การวิเคราะห์วอเตอร์ฟุตพริ้นท์ของมันสำปะหลังในแปลงเกษตรกร
Assessment of Cassava Water Footprint in Farmers' Fields

วลัยพร ศะศิประภา[1/*] กุสุมา รอดแผ้วพาล[2/] โสภิตา สมคิด[3/] รวีวรรณ เชื้อกิตติศักดิ์[4/]
ดรุณี เพ็งฤกษ์[5/] ปฐมพงษ์ วงศ์สุวรรณ์[1/] เบญมาศ คำสีบ[6/] อานนท์ มลิพันธ์[2/]
Walaiporn Sasiprapa[1/] Kusuma Rodpawpan[2/] Sopita Somkid [3/] Raweewan Chuekittisak [4/]
Darunee Pangluak[5/] Prathompong Wongsuwan[1/] Benjamas Kumsueb[6/] Anon Malipan[2/]

Received 8 Mar. 2022/Revised 24 Jun. 2022/Accepted 13 Jul. 2022

ABSTRACT

Water footprint is used as a tool to measure both direct and indirect water uses by crops or products. Cassava fresh root yield has a wide range of uses in many local downstream industries. Water footprint (WF) of cassava had mostly been reported from secondary data-due to limited availability of field-based publication. WF of cassava fresh root yield in farmer's fields was investigated from 4 consecutive growing seasons from 2017/18 to 2020/21 in 26 provinces. Results showed that WF varies for each region due to differences in soils, weather and management. Most cassava were grown under rainfed conditions and KU50, R5 R72 and R11 were the major cultivars. The growing season started from March to May, earlier in eastern region and later in the northern region, thus varied from 10.4 to 19 months long. The average fertilizer application rate was 7.2 kg.N/rai The average yield was 4.1 ton/rai. Average yield from Udon Thani province was the highest at 6.5 ton/rai and Pitsanulok was the lowest at 2.9 ton/rai. The WF assessment showed that water uses per 1 ton of fresh root product was 268 m^3 whereas 226 m^3 is WF_{green} and 42 m^3 is WP_{grey}. Uthai Thani province was the highest at 402 m^3 and Udon Thani was the lowest at 138 m^3. The water footprint was found to be positively correlated with the amount of fertilizer used but was the opposite for cassava fresh root yield. The month of the year at harvest, number of months after planting and planting year tend to increase water footprint, whereas cultivar was not found to be related to water footprint.

Keywords: water footprint, cassava, yield

[1/] ศูนย์เทคโนโลยีสารสนเทศและการสื่อสาร กรมวิชาการเกษตร 50 ถ.พหลโยธิน จตุจักร กรุงเทพ 10900
[1/] Information and Communication Technology Center, Department of Agriculture, 50 Phaholyothin Rd. Chatuchak Bangkok. 10900
[2/] ศูนย์วิจัยพืชไร่ระยอง ต.ห้วยโป่ง อ. เมือง จ. ระยอง 21150
[2/] Rayong Field Crop Research Center, Mueang, Rayong 21150
[3/] สำนักวิจัยและพัฒนาการเกษตรเขตที่ 4 อ. สว่างวีระวงศ์ จ. อุบลราชธานี 34190
[3/] Office of Agricultural Research and Development Region 4. Sawang Wirawong, Ubon Ratchathani 34190
[4/] ศูนย์วิจัยพืชไร่ขอนแก่น อ.เมือง จ.ขอนแก่น 40000
[4/] Khonkaen Field Crop Research Center. Mueang, Khon Kaen 40000
[5/] ศูนย์วิจัยและพัฒนาการเกษตรพิจิตร อ. เมือง จ.พิจิตร 66000
[5/] Phichit Agricultural Research and Development Center. Mueang, Phichit 66000
***Corresponding author : swalaiporn@hotmail.com**

บทคัดย่อ

การบริหารจัดการน้ำโดยใช้แนวคิดวอเตอร์ฟุตพริ้นท์เข้ามามีบทบาทมากขึ้น เป็นตัวชี้วัดปริมาณการใช้น้ำทั้งทางตรงและทางอ้อม มันสำปะหลังเป็นต้นน้ำของอุตสาหกรรมหลายประเภท มีการเผยแพร่ผลการศึกษาวอเตอร์ฟุตพริ้นท์จากข้อมูลมือสองเป็นหลัก การศึกษาในระดับแปลงเกษตรกรยังมีจำกัด จึงดำเนินการศึกษาเพื่อวิเคราะห์ค่าวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ของมันสำปะหลัง 1 ตันหัวสด จากการรวมรวมข้อมูลในแปลงเกษตรกรระหว่างฤดูกาลผลิต 2560/61 - 2563/64 ใน 26 จังหวัดหลักที่ปลูกมันสำปะหลัง พบว่าค่าวอเตอร์ฟุตพริ้นท์มีความแตกต่างกันในแต่ละพื้นที่ เนื่องมาจากสภาพดินฟ้าอากาศ และการจัดการ การปลูกมันสำปะหลังของเกษตรกรส่วนใหญ่อาศัยน้ำฝน พันธุ์ที่นิยมปลูกได้แก่ เกษตรศาสตร์ 50 ระยอง 5 ระยอง 72 ระยอง 11 ส่วนใหญ่ปลูกช่วงเดือนมีนาคมถึงพฤษภาคม ภาคตะวันออกปลูกได้เร็วกว่าขณะที่ภาคเหนือปลูกล่าช้ากว่า ระยะเวลาปลูกจนถึงเก็บเกี่ยวเฉลี่ย 10.4 เดือน สูงสุด 19 เดือน เกษตรกรใช้ปุ๋ยไนโตรเจนเฉลี่ย 7.2 กก.N/ไร่ ผลผลิตมันสำปะหลังหัวสดเฉลี่ย 4.1 ตัน/ไร่ จ. อุดรธานี ให้ผลผลิตเฉลี่ยสูงสุด 6.5 ตัน/ไร่ และ จ. พิษณุโลก ให้ผลผลิตเฉลี่ยต่ำสุด 2.9 ตัน/ไร่ สามารถประมาณค่าวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ของมันสำปะหลังหัวสดเฉลี่ย 268 ลบ.ม./ตันหัวสด แยกเป็นค่ากรีนวอเตอร์ฟุตพริ้นท์เฉลี่ย 226 ลบ.ม./ตัน และค่าเกรย์วอเตอร์ฟุตพริ้นท์เฉลี่ย 42 ลบ.ม./ตัน สูงสุดที่ จ. อุทัยธานี 402 ลบ.ม./ตัน ต่ำสุดที่ จ. อุดรธานี 138 ลบ.ม./ตัน วอเตอร์ฟุตพริ้นท์มีความสัมพันธ์ทางบวกกับปริมาณการใช้ปุ๋ย แต่ตรงข้ามกับผลผลิต ส่วนช่วงเดือนเก็บเกี่ยว อายุเก็บเกี่ยวและปีการเพาะปลูก มีแนวโน้มให้วอเตอร์ฟุตพริ้นท์สูงขึ้น ส่วนพันธุ์ไม่พบความสัมพันธ์กับวอเตอร์ฟุตพริ้นท์

