จำนวนงานวิจัยเทคโนโลยีและนวัตกรรมเพื่อเพิ่มผลผลิตปาล์มน้ำมัน

(โครงการวิจัยและพัฒนาวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ของการผลิตพืชเศรษฐกิจ)

ปี 2560	ปี 2561	ปี 2562	ปี 2563	ปี 2564
จำนวน 1 โครงการ 9 การทดลอง	จำนวน 1 โครงการ 10 การทดลอง	จำนวน 1 โครงการ 13 การทดลอง	จำนวน 1 โครงการ 21 การทดลอง	จำนวน 1 โครงการ 21 การทดลอง

รายงานโครงการวิจัย

โครงการวิจัยและพัฒนาวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ของการผลิตพืชเศรษฐกิจ

Research and Development of Water Footprint of Economic Crop Productions

หัวหน้าโครงการวิจัย
นางสาววิชณีย์ ออมทรัพย์สิน
Ms.Vichanee Ormzubsin

ปี พ.ศ. 2564

รายงานโครงการวิจัย

โครงการวิจัยและพัฒนาวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ของการผลิตพืชเศรษฐกิจ
Research and Development of Water Footprint of Economic Crop Productions

หัวหน้าโครงการวิจัย
นางสาววิชณีย์ ออมทรัพย์สิน
Ms.Vichanee Ormzubsin

ปี พ.ศ. 2564

คำปรารภ (Foreword หรือ Preface)

การผลิตพืชทุกชนิดมีความจำเป็นต้องใช้น้ำอย่างมากในการเจริญเติบโตและให้ผลผลิต ประมาณร้อยละ 70 ของน้ำในแม่น้ำและชั้นอุ้มน้ำในโลกถูกนำไปใช้ในภาคการเกษตรและคาดการณ์ว่า ปี พ.ศ. 2658 ความต้องการใช้น้ำจะสูงขึ้นร้อยละ 35-60 เมื่อเทียบกับปี พ.ศ. 2543 แต่ปริมาณน้ำใช้เพื่อการเกษตรลดลงถึงร้อยละ 50 ซึ่งเป็นผลจากการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศและปัญหาดังกล่าวได้เกิดขึ้นแล้วในหลายพื้นที่ รวมถึงประเทศไทยซึ่งเป็นประเทศเกษตรกรรม และปี 2563/2564 ไทยมีการเพาะปลูกพืชเศรษฐกิจหลัก 4 ชนิด ได้แก่ อ้อย มันสำปะหลัง ข้าวโพดเลี้ยงสัตว์และปาล์มน้ำมัน รวมทั้งหมด 33,391,526 ไร่ จากจำนวนพื้นที่ดังกล่าว การจะให้พืชให้ผลผลิตอย่างเต็มที่จำเป็นต้องมีการใช้น้ำฝนอย่างมีประสิทธิภาพ รวมถึงการให้น้ำพืชเช่นกัน ดังนั้นหากเกษตรกรไม่ทราบเทคนิคการใช้น้ำอย่างมีประสิทธิภาพ ประสิทธิภาพการใช้น้ำในพื้นที่ปลูกพืชเศรษฐกิจดังกล่าวต้องส่งผลกระทบต่อทรัพยากรน้ำอย่างมาก ซึ่งต่อเนื่องถึงความยั่งยืนในการผลิตและการใช้ทรัพยากรธรรมชาติทั้งดินและน้ำ

ดังนั้นการผลิตพืชเศรษฐกิจดังกล่าว รัฐจึงควรมีนโยบายและให้ความสำคัญกับการผลิตพืชและการจัดการทรัพยากรน้ำที่มีอยู่ให้เหมาะสมมากที่สุด นอกจากการผลิตพืช การใช้ทรัพยากรน้ำในการแปรรูปผลิตภัณฑ์ต่างๆ จากพืชดังกล่าว เช่น การผลิตน้ำตาลทราย การผลิตแป้งมันสำปะหลัง การผลิตน้ำมันปาล์มดิบและน้ำมันปาล์มบริสุทธิ์ จำเป็นต้องใช้น้ำในการบวนการแปรรูปทั้งสิ้น ดังนั้นการศึกษาวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ ซึ่งเป็นการคำนวณปริมาณการใช้น้ำจากผลรวมทุกขั้นตอนตลอดห่วงโซ่การผลิตสินค้าและบริการหรือการเพาะปลูกพืช แสดงรายละเอียดสถานที่และระยะเวลาที่ใช้น้ำอย่างชัดเจน และนำปริมาณการใช้น้ำที่ได้มาประเมินผลกระทบที่เกิดจากการผลิตสินค้าและบริการรวมถึงการเพาะปลูกพืชที่มีต่อการใช้ทรัพยากรน้ำได้อีกด้วย จึงมีความจำเป็นอย่างมาก เนื่องจากหน่วยงานที่เกี่ยวข้องสามารถนำไปใช้เป็นข้อมูลพื้นฐานหรือการกำหนดนโยบายที่สำคัญ เพื่อช่วยให้การผลิตพืชหรือการแปรรูปผลิตภัณฑ์จากพืช สามารถใช้น้ำได้อย่างมีประสิทธิภาพ หรือการจัดการเพื่อให้มีค่าวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ลดลง ซึ่งเป็นการประหยัดทรัพยากรน้ำที่มีจำกัด ให้ใช้ประโยชน์ได้อย่างยาวนาน มีความยั่งยืนและเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม

สารบัญ

	หน้า
สารบัญ	4
สารบัญภาพ	5
สารบัญตาราง	12
กิตติกรรมประกาศ	20
ผู้วิจัย	21
คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ	22
บทนำ	23
บทคัดย่อ	24
1. การวิเคราะห์วอเตอร์ฟุตพริ้นท์ของการผลิตปาล์มน้ำมัน	31
2. การวิเคราะห์วอเตอร์ฟุตพริ้นท์ของการผลิตอ้อย	118
3. การวิเคราะห์วอเตอร์ฟุตพริ้นท์ของการผลิตอ้อย	133
4. การวิเคราะห์วอเตอร์ฟุตพริ้นท์ของการแปรรูปปาล์มน้ำมัน	165
5. การวิเคราะห์วอเตอร์ฟุตพริ้นท์ของการผลิตกาแฟ	203
6. การวิเคราะห์วอเตอร์ฟุตพริ้นท์ของการผลิตข้าวโพด	246
7. การวิเคราะห์วอเตอร์ฟุตพริ้นท์ของการแปรรูปอ้อย	283
บทสรุปและข้อเสนอแนะ	311
บรรณานุกรม	312

สารบัญภาพ

ภาพที่		หน้า
1.1-1	ลักษณะระบบการจัดการแปลงเพาะกล้าในแปลงอนุบาลแรก	46
1.1-2	ลักษณะระบบการจัดการแปลงเพาะกล้าในแปลงอนุบาลหลัก	46
1.1-3	ปริมาณฝนใช้การ ความต้องการน้ำ และความต้องการน้ำชลประทานของต้นกล้าปาล์มน้ำมันในจังหวัดสุราษฎร์ธานีปี 2559-2561	49
1.1-4	ปริมาณฝนใช้การ ความต้องการน้ำ และความต้องการน้ำชลประทานของต้นกล้าปาล์มน้ำมันในจังหวัดกระบี่ ปี 2559-2561	50
1.1-5	ปริมาณฝนใช้การ ความต้องการน้ำ และความต้องการน้ำชลประทาน ของต้นกล้าปาล์มน้ำมันในจังหวัดชลบุรี ปี 2559-2561	51
1.1-6	ปริมาณฝนใช้การ ความต้องการน้ำ และความต้องการน้ำชลประทานของต้นกล้าปาล์มน้ำมันในจังหวัดตราดปี 2559-2561	51
1.2-1	พิกัดสวนปาล์มน้ำมันของเกษตรกรงานวิจัยรอยเท้าน้ำอำเภอพระแสง จังหวัดสุราษฎร์ธานี อำเภอคลอง ท่อม จังหวัดกระบี่ อำเภอท่าแซะ จังหวัดชุมพร และอำเภอสิชล จังหวัดนครศรีธรรมราช	53
1.2-2	พิกัดสวนปาล์มน้ำมันของเกษตรกรงานวิจัยรอยเท้าน้ำ อำเภอคุระบุรี จังหวัดพังงา อำเภอสิเกา จังหวัดตรัง อำเภอมะนัง จังหวัดสตูล และอำเภอกระบุรี จังหวัดระนอง	54
1.2-3	สภาพการใช้ที่ดินและหน้าตัดดินของดินพีดอน 1/2559 ม. 5 ต.ไทรขึง อ.พระแสง จ.สุราษฎร์ธานี (ด้านซ้าย) และ 2/2559 ม. 5 ต.เพหลา อ.คลองท่อม จ.กระบี่ (ด้านขวา)	54
1.2-4	สภาพการใช้ที่ดินและหน้าตัดดินของดินพีดอน 3/2559 ม.8 ต.สลุย อ.ท่าแซะ จ.ชุมพร (ด้านซ้าย) และ 4/2559 ม.4 ต.เสาเภา อ.สิชล จ.นครศรีธรรมราช (ด้านขวา)	55
1.2-5	สภาพแวดล้อมการใช้ที่ดินและหน้าตัดดินของดินพีดอน 5/2559 ม.7 ต.คุระ อ.คุระบุรี จ.พังงา (ด้านซ้าย) และ 6/2559 ม. 7 ต.กะลาเส อ.สิเกา จ.ตรัง (ด้านขวา)	55
1.2-6	สภาพการใช้ที่ดินและหน้าตัดดินของดินพีดอน 7/2559 ม.4 ต.นิคมพัฒนา อ.มะนัง จ.สตูล (ด้านซ้าย) และ 8/2559 ม.8 ต.ลำเลียง อ.กระบุรี จ.ระนอง (ด้านขวา)	55
1.2-7	อุณหภูมิสูงสุดและต่ำสุด อุณหภูมิเฉลี่ยสูงสุดและต่ำสุด ในรอบ 30 ปีที่ผ่านมา (พ.ศ. 2529-2558) ของสถานีอุตุนิยมวิทยาในจังหวัดสุราษฎร์ธานี (SNI) กระบี่ (KBI) ชุมพร (CPN) นครศรีธรรมราช (NRT) พังงา (PNA) ตรัง (TRG) สตูล (STN) และระนอง (RNG)	58
1.2-8	ค่าระเหยน้ำและปริมาณน้ำฝนในรอบ 30 ปีที่ผ่านมา (พ.ศ.2529-2558) ของสถานีอุตุนิยมวิทยาในจังหวัดสุราษฎร์ธานี (SNI) กระบี่ (KBI) ชุมพร (CPN) นครศรีธรรมราช (NRT) พังงา (PNA) ตรัง (TRG) สตูล (STN) และระนอง (RNG)	59
1.2-9	ความชื้นเฉลี่ยสูงสุดและต่ำสุดในรอบ 30 ปีที่ผ่านมา (พ.ศ.2529-2558) ของสถานีอุตุนิยมวิทยาในจังหวัดสุราษฎร์ธานี (SNI) กระบี่ (KBI) ชุมพร (CPN) นครศรีธรรมราช (NRT) พังงา (PNA) ตรัง (TRG) สตูล (STN) และระนอง (RNG)	60

ภาพที่		หน้า
1.2-10	ปริมาณน้ำฝนรายเดือน (มิลลิเมตรต่อเดือน) จากสถานีอุตุนิยมวิทยาในจังหวัดสุราษฎร์ธานี กระบี่ ชุมพร นครศรีธรรมราช พังงา ตรัง สตูล และระนอง ระหว่างปีที่ดำเนินการ พ.ศ.2559-2562	62
1.2-11	ปริมาณน้ำฝนรายปี (มิลลิเมตรต่อปี) จากสถานีอุตุนิยมวิทยาในจังหวัดสุราษฎร์ธานี กระบี่ ชุมพร นครศรีธรรมราช พังงา ตรัง สตูล และระนอง ปีที่ดำเนินการ พ.ศ. 2559-2562	62
1.2-12	ค่าระเหยน้ำรายวันเฉลี่ยในแต่ละเดือน (มิลลิเมตรต่อวัน) จากสถานีอุตุนิยมวิทยาจังหวัดสุราษฎร์ธานี กระบี่ ชุมพร นครศรีธรรมราช พังงา ตรัง สตูล และระนอง ระหว่างปี พ.ศ. 2559-2562	63
1.2-13	ค่าระเหยน้ำรายวันเฉลี่ยในแต่ละเดือน (มิลลิเมตรต่อวัน) ตลอด 4 ปี (พ.ศ. 2559-2562) จากสถานีอุตุนิยมวิทยาในจังหวัดสุราษฎร์ธานี กระบี่ ชุมพร นครศรีธรรมราช พังงา ตรัง สตูล และระนอง	63
1.2-14	ปริมาณฝนใช้การ (Precipitation efficient; Peff.) ความต้องการน้ำของปาล์มน้ำมัน (Crop Water Requirement; CWR) และความต้องการน้ำชลประทาน (Irrigation Water Requirement; IWR) ในจังหวัดสุราษฎร์ธานี กระบี่ ชุมพร นครศรีธรรมราช พังงา ตรัง สตูล และระนอง โดยคำนวณจากข้อมูลน้ำฝนและค่าระเหยเฉลี่ย 30 ปี	65
1.3-1	พิกัดสวนปาล์มน้ำมันของเกษตรกร งานวิจัยรอยเท้าน้ำอำเภอบ่อไร่ และอำเภอเมืองตราด จังหวัดตราด และอำเภอหนองใหญ่ จังหวัดชลบุรี	72
1.3-2	พิกัดสวนปาล์มน้ำมันของเกษตรกรงานวิจัยรอยเท้าน้ำอำเภอทองผาภูมิ จังหวัดกาญจนบุรี และอำเภอบางสะพานและบางสะพานน้อย จังหวัดประจวบคีรีขันธ์	73
1.3-3	สภาพการใช้ที่ดินและหน้าตัดดินของดินพีดอน 1/2560 บ้านบ่อไพร ตำบลทรายทอง อำเภอบางสะพานน้อย จังหวัดประจวบคีรีขันธ์ พิกัด 47P 546150 1217236 และพีดอน 2/2560 บ้านนามกุย ตำบลลิ่นถิ่น อำเภอทองผาภูมิ จังหวัดกาญจนบุรี พิกัด 47P 476150 1606348	73
1.3-4	สภาพการใช้ที่ดินและหน้าตัดดินของดินพีดอน 3/2560 บ้านหนองใหญ่ ตำบลหนองใหญ่ อำเภอหนองใหญ่ จังหวัดชลบุรี พิกัด 47P 756394 1454817 และพีดอน 4/2560 บ้านเนินทราย อำเภอเมือง จังหวัดตราด พิกัด 47Q 283744 136143	73
1.3-5	อุณหภูมิสูงสุดและต่ำสุด อุณหภูมิเฉลี่ยสูงสุดและต่ำสุด ในรอบ 30 ปี (พ.ศ.2530-2559) ของสถานีอุตุนิยมวิทยาในจังหวัดตราด (TRT) ชลบุรี (CBI) กาญจนบุรี (KRI) และประจวบคีรีขันธ์ (PKN)	74
1.3-6	ค่าระเหยน้ำและปริมาณน้ำฝนในรอบ 30 ปี (พ.ศ.2530-2559) ของสถานีอุตุนิยมวิทยาในจังหวัดตราด (TRT) ชลบุรี (CBI) กาญจนบุรี (KRI) และประจวบคีรีขันธ์ (PKN)	75
1.3-7	ความชื้นเฉลี่ยสูงสุดและต่ำสุดในรอบ 30 ปี (พ.ศ.2530-2559) ของสถานีอุตุนิยมวิทยาในจังหวัดตราด (TRT) ชลบุรี (CBI) กาญจนบุรี (KRI) และประจวบคีรีขันธ์ (PKN)	75

ภาพที่ **หน้า**

1.3-8 ปริมาณน้ำฝนที่ใช้การได้ (Precipitation efficiency; Peff.) ความต้องการน้ำของปาล์มน้ำมัน (Crop Water Requirement; CWR) และน้ำชลประทานที่ต้องเติมให้ปาล์มน้ำมัน (Irrigation Water Requirement; IWR) ในจังหวัดตราด (TRT) ชลบุรี (CBI) ประจวบคีรีขันธ์ (PKN) และกาญจนบุรี (KRI) โดยคำนวณจากข้อมูลน้ำฝนและค่าระเหยเฉลี่ย 30 ปี 76

1.3-9 ปริมาณน้ำฝนรายเดือน (มิลลิเมตรต่อเดือน) จากสถานีอุตุนิยมวิทยาจังหวัดตราด (TRT) ชลบุรี (CBI) กาญจนบุรี (CPN) และประจวบคีรีขันธ์ (KPN) ระหว่างปีที่ดำเนินการ พ.ศ. 2560-2563 77

1.3-10 ปริมาณน้ำฝนรายปี (มิลลิเมตรต่อปี) สถานีอุตุนิยมวิทยาจังหวัดตราด (TRT) ชลบุรี (CBI) กาญจนบุรี (CPN) และประจวบคีรีขันธ์ (KPN) ระหว่างปีที่ดำเนินการ พ.ศ. 2560-2563 78

1.3-11 ค่าระเหยน้ำรายวันเฉลี่ยในแต่ละเดือน (มิลลิเมตรต่อวัน) จากสถานีอุตุนิยมวิทยาจังหวัดตราด (TRT) ชลบุรี (CBI) กาญจนบุรี (CPN) และประจวบคีรีขันธ์ (KPN) ระหว่างปีที่ดำเนินการ พ.ศ. 2560-2563 78

1.3-12 ค่าระเหยน้ำรายวันเฉลี่ยในแต่ละเดือน (มิลลิเมตรต่อวัน) ตลอด 4 ปี (พ.ศ. 2560-2563) จากสถานีอุตุนิยมวิทยาจังหวัดตราด (TRT) ชลบุรี (CBI) กาญจนบุรี (CPN) และประจวบคีรีขันธ์ (KPN) 79

1.4-1 พิกัดสวนปาล์มน้ำมันของเกษตรกรอำเภอโพนพิสัย จังหวัดหนองคาย อำเภอเซกา จังหวัดบึงกาฬอำเภอบ้านดุง จังหวัดอุดรธานี และอำเภอบ้านม่วง จังหวัดสกลนคร อำเภอเชียงคาน ท่าลี่และเอราวัณ จังหวัดเลย และอำเภอนาจะหลวย จังหวัดอุบลราชธานี 85

1.4-2 สภาพการใช้ที่ดินและหน้าตัดดินของดินพีดอน 6/2560 บ้านใหม่โพธิ์ชัย ตำบลนาหนัง อำเภอโพนพิสัย หนองคาย พิกัด 48Q 303757 1982810 พีดอน 7/2560 บ้านดอนอุดม ตำบลโนนสมบูรณ์ อำเภอเมือง บึงกาฬ พิกัด 48Q 357075 2023549 พีดอน 8/2560 บ้านเหล่าอุดม ตำบลบ้านจันทร์ อำเภอบ้านดุง อุดรธานี พิกัด 48Q 318801 1971290 พีดอน 9/2560 บ้านดงหม้อทอง ตำบลดงหม้อทองใต้ อำเภอบ้านม่วง สกลนคร พิกัด 48Q 335172 1984610 และพีดอน 10/2560 บ้านเหล่าอุดม ตำบลบ้านจันทร์ อำเภอบ้านดุง อุดรธานี พิกัด 48P 503990 1688774 86

1.4-3 อุณหภูมิสูงสุดและต่ำสุด อุณหภูมิเฉลี่ยสูงสุดและต่ำสุด ในรอบ 30 ปีที่ผ่านมา (พ.ศ. 2530-2559) ของสถานีอุตุนิยมวิทยาในจังหวัดหนองคาย (NKI) อุดรธานี (UDN) สกลนคร (SNK) เลย (LEI) และอุบลราชธานี (UBN) 87

1.4-4 ค่าระเหยน้ำและปริมาณน้ำฝนในรอบ 30 ปี (พ.ศ.2530-2559) ของสถานีอุตุนิยมวิทยาในจังหวัดหนองคาย (NKI) อุดรธานี (UDN) สกลนคร (SNK) เลย (LEI) และ อุบลราชธานี (UBN) 88

ภาพที่		หน้า
1.4-5	ความชื้นเฉลี่ยสูงสุดและต่ำสุดในรอบ 30 ปี (พ.ศ.2530-2559) ของสถานีอุตุนิยมวิทยาในจังหวัดหนองคาย (NKI) อุดรธานี (UDN) สกลนคร (SNK) เลย (LEI) และอุบลราชธานี (UBN)	89
1.4-6	ปริมาณน้ำฝนที่ใช้การได้ (Precipitation efficiency; Peff.) ความต้องการน้ำของปาล์มน้ำมัน (Crop Water Requirement; CWR) และน้ำชลประทานที่ต้องเติมให้ปาล์มน้ำมัน (Irrigation Water Requirement; IWR) ในจังหวัดหนองคาย (NKI) อุดรธานี (UDN) สกลนคร (SNK) เลย (LEI) และอุบลราชธานี (UBN) โดยคำนวณจากข้อมูลน้ำฝนและค่าระเหยเฉลี่ย 30 ปี	90
1.4-7	ปริมาณน้ำฝนรายเดือน (มิลลิเมตรต่อเดือน) จากสถานีอุตุนิยมวิทยาในจังหวัดหนองคาย บึงกาฬ อุดรธานี สกลนคร เลย และอุบลราชธานี ระหว่างปีที่ดำเนินการ พ.ศ. 2560 – 2563	91
1.4-8	ปริมาณน้ำฝนรายปี (มิลลิเมตรต่อปี) จากสถานีอุตุนิยมวิทยาในจังหวัดหนองคาย บึงกาฬ อุดรธานี	92
1.4-9	ค่าระเหยน้ำรายวันเฉลี่ยในแต่ละเดือน (มิลลิเมตรต่อวัน) จากสถานีอุตุนิยมวิทยาในจังหวัดหนองคาย บึงกาฬ อุดรธานี สกลนคร เลยและอุบลราชธานี ระหว่างปี พ.ศ. 2559-2562 และค่าระเหยน้ำรายวันเฉลี่ยแต่ละเดือน (มิลลิเมตรต่อวัน) ตลอด 4 ปี (พ.ศ. 2559-2562)	93
1.5-1	พิกัดสวนปาล์มน้ำมันของเกษตรกรงานวิจัยรอยเท้าน้ำอำเภอเวียงเชียงรุ้ง-พญาเม็งราย จังหวัดเชียงราย (ซ้าย) และอำเภอแม่จริม จังหวัดน่าน (ขวา)	104
1.5-2	พิกัดสวนปาล์มน้ำมันของเกษตรกรงานวิจัยรอยเท้าน้ำอำเภอศรีสัชนาลัย-ทุ่งเสลี่ยม จังหวัดสุโขทัย (ซ้าย) และอำเภอนครไทย จังหวัดพิษณุโลก (ขวา)	105
1.5-3	พิกัดสวนปาล์มน้ำมันของเกษตรกรงานวิจัยรอยเท้าน้ำอำเภอห้วยคต จังหวัดอุทัยธานี (ซ้าย) และอำเภอหนองเสือ จังหวัดปทุมธานี (ขวา)	105
1.5-4	ค่าเฉลี่ยข้อมูลสภาพอากาศรายเดือน 30 ปี (พ.ศ. 2531-2560) อุณหภูมิต่ำสุด (a) อุณหภูมิสูงสุด (b) ความชื้นสัมพัทธ์ (c) ค่าระเหยน้ำ (d) และปริมาณน้ำฝน (e) จากสถานีอุตุนิยมวิทยาในจังหวัดเชียงราย น่าน สุโขทัยและพิษณุโลก	106
1.5-5	ปริมาณฝนใช้การ (Precipitation efficiency; Peff.) ความต้องการน้ำของปาล์มน้ำมัน (Crop Water Requirement; CWR) และน้ำชลประทานที่ต้องเติมให้ปาล์มน้ำมัน (Irrigation Water Requirement; IWR) ในจังหวัดเชียงราย (CRI; a) น่าน (NAN; b) สุโขทัย (STI; c) พิษณุโลก (PHS; d) อุทัยธานี (UTE; e) และปทุมธานี (PTI; f) โดย CRI NAN SKT PHS คำนวณจากข้อมูลน้ำฝนและค่าระเหยเฉลี่ย 30 ปี และ UTE PTI คำนวณจากข้อมูลน้ำฝนและค่าระเหยเฉลี่ย 10 ปี	107
1.5-6	สัดส่วนของกรีน บลูและเกรย์วอเตอร์ฟุตพริ้นท์ของการผลิตปาล์มน้ำมันช่วงอายุ 1-4 ปี และ 5-8 ปี ในจังหวัดเชียงราย น่าน สุโขทัยและพิษณุโลก	113
3.1-1	ปริมาณฝน ฝนใช้การ ความต้องการน้ำของมันสำปะหลัง และปริมาณน้ำชลประทาน (มม.) ในจ.นครราชสีมา (a), กำแพงเพชร (b) และระยอง (c) ระหว่างปี พ.ศ. 2558-2560.	145

