การประชุมเชิงปฏิบัติการ

กำหนดทิศทางงานวิจัย และงานบริการ
ด้านปัจจัยการผลิตทางการเกษตร
เพื่อผลักดันสู่การนำไปใช้ประโยชน์
กองวิจัยพัฒนาปัจจัยการผลิตทางการเกษตร

ระหว่างวันที่ 25 – 27 สิงหาคม 2568

ณ โรงแรม สิรินพลา รีสอร์ท ระยอง จังหวัดระยอง

คำนำ

กองวิจัยพัฒนาปัจจัยการผลิตทางการเกษตร มีหน้าที่รับผิดชอบในการศึกษา ค้นคว้า วิจัย ทดลอง และพัฒนาวิชาการด้านปัจจัยการผลิตรวมทั้งการให้บริการด้านวิเคราะห์ตรวจสอบให้คำแนะนำและรับรองห้องปฏิบัติการ เกี่ยวกับ ดิน น้ำ ปุ๋ย วัตถุอันตรายทางการเกษตร และวัตถุเคมีการเกษตร ตลอดจนให้การสนับสนุนการปฏิบัติงานของหน่วยงานอื่นๆ ในด้านติดตามประเมินผลงานวิจัยและงานบริการทางวิชาการ อย่างไรก็ตาม ก่อนที่จะนำองค์ความรู้ กระบวนการ และเทคโนโลยีที่ได้จากการวิจัยไปเผยแพร่ต่อสาธารณะจำเป็นต้องอาศัยความร่วมมือในการทำงานอย่างใกล้ชิดเชื่อมโยงกันเป็นเครือข่ายหรือการบูรณาการทางวิชาการ ดังนั้น กองวิจัยพัฒนาปัจจัยการผลิตทางการเกษตร จึงได้จัดการประชุมเชิงปฏิบัติการกำหนดทิศทางงานวิจัยและงานบริการด้านปัจจัยการผลิตทางการเกษตรเพื่อผลักดันสู่การนำไปใช้ประโยชน์ ระหว่างวันที่ 25 - 27 สิงหาคม 2568 ณ โรงแรม สิรินพลา รีสอร์ท จังหวัดระยอง เพื่อผลักดันให้ผลการดำเนินงานวิจัย ทั้งปัจจุบันและอนาคตเกิดผลสัมฤทธิ์อย่างเป็นรูปธรรม โดยได้รับเกียรติจาก ผู้เชี่ยวชาญ ผู้ทรงคุณวุฒิ ผู้บริหาร ที่ปรึกษา และผู้เกี่ยวข้อง ร่วมประชุมแลกเปลี่ยนความรู้ และระดมความคิดเห็น ตลอดจนตรวจสอบความถูกต้องและความเหมาะสมขององค์ความรู้ กระบวนการ และเทคโนโลยี ให้สามารถนำไปเผยแพร่ ตลอดจนวางแผนแนวทางการขยายผลงานวิจัยใช้ประโยชน์สู่กลุ่มเป้าหมาย และทิศทางงานวิจัยต่อไป

คณะทำงานฝ่ายวิชาการและเสวนา
กองวิจัยพัฒนาปัจจัยการผลิตทางการเกษตร

กำหนดการ

การประชุมเชิงปฏิบัติการกำหนดทิศทางงานวิจัย และงานบริการด้านปัจจัยการผลิตทางการเกษตร เพื่อผลักดันสู่การนำไปใช้ประโยชน์ กองวิจัยพัฒนาปัจจัยการผลิตทางการเกษตร ระหว่างวันที่ 25 - 27 สิงหาคม 2568 ณ โรงแรม สิรินพลา รีสอร์ท ระยอง จังหวัดระยอง

วันที่ 25 สิงหาคม 2568

ภาคเช้า

08.30 – 09.00 น. ลงทะเบียน ณ ห้องประชุมมนตรี รุมาคม ชั้น 5 อาคารเฉลิมพระเกียรติ 6 รอบ พระชนมพรรษา กองวิจัยพัฒนาปัจจัยการผลิตทางการเกษตร

09.00 – 09.30 น. **พิธีเปิดการประชุมเชิงปฏิบัติการ**
กล่าวรายงาน โดยผู้อำนวยการกองวิจัยพัฒนาปัจจัยการผลิตทางการเกษตร
กล่าวเปิดการประชุมโดย อธิบดีกรมวิชาการเกษตร

09.30 – 10.00 น. **การบรรยาย “แนวทางการจัดทำยุทธศาสตร์งานวิจัย กองวิจัยพัฒนาปัจจัยการผลิตทางการเกษตร ปีงบประมาณ 2571 - 2573” และกิจกรรมการแบ่งกลุ่ม** เพื่อจัดทำทิศทางงานวิจัยของ กปผ. ในปีงบประมาณ 2571 - 2573
โดย คณะผู้เชี่ยวชาญของกองวิจัยพัฒนาปัจจัยการผลิตทางการเกษตร

10.00 – 10.20 น. พัก - อาหารว่างและเครื่องดื่ม

10.20 – 12.00 น. **กิจกรรมการแบ่งกลุ่ม**
เพื่อจัดทำทิศทางงานวิจัยของ กปผ. ในปีงบประมาณ 2571 - 2573

12.00 – 13.00 น. พักรับประทานอาหารกลางวัน

ภาคบ่าย

13.00 – 14.00 น. **กิจกรรมการแบ่งกลุ่ม (ต่อ)**
เพื่อจัดทำทิศทางงานวิจัยของ กปผ. ในปีงบประมาณ 2571 - 2573

14.00 – 14.20 น. พัก - อาหารว่างและเครื่องดื่ม

14.20 – 17.00 น. ออกเดินทางจาก กปผ. ไปยังโรงแรม สิรินพลา รีสอร์ท ระยอง จังหวัดระยอง

กำหนดการ(ต่อ)

วันที่ 26 สิงหาคม 2568

ภาคเช้า

การบรรยายพิเศษ เรื่อง RESEARCH TO IMPACT ยกระดับงานวิจัยสู่การใช้ประโยชน์

09.00 - 10.30 น. *โดย นางพรรณพิมล ชัญญานุวัตร*
ผู้ทรงคุณวุฒิของสำนักงานพัฒนาการวิจัยการเกษตร (องค์การมหาชน)

10.30 – 10.45 น. พัก - อาหารว่างและเครื่องดื่ม

10.45 – 12.00 น. *โดย นางสาวปริญญารัตน์ ภูศิริ*
ผู้อำนวยการกลุ่มวิจัยด้านส่งเสริมการเกษตร กรมส่งเสริมการเกษตร

12.00 – 13.00 น. พักรับประทานอาหารกลางวัน

ภาคบ่าย

13.00 – 14.00 น. **การบรรยายพิเศษ เรื่อง องค์กรในอนาคต และการปรับระดับข้าราชการของ กปผ.**
โดย นายปรัชญา วงษา ผู้อำนวยการกองการเจ้าหน้าที่

14.00 – 14.30 น. พัก - อาหารว่างและเครื่องดื่ม

การนำเสนอผลงานวิจัยเด่นที่สิ้นสุดในปี พ.ศ. 2565-2568 และการนำไปใช้ประโยชน์ :
กลุ่มวิจัยปฐพีวิทยา

ประธาน **ผู้อำนวยการกลุ่มวิจัยปฐพีวิทยา**
เลขานุการ **นางสาวอัญรินทร์ วราพรปิยพงศ์**

14.30 – 14.50 น. เรื่อง ผลของการใช้ผลิตภัณฑ์ชีวภาพอัดเม็ดจากแหนแดงและสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินต่อการเจริญเติบโตของผักกวางตุ้ง
โดย นางสาวณัฐนันท์ ไกรเลิศรัตนชัย นักวิชาการเกษตรปฏิบัติการ

14.50 – 15.10 น. เรื่อง การวิจัยและพัฒนาระบบฐานข้อมูลดิน เพื่อการสร้างศักยภาพในการผลิตของดินในแหล่งปลูกปาล์มน้ำมัน
โดย นายบรรณพิชญ์ สัมฤทธิ์ นักวิชาการเกษตรชำนาญการ

15.10 – 15.30 น. เรื่อง ผลของการใช้ปุ๋ยและระบบปลูกพืชต่อสมบัติดิน ผลผลิตและผลตอบแทนทางเศรษฐกิจของข้าวโพดเลี้ยงสัตว์พันธุ์ กวก. นครสวรรค์ 3 ที่ปลูกในดินร่วนเหนียว
โดย นางสาวสายน้ำ อุดพ้วย นักวิชาการเกษตรชำนาญการ

การนำเสนอผลงานวิจัยเด่นที่สิ้นสุดในปี พ.ศ. 2565-2568 และการนำไปใช้ประโยชน์ :
ศูนย์วิจัยและพัฒนาปัจจัยการผลิตทางการเกษตรขอนแก่น

14.50 – 15.10 น. เรื่อง ผลการฝึกอบรมเกษตรกรภายใต้โครงการการผลิตอ้อยโรงงานและอ้อยคั้นน้ำ ทางเลือกการสร้างรายได้อย่างยั่งยืนตามแนวทาง BCG MODEL
โดย นายสรรเสริญ เสียงใส นักวิชาการเกษตรชำนาญการ

15.10 – 15.30 น. ชมผลงานวิจัยภาคโปสเตอร์

กำหนดการ(ต่อ)

วันที่ 27 สิงหาคม 2568

ภาคเช้า

การนำเสนอผลงานวิจัยเด่นที่สิ้นสุดในปี พ.ศ. 2565-2568 และการนำไปใช้ประโยชน์ : กลุ่มวิจัยวัตถุมีพิษการเกษตร

ประธาน **ผู้อำนวยการกลุ่มวิจัยวัตถุมีพิษการเกษตร**

เลขานุการ **นางสาวพจนีย์ หน่อฝั้น**

09.30 – 09.50 น. เรื่อง วิจัยและพัฒนาประสิทธิภาพสูตรผลิตภัณฑ์ผสมสะเดาและว่านน้ำด้วยนาโนเทคโนโลยี เพื่อป้องกันกำจัดหนอนใยผัก
โดย นางสาวสุทิศา เงินเรืองโรจน์ นักวิทยาศาสตร์ปฏิบัติการ

09.50 – 10.10 น. เรื่อง การตรวจสอบชนิดสารป้องกันกำจัดศัตรูพืช จำนวน 30 ชนิด ในผลิตภัณฑ์ชีวภัณฑ์และสารสกัดจากพืช ด้วยเทคนิค GC- MS
โดย นางสาววิชชภรณ์ แกระวงค์ นักวิทยาศาสตร์ปฏิบัติการ

10.10 – 10.30 น. เรื่อง การตรวจสอบความใช้ได้ของวิธีวิเคราะห์สารออกฤทธิ์ไซม็อกซานิลในผลิตภัณฑ์สารป้องกันกำจัดศัตรูพืช
โดย นางสาวสุกัญญา คำคง นักวิทยาศาสตร์ปฏิบัติการ

10.30 – 11.00 น. พัก - อาหารว่างและเครื่องดื่ม

การนำเสนอผลงานวิจัยเด่นที่สิ้นสุดในปี พ.ศ. 2565-2568 และการนำไปใช้ประโยชน์ : กลุ่มวิจัยเกษตรเคมี

ประธาน **ผู้อำนวยการกลุ่มวิจัยเกษตรเคมี**

เลขานุการ **นางสาวอัจจิมา ควรสงวน**

11.00 - 11.20 น. เรื่อง การรับรองความสามารถห้องปฏิบัติการวิเคราะห์และตรวจสอบคุณภาพปุ๋ยภาคเอกชน ตามพระราชบัญญัติปุ๋ย พ.ศ.2518 ซึ่งแก้ไขเพิ่มเติม โดยพระราชบัญญัติปุ๋ย (ฉบับที่ 2) พ.ศ.2550
โดย นางสาวชฎาพร คงนาม นักวิทยาศาสตร์ชำนาญการ

11.20 – 11.40 น. เรื่อง การพัฒนาและยกระดับคุณภาพห้องปฏิบัติการวิเคราะห์สารควบคุมการเจริญเติบโตของพืช สู่มาตรฐานสากล ISO/IEC 17025
โดย นางสาธิดา โพธิ์น้อย นักวิทยาศาสตร์ชำนาญการพิเศษ

11.40 – 12.00 น. เรื่อง ชุดตรวจอินทรียวัตถุ ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียมในดินแบบรวดเร็ว และระบบการให้คำแนะนำการใช้ปุ๋ยแบบเบ็ดเสร็จ
โดย นางสาวสุภา โพธิจันทร์ นักวิทยาศาสตร์ชำนาญการพิเศษ

12.00 – 13.00 น. พักรับประทานอาหารกลางวัน

ภาคบ่าย

13.00 – 14.00 น. การนำเสนอข้อมูลการจัดทำทิศทางงานวิจัยของ กปผ. ในปีงบประมาณ 2571 - 2573 โดย ผู้อำนวยการกลุ่มวิจัย/ศูนย์วิจัยและพัฒนาปัจจัยการผลิตทางการเกษตรขอนแก่น

14.00 – 15.00 น. ผู้อำนวยการกองวิจัยพัฒนาปัจจัยการผลิตทางการเกษตร มอบนโยบายและแนวทางการปฏิบัติงานของ กปผ.

14.00 – 15.00 น. พัก - อาหารว่างและเครื่องดื่ม

14.00 – 15.00 น. รายงานสรุปผลการประชุมเชิงปฏิบัติการฯ

14.00 – 15.00 น. พิธีปิดการประชุมเชิงปฏิบัติการฯ

14.00 – 15.00 น. เดินทางกลับกองวิจัยพัฒนาปัจจัยการผลิตทางการเกษตร

สารบัญ

หน้า

กำหนดการ ก-ค

ภาคบรรยาย

กลุ่มวิจัยปฐพีวิทยา

เรื่องที่ 1 ผลของการใช้ผลิตภัณฑ์ชีวภาพอัดเม็ดจากแหนแดงและสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงิน ต่อการเจริญเติบโตของผักกวางตุ้ง 1
โดย นางสาวณัฐนันท์ ไกรเลิศรัตนชัย นักวิชาการเกษตรปฏิบัติการ

เรื่องที่ 2 การวิจัยและพัฒนาระบบฐานข้อมูลดิน เพื่อการสร้างศักยภาพในการผลิตของดิน ในแหล่งปลูกปาล์มน้ำมัน 14
โดย นายบรรณพิชญ์ สัมฤทธิ์ นักวิชาการเกษตรชำนาญการ

เรื่องที่ 3 ผลของการใช้ปุ๋ยและระบบปลูกพืชต่อสมบัติดิน ผลผลิตและผลตอบแทนทางเศรษฐกิจ ของข้าวโพดเลี้ยงสัตว์พันธุ์ กวก. นครสวรรค์ 3 ที่ปลูกในดินร่วนเหนียว 33
โดย นางสาวสายน้ำ อุดพ้วย นักวิชาการเกษตรชำนาญการ

ศูนย์วิจัยและพัฒนาปัจจัยการผลิตทางการเกษตรขอนแก่น

เรื่องที่ 4 ผลการฝึกอบรมเกษตรกรภายใต้โครงการการผลิตอ้อยโรงงานและอ้อยคั้นน้ำ ทางเลือกการสร้างรายได้อย่างยั่งยืนตามแนวทาง BCG MODEL 48
โดย นายสรรเสริญ เสียงใส นักวิชาการเกษตรชำนาญการ

กลุ่มวิจัยวัตถุมีพิษการเกษตร

เรื่องที่ 5 วิจัยและพัฒนาประสิทธิภาพสูตรผลิตภัณฑ์ผสมสะเดาและว่านน้ำด้วยนาโนเทคโนโลยี เพื่อป้องกันกำจัดหนอนใยผัก 56
โดย นางสาวสุทิศา เงินเรืองโรจน์ นักวิทยาศาสตร์ปฏิบัติการ

เรื่องที่ 6 การตรวจสอบชนิดสารป้องกันกำจัดศัตรูพืช จำนวน 30 ชนิด ในผลิตภัณฑ์ชีวภัณฑ์ และสารสกัดจากพืช ด้วยเทคนิค GC- MS 67
โดย นางสาววิชชภรณ์ แกระวงค์ นักวิทยาศาสตร์ปฏิบัติการ

เรื่องที่ 7 การตรวจสอบความใช้ได้ของวิธีวิเคราะห์สารออกฤทธิ์ไซม็อกซานิลในผลิตภัณฑ์ สารป้องกันกำจัดศัตรูพืช 79
โดย นางสาวสุกัญญา คำคง นักวิทยาศาสตร์ปฏิบัติการ

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

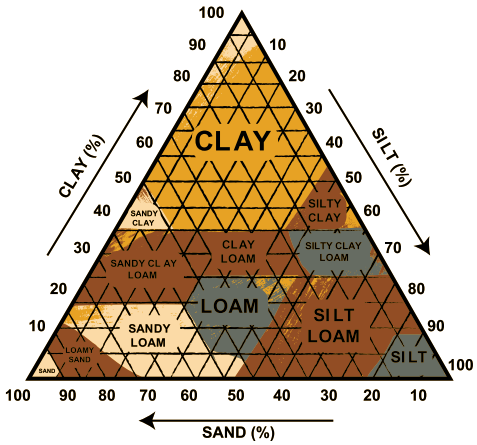
กลุ่มวิจัยเกษตรเคมี

เรื่องที่ 8 การรับรองความสามารถห้องปฏิบัติการวิเคราะห์และตรวจสอบคุณภาพปุ๋ยภาคเอกชน ตามพระราชบัญญัติปุ๋ย พ.ศ.2518 ซึ่งแก้ไขเพิ่มเติม โดยพระราชบัญญัติปุ๋ย (ฉบับที่ 2) พ.ศ.2550 94
โดย นางสาวชฎาพร คงนาม นักวิทยาศาสตร์ชำนาญการ

เรื่องที่ 9 การพัฒนาและยกระดับคุณภาพห้องปฏิบัติการวิเคราะห์สารควบคุมการเจริญเติบโตของพืช สู่มาตรฐานสากล ISO/IEC 17025 109
โดย นางสาธิดา โพธิ์น้อย นักวิทยาศาสตร์ชำนาญการพิเศษ

เรื่องที่ 10 ชุดตรวจอินทรียวัตถุ ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียมในดินแบบรวดเร็ว และระบบการให้คำแนะนำการใช้ปุ๋ยแบบเบ็ดเสร็จ 127
โดย นางสาวสุภา โพธิจันทร์ นักวิทยาศาสตร์ชำนาญการพิเศษ

ผลงานวิจัยภาคโปสเตอร์



ผลงานวิจัยเด่นปี พ.ศ. 2565-2568

กลุ่มวิจัยปฐพีวิทยา

ผลของการใช้ผลิตภัณฑ์ชีวภาพอัดเม็ดจากแหนแดงและสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินต่อการเจริญเติบโตของผักกวางตุ้ง

Effect of Using Pelleted Bio-product from Azolla and Hapalosiphon Extract on Pak Choi (*Brassica chinensis*)

ณัฐนันท์ ไกรเลิศรัตนชัย[1/*] แววตา พลกุล[1/] ศิริลักษณ์ แก้วสุรลิขิต[1/] ประไพ ทองระอา[1/]

Nattanan Krailertrattanachai[1/*], Waewta Polkul[1/], Sirilak Kaewsuralikhit[1/] Praphai Thongra-ar[1/]

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 various 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, 1.5, and 2 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

*Corresponding author: Nattanan.krai@gmail.com

บทคัดย่อ

แหนแดงและสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินสามารถใช้เป็นแหล่งธาตุอาหารต่าง ๆ ที่เป็นประโยชน์ นอกจากนี้ยังมีสารที่ช่วยส่งเสริมการเจริญเติบโตแก่พืชได้ งานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อทดสอบผลการใช้ผลิตภัณฑ์ชีวภาพอัดเม็ดจากแหนแดงและสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงิน 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 N1.5 และ N2 RDF ทำให้ผักกวางตุ้งมีปริมาณความเข้มข้นของไนโตรเจน โพแทสเซียม แคลเซียม และแมกนีเซียมทั้งหมดในส่วนเหนือดินสูงมากกว่าหรือเทียบเท่ากับกรรมวิธี N1 N1.5 และ N2 RDF นอกจากนี้ การใส่ AzH ยังช่วยทำให้ดินหลังปลูกมีค่าความเป็นกรด-ด่างลดลง นอกจากนี้ยังทำให้ดินมีปริมาณอินทรียวัตถุเพิ่มขึ้นจาก 1.74 เป็น 2.34-2.59 เปอร์เซ็นต์ และปริมาณโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้เพิ่มขึ้นจาก 125 เป็น 213-253 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม

คำสำคัญ: ผลิตภัณฑ์ชีวภาพ; แหนแดง; สาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงิน

บทนำ

แหนแดงถูกใช้เป็นปุ๋ยพืชสดเพื่อเป็นแหล่งธาตุไนโตรเจนสำหรับพืชมาอย่างยาวนาน โดยมีปริมาณธาตุอาหารที่สำคัญหลายชนิด เช่น ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียม ซึ่งเป็นธาตุอาหารที่จำเป็นสำหรับการเจริญเติบโตของพืช โดยมีองค์ประกอบของธาตุไนโตรเจนและโพแทสเซียมสูงถึง 4.5 เปอร์เซ็นต์ และ 5.0 เปอร์เซ็นต์ และมีอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนแคบ (C/N ratio <20) (ศิริลักษณ์ และคณะ, 2561) นอกจากนี้แหนแดงช่วยปรับปรุงคุณสมบัติทางกายภาพและเคมีของดินอย่างมีนัยสำคัญ รวมถึงการปรับปรุงกิจกรรมของจุลินทรีย์ในดิน ช่วยในการเติมอินทรียวัตถุและปล่อยธาตุอาหารพืช (Subedi and Shrestha, 2015) แหนแดงสามารถเลี้ยงขยายพันธุ์ได้อย่างรวดเร็วถึง 40 เท่า ภายใน 2 สัปดาห์ (Jumadi *et al.,* 2014) ทำให้เกษตรกรสามารถผลิตเพื่อนำมาใช้เป็นปุ๋ยไนโตรเจนได้ด้วยตัวเอง ปัจจุบันแหนแดงมีการพัฒนาวิธีการใช้ตั้งแต่การใช้แบบสดจนไปถึงการใช้แบบแห้ง แต่ปัญหาคือการใช้แหนแดงสดทำให้ดินแฉะเนื่องจากมีน้ำเป็นองค์ประกอบสูง ส่วนแหนแดงแห้งมีความฟูและเบาทำให้ใช้ได้ไม่สะดวก หนึ่งในทางเลือกที่น่าสนใจคือการใช้แหนแดงนำมาอัดเม็ดร่วมกับสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินซึ่งมีคุณสมบัติในการตรึงไนโตรเจนจากอากาศ สาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินมีกรดอะมิโนและสารคล้ายฮอร์โมนพืช เช่น ออกซิน จิบเบอเรลลิน และไซโตไคนิน ที่ช่วยส่งเสริมการเจริญเติบโตของพืชเพิ่มการดูดใช้ธาตุอาหารพืช โดยมีการนำมาใช้ในรูปสารเสริมประสิทธิภาพพืชอย่างแพร่หลาย (Ronga *et al.,* 2019) ทั้งแหนแดงและสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินสามารถใช้เป็นแหล่งชีวมวลที่

สำคัญซึ่งสามารถผลิตใช้ได้โดยไม่มีวันหมด ดังนั้นการพัฒนาผลิตภัณฑ์ชีวภาพแบบอัดเม็ดทำให้นำไปใช้ประโยชน์สะดวกมากยิ่งขึ้น เพื่อให้ได้อัตราที่มีประสิทธิภาพแก่การผลิตพืชผักรับประทานใบ งานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อทดสอบผลการใช้ผลิตภัณฑ์ชีวภาพอัดเม็ดจากแหนแดงร่วมกับสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินอัตราต่าง ๆ ต่อการเจริญเติบโตและผลผลิตของผักกวางตุ้งในแปลงทดลอง

อุปกรณ์และวิธีการ

สุ่มเก็บตัวอย่างดินมาวิเคราะห์สมบัติทางเคมีและปริมาณธาตุอาหารพืช ได้แก่ ค่าความเป็นกรด–ด่าง (pH, อัตราส่วนดินต่อน้ำ 1:1) ปริมาณอินทรียวัตถุ (OM) ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ (Avail. P) โพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ (Exch. K) แคลเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ (Exch. Ca) และแมกนีเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ (Exch. Mg) เพื่อทราบความอุดมสมบูรณ์ของดินเพื่อประเมินปริมาณอัตราการใส่ปุ๋ยไนโตรเจน และวิเคราะห์สมบัติทางเคมีของผลิตภัณฑ์ชีวภาพอัดเม็ดจากแหนแดงและสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงิน (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)

เพาะเมล็ดผักกวางตุ้งพันธุ์ทศกัณฐ์ 37 ในถาดเพาะชำ ขนาด 104 หลุม โดยใช้พีทมอสเป็นวัสดุเพาะ เมื่อกล้าผักกวางตุ้งอายุ 14 วันย้ายกล้าลงแปลงปลูกขนาด 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 ปริมาณอินทรียวัตถุ 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) ปริมาณอินทรียวัตถุระดับต่ำ (1.74 เปอร์เซ็นต์) ปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์และปริมาณโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ (129 และ 125 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ตามลำดับ) อยู่ในระดับสูงมากจากการที่เกษตรกรใช้ปุ๋ยมูลไก่ในแปลง ปริมาณแคลเซียมและแมกนีเซียมที่แลกเปลี่ยนได้สูง (2,974 และ 472 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ตามลำดับ) กรมวิชาการเกษตร (2548) แนะนำให้ใส่ปุ๋ยไนโตรเจนอัตรา 15 กิโลกรัมไนโตรเจนต่อไร่ สำหรับพืชผัก เมื่อดินมีปริมาณอินทรียวัตถุ 1.5 เปอร์เซ็นต์ ส่วนปริมาณฟอสฟอรัสและโพแทสเซียมในดินมีในระดับสูงมากจึงไม่ใส่ปุ๋ยฟอสเฟตและโพแทชเพิ่ม

2. สมบัติทางเคมีของผลิตภัณฑ์ชีวภาพอัดเม็ดจากแหนแดงและสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงิน (AzH)

วิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของผลิตภัณฑ์ชีวภาพอัดเม็ดจากแหนแดงและสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงิน ตามวิธีของ กลุ่มวิจัยเกษตรเคมี (2551) พบว่า มีค่าความเป็นกรด-ด่าง เท่ากับ 6.75 มีค่าการนำไฟฟ้า (EC) เท่ากับ 6.50 เดซิซีเมนส์ต่อเมตร ปริมาณอินทรียวัตถุ (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. ผลของการใช้ผลิตภัณฑ์ชีวภาพอัดเม็ดจากแหนแดงและสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินต่อการเจริญเติบโตและผลผลิตของผักกวางตุ้ง

การใส่ผลิตภัณฑ์ชีวภาพอัดเม็ดจากแหนแดงและสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินในอัตรา 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 (Table 1-2, Figure 1)

เมื่อเปรียบเทียบน้ำหนักสดของผักกวางตุ้งที่เพิ่มขึ้นจากกรรมวิธีที่ใส่ปุ๋ยเคมีไนโตรเจน 1 เท่าของอัตราแนะนำ พบว่ากรรมวิธีที่ใส่ปุ๋ยเคมีไนโตรเจน 1.5 และ 2 เท่าของอัตราแนะนำ และการใส่ผลิตภัณฑ์ชีวภาพอัดเม็ดจากแหนแดงและสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินในอัตรา 2 กิโลกรัมต่อตารางเมตร ร่วมกับใส่ปุ๋ยเคมีไนโตรเจน 1 เท่าของอัตราแนะนำสามารถเพิ่มน้ำหนักสดผักกวางตุ้งได้ 23.3 11.5 และ 8.4 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ (Table 2)

การใส่ผลิตภัณฑ์ชีวภาพอัดเม็ดจากแหนแดงและสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินในอัตรา 2 กิโลกรัมต่อตารางเมตร ร่วมกับใส่ปุ๋ยเคมีไนโตรเจน 1 เท่าของอัตราแนะนำทำให้ปริมาณผลผลิตของผักกวางตุ้งสูงเทียบเท่ากับการใส่ปุ๋ยเคมีไนโตรเจน 1.5 และ 2 เท่าของอัตราแนะนำ แสดงให้เห็นว่าผลิตภัณฑ์ชีวภาพอัดเม็ดจากแหนแดงและสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินสามารถใช้เป็นแหล่งธาตุไนโตรเจนและสามารถใช้ทดแทนปุ๋ยเคมีไนโตรเจนได้บางส่วนสำหรับพืชผักอายุสั้น เนื่องจากแหนแดงแห้งปลดปล่อยไนโตรเจนที่เป็นประโยชน์สุทธิเพิ่มขึ้นทีละน้อยในช่วงระยะเวลา 1-42 วัน หลังจากนั้นปริมาณของไนโตรเจนที่เป็นประโยชน์สุทธิคงที่จนถึงระยะเวลา 126 วัน (ศิริลักษณ์ และคณะ, 2563) ดังนั้นสำหรับพืชผักอายุสั้นประมาณ 45 วัน จึงต้องใส่ปุ๋ยเคมีไนโตรเจนตามอัตราแนะนำร่วมด้วยเพื่อให้เพียงพอต่อการเจริญเติบโตของพืชผัก และอาจสามารถใช้เป็นแหล่งธาตุไนโตรเจนได้ต่อไปได้อีกหลายรอบการปลูก

Table 1 Effect of using AzH in combination with various nitrogen fertilizer rates on crop performance of Pak Choi

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

Mean in the same column followed by a common letter are not significantly different at the 5% level by DMRT

Table 2 Comparison of total fresh weight of Pak Choi in the treatment using AzH in combination with various nitrogen fertilizer rates

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

Figure 1 Effect of using AzH in combination with various nitrogen fertilizer rates on the growth of Pak Choi at 43 days after planting

4. ผลของการใช้ผลิตภัณฑ์ชีวภาพอัดเม็ดจากแหนแดงและสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินต่อความเข้มข้นและปริมาณการดูดใช้ธาตุอาหารของผักกวางตุ้ง

การใส่ผลิตภัณฑ์ชีวภาพอัดเม็ดจากแหนแดงและสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินในอัตรา 2 กิโลกรัมต่อตารางเมตรร่วมกับใส่ปุ๋ยเคมีไนโตรเจนทุกอัตรา ทำให้ผักกวางตุ้งมีปริมาณความเข้มข้นของไนโตรเจน โพแทสเซียม แคลเซียม และแมกนีเซียมทั้งหมดในส่วนเหนือดิน สูงมากกว่าหรือเทียบเท่ากับกรรมวิธีที่ใช้ปุ๋ยเคมีไนโตรเจนที่ระดับเดียวกัน โดยเฉพาะปริมาณความเข้มข้นของโพแทสเซียมในส่วนเหนือดินสูงมากกว่าอย่างมีนัยสำคัญ (Table 3, Figure 2)

การใส่ผลิตภัณฑ์ชีวภาพอัดเม็ดจากแหนแดงและสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินร่วมกับใส่ปุ๋ยเคมีไนโตรเจน 1 เท่าของอัตราแนะนำทำให้ผักกวางตุ้งมีการดูดใช้ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส โพแทสเซียม แคลเซียม และแมกนีเซียมไม่แตกต่างจากการใส่ปุ๋ยเคมีไนโตรเจน 1 เท่าของอัตราแนะนำ แต่การใส่ผลิตภัณฑ์ชีวภาพอัดเม็ดจากแหนแดงและสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินส่งเสริมให้ผักกวางตุ้งดูดใช้ธาตุโพแทสเซียมเพิ่มขึ้นอย่างชัดเจน เนื่องจากแหนแดง สามารถสะสมโพแทสเซียมจากสารละลายดินได้ดี 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)

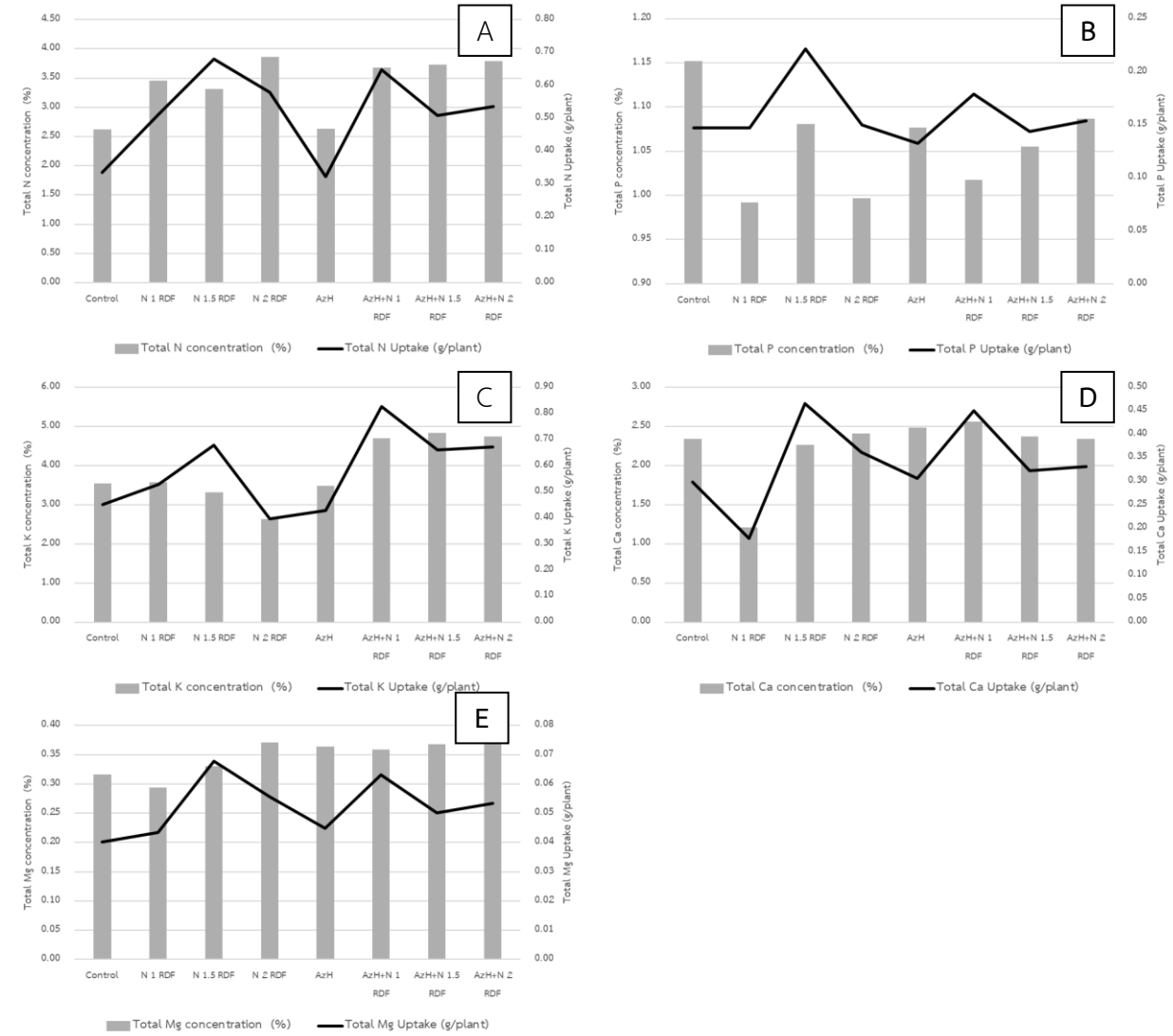


Figure 2 Effect of using AzH in combination with various nitrogen fertilizer rates on total concentration and uptake of nitrogen (A), phosphorus (B), potassium (C), calcium (D) and magnesium (E) of Pak Choi

Table 3 Effect of using AzH in combination with various nitrogen fertilizer rates on total dry weight, total concentration and total nutrient uptake of Pak Choi

Treatment	Total Dry Weight (g/plant)	Total concentration (%)					Total Uptake (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

Mean in the same column followed by a common letter are not significantly different at the 5% level by DMRT

5. ผลของการใช้ผลิตภัณฑ์ชีวภาพอัดเม็ดจากแหนแดงและสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินต่อการเปลี่ยนแปลงสมบัติของดินหลังปลูก

การใส่ผลิตภัณฑ์ชีวภาพอัดเม็ดจากแหนแดงและสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินทำให้ดินหลังปลูกมีค่าความเป็นกรด-ด่างลดลงจากระดับด่างปานกลาง (8.1) เป็นด่างเล็กน้อย (7.44-7.94) เนื่องจากปุ๋ยอินทรีย์ช่วยปรับค่าความเป็นกรด-ด่างของดินให้อยู่ในระดับที่เหมาะแก่การเจริญเติบโตของพืช และช่วยเพิ่มความต้านทานการเปลี่ยนแปลงความเป็นกรดเป็นด่างของดิน (buffer capacity) (โสพส, 2559) และช่วยเพิ่มระดับปริมาณอินทรียวัตถุ และโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ในดินให้สูงกว่าการใส่ปุ๋ยเคมีไนโตรเจนเพียงอย่างเดียว โดยมีปริมาณอินทรียวัตถุเพิ่มขึ้นจาก 1.74 เป็น 2.34-2.59 เปอร์เซ็นต์ และปริมาณโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้เพิ่มขึ้นจาก 125 เป็น 213-253 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ส่วนปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ แคลเซียมและแมกนีเซียมที่แลกเปลี่ยนได้มีปริมาณใกล้เคียงกันกับดินก่อนการทดลอง (Table 4)

Table 4 Effect of using AzH in combination with various nitrogen fertilizer rates on soil property after experiment

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 อัตราและการใส่ผลิตภัณฑ์ชีวภาพอัดเม็ดจากแหนแดงและสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินร่วมกับใส่ปุ๋ยเคมีไนโตรเจน 1 เท่าของอัตราแนะนำ มีค่า VCR มากกว่า 2 แสดงให้เห็นว่าการปลูกผักกวางตุ้งจำเป็นต้องมีการใส่ปุ๋ยเคมีไนโตรเจนอย่างน้อย 1 เท่าของอัตราแนะนำร่วมด้วยจึงจะมีความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ การใส่ผลิตภัณฑ์ชีวภาพอัดเม็ดจากแหนแดงและสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินร่วมกับใส่ปุ๋ยเคมีไนโตรเจน 1 เท่าของอัตราแนะนำ ถึงแม้จะมีค่า VCR ต่ำกว่าการใช้

ปุ๋ยเคมีไนโตรเจนเพียงอย่างเดียว แต่ก็เพียงพอให้มีความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ และเป็นการลดการใช้ปุ๋ยเคมี สามารถปรับปรุงบำรุงดินให้มีความอุดมสมบูรณ์ได้ในระยะยาว (Table 5)

Table 5 Value to Cost Ratio (VCR) of using AzH in combination with various nitrogen fertilizer rates in the production of Pak Choi

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 $baht/m^2$, 46-0-0 prices (N 1 RDF): 0.35 $baht/m^2$

[3/] VCR = The profit from the fertilizer implementation/the cost of fertilizer implementation (critical value=2.0)

สรุปผลการทดลอง

การใส่ผลิตภัณฑ์ชีวภาพอัดเม็ดจากแหนแดงและสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงิน ในอัตรา 2 กิโลกรัมต่อตารางเมตร ร่วมกับใส่ปุ๋ยเคมีไนโตรเจน 1 เท่าของอัตราแนะนำ (15 กิโลกรัมไนโตรเจนต่อไร่) เป็นอัตราที่เหมาะสม ทำให้ผักกวางตุ้งที่ปลูกในดินที่มีระดับอินทรียวัตถุต่ำมีการเจริญเติบโตด้านน้ำหนักสด ความสูง จำนวนใบ น้ำหนักแห้ง และการดูดใช้ธาตุอาหารของผักกวางตุ้งไม่แตกต่างกันกับการใส่ปุ๋ยเคมีไนโตรเจน 1.5 และ 2 เท่าของอัตราแนะนำ (22.5 และ 30 กิโลกรัมไนโตรเจนต่อไร่) และยังช่วยทำให้ดินหลังปลูกมีระดับปริมาณอินทรียวัตถุ โพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ เพิ่มขึ้นมากกว่าการใส่ปุ๋ยเคมีไนโตรเจนเพียงอย่างเดียว และการปลูกผักกวางตุ้งโดยใส่ผลิตภัณฑ์ชีวภาพอัดเม็ดจากแหนแดงและสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินในอัตรา 2 กิโลกรัมต่อตารางเมตร ร่วมกับใส่ปุ๋ยเคมีไนโตรเจน 1 เท่าของอัตราแนะนำ มีค่า VCR มากกว่า 2 ซึ่งคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์

คำขอบคุณ

งานวิจัยนี้เป็นส่วนหนึ่งในโครงการวิจัยและพัฒนาเทคโนโลยีและนวัตกรรมการผลิตผลิตภัณฑ์ชีวภาพเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตพืชปลอดภัย ซึ่งได้รับการสนับสนุนงบประมาณจากกองทุนส่งเสริมวิทยาศาสตร์ วิจัยและนวัตกรรมทุนสนับสนุนงานมูลฐาน (fundamental fund) สำนักงานคณะกรรมการส่งเสริมวิทยาศาสตร์วิจัยและนวัตกรรม (สกสว.) และได้รับการสนับสนุนด้านโครงสร้างพื้นฐาน ห้องปฏิบัติการ ครุภัณฑ์วิทยาศาสตร์ และยานพาหนะสำหรับใช้ในการปฏิบัติงานวิจัยจากกรมวิชาการเกษตร

การนำผลงานวิจัยไปใช้ประโยชน์

เกษตรกรมีผลิตภัณฑ์แหนแดงร่วมกับสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินอัดเม็ด เพื่อการผลิตพืชผักปลอดภัยอย่างยั่งยืน ซึ่งเป็นการลดต้นทุนและเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตพืช เป็นทางเลือกหนึ่งสำหรับให้เกษตรกรหรือกลุ่มเกษตรกรผู้ผลิตพืชผักปลอดภัยใช้เป็นปัจจัยการผลิตพืชเสริมจากการใช้ปุ๋ยให้มีประสิทธิภาพมากขึ้น

เอกสารอ้างอิง

กรมวิชาการเกษตร. 2548. *คำแนะนำการใช้ปุ๋ยกับพืชเศรษฐกิจ.* กรมวิชาการเกษตร กรุงเทพฯ. 121 หน้า

กลุ่มวิจัยเกษตรเคมี. 2551. *คู่มือการวิเคราะห์ปุ๋ยอินทรีย์.* กองวิจัยพัฒนาปัจจัยการผลิตทางการเกษตร กรมวิชาการเกษตร กรุงเทพฯ. 48 หน้า

ประกาศกรมวิชาการเกษตร เรื่อง กำหนดเกณฑ์ปุ๋ยอินทรีย์ พ.ศ. 2557 (2557). *ราชกิจจานุเบกษา.* เล่ม 131 ตอนพิเศษ 29 ง. หน้า 4.

ศิริลักษณ์ แก้วสุรลิขิต ประไพ ทองระอา กานดา ฉัตรไชยศิริ และภาสันต์ ศารทูลทัต. 2561. ผลของแหนแดงแห้งต่อการเจริญเติบโตของผักกวางตุ้ง. หน้า 332-337. *ใน: เอกสารการประชุมวิชาการพืชสวนแห่งชาติ ครั้งที่ 17*, วันที่ 9-21 พฤศจิกายน 2561. ณ โรงแรมเชียงใหม่ แกรนด์วิวแอนด์คอนเวนชั่น เซ็นเตอร์ จังหวัดเชียงใหม่.

ศิริลักษณ์ แก้วสุรลิขิต, พัชรินทร์ นามวงษ์, ประไพ ทองระอา, นิศารัตน์ ทวีนุต และ กานดา ฉัตรไชยศิริ. 2563. การปลดปล่อยธาตุอาหารและการเปลี่ยนแปลงสมบัติทางเคมีในดินที่ใส่แหนแดง. *Thai Agricultural Research Journal.* 38 (2): 139-149.

โสพส แซ่ลิ้ม. 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.

การวิจัยและพัฒนาระบบฐานข้อมูลดิน เพื่อการสร้างศักยภาพในการผลิตของดิน ในแหล่งปลูกปาล์มน้ำมัน

The Database Development of Soil to Sustaining Soil Productivity Under Oil Palm Areas

บรรณพิชญ์ สัมฤทธิ์[1/*] วิชณีย์ ออมทรัพย์สิน[2/] ณัฐพร ประคองเก็บ[1/], ชญาดา วงศ์พรประทีป[1/], รมิดา ขันตรีกรม[1/] และ ชัชธนพร เกื้อหนุน[1/]

Bhannapitch Samrit[1/*] Vichanee Ormzubsin[2/], Nattaporn Prakongkep[1/], Chayada Wongpornprateep [1/], Ramida Khuntreekrom[1/] and Chattanaporn Kueanoon [1/]

ABSTRACT

This research aims to develop a system for evaluating field capacity (FC) and available water capacities (AWC) to reduce the inaccuracies associated with traditional methods that define FC using fixed pressure values (pF 2.0 or pF 2.5), which are not specific to different soil textures. Soil property data were collected from oil palm plantations across various regions of Thailand from 2014-2015. The samples were categorized into three soil texture groups: coarse to medium (CTM), medium to fine (MTF), and medium fine to very fine (MFTVF). From 2024-2025, FC was estimated using hydraulic capacities (HC) derived from the soil water retention curve (SWRC), modeled with the van Genuchten equation using the RETC program. This model was based on data including soil particle size distribution (PSD; sand, silt, and clay), bulk density (ρ_b), and volumetric soil water content (θ_v) at pF levels 0-4.2. The study found that the predicted FC values from the model were significantly higher than the FC values measured at pF 2.0 across all soil groups. The model-based FC values were 0.329±0.044, 0.355±0.050, and 0.491±0.074 cm^3 (water)/cm^3 (soil) for the CTM, MTF, and MFTVF groups, respectively, while the observed FC at pF 2.0 were 0.289±0.046, 0.322±0.322, and 0.479±0.091 cm^3 (water)/ cm^3 (soil), respectively. The optimal pF range for determining FC was also found to be different for each soil type, with mean values of 1.16±0.21 for CTM, 1.19±0.21 for MTF, and 1.39±0.26 for MFTVF. Analysis of AWC showed that model-predicted values were also higher than those derived from the pF 2.0 method, with a wider data range. For the MFTVF group, the predicted AWC was 0.044±0.056 cm^3 (water)/cm^3 (soil), while the pF 2.0-derived AWC was 0.032±0.012 cm^3 (water)/cm^3 (soil). In conclusion, evaluating FC and AWC using the van Genuchten model

[1/] กลุ่มวิจัยปฐพีวิทยา กองวัยพัฒนาปัจจัยการผลิตทางการเกษตร กรมวิชาการเกษตร ลาดยาว จตุจักร กรุงเทพมหานคร 10900

[1/] Soil Science Research Group, Agricultural Product Science Research and Development Office, Department of Agriculture

[2/] ศูนย์วิจัยปาล์มน้ำมันสุราษฎร์ธานี สถาบันวิจัยพืชไร่และทดแทนพลังงาน กรมวิชาการเกษตร ตำบลท่าอุแท อ. กาญจนดิษฐ์ จ. สุราษฎร์ธานี 84340

[2/] Suratthani Oil Palm Research Center, Field and Renewable Energy Crops Research Institute (FCRI), Department of Agriculture

* ohmikar@hotmail.com

provides more accurate and soil-specific results than relying on fixed pF values. This approach can improve the precision of critical soil water content assessments for irrigation management.

Keywords: Oil palm; Soil water retention curve; Field capacity; Available water capacity

บทคัดย่อ

การวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาระบบการประเมินค่าความจุความชื้นสนาม (field capacity, FC) และค่าความจุความชื้นที่เป็นประโยชน์ (available water capacities, AWC) เพื่อลดความคลาดเคลื่อนที่เกิดจากการกำหนดจุด FC แบบเดิมที่ใช้ค่าความดัน 0.33 บาร์ หรือที่ pF 2.5 แล้วได้ปรับลงเป็น 0.1 บาร์ (pF 2.0) แต่ก็ยังไม่เหมาะสมกับเนื้อดินที่แตกต่างกัน งานวิจัยนี้ได้รวบรวมข้อมูลสมบัติทางกายภาพของดินจากพื้นที่ปลูกปาล์มน้ำมันในภาคต่าง ๆ ของประเทศไทย ในปี 2557-2558 โดยแบ่งตัวอย่างดินออกเป็น 3 กลุ่มตามชนิดเนื้อดิน ได้แก่ ดินเนื้อหยาบถึงปานกลาง (CTM), ดินเนื้อปานกลางถึงละเอียด (MTF), และดินเนื้อละเอียดปานกลางถึงละเอียดมาก (MFTVF) ในช่วงปี พ.ศ. 2567-2568 ได้ทำการประเมินค่า FC โดยใช้ตัวแปรทางชลศาสตร์ (hydraulic capacities, HC) จากการสร้างกราฟเส้นโค้งการยึดน้ำของดิน (soil water retention curve; SWRC) ด้วยสมการโมเดล van Genuchten โดยโปรแกรม RETC ซึ่งใช้ข้อมูลร้อยละการแจกกระจายของอนุภาคดิน (PSD), ความหนาแน่นรวม (ρ_b), และความชื้นดิน (θ_v) ที่แรงดึงน้ำต่าง ๆ (pF 0-4.2) ผลการศึกษาพบว่าค่า FC ที่ได้จากแบบจำลองในทุกกลุ่มเนื้อดินมีค่าสูงกว่าค่า FC ที่วัดจาก pF 2.0 อย่างมีนัยสำคัญโดยกลุ่มดิน CTM, MTF และ MFTVF มีค่า FC จากแบบจำลองเท่ากับ 0.329±0.044, 0.355±0.050 และ 0.491±0.074 ลบ.ซม. (น้ำ)/ ลบ.ซม. (ดิน) ตามลำดับ ส่วนค่า FC ที่ pF 2.0 เท่ากับ 0.289±0.046, 0.322±0.322 และ 0.479±0.091 ลบ.ซม. (น้ำ)/ ลบ.ซม. (ดิน) ตามลำดับ นอกจากนี้ยังพบว่าช่วง pF ที่เหมาะสมในการกำหนดจุด FC ของแต่ละกลุ่มเนื้อดินมีความแตกต่างกัน ซึ่งค่าเฉลี่ย pF ที่เหมาะสมสำหรับกลุ่มดิน CTM, MTF และ MFTVF เท่ากับ 1.16±0.21, 1.19±0.21 และ 1.39±0.26 ตามลำดับ เมื่อวิเคราะห์หาค่า AWC พบว่าค่าที่ได้จากแบบจำลองในทุกกลุ่มเนื้อดินมีค่าสูงกว่าค่าที่ได้จาก FC ที่ pF 2.0 และมีช่วงพิสัยของข้อมูลที่กว้างกว่าอย่างชัดเจน โดยเฉพาะกลุ่มดิน MFTVF ซึ่งมีค่า AWC จากแบบจำลองอยู่ที่ 0.044±0.056 ลบ.ซม. (น้ำ)/ ลบ.ซม. (ดิน) และค่า AWC จาก pF 2.0 อยู่ที่ 0.032±0.012 ลบ.ซม. (น้ำ)/ ลบ.ซม. (ดิน) สรุปผลการประเมินค่า FC และ AWC ด้วยแบบจำลองจากสมการ van Genuchten ให้ผลลัพธ์ที่มีความแม่นยำและเหมาะสมกับลักษณะเนื้อดินแต่ละชนิดมากกว่าการใช้ค่าความดัน pF แบบตายตัว ซึ่งช่วยปรับปรุงการประเมินความชื้นวิกฤตสำหรับการให้น้ำชลประทานได้ดียิ่งขึ้น

คำสำคัญ ปาล์มน้ำมัน; เส้นโค้งการดูดยึดน้ำของดิน; ความจุความชื้นสนาม; ความจุน้ำใช้ประโยชน์ได้

บทนำ

ปาล์มน้ำมัน ปี 2566 พบว่ามีเนื้อที่ยืนต้นทั้งประเทศ 6,553,666 ไร่ โดยส่วนใหญ่อยู่ในพื้นที่ภาคใต้ และมีปลูกบ้างในภาคกลาง ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ และ ภาคเหนือ หรือคิดเป็นร้อยละ 86.12, 8.55, 3.93 และ 1.40 ตามลำดับ ของพื้นที่ยืนต้นทั้งหมด จังหวัดที่มีการปลูกมากที่สุด คือ ภาคใต้ จังหวัดสุราษฎร์ธานี 1,463,697 ไร่ ภาคตะวันออก จังหวัดชลบุรี 112,503 ไร่ เป็นต้น แนวโน้มการปลูกปาล์มน้ำมัน พบว่าเนื้อที่ปลูกปาล์มน้ำมันทั้งหมด เนื้อที่ให้ผลผลิตทั้งประเทศ มีการเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องอย่างชัดเจน สำหรับผลผลิต (100 ตัน) และผลผลิต (กก./ไร่) ก็มีทิศทางไปในแนวเดียวกัน แต่มีจุดสังเกตอยู่ที่ปี 2559 ผลผลิตลดลงอย่างชัดเจน (สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร. 2568) ก็เนื่องมาจากปี 2557-2558 มีปริมาณน้ำฝนต่ำกว่าค่าปกติ (กรมอุตุนิยมวิทยา, 2568) ตั้งแต่

ปี 2557-2559 มีผลผลิตเริ่มลดลงอย่างชัดเจน คือ 12, 624 12,397 และ 11,663 (100 ตันต่อไร่) ตามลำดับ รวมไปถึงผลผลิต (กก./ไร่) ด้วย คือ 3,064 2,871 และ 2,580 (กก./ไร่) ตามลำดับ และในปี 2562-2563 ก็พบว่าปริมาณน้ำฝนต่ำกว่าค่าปกติ คือ อีกส่งผลให้เกิดปัญหาผลผลิตลดลงอีก

งานวิจัยนี้ได้เริ่มต้นศึกษาในปีงบประมาณ 2554, 2556-2558 ในภาคใต้ ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ภาคกลางและภาคตะวันออก ภาคเหนือและภาคตะวันตก ตามลำดับ โดยเนื้องานหลักของงานวิจัยนี้จะเน้นรวบรวมข้อมูลดินทางด้านสัณฐานวิทยาสนาม สมบัติกายภาพ และเคมีดิน ในแหล่งปลูกปาล์มน้ำมัน และในช่วง พ.ย.2566 – พ.ค. 2568 ได้นำข้อมูลที่รวบรวมในปี 2557-2558 คือ การแจกกระจายอนุภาคดินของแต่ละลักษณะเนื้อดิน ความชื้นดินที่ระดับ pF ต่าง ๆ และความหนาแน่นรวมของดิน ซึ่งเป็นพารามิเตอร์ในการวิเคราะห์หากราฟเส้นโค้งการดูดยึดน้ำของดิน ซึ่งทำโดยใช้สมการโมเดล van Genuchten ในโปรแกรม RETC สามารถทำนายค่า FC ที่จำเพาะกับลักษณะเนื้อดินได้ (ธันยพร, 2563; บรรณพิชญ์ และคณะ, 2566) ซึ่งค่า FC นั้นถือว่าเป็นจุดสำคัญในการศึกษาเรื่องความชื้นดินเพื่อนำไปคำนวณความจุความชื้นที่เป็นประโยชน์ พืชดูดน้ำจากดินที่มีความชื้นที่จุดพิกัดบนของความชื้นที่เป็นประโยชน์หรือความจุความชื้นสนามได้ง่ายสุด และยากเพิ่มขึ้นเมื่อความชื้นดินลดลงจนถึงระดับพิกัดล่างหรือจุดเหี่ยวถาวร (Permanent wilting point; PWP) จุดพิกัดนี้ยึดปฏิบัติกันมาโดยใช้เฮดที่ FC ที่ pF 1.8-2.5 และ PWP ที่ pF 4.2) (Figure 1a) (Widomski *et al*., 2013) หากปล่อยให้ฝนทิ้งช่วงนานส่งผลให้ความชื้นในดินลดลงจนถึงจุดวิกฤต (critical soil water content) หรือจุดที่เรียกว่าค่า *p* (depletion fraction for no stress) (Figure 1b) และพืชตายลงได้ การประเมินความจุความชื้นที่เป็นประโยชน์ (AWC = FC- PWC) ของดินเขตร้อนพบว่ามีความผันแปรและคลาดเคลื่อน จากการกำหนดจุดความจุความชื้นสนามยังไม่สอดคล้องกับลักษณะเนื้อดิน ซึ่งมีผลต่อการประเมินความชื้นวิกฤต และการให้น้ำ ดังนั้นการศึกษากราฟเส้นโค้งลักษณะความชื้นในดินเป็นข้อมูลพื้นฐานที่จำเป็นสำหรับการวางแผนการใช้และปริมาณของน้ำในดินแก่พืช ซึ่งค่าที่อยู่ระหว่างจุดพิกัดบนและล่างนี้คือค่าความจุความชื้นที่เป็นประโยชน์ของพืช (Khetdan et al., 2017) ซึ่งการใช้ความดันที่จุดดังกล่าวในทุกลักษณะเนื้อดินยังเป็นสิ่งที่ยังไม่แม่นยำนัก เนื่องจากดินในแต่ละลักษณะเนื้อดินมีโครงสร้าง ช่องว่าง ความสามารถในการอุ้มน้ำที่แตกต่างกัน ส่งผลให้ดินแต่ละลักษณะมีกราฟเส้นโค้งลักษณะความชื้นดินแตกต่างกันออกไป (Figure 1a) จากการศึกษาของ ธันยพร, (2563) และ Samrit (2023) พบว่าการหาค่า FC จะต้องหาจากจุดความจุชลศาสตร์สูงสุด เพื่อทำนาย SWRC โดยใช้สมการโมเดล van Genuchten บนพื้นฐานของ Mualem (1976) ในโปรแกรม RETC ช่วยในการทำนายค่าพารามิเตอร์ทางชลศาสตร์ (hydraulic parameters) ที่ไม่ทราบค่าซึ่งเป็นโปรแกรมที่ใช้กันอย่างแพร่หลายในการทำนายโดยจะกล่าวรายละเอียดในวิธีการต่อไป

การศึกษานี้สะท้อนให้เห็นถึงการใช้เครื่องมือและวิธีการที่ก้าวหน้าทางวิชาการ เพื่อใช้ในการวางแผนการจัดการดินในแหล่งปลูกปาล์มน้ำมัน โดยเฉพาะลักษณะเนื้อดิน ความหนาแน่นรวมของดิน มาปรับใช้ในการศึกษาความเป็นประโยชน์ของน้ำใน โดยคิดจากค่าพิกัดบน หรือค่าความจุความสนาม วิเคราะห์ในห้องปฏิบัติการ ด้วยหม้อความดัน ที่ pF 2.0 และจากการประเมินค่าความจุความสนาม จากกราฟเส้นโค้งลักษณะความชื้นในดิน โดยประเมิน FC ณ ความจุชลศาสตร์สูงสุด ($C_w(h)$) ที่คำนวณจากตัวแปรชลศาสตร์จากโมเดล van Genuchten ในโปรแกรม RETC เพื่อเป็นข้อมูลเชิงเปรียบเทียบระหว่างสองวิธีการ เพื่อใช้เป็นต้นแบบของวิธีการประเมิน AWC ในการศึกษาการให้น้ำในพื้นที่ปลูกปาล์มน้ำมัน และประยุกต์ใช้กับพืชอื่น ๆ ในอนาคตต่อไป นำไปสู่การจัดทำเป็นต้นแบบการคิดคำนวณปริมาณน้ำในดิน ให้กับนักวิชาการฯ และผู้สนใจ ในการวางแผนการใช้น้ำของพืช สามารถใช้แก้ปัญหาที่คาดว่าจะเกิดขึ้นในอนาคตได้ทันต่อสภาวการณ์การเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศได้อย่างมีหลักการและทิศทางที่เป็นไปได้เฉพาะพื้นที่ เพื่อลดต้นทุนการผลิตและคงไว้ซึ่งศักยภาพในการผลิตของดินอย่างยั่งยืน

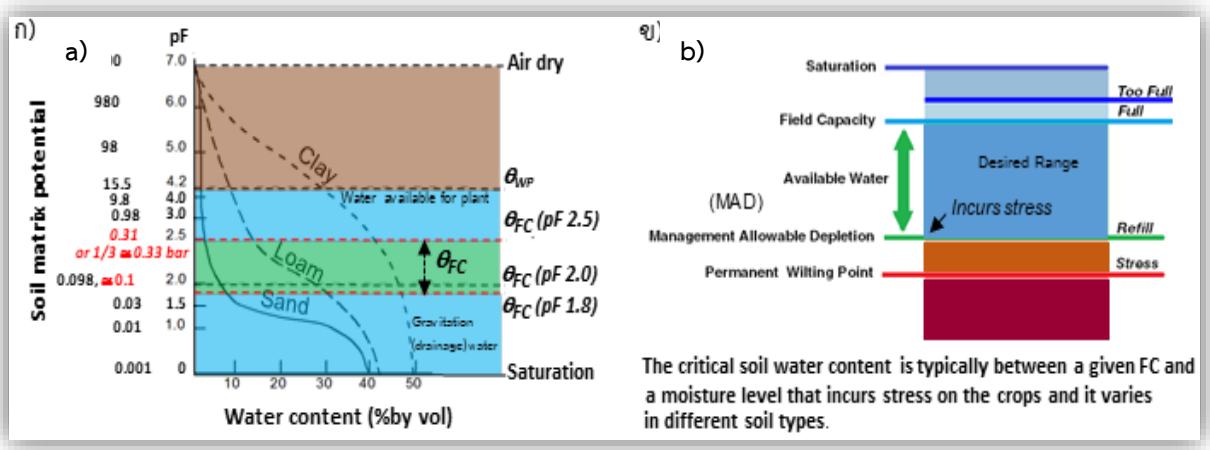


Figure 1 Exemplary pF curves for various soil (adapted from Widomski, 2013) (Figure 1a) and soil water content at different stage and management allowable depletion (MAD) or depletion fraction for no stress (*p*) (Figure 1b) (adapted from Sumaiya, 2018; Allen et al., 1998)

อุปกรณ์และวิธีการ

การศึกษาในพื้นที่ที่ปลูกปาล์มน้ำมันของประเทศไทย ปี 2557 ภาคกลางและภาคตะวันออก ศึกษาในพื้นที่ จ.สระบุรี จ.ปทุมธานี จ.ฉะเชิงเทรา จ.ตราด จ.ชลบุรี และ จ.จันทบุรี ปี 2558 ภาคเหนือและภาคตะวันตก ศึกษาในพื้นที่ จ.สุโขทัย จ.พิษณุโลก จ.พิจิตร จ.อุตรดิตถ์ จ.สุพรรณบุรี จ.เพชรบุรี และ จ.ประจวบคีรีขันธ์ ทำการศึกษาข้อมูลทางด้านกายภาพ และเคมีของดินที่กลุ่มวิจัยปฐพีวิทยา กองวิจัยพัฒนาปัจจัยการผลิตทางการเกษตร กรมวิชาการเกษตร

1. การศึกษาข้อมูลเบื้องต้น กำหนดขอบเขตพื้นที่ และจุดที่ใช้ทำการศึกษา รวบรวมข้อมูลและศึกษาข้อมูลเบื้องต้น ซึ่งประกอบด้วยด้วยแผนที่สภาพภูมิประเทศ มาตราส่วน 1:50,000 (กรมแผนที่ทหาร, 2547) และแผนที่ดินรายจังหวัด มาตราส่วน 1:100,000 กรมพัฒนาที่ดิน (กองสำรวจดิน, 2520) และตรวจทานททวนด้วยแผนที่ที่มีการอัปเดทในมาตราส่วนที่มีขนาดใหญ่ขึ้น และเข้าสำรวจตรวจสอบลักษณะดินเบื้องต้น และกำหนดจุดเก็บตัวอย่างดินโดยขอความร่วมมือกับเกษตรกร การเลือกเก็บดินตามจุดศึกษาแบ่งออกเป็น การศึกษาลักษณะดินตัวแทนโดยทำการขุดหลุมดินในบริเวณที่กำหนดไว้ โดยมีขนาดกว้าง 1.5 ม. ยาว 2 ม. และลึก 2 ม. ตกแต่งหน้าตัดของดินให้สามารถมองเห็นสัณฐานของดินได้ชัดเจน แบ่งชั้นดินตามการกำเนิดดิน (genetic horizon) ศึกษาสัณฐานวิทยาของดินในสนามด้วยเครื่องมือมาตรฐานที่ใช้ในการสำรวจดินภาคสนาม (เอิบ, 2547) ดังแสดง Figure 2

2. เก็บตัวอย่างดิน แยกออกเป็น 2 วิธี คือตัวอย่างดินที่ถูกรบกวน (disturbed soil samples) และไม่ถูกรบกวน (undisturbed soil samples) โดยใช้กระบอกเก็บตัวอย่างดิน (soil core) (Buol et al., 2010) โดยเก็บตัวอย่างดินทุกชั้นกำเนิดดินที่ได้แบ่งไว้ตลอดหน้าตัด การเตรียมตัวอย่างดิน นำตัวอย่างดินที่ถูกรบกวนมาผึ่งให้แห้งในที่ร่ม หลังจากนั้นนำมาบดด้วยโกร่งบดดินและร่อนผ่านตะแกรงขนาด 2 มิลลิเมตร นำมาเคราะห์สมบัติทางเคมี และเนื้อดินโดยวิธีไปเปต (pipette method) (Day, 1965) ผลที่ได้จากการวิเคราะห์นำมาแจกแจงประเภทของเนื้อดิน (soil textural class) โดยการเปรียบเทียบกับชั้นเนื้อดินด้วยตารางสามเหลี่ยมเนื้อดิน ตามเกณฑ์ของกระทรวงเกษตรสหรัฐอเมริกา (USDA textural class) (Soil Survey Division Staff, 1993) และชั้นของเนื้อดิน (soil texture classes) (Montanarella et al., 1998) นำตัวอย่างดินที่ไม่ถูกรบกวนตัวอย่างมาศึกษาวิเคราะห์หาสภาพนำน้ำของดินขณะอิ่มตัว (saturated hydraulic conductivity) โดยใช้พลังงานขับน้ำผันแปร (variable head method) (Klute, 1965) และนำมาวิเคราะห์ความชื้นดินโดยใช้เครื่องอัดแรงดันให้กับน้ำในดินภายในหม้อ

Figure 2 Soil profile and environment of the study at each location.

ความดัน (soil moisture pressure plate apparatus, pressure cooker apparatus) (Gardner, 1965) ที่ระดับ pF 1, 1.5, 2, 2.5, 3.0 และ 4.2 สำหรับการแปลงค่าและความสัมพันธ์ของหน่วยความดันในหน่วย pF (log10 matric potential in cm H_2O) เฮดของความดัน (pressure head (cm)) ดังแสดง Table 1 ส่วนความชื้นดินที่อิ่มตัวด้วยน้ำจะกำหนดเป็นจุด pF 0 เมื่อสิ้นสุดในวิธีการที่ความดันที่ pF 4.2 นำตัวอย่างดินไปอบที่อุณหภูมิ 105 °c หลังจากนั้นวิเคราะห์ความหนาแน่นรวมของดิน (Blake and Hartge, 1986) และมีสูตรในการคำนวณค่าต่าง ๆ โดยสากลมีหลักการ ดังข้อ 2.1-2.4

Table 1 Calculated pF and other pressure.

A) pF	Automatic pressure controller				B) Pressure head	C) mm Hg	D) Gravitational unit
(log (B))	Increase pressure		Decrease pressure		(h, H_2O, cm)	(h/(13.6 g/cm^3)	(bar or kg f/cm^2)
	Hi set	Lo set	Hi set	Lo set	$10^{(A)}$	(B/13.6)	(B/1,000)
0.0	-	-	-	-	1	0.074	0.00
1.0	-+01002	+0096	-0098	-0102	10	0.74	0.01
1.5	+0318	+0314	-0314	-0318	32	2.35	0.03
2.0	***+1002***	***+0998***	***-0998***	***-1002***	***100***	***7.35***	***0.10***
2.5	***+0318***	***+0314***	***-0314***	***-0314***	***316***	***23.24***	***0.32***
3.0	+1.002	+0998	-	-	1000	73.53	1.00
4.2	-	-	-	-	15,000	1102.94	15.00

2.1 ความชื้นดิน (θ_v) (% โดยน้ำหนัก) = $\frac{\text{น้ำหนักดินเปียกที่ระดับ pF ต่าง ๆ (ก.)} - \text{น้ำหนักดินเปียกที่ระดับ pF ต่าง ๆ (ก.)}}{\text{น้ำหนักดินแห้ง (ก.)}} \times 100$

2.2 ความหนาแน่นรวม (ρ_b) (ก/ลบ.ซม) = $\frac{\text{น้ำหนักดินที่อบที่ } 105°c \text{ (ก.)} - \text{น้ำหนักกระบอกเก็บตัวอย่างดิน (ก.)}}{\text{ปริมาตรกระบอกเก็บตัวอย่างดิน (ลบ.ซม.)}}$

2.3 ความชื้นดิน (% โดยปริมาตร) = ความชื้นดิน (% โดยน้ำหนัก) x ความหนาแน่นรวม. (ก/ลบ.ซม) แปลงเป็นหน่วย ลบ.ซม. (น้ำ)/ลบ.ซม. (ดิน) โดยหารด้วยปริมาตรกระบอกเก็บตัวอย่างดิน (V) = $2\pi r^2 h$ โดยที่มีรัศมี (r) ของเส้นผ่านศูนย์กลางภายใน (Ø, 2r) 2.49 ± 0.02 ซม. สูง (h) 5.0 ± 0.1 ซม. ((22/7)*(2.49)^2*(5.0)) มีค่าเท่ากับ 98 ± 1.70 (n= 5) หรือ ~100 ลบ.ซม.

