

# การวิเคราะห์ห้วงเตอร์ฟุตพริ้นท์ของมันสำปะหลังที่มีการจัดการน้ำแตกต่างกัน Cassava Water Footprint Assessment in Various Irrigation Management

วัลย์พร ศะศิประภา<sup>1/</sup> จินนजार หานุเศรฐสุข<sup>2/</sup> กุสุมา รอดแผ้วพาล<sup>2/</sup> ปฐมพงษ์ วงศ์สุวรรณ<sup>1/</sup>  
ดรุณี เฟิงฤกษ์<sup>3/</sup> เสาวรี บำรุง<sup>4/</sup> วารีย์ เวรารณ<sup>5/</sup> สายน้ำ อุดพวย<sup>6/</sup> อนุสรณ์ เทียนศิริฤกษ์<sup>6/</sup>  
Walaiporn Sasiprapa<sup>1/</sup> Jinnajar Hansethasuk<sup>2/</sup> Kusuma Rodpeawpan<sup>2/</sup> Prathompong Wongsuwan<sup>1/</sup>  
Darunee Phangrerk<sup>3/</sup> Saowaree Bumrung<sup>4/</sup> Waree Wenworn<sup>5/</sup> Sainam Udpuay<sup>6/</sup>  
Anusorn Tiensiroek<sup>6/</sup>

## ABSTRACT

Water footprint is used as a tool to measure both direct and indirect water used by crops. Water footprint of cassava production was examined under 3 water managements, including irrigation condition (Nakornratsrima), limited-irrigation condition (Kampangpet) and rainfed condition (Rayong). One ton of cassava from 2 consecutive growing seasons between 2015 and 2018 was used to calculate water footprint. The study showed that the averaged water footprint of cassava was 147-366 m<sup>3</sup>/ton, comprised of 48-87% or 92-339 m<sup>3</sup>/ton green, 0-9% or 0-21 m<sup>3</sup>/ton blue and 13-48% or 29-97 m<sup>3</sup>/ton grey water. Irrigation conditions had low water footprint of 211 m<sup>3</sup>/ton, compared to 224 and 301 m<sup>3</sup>/ton of limited-irrigation and rainfed conditions, respectively. Higher yield gave low water footprint, whereas irrigation as crop water requirement gave a higher yield. Varieties and planting times were the main factors determining water footprint differences, although cassava was grown at the same farm. In water-limited area, planting in June caused crop water deficit. Optimum planting date and supplemental irrigation were needed, particularly at initial stages of growth. Growing in the late rainy season made water deficit during some growing periods. In limited water resource area, optimum growing period was a better choice. Planting in June should be avoided due to inadequate rainfall for crop water use. In rainfed area, planting in November caused more severely water deficit during 3-5 months after planting, compared to growing in January. Use a suitable variety would increase yield.

**Key words:** water footprint, cassava, irrigation management

<sup>1/</sup> ศูนย์เทคโนโลยีสารสนเทศและการสื่อสาร กรมวิชาการเกษตร จตุจักร กรุงเทพฯ

Information and Communication Technology Center, Department of Agriculture, Chatuchak, Bangkok 10900

<sup>2/</sup> ศูนย์วิจัยพืชไร่ระยอง ต.ห้วยโป่ง อ.เมือง จ.ระยอง

Rayong Field Crop Research Center, Huai Pong, Muang District, Rayong Province 21150

<sup>3/</sup> ศูนย์วิจัยและพัฒนาการเกษตรพิจิตร อ.เมือง จ.พิจิตร

Phichit Research and Development Center, Mueang District, Phichit Province 66000

<sup>4/</sup> ศูนย์วิจัยและพัฒนาการเกษตรนครราชสีมา อ.สีคิ้ว จ.นครราชสีมา

Nakhon Ratchasima Research and Development Center, Sikhio District, Nakhon Ratchasima Province 30140.

<sup>5/</sup> สถาบันวิจัยพืชไร่และพืชทดแทนพลังงาน กรมวิชาการเกษตร จตุจักร กรุงเทพฯ

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

<sup>6/</sup> กองวิจัยพัฒนาปัจจัยการผลิตทางการเกษตร กรมวิชาการเกษตร จตุจักร กรุงเทพฯ

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

## บทคัดย่อ

วอเตอร์ฟุตพริ้นท์ (Water footprint) เป็นเครื่องชี้วัดการใช้น้ำทั้งทางตรงและทางอ้อม โดยคำนวณปริมาณน้ำจากทุกขั้นตอนตลอดห่วงโซ่ของการผลิตสินค้า จึงนำมาใช้ในการวางแผนจัดการน้ำ และลดขนาดวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ของสินค้าป่าปะหลัง ในสภาพเงื่อนไขที่มีการจัดการน้ำแตกต่างกัน ตามระดับพื้นที่ที่ให้น้ำ 3 ระดับ คือ ให้น้ำได้ไม่จำกัด (จ.นครราชสีมา) ให้น้ำได้จำกัด (จ.กำแพงเพชร) และอาศัยน้ำฝน (จ.ระยอง) คำนวณวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ของสินค้าป่าปะหลัง หัวสด 1 ตัน จาก 2 รอบการผลิต ระหว่างปี พ.ศ. 2558-2561 พบว่า ค่าเฉลี่ยของวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ระหว่าง 147-366 ลบ.ม. โดย 48-87% เป็นกรีนวอเตอร์หรือมีขนาดระหว่าง 92-339 ลบ.ม. 0-9% เป็นบลูวอเตอร์ มีขนาด 0-21 ลบ.ม. และ 13-48% เป็นเกรย์วอเตอร์ มีขนาด 29-97 ลบ.ม. โดยแยกพื้นที่ที่ให้น้ำได้ไม่จำกัด วอเตอร์ฟุตพริ้นท์เฉลี่ย 211 ลบ.ม. ส่วนพื้นที่ให้น้ำจำกัด และพื้นที่อาศัยน้ำฝน มีขนาดเฉลี่ย 224 และ 301 ลบ.ม. ตามลำดับ ผลผลิตที่สูงให้ขนาดของวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ต่ำ การให้น้ำถูกเวลาตามความต้องการช่วยให้ผลผลิตเพิ่มขึ้น พันธุ์และช่วงเวลาปลูกมีผลให้ขนาดวอเตอร์ฟุตพริ้นท์แตกต่างกัน ถึงแม้จะปลูกในพื้นที่เดียวกัน การปลูกในช่วงปลายฤดูฝนมีปริมาณน้ำฝนไม่เพียงพอต่อความต้องการของสินค้าป่าปะหลัง ต้องให้น้ำในพื้นที่ในปริมาณที่เหมาะสม ร่วมกับการเลือกช่วงเวลาปลูก ควรหลีกเลี่ยงการปลูกในช่วงเดือน มิ.ย. เพราะน้ำฝนไม่เพียงพอต่อความต้องการของพืชในช่วงที่พืชกำลังสะสมน้ำหนัก สำหรับพื้นที่อาศัยน้ำฝนการปลูกในเดือน พ.ย. ทำให้เกิดการขาดน้ำในช่วงอายุ 3-5 เดือนมากกว่าการปลูกในช่วงเดือน ม.ค. ถ้าหากเลือกพันธุ์ที่เหมาะสมจะทำให้ผลผลิตเพิ่มขึ้น