ภาพที่		หน้า
3.1-2	Green, blue และ grey water footprint ผลผลิตหัวสดมันสำปะหลังและปริมาณน้ำชลประทานในแปลงทดลองที่จ.นครราชสีมา กำแพงเพชร และระยอง ระหว่างปี พ.ศ. 2558-2560	146
3.1-3	ความสัมพันธ์ระหว่างผลผลิตหัวสดมันสำปะหลังและ water footprint.	146
3.2-1	การเปลี่ยนแปลงการใช้พันธุ์มันสำปะหลังของเกษตรกรรายภาคปีเพาะปลูก 2560/61-2563/64	149
3.2-2	ร้อยละของช่วงปลูกและเก็บเกี่ยวมันสำปะหลังในแต่ละเดือนเฉลี่ยของเกษตรกร 26 จังหวัด ในปีการเพาะปลูก 2560/61- 2563-64	150
4-1	การคำนวณสัดส่วนผลิตภัณฑ์ทางทฤษฎี	172
4-2	ปริมาณการใช้น้ำทางตรงและทางอ้อม	181
4-3	การคำนวณวอเตอร์ฟุตพริ้นท์คิดรวมการได้มาซึ่งทะลายปาล์มสดของโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มบริษัท ยูนิวานิชน้ำมันปาล์ม จำกัด (มหาชน)	184
4-4	การคำนวณวอเตอร์ฟุตพริ้นท์คิดรวมการได้มาซึ่งทะลายปาล์มสดของโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มบริษัท ล่ำสูง (ประเทศไทย) จำกัด (มหาชน)	185
4-5	การคำนวณวอเตอร์ฟุตพริ้นท์คิดรวมการได้มาซึ่งทะลายปาล์มสดของโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มบริษัท สุขสมบูรณ์น้ำมันปาล์ม จำกัด	186
4-6	การคำนวณวอเตอร์ฟุตพริ้นท์คิดรวมการได้มาซึ่งทะลายปาล์มสดของโรงงานสกัดน้ำมันปาล์ม บริษัท อีสานพัฒนาอุตสาหกรรมปาล์ม จำกัด	187
4-7	การคำนวณวอเตอร์ฟุตพริ้นท์คิดรวมการได้มาซึ่งทะลายปาล์มสดของโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มบริษัท ภัทร ปาล์มออยล์ จำกัด	188
4-8	วอเตอร์ฟุตพริ้นท์ของการสกัดน้ำมันปาล์มดิบคิดรวมการได้มาซึ่งทะลายปาล์มสด	189
4-9	ปริมาณการใช้น้ำทางตรงและทางอ้อม	193
4-10	การคำนวณวอเตอร์ฟุตพริ้นท์คิดรวมการได้มาซึ่งทะลายปาล์มสดของโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มสหกรณ์นิคมคลองท่อม จำกัด	195
4-11	การคำนวณวอเตอร์ฟุตพริ้นท์คิดรวมการได้มาซึ่งทะลายปาล์มสดของโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มชุมนุมสหกรณ์ชาวสวนปาล์มน้ำมันกระบี่ จำกัด	196
4-12	วอเตอร์ฟุตพริ้นท์ของการสกัดน้ำมันปาล์มดิบคิดรวมการได้มาซึ่งทะลายปาล์มสด	197
5.1-1	แผนผังถัง Lysimeter Percolation type	211
5.1-2	แผนผังการวิเคราะห์ค่าการใช้น้ำหรือวอเตอร์ฟุตพิ้นท์ของกาแฟโรบัสตา	211
5.1-3	ความสัมพันธ์แบบโพลิโนเมียลระหว่างค่าการคายระเหย และอายุหลังปลูกของกาแฟโรบัสต้าที่ปลูกในถังวัดการใช้น้ำของพืช	216
5.1-4	ความสัมพันธ์แบบโพลิโนเมียลระหว่างค่าการคายระเหย และอายุหลังปลูกของกาแฟโรบัสต้าที่ปลูกในถังวัดการใช้น้ำของพืช	216
5.1-5	ความสัมพันธ์แบบโพลิโนเมียลระหว่างค่าสัมประสิทธิ์ของถาดวัดการระเหยเบ็ดเสร็จและอายุหลัง ปลูกของกาแฟโรบัสตา ที่ปลูกในถังวัดการใช้น้ำของพืช	217

ภาพที่		หน้า
5.1-6	ความสัมพันธ์แบบโพลิโนเมียลระหว่างค่าสัมประสิทธิ์ของถาดวัดการระเหยเบ็ดเสร็จและอายุหลังปลูกของกาแฟโรบัสต้า ที่ปลูกในถังวัดการใช้น้ำของพืช	218
5.1-7	วอเตอร์ฟุตพริ้นท์ของกาแฟโรบัสตา 3 จังหวัดหลักที่เป็นแหล่งปลูกกาแฟโรบัสตา (ปี พ.ศ. 2556 – 2560)	236
6.3-1	ค่าการคายระเหยน้ำ เฉลี่ยรายสัปดาห์ 30 ปี (ปี พ.ศ. 2534-2563) จากสถานีอุตุนิยมวิทยาจังหวัดน่าน จังหวัดตาก และจังหวัดเพชรบูรณ์	270
6.3-2	ปริมาณฝนเฉลี่ยรายสัปดาห์ 30 ปี (ปี พ.ศ. 2534-2563) จากสถานีอุตุนิยมวิทยาจังหวัดน่าน จังหวัดตาก และจังหวัดเพชรบูรณ์	270
6.3-3	ค่าความต้องการน้ำ (Crop Water Requirement: CWR) ปริมาณฝนใช้การ (Precipitation effective: Peff) และค่าความต้องการน้ำชลประทาน (Irrigation Water Requirement: IWR) ของข้าวโพดเลี้ยงสัตว์จังหวัดน่าน	271
6.3-4	ค่าความต้องการน้ำ (Crop Water Requirement: CWR) ปริมาณฝนใช้การ (Precipitation effective: Peff) และค่าความต้องการน้ำชลประทาน (Irrigation Water Requirement: IWR) ของข้าวโพดเลี้ยงสัตว์จังหวัดตาก	271
6.3-5	ค่าความต้องการน้ำ (Crop Water Requirement: CWR) ปริมาณฝนใช้การ (Precipitation effective: Peff) และค่าความต้องการน้ำชลประทาน (Irrigation Water Requirement: IWR) ของข้าวโพดเลี้ยงสัตว์จังหวัดเพชรบูรณ์	272
6.3-6	ค่าปริมาณฝนใช้การ (Precipitation effective: Peff.) และค่าความต้องการน้ำชลประทาน (Irrigation Water Requriment: IWR) ของข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ในจังหวัดน่าน ตาก และเพชรบูรณ์	272
6.4-1	ค่าการคายระเหยน้ำ (Evapotranspiration) เฉลี่ยรายสัปดาห์ 30 ปี (ปี พ.ศ. 2534-2563) จากสถานีอุตุนิยมวิทยาจังหวัดเลย จังหวัดนครราชสีมา และจังหวัดชัยภูมิ	275
6.4-2	ปริมาณฝนเฉลี่ยรายสัปดาห์ 30 ปี (ปี พ.ศ. 2534-2563) จากสถานีอุตุนิยมวิทยาจังหวัดเลย นครราชสีมา และชัยภูมิ	275
6.4-3	ค่าความต้องการน้ำ (Crop Water Requirement: CWR) ปริมาณฝนใช้การ (Precipitation effective: Peff) และค่าความต้องการน้ำชลประทาน (Irrigation Water Requirement: IWR) ของข้าวโพดเลี้ยงสัตว์จังหวัดเลย	276
6.4-4	ค่าความต้องการน้ำ (Crop Water Requirement: CWR) ปริมาณฝนใช้การ (Precipitation effective: Peff) และค่าความต้องการน้ำชลประทาน (Irrigation Water Requirement: IWR) ของข้าวโพดเลี้ยงสัตว์จังหวัดครราชสีมา	276
6.4-5	ค่าความต้องการน้ำ (Crop Water Requirement: CWR) ปริมาณฝนใช้การ (Precipitation effective: Peff) และค่าความต้องการน้ำชลประทาน (Irrigation Water Requirement: IWR) ของข้าวโพดเลี้ยงสัตว์จังหวัดชัยภูมิ	277
6.4-6	ค่าปริมาณฝนใช้การ (Precipitation effective: Peff.) และค่าความต้องการน้ำชลประทาน (Irrigation Water Requriment: IWR) ของข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ที่ปลูกในจังหวัดเลย จังหวัดนครราชสีมา และจังหวัดชัยภูมิ	277

ภาพที่		หน้า
6.4-7	ปริมาณน้ำที่ใช้ในการปลูกข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ของเกษตรกร จังหวัดเลย เดือนธันวาคม-มีนาคม	278
7-1	วอเตอร์ฟุตพริ้นท์ของการผลิตน้ำตาลทรายแบบไม่คิดรวมการได้มาซึ่งผลผลิตของโรงงานภาคกลาง	308
7-2	วอเตอร์ฟุตพริ้นท์ของการผลิตน้ำตาลทรายแบบคิดรวมการได้มาซึ่งผลผลิต	308
7-3	วอเตอร์ฟุตพริ้นท์ของการผลิตน้ำตาลทรายแบบไม่คิดรวมการได้มาซึ่งผลผลิตอ้อยของโรงงานภาคตะวันออกเฉียงเหนือ	309
7-4	วอเตอร์ฟุตพริ้นท์ของการผลิตน้ำตาลทรายแบบคิดรวมการได้มาซึ่งผลผลิตอ้อยของโรงงานภาคตะวันออกเฉียงเหนือ	310

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
1.1-1	ปริมาณการใช้น้ำในการผลิตเมล็ดงอกปาล์มน้ำมัน (ลิตรต่อเมล็ด) 5 หน่วยงาน รอบการผลิตปี 2559-2561	45
1.1-2	กรีนวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ บลูวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ เกรย์วอเตอร์ฟุตพริ้นท์และวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ (ลิตรต่อเมล็ด) ของการผลิตเมล็ดงอกปาล์มน้ำมัน 5 หน่วยงาน รอบการผลิตปี 2559-2561	45
1.1-3	ปริมาณการให้น้ำเฉลี่ยในการผลิตต้นกล้าปาล์มน้ำมัน 7 หน่วยงาน ในรอบการผลิตปี 2559-2561	46
1.1-4	กรีนวอเตอร์ฟุตพริ้นท์และบลูวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ของการผลิตต้นกล้าปาล์มน้ำมัน (ลูกบาศก์เมตรต่อ ต้น) 7 หน่วยงาน ในรอบการผลิตปี 2559-2561	47
1.1-5	เกรย์วอเตอร์ฟุตพริ้นท์ วอเตอร์ฟุตพริ้นท์ของการผลิตต้นกล้าปาล์มน้ำมัน (ลูกบาศก์เมตรต่อต้น) 7 หน่วยงาน ในรอบการผลิตปี 2559-256	48
1.1-6	การเจริญเติบโตเฉลี่ยต่อต้นของต้นกล้าปาล์มน้ำมันอายุ 6 เดือน 7 หน่วยงาน ในรอบการผลิตปี 2559-2561	48
1.2-1	เนื้อที่ให้ผลผลิตปาล์มน้ำมัน (ไร่) ปี 2558 และแปลงเกษตรกรที่เก็บข้อมูล (ราย) ในเขตภาคใต้	52
1.2-2	จำนวนสวนปาล์มน้ำมันในแต่ละช่วงอายุปาล์มน้ำมัน และจำแนกตามความเหมาะสมของพื้นที่ปลูกปาล์มน้ำมันของกรมพัฒนาที่ดิน จำนวน 209 แปลง	52
1.2-3	สมบัติทางกายภาพของชุดดินที่ศึกษา	56
1.2-4	ปริมาณเนื้อปุ๋ยไนโตรเจน ฟอสฟอรัส โพแทสเซียม แมกนีเซียมและโบรอน (กรัมต่อต้นต่อปี) ของเกษตรกรที่ใส่ให้ปาล์มน้ำมัน 4 ช่วงอายุ (1-4 5-8 9-12 และมากกว่า 12 ปี) 190 แปลงใน 8 จังหวัดภาคใต้ ในปี 2561	65
1.2-5	ผลผลิตเฉลี่ยปาล์มน้ำมัน (ตันต่อไร่ต่อปี) 4 ช่วงอายุ (1-4 ปี 5-8 ปี 9-12 ปี และมากกว่า 12 ปี) 8 จังหวัดภาคใต้ ในปี 2559-2562 ที่ผ่านมา	67
1.2-6	วอเตอร์ฟุตพริ้นท์ (Water Footprint) ของการผลิตปาล์มน้ำมัน ปีที่ 1-3 จำแนกตามช่วงอายุ 4 ช่วงอายุ (1-4 5-8 9-12 และมากกว่า 12 ปี) ใน 8 จังหวัดภาคใต้ ในปี 2559-2561 ที่ผ่านมา	70
1.3-1	เนื้อที่ให้ผลผลิตปาล์มน้ำมัน (ไร่) ปี 2559 และ 2562 และแปลงเกษตรกรที่เก็บข้อมูล (ราย) ในเขตภาคตะวันออกและตะวันตก	72
1.3-2	จำนวนสวนปาล์มน้ำมันในแต่ละช่วงอายุปาล์มน้ำมัน และจำแนกตามความเหมาะสมของพื้นที่ปลูกปาล์มน้ำมันของกรมพัฒนาที่ดิน จำนวน 89 แปลง	72
1.3-3	ปริมาณเนื้อปุ๋ยไนโตรเจน ฟอสฟอรัส โพแทสเซียม แมกนีเซียมและโบรอน (กรัมต่อต้นต่อปี) ของเกษตรกรที่ใส่ปาล์มน้ำมัน 4 ช่วงอายุ (1-4 5-8 9-12 และมากกว่า 12 ปี) 91 แปลง ใน 4 จังหวัดภาคตะวันออกและตะวันตก ปี 2562	80
1.3-4	ผลผลิตเฉลี่ยปาล์มน้ำมัน (ตันต่อไร่ต่อปี) 4 ช่วงอายุ (1-4 ปี 5-8 ปี 9-12 ปี และมากกว่า 12 ปี) 8 จังหวัดภาคตะวันออกและตะวันตก ในปี 2560-2563 ที่ผ่านมา	81

ตารางที่		หน้า
1.3-5	วอเตอร์ฟุตพริ้นท์ของการผลิตปาล์มน้ำมัน ปีที่ 1-4 จำแนกตามอายุ 4 ช่วงอายุ (1-4 5-8 9-12 และมากกว่า 12 ปี) ใน 4 จังหวัดภาคตะวันออกและตะวันตก ปี 2560-2563 ที่ผ่านมา	83
1.4-1	เนื้อที่ให้ผลผลิตปาล์มน้ำมัน (ไร่) ปี 2559 และ 2562 และแปลงเกษตรกรที่เก็บข้อมูล (ราย) เขตภาคตะวันออกเฉียงเหนือ	84
1.4-2	สวนปาล์มน้ำมันแต่ละช่วงอายุ และจำแนกตามความเหมาะสมของพื้นที่ปลูกปาล์มน้ำมันของกรมพัฒนาที่ดิน 130 แปลงในจังหวัดหนองคาย (NKI) บึงกาฬ (BKN) อุดรธานี (UDN) สกลนคร (SNK) เลย (LEI) และอุบลราชธานี (UBN)	84
1.4-3	ปริมาณเนื้อปุ๋ยไนโตรเจน ฟอสฟอรัส โพแทสเซียม แมกนีเซียมและโบรอน (กรัมต่อต้นต่อปี) ของเกษตรกรที่ใส่ปาล์มน้ำมัน 4 ช่วงอายุ (1-4 5-8 9-12 และมากกว่า 12 ปี) 142 แปลง ใน 6 จังหวัดภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ปี 2562	95
1.4-4	ผลผลิตเฉลี่ยปาล์มน้ำมัน (ตันต่อไร่ต่อปี) 4 ช่วงอายุ (1-4 ปี 5-8 ปี 9-12 ปี และมากกว่า 12 ปี) 6 จังหวัดภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ปีงบประมาณ 2560-2563	96
1.4-5	กรีนวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ (Green Water Footprint) ของการผลิตปาล์มน้ำมัน ปีที่ 1-4 จำแนกตามช่วงอายุ 4 ช่วงอายุ (1-4 5-8 9-12 และมากกว่า 12 ปี) ใน 6 จังหวัดภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ในปี 2560-2563	97
1.4-6	บลูวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ (Blue Water Footprint) ของการผลิตปาล์มน้ำมัน ปีที่ 1-4 จำแนกตามช่วงอายุ 4 ช่วงอายุ (1-4 5-8 9-12 และมากกว่า 12 ปี) ใน 6 จังหวัดภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ในปี 2560-2563	99
1.4-7	เกรย์วอเตอร์ฟุตพริ้นท์ (Grey Water Footprint) ของการผลิตปาล์มน้ำมัน ปีที่ 1-4 จำแนกตามช่วงอายุ 4 ช่วงอายุ (1-4 5-8 9-12 และมากกว่า 12 ปี) ใน 6 จังหวัดภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ในปี 2560-2563	100
1.4-8	วอเตอร์ฟุตพริ้นท์ (Water Footprint) ของการผลิตปาล์มน้ำมัน ปีที่ 1-3 จำแนกตามช่วงอายุ 4 ช่วงอายุ (1-4 5-8 9-12 และมากกว่า 12 ปี) ใน 6 จังหวัดภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ปี 2560-2563	102
1.5-1	เนื้อที่ให้ผลผลิตปาล์มน้ำมัน (ไร่) ปี 2560 และ 2564 และแปลงเกษตรกรที่เก็บข้อมูล (ราย) ในเขตภาคเหนือภาคกลาง	103
1.5-2	จำนวนสวนปาล์มน้ำมันในแต่ละช่วงอายุปาล์มน้ำมัน และจำแนกตามความเหมาะสมของพื้นที่ปลูกปาล์มน้ำมันของกรมพัฒนาที่ดิน จำนวน 135 แปลง ในจังหวัดเชียงราย (CRI) น่าน (NAN) สุโขทัย (STI) พิษณุโลก (PLK) อุทัยธานี (UTI) และปทุมธานี (PTE)	104
1.5-3	ปริมาณเนื้อปุ๋ยไนโตรเจน ฟอสฟอรัส โพแทสเซียม แมกนีเซียมและโบรอน (กรัมต่อต้นต่อปี) ของเกษตรกรที่ใส่ให้ปาล์มน้ำมัน 4 ช่วงอายุ (1-4 5-8 9-12 และมากกว่า 12 ปี) 135 แปลง ใน 6 จังหวัดภาคเหนือและภาคกลาง ในปี 2561	109
1.5-4	ผลผลิตเฉลี่ยปาล์มน้ำมัน (ตันต่อไร่ต่อปี) 4 ช่วงอายุ (1-4 ปี 5-8 ปี 9-12 ปี และมากกว่า 12 ปี) 6 จังหวัดภาคเหนือและภาคกลาง ปีงบประมาณ 2561-2563	110

ตารางที่		หน้า
1.5-5	ปริมาณฝนใช้การ ความต้องการน้ำชลประทาน วอเตอร์ฟุตพริ้นท์เฉลี่ยของการผลิตปาล์มน้ำมันในช่วงที่ไม่ให้ผลผลิตของจังหวัดเชียงราย น่าน สุโขทัย พิษณุโลก อุทัยธานี และปทุมธานี ปี 2561-2564	112
1.5-6	วอเตอร์ฟุตพริ้นท์เฉลี่ยของการผลิตปาล์มน้ำมันในช่วงอายุ 1-4 5-8 9-12 และ มากกว่า 12 ปี และเฉลี่ย 4 ช่วงอายุ ของจังหวัดเชียงราย น่าน สุโขทัย พิษณุโลก อุทัยธานี และปทุมธานี ปี 2561	112
1.5-7	ผลผลิตปาล์มน้ำมันเฉลี่ย และวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ของการผลิตปาล์มน้ำมันเฉลี่ย ระหว่างปี 2561-2564 ของจังหวัดเชียงราย น่าน สุโขทัย พิษณุโลก อุทัยธานี และปทุมธานี	113
2.1-1	Maximum yield, minimum yield, average yield, and standard deviation of sugarcane production under irrigated condition in some major production areas in Thailand during 2015-2017	124
2.1-2	Maximum yield, minimum yield, average yield, and standard deviation of various cultivars for sugarcane production under irrigated condition in some major production areas in Thailand during 2015-2017	124
2.1-3	Maximum yield, minimum yield, average yield, and standard deviation of various planting date for sugarcane production under irrigated condition in some major production areas in Thailand during 2015-2017	125
2.1-4	The water footprint of sugarcane for sugarcane production under irrigated condition in some major production areas in Thailand during 2015-2017	125
2.2-1	Sugarcane cultivars, planting date, harvesting date, and rainfall accumulation for sugarcane production in some major production areas in Thailand during 2015-2017	126
2.2-2	Total fertilizer application for sugarcane production and nitrogen leaching in some major production areas in Thailand during 2015-2017	127
2.2-3	Maximum yield, minimum yield, average yield, and standard deviation of sugarcane production under rainfed condition in some major production areas in Thailand during 2015-2017	128
2.2-4	The water footprint of sugarcane for sugarcane production under rainfed condition in some major production areas in Thailand during 2015-2017	129
3.1-1	คุณสมบัติบางประการของดินในแปลงทดลองปลูกมันสำปะหลัง	139
3.1-2	Water footprint และผลผลิตหัวสดมันสำปะหลังที่ปลูกในสภาพให้น้ำแตกต่างกันที่ จ.นครราชสีมา กำแพงเพชร และระยอง ระหว่างปี พ.ศ. 2558-2560	147
3.2-1	การใช้พันธุ์มันสำปะหลังรายจังหวัดปีการเพาะปลูก 2560/61-2563/64	148
3.2-2	ช่วงระยะเวลาปลูกจนถึงเก็บเกี่ยวมันสำปะหลังเฉลี่ยเป็นเดือน (ในวงเล็บเป็นค่าต่ำสุด-สูงสุด) ของเกษตรกร 26 จังหวัด ในปีการเพาะปลูก 2560/61- 2563-64	151