คำสำคัญ: วอเตอร์ฟุตพริ้นท์, มันสำปะหลัง, ผลผลิต

บทนำ

ประเทศไทยเป็นผู้ส่งออกผลิตภัณฑ์มันสำปะหลังรายใหญ่ที่สุดของโลก โดยมีส่วนแบ่งในตลาดส่งออกแป้งมันสำปะหลังดิบ 80% มันเส้น 57% และแป้งมันสำปะหลังดัดแปร 30% จากวัตถุดิบในประเทศ 88.6% ใช้ผลิตเพื่อบริโภคภายในประเทศ 36% ที่เหลือส่งออก (ชัยวัฒน์, 2563) ในปี พ.ศ. 2563 มีเกษตรกรผู้ปลูกมันสำปะหลังประมาณ 5.2 แสนครัวเรือน พื้นที่เพาะปลูก 9.4 ล้านไร่ ผลผลิต 28.9 ล้านตัน (สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร, 2564) จากการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศส่งผลกระทบต่อภาคการเกษตร ทำให้ผลผลิตมันสำปะหลังลดลง เนื่องจากการปลูกล่าช้า อายุปลูกสั้นลง ดังนั้น การบริหารจัดการน้ำเพื่อให้การปลูกพืชได้ใช้น้ำที่มีอยู่ได้อย่างมีประสิทธิภาพ จึงนำวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ (water footprint: WF) มาเป็นเครื่องมือในการวัดการใช้น้ำทั้งทางตรงและทางอ้อม โดยคำนวณปริมาณน้ำจากผลรวมของทุกขั้นตอนตลอดโซ่ของการผลิต ซึ่งในหลายประเทศได้นำค่าวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ในการผลิตพืชและผลิตภัณฑ์มาเป็นเครื่องมือกีดกันทางการค้า ประกอบกับผลผลิตมันสำปะหลังของไทยเป็นต้นน้ำของอุตสาหกรรมหลายประเภท ข้อมูลที่ได้จะเป็นข้อมูลต้นน้ำสำหรับอุตสาหกรรมที่เกี่ยวเนื่องต่อไป

การศึกษาวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ในการผลิตมันสำปะหลังส่วนใหญ่จะใช้ข้อมูลมือสอง เช่น มันสำปะหลังของโลก จะคำนวณค่าวอเตอร์ฟุตพริ้นท์แยกเป็นกรีน บลู และเกรย์ 550, 0 และ 13 ลบ.ม./ตัน ตามลำดับ (Mekonnen and Hoekstra, 2011) Namchancharoen *et al.* (2015) ประมาณค่าจากการปลูกวันที่ 1 พ.ค. แบบอาศัยน้ำฝนมี WF 256 ลบ.ม./ตัน แยกเป็นกรีน บลู และเกรย์ 178, 0 และ 78 ลบ.ม./ตัน ตามลำดับ ขณะที่ อนัตยา และคณะ (2557) รายงานค่า WF ของมันสำปะหลัง จ. ลพบุรี มีค่า 430 ลบ.ม./ตัน แยกเป็นกรีนและเกรย์ 333 และ 97 ลบ.ม./ตัน ตามลำดับ นอกจากนี้ ชินาธิปกรณ์ และธำรงรัตน์ (2554)

รายงานว่า มันสำปะหลังมี WF 599.4 ลบ.ม./ตัน Babel *et al.* (2011) รายงาน WF ของมันสำปะหลังในเขตลุ่มน้ำคลองโพธิ์ จ.ระยอง มีค่า 435 ลบ.ม./ตัน จากผลผลิตเฉลี่ย 3.78 ตัน/ไร่ ในขณะที่ Kongboon and Sampattagul (2012) ได้วิเคราะห์ในเขตภาคเหนือของไทย พบว่า WF มีค่า 509 ลบ.ม./ตัน สูงสุดและต่ำสุด ที่ จ. อุทัยธานี และกำแพงเพชร มีค่า 547 ลบ.ม./ตัน และ 451 ลบ.ม./ตัน ตามลำดับ สานิตย์ดา และคณะ (2555) รายงานการศึกษาของภาคตะวันออก ได้แก่ จ. จันทบุรี ฉะเชิงเทรา ชลบุรี ปราจีนบุรี ระยอง และสระแก้ว พบว่า มี WF อยู่ระหว่าง 395-468 ลบ.ม./ตัน หรือเฉลี่ย 448 ลบ.ม./ตัน เมื่อเปรียบเทียบกับผู้ผลิตมันสำปะหลังรายใหญ่ในต่างประเทศ พบว่า ไนจีเรีย บราซิล คองโก และอินโดนีเซีย มีค่า WF 578, 610, 769 และ 502 ลบ.ม./ตัน ตามลำดับ ขณะที่ประเทศไทยมี WF 409-455 ลบ.ม./ตัน (Kaenchan and Gheewala, 2013) อย่างไรก็ตาม การประเมินมีความแตกต่างในเรื่องที่มาและช่วงเวลาของข้อมูล ถึงแม้ค่า WF จะเป็นมาตรฐานภาคสมัครใจ แต่การศึกษาข้อมูลในระดับแปลงคงมีความจำเป็น ที่ต้องให้ได้มาซึ่งข้อมูลจากสภาพจริงในการผลิตมันสำปะหลังของประเทศ ทำให้เกิดความเข้าใจและนำข้อมูลมาประกอบการตัดสินใจเกี่ยวกับการจัดการน้ำที่เหมาะสม เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการใช้น้ำในการผลิตสินค้าและผลิตภัณฑ์อย่างยั่งยืน

อุปกรณ์และวิธีการ

การสำรวจและรวบรวมข้อมูล

ทำการสำรวจพื้นที่ปลูกมันสำปะหลัง ตามสัดส่วนของพื้นที่เพาะปลูกปี พ.ศ. 2559 ในจังหวัดที่ปลูกมันสำปะหลังมากกว่า 100,000 ไร่ขึ้นไป จำนวน 26 จังหวัด ได้แก่ จ. นครราชสีมา อุบลราชธานี บุรีรัมย์ ศรีสะเกษ มหาสารคาม สุรินทร์ เลย ชัยภูมิ อุดรธานี กาฬสินธุ์ ขอนแก่น สกลนคร มุกดาหาร กาญจนบุรี นครสวรรค์ ลพบุรี อุทัยธานี สระแก้ว ชลบุรี ฉะเชิงเทรา จันทบุรี ปราจีนบุรี กำแพงเพชร เพชรบูรณ์ ตาก และพิษณุโลก (สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร, 2560) และเก็บรวบรวมข้อมูลโดยใช้แบบสัมภาษณ์ ประกอบด้วย การใช้พันธุ์มันสำปะหลัง เนื้อดิน การเตรียมดิน การปลูก การใช้ปัจจัยการผลิตทางเกษตร การดูแลรักษา การให้น้ำ การเก็บเกี่ยว และผลผลิตหัวสด/ไร่ รวมทั้งวันที่เกี่ยวข้องของปีเพาะปลูก 2560/61 - 2563/46 รวม 4 ฤดูกาลผลิต รวบรวมข้อมูลภูมิอากาศจากสถานีอุตุนิยมวิทยาในพื้นที่หรือใกล้เคียงของปี พ.ศ. 2560-2564

การคำนวณวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ของมันสำปะหลัง

คำนวณวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ของมันสำปะหลังต่อผลผลิตหัวสด 1 ตัน รายแปลง ตามแนวทางของ Hoekstra *et al.* (2011) แยกเป็นส่วน green water footprint (WF_{green}) หรือปริมาณความต้องการน้ำในส่วนของปริมาณน้ำฝนที่อยู่ในรูปของความชื้นในดิน blue water footprint (WF_{blue}) หรือปริมาณน้ำชลประทาน และ grey water footprint (WF_{grey}) หรือปริมาณน้ำที่ต้องใช้ในการชะละลายมลพิษให้อยู่ในมาตรฐานตามธรรมชาติ จากสูตร

$$WF = WF_{green} + WF_{blue} + WF_{grey}$$

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 (กก./ไร่) สำหรับปุ๋ยมูลสัตว์ และปุ๋ยอินทรีย์คิดปริมาณไนโตรเจนตามประภาศรี และคณะ (2548)

