

รายงานผลงานเรื่องเต็มการทดลองที่สิ้นสุด

1. แผนงานวิจัย : วิจัยและพัฒนาการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศที่มีผลกระทบต่อการผลิตพืช
2. โครงการวิจัย : วิจัยและพัฒนาอวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ของการผลิตพืชเศรษฐกิจ
กิจกรรม : การวิเคราะห์อวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ของการผลิตมันสำปะหลัง
3. ชื่อการทดลอง (ภาษาไทย) : การวิเคราะห์อวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ของมันสำปะหลังที่มีการจัดการน้ำแตกต่างกัน
ชื่อการทดลอง (ภาษาอังกฤษ): Cassava Water Footprint Assessment in Varies Water Practices
4. คณะผู้ดำเนินงาน
หัวหน้าการทดลอง : นางสาววัลย์พร ศะศิประภา ศูนย์เทคโนโลยีสารสนเทศและการสื่อสาร
ผู้ร่วมงาน : จินณจาร์ หาญเศรษฐสุข¹ กุสุมา รอดแผ้วพาล¹ ดรุณี เฟิงฤกษ์²
เสาวรี บำรุง³ วารีย์ เวรวรรณ⁴ สายน้ำ อุดพิ้ว⁵
อนุสรณ์ เทียนศิริฤกษ์⁵ สุลักษณ์ อะมะวัลย์¹
5. บทคัดย่อ : สรุปใจความสำคัญของผลงานวิจัยให้เห็นผลงานอย่างชัดเจน
(ภาษาไทย และภาษาอังกฤษ)

น้ำเป็นทรัพยากรที่มีความสำคัญยิ่ง การให้น้ำในมันสำปะหลังมีความต้องการเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ อาจเป็นความเสี่ยงหากไม่มีจัดการที่มีประสิทธิภาพ อวอเตอร์ฟุตพริ้นท์เป็นเครื่องชี้วัดการใช้น้ำทั้งทางตรงและทางอ้อม โดยคำนวณปริมาณน้ำจากทุกขั้นตอนตลอดห่วงโซ่ของการผลิตสินค้า จึงนำมาใช้ในการวางแผนจัดการน้ำและลดขนาดฟุตพริ้นท์น้ำของมันสำปะหลังในสภาพเงื่อนไขที่มีการจัดการน้ำแตกต่างกัน โดยแยกตามระดับพื้นที่ที่ให้น้ำได้แตกต่างกัน 3 ระดับ คือ ให้น้ำได้ไม่จำกัด(นครราชสีมา) ให้น้ำจำกัด (กำแพงเพชร) และอาศัยน้ำฝน (ระยอง) จำนวนอวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ของมันสำปะหลังหัวสด 1 ต้นจาก 2 รอบการผลิต ระหว่างปี 2558-2560 พบว่า ค่าเฉลี่ยของอวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ระหว่าง 147-366 คิว โดย 48-87 % เป็นกรีนอวอเตอร์หรือมีขนาด ระหว่าง 92-339 คิว 0-9 % เป็นบลูอวอเตอร์มีขนาด 0-21 คิว และ 13-48 % เป็นเกรย์อวอเตอร์มีขนาด 29-97 คิว โดยแยกพื้นที่ที่ให้น้ำได้ไม่จำกัดอวอเตอร์ฟุตพริ้นท์เฉลี่ย 211 คิว ส่วนพื้นที่ให้น้ำจำกัด และพื้นที่อาศัยน้ำฝน มีขนาดเฉลี่ย 224 และ 301 คิว ตามลำดับ ผลผลิตที่สูงให้ขนาดของอวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ต่ำ การให้น้ำถูกจำกัดตามความ

¹ ศูนย์วิจัยพืชไร่ระยอง

² ศูนย์วิจัยและพัฒนาการเกษตรพิจิตร

³ ศูนย์วิจัยและพัฒนาการเกษตรนครราชสีมา

⁴ สถาบันวิจัยพืชไร่และพืชทดแทนพลังงาน

⁵ กองวิจัยพัฒนาปัจจัยการผลิตทางการเกษตร

ต้องการช่วยให้ผลผลิตสูงขึ้น พันธุ์และช่วงปลูกมีผลให้ขนาดวอเตอร์ฟุตพริ้นแตกต่างกันถึงแม้จะปลูกในพื้นที่เดียวกัน การปลูกในช่วงปลายฝนมีปริมาณน้ำฝนไม่เพียงพอต่อความต้องการของมันสำปะหลัง ต้องให้น้ำในพื้นที่ที่มีน้ำต้นทุนจำกัดต้องให้ในจำนวนที่เหมาะสมร่วมกับการเลือกช่วงปลูกที่เหมาะสม หลีกเลี่ยงการปลูกในช่วงมีย.ทำให้น้ำฝนไม่เพียงพอต่อความต้องการของพืชในช่วงที่พืชกำลังสะสมน้ำหนักร สำหรับพื้นที่อาศัยน้ำฝนการปลูกในเดือนพ.ย. ทำให้เกิดขาดน้ำในช่วงอายุ 3-5 เดือนมากกว่าการปลูกในช่วงม.ค. และหากเลือกพันธุ์ที่เหมาะสมจะทำให้ผลผลิตเพิ่มขึ้น

Abstract

Water is importance resource. Due to Climate change, irrigation rapidly need in cassava production, so its risk if not practiced. Water footprint is a tool that measure both direct and indirect water uses. This study use water footprint to assessment cassava production in 3 water management: irrigation area (Nakornratsrima), limited-irrigation area (Kampangpet) and rainfed area (Rayong), one ton of cassava-based product was set as a functional unit from 2 season during 2015-2017. The study show that the averaged water footprint of cassava equals to 147-366 m³/ton comprised of 48-87 % or 92-339 m³/ton green, 0-9 % or 0-21 m³/ton blue and 13-48 % or 29-97 m³/ton grey water footprints. Irrigation area has the low water footprint average 211 m³/ton, while limited-irrigation and rainfed area higher 224 and 301 m³/ton, respectively. Higher yield give low water footprint, optimal time irrigation give higher yield. Variety and planting time shown variability water footprint although in the same farm. Planting in June, water not adequate for crop water used, need irrigation, in water-limited area should irrigate in initial stage of growth combination with optimum planting date. Growing in late rainy season made deficit water during growing period that irrigation required. In limited water resource area, optimum growing period is better choice and avoided planting in June due to inadequate rainfall for crop water use. In rainfed area, planting in November will lack of water during 3-5 MAP more than January and specific varieties would increase yield.

6. คำนำ : มันสำปะหลังเป็นพืชเศรษฐกิจที่สำคัญของประเทศไทย โดยสร้างรายได้ให้แก่ประเทศจากการส่งออกผลิตภัณฑ์มันสำปะหลังปีละ 5-9 หมื่นล้านบาท และมีความสำคัญต่อเกษตรกรผู้ปลูกมันสำปะหลังไม่น้อยกว่า 550,000 ครัวเรือน ในพื้นที่มากกว่า 40 จังหวัด ในปี 2559 มีพื้นที่เก็บเกี่ยว 9.06 ล้านไร่ ผลผลิตเฉลี่ย 3,437 กิโลกรัมต่อไร่ (สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร, 2556) มันสำปะหลังเป็นพืชที่ค่อนข้างทนแล้งปรับตัวกับสภาพพื้นที่ได้กว้าง ขั้นตอนการปลูกและดูแลรักษาไม่ยุ่งยากเหมือนพืชอื่น ช่วงปลูกและอายุการเก็บเกี่ยวมีความยืดหยุ่น จึงเป็นพืชหนึ่งที่เกษตรกรนิยมปลูก แต่เนื่องจากผลผลิตต่อไร่ของมันสำปะหลังในพื้นที่ปลูกส่วนใหญ่ยังอยู่ในระดับที่ค่อนข้างต่ำ การให้น้ำในระบบการผลิตมันสำปะหลังจะช่วยยกระดับผลผลิตได้ และจากสภาพภูมิอากาศที่ร้อนและแห้งแล้งในช่วง 2-3 ปีที่ผ่านมา ทำให้ระบบการผลิตของมันสำปะหลังเปลี่ยนแปลง เป็นต้นว่า การปลูกล่าช้าออกไป ทำให้ระยะเวลาในการเจริญเติบโตสั้นลง หรือปลูกแล้วกระทบแล้งทั้งในระยะแรกและระยะการเจริญเติบโต ทำให้ผลผลิตลดลง แต่บางพื้นที่ที่มีสภาพเอื้ออำนวยจึงพัฒนาระบบการให้น้ำมาใช้ในมันสำปะหลัง เช่น ในพื้นที่ จ.นครราชสีมา กำแพงเพชร และบุรีรัมย์