2.4 ความชื้นดิน (ลบ.ซม. (น้ำ)/ลบ.ซม. (ดิน)) = $\frac{\text{น้ำหนักดินเปียกที่ระดับ pF ต่าง ๆ (ก.)} - \text{น้ำหนักดินแห้งที่ระดับ pF ต่าง (ก.)}/\rho w/\text{ลบ.ซม.}}{\text{ปริมาตรกระบอกเก็บตัวอย่างดิน(ลบ.ซม.)}} \times 100$

โดยที่ความหนาแน่นรวมของน้ำ (ρ_w) ณ ห้องปฏิบัติการ (~1 ก/ลบ.ซม.) (California Department of Pesticide Regulat, C., 2018)

3. การประเมินค่าตัวแปรทางชลศาสตร์ที่สำคัญที่ ได้แก่ θ_r, θ_s, α, n และ m โดยวิเคราะห์ทกชั้นการกำเนิดดิน คือปริมาณเปอร์เซ็นต์ของอนุภาคขนาดทราย ทรายแป้ง) และดินเหนียว, ความหนาแน่นรวมของดิน, ปริมาตรปริมาณน้ำในดิน ที่ระดับ pF ต่าง ๆ นำเข้าข้อมูลดังกล่าวในโปรแกรม RETC ตามหลักวิธีการ ซึ่งข้อมูลโดยละเอียดทั้งหมดได้นำเสนอในแบบสรุปไว้ใน Table 2 และ Table 3 โดยมีขั้นตอนผลลัพธ์ (output file) อย่างคร่าว ๆ ดังแสดง Figure 3 และค่าตัวแปรทางชลศาสตร์ที่ได้ในแต่ละกลุ่มเนื้อดินสรุปไว้ใน Table 4

Table 2 Particle size distribution and bulk density of the studied oil palm growing soil

No.,soil texture	Statistic	Sand	Silt	Clay	Bulk density
		(----------%----------)			g/cm^3
Coarse to medium (CTM) (n = 5 locations)					
(No.1-32)	maximum	81	39	33	2.05
(n = 32 soil horizons)	minimum	28	6	9	0.35
	$\bar{X}$±SD	65±12	15±8	20±7	1.65±0.3
Medium to fine (MTF) (n = 5 locations)					
(No.33-62)	maximum	80	46	46	1.93
(n = 30 soil horizons)	minimum	33	3	12	1.17
	$\bar{X}$±SD	57±12	16±10	26±8	1.63±0.18
Moderate fine to very fine (MFTVF) (n = 5 locations)					
(No.63-97)	maximum	32	59	82	1.60
(n = 35 soil horizons)	minimum	3	7	27	0.85
	$\bar{X}$±SD	11±7	34±14	55±14	1.28±0.23

Table 3 Average soil water content at different suction head varied from pF 0 to pF 4.2

Code No.		Soil water content (θ_v) (cm^3 (water)/cm^3 (soil))						
		pF 0	pF 1.0	pF 1.5	pF 2.0	pF 2.5	pF 3.0	pF 4.2
Coarse to medium (CTM) (n = 5 locations)								
(No.1-32)	max	0.487	0.438	0.429	0.364	0.353	0.343	0.335
(n = 32)	min	0.253	0.240	0.222	0.210	0.114	0.084	0.076
	$\bar{X}$±SD	0.360±0.062	0.326±0.050	0.312±0.048	0.285±0.046	0.253±0.052	0.229±0.059	0.218±0.059
Medium to fine (MTF) (n = 5 locations)								
(No.33-62)	max	0.558	0.530	0.524	0.518	0.501	0.483	0.464
(n = 30)	min	0.297	0.287	0.257	0.234	0.177	0.151	0.146
	$\bar{X}$±SD	0.386±0.072	0.360±0.065	0.346±0.067	0.321±0.069	0.285±0.070	0.259±0.072	0.247±0.070
Moderate fine to very fine (MFTVF) (n = 5 locations)								
(No.63-97)	max	0.694	0.653	0.719	0.634	0.629	0.629	0.639
(n = 35)	min	0.443	0.401	0.389	0.378	0.368	0.362	0.356
	$\bar{X}$±SD	0.542±0.079	0.505±0.122	0.499±0.129	0.479±0.091	0.464±0.087	0.451±0.084	0.447±0.086

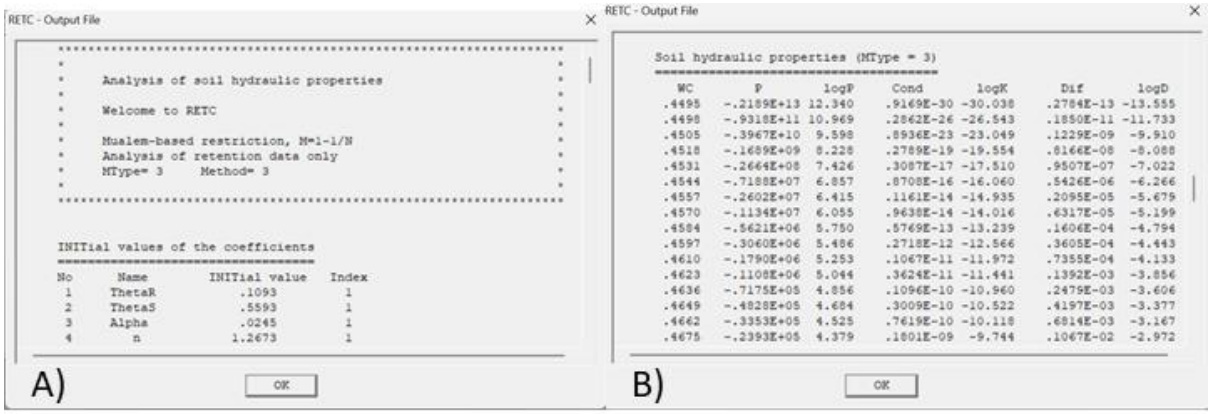


Figure 3 Example output file obtained from RETC program, A) Initial values of the coefficients or hydraulic capacity for van Genuchten equation model and B) Soil hydraulic properties for predicted soil water retention curve.

Table 4 Hydraulic parameters from SWRC predicted by van Genuchten model using RETC program version 6.02

Code No.		θs, (cm^3/cm^3)	θr, (cm^3/cm^3)	$\propto$, (1/cm)	n	m
Coarse to medium (CTM) (n = 5 locations)						
(No.1-32)	max	0.4439	0.0809	0.0441	1.6787	0.4043
(n = 32)	min	0.2688	0.0412	0.0109	1.1667	0.1429
	$\bar{X}$±SD	0.3531±0.0517	0.0552±0.0106	0.0311±0.0083	1.3604±0.1570	0.2559±0.0812
Medium to fine (MTF) (n = 5 locations)						
(No.33-62)	max	0.498	0.094	0.039	1.515	0.340
(n = 30)	min	0.296	0.044	0.013	1.146	0.127
	$\bar{X}$±SD	0.371±0.053	0.062±0.013	0.027±0.007	1.300±0.102	0.226±0.060
Moderate fine to very fine (MFTVF) (n = 5 locations)						
(No.63-97)	max	0.6907	0.1253	0.0398	1.5590	0.3586
(n = 35)	min	0.4178	0.0826	0.0070	1.1938	0.1623
	$\bar{X}$±SD	0.5367±0.0714	0.1051±0.0103	0.0199±0.0072	1.2953±0.0858	0.2257±0.0473

นำค่าตัวแปรทางชลศาสตร์ต่าง ๆ จากการประมวลผลด้วยโปรแกรม RETC ในแต่ละชั้นดิน ได้สรุปค่าตัวแปรต่าง ๆ ของแต่ละกลุ่มเนื้อดินดังแสดง Table 4 มาคำนวณความชื้นของดิน (θ_h) โดยใช้โปรแกรม Notepad และ Microsoft Excel ตามลำดับ โดยแทนค่าตัวแปรต่าง ๆ ทางชลศาสตร์ดังกล่าวที่แสดงไว้ดังสมการที่ 1 ซึ่งได้รับการพัฒนาโดยอาศัยโมเดลของ Mualem (1976) และ van Genuchten (1980) เป็นพื้นฐานในการคำนวณ ซึ่งดินอยู่ในฟังก์ชันของเฮดความดัน และทำการหาอนุพันธ์ลำดับที่หนึ่ง จะทำให้ทราบค่าความจุชลศาสตร์ ($C_w(h)$) ตามสมการที่ได้จากการทดลอง (Empirical Equation) ของ van Genuchten (1980) รูปฟังก์ชันไฮเปอร์โบล่า ดังสมการที่ 2 ใช้คาดการณ์ SWRC (van Genuchte, 1980)

$$\theta(h) = \frac{\theta s - \theta r}{[1+|\alpha h|^n]^m} + \theta r \quad (1)$$

$$C(h) = \frac{\alpha^n[\theta s - \theta r]mn(-h)^{n-1}}{[1+(-\alpha h)]^{m+1}+\theta r} \quad (2)$$

โดยที่ $\theta_{(h)}$ = ความชื้นของดินที่ระดับแรงดึงน้ำ h (ลบ.ซม./ลบ.ซม.), θ_r = ความชื้นที่ตกค้างในดิน (ลบ.ซม./ลบ.ซม.), θ_s = ความชื้นอิ่มตัวของดิน (ลบ.ซม./ลบ.ซม.), h = เฮดแรงดึงน้ำของดิน (soil water suction head, cm), α, n, m คือค่าพารามิเตอร์ที่กำหนดรูปโค้งของเส้นกราฟ โดย m = 1 – (1/n) (Mualem, 1976) จากนั้นสร้างเส้นกราฟ SWRC แสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงดึงน้ำของดิน (h) ที่มีหน่วยเป็นค่า pF (pF = $\log_{10}$h) ระดับต่าง ๆ กับค่าความชื้นของดิน θ(h) ที่แรงดึงน้ำ (h) ระดับต่าง ๆ ที่คำนวณได้จากการแทนค่าพารามิเตอร์ที่ได้จากการวัดโดยตรงในห้องปฏิบัติการ (observed data) และค่าพารามิเตอร์ที่ได้จากการประเมินด้วยโปรแกรม RETC (predicted data) ตามสมการที่ (1)

4. ประเมินค่าความจุชลศาสตร์โดยทำการคำนวณค่าอนุพันธ์ลำดับที่หนึ่งของลักษณะการเปลี่ยนแปลงความชื้นของดินเทียบกับการเปลี่ยนแปลงแรงดึงน้ำของดิน ($d\theta/dh$) เพื่อแสดงระดับแรงดึงน้ำที่สามารถปลดปล่อยน้ำสูงสุด ซึ่งกำหนดให้เป็นค่าความจุชลศาสตร์โดยนำค่าพารามิเตอร์ทางชลศาสตร์จากโปรแกรม RETC มาแทนค่าตัวแปรตามสมการ 3 (Mualem, 1970; van Genuchten, 1980, Samrit, 2024; ธันยพร, 2563) โดยที่ความหมายตัวแปรต่าง ๆ ได้แสดงดังสมการที่ 1 และ 2 ดังนี้

$$C_w(h) = \frac{\alpha^n[\theta s - \theta r]mn(-h)^{n-1}}{[1+(\alpha h)]^{m+1}} \quad (3)$$

5. การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ย FC และ AWC ของทั้ง 2 กรรมวิธี คือค่าที่ได้จากโมเดล van Genuchten คือ FC ที่ $C_w(h)$ และ FC ที่จุด pF 2.0 ดวยคำสั่ง Paired–Sample T Test นำเสนอในรูปแบบพล็อตกล่อง (Box Plot)

ผลการศึกษาและวิจารณ์

1. การแจกแจงประเภทและชั้นของเนื้อดิน

ดังได้อธิบายไว้ในส่วนของวิธีการแล้วนั้น Figure 4 โดยแสดงการนำผลการแจกกระจายของอนุภาคดินนำมาแจกแจงประเภทของเนื้อดินโดยการเปรียบเทียบกับชั้นเนื้อดินด้วยตารางสามเหลี่ยมเนื้อดิน ตามเกณฑ์ของกระทรวงเกษตรสหรัฐอเมริกา และชั้นของเนื้อดิน โดยรวบรวมสมบัติดินที่ปลูกปาล์มน้ำมันในปี 2557 ภาคกลางและภาคตะวันออก ปี 2558 ภาคเหนือและภาคตะวันตก ซึ่งประกอบไปด้วยเนื้อดินหยาบถึงปานกลาง (CTM, No.1-32, Kc-1, Li, Rn, Hg soil series and SC) ดินเนื้อปานกลางและละเอียด (MTF, No.33-62, Kc-2, Ca, Tm, Bs-fl and Ly soil series) และเนื้อดินละเอียดปานกลางถึงละเอียดมาก (MFTVF, No.33-62, Bp, Cc, Ok, Kp and Sa soil series) ซึ่งลำดับ (code No.) รายละเอียดชื่อชุดดินแบบเต็มและความลึกชั้นดินในแต่ละพีดอนสามารถดูได้จาก Table 5, 6 และ 7

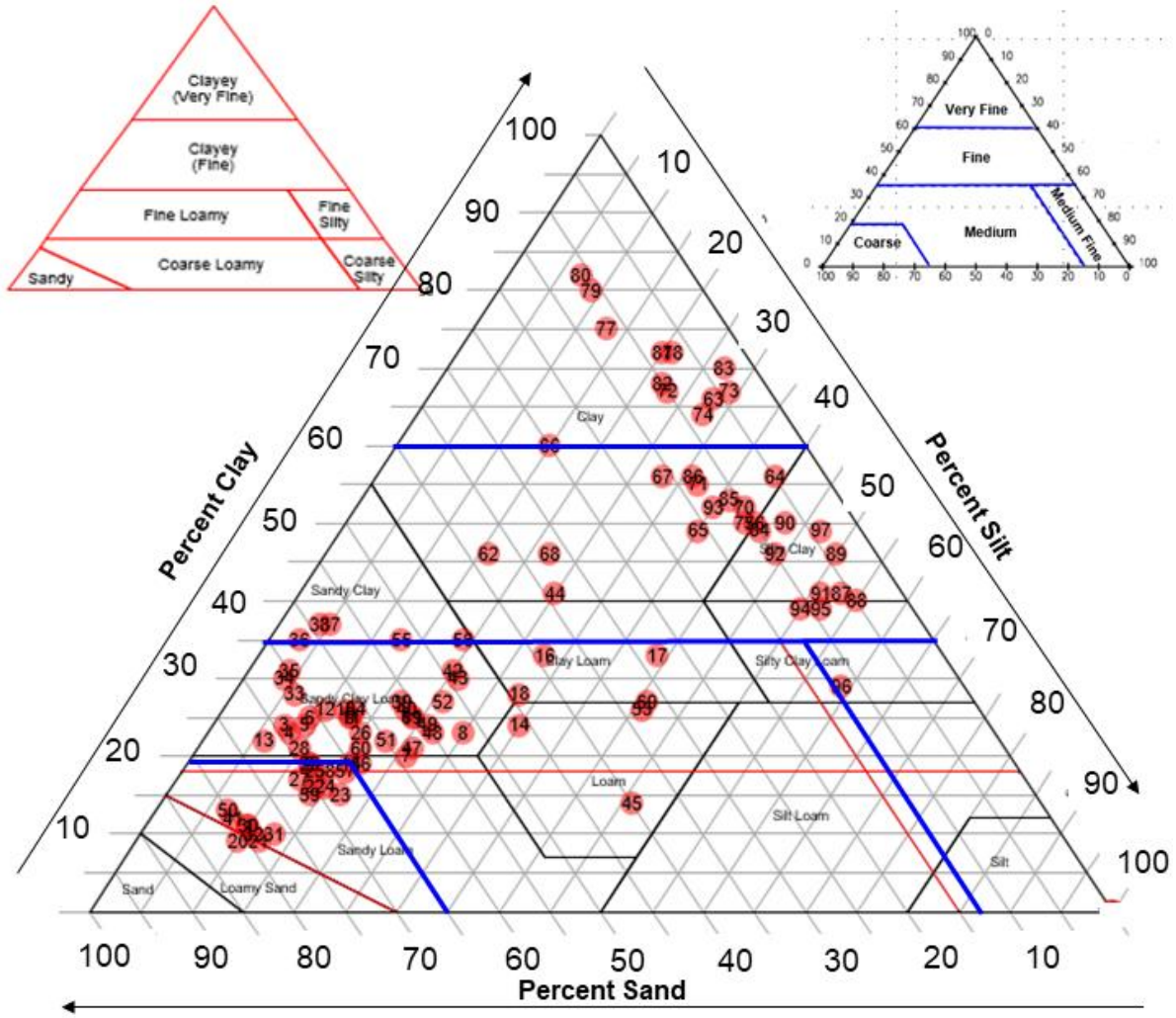


Figure 4 triangular grid Textural classification systems of the study according to USDA and as defined by the FAO Soil Map of Europe. (USDA classes: S, sand; LS, loamy sand; SL, sandy loam; SCL, sandy clay loam; SC, sandy clay; L, loam; CL, clay loam; C, clay; SiL, silt loam; SCL, silty clay loam; SiC, silty clay; Si, silt; FAO classes: C, coarse; M, medium; MF, medium fine; F, fine; VF, very fine

2 การสร้างกราฟเส้นโค้งการดูดยึดน้ำของดิน (SWRC)

Figure 5 จากค่า $\theta(h)$ ที่ได้จากสมการ 1 นำมาสร้าง SWRC Radcliffe and Simunek (2018), Samrit (2027) ธันยพร (2563) ได้แบ่ง SWRC ไว้ 3 ช่วง 1) ช่วง air-entry คือความชื้นดินตั้งแต่จุดอิ่มตัวด้วยน้ำ (pF 0) จนถึงจุดรั่วอากาศ (pF 2.0) 2) ช่วง capillary คือค่าความชื้นดินที่อาศัยแรงดึงจากช่องขนาดเล็กในดิน ซึ่งเป็นที่บรรจุน้ำที่เป็นประโยชน์สำหรับพืช 3) ช่วง adsorption คือค่าความชื้นดินที่ถูกดูดยึดด้วยแรงที่สูงมาก ผลลัพธ์ที่ได้จากพารามิเตอร์ที่เหมาะสมที่สุด สำหรับโมเดล van Genuchten (Table 4) ซึ่งจัดว่าเป็น best fitting ระหว่าง fitting curve จากโปรแกรม RETC และค่าที่ได้จากการวิเคราะห์ในห้องปฏิบัติการ (observed) จากลักษณะของ SWRC ทุกชนิดเนื้อดิน พบว่าเมื่อความดันเพิ่มขึ้นความชื้นดินจะลดลง ซึ่งเป็นลักษณะโดยธรรมชาติ โดยมีลักษณะกราฟเป็นแบบซิกมอยด์ (sigmoidal curve) คล้ายรูปตัวเอส (S) แต่ละลักษณะดินมีการกระจายตัวทั้งแบบไม่เกาะกลุ่ม และเกาะกลุ่ม

Figure 6_แสดงเป็นกราฟเส้นเป็นข้อมูลที่ได้จากสามการที่ 3 จะแสดงจุดชลศาสตร์สูงสุด ซึ่งอยู่ในช่วง pF (log pressure head) ที่แตกต่างกันออกไปในแต่ละตัวอย่างดินในแต่ละลักษณะเนื้อดิน ซึ่งถือได้ว่าเป็นจุดความจุความชื้นสนามที่แท้จริง ซึ่งจุด $C_w(h)$ ที่ได้จากสมการ 3 นำมาสร้างกราฟระหว่างค่าลอกาลิทึมเฮดของความดันเดียวกันกับ $\theta(h)$ จากสมการ 1 แล้วพิจารณาค่าสูงสุดของสมการ 3 นั่นคือความสูงของพีค (peak height) ที่จุดสูงสุด ซึ่งตรงกับค่า $\theta(h)$ ที่เท่าไร นั่นคือ FC ณ ซึ่งเป็นจุด $C_w(h)$ ที่ได้จากโมเดล van Genuchthen โดยพบว่าค่า FC ที่ จุด $C_w h$ โดยส่วนใหญ่มีค่าสูงกว่า FC ที่ pF 2.0 โดยที่จุดชลศาสตร์สูงสุด มีค่า $\theta(h)$ จากสมการ 1 ที่จุด $C_w h$ (สมการที่ 3) ผลสรุปดังแสดงใน Table 5-7

<u>กลุ่มที่ 1</u> เนื้อดินหยาบถึงปานกลาง (Table 5) พิจารณาผลค่าความจุความชื้นสนาม พบว่าค่าที่ได้จากแบบจำลอง (predicted data) มีค่าสูงกว่าค่า FC ที่ pF 2.0 (observed data) โดยมีค่าเฉลี่ย ($\bar{x}$±SD) และช่วงของข้อมูล 0.329±0.044 cm^3 ลบ.ซม. (น้ำ)/ ลบ.ซม. (ดิน) และ 0.289±0.046 ลบ.ซม. (น้ำ)/ ลบ.ซม. (ดิน), 0.210-0.364 ลบ.ซม. (น้ำ)/ ลบ.ซม. (ดิน) ตามลำดับ โดยช่วง pF ที่เหมาะสมในการวิเคราะห์หาจุด FC ที่แท้จริงดังแสดง Figure 6A1-6A5 อยู่ในช่วง 0.70-1.70 พิสัย 1.0 โดยมีค่าเฉลี่ย 1.16±0.21 เมื่อนำมาวิเคราะห์หาค่า AWC พบว่าค่าที่ได้จากแบบจำลอง (predicted data) มีค่าสูงกว่าค่า FC ที่ pF 2.0 (observed data) โดยมีค่าเฉลี่ยและช่วงของข้อมูล ดังนี้ 0.112±0.068 ลบ.ซม. (น้ำ)/ ลบ.ซม. (ดิน), -0.015-0.255 ลบ.ซม. (น้ำ)/ ลบ.ซม. (ดิน) และ 0.026-0.152 ลบ.ซม. (น้ำ)/ ลบ.ซม. (ดิน), 0.072±0.039 ลบ.ซม. (น้ำ)/ ลบ.ซม. (ดิน) โดยที่พิสัยของค่า AWC จากแบบจำลอง (predicted data) มีค่าสูงกว่าค่า FC ที่ pF 2.0 ด้วยเช่นกัน คือ 0.270 และ 0.126 ลบ.ซม. (น้ำ)/ ลบ.ซม. (ดิน)

<u>กลุ่มที่ 2</u> เนื้อดินปานกลางถึงละเอียด (Table 6) พิจารณาผลค่าความจุความชื้นสนาม พบว่าค่าที่ได้จากแบบจำลอง มีค่าสูงกว่าค่า FC ที่ pF 2.0 โดยมีค่าเฉลี่ยและช่วงของข้อมูล 0.355±0.050 ลบ.ซม. (น้ำ)/ ลบ.ซม. (ดิน), 0.283-0.455 ลบ.ซม. (น้ำ)/ ลบ.ซม. (ดิน) และ 0.322±0.322 ลบ.ซม. (น้ำ)/ ลบ.ซม. (ดิน), 0.234-0.518 cm^3 ลบ.ซม. (น้ำ)/ ลบ.ซม. (ดิน) ตามลำดับ โดยช่วง pF ที่เหมาะสมในการวิเคราะห์หาจุด FC ที่แท้จริง ดังแสดง Figure 6B1-6B5 อยู่ในช่วง 0.778--1.602 พิสัย 0.824 โดยมีค่าเฉลี่ย 1.186±0.205 เมื่อนำมาวิเคราะห์หาค่า AWC พบว่าค่าที่ได้จากแบบจำลอง มีค่าสูงกว่าค่า FC ที่ pF 2.0 โดยมีค่าเฉลี่ยและช่วงของข้อมูล ดังนี้ -0.012-0.255 ลบ.ซม. (น้ำ)/ ลบ.ซม. (ดิน), 0.108±0.059 ลบ.ซม. (น้ำ)/ ลบ.ซม. (ดิน) และ 0.025-0.125 ลบ.ซม. (น้ำ)/ ลบ.ซม. (ดิน), 0.075±0.028 ลบ.ซม. (น้ำ)/ ลบ.ซม. (ดิน) โดยที่พิสัยของค่า AWC จากแบบจำลองมีค่าสูงกว่าค่า FC ที่ pF 2.0 ด้วยเช่นกัน คือ 0.236 และ 0.100 ลบ.ซม. (น้ำ)/ ลบ.ซม. (ดิน)

<u>กลุ่มที่ 3</u> เนื้อดินละเอียดปานกลางถึงละเอียดมาก (Table 7) พิจารณาผลค่าความจุความชื้นสนาม พบว่าค่าที่ได้จากแบบจำลอง มีค่าสูงกว่าค่า FC ที่ pF 2.0 โดยมีค่าเฉลี่ยและช่วงของข้อมูล 0.491±0.074 ลบ.ซม. (น้ำ)/ ลบ.ซม. (ดิน), 0.394-0.669 ลบ.ซม. (น้ำ)/ ลบ.ซม. (ดิน) และ 0.479±0.091 ลบ.ซม. (น้ำ)/ ลบ.ซม. (ดิน), 0.378-0.634 ลบ.ซม. (น้ำ)/ ลบ.ซม. (ดิน) ตามลำดับ โดยช่วง pF ที่เหมาะสมในการวิเคราะห์หาจุด FC ที่แท้จริง ดังแสดง Figure 6C1-6C5 อยู่ในช่วง 0.90-1.95 พิสัย 1.05 โดยมีค่าเฉลี่ย 1.39±0.26 เมื่อนำมาวิเคราะห์หาค่า AWC พบว่าค่าที่ได้จากแบบจำลองมีค่าสูงกว่าค่า FC ที่ pF 2.0 โดยมีค่าเฉลี่ยและช่วงของข้อมูล ดังนี้ 0.044±0.056 cm^3 ลบ.ซม. (น้ำ)/ ลบ.ซม. (ดิน), -1.101-0.183 cm^3 ลบ.ซม. (น้ำ)/ ลบ.ซม. (ดิน) และ 0.004-0.063 ลบ.ซม. (น้ำ)/ ลบ.ซม. (ดิน), 0.032±0.012 ลบ.ซม. (น้ำ)/ ลบ.ซม. (ดิน) โดยที่พิสัยของค่า AWC จากแบบจำลอง) มีค่าสูงกว่าค่า FC ที่ pF 2.0 ด้วยเช่นกัน คือ 0.284 และ 0.059 ลบ.ซม. (น้ำ)/ ลบ.ซม. (ดิน)

การที่ค่า AWC ที่ได้จากแบบจำลองมีค่าสูงกว่าค่า FC ที่ pF 2.0 ก็เนื่องมาจากการใช้จุด FC จุดความดัน pF ที่แตกต่างกันนั่นเอง จะเห็นได้ว่าถึงแม้จะอยู่ในกลุ่มดินที่มีชั้นของเนื้อใกล้เคียงกัน การแจงแจงของเนื้อดินก็ยังมี

รายละเอียดลงไป ที่มีการแจกกระจายของอนุภาคดิน และความหนาแน่นรวมของดินที่แตกต่างกันออกไปมีผลต่อปริมาณน้ำในดินอย่างชัดเจน โดยเฉพาะอย่างคิดการคิดคำนวณน้ำตลอดหน้าตัดดินดังแสดง Table 8

3. การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ย FC และ AWC ของทั้ง 2 กรรมวิธี

พบว่าค่าเฉลี่ย FC และ AWC ทั้งสองวิธีการมีความแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีอย่างมีนัยสำคัญ (*p<0.01*) ดังแสดง Figure 7 โดยที่ค่า FC ที่ได้จากสมการโมเดล van Genuchten ที่จุดชลศาสตร์สูงสุดมีค่าสูงกว่าค่า FC ที่ pF 2.0 หรือ 0.1 บาร์ โดยมีค่าเฉลี่ย (n=96) 0.395±0.093 และ 0.368±0.111 ลบ.ซม.(น้ำ)/ลบ.ซม.(ดิน) ตามลำดับ และเมื่อนำค่า FC ของทั้งสองวิธีนี้มาคำนวณหาค่า AWC (FC - PWP) ดังแสดงไว้ในคอลัมภ์สุดท้ายของ Table 5-7 พบว่าเป็นในทิศทางเดียวกับค่า FC โดยที่ AWC ที่ได้จาก FC จากโมเดลมีค่ามากกว่า AWC ที่ได้จาก FC ที่ pF 2.0 โดยมีค่าเฉลี่ย (n=96) 0.085±0.068 และ 0.058±0.034 ลบ.ซม.(น้ำ)/ลบ.ซม.(ดิน) ตามลำดับ

4. การประเมินความจุความชื้นดินที่เป็นประโยชน์ตลอดทั้งหน้าตัดดินเพื่อการวางแผนชลประทาน

พืชสามารถปลูกได้โดยไม่มีการให้น้ำ และฝนทิ้งช่วงยาวนาน ก็เนื่องจากว่าพืชสามารถใช้น้ำที่ดินกักเก็บเอาไว้ได้นั่นเอง เราจึงจำเป็นต้องทราบ FC ที่แน่นอนและถูกต้อง เพื่อนำมาคำนวณได้อย่างแม่นยำซึ่งเป็นกุญแจที่สำคัญ ดังแสดง Table 8 โดยยกตัวอย่างจากตัวแทนกลุ่มเนื้อดิน กลุ่มละ 1 พีดอน พบว่าค่า AWC ที่คำนวณได้ในหน่วยความสูงของน้ำในหน่วยมิลลิเมตร (mm) ที่ระดับความลึก 180-200 ซม. ที่ได้จากจุด FC ณ ความจุชลศาสตร์สูงสุดมีค่ามากกว่าที่ได้จากจุด FC ที่ pF 2.0 คือ ยกตัวอย่างการคำนวณกลุ่ม CTM ในชุดดินหุบกะพง (180 ซม.) พบว่าค่า AWC มีค่า 359 มม. และ 203 มม. ซึ่งมากกว่าถึง ~1.8 เท่า กลุ่ม MTF ในชุดดินลาดหญ้า (200 ซม.) พบว่าค่า AWC มีค่า 200 มม. และ 117 มม. ซึ่งมากกว่าถึง ~1.71 เท่า และกลุ่ม MFTVF ในชุดดินองครักษ์ (200 ซม.) มีค่า 141 มม. และ 68 มม. ซึ่งมากกว่าถึง ~2.1 เท่า โดยวิธีการคำนวณปริมาณ AWC ในหน่วย มม. ดังคำอธิบายด้านล่างของ Table 8

สรุปผลการทดลอง

การศึกษานี้บ่งชี้ให้เห็นว่าค่าความจุความชื้นสนามและค่าความจุความชื้นที่เป็นประโยชน์ ณ จุดชลศาสตร์สูงสุดที่ประเมินได้โดยใช้โปรแกรม RETC โดยใช้ข้อมูลการกระจายของอนุภาคดิน, ความหนาแน่นรวม และปริมาตรปริมาณความชื้นเป็นหลัก ในการวิเคราะห์ตัวแปรชลศาสตร์ต่าง ๆ ด้วยโมเดล van Genuchten ที่ได้มีค่าสูงกว่าวิธีโดยตรงที่จุด pF 2.0 ของทุกลุ่มเนื้อดินและมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ หรือกล่าวโดยนัยคือจุดความดัน pF ที่ใช้วิเคราะห์ค่าความจุความชื้นสนามจะขึ้นกับลักษณะเนื้อดิน และสมบัติทางกายภาพที่เกี่ยวข้องของแต่ละชนิดเนื้อดินมากกว่าการใช้ค่าความดัน pF แบบตายตัว หากหาค่าค่าความจุความชื้นสนามควรใช้โมเดล van Genuchten ด้วยโปรแกรม RETC น่าจะมีความแม่นยำมากกว่า ซึ่งความรู้ที่ได้นี้สามารถนำมาปรับใช้ในห้องปฏิบัติการเพื่อนำผลที่ได้ไปปรับใช้กับการให้น้ำกับปาล์มน้ำมันหรือพืชอื่น ๆ ซึ่งมีประโยชน์กับนักวิชาการและเกษตรกร อย่างไรก็ตามควรมีการศึกษาในสภาพแปลงทดลองต่อไป

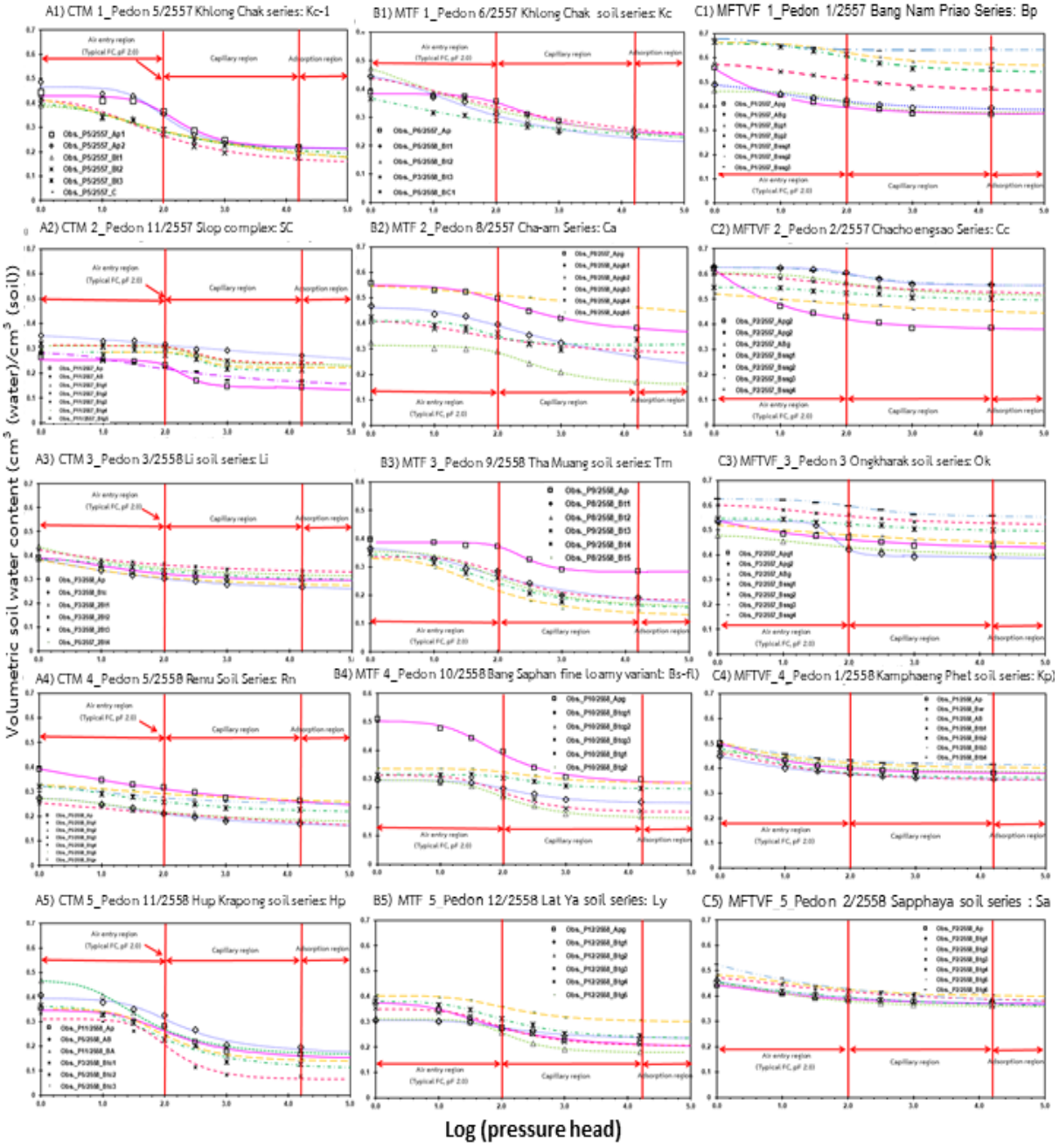


Figure 5 Prediction of the soil water characteristic curve (equation 1) using the van Genuchten model by RETC Program, Example of **A1-A5)** CTM, **B1-B5)** MTF and **C1-C5)** MFTVF

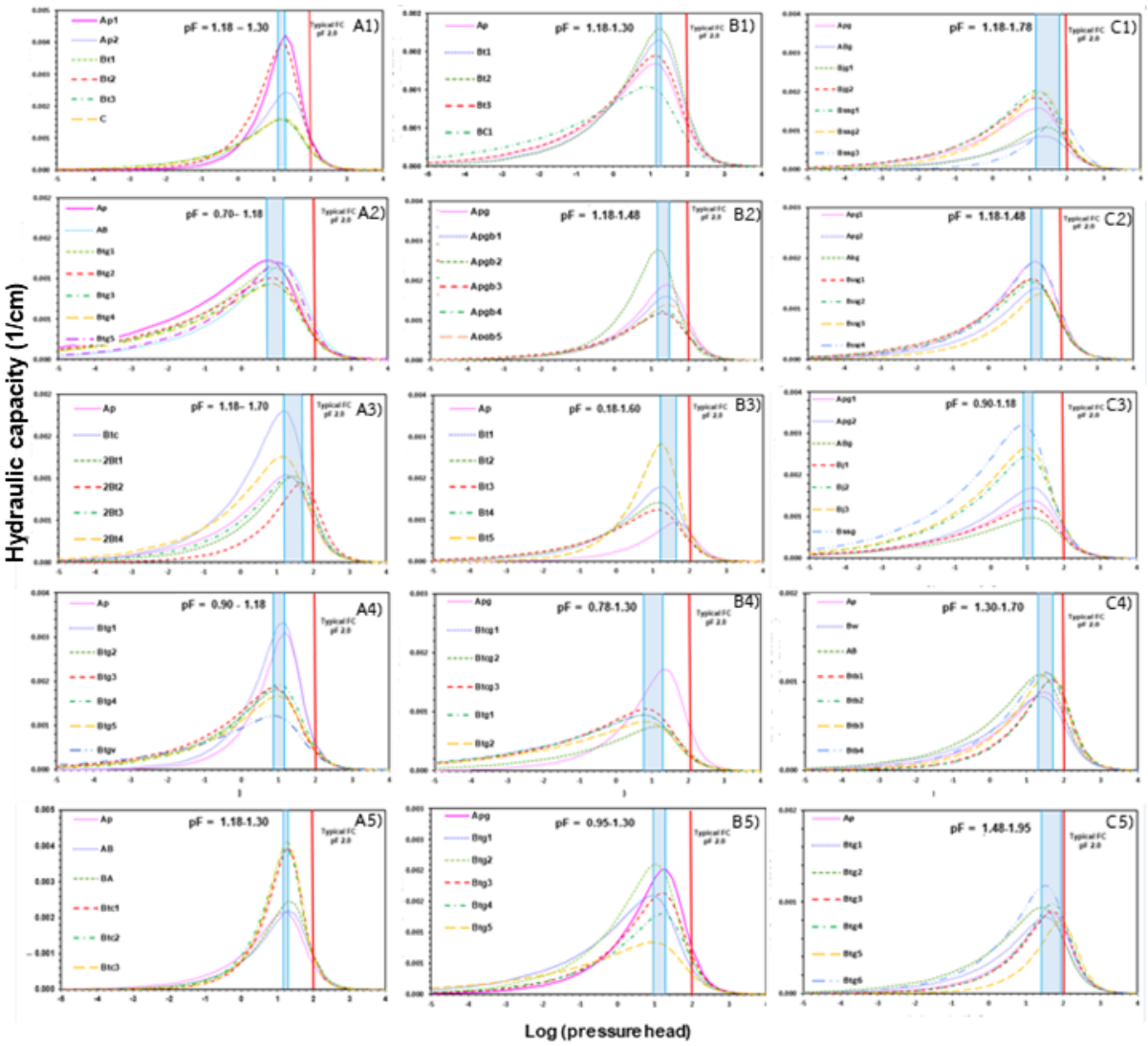


Figure 6 Prediction of maximum hydraulic capacity (Cw (h)) at peak height (equation 3) with aqua θ(h) (equation 1) using the van Genuchten' s model by the RETC Program version 6.02 and Microsoft excel, **A1)** CTM 1_Pedon 5/2557 Khlong Chak series: Kc-1, **A2)** CTM 2_Pedon 11/2557 Slop complex: SC, **A3)** CTM 3_Pedon 3/2558 Li soil series: Li, **A4)** CTM 4_Pedon 5/2558 Renu Soil Series: Rn, **A5)** CTM 5_edon 11/2558 Hup Krapong soil series: Hp, **B1)** MTF 1_Pedon 6/2557 Khlong Chak soil series: Kc 2, **B2)** MTF 2_Pedon 8/2557 Cha-am Series: Ca, **B3)** MTF 3_Pedon 9/2558 Tha Muang soil series: Tm, **B4)** MTF 4_Pedon 10/2558 Bang Saphan fine loamy variant: Bs-fl), **B5)** MTF 5_Pedon 12/2558 Lat Ya soil series: Ly, **C1)** MFTVF 1_Pedon 1/2557 Bang Nam Priao Series: Bp, **C2)** MFTVF 2_Pedon 2/2557 Chachoengsao Series: Cc, **C3)** MFTVF_3_Pedon 3 Ongkharak soil series: Ok, **C4)** MFTVF_4_Pedon 1/2558 Kamphaeng Phet soil series: Kp) and **C5)** MFTVF_5_Pedon 2/2558 Sapphaya soil series : Sa

Table 5 Determination of available water capacity (AWC) using FC = θ(h) at pF 2.0 and θh at Cw (h) (Equa.3) from the predicted SWRC and permanent wilting point (PWP) at pF 4.2 from observed data (CTM)

No.	Horizon	Depth	FC	FC	pF	PWP	AWC	
		(cm)	at pF 2.0	at C_wh	FC at C_wh	(pF 4.2)	FC (pF 2.0) – PWP	FC at C_wh - PWP
			(----(cm^3 (water)/cm^3 (soil)----)		(log Pressure head (cm))	(---------- (cm^3 (water)/cm^3 (soil)----------		
CTM 1_Pedon 5/2557 Khlong Chak series: Kc-1, Trat Province								
1	*Ap1*	*0-20*	*0.364*	0.352	1.30	0.218	0.146	0.134
2	Ap2	20-50	0.355	0.407	1.30	0.220	0.135	0.187
3	Bt1	50-80	0.293	0.357	1.18	0.198	0.095	0.159
4	Bt2	80-110	0.271	0.391	1.18	0.176	0.095	0.215
5	Bt3	110-150	0.291	0.363	1.18	0.211	0.080	0.152
6	C	150-200	0.297	0.369	1.30	0.200	0.097	0.169
CTM 2_Pedon 11/2557, Slop complex: SC, Chonburi Province								
7	Ap	0-25	0.232	0.277	0.70	0.144	0.088	0.133
8	AB	25-40	0.318	0.326	1.18	0.272	0.046	0.054
9	Btg1	40-65	0.303	0.311	0.90	0.235	0.068	0.076
10	Btg2	65-90	0.301	0.292	0.85	0.243	0.058	0.049
11	Btg3	90-110	0.274	0.264	0.78	0.214	0.060	0.050
12	Btg4	110-130	0.281	0.273	0.85	0.224	0.057	0.049
13	Btg5	130-150	0.224	0.285	1.00	0.171	0.053	0.114
CTM 3_Pedon 3/2558 Li soil series: Li, Sukhothai Province								
14	Ap	0-35	0.325	0.329	1.30	0.298	0.027	0.031
15	Btc	35-55	0.303	0.346	1.18	0.267	0.036	0.079
16	2Bt1	55-80	0.345	0.376	1.48	0.319	0.026	0.057
17	2Bt2	80-120	0.364	0.387	1.70	0.335	0.029	0.052
18	2Bt3	120-150	0.336	0.352	1.30	0.305	0.031	0.047
19	2Bt4	150-200+	0.308	0.346	1.18	0.280	0.028	0.066
CTM 4_Pedon 5/2558, Renu Soil Series: Rn, Phitsanulok Province								
20	Ap	0-20	0.317	0.248	1.18	0.263	0.054	-0.015
21	Btg1	20-35/40	0.211	0.269	1.18	0.171	0.040	0.098
22	Btg2	40-60	0.219	0.293	0.95	0.186	0.033	0.107
23	Btg3	60-100	0.210	0.290	0.90	0.181	0.029	0.109
24	Btg4	100-120	0.258	0.311	1.00	0.227	0.031	0.084
25	Btg5	120-160	0.293	0.300	1.18	0.267	0.026	0.033
26	Btgv	160-200+	0.350	0.307	1.00	0.256	0.094	0.051
CTM 5_Pedon 11/2558 Hup Krapong soil series, Phetchaburi Province								
27	Ap	0-30	0.281	0.341	1.18	0.168	0.113	0.173
28	AB	30-50	0.325	0.391	1.30	0.195	0.130	0.196
29	BA	50-75	0.29	0.409	1.30	0.183	0.107	0.226
30	Btc1	75-100	0.228	0.331	1.30	0.076	0.152	0.255
31	Btc2	100-135	0.226	0.326	1.30	0.128	0.098	0.198
32	Btc3	135-180+	0.246	0.321	1.30	0.148	0.098	0.173

Table 6 Determination of available water capacity (AWC) using FC = θ(h) at pF 2.0 and θh at C_w (h) (Equa.3) from the predicted SWRC and permanent wilting point (PWP) at pF 4.2 from observed data (MTF)

No.	Horizon	Depth (cm)	FC at pF 2.0	FC at C_wh	pF FC at C_wh	PWP (pF 4.2)	AWC FC (pF 2.0) – PWP	AWC FC at C_wh - PWP
			(----cm^3 (water)/cm^3 (soil))---)		(log Pressure head (cm))	(---------- (cm^3 (water)/cm^3 (soil))---------)		
MTF 1_Pedon 6/2557 Khlong Chak soil series: Kc-2, Trat Province								
33	Ap	0-30	0.356	0.360	1.18	0.248	0.108	0.112
34	Bt1	30-60	0.313	0.406	1.18	0.232	0.081	0.174
35	Bt2	60-90	0.333	0.419	1.30	0.251	0.082	0.168
36	Bt3	90-120	0.347	0.406	1.18	0.263	0.084	0.143
37	BC1	120-150	0.290	0.419	1.18	0.243	0.047	0.176
MTF 2_Pedon 8/2557 Cha-am Series: Ca, Chanthaburi Province								
39	Apg	0-10/30	0.497	0.455	1.48	0.382	0.115	0.073
40	Apgb1	30-40	0.397	0.395	1.48	0.272	0.125	0.123
41	Apgb2	40-50	0.291	0.395	1.48	0.170	0.121	0.225
42	Apgb3	50-70	0.350	0.283	1.18	0.295	0.055	-0.012
43	Apgb4	70-110	0.362	0.384	1.30	0.337	0.025	0.047
44	Apgb5	110-150+	0.518	0.453	1.48	0.464	0.054	-0.011
MTF 3_Pedon 9/2558 Tha Muang soil series: Tm, Chachoengsao Province								
45	Ap	0-35	0.372	0.312	1.60	0.285	0.087	0.027
46	Bt1	35-70	0.286	0.351	1.18	0.193	0.093	0.158
47	Bt2	70-110	0.283	0.336	1.18	0.178	0.105	0.158
48	Bt3	110-150	0.286	0.332	1.18	0.193	0.093	0.139
49	Bt4	150-170	0.263	0.304	1.18	0.172	0.091	0.132
50	Bt5	170-200+	0.234	0.304	1.18	0.146	0.088	0.158
MTF 4_Pedon 10/2558 Bang Saphan fine loamy variant: Bs-fl, Prachuap Khiri Khan Province								
51	Apg	0-20	0.396	0.385	1.30	0.298	0.098	0.087
52	Btcg1	20-60	0.266	0.291	0.78	0.219	0.047	0.072
53	Btcg2	60-100	0.237	0.288	1.18	0.168	0.069	0.120
54	Btcg3	100-130	0.246	0.301	0.85	0.187	0.059	0.114
55	Btg1	130-160	0.304	0.314	0.85	0.267	0.037	0.047
56	Btg2	160-200+	0.322	0.314	0.85	0.288	0.034	0.026
MTF 5_Pedon 12/2558 Lat Ya soil series: Ly, Prachuap Khiri Khan Province								
57	Apg	0-20	0.277	0.352	1.30	0.215	0.062	0.137
58	Btg1	20-60	0.272	0.299	0.95	0.239	0.033	0.060
59	Btg2	60-100	0.258	0.314	1.00	0.182	0.076	0.132
60	Btg3	100-130	0.277	0.353	1.18	0.212	0.065	0.141
61	Btg4	130-160	0.311	0.358	0.95	0.244	0.067	0.114
62	Btg5	160-200+	0.360	0.358	0.95	0.306	0.054	0.051

Table 7 Determination of available water capacity (AWC) using FC = θh at pF 2.0 and θh at Cw (h) (Equa.3) from the predicted SWRC and permanent wilting point (PWP) at pF 4.2 from observed data (MFTVF)

No.	Horizon	Depth (cm)	FC	FC	pF	PWP	AWC	
			at pF 2.0	at Cwh	FC at C_wh	(pF 4.2)	pF 2.0-4.2	FC at C_wh - pF 4.2
			(--cm^3 (water)/cm^3 (soil))----		ɔg Pressure head (cm	(---------- (cm^3 (water)/cm^3 (soil))--- --------)		
MFTVF 1_Pedon 1/2557 Bang Nam Priao Series: Bp, Pathum Thani Province								
63	Apg	0-20/25	0.407	0.540	1.18	0.367	0.040	0.173
64	ABg	25-48	0.426	0.412	1.48	0.393	0.033	0.019
65	Bjg1	48-75	0.424	0.439	1.48	0.378	0.046	0.061
66	Bjg2	75-110	0.521	0.536	1.18	0.474	0.047	0.062
67	Bssg1	110-130	0.615	0.572	1.18	0.552	0.063	0.020
68	Bssg2	130-175	0.632	0.539	1.30	0.578	0.054	-0.039
69	Bssg3	175-200+	0.633	0.528	1.78	0.639	-0.006	-0.111
MFTVF 2_Pedon 2/2557 Chachoengsao Series: Cc, Pathum Thani Province								
70	Apg1	0-30	0.430	0.569	1.30	0.386	0.044	0.183
71	Apg2	30-70	0.604	0.501	1.30	0.557	0.047	-0.056
72	ABg	70-90	0.569	0.534	1.18	0.522	0.047	0.012
73	Bssg1	90-110	0.561	0.542	1.18	0.530	0.031	0.012
74	Bssg2	110-130	0.524	0.522	1.30	0.501	0.023	0.021
75	Bssg3	130-170	0.487	0.484	1.48	0.455	0.032	0.029
76	Bssg4	170-200+	0.599	0.574	1.30	0.558	0.041	0.016
MFTVF_3_Pedon 3/2557 Ongkharak Series: Ok, Saraburi Province								
77	pg1	0-40	0.469	0.522	1.18	0.437	0.032	0.085
78	Apg2	40-60	0.421	0.552	1.18	0.390	0.031	0.162
79	ABg	60-80	0.438	0.473	1.18	0.408	0.030	0.065
80	Bj1	80-115	0.508	0.510	1.18	0.473	0.035	0.037
81	Bj2	115-148	0.591	0.616	1.00	0.556	0.035	0.060
82	Bj3	148-170	0.629	0.629	1.00	0.589	0.040	0.040
83	Bssg	170-200+	0.634	0.669	0.90	0.600	0.034	0.069
MFTVF_4_Pedon 1/2558 Kamphaeng Phet soil series: Kp, Sukhothai Province								
84	Ap	0-25	0.403	0.408	1.48	0.382	0.021	0.026
85	Bw	25-60	0.378	0.404	1.30	0.358	0.020	0.046
86	AB	60-80	0.410	0.451	1.30	0.387	0.023	0.064
87	Btb1	80-110	0.378	0.440	1.70	0.356	0.022	0.084
88	Btb2	110-150	0.383	0.448	1.70	0.365	0.018	0.083
89	Btb3	150-180	0.422	0.455	1.60	0.404	0.018	0.051
90	Btb4	180-200+	0.433	0.457	1.48	0.416	0.017	0.041
MFTVF_5_Pedon 2/2558 Sapphaya soil series : Sa, Sukhothai Province								
91	Ap	0-30	0.388	0.403	1.70	0.371	0.017	0.032
92	Btg1	30-55	0.395	0.399	1.48	0.370	0.025	0.029
93	Btg2	55-75	0.382	0.416	1.48	0.361	0.021	0.055
94	Btg3	75-10	0.417	0.409	1.70	0.387	0.030	0.022
95	Btg4	10-130	0.395	0.433	1.70	0.367	0.028	0.066
96	Btg5	130-170	0.425	0.397	1.95	0.402	0.023	-0.005
97	Btg6	170-200+	0.428	0.397	1.95	0.385	0.043	0.012

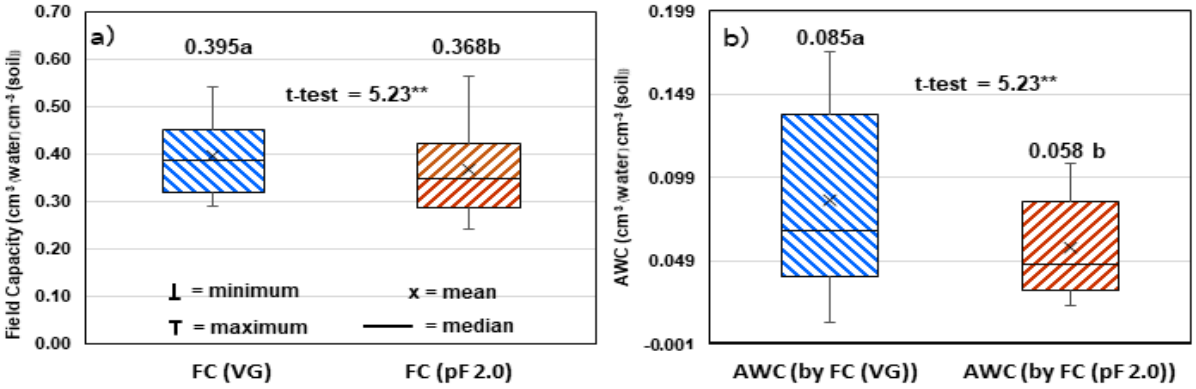


Figure 7. Box plots (bar = median, cross mark = mean, box = interquartile range, and whisker = range) comparing the mean of two methods using a Paired t-test. a) Comparing the mean of field capacity from van Genuchten model with the field capacity directly measured at pF 2.0 in the laboratory. b) Comparing the mean of available water capacity calculated from the field capacity derived from van Genuchten model with the field capacity directly measured at pF 2.0

Table 8 The available water capacity was compared using two top-end boundaries: field capacity (FC) at pF 2.0 and the C_wh point. Both were calculated by subtracting the permanent wilting point (PWP) at pF 4.2. The results are in millimetres (mm) for the soil depth of 180-200 cm.

CTM No.	Horizon	Depth (cm)	Thickness (cm)	PWP (pF 4.2) (cm^3 (water)/ cm^3 (soil))	PWP[1] (mm)	Predicted data			Observed data		
						FC at C_wh (cm^3/cm^3)	FC[1] (mm)	AWC[1] (mm)	FC at pF 2.0 (cm^3/cm^3)	FC[1] (mm)	AWC[1] (mm)
CTM 5_Pedon 11/2558 Hup Krapong soil series, Phetchaburi Province											
27	Ap	0-30	30	0.168	50.4	0.341	102.4	52.0	0.281	84.3	33.9
28	AB	30-50	20	0.195	39.0	0.391	78.2	39.2	0.325	65.0	26.0
29	BA	50-75	25	0.183	45.8	0.409	102.3	56.6	0.290	72.5	26.8
30	Btc1	75-100	25	0.076	19.0	0.331	82.7	63.7	0.228	57.0	38.0
31	Btc2	100-135	35	0.128	44.8	0.326	114.0	69.2	0.226	79.1	34.3
32	Btc3	135-180	45	0.148	66.6	0.321	144.4	77.8	0.246	110.7	44.1
Total of AWC at 180 cm of soil depth								**359**			**203**
MTF 5_Pedon 12/2558 Lat Ya soil series: Ly. Prachuap Khiri Khan Province											
57	Apg	0-20	20	0.215	43	0.352	70	27	0.277	55	12
58	Btg1	20-60	40	0.239	96	0.299	120	24	0.272	109	13
59	Btg2	60-100	40	0.182	73	0.314	126	53	0.258	103	30
60	Btg3	100-130	30	0.212	64	0.353	106	42	0.277	83	19
61	Btg4	130-160	30	0.244	73	0.354	106	33	0.311	93	20
62	Btg5	160-200+	40	0.306	123	0.357	143	20	0.360	144	22
Total of AWC at 200 cm of soil depth								**200**			**117**
MFTVF_3_Pedon 3/2557 Ongkharak Series: Ok, Saraburi Province											
77	Apg1	0-40	40	0.437	175	0.522	209	34	0.469	188	13
78	Apg2	40-60	20	0.390	78	0.552	110	32	0.421	84	6
79	ABg	60-80	20	0.408	82	0.473	95	13	0.438	88	6
80	Bj1	80-115	35	0.473	166	0.510	178	13	0.508	178	12
81	Bj2	115-148	33	0.556	183	0.616	203	20	0.591	195	12
82	Bj3	148-170	22	0.589	130	0.629	138	9	0.629	138	9
83	Bssg	170-200+	30	0.600	180	0.669	201	21	0.634	190	10
Total of AWC at 200 cm of soil depth								**141**			**68**

[1]The predicted volumetric water content for each soil depth (mm). The AWC in cm^3/cm^3 units was calculated by multiplying the thickness of the soil horizon (mm) by the amounts of AWC. The summation of AWC from each soil horizon is the total AWC within 180-200 cm of soil water depth

คำขอบคุณ

ขอบพระคุณ ดร.ธวัชชัย ณ นคร ที่ปรึกษากรมวิชาการเกษตร ดร.ศุภกาญจน์ ล้วนมณี ผู้เชี่ยวชาญด้านดินและปุ๋ย คุณอนุสรณ์ เทียนศิริฤกษ์ ผู้อำนวยการกลุ่มวิจัยปฐพีวิทยา ที่เล็งเห็นความสำคัญเกี่ยวกับน้ำในดินและค่าพิกัดบนในการคำนวณหา AWC และให้แนวคิดในการศึกษารวมไปถึง รศ.ดร. ณัฐพล จิตมาตย์ รศ.ดร. สุรเชษฎ์ อร่ามรักษ์ ดร. ประไพพิศ ศรีมาวงษ์ คุณธันยพร ปนะวงศ์ ที่ให้คำปรึกษาที่ดีตลอดมา และพนักงานราชการ กลุ่มวิจัยปฐพีวิทยาทุกท่านที่เป็นทีมในการทำงานที่ดีจนงานนี้สำเร็จได้ด้วยดี

เอกสารอ้างอิง

กรมแผนที่ทหาร. 2547. แผนที่สภาพภูมิประเทศ มาตราส่วน 1:50,000. กระทรวงกลาโหม, กรุงเทพฯ.

กองสำรวจดิน. 2520. แผนที่ดินรายจังหวัด มาตราส่วน 1:100,000. กรมพัฒนาที่ดิน, กระทรวงเกษตรและสหกรณ์. กรุงเทพฯ.

กรมอุตุนิยมวิทยา. 2568. สภาพภูมิอากาศประเทศไทย ในช่วงปี พ.ศ. 2534 – 2567 (excel file). กระทรวงดิจิทัลเพื่อเศรษฐกิจและสังคม

ธันยพร ปนะวงศ์. 2563. คุณภาพเชิงฟิ สิกส์และความอุดมสมบูรณ์ของดินลูกรังที่ได้รับอิทธิพลจากป่าเต็งรังและการเพาะปลูกพืช. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

บรรณพิชญ์ สัมฤทธิ์, ณัฐพล จิตมาตย์, และสุรเชษฎ์ อร่ามรักษ์. (2023). การประเมินความจุความชื้นที่เป็นประโยชน์ในดินปลูกอ้อยที่มีเนื้อดินต่างกันโดยใช้ โปรแกรม RETC. วารสารเกษตร, 39 (3), 285-298.

สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร. 2568. ปาล์มน้ำมัน: เนื้อที่ยืนต้น เนื้อที่ให้ผล ผลผลิต และผลผลิตต่อไร่ ปี 2566. ที่มา: https://shorturl.at/Sr0bV สืบค้น 26 กุมภาพันธ์ 2568.

เอิบ เขียวรื่นรมณ์. 2547. คู่มือปฏิบัติการ การสำรวจดิน. พิมพ์ครั้งที่ 5. ภาควิชาปฐพีวิทยา คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

Allen, R.G., L.S. Pereira, R. Dirk and M. Smith. 1998. Crop evapotranspiration : Guidelines for computing crop water requirements. Food and Agriculture Organization, Rome.

Blake, G.R. and K.H. Hartge. 1986. Bulk density, pp. 363-375. *In* A. Klute, ed. Methods of Soil Analysis, Part 1: Physical and Mineralogical Methods. SSSA Inc., ASA Inc., Madison, Wisconsin, U.S.A.

Buol, S.W., R.J. Southard, R.C. Graham and P.A. McDaniel. 2010. Soil Genesis and Classification. 5th eds. Iowa State Press. A Blackwell Pub Co., Ames

California Department of Pesticide Regulat, C. 2018. Standard operating procedure determination of soil water characteristic curve using 5 bar ceramic pressure plate extractor.

Day, P.R. 1965. Particle fraction and particle size analysis, pp. 545-567. In C.A. Black, ed. Method of Soil Analysis, Part I: Particle Size Analysis. Agron., No.9. Amer. Soc. of Agron. Inc., Madison, Wisconsin, USA.

Gardner, W.H. 1965. Water content. In Methods of soil analysis. (ed. C.A. Black.) part 1, 9:82-127. Madison, Wisconsin USA: Agron. Mono., Am. Soc. Agron.

Khetdan, C., N. Chittamart, S. Tawornpruek, T. Kongkaew, W. Onsamrarn and S. Garré. 2017. Influence of rock fragments on hydraulic properties of ultisols in ratchaburi province, thailand. Geoderma Regional. 10: 21-28.

Montanarella, L., F. Kaser and B. Hansen. 1998. European soil databases as a tool for EU risk assessment and decision making. TrAC Trends in Analytical Chemistry 17(5): 257-263.

Mualem, Y. 1970. A Catalogue of the Hydraulic Properties of Unsaturated Soils. Technion Israel Institute of Technology, Technion Research and Development Foundation, Haifa. 100 p.

Radcliffe, D.E. and J. Simunek. 2010. Soil Physics with Hydrus: Modeling and Applications. CRC Press, Boca Ration.

Samrit, B. 2024. Feasibility Studies to Determine the Critical Soil Water Content Using Electrical Resistivity for Sugarcane Production in Sa Kaeo Province. Doctor of Philosophy (Soil Science), Kasetsart University.

Soil Survey Division Staff. 1993. Soil Survey Manual. U.S. Dept. Agr. Handbook No.18. U.S. Government Printing Office, Washington D.C.

Sumaiya, 2018. What are the units used on the soil moisture graphs?. Source: from https://shorturl.asia/2XqUS

van Genuchten, M.T. 1980. A closed-form equation for predicting the hydraulic conductivity ofunsaturated soils. Soil Science Society of America Journal 44(5): 892-898.

Widomski, M.K., M. Iwanek, D. Kowalski and G. Łagód. 2013. Modeling of water flow and pollutants transport in porous media: With exemplary calculations in feflow. Politechnika Lubelska.

ผลของการใช้ปุ๋ยและระบบปลูกพืชต่อสมบัติดิน ผลผลิตและผลตอบแทนทางเศรษฐกิจของข้าวโพดเลี้ยงสัตว์พันธุ์ กวก. นครสวรรค์ 3 ที่ปลูกในดินร่วนเหนียว

Effects of Using Fertilizer and Cropping Systems on Soil Properties, Yield and Economic Return of DOA Nakhon Sawan 3 Hybrid Maize in Clay Loam Soil

สายน้ำ อุดพ้วย[1/*] เพ็ญรัตน์ เทียมเพ็ง[2/] ธัญพร งามงอน[3/] สมฤทัย ตันเจริญ[1/] วนิดา โนบรรเทา[1/]

Sainam Udpuay[1/*] Penrat Thiempeng[2/] Thunyaporn Ngamngorn[3/] Somrutai Tancharoen[1/] Wanida Nobuntou[1/]

ABSTRACT

Poor soil fertility poses serious challenges to maize production, and an appropriate application of fertilizers and crop systems is a strategy that enhances production efficiency. This study aimed to examine the effect of fertilizer management and growing mung bean and maize the same year in rotation, on maize yield, soil properties and economic returns in clay loam soil in Phetchabun province from 2017 to 2018. The experimental design was a split plot with six replications. The main plots consisted of two cropping systems: (1) maize monocropping and (2) mung bean–maize rotation. Sub plots included fertilizer application options: (1) no fertilizer (control), (2) chemical fertilizer at a rate of 15–5–5 kg N–P_2O_5–K_2O/rai (100 % NPK), (3) chemical fertilizer at a rate of 7.5–5–5 kg N–P_2O_5–K_2O/rai (50%N 100%PK) + chicken manure, and (4) chemical fertilizer at a rate of 7.5–5–5 kg N–P_2O_5–K_2O/rai (50%N 100%PK) + chicken manure + PGPR biofertilizer. Chicken manure was broadcast at a rate of 700 kg dry weight/rai, while the PGPR biofertilizer was mixed with maize seeds at a rate of 125 g/1 kilogram of seed before planting. Data collection included measurement of yield and soil properties. The results showed that a practice of growing mung bean followed by maize, along with using fertilizer strategy of applying 7.5–5–5 kg N–P_2O_5–K_2O/rai + chicken manure + PGPR biofertilizer, was effective in both growing seasons. This method significantly enhances crop production and improves soil nutrient level. For optimal economic return, chemical fertilizer should be applied at a rate of 15–5–5 kg N–P_2O_5–K_2O/rai, as this approach provides the most effective return.