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

C_{nat} ความเข้มข้นของไนโตรเจนในธรรมชาติ

Y ผลผลิต

สำหรับความต้องการใช้น้ำตลอดช่วงปลูก (crop water requirement; CWU) คำนวณได้จากสูตร $\sum ET_c$

ซึ่ง $ET_c = K_s \times K_c \times ET_0$

$CWU = \sum ET_c$ หรือผลรวมการคายน้ำของพืชตลอดช่วงปลูก

K_s คือ ผลกระทบที่เกิดจากการขาดน้ำต่อกระบวนการคายน้ำของพืช มีค่า 1

K_c หรือ ค่าสัมประสิทธิ์การใช้น้ำของมันสำปะหลังของบัญชา และคณะ (2553)

ET_0 หรือ ศักย์การคายระเหยของพืช (potential evapotranspiration) คำนวณด้วยวิธี A-pan method ปรับด้วยค่าสัมประสิทธิ์ของถาดวัดการระเหย (Richard *et.al,* 1998) จากสถานีอุตุนิยมวิทยาในจังหวัดนั้นหรือที่อยู่ใกล้เคียง

สำหรับฝนใช้การ (effective rainfall; P_{eff}) ใช้สูตร USDA soil conservation service :

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

$ET_{c\ green} = \min (ET_c, P_{eff})$ กรณีปลูกแบบอาศัยน้ำฝน มีค่า ET_c (Hoekstra *et al.* 2011)

$ET_{c\ blue} = \max (0, ET_c - P_{eff})$ กรณีปลูกแบบอาศัยน้ำฝน มีค่า 0 (Hoekstra *et al.* 2011)

ผลการทดลองและวิจารณ์

พันธุ์มันสำปะหลัง

พันธุ์มันสำปะหลังที่ใช้ในแต่ละแหล่งปลูกมีความหลากหลาย พบว่า เกษตรกรใช้พันธุ์มันสำปะหลังทั้งพันธุ์ที่ผ่านการรับรองจากกรมวิชาการเกษตร และไม่ได้ผ่านการรับรองพันธุ์ เช่น สายพันธุ์ CMR33-38-48 CMR36-55-166 และ CMR43-08-89 เป็นต้น เมื่อพิจารณาจากสัดส่วนพื้นที่ ภาคตะวันออกเฉียงเหนือตอนบนเกษตรกรส่วนใหญ่ปลูกพันธุ์เกษตรศาสตร์ 50 รองลงมา ได้แก่ ระยอง 72 ภาคตะวันออกเฉียงเหนือตอนล่างนิยมปลูกพันธุ์ระยอง 72 ภาคกลางนิยมปลูกพันธุ์ระยอง 5 รองลงมา ได้แก่ เกษตรศาสตร์ 50 ขณะที่ภาคตะวันออกเกษตรกรนิยมปลูกเกษตรศาสตร์ 50 รองลงมา ได้แก่ ระยอง 9 (Table 1) ส่วนภาคเหนือนิยมปลูกพันธุ์เกษตรศาสตร์ 50 รองมาเป็นระยอง 11 แต่หลายพื้นที่ไม่ทราบชื่อพันธุ์ที่แน่ชัด เนื่องจากเกษตรกรตั้งชื่อพันธุ์กันเอง การใช้พันธุ์ในช่วงปี 2560/61-2563/64 ไม่แตกต่างกันมากนัก ทั้งนี้ช่วงปี 2563/64 ของการศึกษามีการระบาดของโรคใบด่างมันสำปะหลัง จึงทำให้มีการเคลื่อนย้ายท่อนพันธุ์จำกัด และระมัดระวังเรื่องแหล่งที่มาของท่อนพันธุ์ การใช้ท่อนพันธุ์ของเกษตรกรจึงไม่ค่อยเปลี่ยนแปลงมาก แต่พบว่า เกษตรกรมักจะหาพันธุ์ใหม่ ๆ มาปลูกกันเอง

ช่วงปลูกและเก็บเกี่ยว

การปลูกในสภาพอาศัยน้ำฝนขึ้นอยู่กับช่วงเวลาฝนตกในแต่ละแหล่ง พบว่า ส่วนใหญ่เกษตรกรปลูกมันสำปะหลังในช่วงเดือนมีนาคมถึงพฤษภาคม โดยภาคตะวันออกปลูกได้เร็วกว่าพื้นที่อื่น ๆ ประมาณเดือนกุมภาพันธ์-มีนาคม (Table 2) เกษตรกรจะรอให้มีปริมาณฝนเพียงพอก่อนจึงจะทำการปลูก ภาคเหนือจะปลูกล่าช้ากว่าภาคอื่น ๆ เนื่องจากฝนมาล่าช้า และการปลูกหลังเก็บเกี่ยวสามารถปลูกได้บางพื้นที่ที่มีฝนปลายปีกระจายดีเท่านั้น การตกของฝนมีผลต่อช่วงเวลาการเริ่มต้นฤดูปลูกในทุกพื้นที่ จากการสำรวจพบว่า ร้อยละ 1 ในปีแรกของการผลิตจะต้องให้น้ำแบบน้ำหยดหรือสปริงเกอร์ และประสบปัญหาการแย่งน้ำที่มีจำกัด ขณะที่บางพื้นที่มีน้ำมากจนเกิดปัญหาหัวมันเน่า ทำให้ผลผลิตลดลง จากการเพิ่มขึ้นของผลผลิตและต้นทุนที่ใช้ในการให้น้ำของเกษตรกรไม่สอดคล้องกัน ทำให้การให้น้ำหยดที่เคยได้รับ

Table 1 Percentage of cassava varieties used for planting in each province during 2017/18-2020/21 growing season

Province	Cassava variety*								
	R5	R72	R9	R11	R13	KU50	HB60	HB80	others
Nakhon Ratchasima		35				15.7	0.25	0.18	49.3
Ubon Ratchathani		96							4.36
Buri Ram		34							65.8
Si Sa Ket		100							
Maha Sarakham		11				31.7			57.2
Surin	31	42	1.6					13.2	12.9
Chaiyaphum	3	31		1		42.2	1.13	0.69	21.2
Loei	6	4.1		1		23.1			66.3
Udon Thani		1	3.6	27		13.7	13.5	29.6	11.3
Kalasin		19				8.08	12.5	22.9	37.8
Khon Kaen		57	2	16	9.1	13			3.64
Sakon Nakhon						100			
Mukdahan				88					12.5
Kanchanaburi	8	8.5		11	3.1	25.9	26	3.64	13.7
Nakhon Sawan	5	3	10	49	5.1	7.45		1.06	18.8
Lop Buri	0.1	33		1			4.14	1.61	59.6
Uthai Thani	29	11	3.7	5	2.8	3.31	3.91	2.25	39.7
Sa Kaeo	1	22	4.2	2	0.6	27.4	1.17	8.01	34
Chon Buri	8	1.3	38	3	0.1	15.6	2.53	15.3	16.4
Chachoengsao	19	6.5	9.2	2		31.9	0.62	1.03	29.6
Chanthaburi	10	41							48.6
Prachin Buri	1	40	15			35.6			7.45
Kamphaeng Phet	9	0.8	1.1	17	1.1	0.05	2.11	5.11	64
Phetchabun	5	45							50.2
Tak	60	9.2	7.9	3	0.9	6.11	3.13	6.65	2.98
Phitsanulok	2	4.3	0.6			91.1			1.99