**คำสำคัญ:** วอเตอร์ฟุตพริ้นท์, สินค้าป่าปะหลัง, การจัดการน้ำ

## บทนำ

สินค้าป่าปะหลังเป็นพืชเศรษฐกิจที่สำคัญสร้างรายได้จากการส่งออกผลิตภัณฑ์สินค้าป่าปะหลังปีละ 5-9 หมื่นล้านบาท และเกี่ยวข้องกับเกษตรกรผู้ปลูกสินค้าป่าปะหลังไม่น้อยกว่า 550,000 ครัวเรือนในพื้นที่มากกว่า 40 จังหวัด ในปี พ.ศ. 2559 ประเทศไทยมีพื้นที่เก็บเกี่ยว 9.06 ล้านไร่ ผลผลิตเฉลี่ย 3,437 กก./ไร่ (นิรนาม, 2561) จากสภาพภูมิอากาศที่ร้อนและแห้งแล้งในช่วง 2-3 ปีที่ผ่านมาทำให้ระบบการผลิตสินค้าป่าปะหลังเปลี่ยนแปลง เช่น การปลูกล่าช้า ปลูกแล้วกระทบแล้ง ทำให้ผลผลิตลดลง จึงมีการพัฒนาระบบการให้น้ำในสินค้าป่าปะหลัง การให้น้ำในช่วงช่วงอายุ 2-5 เดือน ทำให้ได้ผลผลิตหัวสดเพิ่มขึ้นเฉลี่ย 27.7% (วินัยและคณะ, 2550)

น้ำเป็นทรัพยากรที่มีความสำคัญยิ่งสำหรับภาคเกษตร เนื่องจากปัจจุบันมีการเปลี่ยนแปลงของสภาพภูมิอากาศ ส่งผลให้เกิดความแห้งแล้ง และขาดแคลนน้ำในบางพื้นที่ จึงมีแนวคิดในการบริหารจัดการน้ำผ่านเครื่องมือที่เรียกว่า วอเตอร์ฟุตพริ้นท์ (Water footprint: WF) ซึ่งเป็นการวัดการใช้น้ำทั้งทางตรงและทางอ้อม โดยคำนวณปริมาณน้ำจากผลรวมของทุกขั้นตอนตลอดห่วงโซ่ของการผลิตสินค้าหรือบริการ มีหน่วยเป็นลูกบาศก์เมตรต่อหน่วย การศึกษาวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ในการผลิตสินค้าป่าปะหลังจึงเป็นต้นน้ำของภาคอุตสาหกรรม

จากรายงานที่ผ่านมา การประเมินวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ของสินค้าป่าปะหลังใช้ข้อมูลทุติยภูมิเป็นหลัก เช่น สินค้าป่าปะหลังของโลก 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% เป็นกรีนวอเตอร์ (ชินาธิปกรณ และ อังรรัตน์, 2554; อนันตยา และคณะ, 2557) ซึ่งติดมากับการผลิตมันสำปะหลังในแปลง ทำให้เห็นว่าการผลิตในภาคเกษตรใช้น้ำมาก หากผลผลิตต่อไร่สูงขึ้นจะสามารถลดขนาดของวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ลงได้อีก การจัดการน้ำในแปลงปลูกมันสำปะหลัง และการเพิ่มผลผลิตต่อไร่จึงมีความสำคัญ ดังนั้น งานวิจัยนี้จึงดำเนินการประเมินปริมาณการใช้น้ำตั้งแต่การปลูกจนกระทั่งเก็บเกี่ยวได้ผลผลิตหัวสด 1 ตัน ปริมาณการน้ำใช้ส่วนต่าง ๆ และระยะเวลาที่เกิดการใช้น้ำในสภาพเงื่อนไขที่มีการจัดการน้ำแตกต่างกันจากแปลงปลูกจริง เพื่อประกอบการตัดสินใจเกี่ยวกับการจัดการน้ำที่มีอยู่อย่างจำกัดได้อย่างมีประสิทธิภาพ

## อุปกรณ์และวิธีการ

### พื้นที่ศึกษา

คัดเลือกพื้นที่ที่มีการจัดการน้ำแตกต่างกัน 3 ระดับ ศึกษาระหว่างปี พ.ศ. 2558-2560 คือ

**1. ให้น้ำได้ไม่จำกัด (Irrigation when require)** ใช้พื้นที่ บ.หนองเข้ ต. สุขไพบูลย์ อ.เสิงสาง และ บ.หนองกาด ต.สุขไพบูลย์ อ.เสิงสาง จ.นครราชสีมา เป็นตัวแทน 2 แปลง ซึ่งเป็นพื้นที่ที่เกษตรกรให้น้ำในการปลูกมันสำปะหลังมานาน และมีน้ำต้นทุนมาก เนื้อดินที่ จ.นครราชสีมา เป็นดินร่วนเหนียวปนทราย มีกรดจัด ชั้นดินบนมีอินทรีย์วัตถุสูงระหว่าง 2.06-2.32% เนื่องจากเกษตรกรมีการใส่อินทรีย์วัตถุเป็นประจำ ส่วนดินชั้นล่าง ๆ มีปริมาณอินทรีย์วัตถุปานกลางถึงต่ำ ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์พบสูงมากในดินบน

และพบน้อยในระดับความลึกลงไปเรื่อย ๆ และโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้มีค่าปานกลางถึงต่ำระหว่าง 14.6–52.2 มก./กก.

สำหรับแปลงที่ บ.หนองเข้ พบดินดาน 2 ชั้น หนาประมาณ 50 ซม. สำหรับคุณสมบัติทางกายภาพ ดินมีความหนาแน่นรวม (bulk density) ระหว่าง 1.1-1.7 ในดินชั้นบน และระหว่าง 1.31-2.03 ในดินชั้นล่าง การระบายน้ำเร็วมาก

### 2. ให้น้ำแบบจำกัด (Limited Irrigation)

ใช้พื้นที่ ต.วังชะพู อ.ชาณุวรลักษณ และ ต.ทรงธรรม อ.เมือง จ.กำแพงเพชร เป็นตัวแทน 2 แปลง เป็นพื้นที่ที่เริ่มนำระบบการให้น้ำเข้ามาใช้แต่ยังมีปริมาณน้ำต้นทุนจำกัด ดินปลูกมันสำปะหลังที่กำแพงเพชร เนื้อดินเป็นดินร่วนปนทราย เป็นกรดจัด มีอินทรีย์วัตถุปานกลางระหว่าง 1.2-1.7% ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์พบมากในดินบน และพบน้อยในระดับความลึกลงไป โพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้สูงมากระหว่าง 334–796. มก./กก.

แปลงที่ ต.ทรงธรรม ค่าความชื้นที่ความจุสนาม (pF2) และจุดเหี่ยวเฉาถาวร (pF4) แตกต่างกัน ความสามารถในการอุ้มน้ำของชั้นดินบนประมาณ 4.7-6.7 มม. น้ำส่วนเกินจะไหลลงในชั้นดินล่าง แต่ไม่เกินความสามารถในการอุ้มน้ำของดินชั้นถัด ๆ ไปตามลำดับ และความสามารถในการนำน้ำของดิน (Hydraulic conductivity) มีค่า Ksat ในดินบนระหว่าง 12.2-137 ซม./ชม.

