้น เกษตรกรมีรายได้เพิ่มขึ้น

เอกสารอ้างอิง

- กรมวิชาการเกษตร. 2562. คู่มือการจัดการการผลิตกาแฟอาราบิกา. สถาบันวิจัยพืชสวน กรมวิชาการเกษตร. กรุงเทพฯ.
- คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา. 2544. ปฐพีวิทยาเบื้องต้น. ภาควิชาปฐพีวิทยา คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- จักรพงษ์ เจริญศิริ. 2546. วิธีวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพของดิน. สำนักวิจัยพัฒนาปัจจัยการผลิตทางการเกษตร กรมวิชาการเกษตร.
- พิทักษ์ อาภาศิริผล. 2529. การปลูกกาแฟ. สถาบันวิจัยพืชสวน กรมวิชาการเกษตร.
- สำนักงานนโยบายและยุทธศาสตร์การค้า. 2567. สภาวะกาแฟไทยในปัจจุบัน. สำนักงานนโยบายและยุทธศาสตร์การค้า กระทรวงพาณิชย์.
- Allen, R. G., L. S. Pereira., D. Raes. and M. Smith. 1998. Guidelines for computing crop water requirement. FAO Irrigation and Drainage Paper.
- Haggar, J. and Schepp, K. 2012. Coffee and Climate Change: Impacts and Options for Adaptation in Brazil, Guatemala, Tanzania and Vietnam. Climate Change, Agriculture and Natural Resources Working Paper Series No 4. University of Greenwich in London.
- Niyibigira, E. I. 2019. A Sustainable Coffee Industry with High Stakeholder Value for Social Economic Transformation. Arabica Coffee Handbook of Uganda Coffee Development Authority.
- Visser, M. and Mallon, G. 2021. The water footprint of Arabica and Robusta coffee bean production in South America. Bachelor's project "The consequences of climate change on the feasibility of the South America continent for coffee production".

ศึกษาศักยภาพการผลิตถั่วเขียวฝัมน้ำหลังนาโดยการจัดการธาตุอาหารเฉพาะพื้นที่ใน กลุ่มดินร่วนเหนียว

Study on the Potential of Mung Bean Production after Rice Harvest by Site-Specific Nutrient management in a Clay Loam soil

สายน้ำ อุดพัว ¹ นุชนาฏ ตันวรรณ ¹ สมฤทัย ตันเจริญ ¹ วิลัยรัตน์ แป้นแก้ว ²

Sainam Uduay ¹ Nutchanart Tanwan ¹ Somrutai Tancharoen ¹ Wilairat Pankaew ²

กลุ่มวิจัยปฐพีวิทยา

กองวิจัยพัฒนาปัจจัยการผลิตทางการเกษตร

ABSTRACT

Fertilizer rates directly affect growth, yield and costs of mung bean production. The aim of this research is to investigate the effect of nitrogen, phosphate and potash fertilizer on growth and yield of mung bean (DOA Chainat-3 variety). The experiment was conducted in clay soil at Chai Nat Field Crop Research Centre, Chai Nat province in the year 2022-2023. The experiment was designed in Randomized Complete Blocks (RCB) with 4 replications and treatments consisting of twelve fertilizer rates, namely 0-0-0, 0-3-3, 4.5-3-3, 9-3-3, 13.5-3-3, 18-3-3, 9-0-3, 9-6-3, 9-3-0, 9-3-1.5, 9-3-4.5 and 9-3-6 kg N-P₂O₅-K₂O/rai. Results showed that the seed part of mung bean has the highest concentrations of nitrogen and phosphorus nutrients, while potassium concentration reaches its peak in the stem part. The total uptake amounts for nitrogen, phosphorus, and potassium are as follows: 5.80 to 6.15 kg, 0.72 to 1.86 kg, and 5.75 to 5.18 kg, respectively, for every 100 kg of yield. Different fertilizer levels did significantly influence pods/plant, pod length and yield of the mung bean. The most response of fertilizer for mung beans was found to be at a rate of 0-3-3 kg N-P₂O₅-K₂O/rai (172-255 kg grain yield/rai), which also resulted in the highest economic return (VCR 2.95-4.11).

Keywords: Fertilizer; Soil testing; Economic return; *Vigna radiata* L. Wilczek

¹ กองวิจัยและพัฒนาปัจจัยการผลิตทางการเกษตร กรมวิชาการเกษตร กรุงเทพฯ 10900

¹ Agricultural Production Sciences Research and Development Division, Department of Agriculture, Bangkok 10900

² ศูนย์วิจัยพืชไร่ชัยนาท กรมวิชาการเกษตร จ.ชัยนาท 17000

² Chai Nat Field Crop Research Center, Department of Agriculture, Chai Nat 17000

บทคัดย่อ

อัตราปุ๋ยส่งผลโดยตรงต่อการเจริญเติบโต ผลผลิต และต้นทุนการผลิตถั่วเขียว การทดลองนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลของการใช้ปุ๋ยไนโตรเจน ฟอสเฟต และโพแทสเซียมต่อการเจริญเติบโตและผลผลิตของถั่วเขียวผิวมัน พันธุ์ กวก.ชัยนาท 3 ดำเนินการทดลองในพื้นที่ดินเหนียว แปลงทดลอง ศูนย์วิจัยพืชไร่ชัยนาท จังหวัดชัยนาท ปี 2566 วางแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ภายในบล็อก จำนวน 3 ซ้ำ ประกอบด้วยอัตราปุ๋ย 12 อัตรา ได้แก่ 0-0-0, 0-3-3, 4.5-3-3, 9-3-3, 13.5-3-3, 18-3-3, 9-0-3, 9-6-3, 9-3-0, 9-3-1.5, 9-3-4.5 และ 9-3-6 กก. $N-P_2O_5-K_2O$ /ไร่ ผลการทดลอง พบว่า ส่วนของเมล็ดมีความเข้มข้นของธาตุอาหาร N และ P มากที่สุด ส่วนความเข้มข้นของธาตุ K มีสูงในส่วนของต้น ปริมาณการดูดใช้ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียมทั้งหมด เฉลี่ย 5.80-6.15, 0.72-1.86 และ 5.75-5.18 กก./100 กก. ผลผลิต การใช้ปุ๋ยทำให้จำนวนฝักต่อต้น ความยาวฝัก และผลผลิตแตกต่างกันทางสถิติ ถั่วเขียว พันธุ์ กวก. ชัยนาท 3 มีการตอบสนองต่อการใส่ปุ๋ยในการให้ผลผลิตและผลตอบแทนคุ้มค่าการลงทุนมากที่สุด ให้ค่า VCR 2.95-4.11 เมื่อใส่ปุ๋ย อัตรา 0-3-3 กก. $N-P_2O_5-K_2O$ /ไร่ โดยให้ผลผลิต ระหว่าง 172-255 กก./ไร่

คำสำคัญ: ปุ๋ย; การวิเคราะห์ดิน; ผลตอบแทนทางเศรษฐกิจ; *Vigna radiata* L. Wilczek

บทนำ

ถั่วเขียว (*Vigna radiata* L. Wilczek) เป็นพืชตระกูลถั่วที่มีความสำคัญ อายุสั้น ใช้น้ำน้อย ช่วยรักษาความอุดมสมบูรณ์ให้กับดิน ในปีการผลิต 2565/2566 พื้นที่ปลูกถั่วเขียวมีทั้งสิ้น 701,931 ไร่ ผลผลิต 105,689 ตัน ผลผลิตต่อไร่ 151 กก. ความต้องการใช้ในประเทศถึง 111,124 ตัน โดยจังหวัดที่ปลูกถั่วเขียวมากที่สุด ได้แก่ เพชรบูรณ์ สุโขทัย ชัยนาท นครสวรรค์ และสระบุรี เป็นต้น (สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร, 2566) การผลิตถั่วเขียวในประเทศไทย พบว่าผลผลิตเฉลี่ยต่อไร่ยังอยู่ในเกณฑ์ค่อนข้างต่ำ เมื่อเปรียบเทียบกับประเทศเพื่อนบ้าน เช่น พม่าและเวียดนาม พบว่ามีผลผลิตเฉลี่ยสูงกว่าประเทศไทย อยู่ที่ประมาณ 304 กิโลกรัมต่อไร่ ส่วนประเทศในทวีปอเมริกา เช่น สหรัฐอเมริกาและบราซิล มีค่าเฉลี่ยสูงถึง 358 กิโลกรัมต่อไร่ แสดงให้เห็นถึงความแตกต่างเชิงประสิทธิภาพการผลิตระหว่างภูมิภาค (ACIAR, 2015; Oplinger et al., 1990) อาจเป็นเพราะขาดการใช้เมล็ดพันธุ์ที่มีคุณภาพและการจัดการที่เหมาะสม (จิราลักษณ์ และคณะ, 2561) อร (2530) รายงานถึงต้นทุนการผลิตถั่วเขียวในเขตภาคกลางในฤดูแล้งหรือหลังเก็บเกี่ยวพืชหลัก มีต้นทุนเฉลี่ยไร่ละ 663 บาท ทั้งนี้ต้นทุนการผลิตที่สูงมาจากปัจจัยการผลิต ได้แก่ เมล็ดพันธุ์ และปุ๋ยเคมี (กรมส่งเสริมการเกษตร, 2563) ซึ่งประเทศไทยไม่สามารถผลิตปุ๋ยเองได้ จำเป็นต้องนำเข้าปุ๋ยจากต่างประเทศ ถ้าเกษตรกรมีจัดการที่ไม่เหมาะสมย่อมส่งผลให้ผลผลิตต่อไร่ต่ำ ดังนั้นการจัดการธาตุอาหารจึงจำเป็น เพื่อเพิ่มศักยภาพการให้ผลผลิตของถั่วเขียว ถั่วเขียวเจริญเติบโตได้ดีที่สุดในดินร่วน โดยมีปริมาณฝนกระจายตัวดีในปีละ 700-900 มม. เป็นพืชที่ทนแล้งและไวต่อน้ำขัง (Akpapunam, 1996)

ธาตุไนโตรเจน (N) ธาตุฟอสฟอรัส (P) และธาตุโพแทสเซียม (K) มีความสำคัญและมีบทบาทสำคัญในการเจริญเติบโต พัฒนาการ และการให้ผลผลิต (Oad et al., 2003) ในช่วงแรกของการเจริญเติบโตก่อนสร้างกิ่งก้าน ถั่วเขียวไม่สามารถตรึงไนโตรเจนในชั้นบรรยากาศได้ เนื่องจากมีไรโซเบียมน้อยหรือไม่มีเลย ดังนั้นการใช้ปุ๋ย N ในช่วงแรกของการเจริญเติบโตจะช่วยส่งเสริมการเจริญเติบโตของพืช (Yanni et al., 2001) ปุ๋ยฟอสเฟต ส่งเสริมการเจริญเติบโตของราก ต้านทานโรค ทนต่อความแห้งแล้ง และเพิ่มการดูดซึมธาตุอาหารและน้ำในต้นกล้า (Jian et al., 2014) โดยถั่วเขียวต้องการฟอสฟอรัสในการสร้างเมล็ดและเร่งการแก่ของฝัก (Nasution, 2020) ปุ๋ยโพแทสเซียม ช่วยเพิ่มการเผาผลาญน้ำตาล เพิ่มความเข้มข้นของเซลล์ออสโมติก รักษาความเต่งของเซลล์ ช่วยควบคุมการเปิดปากใบ มีส่วนในการสังเคราะห์ด้วยแสง เพิ่มความต้านทานต่อความแห้งแล้ง และเพิ่มผลผลิต (Jie, 2011) มีบทบาทสำคัญในการกระตุ้นเอนไซม์มากกว่า 60 ชนิด (Tisdale et al., 1990) ดังนั้นการใช้ปุ๋ยอย่าง

เหมาะสมถือว่าเป็นปัจจัยที่สำคัญ โดยมีงานวิจัยพบว่า การใช้ปุ๋ยช่วยเพิ่มผลผลิตถั่วเขียวได้ (Hussain et al., 2011) ปัจจุบันเกษตรกรมีการใช้ปุ๋ยหลากหลาย เช่น ใส่รองพื้นพร้อมปลูก ปุ๋ย 12-24-12 อัตรา 20-30 กก./ไร่ (เทคโนโลยีชาวบ้าน, 2559) ปุ๋ย 16-20-0 อัตรา 25 กก./ไร่ (สมศักดิ์, 2559) หรือ ให้ปุ๋ยทางใบและปุ๋ยชีวภาพ (บดินทร์, 2559) Achakzal et al. (2012) รายงานว่าอัตราปุ๋ยระดับต่าง ๆ มีผลต่อลักษณะการเจริญเติบโตของถั่วเขียว การให้ปุ๋ยไนโตรเจน อัตรา 16 กก./ไร่ ทำให้ถั่วเขียวมีจำนวนกิ่งเพิ่มขึ้น Yin et al. (2018) กล่าวว่า เพื่อให้ได้ผลผลิต 343 กก./ไร่ ควรใส่ปุ๋ยในอัตราที่เหมาะสม คือ 7-4-10 กก. N-P₂O₅-K₂O/ไร่ เป็นต้น แม้ว่าที่ผ่านมามีการศึกษาทดสอบปุ๋ยกับถั่วเขียวมาบ้างแล้ว เช่น พันธุ์ชัยนาท 36 ชัยนาท 72 ชัยนาท 84-1 และชัยนาท 6 (กรมวิชาการเกษตร, 2539) แต่ยังไม่ได้มีการทดลองปุ๋ยกับถั่วเขียวพันธุ์ใหม่ เช่น พันธุ์ กวก. ชัยนาท 3 รับรองพันธุ์ พ.ศ. 2562 ที่ให้ผลผลิตเฉลี่ย 232 กก./ไร่ สูงกว่าพันธุ์ชัยนาท 36 และชัยนาท 72 (สถาบันวิจัยพืชไร่และพืชทดแทนพลังงาน, 2563) ซึ่งลักษณะดิน พันธุ์ และสภาพภูมิอากาศในปัจจุบันย่อมแตกต่างกับอดีต (ข้าวอิสรา, 2562) ดังนั้นงานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อผลของการจัดการปุ๋ยต่อศักยภาพการให้ผลผลิตของถั่วเขียว พันธุ์ กวก. ชัยนาท 3 ในกลุ่มดินร่วนเหนียว จังหวัดชัยนาท เพื่อให้ได้เทคโนโลยีการจัดการปุ๋ยสำหรับถั่วเขียวพันธุ์ใหม่เฉพาะพื้นที่ เขตจังหวัดชัยนาท

อุปกรณ์และวิธีการ

อุปกรณ์

1. เมล็ดพันธุ์ถั่วเขียว ได้แก่ พันธุ์ กวก. ชัยนาท 3
2. ปุ๋ยเคมี ได้แก่ ปุ๋ยยูเรีย (46-0-0) ปุ๋ยทริฟเฟิลซูเปอร์ฟอสเฟต (0-46-0) และปุ๋ยโพแทสเซียมคลอไรด์ (0-0-60)
3. เครื่องมือ และอุปกรณ์ในการเก็บตัวอย่างดินและพืช
4. สารเคมี สำหรับวิเคราะห์ตัวอย่างดินและพืชในห้องปฏิบัติการ
5. เครื่องมือวิทยาศาสตร์ และวัสดุวิทยาศาสตร์สำหรับวิเคราะห์ตัวอย่างดินและพืชในห้องปฏิบัติการ

วิธีการ

ดำเนินการทดลองปลูกถั่วเขียวพันธุ์ กวก. ชัยนาท 3 2 ถูปลูกต่อเนื่องกัน จำนวน 1 แปลง ระหว่างปี 2565-2566 แปลงทดลองศูนย์วิจัยพืชไร่ชัยนาท อำเภอสรรพยา จังหวัดชัยนาท ตั้งอยู่ในพิกัด ละติจูด ละติจูด 15°09'9.8" เหนือ ลองจิจูด 100°10'56.5" ตะวันออก สูงจากระดับทะเลปานกลาง 18 ม.