***Note** : R5: Rayong 5, R72: Rayong 72, R9 : Rayong 9, R11 : Rayong 11, R13: Rayong 64-13, KU50: Kasetsart 50 HB60: Huaybong 60, HB80: Huaybong 80

ความนิยมลดลงอย่างมาก เกษตรกรจึงมีการปรับช่วงเวลาปลูก เช่น ปลูกให้ตรงกับฤดูฝน ปลูกช่วงที่มันสำปะหลังจะเจริญเติบโตได้ก่อนเข้าช่วงฤดูหนาว และมีใบพอปกคลุมดินก่อนถึงช่วงฤดูแล้ง พร้อมที่จะเติบโตและสะสมน้ำหนักในช่วงฤดูฝนถัดไปช่วยทำให้ผลผลิตสูงขึ้น รวมทั้งเกษตรกรมีการเปลี่ยนมาปลูกพืชอื่นที่ให้ผลตอบแทนสูงกว่า

ส่วนการเก็บเกี่ยวผลผลิตหัวสด ส่วนใหญ่เก็บเกี่ยวในช่วงมกราคมถึงเมษายน เนื่องจากลานมันเปิด และช่วงเวลาการชำระหนี้ของเกษตรกร เช่น ธกส. ชำระในเดือนมีนาคม ผลผลิตกระจุกตัวในช่วง 3-4 เดือน ยกเว้น จ. ฉะเชิงเทรา และปราจีนบุรี ที่ผลผลิตส่วนใหญ่ออกในช่วงปลายปี (Table 2) โดยเก็บเกี่ยวในช่วงเดือนพฤศจิกายน ซึ่งหลังการเก็บเกี่ยว เกษตรกรก็จะปลูกมันสำปะหลังต่อทันที เกษตรกรหลายพื้นที่ปลูกแบบเก็บเกี่ยวข้ามปีเพื่อให้มีท่อนพันธุ์แข็งแรงและเพียงพอสำหรับปลูกในฤดูถัดไป จากสภาวะแห้งแล้งฝนทิ้งช่วง และปลูกแล้วฝนไม่ตก กลุ่มนี้จะตัดต้นเพื่อใช้เป็นท่อนพันธุ์สำหรับปลูกในช่วงต้นปีหลังฝนตก แล้วปล่อยให้แตกกิ่งและเก็บเกี่ยวในช่วงปลายปีของปีถัดไป อย่างไรก็ตาม ทั้งช่วงปลูกและเก็บเกี่ยวเปลี่ยนแปลงไม่มากนัก รวมระยะเวลาปลูกจนถึงเก็บเกี่ยวเฉลี่ย 10.4 เดือน ต่ำสุด 5 เดือน สูงสุด 19 เดือน

Table 2 Percentage of cassava growing area in each month of growing and harvesting period at 26 cassava plantation provinces during 2017/18 - 2020/21

Province	Growing period (month of the year)												Harvesting period (month of the year)											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Nakhon Ratchasima	2	7	20	24	21	9	8		1	4	2	1	7	25	32	9	5	1	13	1	2	3	1	3
Ubon Ratchathani	2	2	11	26	48	5	1	1		2	2		6	43	26	11		1	1			3	6	4
Buri Ram	2	2	17	14	35	14			2	3	2	8	3	4	13	21	0	4	3	16	1	4	25	6
Si Sa Ket			10	34	49	7							30	19	29	15								6
Maha Sarakham		10		4	4	4		8	8	29	14	21	4		4	10		7	23	30	18			4
Surin			21	23	31	18				6			10	33	21	2	15				3	3		12
Chaiyaphum	0	12	14	14	12	11	7	0	3	14	5	6	14	25	17	7	6	1		3	5	13	4	6
Loei	1	4	14	29	30	17	6						12	28	23	22	12	1				1	1	1
Udon Thani	2	22	33	13	16	3	5	0		1	1	3	23	17	30	8	1	0	0	1	9	0	4	6
Kalasin	3	11	34	18		6		1		10	9	7	6	28	25	10		1				17	10	4
Khon Kaen	5	11	19	20	15	12	10			3	3	3	13	25	41	6		1			2		5	8
Sakon Nakhon		7	29	14	4	2	2	2	2	11	17	8	6	28	9	4	2	7			2	18	12	10
Mukdahan		1	36	33	5	11	8		2		4		6	2	51	7	16			2		5	7	4
Kanchanaburi	19	8	19	18	13	8	0	3			4	7	19	19	30	16	1		2	0		4	4	4
Nakhon Sawan		3	34	21	17	9	14				2		5	12	23	2	2						21	35
Lop Buri		11	10	29	32	14						4	16	34	24	5							5	16
Uthai Thani	12	15	13	5	17					7	18	14	11	19	21	6	8	3	2			5	12	13
Sa Kaeo	3	17	27	23	17	4		2		1	1	5	3	35	7	15	2	2		1	5	5	0	26
Chon Buri	8	21	36	12	7	0					15	1	9	15	8	6	0	14		2	8	0	11	27
Chachoengsao		9	39	8	2	2	1	1		4	7	28	3	27	24	3	2	1		0	1	17	17	7
Chanthaburi		13	30	28	27		3						14	34	16	2	9	9						16
Prachin Buri	0	6		7	22	4	15	1	0	0	19	26	15	28	6			4	0		1		44	3
Kamphaeng Phet	0	1	15	14	19	37	5	4		1	2	2	2	18	35	14	3				2	2	17	8
Phetchabun		8	15	11	18	40	8						1	40	37	2							12	8
Tak	1				37	30	24		2	6			12	5	4	23	14	13				1	25	2
Phitsanulok	8	8	5	1	15	30	4			1	17	11	17	2	50	18	1							13

การใช้ปัจจัยการผลิตทางการเกษตร

การใช้ปุ๋ยของเกษตรกรทั้งปุ๋ยอินทรีย์และปุ๋ยเคมี พบว่า เกษตรกรส่วนใหญ่ทำตามวิธีการของตนเองที่เคยปฏิบัติมา อาจมีการเปลี่ยนแปลงบ้างขึ้นอยู่กับต้นทุนและราคาผลผลิต การใช้ปุ๋ยจะเริ่มตั้งแต่การเตรียมดินโดยการใส่อินทรียวัตถุ เช่น กากตะกอนจากโรงงาน ขี้เถ้า ขี้ไก่แกลบ การใส่ปุ๋ยรองก้นหลุมพร้อมปลูกด้วยเครื่องปลูก บางรายรอใส่ช่วง 1-3 เดือนหลังปลูก เพื่อให้แน่ใจว่ามันสำปะหลังตั้งตัวได้แล้ว และใส่อีกครั้งช่วง 4-6 เดือนหลังปลูก การใช้ปุ๋ยแต่ละรายมีความแตกต่างกันอย่างเด่นชัด เช่น ใช้เพียงวัสดุอินทรีย์ปรับปรุงดิน ใช้ปุ๋ยเคมีอย่างเดียว ใช้วัสดุอินทรีย์ร่วมกับการใช้ปุ๋ยเคมี หรือผสมปุ๋ยเคมีใช้เอง มีการฉีดพ่นปุ๋ยทางใบเสริม จากการคำนวณการใช้ปุ๋ยของเกษตรกรเมื่อคิดเป็นเนื้อปุ๋ยไนโตรเจน พบว่า ภาคตะวันออกใช้ปุ๋ยเฉลี่ยสูงสุด 10.7 กก.N/ไร่ รองมาคือ ภาคตะวันออกเฉียงเหนือตอนล่าง ใช้ปุ๋ยเฉลี่ย 7.2 กก.N/ไร่ ส่วนภาคอื่น ๆ การใช้ปุ๋ยใกล้เคียงกัน (Table 3) จ. ชลบุรี มีการใช้ปุ๋ยสูงสุด 13.6 กก.N/ไร่ ส่วนขณะที่ จ.ตาก มีการใช้ปุ๋ยต่ำสุดเฉลี่ย 1.8 กก.N/ไร่ ตลอดช่วง 4 ปีการเพาะปลูก การใช้ปุ๋ยของเกษตรกรมีแนวโน้มลดลง ทั้งนี้ อาจมีสาเหตุมาจากการตกของฝนที่น้อยลง รายได้และผลผลิตที่เกษตรกรได้รับลดลง