**3. อาศัยน้ำฝน (Rainfed)** ใช้พื้นที่ ต.ห้วยโป่ง อ.เมือง จ.ระยอง เป็นตัวแทน ดินมีความเป็นกรดจัด ปริมาณอินทรีย์วัตถุอยู่ระหว่าง 0.13-0.29% ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ในดินบนพบปานกลาง และพบน้อยในระดับที่ลึกลงไป โพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ มีปริมาณต่ำที่ 17.6–34.6 มก./กก.

### การปลูกมันสำปะหลังและการจัดการ

ปลูกและดูแลรักษาตามการปฏิบัติของเกษตรกร ในพื้นที่ที่มีการจัดการน้ำแตกต่างกัน 3 ระดับ บันทึกข้อมูลการดูแล การจัดการดิน น้ำ และปุ๋ยที่เกษตรกรปฏิบัติจริงในแปลงแต่ละฤดู การผลิต ผลผลิตหัวสด เปอร์เซ็นต์แป้ง รวมทั้งเก็บข้อมูลอุตุนิยามวิทยาประจำแปลง ดังนี้

จ.นครราชสีมา แปลงที่ 1 ปลูกแบบยกร่อง ให้น้ำแบบหยด ปลูกพันธุ์ CMR43-8-89 วันที่ 12 ธ.ค. 2558 ใส่ปุ๋ย 15-15-15 อัตรา 45 กก./ไร่ รองพื้น และใส่ปุ๋ยทางสายน้ำหยด 25-5-5 อัตรา 2 กก./ไร่ เมื่อมันสำปะหลังอายุ 2 เดือน ส่วนแปลงที่ 2 ปลูก 16 ธ.ค. 2558 รองพื้นด้วยปุ๋ยซีหมูอัดเม็ด 600 กก./ไร่ รอบที่ 2 ปลูกวันที่ 3 มี.ค. 2560 ใส่ซีไก่เกลบรองพื้น และใส่ปุ๋ย 12-4-40 เมื่อมันสำปะหลังอายุ 1.5 เดือน และปลูกวันที่ 23 มี.ค. 60 ใส่น้ำซีหมูรองพื้น และใส่ปุ๋ย 13-13-21 เมื่อมันสำปะหลังอายุ 3-4 เดือน (Table 1)

จ.กำแพงเพชร แปลงที่ 1 ปลูกพันธุ์ ระยะของ 13 และระยะของ 11 วันที่ 26 ก.พ. 2558

แปลงที่ 2 ปลูกพันธุ์ CMR35-22-166 และ CMR43-8-89 วันที่ 6 ก.ค. 2558 ปลูกแบบยกร่อง ให้น้ำแบบหยด ระยะปลูก 80x120 ม. ใส่ปุ๋ย 18-46-0 อัตรา 17 กก./ไร่ รองพื้นโรยเป็นแถวแล้วไถกลบ และใส่ปุ๋ยทางสายน้ำหยด คือ 46-0-0 อัตรา 11 กก./ไร่ และ 0-0-60 อัตรา 27 กก./ไร่ แบ่งใส่ 4 ครั้ง ในปีที่ 2 ปลูกพันธุ์แตกต่างกัน (Table 1) มีการปรับปรุงดินก่อนปลูกด้วยการรองพื้นด้วยปุ๋ยซีไก่เกลบ 50 กระสอบ/ไร่ 2 ปี/ครั้ง น้ำอามี 360 ลิตร/ไร่ ซีไก่เกลบ 8 ตัน/ไร่ ใส่ 1 ครั้ง ใช้ได้ 6 ปี การไถปลูก ไถตอนดินหมาด แต่ไม่มีการใช้ปุ๋ยเคมีตลอดฤดูปลูก สำหรับที่ปลูกปีเดียว ปลูกวันที่ 6 มิ.ย. 2559 เก็บเกี่ยวที่อายุประมาณ 11 เดือน

จ.ระยอง ปลูกพันธุ์ระยะของ 9 ระยะของ 11 และระยะของ 13 วันที่ 26 พ.ย. 2558, 13 ม.ค. 2559 และ 9 ก.พ. 2559 ปลูกแบบยกร่อง อาศัยน้ำฝน ใส่ปุ๋ย 15-7-18 50 กก./ไร่ ปีถัดมาปลูก เมื่อ 23 ม.ค. 2559 ใช้พันธุ์ระยะของ 9 ระยะของ 11 และระยะของ 13 ใส่ปุ๋ยเช่นเดียวกัน

### การคำนวณวอเตอร์ฟุตพริ้นท์

คำนวณวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ของมันสำปะหลังหัวสด 1 ตัน คำนวณปริมาณน้ำแยกเป็นส่วนกรีนวอเตอร์ ( $WF_{green}$ ) บลูวอเตอร์ ( $WF_{blue}$ ) และเกรย์วอเตอร์ ( $WF_{grey}$ ) โดยใช้สูตร  $WF = WF_{grey} + WF_{blue} + WF_{green}$  โดยที่

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

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

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

โดยที่  $\alpha$  คือ สัดส่วนของปุ๋ยไนโตรเจนจากการชะละลาย (ประมาณ 10%)

AR ปริมาณปุ๋ยไนโตรเจนที่ใช้ (กก./ไร่)

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

$C_{nat}$  ความเข้มข้นของไนโตรเจนในธรรมชาติ

Y ผลผลิต

**Table 1** Variety, planting-harvest date, amount of rainfall, Irrigation water and N- fertilizer application during growing season in Nakhon Ratchasima, Kamphaeng Phet and Rayong Province during 2015-2018