น้ำเป็นทรัพยากรที่มีความสำคัญยิ่ง ประกอบกับปัญหาการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศที่กำลังส่งผลให้เกิดความแห้งแล้งในบางพื้นที่ อันนำไปสู่ปัญหาการขาดแคลนน้ำ รวมทั้งความต้องการใช้น้ำในอุตสาหกรรม การผลิตที่อาจเป็นความเสี่ยงต่อการดำเนินธุรกิจ หากไม่มีวิธีบริหารจัดการที่มีประสิทธิภาพ ทำให้นำไปสู่ความตระหนักถึงความสำคัญของวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ (Water footprint) ซึ่งเป็นเครื่องชี้วัดการใช้น้ำของผู้ผลิตหรือผู้บริโภคทั้งทางตรงและทางอ้อม โดยคำนวณปริมาณน้ำจากผลรวมของทุกขั้นตอนตลอดห่วงโซ่ของการผลิตสินค้า หรือบริการมีหน่วยเป็นลูกบาศก์เมตรต่อหน่วย มีการประยุกต์ใช้หลากหลายตั้งแต่การประเมินเพื่อจำแนกแนวทางการจัดการในการลดขนาดฟุตพริ้นท์น้ำ การวางแผนการจัดการน้ำเชิงพื้นที่ในภาคเกษตรกรรม ตลอดจนการแสดงผลข้อมูลฟุตพริ้นท์น้ำบนผลิตภัณฑ์ โดยในปี ๒๕๕๒ สหภาพยุโรปได้จัดการประชุมด้านการจัดการทรัพยากรน้ำและการคำนวณฟุตพริ้นท์น้ำที่สหราชอาณาจักร ต่อมาในปีถัดมาเกิดการขาดแคลนน้ำในสหภาพยุโรป ทำให้มีการตระหนักถึงการนำฉลากสิ่งแวดล้อมด้านฟุตพริ้นท์น้ำมาใช้ โดยมีบริษัทผู้ผลิตอาหารในฟินแลนด์ได้ติดฉลากฟุตพริ้นท์น้ำเป็นประเทศแรก สามารถแยกออกเป็น 3 ส่วน คือ

- Blue Water Footprint หมายถึง ปริมาณน้ำจากแหล่งน้ำธรรมชาติทั้งแหล่งน้ำผิวดิน และแหล่งน้ำใต้ดิน
- Green Water Footprint หมายถึง ปริมาณน้ำที่อยู่ในรูปของความชื้นในดิน
- Grey Water Footprint หมายถึง ปริมาณน้ำที่ใช้ในการบำบัดน้ำเสียให้เป็นน้ำดีตามค่ามาตรฐาน

อย่างไรก็ตาม สถานการณ์ของโลกในปัจจุบันกำลังเผชิญกับปัญหาการแย่งชิงทรัพยากรน้ำ หลายประเทศจึงใช้ค่าวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ในการผลิตพืช และผลิตภัณฑ์ เป็นเครื่องมือกีดกันทางการการค้า มันสำปะหลังเป็นพืชหนึ่งที่สามารถนำไปแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์ได้หลากหลาย ทั้งด้านอาหาร อุตสาหกรรมต่อเนื่องต่างๆ และ พลังงาน การศึกษาวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ในการผลิตมันสำปะหลัง ซึ่งเป็นต้นน้ำของอุตสาหกรรมหลายประเภทดังกล่าว จึงมีความจำเป็นอย่างยิ่งในการสร้างองค์ความรู้เกี่ยวกับมาตรฐานการประเมินฟุตพริ้นท์น้ำ เพื่อเตรียมความพร้อมในการแสดงผลข้อมูลฟุตพริ้นท์น้ำของผลิตภัณฑ์เกษตรและอาหาร ที่อาจถูกนำมาใช้เป็นเงื่อนไขทางการค้าระหว่างประเทศ

การประเมินวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ของวัตถุดิบมักประเมินจากข้อมูลมือสองเป็นหลัก เช่น มันสำปะหลังของโลก คำนวณวอเตอร์ฟุตพริ้นท์แยกเป็นกรีน บลู และเกรย์วอเตอร์ 550 0 และ 13 คิว/ตัน ตามลำดับ (Mekonnen and Hoekstra, 2011) ส่วนการผลิตเอทานอลจากมันสำปะหลังมีวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ 2,544 ลิตรน้ำ/ลิตรเอทานอล (อนันตยา และคณะ, 2557) โดยปริมาณ 64 - 77 % เป็นกรีนวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ (ชินาธิปกรณ และ อารังรัตน์, 2554 ; อนันตยา และคณะ, 2557) ซึ่งติดมากับการผลิตมันสำปะหลังในแปลง ทำให้เห็นว่าการผลิตในภาคเกษตรใช้น้ำมาก หากผลผลิตต่อไร่สูงขึ้นจะสามารถลดขนาดของวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ลงได้อีก ดังนั้นการจัดการน้ำในแปลงปลูกมันสำปะหลัง และการเพิ่มผลผลิตต่อไร่มีความสำคัญ จึงดำเนินการประเมินปริมาณการใช้น้ำตั้งแต่ปลูกจนกระทั่งได้ผลผลิตหัวสด 1 ตัน ในสภาพเงื่อนไขที่มีการจัดการน้ำแตกต่างกัน ซึ่งจะแสดงข้อมูลปริมาณน้ำใช้ส่วนต่างๆ สถานที่ และระยะเวลาที่เกิดการใช้น้ำ ประกอบการตัดสินใจเกี่ยวกับการจัดการน้ำที่เหมาะสม เพื่อให้การใช้ทรัพยากรที่มีอยู่อย่างจำกัดมีประสิทธิภาพสูงสุด

7. วิธีดำเนินการ :

1. ดำเนินการคัดเลือกแปลง สำหรับใช้ศึกษาและเก็บข้อมูลการเจริญเติบโต ผลผลิตและการใช้น้ำของมันสำปะหลัง จากพื้นที่ที่มีการจัดการน้ำแตกต่างกัน 3 ระดับ โดยปลูกโดยใช้พันธุ์ ช่วงเวลาและวิธีการปฏิบัติรักษาตามที่เกษตรกรในพื้นที่นั้นปฏิบัติเป็นประจำ คือ

1) ให้น้ำได้ไม่จำกัด ใช้พื้นที่ จ.นครราชสีมาเป็นตัวแทนและเป็นพื้นที่ที่เกษตรกรมีการใช้น้ำในมันสำปะหลังอยู่เดิม 2 แปลง คือ แปลงที่ บ.หนองเข้ ต. สุขไพบูลย์ อ.เสิงสาง และแปลงที่ บ.หนองกาต ต.สุขไพบูลย์ อ.เสิงสาง

2) ให้น้ำแบบประหยัด ใช้พื้นที่ จ. กำแพงเพชรเป็นตัวแทนและเป็นพื้นที่ที่เกษตรกรเริ่มนำระบบการให้น้ำเข้ามาใช้น้ำในมันสำปะหลัง แต่ยังมีปริมาณน้ำต้นทุนอยู่อย่างจำกัด 2 แปลง คือ แปลงที่ ต.วังชะพู อ.ชาณุวรลักษณ และ แปลงที่ ต.ทรงธรรม อ.เมือง