Keywords: Cropping system; Fertilizer management; *Zea mays* L.; Economic Return

บทคัดย่อ

ดินที่มีความอุดมสมบูรณ์ต่ำเป็นสิ่งท้าทายต่อการผลิตข้าวโพด ซึ่งการใช้ปุ๋ยและระบบการปลูกพืชที่เหมาะสมเป็นกลยุทธ์หนึ่งที่ช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการผลิต งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลของการใช้ปุ๋ย

[1/] กองวิจัยพัฒนาปัจจัยการผลิตทางการเกษตร กรมวิชาการเกษตร กรุงเทพฯ 10900

[1/] Agricultural Production Sciences Research and Development Office, Department of Agriculture, Bangkok 10900

[2/] ศูนย์วิจัยและพัฒนาการเกษตรเพชรบูรณ์ เพชรบูรณ์ 67000

[2/] Phetchabun Agricultural Research and Development Center, Phetchabun 67000

[3/] สำนักวิจัยและพัฒนาการเกษตรเขตที่ 2 พิษณุโลก 65130

[3/] Office Agriculture Research and Development Region 2, Phitsanulok 65130

*** Corresponding author: sainam.udpuay@gmail.com**

และระบบการปลูกถั่วเขียวและข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ในปีเดียวกันแบบหมุนเวียนต่อผลผลิต สมบัติของดินและผลตอบแทนทางเศรษฐกิจในดินร่วนเหนียว จ.เพชรบูรณ์ ในปี 2560–2561 วางแผนการทดลองแบบ Split plot จำนวน 6 ซ้ำ ปัจจัยหลัก คือ ระบบการปลูกพืช ได้แก่ 1) ปลูกข้าวโพดอย่างเดียว และ 2) ปลูกถั่วเขียวตามด้วยข้าวโพด ปัจจัยรอง คือ การใช้ปุ๋ย ได้แก่ 1) ไม่ใส่ปุ๋ย (กรรมวิธีควบคุม) 2) ใส่ปุ๋ยเคมี อัตรา 15–5–5 กก. N–P_2O_5–K_2O/ไร่ (100 % NPK) 3) ใส่ปุ๋ยเคมี อัตรา 7.5–5–5 กก. N–P_2O_5–K_2O/ไร่ (50%N 100 %PK) + มูลไก่แกลบ และ 4) ใส่ปุ๋ยเคมี อัตรา 7.5–5–5 กก. N–P_2O_5–K_2O/ไร่ (50%N 100 %PK) + มูลไก่แกลบ + ปุ๋ยชีวภาพพีจีพีอาร์ โดยปุ๋ยมูลไก่แกลบหว่านให้ทั่วแปลงอัตรา 700 กก.น้ำหนักแห้ง/ไร่ และปุ๋ยพีจีพีอาร์คลุกกับเมล็ดก่อนปลูกในอัตรา 125 ก./เมล็ดข้าวโพด 1 กก. เก็บข้อมูลผลผลิต และสมบัติของดิน ผลการทดลองพบว่า ระบบปลูกถั่วเขียวแล้วตามด้วยข้าวโพดร่วมกับการใช้ปุ๋ยเคมีในอัตรา 7.5–5–5 กก. N–P_2O_5–K_2O/ไร่ + มูลไก่แกลบ + ปุ๋ยชีวภาพพีจีพีอาร์ ทั้งสองฤดูเป็นวิธีการที่เหมาะสมต่อการเพิ่มผลผลิต และรักษาปริมาณธาตุอาหารในดิน แต่เมื่อพิจารณาความคุ้มค่าทางเศรษฐกิจ การใส่ปุ๋ยเคมีเพียงอย่างเดียวในอัตรา 15–5–5 กก. N–P_2O_5–K_2O/ไร่ ให้ผลตอบแทนคุ้มค่าต่อการลงทุนมากที่สุด

คำสำคัญ: ระบบการปลูกพืช; การใช้ปุ๋ย; ข้าวโพดเลี้ยงสัตว์; ผลตอบแทนทางเศรษฐกิจ

บทนำ

ข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ (*Zea mays* L.) เป็นพืชไร่เศรษฐกิจที่สำคัญของประเทศไทย ใช้เป็นวัตถุดิบในอุตสาหกรรมอาหารสัตว์ ปีการเพาะปลูก 2566/2567 มีพื้นที่ปลูก 6.8 ล้านไร่ ผลผลิตเฉลี่ย 730 กก./ไร่ และคิดเป็นผลผลิตรวม 4.9 ล้านตัน โดย จ.เพชรบูรณ์เป็นแหล่งปลูกข้าวโพดเลี้ยงสัตว์อันดับ 1 ของประเทศมีพื้นที่ปลูกประมาณ 0.71 ล้านไร่ (สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร, 2567) ทำการเพาะปลูกโดยอาศัยน้ำฝนคิดเป็น 87% ของพื้นที่ปลูกทั้งจังหวัด และมักปลูกเป็นพืชเชิงเดี่ยวต่อเนื่องในที่เดียวกันเป็นเวลานาน ทำให้ดินเสื่อมสภาพ สูญเสียความอุดมสมบูรณ์ของดิน นับว่ามีส่วนจำกัดศักยภาพการให้ผลผลิตของข้าวโพด ยิ่งระบบการปลูกพืชที่ไม่มีสิ่งปกคลุมดินมีแนวโน้มที่ดินจะเกิดการชะล้างพังทลายสูง (Koomson et al., 2020) ปัญหาการปลูกข้าวโพดที่เกษตรกรประสบอยู่นั้น นอกจากผลผลิตต่ำอันเนื่องมาจากการสูญเสียความอุดมสมบูรณ์ของดินแล้ว ภาวะฝนทิ้งช่วงจากการเปลี่ยนแปลงของสภาพภูมิอากาศนับว่ามีส่วนจำกัดศักยภาพการให้ผลผลิตของข้าวโพดในแหล่งปลูกที่สำคัญของประเทศ โดยข้าวโพดต้องการดินที่มีความอุดมสมบูรณ์ มีเนื้อดินร่วนถึงดินเหนียว ระบายน้ำได้ดี ค่า pH ระหว่าง 5.5–7.5 (กรมวิชาการเกษตร, 2548)

ในปัจจุบันการใช้ปุ๋ยในภาคเกษตรของไทยมีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้นอย่างต่อเนื่อง โดยเฉพาะในระบบการผลิตพืชเศรษฐกิจ เช่น ข้าวโพด อ้อย มันสำปะหลัง และข้าว เพื่อเร่งการเจริญเติบโตและเพิ่มผลผลิต (สุภาวดี หนูสิน, 2564) แนวโน้มนี้สะท้อนถึงความพยายามของเกษตรกรในการตอบสนองต่อความต้องการของตลาดที่เน้นปริมาณผลผลิต อย่างไรก็ตาม การใช้ปุ๋ยในข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ที่ปลูกในดินเขตร้อน พบว่า เมื่อใส่ปุ๋ยเคมีลงไปในดิน ธาตุอาหารในปุ๋ยมีโอกาสสูญเสียได้ง่าย ทั้งการระเหิด การชะละลาย และถูกตรึงไว้ในดิน โดยเฉพาะปุ๋ยไนโตรเจน เนื่องจากธาตุไนโตรเจนในดินสามารถสูญเสียได้หลายทาง เช่น (1.) การระเหิดเป็นแก๊สแอมโมเนีย เมื่อใส่ปุ๋ยยูเรียบนดินแห้งหรือดินที่มีพีเอชสูง ยูเรีย ($CO(NH_4)_2$) เปลี่ยนไปเป็นก๊าซแอมโมเนีย (NH_3) และระเหยสู่อากาศ (Pringproh and Kunlanit, 2018) ทำให้สูญเสียธาตุไนโตรเจนสูงถึง 20-50% หากไม่กลบดิน (Motasim et al., 2024) (2.) การชะละลาย เมื่อปุ๋ยไนโตรเจนเปลี่ยนรูปเป็นไนเตรต (NO_3^-) ซึ่งมีประจุลบ ไนเตรตจะเคลื่อนที่ได้ง่ายมากในดินและถูกน้ำชะละลายออกนอกเขตรากพืช ซึ่งพบมากในดินร่วนปนทราย และช่วงฝนตกหนักหรือมีการให้น้ำมากเกินไป (Wei et al., 2024) และ (3.) จุลินทรีย์ในดินนำไนโตรเจนไปใช้ ทำให้ไม่เป็นประโยชน์กับพืช ซึ่งมักเกิดเมื่อมีการใส่วัสดุอินทรีย์ ที่มี C:N ratio สูง

(Govindasamy et al., 2023) ถ้าเกษตรกรมีการใช้ปุ๋ยไนโตรเจนในปริมาณมากเกินความจำเป็น โดยไม่มีการจัดการที่เหมาะสม อาจก่อให้เกิดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม และระบบนิเวศทางการเกษตรในระยะยาว ผลกระทบที่สำคัญประการหนึ่งคือ การชะล้างไนเตรทลงสู่แหล่งน้ำ ซึ่งอาจทำให้เกิดปัญหามลภาวะทางน้ำ และเป็นอันตรายต่อสิ่งมีชีวิตในระบบนิเวศ นอกจากนี้ การสะสมของไนโตรเจนในดิน และการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจก (N_2O) สู่ชั้นบรรยากาศ อีกทั้ง การใส่ปุ๋ยไนโตรเจนในปริมาณสูงเป็นระยะเวลานานยังอาจส่งผลต่อความสมดุลของธาตุอาหารในดิน (ชัยสิทธิ์ และคณะ, 2565) ทำให้ดินมีสภาวะไม่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของพืชในอนาคต และในด้านเศรษฐกิจ ยังเป็นภาระต้นทุนที่สูงขึ้นสำหรับเกษตรกร โดยเฉพาะในช่วงที่ราคาปุ๋ยปรับตัวสูงขึ้น รวมถึงเพิ่มต้นทุนการผลิตของเกษตรกร (นิษฐา และ สายันต์, 2560) ด้วยเหตุนี้ การรักษาความอุดมสมบูรณ์ของดินภายใต้การปลูกข้าวโพดในพื้นที่เกษตรเขตร้อนและกึ่งเขตร้อน (Waha et al., 2020) แนวทางปฏิบัติหนึ่ง คือ การปลูกพืชหมุนเวียนซึ่งเป็นวิธีการที่สามารถนำมาปรับใช้ได้ อันจะช่วยปรับปรุงดิน และลดผลกระทบจากการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ เช่น การปลูกพืชตระกูลถั่วตามด้วยข้าวโพด จึงเป็นทางเลือกหนึ่ง Uzoh et al. (2019) รายงานว่า เมื่อมีการไถกลบเศษซากต้นถั่วเขียว ทำให้มีไนโตรเจนเพิ่มเติมลงไปในดิน ช่วยลดปริมาณการใช้ปุ๋ยไนโตรเจนฤดูถัดไปได้ รวมไปถึงการวิจัยและการพัฒนาแนวทางในการลดการใช้ปุ๋ยไนโตรเจนจึงได้รับความสนใจเพิ่มมากขึ้นในช่วงหลายปีที่ผ่านมา โดยแนวทางหนึ่งที่มีศักยภาพ คือ การใช้ปุ๋ยอินทรีย์ ทดแทนปุ๋ยเคมีบางส่วนหรือทั้งหมด เนื่องจากปุ๋ยอินทรีย์ไม่เพียงแต่เป็นแหล่งของธาตุอาหาร ช่วยปลดปล่อยธาตุไนโตรเจนออกมาช้าๆ ทำให้พืชดูดใช้ได้อย่างต่อเนื่อง (วีณา นิลวงศ์, 2561) ช่วยเพิ่มปริมาณอินทรียวัตถุในดิน ปรับปรุงโครงสร้างดิน ส่งเสริมการกักเก็บน้ำและการเจริญของจุลินทรีย์ในดิน ซึ่งล้วนมีบทบาทในการฟื้นฟูความอุดมสมบูรณ์ของดิน (บูรณา และคณะ, 2558) ดังนั้น การบูรณาการระหว่างการใช้ปุ๋ยอินทรีย์และปุ๋ยเคมีอย่างเหมาะสม จึงเป็นแนวทางที่มีประสิทธิภาพในการลดการใช้ปุ๋ยไนโตรเจนมากเกินไป และส่งเสริมการผลิตที่ยั่งยืนทั้งในด้านเศรษฐกิจ สิ่งแวดล้อม และสุขภาพดิน (Pahalvi et al., 2021) วนิดา และคณะ (2566) ได้แนะนำถึงการใช้ปุ๋ย การทิ้งเศษซากพืชไว้ในแปลง และวัสดุอินทรีย์ในปริมาณที่เหมาะสม เพื่อรักษาความอุดมสมบูรณ์ของดิน เอกพล และคณะ (2559) ได้ใช้ปุ๋ยชีวภาพพีจีพีอาร์ในการผลิตข้าวโพด สามารถลดการปุ๋ยเคมี และช่วยฟื้นฟูความอุดมสมบูรณ์ของดิน การใช้ปุ๋ยอินทรีย์ร่วมกับหรือทดแทนปุ๋ยเคมี การนำปุ๋ยชีวภาพ PGPR มาใช้ในการปลูกข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ จึงเป็นทางเลือกสำคัญ (Gao et al., 2020) รวมไปถึงการวิเคราะห์ดินก่อนการใส่ปุ๋ย และปรับอัตราการใช้ปุ๋ยให้เหมาะสมกับความต้องการของพืชและสภาพดิน จึงเป็นสิ่งสำคัญที่เกษตรกรควรให้ความสำคัญ (พรนภา และคณะ, 2561) ดังนั้นวัตถุประสงค์ของการศึกษานี้เพื่อศึกษาผลของการใช้ปุ๋ยและรูปแบบของระบบการปลูกพืชต่อผลผลิต สมบัติของดิน และผลตอบแทนทางเศรษฐกิจในพื้นที่การผลิตข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ที่ปลูกในดินร่วนเหนียว จ.เพชรบูรณ์ ผลการศึกษาที่ได้สามารถแนะนำให้เกษตรกรนำไปใช้เป็นเทคโนโลยีการใช้ปุ๋ยและระบบปลูกที่เหมาะสมต่อการปรับปรุงความอุดมสมบูรณ์ของดินในพื้นที่อื่นได้

อุปกรณ์และวิธีการ

สถานที่ทำการทดลอง

ดำเนินการทดลองในไร่เกษตรกร ซึ่งมีเนื้อดินเป็นดินร่วนเหนียว อ.หล่มสัก จ.เพชรบูรณ์ แปลงทดลองตั้งอยู่ในพิกัดละติจูด 14°41'8.19'' เหนือ ลองจิจูด 101°18'5.45'' ตะวันออก ใช้ชุดดินเฉลียงลับ (Fine, mixed, semiactive, isohyperthermic Aeric Endoaqualfs) ตามข้อมูลของกรมพัฒนาที่ดินในระบบอนุกรมวิธานดิน (Soil Taxonomy) (กรมพัฒนาที่ดิน, 2566)

ดินที่นำมาใช้ในการทดลอง

สุ่มเก็บตัวอย่างดินก่อนปลูกที่ระดับความลึก 0–20 ซม. มาวิเคราะห์สมบัติดิน ได้แก่ เนื้อดินด้วยวิธี Hydrometer (Bouyoucos, 1962) ความหนาแน่นรวมของดิน ค่าพีเอช (pH, อัตราส่วนดินต่อน้ำ เท่ากับ 1:1) ค่าการนำไฟฟ้า (EC, อัตราส่วนดินต่อน้ำ 1:5) อินทรียวัตถุ โดยวิธีของ Walkley and Black titration ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ สกัดดินด้วยน้ำยาสกัด Bray II แล้ววัดค่าดูดกลืนแสงด้วยเครื่อง spectrophotometer และโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ โดยวิธีสกัดดินด้วย NH_4OAc ที่ pH 7 ตามวิธีของกรมวิชาการเกษตร (2544)

ดินมีลักษณะเป็นดินร่วนเหนียว ความหนาแน่นรวมของดิน เท่ากับ 1.58 ก./ลบ.ซม. อยู่ในเกณฑ์ร่วนซุยปานกลาง ค่าพีเอช (ดิน:น้ำ 1:1) เท่ากับ 6.6 เป็นกลาง ซึ่งอยู่ในช่วงที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ ค่าการนำไฟฟ้า เท่ากับ 0.06 เดซิซีเมนส์/ม. อยู่ในระดับไม่เค็ม ปริมาณอินทรียวัตถุอยู่ในระดับปานกลาง เท่ากับ 1.40% มีปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์อยู่ในระดับสูง เท่ากับ 25 มก./กก. ปริมาณโพแทสเซียมที่เป็นประโยชน์อยู่ในระดับสูง เท่ากับ 120 มก./กก. (Table 1) จากการประเมินระดับความอุดมสมบูรณ์ของดินที่ใช้ในการศึกษา ด้วยวิธีการประเมินของ กองสำรวจดิน (2523) พบว่า ดินก่อนทดลองมีความอุดมสมบูรณ์อยู่ในระดับปานกลาง จึงพิจารณาอัตราปุ๋ยแนะนำ คือ 15–5–5 กก. $N–P_2O_5–K_2O$/ไร่ (กรมวิชาการเกษตร, 2548)

Table 1 Soil properties of soil before planting at Phetchabun province at 0–20 cm depth

pH (1:1)	EC[1/](1:5) (dS/m)	OM[2/] (%) (Walkley and Black)	Avail. P[3/] (mg/kg) (Bray II)	Avail. K[4/] (mg/kg) (NH_4OAc pH7)	Texture (Hydrometer method)	Bulk density (g/cm^3) (Core method)
6.60	0.06	1.40	25	120	Clay loam	1.58

[1/]EC: electrical conductivity; OM[2/]: organic matter; Avail.P[3/]: available phosphorus; Avail.K[4/]: available potassium

การวางแผนการทดลอง

วางแผนการทดลองแบบ Split plot ประกอบด้วย ปัจจัยหลัก คือ ระบบปลูกพืช 2 ระบบ ได้แก่ 1) ปลูกข้าวโพดอย่างเดียวและสับกลบต้นใบข้าวโพด 2) ปลูกถั่วเขียวก่อนแล้วสับกลบ ปลูกข้าวโพดและสับกลบต้นใบข้าวโพด ปัจจัยรอง คือ การใช้ปุ๋ย มี 4 กรรมวิธี ได้แก่ 1) ไม่ใส่ปุ๋ย (กรรมวิธีควบคุม) 2) ใส่ปุ๋ยเคมีในอัตรา 15–5–5 กก. $N–P_2O_5–K_2O$/ไร่ (100 % NPK ตามอัตราแนะนำ) 3) ใส่ปุ๋ยเคมีในอัตรา 7.5–5–5 กก. $N–P_2O_5–K_2O$/ไร่ (50 % N 100 % PK ตามอัตราแนะนำ) + มูลไก่แกลบ อัตรา 700 กก.น้ำหนักแห้ง/ไร่ 4) ใส่ปุ๋ยเคมีในอัตรา 7.5–5–5 กก. $N–P_2O_5–K_2O$/ไร่ (50 % N 100 % PK ตามอัตราแนะนำ) + มูลไก่แกลบ อัตรา 700 กก.น้ำหนักแห้ง/ไร่ + ปุ๋ยชีวภาพพีจีพีอาร์ มีจำนวน 6 ซ้ำ

การปลูกและการจัดการ

ดำเนินการทดลองปลูก 2 ฤดูปลูกต่อเนื่องกัน โดยปัจจัยหลักที่ 1 ปลูกข้าวโพดเลี้ยงสัตว์พันธุ์ กวก.นครสรรค์ 3 แล้วสับกลบต้นใบข้าวโพด ปัจจัยหลักที่ 2 ปลูกถั่วเขียวพันธุ์ กวก.ชัยนาท 36 ก่อนแล้วสับกลบ ตามด้วยปลูกข้าวโพดและสับกลบต้นใบข้าวโพด (Table 2) สร้างแปลงทดลองขนาดแปลงย่อยมีขนาดกว้าง 4.5 ม. ยาว 5 ม. รวมทั้งสิ้น 48 แปลงย่อย เว้นระยะระหว่างแปลงย่อย 2 ม. ถั่วเขียวก่อนปลูกคลุกเมล็ดพันธุ์ด้วยปุ๋ยชีวภาพไรโซเบียม อัตรา 200 ก./เมล็ดถั่วเขียว 3 กก. (กรมวิชาการเกษตร, 2564) ระยะปลูกถั่วเขียว 0.5 ม. × 0.2 ม. เก็บเกี่ยวถั่วเขียวที่อายุ 65 วัน ทำการไถกลบเศษซากต้นและใบถั่วเขียวไว้ในแปลง ก่อนปลูกข้าวโพด 2 สัปดาห์ การใส่มูลไก่แกลบทำโดยคลุกเคล้าให้เข้ากับดินแล้วปล่อย

ทิ้งไว้ก่อนปลูกข้าวโพดพร้อมวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของมูลไก่แกลบตามวิธีของ กรมวิชาการเกษตร (2551) การใช้ปุ๋ยชีวภาพพีจีอาร์ทำโดยคลุกกับเมล็ดก่อนปลูก ในอัตรา 500 ก./เมล็ดข้าวโพด 3 กก. ระยะปลูกข้าวโพด 0.75 ม. × 0.2 ม. โดยแบ่งใส่ปุ๋ยเคมี 2 ครั้ง คือ ครั้งที่ 1 ใส่พร้อมปลูก ใส่ปุ๋ยไนโตรเจนครึ่งอัตราที่กำหนด ส่วนปุ๋ยฟอสเฟตและโพแทชใส่ครั้งเดียวเต็มอัตรา และครั้งที่ 2 เมื่อข้าวโพดอายุ 30 วัน ใส่ปุ๋ยไนโตรเจนที่เหลือครึ่งอัตรา โรยข้างแถว พรวนดินกลบ พร้อมพูนโคน (กรมวิชาการเกษตร, 2548) โดยใช้ปุ๋ยยูเรีย (46% N) ทริปเปิลซูเปอร์ฟอสเฟต (46% P_2O_5) และโพแทสเซียมคลอไรด์ (60% K_2O) เก็บเกี่ยวผลผลิต พื้นที่เก็บเกี่ยว 3 ม. × 4 ม.เมตร ทิ้งเศษซากต้นใบ และเปลือกหุ้มฝักข้าวโพดไว้ในแปลง

Table 2 Planting and harvesting date of an experiment in 2017–2018 cropping seasons

Year	Planting date		Harvesting date	
	Mung bean	Maize	Mung bean	Maize
2017	19 May 2017	5 August 2017	23 July 2017	5 December 2017
2018	1 May 2018	4 August 2018	20 July 2018	5 December 2018

การบันทึกข้อมูล

บันทึกข้อมูลสภาพภูมิอากาศ สมบัติทางเคมีของมูลไก่แกลบ องค์ประกอบผลผลิต ได้แก่ ความสูงของต้นที่อายุเก็บเกี่ยว น้ำหนักต้นสด น้ำหนักฝักสด %กะเทาะ สุ่มกะเทาะเมล็ดจากฝัก 10 ฝัก แล้ววัดความชื้นของเมล็ดด้วยเครื่องวัดความชื้นเมล็ดข้าวโพด คำนวณ %กะเทาะ ผลผลิตเมล็ดที่ความชื้น 15 % และข้อมูลดินก่อนและหลังการทดลอง ได้แก่ พีเอชดิน ปริมาณอินทรียวัตถุในดิน ปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ และปริมาณโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้

การวิเคราะห์ข้อมูล

ข้อมูลพารามิเตอร์ ได้แก่ สมบัติของดินก่อนและหลังการทดลอง องค์ประกอบผลผลิต และผลผลิตเมล็ดที่ความชื้น 15% ถูกนำมาวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติ (ANOVA) โดยใช้โปรแกรม SPSS และเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยโดยวิธี Tukey's Honestly Significant Difference (HSD) ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%
วิเคราะห์อัตราส่วนผลตอบแทนต่อการลงทุน (Benefit to Cost Ratio: BCR หรือ B/C) โดยคำนวณจากอัตราส่วนระหว่างรายได้ต่อต้นทุนผันแปร (B/C > 1 คุ้มค่าการลงทุน, B/C = 1 เท่าทุน, B/C < 1 ไม่คุ้มทุน ขาดทุน) (สุพัตรา และคณะ, 2566)

ผลการทดลองและวิจารณ์

สมบัติทางเคมีของมูลไก่แกลบ

ผลวิเคราะห์สมบัติทางเคมีของมูลไก่แกลบ ปี 2560–2561 พบว่า มีพีเอช (pH) 7.5–8.0 เป็นด่างเล็กน้อย–ด่างปานกลาง ค่าการนำไฟฟ้า 1.85–3.89 เดซิซีเมนส์/ม. อินทรียวัตถุ 47.7–47.8% อัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน 11.1–11.9 ความชื้น 16.8–20.6% ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด 2.0–2.5% ปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมด 1.2–2.9% และปริมาณโพแทสเซียมทั้งหมด 0.3–0.8% (Table 3) หากใส่มูลไก่แกลบ 700 กก. น้ำหนักแห้ง/ไร่ โดยที่มูลไก่มีความชื้น ในฤดูปลูกปีที่ 1 และปีที่ 2 เท่ากับ 20.6% และ 16.8% ตามลำดับ จะต้องใช้มูลไก่แกลบปริมาณ 882 และ 841 กก./ไร่ ตามลำดับ คิดเป็นปริมาณธาตุไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียมใส่ลงดิน เท่ากับ 18–20–2 และ 14–8–6 กก.N–P_2O_5–K_2O/ไร่ ตามลำดับ อย่างไรก็ตามธาตุอาหารจากมูลไก่แกลบสามารถปลดปล่อยอนินทรีย์ไนโตรเจนได้สูงสุด 20–25% ของไนโตรเจนทั้งหมด (กรม

วิชาการเกษตร, 2565; Alarefee et al., 2023) จึงมีอินทรีย์ไนโตรเจนปลดปล่อยออกมาจากมูลไก่แกลบในฤดูปลูกปีที่ 1 และปีที่ 2 เท่ากับ 4.21–5.26 และ 3.36–4.21 กก./ไร่ ตามลำดับ

Table 3 Properties of chicken manure in 2017–2018 cropping seasons

Year	pH	EC (dS/m)	OM (%)	Total N (%)	Total P_2O_5 (%)	Total K_2O (%)	Moisture (% by fresh wt.)	C/N ratio
2017	7.5	1.85	47.7	2.5	2.9	0.3	20.6	11.1
2018	8.0	3.86	47.8	2.0	1.2	0.8	16.8	11.9

สภาพภูมิอากาศฤดูปลูกถั่วเขียวและข้าวโพดเลี้ยงสัตว์

ข้อมูลสภาพภูมิอากาศ ได้รวบรวมจากสถานีอุตุนิยมวิทยาหล่มสัก ซึ่งตั้งอยู่ในต.หล่มสัก อ.หล่มสัก จ.เพชรบูรณ์ โดยเป็นสถานีอุตุนิยมวิทยาที่อยู่ใกล้แปลงทดลองที่สุด ห่างจากแปลงทดลอง 15 กม.

ฤดูปลูกปีที่ 1 ปริมาณน้ำฝนตั้งแต่ปลูกถั่วเขียวจนถึงเก็บเกี่ยว เท่ากับ 350.1 มม. สำหรับปริมาณน้ำฝนต่อการเจริญเติบโตของข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ พบว่า ระยะเริ่มงอกที่อายุ 0–5 วัน ได้รับปริมาณน้ำฝน 47.6 มม. เฉลี่ย 9.5 มม./วัน ระยะนี้มีความต้องการน้ำ เฉลี่ย 4.1 มม./วัน เมื่อเข้าสู่ระยะเจริญเติบโตทางต้นและใบ ที่อายุ 5–45 วัน ได้รับน้ำฝน 211.4 มม. เฉลี่ย 5.3 มม./วัน ในระยะนี้ต้องการน้ำมากขึ้น เฉลี่ย 4.8–10.1 มม./วัน เนื่องจากใบมีพื้นที่สังเคราะห์ด้วยแสงมากขึ้น สำหรับระยะออกฝักตัวเมียและแทงช่อตัวผู้ ที่อายุ 45–55 วัน ได้รับน้ำฝน 69.9 มม. เฉลี่ย 7.0 มม./วัน ระยะนี้มีความต้องการน้ำในปริมาณมาก เฉลี่ย 10.7 มม./วัน ระยะติดฝัก ที่อายุ 55–110 วัน ได้รับปริมาณน้ำฝน 254.9 มม. เฉลี่ย 3.8 มม./วัน มีความต้องการน้ำ เฉลี่ย 4.5–10.5 มม./วัน จะเห็นว่าตลอดอายุการเจริญเติบโตของข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ ได้รับปริมาณน้ำฝนไม่เพียงพอต่อความต้องการในระยะออกฝักตัวเมียและแทงช่อตัวผู้และระยะติดฝัก โดยปริมาณน้ำฝนตั้งแต่ปลูกจนกระทั่งเก็บเกี่ยว เท่ากับ 583.8 มม. ซึ่งปริมาณความต้องการน้ำของข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ เฉลี่ย 749 มม./ฤดูปลูก (ศุภกาญจน์, 2559) ดังนั้นผลผลิตข้าวโพดเลี้ยงสัตว์อาจลดลง เพราะน้ำจำเป็นต่อการเจริญเติบโตของข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ โดยเฉพาะช่วงระหว่าง 2 สัปดาห์ก่อนและ 2–3 สัปดาห์หลังการติดไหม (Panda et al. 2004) และถ้าเกิดภาวะฝนแล้ง จะทำให้ผลผลิตข้าวโพดเสียหายได้ถึง 10–20% (เสน่ห์ และคณะ, 2537) ฤดูปลูกที่ 2 พบว่า ปริมาณน้ำฝนตั้งแต่ปลูกถั่วเขียวจนถึงเก็บเกี่ยว เท่ากับ 295.3 มม. ส่วนข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ เท่ากับ 295.2 มม. สัตว์ ซึ่งได้รับปริมาณน้ำฝนไม่เพียงพอต่อความต้องการในทุกระยะการเจริญเติบโต (Figure 1) จะเห็นว่าปริมาณน้ำฝนในฤดูปลูกปีที่ 1 มากกว่าฤดูปลูกปีที่ 2 ส่วนอุณหภูมิเฉลี่ย ในแต่ละปีไม่แตกต่างกัน เฉลี่ย 28.3 ℃.

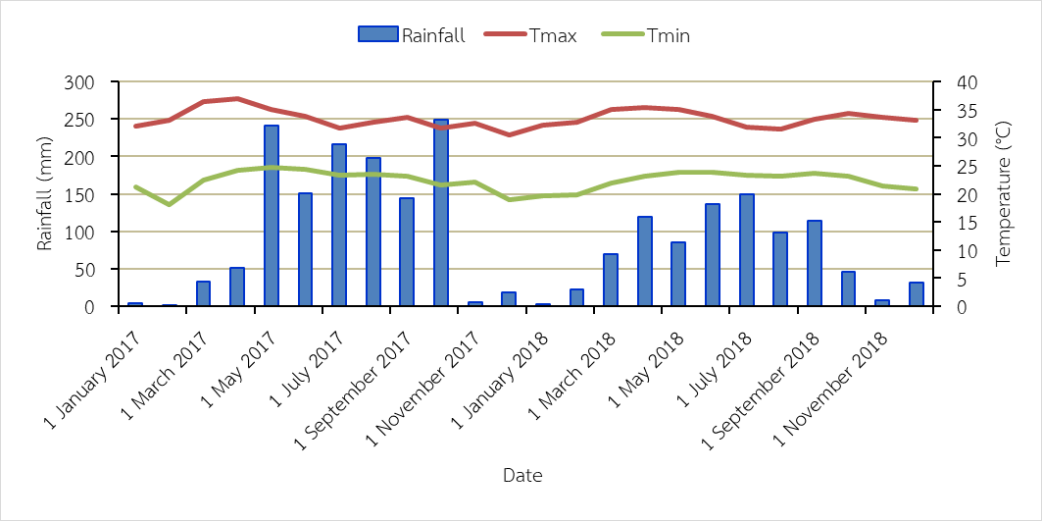


Figure 1 Monthly Rainfall and air temperature data at Lomsak meteorological station in 2017–2018 cropping seasons

การให้ผลผลิตถั่วเขียว และข้าวโพดเลี้ยงสัตว์

ผลของระบบปลูกพืชและการใช้ปุ๋ยต่อการให้ผลผลิตข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ที่ปลูกในดินร่วนเหนียว ชุดดินเฉลียงลับ จ.เพชรบูรณ์ พบว่า ระบบปลูกพืชไม่มีปฏิสัมพันธ์กับการใช้ปุ๋ยในด้านการให้ผลผลิต (Table 4) ผลของระบบปลูกพืชที่แตกต่างกัน พบว่า การปลูกถั่วเขียวตามด้วยข้าวโพดทำให้ผลผลิตข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ในฤดูปลูกปีที่ 1 แตกต่างกันทางสถิติ ซึ่งให้ผลผลิต 866 กก./ไร่ สูงกว่าการปลูกข้าวโพดเพียงอย่างเดียว (705 กก./ไร่) ถึง 23% แสดงให้เห็นว่า ระบบการปลูกถั่วเขียวเอื้อต่อการผลิตข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ เนื่องจากซากต้นถั่วเขียวเมื่อไถกลบจะเป็นปุ๋ยพืชสดแก่พืช ให้ธาตุอาหารในดิน (ต้นและใบ) (นุชนาฏ และคณะ, 2566) โดยปริมาณธาตุอาหารในต้นและใบถั่วเขียว เฉลี่ย 9.6–2.3–6.1 กก. N–P_2O_5–K_2O/ไร่ แต่ฤดูปลูกปีที่ 2 พบว่า ผลผลิตข้าวโพดไม่แตกต่างกัน (787–807 กก./ไร่) อาจเป็นเพราะปริมาณน้ำฝนปีที่ 2 นั้นน้อยกว่าปีที่ 1 ซึ่งปริมาณน้ำฝนสัมพันธ์กับความชื้นในดิน เมื่อความชื้นในดินต่ำ แสดงว่า ปริมาณน้ำที่มีอยู่ในดินจำกัด ทำให้พืชไม่สามารถดูดใช้ธาตุอาหารในดินได้เต็มศักยภาพ การเคลื่อนย้ายธาตุอาหารในดินก็ลดลง (Djaman et al., 2013) ส่งผลให้ข้าวโพดเลี้ยงสัตว์มีผลผลิตต่ำและไม่แตกต่างกัน (Table 4)

การใช้ปุ๋ยวิธีต่าง ๆ พบว่า ผลผลิตข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ในฤดูปลูกปีที่ 1 และ 2 กรรมวิธีที่มีการใส่ปุ๋ยให้ผลผลิตสูงกว่ากรรมวิธีไม่ใส่ปุ๋ยถึง 823–941 กก./ไร่ และ 884–944 กก./ไร่ เมื่อเทียบกับกรรรมวิธีไม่ใส่ปุ๋ย (543 และ 460 กก./ไร่) ตามลำดับ จะเห็นว่า การใส่ปุ๋ยจำเป็นต่อการเจริญเติบโตของข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ที่ปลูกในดินร่วนเหนียว โดยในฤดูปลูกปีที่ 1 กรรมวิธีที่ 4 การใส่ปุ๋ยเคมี อัตรา 7.5–5–5 กก. N–P_2O_5–K_2O/ไร่+มูลไก่แกลบ+ปุ๋ยชีวภาพพีจีพีอาร์ ให้ผลผลิตสูงสุด เฉลี่ย 941 กก./ ไร่ แต่ไม่แตกต่างกับกรรมวิธีที่ 2 และ 3 ให้ผลผลิต 837 และ 823 กก./ไร่ ตามลำดับ ส่วนผลผลิตข้าวโพดฤดูปลูกปีที่ 2 พบว่า กรรมวิธีที่ 2 การใส่ปุ๋ยเคมี อัตรา 15–5–5 กก. N–P_2O_5–K_2O/ไร่ ให้ผลผลิตสูงสุด (944 กก./ไร่) แต่ไม่แตกต่างกับกรรมวิธีที่ 3 และ 4 ให้ผลผลิต 884 และ 901 กก./ไร่ ตามลำดับ จะเห็นว่า การใช้ปุ๋ยเคมีในอัตราเต็ม (15–5–5 กก. N–P_2O_5–K_2O/ไร่) ให้ผลผลิตและองค์ประกอบผลผลิตสูงสุด แสดงให้เห็นถึงความเป็นประโยชน์ของธาตุอาหารที่พืชสามารถดูดใช้ได้ทันที ส่งผลต่อการเจริญเติบโตและสะสมผลผลิตได้อย่างชัดเจน ในขณะที่การใช้ปุ๋ยเคมีในอัตราครึ่งหนึ่ง (7.5–5–5 กก. N–P_2O_5–K_2O/ไร่) ร่วมกับมูลไก่แกลบ หรือมูลไก่แกลบ + PGPR ช่วยเพิ่มผลผลิตได้ใกล้เคียงกับการใช้ปุ๋ยเคมีอย่างเดียว แสดงให้เห็นว่า การเสริมอินทรียวัตถุและจุลินทรีย์ที่เป็นประโยชน์สามารถชดเชยปริมาณ

ปุ๋ยเคมีที่ลดลงได้บางส่วน (Tao et al., 2015) สำหรับผลผลิตถั่วเขียวซึ่งเป็นพืชที่ปลูกก่อน โดยวิธีการคลุกด้วยเชื้อไรโซเบียมเพียงอย่างเดียว พบว่า ผลผลิตถั่วเขียวไม่แตกต่างกันในปีที่ 1 แต่เมื่อปลูกถั่วเขียวในปีที่ 2 ให้ผลผลิตแตกต่างกัน โดยกรรมวิธีที่ไม่มีการใส่ปุ๋ยในแปลงทดลองข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ในปีที่แรก เมื่อปลูกถั่วเขียวต่อเนื่องในปีที่ 2 ทำให้ผลผลิตถั่วเขียวลดลงถึง 82 กก./ไร่ เมื่อเปรียบเทียบกับกรรมวิธีที่มีการใส่ปุ๋ยจากการปลูกข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ก่อนหน้า ซึ่งมาจากผลตกค้างของการใช้ปุ๋ยในข้าวโพด (Table 4)

Table 4 Maize and mung bean yield as affected by fertilizer management and cropping systems in 2017–2018 cropping seasons

Factor	Mung bean yield (kg/rai)		Maize yield (kg/rai), 15% moisture		
	2017	2018	2017	2018	Mean
Cropping systems					
Maize (M1)	–	–	705 b[1/]	787	746 b
Mung bean–Maize (M2)	132	125	866 a	807	837 a
F-test	–	–	*[2/]	Ns	**
CV (%)	–	–	20.2	18.9	19.6
Fertilizer Management					
Control (F1)	130	82 b	543 b	460 b	501 b
15–5–5 (F2)	126	104 ab	837 a	944 a	890 a
7.5–5–5 + Chicken manure (F3)	133	153 a	823 a	884 a	853 a
7.5–5–5 + Chicken manure + PGPR (F4)	138	161 a	941 a	901 a	921 a
F-test	ns	**	**	*	**
CV (%)	21.1	29.4	25.5	7.1	19.6

[1/] Means in the same column following by a common letter are not significantly different at the 5% level by Tukey's HSD

[2/] *: significant at 5% level probability, ** : significant at 1% level probability and ns: not significant

สมบัติของดินหลังทดลอง

ระบบการปลูกพืชในดินร่วนเหนียวต่อเนื่องเป็นเวลา 2 ปี พบว่า มีผลทำให้ความเป็นกรด-ด่างของดินและปริมาณโพแทสเซียมที่เป็นประโยชน์หลังทดลองแตกต่างกัน และพบปฏิสัมพันธ์ระหว่างระบบปลูกพืชกับการใช้ปุ๋ยต่อความเป็นกรด-ด่างของดิน โดยดินที่ปลูกถั่วเขียวตามด้วยข้าวโพดและใส่ปุ๋ยเคมี อัตรา 7.5–5–5 กก. N–P_2O_5–K_2O/ไร่+มูลไก่แกลบ ดินมี pH สูงขึ้นเป็น 7.13 เมื่อเปรียบเทียบกับดินก่อนทดลอง (pH 6.60) แต่ไม่แตกต่างกับกรรมวิธีที่ 4 การใส่ปุ๋ยเคมี อัตรา 7.5–5–5 กก. N–P_2O_5–K_2O/ไร่+มูลไก่แกลบ+ปุ๋ยชีวภาพพีจีพีอาร์ (pH 7.03) ส่วนดินที่ปลูกข้าวโพดอย่างเดียวและใส่ปุ๋ยรูปแบบต่าง ๆ มีค่า pH ลดลง ระหว่าง 5.99–6.54 (Table 5) สำหรับปริมาณอินทรียวัตถุในดิน พบว่า การใส่ปุ๋ยเคมี อัตรา 7.5–5–5 กก. N–P_2O_5–K_2O/ไร่+มูลไก่แกลบ+ปุ๋ยชีวภาพพีจีพีอาร์ ทำให้ดินหลังทดลองมีปริมาณอินทรียวัตถุสูงสุด ถึง 1.76% ซึ่งสูงกว่าการใส่ปุ๋ยเคมีเพียงอย่างเดียว (1.60%) และเมื่อเปรียบเทียบกับดินก่อนปลูก พบว่า มีปริมาณอินทรียวัตถุเพิ่มขึ้น (ดินก่อนปลูก 1.40%) อย่างไรก็ตามพบว่า ระบบปลูกพืชทั้งสองระบบไม่ทำให้ปริมาณอินทรียวัตถุในดินแตกต่างกัน อาจเป็นเพราะประเทศไทยอยู่ในเขตร้อนชื้น การย่อยสลายของวัสดุอินทรีย์จึงเกิดขึ้นเร็ว (ศุภกาญจน์ และคณะ, 2560) กรรมวิธีที่ 4 ให้ปริมาณอินทรียวัตถุในดินเพิ่มขึ้น แสดงให้เห็นว่า การเติมอินทรียวัตถุ เช่น มูลไก่แกลบและการใช้ปุ๋ยชีวภาพพีจีพีอาร์ ร่วมกับปุ๋ยเคมีในอัตราที่เหมาะสม ส่งผลดีต่อการสะสมคาร์บอนในดิน ช่วยปรับปรุงโครงสร้างและคุณภาพของดิน เป็นการเพิ่มอินทรียวัตถุในดิน ซึ่งช่วยเพิ่มธาตุคาร์บอนลงในดินอย่างต่อเนื่อง

อาจจะทำให้ก๊าซเรือนกระจกเกิดขึ้นน้อยหรือถูกปลดปล่อยออกจากดินในปริมาณต่ำ (บังอร และคณะ, 2555) เนื่องจากคาร์บอนที่ถูกเก็บไว้ในดินมากขึ้นหมายถึงการตรึงคาร์บอนไว้ในรูปอินทรียวัตถุ จึงลดปริมาณการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์สู่บรรยากาศ เมื่อเทียบกับการใช้ปุ๋ยรูปแบบอื่น ๆ อันเป็นการลดการสูญเสียคาร์บอนในรูปก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จากระบบการปลูกข้าวโพด

กรณีธาตุฟอสฟอรัสและโพแทสเซียมในดิน พบว่าให้ผลในทำนองเดียวกับปริมาณอินทรียวัตถุในดิน กรรมวิธีที่ 4 การใส่ปุ๋ยเคมี อัตรา 7.5–5–5 กก. $N–P_2O_5–K_2O$/ไร่+มูลไก่แกลบ+ปุ๋ยชีวภาพพีจีพีอาร์ ให้ปริมาณฟอสฟอรัสและโพแทสเซียมที่เป็นประโยชน์สูงที่สุด เฉลี่ย 30 มก./กก. และ 154 มก./กก. ตามลำดับ และเมื่อเปรียบเทียบกับดินก่อนทดลอง พบว่า ปริมาณฟอสฟอรัสและโพแทสเซียมที่เป็นประโยชน์ เพิ่มขึ้น 20% และ 28% ตามลำดับ การเพิ่มขึ้นของโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ในดินในแปลงที่ใส่ปุ๋ยชีวภาพพีจีพีอาร์ สะท้อนบทบาทของจุลินทรีย์ส่งเสริมการเจริญเติบโตพืช ซึ่งอาจช่วยย่อยสลายแร่ธาตุในดิน ทำให้โพแทสเซียมที่อยู่ในรูปไม่ละลายน้ำบางส่วนถูกปลดปล่อยมาเป็นรูปที่พืชดูดใช้ได้ (Olaniyan et al., 2022) นอกจากนี้ ปุ๋ยชีวภาพพีจีพีอาร์บางสายพันธุ์สามารถผลิตกรดอินทรีย์ที่ช่วยละลายธาตุอาหารจากแร่ดินได้ (Biswas et al., 2024) อย่างไรก็ตาม ผลของการใช้มูลไก่แกลบร่วมด้วยอย่างเดียว (โดยไม่มีการใช้ปุ๋ยชีวภาพพีจีพีอาร์) ยังไม่สามารถเพิ่มค่าโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ในดินได้เท่ากับการใช้ปุ๋ยชีวภาพพีจีพีอาร์ร่วมด้วย อีกประเด็นหนึ่ง คือ การใส่ปุ๋ยเคมีในอัตรา 15–5–5 กก. $N–P_2O_5–K_2O$/ไร่ กลับไม่ได้ทำให้ค่าโพแทสเซียมแตกต่างจากแปลงควบคุมอย่างมีนัยสำคัญ อาจเป็นเพราะโพแทสเซียมจากปุ๋ยเคมีบางส่วนถูกดูดซับกับอนุภาคดินหรือสูญเสียไปกับน้ำ ทำให้เหลือในรูปที่แลกเปลี่ยนได้ไม่สูงนัก (Awgchew et al., 2024)

ดังนั้นการใช้ปุ๋ยผสมผสานช่วยเพิ่มปริมาณธาตุอาหารในดิน (Chipomho et al., 2020) และน่าจะเป็นทางเลือกที่ดีในการปรับปรุงดิน (Mustafa et al., 2021) จะเห็นว่า การใช้ปุ๋ยอินทรีย์ (มูลไก่แกลบ) และ ปุ๋ยชีวภาพ PGPR ช่วยปรับปรุงสมบัติทางเคมีของดินอย่างเด่นชัด โดยเฉพาะการเพิ่มอินทรียวัตถุ ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ และโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ การใช้ปุ๋ยเคมีเพียงอย่างเดียวมีแนวโน้มทำให้ค่าพีเอชของดินลดลง และไม่สามารถเพิ่มอินทรียวัตถุและฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ในดินได้เท่ากับแปลงที่ใช้ร่วมกับปุ๋ยอินทรีย์ จึงแสดงให้เห็นว่า การผสมผสานปุ๋ยเคมีร่วมกับปุ๋ยอินทรีย์และปุ๋ยชีวภาพ เป็นแนวทางที่ส่งผลดีต่อการปรับปรุงสมบัติดินในระยะยาว ซึ่งสอดคล้องกับ ชลวุฒิ และคณะ (2547) ที่ได้ใช้ปุ๋ยผสมผสาน ซึ่งใช้ปุ๋ยเคมีในอัตรา 10–5–5 กก. $N–P_2O_5–K_2O$/ไร่ ร่วมกับปุ๋ยมูลไก่แกลบ อัตรา 1 ตัน/ไร่ ช่วยเพิ่มปริมาณอินทรียวัตถุ ฟอสฟอรัสและโพแทสเซียมในดินเมื่อเปรียบเทียบกับทรีทเมนต์ไม่ใส่ปุ๋ย เช่นเดียวกับการศึกษาของ ธวัชชัย และคณะ (2563) ใช้ปุ๋ยเคมีร่วมกับปุ๋ยอินทรีย์ในการปลูกข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ สมบัติดินหลังปลูกมีปริมาณอินทรียวัตถุ ฟอสฟอรัสและโพแทสเซียมที่เป็นประโยชน์สูงขึ้น นอกจากนี้การปลูกถั่วเขียวตามด้วยข้าวโพดให้ปริมาณโพแทสเซียมที่เป็นประโยชน์ในดิน เฉลี่ย 143 มก./กก. ซึ่งสูงกว่าการปลูกข้าวโพดอย่างเดียว (130 มก./กก.)

ผลตอบแทนต่อการลงทุน

จากตารางผลของอัตราส่วนผลตอบแทนต่อการลงทุนของการใช้ปุ๋ยและระบบการปลูกพืชในฤดูปลูกปี 2017-2018 แสดงให้เห็นว่าการใช้ปุ๋ยและระบบการปลูกพืชที่แตกต่างกันส่งผลต่อผลผลิต รายได้ ต้นทุน กำไรสุทธิ และ BCR (Table 6) เมื่อพิจารณาผลตอบแทนต่อการลงทุน พบว่า ฤดูปลูกปีที่ 1 ระบบการปลูกพืชทั้งสองระบบการใช้ปุ๋ยเคมี 100% ตามอัตราแนะนำ (อัตรา 15–5–5 กก. $N–P_2O_5–K_2O$/ไร่) ให้ BCR สูงที่สุด เท่ากับ 2.08 และ 2.28 ตามลำดับ นอกจากนี้การปลูกถั่วเขียวแล้วตามด้วยข้าวโพดยังเพิ่มผลผลิตถั่วเขียวด้วย ซึ่งช่วยเพิ่มรายได้รวม แต่เมื่อใช้ปุ๋ยเคมี 50% ตามอัตราแนะนำปุ๋ยไนโตรเจน (7.5–5–5 กก. $N–P_2O_5–K_2O$/ไร่) ร่วมกับมูลไก่แกลบ หรือใส่ปุ๋ยเคมี 50% ตามอัตราแนะนำปุ๋ยไนโตรเจน (7.5–5–5 กก. $N–P_2O_5–K_2O$/ไร่) ร่วมกับมูลไก่แกลบและปุ๋ยชีวภาพพี

จีพีอาร์ กลับให้ผลตอบแทนลดลง เนื่องมาจากต้นทุนรวมปุ๋ยอินทรีย์และปุ๋ยชีวภาพ PGPR เพิ่มขึ้นมาก ทำให้ BCR ไม่สูงตามไปด้วย แม้จะช่วยปรับปรุงดินแต่ไม่คุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ในระยะสั้น แต่มีศักยภาพด้านความยั่งยืนในระยะยาว ส่วนฤดูปลูกปีที่ 2 พบว่า ระบบการปลูกข้าวโพดอย่างเดียวและการใช้ปุ๋ยเคมี 100% ตามอัตราแนะนำให้ค่า BCR สูงที่สุด เท่ากับ 3.14 ในขณะที่ระบบการปลูกถั่วเขียวแล้วตามด้วยข้าวโพดและการใช้ปุ๋ยเคมี 100% ตามอัตราแนะนำ ให้ค่า BCR 2.50 ซึ่งต่ำกว่าระบบการปลูกข้าวโพดอย่างเดียว อย่างไรก็ตามจะเห็นว่า เมื่อไม่มีการใส่ปุ๋ยต่อเนื่องในปีที่ 2 ทำให้ BCR ลดลงในระบบปลูกพืชทั้งสองระบบ ระหว่าง 1.83–2.18 เมื่อเปรียบเทียบกับการใช้ปุ๋ยรูปแบบอื่น ๆ เนื่องจากการไม่ใส่ปุ๋ยมีผลทำให้ข้าวโพดให้ผลผลิตลดลง ผลตอบแทนจึงลดลงตาม (Table 6) จึงสรุปได้ว่า การใช้ปุ๋ยที่เหมาะสมในระบบการปลูกถั่วเขียวตามด้วยข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ ช่วยเพิ่มผลผลิตและรายได้ ทำให้ได้ BCR สูงกว่าการปลูกข้าวโพดอย่างเดียว อย่างไรก็ตามการใช้มูลไก่แกลบและปุ๋ยชีวภาพ PGPR แม้จะช่วยเพิ่มผลผลิตได้บ้าง แต่ต้นทุนที่เพิ่มขึ้นอาจลดความคุ้มทุนโดยรวมลง ดังนั้นควรพิจารณาค่าใช้จ่ายและประโยชน์ที่ได้รับเพื่อการเลือกใช้ที่เหมาะสมตามสถานการณ์จริงของแต่ละพื้นที่และสภาพแวดล้อมในการปลูก

Table 5 Soil chemical properties after the experiment at depth 0–20 cm as affected by fertilizer management and cropping systems

Factor	pH	OM (%)	Avail. P (mg/kg)	Avail. K (mg/kg)
Cropping systems				
Maize (M1)	6.27 b[1/]	1.63	23	130 b
Mung bean–Maize (M2)	6.83 a	1.69	25	143 a
F-test	**[2/]	ns	ns	**
CV (%)	5.8	8.7	38.2	15.5
Fertilizer Management				
Control (F1)	6.57 ab	1.63 ab	20 b	126 b
15–5–5 (F2)	6.26 b	1.60 b	15 b	135 ab
7.5–5–5 + Chicken manure (F3)	6.71 a	1.65 ab	29 a	131 b
7.5–5–5 + Chicken manure + PGPR (F4)	6.67 a	1.76 a	30 a	154 a
F-test	*	*	**	*
CV (%)	5.4	7.1	23.3	14.6
Cropping systems x Fertilizer Management				
M1xF1	6.54 ab	1.59	18	127
M1xF2	5.99 b	1.57	17	128
M1xF3	6.28 b	1.63	28	123
M1xF4	6.29 b	1.72	27	142
M2xF1	6.60 ab	1.68	22	125
M2xF2	6.54 ab	1.63	18	143
M2xF3	7.13 a	1.66	29	140
M2xF4	7.05 a	1.80	32	167
F-test	*	ns	ns	Ns

[1/] Means in the same column following by a common letter are not significantly different at the 5% level by Tukey's HSD

[2/] *: significant at 5% level probability, **: significant at 1% level probability and ns: not significant

Table 6 Benefit cost ration (BCR) as affected by fertilizer management and cropping systems in 2017–2018 cropping seasons

Year	Cropping systems	Fertilizer Management (kg N-P_2O_5-K_2O/rai)	Grain yield (kg/rai)		Income (Baht/rai)		Cost (Baht/rai)	Benefit (Baht/rai)	BCR
			Mung bean	Maize	Mung bean	Maize			
2017	Maize	Control	–	485	–	3,344	1,650	1,694	2.03
		15–5–5	–	753	–	5,197	2,499	2,698	2.08
		7.5–5–5 + Chicken manure	–	781	–	5,386	3,147	2,200	1.71
		7.5–5–5 + Chicken manure + PGPR	–	803	–	5,540	3,217	2,285	1.72
	Mung bean –Maize	Control	130	601	2,998	4,149	3,200	3,947	2.23
		15–5–5	126	920	2,896	6,347	4,049	5,195	2.28
		7.5–5–5 + Chicken manure	133	866	3,067	5,973	4,697	4,342	1.92
		7.5–5–5 + Chicken manure + PGPR	138	1,079	3,173	7,442	4,767	5,848	2.23
2018	Maize	Control	–	437	–	3,602	1,650	1,952	2.18
		15–5–5	–	951	–	7,849	2,499	5,350	3.14
		7.5–5–5 + Chicken manure	–	895	–	7,382	3,121	4,261	2.37
		7.5–5–5 + Chicken manure + PGPR	–	867	–	7,153	3,191	3,963	2.24
	Mung bean –Maize	Control	82	483	1,885	3,982	3,200	2,668	1.83
		15–5–5	104	937	2,385	7,731	4,049	6,068	2.50
		7.5–5–5 + Chicken manure	153	873	3,521	7,200	4,671	6,061	2.30
		7.5–5–5 + Chicken manure + PGPR	161	934	3,700	7,705	4,741	6,664	2.41

Note: Price of maize grain: 2017: 6.9 Baht/kg, Mung bean grain: 23 Baht/kg

Price of maize grain: 2018: 8.25 Baht/kg, Mung bean grain: 22 Baht/kg

Price of fertilizer: urea (46-0-0) 12 Baht/kg, triple superphosphate (0-46-0) 26 Baht/kg, Potassium chloride (0-0-60) 21 Baht/kg, Rhizobium Biofertilizer 250 Baht/kg, PGPR-1 140 Baht/kg, Chicken manure: 2018: 1.23 Baht/kg, 2017:1.17 Baht/kg

สรุปผลการทดลอง

ระบบการปลูกพืชและการใช้ปุ๋ยในพื้นที่การผลิตข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ที่ปลูกในดินร่วนเหนียว อ.หล่มสัก จ. เพชรบูรณ์ ซึ่งมีระดับอินทรียวัตถุในดินปานกลาง ได้ว่า การปลูกถั่วเขียวตามด้วยข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ร่วมกับการใช้ปุ๋ยเคมี ในอัตรา 7.5–5–5 กก. $N–P_2O_5–K_2O$/ไร่ โดยเติมมูลไก่แกลบและปุ๋ยชีวภาพพีจีพีอาร์ เป็นวิธีที่เหมาะสมสำหรับเพิ่มผลผลิต และธาตุอาหารในดินอย่างมีประสิทธิภาพ อย่างไรก็ดี แต่เมื่อพิจารณาความคุ้มค่าทางเศรษฐกิจ พบว่า การใช้ปุ๋ยเคมี ในอัตรา 15–5–5 กก. $N–P_2O_5–K_2O$/ไร่ มีความคุ้มค่าทางเศรษฐกิจสูงสุด จึงเป็นแนวทางที่แนะนำสำหรับเกษตรกรที่ต้องการเพิ่มผลตอบแทนทางเศรษฐกิจจากการปลูกข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ในพื้นที่

เอกสารอ้างอิง

กรมวิชาการเกษตร. 2544. คู่มือวิเคราะห์ดินและพืช. กลุ่มงานวิจัยเคมีดิน กองปฐพีวิทยา กรมวิชาการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์ กรุงเทพฯ. 164 หน้า.

กรมวิชาการเกษตร. 2548. คำแนะนำการใช้ปุ๋ยกับพืชเศรษฐกิจ. กลุ่มวิจัยปฐพีวิทยา สำนักวิจัยพัฒนาปัจจัยการผลิตทางการเกษตร กรมวิชาการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์ กรุงเทพฯ. 121 หน้า.

กรมวิชาการเกษตร. 2551. คู่มือวิเคราะห์ปุ๋ยอินทรีย์. กลุ่มวิจัยเกษตรเคมี สำนักวิจัยพัฒนาปัจจัยการผลิตทางการเกษตร กรมวิชาการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์ กรุงเทพฯ. 49 หน้า.

กรมวิชาการเกษตร. 2564. ปุ๋ยชีวภาพ. กลุ่มงานวิจัยจุลินทรีย์ดิน กลุ่มวิจัยปฐพีวิทยา กองวิจัยพัฒนาปัจจัยการผลิตทางการเกษตร กรมวิชาการเกษตร. 30 หน้า.

กรมวิชาการเกษตร. 2565. การประเมินการปลดปล่อยธาตุอาหารของชีวมวล. กองวิจัยพัฒนาปัจจัยการผลิตทางการเกษตร. 10 หน้า.

กองสำรวจดิน. 2523. คู่มือการจำแนกความเหมาะสมของที่ดินสำหรับพืชเศรษฐกิจ. เล่มที่ 28. กรมพัฒนาที่ดิน กระทรวงเกษตรและสหกรณ์ กรุงเทพฯ. 121 หน้า.

กรมพัฒนาที่ดิน. 2566. คลังข้อมูลดิน**.** แหล่งข้อมูล: https://iddindee.ldd.go.th. สืบค้น: 12 พฤษภาคม 2568.

ชลวุฒิ ละเอียด จิตรลดา ทองสอดแสง และธีรศักดิ์ มานุพีรพันธ์. 2547. การอนุรักษ์ความอุดมสมบูรณ์ของดินเพื่อการผลิตข้าวโพดเลี้ยงสัตว์อย่างยั่งยืน. วารสารวิชาการเกษตร. 22(3):230-239.

ชินาลัย พริ้งเพราะ และเบ็ญจพร กุลนิตย์. 2561. ผลของการเคลือบปุ๋ยต่อการเจริญเติบโตและผลิตผลของธัญพืช. วารสารเกษตรพระวรุณ. 15(1):1-16.

ชัยสิทธิ์ วัฒนาวังจงสุข, สุทธิ์เดชา ขุนทอง, กมรินทร์ นิ่มนวลรัตน์ และสุรเชษฐ์ นาราภัทร์. 2565. ผลของปริมาณปุ๋ยโพแทสเซียมต่อระดับแคลเซียมและแมกนีเซียมในดินและในขมิ้นชัน. วารสารวิจัยและส่งเสริมวิชาการเกษตร. 39: 24-39.

ธวัชชัย อินทรีย์บุญช่วย พิชญา คะเณย์ จิรวัตน์ พุ่มเพชร และศิริสุดา บุตรเพชร. 2563. การตอบสนองของข้าวโพดเลี้ยงสัตว์หลังนา ที่ปลูกในชุดดินกำแพงแสนต่อการจัดการธาตุอาหารเฉพาะพื้นที่ร่วมกับปุ๋ยอินทรีย์. วารสารพระจอมเกล้า. 38(1): 72-81.

นุชนาฏ ตันวรรณ สายน้ำ อุดพ้วย สมฤทัย ตันเจริญ วนิดา โนบรรเทา วิลัยรัตน์ แป้นแก้ว. 2566. ผลของการใช้ปุ๋ยโพแทชต่อการสังเคราะห์แสง การดูดใช้ธาตุอาหาร และผลผลิตของถั่วเขียวพันธุ์ชัยนาท 3 ที่ปลูกในดินเหนียว จังหวัดชัยนาท. หน้า 2025-2034. ใน: รายงานการประชุมวิชาการระดับชาติ ครั้งที่ 20. 7-8 ธันวาคม 2566 ณ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน.

นิษฐา คูหะธรรมคุณ และ สายันต์ แสงสุวรรณ. 2560. ปุ๋ยควบคุมการปลดปล่อยยูเรียเพื่อประยุกต์ใช้ในการเกษตรกรรม. วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี. 19: 32-44.

บูรณา วงษาราม, อรุณศิริ กำลัง, จันทร์จรัส วีรสาร และรจนา ตั้งกุลบริบูรณ์. 2558. ผลของการจัดการดินด้วยปุ๋ยอินทรีย์และปุ๋ยเคมีต่อการเจริญเติบโต และผลผลิตข้าวโพดเลี้ยงสัตว์พันธุ์สุวรรณ 4452. 4:14-28.

บังอร อุบล ศุภชัย อำคา และเครือมาส สมัครการ. 2555. ผลของการไถพรวนและการจัดการเศษเหลือพืชต่อการเจริญเติบโต ผลผลิต และการกักเก็บคาร์บอนในพืชและดินในการทำนา. วารสารดินและปุ๋ย. 34(1-4):17-26.

พรนภา ขาวมาก, สุชัญญา เจริญเส็ง, สุภาพร สุภีโส, และอรรถศิษฐ์ วงศ์มณีโรจน์. 2561. การประเมินอัตราปุ๋ยที่เหมาะสมในการผลิตข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ที่ปลูกในชุดดินตาคลี. วารสารดินและปุ๋ย. 40: 39-48.

วนิดา โนบรรเทา แววตา พลกุล นงลักษณ์ ปั้นลาย และนารุโอะ มัตสุโมโตะ. 2566. ผลของการจัดการดินและปุ๋ยต่อการกักเก็บคาร์บอนในดิน และการปล่อยคาร์บอนไดออกไซด์ในพื้นที่ปลูกข้าวโพดเลี้ยงสัตว์. วารสารวิชาการเกษตร. 41(2):203–215.

วีณา นิลวงศ์. 2561. ศึกษาการปลดปล่อยไนโตรเจนที่เป็นประโยชน์ต่อพืชในดินที่มีการใช้ปุ๋ยอินทรีย์ชนิดต่าง ๆ. วารสารเกษตรพระจอมเกล้า. 36: 178-188.

ศุภกาญจน์ ล้วนมณี. 2559. ปริมาณความต้องการน้ำของพืชไร่. ศูนย์วิจัยพืชไร่นครสวรรค์ สถาบันวิจัยพืชไร่และพืชทดแทนพลังงาน กรมวิชาการเกษตร. แหล่งที่ข้อมูล: https://www.doa.go.th/fc/nakhonsawan/?p=4718. สืบค้น: 19 ตุลาคม 2567.

ศุภกาญจน์ ล้วนมณี วนิดา โนบรรเทา ดาวรุ่ง คงเทียน สุทัศนีย์ วงศ์คุปไทย ศรีสุดา ทิพยรักษ์ ชยันต์ ภักดีไทย วัลลีย์ อมรพล พรพรรณ สุทธิแย้ม กอบเกียรติ ไพศาลเจริญ สมควร คล้องช้าง และคณะ. 2560. การสร้างธนาคารคาร์บอนในพื้นที่ปลูกพืชไร่และพืชทดแทนพลังงาน. รายงานโครงการวิจัย. กรมวิชาการเกษตร. รายงานโครงการวิจัยสิ้นสุดประจำปีงบประมาณ พ.ศ. 2560 กรมวิชาการเกษตร. 122 หน้า.

สุพัตรา ชาวกงจักร นิมิตร วงศ์สุวรรณ ศศิธร ประพรม และนฤทัย วรสถิตย์. 2566. ลดต้นทุนการใช้ปุ๋ยเคมีและเพิ่มผลผลิตมันสำปะหลัง ด้วยเทคโนโลยีการใช้ปุ๋ยในแหล่งปลูกจังหวัดกาฬสินธุ์. วารสารแก่นเกษตร ฉบับพิเศษ. 1:116-123.

สุภาวดี หนูสิน. 2564. ผลกระทบจากการใช้ปุ๋ยเคมีทางการเกษตร. วารสารบริหารการพัฒนานวัตกรรมเชิงบูรณาการ. 1:34-43.

สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร. 2567. สารสนเทศเศรษฐกิจการเกษตรรายสินค้า ปี 2566. สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์. 97 หน้า.

เสน่ห์ เครือแก้ว อำนาจ ชินเชษฐ เฉลียว ดิษฐสันเทียะ สมพงษ์ ดิษฐสันเทียะ และอหิญญา อมรจันทร์. 2537. การเจริญเติบโตและผลผลิตของข้าวโพดเมื่อปลูกร่วมกับถั่วเขียว และมีการแข่งขันกับหญ้ายางในสภาพไร่และมีฝนตกน้อย. วารสารวิชาการเกษตร. 12(3):203–212.

เอกพล ธรรนุส ธนวัฒน์ เสนเผือก อรุณทิพย์ เหมะธุลิน สุรศักดิ์ บุญแต่ง และสกุลกานต์ สิมลา. 2559. ผลของปุ๋ยชีวภาพพีจีพีอาร์ 1 ร่วมกับปุ๋ยเคมีต่อผลผลิตเมล็ดของข้าวโพดข้าวเหนียวสีม่วง. วารสารพืชศาสตร์ สงขลานครินทร์. 3(ฉบับพิเศษ):M04/54-59.

Awgchew, H., S. Beyene and A. Kifilu. 2024. Potassium adsorption capacity and desorption kinetics in soils of Qenberenaweti sub-watershed, central highlands of Ethiopia. Heliyon. 10: e31336

Biswas, D., A.K. Chakraborty, V. Srivastava and A. Mandal. 2024. Plant growth promoting rhizobacterial (PGPR): Reports on their colonization, beneficial activities, and use as bioinoculant. Advances in Agriculture. 1:8173024.

Bouyoucos, G. J. 1962. Hydrometer method improved for making particle size analysis of soils. Agronomy Journal, 54: 464-465.

Chipomho, J., J. T. Rugare, S. Mabasa, S. Zingore, A. B. Mashingaidze and R. Chikowo. 2020. Short–term impacts of soil nutrient management on maize (*Zea mays* L.) productivity and weed dynamics along a toposequence in Eastern Zimbabwe. Heliyon. 6(10):e05223.

Djaman, K., S. Irmak, D.L. Martin, R.B. Ferguson and M.L. Bernards. 2013. Plant nutrient uptake and soil nutrient dynamics under full and limited irrigation and rainfed maize production. Agronomy journal. 105(2): 527-538.

Gao, C., A.M. El-Sawah, D.F. Ismali Ali, Y.A. Hamoud, H. Shaghaleh and M.S. Sheteiwy. 2020. The integration of bio and organic fertilizers improve plant growth, grain yield, quality and metabolism of hybrid maize (*Zea mays* L.). Agronomy. 10: 319.

Govindasamy, P., S.K. Muthusamy, M. Bagavathiannan, J. Mowrer, P.T.K. Jagannadham, A. Maity, H.M. Halli, S.G. K, R. Vadivel, D.T. K, R. Raj, V. Pooniya, S. Babu, S.S. Rathore, M. L and G. Tiwari. 2023. Nitrogen use efficiency-a key to enhance crop productivity under a changing climate. Frontiers in Plant Science. 14:1121073.

Koomson, E., T. Muoni, C. Marohn, G. Nziguheba, I. Öborn, and G. Cadisch. 2020. Critical slope length for soil loss mitigation in maize-bean cropping systems in SW Kenya. Geoderma Regional. 22: e00311.

Motasim, A.M., A.W. Samsuri, A. Nabayi, A. Akter, M.A. Haque, A.S.A. Sukor and A.M. Adibah. 2024. Urea application in soil: processes, losses, and alternatives—a review. Discover Agriculture. 2(42).

Mustafa, A., X. Hu. M. M. Abrar, S. A. A. Shah, S. Nan, Q. Saeed, M. Kamran, M. Naveed, M. Conde–Cid, G. Hongjun, Z. Ping and X. Minggang. 2021. Long–term fertilization enhanced carbon mineralization and maize biomass through physical protection of organic carbon in fractions under continuous maize cropping. Applied Soil Ecology.165:103971.

Olaniyan, F.T., E.T. 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. Annals of Microbiology. 72: 45.

Pahalvi, H.N., L. Rafiya, S. Rashid, B. Nisar and A.N. Kamili. 2021. Chemical Fertilizers and Their Impact on Soil Health. *In* Microbiota and Biofertilizers (eds. Dar, G.H., Bhat, R.A., Mehmood, M.A., Hakeem, K.R.) Vol 2. Springer, Cham.

Panda, R.K, S.K. Behera and P.S. Kashyap. 2004. Effective management of irrigation water for maize under stressed conditions. Agricultural Water Management. 66:181–203.

Tao, R., Y. Liang, S. Wakelin and G. Chu. 2015. Supplementing chemical fertilizer with an organic component increases soil biological function and quality. Applied Soil Ecology. 96: 42-51.

Uzoh, I., C.A. Igwe, C.B. Okebalama and O.O. Babalola. 2019. Legume–maize rotation effect on maize productivity and soil fertility parameters under selected agronomic practices in a sandy loam soil. Scientific Report. 9, 8539.

Waha, K, J.P. Dietrich, F.T. Portmann, S. Siebert, P.K. Thornton, A. Bondeau and M. Herrero. 2020. Multiple cropping systems of the world and the potential for increasing cropping intensity. Global Environmental Change. 64:102131.

Wei, Q., Q. Wei, J. Xu, Y. Liu, D. Wang, S. Chen, W. Qian, M. He, P. Chen, X. Zhou and Z. Qi. 2024. Nitrogen losses from soil as affected by water and fertilizer management under drip irrigation: Development, hotspots and future perspectives. Agricultural Water Management. 296:108791.

ผลงานวิจัยเด่นปี พ.ศ. 2565-2568

ศูนย์วิจัยและพัฒนาปัจจัยการผลิตทางการเกษตรขอนแก่น

ผลการฝึกอบรมเกษตรกรภายใต้โครงการการผลิตอ้อยโรงงานและอ้อยคั้นน้ำ ทางเลือกการสร้างรายได้อย่างยั่งยืนตามแนวทาง BCG Model

Results of training for farmers under the sugarcane factory and sugarcane juice production project, an alternative for creating sustainable income according to the BCG Model

สรรเสริญ เสียงใส[1/] อรัญญ์ ขันติยวิชย์[1/] จริยาภรณ์ ทิพโชติ[1/] ชราภรณ์ สุวรรณกูฎ[1/]

ณิชาภา สวนดี[1/] อุชฎา สุขจันทร์[1/]

Sansoen Siangsai[1/] Aran Khuntiyawit[1/] Jariyaporn tipchote[1/] Watcharaporn Suwannakoot[1/]

Nichapha Suandee[1/] Uchada Sukchan[1/]

ABSTRACT

The farmer training project under the topic of effective fertilizer use in sugarcane and sugarcane juice cultivation was held on March 5, 2025 at the Khon Kaen Agricultural Production Sciences Research and Development Center. There were 90 farmers participating. From the areas of Khao Suan Kwang District and Mancha Khiri District, Khon Kaen Province, with the objective of enhancing knowledge, understanding and skills in fertilizer management, soil improvement and selection of sugarcane varieties Disease and insect management, including cost reduction and productivity enhancement approaches based on academic principles and the BCG Model approach. Results of the operation showed that most farmers have more than 20 years of sugarcane growing experience but still rely primarily on chemical fertilizers, while the use of organic and biological fertilizers remains low. Average yields are mostly in the range of 8–10 tons per rai. After the training, farmers had significantly increased knowledge and understanding, particularly in fertilizer selection based on soil analysis and proper sugarcane variety management. Participants' satisfaction was rated at the "highest" level (average 4.15–4.92). Both in terms of content, transmission process, venue readiness and staff performance. In summary, the project can transfer appropriate knowledge to farmers, which farmers can effectively apply in their

[1] ศูนย์วิจัยและพัฒนาปัจจัยการผลิตทางการเกษตรขอนแก่น

[1] Khon Kaen Agricultural Production Sciences Research and Development Center

actual fields, helping to reduce production costs and increase product quality and enhance the sustainability of sugarcane production, both in the factory and in the sugarcane juice press, which will lead to the creation of stable income for farmers in the area in the future.