| location          | variety      | planting date | harvest date | amount of rainfall during the season (mm.) | Irrigation water (m3) | Irrifrequency (no) | N-fertilizer (kg/rai) |
|-------------------|--------------|---------------|--------------|--|-----------------------|--------------------|-----------------------|
| Nakhon Ratchasima | CMR43-8-89   | 12/12/2015    | 01/09/2016   | 604  | 78                    | 11                 | 7.5                   |
|                   | CMR43-8-89   | 16/12/2015    | 01/02/2017   | 1006                                       | 162                   | 23                 | 38.2                  |
|                   | CMR43-8-89   | 03/03/2017    | 19/12/2017   | 1468                                       | 25                    | 2                  | 18.2                  |
|                   | KU50         | 23/03/2017    | 01/11/2017   | 1636                                       | 25                    | 2                  | 10.9                  |
| Kamphaeng Phet    | CMR43-8-89   | 06/07/2015    | 15/11/2016   | 1604                                       | 11.9                  | 2                  | 22.8                  |
|                   | CMR43-8-89   | 06/07/2015    | 05/07/2016   | 894  | 11.9                  | 2                  | 22.8                  |
|                   | CMR35-22-166 | 06/07/2015    | 15/11/2016   | 1604                                       | 11.9                  | 2                  | 22.8                  |
|                   | CMR35-22-166 | 06/07/2015    | 05/07/2016   | 894  | 11.9                  | 2                  | 22.8                  |
|                   | R13          | 26/02/2015    | 06/04/2016   | 955  | 55.6                  | 25                 | 16.6                  |
|                   | CMR43-8-89   | 26/02/2015    | 06/04/2016   | 955  | 55.6                  | 25                 | 35                    |
|                   | R86-13       | 06/06/2016    | 19/05/2017   | 1134                                       | 20.5                  | 10                 | 16.6                  |
|                   | Pirun1       | 06/06/2016    | 22/04/2017   | 1134                                       | 20.5                  | 10                 | 16.6                  |
|                   | Pirun2       | 06/06/2016    | 22/04/2017   | 1134                                       | 20.5                  | 10                 | 16.6                  |
|                   | KU72         | 06/06/2016    | 19/05/2017   | 1134                                       | 20.5                  | 10                 | 16.6                  |
| Rayong            | R9           | 26/11/2015    | 01/11/2016   | 1795                                       | 0                     | 0                  | 7.5                   |
|                   | R11          | 13/01/2015    | 19/01/2017   | 1575                                       | 0                     | 0                  | 7.5                   |
|                   | R86-13       | 09/02/2015    | 15/02/2017   | 1589                                       | 0                     | 0                  | 7.5                   |
|                   | R9           | 23/01/2017    | 10/01/2018   | 1659                                       | 0                     | 0                  | 7.5                   |
|                   | R11          | 23/01/2017    | 11/01/2018   | 1659                                       | 0                     | 0                  | 7.5                   |
|                   | R86-13       | 23/01/2017    | 12/01/2018   | 1659                                       | 0                     | 0                  | 7.5                   |

สำหรับปริมาณน้ำที่พืชใช้ (CWU) ตลอดช่วงปลูกคำนวณได้จากสูตร  $ET_c$  ซึ่ง  $ET_c = Kc \times ET_0$   
 $CWU = \sum ET_c$  ตลอดช่วงปลูก  
 $Kc$  = ค่าสัมประสิทธิ์การใช้น้ำของมันสำปะหลัง  
 $ET_0$  คำนวณจาก A-pan method (Richard, et.al,1998)

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

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

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

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

สำหรับปริมาณปุ๋ยไนโตรเจน คำนวณจากชนิด และปริมาณการใช้ปุ๋ยของเกษตรกร การวิเคราะห์ตัวอย่างปุ๋ยตามวิธีการของ ปรากฏศรีและคณะ (2548)

## ผลการทดลองและวิจารณ์

### การเจริญเติบโตและผลผลิต

การปลูกมันสำปะหลังที่ จ.นครราชสีมา ปี พ.ศ. 2558/9 ประสบปัญหาหัวเน่า เนื่องจากโรคโคนเน่าหัวเน่าที่เกิดจากเชื้อรา *Phytophthora melonis* (รังษี และคณะ, 2556) เกษตรกรจึงเก็บเกี่ยวเร็วที่อายุ 8 เดือน ได้ผลผลิต 4.5 ตัน/ไร่ เปอร์เซ็นต์แป้ง 22 อีก 1 แปลง เก็บเกี่ยวที่อายุ 13 เดือน ได้ผลผลิต 7.8 ตัน/ไร่ เปอร์เซ็นต์แป้ง 24.8 (Table 2) ขณะที่ ปีที่ 2 เก็บเกี่ยวผลผลิตได้ 7.7 ตัน/ไร่ เปอร์เซ็นต์แป้ง 24 และผลผลิต 4 ตัน/ไร่ เปอร์เซ็นต์แป้ง 23 พื้นที่นี้เคยนิยมปลูกมันสำปะหลังแบบให้น้ำหยด และนิยมใช้พันธุ์ CMR43-8-89 ได้ผลผลิตประมาณ 9-10 ตัน/ไร่ ผลผลิตที่ได้ลดน้อยลงจากช่วงก่อนหน้ามาก ในพื้นที่จึงลดการปลูกมันสำปะหลัง เกษตรกรเปลี่ยนไปปลูกพืชอื่นทดแทน ในปีที่ 2 แปลงปลูกมันสำปะหลังมีขนาดเล็กลง มีการใช้ปุ๋ยไนโตรเจนประมาณ 7.8- 38 กก./ไร่ ที่ จ.กำแพงเพชร ผลผลิตพันธุ์ CMR43-8-89 และ CMR35-22-166 อายุเก็บเกี่ยว 12 เดือน

ได้ 6.01 และ 4.9 ตัน/ไร่ เปอร์เซ็นต์แป้ง 15.3 และ 20 ตามลำดับ ขณะที่แปลงพันธุ์ระยอง 13 และ CMR43-8-89 อายุเก็บเกี่ยว 13.5 เดือน ผลผลิต 4.88 และ 8.6 ตัน/ไร่ เปอร์เซ็นต์แป้ง 23 และ 23 สภาพอากาศที่ร้อนและแห้งแล้งเป็นเวลานานในช่วงต้นปี พ.ศ. 2559 ทำให้ผลผลิตหัวสดและเปอร์เซ็นต์แป้งค่อนข้างต่ำ ในปี พ.ศ. 2560 พันธุ์ระยอง 13 ให้ผลผลิต 4.5 ตัน/ไร่ (Table 2) พันธุ์ CMR35-22-166 และ CMR43-8-89 เก็บเกี่ยวข้ามปีได้ผลผลิต 9 และ 6.1 ตัน/ไร่ ส่วนที่เก็บเกี่ยวในปีเดียว ได้ผลผลิต 2.3-4.7 ตัน/ไร่ มีการใช้ปุ๋ยไนโตรเจนระหว่าง 16.6- 35 กก./ไร่ ส่วนพันธุ์อื่น ๆ ผลผลิตต่ำ อย่างไรก็ตาม พื้นที่ จ.กำแพงเพชร และพื้นที่ใกล้เคียงนิยมปลูกแบบข้ามปี และมีพันธุ์ที่เกษตรกรปลูกหลากหลายกว่าพื้นที่อื่น ๆ ซึ่งทั้ง 2 ปีนี้ ฝนมาช้า การปลูกในช่วงต้นฤดูฝนจึงล่าช้าไปมาก ทำให้ผลผลิตต่ำ และช่วงปลายฤดูฝน ฝนตกชุกทำให้ประสบปัญหาหัวมันเน่า ที่ จ.ระยอง ปี พ.ศ. 2558 ผลผลิตพันธุ์



ระยอง 9 อายุ 12 เดือน 4.15 ตัน/ไร่ เปอร์เซ็นต์  
แบ่ง 27.9 ให้ผลผลิตหัวสด 4.79 ตัน/ไร่  
มีเปอร์เซ็นต์แบ่ง 24.3 ปี พ.ศ. 2559 ปลูก เมื่อ  
23 ม.ค. 2559 ใช้พันธุ์ระยอง 9 ระยอง 11 และ  
ระยอง 13 เก็บเกี่ยวผลผลิตได้ 5.1 3.2 3.3 ตัน/ไร่  
ตามลำดับ มีการใช้ปุ๋ยไนโตรเจน 7.5 กก./ไร่