ตารางที่		หน้า
3.2-3	ผลผลิตหัวสดเฉลี่ยต่อไร่ ปริมาณการใช้ปุ๋ยไนโตรเจนเฉลี่ยและ WFgreen WFblue WFgrey และ WPของการปลูกมันสำปะหลังในแต่ละจังหวัด ในปีการผลิต 2560/61-2563/64	154
3.3-1	คุณลักษณะผลผลิตหัวสดเฉลี่ย และการใช้น้ำในกระบวนการผลิตแป้งดิบมันสำปะหลังของโรงงานในจังหวัดอุบลราชธานี กำแพงเพชรและสระแก้ว	159
3.3-2	วอเตอร์ฟุตพริ้นท์ของหัวมันสำปะหลังสดและการผลิตแป้งดิบมันสำปะหลังของโรงงานในจังหวัดอุบลราชธานี กำแพงเพชรและสระแก้ว	160
4-1	ข้อมูลที่ใช้ในการคำนวณวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ของการผลิตน้ำมันปาล์มดิบ	169
4-2	ข้อมูลที่ใช้ในการคำนวณวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ของการผลิตน้ำมันปาล์มบริสุทธิ์	174
4-3	บัญชีรายการสำหรับการผลิตน้ำมันปาล์มดิบ 1 ตัน	178
4-4	สัดส่วนผลิตภัณฑ์ของโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มดิบ	179
4-5	ปริมาณน้ำทางตรงที่ใช้ในกระบวนการสกัดน้ำมันปาล์มดิบ	180
4-6	ค่าวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ของน้ำมันดีเซล ไฟฟ้า และสารเคมี	180
4-7	ปริมาณน้ำทางอ้อมที่ใช้ในกระบวนการสกัดน้ำมันปาล์มดิบ	181
4-8	วอเตอร์ฟุตพริ้นท์ของการสกัดน้ำมันปาล์มดิบ (ไม่คิดรวมการได้มาซึ่งทะลายปาล์มสด)	182
4-9	วอเตอร์ฟุตพริ้นท์ของการได้มาซึ่งทะลายปาล์มสด	182
4-10	บัญชีรายการสำหรับการผลิตน้ำมันปาล์มดิบ 1 ตัน	190
4-11	สัดส่วนผลิตภัณฑ์ของโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มดิบ	191
4-12	ปริมาณน้ำทางตรงที่ใช้ในกระบวนการสกัดน้ำมันปาล์มดิบ	192
4-13	วอเตอร์ฟุตพริ้นท์ของน้ำมันดีเซล ไฟฟ้า และสารเคมี	192
4-14	ปริมาณน้ำทางอ้อมที่ใช้ในกระบวนการสกัดน้ำมันปาล์มดิบ	193
4-15	วอเตอร์ฟุตพริ้นท์ของการสกัดน้ำมันปาล์มดิบ (ไม่คิดรวมการได้มาซึ่งทะลายปาล์มสด)	193
4-16	วอเตอร์ฟุตพริ้นท์ของการได้มาซึ่งทะลายปาล์มสด	194
4-17	บัญชีรายการสำหรับการผลิตน้ำมันปาล์มบริสุทธิ์ 1 ตันของบริษัท สุขสมบูรณ์น้ำมันพืช จำกัด	198
4-18	ปริมาณน้ำทางตรงที่ใช้ในกระบวนการกลั่นน้ำมันปาล์มบริสุทธิ์	198
4-19	วอเตอร์ฟุตพริ้นท์ของน้ำมันดีเซล ไฟฟ้า และสารเคมี	199
4-20	ปริมาณน้ำทางอ้อม (ลูกบาศก์เมตรต่อตันน้ำมันปาล์มบริสุทธิ์) ที่ใช้ในการผลิตน้ำมันปาล์มบริสุทธิ์	199
4-21	ปริมาณน้ำมันปาล์มดิบที่ใช้ผลิตน้ำมันปาล์มบริสุทธิ์จาก 15 จังหวัด วอเตอร์ฟุตพริ้นท์ของการผลิตน้ำมันปาล์มดิบแต่ละจังหวัด ทะลายปาล์มน้ำมันทั้งหมดที่ใช้ผลิตน้ำมันปาล์มดิบ วอเตอร์ฟุตพริ้นท์ของการผลิตทะลายปาล์มน้ำมัน 1 ตัน และทะลายปาล์มน้ำมันทั้งหมดในแต่ละจังหวัด	200
5.1-1	ข้อมูลพืชของกาแฟ	212
5.1-2	รายงานผลวิเคราะห์ตัวอย่างดินในถังวัดการใช้น้ำของพืชที่ทำการศึกษา	215

ตารางที่		หน้า
5.1-3	ปริมาณการใช้น้ำของพืชอ้างอิง จากสมการต่างๆ ในช่วงก่อนให้ผลผลิต (หน่วย: มิลลิเมตรต่อเดือน)	216
5.1-4	ปริมาณการใช้น้ำของพืชอ้างอิง จากสมการต่างๆ ในช่วงการให้ผลผลิต (หน่วย: มิลลิเมตรต่อเดือน)	217
5.1-5	ปริมาณการใช้น้ำของพืชอ้างอิง จากสมการต่างๆ ในช่วงก่อนให้ผลผลิต (หน่วย: มิลลิเมตรต่อวัน)	218
5.1-6	ปริมาณการใช้น้ำของพืชอ้างอิง จากสมการต่างๆ ในช่วงการให้ผลผลิต (หน่วย: มิลลิเมตรต่อวัน)	219
5.1-7	ค่าสัมประสิทธิ์การใช้น้ำ ของกาแฟโรบัสตาที่ปลูกในถังวัดปริมาณการใช้น้ำ ถัง A ในช่วงก่อนให้ผลผลิต	222
5.1-8	ค่าสัมประสิทธิ์การใช้น้ำ ของกาแฟโรบัสตาที่ปลูกในถังวัดปริมาณการใช้น้ำ ถัง B ในช่วงก่อนให้ผลผลิต	223
5.1-9	ค่าสัมประสิทธิ์การใช้น้ำ ของกาแฟโรบัสตาที่ปลูกในถังวัดปริมาณการใช้น้ำ ถัง C ในช่วงก่อนให้ผลผลิต	224
5.1-10	ค่าสัมประสิทธิ์การใช้น้ำ ของกาแฟโรบัสต้าที่ปลูกในถังวัดปริมาณการใช้น้ำ ถัง D ในช่วงก่อนให้ผลผลิต	225
5.1-11	ค่าสัมประสิทธิ์การใช้น้ำเฉลี่ย ของกาแฟโรบัสตาที่ปลูกในถังวัดปริมาณการใช้น้ำเฉลี่ยในช่วงก่อนให้ผลผลิต	226
5.1-12	ค่าสัมประสิทธิ์การใช้น้ำ ของกาแฟโรบัสตาที่ปลูกในถังวัดปริมาณการใช้น้ำ ถัง A ในช่วงการให้ผลผลิต	227
5.1-13	ค่าสัมประสิทธิ์การใช้น้ำ ของกาแฟโรบัสตาที่ปลูกในถังวัดปริมาณการใช้น้ำ ถัง B ในช่วงการให้ผลผลิต	228
5.1-14	ค่าสัมประสิทธิ์การใช้น้ำ ของกาแฟโรบัสตาที่ปลูกในถังวัดปริมาณการใช้น้ำ ถัง C ในช่วงการให้ผลผลิต	229
5.1-15	ค่าสัมประสิทธิ์การใช้น้ำ ของกาแฟโรบัสตาที่ปลูกในถังวัดปริมาณการใช้น้ำ ถัง D ในช่วงการให้ผลผลิต	230
5.1-16	ค่าสัมประสิทธิ์การใช้น้ำเฉลี่ย ของกาแฟโรบัสตาที่ปลูกในถังวัดปริมาณการใช้น้ำเฉลี่ยในช่วงการให้ผลผลิต	231
5.1-17	เนื้อที่ให้ผล ผลผลิต และผลผลิตต่อไร่ กาแฟของไทย ปี 2556 – 2560	233
5.1-18	เนื้อที่ ผลผลิต และผลผลิตต่อไร่ของกาแฟเป็นรายจังหวัด ปี 2556 - 2560	233
5.1-19	ค่าคายระเหยน้ำ และค่าวอเตอร์ฟุตพริ้นต์กรีนและบลูของการปลูกกาแฟโรบัสตา	235
5.1-20	ปริมาณการใช้ปุ๋ยและปริมาณน้ำที่ต้องการเพื่อเจือจางการละล้างปุ๋ยที่มีอยู่ในแหล่งน้ำ	235
5.1-21	ค่าเฉลี่ยวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ของกาแฟโรบัสตาใน 3 จังหวัดผลิตหลัก (ปี พ.ศ. 2556 – 2560)	236
5.2-1	ปริมาณใช้น้ำ (ลิตร) ในการผลิตต้นกล้ากาแฟ	237
5.2-2	การใช้ปุ๋ยเคมีในแปลงปลูกกาแฟและผลผลิตกาแฟ ในพื้นที่จังหวัดเชียงรายและเชียงใหม่	238

ตารางที่		หน้า
5.2-3	ข้อมูลพืชของกาแฟสำหรับการนำเข้าโปรแกรม CROPWAT8.0	239
5.2-4	ค่าการระเหยน้ำของพืชอ้างอิงรายวันและรายเดือนของจังหวัดเชียงราย	239
5.2-5	ค่าการระเหยน้ำของพืชอ้างอิงรายวันและรายเดือนของจังหวัดเชียงใหม่	239
5.2-6	ค่าการคายระเหยน้ำ ค่ากรีนและบลูวอเตอร์ฟุตพรินท์ ของจังหวัดเชียงรายและเชียงใหม่	240
5.2-7	การใช้ปุ๋ยเคมีไนโตรเจนและปริมาณน้ำที่ต้องใช้เพื่อเจือจางการชะล้างปุ๋ยที่มีอยู่ในแหล่งน้ำ ของจังหวัดเชียงรายและเชียงใหม่	241
5.2-8	วอเตอร์ฟุตปรินท์ของกาแฟอะราบิกา จังหวัดเชียงรายและเชียงใหม่	241
6.1-1	ความสูงต้น ความสูงฝัก และน้ำหนักแห้งที่ระยะเก็บเกี่ยวของข้าวโพดหวานพันธุ์ชัยนาท 2 เมื่อให้น้ำอัตราต่างกัน ณ ศูนย์วิจัยพืชไร่ชัยนาท ฤดูแล้ง 2562	262
6.1-2	ขนาดฝัก ความยาวฝัก ผลผลิตทั้งเปลือก ผลผลิตปอกเปลือกของข้าวโพดหวานพันธุ์ชัยนาท 2 เมื่อให้น้ำอัตราต่างกัน ณ ศูนย์วิจัยพืชไร่ชัยนาท ฤดูแล้ง 2562	262
6.1-3	กรีน บลู เกรย์ และวอเตอร์ฟุตพริ้นท์รวมของการผลิตข้าวโพดหวานพันธุ์ชัยนาท 2 เมื่อให้น้ำอัตราต่างกัน ณ ศูนย์วิจัยพืชไร่ชัยนาท ฤดูแล้ง 2562	262
6.1-4	ความสูงต้น ความสูงฝัก และน้ำหนักแห้งที่ระยะเก็บเกี่ยวของข้าวโพดหวานพันธุ์ชัยนาท 2 เมื่อให้น้ำอัตราต่างกัน ณ ศูนย์วิจัยพืชไร่ชัยนาท ฤดูแล้ง 2563	262
6.1-5	ขนาดฝัก ความยาวฝัก ผลผลิตทั้งเปลือก ผลผลิตปอกเปลือกของข้าวโพดหวานพันธุ์ชัยนาท 2 เมื่อให้น้ำอัตราต่างกัน ณ ศูนย์วิจัยพืชไร่ชัยนาท ฤดูแล้ง 2563	263
6.1-6	กรีน บลู เกรย์ และวอเตอร์ฟุตพริ้นท์รวมของการผลิตข้าวโพดหวานพันธุ์ชัยนาท 2 เมื่อให้น้ำอัตราต่างกัน ณ ศูนย์วิจัยพืชไร่ชัยนาท ฤดูแล้ง 2563	263
6.1-7	กรีน บลู เกรย์ และวอเตอร์ฟุตพริ้นท์รวมของการผลิตข้าวโพดหวานพันธุ์ชัยนาท 2 และผลผลิตเมื่อให้น้ำอัตราต่างกัน ณ ศูนย์วิจัยพืชไร่ชัยนาท ฤดูแล้ง 2563-2564	263
6.2-1	ผลผลิตฝักสดทั้งเปลือก ผลผลิตฝักสดปอกเปลือกมาตรฐาน จำนวนฝักมาตรฐาน ความสูงต้น ความสูงฝักของข้าวโพดฝักอ่อน เมื่อให้น้ำในอัตราที่ต่างกัน ในฤดูแล้ง 2563	266
6.2-2	พื้นที่ใบ น้ำหนักแห้ง ความสูงต้น ความสูงฝักของข้าวโพดฝักอ่อน เมื่อให้น้ำในอัตราที่ต่างกัน ในฤดูแล้ง 2563	267
6.2-3	ความยาว-ความกว้างฝัก ฝัก วันออกดอกและออกไหมของข้าวโพดฝักอ่อนเมื่อให้น้ำอัตราต่างกัน ฤดูแล้ง 2563	267
6.2-4	วอเตอร์ฟุตพริ้นท์ของการผลิตข้าวโพดฝักอ่อนและผลผลิตข้าวโพดฝักอ่อนทั้งเปลือก	267
6.2-5	ขนาดฝัก ความยาวฝัก ผลผลิตทั้งเปลือก ผลผลิตปอกเปลือกของข้าวโพดฝักอ่อนลูกผสม Pac321 เมื่อให้น้ำอัตราต่างกัน ณ ศูนย์วิจัยพืชไร่ชัยนาท ฤดูแล้ง 2563	267
6.2-6	กรีน บลู เกรย์ และวอเตอร์ฟุตพริ้นท์รวมของการผลิตข้าวโพดฝักอ่อนลูกผสม Pac321 เมื่อให้น้ำอัตราต่างกัน ณ ศูนย์วิจัยพืชไร่ชัยนาท ฤดูแล้ง 2563	268
6.2-7	กรีน บลู เกรย์ และวอเตอร์ฟุตพริ้นท์รวมของการผลิตข้าวโพดฝักอ่อนลูกผสม Pac321 และผลผลิตเมื่อให้น้ำอัตราต่างกัน ณ ศูนย์วิจัยพืชไร่ชัยนาท ฤดูแล้ง 2563-2564	268

ตารางที่		หน้า
6.3-1	วอเตอร์ฟุตพริ้นท์45สีเขียว วอเตอร์ฟุตพริ้นท์สีเทา และวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ทั้งหมดเฉลี่ยจากการปลูกข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ของเกษตรกรในจังหวัดน่าน ตาก และเพชรบูรณ์	272
6.3-2	ผลผลิตข้าวโพดเลี้ยงสัตว์และวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ทั้งหมดเฉลี่ย ในจังหวัดน่าน ตาก และเพชรบูรณ์	273
6.4-1	วอเตอร์ฟุตพริ้นท์สีเขียว วอเตอร์ฟุตพริ้นท์สีเทาและวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ทั้งหมด จากการปลูกข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ของเกษตรกรในจังหวัดเลย นครราชสีมา และชัยภูมิ	278
6.4-2	ผลผลิตข้าวโพดเลี้ยงสัตว์และวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ทั้งหมดในจังหวัดเลย นครราชสีมา และชัยภูมิ	278
7-1	ข้อมูลที่ใช้ใคำนวณวอเตอร์ฟุตพริ้นท์	287
7-2	บัญชีรายการสำหรับการผลิตน้ำตาลทรายของโรงงานภาคกลาง	294
7-3	บัญชีรายการสำหรับการผลิตน้ำตาลทราย 50 กิโลกรัมของโรงงานภาคกลาง	296
7-4	บัญชีรายการสำหรับการผลิตน้ำตาลทรายของโรงงานภาคตะวันออกเฉียงเหนือ	298
7-5	บัญชีรายการสำหรับการผลิตน้ำตาลทราย 50 กิโลกรัมของโรงงานภาคตะวันออกเฉียงเหนือ	299
7-6	สัดส่วนผลิตภัณฑ์ของโรงงานน้ำตาลในการผลิตน้ำตาลทรายดิบของโรงงานภาคกลาง	301
7-7	สัดส่วนผลิตภัณฑ์ของโรงงานน้ำตาลทรายในการผลิตน้ำตาลทรายขาวบริสุทธิ์ของโรงงานภาคกลาง	302
7-8	สัดส่วนผลิตภัณฑ์ของโรงงานน้ำตาลในการผลิตน้ำตาลทรายดิบของโรงงานภาคตะวันออกเฉียงเหนือ	302
7-9	สัดส่วนผลิตภัณฑ์ของโรงงานน้ำตาลทรายในการผลิตน้ำตาลทรายขาวบริสุทธิ์ของโรงงานภาคตะวันออกเฉียงเหนือ	302
7-10	ค่าวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ของวัตถุดิบในกระบวนการ	303
7-11	ปริมาณน้ำทางตรงที่ใช้ในกระบวนการผลิตน้ำตาลทรายแบบไม่คิดรวมการได้มาของอ้อยของโรงงานภาคกลาง	303
7-12	ปริมาณน้ำทางอ้อมที่ใช้ในกระบวนการผลิตน้ำตาลทรายแบบไม่คิดรวมการได้มาของอ้อยของโรงงานภาคกลาง	304
7-13	ปริมาณน้ำทางตรงที่ใช้ในกระบวนการผลิตน้ำตาลทรายแบบคิดรวมการได้มาของอ้อยของโรงงานภาคกลาง	304
7-14	ปริมาณน้ำทางอ้อมที่ใช้ในกระบวนการผลิตน้ำตาลทรายแบบคิดรวมการได้มาของอ้อยของโรงงานภาคกลาง	304
7-15	ปริมาณน้ำทางตรงที่ใช้ในกระบวนการผลิตน้ำตาลทรายแบบไม่คิดรวมการได้มาของอ้อยของโรงงานภาคตะวันออกเฉียงเหนือ	305
7-16	ปริมาณน้ำทางอ้อมที่ใช้ในกระบวนการผลิตน้ำตาลทรายแบบไม่คิดรวมการได้มาของอ้อยของโรงงานภาคตะวันออกเฉียงเหนือ	306
7-17	ปริมาณน้ำทางตรงที่ใช้ในกระบวนการผลิตน้ำตาลทรายแบบคิดรวมการได้มาของอ้อยของโรงงานภาคตะวันออกเฉียงเหนือ	306

ตารางที่		หน้า
7-18	ปริมาณน้ำทางอ้อมที่ใช้ในกระบวนการผลิตน้ำตาลทรายแบบคิดรวมการได้มาของอ้อยของโรงงานภาคตะวันออกเฉียงเหนือ	306
7-19	วอเตอร์ฟุตพริ้นท์ของการผลิตน้ำตาลทราย (ไม่คิดรวมการได้มาของอ้อย) ของโรงงานภาคกลาง	307
7-20	วอเตอร์ฟุตพริ้นท์ของการผลิตน้ำตาลทราย (ไม่คิดรวมการได้มาของอ้อย) ของโรงงานภาคตะวันออกเฉียงเหนือ	307
7-21	วอเตอร์ฟุตพริ้นท์ของการผลิตน้ำตาลทราย (คิดรวมการได้มาของอ้อย) ของโรงงานภาคกลาง	307
7-22	วอเตอร์ฟุตพริ้นท์ของการผลิตน้ำตาลทราย (คิดรวมการได้มาของอ้อย) ของโรงงานภาคตะวันออกเฉียงเหนือ	309

กิตติกรรมประกาศ

โครงการวิจัยนี้เสร็จสมบูรณ์ได้ด้วยดี ด้วยความร่วมมือของคณะผู้วิจัยด้านพืชเศรษฐกิจทุกท่าน และที่มาของข้อมูลทั้งปวงจากเกษตรกรผู้ปลูกปาล์มน้ำมัน เกษตรกรชาวไร่อ้อย เกษตรกรผู้ปลูกมันสำปะหลัง ชาวสวนกาแฟอะราบิกาและโรบัสตา เกษตรกรผู้ปลูกข้าวโพดฝักสดและข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ รวมถึงโรงงานต่างๆ ที่เกี่ยวข้องกับผลิตภัณฑ์จากปาล์มน้ำมัน (น้ำมันปาล์มดิบ-น้ำมันปาล์มบริสุทธิ์) ผลิตภัณฑ์จากอ้อย (น้ำตาลทราย) และผลิตภัณฑ์จากมันสำปะหลัง (แป้งมัน) คณะผู้วิจัยขอขอบพระคุณเป็นอย่างสูงไว้ ณ โอกาสนี้

ขอขอบพระคุณ ดร.สมชาย บุญประดับ ผู้เชี่ยวชาญด้านระบบการปลูกพืช กรมวิชาการเกษตร เป็นอย่างสูง ที่ได้สนับสนุน ให้คำแนะนำ ข้อเสนอแนะในโครงการวิจัยนี้ ให้ดำเนินงานวิจัยให้สำเร็จสมบูรณ์ตามเป้าหมายที่กำหนดไว้

สุดท้ายนี้หวังว่าผลงานวิจัยครั้งนี้จะเป็นประโยชน์ต่อการพัฒนาต่อยอดงานวิจัย การนำข้อมูลไปปรับใช้ในการผลิตพืชของเกษตรกรให้เหมาะสมกับการเปลี่ยนแปลงของสภาพภูมิอากาศ ให้เกิดความยั่งยืนในการผลิต เพิ่มประสิทธิภาพการใช้ทรัพยากรน้ำที่มีปริมาณจำกัดอย่างคุ้มค่า นำข้อมูลไปใช้ในการกำหนดนโยบายการผลิตพืชอย่างยั่งยืนในเขตพื้นที่ที่เหมาะสม เพื่อลดข้อกีดกันทางการค้า เพิ่มประสิทธิภาพการใช้น้ำภาคการเกษตรและภาคอุตสาหกรรมของพืชเศรษฐกิจที่เกี่ยวข้องต่อไป

คณะผู้วิจัย

2564

คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ

$KClO_3$	Potassium Chlorate
ppm	part per million
TSS	Total Soluble Solids
g	gram
L	Liter
m	meter
kg	kilogram

บทนำ

การประสบความสำเร็จในการผลิตพืชเศรษฐกิจที่มีพื้นที่ปลูกจำนวนมากอย่างอ้อย มันสำปะหลัง ปาล์มน้ำมัน ข้าวโพด และกาแฟ รวมถึงการผลิตผลิตภัณฑ์จากพืชเศรษฐกิจ เช่น น้ำตาลทราย แป้งมัน มันเส้น น้ำมันปาล์มดิบ น้ำมันปาล์มบริสุทธิ์ ที่ต้องคำนึงถึงวัตถุดิบต้นทาง จำเป็นต้องอาศัยระบบการจัดการการผลิตตั้งแต่ต้นน้ำถึงปลายน้ำอย่างถูกต้อง เหมาะสมและมีประสิทธิภาพ เพื่อลดต้นทุนการผลิต เพิ่มขีดความสามารถในการแข่งขัน เพิ่มผลตอบแทนในทุกภาคส่วนที่เกี่ยวข้องอย่างเป็นธรรม และมีความยั่งยืนในการผลิตทั้งระบบซึ่งต้องใช้ปัจจัยการผลิต ทรัพยากรธรรมชาติอย่างคุ้มค่าและเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม แต่ในห้วงเวลาที่ผ่านมาพบว่า หลายภาคส่วนที่เกี่ยวข้องในอุตสาหกรรมประสบปัญหาด้านการผลิต เช่น ผลผลิตต่ำ ต้นทุนการผลิตสูง ผลผลิตเข้าโรงงานน้อยกว่ากำลังการผลิต คุณภาพผลผลิตต่ำส่งผลต่อกระบวนการแปรรูปผลิตภัณฑ์ กระทบต่อเนื่องไปถึงราคารับซื้อผลผลิตและต้นทุนการผลิตผลิตภัณฑ์ดังกล่าว และในกรณีที่มีการส่งออกไปจำหน่ายที่ต่างประเทศ ข้อกำหนดหรือข้อกีดกันทางการค้าที่ไม่ใช่กำแพงภาษีคือ การตั้งแง่ในส่วนของการผลิตอย่างยั่งยืนที่ต้องคำนึงถึงการใช้ทรัพยากรธรรมชาติอย่างคุ้มค่า โดยเฉพาะทรัพยากรน้ำ ที่นับวันมีปริมาณจำกัดมากขึ้นจากสภาวะการเปลี่ยนแปลงของสภาพภูมิอากาศที่มีการเปลี่ยนแปลงอย่างมากและส่งผลต่อปริมาณน้ำฝน การกระจายตัวของฝน จำนวนวันฝนตกที่มีแนวโน้มลดลงอย่างต่อเนื่อง

กรมวิชาการเกษตร เป็นหน่วยงานที่มีบทบาทหลักด้านการวิจัยพืช จึงมีแนวคิดวิจัยการวิเคราะห์วอเตอร์ฟุตพริ้นท์ของการผลิตพืชเศรษฐกิจหลักของประเทศได้แก่ อ้อย มันสำปะหลัง ปาล์มน้ำมัน ข้าวโพด (ข้าวโพดหวาน ข้าวโพดฝักอ่อนและข้าวโพดเลี้ยงสัตว์) และกาแฟ (โรบัสตาและอะราบิกา) ซึ่งมีพื้นที่ปลูกรวมกันไม่ต่ำกว่ากว่า 34 ล้านไร่ เกษตรกรที่เกี่ยวข้องในการผลิตพืชไม่น้อยกว่า 1.63 ล้านครัวเรือน เพื่อเป็นฐานข้อมูลในการกำหนดนโยบายพื้นที่ปลูกที่เหมาะสมสำหรับพืชเศรษฐกิจแต่ละชนิด รวมถึงวิธีการเพิ่มประสิทธิภาพการใช้น้ำในการผลิตพืชเศรษฐกิจเพื่อเพิ่มผลผลิต โดยเน้นไปที่นวัตกรรมการจัดการผลิตพืชทั้งการจัดการธาตุอาหารตามความต้องการของพืชและตามความเหมาะสมของพื้นที่ หรือสมบัติของดินปลูกในพื้นที่ดังกล่าว การคัดเลือกพันธุ์ที่เหมาะสมกับพื้นที่ การกำหนดช่วงวันปลูกโดยอาศัยข้อมูลความต้องการน้ำของพืชแต่ละชนิด ปริมาณฝนใช้การและความต้องการน้ำชลประทาน และเพื่อให้ครบห่วงโซ่การผลิตจึงมีการวิเคราะห์วอเตอร์ฟุตพริ้นท์จนถึงระดับผลิตภัณฑ์ของพืช เช่น น้ำตาลทราย แป้งมัน น้ำมันปาล์มดิบ น้ำมันปาล์มบริสุทธิ์ เพื่อให้มีข้อมูลวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ของผลิตภัณฑ์สำหรับใช้ในการปรับเปลี่ยนระบบการผลิตต้นน้ำ-กลางน้ำ-ปลายน้ำ เพื่อลดวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ที่ใช้ในกระบวนการผลิตจนถึงระดับผลิตภัณฑ์ โดยมุ่งหวังให้เกิดความยั่งยืนจากการใช้ทรัพยากรน้ำที่มีปริมาณจำกัดมากขึ้น และเป็นการลดต้นทุนการผลิตของทั้งระบบจากการใช้ทรัพยากรน้ำและปัจจัยการผลิตอื่นๆ อย่างมีประสิทธิภาพเพิ่มขึ้นและคุ้มค่า