สมบัติของดินก่อนทดลอง

สุ่มเก็บตัวอย่างดินก่อนปลูกที่ระดับความลึก 0-20 ซม. นำไปวิเคราะห์เนื้อดินด้วยวิธี Hydrometer (Bouyoucos, 1963) ความเป็นกรด-ด่างของดิน วัดโดย pH meter ใช้อัตราส่วน 1:1 (Peech, 1965) ค่าการนำไฟฟ้าของดิน (EC) ในอัตราส่วนดินต่อน้ำ เท่ากับ 1:5 แล้ววัดด้วยเครื่อง electrical conductivity meter (Rayment and Higginson, 1992) อินทรีย์วัตถุ วิเคราะห์ด้วยวิธี Walkley and Black titration (Nelson and Sommer, 1982) ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ สกัดดินด้วยน้ำยาสกัด Bray II (Bray and Kurtz, 1945) และทำให้เกิดสีด้วยวิธี Molybdenum Blue จากนั้นวัดความเข้มข้นของสีโดยใช้ Spectrometer โพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ สกัดดินด้วย 1N Ammonium acetate, pH 7.0 แล้ววัดเทียบความเข้มข้นกับสารละลายมาตรฐาน โดยใช้ Atomic Absorption Spectrophotometer (Pratt, 1965)

ฤดูปลูกปี 2565 ดินมีลักษณะเป็นดินเหนียว ค่า pH เท่ากับ 6.6 เป็นกลาง ซึ่งอยู่ในช่วงที่เหมาะสมกับการเจริญเติบโตของถั่วเขียว ค่าการนำไฟฟ้า เท่ากับ 0.09 เดซิซีเมนส์/ม. อยู่ในระดับไม่เค็ม ปริมาณอินทรีย์วัตถุ

อยู่ในระดับปานกลาง เท่ากับ 1.49% ปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์อยู่ในระดับสูง เท่ากับ 24 มก./กก. และปริมาณโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้อยู่ในระดับสูง เท่ากับ 84 มก./กก. (Table 1)

ฤดูปลูกปี 2566 เป็นดินเหนียว ค่า เท่ากับ pH 6.1 เป็นกรดเล็กน้อย ค่าการนำไฟฟ้า เท่ากับ 0.06 เดซิซีเมนส์/ม. อยู่ในระดับไม่เค็ม ปริมาณอินทรีย์วัตถุอยู่ในระดับปานกลาง เท่ากับ 1.05% ปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์อยู่ในระดับสูง เท่ากับ 15 มก./กก. และปริมาณโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้อยู่ในระดับปานกลาง เท่ากับ 58 มก./กก. (Table 1) จากการประเมินระดับความอุดมสมบูรณ์ของดินในพื้นที่ปลูกถั่วเขียว ดัดแปลงจากกองสำรวจดิน, 2523 ดินก่อนปลูกมีความอุดมสมบูรณ์ปานกลาง เมื่อพิจารณาอัตราปุ๋ยแนะนำตามค่าวิเคราะห์ดิน สามารถประเมินการใช้ปุ๋ย ในกรณีไม่ใช้ปุ๋ยชีวภาพโรโซเปียม เป็น 9-3-3 กก. N-P₂O₅-K₂O/ไร่ (กรมวิชาการเกษตร, 2548)

Table 1 Soil properties before planting mung bean at Chai Nat province in 2022-2023

Soil properties	Year		Optimal values of mung bean
	2022	2023	
pH (1:1)	6.6	6.1	5.5–7.0
Electrical Conductivity (1:5) (dS/m)	0.09	0.06	–
Organic matter (%)	1.49	1.05	> 1.0
Available phosphorus (mg/kg)	24	15	> 8
Exchangeable K (mg/kg)	84	58	> 40
% Sand	16.0	16.0	–
% Silt	38.4	33.0	–
% Clay	45.6	51.0	–
Texture	Clay	Clay	Clay loam

Source: กรมวิชาการเกษตร (2564)

แบบและวิธีการทดลอง

วางแผนการทดลองแบบ Randomized Complete Blocks (RCB) มี 12 กรรมวิธี 3 ซ้ำ ประกอบด้วย		
กรรมวิธี	รายละเอียด	อัตราปุ๋ย (กก. N-P ₂ O ₅ -K ₂ O/ไร่)
T1	ไม่ใส่ปุ๋ยเคมี	0-0-0
T2	0 N - 1 P - 1 K เท่าของอัตราแนะนำตามค่าวิเคราะห์ดิน	0-3-3
T3	0.5 N - 1 P - 1 K เท่าของอัตราแนะนำตามค่าวิเคราะห์ดิน	4.5-3-3
T4	1 N - 1 P - 1 K เท่าของอัตราแนะนำตามค่าวิเคราะห์ดิน	9-3-3
T5	1.5 N - 1 P - 1 K เท่าของอัตราแนะนำตามค่าวิเคราะห์ดิน	13.5-3-3
T6	2 N - 1 P - 1 K เท่าของอัตราแนะนำตามค่าวิเคราะห์ดิน	18-3-3
T7	1 N - 0 P - 1 K เท่าของอัตราแนะนำตามค่าวิเคราะห์ดิน	9-0-3
T8	1 N - 2 P - 1 K เท่าของอัตราแนะนำตามค่าวิเคราะห์ดิน	9-6-3
T9	1 N - 1 P - 0 K เท่าของอัตราแนะนำตามค่าวิเคราะห์ดิน	9-3-0
T10	1 N - 1 P - 0.5 K เท่าของอัตราแนะนำตามค่าวิเคราะห์ดิน	9-3-1.5
T11	1 N - 1 P - 1.5 K เท่าของอัตราแนะนำตามค่าวิเคราะห์ดิน	9-3-4.5
T12	1 N - 1 P - 2 K เท่าของอัตราแนะนำตามค่าวิเคราะห์ดิน	9-3-6

การปลูกและการจัดการ

สร้างแปลงทดลองขนาดแปลงย่อยมีขนาดกว้าง 4 ม. ยาว 6 ม. รวมทั้งสิ้น 36 แปลงย่อย เว้นระยะระหว่างแปลงย่อย 1.5 ม. ปลูกถั่วเขียว พันธุ์ กวก. ชัยนาท 3 แบบเป็นแถวคู่บนสันร่อง ระยะปลูกถั่วจำนวน 8 แถว ยาว 6 ม. ระยะปลูก ระหว่างแถว 50 ซม. ระหว่างต้น 20 ซม. หยอดเมล็ด 4–6 เมล็ดต่อหลุม เมื่อถั่วเขียวอายุ 10–15 วัน ถอนแยกเหลือ 4 ต้นต่อหลุม วันปลูกและเก็บเกี่ยวแสดงดังตารางที่ 2

Table 2 Planting and harvesting date of Mung bean in 2022-2023 cropping seasons

Year	Planting date	Harvesting date
2022	27 December 2021	15 March 2022
2023	17 January 2023	30 March 2023

แบ่งใส่ปุ๋ยเคมี 2 ครั้ง คือ ครั้งที่ 1 ใส่พร้อมปลูก ใส่ปุ๋ยไนโตรเจนครึ่งอัตราที่กำหนด ส่วนปุ๋ยฟอสเฟต และปุ๋ยโพแทสเซียมใส่ครั้งเดียวเต็มอัตรา และครั้งที่ 2 ใส่ปุ๋ยเมื่อถั่วเขียวอายุประมาณ 20 วัน โดยใส่ปุ๋ยไนโตรเจนอีกครึ่งอัตรา โรยข้างแถวปลูก พรวนดินกลบ (กรมวิชาการเกษตร, 2548) เก็บเกี่ยวผลผลิต พื้นที่เก็บเกี่ยวขนาดกว้าง 2 ม. ยาว 5.2 ม. เก็บตัวอย่างพืช จำนวน 10 ต้น โดยนำตัวอย่างพืชแยกออกเป็น 4 ส่วน ได้แก่ ลำต้น ใบ เปลือกหุ้มฝัก และเมล็ด มาอบที่อุณหภูมิ 65°C เป็นเวลา 72 ชั่วโมง หรือจนกระทั่งน้ำหนักคงที่ จากนั้นนำไปบดให้ละเอียดและวิเคราะห์หาปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด ด้วยการย่อยตัวอย่างด้วยกรด H_2SO_4 เข้มข้น และกลั่นด้วยวิธี Kjeldahl method ส่วนธาตุฟอสฟอรัสและโพแทสเซียมทำการย่อยตัวอย่างด้วยกรด HNO_3-HClO_4 อัตราส่วน 2:1 โดยปริมาตร แล้ววัดปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมดด้วยวิธี vanado-molybdate yellow color และปริมาณโพแทสเซียมทั้งหมด วิเคราะห์โดยใช้เครื่อง atomic absorption spectrophotometer (กรมวิชาการเกษตร, 2544)

การวิเคราะห์ข้อมูล

วิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติ analysis of variance (ANOVA) และเปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างค่าเฉลี่ยของกรรมโดยวิธี Duncan's multiple range test (DMRT) ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

วิเคราะห์ความคุ้มค่าต่อการลงทุน โดยวิธี Value to cost ratio (VCR) คือ อัตราส่วนระหว่างรายได้สุทธิ (gross return) ต่อต้นทุนจากการใช้ปุ๋ยที่เพิ่มขึ้นจากกรรมวิธีควบคุม (increased cost) ค่าวิกฤติของ VCR อยู่ที่ 2.0 หมายความว่า ถ้าค่า VCR มีค่ามากกว่า 2.0 แสดงว่าการใช้ปุ๋ยให้ผลตอบแทนคุ้มค่าและจะให้ผลตอบแทนคุ้มค่ามากยิ่งขึ้นตามค่า VCR ที่สูงขึ้น (สายน้ำ และคณะ, 2565)

ระยะเวลา เริ่มต้น ตุลาคม 2564 สิ้นสุด กันยายน 2567

สถานที่ทำการทดลอง

- ศูนย์วิจัยพืชไร่ชัยนาท อำเภอสรรพยา จังหวัดชัยนาท
- กลุ่มวิจัยปฐพีวิทยา กองวิจัยพัฒนาปัจจัยการผลิตทางการเกษตร

ผลการทดลองและวิจารณ์

ความเข้มข้นและปริมาณธาตุอาหารในถั่วเขียว

ฤดูปลูกปี 2565 น้ำหนักแห้งเหนือดินทั้งหมด 483 กก./ไร่ เมล็ด คิดเป็นสัดส่วนสูงสุด (168 กก./ไร่) ซึ่งสะท้อนความสามารถของพืชในการเปลี่ยนชีวมวลไปเป็นผลผลิต ลำต้น (163 กก./ไร่) และ ใบ (88 กก./ไร่) รวมกันคิดเป็นกว่าครึ่งหนึ่งของชีวมวลทั้งหมด และเปลือกหุ้มฝัก มีเพียง 63 กก./ไร่ ความเข้มข้นของธาตุอาหาร ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียม โดยเฉลี่ยในส่วนของต้น 1.01% 0.15% และ 2.82% ตามลำดับ ส่วนของใบมีความเข้มข้นของ N P และ K เฉลี่ย 2.60% 0.32% และ 2.15 % ตามลำดับ ส่วนของเมล็ดมีความเข้มข้นของ N P และ K เฉลี่ย 3.85% 0.47% และ 1.78% ตามลำดับ ในส่วนของเปลือกหุ้มฝักมีความเข้มข้นของ N P และ K เฉลี่ย 0.90% 0.07% และ 2.42% ตามลำดับ จะเห็นว่า ส่วนของเมล็ดมีความเข้มข้นของธาตุอาหาร N และ P มากที่สุด ส่วนความเข้มข้นของธาตุ K มีสูงในส่วนของต้น ปริมาณการดูดใช้ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียมทั้งหมด เฉลี่ย 5.80 0.72 และ 5.75 กก./100 กก. ผลผลิต ตามลำดับ (Table 3) สอดคล้องกับงานวิจัยของ Arsalan et al. (2016) รายงานว่า ความเข้มข้นของธาตุอาหารในส่วนของเมล็ดถั่วเขียว ให้ไนโตรเจน 2.44% ฟอสฟอรัส 0.37% โพแทสเซียม 1.17% โดยมีการดูดใช้ธาตุอาหาร เท่ากับ ไนโตรเจน 8.32 กก./ไร่ ฟอสฟอรัส 1.43 กก./ไร่ โพแทสเซียม 5.04 กก./ไร่ ในผลผลิต 205 กก./ไร่

ฤดูปลูกปี 2566 น้ำหนักแห้งเหนือพื้นดินรวม เฉลี่ย 710 กก./ไร่ สูงกว่าปี 2022 อย่างชัดเจน (46.99%) สะท้อนถึงการเติบโตของพืชที่ดีกว่า อาจเกิดจากสภาพอากาศเหมาะสม การกระจายชีวมวล เมล็ด มีสัดส่วนสูงถึง 374 กก./ไร่ หรือ 52.68% ของชีวมวลรวม อาจมีสภาพแวดล้อมช่วงออกดอก-ติดฝักที่เหมาะสม เช่น ความชื้นพอเพียง แสงสว่างเหมาะสม และไม่มี ความเครียดจากโรคแมลง รongลงมาเป็น ลำต้น ใบ และเปลือกหุ้มฝัก เฉลี่ย 155 92 และ 88 กก./ไร่ ตามลำดับ ความเข้มข้นของธาตุอาหาร ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียม โดยเฉลี่ยในส่วนของต้น 0.93% 0.43% และ 2.99% ตามลำดับ ส่วนของใบมีความเข้มข้นของ N P และ K เฉลี่ย 1.87% 0.66% และ 2.14 % ตามลำดับ ส่วนของเมล็ดมีความเข้มข้นของ N P และ K เฉลี่ย 3.29% 0.94% และ 1.43% ตามลำดับ ในส่วนของเปลือกหุ้มฝักมีความเข้มข้นของ N P และ K เฉลี่ย 0.85% 0.17% และ 2.09% ตามลำดับ จะเห็นว่า ส่วนของเมล็ดมีความเข้มข้นของธาตุอาหาร N และ P มากที่สุด ส่วนความเข้มข้นของธาตุ K มีสูงในส่วนของต้น ปริมาณการดูดใช้ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียมทั้งหมด เฉลี่ย 6.15 1.86 และ 5.18 กก./100 กก. ผลผลิต ตามลำดับ (Table 3)