### ปริมาณการใช้น้ำของพืช

ฝนใช้การที่ได้จากการคำนวณข้างต้น ให้ค่า  
ที่ค่อนข้างสูงกว่าวิธี FAO/AGLW method และ  
Fixed percentage แต่ต่ำกว่าวิธี soil water balance  
method (Shinatiphkorn and Thumrongrut,  
2012) การตัดสินใจปลูกมันสำปะหลังของเกษตรกร  
ยังเสี่ยงต่อการขาดน้ำ ในพื้นที่ที่ให้น้ำได้ เกษตรกร  
เลือกที่จะให้น้ำเพื่อพุงให้ข้ามแล้ง ปริมาณน้ำ  
ที่ให้ทั้งหมดส่วนใหญ่อยู่ในช่วงแรกของการปลูก  
ก่อนเข้าฤดูฝน (Figure 1a) การปลูกในช่วงปลาย  
ฤดูฝน ให้ผลผลิตสูงกว่าการปลูกช่วงเดือน  
พ.ค.-มิ.ย. ของทั้ง 2 รอบปี เมื่อพิจารณาร่วมกับ  
ความต้องการน้ำของพืช พื้นที่ จ.นครราชสีมา  
การปลูกในช่วงปลายฤดูฝน มีปริมาณน้ำฝน  
ไม่เพียงพอต่อความต้องการของมันสำปะหลัง แต่  
ปริมาณน้ำที่ให้ก็ยังไม่เพียงพอต่อความต้องการ  
ของพืช การปลูกช่วงเดือน มี.ค. ก็ยังเสี่ยงต่อการ  
ขาดน้ำในช่วงแรกของการเจริญเติบโต

ส่วนพื้นที่ จ.กำแพงเพชร การปลูกใน  
ช่วงเดือน ก.พ. ฝนไม่เพียงพอต่อความต้องการ  
เกษตรกรมีการให้น้ำ แต่ปริมาณไม่มาก ด้วยปริมาณ  
ต้นทุนในพื้นที่มีจำกัด การปลูกในช่วงเดือน มิ.ย.  
แม้ช่วงแรกปริมาณน้ำฝนมีมาก แต่ยังทำให้ระยะ  
5 เดือนหลังปลูก ประสบปัญหาการขาดน้ำ ปริมาณ  
น้ำฝนไม่เพียงพอต่อความต้องการของพืช ถึงแม้  
ปริมาณน้ำฝนตลอดฤดูปลูกรอบการปลูกที่ 2  
สูงกว่าก็ตาม (Figure 1b)

สำหรับพื้นที่อาศัยน้ำฝน จ.ระยอง การปลูก  
ในเดือน พ.ย. ทำให้เกิดการขาดน้ำในช่วงอายุ  
3-5 เดือน แต่การปลูกในรอบ 2 ช่วงเดือน ม.ค.  
แม้จะมีความเสี่ยงต่อการขาดน้ำ แต่โอกาสที่จะ  
ขาดน้ำในระยะยาว ๆ ตลอดฤดูปลูกมีน้อย (Figure  
1c) ถ้าหากเลือกพันธุ์ที่เหมาะสมจะทำให้ผลผลิต  
เพิ่มขึ้น เช่น กรณีปลูกพันธุ์ระยอง 9 ให้ผลผลิต  
เพิ่มขึ้นจาก 4.15 เป็น 5.15 ตัน/ไร่