บทคัดย่อ

โครงการวิจัยพัฒนาวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ของการผลิตพืชเศรษฐกิจ มีวัตถุประสงค์เพื่อวิเคราะห์ปริมาณการใช้น้ำต่อหน่วยผลผลิตของพืชเศรษฐกิจ 5 ชนิด ได้แก่ ปาล์มน้ำมัน อ้อย มันสำปะหลัง กาแฟและข้าวโพด เพื่อนำไปใช้ในการจัดสรรและใช้ประโยชน์จากน้ำสำหรับการผลิตพืชเศรษฐกิจอย่างมีประสิทธิภาพและยั่งยืน ประกอบด้วย 7 กิจกรรม **1. การวิเคราะห์วอเตอร์ฟุตพริ้นท์ของการผลิตปาล์มน้ำมัน** การวิเคราะห์วอเตอร์ฟุตพริ้นท์ของการผลิตต้นกล้าปาล์มน้ำมัน จากแหล่งผลิตเมล็ดพันธุ์ 5 หน่วยงาน แหล่งผลิตต้นกล้า 7 หน่วยงาน ระหว่างตุลาคม 2558-กันยายน 2561 โดยสำรวจ สัมภาษณ์และรวบรวมข้อมูลการใช้น้ำในกระบวนการผลิตเมล็ดงอกและต้นกล้าทุกขั้นตอนในแต่ละรอบต่อเนื่อง 3 ปี (3 รอบการผลิต) พบว่า หน่วยงาน D ค่าวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ (เฉพาะบลูวอเตอร์ฟุตพริ้นท์) การผลิตเมล็ดงอกน้อยสุด 0.20 ลิตรต่อเมล็ด ส่วนหน่วยงาน K ค่าวอเตอร์ฟุตพริ้นท์การผลิตต้นกล้าปาล์มน้ำมันน้อยสุด 0.13–0.19 ลูกบาศก์เมตรต่อต้น เป็นกรีน บลู และเกรย์วอเตอร์ฟุตพริ้นท์ 0.08-0.09 0.04–0.10 และ 0.00 ลูกบาศก์เมตรต่อต้น ตามลำดับ การวิเคราะห์วอเตอร์ฟุตพริ้นท์ของการผลิตปาล์มน้ำมันภาคใต้ 8 จังหวัดได้แก่ สุราษฎร์ธานี กระบี่ ชุมพร นครศรีธรรมราช พังงา ระนอง ตรัง และสตูล ระหว่างตุลาคม 2558-กันยายน 2562 ความต้องการน้ำชลประทานเฉลี่ย 30 ปีของปาล์มน้ำมันในภาคใต้พบว่า ระนองมีค่าการขาดน้ำสูงสุด 380 มิลลิเมตรต่อปี และผลวิเคราะห์วอเตอร์ฟุตพริ้นท์ตลอดอายุ 25 ปี ระนองมีประสิทธิภาพการใช้น้ำดีสุด 567.0 ลูกบาศก์เมตรต่อตันทะลาย และสตูลมีประสิทธิภาพการใช้น้ำต่ำสุด 1,167.7 ลูกบาศก์เมตรต่อตันทะลาย การวิเคราะห์วอเตอร์ฟุตพริ้นท์ของการผลิตปาล์มน้ำมันภาคตะวันออกและตะวันตก 4 จังหวัดได้แก่ ตราด ชลบุรี กาญจนบุรี และประจวบคีรีขันธ์ ระหว่างตุลาคม 2559-กันยายน 2563 ความต้องการน้ำชลประทานเฉลี่ย 30 ปีของปาล์มน้ำมันในภาคตะวันออกและตะวันตก พบว่า ชลบุรีมีค่าการขาดน้ำสูงสุด 835 มิลลิเมตรต่อปี และผลวิเคราะห์วอเตอร์ฟุตพริ้นท์ตลอดอายุ 25 ปี ตราดมีประสิทธิภาพการใช้น้ำดีสุด 811.8 ลูกบาศก์เมตรต่อตันทะลาย และชลบุรีมีประสิทธิภาพการใช้น้ำต่ำสุด 1,035.8 ลูกบาศก์เมตรต่อตันทะลาย การวิเคราะห์วอเตอร์ฟุตพริ้นท์ของการผลิตปาล์มน้ำมันภาคตะวันออกเฉียงเหนือ 6 จังหวัดได้แก่ หนองคาย บึงกาฬ อุดรธานี สกลนคร เลย และอุบลราชธานี ระหว่างตุลาคม 2559-กันยายน 2563 ความต้องการน้ำชลประทานเฉลี่ย 30 ปีของปาล์มน้ำมันในภาคตะวันออกเฉียงเหนือพบว่า อุบลราชธานีมีค่าการขาดน้ำสูงสุด 859 มิลลิเมตรต่อปี ผลวิเคราะห์วอเตอร์ฟุตพริ้นท์ตลอดอายุ 25 ปี หนองคายมีประสิทธิภาพการใช้น้ำดีสุด 739.4 ลูกบาศก์เมตรต่อตันทะลาย และอุดรธานีมีประสิทธิภาพการใช้น้ำต่ำสุด 2,187.5 ลูกบาศก์เมตรต่อตันทะลาย การวิเคราะห์วอเตอร์ฟุตพริ้นท์ของการผลิตปาล์มน้ำมันภาคกลางและภาคเหนือ 6 จังหวัดได้แก่ เชียงราย น่าน สุโขทัย พิษณุโลก อุทัยธานี และปทุมธานี ระหว่างตุลาคม 2560-กันยายน 2564 ความต้องการน้ำชลประทานของปาล์มน้ำมันพบว่า อุทัยธานีมีค่าการขาดน้ำสูงสุด 1,403 มิลลิเมตรต่อปี ผลวิเคราะห์วอเตอร์ฟุตพริ้นท์ตลอดอายุ 25 ปี ปทุมธานีมีประสิทธิภาพการใช้น้ำดีสุด 621 ลูกบาศก์เมตรต่อตันทะลาย และสุโขทัยมีประสิทธิภาพการใช้น้ำต่ำสุด 1,759 ลูกบาศก์เมตรต่อตันทะลาย ทั้งนี้ปัจจัยที่มีผลกระทบต่อวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ของการผลิตปาล์มน้ำมันในภาคต่างๆ คือ อายุปาล์มน้ำมัน ปริมาณฝนใช้การ การให้น้ำตามความต้องการน้ำชลประทานของปาล์มน้ำมัน และการจัดการธาตุอาหารปาล์มน้ำมัน **2. การวิเคราะห์วอเตอร์ฟุตพริ้นท์ของการผลิตอ้อย** การวิเคราะห์วอเตอร์ฟุตพริ้นท์ของการผลิตอ้อยภายใต้สภาพอาศัยน้ำฝน ดำเนินการ 119 แปลง 13 จังหวัด พบว่า วอเตอร์ฟุตพริ้นต์ของการผลิตอ้อยมีค่า 25.9-195.4 ลูกบาศก์เมตรต่อตัน สาเหตุของความแตกต่างมาจากความแปรปรวนของผลผลิตที่มีค่าสูง 5.0-38.8 ตันต่อไร่ ดังนั้นการจัดการแปลงที่ดีจะทำให้ได้ผลผลิตสูงและทำให้อ้อยใช้น้ำได้อย่างมีประสิทธิภาพมากขึ้น และการวิเคราะห์วอเตอร์ฟุตพริ้นท์ของการผลิตอ้อยภายใต้สภาพการให้น้ำชลประทาน 6 สถานที่ได้แก่ ศูนย์วิจัยพืชไร่ขอนแก่น ศูนย์วิจัยพืชไร่นครสวรรค์ ศูนย์วิจัยพืชสวนเลย ศูนย์วิจัยและพัฒนาการเกษตรมุกดาหาร ศูนย์วิจัยและพัฒนาการเกษตรกาญจนบุรี และศูนย์วิจัยและพัฒนาการเกษตรปราจีนบุรี ปลูกอ้อย 3 พันธุ์ และ 3 วันปลูก ให้น้ำ 24 มิลลิเมตรทุก 14 วัน พบว่า วอเตอร์ฟุตพริ้นท์ของการผลิตอ้อยเฉลี่ย 93.6 ลูกบาศก์เมตรต่อตัน ค่าต่ำสุด 35.2 ลูกบาศก์เมตรต่อตันจากอ้อยพันธุ์ KK07-037 ที่วันปลูกที่ 1 ณ ศูนย์วิจัยพืชไร่นครสวรรค์ และสูงสุด 243.9 ลูกบาศก์เมตรต่อตันจากอ้อยพันธุ์ K95-84 ที่วันปลูกที่ 2 ณ ศูนย์วิจัยและพัฒนาการเกษตรปราจีนบุรี ซึ่งการให้น้ำส่งผลให้ผลผลิตอ้อยเพิ่มขึ้น และขึ้นอยู่กับพันธุ์ วันปลูกและสถานที่ปลูก ค่าการใช้น้ำต่อตันอ้อยมีความแปรปรวนสูง **3. การวิเคราะห์วอเตอร์ฟุตพริ้นท์ของการผลิตมันสำปะหลัง** การวิเคราะห์วอเตอร์ฟุตพริ้นท์ของการผลิตมันสำปะหลังที่มีการจัดการน้ำแตกต่างกัน ตามพื้นที่ที่ให้น้ำต่างกัน 3 ระดับคือ ให้น้ำไม่จำกัด (นครราชสีมา) ให้น้ำจำกัด (กำแพงเพชร) และอาศัยน้ำฝน (ระยอง) คำนวณวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ 2 รอบการผลิต (ตุลาคม 2558- กันยายน 2560) พบว่า วอเตอร์ฟุตพริ้นท์มีค่าเฉลี่ย 147-366 ลูกบาศก์เมตรต่อตันมันสด เป็นกรีน บลู และเกรย์วอเตอร์ฟุตพริ้นท์ 92-339 0-21 และ 29-97 ลูกบาศก์เมตรต่อตันมันสด ตามลำดับ เมื่อแยกตามการให้น้ำ วอเตอร์ฟุตพริ้นท์ในพื้นที่ให้น้ำไม่จำกัด ให้น้ำจำกัด และอาศัยน้ำฝนมีค่า มีค่า 211 224 และ 301 ลูกบาศก์เมตรต่อตันมันสด ตามลำดับ การให้น้ำช่วงเหมาะสมตามความต้องการทำให้ผลผลิตสูงขึ้น

พันธุ์และช่วงปลูกมีผลให้วอเตอร์ฟุตพริ้นท์มีค่าแตกต่างกันแม้ปลูกในพื้นที่เดียวกัน การวิเคราะห์วอเตอร์ฟุตพริ้นท์ของการผลิตมันสำปะหลังของเกษตรกร ฤดูกาลผลิต 2560/61-2563/64 ใน 26 จังหวัดพบว่า ส่วนใหญ่ปลูกแบบอาศัยน้ำฝน พันธุ์ที่ปลูกได้แก่ เกษตรศาสตร์ 50 ระยอง 5 ระยอง 72 ระยอง 11 ช่วงปลูกมีนาคม-พฤษภาคม ใช้ปุ๋ยไนโตรเจนเฉลี่ย 7.2 กิโลกรัมไนโตรเจนต่อไร่ ผลผลิตมันสำปะหลังหัวสดเฉลี่ย 4.1 ตันต่อไร่ อุดรธานีผลผลิตเฉลี่ยสูงสุด 6.5 ตันต่อไร่ และพิษณุโลกผลผลิตเฉลี่ยต่ำสุด 2.9 ตันต่อไร่ วอเตอร์ฟุตพริ้นท์ของมันสำปะหลังหัวสดเฉลี่ย 268 ลูกบาศก์เมตรต่อตัน เป็นกรีนและเกรย์วอเตอร์ฟุตพริ้นท์เฉลี่ย 266 และ 42 ลูกบาศก์เมตรต่อตัน ตามลำดับ โดยวอเตอร์ฟุตพริ้นท์มีค่าสูงสุดที่พิษณุโลกและต่ำสุดที่อุดรธานี 373 และ 138 ลูกบาศก์เมตรต่อตัน ตามลำดับ การวิเคราะห์วอเตอร์ฟุตพริ้นท์ของการผลิตแป้งมันสำปะหลัง ศึกษาใน 3 โรงงานคือ โรงงานผลิตแป้งมันสำปะหลังในอุบลราชธานี กำแพงเพชร และสระแก้ว ปี 2563-2564 พบว่า การแปรรูปแป้งดิบ 1 ตัน ใช้หัวสด 4.35-4.55 ตัน ขั้นตอนล้างหัวสดใช้ปริมาณน้ำสูงสุดร้อยละ 57-71 ของน้ำทั้งหมด เมื่อวิเคราะห์วอเตอร์ฟุตพริ้นท์พบว่า มีค่า 44.6 ลูกบาศก์เมตรต่อตันแป้งดิบ เมื่อวิเคราะห์รวมกับผลผลิตมันสำปะหลังพบว่า วอเตอร์ฟุตพริ้นท์เฉลี่ยมีค่า 973.4 ลูกบาศก์เมตรต่อตันแป้งดิบ **4. การวิเคราะห์วอเตอร์ฟุตพริ้นท์ของการแปรรูปปาล์มน้ำมัน** การวิเคราะห์วอเตอร์ฟุตพริ้นท์ของการผลิตน้ำมันปาล์มดิบแบบมาตรฐาน (หีบแยก) ของโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มดิบในจังหวัดกระบี่ ตรัง ชลบุรี และสกลนคร ระหว่างตุลาคม 2560-กันยายน 2562 พบว่า ปริมาณน้ำทางตรงและทางอ้อมของน้ำมันปาล์มดิบมีค่า 3.43-6.91 ลูกบาศก์เมตรต่อตันน้ำมันปาล์มดิบ วอเตอร์ฟุตพริ้นท์ไม่รวมการได้มาซึ่งทะลายปาล์มสดมีค่า 3.34-6.62 ลูกบาศก์เมตรต่อตันน้ำมันปาล์มดิบ และวอเตอร์ฟุตพริ้นท์รวมการได้มาซึ่งทะลายปาล์มมีค่า 4,309-6,437 ลูกบาศก์เมตรต่อตันน้ำมันปาล์มดิบ การวิเคราะห์วอเตอร์ฟุตพริ้นท์ของการสกัดน้ำมันปาล์มดิบระดับชุมชน ระหว่างตุลาคม 2561-กันยายน 2562 พบว่า สหกรณ์นิคมคลองท่อม จำกัด และชุมนุมสหกรณ์ชาวสวนปาล์มน้ำมันกระบี่ จำกัด มีปริมาณน้ำทางตรงและทางอ้อมเฉลี่ย 3.40 และ 6.21 ลูกบาศก์เมตรต่อตันน้ำมันปาล์มดิบ ตามลำดับ วอเตอร์ฟุตพริ้นท์ไม่รวมการได้มาซึ่งทะลายปาล์มสดของสหกรณ์นิคมคลองท่อม จำกัด และชุมนุมสหกรณ์ชาวสวนปาล์มน้ำมันกระบี่ จำกัด มีค่า 3.16 และ 6.05 ลูกบาศก์เมตรต่อตันน้ำมันปาล์มดิบ ตามลำดับ วอเตอร์ฟุตพริ้นท์รวมการได้มาซึ่งทะลายปาล์มของสหกรณ์นิคมคลองท่อม จำกัด และชุมนุมสหกรณ์ชาวสวนปาล์มน้ำมันกระบี่ จำกัด มีค่า 5,563 และ 5,409 ลูกบาศก์เมตรต่อตันน้ำมันปาล์มดิบ ตามลำดับ การวิเคราะห์วอเตอร์ฟุตพริ้นท์ของการสกัดน้ำมันปาล์มบริสุทธิ์ การผลิตน้ำมันปาล์มบริสุทธิ์ 1 ตัน ต้องใช้น้ำมันปาล์มดิบ 1.0405 ตัน และวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ของการผลิตน้ำมันปาล์มบริสุทธิ์ไม่คิดรวมการได้มาของน้ำมันปาล์มดิบมีค่า 4.54255 ลูกบาศก์เมตรต่อตันน้ำมันปาล์มบริสุทธ์ วอเตอร์ฟุตพริ้นท์ของการผลิตน้ำมันปาล์มบริสุทธิ์คิดรวมการได้มาของน้ำมันปาล์มดิบและทะลายปาล์มน้ำมันมีค่า 5,109.04 ลูกบาศก์เมตรต่อตันน้ำมันปาล์มบริสุทธิ์ **5. การวิเคราะห์วอเตอร์ฟุตพริ้นท์ของการผลิตกาแฟ** การวิเคราะห์วอเตอร์ฟุตพริ้นท์ของการผลิตกาแฟโรบัสตา 3 จังหวัด ชุมพร ระนองและสุราษฎร์ธานี ปี พ.ศ. 2559-2560 พบว่า วอเตอร์ฟุตพริ้นท์ของการผลิตกาแฟโรบัสตาเฉลี่ย 35.7 ลูกบาศก์เมตรต่อกิโลกรัม เป็นกรีน บลูและเกรย์วอเตอร์ฟุตพริ้นท์ 23.4 11.8 และ 0.4 ลูกบาศก์เมตรต่อกิโลกรัม โดยวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ของการผลิตกาแฟโรบัสตาในสุราษฎร์ธานีมีค่าสูงสุด ดังนั้นแนวทางลดปริมาณการใช้น้ำ ควรเน้นการวิจัยและพัฒนาระบบให้น้ำให้มีประสิทธิภาพเพื่อเพิ่มผลผลิตต่อไร่ให้สูงขึ้น การวิเคราะห์วอเตอร์ฟุตพริ้นท์ของการผลิตกาแฟอะราบิกา ดำเนินการในพื้นที่อำเภอแม่วาง สะเมิง และดอยสะเก็ด จังหวัดเชียงใหม่ และอำเภอเมือง เวียงป่าเป้า แม่สรวย และเวียงแก่น จังหวัดเชียงราย ปีการผลิต 2562/63–2563/64 ผลวิเคราะห์วอเตอร์ฟุตพริ้นท์ของการผลิตกาแฟอะราบิกา พบว่า จังหวัดเชียงราย วอเตอร์ฟุตพริ้นท์เฉลี่ยมีค่า 8.08 ลูกบาศก์เมตรต่อกิโลกรัม เป็นกรีน บลู และเกรย์ วอเตอร์ฟุตพริ้นท์ 5.65 0 และ 2.43 ลูกบาศก์เมตรต่อกิโลกรัม ตามลำดับ และจังหวัดเชียงใหม่ วอเตอร์ฟุตพริ้นท์เฉลี่ยมีค่า 7.06 ลูกบาศก์เมตรต่อกิโลกรัม เป็นกรีน บลู และเกรย์ วอเตอร์ฟุตพริ้นท์ 6.87 0 และ 0.19 ลูกบาศก์เมตรต่อกิโลกรัม ตามลำดับ **6. การวิเคราะห์วอเตอร์ฟุตพริ้นท์ของการผลิตข้าวโพด** การวิเคราะห์วอเตอร์ฟุตพริ้นท์ของการผลิตข้าวโพดหวาน ที่ให้น้ำ 6 ระดับ IW/E 0.0 0.2 0.4 0.6 0.8 และ 1.0 พบว่า การให้น้ำอัตรา IW/E 1.0 และ 0.8 ค่าวอเตอร์ฟุตพริ้นท์เฉลี่ย 130 และ 38 ลูกบาศก์เมตรต่อตัน (ปี 2562 และ 2563) ตามลำดับ การผลิตข้าวโพดหวานแปลงเกษตรกร ค่าวอเตอร์ฟุตพริ้นท์เฉลี่ย 907 ลูกบาศก์เมตรต่อตัน คิดเป็น กรีน บลู และเกรย์วอเตอร์ฟุตพริ้นท์เฉลี่ย 130 776 และ 0.010 ลูกบาศก์เมตรต่อตัน ตามลำดับ การวิเคราะห์วอเตอร์ฟุตพริ้นท์ของการผลิตข้าวโพดฝักอ่อนที่ให้น้ำต่างกัน 6 ระดับ 0.0 0.2 0.4 0.6 0.8 และ 1.0 เท่า พบว่า การให้น้ำที่อัตรา 1.0 และ 0.8 มีค่าวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ 103 และ 93 ลูกบาศก์เมตรต่อตัน (ปี 2562 และ 2563) การผลิตข้าวโพดฝักอ่อนแปลงเกษตรกรพบว่า วอเตอร์ฟุตพริ้นท์เฉลี่ย 5,074 ลูกบาศก์เมตรต่อตัน คิดเป็นกรีน บลู และเกรย์วอเตอร์ฟุตพริ้นท์เฉลี่ย 95 4,979 และ 0.018 ลูกบาศก์เมตรต่อตัน ตามลำดับ การวิเคราะห์วอเตอร์ฟุตพริ้นท์ของการผลิตข้าวโพดเลี้ยงสัตว์เขตภาคเหนือ ดำเนินการในแปลงเกษตรกร 137 รายใน 3 จังหวัด ได้แก่ ตาก น่าน และเพชรบูรณ์ ระหว่าง ตุลาคม 2563-กันยายน 2564 พบว่า วอเตอร์ฟุตพริ้นท์เฉลี่ยของการผลิตข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ของเกษตรกรจังหวัดตาก น่าน และเพชรบูรณ์มีค่า 212 220 และ 311 ลูกบาศก์เมตรต่อตัน ตามลำดับ การวิเคราะห์วอเตอร์ฟุตพริ้นท์ของการผลิตข้าวโพดเลี้ยงสัตว์เขตภาค

ตะวันออกเฉียงเหนือ ดำเนินการในแปลงเกษตรกร 135 รายใน 3 จังหวัด ได้แก่ ชัยภูมิ นครราชสีมา และเลย ระหว่าง ตุลาคม 2563-กันยายน 2564 พบว่า วอเตอร์ฟุตพริ้นท์เฉลี่ยของการผลิตข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ของเกษตรกรจังหวัดชัยภูมิ นครราชสีมา และเลยมีค่า 243 283 และ 1,088 ลูกบาศก์เมตรต่อตัน ตามลำดับ โดยเกษตรกรจังหวัดเลยปลูกข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ช่วงแล้งหรือปลูกหลังนาจึงส่งผลต่อค่าวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ เมื่อเปรียบเทียบกับเกษตรกรจังหวัดชัยภูมิและนครราชสีมาที่ปลูกในช่วงฝน **7. การวิเคราะห์วอเตอร์ฟุตพริ้นท์ของการแปรรูปอ้อย** ดำเนินการใน 2 ภูมิภาค ระหว่าง ตุลาคม 2563-กันยายน 2564 การวิเคราะห์วอเตอร์ฟุตพริ้นท์ของการผลิตน้ำตาลทรายเขตภาคกลาง ดำเนินการใน 3 โรงงาน ได้แก่ โรงงานไทยอุตสาหกรรมน้ำตาลกาญจนบุรี โรงงานน้ำตาลราชบุรี ราชบุรี และโรงงานน้ำตาลวังขนาย (อู่ทอง) สุพรรณบุรี พบว่า น้ำตาลทราย 1 กิโลกรัม ใช้อ้อยเฉลี่ย 10.1 กิโลกรัม และวอเตอร์ฟุตพรินต์การผลิตน้ำตาลทรายไม่รวมการได้มาซึ่งผลผลิตอ้อยมีค่า 1.51–1.87 ลูกบาศก์เมตรต่อกิโลกรัมน้ำตาลทราย และวอเตอร์ฟุตพรินต์การผลิตน้ำตาลทรายรวมการได้มาซึ่งผลผลิตอ้อยมีค่า 5.64–6.74 ลูกบาศก์เมตรต่อกิโลกรัมน้ำตาลทราย การวิเคราะห์วอเตอร์ฟุตพริ้นท์ของการผลิตน้ำตาลทรายเขตภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ดำเนินการใน 3 โรงงาน ได้แก่ โรงงานน้ำตาลกุมภวาปี อุดรธานี โรงงานน้ำตาลบุรีรัมย์ บุรีรัมย์ โรงงานน้ำตาลพิมาย นครราชสีมา พบว่า น้ำตาลทราย 1 กิโลกรัม ใช้อ้อยเฉลี่ย 8.64 กิโลกรัม และวอเตอร์ฟุตพรินต์การผลิตน้ำตาลทรายไม่รวมการได้มาซึ่งผลผลิตอ้อยมีค่า 1.28–2.07 ลูกบาศก์เมตรต่อกิโลกรัมน้ำตาลทราย และวอเตอร์ฟุตพรินต์การผลิตน้ำตาลทรายรวมการได้มาซึ่งผลผลิตอ้อยมีค่า 4.91–5.96 ลูกบาศก์เมตรต่อกิโลกรัมน้ำตาลทราย

Abstract

Economic crop's water footprint analysis research aims to analyze the amount of water used to produce five economic crops: oil palm, sugar cane, cassava, coffee, and corn. Therefore, this analysis research will benefit in managing water used to produce crops to be efficient and sustainable. This research includes seven activities.