Table 3 Means of nutrient concentration and nutrient uptake in plant parts of mung bean cv. DOA Chai Nat-3 affected by site-specific nutrient management in 2022-2023 cropping seasons

Year	Plant parts	Above ground biomass (kg/rai)	Nutrient concentration (%)			Nutrient uptake (kg/100 kg grain yield)		
			N	P	K	N	P	K
2022	stem	163	1.01	0.15	2.82	0.87	0.13	2.38
	leave	88	2.60	0.32	2.15	1.19	0.15	0.97
	grain	168	3.85	0.47	1.78	3.44	0.42	1.59
	pod shell	63	0.90	0.07	2.42	0.30	0.02	0.81
	Total	483				5.80	0.72	5.75
2023	stem	155	0.93	0.43	2.99	0.55	0.25	1.71
	leave	92	1.87	0.66	2.14	0.65	0.23	0.76
	grain	374	3.29	0.94	1.43	4.68	1.33	2.02
	pod shell	88	0.85	0.17	2.09	0.28	0.05	1.06
	Total	710				6.15	1.86	5.18

องค์ประกอบผลผลิตและผลผลิตของถั่วเขียวพันธุ์ กวก. ชัยนาท 3

ฤดูปลูกปี 2565

การจัดการปุ๋ยอัตราต่าง ๆ ไม่ทำให้จำนวนฝักต่อต้น จำนวนเมล็ดต่อฝัก และน้ำหนักเมล็ด 1,000 เมล็ด แตกต่างกัน ($P>0.05$) โดยมีจำนวนฝักต่อต้น เฉลี่ย 7.5 ฝัก/ต้น จำนวนเมล็ดต่อฝัก เฉลี่ย 10.7 เมล็ด/ฝัก และน้ำหนักเมล็ด 1,000 เมล็ด เฉลี่ย 66.0 กรัม ตามลำดับ แต่การจัดการปุ๋ยในอัตราต่าง ๆ ทำให้ความยาวฝัก และผลผลิตถั่วเขียวผิวมัน พันธุ์ กวก. ชัยนาท 3 แตกต่างกันทางสถิติ ($P<0.05$) เมื่อมีการเพิ่มการใส่ปุ๋ยไนโตรเจน 2 เท่าตามค่าวิเคราะห์ดิน หรือ การใส่ปุ๋ย อัตรา 18-3-3 กก. $N-P_2O_5-K_2O$ /ไร่ ถั่วเขียวให้ผลผลิตสูงถึง 223 กก./ไร่ แต่ไม่แตกต่างกับกรรมวิธีที่ไม่ใส่ปุ๋ยไนโตรเจน (0-3-3 กก. $N-P_2O_5-K_2O$ /ไร่) และกรรมวิธีที่ใส่ปุ๋ยไนโตรเจนอัตราต่ำ (4.5-3-3, 9-3-3 และ 13.5-3-3 กก. $N-P_2O_5-K_2O$ /ไร่) ให้ผลผลิตระหว่าง 172-216 กก./ไร่ อย่างไรก็ตามเมื่อไม่มีการใส่ปุ๋ย (กรรมวิธีควบคุม) ถั่วเขียวกลับให้ผลผลิตต่ำที่สุด เฉลี่ย 136 กก./ไร่ การศึกษาของ Hussain et al. (2011) พบว่า แปลงดินร่วนปนทราย เมื่อไม่มีการใส่ปุ๋ย ผลผลิตได้ต่ำสุด ถึง 71 กก./ไร่ จะเห็นว่า พืชตระกูลถั่วต้องการ N น้อย เนื่องจากมีไรโซเบียมอาศัยอยู่ในปมรากที่สามารถตรึงไนโตรเจนจากอากาศให้แก่พืชตระกูลถั่วได้ (Larue and Patterson, 1981) การใส่ปุ๋ย N ที่มากเกินไปจะยับยั้งกิจกรรมของไรโซเบียมทำให้การดูดดึงไนโตรเจนลดลง ดินที่มี N สูงจะจำกัดการสร้างปมรากถั่ว (Abd-All et al., 2023) ดังนั้นการใส่ปุ๋ย N พร้อมปลูกในดินที่อุดมสมบูรณ์จึงไม่ช่วยเพิ่มผลผลิต แต่จะเป็นประโยชน์สำหรับการใส่ปุ๋ยไนโตรเจนพร้อมปลูกในดินที่มีอินทรีย์วัตถุต่ำ P มีบทบาทเด่นในแง่เร่งการเจริญเติบโตของราก ส่งเสริมกิจกรรมของไรโซเบียมและการสร้างปมราก (Mitran et al., 2018) ส่วนการไม่ใส่ปุ๋ยฟอสเฟต (9-0-3 กก. $N-P_2O_5-K_2O$ /ไร่) และปุ๋ยโพแทสเซียม (9-3-0 กก. $N-P_2O_5-K_2O$ /ไร่) ให้ผลผลิต เฉลี่ย 169 และ 134 กก./ไร่ ตามลำดับ เมื่อใส่ปุ๋ยไนโตรเจนในอัตราแนะนำตามค่าวิเคราะห์ดิน (Table 4)

Table 4 Yield components and yield of mung bean cv. DOA Chai Nat-3 affected by site-specific nutrient management in 2022 cropping season

Fertilizer rate (kg N-P ₂ O ₅ -K ₂ O/rai)	Pods/plant	Pod length (cm)	Seeds/pod	1,000 seed (g)	Yield (kg/rai)
0-0-0	7.4	9.0a	11.1	66.0	136c
0-3-3	7.8	8.6a	10.5	66.3	172a-c
4.5-3-3	7.8	9.1a	10.8	68.7	201ab
9-3-3	6.3	8.8a	10.7	65.3	192ab
13.5-3-3	7.1	8.8a	10.8	65.8	216a
18-3-3	7.3	8.8a	10.9	63.8	223a
9-0-3	6.3	7.7b	9.4	67.8	169bc
9-6-3	8.4	8.7a	10.6	66.3	204ab
9-3-0	7.8	9.0a	11.5	65.3	134c
9-3-1.5	7.6	8.6a	11.0	65.8	154bc
9-3-4.5	7.7	8.9a	10.7	67.7	181ab
9-3-6	8.3	9.1a	10.9	63.7	172ab
Average	7.5	8.6	10.7	66.0	180
F-test	ns	*	ns	ns	*
CV (%)	13.8	4.4	6.3	4.2	16.1

Mean followed by the same letter are not significantly different based on Duncan's New Multiple Range Test significant difference test at $p \leq 0.01$, ** $p \leq 0.05$, * and ns indicate $p \leq 0.05$ and not significant, respectively.

ฤดูปลูกปี 2566

การจัดการปุ๋ยในอัตราต่าง ๆ ส่งผลให้ถั่วเขียวผิวมันมีจำนวนฝักต่อต้น ความยาวฝัก และผลผลิตแตกต่างกันทางสถิติ โดยทุกกรรมวิธีที่มีการใส่ปุ๋ยให้จำนวนฝัก ความยาวฝัก และผลผลิตสูงกว่าการไม่ใส่ปุ๋ยเคมี (0-0-0 กก. N-P₂O₅-K₂O/ไร่) เมื่อเปรียบเทียบเฉพาะการใส่ปุ๋ยไนโตรเจน โดยใส่ปุ๋ยฟอสเฟตและโพแทชตามค่าวิเคราะห์ดิน (3 กก. P₂O₅/ไร่ และ 3 กก. K₂O/ไร่) พบว่า การใส่ปุ๋ยไนโตรเจนในอัตราแนะนำตามค่าวิเคราะห์ดิน (9 กก. N/ไร่) ให้จำนวนฝักสูงที่สุด (15 ฝัก/ต้น) แต่เมื่อเพิ่มอัตราปุ๋ยไนโตรเจนเป็น 1.5 เท่าตามค่าวิเคราะห์ดิน (13.5 กก. N/ไร่) ให้ความยาวฝักสูงที่สุด (10.2 ซม.) สำหรับปริมาณผลผลิตนั้น การไม่ใส่ไนโตรเจนและใส่ปุ๋ยไนโตรเจนที่อัตรา 1 และ 1.5 เท่าตามค่าวิเคราะห์ดิน (0, 9 และ 13.5 กก. N/ไร่) ให้ปริมาณผลผลิตไม่ต่างกัน เฉลี่ยอยู่ในช่วง 255-270 กก./ไร่

ในขณะที่กรณีการใช้ปุ๋ยฟอสเฟต โดยใส่ปุ๋ยไนโตรเจนและโพแทสเซียมตามค่าวิเคราะห์ดิน (9 กก. N/ไร่ และ 3 กก. K₂O/ไร่) ไม่ทำให้จำนวนฝักแตกต่างกัน เฉลี่ยอยู่ในช่วง 14-15 ฝัก/ต้น ความยาวฝัก เฉลี่ยอยู่ในช่วง 9.3-9.6 ซม. และ ผลผลิต เฉลี่ยอยู่ในช่วง 255-265 กก./ไร่ กรณีการใช้ปุ๋ยโพแทสเซียม โดยใส่ปุ๋ยไนโตรเจนและฟอสเฟตตามค่าวิเคราะห์ดิน (9 กก. N/ไร่ และ 3 กก. P₂O₅/ไร่) พบว่า การใช้ปุ๋ยโพแทสเซียมที่อัตรา 2 เท่าตามค่าวิเคราะห์ดิน (6 กก. K₂O/ไร่) ให้จำนวนฝักสูงที่สุด (16 ฝัก/ต้น) แต่ไม่แตกต่างกับอัตรา 1.5 เท่าตามค่าวิเคราะห์ดิน (4.5 กก. K₂O/ไร่) (14 ฝัก/ต้น)

ด้านของความยาวฝัก การใส่ปุ๋ยโพแทสเซียมอัตรา 1.5 เท่าตามค่าวิเคราะห์ดิน ให้ความยาวฝักสูงที่สุด 9.9 ซม. แต่ไม่แตกต่างกับการใส่ปุ๋ยโพแทสเซียมอัตรา 2 เท่าตามค่าวิเคราะห์ดิน (9.8 ซม.) และปริมาณผลผลิต

การใส่ปุ๋ยโพแทสเซียมอัตรา 2 เท่าตามค่าวิเคราะห์ดิน ให้ผลผลิตถั่วเขียวสูงที่สุด 291 กก./ไร่ แต่ไม่แตกต่างกับการไม่ใส่และการใส่ปุ๋ยโพแทสเซียมที่อัตราอื่น เฉลี่ยอยู่ในช่วง 263–277 กก./ไร่ สำหรับจำนวนเมล็ดต่อฝักและน้ำหนัก 1,000 เมล็ด นั้นการใส่ปุ๋ยไม่ทำให้จำนวนเมล็ด/ฝัก (เฉลี่ย 11.1 เมล็ด/ฝัก) และน้ำหนัก 1,000 เมล็ด (72.4 ก.) แตกต่างกัน (Table 5) สรุปได้ว่า การใส่ปุ๋ยอัตรา 9-3-6 กก. N-P₂O₅-K₂O/ไร่ หรือ (1N-1P-2.0K เท่าของอัตราแนะนำตามค่าวิเคราะห์ดิน) ทำให้จำนวนฝัก ความยาวฝัก และผลผลิตสูงที่สุด เมื่อเทียบกับกรรมวิธีการใส่ปุ๋ยระดับอื่น ๆ

Table 5 Yield components and yield of mung bean cv. DOA Chai Nat-3 affected by site-specific nutrient management in 2023 cropping season

Fertilizer rate (kg N-P ₂ O ₅ -K ₂ O/rai)	Pods/plant	Pod length (cm)	Seeds/pod	1,000 seed (g)	Yield (kg/rai)
0-0-0	12c	9.3d	11.3	69.8	201d
0-3-3	13bc	9.7a-d	11.0	72.7	255ab
4.5-3-3	13bc	9.5b-d	11.2	70.7	250bc
9-3-3	15ab	9.6b-d	10.9	73.8	265ab
13.5-3-3	13bc	10.2a	11.3	72.2	270ab
18-3-3	13bc	9.7b-d	11.2	73.8	218cd
9-0-3	14a-c	9.3d	10.9	69.8	255ab
9-6-3	15ab	9.6b-d	11.0	71.0	265ab
9-3-0	13bc	9.5b-d	11.2	72.7	263ab
9-3-1.5	13bc	9.7b-d	10.6	75.0	263ab
9-3-4.5	14a-c	9.9ab	11.9	72.8	277ab
9-3-6	16a	9.8a-c	11.1	74.2	291a
Average	14	9.6	11.1	72.4	256
F-test	*	*	ns	ns	**
CV (%)	10.4	2.9	5.5	4.3	7.4

Mean followed by the same letter are not significantly different based on Duncan's New Multiple Range Test significant difference test at $p \leq 0.01$, ** $p \leq 0.05$, * and ns indicate $p \leq 0.05$ and not significant, respectively.