ผลผลิต

การสำรวจผลผลิตมันสำปะหลังในปีการผลิต 2560/61-2563/64 พบว่า ภาคตะวันออกเฉียงเหนือตอนล่าง มันสำปะหลังให้ผลผลิตเฉลี่ย

4.0 ตัน/ไร่ โดย จ. ศรีสะเกษให้ผลผลิตเฉลี่ยสูงสุด 4.6 ตัน/ไร่ ในขณะที่ จ. สุรินทร์ ให้ผลผลิตเฉลี่ยต่ำสุด 3.2 ตัน/ไร่ ภาคตะวันออกเฉียงเหนือตอนบนให้ผลผลิตเฉลี่ย 5.0 ตัน/ไร่ โดย จ. อุดรธานีให้ผลผลิตเฉลี่ยสูงสุด 6.5 ตัน/ไร่ ในขณะที่ จ. มุกดาหาร ให้ผลผลิตเฉลี่ยต่ำสุด 4.2 ตัน/ไร่ ภาคกลาง ให้ผลผลิตเฉลี่ย 3.9 ตัน/ไร่ โดย จ.ลพบุรีให้ผลผลิตเฉลี่ยสูงสุด 4.7 ตัน/ไร่ ในขณะที่ จ. อุทัยธานี ให้ผลผลิตเฉลี่ยต่ำสุด 3.1 ตัน/ไร่ ภาคตะวันออก ให้ผลผลิตเฉลี่ย 3.7 ตัน/ไร่ โดย จ.ปราจีนบุรี ให้ผลผลิตเฉลี่ยสูงสุด 4.5 ตัน/ไร่ ในขณะที่ จ.ฉะเชิงเทรา และสระแก้วให้ผลผลิตเฉลี่ยต่ำสุด 3.5 ตัน/ไร่ ภาคเหนือ ให้ผลผลิตเฉลี่ย 3.5 ตัน/ไร่ โดย จ. ตากให้ผลผลิตเฉลี่ยสูงสุด 4.0 ตัน/ไร่ ในขณะที่ จ. พิษณุโลก ให้ผลผลิตเฉลี่ยต่ำสุด 2.9 ตัน/ไร่ (Table 3) รวม 26 จังหวัด ผลผลิตเฉลี่ย 4.1 ตัน/ไร่ ภาคตะวันออกเฉียงเหนือตอนบนให้ผลผลิตเฉลี่ยสูงสุด และภาคเหนือให้ผลผลิตเฉลี่ยต่ำสุด

วอเตอร์ฟุตพริ้นท์ของมันสำปะหลัง

ในสภาพการปลูกมันสำปะหลังแบบอาศัยน้ำฝน วอเตอร์ฟุตพริ้นท์ของหัวสด 1 ตัน เมื่อแบ่งตามภูมิภาค พบว่า ภาคตะวันออกเฉียงเหนือตอนล่าง จ. สุรินทร์ มีค่า WF สูงสุด 346 ลบ.ม./ตัน ในขณะที่ จ. ศรีสะเกษ มีค่าต่ำสุด 222 ลบ.ม./ตัน โดยมีค่าเฉลี่ยของภาค 288 ลบ.ม./ตัน แยกเป็นกรีน และเกรย์ 245 และ 43 ลบ.ม./ตัน ตามลำดับ เนื่องจาก ปลูกแบบอาศัยน้ำฝน จึงไม่มีค่า WF_{blue} (Table 3) ภาคตะวันออกเฉียงเหนือตอนบน จ. ชัยภูมิ มีค่า WF สูงสุด 238 ลบ.ม./ตัน จ. อุดรธานี มีค่าต่ำสุดที่ 138 ลบ.ม./ตัน โดยมีค่าเฉลี่ยของภาค 196 ลบ.ม./ตัน แยกเป็นกรีน และเกรย์ 168 และ 28 ลบ.ม./ตัน ตามลำดับ ขณะที่การปลูกมันสำปะหลังของภาคกลาง พบว่า จ. อุทัยธานี มีค่า WF สูงสุด 402 ลบ.ม./ตัน จ. ลพบุรี มีค่าต่ำสุดที่ 193 ลบ.ม./ตัน โดยมีค่าเฉลี่ยของภาคกลาง 304 ลบ.ม./ตัน แยกเป็นกรีน และเกรย์ 262 และ 42 ลบ.ม./ตัน ตามลำดับ ภาคตะวันออก จ. ฉะเชิงเทรา มีค่าสูงสุด 343 ลบ.ม./ตัน ขณะที่ จ. จันทบุรีมีค่าต่ำสุดที่ 220 ลบ.ม./ตัน โดยค่าเฉลี่ยของภาคตะวันออก 308 ลบ.ม./ตัน แยกเป็นกรีน และเกรย์ 236 และ 72 ลบ.ม./ตัน ตามลำดับ สำหรับภาคเหนือ จ. พิษณุโลก มีค่า WF สูงสุด 373 ลบ.ม./ตัน ขณะที่ จ. ตาก มีค่าต่ำสุดที่ 226 ลบ.ม./ตัน โดยค่าเฉลี่ยของภาคเหนือ 272 ลบ.ม./ตัน แยกเป็นกรีน และเกรย์ 230 และ 42 ลบ.ม./ตัน ตามลำดับ เมื่อคำนวณค่า WF ของการปลูกมันสำปะหลัง รวมทั้ง 26 จังหวัด มีค่าเฉลี่ย 268 ลบ.ม./ตัน หัวสด แยกเป็นกรีน และเกรย์ 226 และ 42 ลบ.ม./ตัน ตามลำดับ ค่า WF สูงสุดที่ จ. อุทัยธานี 402 ลบ.ม./ตันหัวสด ต่ำสุดที่ จ. อุดรธานี 138 ลบ.ม./ตันหัวสด (Table 3)

ส่วนการปลูกมันสำปะหลังแบบให้น้ำเสริมเมื่อแยกวิเคราะห์ พบว่า จ. อุบลราชธานี มีการให้น้ำเสริมผลผลิตไม่ได้สูงขึ้นมากนัก บางแปลงเน่า เนื่องจากช่วงฝนที่มากเกินไปทำให้ผลผลิตต่ำ ส่งผลให้ค่าวอเตอร์ฟุตพริ้นท์สูงมากถึง 707 ลบ.ม./ตัน และมีค่าบลูวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ 181 ลบ.ม./ตัน ขณะที่ จ. ชัยภูมิ มีการให้น้ำเสริมในช่วงแล้งและได้ผลผลิตสูงขึ้น ทำให้มีค่าวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ 315 ลบ.ม./ตัน ซึ่งสูงกว่าการปลูกแบบอาศัยน้ำฝน และมีค่าบลูวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ 118 ลบ.ม./ตัน

จากการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ พบว่าวอเตอร์ฟุตพริ้นท์มีความสัมพันธ์อย่างมีนัยสำคัญทางบวกกับปริมาณการใช้ปุ๋ย แต่ตรงข้ามกับผลผลิต ช่วงเดือนเก็บเกี่ยวที่ล่าช้าออกไป อายุเก็บเกี่ยว และปีการเพาะปลูก มีแนวโน้มทำให้วอเตอร์ฟุตพริ้นท์สูงขึ้น และไม่พบความสัมพันธ์ระหว่างพันธุ์มันสำปะหลังกับวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ เมื่อจัดกลุ่มข้อมูลตามอายุเก็บเกี่ยว พบว่า การเก็บเกี่ยวในช่วงเดือนเมษายน ผลผลิตที่ได้มีค่าวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ต่ำ (Figure 1) สอดคล้องกับการเก็บผลผลิตของเกษตรกรที่จะเก็บผลผลิตในช่วงแล้งก่อนที่ฝนจะตก หากฝนตกจะทำให้ผลผลิตลดลงเนื่องจากมีการสร้างใบใหม่

Table 3 Fresh root yield, nitrogen application, duration, WF_{green} WF_{blue} WF_{grey} and WF of cassava plantation in each province during 2017/18 - 2020/21 growing season

Province	area (rai)	Yield (ton/rai)	Nitrogen (kg.N/rai)	Duration (month)	WF_{green} (m^3/ton)	WF_{blue} (m^3/ton)	WF_{grey} (m^3/ton	WF (m^3/ton)
Rainfed		**4.1**	**7.2**	**10.5**	**226**	**0**	**42**	**268**
Nakhon Ratchasima	1,477,367	4	6.3	11.1	274	0	36	310
Ubon Ratchathani	479,069	3.8	5.7	9.6	213	0	40	253
Buri Ram	255,686	4.1	8.9	9.1	189	0	55	245
Si Sa Ket	156,386	4.6	10.9	9.9	168	0	54	222
Maha Sarakham	139,302	3.5	9.6	9.3	222	0	60	282
Surin	115,881	3.2	12.6	9.8	261	0	85	346
lower northeast region		*4*	*7.2*	*10.4*	*245*	*0*	*43*	*288*
Chaiyaphum	632,590	4.6	5.4	10.5	212	0	25	238
Loei	318,354	4.7	8.1	10.5	151	0	39	189
Udon Thani	265,041	6.5	6.6	10.5	116	0	22	138
Kalasin	254,038	5	6.4	11.3	142	0	28	170
Khon Kaen	233,930	5.2	6.8	10.6	151	0	26	177
Sakon Nakhon	116,118	4.5	6.2	11.3	155	0	29	183
Mukdahan	140,109	4.2	6.1	9.9	190	0	34	224
upper northeast region		*5*	*6.4*	*10.6*	*168*	*0*	*28*	*196*
Kanchanaburi	481,424	4.1	4	11.2	268	0	27	295
Nakhon Sawan	373,356	3.3	8.6	9.6	304	0	59	364
Lop Buri	303,450	4.7	6.3	9.9	166	0	27	193
Uthai Thani	160,345	3.1	9.4	11.2	328	0	74	402
central region		*3.9*	*6.5*	*10.4*	*262*	*0*	*42*	*304*
Sa Kaeo	376,058	3.5	9.4	10.1	245	0	79	324
Chon Buri	150,932	3.8	13.6	11.2	222	0	72	294
Chachoengsao	220,555	3.5	12.5	10.8	258	0	85	343
Chanthaburi	54,612	4.3	3.7	10.1	190	0	30	220
Prachin Buri	119,275	4.5	11.1	9.5	202	0	47	249
east region		*3.7*	*10.7*	*10.4*	*236*	*0*	*72*	*308*
Kamphaeng Phet	684,357	3.7	6.3	11.0	205	0	37	242
Phetchabun	215,016	3.1	7.2	9.4	260	0	55	315
Tak	135,710	4	1.8	10.6	217	0	9	226
Phitsanulok	164,960	2.9	8.7	11.3	302	0	71	373
north region		*3.5*	*6.3*	*10.7*	*230*	*0*	*42*	*272*
Irrigation					**267**	**135**	**19**	**420**
Ubon Ratchathani		3	5.9	9.0	462	181	64	707
Chaiyaphum		4.5	0.5	11.0	195	118	2	315

การให้ผลผลิตของมันสำปะหลังเกี่ยวข้องโดยตรงกับการตกของฝน กำหนดการเริ่มต้นฤดูปลูก ช่วงระยะเวลาที่มันสำปะหลังเติบโตที่สอดคล้องกับระยะการสะสมน้ำหนักหัว ปี พ.ศ. 2560 ปริมาณน้ำฝนรวมสูงในทุกภูมิภาค แล้วลดลงต่ำสุดในปี พ.ศ. 2562 และเพิ่มสูงขึ้นเล็กน้อยในปี พ.ศ. 2563 ยกเว้นภาคเหนือที่ปริมาณน้ำฝนรวมปี พ.ศ. 2563 ไม่แตกต่างจากปี พ.ศ. 2562 กระทบต่อการปลูกมันสำปะหลังของเกษตรกร ทำให้พื้นที่ปลูก ผลผลิต และการใช้พันธุ์

มันสำปะหลังของเกษตรกรเปลี่ยนแปลง บางพื้นที่ต้องปลูกหลายครั้ง ผลผลิตจึงมีความแตกต่างกัน โดยมีแนวโน้มลดลง จากช่วงแล้งที่ยาวนานขึ้น ทำให้มีผลต่อค่าวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ของมันสำปะหลังที่วิเคราะห์ได้ ผลการศึกษานี้แตกต่างจากรายงานของ ชินาธิปกรณ์ และธำรงรัตน์ (2554) สานิตย์ดา และคณะ (2555) และ Kongboon and Sampattagul (2012) เนื่องจากความแตกต่างของข้อมูลที่ใช้จากการศึกษาการปลูกมันสำปะหลังของเกษตรกรในพื้นที่ทำให้เห็นความแตกต่างทั้งเรื่องของเวลาปลูก อายุเก็บเกี่ยว การใช้ปุ๋ย ผลผลิต ซึ่งส่งผลต่อขนาดของวอเตอร์ฟุตพริ้นท์

