การเจริญเติบโตและการวิเคราะห์วอเตอร์ฟุตพรินต์ของมันสำปะหลัง 3 พันธุ์ ในสภาพอาศัยน้ำฝน

Growth and Water Footprint Analysis of Three Cassava Varieties under Rainfed Conditions

กุสุมา รอดแผ้วพาล[1/] วลัยพร ศะศิประภา[2/] อานนท์ มลิพันธ์[1/] จิณณจาร์ หาญเศรษฐสุข[1/]
Kusuma Rodpeawpan[1/] Walaiporn Sasiprapa[2/] Anon Malipan[1/] Jinnajar Hansethasuk[1/]

Received 16 Nov 2020/Revised 12 Jan 2021/Accepted11 Mar 2021

ABSTRACT

Growth and water footprint assessment of three cassava varieties: Rayong 5, Rayong 72 and Kasetsart 50 under rainfed condition was conducted at Rayong Field Crops Research Center, Muang District, Rayong Province. Cassava were planted in April 2018 and harvested in March 2019. Texture of the soil was loamy sand and 15-7-18 chemical fertilizer was applied at the rate of 50 kg/rai. Throughout the experiment, total rainfall, crop water used water used and effective rainfall were 1,662, 360.4 and 962 mm, respectively. Results showed a rapid increase in height and canopy width at 6 months after planting (MAP). Kasetsart 50 had the highest height and canopy width of 138 and 130 cm, followed by Rayong 5. Dry weight accumulation showed a markedly increased in total mass at 4 to 8 MAP. At 4 MAP, Rayong 72 had the highest percentage of root dry weight accumulation at 68%, followed by Kasetsart 50 and Rayong 5 with 59.8 and 54.0%, respectively. At 8 MAP, Rayong 72 still had the highest accumulation up to 86.1% followed by Kasetsart 50 and Rayong 5 with 82.1%, and 76.5 %. Fresh roots yield of 3 cassava varieties showed that Rayong 72 gave the highest fresh roots yield of 5.43 ton/rai, followed by Kasetsart 50 and Rayong 5, gave fresh roots yield of 5.21 and 3.72 ton/rai, respectively. Average water footprint for 1 ton of cassava fresh roots yield was 144.1 m^3 accounting for 111.9 m^3 of green water footprint, and 32.2 m^3 of gray water footprint. In summation, it was found that Rayong 72 had the lowest water footprint of 123.5 m^3, divided into WF_{green}, WF_{blue} and WF_{grey} 95.9, 0 and 27.6 m^3, respectively, whereas Kasetsart 50 had 128.7 m^3/ton, divided into WF_{green} WF_{blue} and WF_{grey} at 99.9, 0 and 28.8 m^3/ton, respectively and Rayong 5 had the highest 180.3 m^3/ton, divided into WF_{green} WF_{blue} and WF_{grey} 140, 0 and 40.3 m^3/ton,

[1/] ศูนย์วิจัยพืชไร่ระยอง อำเภอเมือง จังหวัดระยอง 21150

[1/] Rayong Field Crops Research Center, Muang, Rayong 21150

[2/] ศูนย์เทคโนโลยีสารสนเทศและการสื่อสาร กรมวิชาการเกษตร ลาดยาว จตุจักร กรุงเทพ 10900

[2/] Information Technology and Communication Center, Department of Agriculture, Ladyao, Chatuchak, Bangkok 10900

***Corresponding author: kusuma357@gmail.com**

respectively. Results showed that cassava variety suitable for growing on loamy sand soil under rainfed condition in Rayong province was Rayong 72 because it was more efficient in using water to produce fresh root yield per ton than Rayong 5 and Kasetsart 50.

Keywords: growth, water footprint, cassava, rainfed conditions

บทคัดย่อ

การเจริญเติบโตและการประเมินค่าวอเตอร์ฟุตพรินต์ของมันสำปะหลังพันธุ์ระยอง 5 ระยอง 72 และเกษตรศาสตร์ 50 ในสภาพอาศัยน้ำฝน ดำเนินการที่ศูนย์วิจัยพืชไร่ระยอง อ.เมือง จ.ระยอง ปลูกเดือนเม.ย. 2561 เก็บเกี่ยว มี.ค. 2562 ในดินทรายปนร่วน และใส่ปุ๋ยเคมี 15-7-18 อัตรา 50 กก./ไร่ ระหว่างดำเนินการทดลอง มีปริมาณน้ำฝน ปริมาณการใช้น้ำของพืช และปริมาณฝนใช้การ 1,662, 360.45 และ 962 มม. ตามลำดับ มีอัตราการเจริญเติบโตเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วในช่วง 6 เดือนหลังปลูก โดยพันธุ์เกษตรศาสตร์ 50 มีความสูงและความกว้างทรงพุ่มสูงสุด 138 และ 130 ซม. รองลงมาคือ ระยอง 5 ส่วนน้ำหนักแห้งมวลรวมทั้งหมดเพิ่มขึ้นอย่างชัดเจนในช่วงอายุ 4 -8 เดือนหลังปลูก โดยที่อายุ 4 เดือนหลังปลูก พันธุ์ระยอง 72 มีสัดส่วนของการสะสมน้ำหนักแห้งหัวสูงสุด 68% รองลงมาคือ เกษตรศาสตร์ 50 และระยอง 5 มีสัดส่วน 59.8 และ 54.0% ตามลำดับ และที่อายุ 8 เดือนหลังปลูก ระยอง 72, เกษตรศาสตร์ 50 และระยอง 5 มีสัดส่วนการสะสมน้ำหนักแห้งที่หัวสูงสุด เป็น 86.1, 82.1 และ 76.5 % ตามลำดับ เมื่อเก็บเกี่ยวพันธุ์ระยอง 72 ให้ผลผลิตหัวสดสูงสุด 5.43 ตัน/ไร่ รองลงมาคือ เกษตรศาสตร์ 50 และระยอง 5 ให้ผลผลิตหัวสด 5.21 และ 3.72 ตัน/ไร่ ส่วนการประเมินค่าวอเตอร์ฟุตพรินท์ พบว่า ค่าเฉลี่ยของวอเตอร์ฟุตพรินท์ในการผลิตหัวสดมันสำปะหลัง 1 ตัน มีค่า 144.1 ลบ.ม. เป็นกรีนวอเตอร์ฟุตพรินท์ (WF_{green}) 111.9 ลบ.ม. และเกรย์วอเตอร์ฟุตพรินท์ (WF_{grey}) 32.2 ลบ.ม เมื่อพิจารณามันสำปะหลังแต่ละพันธุ์ พบว่า พันธุ์ระยอง 72 มีค่าวอเตอร์ฟุตพรินท์ต่ำที่สุด123.5 ลบ.ม./ตัน แบ่งเป็น WF_{green} WF_{blue} และ WF_{grey} 95.9, 0 และ 27.6 ลบ.ม ตามลำดับ เกษตรศาสตร์ 50 มีค่า 128.7 ลบ.ม./ตัน แบ่งเป็น WF_{green} WF_{blue} และ WF_{grey} 99.9, 0 และ 28.8 ลบ.ม./ตัน ตามลำดับ ขณะที่พันธุ์ระยอง 5 มีค่าวอเตอร์ฟุตพรินท์สูงสุด 180.3 ลบ.ม./ตัน แบ่งเป็น WF_{green} WF_{blue} และ WF_{grey} 140, 0 และ 40.3 ลบ.ม./ตัน ตามลำดับ ดังนั้น พันธุ์มันสำปะหลังที่เหมาะสำหรับปลูกบนดินทรายปนร่วน ในสภาพอาศัยน้ำฝน เขต จ.ระยอง คือพันธุ์ระยอง 72 เนื่องจากมีประสิทธิภาพในการใช้น้ำเพื่อผลิตหัวสด 1 ตัน มากกว่าพันธุ์ระยอง 5 และเกษตรศาสตร์ 50