ผลตอบแทนทางเศรษฐกิจจากการใช้ปุ๋ยในการผลิตถั่วเขียว

ฤดูปลูกปี 2565-2566 การวิเคราะห์ผลตอบแทนทางเศรษฐกิจ พบว่า การใส่ปุ๋ยที่ให้ผลตอบแทนคุ้มค่าแก่การลงทุน คือ การใส่ปุ๋ย อัตรา 0-3-3 กก. N-P₂O₅-K₂O/ไร่ ได้ผลผลิตในฤดูปลูกปีที่ 1 และ 2 เท่ากับ 172 และ 255 กก./ไร่ ตามลำดับ เป็นผลให้ค่า VCR สูงสุด เท่ากับ 2.95 และ 4.11 ดังนั้น การผลิตถั่วเขียวในดินเหนียว จ.ชัยนาท ที่มีปริมาณอินทรีย์วัตถุ ระหว่าง 1.05–1.49% ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ในดิน ระหว่าง 15–24 มก./กก. และโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ ระหว่าง 58–84 มก./กก. ให้ใส่ปุ๋ย อัตรา 0-3-3 กก. N-P₂O₅-K₂O/ไร่ (Table 6) โดยใส่ปุ๋ยพร้อมปลูก ด้วยปุ๋ย 0-46-0 อัตรา 6.5 กก./ไร่ ร่วมกับปุ๋ย 0-0-60 อัตรา 5 กก./ไร่

Table 6 Economic return of mung bean cv. DOA Chai Nat-3 affected by Site-Specific Nutrient management in 2022–2023 cropping seasons

Year	Treatments	Yield (kg/rai)	Increased yield (%)	Gross benefit	Gross return	Cost on fertilizer	Increased cost	Net benefit	Net return	VCR
(Baht/rai)										
2022	0-0-0	136	-	2,870	-	0	-	2,870	-	-
	0-3-3	172	27	3,636	766	260	260	3,376	507	2.95
	4.5-3-3	201	48	4,250	1,381	478	478	3,772	903	2.89
	9-3-3	191	40	4,030	1,161	686	686	3,344	475	1.69
	13.5-3-3	216	59	4,558	1,688	893	893	3,664	795	1.89
	18-3-3	223	64	4,705	1,836	1,101	1,101	3,605	735	1.67
	9-0-3	169	25	3,575	706	521	521	3,054	184	1.35
	9-6-3	204	50	4,294	1,425	1,402	1,402	2,893	23	1.02
	9-3-0	134	-1	2,827	-42	568	568	2,259	-610	-0.07
	9-3-1.5	154	13	3,249	380	633	633	2,617	-253	0.60
	9-3-4.5	181	33	3,819	950	739	739	3,080	211	1.28
	9-3-6	172	26	3,629	760	792	792	2,837	-33	0.96
2023	0-0-0	201	-	5,807	-	0	-	5,807	-	-
	0-3-3	255	27	7,367	1,560	379	379	6,988	1,181	4.11
	4.5-3-3	250	24	7,223	1,416	586	586	6,636	829	2.41
	9-3-3	265	32	7,656	1,849	860	860	6,796	989	2.15
	13.5-3-3	270	34	7,800	1,993	1,134	1,134	6,667	860	1.76
	18-3-3	218	8	6,298	491	1,380	1,380	4,918	-889	0.36
	9-0-3	255	27	7,367	1,560	716	716	6,650	844	2.18
	9-6-3	265	32	7,656	1,849	971	971	6,684	878	1.90
	9-3-0	263	31	7,598	1,791	691	691	6,907	1,100	2.59
	9-3-1.5	263	31	7,598	1,791	775	775	6,823	1,016	2.31
	9-3-4.5	277	38	8,003	2,196	945	945	7,058	1,251	2.32
	9-3-6	291	45	8,407	2,600	1,029	1,029	7,378	1,571	2.53

Fertilizer price: 46-0-0 (21.21 Baht/kg), 0-46-0 (23.47 Baht/kg), 0-0-60 (21.29 Baht/kg) and yield price: 21.1 Baht/kg

Source: สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร (2566)

สรุปผลการทดลอง

การปลูกถั่วเขียว พันธุ์ กวก. ชัยนาท 3 ในดินเหนียว จ.ชัยนาท ส่วนของเมล็ดมีความเข้มข้นของธาตุอาหาร N และ P มากที่สุด ส่วนความเข้มข้นของธาตุ K มีสูงในส่วนของต้น ปริมาณการดูดใช้ในโตรเจน ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียมทั้งหมด เฉลี่ย 5.80-6.15, 0.72-1.86 และ 5.75-5.18 กก./100 กก. ผลผลิต เมื่อพิจารณาผลตอบแทนทางเศรษฐกิจจากการผลิตถั่วเขียวปลูกในดินเหนียว จ.ชัยนาท ที่มีปริมาณอินทรีย์วัตถุ เฉลี่ยอยู่ในช่วง 1.05–1.49% ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ในดิน เฉลี่ยอยู่ในช่วง 15–24 มก./กก. และโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ เฉลี่ยอยู่ในช่วง 58–84 มก./กก. แนะนำให้ใส่ปุ๋ย อัตรา 0-3-3 กก. N-P₂O₅-K₂O/ไร่ หรือ อัตราปุ๋ย 0N-1P-1K ตามค่าวิเคราะห์ดิน ซึ่งถือว่าคุ้มกับการลงทุนให้ค่า VCR สูงสุดถึง 4.11 และให้ผลผลิตถั่วเขียว 255 กก./ไร่

คำขอบคุณ

ขอขอบคุณศูนย์วิจัยพืชไร่ชัยนาทที่ให้ความอนุเคราะห์ช่วยเหลือในการเก็บข้อมูล

การนำผลงานวิจัยไปใช้ประโยชน์

ได้รูปแบบการจัดการปุ๋ยจากการใช้ปุ๋ยเคมีตามค่าวิเคราะห์ดินสำหรับการปลูกถั่วเขียว

เอกสารอ้างอิง

- กรมวิชาการเกษตร. 2539. **บทความย่อผลงานวิจัยความอุดมสมบูรณ์ของดินและปุ๋ยพืชไร่ ปี 2539**. กลุ่มงานวิจัยความอุดมสมบูรณ์ของดินและปุ๋ยพืชไร่ กองปฐพีวิทยา กรมวิชาการเกษตร.
- กรมวิชาการเกษตร. 2544. **คู่มือวิเคราะห์ดินและพืช**. ชุมชนสหกรณ์การเกษตรแห่งประเทศไทย. กรุงเทพฯ.
- กรมวิชาการเกษตร. 2548. **คำแนะนำการใช้ปุ๋ยกับพืชเศรษฐกิจ**. กลุ่มวิจัยปฐพีวิทยา สำนักวิจัยพัฒนาปัจจัยการผลิตทางการเกษตร กรมวิชาการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์.
- กรมวิชาการเกษตร. 2564. **คำแนะนำการใช้ปุ๋ยตามค่าวิเคราะห์ดิน สำหรับพืชไร่เศรษฐกิจ**. กองวิจัยพัฒนาปัจจัยการผลิตทางการเกษตร กรมวิชาการเกษตร, กระทรวงเกษตรและสหกรณ์. กรุงเทพฯ.
- กรมส่งเสริมการเกษตร. 2563. ถั่วเขียว. แหล่งข้อมูล <http://www.agriman.doae.go.th> สืบค้น: 25 พฤศจิกายน 2565.
- กองสำรวจดิน. 2523. **คู่มือการจำแนกความเหมาะสมของที่ดินสำหรับพืชเศรษฐกิจ**. เล่มที่ 28. กรมพัฒนาที่ดิน กระทรวงเกษตรและสหกรณ์ กรุงเทพฯ.
- ข่าวอิสรา. 2562. ก.เกษตร ปรับปรุงพันธุ์ถั่วเขียว 13 ปี-ส่งแข่งขันได้ตลาดส่งออก. แหล่งข้อมูล <https://www.isranews.org/isranews-short-news/81034-isranews-81034.html> สืบค้น: 19 กุมภาพันธ์ 2563.
- จิราลักษณ์ ภูมิไธสง, ชูชาติ บุญศักดิ์, สุนา งามผ่องใส, นงลักษณ์ ปันลาย, เรณู บุญผาสุข, ศิริวรรณ อัมพันฉาย, น้ำอ้อย นาคา, ณัฐวดี นิยมพาลี, คมหยก ใจกล้า, สุพัตรา นันตาเวียง, เขวณาท พงษ์ทิเทพ, อารดา มาสรี, ปวีณา ไชยวรรณ, วิไลรัตน์ แป้นแก้ว และวันชัย ถนอมทรัพย์. 2561. การพัฒนาเกษตรกรเพื่อเพิ่มศักยภาพการผลิตเมล็ดพันธุ์ถั่วเขียวในระดับชุมชน. แหล่งข้อมูล <https://www.doe.go.th/research/showthread.php?tid=2719> สืบค้น: 15 ตุลาคม 2566.
- เทคโนโลยีชาวบ้าน. 2559. ถั่วเขียวหลังนา ยังทำเงินที่ชัยนาท. แหล่งข้อมูล https://www.technologychaoban.com/agricultural-technology/article_1105 สืบค้น: 19 กุมภาพันธ์ 2563.
- บดินทร์ ศักดาเที่ยงยงค์. 2559. ปลูกถั่วเขียว น้ำแล้งก็ไม่แล้งอาชีพ. แหล่งข้อมูล: <https://www.dailynews.co.th/article/390529> สืบค้น: 19 กุมภาพันธ์ 2563.
- สถาบันวิจัยพืชไร่และพืชทดแทนพลังงาน. 2563. **เทคโนโลยีการผลิตถั่วเขียว**. กรมวิชาการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์
- สมศักดิ์ ทองเอี่ยม. 2559. รักษาเกษตร: ถั่วเขียว พืชทนแล้ง. แหล่งข้อมูล <https://www.naewna.com/local/247671> สืบค้น: 19 กุมภาพันธ์ 2563.
- สายน้ำ อุดพัย, ชัชชนพร เกื้อหนู, นุชนาฏ ตันวรรณ และณิชากรนต์ เกื้อนพรม. 2565. ผลของปุ๋ยโพแทชต่อการเจริญเติบโตและผลผลิตของข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ในดินร่วนเหนียว. **วารสารวิชาการเกษตร**. 40(3):3

- สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร. 2566. **สารสนเทศเศรษฐกิจการเกษตรรายสินค้า ปี 2565**. สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์.
- อร กาญจน์ชฐิติ. 2530. ต้นทุนและอัตราผลตอบแทนจากการลงทุนผลิตถั่วเขียวในเขตภาคกลาง ของประเทศไทย. แหล่งข้อมูล: <http://cuir.car.chula.ac.th/handle/123456789/29735> สืบค้น: 25 พฤศจิกายน 2565.
- Abd-Alla, M.H., S.M., Al-Amri, and A.W. E. El-Enany. 2023. Enhancing Rhizobium–legume symbiosis and reducing nitrogen fertilizer use are potential options for mitigating climate change. *Agriculture* 13(11): 2092.
- ACIAR. 2015. *Mungbean production guide for cambodian conditions*. Australian Centre for International Agricultural Research. Australian Government.
- Akpapunam, M. 1996. Mung bean (*Vigna radiata* (L.) Wilczek). In: Nwokolo, E., Smartt, J. (eds) *Food and Feed from Legumes and Oilseeds*. Springer, Boston, MA.
- Arsalan, M., S. Ahmed, J.N. Chauhdary, and M. Sarwar. 2016. Effect of vermicompost and phosphorus on crop growth and nutrient uptake in mungbean. *Journal of Applied Agriculture and Biotechnology* 1(2): 38-47.
- Bouyoucos, G.J. 1936. Directions for Making Mechanical Analysis of Soils by the Hydrometer Method. *Soil Science* 42(3): 225-230.
- Bray, R. H. and Kurtz, L. T. 1945. Determination of Total Organic and Available Forms of Phosphorus in Soils. *Soil Science* 59: 39-45.
- Hussain, F., A.U. Malik, M.A. Haji, and A.L. Malghani. 2011. Growth and yield response of two cultivars of mungbean (*Vigna radiata* L.) to different potassium level. *The journal of animal & plant sciences* 21(3): 622-625.
- Jian, J., D. Lauricella, R. Armstrong, P. Sale, and C. Tang. 2014. Phosphorus application and elevated CO₂ enhance drought tolerance in field pea grown in a phosphorus-deficient vertisol. *Annals of Botany*. 116(6):975-985.
- Larue, T.A., and T.G. Patterson. 1981. How much nitrogen do legumes fix?. *Advances in Agronomy* 34:15-38.
- Jie, L. 2011. Effects of the Different Density and Fertilizer Application Methods on the Yield of Mung Bean. *Horticulture & Seed*.
- Mitran, T., Meena, R.S., Lal, R., Layek, J., Kumar, S., and R. Datta. 2018. Role of soil phosphorus on legume production. In: Meena, R., Das, A., Yadav, G., Lal, R. (eds) *Legumes for Soil Health and Sustainable Management*. Springer, Singapore.
- Nasution, F. 2020. Production Response of Mung Bean (*Vigna radiata* L.) on the Application of Phosphorus Fertilizer and Oil Palm Bunch Ash. *Indonesian Journal of Agricultural Research*.
- Nelson, D.W. and L.E., Sommer. 1982. Total Carbon, Organic Carbon and Organic Matter. *Methods of Soil Analysis, Part 2. Chemical and Microbiological Properties*, 2nd Edition. ASASSA, Madison, 595-579.

- Oad, F.C., A.N. Shah, G.H. Jamro, and S. Ghaloo. 2003. Phosphorus and potassium requirements of mungbean (*vigna radiata*). *Journal of Applied Sciences* 3(6):428–431.
- Oplinger E.S., L. L. Hardman, A. R. Kaminski, S. M. Combs and J. D. Doll. 1990. Mung bean. Available at: <http://corn.agronomy.wisc.edu/Crops/Mungbean.aspx>. Assessment: February 17, 2020.
- Peech, M. 1965. Hydrogen-ion Activity, pp. 914-925. *In* C. A. Black (ed.). *Method of Soil Analysis Part 2: Chemical and Microbiological Properties No. 9*. American Society of Agronomy. Madison, Wisconsin.
- Pratt, P.F. 1965. Potassium. *Methods of Soil Analysis: Part II chemical and microbiological properties*. ASA. (9): 1022–1030.
- Rayment, G.E. and F.R. Higginson. 1992. *Australian laboratory handbook of soil and water chemical methods*. Inkata press. Melbourne.
- Tisdale, S. L., W. L. Nelson and J. D. Beaton. 1990. Soil fertility and fertilizer. *Elements required in plant nutrition*. 4th Ed. Maxwell McMillan Publishing, Singapore, 52-92.
- Yanni, Y.G., R.Y. Rizk, F.K.A. Elfattah, A. Squartini, C. Viviana, G. Alessio, et al. 2001. The beneficial plant growth-promoting association of rhizobium leguminosarum bv. trifolii with rice roots. *Functional Plant Biology* 28(9):845–870.
- Yin, Z., W. Guo, H. Xiao, J. Liang, X. Hao, N. Dong, T. Leng, Y. Wang, Q. Wang and F. Yin. 2018. Nitrogen, Phosphorus, and Potassium Fertilization to Achieve Expected Yield and Improve Yield Components of Mung Bean. *PloS ONE* 13(10).



**ผลงานวิจัยเด่นและการนำไปใช้ประโยชน์
ปี พ.ศ. 2565-2568**

ชุดตรวจอินทรีย์วัตถุ ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียมในดินแบบรวดเร็ว
และระบบการให้คำแนะนำการใช้ปุ๋ยแบบเบ็ดเสร็จ

Innovative for Organic Matter Phosphorus and Potassium Soil Test Kit
and Comprehensive Fertilizer Recommendation System

สุภา โพธิ์จันทร์^{1/*} กัญธนา คล้ายแก้ว^{1/} สงกรานต์ มะลิสอน^{1/} จิตติรัตน์ ชูชาติ^{1/} วิชญ์ ออมทรัพย์สิน^{2/} จิรัตน์ กุศลวิริยะวงศ์^{1/}
Supha Photichan^{1/*} Kanthana Klaigaew^{1/} Songkrant Malisorn^{1/} Jittirat Choochart^{1/}
Vichanee Ormzubsin^{2/} Charirat Kusonwiriawong^{1/}

ABSTRACT

The organic matter, phosphorus, and potassium soil test kit was developed in the form of a paper-based sensor (paper-strip) integrated with a web application for fertilizer recommendation. This work builds upon the Department of Agriculture's existing kit, employing standard chemical methods (KMnO₄ oxidizable carbon, molybdenum blue, and cobaltinitrite) to generate colorimetric reactions on the strips. Soil samples of varying fertility levels were photographed using different smartphone models under diverse lighting conditions. Deep learning models (AlexNet, ResNet-50, and MobileNet V3-large) were trained to predict nutrient concentrations. Among these, AlexNet performed best, achieving accuracies above 85% with high reliability. Reagent storage tests confirmed stability at room temperature. The developed web application interprets results automatically, classifies nutrient levels, and computes crop-specific fertilizer requirements based on the Department of Agriculture's guidelines. The system minimizes errors from visual color comparison, enhances accuracy, reduces reagent and equipment use, and lowers kit production costs. Importantly, it allows farmers to perform soil testing independently, obtain timely results, and apply fertilizers more efficiently, thereby reducing excessive fertilizer use and overall production costs.