3) ไม่ให้น้ำของเกษตรกร ใช้พื้นที่ จ.ระยอง เป็นตัวแทน

2. สํารวจและเก็บข้อมูลสภาพพื้นที่ จัดทำโปรไฟล์ดิน เก็บตัวอย่างดินวิเคราะห์คุณสมบัติทางกายภาพและทางเคมีดินในแปลงทดลอง พบว่า ดินปลูกมันสำปะหลังที่กำแพงเพชร เนื้อดินเป็นดินร่วนปนทราย เป็นกรดจัด มีอินทรีย์วัตถุปานกลางระหว่าง 1.2 - 1.7 % ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์พบมากในดินบน และพบน้อยในระดับความลึกลงไป โพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้สูงมากระหว่าง 334 - 796. (mg/kg) ส่วนที่นครราชสีมา เนื้อดินเป็นดินร่วนเหนียวปนทราย มีกรดจัด ชั้นดินบนมีอินทรีย์วัตถุสูงระหว่าง 2.06-2.32% เนื่องจากเกษตรกรมีการใส่อินทรีย์วัตถุเป็นประจำ ส่วนดินชั้นล่าง ๆ มีปริมาณปานกลางถึงต่ำ ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์พบสูงมากในดินบน และพบน้อยในระดับความลึกลงไปเรื่อยๆ และโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้มีค่าปานกลางถึงต่ำระหว่าง 14.6 - 52.2 (mg/kg) และแปลงที่จังหวัดระยอง ดินมีความเป็นกรดจัด ปริมาณอินทรีย์วัตถุอยู่ระหว่าง 0.13 - 0.29 % ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ในดินบนพบปานกลาง และพบน้อยในระดับความลึกลงไป และโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้มีปริมาณต่ำที่ 17.6 - 34.6 mg/kg (ตารางที่ 1) นอกจากนี้ยังพบว่า แปลง บ.หนองเข้ พบดินดาน 2 ชั้น หนาเกือบ 50 ซม สำหรับคุณสมบัติทางกายภาพ ดินมี Bulk Density ระหว่าง 1.1 -1.7 ในดินชั้นบน และระหว่าง 1.31-2.03 ในดินชั้นล่าง การระบายน้ำเร็วมาก ยกเว้นแปลงที่ ต.ทรงธรรม สำหรับค่าความชื้นที่ความจุสนาม (pF2) และจุดเหี่ยวเฉาถาวร (pF4) แตกต่างกัน

ความสามารถในการอุ้มน้ำของชั้นดินบนประมาณ 4.7-6.7 มม. น้ำส่วนเกินจะไหลลงในชั้นดินล่าง แต่ไม่เกินความสามารถในการอุ้มน้ำของดินชั้นถัดๆไปตามลำดับ และสภาพน้ำ (Hydraulic conductivity) ของดิน

3. ทั้ง 3 พื้นที่ได้ดำเนินการติดตั้งอุปกรณ์ตรวจวัดสภาพอากาศในแปลง โดยเฉพาะปริมาณน้ำฝน และเก็บข้อมูลอุตุนิมวิทยาประจำแปลง

4. ปลูกและดูแลรักษาตามวิธีการให้น้ำต่าง ๆ ที่กำหนด และเก็บข้อมูลการดูแล การจัดการ (ดิน น้ำ ปุ๋ย) ปฏิบัติจริงในแปลง เก็บข้อมูลพัฒนาการและการเจริญเติบโต พร้อมทั้งให้เกษตรกรช่วยจดบันทึกการให้น้ำ และการจัดการในแปลง บางแปลงเปลี่ยนไปปลูกพืชอื่นหลีกเลี่ยงโรค การปลูกในรอบการผลิตที่ 2 จึงมีการเปลี่ยนแปลง

ตารางที่ 1 คุณสมบัติบางประการของดินในแปลงทดลองปลูกมันสำปะหลัง

สถานที่	ระดับความลึก (cm)	เนื้อดิน	pH	FC (mm.)	PWP (mm.)	%OM	avai.P (mg/kg)	exch.K (mg/kg)	Ksat (cm/hr)
ต.วังชะพู อ.ชาลวรุณ ลักษณะ จ.กำแพงเพชร	0-22	loamy sand	4.8	12.7	7.0	1.35	14.1	79.6	30.7
	22 - 38	sandy loam	5.4	15.9	10.9	1.24	4.8	64.4	3.5
	38+	sandy loam	5.3	17.9	14.6	1.22	2.1	42.4	1.2
ต.ทรงธรรม อ.เมือง จ. กำแพงเพชร	0-26	sandy loam	4.8	18.5	11.8	1.74	26.8	35.2	5.7
	26-41	sandy loam	4.4	26.1	22.4	1.39	4.1	37.5	2.3
	41+	sandy loam	4.0	29.1	25.1	1.28	2.6	33.4	1.2
บ.หนองเข้ ต. สุข ไพบุลย์ อ.เสิงสาง จ. นครราชสีมา	0-21	sandy clay loam	5.3	32.6	26.4	2.32	71.3	45.7	55.9
	21 - 31	clay loam	5.4	35.3	32.2	1.63	28.1	22.1	2.4
	31-44	sandy clay loam	5.1	37.3	33.3	0.85	30.7	16.8	2.2
	44-100	sandy clay loam	4.9	35.5	29.7	0.61	5.2	18.6	10.3
บ.หนองกาด ต.สุข ไพบุลย์ อ.เสิงสาง จ. นครราชสีมา	0-28	sandy clay loam	5.4	27.4	22.7	2.06	57.8	52.2	103.7
	28-52	sandy clay loam	5.2	40.2	35.3	0.49	2.3	20.4	0.8
	52+	sandy clay loam	5.1	42.0	35.3	0.46	0.9	14.6	2.2
อ.ขามทะเลสอ จ. นครราชสีมา	0 - 28	Loamy sand	5.1	35.9	12.2	0.66	50.7	19.6	19.3
	28 - 46	Loamy sand	4.7	30.4	9.9	0.25	11.0	19.8	10.7
	46+	Loamy sand	4.7	26.6	5.1	0.30	13.3	9.8	2.1
ต.ห้วยโป่ง อ.เมือง จ. ระยอง	0 - 14	loamy sand	4.6	15.7	8.3	0.50	18.2	20.8	137.0
	14 - 32	loamy sand	4.5	16.7	10.3	0.31	6.7	17.7	18.7
	32 - 72	sandy loam	4.5	17.6	13.9	0.29	5.1	25.2	57.1
	72 - 100	sandy clay loam	4.3	21.1	18.1	0.23	7.0	34.6	17.4
ต.ห้วยโป่ง อ.เมือง จ. ระยอง	0-19	loamy sand	4.2	33.9	21.5	1.2	51.5	48.8	12.2
	19-26	loamy sand	4.1	30.7	24.9	1.1	6.8	37.1	1.7
	26-38	sandy loam	4.0	28.9	21.4	0.4	5.7	25.8	4.5
	38+	sandy clay loam	4.2	34.5	22.3	0.4	23.8	25.3	6.3

5. สุ่มเก็บข้อมูลการเจริญเติบโต เมื่อมันสำปะหลังอายุประมาณ 4 8 10 หรือ 12 เดือน ตามช่วงเวลาปลูกของแต่ละราย เก็บข้อมูลพัฒนาการความสูง ความกว้างของทรงต้น จำนวนและพื้นที่ใบ รวมไปถึงข้อมูลผลผลิตหัวสด เปอร์เซ็นต์แป้ง น้ำหนักแห้งของส่วนต่างๆ

6. คำนวณวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ของมันสำปะหลัง 1 ตัน คำนวณปริมาณน้ำแยกเป็นส่วน Blue Water Footprint Green Water Footprint และ Grey Water Footprint โดยใช้สูตร

$$WF = WF_{grey} + WF_{blue} + WF_{green} \quad \text{โดยที่}$$

$$WF_{green} = CWU_{green} / Y$$

$$WF_{blue} = CWU_{blue} / Y$$

$$WF_{grey} = ((\alpha \times AR) / (C_{max} - C_{nat})) / Y$$

โดยที่ α คือ สัดส่วนของปุ๋ยไนโตรเจนจากการชะละลาย (ประมาณ 10%)

AR ปริมาณปุ๋ยไนโตรเจนที่ใช้ (kg/ไร่)

C_{max} ความเข้มข้นสูงสุดที่ยอมรับได้ (กก./ลบ.ม.)