คำสำคัญ: การเจริญเติบโต วอเตอร์ฟุตพรินต์ มันสำปะหลัง สภาพอาศัยน้ำฝนในการปลูก

คำนำ

การปลูกมันสำปะหลังในประเทศไทย ปีการผลิต 2561 มีพื้นที่ปลูกรวม 8.62 ล้านไร่ ให้ผลผลิต 29.37 ล้านตัน ผลผลิตเฉลี่ย 3.53 ตัน/ไร่ (สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร, 2562) มันสำปะหลังส่วนใหญ่ปลูกแบบอาศัยน้ำฝน ดิเรกและคณะ (2545) รายงานว่า ความต้องการน้ำของมันสำปะหลังที่ทำให้ได้รับผลผลิตหัวสดต่อไร่สูง 1,200-1,600 ลบ.ม./ไร่/ปี การเพาะปลูกในปัจจุบัน มีมันสำปะหลังพันธุ์ดีจำนวนมากที่แนะนำให้กับเกษตรกรปลูก แต่ส่วนใหญ่พันธุ์เหล่านั้นถูกประเมินโดยอาศัยเพียงผลผลิตและปริมาณแป้งในหัวสด ทำให้ขาดข้อมูลเกี่ยวกับลักษณะทางสรีรวิทยาอื่น ๆ เช่น อัตราการเจริญเติบโตของมันสำปะหลัง ลำต้น ใบ หัว และดัชนีการเก็บเกี่ยว ซึ่งจะช่วยทำให้เข้าใจถึงพฤติกรรมการเจริญเติบโตของพืชที่มีผลต่อผลผลิต (Banterng *et al.*, 2003) การคัดเลือกพันธุ์มันสำปะหลังให้เหมาะสมกับพื้นที่ สามารถพิจารณาจากศักยภาพ

ของดิน (สถาบันวิจัยพืชไร่และพืชทดแทนพลังงาน, 2558) พันธุ์ที่ปรับตัวกับสภาพแวดล้อมได้ดี สามารถปลูกได้ทั้งภาคตะวันออก และภาคตะวันออกเฉียงเหนือ เช่น ระยอง 5 (ศูนย์วิจัยมันสำปะหลังและผลิตภัณฑ์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี, ม.ป.ป.)

การเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศทำให้ปัญหาการขาดแคลนน้ำทวีความรุนแรงมากขึ้น แนวคิดเรื่องการนำวอเตอร์ฟุตพรินท์ (Water footprint: WF) มาประเมินปริมาณน้ำทั้งหมดที่ใช้ในกระบวนการผลิตสินค้าและบริการ ทั้งทางตรง และทางอ้อม (ลักขณาและคณะ, 2555) จะช่วยกระตุ้นให้ผู้บริโภคตระหนักถึงความสำคัญของการใช้น้ำในการผลิตสินค้าแต่ละชนิด มีการเปลี่ยนแปลงพฤติกรรมการบริโภค โดยเลือกสินค้าที่มีค่าวอเตอร์ฟุตพรินท์ต่ำ เพื่อนำไปสู่การบริโภคอย่างยั่งยืน ในส่วนของผู้ผลิต วอเตอร์ฟุตพรินท์จะช่วยสร้างภาพลักษณ์ที่ดีและจุดแข็งของบริษัท หรือผลิตภัณฑ์ เนื่องจากคำนึงถึงผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมและมีความรับผิดชอบต่อสังคม (สานิตย์ดาและคณะ, 2012; สำนักงานเศรษฐกิจอุตสาหกรรม และสถาบันอาหาร, 2558) เสริมสร้างจุดแข็งให้กับผลิตภัณฑ์และเป็นข้อได้เปรียบทางการค้า สำหรับผลิตภัณฑ์ที่มีการส่งออกไปยังประเทศที่มีมาตรการในการตระหนักถึงสิ่งแวดล้อม การจัดทำวอเตอร์ฟุตพรินท์ นำไปสู่การจัดทำฐานข้อมูลบัญชี

วอเตอร์ฟุตพรินท์ระดับชาติ สามารถใช้เป็นดัชนีชี้วัดความยั่งยืน เพื่อกำหนดนโยบายการค้าและการลงทุนทั้งในระดับประเทศ และระดับโลก (สำนักงานเศรษฐกิจอุตสาหกรรม และสถาบันอาหาร, 2558) สำหรับเกษตรกร วอเตอร์ฟุตพรินท์สามารถเป็นข้อมูลสนับสนุนการวางแผนการจัดการน้ำหรือบริเวณลุ่มน้ำ สามารถเลือกพื้นที่ในการเพาะปลูกพืช ที่มีความต้องการน้ำที่แตกต่างกันได้อย่างถูกต้อง ก่อให้เกิดการผลิตสินค้าเกษตรที่มีประสิทธิภาพ (รมณีและปุณณมี, 2554)

วอเตอร์ฟุตพรินท์ (Water Footprint, WF) ของการปลูกพืช จำแนกได้เป็น 3 ส่วน คือ (1) กรีนวอเตอร์ฟุตพรินท์ (WF_{green}) ใช้ชี้วัดปริมาณความต้องการน้ำในส่วนของปริมาณน้ำฝนที่อยู่ในรูปของความชื้นในดิน (2) บลูวอเตอร์ฟุตพรินท์ (WF_{blue}) ใช้ชี้วัดปริมาณความต้องการน้ำในส่วนของแหล่งน้ำธรรมชาติ ทั้งแหล่งน้ำผิวดินและแหล่งน้ำใต้ดิน (3) เกร์ยวอเตอร์ฟุตพรินท์ (WF_{grey}) ใช้ชี้วัดปริมาณน้ำที่ต้องการใช้ในการปรับสภาวะมลพิษในแหล่งน้ำให้อยู่ในมาตรฐานคุณภาพน้ำของแหล่งน้ำตามธรรมชาติ (สานิตย์ดาและคณะ, 2555; วราวุธ, 2559) การทดลองครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาการเจริญเติบโตและประเมินปริมาณวอเตอร์ฟุตพรินท์ของมันสำปะหลัง 3 พันธุ์ ได้แก่ ระยอง 5 ระยอง 72 และเกษตรศาสตร์ 50 ที่ปลูกดินทรายปนร่วนในสภาพอาศัยน้ำฝน จ.ระยอง