Key word: Soil test kit, Paper-based sensor, Precision agriculture, Web application

^{1/} กองวิจัยพัฒนาปัจจัยการผลิตทางการเกษตร กรมวิชาการเกษตร กรุงเทพมหานคร 10900

^{1/} Agricultural Production Sciences Research and Development Division Department of Agriculture Bangkok 10900

^{2/} ศูนย์วิจัยปาล์มน้ำมันสุราษฎร์ธานี สุราษฎร์ธานี 84340

^{2/} Surat Thani Palm Oil Research Center Surat Thani 84340

* mostfriend@hotmail.com

บทคัดย่อ

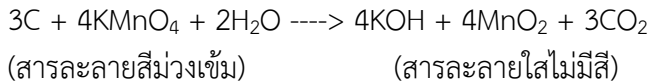
การพัฒนาชุดตรวจวิเคราะห์ดินแบบรวดเร็วสำหรับอินทรีย์วัตถุ ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียม ในรูปแบบกระดาษเซนเซอร์ (paper-strip) ซึ่งสามารถอ่านและแปลผลได้ง่าย เชื่อมโยงกับระบบให้คำแนะนำการใช้อยู่ผ่านเว็บแอปพลิเคชัน การพัฒนานี้ต่อยอดจากชุดตรวจสอบของกรมวิชาการเกษตร โดยใช้วิธีมาตรฐาน (KMnO_4 oxidizable carbon, Molybdenum blue, และ Cobaltinitrite) เป็นต้นแบบของปฏิกิริยาเคมีที่แสดงผลด้วยการเปลี่ยนสีบนกระดาษทดสอบ จากนั้นถ่ายภาพด้วยสมาร์ตโฟนหลายรุ่นภายใต้สภาวะแสงต่าง ๆ เพื่อนำไปสร้างแบบจำลองทำนายปริมาณธาตุอาหารด้วยเทคนิค Deep Learning เปรียบเทียบ 3 แบบจำลอง ได้แก่ AlexNet, ResNet-50 และ MobileNet V3-large ผลการวิเคราะห์พบว่า AlexNet มีประสิทธิภาพสูงสุดด้วยความแม่นยำมากกว่า 85% สำหรับทุกธาตุ และมีค่าความเชื่อมั่นระดับดีมาก นอกจากนี้ยังศึกษาสภาวะการเก็บรักษา พบว่า สารทดสอบสามารถเก็บรักษาได้ที่อุณหภูมิห้อง และพัฒนาเว็บแอปพลิเคชันที่สามารถอ่านผลเป็นตัวเลข แปลผลเป็นระดับความเข้มข้น และคำนวณคำแนะนำการใช้อยู่ได้อัตโนมัติ ระบบนี้ช่วยลดความผิดพลาดจากการอ่านด้วยตา เพิ่มความถูกต้อง ลดต้นทุนการผลิตชุดตรวจสอบ และทำให้เกษตรกรสามารถทดสอบดินและใช้อยู่ได้อย่างเหมาะสม ลดการใช้อยู่เกินจำเป็นและลดต้นทุนการผลิตทางการเกษตร

คำสำคัญ: ชุดตรวจดินแบบรวดเร็ว กระดาษเซนเซอร์ เกษตรแม่นยำ เว็บแอปพลิเคชัน

บทนำ

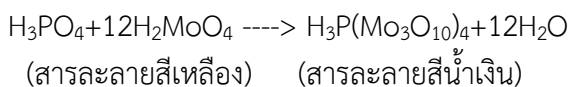
การวิเคราะห์ดินเป็นวิธีสำคัญในการประเมินความอุดมสมบูรณ์ของดิน เพื่อช่วยลดการใช้อยู่เคมีเกินความจำเป็นและลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม อย่างไรก็ตาม การวิเคราะห์ในห้องปฏิบัติการอาจไม่สะดวกสำหรับเกษตรกร จึงมีการพัฒนาชุดตรวจสอบธาตุอาหารในประเทศไทย เช่น ชุดตรวจสอบไนโตรเจน ฟอสฟอรัส โพแทสเซียม (Attanadana *et al.*, 2001) ชุดตรวจสอบอินทรีย์วัตถุในปุ๋ยอินทรีย์ (จิตติมา และคณะ, 2552) ชุดตรวจสอบอินทรีย์วัตถุในดิน (มณีทิพย์, 2556) ชุดตรวจสอบโดยกรมพัฒนาที่ดิน และมหาวิทยาลัยเชียงใหม่ แต่ยังมีข้อจำกัด เช่น การใช้สารเคมีที่กัดกร่อน ราคาแพง ขั้นตอนซับซ้อน และอายุการใช้งานสั้น กรมวิชาการเกษตร จึงได้พัฒนาชุดตรวจสอบอินทรีย์วัตถุ ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียมในดิน ที่ใช้น้ำยาสกัดเดี่ยวซึ่งประหยัดเวลาและให้ผลแม่นยำ (เฉลี่ยร้อยละ 80.50) โดยใช้วิธี Indicator method และ Colorimetric method ซึ่งแม้จะมีข้อดีด้านความง่ายและความน่าเชื่อถือ แต่ยังคงมีข้อจำกัดด้านต้นทุนสารเคมี อายุการใช้งาน และความยุ่งยากบางขั้นตอน เช่น การอ่านผลจากแผ่นเทียบสี ดังนั้น จึงมีความจำเป็นต้องพัฒนาชุดตรวจสอบที่ลดการใช้สารเคมีราคาแพง ลดขั้นตอน เพิ่มความแม่นยำ และใช้แอปพลิเคชันบนสมาร์ตโฟนช่วยอ่านและแปลผล รวมทั้งพัฒนาบรรจุภัณฑ์เพื่อยืดอายุการใช้งานให้เหมาะสมต่อการใช้จริง

การประเมินไนโตรเจนในดินได้จากปริมาณอินทรีย์วัตถุ สำหรับการให้คำแนะนำปุ๋ยตามค่าวิเคราะห์ดินของกรมวิชาการเกษตรใช้วิธี Wet acid dichromate oxidation (Walkley and Black, 1934) ซึ่งใช้สารเคมีที่เป็นอันตรายต่อผู้ทดสอบ ก่อมลพิษต่อสิ่งแวดล้อม และยากต่อการกำจัด ได้แก่ กรดซัลฟิวริก และโพแทสเซียมไดโครเมต Weil *et al.* (2003) Culman *et al.*, (2012) ได้ศึกษาวิธีการวิเคราะห์อินทรีย์วัตถุที่ใช้สารเคมีที่ไม่มีฤทธิ์กัดกร่อนในการวิเคราะห์ปริมาณคาร์บอนที่ง่ายต่อการสลายตัว (Labile carbon) โดยวัดปริมาณคาร์บอนที่ถูกออกซิไดส์ด้วยโพแทสเซียมเปอร์แมงกาเนต (KMnO_4) หรือต่างหับทิม เป็นการทำปฏิกิริยาระหว่าง KMnO_4 กับคาร์บอนในดินนั้นจะทำให้คุณสมบัติของ KMnO_4 เปลี่ยนไป คือสีม่วงเข้มเปลี่ยนเป็นสารละลายใสไม่มีสี (KMnO_4 1 มิลลาร์จะออกซิไดส์ คาร์บอนได้ 9,000 มิลลิกรัม) ซึ่งเกิดจากการเปลี่ยนประจุของ Mn^{+7} เป็น Mn^{+2} (Loginow *et al.*, 1987) ดังสมการ

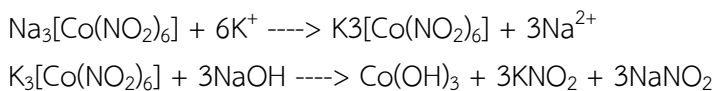


สอดคล้องกับ Lucas and Weil (2012) ที่ได้ศึกษาการวิเคราะห์ Labile carbon เพื่อทำนายการตอบสนองของพืชต่อการปรับปรุงอินทรีย์วัตถุในดินของแปลงทดสอบระยะยาว พบว่า ปริมาณคาร์บอนที่ถูกออกซิไดส์ด้วยโพแทสเซียมเปอร์แมงกาเนต (Permanganate oxidizable carbon : POXC) มีสหสัมพันธ์กับผลผลิตของข้าวโพด วิธีทดสอบ POXC เป็นวิธีที่แสดงการเกิดสีชัดเจน สามารถพัฒนาเป็นชุดตรวจสอบได้อีกทั้งมีราคาถูก ปลอดภัยต่อสิ่งแวดล้อมและผู้ใช้งาน และสามารถประเมินปริมาณอินทรีย์วัตถุในดินได้

หลังจากสกัดตัวอย่างดิน ด้วยน้ำสกัดที่เหมาะสม นำสารละลายดินมาทำปฏิกิริยาเพื่อนำมาหาปริมาณฟอสฟอรัสในดิน และโพแทสเซียมในดิน โดยการวิเคราะห์ฟอสฟอรัสในดิน ที่สามารถประยุกต์ใช้พัฒนาเป็นชุดตรวจสอบได้ คือ Molybdenum blue method (Koralage *et al.*, 2015) เนื่องจากเป็นวิธีที่สามารถเห็นความแตกต่างของสีน้ำเงินชัดเจนและเป็นสัดส่วนโดยตรงกับปริมาณฟอสฟอรัสที่มีอยู่ในดิน โดย Phosphate ion ในสารละลายดิน ทำปฏิกิริยากับ Ammonium molybdate ascorbic acid ทำให้เกิดสารประกอบเชิงซ้อนสีน้ำเงินดังสมการ



การวิเคราะห์โพแทสเซียมในดิน ที่สามารถประยุกต์ใช้พัฒนาเป็นชุดตรวจสอบ คือ Sodium Cobaltinitrite Method (Vendilo *et al.*, 2010) โดยตกตะกอนโพแทสเซียมกับ Sodium Cobaltinitrite ดังสมการ



การเรียนรู้เชิงลึก (Deep Learning) เป็นเทคนิคหนึ่งของการเรียนรู้ของเครื่อง (Machine Learning) ที่ใช้โครงข่ายประสาทเทียมหลายชั้น (Artificial Neural Network) ทำให้สามารถเรียนรู้ข้อมูลที่ซับซ้อนได้ดีกว่าการใช้โครงข่ายชั้นเดียว ปัจจุบันนิยมใช้ในงานที่เกี่ยวข้องกับข้อมูลภาพ เช่น การรู้จำใบหน้า การตรวจจับวัตถุ การทำนายโรคพืช การตรวจหาเซลล์มะเร็ง และการจำแนกภาพถ่ายดาวเทียม โดยมีทศวรรษ โครงข่ายประสาทแบบคอนโวลูชัน (Convolutional Neural Network: CNN) ซึ่งมีความสามารถในการสกัดคุณลักษณะ (Feature Extraction) และรักษาความสัมพันธ์ของพิกเซล ทำให้จำแนกลักษณะของภาพ เช่น รูปร่าง สี ขนาด และเส้นขอบ ได้อย่างแม่นยำ เทคนิคนี้จึงถูกนำมาใช้อย่างแพร่หลายในงานประมวลผลภาพและปัญญาประดิษฐ์สมัยใหม่ และสามารถปรับแต่งโครงสร้างเครือข่ายให้เหมาะสมกับวัตถุประสงค์เฉพาะของแต่ละงานได้

AlexNet (Krizhevsky *et al.*, 2012) เป็นแบบจำลองประเภท CNN รูปแบบหนึ่งได้รับความนิยมอย่างแพร่หลายในงานด้านการรู้จำรูปภาพ ซึ่งถูกพัฒนาขึ้นสำหรับงานจำแนกประเภทข้อมูลภาพที่มีจำนวนประเภทมากถึง 1000 ประเภท จากผลการทดสอบกับชุดข้อมูล ImageNet ซึ่งเป็นชุดข้อมูลสำหรับฝึกฝนที่เป็นที่นิยมนำมาใช้ในการตรวจสอบความแม่นยำของแบบจำลอง มีข้อมูลจำนวน 1000 ประเภท พบว่า AlexNet มีค่า Top1 Accuracy อยู่ที่ 56.55 % ซึ่งเป็นค่าที่จะวัดเฉพาะเมื่อแบบจำลองจำแนกประเภทข้อมูลนั้น ๆ ถูกต้องและให้ค่าความน่าจะเป็นในการตอบข้อมูลประเภทนั้นสูงที่สุด

ResNet-50 เป็นแบบจำลอง Convolutional Neural Network (CNN) ที่ถูกพัฒนาขึ้นโดย Microsoft Research เป็นแบบจำลองที่สามารถเรียนรู้และสร้างการสังการคำนวณภายในโครงข่ายในลักษณะที่มีความลึกมากกว่าโมเดล CNN ทั่วไปได้ โดยมีความสามารถในการจดจำและจำแนกประเภทของวัตถุใน

รูปภาพอย่างแม่นยำ แต่ข้อเสียคือจะต้องใช้ทรัพยากรการประมวลผลและหน่วยความจำมากขึ้นในการฝึกฝนแบบจำลอง

MobileNet (Howard *et al.*, 2019) เป็นแบบจำลองประเภท CNN รูปแบบหนึ่งมีขนาดเล็ก มีจำนวนพารามิเตอร์น้อยเพียง 5.4 ล้าน พารามิเตอร์ จากผลการทดสอบกับชุดข้อมูล ImageNet พบว่า MobileNet มีค่า Top1 Accuracy อยู่ที่ 75.20 % ซึ่งถือว่ามีความแม่นยำสูงและอยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้เมื่อเทียบกับจำนวนพารามิเตอร์ ในการพัฒนาระบบและเว็บแอปพลิเคชันสำหรับผู้ใช้งานที่ใช้คอมพิวเตอร์ทั่วไปหรือโทรศัพท์มือถือที่ไม่สามารถรองรับการประมวลผลที่ซับซ้อนได้

อุปกรณ์และวิธีการ

อุปกรณ์

1. เครื่องชั่งไฟฟ้าทศนิยม 2 ตำแหน่ง
2. เครื่องเฟลมโฟโตมิเตอร์
3. เครื่อง Uv-vis spectrophotometer
4. เครื่องแก้วและสารเคมีที่ใช้ในห้องปฏิบัติการ