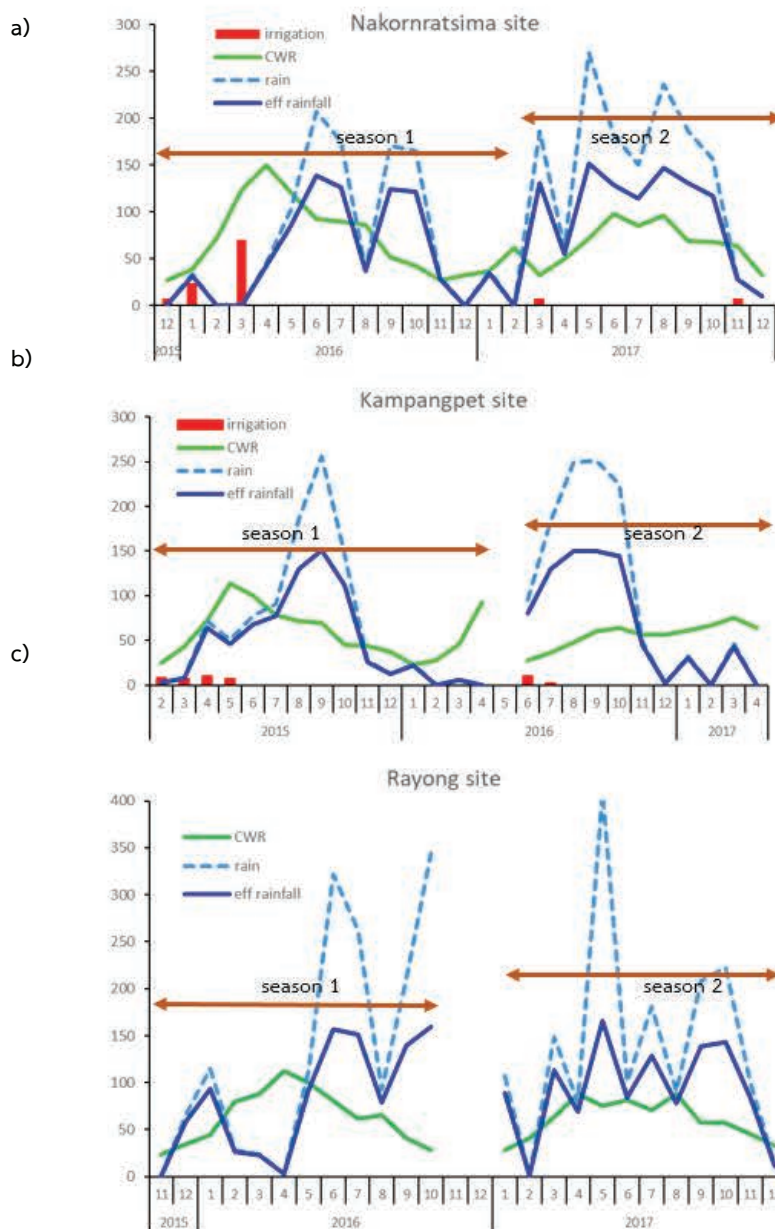
### วอเตอร์พวพรีนซ์ของหัวมันสด

ค่าเฉลี่ยของวอเตอร์พวพรีนซ์ของมัน  
สำปะหลังหัวสด 1 ตัน มีค่าประมาณได้อยู่ระหว่าง  
147-366 ลบ.ม. โดย 48-87% เป็นกรีนวอเตอร์  
หรือมีขนาดระหว่าง 92-339 ลบ.ม. 0-9% เป็น  
บลูวอเตอร์ มีขนาด 0-21 ลบ.ม. และ 13-48%  
เป็นเกรย์วอเตอร์ มีขนาด 29-97 ลบ.ม. โดยแยก  
พื้นที่ จ.นครราชสีมา ได้วอเตอร์พวพรีนซ์เฉลี่ย  
211 ลบ.ม. เป็นกรีน บลู และเกรย์วอเตอร์ ขนาด  
142 11 และ 58 ลบ.ม. ตามลำดับ พื้นที่  
จ.กำแพงเพชร มีวอเตอร์พวพรีนซ์เฉลี่ย 224  
ลบ.ม. เป็นกรีน บลู และเกรย์วอเตอร์ ขนาด 133  
4.5 และ 86 ลบ.ม. ตามลำดับ ส่วนพื้นที่ จ.ระยอง  
มีขนาดเฉลี่ย 301 ลบ.ม. เป็นกรีน บลู และเกรย์  
วอเตอร์ ขนาด 210 0 และ 41 ลบ.ม. ตามลำดับ  
(Table 2) เมื่อเรียงลำดับตามผลผลิตมันสำปะหลัง  
ทุกแปลงและทุกฤดูปลูก พบว่า ผลผลิตที่สูง  
ให้ขนาดของวอเตอร์พวพรีนซ์มีแนวโน้มต่ำลง  
(Figure 2) การเลือกปลูกในช่วงที่เหมาะสม จะ  
ลดปริมาณการใช้น้ำ การให้น้ำถูกเวลาตามความ  
ต้องการของพืช จะช่วยให้ผลผลิตสูงขึ้น พันธุ์และ  
ช่วงปลูกมีผลต่อขนาดของวอเตอร์พวพรีนซ์ ถึงแม้  
จะปลูกในพื้นที่เดียวกัน (Figure 3, Table 2)

การตัดสินใจให้น้ำของเกษตรกร ยึดหลัก  
ความจำเป็น อีกทั้งปริมาณน้ำที่ให้น้อยกว่า

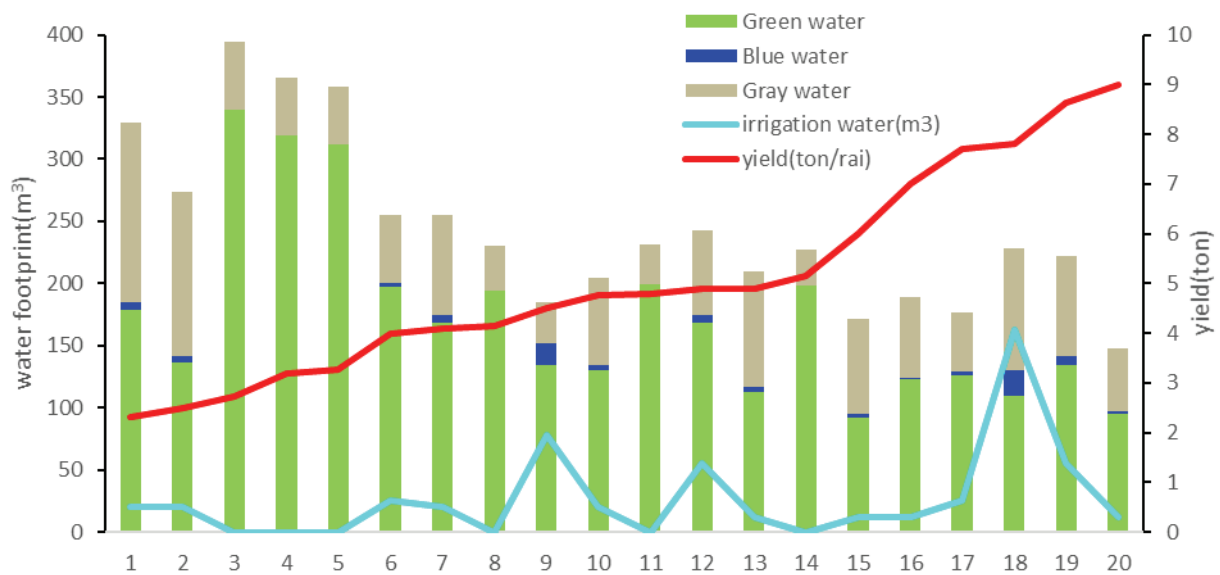
ความต้องการมาก เนื่องจากช่วงปีก่อน ๆ ประสบปัญหาขาดแคลนน้ำ พันธุ์มันสำปะหลังที่มีเปอร์เซ็นต์แป้งสูงจะให้ผลผลิตต่ำ การให้น้ำเพิ่มผลผลิตได้ไม่มากนัก ต่างจากพันธุ์ที่ผลผลิตสูง แต่เปอร์เซ็นต์แป้งน้อยกว่า เมื่อมีการให้น้ำผลผลิตจะเพิ่มสูง นอกจากนี้ การใช้ปุ๋ยของเกษตรกรในพื้นที่

จ.กำแพงเพชร ที่นิยมปรับปรุงดินด้วยอินทรีย์วัตถุชนิดต่าง ๆ แต่ใส่ในปริมาณที่สูงแม้บางแปลงไม่ได้ใช้ปุ๋ยเคมี ก็ยังทำให้เกรย์วอเตอร์มีขนาดสูง ทั้งนี้การเฉลี่ยปริมาณปุ๋ยไนโตรเจนจากระยะเวลาที่ต้องมีการใส่ซ้ำ อาจทำให้ผลการคำนวณสูงกว่าค่าที่เป็นจริง

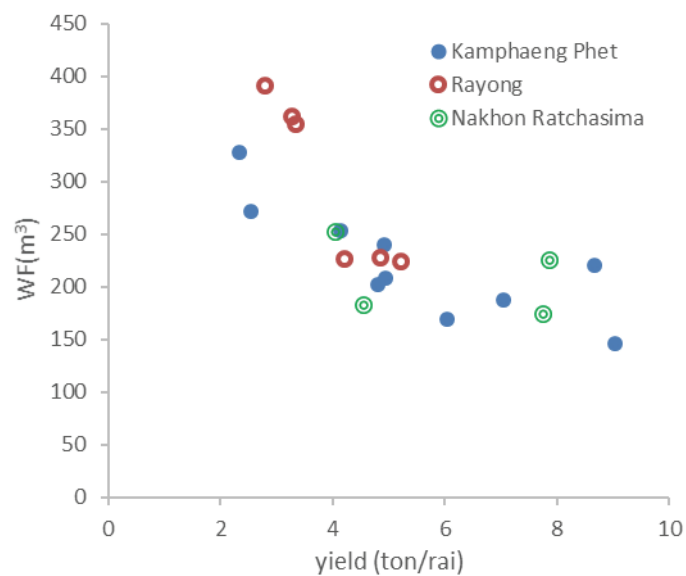


**Figure 1** Rainfall, effective rainfall cassava water requirement and irrigation water (mm.) in Nakhon Ratchasima (a), Kamphaeng Phet (b) and Rayong (c) provinces during 2015-2017





**Figure 2** Green, blue and grey water footprint, fresh root yield and water apply in Nakhon Ratchasima, Kamphaeng Phet and Rayong province during 2015-2017



**Figure 3** Relationship between cassava fresh root yield and water footprint Nakhon Ratchasima, Kamphaeng Phet and Rayong province during 2015-2017