C_{nat} ความเข้มข้นของไนโตรเจนในธรรมชาติ

Y ผลผลิต

สำหรับ CWU ตลอดช่วงปลูกคำนวณได้จากสูตร $\sum ET_c$ ซึ่ง $ET_c = Kc \times ET_0$

$CWU = \sum ET_c$ ตลอดช่วงปลูก

Kc มันสำปะหลังมีหลายแหล่ง ในการศึกษาที่ใช้ของบัญชาและคณะ (2553)

ET_0 คำนวณจาก A-pan method (Richard, et.al, 1998)

สำหรับฝนใช้การ (effective rainfall; Peff) ใช้สูตร USDA Soil Conservation Service :

$$Peff_{monthly} = \begin{cases} P_{monthly} * (125 - 0.2 * P) / 125 & \text{โดยที่ ฝน } (P_{monthly}) \leq 250 \text{ mm} \\ 0.1 * P_{monthly} + 125 & \text{โดยที่ } P_{monthly} > 250 \text{ มม.} \end{cases}$$

$$ET_{c \text{ green}} = \min (ET_c, Peff)$$

$$ET_{c \text{ blue}} = \min (\text{น้ำชลประทาน}, ET_c - Peff)$$

ดำเนินการระหว่างปี พ.ศ. 2558-2560 ที่แปลงปลูกมันสำปะหลัง จ. ระยอง นครราชสีมา และกำแพงเพชร

8. ผลการทดลองและวิจารณ์

การเจริญเติบโตและผลผลิต

จ. นครราชสีมา ปลูกพันธุ์ CMR43-8-89 วันที่ 12 ธ.ค. 58 และ 16 ธ.ค. 2558 ทั้ง 2 แปลง ปลูกแบบยกร่อง ให้น้ำแบบหยด ปีก่อนหน้าใส่ซีไกรรองพื้นแต่ปีนี้ใส่เฉพาะ 15-15-15 อัตรา 45 กก/ไร่ รองพื้น และใส่ปุ๋ยอีกทางสายน้ำหยด 25-5-5 อัตรา 2 กก/ไร่ เมื่อมันสำปะหลังอายุ 2 เดือน ให้น้ำสัปดาห์ละครั้ง อีกแปลงรองพื้นด้วยปุ๋ยซีหมูอัดเม็ด 600 กก/ไร่ ให้น้ำทางสายน้ำหยด สัปดาห์ละครั้ง แต่ประสบปัญหาหัวเน่าเนื่องจากโรคโคนเน่าหัวเน่าที่เกิดจากเชื้อไฟทอปเทอร่า (รังษี, 2560) เกษตรกรจึงเก็บเกี่ยวเร็วขึ้นที่อายุ 8 เดือน ผลผลิต 4.5 ตัน/ไร่ เปอร์เซ็นต์แป้ง 22% อีก 1 แปลงเก็บเกี่ยวที่อายุ 13 เดือน ผลผลิต 7.8 ตัน/ไร่ เปอร์เซ็นต์แป้ง 24.8% (ตารางที่ 2) รอบที่ 2 ปลูกวันที่ 3 มี.ค. 60 ใส่ซีไกรเคลบรองพื้น และ 12-4-40 เมื่อมันสำปะหลังอายุ

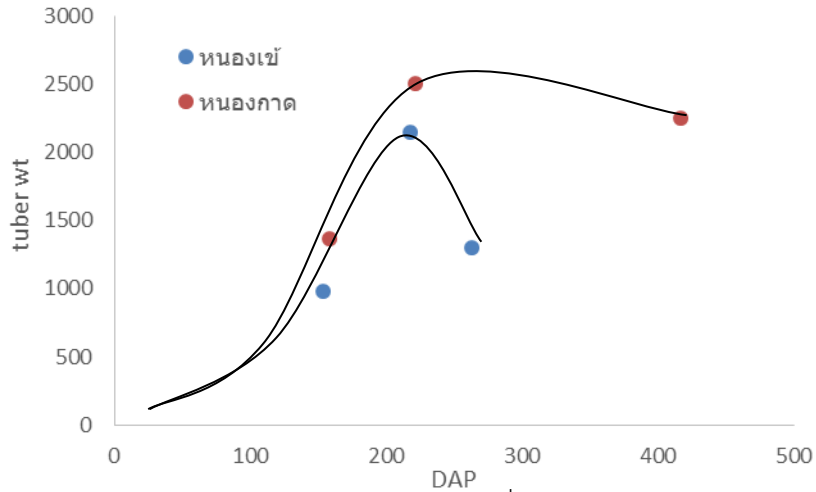
1.5 เดือน ให้น้ำ 2 ครั้ง เก็บเกี่ยว 19 ธ.ค. 60 ผลผลิต 7.7 ตัน/ไร่ เปอร์เซ็นต์แป้ง 24% และปลูกวันที่ 23 มี.ค. 60 ใส่น้ำขี้หมูรองพื้น และ 13-13-21 เมื่อมันสำปะหลังอายุ 3-4 เดือน ให้น้ำ 2 ครั้ง เก็บเกี่ยว 1 พ.ย. 60 ผลผลิต 4 ตัน/ไร่ เปอร์เซ็นต์แป้ง 23% มีการใช้ปุ๋ยไนโตรเจนระหว่าง 7.8- 38 กก./ไร่

จ. กำแพงเพชร ปลูกพันธุ์ ระยะเวลา 13 และระยะยง 11 วันที่ 26 ก.พ. 2558 อีกแปลงปลูกพันธุ์ CMR35-22-166 หรือน้องแบบ และ CMR43-8-89 วันที่ 6 ก.ค. 2558 ปลูกแบบยกร่อง ให้น้ำแบบหยด ระยะปลูก 80*120 ม. ใส 18-46-0 อัตรา 17 กิโลกรัม/ไร่ รองพื้นโรยเป็นแถวแล้วไถกลบ และใส่ปุ๋ยทางสายน้ำหยด คือ 46-0-0 อัตรา 11 กิโลกรัม/ไร่ และ 0-0-60 อัตรา 27 กิโลกรัม/ไร่ แบ่งใส่ 4 ครั้ง อีกแปลงปรับปรุงดินก่อน ปลูกด้วยการรองพื้นด้วยปุ๋ยซีไค์ไกลบ (50 กระสอบ/ไร่ 2 ปี/ครั้ง) น้ำอามิ 1 คันรด (9,000 ลิตร/25 ไร่) ซีไค์ไกลบ 8 ตัน/ไร่ (ใส่ 1 ครั้ง ใช้ได้ 6 ปี) ไถปลูกไถตอนดินหมาด แต่ไม่มีการใช้ปุ๋ยเคมีตลอดฤดูปลูก ผลผลิตพันธุ์ CMR43-8-89 และ CMR35-22-166 อายุเก็บเกี่ยว 12 เดือน 6.01 และ 4.9 ตัน/ไร่ เปอร์เซ็นต์แป้ง 15.3 และ 20% ตามลำดับ อีกแปลงพันธุ์ระยะยง 13 และ CMR43-8-89 อายุเก็บเกี่ยว 13.5 เดือน 4.88 และ 8.6 ตัน/ไร่ เปอร์เซ็นต์แป้ง 23 และ 23% ตามลำดับ ปี 2558/9 สภาพอากาศที่ร้อนแล้งเป็นเวลานานในช่วงปีต้นปี 2559 ทำให้ผลผลิตหัวสดและเปอร์เซ็นต์แป้งไม่สูงนักและแตกต่างกัน ซึ่งการปลูกใหม่ในปีถัดไปพันธุ์ระยะยง 13 ให้ผลผลิต 4.5 ตัน/ไร่ ซึ่งจะมีผลต่อการคำนวณรอยเท้าน้ำของมันสำปะหลัง (ภาพที่ 1) พื้นที่นี้นิยมปลูกแบบขำมปีเก็บเกี่ยวที่อายุ 16.6 เดือน พันธุ์ CMR35-22-166 และ CMR43-8-89 ได้ ผลผลิต 9 และ 6.1 ตัน/ไร่ ตามลำดับ สำหรับที่ปลูกปีเดียวปลูกวันที่ 6 มิ.ย.2559 เก็บที่อายุประมาณ 10-11 เดือน ผลผลิต 23-4.7 ตัน/ไร่ มีการใช้ปุ๋ยไนโตรเจนระหว่าง 16.6- 35 กก./ไร่ ซึ่งทั้ง 2 ปีนี้ฝนมาช้าการปลูกในช่วงต้นฤดูฝนจึงล่าช้าไปมาก ทำให้ผลผลิตต่ำ และช่วงปลายฤดูฝนฝนตกชุกทำให้ประสบปัญหาหัวมันเน่า