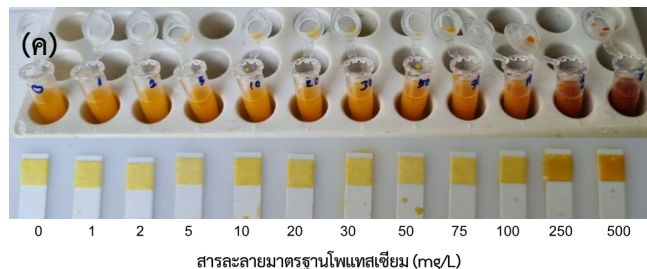
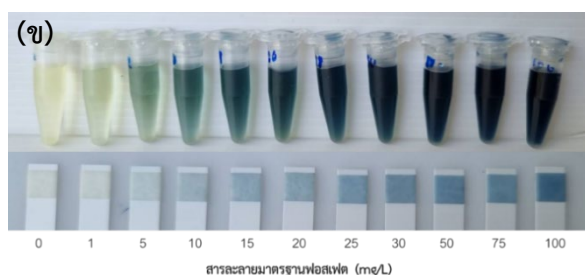
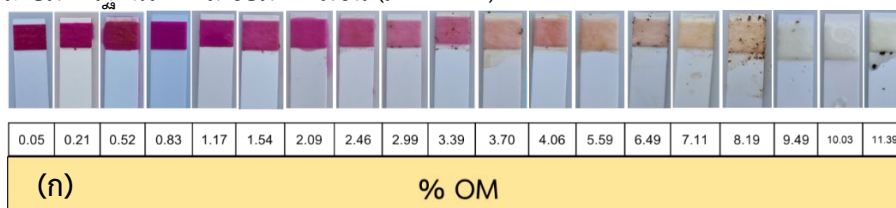
วิธีการ

1. คัดเลือก Reactive paper/active sensor paper-strip เพื่อเป็นแผ่นดูดซับสารเคมี (adsorption pad)
2. ทดสอบ Reactive paper/active sensor paper-strip กับสีของปฏิกิริยา ดังนี้
 - 4.1 อินทรียวัตถุ ทดสอบด้วย KMnO_4 oxidize carbon method
 - 4.2 ฟอสฟอรัส ทดสอบด้วย Molybdenum blue method
 - 4.3 โพแทสเซียม ทดสอบด้วย Turbidimetric method
3. พัฒนาแอปพลิเคชันสำหรับอ่านผลการทดสอบและแปลผลการทดสอบ
 - 3.1 การพัฒนาระบบประเมินปริมาณธาตุอาหารในดินและการให้คำแนะนำการใช้ปุ๋ยตามค่าวิเคราะห์ดิน
 - 3.1.1 คัดเลือกตัวอย่างดิน ปริมาณอินทรียวัตถุ ฟอสฟอรัสและโพแทสเซียมต่ำถึงสูง
 - 3.1.2 ถ่ายภาพสีของปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นบน paper-strip ที่ได้จากการทดสอบกับตัวอย่างดินที่คัดเลือกได้ โดยใช้สมาร์ตโฟนที่แตกต่างกัน 4 รุ่น และถ่ายในที่มีแสงสว่างแตกต่างกัน คือ ภายในอาคารและภายนอกอาคาร
 - 3.1.3 เตรียมข้อมูลภาพถ่าย paper-strip เพื่อเป็นข้อมูลฝึกฝน (training data)
 - 3.1.4 นำเข้าภาพสู่โปรแกรมประมวลผลเพื่อวิเคราะห์สหสัมพันธ์ (Correlation Analysis) ระหว่างค่าสีของปฏิกิริยาบน paper-strip กับปริมาณอินทรียวัตถุ ฟอสฟอรัสและโพแทสเซียมในดิน
 - 3.1.5 ฝึกฝนแบบจำลองเพื่อทำนายค่าวิเคราะห์ธาตุอาหารในดินโดยใช้แบบจำลอง AlexNet, ResNet50 และ MobileNet V3-large พิจารณาค่า MSE ที่ได้จากการฝึกฝนแบบจำลอง
 - 3.1.6 เลือกใช้โมเดลที่ดีที่สุดเพื่อนำมาพัฒนาระบบประเมินปริมาณธาตุอาหารในดินอัตโนมัติ
 - 3.2 พัฒนาเว็บแอปพลิเคชัน (Web Application) เพื่อการใช้งานและแสดงผลข้อมูล
4. ทดสอบความถูกต้องแม่นยำ (accuracy) Specificity, Selectivity และความน่าเชื่อถือ (Test Kit Method Validation)
 - 4.1 นำข้อมูลภาพถ่ายของ paper-strip ที่ใช้ในการพัฒนาระบบประเมินปริมาณธาตุอาหารในดินมาทำนายผลการทดสอบอินทรียวัตถุ ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียมโดยใช้เว็บแอปพลิเคชันที่พัฒนาขึ้น

- 4.2 นำผลการทำนายมาแจกแจงตามระดับความเข้มข้นต่ำ ปานกลาง และสูง สำหรับไม้ผล (กรมวิชาการเกษตร, 2564) เปรียบเทียบกับผลวิเคราะห์จากห้องปฏิบัติการ
- 4.3 ประเมินความแม่นยำของชุดตรวจสอบ และค่าสถิติ Specificity, Selectivity และ Kappa coefficient (k)
5. ปรับปรุงชุดทดสอบ และแอปพลิเคชัน ให้มีความถูกต้อง ความจำเพาะ และความแม่นยำมากขึ้น และเชื่อมโยงข้อมูลผลการวิเคราะห์กับชนิดพืช และการใส่ปุ๋ยตามผลวิเคราะห์ดิน
6. จัดเตรียมวัสดุอุปกรณ์ชุดตรวจสอบและนำไปทดสอบตัวอย่างดินในภาคสนาม วิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างวิธีวิเคราะห์ของกระดาษเซนเซอร์ทดสอบและอ่านผลการทดสอบด้วยแอปพลิเคชันบนสมาร์ตโฟนที่พัฒนาขึ้นกับวิธีของห้องปฏิบัติการ โดยหาค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (The Coefficient of Correlation, r)
7. การศึกษาความเสถียร
 - 7.1 ศึกษาผลของอุณหภูมิต่อความเสถียรในระยะสั้น (Short-term stability) ของน้ำยาทดสอบและสารเคมี ที่การจัดเก็บที่อุณหภูมิ 5, 30, 45 และ 60 องศา ตามเวลาที่กำหนด คือ 0, 2, 4, 6, 8 และ 10 สัปดาห์
 - 7.2 ศึกษาสถานะการจัดเก็บของน้ำยาทดสอบ ในบรรจุภัณฑ์ต่างๆ ภายใต้สภาวะควบคุมในระยะยาว (Long-term stability) โดยการเก็บที่อุณหภูมิห้องและเก็บในตู้เย็นที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส เพื่อกำหนดอายุของชุดตรวจสอบ ที่เวลา 0, 2, 4, 6, 8, 10 และ 12 เดือน
 - 7.3 ประเมินความเสถียรทางสถิติ Regression analysis ตาม ISO guide 35
8. สรุปและรายงานผล

ผลการทดลองและวิจารณ์

1. คัดเลือกชนิด Reactive paper/active sensor paper-strip (paper-strip) ชนิด cellulose membrane ใช้เป็นตัวบ่งชี้หรือตรวจวัดค่าการเปลี่ยนแปลงหรือสามารถตรวจจับกับสาร (analyte) ด้านเคมี แล้วทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงทางของสีได้อย่างชัดเจน เพื่อเป็นแผ่นดูดซับสารเคมี (adsorption pad) นำมาทดสอบกับสีของปฏิกิริยา
2. ทดสอบ paper-strip กับสีของปฏิกิริยา พบว่า อินทรียวัตถุ สีของปฏิกิริยาบน paper strip ลดลงตามความเข้มข้นของอินทรียวัตถุที่เพิ่มขึ้น (ภาพที่ 1ก) ฟอสฟอรัส สีของปฏิกิริยาเพิ่มขึ้นตามความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานฟอสเฟตที่เพิ่มขึ้น (ภาพที่ 1ข) และโพแทสเซียม สีของปฏิกิริยาเพิ่มขึ้นตามความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานโพแทสเซียมที่เพิ่มขึ้น (ภาพที่ 1ค)



ภาพที่ 1 สีของปฏิกิริยาที่ทดสอบ ก) อินทรียวัตถุ ข) ฟอสฟอรัส ค) โพแทสเซียม

3. พัฒนาแอปพลิเคชันสำหรับอ่านผลการทดสอบและแปลผลการทดสอบ

3.1 การพัฒนาระบบประเมินปริมาณธาตุอาหารในดินและการให้คำแนะนำการใช้ปุ๋ยตามค่าวิเคราะห์ดิน

3.1.1 คัดเลือกตัวอย่างดินเพื่อนำมาทดสอบกับ paper-strip สำหรับทดสอบอินทรีย์วัตถุ จำนวน 160 ตัวอย่าง มีปริมาณอินทรีย์วัตถุต่ำมากถึงสูงมาก (0.04 – 11.39%) สำหรับทดสอบฟอสฟอรัสและโพแทสเซียม จำนวน 247 ตัวอย่าง มี ปริมาณฟอสฟอรัสต่ำมากถึงสูงมาก (3 – 5676 mg/kg) และปริมาณโพแทสเซียมต่ำถึงสูงมาก (6-3860 mg/kg)

3.1.2 ถ่ายภาพสีของปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นบน paper-strip ที่ทดสอบกับตัวอย่างดินที่คัดเลือกได้ ในสถานะที่มีแสงสว่างแตกต่างกัน 2 สถานะ คือ ภายในอาคารที่มีแสงไฟ และ ภายนอกอาคารสถานที่กลางแจ้งโดยใช้สมาร์ทโฟนที่แตกต่างกัน 4 รุ่น ได้แก่ iPhone 14 Pro Max (Iphone), Samsung Galaxy S21 FE (Samsung), OPPO Reno5 (Oppo) และ Xiaomi Redmi Note 8 (Redmi)

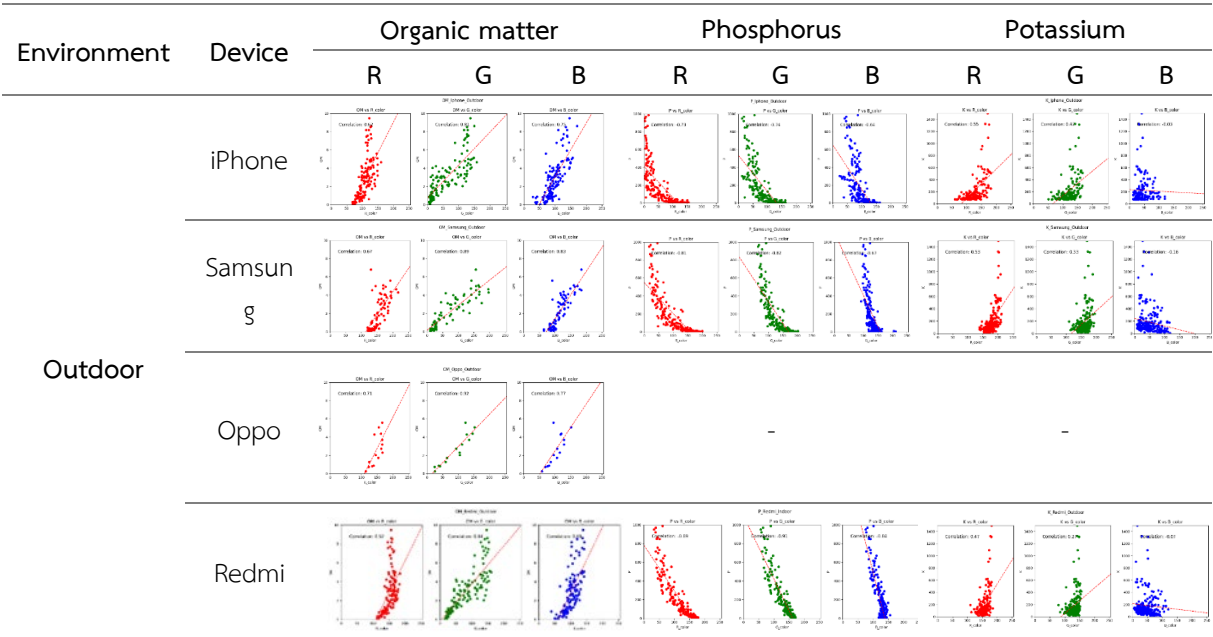
3.1.3 เตรียมข้อมูลภาพถ่าย paper-strip เพื่อเป็นข้อมูลฝึกฝน (training data) โดยบันทึกข้อมูลรูปภาพในระบบคอมพิวเตอร์ตามสถานะที่กำหนด เลือกภาพที่ชัดเจนไม่มีสิ่งกีดขวางบนภาพ ปรับขนาดภาพ (Resizing) ให้เป็นมาตรฐาน คือ 350x350 พิกเซล เพิ่มข้อมูลภาพ (Data Augmentation) เพื่อความหลากหลายของข้อมูล เช่น การหมุนภาพ การพลิกภาพ ตัดภาพตรงกลาง (Center Cropping) ให้เหลือขนาด 224x224 พิกเซล

3.1.4 วิเคราะห์ค่าสีโดยใช้เทคนิค K-means clustering จากภาพสีของปฏิกิริยาบน paper-strip จัดลำดับความสัมพันธ์ระหว่างค่าสีของปฏิกิริยาบน paper-strip กับปริมาณอินทรีย์วัตถุ ฟอสฟอรัสและโพแทสเซียมในดิน พบว่า ค่า R G B มีความสัมพันธ์กับปริมาณฟอสฟอรัสในดิน สูงที่สุด ส่วนอินทรีย์วัตถุยังมีการกระจายตัวของข้อมูลค่อนข้างมาก และ ไม่มีความสัมพันธ์กับปริมาณโพแทสเซียมในดิน (ตารางที่ 1) ดังนั้นวิธีนี้จึงไม่เหมาะสมที่จะใช้ในการพัฒนาแบบจำลองทำนายปริมาณอินทรีย์วัตถุ ฟอสฟอรัสและโพแทสเซียมในดิน

ตารางที่ 1 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณอินทรีย์วัตถุ ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียมในดินในดินและค่าสี RGB ที่ถ่ายจากแถบสีบน paper- strip โดยใช้โทรศัพท์และสภาพแวดล้อมแตกต่างกัน

Environment	Device	Organic matter			Phosphorus			Potassium		
		R	G	B	R	G	B	R	G	B
Indoor	iPhone									
	Samsung									
	Oppo				-	-	-	-	-	-
	Redmi	-	-	-						

ตารางที่ 1 (ต่อ)