Key word : training farmers sugarcane factory sugarcane juice BCG Model

บทคัดย่อ

โครงการฝึกอบรมเกษตรกรภายใต้หัวข้อ การใช้ปุ๋ยอย่างมีประสิทธิภาพในการปลูกอ้อยโรงงานและอ้อยคั้นน้ำ จัดขึ้นเมื่อวันที่ 5 มีนาคม 2568 ณ ศูนย์วิจัยและพัฒนาปัจจัยการผลิตทางการเกษตรขอนแก่น มีเกษตรกรเข้าร่วมจำนวน 90 ราย จากพื้นที่อำเภอเขาสวนกวางและอำเภอมัญจาคีรี จังหวัดขอนแก่น โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อเสริมสร้างความรู้ ความเข้าใจ และทักษะด้านการจัดการปุ๋ย การปรับปรุงดิน การเลือกใช้พันธุ์อ้อย การจัดการโรคและแมลง รวมถึงแนวทางลดต้นทุนและเพิ่มผลผลิตตามหลักวิชาการและแนวทาง BCG Model ผลการดำเนินงานพบว่า เกษตรกรส่วนใหญ่มีประสบการณ์ปลูกอ้อยมากกว่า 20 ปี แต่ยังคงพึ่งพาปุ๋ยเคมีเป็นหลัก ขณะที่การใช้ปุ๋ยอินทรีย์และชีวภาพยังมีสัดส่วนต่ำ ผลผลิตเฉลี่ยส่วนใหญ่อยู่ในระดับ 8–10 ตันต่อไร่ ภายหลังการฝึกอบรม เกษตรกรมีความรู้และความเข้าใจเพิ่มขึ้นอย่างชัดเจน โดยเฉพาะด้านการเลือกใช้ปุ๋ยตามค่าวิเคราะห์ดินและการจัดการพันธุ์อ้อยที่ถูกต้อง การประเมินความพึงพอใจของผู้เข้าร่วมอยู่ในระดับ “มากที่สุด” (ค่าเฉลี่ย 4.15–4.92) ทั้งในด้านเนื้อหา กระบวนการถ่ายทอด ความพร้อมของสถานที่ และการปฏิบัติงานของเจ้าหน้าที่ โดยสรุป โครงการสามารถถ่ายทอดองค์ความรู้ที่เหมาะสมให้แก่เกษตรกร และเกษตรกรสามารถนำไปประยุกต์ใช้ในแปลงจริงได้อย่างมีประสิทธิภาพ ช่วยลดต้นทุนการผลิต เพิ่มคุณภาพผลผลิต และเสริมสร้างความยั่งยืนของการผลิตอ้อยทั้งโรงงานและอ้อยคั้นน้ำ อันจะนำไปสู่การสร้างรายได้ที่มั่นคงแก่เกษตรกรในพื้นที่ต่อไป

คำสำคัญ : ฝึกอบรม เกษตรกร อ้อยโรงงาน อ้อยคั้นน้ำ BCG Model

คำนำ

จังหวัดขอนแก่น มีการปลูกพืชเศรษฐกิจหลัก ได้แก่ ข้าว อ้อย และมันสำปะหลัง อ้อยในจังหวัดขอนแก่น มีพื้นที่ปลูก ประมาณ 625,302 ไร่ (สำนักงานคณะกรรมการอ้อยและน้ำตาลทราย, 2565) ภายในจังหวัดขอนแก่นมีโรงงานน้ำตาล 2 โรงงาน ที่อำเภอหนองเรือและอำเภอน้ำพอง สามารถสร้างรายได้ให้แก่เกษตรผู้ปลูก ได้ 7,000 ล้านบาท แต่ในปี 2567 ปุ๋ยเคมีได้มีการปรับราคาขึ้นมาก ส่งผลให้เกิดผลกระทบแก่เกษตรกร การผลิตพืชชนิดต่างๆ โดยเฉพาะอ้อยมีการใช้ปุ๋ยเคมีเป็นจำนวนมาก พบว่า การผลิตอ้อยโรงงาน ใช้ปุ๋ยเคมีต่อไร่มากที่สุด ซึ่งทำให้ต้นทุนในการผลิตพืชเพิ่มสูงขึ้น นอกจากนี้การผลิตอ้อยโรงงานยังมีปัญหาโรคใบขาวแพร่ระบาดเป็นพื้นที่กว้าง ทำให้ผลผลิตอ้อยลดลงมาก แนวทางการแก้ปัญหาดังกล่าว เกษตรกรต้องใช้อ้อยพันธุ์สะอาดและส่งเสริมการปลูกอ้อยจะสามารถลดการระบาดของโรคใบขาวอ้อยได้ เกษตรกรต้องหมั่นตรวจแปลงอ้อยของตนเองเมื่อพบอ้อยที่เกิดโรคใบขาวให้กำจัดในทันที และคัดเลือกพันธุ์ที่ไม่เกิดโรคใบขาวไปปลูกในแปลงตนเอง นอกจากนี้การผลิตอ้อยที่มีการใส่ปุ๋ยเคมี ตามค่าวิเคราะห์ดิน

ร่วมกับปุ๋ยอินทรีย์และปุ๋ยชีวภาพ จะช่วยลดต้นทุนในการใช้ปุ๋ยเคมีเพียงอย่างเดียว เป็นการเพิ่มความอุดมสมบูรณ์ให้แก่ดิน ทำให้คุณภาพและปริมาณของผลผลิตเพิ่มสูงขึ้น

นอกจากอ้อยโรงงานแล้ว เกษตรกรสามารถเพิ่มรายได้จากการปลูกอ้อยคั้นน้ำ ซึ่งในจังหวัดขอนแก่นมีการผลิตอ้อยคั้นน้ำค่อนข้างน้อย แต่มีความต้องการนำท่อนอ้อยคั้นน้ำเพื่อขายน้ำอ้อยเป็นจำนวนมาก โดยอ้อยคั้นน้ำจะมีราคาสูงกว่าอ้อยโรงงาน 2-3 เท่า การผลิตอ้อยคั้นน้ำจึงเป็นอีกทางเลือกหนึ่ง ที่สามารถช่วยเพิ่มรายได้ให้แก่เกษตรกรได้ หากสามารถพัฒนาเกษตรกรผู้ปลูกอ้อยคั้นน้ำให้ลดการใช้ปุ๋ยเคมี เปลี่ยนมาส่งเสริมให้มีการใช้ปุ๋ยอินทรีย์หมักและปุ๋ยชีวภาพสำหรับอ้อยให้เพิ่มมากขึ้น โดยเฉพาะปุ๋ยชีวภาพมีต้นทุนต่ำแต่มีประสิทธิภาพสูง จะช่วยลดต้นทุนในการใช้ปุ๋ยเคมีและช่วยให้ดินมีการปรับสภาพให้มีความอุดมสมบูรณ์มากยิ่งขึ้น

การฝึกอบรมหลักสูตร "การใช้ปุ๋ยอย่างมีประสิทธิภาพในการปลูกอ้อยโรงงานและอ้อยคั้นน้ำ" จัดขึ้นเพื่อให้เกษตรกรมีความรู้ความเข้าใจเกี่ยวกับหลักการใช้ปุ๋ยที่เหมาะสม เทคนิคการบริหารจัดการธาตุอาหารพืช และแนวทางลดการใช้ปุ๋ยที่ไม่จำเป็น ทั้งนี้ เพื่อให้เกษตรกรสามารถเพิ่มผลผลิตอ้อยได้อย่างมีประสิทธิภาพ ควบคุมต้นทุน และลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม นอกจากนี้ การใช้ปุ๋ยอย่างถูกต้องและเหมาะสมตามหลักวิทยาศาสตร์จะช่วยเพิ่มคุณภาพของอ้อย ลดการสูญเสียธาตุอาหาร และเสริมสร้างความยั่งยืนให้กับระบบการผลิตอ้อย การฝึกอบรมนี้จึงเป็นแนวทางสำคัญในการพัฒนาเกษตรกรให้มีความรู้และทักษะที่สามารถนำไปประยุกต์ใช้ได้จริงในแปลงปลูกของตนเอง

อุปกรณ์และวิธีการ

การศึกษาครั้งนี้ เป็นการศึกษาเชิงบรรยาย ประกอบแบบสอบถามในกลุ่มผู้เข้าร่วมอบรมจาก ศปผ.ขอนแก่น โดยมีขั้นตอนการดำเนินการศึกษา ดังนี้

โดยเลือกเกษตรกรผู้ผลิตอ้อยภายใน จ.ขอนแก่น พื้นที่ 2 อำเภอ ได้แก่ อ.เขาสวนกวาง และ อ.มัญจาคีรี จำนวน 90 คน ในวันพุธ ที่ 5 มีนาคม 2568 ณ ห้องประชุม ชั้น 3 ศูนย์วิจัยและพัฒนาปัจจัยการผลิตทางการเกษตรขอนแก่น อำเภอเมือง จังหวัดขอนแก่น โดยเนื้อหาการฝึกอบรม ได้แก่ ชนิดของปุ๋ยและวิธีการเลือกใช้ปุ๋ยที่เหมาะสม การวิเคราะห์ดินและการปรับปรุงคุณภาพดิน เทคนิคการให้ปุ๋ยเคมี ปุ๋ยอินทรีย์และปุ๋ยชีวภาพอ้อยในระยะต่าง ๆ ของการเจริญเติบโต การจัดการน้ำเพื่อเพิ่มผลผลิตอ้อย การคำนวณต้นทุนและผลตอบแทนจากการใช้ปุ๋ยอย่างเหมาะสม และผลกระทบของการใช้ปุ๋ยเคมีต่อสิ่งแวดล้อม รูปแบบการฝึกอบรม ได้แก่ บรรยาย ซักถาม และตอบข้อซักถาม วิทยากร ศูนย์วิจัยและพัฒนาปัจจัยการผลิตทางการเกษตรขอนแก่น และ ศูนย์วิจัยพืชไร่ขอนแก่น

แบบสอบถามที่สัมภาษณ์เกษตรกร ซึ่งเป็นคำถามที่มีรูปแบบต่าง ๆ โดยแบ่งเป็น 3 ตอน ดังนี้

ตอนที่ 1 ข้อมูลลักษณะพื้นฐานทั่วไปของเกษตรกร ซึ่งได้แก่ เพศ อายุ และระดับการศึกษา ซึ่งเป็นคำถามแบบเลือกตอบและเติมคำ

ตอนที่ 2 ข้อมูลด้านเกษตรกรรมของเกษตรกร ได้แก่ สภาพพื้นที่ เช่น แหล่งน้ำ เนื้อดิน ภูมิประเทศ เป็นต้น สภาพการผลิตอ้อย เช่น ประสบการณ์ จำนวนพื้นที่ถือครอง การใช้พันธุ์อ้อย แหล่งที่มา

ของท่อนพันธุ์ อัตราการใช้ท่อนพันธุ์ วิธีการปลูก การใช้ปุ๋ยเคมี อินทรีย์ ฮอร์โมนพืช และสารเคมีกำจัดศัตรูพืช ตลอดจนข้อมูลเกี่ยวกับการผลิตอ้อย ผลผลิต และราคาในปีที่ผ่านมา

ตอนที่ 3 การยอมรับเทคโนโลยีที่ได้รับการฝึกอบรม

ผลการศึกษาและวิจารณ์

ผลจากการสัมภาษณ์เกษตรกรที่เข้าร่วมการฝึกอบรม พบว่า ตามรายละเอียดดังนี้

ลักษณะพื้นฐานทั่วไปของเกษตรกร

เพศ เกษตรกรผู้ตอบแบบสอบถามเฉลี่ยทั้งหมด ร้อยละ 28 เป็นชาย และเป็นหญิง ร้อยละ 72

อายุ เกษตรกรผู้ตอบแบบสอบถามเฉลี่ยทั้งหมด มีอายุระหว่าง 51-60 ปี มากที่สุด ร้อยละ 52 รองลงมาเกษตรกรมีอายุระหว่าง 41-50 ปี ร้อยละ 32 และระหว่าง 31-40 ปี ร้อยละ 16

ระดับการศึกษา เกษตรกรผู้ตอบแบบสอบถามเฉลี่ยทั้งหมด ร้อยละ 79 จบการศึกษาในระดับประถมศึกษา รองลงมา คือ จบการศึกษาในระดับมัธยมศึกษา ร้อยละ 21 (Table 1)

ข้อมูลด้านเกษตรกรรมของเกษตรกร

จากการศึกษาข้อมูลด้านเกษตรกรรมของเกษตรกรผู้ตอบแบบสอบถาม ในส่วนของสภาพพื้นที่การปลูกอ้อย ดังนี้

สภาพพื้นที่ เกษตรกรผู้ตอบแบบสอบถามเฉลี่ยทั้งหมด ร้อยละ 69 มีสภาพพื้นที่ดอน รองลงมา คือ เป็นที่กึ่งลุ่มกึ่งดอน ร้อยละ 23 และ มีสภาพพื้นที่นา ร้อยละ 8

แหล่งน้ำ เกษตรกรส่วนใหญ่อาศัยน้ำฝนในการปลูกอ้อย ร้อยละ 100

สภาพของเนื้อดิน เกษตรกรผู้ตอบแบบสอบถามเฉลี่ยทั้งหมด ร้อยละ 90.9 พื้นที่มีสภาพเป็นเนื้อดินร่วนปนทราย รองลงมา ร้อยละ 9.1 มีสภาพเป็นเนื้อดินร่วนปนเหนียว

ข้อมูลด้านเกษตรกรรมของเกษตรกร ในส่วนของการผลิตอ้อย

ประสบการณ์ในการปลูกอ้อย เกษตรกรผู้ตอบแบบสอบถามเฉลี่ยทั้งหมด ส่วนใหญ่ ร้อยละ 81 มีประสบการณ์ในการปลูกอ้อยมากกว่า 20 ปี รองลงมา ร้อยละ 10 มีประสบการณ์ในการปลูกอ้อย 16-20 ปี และร้อยละ 9 มีประสบการณ์ในการปลูกอ้อย น้อยกว่า 15

จำนวนพื้นที่ถือครองปลูกอ้อย เกษตรกรผู้ตอบแบบสอบถามเฉลี่ยทั้งหมด ส่วนใหญ่ ร้อยละ 67 มีพื้นที่ต่ำกว่า 10 ไร่ รองลงมา ร้อยละ 28 มีพื้นที่ 11-20 ไร่ และ ร้อยละ 5 มีพื้นที่มากกว่า 20 ไร่

ท่อนพันธุ์อ้อยที่ใช้ในการปลูก เกษตรกรผู้ตอบแบบสอบถามเฉลี่ยทั้งหมด ส่วนใหญ่ ร้อยละ 95 ปลูกอ้อยโดยใช้พันธุ์ขอนแก่น3 รองลงมา ร้อยละ 5 ใช้พันธุ์อื่น ๆ

แหล่งที่มาของท่อนพันธุ์อ้อยที่ใช้ในการปลูก เกษตรกรผู้ตอบแบบสอบถามเฉลี่ยทั้งหมด ส่วนใหญ่ ร้อยละ 85 มาจากเกษตรกรเก็บพันธุ์ไว้ใช้เอง รองลงมา ร้อยละ 15 ซื้อจากเพื่อนเกษตรกรและหน่วยงานราชการ

อัตราของท่อนพันธุ์อ้อยที่ใช้ในการปลูก เกษตรกรผู้ตอบแบบสอบถามเฉลี่ยทั้งหมด ส่วนใหญ่ ร้อยละ 72 ใช้ท่อนพันธุ์ปลูกในอัตรา 800-1,000 กิโลกรัมต่อไร่ รองลงมา ร้อยละ 25 ใช้ท่อนพันธุ์ปลูกในอัตรา 600-800 กิโลกรัมต่อไร่

วิธีการที่ใช้ในการปลูกอ้อย เกษตรกรผู้ตอบแบบสอบถามเฉลี่ยทั้งหมด ส่วนใหญ่ ร้อยละ 94.0 ใช้วิธีการปลูกอ้อยด้วยเครื่องปลูกอ้อย และ ร้อยละ 6.0 เลือกวิธีการปลูกอ้อยแบบว่างลำ

การใช้ปุ๋ยเคมีในการปลูกอ้อย เกษตรกรผู้ตอบแบบสอบถามเฉลี่ยทั้งหมด ส่วนใหญ่ ร้อยละ 91 ใช้ปุ๋ยเคมีในการปลูกอ้อย จำนวน 2 ครั้ง มีเพียงร้อยละ 9 ใช้ปุ๋ยเคมีในการปลูกอ้อย จำนวน 1 ครั้ง

การใช้ปุ๋ยอินทรีย์ในการปลูกอ้อย เกษตรกรผู้ตอบแบบสอบถามเฉลี่ยทั้งหมด ส่วนใหญ่ ร้อยละ 54 ใช้ปุ๋ยอินทรีย์ในการปลูกอ้อย และร้อยละ 46 ที่ไม่ใช้ปุ๋ยอินทรีย์ เกษตรกรส่วนใหญ่เลือกใช้ปุ๋ยหมัก/ปุ๋ยคอก มากที่สุด ร้อยละ 34.0

การใช้ปุ๋ยอินทรีย์ปุ๋ยชีวภาพในการปลูกอ้อย เกษตรกรผู้ตอบแบบสอบถามเฉลี่ยทั้งหมด ส่วนใหญ่ ร้อยละ 96 ไม่เคยใช้ปุ๋ยชีวภาพในการปลูกอ้อย มีเพียงร้อยละ 4 ที่เคยใช้ปุ๋ยชีวภาพในการปลูกอ้อย

การใช้สารเคมีกำจัดศัตรูพืชในการปลูกอ้อย เกษตรกรผู้ตอบแบบสอบถามเฉลี่ยทั้งหมด ส่วนใหญ่ ร้อยละ 67 ใช้สารเคมีกำจัดศัตรูพืชในการปลูกอ้อย มีเพียงเกษตรกร ร้อยละ 33 ที่ไม่ใช้สารเคมีกำจัดศัตรูพืช ส่วนใหญ่เกษตรกรใช้สารเคมีควบคุมวัชพืช

ผลผลิตอ้อย เกษตรกรผู้ตอบแบบสอบถามเฉลี่ยทั้งหมด ส่วนใหญ่ ร้อยละ 44 ผลผลิตอ้อย 8-10 ตันต่อไร่ รองลงมา ร้อยละ 38 ผลผลิตอ้อย 10-12 ตันต่อไร่ ร้อยละ 13 ผลผลิตอ้อย 12-14 ตันต่อไร่ และร้อยละ 5 ผลผลิตอ้อยมากกว่า 14 ตันต่อไร่

ผลการประเมินการยอมรับเทคโนโลยีและความพึงพอใจของผู้เข้ารับการถ่ายทอดความรู้

ความพึงพอใจและการยอมรับเทคโนโลยีจากกรมวิชาการเกษตร จาก Table 2 พบว่า เกษตรกรที่เข้ารับการฝึกอบรม จำนวน 30 ราย มีระดับความพึงพอใจในภาพรวมอยู่ในระดับ มากที่สุด โดย หัวข้อที่มีระดับความพึงพอใจเฉลี่ยสูงที่สุด คือด้านการปฏิบัติงานของเจ้าหน้าที่ผู้จัดประชุม/อบรม/สัมมนา มีระดับความพึงพอใจระดับ 4.92 รองลงมาคือด้านสถานที่/ระยะเวลา/อาหาร มีระดับความพึงพอใจระดับ 4.75 ด้านกระบวนการถ่ายทอดความรู้ มีระดับความพึงพอใจระดับ 4.70 และหัวข้อที่มีระดับความพึงพอใจ ด้านเนื้อหา/หลักสูตร มีระดับความพึงพอใจระดับ 4.15

ความคิดเห็นข้อเสนอแนะอื่นๆ ได้แก่ อยากให้มีการอบรมทุกปี ต้องการไปศึกษาดูงานเกษตรกรที่ประสบผลสำเร็จ วิทยากรถ่ายทอดความรู้ได้ดี หัวข้อที่ท่านอยากให้จัดอบรมครั้งต่อไป ได้แก่ ควรมีการอบรมเกี่ยวกับพืชอื่นๆ และ อยากให้มีการจัดฝึกอบรมในหัวข้อเทคโนโลยีและเครื่องมือทางการเกษตร

สรุปผลการทดลอง

ข้อมูลเกษตรกรผู้เข้าร่วม เพศ หญิง 72% ชาย 28% อายุ: ส่วนใหญ่อยู่ในช่วง 51–60 ปี (52%) การศึกษา จบประถมศึกษา 79% ประสบการณ์ปลูกอ้อย ส่วนใหญ่ปลูกอ้อยมากกว่า 20 ปี (81%) พื้นที่ปลูก ส่วนใหญ่ต่ำกว่า 10 ไร่ (67%) พันธุ์อ้อยที่ใช้: ขอนแก่น 3 (95%) การจัดการดินและปุ๋ย: ใช้ปุ๋ยเคมี

2 ครั้ง/รอบปลูก (91%) ใช้ปุ๋ยอินทรีย์ 54% (ส่วนใหญ่เป็นปุ๋ยหมัก/คอก) ใช้ปุ๋ยชีวภาพเพียง 4% ผลผลิตเฉลี่ย: 8–10 ตัน/ไร่ (44%) ผลการประเมินความพึงพอใจและการยอมรับเทคโนโลยี ความพึงพอใจภาพรวม อยู่ในระดับมากที่สุด คะแนนเฉลี่ยด้านการปฏิบัติงานของเจ้าหน้าที่ 4.92 สถานที่/เวลา/อาหาร 4.75 กระบวนการถ่ายทอดความรู้ 4.70 เนื้อหา/หลักสูตร: 4.15 และมีข้อเสนอแนะ อยากให้จัดอบรมทุกปี ต้องการศึกษาดูงานเกษตรกรที่ประสบความสำเร็จ อยากให้เพิ่มหัวข้อเกี่ยวกับพืชอื่น ๆ และเทคโนโลยีการเกษตร

การนำไปใช้ประโยชน์

เกษตรกรที่เข้ารับการฝึกอบรมสามารถนำความรู้ที่ได้ไปปฏิบัติได้อย่างถูกต้อง เหมาะสม สามารถการเก็บตัวอย่างดินและวิเคราะห์ดิน คุณสมบัติและการเลือกใช้ปุ๋ยตามค่าวิเคราะห์ดิน จัดการท่อนพันธุ์การเขตกรรม การป้องกันกำจัดโรคและแมลงศัตรูในการผลิตอ้อยอย่างถูกวิธีและมีประสิทธิภาพ พึ่งพาตัวเองได้อย่างยั่งยืน

เอกสารอ้างอิง

วิเชียร เกตุสิงห์. 2538. ค่าเฉลี่ยกับการแปลความหมาย; เรื่องง่ายๆที่บางครั้งก็พลาดได้. ข่าวสารการวิจัยการศึกษา.18(2): 8-11.

สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร. 2565. รายงานสถานการณ์การปลูกอ้อย ปีการผลิต 2564/65. กลุ่มเทคโนโลยีสารสนเทศและการสื่อสาร กองยุทธศาสตร์และแผนงาน สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร.

Table 1 General information of trainees

General basic characteristics of farmers	Training participant	
	(n= 90)	percentage
1. เพศของท่าน		
ชาย	25	23
หญิง	65	77
2. ท่านมีอายุอยู่ในช่วงใด		
ต่ำกว่า 20 ปี	0	0
20 - 30 ปี	0	0
31 - 40 ปี	14	16
41 - 50 ปี	29	32
51 ขึ้นไป	47	52
3. ท่านได้รับการศึกษาในระดับใด		

General basic characteristics of farmers	Training participant	
	(n= 90)	percentage
ประถมศึกษา	71	79
มัธยมศึกษาตอนปลายหรือเทียบเท่า	19	21
อนุปริญญาหรือเทียบเท่า	0	0
ปริญญาตรี	0	0
สูงกว่าปริญญาตรี	0	0
4. ท่านทำอาชีพอะไร		
เกษตรกร	90	100
ข้าราชการ	0	0
ลูกจ้าง	0	0
พนักงานของรัฐ รัฐวิสาหกิจ	0	0
ธุรกิจส่วนตัว	0	0
5. เกษตรกรปลูกพืชกี่ชนิด (เกษตรกร โปรดระบุ)		
ปลูกพืชชนิดเดียว	0	0
ปลูกพืช 2 ชนิด	17	19
ปลูกพืชมากกว่า 2 ชนิด	73	81

Table 2. Satisfaction level and acceptance of technology from the Department of Agriculture among farmers who received training.

2.1 Content/Curriculum Satisfaction	average	S.D.	Satisfaction
1. ความรู้ ความเข้าใจ ก่อน การประชุม/อบรม/สัมมนา	2.53	0.42	พึงพอใจปานกลาง
2. ความรู้ ความเข้าใจ หลัง การประชุม/อบรม/สัมมนา	4.75	0.55	พึงพอใจมากที่สุด
3. ความรู้ ความเข้าใจที่นำเสนอแต่ละหัวข้อ	4.58	0.54	พึงพอใจมากที่สุด
4. ประโยชน์ที่ท่านได้รับจากการประชุม/อบรม/สัมมนา	4.75	0.52	พึงพอใจมากที่สุด
เฉลี่ย	**4.15**	**0.51**	**พึงพอใจมาก**

2.2 Satisfaction with knowledge transfer process	average	S.D.	Satisfaction
1. การถ่ายทอดความรู้มีความชัดเจน	4.71	0.53	พึงพอใจมากที่สุด
2. การสร้างบรรยากาศในการประชุม/อบรม/สัมมนา	4.67	0.54	พึงพอใจมากที่สุด
3. ความครบถ้วนของเนื้อหาในการประชุม/อบรม/สัมมนา	4.73	0.51	พึงพอใจมากที่สุด

4. เปิดโอกาสให้ผู้เข้าร่วมประชุม/อบรม/สัมมนาแสดงความคิดเห็น	4.65	0.49	พึงพอใจมากที่สุด
5. การใช้เวลาตามที่กำหนดไว้	4.72	0.52	พึงพอใจมากที่สุด
เฉลี่ย	**4.70**	**0.52**	**พึงพอใจมากที่สุด**

2.3 Satisfaction with location / time / food	average	S.D.	Satisfaction
1. สถานที่และสภาพแวดล้อมมีความเหมาะสม	4.65	0.73	พึงพอใจมากที่สุด
2. ความพร้อมของอุปกรณ์โสตทัศนูปกรณ์ต่างๆ	4.75	0.52	พึงพอใจมากที่สุด
3. ระยะเวลาในการอบรมมีความเหมาะสม	4.72	0.52	พึงพอใจมากที่สุด
4. อาหาร และเครื่องดื่มต่างๆ มีความเหมาะสม	4.86	0.53	พึงพอใจมากที่สุด
เฉลี่ย	**4.75**	**0.58**	**พึงพอใจมากที่สุด**

2.4 Performance satisfaction of meeting/training/seminar organizer	average	S.D.	Satisfaction
1. การบริการ/การอำนวยความสะดวกของเจ้าหน้าที่	4.91	0.45	พึงพอใจมากที่สุด
2. ความรวดเร็วในการให้บริการของเจ้าหน้าที่	4.93	0.38	พึงพอใจมากที่สุด
เฉลี่ย	**4.92**	**0.42**	**พึงพอใจมากที่สุด**

หมายเหตุ ค่าคะแนนเฉลี่ยมีเกณฑ์ดังนี้

ค่าเฉลี่ย 1.00-1.80 หมายถึงมีความพึงพอใจอยู่ในระดับน้อยที่สุด

ค่าเฉลี่ย 1.81-2.60 หมายถึงมีความพึงพอใจอยู่ในระดับน้อย

ค่าเฉลี่ย 2.61-3.40 หมายถึงมีความพึงพอใจอยู่ในระดับปานกลาง

ค่าเฉลี่ย 3.41-4.20 หมายถึงมีความพึงพอใจอยู่ในระดับมาก

ค่าเฉลี่ย 4.21-5.00 หมายถึงมีความพึงพอใจอยู่ในระดับมากที่สุด

(วิเชียร, 2538)

ผลงานวิจัยเด่นปี พ.ศ. 2565-2568

กลุ่มวิจัยวัตถุมีพิษการเกษตร

วิจัยและพัฒนาประสิทธิภาพสูตรผลิตภัณฑ์ผสมสะเดาและว่านน้ำด้วยนาโนเทคโนโลยี เพื่อป้องกันกำจัดหนอนใยผัก

The development and efficacy of mixed neem (*Azadirachta indica* A. Juss.) and sweet flag (*Acorus Calamus* L.) extract nanoemulsion formulation for controlling diamondback moth (*Plutella xylostella* L.)

สุทิศา เงินเรืองโรจน์* ลักษมี เดชานุรักษ์นุกูล ธิติยาภรณ์ อุดมศิลป์ พจนีย์ หน่อฝั้น

Suthisa Ngoenrueangrot* Laksamee Dachanuraknukul Thitiyaporn Udomsilp Poachanee Norfun

ABSTRACT

Nanotechnology is used to develop plant extracts into product formulas to increase efficiency in pest control. This study investigated the impact on nanoemulsion preparation, including ratios of surfactant and the physical and chemical stability of the formulated product. The study found that the optimized formula consisted of 60% (v/v) mixed extract, 20% (v/v) surfactant, and 20% (v/v) water, which provided the mean particle size of 89.5 nm, more physically stable, maintained homogeneous emulsion, indicated for stability under accelerated conditions at 25°C and 54°C. The efficiency of the formulated product against the diamondback moth larvae was determined with a leaf-dipping method at the rate of 10-80 ml in 20 L of water, it was found that the mixed extract formula and the nanoemulsion formula were effective for controlling diamondback moth larvae under the laboratory conditions. This study demonstrated to provide alternative options for farmers to reduce agrochemicals and their impact on the environment. In addition, it uses resources to achieve maximum performance.

Keywords: Neem; *Acorus Calamus*; Nanoemulsion; *Plutella xylostella* L.; Chinese kale

กองวิจัยพัฒนาปัจจัยการผลิตทางการเกษตร กรมวิชาการเกษตร กรุงเทพฯ

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

***Corresponding author: s.ngoenrueangrot@gmail.com**

บทคัดย่อ

การนำสารสกัดพืชมาพัฒนาเป็นสูตรผลิตภัณฑ์เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการป้องกันกำจัดศัตรูพืช โดยใช้นวัตกรรมนาโนเทคโนโลยี การพัฒนาผลิตภัณฑ์ผสมสารสกัดสะเดาและว่านน้ำนาโนอิมัลชันเพื่อป้องกันกำจัดหนอนใยผัก ปัจจัยที่มีผลต่อการเตรียมสูตรผลิตภัณฑ์ในรูปแบบนาโนอิมัลชัน ได้แก่ อัตราส่วนที่เหมาะสมของสารลดแรงตึงผิว การลดขนาดอนุภาคของสารให้อยู่ในระดับนาโน และความคงตัวทางกายภาพและทางเคมีของสูตรผลิตภัณฑ์ จากการศึกษาพบว่าสูตรผลิตภัณฑ์ผสมสะเดาว่านน้ำนาโนอิมัลชัน ประกอบด้วยสารสกัดผสมสะเดา ว่านน้ำร้อยละ 60 โดยปริมาตร สารลดแรงตึงผิวร้อยละ 20 โดยปริมาตร และน้ำร้อยละ 20 โดยปริมาตร มีขนาดอนุภาคเฉลี่ย 89.5 nm มีความคงตัวดี ไม่เกิดการแยกชั้นในสภาวะเร่งที่ 54 °C สามารถกระจายตัวในน้ำได้ดี เมื่อทดสอบประสิทธิภาพของสูตรผลิตภัณฑ์ผสมสะเดาว่านน้ำนาโนอิมัลชันต่อหนอนใยผักวัย 2 ด้วยวิธีจุ่มใบในอัตราส่วน 10-80 มล.ต่อน้ำ 20 ลิตร พบว่าสูตรผลิตภัณฑ์ผสมสะเดาว่านน้ำและสูตรผลิตภัณฑ์ผสมสะเดาว่านน้ำนาโนอิมัลชันมีประสิทธิภาพในป้องกันกำจัดหนอนใยผักได้ดีในสภาพห้องปฏิบัติการ การพัฒนาสูตรผลิตภัณฑ์ผสมสะเดาว่านน้ำนาโนอิมัลชันเป็นการเพิ่มทางเลือกให้แก่เกษตรกรเพื่อลดการใช้สารเคมี ลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม และเป็นการใช้ประโยชน์จากทรัพยากรที่มีอยู่ให้เกิดประโยชน์สูงสุด

คำสำคัญ: สะเดา; ว่านน้ำ; นาโนอิมัลชัน; หนอนใยผัก; คะน้า

บทนำ

ในปัจจุบันภาคการเกษตรยังคงพึ่งพาสารกำจัดแมลงสังเคราะห์เพื่อควบคุมการระบาดของศัตรูพืช ซึ่งส่งผลกระทบในระยะยาวต่อสุขภาพของผู้บริโภค สิ่งแวดล้อม และยังนำไปสู่ปัญหาการดื้อยาของแมลง ด้วยเหตุนี้การวิจัยและพัฒนาสารกำจัดแมลงศัตรูพืชจากสารสกัดพืชจึงเป็นแนวทางที่ได้รับความสนใจอย่างกว้างขวาง เนื่องจากเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม ย่อยสลายได้ง่ายในสิ่งแวดล้อม พืชสมุนไพรหลายชนิดในประเทศไทยมีศักยภาพในการนำมาพัฒนาเป็นสารกำจัดแมลงชีวภาพ (biopesticides) โดยเฉพาะอย่างยิ่ง สะเดา (*Azadirachta indica*) และว่านน้ำ (*Acorus calamus*) สารสกัดจากสะเดาเป็นที่รู้จักอย่างแพร่หลายว่ามีสารออกฤทธิ์หลักคืออาซาดิเรชติน (azadirachtin) สารนี้พบมากที่สุดในเมล็ดของสะเดา และออกฤทธิ์ในการควบคุมแมลงได้หลายรูปแบบ ได้แก่ การยับยั้งการกินอาหาร (antifeedant) โดยจะไปรบกวนการทำงานของประสาทรับรสในปากของแมลง (Fernandes et al., 2019) การรบกวนการเจริญเติบโต (insect growth regulator) โดยจะไปยับยั้งกระบวนการลอกคราบและการเปลี่ยนแปลงรูปร่างของแมลง ทำให้หนอนไม่สามารถลอกคราบได้ตามปกติ และจะตายในที่สุด และการลดการสืบพันธุ์ โดยจะมีผลต่อการสร้างฮอร์โมนที่ควบคุมการผลิตไข่ของแมลงตัวเต็มวัย ทำให้ปริมาณการวางไข่และการฟักไข่ลดน้อยลง (Chaudhary et al., 2017) และสารสกัดว่านน้ำ มีสารออกฤทธิ์สำคัญ คือ เบต้า-อาซาโรน (β-asarone) ซึ่งมีคุณสมบัติเป็นสารกำจัดแมลงและสารไล่แมลง สารนี้พบมากที่สุดในเหง้าของว่านน้ำ มีฤทธิ์เป็นพิษโดยตรงต่อแมลง ทำให้แมลงตายในที่สุด เป็นสารไล่และยับยั้งการสืบพันธุ์ ทำให้แมลงไม่เข้าใกล้พืชที่ฉีดพ่นสาร และยังลดอัตราการวางไข่และยับยั้งการฟักไข่ของแมลงอีกด้วย นอกจากนี้ยังอาจมีผลต่อการทำงานของเอนไซม์และระบบประสาทของแมลง (Wang et al., 2022) การพัฒนาสูตรผลิตภัณฑ์ที่ประกอบด้วยสารสกัดสะเดาและว่านน้ำเข้าด้วยกันจึงเป็นแนวทางที่มีความโดดเด่นอย่างยิ่ง การทำงานร่วมกันของสารสำคัญทั้งสองชนิดทำให้เกิดกลไกการออกฤทธิ์ที่หลากหลาย (multi-mode of action) เป็นการออกฤทธิ์ที่ครอบคลุมและเสริมกัน จึงเป็นการควบคุมทั้งในระยะสั้นและระยะยาว และลดโอกาสการดื้อยาของแมลง (Koul et al., 2009) อย่างไรก็ตาม สารสกัดจากพืชทั่วไปยังมีข้อจำกัดสำคัญหลายประการ เช่น สารออกฤทธิ์ไม่คงตัวเมื่อถูกแสงแดดและอุณหภูมิสูง และส่วนใหญ่มีคุณสมบัติไม่ละลายน้ำ ทำให้การนำไปใช้จริงในภาคสนามมีประสิทธิภาพต่ำ และต้องใช้ซ้ำบ่อย ซึ่งเพิ่มค่าใช้จ่ายและแรงงาน การที่ช่วยแก้ไขข้อจำกัดดังกล่าวอย่างเห็นผล

คือการผลิตในรูปแบบนาโนอิมัลชัน (nanoemulsion) ซึ่งเป็นเทคนิคที่ทำให้สารออกฤทธิ์อยู่ในรูปของละอองขนาดนาโน (ประมาณ 10–500 นาโนเมตร) ช่วยเพิ่มความเสถียรของสารสกัด ป้องกันการระเหยหรือสลายตัวจากแสงและความร้อน และเพิ่มความสามารถในการซึมผ่านผิวแมลงหรือพืช (Thirumalaisamy et al., 2025) นอกจากนี้นาโนอิมัลชันยังเพิ่มการกระจายตัว ลดขนาดหยดให้ลอยในน้ำได้ดีขึ้น ทำให้ประสิทธิภาพในการควบคุมแมลงสูงขึ้นแต่ใช้ปริมาณสารน้อยลง ลดผลกระทบสิ่งแวดล้อม ทำให้เหมาะกับระบบเกษตรยั่งยืน (Abd-Elnabi et al., 2025) นอกจากนี้จากงานวิจัยพบว่า nanoemulsion ที่ผลิตจากน้ำมันหอมระเหยของพืช เช่น โรสแมรี่ กระดังงา น้ำมันสะเดา หรือกระเทียม มีประสิทธิภาพยับยั้งแมลงศัตรูพืชหลายชนิด เช่น เพลี้ยอ่อน แมลงหวี่ขาว ไรแดง และด้วงงวงข้าวได้สูงกว่าการใช้น้ำมันแบบปกติ (Pavoni et al., 2019) ยกตัวอย่างเช่น nanoemulsion จากน้ำมันโรสแมรี่ สามารถฆ่าไร (Tetranychus urticae) ด้วยค่า LC50 ต่ำกว่าน้ำมันในรูปแบบปกติกว่าเท่าตัว การประยุกต์ใช้ nanoemulsion จากน้ำมันสะเดา (Neem oil) มีขนาดอนุภาคประมาณ 208 nm เมื่อใช้ Tween 80 เป็นสารลดแรงตึงผิว และมี zeta potential –39 mV มีประสิทธิภาพในการทำให้ด้วงงวงข้าว (Sitophilus oryzae) และมอดแป้ง (Tribolium castaneum) ตาย 100% ภายใน 2 วัน เมื่อเทียบกับน้ำมันสะเดารูปแบบปกติที่ได้ประสิทธิภาพต่ำกว่า (Choupanian et al., 2017) และการเตรียม nanoemulsion จากน้ำมันสะเดาต่อ Tween 20 ที่อัตราส่วน 1:3 มีขนาดอนุภาค 31 nm ใช้ค่า LC50 ที่มีต่อลูกน้ำยุงลายและยุงรำคาญอยู่ที่ 11.75 mg/L แสดงถึงความเป็นพิษที่สูงมากในระดับนาโน (Anjali et al., 2012) จะเห็นได้ว่าการประยุกต์ใช้นาโนอิมัลชันกับสารสกัดพืชเพื่อควบคุมศัตรูพืชได้มีการศึกษาอย่างต่อเนื่อง โดยวัตถุประสงค์ของงานวิจัยนี้เพื่อพัฒนาผลิตภัณฑ์ผสมจากสารสกัดสะเดาและว่านน้ำในรูปนาโนอิมัลชัน เพื่อควบคุมหนอนใยผัก

อุปกรณ์และวิธีการ

อุปกรณ์

1. เมล็ดในสะเดาและเหง้าว่านน้ำ

2. สารเคมี ได้แก่ สารมาตรฐาน azadirachtin, สารมาตรฐาน β-asarone, Sorbitan Laurate, Ethoxylated sorbitan monostearate, Ethoxylated sorbitan monolaurate, Sorbitan Monooleate, Sorbitan Stearate, methanol, hexane, acetone

3. เครื่องแก้ว ได้แก่ บีกเกอร์, ขวดก้นกลม, ขวดแก้วใส, กระบอกตวง, กรวยกรอง, ขวดวัดปริมาตร, ปิเปตต์

4. เครื่องมือวิทยาศาสตร์ ได้แก่ เครื่องชั่งทศนิยม 4 ตำแหน่ง, เครื่องบดตัวอย่าง, ตู้อบตัวอย่าง, เครื่องระเหยแบบลดความดัน (rotary evaporator), เครื่องวัดอนุภาค (particle analyzer), เครื่องปั่นผสมสารความเร็วสูง (homogenizer), เครื่องวัด pH, เครื่อง HPLC และเครื่อง GC-MS

5. อุปกรณ์ทดสอบประสิทธิภาพ ได้แก่ ถาดสแตนเลส, พู่กัน, คีมคีบ, กระดาษกรอง และกล่องพลาสติก

วิธีการ

1. การเตรียมสารสกัดหยาบสะเดาและว่านน้ำ

นำเมล็ดในสะเดาผึ่งให้แห้งและนำไปบดให้ละเอียด สกัดด้วยตัวทำละลายเฮกเซนและตามด้วยตัวทำละลายเมทานอลตามลำดับ ในอัตราส่วน 1:8 กรองแยกกาก และนำสารสกัดที่ได้ไปลดปริมาตรด้วยเครื่องระเหยแบบลดความดันจนได้สารสกัดหยาบสะเดา นำสารสกัดหยาบสะเดาเก็บไว้ในขวดแก้วที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส และนำเหง้าว่านน้ำล้างทำความสะอาดและผึ่งให้แห้ง นำไปสับให้ละเอียดและสกัดด้วยวิธีการกลั่นด้วยไอน้ำ (hydrodistillation) หลังจากนั้นนำน้ำมันที่ได้ เก็บในขวดแก้วที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส

2. วิเคราะห์หาปริมาณ azadirachtin ในสารสกัดหยาบสะเดา และปริมาณ β-asarone ในสารสกัดว่านน้ำ

ตรวจวิเคราะห์หาปริมาณ azadirachtin ในสารสกัดหยาบสะเดา ด้วยเทคนิค HPLC วิเคราะห์หาปริมาณ β-asarone ในสารสกัดว่านน้ำด้วยเทคนิค GC-MS

3. เตรียมสูตรผลิตภัณฑ์สะเดาว่านน้ำนาโนอิมัลชัน

การเตรียมผลิตภัณฑ์สูตรผสมของสารสกัดสะเดาและว่านน้ำให้อยู่ในรูปแบบนาโนอิมัลชัน ซึ่งประกอบด้วยส่วนผสมของวัฏภาคน้ำมัน สารลดแรงตึงผิวและวัฏภาคน้ำ โดยผสมสารสกัดสะเดาและน้ำมันว่านน้ำในอัตราส่วน 5 ต่อ 1 โดยให้มีความเข้มข้นของ azadirachtin และ β-asarone ในสูตรผลิตภัณฑ์คงที่ที่ 0.1 % w/v

3.1 ศึกษาชนิดของสารลดแรงตึงผิว

โดยนำสารลดแรงตึงผิวชนิดต่างๆ มาทดสอบการละลายของสารสกัดผสมระหว่างสารสกัดสะเดาและน้ำมันว่านน้ำ เพื่อหาสารลดแรงตึงผิวที่เหมาะสมที่สามารถละลายได้ดีในวัฏภาคน้ำมัน สารผสมระหว่างสารสกัดสะเดาและน้ำมันว่านน้ำในอัตราส่วน 5 ต่อ 1 (วัฏภาคน้ำมัน) ผสมสารลดแรงตึงผิว ได้แก่ Ethoxylated sorbitan monostearate (S1), Ethoxylated sorbitan monolaurate (S2), Sorbitan Laurate (S3), Sorbitan Monooleate (S4), Sorbitan Stearate (S5) และเทวัฏภาคน้ำลงในวัฏภาคน้ำมัน ผสมสารให้เข้ากันด้วยเครื่องโฮโมจีไนเซอร์ สังเกตการณ์ลักษณะทางกายภาพของสูตรอิมัลชันที่เกิดขึ้น

3.2 ศึกษาอัตราส่วนระหว่างวัฏภาคน้ำมัน สารลดแรงตึงผิว และวัฏภาคน้ำ

โดยเตรียมวัฏภาคน้ำมันที่ประกอบด้วยสารสกัดสะเดาและน้ำมันว่านน้ำ ผสมกับสารลดแรงตึงผิวที่เหมาะสมเข้าด้วยกัน และเทวัฏภาคน้ำในอัตราส่วนต่างๆ ผสมสารให้เข้ากันด้วยเครื่องโฮโมจีไนเซอร์ สังเกตการละลายของส่วนผสมทั้งสอง เช่น การแยกชั้น การตกตะกอนของส่วนผสม และทดสอบการกระจายตัวในน้ำของแต่ละอัตราส่วน เพื่อหาอัตราส่วนที่เหมาะสมในการเตรียมผลิตภัณฑ์สูตรผสมสะเดาว่านน้ำนาโนอิมัลชัน

3.3 การวิเคราะห์ขนาดอนุภาคเฉลี่ย (mean particle size) และค่าศักย์ซีต้า (zeta-potential)

วิเคราะห์ขนาดอนุภาคเฉลี่ย โดยใช้เทคนิค dynamic light scattering (DLS) และค่าศักย์ซีต้าโดยเทคนิค Electrophoresis Light Scattering (ELS) ด้วยเครื่อง Zetasizer Ultra Red ตัวอย่างละ 3 ซ้ำ

3.4 ศึกษาความคงตัวของสูตรผลิตภัณฑ์สะเดาว่านน้ำนาโนอิมัลชัน

3.4.1 ทดสอบความคงตัวทางกายภาพ

ทดสอบความคงตัวของผลิตภัณฑ์สูตรผสมสะเดาว่านน้ำนาโนอิมัลชัน โดยเก็บผลิตภัณฑ์ไว้ที่อุณหภูมิห้อง และเก็บไว้ที่อุณหภูมิ 54 °C เป็นเวลา 14 วัน สังเกตการเปลี่ยนแปลงลักษณะทางกายภาพของผลิตภัณฑ์อิมัลชัน การแยกชั้น การตกตะกอน ถ้าไม่เกิดการแยกชั้น ไม่เกิดการตกตะกอน แสดงว่าอิมัลชันมีความคงตัว และวัดความหนาแน่น วัดความเป็นกรด-ด่าง (pH) ของผลิตภัณฑ์

3.4.2 ทดสอบความคงตัวทางเคมี

ศึกษาความคงตัวทางเคมีของผลิตภัณฑ์สูตรผสมสะเดาว่านน้ำนาโนอิมัลชัน โดยนำผลิตภัณฑ์ที่เก็บไว้ที่อุณหภูมิห้อง และที่อุณหภูมิ 54 °C เป็นเวลา 14 วัน มาตรวจวิเคราะห์หาปริมาณสาระสำคัญ azadirachtin ด้วยเทคนิค HPLC และ ปริมาณ β-asarone ด้วยเทคนิค GC-MS

4. ศึกษาประสิทธิภาพของผลิตภัณฑ์สูตรผสมสะเดาว่านน้ำนาโนอิมัลชันต่อหนอนใยผัก

ทดสอบประสิทธิภาพเบื้องต้นของผลิตภัณฑ์สูตรผสมสะเดาว่านน้ำนาโนอิมัลชันต่อหนอนใยผัก วางแผนการทดลองแบบ CRD จำนวน 4 ซ้ำ 7 กรรมวิธี โดยมีผลิตภัณฑ์สูตรผสมสะเดาว่านน้ำนาโนอิมัลชันที่ความเข้มข้นต่าง ๆ 6 กรรมวิธี เปรียบเทียบกับกรรมวิธีควบคุม ดังนี้

กรรมวิธีที่ 1 ผลิตภัณฑ์สูตรผสมสะเดาว่านน้ำนาโนอิมัลชัน อัตรา 10 มิลลิลิตรต่อน้ำ 20 ลิตร

กรรมวิธีที่ 2 ผลิตภัณฑ์สูตรผสมสะเดาว่านน้ำนาโนอิมัลชัน อัตรา 25 มิลลิลิตรต่อน้ำ 20 ลิตร

กรรมวิธีที่ 3 ผลิตภัณฑ์สูตรผสมสะเดาว่านน้ำนาโนอิมัลชัน อัตรา 35 มิลลิลิตรต่อน้ำ 20 ลิตร
กรรมวิธีที่ 4 ผลิตภัณฑ์สูตรผสมสะเดาว่านน้ำนาโนอิมัลชัน อัตรา 50 มิลลิลิตรต่อน้ำ 20 ลิตร
กรรมวิธีที่ 5 ผลิตภัณฑ์สูตรผสมสะเดาว่านน้ำนาโนอิมัลชัน อัตรา 70 มิลลิลิตรต่อน้ำ 20 ลิตร
กรรมวิธีที่ 6 ผลิตภัณฑ์สูตรผสมสะเดาว่านน้ำนาโนอิมัลชัน อัตรา 80 มิลลิลิตรต่อน้ำ 20 ลิตร
กรรมวิธีที่ 7 น้ำ (กรรมวิธีควบคุม)

นำผลิตภัณฑ์สูตรผสมสะเดาว่านน้ำนาโนอิมัลชันมาทดสอบฤทธิ์กับหนอนใยผักวัยที่ 2-3 โดยวิธีการจุ่มใบพืช โดยตัดใบผักคะน้าเป็นวงกลม จุ่มลงในสารตามกรรมวิธีต่าง ๆ จากนั้นนำไปใส่ในกล่องพลาสติกสำหรับทดสอบ ทำการปล่อยหนอนใยผักกล่องละ 10 ตัว ในแต่ละกรรมวิธี บันทึกผลการทดลอง โดยตรวจนับจำนวนการตายของหนอนใยผักที่ 24, 48 72 และ 96 ชั่วโมง หลังการทดลองตามลำดับ วิเคราะห์ผลประสิทธิภาพ (Abbott, 1925)

5. วิเคราะห์ข้อมูล สรุปและรายงานผล

ผลการทดลองและวิจารณ์

1. การเตรียมสารสกัดหยาบสะเดาและว่านน้ำ

นำเมล็ดในสะเดาสกัดด้วยตัวทำละลายจะได้สารสกัดหยาบสะเดา มีลักษณะสารละลายสีดำ มีความข้นหนืด โดยปริมาณสารสกัดหยาบที่ได้คิดเป็นร้อยละ 25 % v/w เมื่อนำเหง้าว่านน้ำสกัดด้วยวิธี hydrodistillation ได้น้ำมันสีเหลืองใส โดยปริมาณน้ำมันหอมระเหยที่สกัดได้คิดเป็นร้อยละ 1.2 % v/w

2. ตรวจวิเคราะห์ปริมาณ azadirachtin ในสารสกัดหยาบสะเดา และปริมาณ β-asarone ในสารสกัดว่านน้ำ

นำตัวอย่างสารสกัดหยาบสะเดาและน้ำมันว่านน้ำไปตรวจวิเคราะห์ปริมาณสารออกฤทธิ์ azadirachtin ในสารสกัดสะเดา โดยเทคนิค HPLC และวิเคราะห์หาปริมาณสารออกฤทธิ์ β-asarone ในสารสกัดว่านน้ำ โดยเทคนิค GC-MS พบว่ามีปริมาณสารสำคัญ azadiractin ในสะเดา 0.44-0.78 % w/v และ β-asarone ในน้ำมันว่านน้ำ 71.4 % w/v

3. เตรียมสูตรผลิตภัณฑ์สะเดาว่านน้ำนาโนอิมัลชัน

3.1 ศึกษาชนิดของสารลดแรงตึงผิว

สารลดแรงตึงผิวแต่ละชนิดจะมีคุณสมบัติที่แตกต่างกันในการทำให้อิมัลชันคงตัว โดยช่วยลดแรงตึงผิวระหว่างน้ำและน้ำมัน ทำให้หยดน้ำสามารถกระจายตัวล้อมรอบอยู่ในอนุภาคน้ำมัน ทำให้อิมัลชันไม่แยกตัว และไม่เกิดการแยกชั้นเกิดขึ้น ได้ ซึ่งส่งผลต่อความเสถียรของอิมัลชัน ดังนั้นจึงศึกษาชนิดของสารลดแรงตึงผิวที่สามารถละลายสารสกัดสะเดาและน้ำมันว่านน้ำได้ โดยเตรียมสารสกัดผสมสะเดาและว่านน้ำในอัตราส่วน 5 ต่อ 1 ผสมกับสารลดแรงตึงผิว ได้แก่ Ethoxylated sorbitan monostearate (S1), Ethoxylated sorbitan monolaurate (S2), Sorbitan Laurate (S3), Sorbitan Monooleate (S4), Sorbitan Stearate (S5) จากนั้นเทวัฏภาคน้ำลงไป และนำไปผสมด้วยเครื่องโฮโมจีไนเซอร์แบบใช้คลื่นเสียงความถี่สูง โดยสังเกตลักษณะทางกายภาพของสูตรผลิตภัณฑ์ที่ไม่เกิดการแยกชั้น โดยเลือกสารลดแรงตึงผิว ได้แก่ S1, S2 และ S5 (Table 1) เพื่อศึกษาอัตราส่วนของสารลดแรงตึงผิวที่เหมาะสมต่อไป

3.2 ศึกษาอัตราส่วนระหว่างวัฏภาคน้ำมัน สารลดแรงตึงผิว และวัฏภาคน้ำ

โดยเตรียมวัฏภาคน้ำมันคงที่ที่ร้อยละ 60 โดยปริมาตร ที่ประกอบด้วยสารสกัดผสมสะเดาและว่านน้ำผสมกับสารลดแรงตึงผิวที่ได้จากการศึกษาชนิดสารลดแรงตึงผิว ได้แก่ S1, S1+S5 (1:1) และ S2+S5 (1:1) ร้อยละ 5, 10 และ 20 โดยปริมาตร (Table 2) จากนั้นเทวัฏภาคน้ำพร้อมกับผสมสารละลายด้วยเครื่องโฮโมจีไนเซอร์

สังเกตการเกิดอิมัลชันหลังจากที่เตรียมเสร็จและหลังจากเตรียม 24 ชั่วโมง โดยลักษณะกายภาพ และการกระจายตัวในน้ำ พบว่าลักษณะทางกายภาพของสูตรผลิตภัณฑ์ NC1 สีน้ำตาลอ่อน ใส ไม่แยกชั้น และสูตรผลิตภัณฑ์ NC7 สีน้ำตาลเข้ม ใส ไม่แยกชั้น และมีการจายตัวได้ดีในน้ำ (Figure 1)

Table 1 Composition of Neem and Sweet flag nanoemulsion formulations and the characteristics of nanoemulsion formulations

Formulations	Ratio (%w/v)			Surfactant	Appearance
	Neem+Sweet flag extract	Water	Surfactant		
F1	60	30	10	S1	phase separation
F2	60	30	10	S2	No phase separation
F3	60	30	10	S3	phase separation
F4	60	30	10	S4	phase separation
F5	60	30	10	S5	phase separation
F6	60	30	10	S1+S3	phase separation
F7	60	30	10	S1+S4	phase separation
F8	60	30	10	S1+S5	No phase separation
F9	60	30	10	S2+S3	phase separation
F10	60	30	10	S2+S4	phase separation
F11	60	30	10	S2+S5	No phase separation

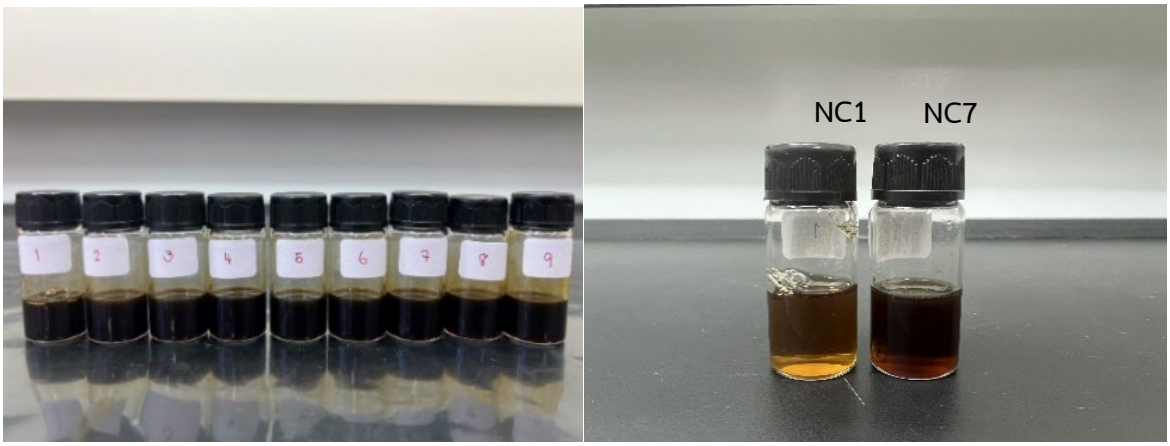


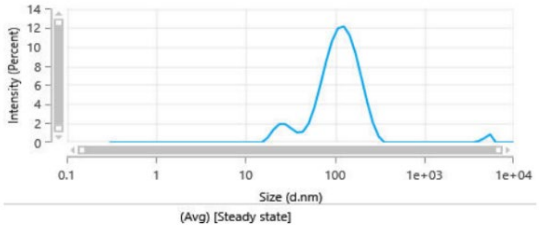
Figure 1 The mix neem and sweet flag nanoemulsion formulation samples

Table 2 Composition of Neem and Sweet flag nanoemulsion formulations and the characteristics/Evaluation of nanoemulsion formulations

Formulations	Ratio (%w/v)					Appearance		Dispersion
	Neem+Sweet flag extract	Water	Surfactant			Freshly	after 24 hours	
			S1	S2	S5			
NC1	60	35	0	5	0	No phase separation	No phase separation	Good
NC2	60	35	2.5	0	2.5	phase separation	phase separation	Good
NC3	60	35	0	2.5	2.5	No phase separation	phase separation	Good
NC4	60	30	0	10	0	No phase separation	phase separation	Good
NC5	60	30	5	0	5	No phase separation	phase separation	Good
NC6	60	30	0	5	5	No phase separation	phase separation	Good
NC7	60	20	0	20	0	No phase separation	No phase separation	Good
NC8	60	20	10	0	10	No phase separation	phase separation	Good
NC9	60	20	0	10	10	No phase separation	phase separation	Good

3.3 การวิเคราะห์ขนาดอนุภาคเฉลี่ย (mean particle size) และค่าศักย์ซีต้า (zeta-potential)

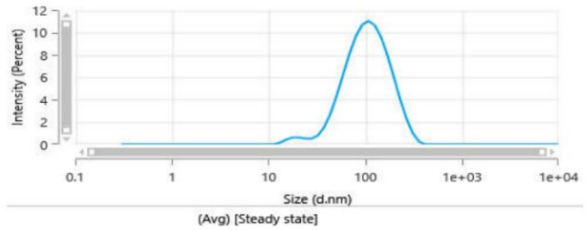
วิเคราะห์ขนาดอนุภาคและศักย์ไฟฟ้าซีต้าของสูตรผลิตภัณฑ์ NC1 และ NC7 พบว่ามีขนาดอนุภาคเฉลี่ย 96.95 และ 89.50 นาโนเมตร และมีค่าศักย์ไฟฟ้าซีต้าเฉลี่ย -13.88 และ -40.10 มิลลิโวลต์ ตามลำดับ สูตรผลิตภัณฑ์ทั้งสองมีขนาดอนุภาคอยู่ในระดับนาโน เมื่อพิจารณาค่า Zeta-potential เป็นค่าที่บอกถึงคงตัวของอิมัลชัน โดยประจุที่ล้อมรอบแต่ละอนุภาคควรมีประจุลบ เพื่อให้เกิดแรงผลักกันอ่อนๆ ระหว่างอนุภาค ลดโอกาสการเกิดการรวมตัวกันของอนุภาคในอิมัลชัน (coalescence) ที่ทำให้เกิดการแยกชั้นหรือการตกตะกอนของอนุภาคได้ ค่า Zeta-potential ที่เหมาะสมควรมากกว่า +30 มิลลิโวลต์ หรือ น้อยกว่า -30 มิลลิโวลต์ ถ้าค่ามากกว่านี้จะมีโอกาสเกิดปรากฏการณ์ coalescence ได้ จากผลการวิเคราะห์ค่า Zeta-potential พบว่าสูตรผลิตภัณฑ์ NC7 มีค่า Zeta-potential น้อยกว่า -30 มิลลิโวลต์ ซึ่งแสดงว่าสูตรผลิตภัณฑ์มีความคงตัวสูง (Figure 2) ดังนั้น นำสูตรผลิตภัณฑ์ผสมสะเดาว่านน้ำนาโนอิมัลชัน (NC7) เพื่อทดสอบความคงตัวทางกายภาพและทางเคมีในขั้นตอนต่อไป



NC1

Name	Mean	Standard Deviation	RSD	Minimum	Maximum
Z-Average (nm)	96.98	-	-	96.98	96.98
Polydispersity Index (PI)	0.2808	-	-	0.2808	0.2808
Peak One Mean by Intensity (nm)	126.8	-	-	126.8	126.8
Peak One Area by Intensity (%)	90.38	-	-	90.38	90.38
Peak Two Mean by Intensity (nm)	27.13	-	-	27.13	27.13
Peak Two Area by Intensity (%)	8.179	-	-	8.179	8.179

Name	Mean	Standard Deviation	RSD	Minimum	Maximum
Zeta Potential (mV)	-13.88	3.774	27.18	-16.55	-11.21
Conductivity (mS/cm)	0.02764	0.000117	0.4231	0.02756	0.02773
Wall Zeta Potential (mV)	-36.56	14.7	40.22	-46.95	-26.16
Quality Factor	1.148	0.2051	17.86	1.003	1.293
Zeta Peak One Mean	-30.16	19.15	63.5	-43.7	-16.62
Zeta Peak Two Mean	-10.79	-	-	-10.79	-10.79



NC7

Name	Mean	Standard Deviation	RSD	Minimum	Maximum
Z-Average (nm)	89.5	-	-	89.5	89.5
Polydispersity Index (PI)	0.2393	-	-	0.2393	0.2393
Peak One Mean by Intensity (nm)	118.4	-	-	118.4	118.4
Peak One Area by Intensity (%)	97.11	-	-	97.11	97.11
Peak Two Mean by Intensity (nm)	20.64	-	-	20.64	20.64
Peak Two Area by Intensity (%)	2.89	-	-	2.89	2.89

Name	Mean	Standard Deviation	RSD	Minimum	Maximum
Zeta Potential (mV)	-40.14	0.3167	0.7888	-40.37	-39.92
Conductivity (mS/cm)	0.02966	0.0001496	0.5044	0.02956	0.02977
Wall Zeta Potential (mV)	-22.18	1.072	4.833	-22.94	-21.42
Quality Factor	3.246	0.3753	11.56	2.981	3.512
Zeta Peak One Mean	-43.74	5.025	11.49	-47.29	-40.19
Zeta Peak Two Mean	-34.56	-	-	-34.56	-34.56

Figure 2 Particle size and Zeta Potential of sample NC1 and NC7

3.4 ทดสอบความคงตัวของสูตรผลิตภัณฑ์สะเดาว่านน้ำนาโนอิมัลชัน

3.4.1 ทดสอบความคงตัวทางกายภาพ โดยนำสูตรผลิตภัณฑ์ NC7 เก็บที่อุณหภูมิห้องเวลา 30 นาที, 2 ชั่วโมง และ 24 ชั่วโมง และที่อุณภูมิ 54 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 14 วัน สังเกตลักษณะทางกายภาพ และการกระจายตัวของสูตรผลิตภัณฑ์ในน้ำ พบว่าสูตรผลิตภัณฑ์มีความคงตัว และกระจายตัวในน้ำได้ดี (Table 3) ค่าความหนาแน่นของสูตรผลิตภัณฑ์เฉลี่ย 0.9344 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร และค่าความเป็นกรด-ด่างเฉลี่ย (pH) 4.53

Table 3 Physical characteristics of sample NC7 stored at 25 °C and 54 °C

Formulation	Appearance				Dispersion
	25°C			54°C	
	After 30 min	After 2 hrs	After 24 hrs	After 2 weeks	
NC7	No phase separation	No phase separation	No phase separation	No phase separation	Good

3.4.2 ทดสอบความคงตัวทางเคมีของสูตรผลิตภัณฑ์ โดยนำผลิตภัณฑ์ผสมสะเดาว่านน้ำนาโนอิมัลชันเก็บไว้ในสภาวะเร่งที่ 54 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 14 วัน จากนั้นนำไปตรวจวิเคราะห์ปริมาณสารสำคัญในสูตรผลิตภัณฑ์ผสมสะเดาว่านน้ำนาโนอิมัลชัน พบว่าปริมาณ azadirachtin ในสูตรผลิตภัณฑ์ NC7 ลดลง 57 % และปริมาณ β-asarone ลดลง 41 % (Table 4)

Table 4 The percent of active ingredients of sample NC7 freshly prepared and stored at 54 °C 14 days

Formulation	store	Active ingredients (%)			
		azadirachtin	remain	β-asarone	remain
NC7	Freshly	0.1	100	0.11	100
	54 °C 14 days	0.043	43	0.065	59

4. ศึกษาประสิทธิภาพของผลิตภัณฑ์สูตรผสมสะเดาว่านน้ำนาโนอิมัลชันต่อหนอนใยผักในระดับห้องปฏิบัติการ

ทดสอบประสิทธิภาพเบื้องต้นของสูตรผลิตภัณฑ์ผสมสะเดาว่านน้ำนาโนอิมัลชันต่อหนอนใยผักวัย 2 ที่ระดับความเข้มข้น 6 ระดับ ได้แก่ 10, 25, 35, 50, 70 และ 80 มิลลิลิตรต่อน้ำ 20 ลิตร โดยมีน้ำเป็นกรรมวิธีควบคุม วางแผนการทดลองแบบ CRD 4 ซ้ำ 7 กรรมวิธี ด้วยวิธีจุ่มใบ (leaf dipping methode) ทำการวิเคราะห์ข้อมูลอัตราการตายโดยใช้วิธีตาม Abbott's formula ผลการทดสอบพบว่ามีหนอนใยผักตาย 52.78-86.11% (Table 5)

Table 5 Mortality of diamondback moth after feeding on Chinese kale leaf treated with Neem and sweet flag nanoemulsion under laboratory conditions

Treatments	Rate of application (ml/20 L of water)	% corrected mortality
1. Neem+Sweet flag nanoemulsion	10	52.78b
2. Neem+Sweet flag nanoemulsion	25	53.06b
3. Neem+Sweet flag nanoemulsion	35	70.00ab
4. Neem+Sweet flag nanoemulsion	50	78.89ab
5. Neem+Sweet flag nanoemulsion	70	79.17ab
6. Neem+Sweet flag nanoemulsion	80	86.11a
7. control (water)		-
%CV		24.9

Remark: Means followed by the same letters within the column are not significantly different at 95% confidence limits based on DMRT analysis.

สรุปผลการทดลอง

การวิจัยและพัฒนาผลิตภัณฑ์สูตรผสมสะเดาว่านน้ำในรูปนาโนอิมัลชันเพื่อป้องกันกำจัดหนอนใยผัก พบว่าอัตราส่วนที่เหมาะสมในการเตรียมสูตรผลิตภัณฑ์วัฏภาคน้ำมัน ซึ่งประกอบด้วยสารสกัดผสมสะเดาและว่านน้ำร้อยละ 60 โดยปริมาตร สารลดแรงตึงผิวร้อยละ 20 โดยปริมาตร และวัฏภาคน้ำร้อยละ 20 โดยปริมาตร ผลิตภัณฑ์สูตรผสมสะเดาว่านน้ำในรูปนาโนอิมัลชันมีขนาดอนุภาคเฉลี่ย 89.50 nm มีศักย์ไฟฟ้าซีต้าเฉลี่ย -40.14 mV มีค่าความเป็นกรด-ด่างเฉลี่ย 4.53 และมีความหนาแน่นเฉลี่ย 0.9344 g/cm^3 หลังจากเก็บสูตรผลิตภัณฑ์ในสภาวะ 54°C เป็นเวลา 14 วัน ผลิตภัณฑ์สูตรผสมสะเดาว่านน้ำนาโนอิมัลชันมีความคงตัว ไม่เกิดการแยกชั้นและมีกระจายตัวในน้ำได้ดี ประสิทธิภาพสูตรผลิตภัณฑ์ผสมสะเดาว่านน้ำนาโนอิมัลชันนาโนอิมัลชันต่อหนอนใยผักที่อัตรา 80 มล.ต่อน้ำ 20 ลิตร มีประสิทธิภาพที่ทำให้หนอนใยผักตาย 86.11 % แสดงให้เห็นว่าสูตรผลิตภัณฑ์ผสมสะเดาว่านน้ำนาโนอิมัลชันมีประสิทธิภาพในการป้องกันกำจัดหนอนใยผักได้ดีในระดับห้องปฏิบัติการ ในงานวิจัยต่อไปควรทำการทดสอบประสิทธิภาพผลิตภัณฑ์ผสมสะเดาว่านน้ำนาโนอิมัลชันในระดับแปลงทดสอบ เพื่อนำไปสู่การถ่ายทอดเทคโนโลยีการผลิตและการใช้ผลิตภัณฑ์ให้แก่เกษตรกร และขยายผลต่อยอดงานวิจัยเพื่อพัฒนาประสิทธิภาพต่อแมลงศัตรูพืชชนิดอื่นๆ และเพิ่มทางเลือกในการป้องกันกำจัดศัตรูพืชที่มีความปลอดภัยต่อสุขภาพเกษตรกร ได้ผลผลิตมีความปลอดภัยต่อผู้บริโภค และลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม

เอกสารอ้างอิง

Abbott, W.S. 1925. A method for computing the effectiveness of an insecticide. *Econ Entomol*, 18, 265-267.

Abd-Elnabi, A. D., El-sawy, E. A. F., and Badawy, M. E. I. 2025. Plant oil nano-emulsions as a potential solution for pest control in sustainable agriculture. *Neotropical Entomology*, 54(1), 35.

Anjali, C. H., Sharma, Y., Mukherjee, A., and Chandrasekaran, N. 2012. Neem oil (*Azadirachta indica*) nanoemulsion a potent larvicidal agent against Culex quinquefasciatus. *Pest Management Science*, 68(2), 158–163.

Chaudhary, S., Kanwar, R. K., Sehgal, A., Cahill, D. M., Barrow, C. J., Sehgal, R., and Kanwar, J. R. 2017. Progress on *Azadirachta indica* based biopesticides in replacing synthetic toxic pesticides. *Frontiers in Plant Science*, 8, 610.

Choupanian, M., Omar, D., Basri, M., and Asib, N. 2017. Preparation and characterization of neem oil nanoemulsion formulations against Sitophilus oryzae and Tribolium castaneum adults. *Journal of Pesticide Science*, 42(4), 158–165.

Fernandes, S. R., Barreiros, L., Oliveira, R. F., Cruz, A., Prudêncio, C., Oliveira, A. I., Pinho, C., Santos, N., and Morgado, J. 2019. Chemistry, bioactivities, extraction and analysis of azadirachtin: State of the art. *Fitoterapia*, 134, 141–150.

Koul, O., and Walia, S. 2009. Comparing impacts of plant extracts and pure allelochemicals and implications for pest control. CAB Reviews: Perspectives in Agriculture, Veterinary Science, *Nutrition and Natural Resources*, (2009), 1–30.

Pavoni, L., Pavela, R., Cespi, M., Bonacucina, G., Maggi, F., Zeni, V., Canale, A., Lucchi, A., Bruschi, F., and Benelli, G. 2019. Green micro- and nanoemulsions for managing parasites, vectors and pests. *Nanomaterials*, 9(9), 1285.

Thirumalaisamy, R., Nimithap, S., Harini, S., Rajiniganth, R., Haritha, S., Ameer, K., Vadivel, P., and Selvankumar, T. 2025. Potential Application of Nanoemulsion in Agriculture: A Current Perspective. *International Journal of Agricultural Science and Engineering*, 11(3), 4328–4350.

Wang, R., Fang, Y., Che, W., Zhang, Q., Wang, J., and Luo, C. 2022. The Toxicity, Sublethal Effects, and Biochemical Mechanism of **β-**Asarone, a Potential Plant Derived Insecticide, against Bemisia tabaci. *International Journal of Molecular Sciences*, 23(18), 10462.

การตรวจสอบชนิดสารป้องกันกำจัดศัตรูพืชจำนวน 30 ชนิด ในผลิตภัณฑ์ชีวภัณฑ์และสารสกัดจากพืชด้วยเทคนิค GC-MS

Identification of 30 Pesticides in Biological Products and Plant Extracts by GC-MS

วิชชภรณ์ แกระวงค์[1/*] พินิตนันต์ สรวยเอี่ยม[1/] อนุชา ผลไสว[1/] พนิดา มงคลวุฒิกุล[1/]
สุกัญญา คำคง[1/] อิสริยะ สืบพันธุ์ดี[1/] ทัศนี อัฏฐพรพงษ์[1/] ณัฏฐา ศรีสุภาพ[1/]
Witchaporn Kraewong[1/*] Pinitnun Sruay-iam[1/] Anucha Phonswai[1/] Panida Mongkhonwuttikun[1/]
Sukanya Khomkong[1/] Issariya Sueppandee[1/] Tassanee Atthapornpong[1/] Natta Srisupap[1/]

ABSTRACT

Identification of 30 pesticides in biological product and plant extracts has been developed by gas chromatography-mass spectrometry (GC-MS). Optimization of GC-MS conditions was studied for separation 30 compounds in single run. A capillary column (HP-5ms) was used for separation with a helium gas flow rate 1 ml/min. The temperature of column, ion source and MS quadruple were 90-270, 230 and 150°C, respectively. Injection volume was 1 µL. Under optimum condition, the matrix effect was in the range of 0.01 to 8.98% which was within the acceptance criteria of the NATA (%ME<10%). Indicated that all other component in sample except for the target analyst did not effect to results. Moreover, this method displayed high specificity/selectivity that all chromatogram of 30 pesticides could be separated without interference. Limit of detection (LOD) and limit of quantitation (LOQ) were 0.50-1.00 and 1.25-2.50 mg/L, respectively. It appears that this multi-pesticides method by GC-MS can be rapid, facilitate and efficient way. In addition, this method might be reduce the process and chemical waste. Therefore this developed method can be used for identification pesticides in biological products and plant extracts.