อุปกรณ์และวิธีการ

การบันทึกสภาพอากาศระหว่างดำเนินการทดลอง

ทำการบันทึกข้อมูลสภาพอากาศ ของสถานีอุตุนิยมวิทยาเกษตรห้วยโป่ง ซึ่งมีพื้นที่อยู่ร่วมกับศูนย์วิจัยพืชไร่ระยอง จ.ระยอง ในช่วงเดือน เม.ย. 2561 ถึง มี.ค. 2562 ได้แก่ วันฝนตก ปริมาณฝน อุณหภูมิต่ำสุด-สูงสุด ลม ความยาวนานของแสงแดด และน้ำระเหย

การปลูกมันสำปะหลังและการดูแลรักษา

ปลูกมันสำปะหลัง จำนวน 3 พันธุ์ ได้แก่ ระยอง 5 ระยอง 72 และเกษตรศาสตร์ 50 เมื่อวันที่ 21 เมษายน 2561 ณ ศูนย์วิจัยพืชไร่ระยอง จ.ระยอง ใช้ขนาดแปลงย่อย 10x20 ม. ใช้ระยะปลูกระหว่างแถว 100 ซม.ระยะระหว่างต้น 80 ซม. ตัดท่อนพันธุ์ยาว 20 ซม. ปักท่อนพันธุ์ลึกประมาณ 1 ใน 3 ของความยาวท่อนพันธุ์ ใส่ปุ๋ยเคมี 15-7-18 อัตรา 50 กก./ไร่ ที่อายุ 1 เดือนหลังปลูก โดยขุดหลุมกึ่งกลางระยะระหว่างต้นแล้วใส่ปุ๋ย จากนั้นพรวนดินกลบ กำจัดวัชพืชและฉีดพ่นสารเคมีป้องกันกำจัดศัตรูพืช ตามความเหมาะสม

การเจริญเติบโตของมันสำปะหลัง

บันทึกข้อมูลการเจริญเติบโตทางด้านลำต้น ได้แก่ ความสูงทรงต้น ความกว้างทรงพุ่ม จำนวน leaf scar ต่อต้น จำนวนใบต่อต้น ในช่วงอายุ 4, 6, 8, 10 และ 12 เดือนหลังปลูก ที่ต้นเดิม จำนวน 5 ต้น/พันธุ์

การสะสมน้ำหนักแห้งของมันสำปะหลัง

สุ่มเก็บตัวอย่างมันสำปะหลังที่อายุ 4 8 และ 12 เดือนหลังปลูก ในพื้นที่ 4.8 ตร.ม. นำตัวอย่างพืชแต่ละต้น แยกเป็นส่วนรากสะสมอาหาร ลำต้น ใบ และก้านใบ และนำแต่ละส่วนของพืชเข้าตู้อบที่อุณหภูมิ 60°ซ. นาน 72 ชม. จากนั้นนำมาชั่งน้ำหนักแห้ง วัดปริมาณแป้งในหัวสด ด้วยเครื่อง Reimann scale balance และทำการเก็บเกี่ยวผลผลิตหัวสดที่อายุ 12 เดือนหลังปลูก ในพื้นที่เก็บเกี่ยว 5x8 ม. เก็บตัวอย่างผลผลิตจำนวน 3 จุด/พันธุ์

การคำนวณวอเตอร์ฟุตพริ้นต์

การหาค่าส่วนประกอบวอเตอร์ฟุตพรินต์ในกระบวนการปลูกพืช สามารถคำนวณได้โดยใช้สูตร

$$WF = WF_{Green} + WF_{Blue} + WF_{Grey}$$

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

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

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

เมื่อ CWU_{green} (Green crop water use) คือ ปริมาณน้ำฝนใช้การของพืช (ลบ.ม/ไร่)

CWU_{blue} (Blue crop water use) คือ ปริมาณน้ำที่ใช้ในการผลิตพืชจากแหล่งน้ำธรรมชาติ น้ำชลประทาน (ลบ.ม/ไร่)

AR = อัตราการใช้ปุ๋ยไนโตรเจนในพื้นที่เพาะปลูก (กก./ไร่)

α = สัดส่วนของปุ๋ยไนโตรเจนจากการชะละลาย

C_{max} = ความเข้มข้นมากที่สุดที่ยอมรับได้ (กก./ลบ.ม.)

C_{nat} = ความเข้มข้นของไนโตรเจนในธรรมชาติที่พิจารณา (กก./ลบ.ม.)

Y = ผลผลิตต่อพื้นที่ (ตัน/ไร่)

โดยที่ CWU คำนวณได้จากสมการ $CWU = \sum ET_c$

$$ET_c = K_c \times ET_o$$

เมื่อ CWU = ปริมาณความต้องการน้ำของพืช (มล./วัน) ตลอดช่วงการปลูก

ET_c = ปริมาณน้ำต้องการคายระเหยภายใต้สภาวะการเจริญเติบโตในอุดมคตินับตั้งแต่วันปลูกถึงวันเก็บเกี่ยว

K_c = สัมประสิทธิ์การใช้น้ำของพืช (บัญชาและคณะ, 2553)

ET_o = การคายระเหยน้ำของพืชอ้างอิง (มล./วัน)

โดยที่ ET_o คำนวณจากสมการ

$$ET_o = Kp \times Epan$$

K_p = ค่าสัมประสิทธิ์ของอ่างวัดการระเหยขึ้นอยู่กับลักษณะการติดตั้ง (*ค่าเฉลี่ยสำหรับสถานีอุตุนิยมวิทยาเกษตรห้วยโป่ง* = 0.85)

E_{pan} = ค่าการระเหยของน้ำที่อ่านได้จากอ่างวัดการระเหยแบบ Class A pan (มม.)

สำหรับน้ำฝนใช้การ (effective rainfall; P_{eff}) คำนวณจากสูตรของ USDA

$$P_{eff} = \begin{cases} P^* (125 - 0.2 * P)/125 & \text{โดยที่ P คือ น้ำฝนรายเดือน <= 250 มม.} \\ 0.1 * P + 125 & \text{โดยที่ P คือ น้ำฝนรายเดือน > 250} \end{cases}$$

$$ET_{c\ green} = \min\ (ET_c, P_{eff})$$

ผลการทดลองและวิจารณ์

สภาพอากาศระหว่างดำเนินการทดลอง

ปริมาณน้ำฝนรวม 1,662 มม. มีจำนวนวันที่ฝนตกมีปริมาณตั้งแต่ 0.1 มม.จำนวน 146 วัน เดือน พ.ค. มีปริมาณน้ำฝนสูงสุด 416 มม. มีวันที่ฝนตก 22 วัน ส่วนอุณหภูมิสูงสุดเฉลี่ยในเดือนมี.ค. 33.4°ซ. เดือน ม.ค. อุณหภูมิต่ำสุดเฉลี่ย 22.8°ซ. ต.ค.-ก.พ. เป็นช่วงที่ความยาวของช่วงแสงสูง ระหว่าง 6.0-6.8 ชม./วัน ต่ำสุด เดือน ส.ค. 2.6 ชม./วัน