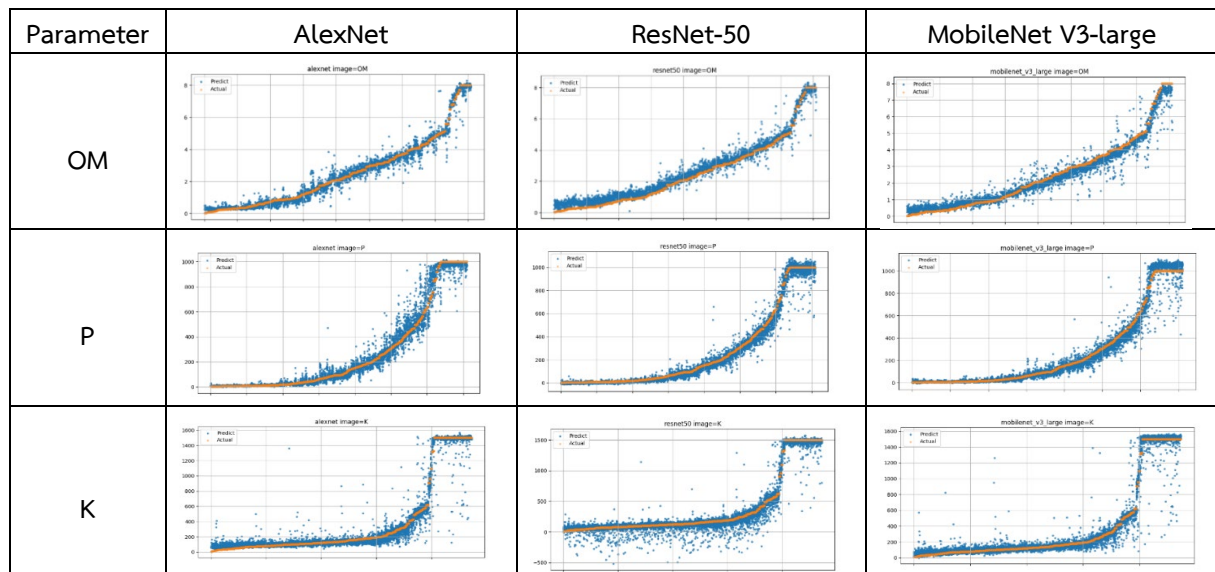
3.1.5 ผีกฝนแบบจำลองเพื่อทำนายค่าวิเคราะห์ธาตุอาหารในดินโดยใช้แบบจำลอง AlexNet, RestNet50 และ MobileNet V3-large พบว่า แบบจำลอง AlexNet มีค่า MSE ต่ำที่สุด อยู่ที่ 0.019, 0.028 และ 0.104 สำหรับอินทรีย์วัตถุ ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียม ตามลำดับ (ตารางที่ 2)

ตารางที่ 2 สรุปรายละเอียดของชุดข้อมูล รูปแบบการทดลอง และ MSE ของแบบจำลองทำนายปริมาณค่าอินทรีย์วัตถุ ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียม

การทดลองที่	แบบจำลอง	โทรศัพท์	สภาพแวดล้อม	MSE		
				OM	P	K
1	AlexNet	ทุกรุ่น	ภายในและภายนอก	0.019	0.028	0.104
2	ResNet-50	ทุกรุ่น	ภายในและภายนอก	0.134	0.211	0.441
3	MobileNet V3-large	ทุกรุ่น	ภายในและภายนอก	0.114	0.285	0.182

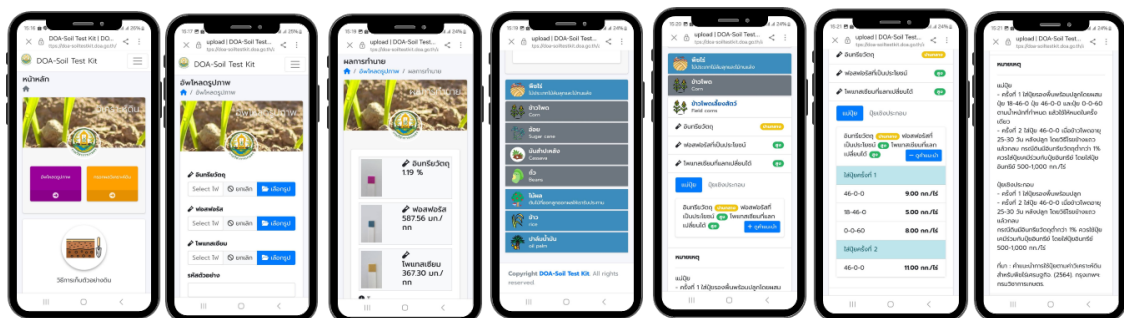
3.1.6 เลือกใช้โมเดลที่ดีที่สุดเพื่อนำมาพัฒนาระบบประเมินปริมาณธาตุอาหารในดินอัตโนมัติ เมื่อพิจารณากราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าที่ทำนายได้กับค่าจริง พบว่า แบบจำลอง AlexNet ให้ผลการทำนายที่มีค่าความผิดพลาดทั้งทางบวกและทางลบใกล้เคียงกัน ในขณะที่ แบบจำลอง ResNet-50 มีค่าความผิดพลาดทางบวกมากกว่า และแบบจำลอง MobileNet V3-large มีค่าความผิดพลาดทางบวกในช่วงความเข้มข้นต่ำ และ มีค่าความผิดพลาดทางลบในช่วงความเข้มข้นสูง ดังภาพในตารางที่ 3 ดังนั้นแบบจำลอง AlexNet จึงเหมาะสมที่จะนำไปพัฒนาระบบประเมินปริมาณธาตุอาหารในดินและการให้คำแนะนำการใช้ปุ๋ยตามค่าวิเคราะห์ดิน ต่อไป

ตารางที่ 3 กราฟแสดงค่าที่ทำนายได้และค่าจริง ซึ่งใช้ AlexNet, ResNet-50 และ MobileNet V3-large ในการฝึกฝนแบบจำลองทำนายปริมาณค่าอินทรีย์วัตถุ พอสฟอรัส และโพแทสเซียม



3.2 พัฒนาเว็บแอปพลิเคชัน (Web Application) เพื่อการใช้งานและแสดงผลข้อมูล

ระบบจะถูกจัดทำอยู่ในรูปแบบของเว็บแอปพลิเคชัน (Web Application) สามารถเข้าถึงได้ออนไลน์ผ่านเว็บเบราว์เซอร์ (Web browser) ต่างๆ และข้อมูลจะถูกจัดเก็บอยู่บน Server สามารถทำงานและเข้าถึงได้ 24 ชั่วโมง ผ่านอินเทอร์เน็ต โดยโครงสร้างของเว็บแอปพลิเคชันมีส่วนประกอบหลัก 3 ส่วน ได้แก่ ส่วนแสดงผลสำหรับผู้ใช้งานหรือหน้าเว็บแอปพลิเคชัน (Client) และส่วนประมวลผลข้อมูลและจัดการเว็บแอปพลิเคชัน (Web Server) ส่วนประมวลผลข้อมูลและจัดการเว็บแอปพลิเคชัน (Web Server) การใช้งานเว็บแอปพลิเคชัน DOA-Soil Test Kit สำหรับผู้ใช้งานทั่วไปสามารถเข้าถึงฟังก์ชันการใช้งานได้ผ่านหน้าเว็บไซต์ โดยการอัปโหลดรูปภาพ เพื่อทำนายผลวิเคราะห์ดิน ระบบจะแสดงผลเป็นตัวเลขปริมาณธาตุอาหาร ประเมินระดับความอุดมสมบูรณ์ของดินสำหรับพืชแต่ละชนิด ให้คำแนะนำการใช้อยู่ตามค่าวิเคราะห์ดินสำหรับ พืชไร่ เศรษฐกิจ ไม้ผลที่สำคัญ ปาล์มน้ำมัน ยางพารา พืชผัก และข้าว ซึ่งผู้ดูแลระบบสามารถเพิ่มคำแนะนำของพืชได้ในกรณีที่ข้อมูลเพิ่มเติมได้ และผลวิเคราะห์ที่ได้จะถูกเก็บไว้ในฐานข้อมูลเพื่อนำมาใช้ประโยชน์ ต่อไป



ภาพที่ 2 รูปแบบการใช้งานเว็บแอปพลิเคชัน

4. ทดสอบความถูกต้องแม่นยำ (accuracy) Specificity, Selectivity และความน่าเชื่อถือ (Test Kit Method Validation)

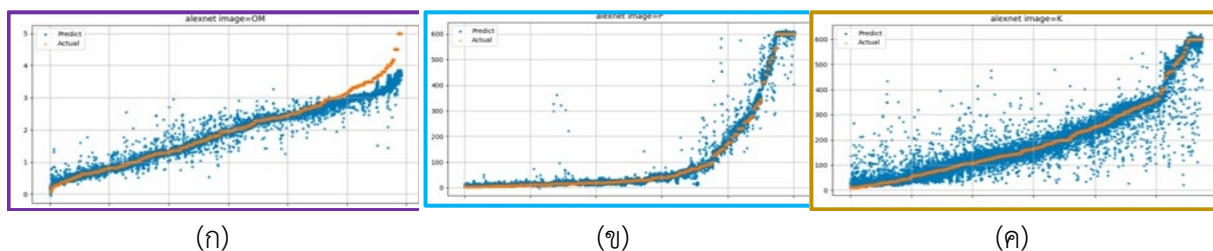
จากการทำนายผลการทดสอบปริมาณอินทรีย์วัตถุ ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียมของภาพถ่ายกระดาษเซนเซอร์ทดสอบที่ใช้ในการพัฒนาระบบประเมินปริมาณธาตุอาหารในดินโดยใช้เว็บแอปพลิเคชันที่พัฒนา พบว่า ผลการทำนายอยู่ในช่วงเดียวกับห้องปฏิบัติการคิดเป็น Relative accuracy หรือความแม่นยำของระบบเท่ากับร้อยละ 93.6, 90.7 และ 77.4 สำหรับ อินทรีย์วัตถุ ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียมตามลำดับ (WHO, 2006) ค่าสัมประสิทธิ์แคปป่าเท่ากับ 0.96, 0.94 และ 0.54 ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 % (ตารางที่ 4) สำหรับการประเมินปริมาณอินทรีย์วัตถุ ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียมตามลำดับ ซึ่งการประเมินปริมาณอินทรีย์วัตถุและฟอสฟอรัสมีความน่าเชื่อถืออยู่ในระดับดีมาก ส่วนโพแทสเซียมมีความน่าเชื่อถืออยู่ในระดับปานกลาง และค่า Specificity, Selectivity ของการประเมินปริมาณโพแทสเซียมค่อนข้างต่ำจึงต้องทำการปรับปรุงระบบให้มีความถูกต้อง แม่นยำ และน่าเชื่อถือมากขึ้น

5. ปรับปรุงระบบประเมินปริมาณธาตุอาหารและเว็บแอปพลิเคชัน ให้มีความถูกต้อง ความจำเพาะ และความแม่นยำมากขึ้น โดยเริ่มเก็บข้อมูลสำหรับพัฒนาระบบใหม่ทั้งหมด ดังนี้

5.1 รวบรวมตัวอย่างดินจำนวน 203 ตัวอย่าง ที่มีค่าความเป็นกรด-ด่าง 3.5 – 8.4 อินทรีย์วัตถุร้อยละ 0.10 - 10.09 ฟอสฟอรัสอยู่ในช่วง 3 – 1148 mg/kg และโพแทสเซียมอยู่ในช่วง 10 -985 mg/kg

5.2 เก็บข้อมูลภาพถ่ายโดยทดสอบ paper-strip โดยใช้สมาร์ตโฟนเพิ่มขึ้นเป็น 6 รุ่น ได้แก่ Iphone11, Iphone14 pro max, Redmi note 8, Sumsung A04s, Sumsung A54 และ Sumsung S21 Fe ถ่ายภายในอาคาร และภายนอกอาคาร โดยสมาร์ตโฟนแต่ละรุ่นจะถ่ายภาพจำนวนเท่ากัน คือ 6 ภาพต่อ ตัวอย่างเพื่อให้ได้จำนวนภาพที่เท่ากันทั้งหมด

5.3 ฝึกฝนแบบจำลองโดยใช้แบบจำลอง Alexnet โดยฝึกฝนรวมสมาร์ตโฟนทุกรุ่นและทุกสถานะแสงรวมกัน โดยตัดช่วงความเข้มข้นอินทรีย์วัตถุให้อยู่ในช่วงร้อยละ 0 - 5 ฟอสฟอรัสและโพแทสเซียมอยู่ในช่วง 0 - 600 mg/kg ซึ่งเป็นช่วงที่แบบจำลองสามารถประเมินได้ดี พบว่า มีค่า MSE เท่ากับ 0.066, 0.063 และ 0.304 สำหรับอินทรีย์วัตถุ ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียม ตามลำดับ



ภาพที่ 3 กราฟแสดงค่าที่ทำนายได้และค่าจริงของแบบจำลอง AlexNet โดยใช้ข้อมูลภาพถ่ายจากสมาร์ตโฟน 6 รุ่น ถ่ายภายในอาคาร และภายนอกอาคาร ในการฝึกฝนแบบจำลองทำนายปริมาณ (ก) อินทรีย์วัตถุ (ข) ฟอสฟอรัส และ (ค) โพแทสเซียม

5.4 ทดสอบความถูกต้องแม่นยำ (accuracy) Specificity, Selectivity และความน่าเชื่อถือ (Test Kit Method Validation) ของระบบที่ปรับปรุงใหม่ พบว่า ความแม่นยำของระบบเท่ากับร้อยละ 92.3, 85.0 และ 88.4 สำหรับ อินทรียวตฤ พอสฟอรัส และโพแทสเซียม ตามลำดับ ซึ่งจัดอยู่ในเกณฑ์ระดับดีมาก (WHO, 2006) จะเห็นได้ว่า ระบบประเมินปริมาณธาตุอาหารสามารถประเมินปริมาณโพแทสเซียมได้ดีขึ้นกว่าระบบเดิม เช่นเดียวกับ ค่าสัมประสิทธิ์แคปป่าของระบบที่ปรับปรุงใหม่ได้เท่ากับ 0.93, 0.88 และ 0.88 ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 % (ตารางที่ 5) สำหรับการประเมินปริมาณอินทรียวตฤ พอสฟอรัส และโพแทสเซียมตามลำดับ ซึ่งมีความน่าเชื่อถืออยู่ในระดับดีมาก อีกทั้งมีค่า Specificity และ Selectivity มากกว่าร้อยละ 80 ระบบประเมินปริมาณธาตุอาหารในดินที่ปรับปรุงใหม่จึงมีความเหมาะสมที่จะใช้ป็นระบบประเมินปริมาณธาตุอาหารในดินสำหรับการให้คำแนะนำการใช้ปุ๋ยตามค่าวิเคราะห์ดิน ต่อไป

ตารางที่ 4 ค่าสถิติ Specificity, Selectivity และ Kappa coefficient (k) ของระบบประเมินปริมาณธาตุอาหารก่อนปรับปรุงและที่ปรับปรุงใหม่

ค่าสถิติ	ก่อนปรับปรุง			หลังปรับปรุง		
	อินทรียวตฤ	พอสฟอรัส	โพแทสเซียม	อินทรียวตฤ	พอสฟอรัส	โพแทสเซียม
Specificity (%)	97.0	95.1	79.4	96.1	92.3	92.3
Selectivity (%)	90.9	84.8	51.4	88.0	84.3	80.4
Kappa coefficient (k)	0.96	0.94	0.54	0.93	0.88	0.88