First, the analysis of the water footprint of oil palm production from 5 seed production private sectors and 7 seedling production private sectors was conducted during October 2015-September 2018 at Suratthani Oil Palm Research Center. Surveying, interviewing and collecting water use data in every step of oil palm production were recorded for 3 years. The result showed that the rate of water use for germinated seed production was different, and the minimum of water use corresponded to the blue water footprint, which is 0.20 liter seed^{-1} in D private sector. The K private sector which is a seedling production private sector was lowest in water use with 0.13–0.19 m^3 seedling^{-1} obtained from WF_{green} WF_{blue}, and WF_{gray} by 0.08-0.09 0.04–0.10 and 0.00 m^3 seedling^{-1}, respectively. Water footprint analysis of Southern oil palm production was conducted in 8 provinces: Surat Thani, Krabi, Chumphon, Nakhon Si Thammarat, Phangnga, Ranong, Trang, and Satun between October 2015 - September 2019 to analyze water footprint or water consumption per ton of FFB. To allocate and utilize water for oil palm production efficiently and sustainably. The calculation from agro-meteorology average 30 years results showed that Ranong province has the highest irrigated water requirement 380 mm year^{-1}. For water footprint, the result showed that Ranong province has the highest efficiency of water consumption per unit of ton fresh fruit bunch or the lowest water footprint 567.0 m^3 ton^{-1} while the Satun province has the lowest water efficiency 1,167.7 m^{3}ton^{-1}. Water footprint analysis of Eastern and Western oil palm production was conducted in 4 provinces: Trat, Chon Buri, Kanchanaburi and Prachuap Khiri Khan between October 2016 - September 2020 to analyze water footprint or water consumption per ton of fresh fruit bunch. To allocate and utilize water for oil palm production efficiently and sustainably. The calculation from agro-meteorology average 30 years results showed that Chon Buri province has the highest irrigated water requirement 835 mm year^{-1}. For water footprint, the result showed that Trat province has the highest efficiency of water consumption per ton fresh fruit bunch or the lowest water footprint 811.8 m^{3}ton^{-1} while the Chon Buri province has the lowest water efficiency 1,035.8 m^{3}ton^{-1}. Water footprint analysis of Northeastern oil palm production was conducted in 6 provinces: Nong Khai, Bueng Kan, Udon Thani, Sakon Nakhon, Loei, and Ubon Ratchathani between October 2016 - September 2020 to analyze water footprint or water consumption per ton FFB. For the allocation and utilization of water for oil palm production efficiently and sustainably, the calculation from agro-meteorology average 30 years results showed that Ubon Ratchathani province has the highest irrigated water requirement 859 mm year^{-1}. For water footprint, the result showed that Nong Khai province has the highest efficiency of water consumption per unit of ton fresh fruit bunch or the lowest water footprint 739.4 m^{3}ton^{-1}, and the Udon Thani province has the lowest water efficiency 2,187.5 m^{3}ton^{-1}. Water footprint analysis of Central and Northern oil palm production was conducted in 6 provinces: Chiang Rai, Nan, Sukhothai, Phitsanulok, Uthai Thani and Pathum Thani between October 2016 - September 2020 to analyze water footprint or water consumption per ton of FFB for the allocation and utilization of water for oil palm production efficiently and sustainably. For water footprint, the result showed that Pathum Thani province has the highest efficiency of water consumption per unit of ton fresh fruit bunch or the lowest water footprint 621 m^{3}ton^{-1}. Sukhothai province has the highest efficiency of water consumption per unit of ton fresh fruit bunch or the lowest water footprint 1,759 m^{3}ton^{-1}. The main

factors that affect water footprint are oil palm age, precipitation efficiency, irrigation according to irrigated water requirement, and nutrient management for oil palm production.

Secondly, the analysis of the water footprint used in sugarcane production under rainfed conditions. The experiment observed yield and field management from farmer fields in 13 provinces for 119 samples. Field management, weather data and the yield of sugarcane were collected. The results showed that the water footprint had many different values ranging from 25.9-455.6 m^3ton^{-1}. The main cause was from the various sugarcane yield. Therefore, good management will yield higher and more water use efficiency. Also, this study had analyzed the water footprint of sugarcane to assess the water footprint of sugarcane production under irrigation conditions. The experiments were conducted at 6 locations, including Nakhon Sawan Field Crops Research Center, Khon Kaen Field Crops Research Center, Loei Horticulture Research Center, Mukdahan Agricultural Research and Development Center, Kanchanaburi Agricultural Research and Development Center and Prachinburi Agricultural Research and Development Center. Sugarcane was planted using three cultivars: 95-2-213 or KK07-050, K95-84 and KK07-037 and three planting dates. Applied water 24 mm every two weeks by springer. Weather data, water for irrigation and sugarcane yield were collected. The results showed that the water footprint had many different values. The average water footprint was 93.6 m^3ton^{-1}. The minimum value was 35.2 m^3ton^{-1} for sugarcane cultivar KK07-037 with one planting at Nakhon Sawan Field Crops Research Center. The maximum value was 243.9 m^3ton^{-1} for cultivar K95-84 with two planting at Prachinburi Agricultural Research and Development Center. This result indicated that irrigated would increase the sugarcane yield but not equal, depending on cultivar planting date and location. Therefore, proper watering in each cultivar and environment will efficiently utilize water and reduce sugarcane production costs.

The third activity is the analysis of the water footprint in cassava production since water is an essential resource to grow the plant. Due to Climate change, irrigation is rapidly needed in cassava production. There will be a considerable risk if not practiced water management properly. A water footprint is a tool that measures both direct and indirect water uses. This study uses water footprint to assess cassava production in 3 water management: irrigation area (Nakornratchasima), limited-irrigation area (Kampangpet) and rainfed area (Rayong), one ton of cassava-based product were set as a functional unit from 2 seasons during 2015-2017. The study shows that the averaged water footprint of cassava 147-366 m^3ton^{-1} comprised of WF_{green} 48-87% or 92-339 m^3ton^{-1}, WF_{blue} 0-9% or 0-21 m^3ton^{-1}, and WF_{gray} 13-48% or 29-97 m^3ton^{-1}. Irrigation area has a low water footprint average of 211 m^3ton^{-1}, while limited-irrigation and rainfed areas are higher than 224 and 301 m^3ton^{-1}, respectively. Higher yield gives a low water footprint and optimal time irrigation gives a higher yield. Variety and planting time showed variability in water footprint although in the same farm. An analysis of water footprint in private sector cassava production during 2017/2018-2020/2021 production season in 26 provinces. The result showed that most cassava producers use rain as a major water source. This experiment Uses Kasetsart 50, Rayong 5, Rayong 72, and Rayong 11 to plant during March-May with 7.2 kilograms of Nitrogen fertilizer per rai. The average output of 4.1 tons rai^{-1} would cause an average water footprint of 268 m^3ton^{-1}which was WF_{green} and WF_{gray} averagely at 266 and 42 m^3ton^{-1}, respectively. Phitsanulok has the highest at 373 m^3ton^{-1} and Udon Thani is the lowest, with a 138 m^3ton^{-1}. An Analysis of the water footprint used in Tapioca Starch production took place in three different factories in Ubon Ratchathani, Kampangpetch, and Sra Kaew. During 2020-2021, the observation showed that to produce a ton of Tapioca Starch using 4.35-4.55 tons of cassava. Washing the cassava will cost 57-71% of water using for the

whole process. The water footprint analysis shows that the water footprint is 44.6 m^3ton^{-1} to be produced and 973.4 m^3ton^{-1} when including the production of cassava.

Fourth, the analysis of water footprint in the palm oil mill process. Analysis of the mill's water footprint investigated the direct and indirect water usage from oil palm plantations. The oil palm plantations as a source for collection data were located in Krabi, Trang, Chon Buri and Sakon Nakhon province. The direct and indirect water usage of the mill process ranged from 3.43-6.91 m^3ton^{-1}CPO. The water footprint values that excluded the FFB were 3.34-6.62 m^3ton^{-1}CPO. Moreover, the water footprint values included the FFB as 4,309-6,437 m^3ton^{-1}CPO. Analysis of the mill's water footprint investigated the direct and indirect water usage from oil palm plantations. The oil palm plantations as a source for collection data were located in Krabi province, including Khlongthom Estate Cooperative Limited and Krabi Oil Palm Farmers Cooperatives Federation Limited. The experiment was studied from October 2018 to September 2019. It exhibited that the extraction of 1 ton of CPO of Khlong Thom Estate Cooperative Limited and Krabi Oil Palm Farmers Cooperatives Federation Limited used FFB 5.23 and 5.09 tons, the OER of the mill was 19.1 and 19.6%, the direct and indirect water usage was 3.40 and 6.21 m^3ton^{-1}CPO, respectively. An investigation of the water footprint values excluded the FFB of Khlong Thom Estate Cooperative Limited and Krabi Oil Palm Farmers Cooperatives Federation Limited was 3.16 and 6.05 m^3ton^{-1}CPO, respectively. Moreover, the water footprint values included the FFB of Khlong Thom Estate Cooperative Limited, and Krabi Oil Palm Farmers Cooperatives Federation Limited were 5,563 and 5,409 m^3ton^{-1}CPO, respectively. Refined Bleached Deodorized Palm Oil (RBDPO) 1 ton will take 1.0405 tons of CPO. The water footprint of this process would be 4.54255 m^3ton^{-1}RBDPO, not including the water footprint during the process of producing crude palm oil and FFB. If including producing CPO and FFB, the water footprint will be 5,109.04 m^3ton^{-1}RBDPO.

The fifth activity is an analysis of coffee production water footprint. This study investigated the water footprint of Robusta coffee productions in Chumphon, Ranong and Suratthani Province in the south of Thailand during 2013-2017. It was found that the average water footprint of Robusta coffee beans in Thailand was 35.7 m^3kg^{-1}, including 23.4, 11.8, and 0.4 m^3kg^{-1} of green blue and gray water footprint, respectively. Suratthani was the province that used the highest amount of water, which was 51 m^3kg^{-1}. Thus, to decrease the amount of water used, we should research and develop an efficient water system to increase crop production. Also, this study investigated the water footprint of Arabica coffee productions in Mae Wang, Samsung, and Doi Saket in Chiang Mai and Meung, Wiang Pa Pao, Mae Sa Ruay and Wiang Kaen in Chiang Rai Province during 2019/2022-2020/2021 production year. The result showed that Chiang Rai's water footprint is 8.08 m^3kg^{-1}, including 5.65, 0, and 2.43 m^3kg^{-1} of green blue and gray water footprint, respectively. For Chiang Mai, the average water footprint is 7.06 m^3kg^{-1} which are 6.87, 0 and 0.19 m^3kg^{-1} of green blue and gray water footprint, respectively.

The sixth activity is the analysis of the water footprint in corn production. Analysis of sweet corn's water footprint was conducted by giving 6 levels of IW/E, which are 0.0, 0.2, 0.4, 0.6, 0.8 and 1.0. The result showed that at IW/E of 1.0 and 0.8, the average water footprint would be 130 and 38 m^3ton^{-1} for 2020 and 2021, respectively. For the small private sector, the average water footprint is 907 m^3ton^{-1}, separated as 130, 776 and 0.0101 m^3ton^{-1} for green, blue and gray water footprint, respectively. The water footprint analysis used for producing baby corn was conducted by giving 6 levels of IW/E, which are 0.0, 0.2, 0.4, 0.6, 0.8 and 1.0. The result showed that at IW/E of 1.0 and 0.8, the average water footprint would be 103 and 93 m^3ton^{-1} for 2020 and 2021, respectively. For the small private sector produced baby corn, the average water footprint is 5,074 m^3ton^{-1}, which can be separated as 95, 4,979 and 0.018 m^3ton^{-1} for green, blue, and gray water

footprint. The water footprint analysis in maize production in the Northern part of Thailand was conducted in 137 farmers located in Tak, Nan and Petchaboon from October 2020 to September 2021. The result showed that the average water footprint of maize production is 212, 220, and 311 m^3ton^{-1} in Tak, Nan, and Petchaboon, respectively. Analysis of water footprint in the production of maize in the Northeastern part of Thailand was conducted in 135 farmers located in Chaiyapoom, Nakhon Ratchasima and Loei from October 2020 to September 2021. The result showed that the average water footprint of maize production is 243, 283 and 1,088 m^3ton^{-1} in Chaiyapoom, Nakhon Ratchasima and Loei, respectively. For Loei province, the farmer will plant the maize during drought season or after harvesting rice which causes the water footprint to be more than Chaiyapoom and Nakhon Ratchasima.

Lastly, the water footprint used in sugarcane manufacturing was conducted in the central and northeastern provinces of Thailand. The water footprint analysis in sugarcane manufacturing took place in 3 factories in Kanchanaburi, Ratchaburi and SuphanBuri Provinces. The result showed that a kilogram of sugar would take 10.1 kilograms of sugarcane. The water footprint of the sugar production excluding and including the sugarcane production was 1.51-1.87 and 5.64-6.74 m^3kg^{-1} of sugar, respectively. The water footprint in sugar production in the Northeast was conducted in 3 factories in UdonThani, Buriram and Nakhon Ratchasima. The result showed that a kilogram of sugar was produced using 8.64 kilograms of sugarcane. The water footprint of the sugar production excluding and including the sugarcane production was 1.28-2.07 and 4.91-5.96 m^3kg^{-1} of sugar, respectively.

กิจกรรมที่ 1
การวิเคราะห์วอเตอร์ฟุตพริ้นท์ของการผลิตปาล์มน้ำมัน
Water Footprint Assessment for Oil Palm Production

วิชณีย์ ออมทรัพย์สิน เตือนจิตร เพ็ชรรุณ จิราพรรณ สุขชิต เพ็ญศิริ จำรัสฉาย สุนีย์ สันหมุด เพ็ญจันทร์ วิจิตร จิตรลดา ทองสอดแสง บุญเหลือ ศรีมุงคุณ พสุ สกุลอารีวัฒนา นิยม ไข่มุกข์ สุทธินันท์ ประสาธน์สุวรรณ์ รวีวรรณ เชื้อกิตติศักดิ์ อรุณี ใจเถิง วิไลวรรณ ทวิชศรี บรรณพิชญ์ สัมฤทธิ์ อุษา ชูรักษ์ สุภาวดี นาคแท้

Vichanee Ormzubsin Tuenjit Petchrrun Jirapan Sukchit Pensiri Jumradshine Sunee Sunmood Penchan Vijit Chitlada Thongsodsang Bunleau Srimungkun Pasu Sakulareewatana Niyom Khaimook Sutthinan Prasartsuwan Raweewan Cheaukittisak Arunee Jaitherng Wilaiwan Tawitsri Bunnapit Sumrit Usa Churak and Supawadee Naktae

คำสำคัญ (Keywords)

วอเตอร์ฟุตพริ้นท์, เมล็ดงอก, ต้นกล้าปาล์มน้ำมัน, ความต้องการน้ำ, ฝนใช้การ

water footprint, germinated seed, oil palm seedling, irrigated water requirement, precipitation efficiency

บทคัดย่อ

การวิเคราะห์วอเตอร์ฟุตพริ้นท์ของการผลิตปาล์มน้ำมัน ศึกษาตั้งแต่กระบวนการการผลิตเมล็ดงอก การผลิตต้นกล้าปาล์มน้ำมัน และการผลิตปาล์มน้ำมันใน 24 จังหวัดทั่วประเทศ ประกอบด้วย ภาคใต้ ภาคตะวันออกและตะวันตก ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ และภาคเหนือและภาคกลาง สำหรับนำไปใช้จัดสรรและใช้ประโยชน์จากน้ำในการผลิตปาล์มน้ำมันอย่างมีประสิทธิภาพและยั่งยืน เนื่องจากสภาพภูมิอากาศมีการเปลี่ยนแปลงอย่างมากและส่งผลกระทบต่อทรัพยากรน้ำที่มีจำกัดมากขึ้น โดยเฉพาะน้ำใช้ภาคการเกษตร กิจกรรมนี้ดำเนินการตั้งแต่ ตุลาคม 2559 – กันยายน 2564 วอเตอร์ฟุตพริ้นท์ของการผลิตเมล็ดงอกและต้นกล้าปาล์มน้ำมัน ดำเนินการต่อเนื่อง 3 ปี ณ แหล่งผลิตเมล็ดพันธุ์ 5 หน่วยงาน และแหล่งผลิตต้นกล้า 7 หน่วยงาน พบว่า วอเตอร์ฟุตพริ้นท์ (WF_{blue}) ของการผลิตเมล็ดงอก 5 หน่วยงาน ปีที่ 1 2 และ 3 มีค่า 0.48 0.38 และ 0.37 ลิตรต่อเมล็ด ตามลำดับ โดยหน่วยงาน D มีค่าน้อยสุด 0.20 ลิตรต่อเมล็ด วอเตอร์ฟุตพริ้นท์เฉลี่ยของการผลิตต้นกล้าปาล์มน้ำมัน 7 หน่วยงาน ปีที่ 1 2 และ 3 มีค่า $5.2x10^{-1}$ $2.7x10^{-1}$ และ $2.9x10^{-1}$ ลูกบาศก์เมตรต่อต้น ตามลำดับ โดยหน่วยงาน K มีค่าน้อยสุด (ปี 2561) $1.3x10^{-1}$ ลูกบาศก์เมตรต่อต้น แบ่งเป็น WF_{green} WF_{blue} และ WF_{grey} $9.0x10^{-2}$ $4.0x10^{-2}$ และ $4.0x10^{-4}$ ลูกบาศก์เมตรต่อต้น ตามลำดับ วอเตอร์ฟุตพริ้นท์ของการผลิตปาล์มน้ำมันภาคใต้ ดำเนินการ 8 จังหวัดได้แก่ สุราษฎร์ธานี กระบี่ ชุมพร นครศรีธรรมราช พังงา ระนอง ตรัง และสตูล ระหว่าง ตุลาคม 2558-กันยายน 2562 พบว่า จังหวัดระนองค่าการขาดน้ำสูงสุด 380 มิลลิเมตรต่อปี รองลงมาคือ ตรัง กระบี่ สตูล พังงา ชุมพร สุราษฎร์ธานีและนครศรีธรรมราช มีค่าการขาดน้ำ 350 290 283 264 231 217 และ 153 มิลลิเมตรต่อปี ตามลำดับ ผลวิเคราะห์วอเตอร์ฟุตพริ้นท์ของการผลิตปาล์มน้ำมัน ระนองมีประสิทธิภาพการใช้น้ำดีสุดมีค่า 567.0 ลูกบาศก์เมตรต่อตันทะลาย รองลงมาคือ นครศรีธรรมราช ตรัง สุราษฎร์ธานี พังงา กระบี่ และชุมพรมีค่า 624.7 798.8 805.5 842.0 845.8 979.2 ลูกบาศก์เมตรต่อตันทะลาย ตามลำดับ และสตูลมีประสิทธิภาพการใช้น้ำต่ำสุด 1,167.7 ลูกบาศก์เมตรต่อตันทะลาย วอเตอร์ฟุตพริ้นท์ของการผลิตปาล์มน้ำมันภาคตะวันออกและตะวันตก ดำเนินการ 4 จังหวัด

ได้แก่ ตราด ชลบุรี กาญจนบุรี และประจวบคีรีขันธ์ ระหว่าง ตุลาคม 2559-กันยายน 2563 พบว่า ชลบุรีมีค่าการขาดน้ำสูงสุด 835 มิลลิเมตรต่อปี รองลงมาคือ ประจวบคีรีขันธ์ กาญจนบุรี และตราดมีค่าการขาดน้ำ 804 641 และ 328 มิลลิเมตรต่อปี ตามลำดับ ผลวิเคราะห์วอเตอร์ฟุตพริ้นท์ของการผลิตปาล์มน้ำมัน จังหวัดตราดมีประสิทธิภาพการใช้น้ำดีสุด 811.8 ลูกบาศก์เมตรต่อตันทะลาย รองลงมาคือ ประจวบคีรีขันธ์ กาญจนบุรีและชลบุรีมีค่า 972.3 1,016.7 และ 1,035.8 ลูกบาศก์เมตรต่อตันทะลาย ตามลำดับ วอเตอร์ฟุตพริ้นท์ของการผลิตปาล์มน้ำมันภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ดำเนินการ 6 จังหวัดได้แก่ หนองคาย บึงกาฬ อุดรธานี สกลนคร เลย และอุบลราชธานี ระหว่าง ตุลาคม 2559-กันยายน 2563 พบว่า อุบลราชธานีมีค่าการขาดน้ำสูงสุด 859 มิลลิเมตรต่อปี รองลงมาคือ อุดรธานี หนองคาย สกลนคร และเลย มีค่าการขาดน้ำ 735 649 573 และ 524 มิลลิเมตรต่อปี ตามลำดับ ผลวิเคราะห์วอเตอร์ฟุตพริ้นท์ของการผลิตปาล์มน้ำมัน จังหวัดหนองคายมีประสิทธิภาพการใช้น้ำดีสุด 739.4 ลูกบาศก์เมตรต่อตันทะลาย รองลงมาคือ เลย อุบลราชธานี บึงกาฬ และสกลนคร 1,233.7 1,347.9 1,390.8 และ 1,648.4 ลูกบาศก์เมตรต่อตันทะลาย ตามลำดับ และจังหวัดอุดรธานีมีประสิทธิภาพการใช้น้ำต่ำสุด คือ 2,187.5 ลูกบาศก์เมตรต่อตันทะลาย วอเตอร์ฟุตพริ้นท์ของการผลิตปาล์มน้ำมันภาคเหนือและภาคกลาง ดำเนินการใน 6 จังหวัดได้แก่ เชียงราย น่าน สุโขทัย พิษณุโลก อุทัยธานี และปทุมธานี ระหว่าง ตุลาคม 2560-กันยายน 2564 พบว่า อุทัยธานี ค่าการขาดน้ำสูงสุด 916 มิลลิเมตรต่อปี รองลงมาคือ ปทุมธานี สุโขทัย พิษณุโลก น่าน และเชียงราย ค่าการขาดน้ำ 862 788 658 567 และ 405 มิลลิเมตรต่อปี ตามลำดับ ผลวิเคราะห์วอเตอร์ฟุตพริ้นท์ของการผลิตปาล์มน้ำมัน ปทุมธานีมีประสิทธิภาพการใช้น้ำดีสุด 621 ลูกบาศก์เมตรต่อตันทะลาย รองลงมาคือ พิษณุโลก อุทัยธานี เชียงราย และน่าน 906 1,102 1,188 และ 1,378 ลูกบาศก์เมตรต่อตันทะลาย ตามลำดับ และจังหวัดสุโขทัยมีประสิทธิภาพการใช้น้ำต่ำสุด 1,759 ลูกบาศก์เมตรต่อตันทะลาย ทั้งนี้ปัจจัยที่มีผลกระทบต่อวอเตอร์ฟุตพริ้นท์คือ อายุปาล์มน้ำมัน ปริมาณฝนใช้การ การให้น้ำตามความต้องการน้ำชลประทานของปาล์มน้ำมัน และการจัดการธาตุอาหารปาล์มน้ำมัน