การเจริญเติบโตทางด้านลำต้น

มันสำปะหลังมีอัตราการเจริญเติบโตทางด้านความสูงเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วในช่วง 6 เดือนหลังปลูก โดยพันธุ์เกษตรศาสตร์ 50 มีความสูงมากที่สุด 138 ซม.รองลงมาคือ ระยอง 5 และระยอง 72 มีความสูง 127 และ 119 ซม. ตามลำดับ ในขณะที่หลังจาก 6 เดือนขึ้นไป การเพิ่มขึ้นของความสูงไม่เด่นชัดเมื่อเปรียบเทียบกับการเจริญเติบโตในช่วง 6 เดือนแรก (Figure 1a) ส่วนความกว้างทรงพุ่ม พบว่า มีการเจริญเติบโตเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วในช่วง 6 เดือนหลังปลูก เช่นกัน พันธุ์เกษตรศาสตร์ 50 มีความกว้างมากที่สุด 130 ซม. รองลงมาคือ ระยอง 5 และระยอง 72 มีความกว้าง 111 และ 95 ซม. ตามลำดับ และช่วง 6 -10 เดือนหลังปลูก ความกว้างทรงพุ่มลดลง (Figure 1b) เนื่องจากมีการทิ้งใบ แต่เมื่อมันสำปะหลังอายุ 12 เดือนหลังปลูก พบว่า มันสำปะหลังทั้ง 3 พันธุ์ มีความกว้างทรงพุ่มเพิ่มขึ้นเนื่องจากได้รับน้ำฝนอีกครั้ง

สำหรับจำนวนใบที่คลี่เต็มที่ยังคงอยู่ (leaf retention) พบว่า ทั้ง 3 พันธุ์ มีจำนวนใบที่คลี่เต็มที่ยังคงอยู่สูงสุด เมื่ออายุ 6 เดือนหลังปลูก (Figure 1c) พันธุ์เกษตรศาสตร์ 50 ระยอง 5 และระยอง 72 จำนวน 84 76 และ 74 ใบ ตามลำดับ และเริ่มทิ้งใบเมื่อมันสำปะหลังอายุ 8 เดือน ตรงกับเดือนธ.ค.ซึ่งเป็นช่วงฤดูแล้ง สอดคล้องกับรายงานของ วีรวัฒน์และคณะ (ม.ป.ป.) รายงานว่า มันสำปะหลังเจริญเติบโตและแตกใบได้ดีในช่วงที่มีฝนตก แต่เมื่อเข้าสู่ฤดูแล้งมันสำปะหลังจะทิ้งใบ เหลือเฉพาะตรงปลายยอด และชะงักการเจริญเติบโตตลอดฤดูแล้ง ส่วนจำนวนรอยแผลใบ (leaf scar) พบว่า พันธุ์เกษตรศาสตร์ 50 และระยอง 5 มีรอยแผลใบทั้ง 2 ลำ สูงสุด จำนวน 293 และ 230 รอย เมื่ออายุ 12 เดือนหลังปลูก (Figure 1d) ขณะที่พันธุ์ระยอง 72 มีจำนวนรอยแผลใบทั้ง 2 ลำสูงสุดเมื่ออายุ 10 เดือนหลังปลูก จำนวน 250 รอย

การสะสมน้ำหนักแห้งของมันสำปะหลัง

การสะสมน้ำหนักแห้งมวลรวมทั้งหมดของมันสำปะหลังทุกพันธุ์เพิ่มขึ้นตามอายุ (Table 1) ในช่วงอายุ 4 เดือนหลังปลูก พันธุ์ระยอง 72 มีน้ำหนักแห้งของรากสะสมอาหารสูงสุด 258 ก./ต้น มีสัดส่วนของการสะสมน้ำหนักแห้งที่รากคิดเป็น 68% รองลงมาคือ เกษตรศาสตร์ 50 และระยอง 5 มีสัดส่วน 59.7 และ 54.0% ซึ่งการสะสมน้ำหนักแห้งที่อายุ 4 เดือนหลังปลูก ส่วนใหญ่ไปยังรากสะสมอาหาร สอดคล้องกับ โอภาษและคณะ (2560) ซึ่งรายงานว่า อัตราการเจริญเติบโตของรากสะสมอาหารไม่เกี่ยวข้องกับอัตราการเจริญเติบโตทางลำต้น แต่อัตราการสะสมน้ำหนักแห้งมีความสัมพันธ์กับดัชนีพื้นที่ใบ เมื่ออายุ 8 เดือนหลังปลูก พันธุ์ระยอง 72 และเกษตรศาสตร์ 50

ให้น้ำหนักแห้งของรากสะสมอาหาร 1,364 และ 1,324 ก./ต้น ตามลำดับ และที่อายุ 12 เดือนหลังปลูก ระยอง 72 และเกษตรศาสตร์ 50 มีการสะสมน้ำหนักแห้งที่รากสะสมอาหาร 2,290 และ 2,019 ก./ต้น โดยสัดส่วนการสะสมน้ำหนักแห้งที่รากสะสมอาหารของระยอง 72 ที่อายุ 8 และ 12 เดือน มีค่าสูงสุด 86.1 และ 91.8% ตามลำดับ รองลงมา คือ เกษตรศาสตร์ 50 มีสัดส่วน 82.1 และ 82.7% ตามลำดับ ส่วนระยอง 5 ต่ำสุด 76.5 และ 78.4% ตามลำดับ (Table 1) ซึ่งเห็นได้ว่า ในช่วงอายุ 8 และ 12 เดือน เป็นช่วงที่มีการสะสมน้ำหนักแห้งที่รากสะสมอาหารสูง เนื่องจากช่วงดังกล่าว ใบเริ่มมีประสิทธิภาพเสื่อมลงก่อนการร่วงของใบ อาหารที่สะสมไว้ในใบจะถูกลำเลียงไปยังส่วนสะสมอาหารในส่วนอื่น ๆ ซึ่งมีความสอดคล้องกับการสะสมน้ำหนักแห้งของใบลดลงอย่างเด่นชัด ต่างจากพันธุ์เกษตรศาสตร์ 50 ที่ลดลงน้อยกว่าในเดือนที่ 12

ผลผลิตหัวสดต่อไร่

มันสำปะหลังพันธุ์ระยอง 72 ให้ผลผลิตหัวสดสูงสุด 5.43 ตัน/ไร่ รองลงมาคือ เกษตรศาสตร์ 50 และระยอง 5 ให้ผลผลิตหัวสด 5.21 และ 3.72 ตัน/ไร่ ตามลำดับ (Table 2) พันธุ์ระยอง 72 สามารถสะสมอาหารได้ดีกว่าเกษตรศาสตร์ 50 และระยอง 5 และการนำสารสังเคราะห์ส่วนใหญ่จะใช้ในการพัฒนาราก ส่งผลให้ผลผลิตหัวสดต่อไร่สูงสุด และผลจากการทดลองถึงแม้มันสำปะหลังพันธุ์ระยอง 72 มีความสูงและความกว้างทรงต้นต่ำสุด แต่ให้ผลผลิตไม่