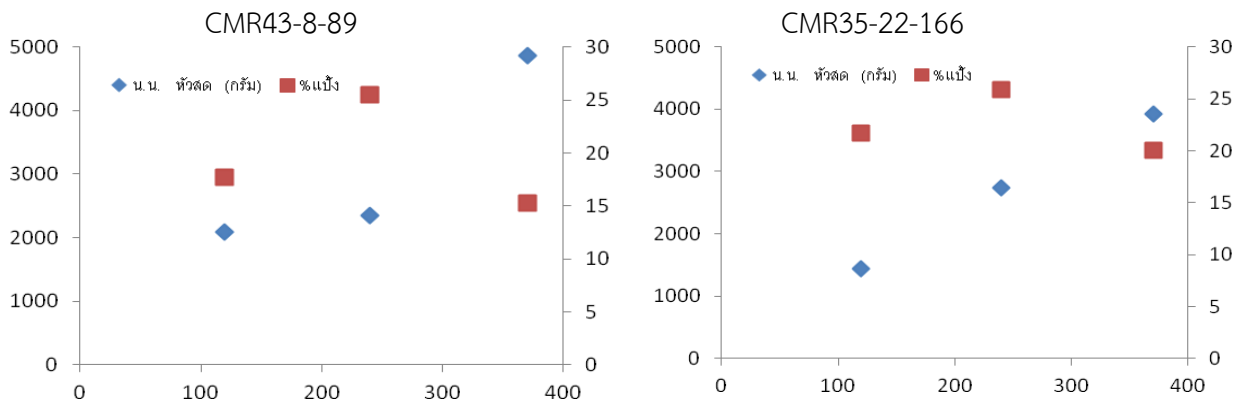
จ. ระยะยง ปลูกพันธุ์ระยะยง 9 วันที่ 26 พ.ย.58 ระยะยง 13 ปลูกเมื่อ 9 ก.พ.59 ปลูกแบบยกร่อง อาศัยน้ำฝน ใส่ปุ๋ย 15-7-18 50 กก./ไร่ ผลผลิตพันธุ์ระยะยง 9 อายุ 12 เดือน 4.15 ตัน/ไร่ เปอร์เซ็นต์แป้ง 27.9 % ให้ผลผลิตหัวสด 4.79 ตัน/ไร่ มีเปอร์เซ็นต์แป้ง 24.3 % ปีถัดมาปลูก เมื่อ 23 มี.ค.59 ใช้พันธุ์ระยะยง 9 ระยะยง 11 และ ระยะยง 13 ผลผลิต 5.1 3.2 3.3 ตัน/ไร่ ตามลำดับ มีการใช้ปุ๋ยไนโตรเจน 7.5 กก./ไร่

ปริมาณการใช้น้ำ

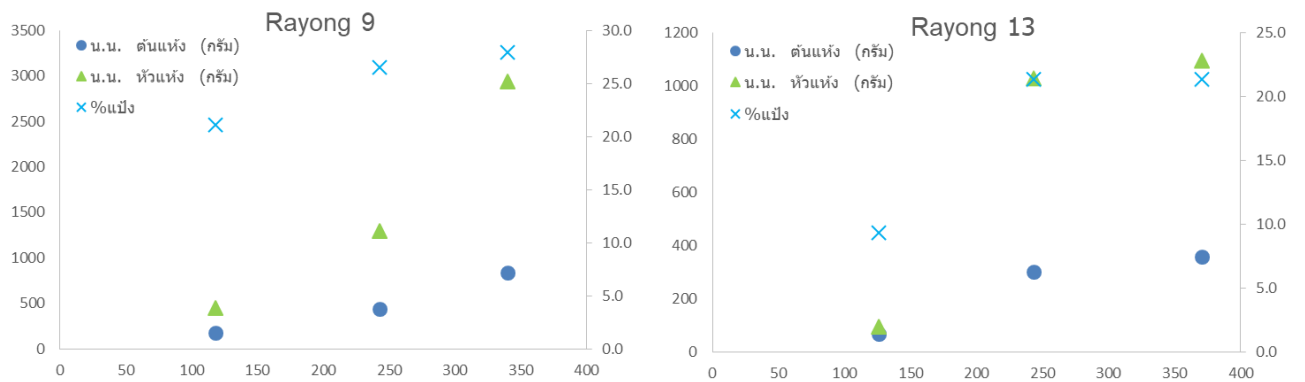
ฝนใช้การ ได้จากการคำนวณปริมาณน้ำฝนรายเดือนให้ค่าที่ค่อนข้างสูงกว่าวิธี FAO/AGLW method และ Fixed percentage แต่ต่ำกว่าวิธี soil water balance method (Shinatiphkorn and Thumrongrut , 2012) การตัดสินใจปลูกมันสำปะหลังของเกษตรกรยังเสี่ยงต่อการขาด ในพื้นที่ที่ให้น้ำได้เกษตรกรเลือกที่จะให้น้ำ ปริมาณน้ำที่ให้ทั้งหมดส่วนใหญ่เป็นช่วงแรกของการปลูกก่อนเข้าฤดูฝน (ภาพที่ 2) การปลูกในช่วงปลายฝนให้ผลผลิตสูงกว่าการปลูกช่วงพ.ค.-มิ.ย. ของทั้ง 2 รอบปี เมื่อพิจารณาพร้อมกับความต้องการน้ำของพืช พื้นที่นครราชสีมา การปลูกในช่วงปลายฝนมีปริมาณน้ำฝนไม่เพียงพอต่อความต้องการของมันสำปะหลัง แต่การให้น้ำปริมาณยังไม่เพียงพอกับความต้องการของพืช การปลูกช่วงเดือนมีนาคมก็ยังเสี่ยงต่อการขาดน้ำในช่วงแรกของการเจริญเติบโต ส่วนพื้นที่กำแพงเพชรการปลูกในช่วงก.พ ฝนไม่เพียงพอกับความต้องการ เกษตรกรให้น้ำ แต่ปริมาณไม่มากด้วยปริมาณต้นทุนในพื้นที่มีจำกัด แต่การปลูกในช่วง มิ.ย. แม้ช่วงแรกจะมีปริมาณน้ำฝนมาก แต่ทำให้ระยะ 5 เดือนหลังปลูกประสบปัญหาการขาดน้ำปริมาณน้ำฝนไม่เพียงพอกับความต้องการของพืชทั้งๆ ปริมาณน้ำฝนตลอดฤดูปลูกรอบการปลูกที่ 2 สูงกว่าก็ตาม



ก) ผลผลิตหัวสดของมันสำปะหลังพันธุ์ CMR43-8-89 ที่นครราชสีมาและการลดลงของผลผลิตหลังปลูก