Abstracts

Water Footprint Analysis of Oil Palm Production Study from the process of producing germinated seeds oil palm seedling production and oil palm production in 24 provinces across the country, comprising the Southern, Eastern and Western, Northeast, North and Central for use in the allocation and utilization of water in oil palm production efficiently and sustainably. As the climate is changing dramatically and affecting more limited water resources. especially water use in the agricultural sector. This activity operated from October 2016 to September 2021, water footprint of germinated seed and oil palm seedling production. It was carried out continuously for 3 years at seed production sites 5 units and seedling production sites 7 units found that water footprint (WFblue) of germinated seed production 5 units at years 1 2 and 3 were 0.48. 0.38 and 0.37 liters seed^{-1}, respectively, with unit D having the lowest value of 0.20 liters seed^{-1}. The average water footprint of oil palm seedling production of 7 units at years 1 2 and 3 was 5.2x10-1 2.7. x10-1 and 2.9x10-1 m^3seedling^{-1}, respectively, with unit K having the lowest value (2018) 1.3x10-1 m^3seedling^{-1}, divided into WFgreen, WFblue and WFgrey 9.0x10-2, 4.0x10-2 and 4.0. x10-4 m^3seedling^{-1}, respectively. The water footprint of oil palm production in the South operated in 8 provinces, namely Surat Thani, Krabi, Chumphon, NakhonSi Thammarat, Phang Nga, Ranong, Trang and Satun between October 2015-September 2019. with a maximum of 380 mm year^{-1}, followed by Trang, Krabi, Satun, Phang Nga, Chumphon, Surat Thani and Nakhon Si Thammarat. The water deficit values were 350 290 283 264 231 217 and 153 mm year^{-1} respectively. Ranong had the highest water efficiency at 567.0 m^3ton^{-1}FFB, followed by Nakhon Si Thammarat, Trang, Surat Thani, Phang Nga, Krabi and Chumphon with 624.7 798.8 805.5 842.0 845.8 979.2 m^3ton^{-1}FFB, respectively and Satun had low water efficiency. Maximum 1,167.7 m^3ton^{-1}FFB. Water Footprint of Eastern and Western oil palm production operated in 4 provinces: Trat, Chonburi, Kanchanaburi and Prachuap Khiri Khan between October 2016-September 2020, Chonburi had the highest water deficit 835 mm year^{-1} followed by Prachuap Khiri Khan, Kanchanaburi. and Trat had water deficit values of 804, 641 and 328 mm year^{-1}, respectively. Trat province has the highest water usage efficiency at 811.8 m^3ton^{-1}FFB, followed by Prachuap Khiri Khan. Kanchanaburi and Chonburi had values of 972.3, 1,016.7 and 1,035.8 m^3ton^{-1}FFB, respectively. The water footprint of oil palm production in the Northeast was operated in 6 provinces,: Nong Khai, Bueng Kan, Udon Thani, Sakon Nakhon, Loei and Ubon Ratchathani between October 2016-September 2020. that Ubon Ratchathani had the highest water deficit of 859 mm year^{-1}, followed by Udon Thani, Nong Khai, Sakon Nakhon and Loei with dehydration values of 735, 649, 573 and 524 mm year^{-1}, respectively. Nong Khai Province had the highest water efficiency at 739.4 m^3ton^{-1}FFB, followed by Loei, Ubon Ratchathani, Bueng Kan and Sakon Nakhon at 1,233.7, 1,347.9, 1,390.8 and 1,648.4 m^3ton^{-1}FFB, respectively, and Udon Thani had the lowest water efficiency at 2,187.5 m^3ton^{-1}FFB. Water footprint of oil palm production in the North and Central region was carried out in 6 provinces: Chiang Rai, Nan, Sukhothai, Phitsanulok, Uthai Thani and Pathum Thani between October 2017-

September 2021, Uthai Thani had the highest water deficit of 916 mm $year^{-1}$, followed by Pathum Thani, Sukhothai, Phitsanulok, Nan and Chiang Rai with water deficit values of 862 788 658 567 and 405 mm $year^{-1}$, respectively. Pathum Thani had the highest water efficiency at 621 m^3ton^{-1}FFB, followed by Phitsanulok, Uthai Thani, Chiang Rai and Nan 906, 1,102, 1,188 and 1,378 m^3ton^{-1}FFB, respectively, and Sukhothai had the lowest water efficiency at 1,759 m^3ton^{-1}FFB.

The factors affecting water footprint are oil palm age, precipitation efficiency, irrigation management according to the irrigated water requirement of oil palm and nutrient management of oil palm.

บทนำ

ปัจจุบันแนวคิดเกี่ยวกับการบริหารจัดการน้ำและการกระตุ้นหรือการส่งเสริมให้ผู้ใช้น้ำทางตรงและทางอ้อมได้เปลี่ยนแนวคิดให้ตระหนักถึงปริมาณน้ำที่ใช้ในการผลิตสินค้าและบริการ รวมถึงมีส่วนรับผิดชอบให้เกิดการใช้น้ำที่เหมาะสมมากขึ้น โดยมีการพัฒนาแนวทางการวิเคราะห์ปริมาณน้ำที่ใช้ในการผลิตรูปแบบใหม่และเป็นรูปธรรมมากขึ้นคือวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ (Water footprint, WF) ซึ่งเป็นตัวชี้วัดการใช้น้ำทั้งทางตรงและทางอ้อมที่ทำให้มองเห็นภาพการใช้น้ำที่เกิดขึ้นและการใช้น้ำนั้นมีความเหมาะสมในการใช้ประโยชน์ โดยวอเตอร์ฟุตพริ้นท์เป็นการคำนวณปริมาณการใช้น้ำจากผลรวมการใช้น้ำทั้ง 3 ประเภทประกอบด้วย กรีนวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ (Green WF) คือ ปริมาณการใช้น้ำจากน้ำฝนและความชื้นในดิน บลูวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ (Blue WF) คือปริมาณการใช้น้ำจากแหล่งน้ำผิวดินและแหล่งน้ำใต้ดิน (การชลประทาน) และเกรย์วอเตอร์ฟุตพริ้นท์ (Grey WF) คือ ปริมาณการใช้น้ำสำหรับเจือจางมลพิษในน้ำให้อยู่ในค่ามาตรฐานที่กำหนด โดยแต่ละประเภทพิจารณาการใช้น้ำจากแหล่งน้ำที่แตกต่างกัน (พิชญาภา ราชธรรมมา, 2555)

ประเทศไทยจัดเป็น 1 ใน 10 ประเทศที่ใช้น้ำค่อนข้างมาก โดยเฉพาะการใช้น้ำในภาคการเกษตรและอุตสาหกรรมเกษตรเพื่อการส่งออก ในขณะที่แหล่งน้ำในประเทศไทยทั้งน้ำผิวดิน และน้ำใต้ดินมีจำกัด ดังนั้นการให้ความสำคัญในการใช้น้ำอย่างมีประสิทธิภาพจึงเป็นแนวทางหนึ่งในการดำเนินการ ซึ่งจะเป็นตัวชี้วัดและประเมินการใช้น้ำในแต่ละกิจกรรมการผลิต ทั้งน้ำผิวดิน น้ำใต้ดิน ความชื้นที่มีอยู่ในดิน รวมถึงปริมาณน้ำเสียที่เกิดขึ้นจากกระบวนการผลิต โดยวอเตอร์ฟุตพริ้นท์จะเป็นตัวชี้วัดถึงประสิทธิภาพในการใช้น้ำทั้งทางตรงและทางอ้อม ซึ่งนำมาประเมินผลกระทบที่เกิดจากการผลิตและการค้าต่อการใช้ทรัพยากรน้ำได้อย่างมีประสิทธิภาพ (สำนักข่าว M Report, 2562) โดยปัจจัยน้ำเป็นปัจจัยหลักที่มีผลต่อการผลิตปาล์มน้ำมันในทุกขั้นตอนเป็นอย่างมาก การจัดการน้ำที่ดีช่วยให้เกษตรกรใช้ประโยชน์ทรัพยากรน้ำที่มีอย่างจำกัดได้อย่างเหมาะสมและเกิดประโยชน์สูงสุด และที่ผ่านมามีการกล่าวถึงและกังวลอย่างมากเกี่ยวกับความต้องการใช้น้ำของปาล์มน้ำมันที่ค่อนข้างสูง (200-300 ลิตรต่อต้นต่อวัน) ในช่วงแล้ง ประกอบกับการขยายพื้นที่ปลูกที่เพิ่มมากขึ้นอาจส่งผลกระทบต่อปริมาณน้ำใช้ภาคเกษตรที่มีอย่างจำกัด ดังนั้นการศึกษาเกี่ยวกับวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ของปาล์มน้ำมันจึงมีความสำคัญมากในปัจจุบัน เพื่อให้สามารถใช้ทรัพยากรน้ำได้อย่างมีประสิทธิภาพและยั่งยืน และมีความเหมาะสมกับพื้นที่ หรือใช้ในการปรับปรุงการผลิตเพื่อให้ใช้ทรัพยากรน้ำที่มีอย่างจำกัดได้อย่างมีประสิทธิภาพเพิ่มขึ้น จึงได้ทำการศึกษาและรวบรวมข้อมูลเป็นการเบื้องต้นเพื่อวิเคราะห์ปริมาณการใช้น้ำต่อหน่วยผลผลิต (Water Footprint) ของเมล็ดและต้นกล้าปาล์มน้ำมัน เพื่อนำไปใช้ในการจัดสรรและใช้ประโยชน์จากน้ำสำหรับการผลิตปาล์มน้ำมันอย่างมีประสิทธิภาพและยั่งยืน ซึ่งในประเทศไทยมีรายงานวอเตอร์ฟุตพริ้นของปาล์มน้ำมัน โดย ลักขณา และคณะ (2555) ได้วิเคราะห์วอเตอร์ฟุตพริ้นท์สำหรับการผลิตไบโอดีเซลในเขตพื้นที่ภาคเหนือและภาคใต้ พบว่า ค่าเฉลี่ยวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ของปาล์มน้ำมันสำหรับผลิตไบโอดีเซลมีค่า 2,139 ลูกบาศก์เมตรต่อตัน และพื้นที่ภาคเหนือมีปริมาณการใช้น้ำสูงถึง 3.9 เท่าเมื่อเทียบกับภาคใต้โดยจังหวัดที่ใช้น้ำมากที่สุดคือพิษณุโลกมีค่า 6,098 ลูกบาศก์เมตรต่อตัน และจังหวัดที่ใช้น้ำน้อยสุดคือ สุราษฎร์ธานีมีค่า 1,070 ลูกบาศก์เมตรต่อตัน Lukkanaporn *et. al*., (2012) ได้รายงานว่า ค่าวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ของการผลิตปาล์มน้ำมันของโครงการชัยพัฒนาแม่ฟ้าหลวง จังหวัดเพชรบุรี ในช่วงปี 2006-2010 มีค่าเท่ากับ 10,150 ลูกบาศก์เมตรต่อตัน โดยมีค่ากรีนวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ บลูวอเตอร์ฟุตพริ้นท์และเกรย์วอเตอร์ฟุตพริ้นท์ เท่ากับ 1.333 4,657 และ 4,160 ลูกบาศก์เมตรต่อตัน ตามลำดับ โดยมีผลผลิตเฉลี่ย 3.09 ตันต่อไร่ แต่อย่างไรก็ตาม จนถึงปัจจุบันยังไม่มีรายงานวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ของการผลิตต้นกล้าปาล์มน้ำมันในระยะอนุบาลในประเทศไทย

ปาล์มน้ำมัน (*Elaeis guineensis* Jacq.) เป็นพืชเศรษฐกิจสำคัญในภาคใต้ ยุทธศาสตร์ปาล์มน้ำมันของรัฐบาลต้องการขยายพื้นที่ปลูกให้ได้ 10 ล้านไร่ ในปี พ.ศ.2572 เพื่อเพิ่มผลผลิตน้ำมันปาล์มสำหรับใช้บริโภค-

อุปโภคในประเทศ เป็นแหล่งพลังงานทดแทนและส่งออกบางส่วน ปี 2559 มีการขยายพื้นที่ปลูกทั่วประเทศจาก 5.41 เป็น 5.88 ล้านไร่ (เนื้อที่ให้ผลผลิตเพิ่มจาก 4.52 เป็น 5.35 ล้านไร่) ในปี พ.ศ.2561 โดยเป็นพื้นที่ปลูกในภาคใต้ร้อยละ 86.2 หลายพื้นที่ในภาคใต้มีความเหมาะสมต่อการปลูกปาล์มน้ำมัน แต่อาจแตกต่างกันบ้างแล้วแต่ความสมบูรณ์ของดิน ปริมาณฝน-การกระจายตัว และสภาพภูมิอากาศ และจะส่งผลกระทบต่อผลผลิตอย่างมาก หากเกษตรกรไม่มีการจัดการที่ดีและเหมาะสม ผลผลิตเฉลี่ยในภาคใต้ปี พ.ศ. 2558-2561 มีค่า 2.99 2.69 3.04 และ 3.02 ตันต่อไร่ต่อปี ตามลำดับ (สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร, 2561) และปัจจัยที่มีผลต่อผลผลิตนอกเหนือจากความเหมาะสมของพื้นที่คือ อายุของต้นปาล์มน้ำมัน แนวโน้มการให้ผลผลิตของปาล์มน้ำมันจะ เพิ่มขึ้นตามอายุและสูงสุดปีที่ 8-12 หลังจากนั้นจะคงที่ เพิ่มขึ้นหรือลดลงแล้วแต่สภาพภูมิอากาศและการจัดการ

หลายปีที่ผ่านมา การผลิตปาล์มน้ำมันในประเทศได้รับผลกระทบจากการเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศเป็นอย่างมาก เช่น ภาวะฝนทิ้งช่วงและปริมาณฝนที่น้อยกว่าปกติ การเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิ การเลื่อนของฤดูกาล ฯ ส่งผลให้การเจริญเติบโตและการให้ผลผลิตของปาล์มน้ำมันลดลงอย่างต่อเนื่องในหลายปี (พ.ศ. 2552-2554) โดยบางปีผลผลิตลดลง 30 เปอร์เซ็นต์ โดยผลกระทบที่ปาล์มน้ำมันได้รับจะแตกต่างกันไปในแต่ละพื้นที่ ขึ้นอยู่กับความเครียดของสภาพแวดล้อมที่ปาล์มน้ำมันได้รับ นอกจากกระทบต่อการผลิตพืชแล้ว ยังส่งผลกระทบถึงทรัพยากรน้ำของประเทศไทยที่มีอยู่อย่างจำกัด ดังนั้นเกษตรกรต้องรู้จักใช้เทคโนโลยีการผลิตที่เหมาะสมและคุ้มค่า โดยพืชปลูกต้องให้ผลผลิตต่อหน่วยพื้นที่ได้เต็มศักยภาพ และเป็นที่ทราบดีว่า ปาล์มน้ำมันที่โตเต็มที่มีความต้องการใช้น้ำต่อต้นในช่วงแล้งค่อนข้างสูง 200-300 ลิตร และต้องจัดการธาตุอาหารที่เหมาะสมร่วมด้วย ปาล์มน้ำมันจึงจะให้ผลผลิตเต็มตามศักยภาพของพันธุ์ แต่หากจัดการอย่างใดอย่างหนึ่งผลผลิตย่อมลดลงและส่งผลต่อประสิทธิภาพการใช้น้ำต่อหน่วยผลผลิตอย่างมาก ประกอบกับการขยายพื้นที่ปลูกที่กล่าวมา อาจส่งผลกระทบต่อปริมาณน้ำใช้ภาคเกษตรที่มีอย่างจำกัด ดังนั้นการศึกษาเกี่ยวกับวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ของปาล์มน้ำมันจึงมีความสำคัญมากในปัจจุบัน เนื่องจากเป็นข้อมูลที่ใช้ประกอบในการกำหนดนโยบายของรัฐบาลหรือผู้ที่มีส่วนเกี่ยวข้องที่จะกำหนดพื้นที่ปลูกปาล์มน้ำมันหรือพืชชนิดอื่นที่เหมาะสม เพื่อให้สามารถใช้ทรัพยากรน้ำที่มีจำกัดได้อย่างมีประสิทธิภาพ และเหมาะสมกับพื้นที่ หรือใช้ปรับปรุงการจัดการการผลิตเพื่อให้ใช้ทรัพยากรน้ำที่มีอยู่อย่างจำกัดได้อย่างมีประสิทธิภาพเพิ่มขึ้น ซึ่งในแต่ละพื้นที่จะมีค่าวอเตอร์ฟุตพริ้นท์แตกต่างกัน ขึ้นอยู่กับสภาพแวดล้อมและการจัดการสวนปาล์มน้ำมัน รวมถึงช่วงอายุของปาล์มน้ำมันศักยภาพของพันธุ์ปาล์มน้ำมันและการให้ผลผลิต

วอเตอร์ฟุตพริ้นท์ (Water footprint, WF) เป็นตัวชี้วัดการใช้น้ำจากการผลิตสินค้าและบริการตลอดห่วงโซ่อุปทานซึ่งพิจารณาทั้งการใช้น้ำทางตรงและทางอ้อมรวมทั้งแสดงแหล่งที่มาของน้ำใช้และน้ำเสียที่เกิด ขึ้น (Hoektra *et al.,* 2011) ปริมาณน้ำที่ใช้จะมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับปัจจัยทางภูมิศาสตร์และเวลาที่ทำการศึกษา การศึกษาในพื้นที่และเวลาที่ต่างกันจะทำให้ค่าการใช้น้ำมีค่าไม่เท่ากัน วิธีคำนวณที่นิยมใช้แพร่หลายเป็นวิธีการของ Water Footprint Network (WFN) ซึ่งเป็นการคำนวณจากผลรวมปริมาณการใช้น้ำทั้ง 3 ประเภท ประกอบด้วย กรีนวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ (Green WF) เป็นปริมาณการใช้น้ำจากน้ำฝนและความชื้นในดิน บลูวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ (Blue WF) เป็นปริมาณการใช้น้ำจากแหล่งน้ำผิวดินและแหล่งน้ำใต้ดิน และเกรย์วอเตอร์ฟุตพริ้นท์ (Grey WF) เป็นปริมาณการใช้น้ำสำหรับเจือจางมลพิษในน้ำให้อยู่ในค่ามาตรฐานที่กำหนดโดยแต่ละประเภทจะพิจารณาการใช้น้ำจากแหล่งน้ำที่แตกต่างกัน

การศึกษาวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ปาล์มน้ำมันในประเทศไทยโดยกรมชลประทาน (RID, Thailand's Royal Irrigation Department, 2010) พบว่า ปริมาณการใช้น้ำของปาล์มน้ำมันทั้ง 3 ส่วน (WFgreen+ WFblue+ WFgrey) มีค่า 971 ลูกบาศก์เมตรต่อตันทะลาย คิดเป็น 2,470 ลูกบาศก์เมตรต่อไร่ โดยฐานของผลผลิตที่ใช้คิด

จากผลผลิตเฉลี่ย 2.56 ตันต่อไร่ และ Babel (2011) พบว่า วอเตอร์ฟุตพริ้นท์ของปาล์มน้ำมันในเขตลุ่มน้ำคลองโพธิ์ จังหวัดระยองมีค่า 1,239 ลูกบาศก์เมตรต่อตันทะลาย คิดเป็น 2,335 ลูกบาศก์เมตรต่อไร่ Jarernsook และคณะ (2012) รายงานว่า วอเตอร์ฟุตพริ้นท์ของปาล์มน้ำมันเขตภาคใต้ (ผลผลิตเฉลี่ย 2.67 ตันต่อไร่) มีค่า 2,139 ลูกบาศก์เมตรต่อตันทะลาย คิดเป็น 3,768 ลูกบาศก์เมตรต่อไร่ และวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ของการผลิตปาล์มน้ำมันในอินโดนีเซียมีค่า 802 ลูกบาศก์เมตรต่อตันทะลาย หรือ 2,297 ลูกบาศก์เมตรต่อไร่ (Mekonnen and Hoekstra, 2010) ซึ่งต่ำกว่ารายงานการศึกษาวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ในประเทศไทย ทั้งนี้เนื่องจากผลผลิตเฉลี่ยของอินโดนีเซียสูงกว่าไทย (2.86 ตันต่อไร่)

ลักขณา และคณะ (2555) ได้วิเคราะห์วอเตอร์ฟุตพริ้นท์ของปาล์มน้ำมันสำหรับผลิตไบโอดีเซลในเขตพื้นที่ภาคเหนือและภาคใต้ 16 จังหวัด ระหว่างปีพ.ศ.2550–2554 พบว่า มีความแตกต่างตามลักษณะสภาพภูมิอากาศในแต่ละพื้นที่ โดยพบว่า ค่าเฉลี่ยวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ของปาล์มน้ำมันสาหรับผลิตไบโอดีเซลมีค่า 2,139 ลูกบาศก์เมตรต่อตัน และพบว่าพื้นที่ภาคเหนือมีปริมาณการใช้น้ำสูงถึง 3.9 เท่าเมื่อเทียบกับภาคใต้โดยจังหวัดที่ใช้น้ำมากที่สุดคือพิษณุโลกมีค่า 6,098 ลูกบาศก์เมตรต่อตัน และจังหวัดที่ใช้น้ำน้อยสุดคือ สุราษฎร์ธานีมีค่า 1,070 ลูกบาศก์เมตรต่อตัน

ระเบียบวิธีการวิจัย

การดำเนินงานแบ่งเป็น 5 การทดลอง ดังนี้

การทดลองที่ 1.1 การวิเคราะห์วอเตอร์ฟุตพริ้นท์ของการผลิตต้นกล้าปาล์มน้ำมัน

ดำเนินการเก็บข้อมูลการใช้น้ำในกระบวนการผลิตต้นกล้าปาล์มน้ำมันโดยแบ่งออกเป็น 2 ขั้นตอน คือ ระยะการผลิตเมล็ดงอกและต้นกล้าปาล์มน้ำมัน ดังนี้

ขั้นตอนที่ 1 การศึกษาวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ในการผลิตเมล็ดงอกปาล์มน้ำมัน ดำเนินการสำรวจแหล่งผลิตเมล็ดพันธุ์ปาล์มน้ำมันของภาครัฐจำนวน 2 หน่วยงาน และบริษัทเอกชนจำนวน 3 หน่วยงาน เพื่อใช้ในการศึกษารวมจำนวน 5 หน่วยงาน ต่อเนื่อง 3 ปี (รอบการผลิต) ทำการเก็บข้อมูลโดยวิธีการสัมภาษณ์ การจัดการด้านต่างๆ ของกระบวนการผลิตเมล็ดงอกปาล์มน้ำมัน ตั้งแต่เก็บเกี่ยวทะลายถึงระยะเมล็ดงอกที่พร้อมลงเพาะในถุงเพาะกล้า และคำนวณวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ (WFblue+ WFgrey) การผลิตเมล็ดงอกปาล์มน้ำมันที่มีการจัดการในแต่ละหน่วยงาน

ขั้นตอนที่ 2 การศึกษาวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ในการผลิตต้นกล้าปาล์มน้ำมัน ดำเนินการสำรวจแหล่งผลิตต้นกล้าปาล์มน้ำมันของภาครัฐจำนวน 2 หน่วยงาน และบริษัทเอกชนจำนวน 5 หน่วยงาน เพื่อใช้ในการศึกษารวมจำนวน 7 หน่วยงาน ต่อเนื่อง 3 ปี (รอบการผลิต) ทำการเก็บข้อมูลโดยวิธีการสัมภาษณ์ การจัดการด้านต่างๆ ของการผลิตต้นกล้าปาล์มน้ำมันตั้งแต่เริ่มเพาะเมล็ดจนถึงระยะต้นกล้าพร้อมปลูก และคำนวณวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ของการผลิตต้นกล้าปาล์มน้ำมันตั้งแต่เริ่มเพาะเมล็ดจนถึงระยะต้นกล้าพร้อมปลูก WFgreen+WFblue+WFgrey) โดยข้อมูลที่ต้องใช้ในการคำนวณได้แก่ ค่าสัมประสิทธิ์การใช้น้ำของพืช, ช่วงอายุการเจริญเติบโต, ระดับหยั่งลึกของรากพืช, ระดับการขาดน้ำ, ปัจจัยในการตอบสนองต่อการเจริญเติบโต, ความสูงของต้นพืช และการเจริญเติบโต

การบันทึกข้อมูล ทำการบันทึกข้อมูลการจัดการด้านต่างๆ ของกระบวนการผลิตเมล็ดงอกปาล์มน้ำมันตั้งแต่เก็บเกี่ยวทะลาย-ระยะเมล็ดงอกที่พร้อมลงเพาะในถุงเพาะกล้า-ระยะกล้าเล็กและกล้าใหญ่ ข้อมูลอุตุนิยมวิทยาในระหว่างการศึกษา และวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ (WFgreen+WFblue+WFgrey) ของการผลิตต้นกล้าปาล์มน้ำมันตั้งแต่ระยะเก็บเกี่ยวทะลาย-ระยะเมล็ดงอก-ระยะต้นกล้าเล็ก-ต้นกล้าใหญ่พร้อมปลูก คำนวณวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ได้จากสมการดังนี้

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

โดยที่ Green water footprint คำนวณได้จาก

$WF_{Green} = CWR$ เมื่อ $P_{eff} > CWR$ และ

$WF_{Green} = Peff$ เมื่อ $P_{eff} < CWR$

และ CWR คำนวณได้จากสมการ

$CWR = \sum ET_c$ ซึ่ง $ET_c = Kc \times ET_0$

เมื่อ CWR = ปริมาณความต้องการน้ำของพืช (ลบ.ม./วัน)

Kc = ค่าสัมประสิทธิ์การใช้น้ำของพืช (สำหรับต้นกล้าปาล์มน้ำมัน = 0.7)

ET_c = ปริมาณน้ำต้องการคายระเหยภายใต้สภาวะการเจริญเติบโตในอุดมคตินับตั้งแต่วันปลูกถึงวันเก็บเกี่ยว

ET_0 = การคายระเหยน้ำของพืชอ้างอิง (มิลลิเมตรต่อวัน)

สำหรับปริมาณฝนใช้การ (Precipitation Effective; Peff) ใช้สูตร USDA Soil Conservation Service :

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

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

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

ส่วนค่า Gray water คำนวณได้จากสมการ

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

โดยที่ α คือ สัดส่วนของปุ๋ยไนโตรเจนจากการชะละลาย (10%; Hoektra et al., 2011)

AR คือ ปริมาณปุ๋ยไนโตรเจนที่ใช้ (กก./ไร่)

C_{max} คือ ความเข้มข้นสูงสุดของไนโตรเจนที่ยอมรับได้ (กก./ลบ.ม.)