Keywords : pesticides; biological products; plant extracts; GC-MS

[1/] กลุ่มวิจัยวัตถุมีพิษการเกษตร กองวิจัยพัฒนาปัจจัยการผลิตทางการเกษตร

[1/] Agricultural Toxic Substances Research, Agricultural Production Sciences Research and Develoment Division

Corresponding autor: k.witchaporn@gmail.com

บทคัดย่อ

การตรวจสอบชนิดสารป้องกันกำจัดศัตรูพืชจำนวน 30 ชนิด ในผลิตภัณฑ์ชีวภัณฑ์และสารสกัดจากพืช ด้วยเทคนิคแก๊สโครมาโทกราฟี-แมสสเปกโตรมิทรี (GC-MS) ศึกษาสภาวะเหมาะสมที่ทำให้สารผสมทั้ง 30 ชนิด สามารถแยกกันได้ในการวิเคราะห์เพียงครั้งเดียว โดยใช้คอลัมน์ HP-5ms ใช้ก๊าซฮีเลียมเป็นก๊าซตัวพาที่อัตราการไหล 1 มิลลิลิตรต่อนาที อุณหภูมิของคอลัมน์ ion source และ MS quadruple คือ 90-270 230 และ 150 องศาเซลเซียส ตามลำดับ ปริมาตรในการฉีดสารตัวอย่าง 1 ไมโครลิตร ภายใต้สภาวะที่เหมาะสมของวิธีได้ทดสอบผลกระทบจากสิ่งรบกวน (matrix effect, ME) ของสารทั้ง 30 ชนิด คำนวณ %ME พบว่าอยู่ในช่วง 0.01-8.98% ผ่านเกณฑ์การยอมรับของ %ME<10% (NATA, 2018) แสดงว่าผลกระทบขององค์ประกอบอื่นในตัวอย่างไม่รบกวนการวิเคราะห์ และวิธีทดสอบมีความจำเพาะเจาะจง (specificity/selectivity) พบว่าสารที่ทำการตรวจวิเคราะห์ทั้ง 30 ชนิดสามารถแยกกันได้ ไม่มีการรบกวนของสารอื่น ผลการทดสอบความเข้มข้นต่ำสุดที่ตรวจวัดได้ (LOD) อยู่ในช่วง 0.50-1.00 มิลลิกรัมต่อลิตร และความเข้มข้นต่ำสุดที่สามารถวิเคราะห์หาปริมาณได้ (LOQ) อยู่ในช่วง 1.25-2.50 มิลลิกรัมต่อลิตร ดังนั้นวิธีวิเคราะห์สารป้องกันกำจัดศัตรูพืชแบบรวม (multi-pesticides method) ด้วยเทคนิค GC-MS จึงเป็นวิธีที่มีประสิทธิภาพ สะดวก รวดเร็ว ลดขั้นตอน และลดของเสียจากการตรวจวิเคราะห์ได้ จึงมีความเหมาะสมที่จะนำวิธีไปวิเคราะห์ผลิตภัณฑ์ชีวภัณฑ์ และสารสกัดจากพืชที่ไม่ทราบชนิด

คำสำคัญ : สารป้องกันกำจัดศัตรูพืช; ผลิตภัณฑ์ชีวภัณฑ์; สารสกัดจากพืช; GC-MS

บทนำ

ประเทศไทยมีการเพาะปลูกพืชหลายชนิดที่มีความสำคัญทางด้านเศรษฐกิจ มีศัตรูพืชที่ก่อให้เกิดความเสียหายทั้งด้านผลผลิตและคุณภาพของผลิตภัณฑ์การเกษตรที่ส่งผลกระทบต่อระบบเศรษฐกิจของประเทศ ทำให้เกษตรกรมีความจำเป็นต้องใช้สารเคมีในการป้องกันและกำจัดศัตรูพืช เมื่อใช้ติดต่อกันเป็นเวลานานศัตรูพืชหลายชนิดสามารถพัฒนาการดื้อต่อสารเคมีเหล่านั้น ทำให้ต้องเพิ่มปริมาณการใช้และการนำเข้าสารเคมีเพื่อกำจัดศัตรูพืชมากขึ้น (เชษฐ์ธิดา, 2564) จากข้อมูลการนำเข้าวัตถุอันตรายทางการเกษตรปี พ.ศ.2564 พบว่าสารกำจัดวัชพืชมีการนำเข้าสูงที่สุด ปริมาณมากกว่าเจ็ดสิบสี่ล้านกิโลกรัมและคิดเป็นมูลค่ามากกว่าหนึ่งหมื่นล้านบาท (สำนักควบคุมพืชและวัสดุการเกษตร, 2564) โดยปริมาณและมูลค่าการนำเข้าที่สูงแสดงให้เห็นว่าประเทศไทยมีการใช้สารเคมีในการป้องกันและกำจัดศัตรูพืชเป็นจำนวนมาก ส่งผลให้มีสารเคมีตกค้างในผลผลิตและสิ่งแวดล้อมก่อให้เกิดปัญหาสุขภาพต่อผู้บริโภคและเกษตรกร ดังนั้นการป้องกันกำจัดศัตรูพืชด้วยผลิตภัณฑ์ชีวภัณฑ์และสารสกัดจากพืชจึงเป็นปัจจัยทางเลือกหนึ่งที่สามารถลดหรือทดแทนการใช้สารเคมีทางการเกษตรได้อย่างมีประสิทธิภาพและเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม จากการประยุกต์ใช้เทคโนโลยีชีวภาพและนวัตกรรมในการพัฒนาผลิตภัณฑ์ชีวภัณฑ์และสารสกัดจากพืช เพื่อให้เกิดการทำเกษตรที่ปลอดภัยจะเป็นการช่วยเกษตรกรให้ได้รับผลผลิตที่ดีขึ้นทั้งในด้านปริมาณและคุณภาพ เป็นการสร้างความปลอดภัยต่อผลผลิตทางการเกษตร ผู้บริโภค เกษตรกร และสิ่งแวดล้อม อีกทั้งเป็นการลดการนำเข้าสารเคมีจากต่างประเทศ (สำนักวิจัยพัฒนาอารักขาพืช, 2563)

การผลักดันและสนับสนุนให้มีการใช้ผลิตภัณฑ์ชีวภัณฑ์และสารสกัดจากพืชในการควบคุมศัตรูพืชทดแทนการใช้สารเคมีทางการเกษตร ทำให้มีผลิตภัณฑ์ชีวภัณฑ์และสารสกัดจากพืชออกมาจำหน่ายในท้องตลาดเป็นจำนวนมาก บางชนิดมีการปลอมปนสารเคมีการเกษตรเพื่อให้เกิดประสิทธิภาพที่ดียิ่งขึ้น กรมวิชาการเกษตรซึ่งมีหน้าที่กำกับดูแลตามกฎหมายพระราชบัญญัติวัตถุอันตราย พ.ศ.2535 จึงต้องตรวจสอบผลิตภัณฑ์ชีวภัณฑ์และสารสกัดจากพืชว่ามีการปนเปื้อนของสารเคมีหรือไม่ เพื่อเกษตรกรไม่ถูกเอาเปรียบจากผลิตภัณฑ์และสามารถผลิตพืชแบบเกษตรอินทรีย์ได้อย่างแท้จริงไม่มีการปนเปื้อนของสารเคมีอันตราย

โดยห้องปฏิบัติการกลุ่มงานพัฒนาระบบตรวจสอบคุณภาพวัตถุมีพิษการเกษตร กลุ่มวิจัยวัตถุมีพิษการเกษตร กองวิจัยพัฒนาปัจจัยการผลิตทางการเกษตรเป็นหน่วยงานที่รับผิดชอบในการให้บริการตรวจวิเคราะห์ผลิตภัณฑ์วัตถุอันตรายทางการเกษตรทั้งการขึ้นทะเบียน นำเข้า และส่งออก รวมทั้งตรวจสอบคุณภาพตามพระราชบัญญัติวัตถุอันตราย พ.ศ. 2535 จากข้อมูลปริมาณงานทดสอบ (วันที่ 1 ม.ค.-31 ส.ค. 65) กลุ่มงานพัฒนาระบบฯ ให้บริการตรวจวิเคราะห์คุณภาพผลิตภัณฑ์วัตถุอันตรายทางการเกษตร ทั้งหมด 2,720 ตัวอย่าง (กองวิจัยพัฒนาปัจจัยการผลิตทางการเกษตร, 2565) ซึ่งปัจจุบันการดำเนินการตรวจวิเคราะห์เพื่อหาปริมาณสารออกฤทธิ์ในตัวอย่างวัตถุอันตรายเป็นการตรวจวิเคราะห์แบบสารเดี่ยว เพราะสารแต่ละชนิดมีการวิเคราะห์ที่สภาวะแตกต่างกัน เพื่อให้สามารถรองรับจำนวนตัวอย่างวัตถุอันตรายที่มีจำนวนมาก และมีความหลากหลายของชนิดตัวอย่างที่นำส่งมาวิเคราะห์โดยเฉพาะผลิตภัณฑ์ที่เป็นสารชีวภัณฑ์และสารสกัดจากพืชที่ไม่ทราบชนิด (unknown sample) จึงต้องศึกษาเทคนิควิธีวิเคราะห์สารป้องกันกำจัดศัตรูพืชแบบรวม (multi-pesticides method) เพื่อให้สามารถดำเนินการตรวจวิเคราะห์ตัวอย่างผลิตภัณฑ์วัตถุอันตรายได้อย่างรวดเร็ว โดยพบว่ามีงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง ดังนี้

เทคนิคการตรวจวิเคราะห์สารแบบรวม ได้ศึกษาการหาสภาวะที่เหมาะสมในการตรวจวิเคราะห์เพื่อแยกสารผสมของเบนโซฟีโนนและอนุพันธ์อีก 5 ชนิด ด้วยเทคนิค GC-MS ร่วมกับ isotope dilution mass spectrometry (IDMS) โดยทำการเปลี่ยนอุณหภูมิและอัตราการเพิ่มอุณหภูมิของคอลัมน์ทำให้สามารถแยกสารอันตรายทั้ง 6 สาร ได้ภายในเวลา 24 29 และ 41 นาที ตามลำดับ และเลือกจากวิธีที่ใช้เวลาในการทดสอบสั้นที่สุด คือ 24 นาทีเป็นวิธีที่เหมาะสม (หนึ่งฤทัย, 2561) สำหรับการตรวจวิเคราะห์ตัวอย่างประเภทสารป้องกันกำจัดศัตรูพืชด้วยเทคนิคการตรวจวิเคราะห์แบบรวม ได้ศึกษาการพัฒนาและตรวจสอบความใช้ได้ของวิธีวิเคราะห์สารพิษตกค้างของสารกลุ่มออร์กาโนฟอสเฟต ออร์กาโนคลอรีน ไพรีทรอยด์ คาร์บาเมต และไตรอะซีนในเนื้อปลา ด้วยเครื่อง GC ใช้ตัวตรวจวัดแตกต่างกัน ได้แก่ GC-ECD, GC-FPD และ GC-NPD ผลการศึกษาพบว่าสามารถตรวจวิเคราะห์สารพิษตกค้างหลายชนิดได้ในคราวเดียว โดยให้ผลการทดสอบถูกต้อง และแม่นยำ (มลิสาและคณะ, 2562) ปัจจุบันเทคนิค GC-MS เป็นเทคนิคที่ได้รับความนิยมในการตรวจวัดสารป้องกันกำจัดศัตรูพืชที่ตกค้างบนผลิตผลทางการเกษตร เนื่องจากเป็นเทคนิคที่มีความไวในการวิเคราะห์ซึ่งสามารถวิเคราะห์สารที่สนใจได้ในระดับไมโครกรัมต่อกิโลกรัม (µg/kg; ppb) และยังมีรูปแบบการทำงานแบบที่จำเพาะเจาะจงต่อสารที่ต้องการวิเคราะห์ ได้ศึกษาการตรวจหาสารพิษตกค้างจำนวน 220 ชนิด และอนุพันธ์ โดยใช้เทคนิค GC-MS total ion current (TIC) ผลการศึกษาพบว่าสามารถแยกสารทั้ง 220 ชนิด ได้ในการวิเคราะห์เพียงครั้งเดียวใช้เวลาในการวิเคราะห์สั้นที่สุด คือ 49.6 นาที และมีค่าขีดจำกัดในการตรวจวัดเชิงปริมาณและเชิงคุณภาพอยู่ในช่วง 2.34-44.22 ng/ml และ 0.78-14.74 ng/ml ตามลำดับ สำหรับการตรวจวิเคราะห์สารที่มีความหลากหลายชนิดได้อย่างรวดเร็วจะเป็นการลดค่าใช้จ่ายในการวิเคราะห์และสามารถนำไปประยุกต์ใช้เป็นวิธีทดสอบของห้องปฏิบัติการในการตรวจวิเคราะห์สารพิษตกค้างในสิ่งแวดล้อม เช่น ในดิน น้ำ และอาหาร (EL-Saeid et al., 2021) นอกจากนี้ได้ศึกษาการตรวจหาสารพิษตกค้างจำนวนทั้งหมด 74 ชนิด ในพืชตระกูลโสม (panax notoginseng) โดยใช้เทคนิค GC-MS/MS พร้อมทั้งตรวจสอบความใช้ได้ของวิธีวิเคราะห์ พบว่าความเป็นเส้นตรงของวิธีทดสอบอยู่ในช่วง 10-500 ng/ml ค่า correlation coefficients ≥ 0.9950 ค่าร้อยละการกลับคืน (%recovery) อยู่ในช่วง 70–120% ค่าร้อยละส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานสัมพัทธ์ (%RSD) ≤ 20% ค่าขีดจำกัดในการตรวจวัดเชิงปริมาณและเชิงคุณภาพอยู่ในช่วง 0.94-6.65 µg/kg และ 0.28-2.00 µg/kg ตามลำดับ (Li et al., 2021)

ดังนั้นเพื่อให้การตรวจวิเคราะห์เป็นไปอย่างสะดวก รวดเร็ว ลดขั้นตอนและลดของเสียจากการตรวจวิเคราะห์ งานวิจัยนี้จึงต้องศึกษาพัฒนาวิธีวิเคราะห์สารป้องกันกำจัดศัตรูพืชแบบรวม (multi-pesticides

method) ด้วยเทคนิค GC-MS ซึ่งเป็นเทคนิคที่มีความจำเพาะ (specificity) และความไวในการวิเคราะห์ (sensitivity) สูง ทำการทดสอบผลกระทบจากสิ่งรบกวน (matrix effect) หาค่าความเข้มข้นต่ำสุดที่ตรวจวัดได้ (limit of detection, LOD) และความเข้มข้นต่ำสุดที่สามารถวิเคราะห์หาปริมาณได้ (limit of quantitation, LOQ) ของวิธีวิเคราะห์โดยเลือกศึกษาในตัวอย่างผลิตภัณฑ์สารสกัดจากพืชที่มีส่วนประกอบทางเคมีหลากหลายชนิด เช่น สารสำคัญชนิดต่างๆ กรดอินทรีย์ สารสีหรือน้ำมันระเหย โปรตีน ไขมัน เถ้า ใยอาหาร และคาร์โบไฮเดรต (ศิริวรรณ, 2562) และนำวิธีวิเคราะห์ที่ได้ไปทดสอบในตัวอย่างผลิตภัณฑ์ชีวภัณฑ์

อุปกรณ์และวิธีการ

อุปกรณ์

1. เครื่องแก๊สโครมาโทกราฟ-แมสสเปกโตรมิเตอร์ (gas chromatograph-mass spectrometer: GC-MS)

GC ยี่ห้อ Agilent รุ่น 6890N และ MS ยี่ห้อ Agilent 5973

2. คอลัมน์ชนิด capillary ภายในเคลือบด้วย (5%-Phenyl)-methylpolysiloxane (HP-5ms) ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.25 มิลลิเมตร ความยาว 30 เมตร ความหนาของฟิล์ม 0.25 ไมโครเมตร
3. เครื่องชั่งละเอียด 5 ตำแหน่ง ที่ผ่านการสอบเทียบ
4. ขวดวัดปริมาตรชนิด type A ขนาด 10 25 และ 50 มิลลิลิตร ที่ผ่านการสอบเทียบ
5. ปิเปต (class A) ที่ผ่านการสอบเทียบ
6. บีกเกอร์
7. ultrasonic bath

สารเคมี

1. สารมาตรฐาน จากบริษัทผู้ผลิต Dr. Ehrenstorfer ความบริสุทธิ์ไม่น้อยกว่า 95% จำนวน 30 ชนิด ได้แก่ acetochlor, alachlor, ametryn, atrazine, azoxystrobin, bromacil, buprofezin, chlorfenapyr, chlorfluazuron, clomazone, chlorothalonil, diazinon, difenoconazole, etofenprox, fenoxaprop-P-ethyl, flusilazole, hexaconazole, metalaxyl, metolachlor, oxadiazon, pendimethalin, pretilachlor, procymidone, profenofos, propargite, propiconazole, tebuconazole, tebufenpyrad, tetraconazole และ thiobencarb
2. acetone ชนิด AR grade
3. ตัวอย่างผลิตภัณฑ์ชีวภัณฑ์และสารสกัดจากพืช

วิธีการ

การตรวจสอบชนิดสารป้องกันกำจัดศัตรูพืชจำนวน 30 ชนิด ในผลิตภัณฑ์ชีวภัณฑ์และสารสกัดจากพืชด้วยเทคนิค GC-MS ศึกษาและพัฒนาวิธีวิเคราะห์ให้ได้สภาวะที่เหมาะสมในการตรวจวิเคราะห์ ทำการทดสอบ matrix effect ทดสอบความจำเพาะเจาะจง (specificity/selectivity) หาค่าความเข้มข้นต่ำสุดที่ตรวจวัดได้ (limit of detection, LOD) และความเข้มข้นต่ำสุดที่สามารถวิเคราะห์หาปริมาณได้ (limit of quantitation, LOQ) ของวิธีวิเคราะห์

1. ศึกษาวิธีวิเคราะห์ให้ได้สภาวะที่เหมาะสมในการตรวจวิเคราะห์สารป้องกันกำจัดศัตรูพืชจำนวน 30 ชนิด

1.1 การเตรียมสารละลายมาตรฐาน

1.1.1 เตรียม stock standard solutions ของสารมาตรฐาน 30 ชนิด ให้มีความเข้มข้น 1000 มิลลิกรัมต่อลิตร โดยชั่งสารมาตรฐานแต่ละชนิดให้มีปริมาณสารออกฤทธิ์ 10 มิลลิกรัม ลงใน volumetric flask

ขนาด 10 มิลลิลิตร เติม acetone ประมาณ 5 มิลลิลิตร นำไปเขย่าด้วยเครื่อง ultrasonic bath 15 นาที นำออกมาตั้งให้เย็นที่อุณหภูมิห้อง แล้วปรับปริมาตรด้วย acetone จนถึงขีดปริมาตร

1.1.2 เตรียม mixed standard solution โดยผสมสารละลายสารมาตรฐานทั้ง 30 ชนิด ด้วยการคำนวณปริมาตรของการปิเปต stock standard solutions ของสารละลายสารมาตรฐานแต่ละชนิด (ข้อ 1.1.1) ให้มีความเข้มข้นอยู่ในช่วง 7.50-15.00 มิลลิกรัมต่อลิตร ใน volumetric flask ขนาด 50 มิลลิลิตร ปรับปริมาตรด้วย acetone จนถึงขีดปริมาตร เขย่าให้เข้ากัน แบ่งใส่ขวด vial ขนาด 2 มิลลิลิตร นำไปวิเคราะห์ด้วยเครื่อง GC-MS

1.2 การเตรียมสารละลายตัวอย่าง

เตรียมสารละลายตัวอย่างผลิตภัณฑ์สารสกัดจากพืช ให้มีความเข้มข้น 5 มิลลิกรัมต่อลิตร โดยการชั่งตัวอย่างลงใน volumetric flask ขนาด 25 มิลลิลิตร เติมตัวทำละลาย acetone ประมาณ 15 มิลลิลิตร นำไปเขย่าด้วยเครื่อง ultrasonic bath 15 นาที นำออกมาตั้งให้เย็นที่อุณหภูมิห้อง แล้วปรับปริมาตรด้วย acetone จนถึงขีดปริมาตร กรองตัวอย่างด้วย nylon syringe filter 0.2 ไมครอน

1.3 ปรับสภาวะเครื่อง gas chromatograph-mass spectrometer: GC-MS สำหรับการวิเคราะห์

Column	:	HP-5ms (30 m x 0.25 mm, film thickness 0.25 µm)		
Oven temperature	:	Rate (°C/min)	Final temp (°C)	Hold time (min)
			90	2
		10	150	2
		4	220	5
		4	270	8
Injection temperature	:	250 °C		
Injection volume	:	1 µL		
Flow rate	:	1 ml/min		
MS Source	:	230 °C		
MS Quad	:	150 °C		
Total run time	:	53 min		

2. การทดสอบ matrix effect

เตรียม mixed standard solution ของสารมาตรฐานจำนวน 30 ชนิด ความเข้มข้นในช่วง 1.25-10.00 มิลลิกรัมต่อลิตร จำนวน 2 ชุด ชุดที่ 1 เตรียมในตัวทำละลาย acetone (standard in solvent) และชุดที่ 2 เตรียมในสารละลายตัวอย่างผลิตภัณฑ์สารสกัดจากพืช (standard in matrix) ใน volumetric flask ขนาด 10 มิลลิลิตร เติม acetone ประมาณ 5 มิลลิลิตร นำไปเขย่าด้วยเครื่อง ultrasonic bath 15 นาที นำออกมาตั้งให้เย็นที่อุณหภูมิห้อง แล้วปรับปริมาตรด้วย acetone จนถึงขีดปริมาตร เขย่าให้เข้ากัน กรองตัวอย่างด้วย nylon syringe filter 0.2 ไมครอน แบ่งใส่ขวด vial ขนาด 2 มิลลิลิตร นำไปตรวจวิเคราะห์ด้วยเครื่อง GC-MS

ข้อมูลที่ได้จากการตรวจวัด standard in matrix และ standard in solvent นำมาสร้างกราฟความสัมพันธ์ระหว่างสัญญาณการวัดหรือพื้นที่ใต้พีคบนแกน y กับความเข้มข้นของสารในตัวอย่างบนแกน x พิจารณาค่าความชันจากสมการเส้นตรงของ standard in matrix และความชันจากสมการเส้นตรงของ standard in solvent คำนวณหา %matrix effect (%ME) การคำนวณแสดงดังสมการ

$$\%ME = \frac{(X1-X2)}{X2} \times 100$$

โดยที่ X1 = ความชันของ standard in matrix

X2 = ความชันของ standard in solvent

ถ้า %ME น้อยกว่า 10% แสดงว่า matrix ไม่มีผลกระทบต่อผลการวิเคราะห์ (NATA, 2018)

3. การทดสอบความจำเพาะเจาะจง (specificity/selectivity) ของวิธีวิเคราะห์

ทำการตรวจวิเคราะห์ด้วยการฉีด solvent blank สารละลายมาตรฐาน และสารละลายตัวอย่างเข้าเครื่อง GC-MS ตามสภาวะของวิธีวิเคราะห์ พิจารณาโครมาโตแกรมดูว่ามีสารอื่นแปลกปลอมรบกวนสารออกฤทธิ์หรือไม่ (Eurachem, 2014)

4. ความเข้มข้นต่ำสุดที่สามารถตรวจวัดได้ของวิธีวิเคราะห์ (limit of detection, LOD)

ศึกษาความเข้มข้นต่ำสุดของสารในตัวอย่างที่สามารถตรวจวัดได้ ทดสอบโดยการเติมสารละลายสารมาตรฐานรวมลงในตัวอย่างผลิตภัณฑ์สารสกัดจากพืชที่ระดับความเข้มข้นต่ำสุดที่สามารถวิเคราะห์ได้ ทำการทดสอบ 10 ซ้ำ หาค่า SD ประเมินค่า LOD เท่ากับ 3×SD (Eurachem, 2014) ความเข้มข้นดังกล่าวที่ทดสอบทั้ง 10 ครั้ง ต้องมีสัญญาณการวัด signal to noise ratio (S/N) ≥ 3 จึงจะถือว่าเป็นค่า LOD ของวิธี

5. ความเข้มข้นต่ำสุดที่สามารถวิเคราะห์หาปริมาณได้ (limit of quantitation, LOQ)

ศึกษาความเข้มข้นต่ำสุดของสารในตัวอย่างที่สามารถตรวจวิเคราะห์หาปริมาณได้ โดยมีค่า accuracy และ precision อยู่ในเกณฑ์ยอมรับได้ ทดสอบโดยการเติมสารละลายสารมาตรฐานลงในตัวอย่างผลิตภัณฑ์สารสกัดจากพืชที่ระดับความเข้มข้นต่ำสุดที่สามารถวิเคราะห์ได้ ทำการทดสอบ 10 ซ้ำ หาค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (standard deviation, SD) ประเมินค่า LOQ เท่ากับ 10×SD (Eurachem, 2014)

ผลการทดลองและวิจารณ์

การตรวจสอบชนิดสารป้องกันกำจัดศัตรูพืชจำนวน 30 ชนิด ในผลิตภัณฑ์ชีวภัณฑ์สารสกัดจากพืชด้วยเทคนิค GC-MS ทำการศึกษาวิธีวิเคราะห์ให้ได้สภาวะที่เหมาะสมในการตรวจวิเคราะห์ ทดสอบ matrix effect ทดสอบ specificity/selectivity หาค่า limit of detection (LOD) และ limit of quantitation (LOQ) ของวิธีวิเคราะห์ ได้ผลการทดสอบ ดังนี้

1. สภาวะที่เหมาะสมในการตรวจวิเคราะห์สารป้องกันกำจัดศัตรูพืชจำนวน 30 ชนิด

จากการวิเคราะห์หาสภาวะในการตรวจสอบชนิดสารป้องกันกำจัดศัตรูพืชจำนวน 30 ชนิด ด้วยเครื่อง GC-MS ทำการปรับตั้งค่าอุณหภูมิและอัตราการเปลี่ยนอุณหภูมิของคอลัมน์ เพื่อให้สามารถวิเคราะห์สารทั้ง 30 ชนิดได้ในเวลาที่เร็วที่สุด พบว่าตามวิธีวิเคราะห์ดังกล่าวได้โครมาโตแกรมของสารละลายสารมาตรฐานรวม (mixed standard solution) และปรากฏค่า retention time, qualified ions และ dwell time ของสารละลายสารมาตรฐานแต่ละชนิด (Figure 1, Table 1)

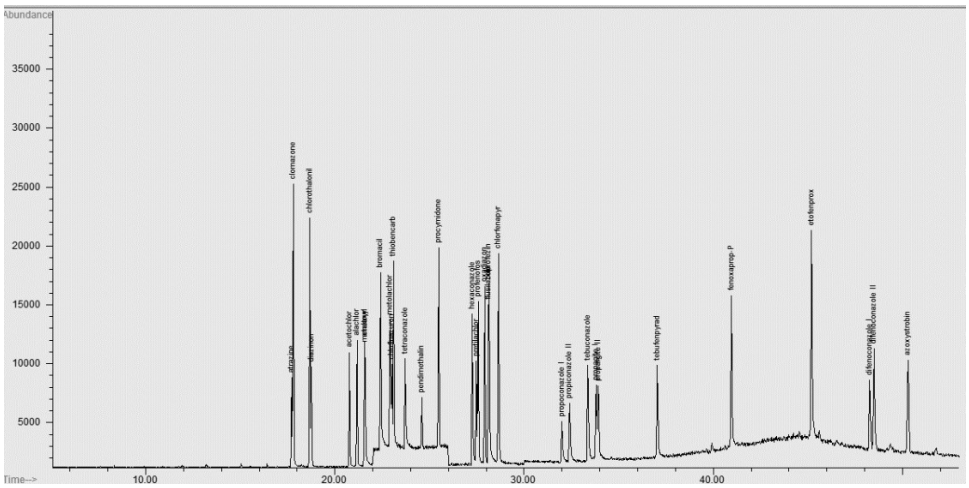


Figure 1 GC-MS chromatogram of the mixed standard solution of 30 pesticides.

Table 1 retention time, quantifier, qualifier and dwell time of 30 pesticides using GC-MS.

No.	Pesticide	RT	Quantifier (m/z)	Qualifier1 (m/z)	Qualifier2 (m/z)	Dwell time
1	atrazine	17.71	200	215	202	30
2	clomazone	17.81	125	204	127	30
3	chlorothalonil	18.69	266	264	268	30
4	diazinon	18.77	179	137	199	30
5	acetochlor	20.79	146	162	223	30
6	alachlor	21.18	160	188	45	30
7	metalaxyl	21.57	206	132	160	30
8	ametryn	21.61	227	212	170	30
9	bromacil	22.43	205	207	188	30
10	metolachlor	22.94	162	238	146	30
11	chlorfluazuron	23.02	347	349	350	30
12	thiobencarb	23.12	100	72	125	30
13	tetraconazole	23.70	336	338	171	30
14	pendimethalin	24.62	252	162	280	30
15	procymidone	25.49	283	96	285	30
16	hexaconazole	27.25	83	214	231	30
17	pretilachlor	27.49	162	238	176	30
18	profenofos	27.58	337	339	97	30
19	oxadiazon	27.93	175	177	258	30
20	flusilazole	28.09	233	206	234	30
21	buprofezin	28.15	105	172	106	30
22	chlorfenapyr	28.66	59	247	75	30
23	propiconazole I,II	31.98, 32.40	173	259	69	30

No.	Pesticide	RT	Quantifier (m/z)	Qualifier1 (m/z)	Qualifier2 (m/z)	Dwell time
24	tebuconazole	33.38	125	250	70	30
25	propargite	33.95	135	173	81	30
26	tebufenpyrad	37.07	171	318	333	30
27	fenoxaprop-P-ethyl	40.98	288	361	290	30
28	etofenprox	45.19	163	135	107	30
29	difenoconazole I,II	48.23, 48.52	265	323	267	30
30	azoxystrobin	50.32	344	388	345	30

2. การทดสอบ matrix effect

ข้อมูลจากการวิเคราะห์ standard in matrix และ standard in solvent นำมาสร้างกราฟความสัมพันธ์ระหว่างสัญญาณการวัดบนแกน y กับความเข้มข้นของสารในตัวอย่างบนแกน x นำค่าความชันจากสมการเส้นตรง ทำการคำนวณหา %matrix effect (%ME) พบว่า %ME ของสารละลายสารมาตรฐานจำนวน 30 ชนิด อยู่ในช่วง 0.01 ถึง 8.98% มีค่าน้อยกว่า 10% อยู่ในเกณฑ์การยอมรับ %ME<10% ของ the national association of testing authorities (NATA, 2018) แสดงว่าผลกระทบขององค์ประกอบอื่นในตัวอย่างผลิตภัณฑ์สารสกัดจากพืชไม่รบกวนการวิเคราะห์ สารละลายสารมาตรฐานที่เตรียมในตัวทำละลายทั้งสองชนิดให้ผลการวิเคราะห์ไม่แตกต่างกัน ดังนั้นการวิเคราะห์สารป้องกันกำจัดศัตรูพืชจำนวน 30 ชนิดในผลิตภัณฑ์สารสกัดจากพืช matrix effect ไม่มีผลกระทบต่อการวิเคราะห์ทดสอบ จึงสามารถเตรียม standard curve ได้ทั้งใน solvent และ matrix solvent (Table 2)

Table 2 Matrix effect of 30 pesticides in plant extracts product.

No.	Pesticide	slope of standard curve		%ME	Matrix effect (%ME<10%)
		standard in matrix	standard in solvent		
1	atrazine	2104	2018	4.28	Not different
2	clomazone	5732	5872	-2.37	Not different
3	chlorothalonil	4392	4767	-7.87	Not different
4	diazinon	1184	1138	4.00	Not different
5	acetochlor	1394	1396	-0.16	Not different
6	alachlor	1493	1455	2.57	Not different
7	metalaxyl	1107	1100	0.59	Not different
8	ametryn	2278	2188	4.11	Not different
9	bromacil	2220	2037	8.98	Not different
10	metolachlor	4675	4803	-2.67	Not different
11	chlorfluazuron	2514	2356	6.72	Not different
12	thiobencarb	4797	4540	5.65	Not different
13	tetraconazole	3397	3324	2.20	Not different

No.	Pesticide	slope of standard curve		%ME	Matrix effect (%ME<10%)
		standard in matrix	standard in solvent		
14	pendimethalin	2000	2000	0.01	Not different
15	procymidone	3013	2909	3.59	Not different
16	hexaconazole	1233	1216	1.37	Not different
17	pretilachlor	1769	1700	4.02	Not different
18	profenofos	881	886	-0.48	Not different
19	oxadiazon	3190	3247	-1.75	Not different
20	flusilazole	5252	5048	4.04	Not different
21	buprofezin	2467	2395	3.03	Not different
22	chlorfenapyr	4169	4259	-2.10	Not different
23	propiconazole	654	657	-0.39	Not different
24	tebuconazole	1539	1541	-0.11	Not different
25	propargite	2306	2323	-0.71	Not different
26	tebufenpyrad	2214	2204	0.45	Not different
27	fenoxaprop-P-ethyl	2302	2251	2.25	Not different
28	etofenprox	9343	9244	1.07	Not different
29	difenoconazole	977	979	-0.12	Not different
30	azoxystrobin	2521	2523	-0.09	Not different

3. การทดสอบความจำเพาะเจาะจง (specificity/selectivity) ของวิธีวิเคราะห์

เทคนิค GC-MS มีความจำเพาะเจาะจงต่อสารที่ทำการวิเคราะห์ โดยสารมาตรฐานทั้ง 30 ชนิด สามารถแยกกันได้โดยใช้ค่ามวลของไอออนของสารที่แตกต่างกัน แสดงดังตารางที่ 1 และเมื่อเปรียบเทียบโครมาโตแกรมของsolvent blank สารละลายมาตรฐาน และสารละลายตัวอย่าง พบว่าไม่มีการรบกวนของสัญญาณการตรวจวัดของตัวอย่างต่อสารมาตรฐาน แสดงให้เห็นถึงความสามารถของวิธีวิเคราะห์ในการแยกสารที่สนใจวิเคราะห์ออกจากสารอื่นๆ รวมทั้งสารปนเปื้อน สารที่เกิดจากการสลายตัว และเมทริกซ์ (Belouafa et al., 2017) ดังนั้นวิธีวิเคราะห์นี้มีความจำเพาะเจาะจงในการตรวจวิเคราะห์

4. ความเข้มข้นต่ำสุดที่สามารถตรวจวัดได้ของวิธีวิเคราะห์ (limit of detection, LOD)

ทดสอบโดยการเติมสารมาตรฐานรวม (fortified mix standard) ลงในตัวอย่างผลิตภัณฑ์สารสกัดจากพืชที่ระดับต่ำสุดที่สามารถวิเคราะห์ได้ จำนวน 10 ซ้ำ ทำการตรวจวิเคราะห์ หาค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (standard deviation, SD) ประเมินค่าความเข้มข้นต่ำสุดที่สามารถตรวจวัดได้จาก LOD เท่ากับ 3SD (Eurachem, 2014) พบว่าสารป้องกันกำจัดศัตรูพืช 30 ชนิด มีค่า LOD ด้วยวิธีการคำนวณอยู่ในช่วง 0.134-0.645 มิลลิกรัมต่อลิตร เมื่อตรวจสอบค่า LOD พบว่ามีสารบางชนิดตรวจวัดสัญญาณได้ค่า signal to noise (S/N) น้อยกว่า 3 ดังนั้นจึงปรับความเข้มข้นของ LOD ให้อยู่ในช่วง 0.50 และ 1.00 มิลลิกรัมต่อลิตร และทำการตรวจวิเคราะห์ พบว่ามีสัญญาณการตรวจวัดทั้งหมดและมีค่า signal to noise (S/N) มากกว่า 3 จึงสรุปได้ว่าค่า LOD ของวิธีวิเคราะห์สารป้องกันกำจัดศัตรูพืชจำนวน 30 ชนิด ในผลิตภัณฑ์สารสกัดจากพืชอยู่ในช่วง 0.50-1.00 มิลลิกรัมต่อลิตร (Table 3)

5. ความเข้มข้นต่ำสุดที่สามารถวิเคราะห์หาปริมาณได้ (limit of quantitation, LOQ)

ทดสอบโดยการเติมสารมาตรฐานรวม (fortified mix standard) ลงในตัวอย่างผลิตภัณฑ์สารสกัดจากพืชที่ระดับต่ำสุดที่สามารถวิเคราะห์ได้ จำนวน 10 ซ้ำ ทำการตรวจวิเคราะห์ หาค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (standard deviation, SD) ประเมินค่าความเข้มข้นต่ำสุดที่สามารถวิเคราะห์หาปริมาณได้ จาก LOQ เท่ากับ 10SD พบว่าสารป้องกันกำจัดศัตรูพืช 30 ชนิด มีค่า LOQ ด้วยวิธีการคำนวณอยู่ในช่วง 0.447-2.150 มิลลิกรัมต่อลิตร แต่ผลการทดสอบสารบางชนิดไม่มีความแม่น เมื่อคำนวณค่า %recovery ไม่อยู่ในช่วงเกณฑ์ที่กำหนด จึงปรับค่า LOQ ให้มีความเข้มข้นอยู่ในช่วง 1.25 และ 2.50 มิลลิกรัมต่อลิตร ยืนยันค่า LOQ โดยการคำนวณ %recovery และ %RSD พบว่าสารป้องกันกำจัดศัตรูพืชทั้ง 30 ชนิด อยู่ในเกณฑ์ยอมรับโดยมีค่า %recovery อยู่ในช่วง 70-120% และ %RSD ไม่เกิน 20% (SANTE/11312, 2021) เป็นการยืนยันได้ว่าวิธีวิเคราะห์ที่ระดับ LOQ มีความถูกต้อง แม่นยำ ดังนั้นค่า LOQ ของวิธีวิเคราะห์สารป้องกันกำจัดศัตรูพืชจำนวน 30 ชนิด ในผลิตภัณฑ์สารสกัดจากพืชอยู่ในช่วง 1.25-2.50 มิลลิกรัมต่อลิตร (Table 3)

Table 3 LOD and LOQ of 30 pesticides in plant extracts product.

No.	Pesticide	SD	LOD			LOQ			
			$(3SD)_{cal}$	Conc. (mg/L)	S/N	$(10SD)_{cal}$	Conc. (mg/L)	%recovery	%RSD
1	atrazine	0.080	0.240	0.50	4.6	0.800	1.25	74	9
2	clomazone	0.056	0.169	0.50	10.3	0.563	1.25	72	6
3	chlorothalonil	0.074	0.224	0.50	7.6	0.747	1.25	83	7
4	diazinon	0.097	0.291	0.50	3.9	0.972	1.25	108	7
5	acetochlor	0.092	0.278	0.50	3.9	0.926	1.25	90	8
6	alachlor	0.088	0.265	0.50	4.3	0.885	1.25	88	8
7	metalaxyl	0.098	0.294	0.50	3.4	0.981	1.25	90	9
8	ametryn	0.071	0.215	0.50	5.5	0.718	1.25	92	6
9	bromacil	0.101	0.304	1.00	5.3	1.014	2.50	73	6
10	metolachlor	0.100	0.301	0.50	8.4	1.004	1.25	94	9
11	chlorfluazuron	0.056	0.170	0.50	3.4	0.567	2.50	80	7
12	thiobencarb	0.069	0.209	0.50	7.9	0.699	2.50	85	10
13	tetraconazole	0.094	0.284	0.50	5.7	0.948	1.25	98	8
14	pendimethalin	0.093	0.279	0.50	6.7	0.932	2.50	102	4
15	procymidone	0.095	0.286	0.50	4.0	0.954	1.25	74	10
16	hexaconazole	0.159	0.478	1.00	4.3	1.594	2.50	82	8
17	pretilachlor	0.087	0.263	0.50	4.2	0.877	1.25	98	7
18	profenofos	0.084	0.252	1.00	4.6	0.841	2.50	90	4
19	oxadiazon	0.061	0.184	0.50	5.4	0.616	2.50	98	9
20	flusilazole	0.044	0.134	0.50	6.6	0.447	1.25	83	4
21	buprofezin	0.128	0.385	0.50	4.2	1.285	1.25	77	13
22	chlorfenapyr	0.128	0.386	1.00	7.2	1.288	2.50	83	13

No.	Pesticide	SD	LOD			LOQ			
			$(3SD)_{cal}$	Conc. (mg/L)	S/N	$(10SD)_{cal}$	Conc. (mg/L)	%recovery	%RSD
23	propiconazole	0.215	0.645	1.00	3.5	2.150	2.50	99	9
24	tebuconazole	0.136	0.409	1.00	3.9	1.365	2.50	87	6
25	propargite	0.173	0.519	1.00	3.8	1.732	2.50	74	9
26	tebufenpyrad	0.047	0.142	0.50	4.4	0.473	1.25	89	4
27	fenoxaprop-P-ethyl	0.102	0.307	1.00	10.3	1.024	2.50	100	4
28	etofenprox	0.068	0.205	0.50	7.1	0.685	1.25	93	6
29	difenoconazole	0.149	0.448	1.00	4.0	1.495	2.50	112	5
30	azoxystrobin	0.158	0.475	1.00	6.0	1.586	2.50	115	5

สรุปผลการทดลอง

การตรวจสอบชนิดสารป้องกันกำจัดศัตรูพืชจำนวน 30 ชนิด ด้วยเทคนิค GC-MS ได้สภาวะที่เหมาะสมในการวิเคราะห์สารทั้ง 30 ชนิดให้สามารถแยกกันได้ ผลทดสอบ matrix effect (%ME) ในผลิตภัณฑ์สารสกัดจากพืช พบว่ามีค่าอยู่ในช่วง 0.01-8.98% ซึ่งผ่านเกณฑ์การยอมรับน้อยกว่า 10% แสดงว่า matrix ไม่มีผลกระทบต่อผลการวิเคราะห์ การทดสอบความจำเพาะเจาะจง (specificity/selectivity) โดยพิจารณาโครมาโตแกรมของ solvent blank สารละลายมาตรฐาน และสารละลายตัวอย่าง ไม่พบสารอื่นรบกวนสารออกฤทธิ์ ทดสอบความเข้มข้นต่ำสุดของสารในตัวอย่างที่วิธีวิเคราะห์สามารถตรวจวัดได้ (LOD) อยู่ในช่วง 0.50-1.00 มิลลิกรัมต่อลิตร ความเข้มข้นต่ำสุดที่สามารถวิเคราะห์หาปริมาณได้ (LOQ) อยู่ในช่วง 1.25-2.50 มิลลิกรัมต่อลิตร ดังนั้นวิธีวิเคราะห์สารป้องกันกำจัดศัตรูพืชแบบรวม ด้วยเทคนิค GC-MS จึงมีความเหมาะสมที่จะนำไปใช้ในการวิเคราะห์ผลิตภัณฑ์ชีวภัณฑ์และสารสกัดจากพืชที่ไม่ทราบชนิด (unknown sample) ซึ่งจะทำให้การตรวจวิเคราะห์เป็นไปอย่างรวดเร็ว ลดขั้นตอน และลดของเสียจากการตรวจวิเคราะห์ได้

เอกสารอ้างอิง

กองวิจัยพัฒนาปัจจัยการผลิตทางการเกษตร กรมวิชาการเกษตร. 2565. การเปลี่ยนแปลงปริมาณและประเภทงานทดสอบที่ขอรับรอง. **รายงานการประชุมทบทวนการบริหารห้องปฏิบัติการกลุ่มวิจัยวัตถุมีพิษการเกษตร ครั้งที่1/2565**. กรุงเทพฯ : กรมวิชาการเกษตร. 9 กันยายน 2565.

เชษฐ์ธิดา ศรีสุขสาม. 2564. ชีวภัณฑ์ควบคุมศัตรูพืชเพื่อการขับเคลื่อนเกษตรกรรมยั่งยืน. **รายงานวิจัยการประชุมทางวิชาการประจำปี สวทช ครั้งที่16**. ปทุมธานี : อุทยานวิทยาศาสตร์ประเทศไทย. 25-30 มีนาคม 2564.

มลิสา เวชยานนท์, จันทิมา ผลกอง และอำนาจ กะฐินเทศ. 2562. การพัฒนาและตรวจสอบความใช้ได้ของวิธีวิเคราะห์สารพิษตกค้างของสารกลุ่มออร์กาโนฟอสเฟต (Organophosphate) ออร์กาโนคลอรีน (Organochlorine) ไพรีทรอยด์ (Pyrethroid) คาร์บาเมต (Carbamate) และไตรอะซีน (Triazine) ในเนื้อปลา. **ผลการปฏิบัติงานประจำปีงบประมาณ 2562**. กองวิจัยพัฒนาปัจจัยการผลิตทางการเกษตร กรมวิชาการเกษตร. หน้า 468-475.

ศิริวรรณ จำแนกสาร. 2562. องค์ประกอบทางเคมีของสารสกัดใบฝรั่งและการยับยั้งออกซิเดชันของลิพิดในกุนเชียงในระหว่างการเก็บรักษา. **เทคโนโลยีการอาหาร มหาวิทยาลัยสยาม** 14(1): 12-25.

สำนักควบคุมพืชและวัสดุการเกษตร กรมวิชาการเกษตร. 2564. ข้อมูลสถิติการนำเข้าวัตถุอันตรายทางการเกษตร. แหล่งข้อมูล https://www.doa.go.th/ard/?page_id=386 สืบค้น: 9 กันยายน 2565.

สำนักวิจัยพัฒนาอารักขาพืช กรมวิชาการเกษตร. 2563. **ชีวภัณฑ์ป้องกันกำจัดศัตรูพืช**. กรุงเทพฯ: บริษัทนิวธรรมดาการพิมพ์ (ประเทศไทย) จำกัด. 240 หน้า.

หนึ่งฤทัย แสแสงสีรุ้ง. 2561. การศึกษาสภาวะที่เหมาะสมของเทคนิค GC-MS ร่วมกับเทคนิค IDMS ในการแยกสารผสมเบนโซฟีโนน และอนุพันธ์ในกระดาษบรรจุภัณฑ์อาหาร. ***Bulletin of Applied Sciences*** 7(7): 104-114.

Belouafa, S., F. Habti, S. Benhar, B. Belafkih, S. Tayane, S. Hamdouch, A. Bennamara, and A. Abourriche. 2017. Statistical tools and approaches to validate analytical methods: methodology and practical examples. **International Journal of Metrology and Quality Engineering**. 8: 1-10.

EL-Saeid, M.H., A.S. Hassanin, A.Y. Bazeyad, and M.T. Al-Otaibi. 2021. Rapid analytical method for the determination of 220 pesticide with their isomers by GCMS-TIC. **Saudi Journal of Biological Sciences**. 28(8): 4173-4182.

Eurachem. 2014. The Fitness for Purpose of Analytical Methods: A laboratory Guide to Method Validation and Related Topics, 2nd ed. 62 p.

Li, H., J. Wu, C. Chen, W. Xin, and W. Zhang. 2021. Simultaneous determination of 74 pesticide residues in Panax notoginseng by QuEChERS coupled with gas chromatography tandem mass spectrometry. **Food Science and Human Wellness**. 10: 241-250.

NATA. 2018. General accreditation guidance-validation and verification of quantitative and qualitative test methods. Australia.

SANTE/11312. 2021. Guidance document on analytical quality control and method validation procedures for pesticide residues and analysis in food and feed.

การตรวจสอบความใช้ได้ของวิธีวิเคราะห์สารออกฤทธิ์ไซม็อกซานิลในผลิตภัณฑ์สารป้องกันกำจัดศัตรูพืช

Method Validation for determination of the Active Ingredient of cymoxanil in Pesticide Products

สุกัญญา คำคง [1/*] พินิตนันต์ สรวยเอี่ยม [1/] ศศิมา มั่งนิมิตร์ [1/]

Sukanya Khomkong [1/*] Pinitnun Sruay-iam [1/] Sasima Mungnimit [1/]

Abstract

Method validation study of active ingredients in pesticide formulation products, such as cymoxanil. The objectives of this study were validated of method to appropriate with the instrument in laboratory and minimize steps in buffer preparation which was developed and adapted from standard method by High Performance Liquid Chromatography technique within the appropriate condition. The results were found that the working concentration range and linearity range of cymoxanil were 0.04 – 0.14 mg/ml with the correlation coefficient (r) were 0.99980 and 0.99977, respectively which had accepted with limit of the correlation coefficient (r) ≥ 0.990 (CIPAC, 2003). The precision of HORRAT values for repeatability and intermediate precision of the analytical substances by the three levels of concentration were 0.08, 0.10 and 0.12 mg/ml thus the HORRAT values were 0.75, 0.47, 0.51 and 1.03, 0.57, 0.52, respectively. The HORRAT values tested with robustness and ruggedness of cymoxanil which two factors analysis for change that the ratio of the volume of fluid in the mobile phase and flow rate of mobile phase by the three levels of concentration were 0.08, 0.10 and 0.12 mg/ml that the HORRAT values were in the range of 0.31 – 0.56 which were followed by the AOAC (2016) that between 0.3 – 1.3. The accuracy of this method was assessed by recovery studied. The percent recoveries of the analytical substances by the three levels of concentration were 0.08, 0.10 and 0.12 mg/ml showed percent recoveries were 99.2, 99.2 and 98.4, respectively considered an acceptance by the AOAC (2016) that as 98-102% for analytical concentrations more than 10%. This specificity method did not have interference from other substances. The measured uncertainty of cymoxanil was 7.28 ± 0.15 %W/W at 95% confidence level. As a result, it was the performance characteristics of this method according to the criteria. Therefore, the method development could be used to determine the active ingredients in pesticide formulation products with accuracy and precision.

Keywords: method validation; cymoxanil; repeatability; intermediate precision; accuracy

บทคัดย่อ

จากการศึกษาความใช้ได้ของวิธีวิเคราะห์สารออกฤทธิ์ไซม็อกซานิล ในผลิตภัณฑ์สารป้องกันกำจัดศัตรูพืช มีวัตถุประสงค์เพื่อตรวจสอบความใช้ได้ของวิธีวิเคราะห์ที่พัฒนาวิธีขึ้นมาใหม่หรือดัดแปลง มาจากวิธีมาตรฐานให้เหมาะสมกับเครื่องมือในห้องปฏิบัติการ และลดขั้นตอนการเตรียมสารบัฟเฟอร์ เพื่อสร้างมาตรฐานการทดสอบให้ผลการทดสอบมีความถูกต้องและแม่นยำ ยอมรับได้ตามเกณฑ์การยอมรับสากลด้วยเทคนิคไฮเพอร์ฟอร์แมนซ์ลิควิดโครมาโทรกราฟี (HPLC) ภายใต้สภาวะที่เหมาะสม พบว่า ช่วงของการวัด (working range) และช่วงความเป็นเส้นตรง (linearity) ที่ความเข้มข้น 0.04 – 0.14 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร มีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (correlation coefficient, r) เท่ากับ 0.99980 และ 0.99977 ตามลำดับ ซึ่งเกณฑ์ยอมรับค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (correlation coefficient, r) ≥ 0.990 (CIPAC, 2003) ตรวจสอบความแม่นยำ (precision) 2 รูปแบบ คือ ความสามารถในการทำซ้ำ (repeatability) และ ความสามารถในการทำซ้ำภายใต้สภาวะที่แตกต่างกัน (intermediate precision) ที่ 3 ระดับความเข้มข้น คือ 0.08, 0.10 และ 0.12 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร มีค่า HORRAT เท่ากับ 0.75, 0.47, 0.51 และ 0.80, 0.44, 0.41 ตามลำดับ ตรวจสอบความคงทน (robustness / ruggedness) โดยเปลี่ยนปัจจัยการทดสอบแบบ 2 ปัจจัยคือ อัตราส่วนของเฟสเคลื่อนที่กับอัตราการเคลื่อนที่ของเฟสเคลื่อนที่ ที่ 3 ระดับความเข้มข้น คือ 0.08, 0.10 และ 0.12 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร ได้ค่า HORRAT อยู่ในช่วง 0.31 – 0.56 ซึ่งอยู่ในเกณฑ์พิจารณาของ AOAC (2016) คือ 0.3 – 1.3 ตรวจสอบความถูกต้อง (accuracy) ที่ 3 ระดับความเข้มข้น คือ 0.08, 0.10 และ 0.12 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร ได้ % recovery เท่ากับ 99.2, 99.2 และ 98.4 ตามลำดับ ซึ่งอยู่ในช่วง 98 – 102 ตามเกณฑ์พิจารณาสำหรับสารที่มีปริมาณมากกว่า 10% ของ AOAC (2016) และวิธีนี้มีความจำเพาะเจาะจง (specificity) ไม่มีการรบกวนของสารอื่น การประมาณค่าความไม่แน่นอนของสารไซม็อกซานิล เท่ากับ 7.28 ± 0.15 %W/W ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% จากผลการทดสอบดังกล่าว แสดงให้เห็นว่า คุณลักษณะเฉพาะของวิธีเป็นไปตามเกณฑ์การยอมรับ ดังนั้นวิธีที่พัฒนานี้จึงมีความเหมาะสมที่จะนำไปใช้ในการวิเคราะห์สารออกฤทธิ์ไซม็อกซานิลในผลิตภัณฑ์สารป้องกันกำจัดศัตรูพืชได้อย่างถูกต้องและแม่นยำ

คำสำคัญ: การตรวจสอบความใช้ได้ของวิธี; สารออกฤทธิ์ไซม็อกซานิล; ความสามารถในการทำซ้ำ; ความสามารถในการทำซ้ำภายใต้สภาวะที่แตกต่างกัน; ความถูกต้อง

---

1 กลุ่มวิจัยวัตถุมีพิษการเกษตร กองวิจัยพัฒนาปัจจัยการผลิตทางการเกษตร กรุงเทพฯ

1 Agricultural Toxic Substance Research Group, Agricultural Production Sciences Research and Development Division, Bangkok

Corresponding author: thai_sukanya@yahoo.com

บทนำ

ไซม็อกซานิล (cymoxanil) เป็นของแข็งผลึก ไม่มีสี ไม่มีกลิ่น จัดอยู่ในกลุ่ม cyano acetamide oximes มีสูตรทางเคมี $C_7H_{10}N_4O_3$ น้ำหนักโมเลกุล 198.18 จุดหลอมเหลว 160 - 161°C มีความสามารถในการละลายได้ในอะซิโตน คลอโรฟอร์ม เฮกเซน เมทานอล และน้ำ ที่อุณหภูมิ 25 °C เป็นสารป้องกันกำจัดโรคพืชแบบดูดซึมและสัมผัส กลไกออกฤทธิ์เข้าทำลายเชื้อรา มีประสิทธิภาพสูงในการยับยั้งเส้นใย การสร้างสปอร์และการงอกของสปอร์เชื้อรา โดยเฉพาะการต้านเชื้อราโรคราน้ำค้างในพืชตระกูลแตง องุ่น โรคใบไหม้ในพืชผัก เช่น เผือก มะเขือเทศ มันฝรั่ง โรครากเน่าโคนเน่า (phytophthora) ในไม้ผล เช่น ทุเรียน ส้มโอ (Kidd H. and James D.R, 1993) สำหรับการวิเคราะห์หาปริมาณสารออกฤทธิ์ไซม็อกซานิลในผลิตภัณฑ์สารป้องกันกำจัดศัตรูพืช มีวิธีมาตรฐานอ้างอิงตาม CIPAC (Collaborative International Pesticides Analytical council Limited) โดยใช้เทคนิคโครมาโทกราฟี ด้วยเครื่อง HPLC (High Performance Liquid Chromatograph) ที่ใช้เฟสเคลื่อนที่เป็นสารละลายอะซิโตไนไตรล์ที่มีสภาพเป็นกรดอ่อน ด้วยการเติมกรดฟอสฟอริก และใช้คอลัมน์ที่มีความทนต่อสภาพความเป็นกรดได้ดี (W Dobrat and A Martijn, 2000) ดังนั้นเพื่อลดขั้นตอนการเตรียมสารเคมีที่มีความซับซ้อน และใช้อุปกรณ์และเครื่องมือที่มีอยู่ในห้องปฏิบัติการ จึงมีความจำเป็นที่ต้องพัฒนาวิธี ปรับปรุง หรือดัดแปลงวิธีให้เหมาะสมกับอุปกรณ์หรือเครื่องมือที่มี

การตรวจสอบความใช้ได้ของวิธีวิเคราะห์ (Method validation) เป็นส่วนสำคัญอย่างยิ่งของการพัฒนาหรือปรับปรุงวิธีวิเคราะห์ขึ้นมาใหม่ ซึ่งมีแนวทางในการประเมินเพื่อยืนยันหรือพิสูจน์วิธีวิเคราะห์นั้น ๆ จากการศึกษาแนวปฏิบัติการทดสอบความถูกต้องของวิธีวิเคราะห์ทางเคมีโดยห้องปฏิบัติการเดียว ได้กำหนดคุณลักษณะเฉพาะวิธีในการตรวจสอบความใช้ได้ของวิธี คือ ตรวจสอบช่วงความเป็นเส้นตรง (linearity) ช่วงของการวัด (working Range) ความแม่นยำ (precision) ความคงทนของวิธี (robustness/ruggedness) ความถูกต้อง (accuracy) และความจำเพาะเจาะจง (specificity) รวมทั้งความไม่แน่นอนของการวัด (measurement uncertainty) (ทิพวรรณ, 2549)

การวิเคราะห์หาปริมาณสารออกฤทธิ์ในผลิตภัณฑ์สารป้องกันกำจัดศัตรูพืช เป็นส่วนหนึ่งในการควบคุมคุณภาพของผลิตภัณฑ์วัตถุอันตรายทางการเกษตร เป็นไปตามพระราชบัญญัติวัตถุอันตราย พ.ศ. 2535 โดยห้องปฏิบัติการกลุ่มงานพัฒนาระบบตรวจสอบคุณภาพวัตถุมีพิษการเกษตร กลุ่มวิจัยวัตถุมีพิษการเกษตร กองวิจัยพัฒนาปัจจัยการผลิตทางการเกษตร ภายใต้การกำกับดูแลของกรมวิชาการเกษตร เป็นหน่วยงานรับผิดชอบในการให้บริการตรวจสอบผลิตภัณฑ์วัตถุอันตรายทางการเกษตร เพื่อการขึ้นทะเบียนนำเข้าและส่งออก ให้ได้ผลิตภัณฑ์สารป้องกันกำจัดศัตรูพืชที่มีคุณภาพและเกษตรกรนำไปใช้ได้อย่างมีประสิทธิภาพ ดังนั้นการตรวจสอบความใช้ได้ของวิธีวิเคราะห์ที่พัฒนาวิธีขึ้นมาใหม่หรือดัดแปลงมาจากวิธีมาตรฐาน เพื่อสร้างมาตรฐานการทดสอบ ให้ผลการทดสอบมีความถูกต้อง แม่นยำ ยอมรับได้ตามเกณฑ์การยอมรับที่เป็นมาตรฐาน รวมทั้งสามารถขอการรับรองมาตรฐานคุณภาพห้องปฏิบัติการตามมาตรฐาน ISO/IEC 17025:2017 เพื่อเพิ่มสมรรถนะของห้องปฏิบัติการในการตรวจวิเคราะห์ผลิตภัณฑ์วัตถุอันตรายทางเกษตร งานวิจัยนี้จึงสอดคล้องกับกลยุทธ์ของกรมวิชาการเกษตรด้านการวิจัยและพัฒนาระบบมาตรฐานการตรวจสอบคุณภาพพืช ปัจจัยการผลิตและผลิตภัณฑ์ ที่มุ่งให้มีมาตรฐานการทดสอบเป็นที่น่าเชื่อถือยอมรับได้ในระดับประเทศและระดับสากล

อุปกรณ์และวิธีการ

อุปกรณ์

1. เครื่อง HPLC มีตัวตรวจวัดชนิดไดโอดอาร์เรย์ (DAD)
2. คอลัมน์ชนิด LiChrospher® 60 (RP-18) ขนาด 5.0 ไมโครเมตร ความยาว 250 มิลลิเมตร เส้นผ่าศูนย์กลาง (i.d.) 4.0 มิลลิเมตร
3. เครื่องชั่งละเอียด 4 ตำแหน่ง (± 0.1 มิลลิกรัม) ที่ผ่านการสอบเทียบแล้ว
4. Ultrasonic bath
6. ขวดวัดปริมาตรชนิด type A ขนาด 50, 100 และ 200 มิลลิลิตร ที่ผ่านการสอบเทียบแล้ว
7. Auto pipette ขนาด 1 - 10 มิลลิลิตร ที่ผ่านการสอบเทียบแล้ว
8. ขวด vial ขนาด 2 มิลลิลิตร
9. syringe ขนาด 10 มิลลิลิตร
10. syringe filters ขนาด 0.22 ไมโครเมตร
11. บีกเกอร์

สารเคมี

1. สารมาตรฐานไซม็อกซานิล 99.6 %
2. สารอะซิโตไนไตรล์ (HPLC grade)
3. น้ำกลั่นปราศจากไอออน (HPLC grade)
4. ตัวอย่างผลิตภัณฑ์ป้องกันกำจัดโรคพืช cymoxanil + mancozeb 8 % + 64 % W/W WP

วิธีการ

1. การปรับตั้งสภาวะเครื่อง HPLC (DAD) สำหรับการตรวจวิเคราะห์สารออกฤทธิ์ไซม็อกซานิล

   คอลัมน์ : LiChrospher® 60 (RP-18) ขนาด 4.0 x 250 มิลลิเมตร ภายในบรรจุซิลิกา ขนาด 5 ไมโครเมตร

   อัตราการไหล : 1.0 มิลลิลิตรต่อนาที

   เฟสเคลื่อนที่ : อัตราส่วนของน้ำกลั่นปราศจากไอออนต่ออะซิโตไนไตรล์ (Acetonitrile) 30:70

   อุณหภูมิคอลัมน์ : 40 องศาเซลเซียส

   ความยาวคลื่น : 254 นาโนเมตร

   ปริมาตรการฉีด : 2 ไมโครลิตร

2. ตรวจสอบความจำเพาะเจาะจง

   โดยฉีดสารมาตรฐาน สารละลายตัวอย่างไซม็อกซานิล และสารอะซิโตไนไตรล์ (blank) เข้าเครื่อง HPLC ที่ทำการกำหนดสภาวะเครื่องดังข้อ 1 พิจารณาโครมาโทแกรมดูว่ามีสารอื่นแปลกปลอมมารบกวนสารออกฤทธิ์ไซม็อกซานิลหรือไม่

3. ตรวจสอบช่วงความเป็นเส้นตรงและช่วงของการวัด

   3.1 เตรียมสารละลายมาตรฐานตั้งต้น (Stock standard solution) ให้มีความเข้มข้น 1 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร โดยชั่งสารมาตรฐานไซม็อกซานิล 99.6 % ให้มีสารออกฤทธิ์ไซม็อกซานิล ปริมาณ 100 มิลลิกรัม ใส่ในขวดวัดปริมาตร 100 มิลลิลิตร เติมสารอะซิโตไนไตรล์ ปริมาณครึ่งขวด นำไปเขย่าให้ละลายด้วย ultrasonic bath 15 นาที ปล่อยให้สารละลายปรับตัวเข้าสู่อุณหภูมิห้อง ปรับปริมาตรด้วยสารอะซิโตไนไตรล์ เขย่าให้เข้ากัน

3.2 เตรียมสารละลายมาตรฐานไซม็อกซานิล ที่ความเข้มข้น 0.04, 0.06, 0.08, 0.10, 0.12, 0.14 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร โดยทำการปิเปตจากสารละลายมาตรฐานตั้งต้น ข้อ 3.1 ปริมาตร 2, 3, 4, 5, 6 และ 7 มิลลิลิตร ตามลำดับ ลงในขวดวัดปริมาตรขนาด 50 มิลลิลิตร เติมสารอะซิโตไนไตรล์ ปริมาณครึ่งขวด นำไปเขย่าให้ละลายด้วย ultrasonic bath 15 นาที ปล่อยให้สารละลายปรับตัวเข้าสู่อุณหภูมิห้อง ปรับปริมาตรด้วยสารอะซิโตไนไตรล์ เขย่าให้เข้ากัน แบ่งใส่ขวด vial ขนาด 2 มิลลิลิตร นำสารละลายมาตรฐานเข้าเครื่อง HPLC สร้างกราฟระหว่างความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐาน (แกน X) กับค่า response (แกน Y) พิจารณาช่วงความเป็นเส้นตรง และคำนวณค่า Correlation coefficient (r) ≥ 0.990 (CIPAC, 2003)

4. ตรวจสอบความแม่นยำ

4.1 ตรวจสอบความสามารถในการทำซ้ำ (repeatability) ซึ่งเป็นการทดสอบจากห้องปฏิบัติการเดียวกัน ผู้ทดสอบคนเดียวกัน เครื่องมือชุดเดียวกัน ในเวลาเดียวกัน ดังนี้

4.1.1 การเตรียมสารมาตรฐานแบบ 2 ซ้ำ (duplicate) ที่ความเข้มข้น 0.08, 0.10 และ 0.12 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร โดยชั่งสารมาตรฐานไซม็อกซานิล 99.6 % ให้มีสารออกฤทธิ์ไซม็อกซานิล ปริมาณ 0.08, 0.10 และ 0.12 มิลลิกรัม ใส่ในขวดวัดปริมาตร ขนาด 100 มิลลิลิตร เติมสารอะซิโตไนไตรล์ ปริมาณครึ่งขวด นำไปเขย่าด้วยเครื่อง ultrasonic bath ประมาณ 15 นาที ปล่อยให้สารละลายปรับตัวเข้าสู่อุณหภูมิห้องแล้วเติมสารอะซิโตไนไตรล์ถึงขีดปริมาตร แบ่งใส่ขวด vial ขนาด 2 มิลลิลิตร จากนั้นฉีดสารละลายตัวอย่างเข้าเครื่อง HPLC

4.1.2 การเตรียมตัวอย่างสารไซม็อกซานิล 8 % W/W WP ที่ความเข้มข้น 0.08, 0.10 และ 0.12 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร ความเข้มข้นละ 10 ซ้ำ โดยชั่งสารตัวอย่างให้มีสารออกฤทธิ์ไซม็อกซานิล ปริมาณ 1, 1.25 และ 1.5 มิลลิกรัม ใส่ในขวดวัดปริมาตร ขนาด 50 มิลลิลิตร เติมสารอะซิโตไนไตรล์ปริมาณครึ่งขวด นำไปเขย่าด้วยเครื่อง ultrasonic bath ประมาณ 15 นาที จากนั้นนำออกมาตั้งทิ้งให้เย็นที่อุณหภูมิห้อง ปรับปริมาตรด้วยสารอะซิโตไนไตรล์ และกรองผ่านกระดาษกรอง ขนาด 0.22 ไมโครเมตร นำสารละลายเข้าเครื่อง HPLC โดยเทียบกับสารมาตรฐานของแต่ละช่วงความเข้มข้นจากข้อ 4.1.1 คำนวณหาค่าเฉลี่ย (mean) ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (standard deviation, SD) ความคลาดเคลื่อนสัมพัทธ์ (relative standard deviation, RSD) และประเมินด้วย HORRAT โดย HORRAT ต้องมีค่าอยู่ในช่วง 0.3 – 1.3 ตามเกณฑ์พิจารณาของ AOAC (2016)

ประเมิน precision โดยใช้ HORRAT

$$\text{HORRAT} = \%RSD_{exp.} / \%RSD_{Horwitz}$$

คำนวณ Predicted Horwitz RSD ตามสูตร

$$\%RSD_r = 0.66 \times 2^{(1-0.5 \log C)}$$

$$C = \text{Concentration ratio}$$

เกณฑ์ยอมรับค่า precision ยอมรับ HORRAT = 0.3 – 1.3

4.2 ตรวจสอบแบบความสามารถในการทำซ้ำภายใต้สภาวะที่แตกต่างกันเล็กน้อย (intermediate precision) ซึ่งเป็นการทดสอบจากห้องปฏิบัติการเดียวกัน ผู้ทดสอบคนเดียวกัน เครื่องมือชุดเดียวกัน ในช่วงเวลาต่างกัน วิเคราะห์ตัวอย่างเช่นเดียวกับข้อ 4.1 แต่จะวิเคราะห์ต่างวัน โดยเทียบกับสารมาตรฐานของแต่ละช่วงความเข้มข้น คำนวณหาค่าเฉลี่ย ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน ความคลาดเคลื่อนสัมพัทธ์ และประเมินด้วย HORRAT โดย HORRAT ต้องมีค่าอยู่ในช่วง 0.3-1.3 ตามเกณฑ์พิจารณาของ AOAC (2016)

5. ตรวจสอบความคงทน

วิเคราะห์ตัวอย่างสารไซม็อกซานิล 8 % W/W WP เช่นเดียวกับข้อ 4.1 โดยเปลี่ยนปัจจัยการทดสอบ 2 ปัจจัย คือ อัตราส่วนของเฟสเคลื่อนที่กับอัตราการเคลื่อนที่ของเฟสเคลื่อนที่ คำนวณหาค่าเฉลี่ย ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

ความคลาดเคลื่อนสัมพัทธ์) และประเมินด้วย HORRAT โดย HORRAT ต้องมีค่าอยู่ในช่วง 0.3 – 1.3 ตามเกณฑ์พิจารณาของ AOAC (2016)

6. ตรวจสอบความถูกต้อง

6.1 เตรียมสารละลายมาตรฐานตั้งต้น

เตรียมสารละลายมาตรฐานไซม็อกซานิล 99.6 % ความเข้มข้น 1 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร ลงในขวดวัดปริมาตร ขนาด 200 มิลลิลิตร เติมสารอะซิโตไนไตรล์ ประมาณครึ่งขวด นำไปเขย่าให้ละลายด้วยเครื่อง ultrasonic bath ประมาณ 15 นาที จากนั้นนำออกมาตั้งทิ้งให้เย็นที่อุณหภูมิห้อง ปรับปริมาตรด้วยสารอะซิโตไนไตรล์จนถึงขีดปริมาตร

6.2 เตรียมสารละลายตัวอย่างตั้งต้น (Stock sample solution)

เตรียมสารละลายไซม็อกซานิล 8 % W/W WP ความเข้มข้น 1 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร ลงในขวดวัดปริมาตร ขนาด 100 มิลลิลิตร เติมสารอะซิโตไนไตรล์ ประมาณครึ่งขวด นำไปเขย่าให้ละลายด้วยเครื่อง ultrasonic bath ประมาณ 15 นาที จากนั้นนำออกมาตั้งทิ้งให้เย็นที่อุณหภูมิห้อง ปรับปริมาตรด้วยสารอะซิโตไนไตรล์จนถึงขีดปริมาตร

6.3 เตรียมสารละลายมาตรฐาน

เตรียมสารละลายมาตรฐานไซม็อกซานิล 99.6 % ที่ความเข้มข้น 0.08, 0.10 และ 0.12 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร ความเข้มข้นละ 2 ซ้ำ โดยปิเปตสารละลายมาตรฐานตั้งต้น ข้อ 6.1 ปริมาตร 4, 5 และ 6 มิลลิลิตร ใส่ในขวดวัดปริมาตรขนาด 50 มิลลิลิตร เติมสารอะซิโตไนไตรล์ ประมาณครึ่งขวด นำไปเขย่าให้ละลายด้วย ultrasonic bath 15 นาที ปล่อยให้สารละลายปรับตัวเข้าสู่อุณหภูมิห้องแล้วเติมสารอะซิโตไนไตรล์จนถึงขีดปริมาตร แบ่งใส่ขวด vial ขนาด 2 มิลลิลิตร จากนั้นฉีดสารละลายตัวอย่างเข้าเครื่อง HPLC