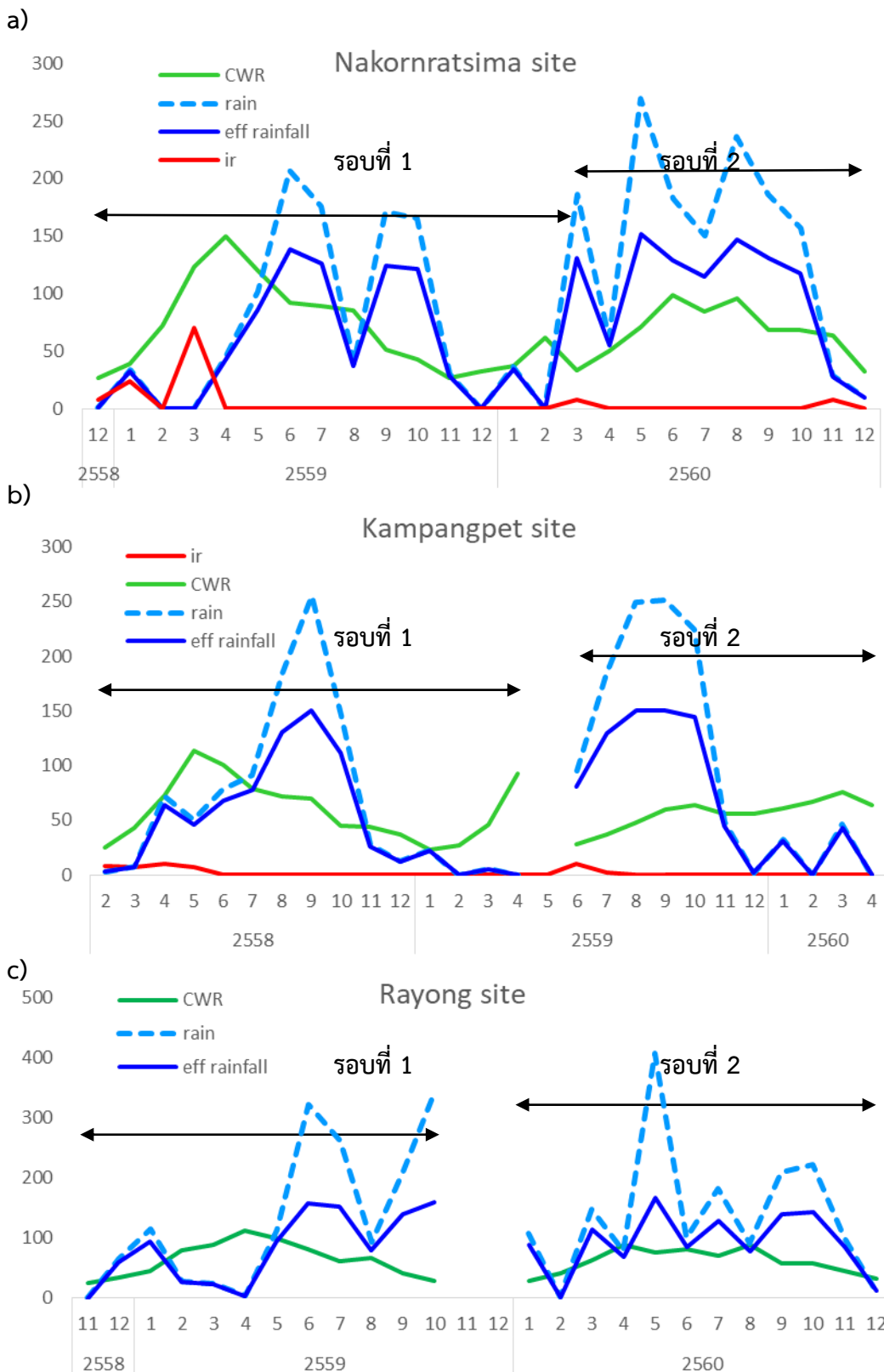
ข) ผลผลิตหัวสดและเปอร์เซ็นต์แป้งของมันสำปะหลังพันธุ์ CMR43-8-89 และ CMR35-22-166 ที่กำแพงเพชร



ค) ผลผลิตหัวสดและเปอร์เซ็นต์แป้งของมันสำปะหลังพันธุ์ระยอง 9 และระยอง 86-13 ที่ จ.ระยอง

ภาพที่ 1 ผลผลิตหัวสดและเปอร์เซ็นต์แป้งของมันสำปะหลังที่ปลูกในสภาพแวดล้อมต่างกัน

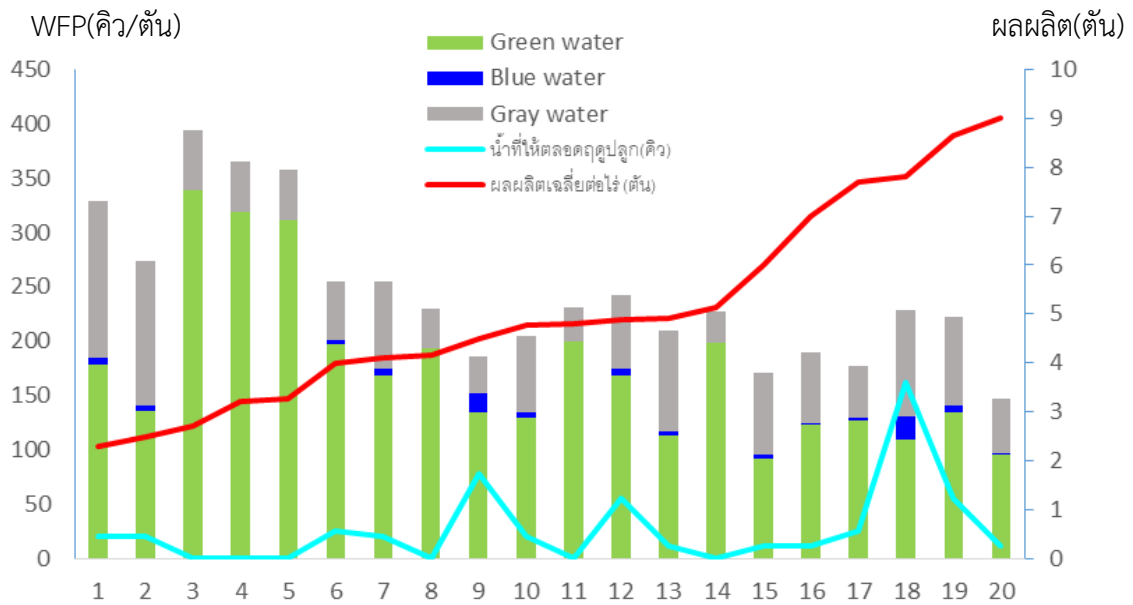
สำหรับพื้นที่อาศัยน้ำฝน การปลูกในเดือนพ.ย. ทำให้เกิดขาดน้ำในช่วงอายุ 3-5 เดือน แต่การปลูกในรอบ 2 ช่วงม.ค. แม้จะมีความเสี่ยงต่อการขาดน้ำแต่โอกาสที่จะขาดน้ำในระยะยาวๆตลอดฤดูปลูกมีน้อย (ภาพที่ 2) ซึ่งหากเลือกพันธุ์ที่เหมาะสมทำให้ผลผลิตเพิ่มขึ้น เช่น กรณี ปลูกพันธุ์ระยอง 9 ให้ผลผลิตเพิ่มขึ้นจาก 4.15 เป็น 5.15 ตัน/ไร่



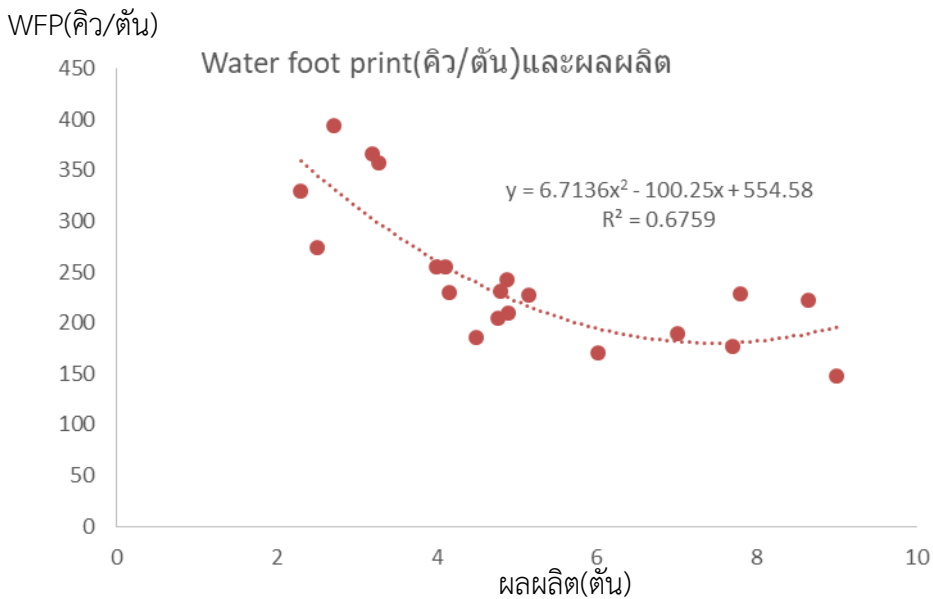
ภาพที่ 2 ปริมาณน้ำฝน ฝนใช้การและความต้องการน้ำของมันสำปะหลังที่ปลูกในสภาพแวดล้อมต่างกัน