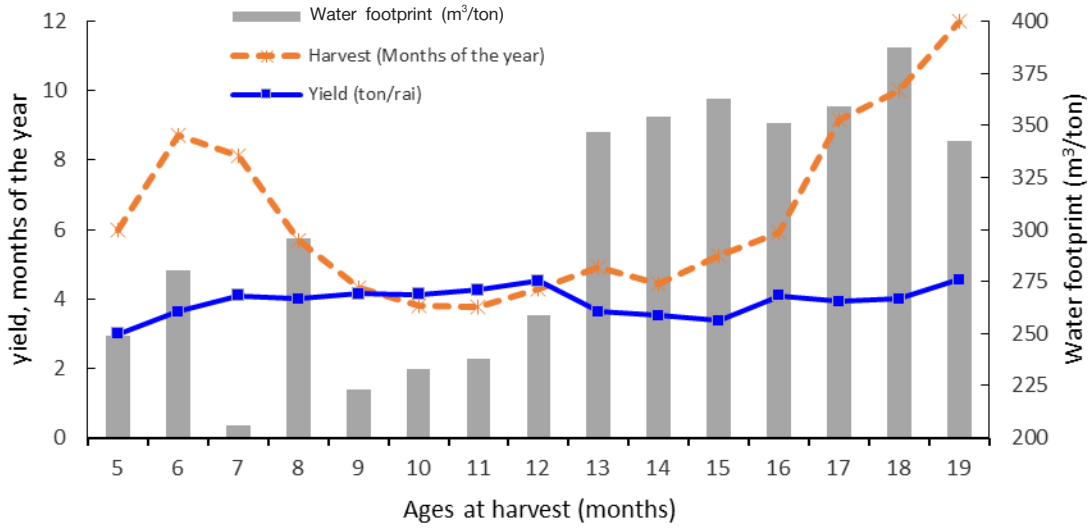


Figure 1 Water footprint and yield of cassava at various times of harvest

อย่างไรก็ตาม การประมาณฝนการใช้มีหลายวิธี จากการศึกษาของ Pongpinyopap and Mungcharoen (2012) กล่าวถึงการประมาณด้วยวิธี USDA-SCS ว่า ทำให้ค่ากรีนวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ที่ได้ต่ำกว่าการประมาณด้วยวิธี soil water balance ซึ่งจะมีผลกระทบทำให้ค่าบลูวอเตอร์สูงกว่าความเป็นจริงได้ และอาจเป็นสาเหตุสำคัญทำให้ผลการศึกษาก่อนหน้าแตกต่างจากผลการศึกษาครั้งนี้ การปลูกมันสำปะหลังที่อาศัยน้ำฝนใช้การประมาณจากปริมาณความต้องการใช้น้ำของพืช ซึ่งใช้วิธี A-pan ซึ่งน่าจะให้ค่าการคายระเหยของพืชได้ใกล้เคียงในแต่ละพื้นที่ โดยปัจจุบันมีค่าการตรวจวัดนี้ในสถานีอุตุนิยมวิทยาทั่วประเทศ มันสำปะหลังที่ปลูกแบบอาศัยน้ำฝนจึงไม่มีค่าบลูวอเตอร์ ทำนองเดียวกับ อนัตยา และคณะ (2557) และ ทิพยปภา และคณะ (2556) ที่รายงานว่า ช่วงระยะเวลาการปลูกมันสำปะหลังก็มีส่วนสำคัญ ซึ่งการประมาณค่าจากข้อมูลมือสองมักใช้อายุเก็บเกี่ยวที่ 12 เดือนเป็นหลัก แต่ในความเป็นจริงเกษตรกรเก็บเกี่ยวที่อายุหลากหลายตั้งแต่ 5 - 19 เดือน โดยเฉลี่ย 10.4 เดือน ซึ่งต่ำกว่าการประมาณของผู้ที่เคยรายงานก่อนหน้า การปลูกและเก็บเกี่ยวอายุน้อยส่วนใหญ่ใช้พันธุ์ที่สะสมน้ำหนักเร็ว ส่วนที่เก็บข้ามปีจะใช้ประโยชน์จากการมีท่อนพันธุ์ไว้ปลูกในฤดูฝนที่จะมาถึง และปล่อยให้ต้นแตกกิ่งใหม่สะสมน้ำหนักเพิ่มอีกประมาณเท่าตัว ซึ่งจะช่วยเพิ่มผลผลิตและลดต้นทุน เนื่องจาก ไม่ต้องปลูกหรือใส่ปุ๋ยเพิ่มอีก ทั้งอัตราการใส่ปุ๋ยของเกษตรกรต่ำกว่าคำแนะนำและค่า K_c ที่มักใช้ของ FAO ซึ่งมีเพียง 3 ระดับตามการเจริญเติบโต และน้ำซึ่งเคยเป็นปัจจัยสำคัญในการเพิ่มผลผลิต แต่เกษตรกรน้อยคนที่

ประสบความสำเร็จในการใช้น้ำเพิ่มผลผลิต เช่น ถ้าต้องการให้น้ำมันสำปะหลัง ควรให้ในช่วงแล้ง โดยให้น้ำ 45 มม./เดือน โดยแบ่งให้ 2 ครั้ง ทำให้ผลผลิตสูง ดัชนีเก็บเกี่ยวสูงขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ (นพศูล และคณะ, 2550) ดังนั้น การเพิ่มประสิทธิภาพการใช้น้ำในการปลูกมันสำปะหลัง ควรพิจารณาจากพื้นที่ปลูก พันธุ์ วิธีการปลูก ลักษณะสมบัติของดิน รวมถึงปริมาณปุ๋ยที่ใช้ โดยผลผลิตที่สูงขึ้นสามารถลดขนาดของวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ได้ ช่วงระยะเวลาปลูกมีผลให้ขนาดวอเตอร์ฟุตพริ้นท์แตกต่างกันแม้จะปลูกในพื้นที่เดียวกัน การปลูกในช่วงปลายฝนจะมีปริมาณน้ำฝนไม่เพียงพอต่อความต้องการของมันสำปะหลัง หลีกเลี่ยงการปลูกในช่วงมิถุนายนหรือเวลาที่จะทำให้ช่วงปลูกสั้นไม่เพียงพอกับการสะสมน้ำหนักหัว เพื่อใช้ประโยชน์จากน้ำฝนที่ตกลงมา ลดความเสี่ยงจากการขาดน้ำในช่วงวิกฤติของการเจริญเติบโตของมันสำปะหลังที่มีความต้องการน้ำมาก และรักษาความชื้นให้คงอยู่ในดินได้มากและยาวขึ้น การให้ปุ๋ยตามความต้องการของพืชในช่วงเวลาและปริมาณที่เหมาะสม ช่วยลดปริมาณการใช้ปุ๋ยได้ รวมทั้งการใช้ท่อนพันธุ์สะอาด ในการผลิตสินค้าหรือผลิตภัณฑ์มันสำปะหลัง ปริมาณน้ำส่วนใหญ่ของวอเตอร์ฟุตพริ้นท์อยู่ในภาคเกษตร ดังนั้น การเพิ่มประสิทธิภาพการใช้น้ำหรือการลดขนาดของวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ จะต้องเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตในภาคการเกษตรเป็นสำคัญ