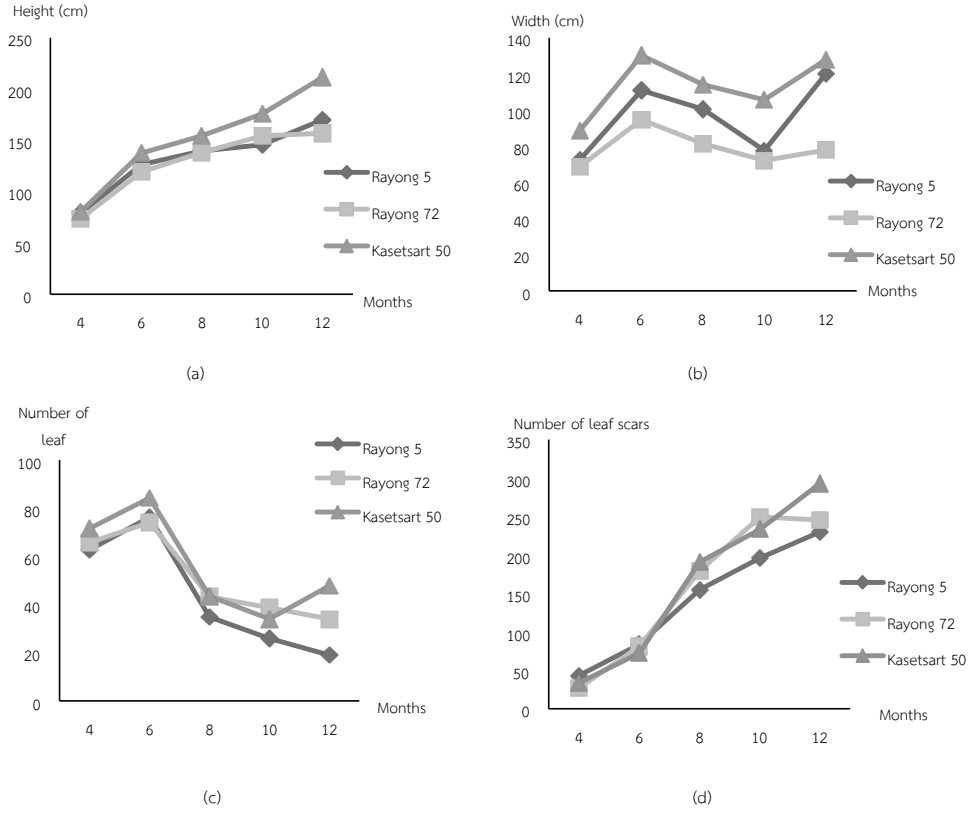

Figure 1 Changes in canopy height (a) canopy width (b) number of leafs (c) and number of leaf scars (d) of 3 cassava varieties at different months after planting at Rayong Field Crops Research Center during April 2018 - March 2019

แตกต่างกับพันธุ์เกษตรศาสตร์ 50 ที่มีความสูงและความกว้างทรงต้นสูงสุดเมื่ออายุ 10 และ 12 เดือนหลังปลูก ซึ่งสอดคล้องกับ โอภาษและคณะ (2560) พันธุ์ระยอง 72 มีดัชนีเก็บเกี่ยวสูงสุด 0.81 รองลงมาคือ พันธุ์เกษตรศาสตร์ 50 มีค่าดัชนีเก็บเกี่ยว 0.76 (Table 2)

คุณภาพผลผลิต

ปริมาณแป้งในหัวสดและผลผลิตแป้ง

พันธุ์เกษตรศาสตร์ 50 ให้ปริมาณแป้งในหัวสดสูงสุด 28.7% รองลงมาคือ ระยอง 72 และระยอง 5 ให้ปริมาณแป้ง 28.1% และ 26.5% ตามลำดับ และระยอง 72 ให้ผลผลิตแป้งสูงสุด 1,525 กก./ไร่ รองลงมาคือ เกษตรศาสตร์ 50 ให้ผลผลิตแป้ง 1,499 กก./ไร่ส่วนระยอง 5 ให้ผลผลิตแป้งต่ำสุด 990 กก./ไร่ (Table 2)

ปริมาณมันแห้งและผลผลิตมันแห้ง (มันเส้น)

เมื่อเก็บเกี่ยวพันธุ์ระยอง 72 ให้ปริมาณมันแห้งสูงสุด 44.2% รองลงมาคือ ระยอง 5 และเกษตรศาสตร์ 50 ให้ปริมาณมันแห้ง 43.3% และ 42.3% ตามลำดับ ปริมาณมันแห้งไม่ได้ขึ้นอยู่กับปัจจัยปริมาณแป้งในหัวสด เพียงอย่างเดียว โดย El-Sharkawy (2006) รายงานว่า แป้งในรากสะสมอาหารเมื่อเก็บเกี่ยวที่อายุมากกว่า 10 เดือนหลังปลูก แป้งส่วนหนึ่งในรากสะสมอาหารจะถูกเปลี่ยนเป็นคาร์โบไฮเดรตในรูปอื่น ๆ ซึ่งที่สำคัญคือ เส้นใย ดังนั้น จะพบว่าในมันสำปะหลังหลายพันธุ์เมื่อเก็บเกี่ยวที่อายุเพิ่มขึ้น แม้ว่าปริมาณแป้งในหัวสดจะลดลงอย่างเด่นชัด เมื่อเปรียบเทียบกับปริมาณมันแห้งที่ไม่ลดลง หรือไม่มีสหสัมพันธ์เชิงเส้นตรงระหว่างปริมาณแป้งกับมันแห้งเมื่อคำนวณเป็นผลผลิตมันแห้ง (มันเส้น) พบว่า พันธุ์ระยอง 72 ให้ผลผลิตมันแห้งสูงสุด 2,399 กก./ไร่ รองลงมาคือ เกษตรศาสตร์ 50 ให้ผลผลิตมันแห้ง 2,206 กก./ไร่ ส่วนระยอง 5 ให้ผลผลิตมันแห้งต่ำสุด 1,623 กก./ไร่ (Table 2)

ปริมาณการใช้น้ำของพืช (ET_c)