วอเตอร์ฟุตพริ้นท์ของน้ำชนิดต่างๆ

ค่าเฉลี่ยของวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ของน้ำมันสำปะหลังระหว่าง 147-366 คิว/หัวมันสด 1 ตัน โดย 48-87 % เป็นกรีนวอเตอร์หรือมีขนาดระหว่าง 92-339 คิว 0-9 % เป็นบลูวอเตอร์มีขนาด 0-21 คิว และ 13-48 % เป็นเกรย์วอเตอร์มีขนาด 29-97 คิว โดยแยกพื้นที่ที่ให้น้ำได้ไม่จำกัด (นครราชสีมา) วอเตอร์ฟุตพริ้นท์เฉลี่ย 211 คิว/หัวมันสด 1 ตัน ส่วนพื้นที่ให้น้ำจำกัด (กำแพงเพชร) และพื้นที่อาศัยน้ำฝน (ระยอง) มีขนาดเฉลี่ย 224 และ 301 คิว/หัวมันสด 1 ตัน ตามลำดับ (ตารางที่ 2) เมื่อเรียงลำดับตามผลผลิตมันสำปะหลัง พบว่า ผลผลิตที่สูงให้ขนาดของวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ต่ำ (ภาพที่ 3) การให้น้ำถูกจัดหามาตามความต้องการช่วยให้ผลผลิตสูงขึ้น พันธุ์และช่วงปลูกมีผลให้ขนาดวอเตอร์ฟุตพริ้นท์แตกต่างกันถึงแม้จะปลูกในพื้นที่เดียวกัน นอกจากนี้ยังมีความสัมพันธ์กันแบบ polynomial (ภาพที่ 4)



ภาพที่ 3 ผลผลิตหัวสดและเปอร์เซ็นต์แป้งของน้ำมันสำปะหลังที่ปลูกในสภาพแวดล้อมต่างกัน



ภาพที่ 4 ผลผลิตหัวสดและขนาดของวอเตอร์ฟุตพริ้นท์มันสำปะหลัง

การศึกษาของวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ในมันสำปะหลังนี้ใกล้เคียงกับการศึกษาของ Tapanee ,et al (2015) ที่ประมาณค่าจากการปลูกวันที่ 1 พ.ค. แบบอาศัยน้ำฝนมีขนาด 257 คิวน้ำ/ตัน แยกเป็นกรีน บลู และเกรย์วอเตอร์ขนาด 178 0 78 ตามลำดับ แต่ต่ำกว่ามากกับรายงานของอนัตยา และคณะ(2557) ที่ว่ามันสำปะหลังมีวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ 430 คิว/ตันหัวสด แยกเป็นกรีนวอเตอร์ 333 และเกรย์วอเตอร์ 97 คิว/ตัน ตามลำดับ ซึ่งผู้วิจัยประเมินจากข้อมูลมือสองเป็นหลัก รวมทั้ง ชินาธิปกรณ และ อังรรัตน์ (2554) ที่รายงานว่ามันสำปะหลังมีวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ 599.4 คิว/ตัน ซึ่งคำนวณจากผลผลิตมันสำปะหลัง 3.4 ตัน/ไร่

อย่างไรก็ตาม การประมาณค่าใช้ข้อมูลรายเดือนเป็นหลักและใช้ Kc มันสำปะหลังค่าเดียวกันสำหรับทุกพันธุ์ และไม่ได้คำนึงถึงความเครียดของน้ำดิน (soil water stress) โดยปัจจัยที่มีผลต่อเกรย์วอเตอร์ฟุตพริ้นท์ คือธาตุอาหารอื่นๆ สารเคมีกำจัดวัชพืช และกำจัดโรคและแมลง แต่การศึกษานี้คำนวณเฉพาะจากการใช้ปุ๋ยไนโตรเจนเท่านั้น เนื่องจากขาดข้อมูลการบำบัดน้ำเสียให้เป็นน้ำดีตามค่ามาตรฐานของมลพิษอื่น ๆ จากการศึกษาแสดงให้เห็นถึงปัจจัยที่มีผลกระทบต่อปริมาณน้ำชนิดต่างๆที่คำนวณได้ เช่น วันปลูก อายุเก็บเกี่ยว การใช้พันธุ์ ปุ๋ย การให้น้ำ และสภาพภูมิอากาศ ซึ่งทำให้การปลูกมันสำปะหลังด้วยสภาพแวดล้อมเดิมเกษตรกรเดิมมีปริมาณวอเตอร์ฟุตพริ้นท์แตกต่างกันไป การจัดการเพื่อให้มีการใช้พันธุ์ที่เหมาะสมกับสภาพพื้นที่ การจัดการดินและน้ำเพื่อให้เป็นที่ประโชยชน์ในดินมีผลทำให้ผลผลิตเพิ่มขึ้นมีความจำเป็น แต่ทั้งนี้ต้องขจัดปัญหาเรื่องการเข้าทำลายของศัตรูพืชหรือหลีกเลี่ยงการปลูกไป

9. ปัญหา/อุปสรรคและข้อเสนอแนะในภาพรวมของโครงการ

- พื้นที่จังหวัดนครราชสีมาประสบปัญหาโรคโคนเน่าหัวเน่ามันสำปะหลังเป็นบริเวณกว้าง และส่งผลกระทบต่อถึงแปลงที่ศึกษาด้วยแม้จะหลีกเลี่ยงไม่ใช้พื้นที่ที่เคยประสบปัญหาโรคโคนเน่าหัวเน่ามันสำปะหลังแล้วก็ตาม จึงจะหาแปลงใหม่ในฤดูถัดไป

- พื้นที่จังหวัดกำแพงเพชรเก็บเกี่ยวปีนี้ก็ประสบปัญหาโรคโคนเน่าหัวเน่ามันสำปะหลังเช่นกัน โดยเฉพาะพันธุ์ CMR43-8-89 ซึ่งอาจต้องพักดินเปลี่ยนไปปลูกพืชอื่น หรือเลี่ยงการใช้พันธุ์ที่อ่อนแอ

9. สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ : สรุปเนื้อหา สารสำคัญของผลงาน และข้อเสนอแนะในงานวิจัยเรื่องนั้นๆ ในอนาคต

Water Footprint เป็นมาตรฐานภาคสมัครใจ เป็นเครื่องมือกระตุ้นให้ลดการใช้น้ำ โดยเฉพาะประเทศที่กำลังจะเผชิญปัญหาการแย่งชิงทรัพยากร จากการศึกษาในมันสำปะหลัง เมื่อพิจารณาปริมาณวอเตอร์ฟุตพริ้นท์พบว่า กรีน และเกรย์วอเตอร์ฟุตพริ้นท์มีปริมาณที่สูง ดังนั้นการพิจารณาเพื่อลดการใช้น้ำหรือลดปริมาณน้ำเสียจากการปลูกมันสำปะหลังอย่างน้อยควรนำปัจจัยเหล่านี้ ประกอบการพิจารณา ได้แก่ พื้นที่ปลูกมันสำปะหลัง พันธุ์มันสำปะหลัง วิธีการปลูกมันสำปะหลัง ลักษณะสมบัติของดิน รวมถึงปริมาณปุ๋ยที่ใช้ผลผลิตที่สูงให้ขนาดของวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ต่ำ การให้น้ำถูกจังหวะตามความต้องการช่วยให้ผลผลิตสูงขึ้น พันธุ์และช่วงปลูกมีผลให้ขนาดวอเตอร์ฟุตพริ้นท์แตกต่างกันถึงแม้จะปลูกในพื้นที่เดียวกัน การปลูกในช่วงปลายฝนมีปริมาณน้ำฝนไม่เพียงพอต่อความต้องการของมันสำปะหลัง ต้องให้น้ำในพื้นที่ที่มีน้ำต้นทุนจำกัดต้องให้ในจำนวนที่เหมาะสมร่วมกับการเลือกช่วงปลูกให้เหมาะสม หลีกเลี่ยงการปลูกในช่วงมีย ทำให้น้ำฝนไม่เพียงพอ

กับความต้องการของพืชในช่วงที่พืชกำลังสะสมน้ำหนัก พื้นที่อาศัยน้ำฝนการปลูกในเดือนพ.ย. ทำให้เกิดขาดน้ำในช่วงอายุ 3-5 เดือน แต่การปลูกในช่วงม.ค. แม้จะมีความเสี่ยงต่อการขาดน้ำแต่โอกาสที่จะขาดน้ำในระยะยาวๆตลอดฤดูปลูกมีน้อย ซึ่งหากเลือกพันธุ์ที่เหมาะสมทำให้ผลผลิตเพิ่มขึ้น

10. การนำผลงานวิจัยไปใช้ประโยชน์: ให้ระบุผลงานที่สิ้นสุด ได้นำไปใช้ประโยชน์อย่างไร พัฒนาต่อหรือถ่ายทอด หรือเผยแพร่ หรือนำไปใช้ประโยชน์กับกลุ่มเป้าหมาย (ระบุเป็นข้อๆ)