6.4 เตรียมสารละลายเพื่อหาค่า Origin

ปิเปตสารสารละลายตัวอย่างตั้งต้น ข้อ 6.2 ปริมาตร 1.2, 1.5 และ 1.8 มิลลิลิตร ใส่ในขวดวัดปริมาตรขนาด 50 มิลลิลิตร อย่างละ 10 ซ้ำ ปรับปริมาตรด้วยสารอะซิโตไนไตรล์จนถึงขีดปริมาตร เขย่าให้เข้ากัน นำไปกรองผ่านกระดาษกรอง ขนาด 0.22 ไมโครเมตร และแบ่งใส่ขวด vial ขนาด 2 มิลลิลิตร นำสารละลายเข้าเครื่อง HPLC โดยเทียบกับสารมาตรฐานในแต่ละช่วงที่เตรียมไว้ ข้อ 6.3

6.5 เตรียมสารละลายเพื่อหาค่า Spike

ปิเปตสารสารละลายตัวอย่างตั้งต้น ข้อ 6.2 ปริมาตร 1.2, 1.5 และ 1.8 มิลลิลิตร ใส่ในขวดวัดปริมาตรขนาด 50 มิลลิลิตร อย่างละ 10 ซ้ำ จากนั้นเติมสารละลายมาตรฐานตั้งต้น ข้อ 6.1 ปริมาตร 2.8, 3.5 และ 4.2 มิลลิลิตร ปรับปริมาตรด้วยสารอะซิโตไนไตรล์จนถึงขีดปริมาตร เขย่าให้เข้ากัน นำไปกรองผ่านกระดาษกรอง ขนาด 0.22 ไมโครเมตร และแบ่งใส่ขวด vial ขนาด 2 มิลลิลิตร นำสารละลายเข้าเครื่อง HPLC โดยเทียบกับสารมาตรฐานในแต่ละช่วงที่เตรียมไว้ ข้อ 6.3

ประเมินค่า accuracy จากค่า % recovery

% recovery = $(C_{spike} - C_{origin}) \times 100 / C_{add}$

C_{spike} = ปริมาณสารออกฤทธิ์ในสารละลาย Spike

C_{origin} = ปริมาณสารออกฤทธิ์ในสารละลาย Origin

C_{add} = ปริมาณสารออกฤทธิ์ที่เติมลงในสารละลาย Spike

7. ประมาณค่าความไม่แน่นอน

ประมาณค่าความไม่แน่นอนของการตรวจสอบความใช้ได้ของวิธีวิเคราะห์สารออกฤทธิ์ไซม็อกซานิล ในผลิตภัณฑ์สารป้องกันกำจัดศัตรูพืช ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

ผลการทดลองและวิจารณ์

ผลการตรวจสอบความใช้ได้ของวิธีวิเคราะห์สารกำจัดโรคพืชไซม็อกซานิลในผลิตภัณฑ์สารป้องกันกำจัดศัตรูพืช โดยตรวจสอบคุณลักษณะเฉพาะต่างๆ ได้แก่ ความจำเพาะเจาะจง ช่วงความเป็นเส้นตรง ช่วงของการวัด ความแม่นยำ ความคงทนของวิธี ความถูกต้อง และความไม่แน่นอนของการวัด ประเมินการยอมรับได้ดังนี้

1. การตรวจสอบความเฉพาะเจาะจง

ตรวจสอบความเฉพาะเจาะจง ของวิธีวิเคราะห์สารออกฤทธิ์ไซม็อกซานิล พบว่า โครมาโทแกรมของสารละลายมาตรฐาน สารละลายตัวอย่างไซม็อกซานิล และสารละลายแบลงค์ของสารอะซิโตไนไตรล์ ไม่มีพีคอื่นใดมารบกวน (Figure 1 – 3) แสดงให้เห็นว่า วิธีวิเคราะห์สารออกฤทธิ์ไซม็อกซานิล ไม่ตอบสนองต่อสารอื่น แต่จะตอบสนองเฉพาะเจาะจงต่อสารตัวอย่าง

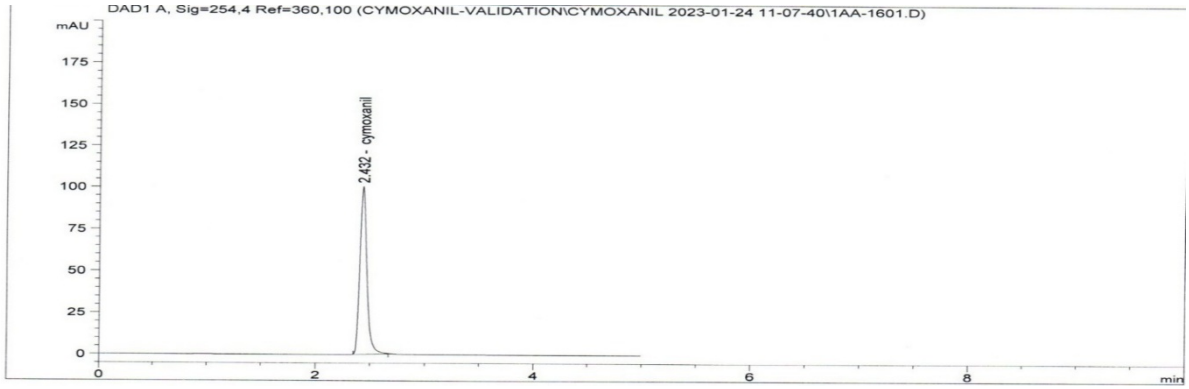


Figure 1 Show the chromatogram of cymoxanil standard solution 99.6 %

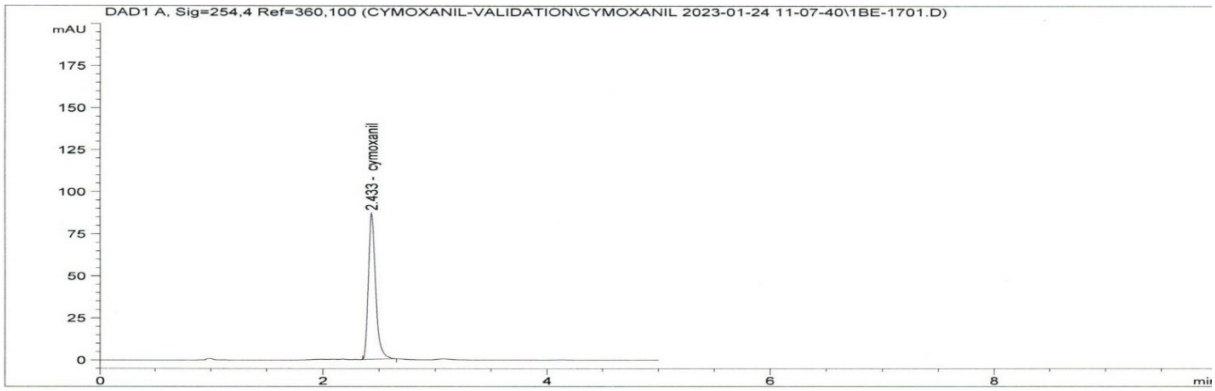


Figure 2 Show the chromatogram of cymoxanil sample solution 8 % W/W WP

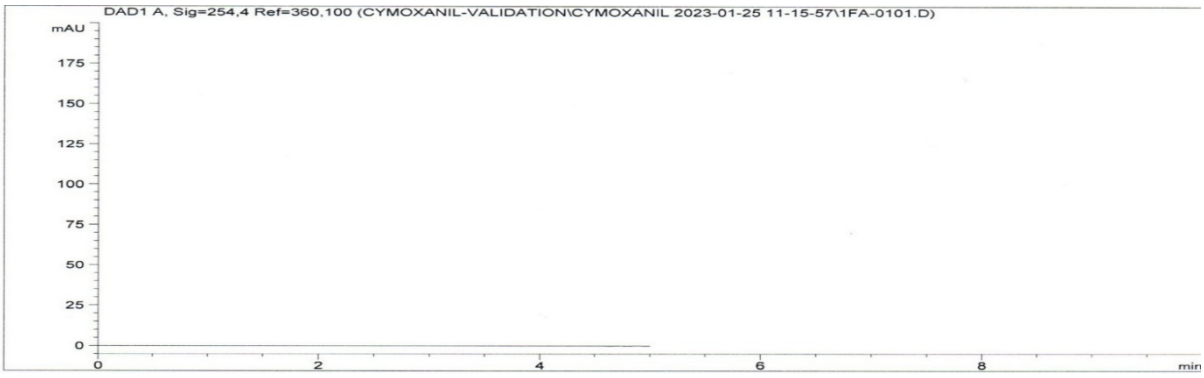


Figure 3 Show the chromatogram of blank sample (acetonitrile)

2. การตรวจสอบช่วงของการวัด และช่วงความเป็นเส้นตรง

ตรวจสอบช่วงของการวัด พบว่า ช่วงของการวัดของสารละลายมาตรฐานไซม็อกซานิล 99.6 % ในช่วงความเข้มข้น 0.04 – 0.14 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร (Table 1) ได้ค่า correlation coefficient (r) เท่ากับ 0.99980 ซึ่งผ่านเกณฑ์ยอมรับตามมาตรฐาน ต้องมีค่า r ≥ 0.990 (CIPAC, 2003) แสดงดังภาพ (Figure 4)

Table 1 Show the working range of cymoxanil standard solution

Conc. (mg/ml)	Area	Level
0.04	175.27470	1
0.06	261.82513	2
0.08	352.75449	3
0.10	446.68726	4
0.12	542.26868	5
0.14	635.07581	6

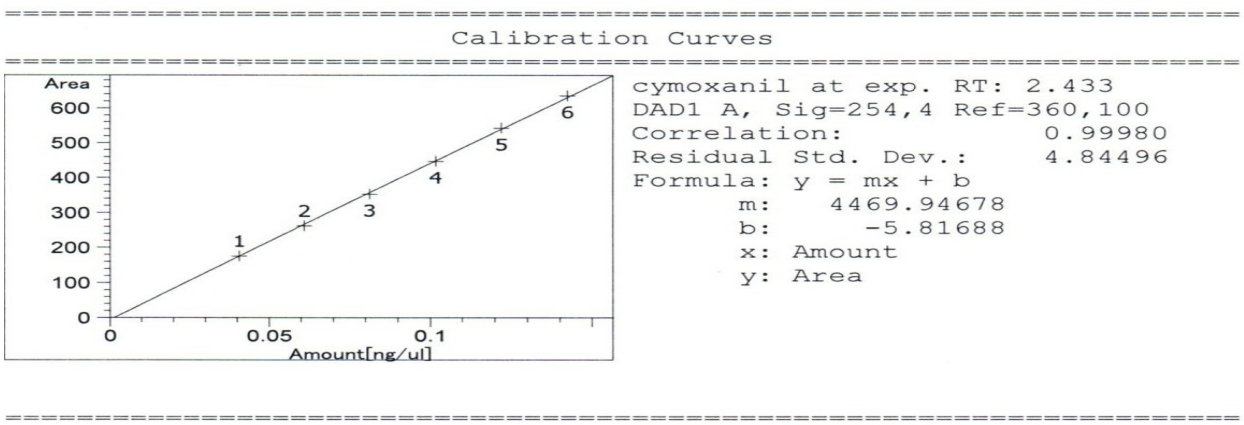


Figure 4 Show the value of correlation coefficient (r) = 0.99980 by relationship between concentration and peak area

ตรวจสอบช่วงความเป็นเส้นตรง พบว่า ช่วงความเป็นเส้นตรงของสารละลายมาตรฐานไซม็อกซานิล 99.6 % ในช่วงความเข้มข้น 0.04 – 0.14 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร (Table 2) ได้ค่า correlation coefficient (r) เท่ากับ 0.99977 ซึ่งผ่านเกณฑ์ยอมรับตามมาตรฐาน ต้องมีค่า r ≥ 0.990 (CIPAC, 2003) แสดงตามภาพ (Figure 5)

Table 2 Show the linearity of cymoxanil standard solution

Conc. (mg/ml)	Area	Level
0.04	175.70255	1
0.06	262.52791	2
0.08	353.30006	3
0.10	446.91087	4
0.12	542.67578	5
0.14	637.72412	6

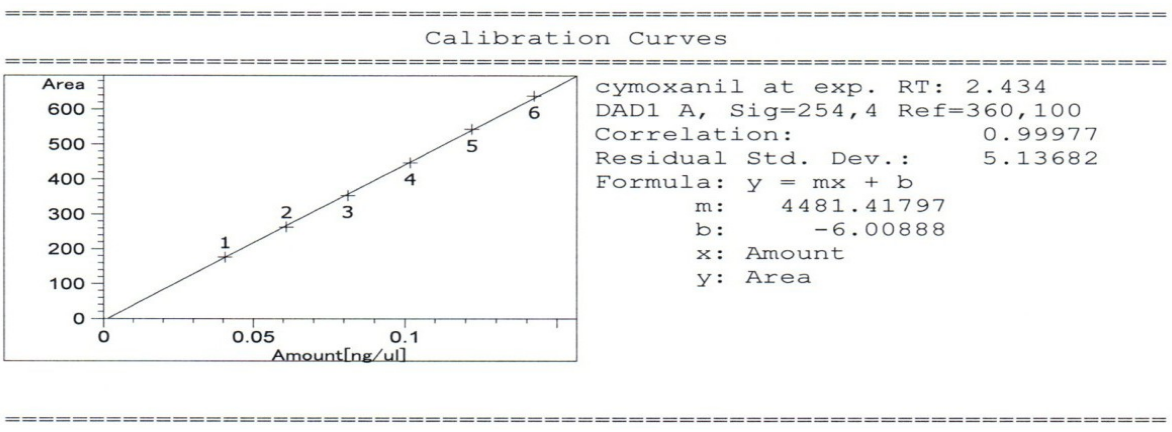


Figure 5 Show the value of correlation coefficient (r) = 0.99977 by relationship between concentration and peak area

3. การตรวจสอบความเที่ยง

ตรวจสอบความเที่ยงของวิธีวิเคราะห์สารออกฤทธิ์ไซม็อกซานิล 8 % W/W WP ที่ความเข้มข้น 0.08, 0.10, 0.12 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร พบว่า ประเมินแบบ repeatability ได้ค่า HORRAT เท่ากับ 0.75, 0.47, 0.51 ตามลำดับ (Table 3)

Table 3 Show the precision results of repeatability for cymoxanil 8 % W/W WP

n	Conc. 0.08 mg/ml		Conc. 0.10 mg/ml		Conc. 0.12 mg/ml	
	Weigh (mg)	%Ai	Weight (mg)	%Ai	Weight (mg)	%Ai
1	50.9	7.46	62.7	7.12	76.2	7.27
2	50.8	7.41	61.4	7.26	75.6	7.14
3	52.8	7.15	61.2	7.28	74.2	7.17
4	49.7	7.35	63.9	7.31	74.9	7.27
5	51.8	7.46	61.5	7.33	75.1	7.39
6	50.8	7.37	63.4	7.32	76.5	7.28
7	51.1	7.45	62.4	7.21	76.5	7.30
8	51.0	7.52	62.2	7.29	74.9	7.24
9	50.6	7.43	62.6	7.33	74.6	7.27
10	50.8	7.28	63.9	7.30	76.6	7.33
Mean (%W/W)		7.39		7.28		7.27
C		0.08		0.08		0.08
SD		0.10		0.06		0.07
%RSD		1.45		0.90		0.99
Predicted Horwitz RSD		1.93		1.93		1.93
HORRAT		0.75		0.47		0.51

ประเมินแบบ intermediate precision ได้ค่า HORRAT เท่ากับ 1.03, 0.57, 0.52 ตามลำดับ (Table 4) ซึ่งผ่านเกณฑ์ยอมรับตามมาตรฐาน AOAC (2016) ต้องมีค่าอยู่ในช่วง 0.3 – 1.3

Table 4 Show the precision results of intermediate precision for cymoxanil 8 % W/W WP

n	Conc. 0.08 mg/ml		Conc. 0.10 mg/ml		Conc. 0.12 mg/ml	
	Weight (mg)	%Ai	Weight (mg)	%Ai	Weight (mg)	%Ai
1	50.9	7.57	62.9	7.20	74.7	7.32
2	51.0	7.46	63.3	7.24	76.6	7.27
3	50.1	7.37	63.1	7.22	74.9	7.30
4	49.0	7.51	61.5	7.34	76.3	7.32
5	51.8	7.34	63.9	7.19	76.5	7.17
6	51.5	7.59	61.5	7.25	74.8	7.26
7	49.7	7.76	62.3	7.23	75.4	7.15
8	49.1	7.38	63.6	7.38	75.9	7.31
9	50.7	7.64	63.9	7.41	75.2	7.40
10	50.8	7.30	63.9	7.34	76.5	7.29
Mean (%W/W)		7.49		7.28		7.28
C		0.08		0.08		0.08
SD		0.14		0.07		0.07
%RSD		1.98		1.09		1.00
Predicted Horwitz RSD		1.93		1.93		1.93
HORRAT		1.03		0.57		0.52

4. การตรวจสอบความคงทนของวิธีวิเคราะห์

ตรวจสอบความคงทนของวิธีวิเคราะห์สารออกฤทธิ์ไซม็อกซานิล 8 % W/W WP โดยเปลี่ยนปัจจัยการทดสอบ 2 ปัจจัย คือ อัตราส่วนของเฟสเคลื่อนที่กับอัตราการเคลื่อนที่ของเฟสเคลื่อนที่ ที่ความเข้มข้น 0.08, 0.10, 0.12 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร พบว่า การเปลี่ยนอัตราส่วนของเฟสเคลื่อนที่ของวิธีวิเคราะห์ ได้ค่า HORRAT เท่ากับ 0.39, 0.44, 0.56 ตามลำดับ (Table 5) การเปลี่ยนอัตราการเคลื่อนที่ของเฟสเคลื่อนที่ของวิธีวิเคราะห์ ได้ค่า HORRAT เท่ากับ 0.31, 0.47, 0.36 ตามลำดับ (Table 6) ซึ่งผ่านเกณฑ์ยอมรับตามมาตรฐาน AOAC (2016) ต้องมีค่าอยู่ในช่วง 0.3 – 1.3

Table 5 Show the results of robustness/ruggedness (change ratio of the volume of fluid in the mobile phase) for cymoxanil 8 % W/W WP

n	**Conc. 0.08 mg/ml**		**Conc. 0.10 mg/ml**		**Conc. 0.12 mg/ml**	
	Weight (mg)	%Ai	Weight (mg)	%Ai	Weight (mg)	%Ai
1	51.2	7.65	62.5	7.22	76.1	7.19
2	51.6	7.52	61.3	7.47	74.0	7.24
3	50.9	7.51	63.8	7.27	76.5	7.26
4	50.7	7.51	62.8	7.19	74.7	7.44
5	49.6	7.47	63.3	7.20	75.2	7.50
6	50.9	7.63	62.9	7.25	75.0	7.28
7	52.9	7.39	63.5	7.29	75.8	7.22
8	50.7	7.46	63.9	7.23	76.2	7.24
9	50.9	7.43	62.1	7.27	75.0	7.21
10	51.9	7.43	63.5	7.42	76.1	7.48
Mean (%W/W)		7.50		7.28		7.31
C		0.08		0.08		0.08
SD		0.08		0.09		0.11
%RSD		1.12		1.27		1.62
Predicted Horwitz RSD		2.92		2.92		2.92
HORRAT		0.39		0.44		0.56

Table 6 Show the results of robustness/ruggedness (change flow rate) for cymoxanil 8 % W/W WP

n	Conc. 0.08 mg/ml		Conc. 0.10 mg/ml		Conc. 0.12 mg/ml	
	Weight (mg)	%Ai	Weight (mg)	%Ai	Weight (mg)	%Ai
1	49.1	7.35	61.3	7.23	74.9	7.25
2	50.2	7.43	61.4	7.19	74.1	7.38
3	50.7	7.35	63.4	7.23	76.2	7.30
4	50.8	7.55	62.3	7.23	76.6	7.34
5	49.8	7.42	63.7	7.20	74.8	7.28
6	50.9	7.45	62.2	7.27	75.3	7.38
7	51.4	7.37	62.7	7.21	75.7	7.27
8	52.7	7.31	63.8	7.25	74.8	7.18
9	51.2	7.39	62.5	6.95	76.4	7.31
10	50.8	7.44	62.6	7.32	75.7	7.15
Mean (%W/W)		7.41		7.21		7.28
C		0.08		0.08		0.08
SD		0.06		0.09		0.07
%RSD		0.91		1.36		1.04
Predicted Horwitz RSD		2.92		2.92		2.92
HORRAT		0.31		0.47		0.36

5. การตรวจสอบความถูกต้อง

ตรวจสอบความถูกต้อง โดยหาค่า % recovery ของสารออกฤทธิ์ไซม็อกซานิล 8 % W/W WP ที่ความเข้มข้น 3 ระดับ จำนวน 10 ซ้ำ คือ 0.08, 0.10, 0.12 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร ตามลำดับ พบว่า ได้ % recovery เท่ากับ 99.2, 99.2 และ 98.4 ตามลำดับ (Table 7) ซึ่งอยู่ในช่วงเกณฑ์การยอมรับที่ 98 - 102 % ตามเกณฑ์พิจารณาสำหรับสารที่มีปริมาณมากกว่า 10% ของ AOAC (2016)

Table 7 Show the results of % recovery for cymoxanil 8 % W/W WP

n	Conc. of cymoxanil											
	0.08 mg/ml				0.10 mg/ml				0.12 mg/ml			
	origin	add	result	% recovery	origin	add	result	% recovery	origin	add	result	% recovery
1	0.024	0.05	0.079	98.6	0.029	0.07	0.098	98.7	0.035	0.084	0.117	97.8
2	0.023	0.05	0.078	98.4	0.029	0.07	0.098	98.5	0.035	0.084	0.117	98.4
3	0.023	0.05	0.078	98.4	0.028	0.07	0.098	99.6	0.035	0.084	0.117	98.6
4	0.023	0.05	0.078	99.0	0.028	0.07	0.098	99.8	0.036	0.084	0.117	97.4
5	0.022	0.05	0.078	99.1	0.029	0.07	0.098	98.3	0.035	0.084	0.117	98.7
6	0.022	0.05	0.078	100.0	0.029	0.07	0.098	99.0	0.035	0.084	0.118	99.5
7	0.023	0.05	0.079	99.9	0.029	0.07	0.098	98.7	0.035	0.084	0.117	98.0
8	0.022	0.05	0.078	99.9	0.028	0.07	0.098	99.9	0.035	0.084	0.117	98.1
9	0.022	0.05	0.079	100.1	0.028	0.07	0.098	100.1	0.036	0.084	0.118	98.7
10	0.023	0.05	0.079	99.1	0.028	0.07	0.098	99.9	0.035	0.084	0.118	99.1
mean	**0.023**	**0.05**	**0.078**	**99.2**	**0.028**	**0.07**	**0.098**	**99.2**	**0.035**	**0.08**	**0.118**	**98.4**

6. การประมาณค่าความไม่แน่นอน

ประมาณค่าความไม่แน่นอนของการวิเคราะห์สารออกฤทธิ์ไซม็อกซานิล 8 % W/W WP ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% พบว่า แหล่งของความไม่แน่นอนจากการตรวจสอบความใช้ได้ของวิธี ดังแสดงในตาราง (Table 8) ดังนั้น ค่าความไม่แน่นอนของวิธีวิเคราะห์สารออกฤทธิ์ไซม็อกซานิลเท่ากับ ± 0.15 %W/W

Table 8 Possible sources of uncertainty in analysis of cymoxanil

Source	Unit	Value (x)	u_x	Ru (u_x/x)	Ru^2
$u_{m.std}$	g	0.010	6.7175×10^{-5}	6.7175×10^{-4}	4.513×10^{-7}
$u_{m.s}$	g	0.100	6.7882×10^{-5}	6.7882×10^{-4}	4.608×10^{-7}
$U_{vol.std}$	ml	200	5.7735×10^{-1}	2.8868×10^{-3}	8.333×10^{-6}
$U_{vol.std,samp}$	ml	100	2.8882×10^{-1}	2.8882×10^{-3}	8.341×10^{-6}
$u_{vol.std,samp}$	ml	50	1.4444×10^{-1}	2.8888×10^{-3}	8.345×10^{-6}
u_{std}	-	0.996	1.5000×10^{-3}	1.5060×10^{-3}	2.268×10^{-6}
u_{Repeat}	g	7.28	1.8973×10^{-1}	2.6063×10^{-3}	6.793×10^{-6}

สรุปผลการทดลอง

จากการตรวจสอบวิธีวิเคราะห์สารออกฤทธิ์ไซม็อกซานิลในผลิตภัณฑ์สารป้องกันกำจัดศัตรูพืช โดยพิสูจน์ความใช้ได้ของวิธี ด้วยเทคนิค High Performance Liquid Chromatography (HPLC) โดยการทดสอบคุณลักษณะเฉพาะต่างๆ ของสารออกฤทธิ์ไซม็อกซานิล 8 % W/W WP พบว่า วิธีวิเคราะห์สารออกฤทธิ์ไซม็อกซานิลมีความสามารถในการแยกและความจำเพาะเจาะจง ให้พีคของสารทดสอบชัดเจน ไม่มีพีคอื่นมารบกวนพีคของสาร แสดงว่าวิธีวิเคราะห์นี้สามารถแยกและมีความเฉพาะเจาะจงที่ดีต่อสารที่ทำการทดสอบ ทั้งนี้การตรวจสอบช่วงของการวัด และค่าความเป็นเส้นตรง ในช่วงความเข้มข้น 0.08 – 0.12 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร ได้ค่า Correlation coefficient (r) เท่ากับ 0.99980 และ 0.99977 ตามลำดับ ซึ่งผ่านเกณฑ์การยอมรับ ค่า r ≥ 0.990 (CIPAC, 2003) ตรวจสอบความแม่นยำ แบบ repeatability ที่ความเข้มข้น 0.08, 0.10 และ 0.12 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร ได้ค่า HORRAT เท่ากับ 0.75, 0.47 และ 0.51 ตามลำดับ ตรวจสอบความแม่นยำ แบบ intermediate precision ที่ความเข้มข้น 0.08, 0.10 และ 0.12 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร ได้ค่า HORRAT เท่ากับ 1.03, 0.57 และ 0.52 เมื่อตรวจสอบความคงทน โดยเปลี่ยนแปลงตัวแปรหรือปัจจัยบางอย่างในวิธีวิเคราะห์ ได้แก่ อัตราส่วนของเฟสเคลื่อนที่ และอัตราการเคลื่อนที่ของเฟสเคลื่อนที่ พบว่า การเปลี่ยนอัตราส่วนของเฟสเคลื่อนที่ ที่ความเข้มข้น 0.08, 0.10 และ 0.12 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร ได้ค่า HORRAT เท่ากับ 0.39, 0.44 และ 0.56 ตามลำดับ การเปลี่ยนอัตราการเคลื่อนที่ของเฟสเคลื่อนที่ ที่ความเข้มข้น 0.08, 0.10 และ 0.12 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร ได้ค่า HORRAT เท่ากับ 0.31, 0.47 และ 0.36 ตามลำดับ ซึ่งมีค่าอยู่ในช่วง 0.3 – 1.3 ผ่านเกณฑ์ยอมรับตามมาตรฐาน AOAC (2016) การตรวจสอบความถูกต้อง ที่ความเข้มข้น 0.08, 0.10 และ 0.12 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร พบว่า ได้ค่า % recovery เท่ากับ 99.2, 99.2 และ 98.4 ตามลำดับ ซึ่งอยู่ในช่วง 98 – 102 ตามเกณฑ์พิจารณาสำหรับสารที่มีปริมาณมากกว่าร้อยละ 10 ของ AOAC (2016) นอกจากนี้ การประมาณค่าความไม่แน่นอนของการวัด พบว่า การรายงานค่าความไม่แน่นอนของวิธีวิเคราะห์สารออกฤทธิ์ไซม็อกซานิล เท่ากับ 7.28 ± 0.15 %W/W ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ดังนั้น การตรวจสอบความใช้ได้ของวิธีวิเคราะห์ที่พัฒนามาจากวิธีมาตรฐาน จึงมีความเหมาะสมที่จะนำไปใช้ในการวิเคราะห์สารออกฤทธิ์ไซม็อกซานิลในผลิตภัณฑ์สารป้องกันกำจัดศัตรูพืชได้อย่างถูกต้อง แม่นยำ สร้างความน่าเชื่อถือแก่ผลการทดสอบ และสามารถนำไปขอการรับรองห้องปฏิบัติการตามมาตรฐาน ISO/IEC 17025: 2017 เพื่อแสดงถึงความสามารถของห้องปฏิบัติการในระดับสากล

การนำผลงานวิจัยไปใช้ประโยชน์

1. ใช้เป็นวิธีมาตรฐานในการวิเคราะห์ผลิตภัณฑ์วัตถุอันตรายทางการเกษตรในห้องปฏิบัติการ เพื่อการขึ้นทะเบียนนำเข้าและส่งออก รวมทั้งควบคุมคุณภาพวัตถุอันตรายทางการเกษตร ตามพระราชบัญญัติวัตถุอันตราย พ.ศ.2535 และรวบรวมเป็นวิธีมาตรฐาน สามารถตีพิมพ์เผยแพร่ให้แก่ห้องปฏิบัติการของกรมวิชาการเกษตรในส่วนภูมิภาค ส่วนภาครัฐหรือภาคเอกชน และหน่วยงานที่เกี่ยวข้องได้อย่างเป็นที่น่าเชื่อถือ

2. ใช้ยื่นขอขยายขอบข่ายการรับรองห้องปฏิบัติการ ตามมาตรฐาน ISO/IEC 17025: 2017 เพื่อเพิ่มศักยภาพให้กับหน่วยงานและองค์กรให้เป็นที่ยอมรับในระดับสากล

เอกสารอ้างอิง

ทิพวรรณ นิ่งน้อย. 2549. แนวปฏิบัติการทดสอบความถูกต้องของวิธีวิเคราะห์ทางเคมีโดยห้องปฏิบัติการเดียว. กรุงเทพฯ. กรมวิทยาศาสตร์การแพทย์ กระทรวงสาธารณสุข.

AOAC. 2016. Guidelines for Standard Method Performance Requirements. Available at: http://www.eoma.aoac.org. Accessed: November 28, 2023.

Collaborative International Pesticides Analytical Council Limited. 2003. Guidelines on method validation to be performed in support of analytical methods for agrochemical formulations. CIPAC No. 3807. Available at: https://www.cipac.org/images/pdf/ validat.pdf. Accessed: November 28, 2023.

Kidd H. and James D.R. 1993. *The Agrochemicals Handbook.* 3rd Ed update 4. England. Royal Society of Chemistry. Cambridge.

W Dobrat and A Martijn. (2000). CIPAC Handbook volume J Analysis of Technical and Formulated Pesticides. England. Collaborative International Pesticides Analytical Council Limited.

ผลงานวิจัยเด่นปี พ.ศ. 2565-2568

กลุ่มวิจัยเกษตรเคมี

การรับรองความสามารถห้องปฏิบัติการวิเคราะห์และตรวจสอบคุณภาพปุ๋ยภาคเอกชน ตามพระราชบัญญัติปุ๋ย พ.ศ. 2518 ซึ่งแก้ไขเพิ่มเติมโดยพระราชบัญญัติปุ๋ย (ฉบับที่ 2) พ.ศ. 2550

Accreditation of private fertilizer testing laboratories in accordance with the Fertilizer Act B.E. 2518, Amended by Fertilizer Act (No. 2) B.E. 2550

ชฎาพร คงนาม[1/*] ศุภากร ดวนใหญ่[1/] ทองจันทร์ พิมพ์เพชร[1/] พงศ์พิศ แก้วสุข[1/] นันทกานต์ ขุนโหร[1/]
สุวรรณี ศรีทองอินทร์[1/] อาธิยา ปุ่นประโคน[1/] ศุภัคชญา ทาหาร[1/] เจนจิรา เทเวศร์วรกุล[1/]
สงกรานต์ มะลิสอน[1/] รุ่งนภา พิทักษ์ตันสกุล[1/] จรีรัตน์ กุศลวิริยะวงศ์[1/]
Chadaporn Khongnam[1/*] Supakorn Duanyai[1/] Thongchan Pimpet[1/] Pongpit Kaessuk[1/] Nanthakan Khunhon[1/]
Suwannee Sritongin[1/] Arthiya Punprakhon[1/] Supakchaya Thahan[1/] Junejira Teweswarakul[1/]
Songkrant Malisorn[1/] Rungnapa Phitaktansakul[1/] Charirat Kusonwiriyawong[1/]

ABSTRACT

In 2007, the Fertilizer Act No. 2 B.E. 2550 was enacted, amending Section 10 to include criteria, procedures, and conditions for the designation of fertilizer testing laboratories. In addition, Sections 36 (11), 36/1 (10), and 36/2 (10) were amended to allow applicants for fertilizer registration to use fertilizer analysis reports from laboratories designated by the Director-General, with the approval of the Fertilizer Committee. This applies to chemical fertilizer, organic fertilizer and biological fertilizer. Furthermore, the Cabinet approved the policy for transferring inspection and quality certification responsibilities from government agencies to the private sector. Accordingly, the Agricultural Production Science Research and Development Division, as the responsible agency for providing fertilizer testing, inspection, and laboratory accreditation, drafted the criteria for the designation of fertilizer testing laboratories. In 2011, the Department of Agriculture issued an announcement on the designation of fertilizer testing laboratories in accordance with Section 36 (11) and Section 36/2 (10) of the Fertilizer Act B.E. 2518, amended by the Fertilizer Act (No. 2) B.E. 2550 B.E. 2554. By being able to use the fertilizer analysis results report from the laboratory that the Department of Agriculture has accepted, the ability can be used to register fertilizer. Agricultural Production Science Research and Development Division, through the Agricultural Chemistry Group, began accepting applications from private fertilizer testing laboratories on December 1, 2012. Currently, there are private fertilizer testing laboratories that have received fertilizer testing laboratory certification in Scope 1 (Primary element in chemical fertilizers), 12 laboratories, Scope 2 (Secondary element in chemical fertilizers), 7 laboratories, Scope 3 (Trace element in chemical fertilizers), 6 laboratories, and Scope 4 (Organic fertilizers), 2 laboratories, covering both chemical and organic fertilizers. During the period

[1] กองวิจัยพัฒนาปัจจัยการผลิตทางการเกษตร กรมวิชาการเกษตร กรุงเทพฯ 10900
[1] Agricultural Production Science Research and Development Division, Department of Agriculture, Bangkok 10900
*** Corresponding author: kik.chada@gmail.com**

from 2022 - 2024, the number of fertilizer samples for registration from the System Research of Fertilizer Quality showed a continuous declining trend, with 3,615 2,236 and 1,598 samples, respectively. This represents a decrease from the year 2022 by 38.15% and 55.78%, respectively. Furthermore, the results of the customer satisfaction survey for the private sector fertilizer analysis services during 2022–2024 showed average satisfaction scores of 4.59 4.64 and 4.53 points, which correspond to 91.80% 92.80%and 90.60% respectively. The accreditation of private fertilizer testing and inspection laboratories is therefore crucial for supporting government policy. It helps reduce the workload on government agencies and offers greater convenience to service users, making fertilizer analysis services more accessible, faster, and more convenient. Furthermore, it elevates the capabilities of fertilizer testing laboratories in Thailand to a consistent standard. This leads to more effective fertilizer quality control nationwide, which builds confidence among farmers in the quality of the fertilizers they use and safeguards the interests of both farmers and the agricultural sector.

Keywords: Fertilizer testing laboratory; Accreditation; Fertilizer registration; Chemical fertilizer; Organic fertilizer

บทคัดย่อ

ปี พ.ศ. 2550 มีการประกาศใช้พระราชบัญญัติปุ๋ย ฉบับที่ 2 ซึ่งได้แก้ไขมาตรา 10 โดยเพิ่มการกำหนดหลักเกณฑ์ วิธีการ และเงื่อนไขเกี่ยวกับการกำหนดห้องปฏิบัติการวิเคราะห์ปุ๋ย และมาตรา 36 (11) มาตรา 36/1 (10) และ 36/2 (10) เพิ่มเติมให้ผู้ขอขึ้นทะเบียนปุ๋ยสามารถใช้รายงานการวิเคราะห์ปุ๋ยของห้องปฏิบัติการวิเคราะห์ปุ๋ยอื่นที่อธิบดีกำหนด โดยความเห็นชอบของคณะกรรมการปุ๋ย ครอบคลุมทั้งปุ๋ยเคมี ปุ๋ยอินทรีย์ และปุ๋ยชีวภาพ ประกอบกับคณะรัฐมนตรีมีมติเห็นชอบให้หน่วยงานภาครัฐถ่ายโอนภารกิจด้านการตรวจสอบและรับรองคุณภาพมาตรฐานไปสู่ภาคเอกชน ดังนั้น กองวิจัยพัฒนาปัจจัยการผลิตทางการเกษตรในฐานะหน่วยงานที่มีหน้าที่และความรับผิดชอบให้บริการวิเคราะห์ ตรวจสอบ และรับรองมาตรฐานห้องปฏิบัติการเกี่ยวกับปุ๋ย จึงได้ยกร่างหลักเกณฑ์การกำหนดห้องปฏิบัติการวิเคราะห์ปุ๋ย และปี พ.ศ. 2554 ได้ออกประกาศกรมวิชาการเกษตร เรื่อง การกำหนดห้องปฏิบัติการวิเคราะห์ปุ๋ย ตามมาตรา 36 (11) และมาตรา 36/2 (10) แห่งพระราชบัญญัติปุ๋ย พ.ศ. 2518 ซึ่งแก้ไขเพิ่มเติมโดยพระราชบัญญัติปุ๋ย (ฉบับที่ 2) พ.ศ. 2550 พ.ศ. 2554 โดยสามารถใช้รายงานผลวิเคราะห์ปุ๋ยของห้องปฏิบัติการที่กรมวิชาการเกษตรให้การยอมรับความสามารถไปใช้ประกอบการขึ้นทะเบียนปุ๋ยได้ กองวิจัยพัฒนาปัจจัยการผลิตทางการเกษตร โดยกลุ่มวิจัยเกษตรเคมี เริ่มดำเนินการเปิดรับสมัครห้องปฏิบัติการวิเคราะห์ปุ๋ยภาคเอกชน เมื่อวันที่ 1 ธ.ค. 2555 ปัจจุบันมีห้องปฏิบัติการวิเคราะห์ปุ๋ยภาคเอกชนที่ได้รับหนังสือรับรองห้องปฏิบัติการวิเคราะห์ปุ๋ยในขอบข่ายที่ 1 (ธาตุอาหารหลักในปุ๋ยเคมี) จำนวน 12 ห้องปฏิบัติการ ขอบข่ายที่ 2 (ธาตุอาหารรองในปุ๋ยเคมี) จำนวน 7 ห้องปฏิบัติการ ขอบข่ายที่ 3 (ธาตุอาหารเสริมในปุ๋ยเคมี) จำนวน 6 ห้องปฏิบัติการ และขอบข่ายที่ 4 (ปุ๋ยอินทรีย์) จำนวน 2 ห้องปฏิบัติการ ครอบคลุมทั้งปุ๋ยเคมีและปุ๋ยอินทรีย์ และพบว่าในช่วงปี พ.ศ. 2565–2567 จำนวนตัวอย่างปุ๋ยเพื่อขึ้นทะเบียนของกลุ่มงานวิจัยระบบตรวจสอบคุณภาพปุ๋ยมีแนวโน้มลดลงอย่างต่อเนื่อง โดยมีจำนวน 3,615 2,236 และ 1,598 ตัวอย่าง ตามลำดับ คิดเป็นการลดลงจากปี พ.ศ. 2565 ร้อยละ 38.15 และ 55.78 ตามลำดับ เมื่อประเมินความพึงพอใจของผู้รับบริการที่มีต่องานบริการวิเคราะห์ปุ๋ยภาคเอกชน ในช่วงปี พ.ศ. 2565–2567 พบว่า มีความพึงพอใจเฉลี่ย 4.59 4.64 และ 4.53 คะแนน คิดเป็นร้อยละ 91.80 92.80 และ 90.60 ตามลำดับ การรับรองความสามารถห้องปฏิบัติการวิเคราะห์และตรวจสอบคุณภาพปุ๋ย

ภาคเอกชน จึงมีบทบาทสำคัญในการสนับสนุนนโยบายภาครัฐด้านการลดภาระงานของส่วนราชการ และเพิ่มความสะดวกให้แก่ผู้ขอรับบริการ ทำให้การบริการด้านวิเคราะห์ปุ๋ยมีความสะดวก รวดเร็ว เข้าถึงได้มากขึ้น นอกจากนี้ยังยกระดับความสามารถห้องปฏิบัติการวิเคราะห์ปุ๋ยในประเทศไทยให้ได้มาตรฐานเดียวกัน ส่งผลให้การควบคุมคุณภาพปุ๋ยในประเทศไทยมีประสิทธิภาพ สร้างความมั่นใจให้แก่เกษตรกรในคุณภาพของปุ๋ยที่นำไปใช้ และรักษาไว้ซึ่งประโยชน์ของเกษตรกรและภาคการเกษตร

คำสำคัญ: ห้องปฏิบัติการวิเคราะห์ปุ๋ย; การรับรองความสามารถ; การขึ้นทะเบียนปุ๋ย; ปุ๋ยเคมี; ปุ๋ยอินทรีย์

บทนำ

ประเทศไทยเป็นประเทศเกษตรกรรม เกษตรกรมีความจำเป็นต้องใช้ปุ๋ยเป็นแหล่งอาหารพืชหรือช่วยบำรุงดิน เพื่อช่วยเพิ่มผลผลิตทางการเกษตรให้สูงขึ้น จากความต้องการดังกล่าว ส่งผลให้มีการนำเข้าปุ๋ยเคมีจากต่างประเทศในปริมาณมากขึ้นทุกปีเพื่อนำมาจำหน่ายหรือผสมก่อนจำหน่ายให้แก่เกษตรกร ตามข้อมูลจากสำนักควบคุมพืชและการเกษตร ในปี พ.ศ. 2567 ประเทศไทยมีการนำเข้าปุ๋ยเคมีประมาณ 6 ล้านตัน คิดเป็นมูลค่ารวมประมาณ 90,000 ล้านบาท (สำนักควบคุมพืชและการเกษตร, 2568) อย่างไรก็ตาม พบว่าปุ๋ยเคมีที่วางจำหน่ายในท้องตลาดบางส่วนเป็นปุ๋ยปลอม หรือปุ๋ยที่ไม่ได้มาตรฐาน โดยมีปริมาณธาตุอาหารพืชไม่ครบถ้วนหรือไม่ถูกต้องตามที่ระบุไว้บนฉลาก ซึ่งถือเป็นการเอาเปรียบเกษตรกร มุ่งแสวงหากำไรเกินควร โดยไม่คำนึงถึงผลกระทบต่อผู้ประกอบอาชีพเกษตรกรรม ด้วยเหตุนี้ กรมวิชาการเกษตรในฐานะหน่วยงานหลักที่มีหน้าที่กำกับ ดูแล และควบคุมคุณภาพปุ๋ยในการผลิตเพื่อการค้า การนำเข้า ส่งออก และการนำผ่าน จึงจำเป็นต้องใช้ผลการวิเคราะห์จากห้องปฏิบัติการเป็นหลักฐานสำคัญในการพิจารณา เพื่อให้การดำเนินการเป็นไปอย่างโปร่งใสและเป็นธรรม รวมถึงรักษาผลประโยชน์ของเกษตรกร พร้อมทั้งดำเนินคดีกับผู้กระทำความผิดตามกฎหมายอย่างเคร่งครัด

ปี พ.ศ. 2550 ได้มีการแก้ไขพระราชบัญญัติปุ๋ย พ.ศ. 2518 และประกาศใช้พระราชบัญญัติฉบับใหม่ คือ พระราชบัญญัติปุ๋ย (ฉบับที่ 2) พ.ศ. 2550 ประกาศในราชกิจจานุเบกษา เล่ม 125 ตอนที่ 7 ก วันที่ 11 ม.ค. 2551 ซึ่งมีเนื้อหาสาระที่สำคัญอันหนึ่งที่มีการเปลี่ยนแปลงในมาตรา 10 ข้อ (2) โดยเพิ่มการกำหนดหลักเกณฑ์วิธีการ และเงื่อนไขเกี่ยวกับการกำหนดห้องปฏิบัติการวิเคราะห์ปุ๋ย และมาตรา 36 (11) มาตรา 36/1 (10) และ 36/2 (10) “ผู้ขอขึ้นทะเบียนปุ๋ยต้องแจ้งรายละเอียดรายงานการวิเคราะห์ปุ๋ยของห้องปฏิบัติการวิเคราะห์ปุ๋ยของทางราชการหรือห้องปฏิบัติการวิเคราะห์ปุ๋ยอื่นที่อธิบดีกำหนด โดยความเห็นชอบของคณะกรรมการปุ๋ย” (พระราชบัญญัติปุ๋ย (ฉบับที่ 2), 2550) ซึ่งข้อความดังกล่าวจะสรุปรวมทั้งปุ๋ยเคมี ปุ๋ยอินทรีย์ และปุ๋ยชีวภาพ ประกอบกับได้มีมาตรการทบทวนบทบาทภารกิจของส่วนราชการ ตามมาตรา 33 แห่งพระราชกฤษฎีกาว่าด้วยหลักเกณฑ์และวิธีการบริหารกิจการบ้านเมืองที่ดี พ.ศ. 2546 และตามมติคณะรัฐมนตรี เมื่อวันที่ 11 พ.ค. 2553 เห็นชอบให้หน่วยงานภาครัฐถ่ายโอนภารกิจด้านการตรวจสอบและรับรองคุณภาพมาตรฐานของส่วนราชการต่างๆ ให้ภาคเอกชนหรือภาคส่วนอื่นรับไปดำเนินการแทน (สำนักงานคณะกรรมการพัฒนาระบบราชการ, 2553) จากพระราชบัญญัติปุ๋ย (ฉบับที่ 2) ที่มีการเปลี่ยนแปลงมาตรา 10 และมาตรา 36 ทำให้เป็นหน้าที่ของกองวิจัยพัฒนาปัจจัยการผลิตทางการเกษตรในการยกร่างหลักเกณฑ์ วิธีการ และเงื่อนไขการกำหนดห้องปฏิบัติการวิเคราะห์ปุ๋ย ซึ่งได้นำหลักการของข้อกำหนดทั่วไปว่าด้วยความสามารถของห้องปฏิบัติการทดสอบและสอบเทียบ ตามมาตรฐาน ISO/IEC 17025 มาเป็นแนวทางในการดำเนินการ และปี พ.ศ. 2554 คณะกรรมการปุ๋ยเห็นชอบให้ออกประกาศ “การกำหนดห้องปฏิบัติการวิเคราะห์ปุ๋ย ตามมาตรา 36 (11) และมาตรา 36/2 (10) แห่งพระราชบัญญัติปุ๋ย พ.ศ. 2518 ซึ่งแก้ไขเพิ่มเติมโดยพระราชบัญญัติปุ๋ย (ฉบับที่ 2) พ.ศ. 2550 พ.ศ. 2554” ประกาศในราชกิจจานุเบกษา เล่ม 128 ตอนพิเศษ 122 ง วันที่ 14 ต.ค. 2554 เพื่อกำหนดคุณสมบัติห้องปฏิบัติการ วิธีการขอรับการกำหนด

ห้องปฏิบัติการ หน้าที่และความรับผิดชอบ มาตรการในการควบคุม กำกับดูแล การดำเนินงานของภาคเอกชน หรือภาคส่วนอื่นที่รับไปดำเนินการแทน

การรับรองความสามารถห้องปฏิบัติการวิเคราะห์และตรวจสอบคุณภาพปุ๋ยภาคเอกชน ตามประกาศกรมวิชาการเกษตรที่กล่าวข้างต้น เป็นการให้การยอมรับในความสามารถของห้องปฏิบัติการในการตรวจวิเคราะห์ปุ๋ยเคมี และหรือปุ๋ยอินทรีย์ โดยผู้รับบริการสามารถนำผลการทดสอบจากห้องปฏิบัติการที่กรมวิชาการเกษตรให้การยอมรับความสามารถไปใช้ประกอบการขึ้นทะเบียนได้ โดยห้องปฏิบัติการจะต้องมีคุณสมบัติเป็นห้องปฏิบัติการถาวรด้านตรวจวิเคราะห์ปุ๋ย มีสถานะเป็นนิติบุคคล ประกอบด้วยผู้ควบคุมห้องปฏิบัติการที่มีคุณวุฒิทางด้านเคมีและมีประสบการณ์ทางด้านวิเคราะห์ปุ๋ย เจ้าหน้าที่ห้องปฏิบัติการมีคุณวุฒิปริญญาตรี หรืออนุปริญญาหรือเทียบเท่าทางด้านเคมี มีระบบคุณภาพภายในห้องปฏิบัติการวิเคราะห์ปุ๋ยที่มีคุณภาพ ได้แก่ วิธีวิเคราะห์ทดสอบ การควบคุมเอกสาร และการประกันคุณภาพ และระบบบันทึกเกี่ยวกับงานที่ปฏิบัติ ข้อมูลดิบ การคำนวณและข้อมูลที่ได้บันทึก ผลวิเคราะห์ สำเนาใบรับรองผลวิเคราะห์ เก็บไว้เป็นหลักฐานเป็นระยะเวลา 10 ปี ห้องปฏิบัติการที่ได้รับหนังสือรับรองมีหน้าที่และความรับผิดชอบในการรักษาไว้ซึ่งความสามารถของห้องปฏิบัติการวิเคราะห์ปุ๋ย ตลอดระยะเวลาที่ได้รับหนังสือรับรอง (กรมวิชาการเกษตร, 2554)

การวิเคราะห์ปริมาณธาตุอาหารในปุ๋ยมีบทบาทสำคัญในการควบคุมคุณภาพของปุ๋ยที่ผลิตภายในประเทศหรือนำเข้าจากต่างประเทศ เพื่อให้เกษตรกรได้รับปุ๋ยที่มีคุณภาพตรงตามมาตรฐาน และมีประสิทธิภาพในการเพิ่มผลผลิตทางการเกษตร ห้องปฏิบัติการตรวจวิเคราะห์ปุ๋ยจึงเป็นหน่วยงานสำคัญในการวิเคราะห์ตรวจสอบปริมาณธาตุอาหารเพื่อควบคุมคุณภาพปุ๋ยให้เป็นไปตามที่กำหนด โดยห้องปฏิบัติการกลุ่มงานวิจัยระบบตรวจสอบคุณภาพปุ๋ย กลุ่มวิจัยเกษตรเคมี กองวิจัยพัฒนาปัจจัยการผลิตทางการเกษตร กรมวิชาการเกษตร ได้ให้บริการวิเคราะห์ปุ๋ยในปริมาณมากอย่างต่อเนื่อง จากข้อมูลในช่วงปี พ.ศ. 2557 - 2567 ห้องปฏิบัติการดังกล่าว ได้ให้บริการวิเคราะห์ปุ๋ย จำนวน 86,273 ตัวอย่าง 588,318 รายการวิเคราะห์ การรับรองความสามารถห้องปฏิบัติการวิเคราะห์และตรวจสอบคุณภาพปุ๋ยภาคเอกชน จึงเป็นแนวทางหนึ่งในการแบ่งเบาภาระของห้องปฏิบัติการของทางราชการและอำนวยความสะดวกให้แก่ผู้ขอรับบริการตรวจวิเคราะห์ปุ๋ย โดยสามารถนำผลการทดสอบจากห้องปฏิบัติการที่กรมวิชาการเกษตรให้การยอมรับความสามารถไปใช้ประกอบการขึ้นทะเบียนปุ๋ยได้ รวมทั้งเพิ่มความรวดเร็วในการดำเนินงานด้านตรวจสอบคุณภาพปุ๋ย และยกระดับความสามารถห้องปฏิบัติการวิเคราะห์ปุ๋ยในประเทศไทยให้ได้มาตรฐานเดียวกัน ส่งผลให้การควบคุมคุณภาพปุ๋ยในประเทศไทยมีประสิทธิภาพ สร้างความมั่นใจให้แก่เกษตรกรในคุณภาพของปุ๋ยที่นำไปใช้

ขั้นตอนการดำเนินงาน

1. แต่งตั้งและกำหนดอำนาจหน้าที่ของคณะผู้ดำเนินงาน
2. กำหนดขอบข่ายรายการวิเคราะห์ และแบบบันทึกด้านเอกสารและวิชาการเพื่อใช้ในการตรวจประเมินของเจ้าหน้าที่
3. การขอรับการกำหนดห้องปฏิบัติการวิเคราะห์ปุ๋ย (กรมวิชาการเกษตร, 2568)
    3.1 การตรวจสอบเอกสาร
        3.1.1 ผู้ยื่นคำขอยื่นแบบคำขอรับการกำหนดเป็นห้องปฏิบัติการวิเคราะห์ปุ๋ย (แบบ ร.ป 1) พร้อมเอกสารประกอบคำขอ โดยสามารถดาวน์โหลด แบบ ร.ป 1 และแบบเอกสารประกอบคำขอรับการกำหนดเป็นห้องปฏิบัติการวิเคราะห์ปุ๋ย ที่เว็บไซต์ https://www.doa.go.th/apsrdo/agchem
        3.1.2 เจ้าหน้าที่ตรวจสอบเอกสาร ตามข้อกำหนด หลักเกณฑ์ และเงื่อนไข ตามประกาศกรมวิชาการเกษตร เรื่อง การกำหนดห้องปฏิบัติการวิเคราะห์ปุ๋ย ตามมาตรา 36 (11) และมาตรา 36/2 (10) แห่ง

พระราชบัญญัติปุ๋ย พ.ศ. 2518 ซึ่งแก้ไขเพิ่มเติมโดยพระราชบัญญัติปุ๋ย (ฉบับที่ 2) พ.ศ. 2550 พ.ศ. 2554

3.2 การพิจารณาเอกสาร

3.2.1 แต่งตั้งเจ้าหน้าที่ตรวจประเมิน กำหนดวัน เวลา ในการตรวจประเมิน และแจ้งให้ห้องปฏิบัติการทราบ

3.2.2 เจ้าหน้าที่ตรวจประเมิน ตรวจพิจารณาความถูกต้องของข้อมูลและเอกสาร

3.3 เจ้าหน้าที่ตรวจประเมิน ดำเนินการตรวจประเมินห้องปฏิบัติการ ณ สถานที่จริง และแจ้งสิ่งที่ตรวจพบให้ห้องปฏิบัติการทราบ เพื่อชี้แจงแนวทางแก้ไข

3.4 เจ้าหน้าที่ตรวจประเมิน พิจารณาแนวทางแก้ไข และแจ้งห้องปฏิบัติการทราบเพื่อดำเนินการแก้ไข

3.5 เจ้าหน้าที่ตรวจประเมิน ตรวจสอบรายงานการแก้ไขข้อบกพร่อง จากนั้นรวบรวมข้อมูล และจัดทำข้อมูลสรุปส่งคณะทำงานตรวจประเมินห้องปฏิบัติการตรวจวิเคราะห์ปุ๋ย (คณะทำงาน)

3.6 คณะทำงาน ประชุมพิจารณาเอกสาร ข้อมูล และผลการดำเนินการตรวจประเมินของคณะเจ้าหน้าที่ตรวจประเมิน และสรุปความเห็นเสนอคณะกรรมการตรวจสอบและพิจารณาห้องปฏิบัติการตรวจวิเคราะห์ปุ๋ย (คณะกรรมการ)

3.7 การลงนาม/ คณะกรรมการมีมติ

3.7.1 คณะกรรมการ พิจารณาผลการตรวจประเมิน และเสนอความเห็นต่ออธิบดีกรมวิชาการเกษตร พิจารณาลงนามในหนังสือรับรองห้องปฏิบัติการวิเคราะห์ปุ๋ยเคมี และหรือ หนังสือรับรองห้องปฏิบัติการวิเคราะห์ปุ๋ยอินทรีย์

3.7.2 แจ้งขึ้นทะเบียนห้องปฏิบัติการที่ได้รับการกำหนดเป็นห้องปฏิบัติการวิเคราะห์ปุ๋ยต่อสำนักควบคุมพืชและวัสดุการเกษตร และแจ้งห้องปฏิบัติการมารับหนังสือรับรอง

4. การประเมินความพึงพอใจของผู้รับบริการต่อห้องปฏิบัติการภาคเอกชนที่ได้รับรองความสามารถ

ผลการดำเนินงาน

1. แต่งตั้งคณะผู้ดำเนินงาน และกำหนดอำนาจหน้าที่ ดังนี้

1.1 คณะกรรมการ ประกอบด้วย ผู้อำนวยการกองวิจัยพัฒนาปัจจัยการผลิตทางการเกษตร ผู้เชี่ยวชาญด้านวิเคราะห์และทดสอบ ผู้เชี่ยวชาญด้านดินและปุ๋ย ผู้เชี่ยวชาญด้านควบคุมพืชและวัสดุการเกษตร ผู้อำนวยการกลุ่มวิจัยวัตถุมีพิษการเกษตร ผู้อำนวยการกลุ่มวิจัยปฐพีวิทยา ผู้อำนวยการกลุ่มวิจัยเกษตรเคมี หัวหน้ากลุ่มงานวิจัยระบบตรวจสอบคุณภาพดินและน้ำ และหัวหน้ากลุ่มงานวิจัยระบบตรวจสอบคุณภาพปุ๋ย กำหนดอำนาจหน้าที่ ดังนี้

1) พิจารณาผลการตรวจประเมินและเสนอความเห็นต่ออธิบดีกรมวิชาการเกษตร พิจารณาออกหนังสือรับรองห้องปฏิบัติการตรวจวิเคราะห์ปุ๋ยเคมี และหรือ หนังสือรับรองห้องปฏิบัติการตรวจวิเคราะห์ปุ๋ยอินทรีย์

2) แต่งตั้งคณะทำงาน และกรรมวิธีวิเคราะห์ปุ๋ย เพื่อดำเนินการให้เป็นไปตามประกาศกระทรวงฯ และ/หรือ ประกาศกรมวิชาการเกษตร ที่เกี่ยวข้อง

3) พิจารณาหลักเกณฑ์ วิธีการ และเงื่อนไข เพื่อกำหนดห้องปฏิบัติการวิเคราะห์ปุ๋ยเคมีและปุ๋ยอินทรีย์ กรรมวิธีการตรวจสอบหรือการวิเคราะห์ปุ๋ยเคมีและปุ๋ยอินทรีย์ การกำหนดเกณฑ์คลาดเคลื่อนของปริมาณธาตุอาหารรับรองของปุ๋ยเคมีและเกณฑ์คลาดเคลื่อนของปริมาณอินทรียวัตถุรับรองของปุ๋ยอินทรีย์ เพื่อเสนอต่อคณะอนุกรรมการปุ๋ย

1.2 คณะทำงาน ประกอบด้วย ผู้อำนวยการกองวิจัยพัฒนาปัจจัยการผลิตทางการเกษตร ผู้เชี่ยวชาญด้านวิเคราะห์และทดสอบ ผู้อำนวยการกลุ่มวิจัยเกษตรเคมี ข้าราชการกลุ่มกลุ่มวิจัยเกษตรเคมี กลุ่มวิจัยวัตถุมีพิษการเกษตร และกลุ่มวิจัยปฐพีวิทยา จำนวน 17 คน กำหนดอำนาจหน้าที่ ดังนี้

1) แต่งตั้ง/มอบหมายเจ้าหน้าที่ตรวจพิจารณาเอกสาร และคณะเจ้าหน้าที่ตรวจประเมิน

2) ตรวจสอบเอกสารให้ครบถ้วน ถูกต้อง ตามประกาศกรมวิชาการเกษตร เรื่อง การกำหนดห้องปฏิบัติการวิเคราะห์ปุ๋ย ตามมาตรา 36 (11) และมาตรา 36/2 (10) แห่งพระราชบัญญัติปุ๋ย พ.ศ. 2518 ซึ่งแก้ไขเพิ่มเติมโดยพระราชบัญญัติปุ๋ย (ฉบับที่ 2) พ.ศ. 2550 พ.ศ. 2554 และมีอำนาจเสนอความเห็นให้ทำการปรับปรุงแก้ไขเอกสารดังกล่าวให้ถูกต้องครบถ้วน

3) ดำเนินการตรวจประเมินตามข้อกำหนดที่ขอรับการกำหนดเป็นห้องปฏิบัติการวิเคราะห์ปุ๋ย รวมทั้งหลักเกณฑ์อื่นๆ ตามที่คณะกรรมการกำหนด สรุปความเห็นเสนอคณะกรรมการ เพื่อพิจารณาดำเนินการต่อไป และมีอำนาจในการเสนอความเห็นให้ทำการปรับปรุงแก้ไขห้องปฏิบัติการ และเรื่องอื่นๆ ที่เกี่ยวข้องในการรับรองห้องปฏิบัติการวิเคราะห์ปุ๋ย

4) พิจารณากรรมวิธีการตรวจสอบหรือการวิเคราะห์ปุ๋ยเคมีและปุ๋ยอินทรีย์ และกำหนดเกณฑ์คลาดเคลื่อนของปริมาณธาตุอาหารรับรองของปุ๋ยเคมี และเกณฑ์คลาดเคลื่อนของปริมาณอินทรียวัตถุรับรองของปุ๋ยอินทรีย์ เพื่อเสนอต่อคณะกรรมการ

2. กำหนดขอบข่ายรายการวิเคราะห์ และแบบบันทึกด้านเอกสารและวิชาการเพื่อใช้ในการตรวจประเมินของเจ้าหน้าที่

2.1 ขอบข่ายรายการวิเคราะห์ แบ่งเป็น 4 ขอบข่าย ตามหลักเกณฑ์การขึ้นทะเบียนปุ๋ยที่กรมวิชาการเกษตรกำหนด ดังนี้

1) ขอบข่ายที่ 1 ประกอบด้วย ความเป็นกรด-ด่าง ความถ่วงจำเพาะ ความชื้น ไนโตรเจนทั้งหมด ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ และโพแทสเซียมที่ละลายน้ำ ในปุ๋ยเคมี ไบยูเร็ตและยูเรียไนโตรเจนในปุ๋ยยูเรีย

2) ขอบข่ายที่ 2 ประกอบด้วย แอมโมเนียมไนโตรเจน ไนเตรทไนโตรเจน ยูเรียไนโตรเจน แคลเซียมทั้งหมด แคลเซียมที่ละลายน้ำ แมกนีเซียมทั้งหมด แมกนีเซียมที่ละลายน้ำ กำมะถันทั้งหมด กำมะถันที่ละลายน้ำ และอินทรียวัตถุ ในปุ๋ยเคมี

3) ขอบข่ายที่ 3 ประกอบด้วย ฟอสฟอรัสที่ละลายน้ำ เหล็กทั้งหมด เหล็กที่ละลายน้ำ สังกะสีทั้งหมด สังกะสีที่ละลายน้ำ แมงกานีสทั้งหมด แมงกานีสที่ละลายน้ำ ทองแดงทั้งหมด ทองแดงที่ละลายน้ำ โคบอลต์ทั้งหมด โมลิบดินัมทั้งหมด โมลิบดินัมที่ละลายน้ำ โบรอน โบรอนที่ละลายน้ำ สารหนู คลอไรด์ และความละเอียด ในปุ๋ยเคมี

4) ขอบข่ายที่ 4 ประกอบด้วย ความเป็นกรด-ด่าง ความถ่วงจำเพาะ ความชื้น ไนโตรเจนทั้งหมด ฟอสฟอรัสทั้งหมด โพแทสเซียมทั้งหมด โซเดียม ค่าการนำไฟฟ้า อินทรียวัตถุ อัตราส่วนของคาร์บอนต่อไนโตรเจน การย่อยสลายของปุ๋ยอินทรีย์ พลาสติก แก้ว วัสดุมีคม หรือโลหะอื่นๆ ปริมาณหิน กรวด และขนาดของปุ๋ย ในปุ๋ยอินทรีย์

2.2 แบบบันทึกด้านเอกสาร และวิชาการเพื่อใช้ในการตรวจประเมินของเจ้าหน้าที่ ประกอบด้วย

1) แบบบันทึกการตรวจสอบความใช้ได้ของวิธีวิเคราะห์ (แบบ ร.ป. 1-2)

2) แบบบันทึกการประกันคุณภาพผลการวิเคราะห์ (แบบ ร.ป. 1-3)

3) รายงานการตรวจประเมินตามข้อกำหนด หลักเกณฑ์ เงื่อนไข (แบบ ร.ป. 1-4)

4) รายงานการตรวจแนวตั้ง (แบบ ร.ป. 1-5)

5) รายงานการเฝ้าดูการวิเคราะห์ โดยใช้ตัวอย่าง Test sample (แบบ ร.ป. 1-6)

6) รายงานการบดตัวอย่างปุ๋ย (แบบ ร.ป. 1-7)

7) แบบรายงานการตรวจพบข้อบกพร่อง

3. การกำหนดห้องปฏิบัติการวิเคราะห์ปุ๋ย เพื่อรับรองความสามารถห้องปฏิบัติการวิเคราะห์และตรวจสอบคุณภาพปุ๋ยภาคเอกชน

กลุ่มวิจัยเกษตรเคมี เริ่มดำเนินการเปิดรับสมัครห้องปฏิบัติการวิเคราะห์ปุ๋ยภาคเอกชน เมื่อวันที่ 1 ธ.ค. 2555 ณ กลุ่มวิจัยเกษตรเคมี กองวิจัยพัฒนาปัจจัยการผลิตทางการเกษตร กรมวิชาการเกษตร ปัจจุบันห้องปฏิบัติการวิเคราะห์ปุ๋ยภาคเอกชนที่ได้ผ่านการตรวจประเมิน ณ ห้องปฏิบัติการของผู้ยื่นคำขอ (Figure 1A, 1B) โดยคณะกรรมการและคณะทำงาน ได้พิจารณาให้ความเห็นชอบ และเสนอความเห็นต่ออธิบดีกรมวิชาการเกษตรเพื่อออกหนังสือรับรองห้องปฏิบัติการวิเคราะห์ปุ๋ยแล้ว (Figure 1C, 1D) จำนวน 12 ห้องปฏิบัติการ แบ่งเป็นขอบข่ายที่ 1 จำนวน 12 ห้องปฏิบัติการ ขอบข่ายที่ 2 จำนวน 7 ห้องปฏิบัติการ ขอบข่ายที่ 3 จำนวน 6 ห้องปฏิบัติการ และขอบข่ายที่ 4 จำนวน 2 ห้องปฏิบัติการ มีสถานที่ตั้งอยู่ในภาคกลาง จำนวน 10 ห้องปฏิบัติการ ภาคตะวันออก จำนวน 1 ห้องปฏิบัติการ และภาคตะวันออกเฉียงเหนือ จำนวน 1 ห้องปฏิบัติการ โดยขอบข่ายที่ 1 ห้องปฏิบัติการตั้งอยู่ในภาคกลาง ภาคตะวันออก และภาคตะวันออกเฉียงเหนือ จำนวน 10 1 และ 1 ห้องปฏิบัติการ ตามลำดับ คิดเป็นร้อยละ 83.34 8.33 และ 8.33 ตามลำดับ ขอบข่ายที่ 2 อยู่ในภาคกลาง และภาคตะวันออก จำนวน 6 และ 1 ห้องปฏิบัติการ คิดเป็นร้อยละ 85.71 และ 14.29 ขอบข่ายที่ 3 อยู่ในภาคกลาง และภาคตะวันออก จำนวน 5 และ 1 ห้องปฏิบัติการ คิดเป็นร้อยละ 83.33 และ 16.67 และขอบข่ายที่ 4 อยู่ในภาคกลาง และภาคตะวันออก จำนวน 1 และ 1 ห้องปฏิบัติการ คิดเป็นร้อยละ 50 และ 50 (Table 1) ทั้งนี้ หนังสือรับรองห้องปฏิบัติการวิเคราะห์ปุ๋ยมีอายุใช้ได้ 3 ปี นับแต่วันที่กรมวิชาการเกษตรออกหนังสือรับรอง ห้องปฏิบัติการต้องมายื่นต่ออายุหนังสือรับรองห้องปฏิบัติการวิเคราะห์ปุ๋ยก่อนวันที่หนังสือรับรองจะหมดอายุไม่น้อยกว่า 6 เดือน ปัจจุบันยังไม่พบห้องปฏิบัติการที่ถูกพักใช้และเพิกถอนหนังสือรับรองจากกรมวิชาการเกษตร

จากข้อมูลในช่วงปี พ.ศ. 2565 – 2567 ห้องปฏิบัติการกลุ่มงานวิจัยระบบตรวจสอบคุณภาพปุ๋ย กลุ่มวิจัยเกษตรเคมี ให้บริการวิเคราะห์ปุ๋ยเพื่อขึ้นทะเบียน จำนวน 3,615 2,236 และ 1,598 ตัวอย่าง ตามลำดับ ขณะที่ห้องปฏิบัติการวิเคราะห์ปุ๋ยภาคเอกชน ให้บริการในจำนวน 7,426 6,894 และ 6,136 ตัวอย่าง ตามลำดับ ข้อมูลดังกล่าวแสดงให้เห็นว่า ปริมาณการวิเคราะห์ปุ๋ยของกลุ่มงานวิจัยระบบตรวจสอบคุณภาพปุ๋ยมีแนวโน้มลดลงอย่างต่อเนื่อง คิดเป็นการลดลงจากปี พ.ศ. 2565 ร้อยละ 38.15 และ 55.78 ตามลำดับ การรับรองความสามารถห้องปฏิบัติการวิเคราะห์และตรวจสอบคุณภาพปุ๋ยภาคเอกชน จึงเป็นแนวทางหนึ่งในการแบ่งเบาภาระของห้องปฏิบัติการของทางราชการ และเพิ่มความสะดวกให้แก่ผู้ขอรับบริการที่มีความประสงค์จะผลิตปุ๋ย โดยสามารถนำรายงานผลการวิเคราะห์ปุ๋ยของห้องปฏิบัติการวิเคราะห์ปุ๋ยที่กรมวิชาการเกษตรให้การรับรอง ที่มีอายุไม่เกิน 6 เดือน นับแต่วันรายงานผล ไปใช้ประกอบการขึ้นทะเบียนปุ๋ยได้

(A)

(B)

(C)

(D)

Figure 1 A process for accreditation of private fertilizer testing laboratories (A) Technical assessment at the laboratory; (B) Quality system assessment at the laboratory; (C) The working group met to assess the eligibility of the laboratory; (D) The committee approved and recommended the issuance of the fertilizer testing laboratory certificate to the Director-General of the Department of Agriculture.