ปริมาณการใช้น้ำของพืชอ้างอิง (ET_o) และปริมาณการใช้น้ำของพืช (ET_c) ตลอดระยะเวลาการเจริญเติบโต พบว่า มีปริมาณการใช้น้ำของพืชอ้างอิง 1,015 มม. และปริมาณการใช้น้ำของพืช 360.4 มม. โดยมีปริมาณฝนใช้การ (P_{eff}) รวม 962 มม. ในช่วงเดือน เม.ย.ถึง มิ.ย. ส.ค. ถึง ธ.ค. และก.พ. ของการปลูกมันสำปะหลัง ปริมาณการใช้น้ำของพืชในการปลูกมันสำปะหลังมีอัตราการใช้ที่น้อยกว่าปริมาณฝนใช้การ ดังนั้น ในช่วงดังกล่าวจึงไม่ประสบปัญหาการขาดน้ำ จนกระทั่งเดือน ก.ค. ม.ค. และมี.ค. (มันสำปะหลังอายุ 4 10 และ 12 เดือนหลังปลูก) ปริมาณฝนใช้การมีปริมาณน้อยกว่าปริมาณการใช้น้ำของพืช 35.0 มม. แต่มันสำปะหลังยังสามารถเจริญเติบโตและให้ผลผลิตได้ เนื่องจากดินเก็บน้ำในลักษณะความชื้นในดิน ดังนั้น ปริมาณน้ำที่พืชใช้จริง (ET_{green}) ตลอดระยะการเจริญเติบโตเท่ากับ 325.4 มม. (Table 3)

วอเตอร์ฟุตพรินต์ของมันสำปะหลัง

กรีนวอเตอร์ฟุตพรินท์อาศัยข้อมูลที่เป็นองค์ประกอบจากค่า ET_O ET_C และค่าสัมประสิทธิ์พืช (K_C) นำมาหาความสัมพันธ์กับผลผลิต พบว่าทั้ง 3 พันธุ์ มีปริมาณน้ำที่พืชใช้เท่ากัน คือ 325.4 มม. เนื่องจากยังไม่มี K_c เฉพาะสายพันธุ์ เมื่อคำนวณเป็นค่ากรีนวอเตอร์ฟุตพรินต์ พบว่าพันธุ์ระยอง 5 มีค่ากรีนวอเตอร์ฟุตพรินท์สูงสุด 140.0 ลบ.ม./ตัน รองลงมาคือ เกษตรศาสตร์ 50 และระยอง 72 มีค่า 99.9 และ 95.9 ลบ.ม./ตัน ตามลำดับ เนื่องจากไม่มีการให้น้ำชลประทานจึงไม่มีค่าบลูวอเตอร์ฟุตพรินท์

สำหรับเกร์ยวอเตอร์ฟุตพรินต์ เป็นการหาปริมาณการใช้น้ำของพืชที่อยู่ในรูปของปริมาณน้ำ

ที่ใช้ในการเจือจางสารพิษที่เกิดขึ้นจากการใช้ปุ๋ย การคำนวณค่าเกร์ยวอเตอร์ฟุตพรินต์ในปัจจุบันมีเฉพาะการคำนวณปุ๋ยที่เป็นส่วนประกอบของไนโตรเจน ซึ่งกำหนดค่าสัมประสิทธิ์การชะล้างของสารมลพิษ 10 % ของอัตราการใช้ปุ๋ย (Chapagain *et al.*, 2006) ค่าความเข้มข้นสูงสุด (C_{max}) 5 มก./ล. ตามกำหนดมาตรฐานคุณภาพน้ำในแหล่งน้ำผิวดิน (คณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ 2537) ค่าความเข้มข้นในธรรมชาติ (C_{nat}) กำหนดให้เป็นศูนย์ เนื่องจากยังขาดข้อมูลที่เหมาะสม โดยอ้างอิงจากแนวความคิดของ Hoekstra *et al.* (2011) ดังนั้น เกร์ยวอเตอร์ฟุตพรินต์ในการผลิตมันสำปะหลังพันธุ์ระยอง 5 ระยอง 72 และเกษตรศาสตร์ 50 มีค่า 40.3, 27.6 และ 28.8 ลบ.ม./ตัน ตามลำดับ (Table 4)

วอเตอร์ฟุตพรินท์ของการผลิตมันสำปะหลังทั้ง 3 พันธุ์ สำหรับการปลูกในสภาพอาศัยน้ำฝน ประกอบด้วยผลรวมของ WF_{green} และ WF_{grey} พบว่า วอเตอร์ฟุตพรินท์ของพันธุ์ระยอง 5 มีค่าสูงสุด 180.3 ลบ.ม./ตัน รองลงมาคือ พันธุ์เกษตรศาสตร์ 50 มีค่า 128.7 ลบ.ม./ตัน ขณะที่พันธุ์ระยอง 72 มีค่าต่ำสุด 123.5 ลบ.ม./ตัน (Table 4) ผลผลิตหัวสดเป็นปัจจัยสำคัญที่ส่งผลกระทบต่อ WF_{green}, WF_{blue} และ WF_{grey} ตามสมการถ้าปริมาณผลผลิตต่อไร่สูงจะส่งผลให้ค่าวอเตอร์ฟุตพรินท์ลดลง นอกจากนี้ ปริมาณความร้อนในธรรมชาติ ซึ่งส่งผลต่อค่า ET_o และ K_c ทำให้พืชมีการใช้น้ำเพิ่มมากกว่าปกติ ซึ่งหากค่า ET_o และ K_c สูงจะส่งผลต่อค่าวอเตอร์ฟุตพรินท์ให้มีปริมาณสูงเช่นกัน (อรวิกา, 2561)

Table 1 Dry weight of cassava partitions of 3 cassava varieties at different growth stages at Rayong Field Crops Research Center planting during April 21st, 2018 - March 14th, 2019

Varieties	Growth stage (months)	Roots number	Starch content (%)	Dry weight (g/plant)				Total dry weight (g/plant)
				Stem	Root	Leaf	Stalk	
Rayong 5	4	6	26.4	93	172	41	13.0	318
	8	11	30.5	267	1,021	40	7.00	1,334
	12	11	25.8	450	1,665	8	0.2	2,123
Rayong 72	4	8	19.2	61	258	45	16.0	379
	8	10	34.0	176	1,364	35	9.00	1,583
	12	8	26.9	192	2,290	11	1.3	2,494
Kasetsart 50	4	8	16.9	67	208	56	16.0	348
	8	10	36.9	252	1,324	30	6.00	1,612
	12	14	29.1	389	2,019	26	5.00	2,440

Table 2 Number of storage roots, fresh weight and starch content of 3 cassava varieties harvested at 12 months after planting at Rayong Field Crops Research Center during April 21st, 2018 - March 14th, 2019

Varieties	Fresh roots yield (ton/rai)	Starch content (%)	Starch Yield (kg/rai)	Root dry matter content (%)	Dry matter yield (kg/rai)	Harvest index
Rayong 5	3.72	26.5	990	43.5	1,623	0.74
Rayong 72	5.43	28.1	1,525	44.2	2,399	0.81
Kasetsart 50	5.21	28.7	1,499	42.3	2,206	0.76

Table 3 Evaporation, crop coefficient (K_C), reference crop evapotranspiration (Et_O), consumptive use (Et_C), effective rainfall and green evapotranspiration (Et_{green}) at Rayong Field Crops Research Center during April 21st, 2018 and March 14th, 2019