11. คำขอบคุณ (ถ้ามี) : ขอขอบคุณเกษตรกรทุกท่านที่ให้ความเอื้อเฟื้อเพื่อแปลงมันสำปะหลังสำหรับการศึกษา และช่วยเหลือให้งานวิจัยลุล่วงไปด้วยดี ขอขอบคุณเจ้าหน้าที่ของทุกหน่วยงานที่เกี่ยวข้อง ขอขอบคุณคุณปฐมพงษ์ วงศ์สุวรรณ คุณสุภาพร ราชันทีก และคุณณิชา โปทอง ผู้ช่วยให้การศึกษาวิจัยดำเนินไปด้วยดี

12. เอกสารอ้างอิงของโครงการวิจัย

ชินาธิปกรณ พงศ์ภิญโญภาพ และ อารังรัตน์ มุ่งเจริญ. 2554. วอเตอร์ฟุตพริ้นท์ของกระบวนการผลิตเอทานอลจากมันสำปะหลังในประเทศไทย. วิศวกรรมสาร มก. 75 (24) 41-52

บัญชา ขวัญยืน ปรีวัตร น้ำค้าง วัลลภ ภูทองสุข และ ศุภกิจ ตันวิบูลย์ศักดิ์. 2553. การศึกษาหาสัมประสิทธิ์การใช้น้ำของมันสำปะหลัง. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์วิทยาเขตกำแพงแสน นครปฐม. (pp. 274-281). Proceedings of the eleventh Thai Society of Agricultural Engineering International Conference. Nakhonpathom: Thailand.

ประกาศรี จงประดิษฐ์นันท์, ประพิศ แสงทอง, จิรพงษ์ ประสิทธิ์เขตร, สุรสิทธิ์ อรรถจารุสิทธิ์, ศุภกาญจน์ ล้วนมณี, ละแย้ม เกื้อหนุน, สรตนา เสนาะ, วนิดา โนบรรเทา, ลาวัญย์ จันทร์อัมพร, พัชรินทร์ นามวงษ์ และอนุสรณ์ เทียนศิริฤกษ์. 2548. วัสดุอินทรีย์และปุ๋ยคอกในพื้นที่ทำการเกษตร. ชุมชนุสสหกรณ์การเกษตรแห่งประเทศไทย, กรุงเทพฯ. 216 หน้า.

อนันตยา บุญฮวด นาฏสุดา ภูมิจำนงค์ และอัจฉราอัครวิกุลชัย. 2557. การประเมินวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ของการผลิตเอทานอลจากมันสำปะหลังพื้นที่จังหวัดลพบุรี ประเทศไทย. หน้า 392-379. [Online] เข้าถึงได้ที่ <http://gsbooks.gs.kku.ac.th/57/grc15/files/pmo19.pdf>.

Mekonnen, M. M. and A. Y. Hoekstra. 2011. The green, blue and grey water footprint of crops and derived crop products. Hydrol. Earth Syst. Sci., 15, 1577–1600.

Richard G. Allen, Luis S. Pereira, Dirk Raes and Martin Smith. 1998. Crop evapotranspiration - Guidelines for computing crop water requirements - FAO Irrigation and drainage paper 56. Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome,

Shinatiphkorn Pongpinyopap and Thumrongrut Mungcharoen. 2012. Comparative Study of Green Water Footprint Estimation Methods for Thailand: A Case Study of Cassava-based Ethanol. Environment and Natural Resources J. 10 (2): 66-72.

Tapanee Namchanchaoen, Seksan Papong, Pomthong Malakul and Thumrongrut Mungcharoen. 2015. The Carbon and Water Footprint Assessment of Cassava-based Bioethanol Production in Thailand. International Conference on Biological, Environment and Food Engineering (BEFE-2015) May 15-16, 2015 Singapore. 13-18.pp.

13. ภาคผนวก : เป็นส่วนที่ให้รายละเอียดเพิ่มเติม ซึ่งไม่จำเป็นต้องแสดงไว้ในเนื้อหาของรายงาน เช่น สูตรวิธีคำนวณ ตารางการบันทึกข้อมูลภาพ แสดงเครื่องมือที่ใช้ในงานวิจัย แบบสำรวจข้อมูล เป็นต้น ส่วนนี้จะมีหรือไม่ก็ไม่ได้ทำให้เนื้อหาของรายงานขาดความสมบูรณ์

ตารางที่ 2 การให้น้ำและผลผลิตมันสำปะหลังที่มีการให้น้ำแตกต่างกันและวอเตอร์ฟุตพริ้นท์

สภาพพื้นที่	พันธุ์	วันปลูก	ระยะปลูก	วันเก็บเกี่ยว	อายุ (เดือน)	ผลผลิตเฉลี่ย (ตันต่อไร่)	เปอร์เซ็นต์ แป้ง	ปริมาณน้ำฝน ในฤดูปลูก(มม.)	น้ำที่ให้ (คิว)	ให้น้ำ (ครั้ง)	ปริมาณ ปุ๋ย N	Water foot print(คิว/ตัน)			
												Green	Blue	Gray*	total
ให้น้ำไม่ จำกัด: นครราชสีมา	CMR 89	12/12/2558	1.2 x 0.6	01/09/2559	8.77	4.5	22	604	78	11	7.5	135	17.3	33.3	185
	CMR 89	16/12/2558	1.2 x 0.9	01/02/2560	13.7	7.8	24.8	1006	162	23	38.2	110	20.8	97.8	228
	CMR 89	03/03/2560	1.2 x 0.6	19/12/2560	9	7.7	24	1468	25	2	18.2	126	3.24	47.2	177
	KU50	23/03/2560	1.2x.60	01/11/2560	9	4	23	1636	25	2	10.9	198	3.12	54.4	255
ให้น้ำจำกัด: กำแพงเพชร	CMR 89	06/07/2558	.9 x 0.9	15/11/2559	16.6	7	20.9	1604	11.9	2	22.8	123	1.69	65.1	189
	CMR 89	06/07/2558	.9 x 0.9	05/07/2559	12.1	4.9	20.9	894	11.9	2	22.8	113	3.87	93	210
	BAM	06/07/2558	.9 x 0.9	15/11/2559	16.6	9	24	1604	11.9	2	22.8	95.3	1.32	50.6	147
	BAM	06/07/2558	.9 x 0.9	05/07/2559	12.1	6.01	24	894	11.9	2	22.8	92	3.15	75.8	171
	R13	26/02/2558	1 x 1.2	06/04/2559	13.5	4.88	23	955	55.6	25	16.6	168	6.03	68	242
	CMR 89	26/02/2558	1 x 1.2	06/04/2559	13.5	8.64	23	955	55.6	25	35	135	6.46	81.1	222
	R13	06/06/2559	1.3 x 1	19/05/2560	11.6	4.1	21.1	1134	20.5	10	16.6	168	6.03	80.9	255
	พิจิตร1	06/06/2559	1.3 x 1	22/04/2560	10.7	2.5	15	1134	20.5	10	16.6	136	4.88	133	274
	พิจิตร2	06/06/2559	1.3 x 1	22/04/2560	10.7	2.3	17	1134	20.5	10	16.6	179	6.41	144	329
	KU72	06/06/2559	1.3 x 1	19/05/2560	11.6	4.76	16.4	1134	20.5	10	16.6	130	4.66	69.7	204
ไม่ให้น้ำ: ระยอง	R9	26/11/2558	1 x 0.8	01/11/2559	11.3	4.15	27.9	1795	0	0	7.5	194	0	36.1	230
	R11	13/01/2559	1 x 0.8	19/01/2560	12.4	2.72	26.3	1575	0	0	7.5	339	0	55.1	394
	R13	09/02/2559	1 x 0.8	15/02/2560	12.4	4.79	21.4	1589	0	0	7.5	200	0	31.3	231
	R9	23/01/2559	1 x 0.8	10/01/2561	12	5.15	29.7	1659	0	0	7.5	198	0	29.1	227
	R11	23/01/2559	1 x 0.8	11/01/2561	12	3.2	31.1	1659	0	0	7.5	319	0	46.9	366
	R13	23/01/2559	1 x 0.8	12/01/2561	12	3.27	30.6	1659	0	0	7.5	312	0	45.8	358