สรุปผลการทดลอง

การปลูกมันสำปะหลังของเกษตรกรส่วนใหญ่ปลูกแบบอาศัยน้ำฝน ภาคตะวันออกเฉียงเหนือตอนบนนิยมปลูกพันธุ์เกษตรศาสตร์ 50 รองลงมาได้แก่ ระยอง 72 แต่ภาคตะวันออกเฉียงเหนือตอนล่างนิยมปลูก ระยอง 72 มากกว่า ภาคกลางนิยมปลูกพันธุ์ระยอง 5 รองลงมาเป็นเกษตรศาสตร์ 50 ภาคตะวันออกนิยมปลูกเกษตรศาสตร์ 50 รองลงมา ได้แก่ ระยอง 9 ส่วนภาคเหนือตอนล่างปลูกพันธุ์เกษตรศาสตร์ 50 รองมา คือ ระยอง 11 ส่วนใหญ่ปลูกช่วงเดือนมีนาคมถึงพฤษภาคม ภาคตะวันออกปลูกได้เร็วกว่า ขณะที่ภาคเหนือการปลูกล่าช้ากว่า ระยะเวลาปลูกจนถึงเก็บเกี่ยวเฉลี่ย 10.4 เดือน ต่ำสุด 5 เดือน สูงสุด 19 เดือน ภาคตะวันออกเกษตรกรใช้ปุ๋ยไนโตรเจนเฉลี่ยสูงสุด 10.7 กก.N/ไร่ ผลผลิตเฉลี่ย 4.1 ตัน/ไร่ ภาคตะวันออกเฉียงเหนือตอนบนให้ผลผลิตมันสำปะหลังหัวสดเฉลี่ยสูงสุด และภาคเหนือ ให้ผลผลิตเฉลี่ยต่ำสุด เฉลี่ยทุกภาคมีค่าวอเตอร์ฟุตพริ้นท์เฉลี่ย 268 ลบ.ม./ตันหัวสด แยกเป็นค่ากรีนวอเตอร์ฟุตพริ้นต์เฉลี่ย 226 ลบ.ม./ตันหัวสด และค่าเกรย์วอเตอร์ฟุตพริ้นต์เฉลี่ย 42 ลบ.ม./ตันหัวสด วอเตอร์ฟุตพริ้นท์เป็นเครื่องมือที่นำมาใช้เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการใช้น้ำในการผลิตสินค้า และผลิตภัณฑ์ ซึ่งปริมาณน้ำส่วนใหญ่ติดมากับภาคเกษตร ดังนั้น การเพิ่มประสิทธิภาพการใช้น้ำ หรือการลดขนาดของวอเตอร์ฟุตพริ้นท์จะต้องเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตในภาคการเกษตร โดยการจัดช่วงเวลาปลูกและจัดการดินให้เหมาะสม เพื่อที่จะใช้ประโยชน์จากน้ำฝนได้มากและยาวขึ้น ตลอดจนการให้ปุ๋ยตามความต้องการของพืชในช่วงเวลาและปริมาณที่เหมาะสม

เอกสารอ้างอิง

ชัยวัฒน์ โชวเจริญสุข. 2563. แนวโน้มธุรกิจ/อุตสาหกรรม 2563-2565 : มันสำปะหลัง. แหล่งข้อมูล : https://www.krungsri.com/th/research/industry/industry-outlook/agriculture/cassava/IO/io-cassava-20. สืบค้น : 2 กุมภาพันธ์ 2565.

ชินาธิปกรณ์ พงศ์ภิญโญภาพ และ ธำรงรัตน์ มุ่งเจริญ. 2554. วอเตอร์ฟุตพริ้นท์ของกระบวนการผลิตเอทานอลจากมันสำปะหลังในประเทศไทย. *วิศวกรรมสาร มก.* 24(75): 41-52.

ทิพยปภา สุขุมาลชาติ อดิชัย พรพรหมินทร์ และสุรชัย ลิปิวัฒนาการ. 2556. วอเตอรฟุตปริ้นของข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ในประเทศไทย. *วิศวกรรมสาร มข.* 40(1): 67-78

นพศูล สมุทรทอง เอ็จ สโรบล วิจารณ์ วิชชุกิจ และ สุเทพ ทองแพ. 2550. ผลของปริมาณและอัตราการให้น้ำต่อการเจริญเติบโตและการให้ผลผลิตของมันสำปะหลัง. หน้า 75-82. ใน : เรื่องเต็มการประชุมทางวิชาการของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ครั้งที่ 45 สาขาพืช. กรุงเทพ.

บัญชา ขวัญยืน ปริวัตร น้ำค้าง วัลลภ ภู่ทองสุข และ ศุภกิจ ตันวิบูลย์ศักดิ์. 2553. การศึกษาหาสัมประสิทธิ์การใช้น้ำของมันสำปะหลัง. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน นครปฐม. หน้า 274-281. *ใน:* การประชุมวิชาการนานาชาติสมาคมวิศวกรรมเกษตรแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 11. นครปฐม.

ประภาศรี จงประดิษฐ์นันท์ ประพิศ แสงทอง จิรพงษ์ ประสิทธิเขตร สุรสิทธิ์ อรรถจารุสิทธิ์ ศุภกาญจน์ ล้วนมณี ละแย้ม เกื้อหนุน สรัตนา เสนาะ วนิดา โนบรรเทา ลาวัณย์ จันทร์อัมพร พัชรินทร์ นามวงษ์ และอนุสรณ์ เทียนศิริฤกษ์. 2548. *วัสดุอินทรีย์และปุ๋ยคอกในพื้นที่ทำการเกษตร.* ชุมนุมสหกรณ์การเกษตรแห่งประเทศไทย, กรุงเทพ. 216 หน้า.

วลัยพร ศะศิประภา จิณณจาร์ หาญเศรษฐสุข กุสุมา รอดแผ้วพาล ปฐมพงษ์ วงศ์สุวรรณ์ ดรุณี เพ็งฤกษ์ เสาวรี บำรุง วารีย์ เวรวรณ์ สายน้ำ อุดพ้วย และ อนุสรณ์ เทียนศิริฤกษ์. 2561. การวิเคราะห์วอเตอร์ฟุตพริ้นท์ของมันสำปะหลังที่มีการจัดการน้ำแตกต่างกัน. *ว.วิชาการเกษตร.* 36(2): 173–185.

สานิตย์ดา เตียวต๋อย ชลิตา สุวรรณ และธณัฏฐ์ยศ สมใจ. 2555. วอเตอร์ฟุตพริ้นต์ของอ้อยและมันสำปะหลังสำหรับการผลิตเอทานอลในภาคตะวันออกประเทศไทย. *ว. สมาคมวิศวกรรมเกษตรแห่งประเทศไทย.* 18(1): 68–75.

สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร. 2560. มันสำปะหลังโรงงาน. แหล่งข้อมูล : https://www.oae.go.th/assets/portals/1/les/production/eldcrop/casava/2-59.pdf. สืบค้น : 4 กุมภาพันธ์ 2560.

อนัตยา บุญฮวด นาฏสุดา ภูมิจำนงค์ และอัจฉรา อัศวรุจิกุลชัย. 2557. การประเมินวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ของการผลิตเอทานอลจากมันสำปะหลังพื้นที่จังหวัดลพบุรี ประเทศไทย. หน้า 392-397. แหล่งข้อมูล: http://gsbooks.gs.kku.ac.th/57/grc15/les/pmo19.pdf. สืบค้น : 12 กันยายน 2558.

Babel, M.S, B. Shrestha and S.R Perret. 2011. Hydrological impact of biofuel production: A case study of the Khlong Phlo Watershed in Thailand. *Agricultural Water Management.* 101(1): 8-26.

Hoekstra, A.Y., A.K. Chapagain, M.M. Aldaya and M.M. Mekonnen. 2011. *The Water Footprint Assessment Manual.* Earthscan, UK. 203 p.

Kaenchan, P. and S.H. Gheewala. 2013. A Review of the Water Footprint of Biofuel Crop Production in Thailand. *J. Sustainable Energy and Environment.* 4: 45-52.

Kongboon, R. and S. Sampattagul. 2012. The water footprint of sugarcane and cassava in northern Thailand. *Procedia Soc. Behav. Sci.* 40: 451-460.

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.

Namchancharoen, T., S. Papong, P. Malakul and T. 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.

Pongpinyopap S. and T. Mungcharoen. 2012. Comparative study of green water footprint estimation methods for Thailand: A case study of cassava-based ethanol. *Environ. Nat. Resour.* 10(2): 66-72.

Richard, G.A., L.S. Pereira, D. Raes and M. 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. 300 p.