Months	Evaporation (mm.)	K_c	Et_o (mm)	ET_o (mm)	Effective rainfall (mm.)	ET_{green} (mm)
April	36	0.26	30.4	7.91	71.7	7.91
May	88	0.38	75.0	28.50	166.6	28.50
June	120	0.49	101.9	49.92	136.7	49.92
July	119	0.60	101.2	60.70	49.3	49.25
August	107	0.56	91.3	51.13	90.3	51.13
September	104	0.47	88.2	41.44	150.1	41.44
October	100	0.35	85.0	29.76	165.2	29.76
November	106	0.26	90.3	23.47	70.8	23.47
December	125	0.20	106.1	21.22	35.0	21.22
January	112	0.16	95.0	15.21	5.1	5.06
February	104	0.19	88.2	16.76	20.0	16.76
March	74	0.23	62.8	14.44	1.0	1.00
Total	**1,195**		**1,015**	**360.45**	**962**	**325.42**

Table 4 Water Footprint of 3 cassava varieties production in rainfall condition at Rayong Field Crops Research Center during April 21st, 2018 to March 14th, 2019

Varieties	WFgreen (m^3/ton)	WFblue (m^3/ton)	WFgrey (m^3/ton)	WFtotal (m^3/ton)
Rayong 5	140.0	0	40.3	180.3
Rayong 72	95.9	0	27.6	123.5
Kasetsart 50	99.9	0	28.8	128.7

การศึกษาวอเตอร์ฟุตพรินท์มีจุดมุ่งหมายเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการใช้น้ำในการผลิตสินค้า ผลิตภัณฑ์ และงานบริการต่าง ๆ เพื่อให้มีการผลิตอย่างยั่งยืนจากการใช้น้ำที่มีประสิทธิภาพ ดังนั้น การเพิ่มประสิทธิภาพการใช้น้ำ หรือการลดวอเตอร์ฟุตพรินท์ คือ การเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตในภาคการเกษตร ซึ่งมีปัจจัยที่เกี่ยวข้องหลายปัจจัย ตั้งแต่การคัดเลือกพันธุ์ หรือการใช้พันธุ์ที่เหมาะสมกับพื้นที่ ผลจากการทดลอง พบว่า พันธุ์ระยอง 72 เหมาะสำหรับปลูกบนดินทรายปนร่วนในสภาพอาศัยน้ำฝน จ.ระยอง เนื่องจากมีค่าวอเตอร์ฟุตพรินท์ต่ำสุด แสดงว่า มันสำปะหลังพันธุ์ระยอง 72 มีประสิทธิภาพในการใช้น้ำเพื่อผลิตหัวสด 1 ตัน มากกว่าพันธุ์ระยอง 5 และเกษตรศาสตร์ 50 การเลือกช่วงเวลาปลูกที่เหมาะสม เพื่อลดความเสี่ยงจากการขาดน้ำในช่วงวิกฤติของการเจริญเติบโตของมันสำปะหลังที่มีความต้องการน้ำมาก หรือการจัดการให้น้ำอย่างมีประสิทธิภาพ โดยคำนึงถึงระบบให้น้ำ สานิตย์ดาและคณะ (2555) ได้ศึกษาค่าวอเตอร์ฟุตพรินท์ของการปลูกอ้อยและมันสำปะหลังสำหรับการผลิตเอทานอลในภาคตะวันออกของประเทศไทย พบว่า ค่าวอเตอร์ฟุตพรินท์

เฉลี่ยของอ้อยเท่ากับ 192 ลบ.ม./ตัน ส่วนมันสำปะหลังมีค่าวอเตอร์ฟุตพรินท์เฉลี่ย 448 ลบ.ม./ตัน เมื่อพิจารณาสัดส่วนของการใช้น้ำจะพบว่าน้ำฝนยังเป็นปัจจัยสำคัญในการเพาะปลูกอ้อยและมันสำปะหลัง ผลการศึกษานี้อาจเป็นประโยชน์สำหรับการวางแผนเพื่อจัดการน้ำ และจัดสรรน้ำในประเทศได้อย่างเหมาะสม นอกจากนี้การจัดการดินที่เหมาะสมเพื่อเพิ่มผลผลิต หรือการให้ปุ๋ยเคมีตามผลวิเคราะห์ดินเพื่อให้การใช้ปุ๋ยเคมีมีประสิทธิภาพสูงสุด โดยเฉพาะปุ๋ยไนโตรเจนที่นำมาใช้ในการคำนวณ WFgrey รวมถึงการใช้ปุ๋ยที่พืชสามารถดูดซึมไปใช้ได้ง่าย โดยมีปุ๋ยตกค้างในดินน้อย ได้แก่ ปุ๋ยอินทรีย์ สามารถลดค่าเกร์ยวอเตอร์ฟุตพรินท์ได้ (Gheewala *et al.* 2014; สานิตย์ดา และคณะ 2555)

สรุปผลการทดลอง

มันสำปะหลังพันธุ์ระยอง 5 ระยอง 72 และเกษตรศาสตร์ 50 มีอัตราการเจริญเติบโตทางด้านความสูงและความกว้างทรงพุ่มเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วในช่วง 6 เดือนหลังปลูก โดยพันธุ์เกษตรศาสตร์ 50 มีความสูงและความกว้างทรงพุ่มสูงสุด การสะสมน้ำหนักแห้งมวลรวมทั้งหมดเพิ่มขึ้นอย่างเด่นชัดในช่วงอายุ 4 เดือนหลังปลูก พันธุ์ระยอง 72 มีสัดส่วนของการสะสมน้ำหนักแห้งที่รากสะสมอาหารสูงสุด 68% รองลงมาคือ เกษตรศาสตร์ 50 และระยอง 5 ช่วงอายุ 8 เดือนหลังปลูก พันธุ์ระยอง 72 เกษตรศาสตร์ 50 และระยอง 5 มีสัดส่วนการสะสมน้ำหนักแห้งที่รากสะสมอาหาร 86.1, 82.1 และ 76.5% ตามลำดับ ขณะที่ค่าวอเตอร์ฟุตพรินท์ของการผลิตหัวสดมันสำปะหลังพันธุ์ระยอง 5 ระยอง 72 และเกษตรศาสตร์ 50 จำนวน 1 ตัน บนดินทรายปนร่วน จ.ระยอง ในสภาพการปลูกที่อาศัยน้ำฝน มีค่าวอเตอร์ฟุตพรินท์เฉลี่ย 144.2 ลบ.ม./ตัน โดยพันธุ์ระยอง 5 มีค่าวอเตอร์ฟุตพรินท์สูงสุด 180.3 ลบ.ม./ตัน รองลงมาคือ เกษตรศาสตร์ 50 มีค่าวอเตอร์ฟุตพรินท์ 128.7 ลบ.ม./ตัน ขณะที่พันธุ์ระยอง 72 มีค่าวอเตอร์ฟุตพรินท์ต่ำที่สุด 123.5 ลบ.ม./ตัน ดังนั้น พันธุ์มันสำปะหลังที่เหมาะสำหรับปลูกบนดินทรายปนร่วนในสภาพอาศัยน้ำฝน จ.ระยอง คือพันธุ์ระยอง 72 เนื่องจากมีประสิทธิภาพในการใช้น้ำเพื่อผลิตหัวสด 1 ตัน มากกว่าพันธุ์ระยอง 5 และเกษตรศาสตร์ 50

เอกสารอ้างอิง

คณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ. 2537. กำหนดมาตรฐานคุณภาพน้ำในแหล่งน้ำผิวดิน. แหล่งข้อมูล : http://slbkb.psu.ac.th/jspui/handle/2558/2373. สืบค้น: 20 เมษายน 2563.