**Table 2** Water footprint and yield of cassava grown under different water management in Nakhon Ratchasima, Kamphaeng Phet and Rayong province during 2015-2018

| Water application   | variety      | age<br>(month) | yield<br>(ton/rai) | %    | Water footprint(m3/ton) |       |      |      |
|---------------------|--------------|----------------|--------------------|------|-------------------------|-------|------|------|
|                     |              |                |                    |      | starch                  | Green | Blue | Grey |
| Irrigation          | CMR43-8-89   | 8.77           | 4.5                | 22   | 135                     | 17.3  | 33.3 | 185  |
|                     | CMR43-8-89   | 13.7           | 7.8                | 24.8 | 110                     | 20.8  | 97.8 | 228  |
|                     | CMR43-8-89   | 9              | 7.7                | 24   | 126                     | 3.24  | 47.2 | 177  |
|                     | KU50         | 9              | 4                  | 23   | 198                     | 3.12  | 54.4 | 255  |
| Limited- Irrigation | CMR43-8-89   | 16.6           | 7                  | 20.9 | 123                     | 1.69  | 65.1 | 189  |
|                     | CMR43-8-89   | 12.1           | 4.9                | 20.9 | 113                     | 3.87  | 93   | 210  |
|                     | CMR35-22-166 | 16.6           | 9                  | 24   | 95.3                    | 1.32  | 50.6 | 147  |
|                     | CMR35-22-166 | 12.1           | 6.01               | 24   | 92                      | 3.15  | 75.8 | 171  |
|                     | R13          | 13.5           | 4.88               | 23   | 168                     | 6.03  | 68   | 242  |
|                     | CMR43-8-89   | 13.5           | 8.64               | 23   | 135                     | 6.46  | 81.1 | 222  |
|                     | R86-13       | 11.6           | 4.1                | 21.1 | 168                     | 6.03  | 80.9 | 255  |
|                     | Pirun1       | 10.7           | 2.5                | 15   | 136                     | 4.88  | 133  | 274  |
|                     | Pirun2       | 10.7           | 2.3                | 17   | 179                     | 6.41  | 144  | 329  |
|                     | KU72         | 11.6           | 4.76               | 16.4 | 130                     | 4.66  | 69.7 | 204  |
| Rainfed             | R9           | 11.3           | 4.15               | 27.9 | 194                     | 0     | 36.1 | 230  |
|                     | R11          | 12.4           | 2.72               | 26.3 | 339                     | 0     | 55.1 | 394  |
|                     | R86-13       | 12.4           | 4.79               | 21.4 | 200                     | 0     | 31.3 | 231  |
|                     | R9           | 12             | 5.15               | 29.7 | 198                     | 0     | 29.1 | 227  |
|                     | R11          | 12             | 3.2                | 31.1 | 319                     | 0     | 46.9 | 366  |
|                     | R86-13       | 12             | 3.27               | 30.6 | 312                     | 0     | 45.8 | 358  |

การศึกษาวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ในมันสำปะหลังนี้ สอดคล้องกับการศึกษาของ Tapanee *et al.* (2015) ที่ประมาณค่าจากการปลูกวันที่ 1 พ.ค. แบบอาศัยน้ำฝน มีขนาด 257 ลบ.ม./ตัน แยกเป็นกรีน บลู และเกรย์วอเตอร์ขนาด 178 0 และ 78 ตามลำดับ แต่ค่าต่ำกว่ารายงานของ อนันตยาและคณะ (2557) ที่รายงานว่ามันสำปะหลัง

มีวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ 430 ลบ.ม. แยกเป็นกรีนวอเตอร์ 333 และเกรย์วอเตอร์ 97 ลบ.ม. ซึ่งผู้วิจัยประเมินจากข้อมูลทุติยภูมิเป็นหลัก รวมทั้ง ชินาธิปกรณ และอรรรัตน์ (2554) ที่รายงานว่ามันสำปะหลัง มีวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ 599.4 ลบ.ม./ตัน ซึ่งคำนวณจากผลผลิตมันสำปะหลัง 3.4 ตัน/ไร่

ผลจากการศึกษาครั้งนี้แสดงให้เห็นข้อมูล

ปริมาณน้ำใช้ส่วนต่าง ๆ สถานที่ และระยะเวลา ที่เกิดการใช้น้ำ ปัจจัยที่มีผลกระทบต่อปริมาณน้ำ ชนิดต่าง ๆ ที่คำนวณได้ เช่น วันปลูก อายุเก็บเกี่ยว การใช้พันธุ์ ปุ๋ย การให้น้ำ และสภาพภูมิอากาศ ซึ่งทำให้การปลูกมันสำปะหลังในที่ดินและ เกษตรกรรายเดียวกัน มีปริมาณวอเตอร์พวรีนธ์ ในแต่ละฤดูการผลิตแตกต่างกัน อย่างไรก็ตามการประมาณค่าใช้ Kc มันสำปะหลังค่าเดียวกัน สำหรับทุกพันธุ์ และไม่ได้คำนึงถึงความเครียดของ น้ำดิน (soil water stress) โดยปัจจัยที่มีผลต่อ เกรย์วอเตอร์พวรีนธ์ คือ ธาตุอาหารอื่น ๆ สารเคมีกำจัดวัชพืช และกำจัดโรคและแมลง แต่การศึกษานี้คำนวณเฉพาะจากการใช้ปุ๋ย ไนโตรเจนเท่านั้น เนื่องจากขาดข้อมูลการบำบัด น้ำเสียให้เป็นน้ำดีตามค่ามาตรฐานของมลพิษ อื่น ๆ แปลงที่ จ.นครราชสีมา ช่วงการศึกษา วอเตอร์พวรีนธ์นี้ ได้รับผลกระทบจากการ ระบาดของโรครากเน่าโคนเน่า ทำให้ผลผลิตลดลง อย่างมาก ซึ่งควรจัดการสภาพแวดล้อมเพื่อ หลีกเลี่ยงการเป็นโรค เช่น ทำให้แปลงไม่แน่นทึบ ดินแห้ง และเปลี่ยนไปปลูกพืชอื่นแทน เนื่องจา การแพร่กระจายของโรคจะไปกับดินและน้ำ จึงควร เลือกพันธุ์ทนต่อโรค เก็บเกี่ยวเร็วขึ้น เป็นต้น อย่างไรก็ตาม พื้นที่นี้มีแนวโน้มว่าประสิทธิภาพ การใช้น้ำในการผลิตมันสำปะหลังสูง ขณะที่ จ.กำแพงเพชร ความแปรปรวนของฝนมาก การใช้พันธุ์หลากหลาย ควรปลูกในช่วงต้นฝน และเลือกใช้พันธุ์ที่ปรับตัวได้กว้าง ไม่จำเป็นต้อง ให้น้ำเสริม สำหรับเขตอาศัยน้ำฝน จ.ระยอง ปลูกช่วงก่อนเข้าฤดูฝนทั้งหมด พันธุ์ระยอง 9 มีประสิทธิภาพการใช้น้ำสูงสุด โดยขนาดวอเตอร์ พวรีนธ์ 227 ลบ.ม. ขณะที่พันธุ์ระยอง 11 มีประสิทธิภาพการใช้น้ำต่ำสุด นอกจากนี้ การให้ ปุ๋ยตามค่าวิเคราะห์ดิน ควรนำมาใช้ร่วมด้วย

เพื่อให้การใช้ปุ๋ยมีประสิทธิภาพสูงสุด โดยเฉพาะ ปุ๋ยไนโตรเจนที่นำมาใช้ในการคำนวณ เพื่อการ ผลิตมันสำปะหลังอย่างยั่งยืน