Table 1 Summary of the assessment results for the private fertilizer testing laboratories

Laboratories	Scope*	Date of initial assessment	Assessment results**	Corrective action completion date	Initial issue date	Current Certificate
1. ICP International Co,. Ltd., Chon Buri	1	October 15–16, 2013	12 NC	January 31, 2014	July 16, 2014	July 1, 2023 – June 30, 2026
	2	March 1–2, 2017	2 NC	May 2, 2017	June 30, 2017	
	3	April 10–11, 2019	5 NC	July 1, 2019	August 15, 2019	
	4	April 1–2, 2021	2 NC	May 31, 2021	September 1, 2021	September 1, 2024 – August 31, 2027
2. SGS (Thailand) Co., Ltd., Bangkok	1	May 11–12, 2015	13 NC	August 14, 2015	September 30, 2015	March 16, 2024 – March 15, 2027
	2	November 29–30, 2017	4 NC	February 12, 2018	April 30, 2018	
	3	November 10–11, 2020	1 NC	December 15, 2020	March 16, 2021	
	4	November 16–17, 2023	4 NC	January 22, 2024	March 16, 2024	
3. Thai Central Chemical Public Co,. Ltd. (Samut Prakan), Samut Prakan	1	April 3, 2017	7 NC	June 26, 2017	September 1, 2017	September 1, 2023 – August 31, 2026
	2	June 12–13, 2018	12 NC	September 17, 2018	December 17, 2018	
	3	January 10–11, 2022	2 NC	February 28, 2022	May 1, 2022	
4. Terragro Fertilizer Co,. Ltd., Phra Nakhon Si Ayutthaya	1	December 7–8, 2017	4 NC	February 2, 2018	April 30, 2018	April 30, 2024 – April 29, 2027
	2	November 15–16, 2021	4 NC	December 17, 2021	February 1, 2022	
	3	July 19–20, 2022	4 NC	November 11, 2022	April 16, 2023	

Table 1 Summary of the assessment results for the private fertilizer testing laboratories (continued)

Laboratories	Scope*	Date of initial assessment	Assessment results**	Corrective action completion date	Initial issue date	Current Certificate
5. Nas Agro Co,. Ltd., Nakhon Pathom	1	August 6–7, 2020	4 NC	September 9, 2020	November 16, 2020	November 16, 2023 – November 15, 2026
	2	July 29–30, 2021	3 NC	August 12, 2021	September 1, 2021	
	3	January 6–7, 2025	3 NC	April 22, 2025	August 1, 2025	August 1, 2025 – November 15, 2026
6. Asia Medical and Agricultural Laboratory and Research Center Public Co,. Ltd., Bangkok	1	July 20–21, 2020	10 NC	September 30, 2020	November 16, 2020	November 16, 2023 - November 15, 2026
	2	December 14–15, 2023	5 NC	January 26, 2024	May 1, 2024	May 1, 2024 - November 15, 2026
	3	December 16–17, 2024	4 NC	April 21, 2025	July 16, 2025	July 16, 2025 – November 15, 2026
7. Thai Central Chemical Public Co,. Ltd. (Phra Nakhon Si Ayutthaya), Phra Nakhon Si Ayutthaya	1	May 8, 2014	8 NC	May 23, 2014	September 16, 2014	November 16, 2023 – November 15, 2026
	2	December 19–20, 2018	17 NC	June 12, 2019	August 15, 2019	
8. Central Laboratory (Thailand) Co., Ltd. (Bangkok), Bangkok	1	May 29, 2015	6 NC	July 3, 2015	September 1, 2015	September 16, 2024 – September 15, 2027

Table 1 Summary of the assessment results for the private fertilizer testing laboratories (continued)

Laboratories	Scope*	Date of initial assessment	Assessment results**	Corrective action completion date	Initial issue date	Current Certificate
9. Charoen Pokphand Produce Co,. Ltd., Phra Nakhon Si Ayutthaya	1	November 19–20, 2019	14 NC	February 13, 2020	June 1, 2020	August 16, 2023 – August 15, 2027
10. Chia Tai Co,. Ltd., Samut Sakhon	1	September 20–21, 2021	3 NC	November 30, 2021	February 1, 2022	February 1, 2025 – January 31, 2028
11. Central Laboratory (Thailand) Co., Ltd. (Khon Kaen), Khon Kaen	1	May 5–6, 2022	9 NC	August 9, 2022	September 16, 2022	September 16, 2022 – September 15, 2025
12. World Fart Co,. Ltd., Phra Nakhon Si Ayutthaya	1	August 4–5, 2022	8 NC	November 9, 2022	February 1, 2023	February 1, 2023 – January 31, 2026

* Scope 1 = Primary element in chemical fertilizers
Scope 2 = Secondary element in chemical fertilizers
Scope 3 = Trace element in chemical fertilizers
Scope 4 = Organic fertilizers

** NC = Nonconformity

4. การประเมินความพึงพอใจของผู้รับบริการต่อห้องปฏิบัติการภาคเอกชนที่ได้รับรองความสามารถ

กองวิจัยพัฒนาปัจจัยการผลิตทางการเกษตร โดยกลุ่มวิจัยเกษตรเคมี ได้จัดส่งแบบสำรวจความพึงพอใจของผู้รับบริการที่มีต่องานบริการวิเคราะห์ปุ๋ยภาคเอกชน เพื่อให้ห้องปฏิบัติการสอบถามความพึงพอใจจากผู้รับบริการ โดยแบบสำรวจประกอบด้วยประเด็นความพึงพอใจ 6 หัวข้อ คือ ด้านกระบวนการ ด้านสิ่งอำนวยความสะดวก ด้านข้อมูล/คุณภาพ การให้บริการ ด้านเจ้าหน้าที่ที่ให้บริการ ด้านราคาวิเคราะห์ และโดยภาพรวมท่านมีความพึงพอใจกับการบริการที่ได้รับ จากข้อมูลในช่วงปี พ.ศ. 2565 – 2567 ผู้รับบริการได้ตอบแบบสำรวจความพึงพอใจ จำนวน 431 269 และ 301 ราย ตามลำดับ โดยผู้รับบริการมีความพึงพอใจต่องานบริการวิเคราะห์ปุ๋ยภาคเอกชน สรุปได้ดังนี้

4.1 ปี พ.ศ. 2565 ได้รับคะแนนความพึงพอใจเฉลี่ย 4.59 คะแนน คิดเป็นร้อยละ 91.80 โดยด้านเจ้าหน้าที่ที่ให้บริการ ได้รับคะแนนความพึงพอใจสูงที่สุดเฉลี่ย 4.71 คะแนน คิดเป็นร้อยละ 94.20 รองลงมา คือ โดยภาพรวมท่านมีความพึงพอใจกับการบริการที่ได้รับ ด้านข้อมูล/คุณภาพ การให้บริการ ด้านกระบวนการ ด้านราคาวิเคราะห์ และด้านสิ่งอำนวยความสะดวก ได้รับคะแนนความพึงพอใจเฉลี่ย 4.67 4.62 4.61 4.61 และ 4.30 คิดเป็นร้อยละ 93.40 92.40 92.20 92.20 และ 86.00 ตามลำดับ (Figure 1) สำหรับข้อคิดเห็น/ข้อเสนอแนะ ประกอบด้วย จุดเด่นของการบริการที่ประทับใจ พบว่า เจ้าหน้าที่ที่ให้บริการได้รับความประทับใจมากที่สุด เช่น พูดจาสุภาพ ให้คำแนะนำที่ละเอียดและชัดเจน ใส่ใจลูกค้า เป็นต้น จำนวน 111 ราย จาก 218 ราย คิดเป็นร้อยละ 50.92 จุดที่ควรปรับปรุงแก้ไขมากที่สุด คือ ด้านสิ่งอำนวยความสะดวกและสถานที่รับรองลูกค้า จำนวน 20 ราย จาก 39 ราย คิดเป็นร้อยละ 51.28 และข้อเสนอแนะเพื่อปรับปรุงการให้บริการ ต้องการให้ลดราคาวิเคราะห์ และระบุราคาให้ชัดเจนในเว็บไซต์หรือแบบฟอร์ม จำนวน 14 ราย จาก 27 ราย คิดเป็นร้อยละ 51.85

4.2 ปี พ.ศ. 2566 ได้รับคะแนนความพึงพอใจเฉลี่ย 4.64 คะแนน คิดเป็นร้อยละ 92.80 โดยด้านเจ้าหน้าที่ที่ให้บริการ ได้รับคะแนนความพึงพอใจสูงที่สุดเฉลี่ย 4.80 คะแนน คิดเป็นร้อยละ 96.00 รองลงมา คือ โดยภาพรวมท่านมีความพึงพอใจกับการบริการที่ได้รับ ด้านราคาวิเคราะห์ ด้านข้อมูล/คุณภาพการให้บริการ ด้านกระบวนการ และด้านสิ่งอำนวยความสะดวก ได้รับคะแนนความพึงพอใจเฉลี่ย 4.73 4.65 4.64 4.61 และ 4.37 คิดเป็นร้อยละ 94.60 93.00 92.80 92.20 และ 87.40 ตามลำดับ (Figure 1) สำหรับข้อคิดเห็น/ข้อเสนอแนะ ประกอบด้วย จุดเด่นของการบริการที่ประทับใจ พบว่า เจ้าหน้าที่ที่ให้บริการได้รับความประทับใจมากที่สุด เช่น การติดตามงานของลูกค้า พูดจาสุภาพ ให้คำแนะนำที่ละเอียดและชัดเจน ใส่ใจลูกค้า เป็นต้น จำนวน 72 ราย จาก 136 ราย คิดเป็นร้อยละ 52.94 จุดที่ควรปรับปรุงแก้ไขมากที่สุด คือ ด้านกระบวนการ เช่น แบบฟอร์มเข้าใจยาก การจัดการยังไม่เป็นระบบเท่าที่ควร เป็นต้น จำนวน 7 ราย จาก 19 ราย คิดเป็นร้อยละ 36.84 และข้อเสนอแนะเพื่อปรับปรุงการให้บริการ ต้องการให้ลดราคาวิเคราะห์ จำนวน 3 ราย จาก 8 ราย คิดเป็นร้อยละ 37.50

4.3 ปี พ.ศ. 2567 ได้รับคะแนนความพึงพอใจเฉลี่ย 4.53 คะแนน คิดเป็นร้อยละ 90.60 โดยด้านเจ้าหน้าที่ที่ให้บริการ ได้รับคะแนนความพึงพอใจสูงที่สุดเฉลี่ย 4.67 คะแนน คิดเป็นร้อยละ 93.40 รองลงมา คือ ด้านข้อมูล/คุณภาพ การให้บริการ โดยภาพรวมท่านมีความพึงพอใจกับการบริการที่ได้รับ ด้านราคาวิเคราะห์ ด้านกระบวนการ และด้านสิ่งอำนวยความสะดวก ได้รับคะแนนความพึงพอใจเฉลี่ย 4.61 4.59 4.57 4.54 และ 4.22 คิดเป็นร้อยละ 92.20 91.80 91.40 90.80 และ 84.40 ตามลำดับ (Figure 1) สำหรับข้อคิดเห็น/ข้อเสนอแนะ ประกอบด้วย จุดเด่นของการบริการที่

ประทับใจ พบว่า เจ้าหน้าที่ที่ให้บริการได้รับความประทับใจมากที่สุด เช่น การติดตามงานของลูกค้า พูดจาสุภาพ ให้คำแนะนำที่ละเอียดและชัดเจน ใส่ใจลูกค้า เป็นต้น จำนวน 67 ราย จาก 134 ราย คิดเป็นร้อยละ 50.00 จุดที่ควรปรับปรุงแก้ไขมากที่สุด คือ ด้านข้อมูล/คุณภาพ การให้บริการ เช่น ผลวิเคราะห์ช้า ความถูกต้องและแม่นยำ ระยะเวลาในการให้บริการผลวิเคราะห์ด่วนควรน้อยกว่า 3-4 วัน เป็นต้น จำนวน 6 ราย จาก 16 ราย คิดเป็นร้อยละ 37.50 และข้อเสนอแนะเพื่อปรับปรุงการให้บริการ ต้องการให้ลดราคาวิเคราะห์ มีโปรโมชั่นในด้านราคาวิเคราะห์ จำนวน 15 ราย จาก 18 ราย คิดเป็นร้อยละ 68.18

จากผลการประเมินความพึงพอใจของผู้รับบริการ พบว่า ค่าคะแนนความพึงพอใจเฉลี่ยของแต่ละหัวข้ออยู่ในช่วง 4.22 – 4.80 คะแนน คิดเป็นร้อยละ 84.40 – 96.00 แสดงให้เห็นว่า ผู้รับบริการยังคงมีความพึงพอใจต่องานบริการวิเคราะห์ปุ๋ยภาคเอกชน ทั้งนี้ ข้อมูลที่ได้จากการสำรวจความพึงพอใจของผู้รับบริการสามารถนำไปใช้ปรับปรุงและพัฒนางานบริการอย่างต่อเนื่อง เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพและตอบสนองความต้องการของผู้รับบริการได้ดียิ่งขึ้น

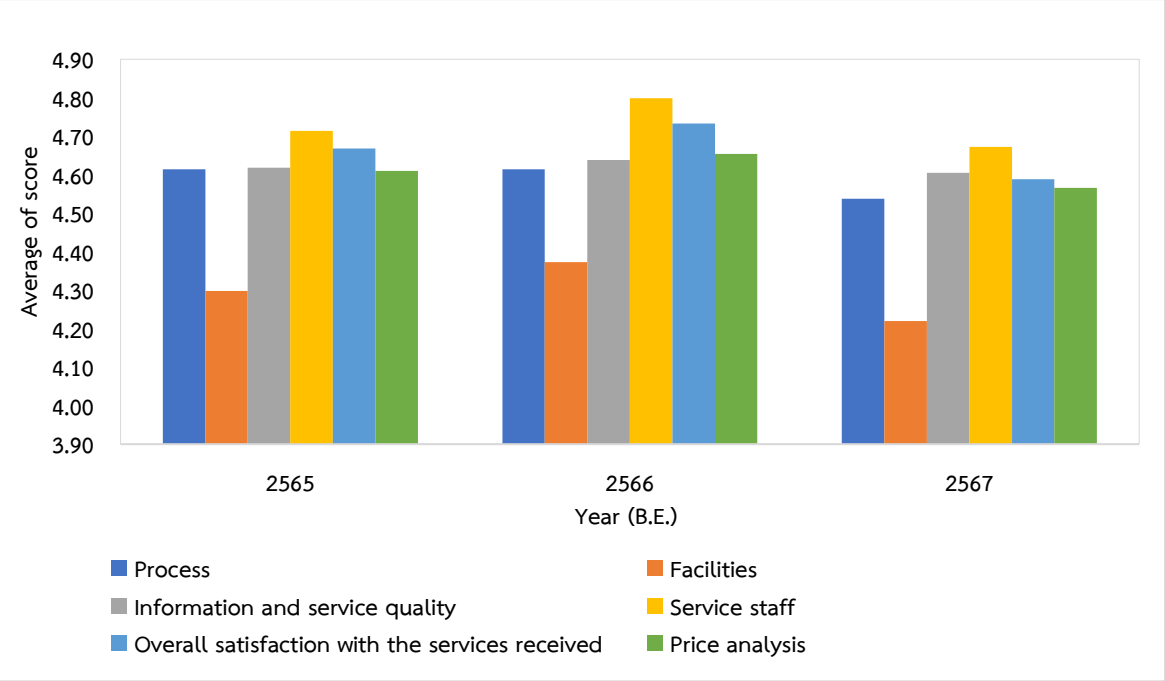


Figure 2 Satisfaction with Fertilizer Analysis Services in the Private Sector form 2565 B.E. – 2567 B.E.

สรุปผลงานบริการ

กองวิจัยพัฒนาปัจจัยการผลิตทางการเกษตร โดยกลุ่มวิจัยเกษตรเคมี ได้ดำเนินการตามนโยบายของภาครัฐในการถ่ายโอนภารกิจด้านการตรวจสอบและรับรองคุณภาพมาตรฐานของส่วนราชการไปสู่ภาคเอกชน โดยดำเนินการตามประกาศกรมวิชาการเกษตร เรื่อง การกำหนดห้องปฏิบัติการวิเคราะห์ปุ๋ย ตามมาตรา 36 (11) และมาตรา 36/2 (10) แห่งพระราชบัญญัติปุ๋ย พ.ศ. 2518 ซึ่งแก้ไขเพิ่มเติมโดยพระราชบัญญัติปุ๋ย (ฉบับที่ 2) พ.ศ. 2550 พ.ศ. 2554 เริ่มดำเนินการเปิดรับสมัครห้องปฏิบัติการวิเคราะห์ปุ๋ยภาคเอกชน เมื่อวันที่ 1 ธ.ค. 2555 ปัจจุบันมีห้องปฏิบัติการวิเคราะห์ปุ๋ยภาคเอกชนที่ได้รับหนังสือรับรองห้องปฏิบัติการวิเคราะห์ปุ๋ยในขอบข่ายที่ 1 (ธาตุอาหารหลักในปุ๋ยเคมี) จำนวน 12 ห้องปฏิบัติการ ขอบข่ายที่ 2 (ธาตุอาหารรองในปุ๋ยเคมี)

จำนวน 7 ห้องปฏิบัติการ ขอบข่ายที่ 3 (ธาตุอาหารเสริมในปุ๋ยเคมี) จำนวน 6 ห้องปฏิบัติการ และขอบข่ายที่ 4 (ปุ๋ยอินทรีย์) จำนวน 2 ห้องปฏิบัติการ ครอบคลุมทั้งปุ๋ยเคมีและปุ๋ยอินทรีย์ ห้องปฏิบัติการมีสถานที่ตั้งอยู่ในภาคกลาง จำนวน 10 ห้องปฏิบัติการ ภาคตะวันออก จำนวน 1 ห้องปฏิบัติการ และภาคตะวันออกเฉียงเหนือ จำนวน 1 ห้องปฏิบัติการ

การรับรองความสามารถห้องปฏิบัติการวิเคราะห์และตรวจสอบคุณภาพปุ๋ยภาคเอกชน มีบทบาทสำคัญในการลดภาระงานของห้องปฏิบัติการวิเคราะห์ปุ๋ยของทางราชการ จากข้อมูลในช่วงปี พ.ศ. 2565 – 2567 จำนวนตัวอย่างปุ๋ยเพื่อขึ้นทะเบียนของกลุ่มงานวิจัยระบบตรวจสอบคุณภาพปุ๋ย มีแนวโน้มลดลงอย่างต่อเนื่อง โดยมีจำนวน 3,615 2,236 และ 1,598 ตัวอย่าง ตามลำดับ คิดเป็นการลดลงจากปี พ.ศ. 2565 ร้อยละ 38.15 และ 55.78 ตามลำดับ และผลการประเมินความพึงพอใจของผู้รับบริการที่มีต่องานบริการวิเคราะห์ปุ๋ยภาคเอกชน ในช่วงปี พ.ศ. 2565 – พ.ศ. 2567 พบว่า ผู้รับบริการมีความพึงพอใจเฉลี่ย 4.59 4.64 และ 4.53 คะแนน คิดเป็นร้อยละ 91.80 92.80 และ 90.60 ตามลำดับ แสดงให้เห็นว่าการรับรองความสามารถห้องปฏิบัติการภาคเอกชน เป็นกลไกที่สำคัญในการสนับสนุนนโยบายภาครัฐ ด้านการลดภาระงานของทางราชการ และเพิ่มทางเลือกให้แก่ผู้ขอรับบริการที่มีความประสงค์จะผลิตปุ๋ย โดยสามารถนำผลการวิเคราะห์ปุ๋ยจากห้องปฏิบัติการวิเคราะห์ปุ๋ยที่กรมวิชาการเกษตรให้การรับรองไปใช้ประกอบการขึ้นทะเบียนปุ๋ยได้ ทำให้การบริการด้านวิเคราะห์ปุ๋ยมีความสะดวก รวดเร็ว และเข้าถึงได้มากขึ้น นอกจากนี้ยังเป็นการยกระดับความสามารถห้องปฏิบัติการวิเคราะห์ปุ๋ยในประเทศไทยให้ได้มาตรฐานเดียวกัน ส่งผลให้การควบคุมคุณภาพปุ๋ยในประเทศไทยมีประสิทธิภาพ และสร้างความมั่นใจให้แก่เกษตรกรในคุณภาพของปุ๋ยที่นำไปใช้

คำขอบคุณ

ขอขอบคุณผู้อำนวยการกองวิจัยพัฒนาปัจจัยการผลิตทางการเกษตร ผู้เชี่ยวชาญด้านวิเคราะห์และทดสอบ และผู้อำนวยการกลุ่มวิจัยเกษตรเคมี ที่ได้ให้คำปรึกษา ข้อเสนอแนะ และแนวคิดอันเป็นประโยชน์ต่อการตรวจประเมินห้องปฏิบัติการตรวจวิเคราะห์ปุ๋ย ขอขอบคุณคณะกรรมการ และคณะทำงาน ที่ได้พิจารณาผลการตรวจประเมิน พร้อมทั้งเสนอแนวทางการปรับปรุงแก้ไขที่เป็นประโยชน์อย่างยิ่งต่อห้องปฏิบัติการวิเคราะห์ปุ๋ยภาคเอกชน และขอขอบคุณเจ้าหน้าที่ตรวจประเมินกลุ่มวิจัยเกษตรเคมี ที่ได้ร่วมกันดำเนินงานอย่างเข็มแข็ง ตั้งแต่การตรวจสอบเอกสาร การตรวจประเมินห้องปฏิบัติการ การรวบรวมข้อมูล และสรุปข้อมูลเพื่อเสนอคณะกรรมการ และคณะทำงาน จนสามารถดำเนินงานให้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

เอกสารอ้างอิง

กรมวิชาการเกษตร. 2554. ประกาศกรมวิชาการเกษตร เรื่อง การกำหนดห้องปฏิบัติการวิเคราะห์ปุ๋ย ตามมาตรา 36 (11) และมาตรา 36/2 (10) แห่งพระราชบัญญัติปุ๋ย พ.ศ. 2518 ซึ่งแก้ไขเพิ่มเติมโดยพระราชบัญญัติปุ๋ย (ฉบับที่ 2) พ.ศ. 2550 พ.ศ. 2554. ประกาศ ณ วันที่ 14 ตุลาคม 2554. ราชกิจจานุเบกษา เล่ม 128 ตอนพิเศษ 122 ง ลงวันที่ 14 ตุลาคม 2554.

กรมวิชาการเกษตร. 2568. คู่มือประชาชน : การกำหนดห้องปฏิบัติการวิเคราะห์ปุ๋ย (N). แหล่งข้อมูล: https://info.go.th/procedure/94e56d18-7f3c-4cf7-85eb-46f5cb0db20d/view?lat=13.7588311&lng=100.5405449 สืบค้น: 1 กุมภาพันธ์ 2568.

พระราชบัญญัติปุ๋ย (ฉบับที่ 2). 2550. ประกาศ ณ วันที่ 30 ธันวาคม 2550. ราชกิจจานุเบกษา เล่ม 125 ตอนที่ 7 ก. ลงวันที่ 11 มกราคม 2551.

สำนักควบคุมพืชและการเกษตร. 2568. ข้อมูลการนำเข้าปุ๋ยเคมี ปี พ.ศ. 2567 (รายประเทศ). แหล่งข้อมูล: https://www.doa.go.th/ard/?page_id=312. สืบค้น: 10 สิงหาคม 2568.

สำนักงานคณะกรรมการพัฒนาระบบราชการ. 2553. สรุปผลการประชุมคณะรัฐมนตรี วันอังคารที่ 11 พฤษภาคม 2553 เรื่อง มาตรการ ทบทวนบทบาทภารกิจของส่วนราชการ ตามมาตร 33ฯ. แหล่งข้อมูล: http://www4.opdc.go.th/content.php?menu_id=3&content_id=1641. สืบค้น: 24 มีนาคม 2568.

การพัฒนาและยกระดับคุณภาพห้องปฏิบัติการวิเคราะห์สารควบคุมการเจริญเติบโตของพืช สู่มาตรฐานสากล ISO/IEC 17025

สาธิดา โพธิ์น้อย สุพิศสา ทองเขียว เพชรรัตน์ ศิริวิ สุวลักษมิ์ ไชยทอง
ตวงพร ธีระพิทยาพงศ์ ชาคร ทองหยอด จรีรัตน์ กุศลวิริยะวงศ์

กลุ่มวิจัยเกษตรเคมี กองวิจัยพัฒนาปัจจัยการผลิตทางการเกษตร

ABSTRACT

The development and improvement of the quality of the plant growth regulator analysis laboratory to be certified according to the international standard ISO/IEC 17025. The analytical methods provide accurate, precise, and verifiable results. The project began in fiscal year 2018 by preparing the laboratory, developing personnel, preparing documents related to the quality system, and determining the scope of the quality system. The selected scope is ethephon testing. Then, calibrate the instruments and equipment used in the analysis and testing, check the validity of the ethephon analysis method, participate in the laboratory proficiency testing program, internal quality audit, and external quality audit. As a result, the laboratory was certified according to the ISO/IEC 17025:2017 standard by the Department of Science Service Certification Body on July 5, 2023, for the ethephon testing range of 1.2-50% W/W and 85-97% W/W. The ethephon testing range was subsequently expanded to 1.2-60% W/V and paclobutrazol. At the test range of 5-20 %W/W and was certified on February 10, 2025, from the development to upgrade the laboratory to international standards for the plant growth regulator analysis laboratory of the Department of Agriculture, it will make service recipients confident in the accuracy and precision of the test analysis results. There is also an operation to expand the scope of analysis for other substances and to expand the network of plant growth regulator analysis to the laboratories of the Department of Agriculture. Research registration code according to the agency's mission

Keywords: Development, Plant Growth Regulator, ISO/IEC 17025

บทคัดย่อ

การพัฒนาและยกระดับคุณภาพห้องปฏิบัติการวิเคราะห์สารควบคุมการเจริญเติบโตของพืชเพื่อให้ได้รับการรับรองตามมาตรฐานสากล ISO/IEC 17025 มีวิธีการวิเคราะห์ที่ให้ผลการวิเคราะห์อย่างถูกต้อง แม่นยำ และตรวจสอบได้ เริ่มดำเนินการปีงบประมาณ 2561 โดยเตรียมความพร้อมของห้องปฏิบัติการ การพัฒนาบุคลากร การจัดทำเอกสารที่เกี่ยวข้องกับระบบคุณภาพ กำหนดขอบข่ายที่จะเข้าระบบคุณภาพ ขอบข่ายที่เลขือกคือ การทดสอบ ethephon จากนั้นสอบเทียบเครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการวิเคราะห์ทดสอบ ตรวจสอบความใช้ได้ของวิธีการวิเคราะห์ ethephon การเข้าร่วมโปรแกรมทดสอบความชำนาญห้องปฏิบัติการ การตรวจติดตามคุณภาพภายใน และการตรวจติดตามคุณภาพภายนอก จากผลการดำเนินการห้องปฏิบัติการได้รับการรับรองตามมาตรฐาน ISO/IEC 17025 : 2017 จากหน่วยรับรองกรมวิทยาศาสตร์บริการ เมื่อวันที่ 5 กรกฎาคม 2566 ในขอบข่ายการทดสอบสาร ethephon ที่ช่วงการทดสอบ 1.2-50 %W/W และ 85-97 %W/W จากนั้นขยายขอบข่ายช่วงการทดสอบ ethephon เป็น 1.2-60 %W/V และ paclobutrazol ที่ช่วงการทดสอบ 5-20 %W/W และได้รับการรับรองเมื่อวันที่ 10 กุมภาพันธ์ 2568 จากการพัฒนาเพื่อยกระดับห้องปฏิบัติการสู่มาตรฐานสากล สำหรับห้องปฏิบัติการวิเคราะห์สารควบคุมการเจริญเติบโตของพืชของกรมวิชาการเกษตร จะทำให้ผู้ขอรับบริการมั่นใจในความถูกต้อง แม่นยำของผลการวิเคราะห์ทดสอบ ทั้งนี้ยังมีการดำเนินการเพื่อขยายขอบข่ายการวิเคราะห์สำหรับสารอื่นๆ และการขยายเครือข่ายการวิเคราะห์สารควบคุมการเจริญเติบโตของพืชไปยังห้องปฏิบัติการของกรมวิชาการเกษตรต่อไป

คำสำคัญ: การพัฒนา, สารควบคุมการเจริญเติบโตของพืช, มาตรฐาน ISO/IEC 17025

คำนำ

ห้องปฏิบัติการวิเคราะห์สารควบคุมการเจริญเติบโตของพืช เป็นห้องปฏิบัติการที่ดำเนินการตามภารกิจของหน่วยงาน ภายใต้การกำกับดูแลของกองวิจัยพัฒนาปัจจัยการผลิตทางการเกษตร กรมวิชาการเกษตร โดยกลุ่มวิจัยเกษตรเคมี ให้บริการวิเคราะห์สารควบคุมการเจริญเติบโตของพืชตามพระราชบัญญัติวัตถุอันตราย พ.ศ. 2535 แก้ไขเพิ่มเติมโดยพระราชบัญญัติวัตถุอันตราย (ฉบับที่ 3) พ.ศ. 2551 ที่กรมวิชาการเกษตรรับผิดชอบ เพื่อควบคุมและเฝ้าระวังคุณภาพของผลิตภัณฑ์สารควบคุมการเจริญเติบโตของพืช ที่ต้องขึ้นทะเบียน เพื่อการจำหน่าย และสำหรับการนำไปอ้างอิงตามกฎหมาย หรือนำไปใช้รับรองคุณภาพผลิตภัณฑ์ เพื่อให้เกิดความมั่นใจต่อผู้ขอรับบริการ ห้องปฏิบัติการวิเคราะห์ต้องได้รับการรับรองตามมาตรฐาน ISO/IEC 17025 จึงได้พัฒนายกระดับห้องปฏิบัติการให้ได้วิธีการวิเคราะห์ที่ให้ผลการวิเคราะห์ถูกต้อง แม่นยำ และตรวจสอบได้เป็นไปตามหลักมาตรฐานสากล

การพัฒนาห้องปฏิบัติการเพื่อให้ได้รับการรับรองตามมาตรฐาน ISO/IEC 17025 : 2017 จำเป็นต้องดำเนินการตามข้อกำหนดการจัดทำระบบคุณภาพห้องปฏิบัติการ เพื่อนำไปขอรับรองความสามารถของห้องปฏิบัติการ โดยมีหัวข้อที่ต้องดำเนินการดังนี้คือ 1. กำหนดขอบข่าย (Scope) 2. เอกสารอ้างอิง (Normative reference) 3. คำศัพท์และคำจำกัดความ (Terms and definitions) 4. ข้อกำหนดด้านการบริหาร (Management requirements) 5. ข้อกำหนดด้านวิชาการ (Technic requirements) 6. ภาคผนวก (Annex)

7. เอกสารที่เกี่ยวข้อง (Bibliography) ซึ่งข้อกำหนดด้านการบริหารจะมีการดำเนินการย่อย จำนวน 15 ข้อ เป็นข้อกำหนดที่ต้องเกี่ยวข้องกับองค์กรและบุคคลภายนอก และข้อกำหนดด้านวิชาการจะมีการดำเนินการย่อย จำนวน 10 ข้อ เป็นข้อกำหนดที่เกี่ยวข้องกับการปฏิบัติงาน

สำหรับห้องปฏิบัติการวิเคราะห์สารควบคุมการเจริญเติบโตของพืช ให้บริการวิเคราะห์สารทั้งสิ้น จำนวน 25 ชนิดสาร เป็นสารที่ขึ้นทะเบียน และส่งบริการวิเคราะห์มากที่สุด 3 ลำดับแรก ได้แก่ ethephon paclobutrazol และ gibberellic acid ดังนั้น จึงได้เริ่มดำเนินการพัฒนาคุณภาพการวิเคราะห์ ด้วยวิธีวิเคราะห์ ethephon โดยมีกระบวนการดำเนินการ เริ่มจากการจัดทำเอกสารในระบบคุณภาพ การจัดทำข้อกำหนดด้านการบริหาร จำนวน 15 ข้อ การจัดทำข้อกำหนดด้านวิชาการ จำนวน 10 ข้อ การอบรมบุคคลากร การตรวจสอบความดังนั้นจึงต้องมีการพัฒนาห้องปฏิบัติการเพื่อให้ได้รับการรับรองตามมาตรฐาน ISO/IEC 17025 มีระบบการควบคุมคุณภาพผลการทดสอบสำหรับห้องปฏิบัติการ ให้เกิดความมั่นใจในงานบริการว่าเป็นไปตามข้อกำหนดด้านระบบคุณภาพ ISO/IEC 17025 ซึ่งให้ผลการวิเคราะห์ที่มีความอย่างถูกต้อง แม่นยำ ตรวจสอบได้ และสามารถนำข้อมูลมาใช้เพื่อลดข้อโต้แย้งทางกฎหมายได้อย่างมั่นใจ เพื่อเป็นการยกระดับงานบริการด้านการวิเคราะห์สารควบคุมการเจริญเติบโตของพืชของห้องปฏิบัติการกรมวิชาการเกษตรสู่มาตรฐานสากล

วิธีดำเนินการ

การพัฒนาห้องปฏิบัติการเพื่อให้เป็นไปตามมาตรฐานห้องปฏิบัติการ ISO/IEC 17025 จำเป็นต้องมีการดำเนินการตามมาตรฐาน การเตรียมความพร้อมทั้งบุคลากร ห้องปฏิบัติการ เอกสารคู่มือ เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในห้องปฏิบัติการ ต้องได้รับการสอบเทียบ การตรวจสอบความใช้ได้ของวิธีโดยกำหนดกรอบงานดังนี้

- ปีงบประมาณ 2561-2562 เตรียมความพร้อม โดยมีการแต่งตั้งคณะทำงาน เพื่อวางแผนการดำเนินงานตามข้อกำหนดในระบบคุณภาพ ISO/IEC 17025 ประชุม อบรมเจ้าหน้าที่ที่เกี่ยวข้อง จัดเตรียมสถานที่ เครื่องมือวิทยาศาสตร์ อุปกรณ์เครื่องแก้ว และสารเคมี
- ปีงบประมาณ 2563-2565 การดำเนินการด้านการตรวจสอบความใช้ได้ของวิธีวิเคราะห์ นำร่องโดยวิธีวิเคราะห์ ethephon ตามข้อกำหนดในระบบคุณภาพ ISO/IEC 17025
- ปีงบประมาณ 2565 ยื่นขอการรับรองห้องปฏิบัติการตามมาตรฐาน ISO/IEC 17025: 2017 ขอบข่ายวิธีวิเคราะห์ ethephon
- ปีงบประมาณ 2566 ดำเนินการจัดทำเอกสารในระบบคุณภาพ ISO/IEC 17025: 2017 และตรวจสอบความใช้ได้ของวิธีวิเคราะห์ในรายการทดสอบ paclobutrazol
- ปีงบประมาณ 2567 ยื่นขอการรับรองห้องปฏิบัติการตามมาตรฐาน ISO/IEC 17025 ขอบข่ายวิธีวิเคราะห์ ขอบข่ายวิธีวิเคราะห์ paclobutrazol

อุปกรณ์

1.เครื่องมือ/อุปกรณ์

1.1 เครื่องมือ

1.1.1 เครื่องโครมาโทกราฟประสิทธิภาพสูง (HPLC) ยี่ห้อ WATERS รุ่น Alliance e2695

1.1.2 เครื่องไทเทรตอัตโนมัติ ยี่ห้อ METTLER TOLEDO รุ่น T50

1.1.3 เครื่องชั่งไฟฟ้าทศนิยม 5 ตำแหน่ง ยี่ห้อ METTLER TOLEDO รุ่น XPE 205

1.1.4 เครื่อง Ultrasonic ยี่ห้อ BRANSON รุ่น 2210

1.1.5 ตู้อบลมร้อน ยี่ห้อ Memmert รุ่น B-40

1.1.6 เตาไฟฟ้า ยี่ห้อ IKA รุ่น C-MAG HS7

1.2 อุปกรณ์

1.2.1 ชุดกรองสารละลาย Mobile phase ขนาด 1000 มิลลิลิตร

1.2.2 บีกเกอร์ ขนาด 10, 150, 250 และ 400 มิลลิลิตร

1.2.3 กระบอกตวง ขนาด 500 และ 1000 มิลลิลิตร

1.2.4 ปิเปตปริมาตร Class A ขนาด 1, 2, 3, 4, 5, 6 และ 100 มิลลิลิตร

1.2.5 ขวดวัดปริมาตร Class A ขนาด 10, 50, 100, 200, 250 และ 1000 มิลลิลิตร

1.2.6 Syringe ชนิดแก้ว ขนาด 5 มิลลิลิตร

1.2.7 Nylon syringe filter ขนาด 0.22 ไมโครเมตร

1.2.8 Nylon membrane filter ขนาด 0.22 ไมโครเมตร

1.2.9 ขวดฉีดสาร ขนาด 2 มิลลิลิตร

1.2.10 ขวดใส่สารละลาย Mobile phase ขนาด 500 และ 1000 มิลลิลิตร

1.2.11 Weighing boat glass ขนาด 10 มิลลิลิตร

1.2.12 ปิเปตอัตโนมัติ ขนาด 1 และ 5 มิลลิลิตร

1.2.13 กระบอกตวง ขนาด 100 และ 250 มิลลิลิตร

1.2.14 ขวดหาความถ่วงจำเพาะ Pycnometer (Density bottle) ขนาด 25 มิลลิลิตร

1.2.15 พาราฟิล์ม

2. สารเคมี วัสดุ หรือวัสดุอ้างอิงที่ใช้

2.1 สารมาตรฐานอีทีฟอนความเข้มข้น 97%

2.2 สารอีทีฟอนชนิดเทคนิคัลเกรดความเข้มข้นมากกว่า 85%

2.3 สารมาตรฐาน Potassium hydrogen phthalate ($C_8H_5KO_4$)

2.4 สารมาตรฐานแพกโคลบิวทราซอล ความเข้มข้นมากกว่า 95%

2.5 สารแพกโคลบิวทราซอลชนิดเทคนิคอลเกรด ความเข้มข้นมากกว่า 90%

2.6 1.0 N Sodium hydroxide solution (NaOH), AR grade

2.7 Buffer solution pH 4, 7, 9.21 และ 10

2.8 95% Ethanol (C_2H_5OH), AR grade

2.9 Methanol ชนิด HPLC grade

2.10 Acetonitrile ชนิด AR grade และ HPLC grade

2.11 Thymol blue indicator, AR grade

2.12 ตัวอย่าง Sample blank (Talcum)

วิธีการ

1. กำหนดขอบข่ายการทดสอบและศักยภาพของห้องปฏิบัติการ

พิจารณารายการทดสอบเพื่อกำหนดขอบข่ายในการขอการรับรอง โดยพิจารณาจากจำนวนตัวอย่างของรายการทดสอบที่มีผู้มาขอรับบริการจำนวนมากที่สุดก่อน และสำรวจศักยภาพด้านบุคลากรของห้องปฏิบัติการ โดยจัดทำแบบมอบหมายงานให้กับเจ้าหน้าที่ทุกคนในระบบเป็นลายลักษณ์อักษร ระบุหน้าที่ ความรับผิดชอบและขอบข่ายของงานที่รับมอบหมายให้ชัดเจน

2. พัฒนาบุคลากร

บุคลากรทุกระดับในระบบคุณภาพนอกจากจะมีคุณสมบัติด้านการศึกษา แล้วยังต้องมีความรู้ความเข้าใจในข้อกำหนดมาตรฐาน ISO/IEC 17025 ซึ่งประกอบด้วยข้อกำหนดด้านระบบคุณภาพ และข้อกำหนดด้านวิชาการ การจัดการบุคลากร ดำเนินการจัดทำแผนผังนโยบายคุณภาพ (Quality policy) และจัดตั้งคณะทำงานตามหน้าที่ความรับผิดชอบของบุคลากรด้านบริหาร และด้านวิชาการ ประกอบด้วย

1. ผู้บริหารห้องปฏิบัติการ (Top Management: TOP)
2. ผู้จัดการคุณภาพ (Quality Manager: QM)
3. ผู้จัดการด้านวิชาการ (Technical Manager: TM)
4. คณะจัดการวิชาการ (Technical Manager Team: TMT)
5. เจ้าหน้าที่การปฏิบัติการทดสอบ
6. เจ้าหน้าที่ควบคุมเอกสาร (Document Control Officer: DC)
7. เจ้าหน้าที่ธุรการ
8. เจ้าหน้าที่ตรวจติดตามคุณภาพภายใน

รวมถึงการแต่งตั้งคณะทำงานเพื่อดำเนินการและเฝ้าระวังระบบคุณภาพห้องปฏิบัติการตามข้อกำหนดของระบบบริหารงาน เช่น แต่งตั้งคณะทำงานบริหารความเสี่ยงและการควบคุมภายในฯ และคณะทำงานการปรับปรุงกระบวนการตามระบบคุณภาพห้องปฏิบัติการฯ เป็นต้น จัดทำแผนอบรมให้ความรู้บุคลากรที่เกี่ยวข้องทั้งด้านการบริหารและด้านวิชาการ เพื่อเข้ารับการฝึกอบรมในหลักสูตรที่เกี่ยวข้อง เช่น ข้อกำหนด ISO/IEC 17025: 2017 การตรวจติดตามคุณภาพภายใน การตรวจสอบความใช้ได้ของวิธีทดสอบ การประกันคุณภาพผลการทดสอบ และหลักสูตรด้านเทคนิคที่เกี่ยวข้อง การใช้และการสอบเทียบเครื่องมือที่จำเป็นสำหรับขอบข่าย พร้อมทั้งจัดฝึกอบรมเพื่อเพิ่มศักยภาพให้เจ้าหน้าที่ในระบบคุณภาพทุกคน ให้มีความรู้ความเข้าใจในระบบคุณภาพหลักการทางวิชาการ เพื่อให้มั่นใจว่าบุคลากรทุกคนมีความรู้ความสามารถ และปฏิบัติงานตามที่ได้รับมอบหมายได้อย่างมีประสิทธิภาพ

3. การจัดทำระบบเอกสาร/ข้อมูลด้านเทคนิคตามข้อกำหนดมาตรฐาน ISO/IEC 17025 : 2017

3.1 ห้องปฏิบัติการมีการจัดทำนโยบายคุณภาพเพื่อให้บุคลากรในองค์กรได้ตระหนักถึงความสำคัญของระบบมาตรฐานร่วมกันและมีการวางแผนการปฏิบัติงานให้ชัดเจน พร้อมทั้งจัดทำเอกสารระบบการบริหารงานประกอบด้วยเอกสารคู่มือคุณภาพ ขั้นตอนการดำเนินงาน วิธีปฏิบัติงาน วิธีทดสอบ และเอกสารสนับสนุนที่จำเป็นเพื่อให้บุคลากรนำไปใช้ในการปฏิบัติงานให้เป็นมาตรฐานเดียวกัน ทำให้การทำงานเกิดความต่อเนื่อง มีความ

สม่ำเสมอ แม้จะเปลี่ยนตัวผู้รับผิดชอบ โดยดำเนินการตามระบบคุณภาพให้ครบทุกกิจกรรม และครบทั้งกระบวนการ ตั้งแต่การรับตัวอย่าง การทดสอบ การควบคุมคุณภาพภายใน และการออกรายงานผลการทดสอบ

3.2 เตรียมหลักฐานความสามารถของบุคลากรในตำแหน่งเจ้าหน้าที่ทดสอบ ได้แก่ การทดสอบความชำนาญของห้องปฏิบัติการ (proficiency test: PT) เป็นการทดสอบความชำนาญของเจ้าหน้าที่และมาตรฐานของห้องปฏิบัติการ

3.3 เตรียมความพร้อมของห้องปฏิบัติการด้านสถานที่ มีการจัดแบ่งพื้นที่สำหรับการทดสอบตัวอย่างตามประเภทที่ทดสอบ มีการควบคุมการเข้าถึงการใช้พื้นที่ การเข้า-ออกห้องปฏิบัติการของบุคคลภายนอกจึงต้องอยู่ภายใต้การดูแลและการอนุญาตของหัวหน้าห้องปฏิบัติการหรือผู้ที่ได้รับมอบหมายเท่านั้น

3.3.1 การเตรียมสถานที่

จัดสถานที่เพื่อรับตัวอย่าง ห้องเตรียมตัวอย่าง ห้องปฏิบัติการวิเคราะห์ ได้แก่ ห้องเครื่องชั่ง ห้องเครื่องมือวิเคราะห์ เป็นต้น การจัดแบ่งพื้นที่ เช่น พื้นที่เก็บตัวอย่างก่อนและหลังจากการวิเคราะห์ พื้นที่เก็บวัสดุวิทยาศาสตร์ สารเคมี พื้นที่ทำความสะอาดวัสดุ อุปกรณ์ การติดป้ายบ่งชี้ เครื่องมือ เครื่องแก้ว สารเคมี ป้ายชื่อผู้รับผิดชอบ การจำกัดการเข้าถึง การควบคุมภาวะแวดล้อมของการวิเคราะห์ทดสอบ เป็นต้น

3.3.2 การเตรียมเครื่องมือและอุปกรณ์

3.3.2.1 จัดหาวัสดุอุปกรณ์ วัสดุอ้างอิง วัสดุอ้างอิงรับรอง สารเคมี ทวนสอบวัสดุ สารเคมี ว่าตรงตามเกณฑ์คุณภาพที่กำหนด มีเอกสารรับรองครบถ้วน ผลการทวนสอบผ่านเกณฑ์ บันทึกประวัติและจัดทำป้ายบ่งชี้แสดงสถานะ

3.3.2.2 เครื่องมือวิทยาศาสตร์ เครื่องแก้ว ดำเนินการสอบเทียบ สำหรับเครื่องมือหรือวัสดุที่ไม่สามารถสอบเทียบได้ให้ทำการทวนสอบพิสูจน์ความถูกต้องก่อนนำมาใช้งาน จัดทำเป็นหลักฐาน และบำรุงรักษาเครื่องมือทุกชนิดให้อยู่ในสภาพพร้อมใช้งาน

3.3.2.3 พื้นที่ที่จำเป็นต้องมีการควบคุมความชื้นหรืออุณหภูมิ ให้มีการจัดหาเครื่องควบคุมความชื้น เครื่องวัดความชื้นและอุณหภูมิ เพื่อควบคุมภาวะแวดล้อมให้อยู่ภายในเกณฑ์ที่กำหนด

3.4 เตรียมความพร้อมของห้องปฏิบัติการด้านเครื่องมือ มีการจัดหาหรือซ่อมแซมเครื่องมือ สอบเทียบเครื่องมือที่ใช้ในการทดสอบ โดยจัดทำคู่มือวิธีการใช้งานเครื่องมือทุกชนิด พร้อมทั้งแบบบันทึกการใช้เครื่องมือ และกำหนดผู้รับผิดชอบดูแลรักษาเครื่องมือและกำหนดผู้มีสิทธิใช้เครื่องมือทุกชนิด พร้อมทั้งฝึกอบรมให้ความรู้เกี่ยวกับการใช้งานและการดูแลรักษาให้กับเจ้าหน้าที่

3.5 เตรียมความพร้อมของห้องปฏิบัติการด้านวิธีทดสอบ ห้องปฏิบัติการเลือกใช้วิธีทดสอบของมาตรฐานในระดับสากล มีการจัดทำคู่มือวิธีทดสอบ ประกอบด้วย เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ วิธีการเตรียมตัวอย่างสำหรับทดสอบ ขั้นตอนการทดสอบ การบันทึกผลการทดสอบ วิธีการคำนวณ การควบคุมคุณภาพผลการทดสอบ การรายงานผลการทดสอบ ซึ่งมีการฝึกอบรมเจ้าหน้าที่ทดสอบให้เข้าใจและปฏิบัติตามวิธีทดสอบที่จัดทำขึ้นอย่างเคร่งครัด มีการจัดทำการประกันฝีมือเจ้าหน้าที่ทดสอบ โดยวิธีเปรียบเทียบฝีมือทดสอบของเจ้าหน้าที่ทดสอบทุกคน ปีละ 1 ครั้งในทุกขอบข่ายการทดสอบ

3.6 วิเคราะห์ความเสี่ยงของห้องปฏิบัติการ ซึ่งการดำเนินการเพื่อจัดการกับความเสี่ยงนี้ ISO/IEC 17025

: 2017 เป็นข้อกำหนดใหม่สำหรับห้องปฏิบัติการ เพื่อตอบสนองความต้องการของผู้รับบริการได้อย่างมีประสิทธิภาพ เนื่องจากการดำเนินงานการบริการวิเคราะห์ทดสอบอาจมีความเสี่ยงเกิดขึ้นที่นำไปสู่ความเสียหายต่อห้องปฏิบัติการและผู้ปฏิบัติงานได้ทั้งทางตรงและทางอ้อม หากมีการดำเนินการที่ไม่เหมาะสม ดังนั้นห้องปฏิบัติการจึงให้ความสำคัญกับความเสี่ยงที่อาจเกิดขึ้นเพื่อที่จะได้เลือกวิธีการที่เหมาะสมในการบริหารความเสี่ยงเหล่านั้นให้อยู่ในระดับที่สามารถรับได้ และทำให้สามารถดำเนินการบรรลุวัตถุประสงค์ได้อย่างมีประสิทธิภาพ

4. การตรวจสอบความใช้ได้ของวิธีทดสอบ

สำหรับวิธีทดสอบสาร ethephon ได้ทำการตรวจสอบความใช้ได้ตามวิธีมาตรฐานใน Collaborative International Pesticides Analytical Council, CIPAC, Vol. H., 1998. และวิธีวิเคราะห์สาร paclobutrazol เป็นวิธีที่พัฒนาจากวิธีมาตรฐาน Collaborative International Pesticides Analytical Council, CIPAC, Vol. 1C., 1985. โดยทำการตรวจสอบความใช้ได้ของวิธีดังนี้

4.1 การตรวจสอบความใช้ได้ของวิธีวิเคราะห์สารอีทีฟอน

4.1.1 ตรวจสอบความถูกต้อง (Trueness) ของสารมาตรฐานอีทีฟอน และหาความเข้มข้นที่แน่นอนของสารอีทีฟอนชนิดเทคนิคัลเกรด

4.1.2 พิสูจน์ช่วงการใช้งานของวิธี (Method working range)

4.1.2.1 ทดสอบตัวอย่างสารอีทีฟอนที่มีลักษณะของเนื้อสาร (Matrix) แตกต่างกัน ครอบคลุมความเข้มข้นที่ใช้งานจากข้อมูลความเที่ยง (Precision)

4.1.2.2 ดำเนินการวิเคราะห์ตามวิธีทดสอบสารอีทีฟอนในผลิตภัณฑ์วัตถุอันตรายทางการเกษตร

4.1.2.3 นำผลที่ได้มาพล็อตกราฟระหว่างความเข้มข้นของสารอีทีฟอนที่เตรียมและความเข้มข้นของสารที่วิเคราะห์ได้ แล้วประเมินโดยใช้สถิติการถดถอย (Linear regression)

4.1.3 หาค่าขีดจำกัดในการตรวจพบ (Limit of Detection; LOD) และขีดจำกัดในการวัดเชิงปริมาณ (Limit of Quantitation; LOQ)

4.1.3.1 ชั่งสารอีทีฟอนชนิดเทคนิคัลเกรดความเข้มข้น โดยเตรียมสารอีทีฟอนให้มีความเข้มข้นต่ำๆ ใส่ในขวดวัดปริมาตรขนาด 250 มิลลิลิตร ปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่น เขย่าให้เข้ากัน

4.1.3.2 ชั่งสารละลายอีทีฟอนที่เตรียมได้จากข้อ 4.1.3.1 น้ำหนัก 0.25xx กรัม ใส่ใน Beaker ขนาด 250 มิลลิลิตร

4.1.3.3 ดำเนินการวิเคราะห์ตามวิธีทดสอบสารอีทีฟอนในผลิตภัณฑ์วัตถุอันตรายทางการเกษตร โดยทำการทดสอบ 10 ซ้ำ

4.1.3.4 คำนวณหาค่า LOD และ LOQ ตามสูตร

$$LOD = \bar{x} + 3\, s_0'$$

$$LOQ = \bar{x} + 10\, s_0'$$

หาค่า s_0' จากสูตร

$$s_0' = s_0 \sqrt{\frac{1}{n} + \frac{1}{n_b}}$$

โดยที่ s_0' คือ ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานสำหรับการคำนวณ LOD

n คือ จำนวนของการทดสอบตัวอย่าง

n_b คือ จำนวนของการทดสอบ Reagent blank

4.1.4 พิสูจน์ความถูกต้อง (Trueness) และความเที่ยง (Precision) ที่ระดับ LOQ

4.1.4.1 เตรียมสารละลายตัวอย่างเทคนิคัลเกรดให้ได้ความเข้มข้นเท่ากับค่า LOQ จำนวน 10 ซ้ำ

4.1.4.2 ชั่งตัวอย่างจากข้อ 4.1.4.1 ให้มีเนื้อสารอีทีฟอน 250 มิลลิกรัมกรัม ใส่ใน Beaker ขนาด 250 มิลลิลิตร

4.1.4.3 ดำเนินการวิเคราะห์ตามวิธีทดสอบสารอีทีฟอนในผลิตภัณฑ์วัตถุอันตรายทางการเกษตร โดยทดสอบแบบ Intermediate ที่ทำต่างวันเวลากัน

4.1.4.4 ประเมินความถูกต้อง โดยพิจารณาค่า Recovery ต้องอยู่ในช่วง 97-103% และประเมินความเที่ยง โดยพิจารณาจากค่า HorRat ≤ 1.3

4.1.5 พิสูจน์ความถูกต้อง (Trueness) และความเที่ยง (Precision) ของวิธีวิเคราะห์สารอีทีฟอนที่ระดับความเข้มข้นต่ำ กลาง และสูง

4.1.5.1 เตรียมสารอีทีฟอนที่ระดับความเข้มข้นต่ำ กลาง และสูง ความเข้มข้นละ 10 ซ้ำ โดยคำนวณน้ำหนักให้มีเนื้อสารอีทีฟอน 250 มิลลิกรัม ชั่งใส่ใน Beaker ขนาด 250 มิลลิลิตร

4.1.5.2 ดำเนินการวิเคราะห์ตามวิธีทดสอบสารอีทีฟอนในผลิตภัณฑ์วัตถุอันตรายทางการเกษตร โดยวิเคราะห์แบบ intermediate ที่ทำต่างวันเวลากัน

4.1.5.3 ประเมินความถูกต้อง โดยพิจารณาค่า Recovery และประเมินความเที่ยง โดยพิจารณาจากค่า HorRat ≤ 1.3

4.1.6 การหาค่า intermediate โดยใช้ตัวอย่างวัตถุอันตรายทางการเกษตรที่ระบุสารออกฤทธิ์อีทีฟอน

4.1.6.1 เตรียมตัวอย่างอีทีฟอนความเข้มข้นต่ำ กลาง และสูง ตัวอย่างละ 1 ซ้ำ โดยคำนวณน้ำหนักให้มีเนื้อสารอีทีฟอน 250 มิลลิกรัม ชั่งใส่ใน Beaker ขนาด 250 มิลลิลิตร

4.1.6.2 ดำเนินการวิเคราะห์ตามวิธีทดสอบสารอีทีฟอนในผลิตภัณฑ์วัตถุอันตรายทางการเกษตร โดยวิเคราะห์แบบ Intermediate ไม่ต่ำกว่า 10 ซ้ำ ที่ทำต่างวันเวลากัน

4.1.6.3 ประเมินความเที่ยงโดยพิจารณาค่า HorRat โดยใช้เกณฑ์การประเมิน : HorRat ≤ 1.3 ตามมาตรฐาน AOAC (2023)

4.1.7 การประเมินค่าความไม่แน่นอนของการวัด

โดยพิจารณาแหล่งไม่แน่นอนในการวัดว่ามีแหล่งความไม่แน่นอน ที่แตกต่างกันไปตามปริมาณและวิธีการทดสอบ ประเมินค่าความไม่แน่นอน แบบ Bottom-up approach โดยคำนึงถึงความไม่แน่นอนทุกแหล่งย่อย (EURACHEM/CITAC Guide, 2012) หาค่าความไม่แน่นอนของแต่ละก้างปลาย่อยในก้างปลาหลักและรวมค่าความไม่แน่นอนของแต่ละก้างปลาหลัก จากนั้นแปลงค่าความไม่แน่นอนแต่ละแหล่งเป็นค่าความไม่

แน่นอนมาตรฐาน โดยนำค่าความไม่แน่นอนที่ได้หารด้วยตัวหาร (Divisor ; d) ตัวหาร รวมค่าความไม่แน่นอนแต่ละแหล่ง (Combined uncertainty) และขยายค่าความไม่แน่นอนรวม (Expanded uncertainty) โดยคูณด้วยค่า Coverage factor (k) ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 % ให้ค่า k = 2

4.1.8 การควบคุมคุณภาพผลการทดสอบ

4.1.8.1 การควบคุมคุณภาพผลการทดสอบภายในและเกณฑ์ยอมรับ

1) ก่อนการทดสอบอีทีฟอนทุกครั้งจะต้องมีการตรวจสอบประสิทธิภาพการทำงานของเครื่องโดยการ Calibrate อิเล็กโทรด ซึ่งมีเกณฑ์ความชันอยู่ในช่วง -56.20 ถึง-62.12 และมี % ความชันอยู่ในช่วง 95-105 และทดสอบวัด pH ของสารละลาย buffer ที่ pH 9.21 โดยพิจารณาเกณฑ์การยอมรับ ต้องมีค่าเท่ากับ 9.21± 0.05

2) ในระหว่างการทดสอบอีทีฟอน ทุกๆ 10 ซ้ำของตัวอย่างที่ทดสอบ จะต้องทำการตรวจสอบการทำงานของอิเล็กโทรด (Intermediate check) ด้วยการวัดสารละลาย Buffer pH 9.21 โดยพิจารณาเกณฑ์ยอมรับ ต้องมีค่าเท่ากับ 9.21± 0.05

3) ทดสอบ Procedural blank โดยใช้น้ำกลั่นทดสอบเช่นเดียวกับตัวอย่าง ทุกๆ 10 ซ้ำของตัวอย่างที่ทดสอบ เกณฑ์การยอมรับต้องน้อยกว่า LOD (limit of detection)

4) ทดสอบตัวอย่าง 2 ซ้ำ ทุกตัวอย่างที่ทดสอบ โดยพิจารณาค่า % RPD ต้องไม่เกิน 5%

5) ทดสอบ IQC 1 ครั้งต่อชุดการทดสอบ แล้วนำไป Plot ค่าลงในแผนภูมิควบคุม (Control Chart) ในการควบคุมตามวิธีปฏิบัติงานการจัดทำแผนภูมิและการวิเคราะห์แนวโน้ม

6) ทำการทดสอบหาค่าคืนกลับ (%Recovery) 1 ครั้งต่อชุดการทดสอบ ด้วยวิธีการ Spiked สารที่ทราบค่าลงในตัวอย่างอีทีฟอน แล้วคำนวณหาค่า %Recovery โดยค่าที่ได้ต้องอยู่ในเกณฑ์ยอมรับตามมาตรฐาน AOAC (2023)

7) ตรวจสอบผลการทดสอบ 1 ครั้งต่อชุดการทดสอบ โดยคำนวณผลเทียบกับสูตรการคำนวณ

8) ทดสอบ Blind sample ทุก 2 เดือน

9) ประเมินความสามารถในการปฏิบัติงานของบุคลากรในทีมวิเคราะห์อย่างน้อยปีละ 1 ครั้ง ด้วยการทดสอบสารอีทีฟอนที่ทราบค่าจริง โดยบันทึกในแบบประเมินการฝึกอบรมความสามารถการปฏิบัติงาน

10) ทวนสอบความใช้ได้ของวิธีทดสอบทุก 2 ปี

4.1.8.2 การควบคุมคุณภาพผลการทดสอบภายนอก วัตถุประสงค์หลักเพื่อยกระดับคุณภาพและความน่าเชื่อถือของผลการทดสอบของห้องปฏิบัติการต่างๆ ในประเทศไทย โดยห้องปฏิบัติการได้เข้าร่วมกิจกรรมทดสอบความชำนาญ (Proficiency testing lab) หรือเปรียบเทียบผลระหว่างห้องปฏิบัติการปีละ 1 ครั้ง ซึ่งปัจจุบันกลุ่มงานวิจัยพัฒนาระบบตรวจสอบคุณภาพดินและน้ำ ได้เป็นผู้จัดโปรแกรมทดสอบความชำนาญห้องปฏิบัติการ และได้รับการรับรอง ISO/IEC 17043 จากสำนักบริหารและรับรองห้องปฏิบัติการ กรมวิทยาศาสตร์บริการ

4.2 การตรวจสอบความใช้ได้ของวิธีวิเคราะห์สารแพกโคลบิวทราซอล

4.2.1 การหา Selectivity หรือ Specificity ของวิธีทดสอบ

ทดสอบตัวอย่าง Sample blank (Talcum) สารมาตรฐาน Paclobutrazol และสารมาตรฐาน Tebuconazole ดำเนินการวิเคราะห์ตามวิธีทดสอบ จากนั้นเปรียบเทียบสัญญาณของสารที่ตรวจวัดที่ได้

4.2.2 พิสูจน์ความเป็นเส้นตรงและช่วงใช้งาน (Linearity and Working range) ดังนี้

4.2.2.1 Linearity โดยการทดสอบสารมาตรฐาน Paclobutrazol จำนวน 8 ระดับความเข้มข้น ความเข้มข้นละ 3 ซ้ำ และพิจารณาค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (Correlation coefficient: r) ซึ่งมีเกณฑ์การยอมรับที่ค่า r ≥ 0.995 ตาม AWWA (2023)

4.2.2.2 Instrument working range โดยทดสอบสารมาตรฐาน Paclobutrazol จำนวน 6 ระดับความเข้มข้น ความเข้มข้นละ 3 ซ้ำ และพิจารณาค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (Correlation coefficient: r) ซึ่งมีเกณฑ์การยอมรับที่ค่า r ≥ 0.995 ตาม AWWA (2023)

4.2.2.3 Method working range โดยทดสอบตัวอย่างสารแพกโคลบิวทราซอลที่มีลักษณะของเนื้อสาร (Matrix) เหมือนกับตัวอย่างที่คลอบคลุมความเข้มข้นที่ใช้งาน และประเมินผลโดยใช้สถิติการถดถอย (Linear regression)

4.2.3 การเปรียบเทียบกราฟมาตรฐาน Matrix effect

ทำการทดสอบ โดยเตรียมสารละลายมาตรฐาน Paclobutrazol จำนวน 6 ระดับความเข้มข้น ความเข้มข้นละ 3 ซ้ำ ที่ความเข้มข้น 50-300 มิลลิกรัมต่อลิตร แบ่งการเตรียมเป็น 2 ชุด และพิจารณาค่า %RPD ในการเปรียบเทียบ ซึ่งมีเกณฑ์การยอมรับ < 10% ตาม NATA (2018)

4.2.4 การประเมินค่าต่ำที่สุดที่สามารถวิเคราะห์ได้ Limit of Detection (LOD) และการประเมินค่าต่ำที่สุดที่สามารถรายงานผลได้

เตรียมสารมาตรฐาน Paclobutrazol ที่ความเข้มข้นต่ำๆ ใส่ลงใน Sample blank จำนวน 10 ซ้ำ ที่ทำต่างเวลากัน ดำเนินการทดสอบตามวิธีทดสอบ คำนวณหาค่า LOD และ LOQ ตามสูตร

LOD = 3 s_0'

LOQ = 10 s_0'

หาค่า s_0' จากสูตร

$$s_0' = \frac{s_0}{\sqrt{n}}$$

โดยที่ s_0' คือ ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานสำหรับการคำนวณ LOD

n คือ จำนวนของการทดสอบตัวอย่าง

4.2.6 พิสูจน์ความถูกต้อง (Trueness) และความเที่ยง (Precision) ที่ความเข้มข้นระดับ LOQ

ทดสอบสารแพกโคลบิวทราซอลที่ความเข้มข้นเท่ากับค่า LOQ โดยทดสอบแบบ Intermediate จำนวนไม่ต่ำกว่า 10 ซ้ำ ต่างวันเวลากัน ประเมินความถูกต้อง โดยพิจารณาค่า Recovery ต้องอยู่ในช่วง 98-102% และประเมินความเที่ยง โดยพิจารณาจากค่า HorRat ≤ 1.3 ตามมาตรฐาน AOAC (2023)

4.2.7 พิสูจน์ความถูกต้อง (Trueness) และความเที่ยง (Precision) ที่ระดับความเข้มข้นต่ำ กลาง สูง

ทดสอบสารแพกโคลบิวทราซอลที่ระดับความเข้มข้นต่ำ (5.0%) กลาง (10.0%) สูง (20.0%) โดยวิเคราะห์แบบ Intermediate จำนวน 7 ซ้ำ ที่ทำต่างเวลากัน ประเมินความถูกต้อง โดยพิจารณาค่า Recovery และประเมินความเที่ยง โดยพิจารณาจากค่า HorRat ≤ 1.3 ตามมาตรฐาน AOAC (2023)

4.2.8 การหาค่า Intermediate precision โดยใช้ตัวอย่างที่ระดับความเข้มข้นต่ำ กลาง สูง

ทดสอบตัวอย่างแพกโคลบิวทราซอลที่ความเข้มข้น 10% WP, 15% WP และ 20% W/W ตัวอย่างละ 1 ซ้ำ โดยวิเคราะห์แบบ Intermediate ไม่ต่ำกว่า 10 ซ้ำ ที่ทำต่างเวลากัน ประเมินความเที่ยงโดยพิจารณาค่า HorRat โดยพิจารณาเกณฑ์การประเมิน: HorRat ≤ 1.3 ตามมาตรฐาน AOAC (2023)

4.2.9 การประมาณค่าความไม่แน่นอนของการทดสอบ

โดยพิจารณาแหล่งไม่แน่นอนในการวัดว่ามีแหล่งความไม่แน่นอน ที่แตกต่างกันไปตามปริมาณและวิธีการทดสอบ ประเมินค่าความไม่แน่นอน แบบ Bottom-up approach โดยคำนึงถึงความไม่แน่นอนทุกแหล่งย่อย (EURACHEM/CITAC Guide, 2012) หาค่าความไม่แน่นอนของแต่ละก้างปลาย่อยในก้างปลาหลัก และรวมค่าความไม่แน่นอนของแต่ละก้างปลาหลัก จากนั้นแปลงค่าความไม่แน่นอนแต่ละแหล่งเป็นค่าความไม่แน่นอนมาตรฐาน โดยนำค่าความไม่แน่นอนที่ได้หารด้วยตัวหาร (Divisor ; d) ตัวหาร รวมค่าความไม่แน่นอนแต่ละแหล่ง (Combined uncertainty) และขยายค่าความไม่แน่นอนรวม (Expanded uncertainty) โดยคูณด้วยค่า Coverage factor (k) ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 % ให้ค่า k = 2

4.2.10 การควบคุมคุณภาพผลการทดสอบ มีดังนี้

4.2.10.1 การควบคุมคุณภาพผลการทดสอบภายในและเกณฑ์ยอมรับ

1) ก่อนการทดสอบแพกโคลบิวทราซอลทุกครั้งจะต้องมีการตรวจสอบระบบ System suitability ในวิธีทางโครมาโทกราฟีของเครื่อง HPLC ก่อนการทดสอบแพกโคลบิวทราซอลทุกครั้ง โดยการหาค่า Relative standard deviation (RSD) ของ Precision of retention time และ Precision of peak area, ค่า Theoretical plate number (N) และค่า Tailing factor (T)

2) สร้าง Calibration curve โดยใช้สารมาตรฐานอย่างน้อย 6 ความเข้มข้น พิจารณาค่า Correlation coefficient (r) ต้องมากกว่าหรือเท่ากับ 0.999 หากน้อยกว่า 0.999 ให้ทำการเตรียม Working standard ใหม่

3) ทดสอบ Reagent blank (Mobile phase) ทุกๆ 10 ซ้ำ ของตัวอย่างที่ทดสอบ โดยพิจารณาว่าไม่มีโครมาโทแกรมใดขึ้นตรงเวลาสารที่สนใจวิเคราะห์

4) ทำการวัด Continuing calibration standard (CCS) โดยใช้เกณฑ์การยอมรับ ± 3% ของความเข้มข้น 150 มิลลิกรัมต่อลิตร ทำการวัดในทุก 10 ซ้ำของการวัด

5) ทดสอบตัวอย่างทุก 3 ซ้ำ ต่อ 1 ตัวอย่างที่ทดสอบ โดยพิจารณาค่า Relative standard deviation (%RSD) ตามเกณฑ์การยอมรับของ AOAC, 2023

6) ทดสอบ IQC จำนวน 1 ครั้งต่อชุดการทดสอบ

7) ทำการวัด Calibration verification standard (CVS) โดยใช้เกณฑ์การยอมรับ ± 5% ของความเข้มข้น 150 มิลลิกรัมต่อลิตร ทำการวัดในทุก 10 ซ้ำของการวัด

9) คำนวณผลการทดสอบ % แพกโคลบิวทราซอลด้วยโปรแกรม Excel และมีการตรวจสอบผลการทดสอบ 1 ครั้งต่อชุดการทดสอบ โดยคำนวณผลการทดสอบเทียบกับสูตรการคำนวณด้วยเครื่องคิดเลข

10) ทำการทดสอบ Blind sample ทุก 2 เดือน ตามวิธีปฏิบัติงานเรื่อง การเลือกตัวอย่างไม่ทราบค่า

11) ประเมินความสามารถในการปฏิบัติงานของบุคลากรในทีมวิเคราะห์อย่างน้อยปีละ 1 ครั้ง ด้วยการทดสอบสารแพกโคลบิวทราซอลที่ทราบค่าจริง

12) ทำการทวนสอบความใช้ได้ของวิธีทดสอบทุก 2 ปี

4.2.9.2 การควบคุมคุณภาพผลการทดสอบภายนอก

วัตถุประสงค์หลักเพื่อยกระดับคุณภาพและความน่าเชื่อถือของผลการทดสอบของห้องปฏิบัติการต่างๆ ในประเทศไทย โดยห้องปฏิบัติการได้เข้าร่วมกิจกรรมทดสอบความชำนาญ (Proficiency testing lab) หรือเปรียบเทียบผลระหว่างห้องปฏิบัติการปีละ 1 ครั้ง ซึ่งปัจจุบันกลุ่มงานวิจัยพัฒนาระบบตรวจสอบคุณภาพดินและน้ำ ได้เป็นผู้จัดโปรแกรมทดสอบความชำนาญห้องปฏิบัติการ และได้รับการรับรอง ISO/IEC 17043 จากสำนักบริหารและรับรองห้องปฏิบัติการ กรมวิทยาศาสตร์บริการ

5. ประกาศใช้เอกสารในระบบบริหารงานคุณภาพ

นำเอกสารในระบบคุณภาพ ได้แก่ คู่มือคุณภาพ ขั้นตอนการดำเนินงาน วิธีปฏิบัติงาน วิธีทดสอบ และแบบบันทึกต่าง ๆ มาใช้ในระบบการบริหารของห้องปฏิบัติการ ซึ่งบางครั้งเมื่อนำมาทดลองใช้แล้ว และพบปัญหาจะต้องปรับแก้เอกสารคุณภาพต่าง ๆ เพื่อให้สอดคล้องกับการปฏิบัติงานจริงของห้องปฏิบัติการ

6. การตรวจติดตามคุณภาพภายใน

ห้องปฏิบัติการดำเนินการตรวจติดตามคุณภาพภายในอย่างน้อยปีละ 1 ครั้ง เพื่อติดตามการดำเนินงานว่าเป็นไปตามข้อกำหนดด้านคุณภาพและวิชาการตามระบบ ISO/IEC 17025 หรือไม่ โดยเจ้าหน้าที่ตรวจติดตามคุณภาพภายในต้องมีคุณสมบัติตามที่ห้องปฏิบัติการกำหนด เช่น ต้องผ่านการฝึกอบรมการตรวจติดตามคุณภาพภายใน มีความรู้ความเชี่ยวชาญในเรื่องที่จะตรวจติดตาม และมีความรู้เรื่องระบบคุณภาพ ISO/IEC 17025 โดยการตรวจติดตามต้องตรวจให้ครบทุกข้อตามข้อกำหนด