ดิเรก ทองอร่าม วิทยา ก่อตั้งสกุล นาวี จิระชีวี และอิทธิสุนทร นันทกิจ. 2545. *การออกแบบและเทคโนโลยี การให้น้ำแก่พืช*. มิตรเกษตรการตลาดและโฆษณา กรุงเทพฯ. 470 หน้า.

บัญชา ขวัญยืน ปริวัตร น้ำค้าง วัลลภ ภู่ทองสุข และศุภกิจ ตันวิบูลย์ศักดิ์. 2553. การศึกษาหาสัมประสิทธิ์การใช้น้ำของมันสำปะหลังในประเทศไทย. หน้า 274-281. *ใน: การประชุมวิชาการสมาคมวิศวกรรมเกษตรแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 11*. 6-7 พฤษภาคม 2553, นครปฐม.

รมณี วังเมือง และปุณณมี สัจจกมล. 2554. ร่องรอยการใช้น้ำในอุตสาหกรรมแป้งข้าว หน้า 722-726.*ใน: การประชุมวิชาการข่ายงานวิศวกรรมอุตสาหการ ประจำปี 2554, 20-21 ตุลาคม 2554*. กรุงเทพฯ.

ลักขณา เจริญสุข รัตชยุดา กองบุญ และเศรษฐ์ สัมภัตตะกุล. 2555. การวิเคราะห์วอเตอร์ฟุตพรินต์ของปาล์มน้ำมันสำหรับผลิตไบโอดีเซลในประเทศไทย. หน้า 1- 11. *ใน: การประชุมวิชาการและนำเสนอผลงานทางวิศวกรรม นวัตกรรมและการจัดการอุตสาหกรรมอย่างยั่งยืน ครั้งที่ 1 ประจำปี 2555*. มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ เชียงใหม่.

วราวุธ วุฒิวณิชย์. 2559. Water Footprint นวัตกรรมเพื่อปลุกจิตสำนึกคนให้รู้คุณค่าทรัพยากรน้ำ. แหล่งข้อมูล : http://irre.

ku.ac.th/otpaper/pdf/Water%20Footprint-vv.pdf. สืบค้น:20 เมษายน 2563.

วีรวัฒน์ นิลรัตนคุณ วรยุทธ ศิริชุมพันธ์ และโอภาษ บุญเส็ง. ม.ป.ป. ผลของระยะปลูกและอายุเก็บเกี่ยวของมันสำปะหลังพันธุ์ต่าง ๆ ที่มีต่อผลผลิต และปริมาณแป้งมันสำปะหลัง. แหล่งข้อมูล : http://nsfcrc-news.blogspot.com/2017/07/. สืบค้น:20 เมษายน 2563.

ศูนย์วิจัยมันสำปะหลังและผลิตภัณฑ์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี. ม.ป.ป.. มันสำปะหลังพันธุ์ต่าง ๆ. แหล่งข้อมูล : http://web.sut.ac.th/cassava/?name=1cas__source/cas__source/. สืบค้น:20 เมษายน 2563.

สถาบันวิจัยพืชไร่และพืชทดแทนพลังงาน. 2558. *การเพิ่มประสิทธิภาพมันสำปะหลัง.* กรมวิชาการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์. 82 หน้า.

สานิตย์ดา เตียวต๋อย ชลิตา สุวรรณ และธณัฏฐ์ยศ สมใจ. 2555. วอเตอร์ฟุตพรินต์ของอ้อยและมันสำปะหลังสำหรับการผลิตเอทานอลในภาคตะวันออก ประเทศไทย. *ว. สมาคมวิศวกรรมเกษตรแห่งประเทศไทย* 18 (1): 69–75.

สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร. 2562. *สถิติการเกษตรของประเทศไทย ปี 2561*. กระทรวงเกษตรและสหกรณ์ กรุงเทพฯ. 214 หน้า.

สำนักงานเศรษฐกิจอุตสาหกรรม และสถาบันอาหาร. 2558. *แนวทางการประเมิน Water Footprint ผลิตภัณฑ์สำหรับอุตสาหกรรมอาหาร*. สถาบันอาหาร กระทรวงอุตสาหกรรม กรุงเทพฯ. 137 หน้า.

โอภาษ บุญเส็ง กนกพร ไตรวิทยากร ศุภจิต สระเพชร และสุขุมาล หวานแก้ว. 2560. *รายงานการวิจัยพัฒนาและวิศวกรรม ฉบับสมบูรณ์การประเมินเชื้อพันธุกรรมมันสำปะหลังและศึกษาลักษณะทางสัณฐานวิทยาและสรีรวิทยาที่เกี่ยวข้องกับการให้ผลผลิตสูงของมันสำปะหลัง*. ทุนวิจัยจากเครือข่ายองค์กรบริหารงานวิจัยแห่งชาติ (คอบช) สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ (วช). 212 หน้า.

อรวิกา ศรีทอง. 2561. การศึกษาวอเตอร์ฟุตพรินต์ของข้าวในเขตจังหวัดสุพรรณบุรี. *ว. วิศวกรรมศาสตร์ราชมงคลธัญบุรี* 16 (1): 23-32

Banterng, P., A. Patanothai, K. Pannangpetch, S. Jogloy, and G. Hoogenboom. 2003. Seasonal variation in the dynamic growth and development traits of peanut lines. *J. Agri. Sci.* 141 (1):51-62.

Chapagain, A. K., A. Y. Hoekstra, H. H. G. Savenije and R. Gauta. 2006. The water footprint of cotton consumption:an assessment of the impact of worldwide consumption of cotton products on the water resources in the cotton producing countries. *Ecol. Econ*. 60: 186-203.

Hoekstra, A. Y., A. K. Chapagain, M. M. Aldaya and M. M. Mekonnen. 2011. *The Water Footprint Assessment Manual*: Setting the Global Standard. Earthscan. Washington, DC: 203 p.

El-Sharkawy, M.A.. 2006. International research on cassava photosynthesis, productivity, eco-physiology, and responses to environmental stresses in the tropics. *Photosynthetica. 44* (4): 481-512.

Gheewala, S.H., T. Silatertruksa, P. Nilsalab, R. Mungkung, SR. Perret and N. Chaiyawannakarn. 2014. Water footprint and impact of water consumption for food, feed, fuel crops production in Thailand. *Water*. 6(6): 1698-1718.