6. จัดเตรียมวัสดุอุปกรณ์ที่ใช้ในชุดตรวจสอบ

จัดเตรียมวัสดุอุปกรณ์ชุดตรวจสอบสำหรับทดสอบตัวอย่างดิน จัดลงในกล่องพลาสติกที่มีความแข็งแรงและสามารถหิ้วพกพาไปในภาคสนามได้สะดวก จัดเป็นชุดสำหรับทดสอบได้ 50 ตัวอย่าง และ 10 ตัวอย่าง (ภาพที่ 2 A-B)



(ก)



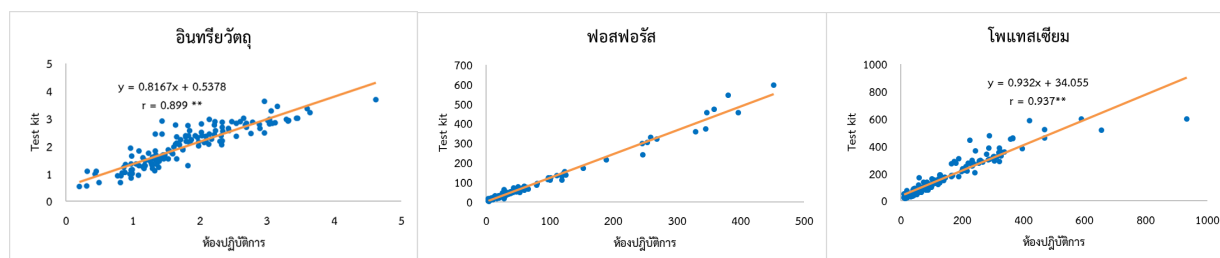
(ข)

ภาพที่ 4 ชุดตรวจสอบอินทรียวตฤ พอสฟอรัสและโพแทสเซียม (ก) ขนาด 50 ตัวอย่าง และ (ข) ขนาด 10 ตัวอย่าง

นำชุดตรวจสอบให้เกษตรกรใช้งานจริงในภาคสนาม จังหวัด สุราษฎร์ธานี กระบี่ สงขลา ปราจันบุรี เพชรบูรณ์ นครราชสีมา ในกลุ่มเกษตรกรปลูก ปาล์มน้ำมัน ข้าว อ้อย ข้าวโพด ถั่ว ไม้ผล (มะม่วง ทูเรียน ส้มโอ ลำไย) จำนวน 120 ราย 143 ตัวอย่าง สํารวจความพึงพอใจต่อชุดตรวจสอบของเกษตรกร พบว่า เกษตรกร ร้อยละ 59.7 ไม่เคยส่งตัวอย่างดินวิเคราะห์ ร้อยละ 85.1 ไม่เคยใช้ชุดตรวจสอบดินมาก่อน เกษตรกรเห็นว่า ชุดตรวจสอบสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้จริงมาก ร้อยละ 55.2 เว็บบแอปพลิเคชันสะดวกต่อการใช้งานมาก ร้อยละ 62.2

จากการหาความสัมพันธ์ระหว่างผลการทดสอบด้วยชุดตรวจสอบและห้องปฏิบัติการ พบว่า มีความสัมพันธ์อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ทุกรายการทดสอบ โดยมีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (r) เท่ากับ 0.899, 0.992 และ 0.937 สำหรับชุดตรวจสอบอินทรียวตฤ พอสฟอรัสและโพแทสเซียม ตามลำดับ (ภาพที่ 7)

แสดงว่า ชุดตรวจสอบและเว็บแอปพลิเคชันที่พัฒนาขึ้น สามารถใช้ทดสอบตัวอย่างดินสำหรับการแปลผล เพื่อให้คำแนะนำการใช้ปุ๋ยตามค่าวิเคราะห์ดินได้อย่างมีประสิทธิภาพ



ภาพที่ 7 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างผลวิเคราะห์จากห้องปฏิบัติการและชุดตรวจสอบ

7. การศึกษาความเสถียรของสารเคมีที่ใช้ ดังนี้

- 1) สารละลาย KMnO_4 ปริมาณ 100 มิลลิลิตร บรรจุขวดขนาด 120 มิลลิลิตร สีขาวแบบโปร่งแสง
- 2) น้ำยาสกัดฟอสฟอรัสโพแทสเซียม ปริมาณ 220 มิลลิลิตร บรรจุขวดขนาด 240 มิลลิลิตร
- 3) Ascorbic acid บรรจุในหลอด ขนาด 1.5 มิลลิลิตร
- 4) น้ำยาทำสีฟอสฟอรัสปริมาณ 10 มิลลิลิตร บรรจุขวดหยดสีดำขนาด 20 มิลลิลิตร
- 5) Sodium cobaltinitrite บรรจุในหลอด ขนาด 1.5 มิลลิลิตร

7.1 การศึกษาความเสถียรในระยะสั้น (Short-term stability) พบว่า น้ำยาสกัดฟอสฟอรัสโพแทสเซียม และ Sodium cobaltinitrite มีความเสถียรที่การจัดเก็บจนถึง 10 สัปดาห์ในทุกสภาวะ แสดงว่า อุณหภูมิไม่มีผลต่อการจัดเก็บน้ำยาสกัดฟอสฟอรัสโพแทสเซียม และ Sodium cobaltinitrite ส่วนสารละลาย KMnO_4 , Ascorbic acid และ น้ำยาทำสีฟอสฟอรัสเริ่มพบการเปลี่ยนแปลงตั้งแต่สัปดาห์ที่ 2 และ 6 แสดงว่า อุณหภูมิมีผลต่อการจัดเก็บ ควรเก็บที่อุณหภูมิห้อง หรือ 30 องศา (ตารางที่ 6)

ตารางที่ 6 ผลการศึกษาความเสถียรระยะสั้นที่ระยะเวลา 10 สัปดาห์

สาร/น้ำยาทดสอบ	บรรจุภัณฑ์	t_{cal}				หมายเหตุ
		5 °C	30 °C	45 °C	60 °C	
1. สารละลาย KMnO_4	1. ขวดสีขาวแบบโปร่งแสง	0.128	0.337	1.516	3.648*	
	2. ขวดสีขาวแบบทึบแสง	0.069	0.667	0.894	3.415*	
2. น้ำยาสกัดฟอสฟอรัสโพแทสเซียม	1. ขวดย่น้ำ	0.389	0.593	0.939	1.021	สกัด P
		0.999	1.009	1.211	1.000	สกัด K
3. Ascorbic acid และน้ำยาทำสีฟอสฟอรัส	1. ถุงซิปลิ	0.223	1.873	4.544*	6.648*	
	2. ถุงฟอยล์	0.526	1.364	3.577*	5.434*	
4. Sodium cobaltinitrite	1. ถุงซิปลิ	0.128	0.176	1.802	1.873	
	2. ถุงฟอยล์	0.986	0.783	0.073	0.146	

หมายเหตุ: $t_{crit} = 2.776$

* = ไม่มีความเสถียร

7.2 การศึกษาความเสถียรระยะยาว (Long-term stability) พบว่า การเก็บรักษาที่ 5 องศา และที่อุณหภูมิห้อง สารเคมีและน้ำยาตรวจสอบมีความเสถียรที่ระยะเวลาการจัดเก็บ 10 เดือน (ตารางที่ 7) แสดงว่า สามารถจัดเก็บสารเคมีและน้ำยาตรวจสอบที่อุณหภูมิห้องได้ ไม่จำเป็นต้องเก็บรักษาในตู้เย็น

ตารางที่ 7 ผลการศึกษาความเสถียรระยะยาวที่ระยะเวลา 10 เดือน

สาร/น้ำยาทดสอบ	บรรจุภัณฑ์	สภาวะ (°C)		หมายเหตุ
		5 C	RT	
1. สารละลาย KMnO ₄	1. ขวดสีขาแบบโปร่งแสง	0.072	2.653	
	2. ขวดสีขาแบบทึบแสง	0.213	2.419	
2. น้ำยาสกัดฟอสฟอรัส โพแทสเซียม	1. ขวดยาน้ำ	0.951	1.007	สกัด P
		0.727	0.256	สกัด K
3. Ascorbic acid และ น้ำยาทำสีฟอสฟอรัส	1. ถังซิปลใส	0.043	2.551	
	2. ถังฟอยล์	2.520	0.480	
4. Sodium cobaltinitrite	1. ถังซิปลใส	0.025	0.119	
	2. ถังฟอยล์	0.102	0.181	

หมายเหตุ: $t_{crit} = 2.776$
* = ไม่มีความเสถียร

สรุปผลการทดลอง

- ได้ชุดตรวจสอบอินทรีย์วัตถุ ฟอสฟอรัส โพแทสเซียมในดินในรูปแบบเซนเซอร์กระดาษทดสอบ (Reactive paper/active sensor paper-strip) เชื่อมโยงกับเว็บแอปพลิเคชัน มีความแม่นยำ 92.3, 85.0 และ 88.9 และค่าสัมประสิทธิ์แคปป่า 0.93, 0.88 และ 0.88 สำหรับอินทรีย์วัตถุ ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียมตามลำดับ ซึ่งมีความน่าเชื่อถืออยู่ในระดับดีมาก
- ได้เว็บแอปพลิเคชัน (Web Application) สามารถเข้าถึงได้ออนไลน์ผ่านเว็บเบราว์เซอร์ (Web browser) ต่างๆ และข้อมูลจะถูกจัดเก็บอยู่บน Server การอ่านผลการทดสอบของเว็บแอปพลิเคชันจะแสดงเป็นตัวเลขทศนิยม 2 ตำแหน่ง จัดระดับความอุดมสมบูรณ์ของดินตามชนิดพืช คำแนะนำการใช้ปุ๋ยตามค่าวิเคราะห์ดินสำหรับ พืชไร่เศรษฐกิจ ไม้ผลที่สำคัญ ปาล์มน้ำมัน ยางพารา พืชผักเศรษฐกิจ และข้าว
- ได้ฐานข้อมูลจัดเก็บข้อมูลผลวิเคราะห์ที่ได้จากชุดตรวจสอบ สำหรับจัดทำฐานข้อมูลความอุดมสมบูรณ์ของดินในประเทศไทย

คำขอบคุณ

โครงการวิจัยนี้ได้รับทุนสนับสนุนจากสำนักงานพัฒนาการวิจัยการเกษตร (องค์การมหาชน) ประจำปีงบประมาณ 2566 คณะผู้วิจัยขอขอบพระคุณท่านผู้ทรงคุณวุฒิและบุคลากรของสำนักงานฯ ที่ให้คำปรึกษาแนะนำ และติดตามงานวิจัยอย่างใกล้ชิด ตลอดจนศูนย์เทคโนโลยีสารสนเทศและการสื่อสาร กรมวิชาการเกษตร ที่สนับสนุนด้านระบบประมวลผลและเว็บแอปพลิเคชัน นอกจากนี้ ขอขอบคุณศูนย์วิจัยปาล์มน้ำมันสุราษฎร์ธานี ศูนย์วิจัยปาล์มน้ำมันกระบี่ สถาบันวิจัยพืชไร่สงขลา สำนักงานเกษตรอำเภอนาดี จังหวัดปราจีนบุรี รวมถึงเจ้าหน้าที่และเกษตรกรที่ร่วมทดสอบและให้ข้อเสนอแนะ ทำให้ผลงานพัฒนาขึ้นอย่างมีประสิทธิภาพ คณะผู้วิจัยหวังว่าผลลัพธ์จากงานวิจัยนี้จะประโยชน์ต่อเกษตรกรและการพัฒนาประเทศต่อไป

เอกสารอ้างอิง

- จิตติมา ยถาภูธานนท์ วรรณรัตน์ ชุตติบุตร และสงกรานต์ มะลิสอน. 2552. การพัฒนาชุดตรวจสอบอินทรีย์วัตถุในปุ๋ยอินทรีย์. หน้า 199-223 ใน: ผลการปฏิบัติงาน ประจำปีงบประมาณ 2552 เล่มที่ 2. สำนักวิจัยพัฒนาปัจจัยการผลิตทางการเกษตร กรมวิชาการเกษตร.
- มณีทิพย์ ขุนทอง. 2556. การพัฒนาชุดตรวจสอบอินทรีย์วัตถุเพื่อประเมินปริมาณอินทรีย์วัตถุในดิน. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- Attanandana, T., C. Suwannarat, T. Vearasilp, S. Kongton, R. Meesawat, P. Boonampol, K. Soitong, C. Tipanuka and R.S. Yost. 2001. NPK fertilizer recommendation systems for corn: Decision aids and test kits. Paper Presented at the International Conference on Nutrient Balances for Sustainable Agriculture Production and Natural Resource Management in Southeast Asia. 20-22 February, 2001. IBSRAM and DOA-URRC, Bangkok, Thailand.
- Culman, S.W., S.S. Snap and M.A. Freeman. 2012. Permanganate Oxidizable Carbon Reflects a Processed Soil Fraction that Sensitive to Management. Soil Sci. Am.J. 76(2): 494-504.
- Howard, A., Sandler, M., Chu, G., et al. 2019. Searching for Mobilenetv3. Proceedings of the IEEE International Conference on Computer Vision, Seoul, 27 October-2 November 2019, 1314-1324
- Koralage I.S.A., P. Weerasinghe, N.R.N. Silva and C.S. De Silva. 2015. The Determination of Available Phosphorus in Soil: A Quick and Simple Method. OUSL Journal. 8: 1-17.
- Krizhevsky A., I. Sutskever, G.E. Hinton. 2012. ImageNet classification with deep convolutional neural networks. In Advances in Neural Information Processing Systems 25 (NIPS'2012).
- Lucas S. T. and R. R. Weil. 2012. Can a Labile Carbon Test be Used to Predict Crop Responses to Improve Soil Organic Matter Management? Agronomy Journal. 104(4): 1160-1170.
- Vendilo A. G., N. E. Kovaleva, V. I. Chistov, and V. M. Retivov. 2015. Potassium Cobaltinitrite. Russian Journal of Inorganic Chemistry, 2011, Vol. 56, No. 4, pp. 501-505
- Weil R. R, K. R Islam, M. A Stine, J. B Gruver and S. E Samson-Liebig. 2003. Estimating active carbon for soil quality assessment: a simplified method for laboratory and field use. American Journal of Alternative Agriculture 18:3-17.
- World Health Organization (WHO). 2006. QC Qualitative and Semi-quantitative Procedures. World Health Organization, Geneva. 564 p

บันทึกข้อความ

[illegible]

This image shows a full page of a handwriting practice worksheet. It consists of approximately 28 horizontal rows. Each row is defined by two parallel dotted lines, creating a series of uniform gaps for letter height. The entire page is otherwise blank, with no margins, text, or other markings.

Pesticide Research Group

**Soil Science
Research Group**



**Agricultural
Chemistry Group**



**Khon kaen Agricultural
Production Sciences Research
And Development Center**



กองวิจัยพัฒนาปัจจัยการผลิตทางการเกษตร

เลขที่ 50 ถนนพหลโยธิน แขวงลาดยาว เขตจตุจักร
กรุงเทพฯ 10900

E-mail : apsrdo.kbv@doa.in.th

โทร : 0 2940 5754 ต่อ 2115 , 2117