7. ทบทวนระบบคุณภาพและยื่นขอการรับรอง

ประชุมทบทวนการบริหารงานของห้องปฏิบัติการอย่างน้อยปีละ 1 ครั้ง และปรับปรุงประสิทธิภาพระบบคุณภาพของห้องปฏิบัติตามความจำเป็น เพื่อให้มั่นใจว่าระบบคุณภาพและกิจกรรมการทดสอบของห้องปฏิบัติการยังคงมีความเหมาะสมและมีประสิทธิผล หลังจากนั้นจึงยื่นขอการรับรองความสามารถห้องปฏิบัติการ โดยเลือกหน่วยงานที่ให้การรับรองให้เหมาะสมต่อขอบข่ายที่ต้องการขอรับรอง

ระยะเวลาดำเนินการ พ.ศ. 2561 – 2568

สถานที่ กลุ่มงานวิเคราะห์วิจัยพืชวัตถุเคมีการเกษตรและนิวเคลียร์เทคนิคการเกษตร กลุ่มวิจัยเกษตรเคมี กองวิจัยพัฒนาปัจจัยการผลิตทางการเกษตร กรมวิชาการเกษตร

ผลการทดลองและวิจารณ์

1. กำหนดขอบข่ายการทดสอบและศักยภาพของห้องปฏิบัติการ

จากการกำหนดขอบข่ายการทดสอบและศักยภาพของห้องปฏิบัติการวิเคราะห์สารควบคุมการเจริญเติบโตของพืช ซึ่งพิจารณาการขอรับรองความสามารถห้องปฏิบัติการทดสอบสารอีทีฟอน โดยกำหนดขอบข่ายการทดสอบ จำนวน 2 ช่วงการทดสอบ คือ 1. ที่ระดับความเข้มข้น 1.20-50% W/W และ 2. ช่วงความเข้มข้น 85.0-97.0% W/W และในปี 2567 กำหนดการทดสอบสารแพกโคลบิวทราซอล ที่ช่วงการทดสอบ 5.00-20.0% W/W

2. การพัฒนาบุคลากร

จากผลการดำเนินงานของบุคลากรกลุ่มวิจัยเกษตรเคมี ที่อยู่ในระบบคุณภาพ จำนวน 9 คน ได้ผ่านการฝึกอบรมด้านระบบคุณภาพ ตามข้อกำหนด ISO/IEC 17025 ทั้งทางด้านวิชาการ ด้านเทคนิคการใช้เครื่องมือและอื่น ได้แก่ การเขียนข้อมูลวิชาการ คู่มือคุณภาพ ขั้นตอนการปฏิบัติงาน วิธีทดสอบ การตรวจสอบความใช้ได้ของวิธีทดสอบ และการอบรมของฝ่ายสนับสนุนเพื่อให้การดำเนินงานเป็นไปอย่างต่อเนื่อง และมีประสิทธิภาพ เช่น การรักษาความลับ การจัดการตัวอย่าง การออกรายงานผล เป็นต้น โดยมีการประเมิน และพิจารณาตามเกณฑ์กำหนด ซึ่งทั้งหมดผ่านเกณฑ์การยอมรับ นั่นแสดงถึงบุคลากรที่มีความพร้อมและมีศักยภาพ เหมาะสมในการปฏิบัติงานในระบบคุณภาพ

3. การจัดทำระบบเอกสาร/ข้อมูลด้านเทคนิคตามข้อกำหนดมาตรฐาน ISO/IEC 17025 : 2017

ผลการจัดทำระบบเอกสารคุณภาพ พบว่า ได้อกสารในระบบคุณภาพ ประกอบด้วย คู่มือคุณภาพ ขั้นตอนการดำเนินงาน วิธีทดสอบ จำนวน 2 วิธี วิธีปฏิบัติงาน จำนวน 17 ฉบับ เอกสารการตรวจสอบความใช้ได้ของวิธีทดสอบ จำนวน 2 ฉบับ แบบบันทึก 75 ฉบับ รวมถึง สมุดบันทึก เอกสารภายนอกและเอกสารสนับสนุนภายใน เป็นต้น

4. ผลการตรวจสอบความใช้ได้ของวิธีทดสอบ

4.1 ผลการตรวจสอบความใช้ได้ของวิธีทดสอบสารอีทีฟอน

4.1.1 ความถูกต้องของสารมาตรฐานอีทีฟอน และความเข้มข้นที่แน่นอนของสารอีทีฟอนชนิดเทคนิคัล

จากการทดสอบความถูกต้องของสารมาตรฐานอีทีฟอน ที่ความเข้มข้น 97 %W/W จำนวน 7 ซ้ำ พบว่า ความเข้มข้นของสารอีทีฟอนเฉลี่ย มีค่าเท่ากับ 96.86 %W/W คิดเป็นร้อยละการคืนกลับ เท่ากับ 99.86 และจากการหาค่าความเข้มข้นที่แน่นอนของสารอีทีฟอนชนิดเทคนิคัล ที่ระบุความเข้มข้นมากกว่า 85 %W/W พบว่า มีค่าความเข้มข้นเฉลี่ยเท่ากับ 89.86% W/W ซึ่งมีค่า HorRat เท่ากับ 0.29 ซึ่งอยู่ในเกณฑ์กำหนดของ AOAC (2023)

4.1.2 Method working range

จากการทดสอบ Method working range ช่วงความเข้มข้นระหว่าง 1.20-97.0 %W/W โดยสร้างกราฟระหว่างความเข้มข้นของสารอีทีฟอนกับความเข้มข้นที่วิเคราะห์ได้ และการประเมินทางสถิติจาก Regression พบว่า มีความเป็นเส้นตรง ได้ค่า r เท่ากับ 0.999 และมีค่า Significance F น้อยกว่า 0.05 แสดงว่า

ตัวแปรมีความสัมพันธ์กันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ดังนั้นช่วงการใช้งานของวิธี ทดสอบครอบคลุมความเข้มข้น 1.20 - 97.0% มีความเหมาะสม

4.1.3 ค่าขีดจำกัดในการตรวจพบ (Limit of Detection; LOD) และขีดจำกัดในการวัดเชิงปริมาณ (Limit of Quantitation; LOQ)

จากการหาค่าขีดจำกัดในการตรวจพบ (Limit of Detection; LOD) ของการวิเคราะห์สารอีทีฟอน พบว่า มีค่าเท่ากับ 0.41% W/V และมีค่า Predict LOQ เท่ากับ 1.20% W/V จึงต้องมีการเตรียมความเข้มข้นของสารอีทีฟอนให้เท่ากับ 1.20% W/V เพื่อทำการพิสูจน์ความถูกต้องและความเที่ยงที่ความเข้มข้นนี้

4.1.4 พิสูจน์ความถูกต้อง (Trueness) และความเที่ยง (Precision) ที่ระดับ LOQ

จากการพิสูจน์ความถูกต้องและความเที่ยงที่ระดับ LOQ โดยเตรียมที่ความเข้มข้น 1.20% W/V พบว่า มี %Recovery เท่ากับ 99.65 ซึ่งอยู่ในช่วง 97-103% และมีค่า HorRat เท่ากับ 0.17 ซึ่งอยู่ในเกณฑ์กำหนดของ AOAC (2023)

4.1.5 พิสูจน์ความถูกต้อง (Trueness) และความเที่ยง (Precision) ของวิธีวิเคราะห์สารอีทีฟอนที่ระดับความเข้มข้นต่ำ กลาง และสูง

การพิสูจน์ความถูกต้องและความเที่ยงของวิธีที่ระดับความเข้มข้นต่ำ กลาง และสูง โดยที่ระดับความเข้มข้นต่ำวัดที่ความเข้มข้น 5.00% W/V ระดับกลางที่ความเข้มข้น 60.0% W/V และระดับสูงที่ความเข้มข้น 97.0% W/Wมี %Recovery เท่ากับ 98.74, 99.69 และ 99.86 ตามลำดับ ซึ่งอยู่ในช่วง 98-102% การประเมินค่า HorRat ได้เท่ากับ 0.32, 0.30 และ 0.39 ตามลำดับ ซึ่งอยู่ในเกณฑ์กำหนดของ AOAC (2023)

4.1.6 การหาค่า intermediate โดยใช้ตัวอย่างวัตถุอันตรายทางการเกษตรที่ระบุสารออกฤทธิ์อีทีฟอน

จากการวิเคราะห์สารอีทีฟอนในผลิตภัณฑ์สารควบคุมการเจริญเติบโตของพืชที่ความเข้มข้น 5% W/V, 52% W/V และ 91% W/W และจากการประเมินความเที่ยง ผลการทดสอบ พบว่า มีค่า HorRat เท่ากับ 0.54, 0.26 และ 0.72 ตามลำดับ ซึ่งอยู่ในเกณฑ์กำหนดของ AOAC (2023)

4.1.7 การประเมินค่าความไม่แน่นอนของการวัด

ผลการประมาณค่าความไม่แน่นอนของการวัดของสารอีทีฟอนในหน่วยน้ำหนักต่อปริมาตร (% W/V) ที่ช่วงความเข้มข้น 1.20 – 60.0% W/V โดยแบ่งเป็นที่ระดับความเข้มข้นต่ำ (1.20% W/V) ระดับกลาง (5.00% W/V) และระดับสูง (60.0% W/V) มีค่าเท่ากับ ± 0.07, ±0.28 และ ±3.5% ตามลำดับ ส่วนค่าความไม่แน่นอนของการวัดในหน่วยน้ำหนักต่อน้ำหนัก (% W/W) ที่ช่วงความเข้มข้น 85.0 – 97.0% W/W พบว่า ที่ความเข้มข้น 85.0% W/W มีค่าเท่ากับ ±3.6% และที่ความเข้มข้น 97.0% W/W มีค่าเท่ากับ ±3.4%

4.2 ผลการตรวจสอบความใช้ได้ของวิธีทดสอบสารแพกโคลบิวทราซอล

4.2.1 การหา Selectivity หรือ Specificity ของวิธีทดสอบ

ผลการทดสอบความจำเพาะเจาะจงของวิธีทดสอย พบว่าวิธีทดสอบนี้มีความจำเพาะเจาะจงกับการวิเคราะห์สาร Paclobutrazol ในตัวอย่างผลิตภัณฑ์วัตถุอันตรายทางการเกษตร (สารควบคุมการเจริญเติบโตของพืช) สูตร Wettable powder (WP) โดยที่ไม่พบการรบกวนของ Matrix ที่มีในตัวอย่าง

4.2.2 การหาค่า Linearity and Range

1) Linearity

ผลการทดสอบหาค่า Linearity ที่ช่วงความเข้มข้น 25-500 มิลลิกรัมต่อลิตร พบว่าได้ค่า Correlation Coefficient (r) เท่ากับ 0.9997 ซึ่งมีค่าอยู่ในเกณฑ์การยอมรับ $r \geq 0.995$ ตามมาตรฐาน AWWA (2023)

2) Instrument working range

ผลการทดสอบหาค่า Instrument working range ที่ช่วงความเข้มข้น 50-300 มิลลิกรัมต่อลิตร พบว่าได้ค่า Correlation Coefficient (r) เท่ากับ 0.9997 ซึ่งมีค่าอยู่ในเกณฑ์การยอมรับ $r \geq 0.995$ ตามมาตรฐาน AWWA (2023)

3) Method working range

ผลการทดสอบสารแพกโคบิวทราซอลที่มีลักษณะเนื้อสาร (Matrix) แตกต่างกัน ครอบคลุมความเข้มข้นที่ใช้งานจากข้อมูลความเที่ยง (Precision) จากการประเมินทางสถิติจาก Regression พบว่า มีความเป็นเส้นตรงได้ค่า r เท่ากับ 0.999 และมีค่า Significance F น้อยกว่า 0.05 แสดงว่า ตัวแปรมีความสัมพันธ์กันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ดังนั้นช่วงการใช้งานของวิธีทดสอบครอบคลุมที่ความเข้มข้น 5.13 – 20.76% W/W มีความเหมาะสม

4.2.3 การเปรียบเทียบกราฟมาตรฐาน Matrix effect

ผลการทดสอบ Matrix Effect พบว่ามีค่า %RPD เท่ากับ 1.07 ซึ่งอยู่ในเกณฑ์การยอมรับของ NATA (2018) (%RPD<10%) ดังนั้นในการวิเคราะห์เพื่อหาปริมาณสาร Paclobutrazol สามารถเตรียม Calibration curve ในสารละลายเฟสเคลื่อนที่ (Mobile phase) ได้ โดยที่ให้ผลการทดสอบสาร Paclobutrazol ไม่แตกต่างกัน

4.2.4 การประมาณค่า LOD และ LOQ ของวิธีทดสอบ

ผลการประมาณค่าขีดจำกัดในการตรวจพบ (Limit of Detection; LOD) ของการวิเคราะห์สารแพกโคลบิวทราซอลเท่ากับ 0.0001% และมีค่า Predict LOQ เท่ากับ 0.0003%

4.2.5 พิสูจน์ความถูกต้อง (Trueness) และความเที่ยง (Precision) ที่ระดับความเข้มข้น ต่ำ กลาง สูง

1) พิสูจน์ความถูกต้อง (Trueness) และความเที่ยง (Precision) ที่ระดับความเข้มข้นต่ำ

ผลการพิสูจน์ความถูกต้อง (Trueness) และความเที่ยง (Precision) ที่ระดับความเข้มข้นต่ำ (5.00% W/W) พบว่ามีค่า %Recovery เท่ากับ 100.73 อยู่ในช่วง 98-102% และมีค่า HorRat เท่ากับ 0.25 ซึ่ง ≤1.3 ผลการประเมินทั้ง 2 ค่า ผ่านเกณฑ์ยอมรับของ AOAC (2023)

2) พิสูจน์ความถูกต้อง (Trueness) และความเที่ยง (precision) ที่ระดับความเข้มข้นกลาง

ผลการพิสูจน์ความถูกต้อง (Trueness) และความเที่ยง (Precision) ที่ระดับความเข้มข้นกลาง (10.0% W/W) พบว่ามีค่า %Recovery เท่ากับ 100.70 อยู่ในช่วง 98-102% และมีค่า HorRat เท่ากับ 0.35 ซึ่ง ≤1.3 ผลการประเมินทั้ง 2 ค่า ผ่านเกณฑ์ยอมรับของ AOAC (2023)

3) พิสูจน์ความถูกต้อง (Trueness) และความเที่ยง (Precision) ที่ระดับความเข้มข้นสูง

ผลการพิสูจน์ความถูกต้อง (Trueness) และความเที่ยง (Precision) ที่ระดับความเข้มข้นสูง (20.0% W/W) พบว่ามีค่า %Recovery เท่ากับ 100.96 อยู่ในช่วง 98-102% และมีค่า HorRat เท่ากับ 0.24 ซึ่ง ≤1.3 ผลการประเมินทั้ง 2 ค่า ผ่านเกณฑ์ยอมรับของ AOAC (2023)

4.2.6 การหาค่า Intermediate precision โดยใช้ตัวอย่างที่ระดับความเข้มข้นต่ำ กลาง สูง

1) ทดสอบสารแพกโคลบิวทราซอลในตัวอย่างผลิตภัณฑ์วัตถุอันตรายทางการเกษตร (สารควบคุมการเจริญเติบโตของพืช) ที่ความเข้มข้น 10% WP ที่รายงานผลการทดสอบเท่ากับ 10.42% W/W จากผลการทดสอบ พบว่าการประเมินความเที่ยงจากค่า HorRat มีค่าเท่ากับ 0.49 ซึ่ง ≤1.3 ผ่านเกณฑ์ยอมรับของ AOAC (2023)

2) ทดสอบสารแพกโคลบิวทราซอลในตัวอย่างผลิตภัณฑ์วัตถุอันตรายทางการเกษตรความเข้มข้น 15% WP ที่รายงานผลการทดสอบเท่ากับ 15.43% W/W จากผลการทดสอบพบว่า การประเมินความเที่ยงจากค่า HorRat มีค่าเท่ากับ 0.36 ซึ่ง ≤ 1.3 ผ่านเกณฑ์ยอมรับของ AOAC (2023)

3) ทดสอบสารแพกโคลบิวทราซอลในตัวอย่างผลิตภัณฑ์วัตถุอันตรายทางการเกษตรความเข้มข้น 20% เตรียมสารแพกโคลบิวทราซอลที่ระดับความเข้มข้น 20.0% จากผลการทดสอบพบว่า การประเมินความเที่ยงจากค่า HorRat มีค่าเท่ากับ 0.81 ซึ่ง ≤ 1.3 ผ่านเกณฑ์ยอมรับของ AOAC (2023)

4.2.7 การประมาณค่าความไม่แน่นอนของการทดสอบ

ผลการประมาณค่าความไม่แน่นอนของการทดสอบสารแพกโคลบิวทราซอล สูตร Wettable powder (WP) ที่ช่วงความเข้มข้น 5.00 – 20.0% W/W โดยแบ่งเป็นที่ระดับความเข้มข้นต่ำ (5.15% W/W) ระดับกลาง (10.25% W/W) และระดับสูง (21.0% W/V) มีค่าเท่ากับ ± 0.22, ±0.46 และ ±0.9% ตามลำดับ

5. การควบคุมคุณภาพ

ห้องปฏิบัติการมีการควบคุมคุณภาพผลการทดสอบ การควบคุมคุณภาพภายใน โดยการใช้วัสดุอ้างอิง วัสดุอ้างอิงรับรอง การเปรียบเทียบผลการวิเคราะห์กับค่าจริง และการประเมินผลพิจารณาตามเกณฑ์มาตรฐาน ซึ่งให้ผลการทดสอบอยู่ในเกณฑ์การยอมรับทั้งสิ้น มีความถูกต้อง แม่นยำ น่าเชื่อถือ สามารถตรวจสอบย้อนกลับได้ การควบคุมคุณภาพภายนอก มีการเข้าร่วมการทดสอบความชำนาญห้องปฏิบัติการ ของการวิเคราะห์สารอีทีฟอน ตั้งแต่ ปี 2561-2568 การวิเคราะห์สารแพกโคลบิวทราซอล ในปี 2567 ซึ่งประเมินโดยใช้ค่า Z, Z'-Score โดยผลการทดสอบของห้องปฏิบัติการวิเคราะห์วัตถุอันตรายทางการเกษตร (สารควบคุมการเจริญเติบโตของพืช) มีผลการทดสอบเป็นที่น่าพอใจ

6. การตรวจติดตามคุณภาพภายใน

ผลการตรวจติดตามคุณภาพภายใน ทั้งทางด้านวิชาการและด้านเทคนิค ซึ่งมีการแก้ไขข้อสังเกต (Observe) และข้อบกพร่อง (Nonconformity) ที่เกิดขึ้น เพื่อปรับปรุงให้ระบบคุณภาพยังคงสมบูรณ์อยู่ในมาตรฐานที่กำหนด และการดำเนินงานของห้องปฏิบัติการเป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพ

7. ทบทวนระบบคุณภาพและยื่นขอการรับรอง

จากการประชุมทบทวนระบบคุณภาพ ซึ่งผู้อำนวยการกองวิจัยพัฒนาปัจจัยการผลิตทางการเกษตร ผู้จัดการคุณภาพ ผู้จัดการวิชาการ และผู้ปฏิบัติงานในระบบคุณภาพทุกระดับ ได้มีการรายงานผลการดำเนินงานของห้องปฏิบัติการ ความพร้อมของบุคลากร ทรัพยากร ปัญหาและอุปสรรค การป้องกัน แก้ไขปัญหาความเสี่ยง

และโอกาส การปรับปรุง ผลของการสำรวจความพึงพอใจของผู้รับบริการ เพื่อเป็นการพัฒนาระบบคุณภาพให้มีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น เพื่อบรรลุวัตถุประสงค์และเกิดความเชื่อมั่นของการบริหารงานสู่เป้าหมายที่วางไว้ จากนั้นกลุ่มงานวิเคราะห์วิจัยวัตถุเคมีการเกษตรและนิวเคลียร์เทคนิคการเกษตร กลุ่มวิจัยเกษตรเคมี ได้ยื่นขอการรับรองความสามารถห้องปฏิบัติการต่อกรมวิทยาศาสตร์บริการ เมื่อวันที่ 21-22 กุมภาพันธ์ 2566 ในรายการทดสอบสารอีทีฟอน จำนวน 2 ช่วงการทดสอบ โดยคณะอนุกรรมการรับรองระบบงานห้องปฏิบัติการทดสอบ กรมวิทยาศาสตร์บริการ ได้ประชุมพิจารณา มีมติเห็นชอบให้การรับรองความสามารถห้องปฏิบัติการทดสอบ กลุ่มวิจัยเกษตรเคมี กองวิจัยพัฒนาปัจจัยการผลิตทางการเกษตร กรมวิชาการเกษตร มีผลตั้งแต่วันที่ 5 กรกฎาคม 2566 หลังจากนั้นได้มียื่นขอขยายขอบข่ายการทดสอบสารแพกโคลบิวทราซอลในปี 2567 ซึ่งห้องปฏิบัติการได้รับการรับรองรับรองความสามารถห้องปฏิบัติการทดสอบสารแพกโคลบิวทราซอล มีผลตั้งแต่วันที่ 10 กุมภาพันธ์ 2568 ลำดับการรับรองที่ 0028 อายุการรับรอง 3 ปี โดยห้องปฏิบัติการจะได้รับการตรวจติดตามทุก 2 ปี และตรวจประเมินใหม่ทุก 3 ปี

สรุปผลการดำเนินการ

กลุ่มงานวิเคราะห์วิจัยพืชวัตถุเคมีการเกษตรและนิวเคลียร์เทคนิคการเกษตร กลุ่มวิจัยเกษตรเคมี ได้ดำเนินการพัฒนาห้องปฏิบัติการวิเคราะห์วัตถุอันตรายทางการเกษตร (สารควบคุมการเจริญเติบโตของพืช) ตามมาตรฐาน ISO/IEC 17025 เพื่อยกระดับห้องปฏิบัติการสู่มาตรฐานสากล โดยดำเนินการกำหนดขอบข่ายและพัฒนาศักยภาพห้องปฏิบัติการ พัฒนาบุคลากร ตามข้อกำหนดคุณภาพทั้งทางด้านวิชาการ และทางด้านเทคนิค ได้แก่ การเขียนคู่มือคุณภาพ ขั้นตอนการดำเนินงาน วิธีปฏิบัติงาน วิธีทดสอบ การตรวจสอบความใช้ได้ของวิธี การประเมินค่าความไม่แน่นอนของการวัด การควบคุมคุณภาพ การเข้าร่วมทดสอบความชำนาญห้องปฏิบัติการ และการเตรียมความพร้อมของสถานที่ปฏิบัติงาน การสอบเทียบและทวนสอบเครื่องมือ วัสดุ อุปกรณ์ เครื่องแก้ว สารเคมีให้เพียงพอสำหรับการดำเนินกิจกรรม ดำเนินการทบทวนเอกสาร ตรวจติดตามคุณภาพภายใน ประชุมทบทวนระบบคุณภาพ และยื่นขอการรับรองห้องปฏิบัติการต่อสำนักบริหารและรับรองห้องปฏิบัติการ กรมวิทยาศาสตร์บริการ โดยได้มีการเข้าตรวจประเมินห้องปฏิบัติการทดสอบจากกรมวิทยาศาสตร์บริการ เมื่อวันที่ 21-22 กุมภาพันธ์ 2566 และได้ผ่านการรับรองรายการทดสอบผลิตภัณฑ์สารควบคุมการเจริญเติบโตของพืช สารอีทีฟอน ที่ช่วงการทดสอบ 1.2-50.0% W/W และ 85.0-97.0% W/W ในวันที่ 5 กรกฎาคม 2566 หลังจากนั้นในปี 2567 ได้มีการขอขยายขอบข่ายรายการทดสอบสารแพกโคลบิวทราซอล ที่ช่วงการทดสอบ 5.00-20.0% W/W ซึ่งห้องปฏิบัติการได้รับการรับรองความสามารถห้องปฏิบัติการทดสอบรายการแพกโคลบิวทราซอล ในวันที่ 10 กุมภาพันธ์ 2568 และรายการทดสอบสารอีทีฟอนเพิ่มเติมจากช่วงการทดสอบเดิม 1.2-50.0% W/W เป็น 1.20- 60.0% W/V ในวันที่ 10 กุมภาพันธ์ 2568 อีกด้วย

การนำไปใช้ประโยชน์

1. ห้องปฏิบัติการได้รับการรับรองความสามารถห้องปฏิบัติการ ทำให้เกิดความน่าเชื่อถือและเป็นที่ยอมรับทั้งในระดับประเทศและระดับสากล
2. สร้างความเชื่อถือจากลูกค้าและคู่ค้าทั้งในและต่างประเทศ จากการได้รับการรับรองซึ่งแสดงให้เห็นว่าห้องปฏิบัติการมีการดำเนินงานที่มีคุณภาพและมีมาตรฐานตามที่กำหนด

3. สร้างความมั่นใจในผลการทดสอบ โดยได้มีการควบคุมคุณภาพในทุกขั้นตอนของการทดสอบ สามารถรายงานผลการทดสอบที่มีความถูกต้องและเชื่อถือได้

4. สามารถพัฒนาศักยภาพของบุคลากร เจ้าหน้าที่ห้องปฏิบัติการ ปฏิบัติงานได้อย่างมีระบบ มีทักษะความรู้ความสามารถ ในการปฏิบัติงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ และลดความผิดพลาด ทำให้ผู้รับบริการมีความเชื่อมั่นในศักยภาพของห้องปฏิบัติการทดสอบ

5. สามารถเป็นหน่วยงานนำร่องที่ได้รับการรับรองความสามารถห้องปฏิบัติการทดสอบวัตถุอันตรายทางการเกษตร (สารควบคุมการเจริญเติบโตของพืช) แห่งเดียวของประเทศไทย เพื่อถ่ายทอดและขยายความร่วมมือไปสู่ภูมิภาค หรือห้องปฏิบัติการอื่นๆ เพื่อให้ก้าวสู่มาตรฐานระดับสากล

6. ช่วยลดความจำเป็นในการทดสอบซ้ำ ทำให้ลดระยะเวลาและค่าใช้จ่ายในการดำเนินการ และส่งเสริมให้ห้องปฏิบัติการมีการพัฒนาและปรับปรุงกระบวนการทำงานอย่างต่อเนื่อง

เอกสารอ้างอิง

Association of Official Analytical Chemists (AOAC). 2023. **Official Method of Analysis of AOAC International.** 22rd Ed. AOAC International Gaithersburg, Maryland, USA.

AWWA, APHA, WEF. 2023. **Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater**. 24th edition 2023.

EURACHEM. 2025. A Laboratory Guide to Method Validation and Related Topics, The Fitness for Purpose of Analytical Methods.

Collaborative International Pesticides Analytical Council, CIPAC, Vol. H., 1998, page 165-170. Ethephon 373/TK/M/-

Collaborative International Pesticides Analytical Council, CIPAC, Vol. 1C., 1985, page 2236 – 2240.

NATA.2018. Nation Association Testing Authorities. General Accreditation Guidance-Validation and verification of Quantitative and Qualitative Test Methods. Australia.

ชุดตรวจอินทรียวัตถุ ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียมในดินแบบรวดเร็ว และระบบการให้คำแนะนำการใช้ปุ๋ยแบบเบ็ดเสร็จ

Innovative for Organic Matter Phosphorus and Potassium Soil Test Kit and Comprehensive Fertilizer Recommendation System

สุภา โพธิจันทร์[1/*] กัญฐณา คล้ายแก้ว[1/] สงกรานต์ มะลิสอน[1/] จิตติรัตน์ ชูชาติ[1/] วิชณีย์ ออมทรัพย์สิน[2/] จรีรัตน์ กุศลวิริยะวงศ์[1/]

Supha Photichan[1/*] Kanthana Klaigaew [1/] Songkrant Malisorn[1/] Jittirat Choochart[1/]

Vichanee Ormzubsin [2/] Charirat Kusonwiriyawong [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 ($KMnO_4$ 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

การพัฒนาชุดตรวจวิเคราะห์ดินแบบรวดเร็วสำหรับอินทรียวัตถุ ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียม ในรูปแบบกระดาษเซนเซอร์ (paper-strip) ซึ่งสามารถอ่านและแปลผลได้ง่าย เชื่อมโยงกับระบบให้คำแนะนำการใช้ปุ๋ยผ่านเว็บแอปพลิเคชัน การพัฒนานี้ต่อยอดจากชุดตรวจสอบของกรมวิชาการเกษตร โดยใช้วิธีมาตรฐาน ($KMnO_4$ oxidizable carbon, Molybdenum blue, และ Cobaltinitrite) เป็นต้นแบบของปฏิกิริยาเคมีที่แสดงผลด้วยการเปลี่ยนสีบนกระดาษทดสอบ จากนั้นถ่ายภาพด้วยสมาร์ทโฟนหลายรุ่นภายใต้สภาวะแสงต่าง 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 และคำนวณคำแนะนำการใช้ปุ๋ยได้อัตโนมัติ ระบบนี้ช่วยลดความผิดพลาดจากการอ่านด้วยตา เพิ่มความถูกต้อง ลดต้นทุนการผลิตชุดตรวจสอบ และทำให้เกษตรกรสามารถทดสอบดินและใช้ปุ๋ยได้อย่างเหมาะสม ลดการใช้ปุ๋ยเกินจำเป็นและลดต้นทุนการผลิตทางการเกษตร

คำสำคัญ: ชุดตรวจดินแบบรวดเร็ว กระดาษเซนเซอร์ เกษตรแม่นยำ เว็บแอปพลิเคชัน

บทนำ

การวิเคราะห์ดินเป็นวิธีสำคัญในการประเมินความอุดมสมบูรณ์ของดิน เพื่อช่วยลดการใช้ปุ๋ยเคมีเกินความจำเป็นและลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม อย่างไรก็ตาม การวิเคราะห์ในห้องปฏิบัติการอาจไม่สะดวกสำหรับเกษตรกร จึงมีการพัฒนาชุดตรวจสอบธาตุอาหารในประเทศไทย เช่น ชุดตรวจสอบไนโตรเจน ฟอสฟอรัส โพแทสเซียม (Attanadana *et al*., 2001) ชุดตรวจสอบอินทรียวัตถุในปุ๋ยอินทรีย์ (จิติมา และคณะ, 2552) ชุดตรวจสอบอินทรียวัตถุในดิน (มณีทิพย์, 2556) ชุดตรวจสอบโดยกรมพัฒนาที่ดิน และมหาวิทยาลัยเชียงใหม่ แต่ยังมีข้อจำกัด เช่น การใช้สารเคมีที่กัดกร่อน ราคาแพง ขั้นตอนซับซ้อน และอายุการใช้งานสั้น กรมวิชาการเกษตรจึงได้พัฒนาชุดตรวจสอบอินทรียวัตถุ ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียมในดิน ที่ใช้น้ำยาสกัดเดี่ยวซึ่งประหยัดเวลาและให้ผลแม่นยำ (เฉลี่ยร้อยละ 80.50) โดยใช้วิธี Indicator method และ Colorimetric method ซึ่งแม้จะมีข้อดีด้านความง่ายและความน่าเชื่อถือ แต่ยังคงมีข้อจำกัดด้านต้นทุนสารเคมี อายุการใช้งาน และความยุ่งยากบางขั้นตอน เช่น การอ่านผลจากแผ่นเทียบสี ดังนั้น จึงมีความจำเป็นต้องพัฒนาชุดตรวจสอบที่ลดการใช้สารเคมีราคาแพง ลดขั้นตอน เพิ่มความแม่นยำ และใช้แอปพลิเคชันบนสมาร์ทโฟนช่วยอ่านและแปลผล รวมทั้งพัฒนาบรรจุภัณฑ์เพื่อยืดอายุการใช้งานให้เหมาะสมต่อการใช้จริง

การประเมินไนโตรเจนในดินได้จากปริมาณอินทรียวัตถุ สำหรับการให้คำแนะนำปุ๋ยตามค่าวิเคราะห์ดินของกรมวิชาการเกษตรใช้วิธี Wet acid dichromate oxidation (Walkley and Black, 1934) ซึ่งใช้สารเคมีที่เป็นอันตรายต่อผู้ทดสอบ ก่อมลพิษต่อสิ่งแวดล้อม และยากต่อการกำจัด ได้แก่ กรดซัลฟิวริก และโพแทสเซียมไดโครเมต Weil *et al*. (2003) Culman *et al*., (2012) ได้ศึกษาวิธีการวิเคราะห์อินทรียวัตถุที่ใช้สารเคมีที่ไม่มีฤทธิ์กัดกร่อนในการวิเคราะห์ปริมาณคาร์บอนที่ง่ายต่อการสลายตัว (Labile carbon) โดยวัดปริมาณคาร์บอนที่ถูกออกซิไดส์ด้วยโพแทสเซียมเปอร์แมงกาเนต ($KMnO_4$) หรือด่างทับทิม เป็นการทำปฏิกิริยาระหว่าง $KMnO_4$ กับคาร์บอนในดินนั้นจะทำให้คุณสมบัติของ $KMnO_4$ เปลี่ยนไป คือสีม่วงเข้มเปลี่ยนเป็นสารละลายใสไม่มีสี ($KMnO_4$ 1 โมลาร์จะออกซิไดซ์ คาร์บอนได้ 9,000 มิลลิกรัม) ซึ่งเกิดจากการเปลี่ยนประจุของ Mn^{+7} เป็น Mn^{+2} (Loginow *et al.,* 1987) ดังสมการ

$3C + 4KMnO_4 + 2H_2O$ ----> $4KOH + 4MnO_2 + 3CO_2$
(สารละลายสีม่วงเข้ม) (สารละลายใสไม่มีสี)

สอดคล้องกับ Lucus and Weil (2012) ที่ได้ศึกษาการวิเคราะห์ Labile carbon เพื่อทำนายการตอบสนองของพืชต่อการปรับปรุงอินทรียวัตถุในดินของแปลงทดสอบระยะยาว พบว่า ปริมาณคาร์บอนที่ถูกออกซิไดส์ด้วยโพแทสเซียมเปอร์แมงกาเนต (Permanganate oxidizeable carbon : POXC) มีสหสัมพันธ์กับผลผลิตของข้าวโพด วิธีทดสอบ POXC เป็นวิธีที่แสดงการเกิดสีชัดเจน สามารถพัฒนาเป็นชุดตรวจสอบได้ อีกทั้งมีราคาถูก ปลอดภัยต่อสิ่งแวดล้อมและผู้ใช้งาน และสามารถใช้ประเมินปริมาณอินทรียวัตถุในดินได้

หลังจากสกัดตัวอย่างดิน ด้วยน้ำสกัดที่เหมาะสม นำสารละลายดินมาทำปฏิกิริยาเพื่อนำมาหาปริมาณฟอสฟอรัสในดิน และโพแทสเซียมในดิน โดยการวิเคราะห์ฟอสฟอรัสในดิน ที่สามารถประยุกต์ใช้พัฒนาเป็นชุดตรวจสอบได้ คือ Molybdenum blue method (Koralage *et al.,* 2015) เนื่องจากเป็นวิธีที่สามารถเห็นความแตกต่างของสีน้ำเงินชัดเจนและเป็นสัดส่วนโดยตรงกับปริมาณฟอสฟอรัสที่มีอยู่ในดิน โดย Phosphate ion ในสารละลายดิน ทำปฏิกิริยากับ Ammonium molybdate ascorbic acid ทำให้เกิดสารประกอบเชิงซ้อนสีน้ำเงิน ดังสมการ

$H_3PO_4 + 12H_2MoO_4$ ----> $H_3P(Mo_3O_{10})_4 + 12H_2O$
(สารละลายสีเหลือง) (สารละลายสีน้ำเงิน)

การวิเคราะห์โพแทสเซียมในดิน ที่สามารถประยุกต์ใช้พัฒนาเป็นชุดตรวจสอบ คือ Sodium Cobaltinitrite Method (Vendilo *et al.,* 2010) โดยตกตะกอนโพแทสเซียมกับ Sodium Cobaltinitrite ดังสมการ

$Na_3[Co(NO_2)_6] + 6K^+$ ----> $K3[Co(NO_2)_6] + 3Na^{2+}$
$K_3[Co(NO_2)_6] + 3NaOH$ ----> $Co(OH)_3 + 3KNO_2 + 3NaNO_2$

การเรียนรู้เชิงลึก (Deep Learning) เป็นเทคนิคหนึ่งของการเรียนรู้ของเครื่อง (Machine Learning) ที่ใช้โครงข่ายประสาทเทียมหลายชั้น (Artificial Neural Network) ทำให้สามารถเรียนรู้ข้อมูลที่ซับซ้อนได้ดีกว่าการใช้โครงข่ายชั้นเดียว ปัจจุบันนิยมใช้ในงานที่เกี่ยวข้องกับข้อมูลภาพ เช่น การรู้จำใบหน้า การตรวจจับวัตถุ การทำนายโรคพืช การตรวจหาเซลล์มะเร็ง และการจำแนกภาพถ่ายดาวเทียม โดยมักอาศัย 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 เป็นแบบจำลองที่สามารถเรียนรู้และสร้างการสั่งการคำนวณภายในโครงข่ายในลักษณะที่มีความลึกมากกว่าโมเดล 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. พัฒนาแอปพลิชันสำหรับอ่านผลการทดสอบและแปลผลการทดสอบ
   3.1 การพัฒนาระบบประเมินปริมาณธาตุอาหารในดินและการให้คำแนะนำการใช้ปุ๋ยตามค่าวิเคราะห์ดิน
      3.1.1 คัดเลือกตัวอย่างดิน ปริมาณอินทรียวัตถุ ฟอสฟอรัสและโพแทสเซียมต่ำถึงสูง
      3.1.2 ถ่ายภาพสีของปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นบน paper-strip ที่ได้จากการทดสอบกับตัวอย่างดินที่คัดเลือกได้ โดยใช้สมาร์ทโฟนที่แตกต่างกัน 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, RestNet50 และ MobileNet V3-large พิจารณาค่า MSE ที่ได้จากการฝึกฝนแบบจำลอง
      3.1.6 เลือกใช้โมเดลที่ดีที่สุดเพื่อนำมาพัฒนาสู่ระบบประเมินปริมาณธาตุอาหารในดินอัตโนมัติ
   3.2 พัฒนาเว็บแอบพลิเคชัน (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 วิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างวิธีวิเคราะห์ของกระดาษเซนเซอร์ทดสอบและอ่านผลการทดสอบด้วยแอปพลิเคชันบนสมาร์ทโฟนที่พัฒนาขึ้นกับวิธีของห้องปฏิบัติการ 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

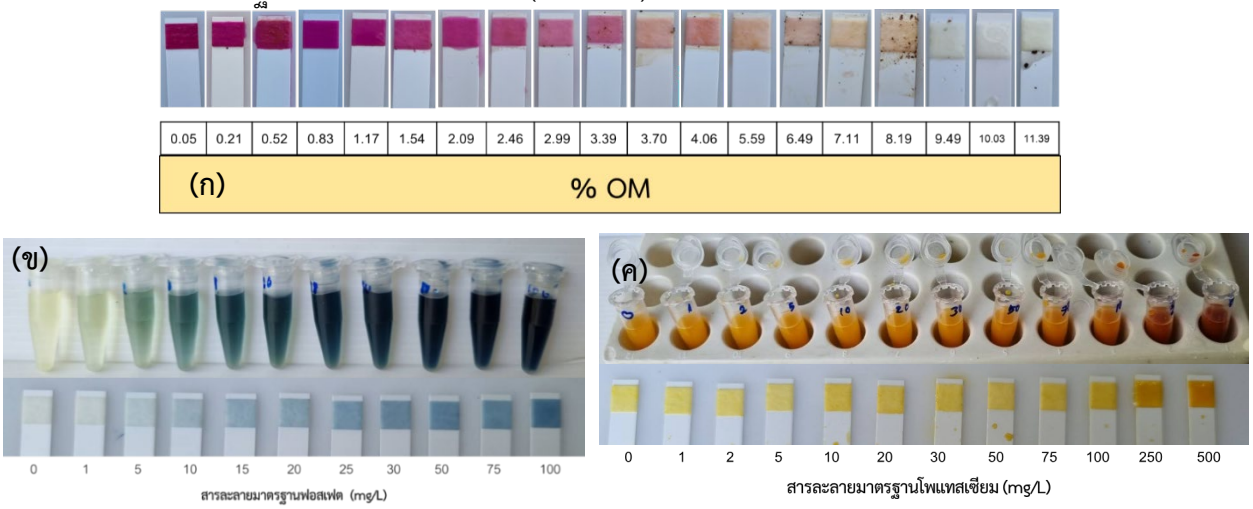
7.2 ศึกษาสภาวะการจัดเก็บของน้ำยาทดสอบ ในบรรจุภัณฑ์ต่างๆ ภายใต้สภาวะควบคุมในระยะยาว (Long-term stability) โดยการเก็บที่อุณหภูมิห้องและเก็บในตู้เย็นที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส เพื่อกำหนดอายุของชุดตรวจสอบ ที่เวลา 0, 2, 4, 6, 8, 10 และ 12 เดือน

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. พัฒนาแอปพลิชันสำหรับอ่านผลการทดสอบและแปลผลการทดสอบ

3.1 การพัฒนาระบบประเมินปริมาณธาตุอาหารในดินและการให้คำแนะนำการใช้ปุ๋ยตามค่าวิเคราะห์ดิน

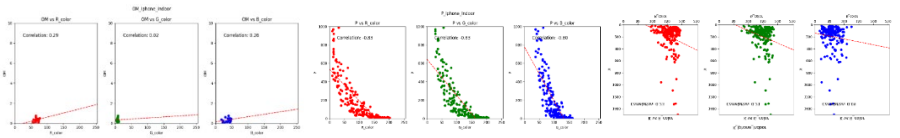
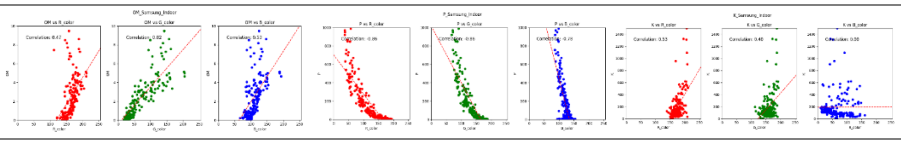
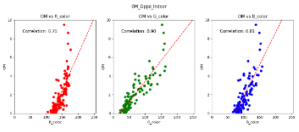
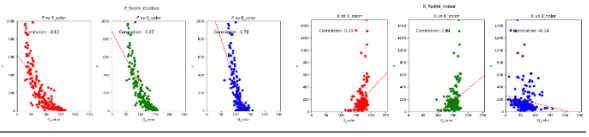
3.1.1 คัดเลือกตัวอย่างดินเพื่อนำมาทดสอบกับ paper-strip สำหรับทดสอบอินทรียวัตถุ จำนวน 160 ตัวอย่าง มีปริมาณอินทรียวัตถุต่ำมากถึงสูงมาก (0.04 – 11.39%) สำหรับทดสอบฟอสฟอรัสและโพแทสเซียม จำนวน 247 ตัวอย่าง มี ปริมาณฟอสฟอรัสต่ำมากถึงสูงมาก (3 – 5676 mg/kg) และปริมาณโพแทสเซียมต่ำถึงสูงมาก (6-3860 mg/kg)

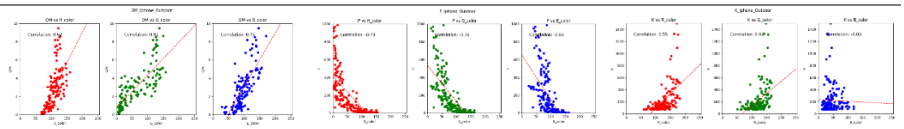
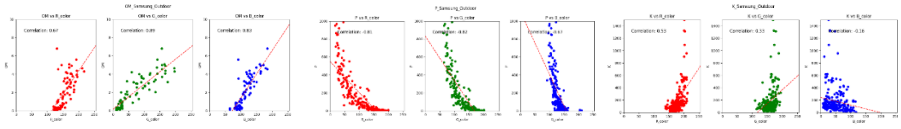
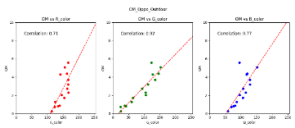
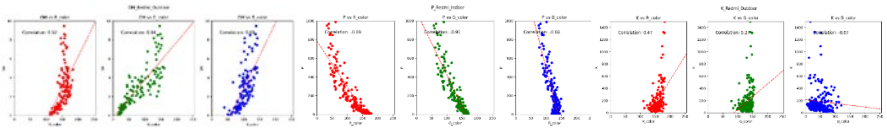
3.1.2 ถ่ายภาพสีของปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นบน paper-strip ที่ทดสอบกับตัวอย่างดินที่คัดเลือกได้ ในสภาวะที่มีแสงสว่างแตกต่างกัน 2 สภาวะ คือ ภายในอาคารที่มีแสงไฟ และ ภายนอกอาคารสถานที่กลางแจ้งโดยใช้สมาร์ทโฟนที่แตกต่างกัน 4 รุ่น ได้แก่ iPhone 14 Pro Max (Iphone), Samsung Galaxy S21 FE (Samsung), OPPO Reno5 (Oppo) และ Xiaomi Redmi Note 8 (Redmi)

3.1.3 เตรียมข้อมูลภาพถ่าย paper-strip เพื่อเป็นข้อมูลฝึกฝน (training data) โดยบันทึกข้อมูลรูปภาพในระบบคอมพิวเตอร์ตามสภาวะที่กำหนด เลือกภาพที่ชัดเจนไม่มีสิ่งที่ผิดปกติบนภาพ 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 กับปริมาณอินทรียวัตถุ ฟอสฟอรัสและโพแทสเซียมในดิน พบว่า ค่า R G B มีความสัมพันธ์กับปริมาณฟอสฟอรัสในดินสูงที่สุด ส่วนอินทรียวัตถุยังมีการกระจายตัวของข้อมูลค่อนข้างมาก และ ไม่มีความสัมพันธ์กับปริมาณโพแทสเซียมในดิน (ตารางที่ 1) ดังนั้นวิธีนี้จึงไม่เหมาะสมที่จะใช้ในการพัฒนาแบบจำลองทำนายปริมาณอินทรียวัตถุ ฟอสฟอรัสและโพแทสเซียมในดิน

ตารางที่ 1 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณอินทรียวัตถุ 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	-								

Outdoor	iPhone	
	Samsung	
	Oppo	 - -
	Redmi	

3.1.5 ฝึกฝนแบบจำลองเพื่อทำนายค่าวิเคราะห์ธาตุอาหารในดินโดยใช้แบบจำลอง AlexNet, RestNet50 และ MobileNet V3-large พบว่า แบบจำลอง AlexNet มีค่า MSE ต่ำที่สุด อยู่ที่ 0.019, 0.028 และ 0.104 สำหรับอินทรียวัตถุ ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียม ตามลำดับ (ตารางที่ 2)

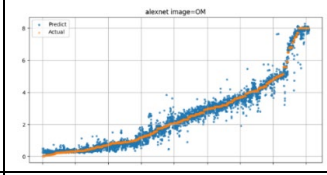
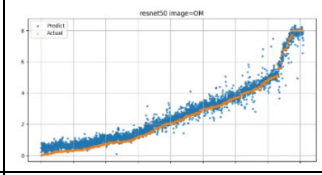
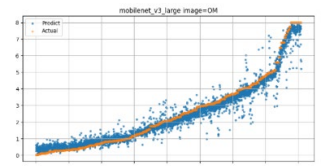
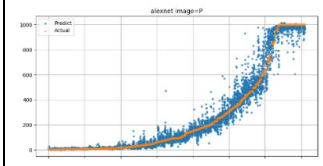
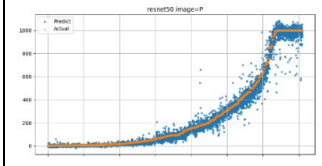
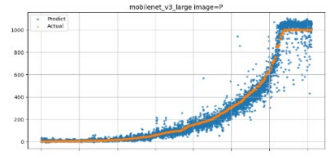
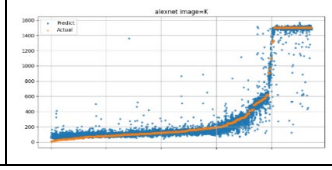
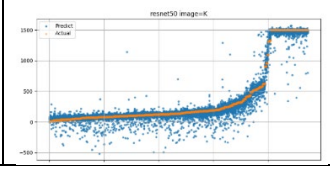
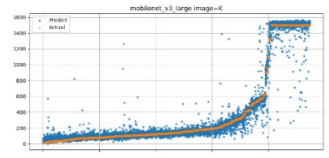
ตารางที่ 2 สรุปรายละเอียดของชุดข้อมูล รูปแบบการทดลอง และ MSE ของแบบจำลองทำนายปริมาณค่าอินทรียวัตถุ ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียม

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 เลือกใช้โมเดลที่ดีที่สุดเพื่อนำมาพัฒนาสู่ระบบประเมินปริมาณธาตุอาหารในดินอัตโนมัติ

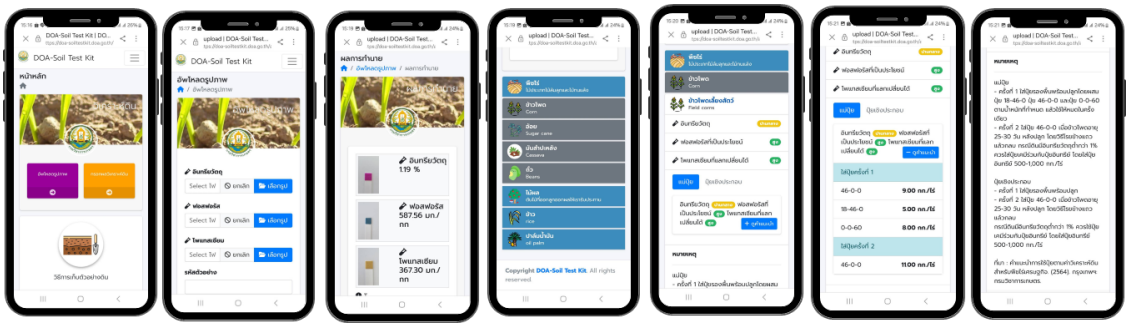
เมื่อพิจารณากราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าที่ทำนายได้กับค่าจริง พบว่า แบบจำลอง AlexNet ให้ผลการทำนายที่มีค่าความผิดพลาดทั้งทางบวกและทางลบใกล้เคียงกัน ในขณะที่ แบบจำลอง ResNet-50 มีค่าความผิดพลาดทางบวกมากกว่า และแบบจำลอง MobileNet V3-large มีค่าความผิดพลาดทางบวกในช่วงความเข้มข้นต่ำ และ มีค่าความผิดพลาดทางลบในช่วงความเข้มข้นสูง ดังภาพในตารางที่ 3 ดังนั้น แบบจำลอง AlexNet จึงเหมาะสมที่จะนำไปพัฒนาระบบประเมินปริมาณธาตุอาหารในดินและการให้คำแนะนำการใช้ปุ๋ยตามค่าวิเคราะห์ดิน ต่อไป

ตารางที่ 3 กราฟแสดงค่าที่ทำนายได้และค่าจริง ซึ่งใช้ AlexNet, ResNet-50 และ MobileNet V3-large ในการฝึกฝนแบบจำลองทำนายปริมาณค่าอินทรียวัตถุ ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียม

Parameter	AlexNet	ResNet-50	MobileNet V3-large
OM			
P			
K			

3.2 พัฒนาเว็บแอพลิเคชัน (Web Application) เพื่อการใช้งานและแสดงผลข้อมูล

ระบบจะถูกจัดทำอยู่ในรูปแบบของเว็บแอปพลิเคชัน (Web Application) สามารถเข้าถึงได้ออนไลน์ผ่านเว็บเบราเซอร์ (Web browser) ต่างๆ และข้อมูลจะถูกจัดเก็บอยู่บน Server สามารถทำงานและเข้าถึงได้ 24 ชั่วโมง ผ่านอินเตอร์เน็ต โดยโครงสร้างของเว็บแอปพลิเคชันมีส่วนประกอบหลัก 3 ส่วน ได้แก่ ส่วนแสดงผลสำหรับผู้ใช้งานหรือหน้าเว็บแอปพลิเคชัน (Client) และส่วนประมวลผลข้อมูลและจัดการเว็บแอปพลิเคชัน (Web Server) ส่วนประมวลผลข้อมูลและจัดการเว็บแอปพลิเคชัน (Web Server) การใช้งานเว็บแอปพลิเคชัน DOA-Soil Test Kit สำหรับผู้ใช้งานทั่วไปสามารถเข้าถึงฟังก์ชันการใช้งานได้ผ่านหน้าเว็บไซต์ โดยการอัปโหลดรูปภาพ เพื่อทำนายผลวิเคราะห์ดิน ระบบจะแสดงผลเป็นตัวเลขปริมาณธาตุอาหาร ประเมินระดับความอุดมสมบูรณ์ของดินสำหรับพืชแต่ละชนิด ให้คำแนะนำการใช้ปุ๋ยตามค่าวิเคราะห์ดินสำหรับ พืชไร่เศรษฐกิจ ไม้ผลที่สำคัญ ปาล์มน้ำมัน ยางพารา พืชผัก และข้าว ซึ่งผู้ดูแลระบบสามารถเพิ่มคำแนะนำของพืชได้ในกรณีที่มีข้อมูลเพิ่มเติมได้ และผลวิเคราะห์ที่ได้จะถูกเก็บไว้ในฐานข้อมูลเพื่อนำมาใช้ประโยชน์ ต่อไป



ภาพที่ 2 รูปแบบการใช้งานเว็บแอปพลิเคชัน

4. ทดสอบความถูกต้องแม่นยำ (accuracy) Specificity, Selectivity และความน่าเชื่อถือ (Test Kit Method Validation)

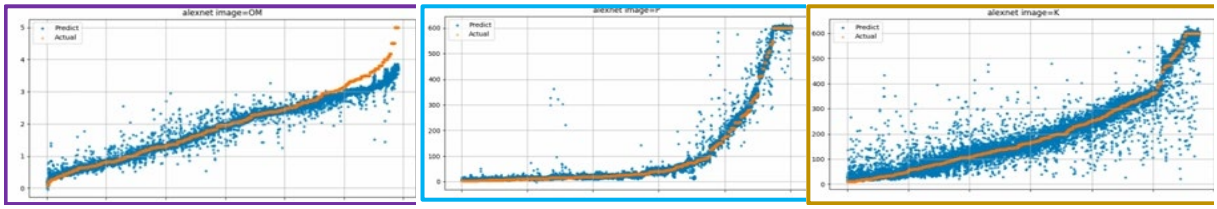
จากการทำนายผลการทดสอบปริมาณอินทรียวัตถุ ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียมของภาพถ่ายกระดาษเซนเซอร์ทดสอบที่ใช้ในการพัฒนาระบบประเมินปริมาณธาตุอาหารในดินโดยใช้เว็บแอปพลิเคชันที่พัฒนา พบว่า ผลการทำนายอยู่ในช่วงเดียวกับห้องปฏิบัติการคิดเป็น Relative accuracy หรือความแม่นยำของระบบเท่ากับร้อยละ 93.6, 90.7 และ 77.4 สำหรับ อินทรียวัตถุ ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียม ตามลำดับ (WHO, 2006) ค่าสัมประสิทธิ์แคปป้าเท่ากับ 0.96, 0.94 และ 0.54 ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 % (ตารางที่ 4) สำหรับการประเมินปริมาณอินทรียวัตถุ ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียมตามลำดับ ซึ่งการประเมินปริมาณอินทรียวัตถุและฟอสฟอรัสมีความน่าเชื่อถืออยู่ในระดับดีมาก 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 อินทรียวัตถุร้อยละ 0.10 - 10.09 ฟอสฟอรัสอยู่ในช่วง 3 – 1148 mg/kg และโพแทสเซียมอยู่ในช่วง 10 -985 mg/kg

5.2 เก็บข้อมูลภาพถ่ายโดยทดสอบ paper-strip โดยใช้สมาร์ทโฟนเพิ่มขึ้นเป็นที่ 6 รุ่น ได้แก่ Iphone11, Iphone14 pro max, Redmi note 8, Sumsung A04s, Sumsung A54 และ Sumsung S21 Fe ถ่ายภายในอาคาร และภายนอกอาคาร โดยสมาร์ทโฟนแต่ละรุ่นจะถ่ายภาพจำนวนเท่ากัน คือ 6 ภาพต่อ ตัวอย่างเพื่อให้ได้จำนวนภาพที่เท่ากันทั้งหมด

5.3 ฝึกฝนแบบจำลองโดยใช้แบบจำลอง Alexnet โดยฝึกฝนรวมสมาร์ทโฟนทุกรุ่นและทุกสภาวะแสงรวมกัน โดยตัดช่วงความเข้มข้นอินทรียวัตถุให้อยู่ในช่วงร้อยละ 0 - 5 ฟอสฟอรัสและโพแทสเซียมอยู่ในช่วง 0 - 600 mg/kg ซึ่งเป็นช่วงที่แบบจำลองสามารถประเมินได้ดี พบว่า มีค่า MSE เท่ากับ 0.066, 0.063 และ 0.304 สำหรับอินทรียวัตถุ ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียม ตามลำดับ



(ก) (ข) (ค)

ภาพที่ 3 กราฟแสดงค่าที่ทำนายได้และค่าจริงของแบบจำลอง AlexNet โดยใช้ข้อมูลภาพถ่ายจากสมาร์ทโฟน 6 รุ่น ถ่ายภายในอาคาร และภายนอกอาคาร ในการฝึกฝนแบบจำลองทำนายปริมาณ (ก) อินทรียวัตถุ (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 อินทรียวัตถุ ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียม ตามลำดับ ซึ่งจัดอยู่ในเกณฑ์ระดับดีมาก (WHO, 2006) จะเห็นได้ว่า ระบบประเมินปริมาณธาตุอาหารสามารถประเมินปริมาณโพแทสเซียมได้ดีขึ้นกว่าระบบเดิม เช่นเดียวกับ ค่าสัมประสิทธิ์แคปป้าของระบบที่ปรับปรุงใหม่ได้เท่ากับ 0.93, 0.88 และ 0.88 ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 % (ตารางที่ 5) สำหรับการประเมินปริมาณอินทรียวัตถุ ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียมตามลำดับ ซึ่งมีความน่าเชื่อถืออยู่ในระดับดีมาก อีกทั้งมีค่า Specificity และ Selectivity มากกว่าร้อยละ 80 ระบบประเมินปริมาณธาตุอาหารในดินที่ปรับปรุงใหม่จึงมีความเหมาะสมที่จะใช้เป็นระบบประเมินปริมาณธาตุอาหารในดินสำหรับการให้คำแนะนำการใช้ปุ๋ยตามค่าวิเคราะห์ดิน ต่อไป

ตารางที่ 4 ค่าสถิติ Specificity, Selectivity และ Kappa coefficient (k) ของระบบประเมินปริมาณธาตุอาหารก่อนปรับปรุงและที่ปรับปรุงใหม่

ค่าสถิติ	ก่อนปรับปรุง			หลังปรับปรุง		
	อินทรียวัตถุ	ฟอสฟอรัส	โพแทสเซียม	อินทรียวัตถุ	ฟอสฟอรัส	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)

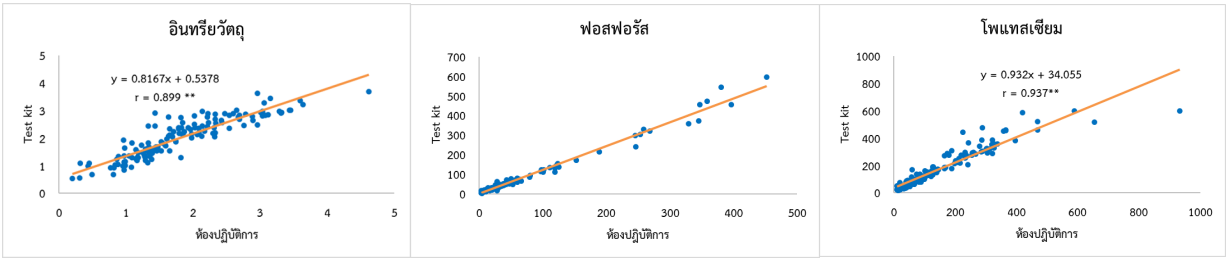
(ข)

ภาพที่ 4 ชุดตรวจสอบอินทรียวัตถุ ฟอสฟอรัสและโพแทสเซียม (ก) ขนาด 50 ตัวอย่าง และ (ข) ขนาด 10 ตัวอย่าง

นำชุดตรวจสอบให้เกษตรกรใช้งานจริงในภาคสนาม จังหวัด สุราษฎร์ธานี กระบี่ สงขลา ปราจีนบุรี เพชรบูรณ์ นครราชสีมา ในกลุ่มเกษตรกรปลูก ปาล์มน้ำมัน ข้าว อ้อย ข้าวโพด ถั่ว ไม้ผล (มะม่วง ทุเรียน ส้มโอ ลำไย) จำนวน 120 ราย 143 ตัวอย่าง สำรวจความพึงพอใจต่อชุดตรวจสอบของเกษตรกร พบว่า เกษตรกรร้อยละ 59.7 ไม่เคยส่งตัวอย่างดินวิเคราะห์ ร้อยละ 85.1 ไม่เคยใช้ชุดตรวจสอบดินมาก่อน เกษตรกรเห็นว่าชุดตรวจสอบสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้จริงมาก ร้อยละ 55.2 เว็บแอปพลิเคชันสะดวกต่อการใช้งานมาก ร้อยละ 62.2

จากการหาความสัมพันธ์ระหว่างผลการทดสอบด้วยชุดตรวจสอบและห้องปฏิบัติการ พบว่า มีความสัมพันธ์อย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ ทุกรายการทดสอบ โดยมีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (r) เท่ากับ 0.899, 0.992 และ 0.937 สำหรับชุดตรวจสอบอินทรียวัตถุ ฟอสฟอรัสและโพแทสเซียม ตามลำดับ (ภาพที่ 7)

แสดงว่า ชุดตรวจสอบและเว็บแอปพลิเคชันที่พัฒนาขึ้น สามารถใช้ทดสอบตัวอย่างดินสำหรับการแปลผลเพื่อให้คำแนะนำการใช้ปุ๋ยตามค่าวิเคราะห์ดินได้อย่างมีประสิทธิภาพ



ภาพที่ 7 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างผลวิเคราะห์จากห้องปฏิบัติการและชุดตรวจสอบ

7. การศึกษาความเสถียรของสารเคมีที่ใช้ ดังนี้

1) สารละลาย $KMnO_4$ ปริมาณ 100 มิลลิลิตร บรรจุขวดขนาด 120 มิลลิลิตร สีชาแบบโปร่งแสง
2) น้ำยาสกัดฟอสฟอรัสโพแทสเซียม ปริมาณ 220 มิลลิลิตร บรรจุขวดยาน้ำขนาด 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 แสดงว่าอุณหภูมิมีผลต่อการจัดเก็บ 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. ขวดสีชาแบบโปร่งแสง	0.128	0.337	1.516	**3.648***	
	2. ขวดสีชาแบบทึบแสง	0.069	0.667	0.894	**3.415***	
2. น้ำยาสกัดฟอสฟอรัสโพแทสเซียม	1. ขวดยาน้ำ	0.389	0.593	0.939	1.021	สกัด P
		0.999	1.009	1.211	1.000	สกัด K
3. Ascorbic acid	1. ถุงซิบใส	0.223	1.873	**4.544***	**6.648***	
และน้ำยาทำสีฟอสฟอรัส	2. ถุงฟอยล์	0.526	1.364	**3.577***	**5.434***	
4. Sodium cobaltinitrite	1. ถุงซิบใส	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. ขวดสีชาแบบโปร่งแสง	0.072	2.653	
	2. ขวดสีชาแบบทึบแสง	0.213	2.419	
2. น้ำยาสกัดฟอสฟอรัส	1. ขวดยาน้ำ	0.951	1.007	สกัด P
โพแทสเซียม		0.727	0.256	สกัด K
3. Ascorbic acid	1. ถุงซิบใส	0.043	2.551	
และ น้ำยาทำสีฟอสฟอรัส	2. ถุงฟอยล์	2.520	0.480	
4. Sodium cobaltinitrite	1. ถุงซิบใส	0.025	0.119	
	2. ถุงฟอยล์	0.102	0.181	

หมายเหตุ: t_{crit} = 2.776

* = ไม่มีความเสถียร

สรุปผลการทดลอง

1. ได้ชุดตรวจสอบอินทรียวัตถุ ฟอสฟอรัส โพแทสเซียมในดินในรูปแบบเซนเซอร์กระดาษทดสอบ (Reactive paper/active sensor paper-strip) เชื่อมโยงกับเว็บแอปพลิเคชัน มีความแม่นยำ 92.3, 85.0 และ 88.9 และค่าสัมประสิทธิ์แคปป้า 0.93, 0.88 และ 0.88 สำหรับอินทรียวัตถุ ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียม ตามลำดับ ซึ่งมีความน่าเชื่อถืออยู่ในระดับดีมาก
2. ได้เว็บแอปพลิเคชัน (Web Application) สามารถเข้าถึงได้ออนไลน์ผ่านเว็บเบราเซอร์ (Web browser) ต่างๆ และข้อมูลจะถูกจัดเก็บอยู่บน Server การอ่านผลการทดสอบของเว็บแอปพลิเคชันจะแสดงเป็นเป็นตัวเลขทศนิยม 2 ตำแหน่ง จัดระดับความอุดมสมบูรณ์ของดินตามชนิดพืช คำแนะนำการใช้ปุ๋ยตามค่าวิเคราะห์ดิน สำหรับ พืชไร่เศรษฐกิจ ไม้ผลที่สำคัญ ปาล์มน้ำมัน ยางพารา พืชผักเศรษฐกิจ และข้าว
3. ได้ฐานข้อมูลจัดเก็บข้อมูลผลวิเคราะห์ที่ได้จากชุดตรวจสอบ สำหรับจัดทำฐานข้อมูลความอุดมสมบูรณ์ของดินในประเทศไทย

คำขอบคุณ

โครงงานวิจัยนี้ได้รับทุนสนับสนุนจากสำนักงานพัฒนาการวิจัยการเกษตร (องค์การมหาชน) ประจำปีงบประมาณ 2566 คณะผู้วิจัยขอขอบพระคุณท่านผู้ทรงคุณวุฒิและบุคลากรของสำนักงานฯ ที่ให้คำปรึกษาแนะนำ และติดตามงานวิจัยอย่างใกล้ชิด ตลอดจนศูนย์เทคโนโลยีสารสนเทศและการสื่อสาร กรมวิชาการเกษตร ที่สนับสนุนด้านระบบประมวลผลและเว็บแอปพลิเคชัน นอกจากนี้ ขอขอบคุณศูนย์วิจัยปาล์มน้ำมันสุราษฎร์ธานี ศูนย์วิจัยปาล์มน้ำมันกระบี่ สถาบันวิจัยพืชไร่สงขลา สำนักงานเกษตรอำเภอนาดี จังหวัดปราจีนบุรี รวมถึงเจ้าหน้าที่และเกษตรกรที่ร่วมทดสอบและให้ข้อเสนอแนะ ทำให้ผลงานพัฒนาขึ้นอย่างมีประสิทธิภาพ คณะผู้วิจัยหวังว่าผลลัพธ์จากงานวิจัยนี้จะเป็นประโยชน์ต่อเกษตรกรและการพัฒนาประเทศต่อไป

เอกสารอ้างอิง

จิติมา ยถาภูธานนท์ วรรณรัตน์ ชุติบุตร และสงกรานต์ มะลิสอน. 2552. การพัฒนาชุดตรวจสอบอินทรียวัตถุในปุ๋ยอินทรีย์. หน้า 199-223 ใน: ผลการปฏิบัติงาน ประจำปีงบประมาณ 2552 เล่มที่ 2. สำนักวิจัยพัฒนาปัจจัยการผลิตทางการเกษตร กรมวิชาการเกษตร.

มณีทิพย์ ขุนทอง. 2556. การพัฒนาชุดตรวจสอบอินทรียวัตถุเพื่อประเมินปริมาณอินทรียวัตถุในดิน. 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. Permangante 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.

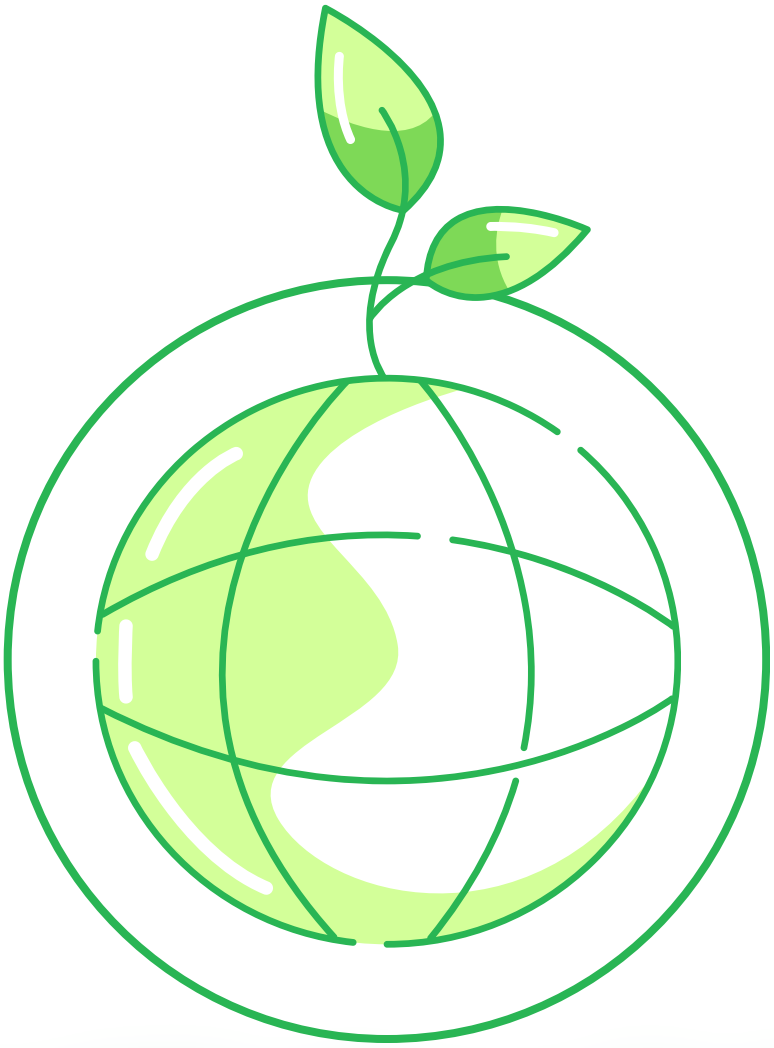
Vendilo A. G., N. E. Kovaleva, V. I. Chistov, and V. M. Retivov. 2015. Potassium Cobaltinitrite. Russian Journal of Inorganic Chemistry, 2011, Vol. 56, No. 4, pp. 501–505

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

ผลงานวิจัย
ภาคโปสเตอร์

HTTP://BIT.LY/45JYKYE



กองวิจัยพัฒนาปัจจัย
การผลิตทางการเกษตร