C_{nat} คือ ความเข้มข้นของไนโตรเจนในธรรมชาติ (กก./ลบ.ม.)

Y คือ ผลผลิตต่อพื้นที่ (จำนวนต้นกล้า/ไร่)

ในการทดลองนี้ใช้ค่า α = 0.1, C_{max} = 5 กก/ลบ.ม., C_{nat} = 0 กก./ลบ.ม.

การทดลองที่ 1.2 การวิเคราะห์วอเตอร์ฟุตพริ้นท์ของการผลิตปาล์มน้ำมันภาคใต้

ดำเนินการ 3 ขั้นตอน ดังนี้

1) พิกัดแปลงสวนปาล์มน้ำมันที่ศึกษา ลักษณะสัณฐานวิทยาของชุดดิน และผลวิเคราะห์ดิน-ใบปาล์มน้ำมัน

1. คัดเลือกตัวแทนจังหวัดที่มีพื้นที่ปลูกปาล์มน้ำมันมากที่สุดในภาคใต้ 8 จังหวัด และการคัดเลือกระดับอำเภอในจังหวัดนั้น ๆ คัดเลือกจากอำเภอที่มีพื้นที่ปลูกปาล์มน้ำมันมากที่สุดในจังหวัดนั้น ๆ โดยใช้ข้อมูลพื้นที่ปลูกของกรมส่งเสริมการเกษตร หลังคัดเลือกระดับอำเภอ ดำเนินการคัดเลือกรายตำบลในอำเภอนั้น หลังคัดเลือกได้ดำเนินการสำรวจสภาพสวนปาล์มน้ำมันในพื้นที่ภาคใต้ที่ได้คัดเลือก และสุ่มตัวอย่างสวนปาล์มน้ำมันที่มีการจัดการเหมาะสม (ใช้ปาล์มน้ำมันลูกผสมเทเนอราพันธุ์ดี มีการจัดการสวนตามคำแนะนำของกรมวิชาการเกษตรทั้งการใส่ปุ๋ย การจัดการน้ำกรณีมีแหล่งน้ำ การจัดการวัชพืชและศัตรูพืชและการเก็บเกี่ยว) และไม่เหมาะสม (ไม่ทราบแหล่งที่มาของพันธุ์หรือใช้ลูกผสมเทเนอราพันธุ์ดี แต่มีการจัดการสวนที่ไม่ถูกต้องและเหมาะสมในบางด้านหรือหลายด้าน) รวม 20 แปลงต่อจังหวัด โดยมีการแบ่งช่วงอายุ 4 ช่วง ตามระยะการให้ผลผลิต เพื่อเป็นตัวแทนศึกษา ดังนี้

1.1 อายุ 1 เดือน - 4 ปี

1.2 อายุ 4 ปี 1 เดือน - 8 ปี

1.3 อายุ 8 ปี 1 เดือน - 12 ปี

1.4 อายุ 12 ปี ขึ้นไป

2. คัดเลือกสวนปาล์มน้ำมันที่เป็นตัวแทนแต่ละจังหวัด (1 จาก 20 แปลง) จำนวน 8 แปลง เพื่อศึกษาลักษณะทางสัณฐานวทยาสนามของดิน และเก็บตัวอย่างดินเพื่อนำไปวิเคราะห์ข้อมูลคุณสมบัติทางเคมีและกายภาพของดิน เก็บตัวอย่างใบวิเคราะห์ปริมาณธาตุอาหารในใบ (ดูความสมบูรณ์ของการจัดการปาล์มน้ำมัน ซึ่งส่งผลต่อปริมาณผลผลิตและวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ของการผลิตปาล์มน้ำมัน) พร้อมบันทึกข้อมูลการเจริญเติบโต (แปลงที่ยังไม่ให้ผลผลิต)

3. บันทึกพิกัดตำแหน่งสวนปาล์มน้ำมันที่เป็นตัวแทนสวนปาล์มน้ำมันในการศึกษาวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ในแต่ละจังหวัด รวม 8 จังหวัด

2) ข้อมูลอุตุนิยมวิทยา ปริมาณฝนใช้การ ความต้องการน้ำและความต้องการน้ำชลประทานของปาล์มน้ำมัน

1.บันทึกและรวบรวมข้อมูลอุตุนิยมวิทยาก่อนการศึกษา 30 ปี (พ.ศ.2529-2558) โดยใช้ข้อมูลจากสถานีอุตุนิยมวิทยาภายในจังหวัดที่ใกล้กับสวนปาล์มน้ำมันของเกษตรกรมากที่สุด และข้อมูลอุตุนิยมวิทยาระหว่างศึกษาด้วย พ.ศ.2559-2562 โดยนำเสนอเฉพาะปริมาณน้ำฝน และค่าระเหยน้ำ

2. คำนวณค่าเฉลี่ยรายเดือนจากข้อมูล 30 ปีของข้อมูลอุตุนิยมวิทยา ดังนี้ อุณหภูมิสูงสุด-ต่ำสุด ความชื้นสัมพัทธ์สูงสุด-ต่ำสุด ปริมาณน้ำฝน และค่าระเหยน้ำ

3. นำค่าเฉลี่ยปริมาณน้ำฝน ค่าระเหยน้ำตลอด 30 ปี และค่าสัมประสิทธิ์ของปาล์มน้ำมัน (Crop coefficient; Kc) ของปาล์มน้ำมัน มาคำนวณปริมาณฝนใช้การ (Effective precipitation; Peff) ความต้องการน้ำ (Crop water requirement; CWR) และความต้องการน้ำชลประทาน (Irrigated water requirement; IWR) หรือค่าการขาดน้ำของปาล์มน้ำมันใน 8 จังหวัดภาคใต้

3) ธาตุอาหารปาล์มน้ำมัน ผลผลิตปาล์มน้ำมันและวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ของการผลิตปาล์มน้ำมันภาคใต้

1. สัมภาษณ์การจัดการธาตุอาหารปาล์มน้ำมัน เพื่อคำนวณปริมาณไนโตรเจนสำหรับวิเคราะห์เกรย์วอเตอร์ฟุตพริ้นท์ และบันทึกผลผลิตปาล์มน้ำมัน (กรณีปาล์มน้ำมันอายุมากกว่า 3 ปี) รวม 8 จังหวัด 160 แปลง หาค่าเฉลี่ยสำหรับใช้คำนวณวอเตอร์ฟุตพริ้นท์

2. คำนวณวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ (Water Footprint; WF) จากผลรวมปริมาณการใช้น้ำทั้ง 3 ประเภท ประกอบด้วยกรีนวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ (Green WF) หรือปริมาณการใช้น้ำจากน้ำฝนและความชื้นในดิน บลูวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ (Blue WF) หรือปริมาณการใช้น้ำจากแหล่งน้ำผิวดินและใต้ดินและเกรย์วอเตอร์ฟุตพริ้นท์ (Grey WF) หรือปริมาณการใช้น้ำสำหรับเจือจางมลพิษในน้ำให้อยู่ในค่ามาตรฐานที่กำหนด

การทดลองที่ 1.3 การวิเคราะห์วอเตอร์ฟุตพริ้นท์ของการผลิตปาล์มน้ำมันภาคตะวันออกและตะวันตก

ดำเนินการ 3 ขั้นตอน ดังนี้

1) พิกัดแปลงสวนปาล์มน้ำมันที่ศึกษา ลักษณะสัณฐานวิทยาของชุดดิน และผลวิเคราะห์ดิน-ใบปาล์มน้ำมัน

1. คัดเลือกตัวแทนจังหวัดที่มีพื้นที่ปลูกปาล์มน้ำมันมากที่สุดในภาคตะวันออกและตะวันตก 4 จังหวัด และการคัดเลือกระดับอำเภอในจังหวัดนั้น ๆ คัดเลือกจากอำเภอที่มีพื้นที่ปลูกปาล์มน้ำมันมากในจังหวัดนั้น ๆ โดยใช้ข้อมูลพื้นที่ปลูกของกรมส่งเสริมการเกษตร หลังคัดเลือกระดับอำเภอ ดำเนินการคัดเลือกรายตำบลในอำเภอนั้น หลังคัดเลือก ดำเนินการสำรวจสภาพสวนปาล์มน้ำมันในพื้นที่ที่ได้คัดเลือก และสุ่มตัวอย่างสวนปาล์มน้ำมันที่จัดการเหมาะสม (ใช้ปาล์มน้ำมันลูกผสมเทเนอราพันธุ์ดี มีการจัดการสวนตามคำแนะนำของกรมวิชาการเกษตรทั้งการใส่ปุ๋ย การจัดการน้ำกรณีมีแหล่งน้ำ การจัดการวัชพืชและศัตรูพืชและการเก็บเกี่ยว) และไม่เหมาะสม (ไม่ทราบแหล่งที่มาของพันธุ์หรือใช้ลูกผสมเทเนอราพันธุ์ดี แต่มีการจัดการสวนที่ถูกต้องและเหมาะสมในบางด้านหรือหลายด้าน) รวม 20 แปลงต่อจังหวัด โดยมีการแบ่งช่วงอายุ 4 ช่วง ตามระยะการให้ผลผลิต เพื่อเป็นตัวแทนศึกษา ดังนี้

1.1 อายุ 1 เดือน - 4 ปี
1.2 อายุ 4 ปี 1 เดือน - 8 ปี
1.3 อายุ 8 ปี 1 เดือน - 12 ปี
1.4 อายุ 12 ปี ขึ้นไป

2. คัดเลือกสวนปาล์มน้ำมันที่เป็นตัวแทนแต่ละจังหวัด (1 จาก 20 แปลง) จำนวน 4 แปลง เพื่อศึกษาลักษณะทางสัณฐานวิทยาสนามของดิน และเก็บตัวอย่างดินเพื่อนำไปวิเคราะห์ข้อมูลคุณสมบัติทางเคมีและกายภาพของดิน เก็บตัวอย่างใบวิเคราะห์ปริมาณธาตุอาหารในใบ (ดูความสมบูรณ์ของการจัดการปาล์มน้ำมัน ซึ่งส่งผลต่อปริมาณผลผลิตและวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ของการผลิตปาล์มน้ำมัน) พร้อมบันทึกข้อมูลการเจริญเติบโต (แปลงที่ยังไม่ให้ผลผลิต)

3. บันทึกพิกัดตำแหน่งสวนปาล์มน้ำมันที่เป็นตัวแทนสวนปาล์มน้ำมันในการศึกษาวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ในแต่ละจังหวัด รวม 4 จังหวัด

2) ข้อมูลอุตุนิยมวิทยา ปริมาณฝนใช้การ ความต้องการน้ำและความต้องการน้ำชลประทานของปาล์มน้ำมัน

1.บันทึกและรวบรวมข้อมูลอุตุนิยมวิทยาก่อนการศึกษา 30 ปี (พ.ศ.2530-2559) โดยใช้ข้อมูลจากสถานีอุตุนิยมวิทยาภายในจังหวัดที่ใกล้กับสวนปาล์มน้ำมันของเกษตรกรมากที่สุด และข้อมูลอุตุนิยมวิทยาระหว่างศึกษาด้วย พ.ศ.2560-2563 โดยนำเสนอเฉพาะปริมาณน้ำฝน และค่าระเหยน้ำ

2. คำนวณค่าเฉลี่ยรายเดือนจากข้อมูล 30 ปีของข้อมูลอุตุนิยมวิทยา ดังนี้ อุณหภูมิสูงสุด-ต่ำสุด ความชื้นสัมพัทธ์สูงสุด-ต่ำสุด ปริมาณน้ำฝน และค่าระเหยน้ำ

3. นำค่าเฉลี่ยปริมาณน้ำฝน ค่าระเหยน้ำตลอด 30 ปี และค่าสัมประสิทธิ์ของปาล์มน้ำมัน (Crop coefficient; Kc) ของปาล์มน้ำมัน มาคำนวณปริมาณฝนใช้การ (Effective precipitation; Peff) ความต้องการน้ำ (Crop water requirement; CWR) และความต้องการน้ำชลประทาน (Irrigated water requirement; IWR) หรือค่าการขาดน้ำของปาล์มน้ำมันใน 4 จังหวัดภาคตะวันออกและตะวันตก

3) ธาตุอาหารปาล์มน้ำมัน ผลผลิตปาล์มน้ำมันและวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ของการผลิตปาล์มน้ำมันภาคตะวันออกและตะวันตก

1. สัมภาษณ์การจัดการธาตุอาหารปาล์มน้ำมัน เพื่อคำนวณปริมาณไนโตรเจนสำหรับวิเคราะห์เกรย์วอเตอร์ฟุตพริ้นท์ และบันทึกผลผลิตปาล์มน้ำมัน (กรณีปาล์มน้ำมันอายุมากกว่า 3 ปี) รวม 4 จังหวัด 80 แปลง หาค่าเฉลี่ยสำหรับใช้คำนวณวอเตอร์ฟุตพริ้นท์

2. คำนวณวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ (Water Footprint; WF) จากผลรวมปริมาณการใช้น้ำทั้ง 3 ประเภท ประกอบด้วยกรีนวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ (Green WF) หรือปริมาณการใช้น้ำจากน้ำฝนและความชื้นในดิน บลูวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ (Blue WF) หรือปริมาณการใช้น้ำจากแหล่งน้ำผิวดินและใต้ดินและเกรย์วอเตอร์ฟุตพริ้นท์ (Grey WF) หรือปริมาณการใช้น้ำสำหรับเจือจางมลพิษในน้ำให้อยู่ในค่ามาตรฐานที่กำหนด

การทดลองที่ 1.4 การวิเคราะห์วอเตอร์ฟุตพริ้นท์ของการผลิตปาล์มน้ำมันภาคตะวันออกเฉียงเหนือ

ดำเนินการ 3 ขั้นตอน ดังนี้

1) พิกัดแปลงสวนปาล์มน้ำมันที่ศึกษา ลักษณะสัณฐานวิทยาของชุดดิน และผลวิเคราะห์ดิน-ใบปาล์มน้ำมัน

1. คัดเลือกตัวแทนจังหวัดที่มีพื้นที่ปลูกปาล์มน้ำมันมากที่สุดในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ 6 จังหวัด และการคัดเลือกระดับอำเภอในจังหวัดนั้น ๆ คัดเลือกจากอำเภอที่มีพื้นที่ปลูกปาล์มน้ำมันมากที่สุดในจังหวัดนั้น ๆ โดยใช้ข้อมูลพื้นที่ปลูกของกรมส่งเสริมการเกษตร หลังคัดเลือกระดับอำเภอ ดำเนินการคัดเลือกรายตำบลในอำเภอนั้น หลังคัดเลือกได้ดำเนินการสำรวจสภาพสวนปาล์มน้ำมันในพื้นที่ภาคใต้ที่ได้คัดเลือก และสุ่มตัวอย่างสวนปาล์มน้ำมันที่มีการจัดการเหมาะสม (ใช้ปาล์มน้ำมันลูกผสมเทเนอราพันธุ์ดี มีการจัดการสวนตามคำแนะนำของกรมวิชาการเกษตรทั้งการใส่ปุ๋ย การจัดการน้ำกรณีมีแหล่งน้ำ การจัดการวัชพืชและศัตรูพืชและการเก็บเกี่ยว) และไม่เหมาะสม (ไม่ทราบแหล่งที่มาของพันธุ์หรือใช้ลูกผสมเทเนอราพันธุ์ดี แต่มีการจัดการสวนที่ไม่ถูกต้องและเหมาะสมในบางด้านหรือหลายด้าน) รวม 20 แปลงต่อจังหวัด โดยมีการแบ่งช่วงอายุ 4 ช่วง ตามระยะการให้ผลผลิต เพื่อเป็นตัวแทนศึกษา ดังนี้

1.1 อายุ 1 เดือน - 4 ปี

1.2 อายุ 4 ปี 1 เดือน - 8 ปี

1.3 อายุ 8 ปี 1 เดือน - 12 ปี

1.4 อายุ 12 ปี ขึ้นไป

2. คัดเลือกสวนปาล์มน้ำมันตัวแทนแต่ละจังหวัด เพื่อศึกษาลักษณะทางสัณฐานวิทยาสนามของดิน และเก็บตัวอย่างดินเพื่อนำไปวิเคราะห์ข้อมูลคุณสมบัติทางเคมีและกายภาพของดิน เก็บตัวอย่างใบวิเคราะห์ปริมาณธาตุอาหารในใบ (ดูผลของการจัดการปาล์มน้ำมัน ต่อผลผลิตและวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ของการผลิตปาล์มน้ำมัน)

3. บันทึกพิกัดตำแหน่งสวนปาล์มน้ำมันที่เป็นตัวแทนสวนปาล์มน้ำมันในการศึกษาวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ในแต่ละจังหวัด รวม 6 จังหวัด

2) ข้อมูลอุตุนิยมวิทยา ปริมาณฝนใช้การ ความต้องการน้ำและความต้องการน้ำชลประทานของปาล์มน้ำมัน

1.บันทึกและรวบรวมข้อมูลอุตุนิยมวิทยาก่อนการศึกษา 30 ปี (พ.ศ.2530-2559) โดยใช้ข้อมูลจากสถานีอุตุนิยมวิทยาภายในจังหวัดที่ใกล้กับสวนปาล์มน้ำมันของเกษตรกรมากที่สุด และข้อมูลอุตุนิยมวิทยาระหว่างศึกษาด้วย พ.ศ.2560-2563 โดยนำเสนอเฉพาะปริมาณน้ำฝน และค่าระเหยน้ำ

2. คำนวณค่าเฉลี่ยรายเดือนจากข้อมูล 30 ปีของข้อมูลอุตุนิยมวิทยา ดังนี้ อุณหภูมิสูงสุด-ต่ำสุด ความชื้นสัมพัทธ์สูงสุด-ต่ำสุด ปริมาณน้ำฝน และค่าระเหยน้ำ

3. นำค่าเฉลี่ยปริมาณน้ำฝน ค่าระเหยน้ำตลอด 30 ปี และค่าสัมประสิทธิ์ของปาล์มน้ำมัน (Crop coefficient; Kc) ของปาล์มน้ำมัน มาคำนวณปริมาณฝนใช้การ (Effective precipitation; Peff) ความต้องการน้ำ (Crop water requirement; CWR) และความต้องการน้ำชลประทาน (Irrigated water requirement; IWR) หรือค่าการขาดน้ำของปาล์มน้ำมันใน 5 จังหวัดภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ทั้งนี้การนำเสนอข้อมูลของจังหวัดหนองคายเป็นข้อมูลตัวแทนของจังหวัดหนองคายและบึงกาฬ เนื่องจากบึงกาฬเพิ่งจัดตั้งวันที่ 23 มีนาคม 2554 และไม่มีสถานีอุตุนิยมวิทยาในช่วงวิเคราะห์ข้อมูล 30 ปี ย้อนหลัง

3) ธาตุอาหารปาล์มน้ำมัน ผลผลิตปาล์มน้ำมันและวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ของการผลิตปาล์มน้ำมันภาคใต้

1. สัมภาษณ์การจัดการธาตุอาหารปาล์มน้ำมัน เพื่อคำนวณปริมาณไนโตรเจนสำหรับวิเคราะห์เกรย์วอเตอร์ฟุตพริ้นท์ และบันทึกผลผลิตปาล์มน้ำมัน (กรณีปาล์มน้ำมันอายุมากกว่า 3 ปี) รวม 6 จังหวัด 120 แปลง หาค่าเฉลี่ยสำหรับใช้คำนวณวอเตอร์ฟุตพริ้นท์

2. คำนวณวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ (Water Footprint; WF) จากผลรวมปริมาณการใช้น้ำทั้ง 3 ประเภท ประกอบด้วยกรีนวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ (Green WF) หรือปริมาณการใช้น้ำจากน้ำฝนและความชื้นในดิน บลูวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ (Blue WF) หรือปริมาณการใช้น้ำจากแหล่งน้ำผิวดินและใต้ดินและเกรย์วอเตอร์ฟุตพริ้นท์ (Grey WF) หรือปริมาณการใช้น้ำสำหรับเจือจางมลพิษในน้ำให้อยู่ในค่ามาตรฐานที่กำหนด

การทดลองที่ 1.5 การวิเคราะห์วอเตอร์ฟุตพริ้นท์ของการผลิตปาล์มน้ำมันภาคเหนือและภาคกลาง

ดำเนินการ 3 ขั้นตอน ดังนี้

1) พิกัดแปลงสวนปาล์มน้ำมันที่ศึกษา และผลวิเคราะห์ดิน-ใบปาล์มน้ำมัน

1. คัดเลือกตัวแทนจังหวัดที่มีพื้นที่ปลูกปาล์มน้ำมันมากที่สุดในภาคเหนือและภาคกลาง 6 จังหวัด และคัดเลือกระดับอำเภอในจังหวัดนั้น ๆ จากอำเภอที่มีพื้นที่ปลูกปาล์มน้ำมันมากที่สุดในจังหวัดนั้น ใช้ข้อมูลพื้นที่ปลูกของกรมส่งเสริมการเกษตร หลังคัดเลือกระดับอำเภอ ดำเนินการคัดเลือกรายตำบลในอำเภอนั้น หลังคัดเลือกได้สำรวจสภาพสวนปาล์มน้ำมันในพื้นที่ที่ได้คัดเลือกรวม 20 แปลงต่อจังหวัด โดยแบ่งช่วงอายุ 4 ช่วง ตามระยะการให้ผลผลิต เพื่อเป็นตัวแทนศึกษา ดังนี้

1.1 อายุ 1 เดือน - 4 ปี

1.2 อายุ 4 ปี 1 เดือน - 8 ปี

1.3 อายุ 8 ปี 1 เดือน - 12 ปี

1.4 อายุ 12 ปี ขึ้นไป

2. บันทึกพิกัดตำแหน่งสวนปาล์มน้ำมันที่เป็นตัวแทนสวนปาล์มน้ำมันในการศึกษาวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ในแต่ละจังหวัด รวม 6 จังหวัด

2) ข้อมูลอุตุนิยมวิทยา ปริมาณฝนใช้การ ความต้องการน้ำและความต้องการน้ำชลประทานของปาล์มน้ำมัน

1.บันทึกและรวบรวมข้อมูลอุตุนิยมวิทยาก่อนการศึกษา 30 ปี (พ.ศ.2531-2560) โดยใช้ข้อมูลสถานีอุตุนิยมวิทยาในจังหวัดที่ใกล้กับสวนปาล์มน้ำมันเกษตรกรมากที่สุด และข้อมูลอุตุนิยมวิทยาระหว่างศึกษาด้วย พ.ศ.2561-2564 โดยนำเสนอเฉพาะปริมาณน้ำฝน และค่าระเหยน้ำ