### สรุปผลการทดลอง

วอเตอร์พวรีนธ์เป็นเครื่องมือช่วยเพิ่ม ประสิทธิภาพการใช้น้ำในการผลิต สินค้าผลิตภัณฑ์ งานบริการต่าง ๆ อย่างยั่งยืน จากการศึกษาวอเตอร์พวรีนธ์ของมันสำปะหลังหัวสด 1 ต้น ใน พื้นที่ที่มีการจัดการให้น้ำแตกต่าง 3 ระดับ พบว่า ค่าเฉลี่ยของวอเตอร์พวรีนธ์ของมันสำปะหลัง ระหว่าง 147-366 ลบ.ม. โดย 48-87% เป็น กรีนวอเตอร์ 0-9% เป็นบลูวอเตอร์ และ 13-48% เป็นเกรย์วอเตอร์ พื้นที่ จ.นครราชสีมา ซึ่งเป็น พื้นที่ให้น้ำได้ไม่จำกัด มีวอเตอร์พวรีนธ์เฉลี่ย 211 ลบ.ม. เป็นกรีน บลู และเกรย์วอเตอร์ ขนาด 142 11 และ 58 ลบ.ม. ตามลำดับ พื้นที่ จ.กำแพงเพชร ซึ่งมีการให้น้ำแบบจำกัด มีวอเตอร์ พวรีนธ์เฉลี่ย 224 ลบ.ม. เป็นกรีน บลู และ เกรย์วอเตอร์ ขนาด 133 4.5 86 และ ลบ.ม. ตามลำดับ ขณะที่ จ.ระยองมีเป็นพื้นที่อาศัยน้ำฝน มีวอเตอร์พวรีนธ์เฉลี่ย 301 ลบ.ม. เป็นกรีน บลู และเกรย์วอเตอร์ ขนาด 210 0 และ 41 ลบ.ม. ตามลำดับ เกรย์วอเตอร์พวรีนธ์บางพื้นที่มี ปริมาณสูง ควรลดปริมาณการใช้ปุ๋ย โดยใช้ตาม ค่าวิเคราะห์ดิน ผลผลิตที่สูงให้ขนาดของวอเตอร์ พวรีนธ์ที่มีแนวโน้มต่ำลง ดังนั้น การเลือกพันธุ์ที่ เหมาะสมกับพื้นที่ เลือกช่วงเวลาปลูกที่เหมาะสม รวมทั้งจัดการดิน และน้ำ เพื่อลดความเสี่ยงจาก การขาดน้ำในช่วงที่พืชมีความต้องการ การปลูกใน ช่วงปลายฤดูฝน มีปริมาณน้ำฝนไม่เพียงพอต่อ ความต้องการของมันสำปะหลัง ต้องให้น้ำในพื้นที่ ที่มีน้ำต้นทุนจำกัด หลีกเลี่ยงการปลูกในช่วงเดือน มิ.ย. เพราะน้ำฝนไม่เพียงพอกับความต้องการของ

พืชในช่วงที่พืชกำลังสะสมน้ำหนัก พื้นที่อาศัยน้ำฝนไม่ควรปลูกในเดือน พ.ย. จะทำให้เกิดการขาดน้ำในช่วงอายุ 3-5 เดือน แต่การปลูกในช่วงเดือน ม.ค. แม้จะมีความเสี่ยงต่อการขาดน้ำ แต่โอกาสที่จะขาดน้ำในระยะยาว ๆ ตลอดฤดูปลูกมีน้อยซึ่งหากเลือกพันธุ์ที่เหมาะสมทำให้ผลผลิตเพิ่มขึ้น

### คำขอบคุณ

ขอขอบคุณเกษตรกรทุกท่านที่ให้ความเอื้อเฟื้อแปลงมันสำปะหลังสำหรับการศึกษา และช่วยเหลือให้งานวิจัยลุล่วงไปด้วยดี ขอขอบคุณเจ้าหน้าที่ของทุกหน่วยงานที่เกี่ยวข้อง ขอขอบคุณคุณสุภาพร ราจันติก และคุณณิชา โป้ทอง ที่ช่วยให้การศึกษาวิจัยดำเนินไปด้วยดี

### เอกสารอ้างอิง

ชินาธิปกรณีย์ พงศ์กัญญ์โณภาพ และ อัครังรัตน์ มุ่งเจริญ. 2554. วอเตอร์ฟุตพริ้นท์ของกระบวนการผลิตเอทานอลจากมันสำปะหลังในประเทศไทย. *วิศวกรรมสาร มก.* 75 (24) 41-52.

นิรนาม. 2561. มันสำปะหลังโรงงาน : เนื้อที่เพาะปลูก เนื้อที่เก็บเกี่ยว ผลผลิต และผลผลิตต่อเนื้อที่เก็บเกี่ยว ปี 2557 – 2559. แหล่งข้อมูล <http://oae.go.th/production.html>. สืบค้น: 10 ม.ค. 61

ประภาศรี จงประดิษฐ์นันท์, ประพิศ แสงทอง, จิรพงษ์ ประสิทธิ์เขตร, สุรสิทธิ์ อรรถจารุสิทธิ์, ศุภกาญจน์ ล้วนมณี, ละแย้ม เกื้อหนุน, สรัดนา เสนาะ, วณิดา โนบรรรเทา, ลาวัณย์ จันท์อัมพร, พัชรินทร์ นามวงษ์ และอนุสรณ์ เทียนศิริฤกษ์. 2548. *วัสดุอินทรีย์และปุ๋ยคอกในพื้นที่ทำการเกษตร*. ชุมนุมสหกรณ์การเกษตรแห่งประเทศไทย, กรุงเทพฯ. 216 หน้า.

รังษี เจริญสถาพร อีรนนท์ แซ่ลี้ อัมพร จุลตศักดา เชิดชู และ ฤทัยรัตน์ น้อยจาด. 2556. Phytophthora สาเหตุโรครากและหัวเน่าของมันสำปะหลังในประเทศไทย. หน้า 260-261. ใน : การประชุมวิชาการ อารักขาพืชแห่งชาติ ครั้งที่ 11. 26-28 พฤศจิกายน 2556. โรงแรมเซนทารา แอนด์คอนเวนชันเซ็นเตอร์, จังหวัดขอนแก่น.

วินัย ศรวัต วุฒินันท์ ผาบลิมา และ ก้อนทอง พวงประโคน. 2550. *ผลของการให้น้ำต่อพันธุ์มันสำปะหลังในสภาพดินร่วนปนทราย*. ศูนย์วิจัยพืชไร่ขอนแก่น. *กรมวิชาการเกษตร* 12 หน้า.

อนัตยา บุญฮวด นาฏสุดา ภูมิจำนงค์ และอัจฉรา อัครจุฑิลชัย. 2557. การประเมินวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ของการผลิตเอทานอลจากมันสำปะหลังพื้นที่จังหวัดลพบุรีประเทศไทย. หน้า 392-379. แหล่งที่มา: <http://gs-books.gs.kku.ac.th/57/grc15/les/pmo19.pdf>. สืบค้น: 10 ม.ค. 61

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. *Environ. Nat. Resou. J.* 10 (2): 66-72.

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