2. คำนวณค่าเฉลี่ยรายเดือนจากข้อมูลอุตุนิยมวิทยา 30 ปี ดังนี้ อุณหภูมิสูงสุด-ต่ำสุด ความชื้นสัมพัทธ์สูงสุด-ต่ำสุด ปริมาณน้ำฝน และค่าระเหยน้ำ

3. นำค่าเฉลี่ยปริมาณน้ำฝน ค่าระเหยน้ำตลอด 30 ปี และค่าสัมประสิทธิ์ของปาล์มน้ำมัน (Crop coefficient; Kc) มาคำนวณปริมาณฝนใช้การ (Effective precipitation; Peff) ความต้องการน้ำ (Crop water requirement; CWR) และความต้องการน้ำชลประทาน (Irrigated water requirement; IWR) หรือค่าการขาดน้ำของปาล์มน้ำมันใน 6 จังหวัดภาคเหนือและภาคกลาง

3) ผลผลิตและวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ของการผลิตปาล์มน้ำมันภาคเหนือและภาคกลาง

1. สัมภาษณ์การจัดการธาตุอาหารปาล์มน้ำมัน เพื่อคำนวณปริมาณไนโตรเจนสำหรับวิเคราะห์เกรย์วอเตอร์ฟุตพริ้นท์ และบันทึกผลผลิตปาล์มน้ำมัน (กรณีปาล์มน้ำมันอายุมากกว่า 3 ปี) รวม 6 จังหวัด 120 แปลง หาค่าเฉลี่ยสำหรับใช้คำนวณวอเตอร์ฟุตพริ้นท์

2. คำนวณวอเตอร์ฟุตพริ้นท์จากผลรวมปริมาณการใช้น้ำทั้ง 3 ประเภท ประกอบด้วย กรีนวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ หรือปริมาณการใช้น้ำจากน้ำฝนและความชื้นในดิน บลูวอเตอร์ฟุตพริ้นท์หรือปริมาณการใช้น้ำจากแหล่งน้ำผิวดินและใต้ดิน และเกรย์วอเตอร์ฟุตพริ้นท์หรือปริมาณการใช้น้ำสำหรับเจือจางมลพิษในน้ำให้อยู่ในค่ามาตรฐานที่กำหนด

ผลการวิจัยและอภิปราย

การวิเคราะห์วอเตอร์ฟุตพริ้นท์ของการผลิตต้นกล้าปาล์มน้ำมัน

ขั้นตอนที่ 1 การศึกษาวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ในการผลิตเมล็ดงอกปาล์มน้ำมัน

จากการสำรวจและสัมภาษณ์เก็บรวบรวมข้อมูลจากแหล่งผลิตเมล็ดพันธุ์ปาล์มน้ำมันจาก 5 หน่วยงาน ได้แก่ หน่วยงาน A B C D และ E ดำเนินการเก็บข้อมูลซ้ำต่อเนื่องเป็นเวลา 3 ปี (รอบการผลิต) โดยข้อมูลทั้ง 3 ปี พบว่า ค่าเฉลี่ยการใช้น้ำในการผลิตเมล็ดงอกทั้ง 5 หน่วยงาน ในปีที่ 1 2 และ 3 มีอัตรา 0.48 0.38 และ 0.37 ลิตรต่อเมล็ดตามลำดับ (ตารางที่ 1) ซึ่งแต่ละหน่วยงานใช้น้ำในการผลิตเมล็ดงอกต่อเมล็ดในอัตราที่ต่างกัน เนื่องจากแต่ละหน่วยงานมีขั้นตอนและกระบวนการผลิตที่แตกต่างกัน (ตารางผนวกที่ 1) และเมื่อคำนวณค่าวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ทุกหน่วยงานจะมีค่ากรีนวอเตอร์ฟุตพริ้นท์และเกรย์วอเตอร์ฟุตพริ้นท์ เท่ากับ 0 มีเพียงค่าบลูวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ จึงทำให้ค่าวอเตอร์ฟุตพริ้นท์รวม มีค่าเท่ากับค่าบลูวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ โดยหน่วยงาน D มีประสิทธิภาพการใช้น้ำสูงที่สุด ซึ่งใช้น้ำน้อยที่สุดเท่ากันทั้ง 3 ปีที่ 0.20 ลิตรต่อเมล็ด คิดเป็นค่าวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ 0.20 ลิตรต่อเมล็ด รองลงมาคือ หน่วยงาน E C A และ B โดยปีที่ 1 ใช้น้ำ 0.25 0.36 0.68 และ 0.92 ลิตรต่อเมล็ด ตามลำดับ คิดเป็นค่าวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ 0.25 0.36 0.68 และ 0.92 ลิตรต่อเมล็ด ตามลำดับ ในปีที่ 2 ใช้น้ำ 0.25 0.36 0.45 และ 0.64 ลิตรต่อเมล็ด ตามลำดับ คิดเป็นค่าวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ 0.25 0.36 0.45 และ 0.64 ลิตรต่อเมล็ด ตามลำดับ และในปีที่ 3 ใช้น้ำ 0.25 0.36 0.48 และ 0.58 ลิตรต่อเมล็ด ตามลำดับ คิดเป็นค่าวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ 0.25 0.36 0.48 และ 0.58 ลิตรต่อเมล็ด ตามลำดับ (ตารางที่ 1 และ 2) ซึ่งหน่วยงาน C B และ D จะมีค่าการใช้น้ำและค่าวอเตอร์ฟุตพริ้นท์เท่ากันทั้ง 3 ปี เนื่องจากไม่มีการปรับเปลี่ยนกระบวนการผลิตทั้ง 3 ปี ส่วนหน่วยงาน A และ B มีการปรับเปลี่ยนกระบวนการจึงทำให้ค่าการใช้น้ำและค่าวอเตอร์ฟุตพริ้นท์แตกต่างกันในแต่ละปี โดยหน่วยงาน D ค่าการใช้น้ำและค่าวอเตอร์ฟุตพริ้นท์น้อยกว่าหน่วยงานอื่นเนื่องจากประสิทธิภาพการตีเปลือกทำให้เมล็ดสะอาด สามารถแช่ยากันราผึ่งให้แห้งและเก็บรักษาเมล็ดในรูปแบบเมล็ดแห้ง ลดขั้นตอนการล้างทำความสะอาด จึงลดการใช้น้ำลง ส่วนหน่วยงาน A และ B ในขั้นตอนขูดทำความสะอาดเมล็ดด้วยแรงงานคนทำให้เมล็ดสูญเสียความชื้น จำเป็นต้องแช่เมล็ดเพื่อเพิ่มความชื้นและล้างเมล็ดอีกครั้ง ส่งผลให้สูญเสียน้ำเพิ่มขึ้น และการที่หน่วยงาน A และ B มีค่าการใช้น้ำลดลงในปีถัดมาเนื่องจากมีการปรับเปลี่ยนขั้นตอนในกระบวนการผลิตเมล็ด ได้แก่ ลดระยะเวลาการแช่น้ำในการเพิ่มความชื้น จำนวนเมล็ดต่อหน่วยปริมาตรน้ำที่ใช้ และลดขั้นตอนบางขั้นตอนลง เช่น ใช้เครื่องขัดเมล็ดแทนแรงงานคนในการขูดเมล็ด

โดยแต่ละหน่วยงานมีขั้นตอนในกระบวนการผลิตที่แตกต่างกัน ขึ้นอยู่กับความสะดวกทั้งต้นทุน แรงงาน และอุปกรณ์ในการปฏิบัติงานของแต่ละหน่วยงาน ซึ่งมีความพร้อมแตกต่างกัน ส่งผลให้การใช้น้ำและต้นทุนในการผลิตแตกต่างกัน ขณะที่เปอร์เซ็นต์เมล็ดงอกเฉลี่ยที่ได้อยู่ในช่วง 60-80 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งปัจจัยหลักที่สามารถลดการใช้น้ำและให้เกิดประสิทธิภาพมากที่สุด ขึ้นกับระยะเวลา อัตราการไหลของน้ำที่ใช้ในการล้างและแช่เมล็ด จำนวนเมล็ดต่อการปฏิบัติงานในแต่ละขั้นตอนและใช้เครื่องมือให้มีประสิทธิภาพสูงสุด เพื่อลดระยะเวลาการทำงานและแรงงานคน เพื่อให้เมล็ดลดการสูญเสียความชื้นให้มากที่สุด ซึ่งสามารถนำไปปรับใช้ในกระบวนการผลิตเมล็ดงอกปาล์มน้ำมันให้เกิดประสิทธิภาพต่อการใช้น้ำมากที่สุด

ตารางที่ 1.1-1 ปริมาณการใช้น้ำในการผลิตเมล็ดงอกปาล์มน้ำมัน (ลิตรต่อเมล็ด) 5 หน่วยงาน รอบการผลิตปี 2559-2561

หน่วยงาน	ปริมาณการใช้น้ำในการผลิตเมล็ดงอก			
	ปีที่ 1	ปีที่ 2	ปีที่ 3	เฉลี่ย 3 ปี
A	0.68	0.45	0.48	**0.54**
B	0.92	0.64	0.58	**0.71**
C	0.36	0.36	0.36	**0.36**
D	0.20	0.20	0.20	**0.20**
E	0.25	0.25	0.25	**0.25**
เฉลี่ย	**0.48**	**0.38**	**0.37**	**0.41**

ตารางที่ 1.1-2 กรีนวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ บลูวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ เกรย์วอเตอร์ฟุตพริ้นท์และวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ (ลิตรต่อเมล็ด) ของการผลิตเมล็ดงอกปาล์มน้ำมัน 5 หน่วยงาน รอบการผลิตปี 2559-2561

หน่วยงาน	กรีนวอเตอร์ฟุตพริ้นท์			บลูวอเตอร์ฟุตพริ้นท์			เฉลี่ย 3 ปี	เกรย์วอเตอร์ฟุตพริ้นท์			วอเตอร์ฟุตพริ้นท์			เฉลี่ย 3 ปี
	ปีที่ 1	ปีที่ 2	ปีที่ 3	ปีที่ 1	ปีที่ 2	ปีที่ 3		ปีที่ 1	ปีที่ 2	ปีที่ 3	ปีที่ 1	ปีที่ 2	ปีที่ 3	
A	0	0	0	0.68	0.45	0.48	**0.54**	0	0	0	0.68	0.45	0.48	**0.54**
B	0	0	0	0.92	0.64	0.58	**0.71**	0	0	0	0.92	0.64	0.58	**0.71**
C	0	0	0	0.36	0.36	0.36	**0.36**	0	0	0	0.36	0.36	0.36	**0.36**
D	0	0	0	0.20	0.20	0.20	**0.20**	0	0	0	0.20	0.20	0.20	**0.20**
E	0	0	0	0.25	0.25	0.25	**0.25**	0	0	0	0.25	0.25	0.25	**0.25**
เฉลี่ย				**0.48**	**0.38**	**0.37**	**0.41**				**0.48**	**0.38**	**0.37**	**0.41**

ขั้นตอนที่ 2 การศึกษาวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ในการผลิตต้นกล้าปาล์มน้ำมัน

จากการสำรวจและสัมภาษณ์ข้อมูลจากแหล่งผลิตต้นกล้าปาล์มน้ำมัน 7 หน่วยงาน ได้แก่ หน่วยงาน F G H I J K และ L เก็บข้อมูลต่อเนื่อง 3 ปี พบว่า การผลิตต้นกล้าปาล์มน้ำมันมีการใช้น้ำเฉลี่ยจาก 7 หน่วยงาน ในปี 59 60 และ 61 มีค่า 8.4 3.4 และ 2.6 ลิตรต่อต้นต่อวัน ซึ่งเป็นการให้น้ำนอกเหนือจากน้ำฝน โดยแต่ละปีมีปริมาณลดลง เนื่องจากบางหน่วยงานมีการปรับเปลี่ยนระบบการจัดการ เช่น รูปแบบการให้น้ำ การจัดวางถุง เป็นต้น โดยหน่วยงาน H มีการใช้น้ำในการผลิตต้นกล้าปาล์มน้ำมันต่อต้นน้อยที่สุด เท่ากับ 0.74 0.05 และ 0.04 ลิตรต่อต้นต่อวัน ในรอบผลิตปี 59 60 และ 61 ตามลำดับ เฉลี่ย 3 ปี เท่ากับ 0.28 ลิตรต่อต้นต่อวัน (ตารางที่ 3) โดยในระยะอนุบาลแรกเพาะในถาดเพาะให้น้ำด้วยระบบพ่นหมอก ทำให้จำนวนต้นต่อหน่วยพื้นที่มีการให้น้ำมากส่งผลต่อการลดสูญเสียน้ำ และในแปลงอนุบาลกล้าหลักให้น้ำด้วยระบบน้ำหยด แต่มีปริมาณฝนและจำนวนวันฝนตกสูง (ภาพที่ 4) จึงอาจส่งผลให้มีการให้น้ำน้อยกว่าหน่วยงานอื่น รองลงมาคือ หน่วยงาน J มีการใช้น้ำต่อต้น 0.81 1.21 และ 0.08 ลิตรต่อต้นต่อวันตามลำดับ เฉลี่ย 3 ปี เท่ากับ 0.70 ลิตรต่อต้นต่อวัน (ตารางที่ 3) เนื่องจากแต่ละหน่วยงานมีระบบการจัดการแปลงเพาะที่แตกต่างกัน เช่น มีการวางถุงในรูปแบบและระยะที่แตกต่างกัน ทำให้จำนวนต้นต่อพื้นที่แตกต่างกัน ลดพื้นที่การสูญเสียน้ำ ส่งผลให้ต้นกล้าได้รับน้ำเต็มที่ การใช้น้ำระบบการให้น้ำแบบสปริงเกอร์และแบบน้ำหยด (ตารางภาคผนวกที่ 2 และ 3 และภาพที่ 1) ซึ่งจะขึ้นอยู่กับความสะดวกทั้งต้นทุน แรงงานและอุปกรณ์ในการปฏิบัติงานของแต่ละแห่ง ส่งผลให้การใช้น้ำและต้นทุนในการผลิตแตกต่างกัน โดยหน่วยงาน H และ J มีการให้น้ำด้วยระบบน้ำหยด ส่วนหน่วยงาน K I G L และ F ใช้น้ำในการผลิตต้นกล้าปาล์มน้ำมันอยู่ในช่วง 3.40 - 24.07 ลิตรต่อต้นต่อวัน (ตารางที่ 3) ซึ่งสูงกว่าหน่วยงาน H และ J โดยให้น้ำโดยใช้

ระบบน้ำแบบมินิสปริงเกอร์ หน่วยงานที่ผลิตต้นกล้าปาล์มน้ำมันทั้ง 7 หน่วยงาน มีระบบการจัดการแปลงเพาะชำที่แตกต่างกัน ทั้งการอนุบาลกล้าแบบ 2 ครั้ง คือ มีการอนุบาลกล้าเล็กและการอนุบาลกล้าใหญ่ จำนวน 5 หน่วยงาน และอนุบาลกล้าครั้งเดียว คือ การเพาะเมล็ดงอกลงในถุงใหญ่ครั้งเดียว จำนวน 2 หน่วยงาน โดยในแปลงอนุบาลแรกมีทั้งการเพาะเมล็ดงอกในถุงดำและกระบะเพาะ ระบบการให้น้ำแบบสปริงเกอร์ แบบสายยางรดและแบบพ่นหมอก จำนวนการวางต้นต่อหน่วยพื้นที่แตกต่างกัน ซึ่งต่างมีผลต่อประสิทธิภาพการใช้น้ำและการสูญเสียน้ำต่อต้นกล้าทั้งสิ้น หากมีการนำข้อดีของแต่ระบบมาปรับใช้ในกระบวนการผลิตก็สามารถจะช่วยให้การใช้น้ำในการผลิตมีประสิทธิภาพมากขึ้นได้

ตารางที่ 1.1-3 ปริมาณการให้น้ำเฉลี่ยในการผลิตต้นกล้าปาล์มน้ำมัน 7 หน่วยงาน ในรอบการผลิตปี 2559-2561

อายุต้นกล้า (สัปดาห์หลังปลูก)	ปริมาณการให้น้ำเฉลี่ยในการผลิตต้นกล้าปาล์มน้ำมันต่อต้น (ลิตรต่อต้นต่อวัน)							เฉลี่ย
	F	G	H	I	J	K	L	
ปี 2559	24.07	10.19	0.74	9.27	0.81	3.40	10.60	**8.4**
ปี 2560	0.99	1.34	0.05	2.73	1.21	6.34	10.98	**3.4**
ปี 2561	1.33	1.20	0.04	2.73	0.08	1.16	11.62	**2.6**
เฉลี่ย	**8.80**	**4.24**	**0.28**	**4.91**	**0.70**	**3.63**	**11.07**	**4.8**

ภาพที่ 1.1-1 ลักษณะระบบการจัดการแปลงเพาะกล้าในแปลงอนุบาลแรก

ภาพที่ 1.1-2 ลักษณะระบบการจัดการแปลงเพาะกล้าในแปลงอนุบาลหลัก

เมื่อคำนวณวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ พบว่า ค่าวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ในการผลิตต้นกล้าปาล์มน้ำมันเฉลี่ยทั้ง 7 หน่วยงานในรอบการผลิตปี 59 60 และ 61 เท่ากับ $5.2x10^{-1}$ $2.7x10^{-1}$ และ $2.9x10^{-1}$ ลูกบาศก์เมตรต่อต้น ตามลำดับ เฉลี่ย 3 ปี เท่ากับ $3.6x10^{-1}$ ลูกบาศก์เมตรต่อต้น (ตารางที่ 5) โดยค่ากรีนวอเตอร์ฟุตพริ้นท์เท่ากับ $1.8x10^{-1}$ $1.9x10^{-1}$ และ $1.7x10^{-1}$ ลูกบาศก์เมตรต่อต้น ตามลำดับ เฉลี่ย 3 ปี เท่ากับ $1.8x10^{-1}$ ลูกบาศก์เมตรต่อต้น ค่าบลูวอเตอร์ฟุตพริ้นท์เท่ากับ $3.4x10^{-1}$ $8.0x10^{-2}$ และ $1.2x10^{-1}$ ลูกบาศก์เมตรต่อต้น ตามลำดับ เฉลี่ย 3 ปี เท่ากับ $1.8x10^{-1}$ ลูกบาศก์เมตรต่อต้น (ตารางที่ 4) และค่าเกรย์วอเตอร์ฟุตพริ้นท์เท่ากับ $3.3x10^{-4}$ $4.1x10^{-4}$ และ $5.3x10^{-4}$ ลูกบาศก์เมตรต่อต้น ตามลำดับ เฉลี่ย 3 ปี เท่ากับ $4.2x10^{-4}$ ลูกบาศก์เมตรต่อต้น (ตารางที่ 5) โดยหน่วยงาน K มีค่าวอเตอร์ฟุตพริ้นท์น้อยที่สุดในรอบการผลิตปี 59 60 และ 61 เท่ากับ $1.6x10^{-1}$ $1.9 x10^{-1}$ และ $1.3x10^{-1}$ ลูกบาศก์เมตรต่อต้น ตามลำดับ เฉลี่ย 3 ปี เท่ากับ $1.6x10^{-1}$ ลูกบาศก์เมตรต่อต้น โดยมีค่ากรีนวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ $8.0x10^{-2}$ $9.0x10^{-2}$ และ $9.0x10^{-2}$ ลูกบาศก์เมตรต่อต้น ตามลำดับ เฉลี่ย 3 ปี เท่ากับ $9.0x10^{-2}$ ลูกบาศก์เมตรต่อต้น ค่าบลูวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ $8.0x10^{-2}$ $1.0x10^{-1}$ และ $4.0x10^{-2}$ ลูกบาศก์เมตรต่อต้น ตามลำดับ เฉลี่ย 3 ปี เท่ากับ $8.0x10^{-2}$ ลูกบาศก์เมตรต่อต้น และค่าเกรย์วอเตอร์ฟุตพริ้นท์ $1.4x10^{-4}$ $3.1x10^{-4}$ และ $6.9x10^{-4}$

ลูกบาศก์เมตรต่อต้น ตามลำดับ เฉลี่ย 3 ปี เท่ากับ $3.8x10^{-4}$ ลูกบาศก์เมตรต่อต้น (ตารางที่ 4 และ 5) รองลงมา คือ หน่วยงาน H ซึ่งมีค่าวอเตอร์ฟุตพริ้นท์รวมในรอบการผลิตปี 59 60 และ 61 $2.4x10^{-1}$ $2.3x10^{-1}$ และ $2.1x10^{-1}$ ลูกบาศก์เมตรต่อต้น ตามลำดับ เฉลี่ย 3 ปี เท่ากับ $2.2x10^{-1}$ ลูกบาศก์เมตรต่อต้น (ตารางที่ 5) แต่ต้นกล้ามีแนวโน้มการเจริญเติบโตเฉลี่ยค่อนข้างช้าโดยมีขนาดลำต้น 2.05 เซนติเมตร พื้นที่ใบ 189.12 ตารางเซนติเมตร และความสูงต้น 38.49 เซนติเมตร (ตารางที่ 6) ซึ่งหน่วยงาน H มีระบบการให้น้ำแบบพ่นหมอกและระบบน้ำหยดส่งผลให้ใช้น้ำปริมาณน้อย แต่เมื่อเทียบกับหน่วยงาน J ที่มีระบบการให้น้ำแบบสายยางและระบบน้ำหยดเช่นกันแต่พบว่า วอเตอร์ฟุตพริ้นท์รวมมีค่าสูงกว่าในรอบการผลิตปี 59 60 และ 61 เท่ากับ $3.7x10^{-1}$ $3.6x10^{-1}$ และ $4.8x10^{-1}$ ลูกบาศก์เมตรต่อต้น ตามลำดับ เฉลี่ย 3 ปี เท่ากับ $4.0x10^{-1}$ ลูกบาศก์เมตรต่อต้น (ตารางที่ 5) และต้นกล้ามีแนวโน้มการเจริญเติบโตเฉลี่ยที่ดีกว่าโดยมีขนาดลำต้น 5.11 เซนติเมตร พื้นที่ใบ 354.30 ตารางเซนติเมตร และความสูงต้น 67.93 เซนติเมตร (ตารางที่ 6) จากการสังเกตพบว่าอาจมีผลมาจากการจัดการทั้งการจัดวางต้นกล้า ระยะห่างต้น ส่งผลให้จำนวนต้นต่อพื้นที่แตกต่างกัน จึงพบว่าสาเหตุที่ทำให้ค่าวอเตอร์ฟุตพริ้นท์แตกต่างกันขึ้นกับระบบการจัดการดูแลแปลงและต้นกล้าเป็นสำคัญ ทั้งการจัดวางต้นกล้าซึ่งมีจำนวนต่อพื้นที่และระยะในการวางต่างกัน ทำให้จำนวนต้นกล้าที่ได้ต่อพื้นที่มากน้อยต่างกันเมื่อเทียบกับปริมาณน้ำที่ให้ รวมทั้งฤดูกาลที่ปลูกซึ่งบางหน่วยงานอาจมีปริมาณฝนและจำนวนวันฝนตกมาก ทำให้ค่าการระเหยต่ำและลดการให้น้ำจากระบบชลประทานได้ ส่งผลให้อัตราการใช้น้ำมากน้อยต่างกันด้วยรวมทั้งค่าวอเตอร์ฟุตพริ้นที่ได้ เช่น หน่วยงานที่ทำการเพาะเมล็ดงอกลงในกระบะเพาะสามารถวางต้นกล้าต่อพื้นที่ได้จำนวนมากกว่าการเพาะเมล็ดในถุงดำ ทำให้เป็นการประหยัดการใช้น้ำต่อพื้นที่และแรงงานในการดูแลได้มากกว่าการเพาะเมล็ดงอกลงถุงขนาดใหญ่ และเมื่อย้ายต้นกล้าลงถุงใหญ่ในแปลงอนุบาลกล้าหลักค่าวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ของหน่วยงานที่มีการให้น้ำด้วยระบบน้ำหยดจึงมีค่าน้อยกว่าการให้น้ำด้วยระบบสปริงเกอร์ ซึ่งจะช่วยลดพื้นที่การสูญเสียน้ำ ทำให้การใช้น้ำน้อยลง รวมทั้งการวางถุงในระบบแถวคู่สามารถวางต้นต่อหน่วยพื้นที่เพิ่มขึ้น และช่วยลดการสูญเสียนำและการระเหยของน้ำได้ ส่วนการจัดการปุ๋ยของแต่ละหน่วยงานมีอัตราส่วนแตกต่างกัน ส่งผลต่อการเจริญเติบโตของต้นกล้าแตกต่างกันด้วย เช่น หน่วยงานที่ให้น้ำด้วยระบบสปริงเกอร์ใช้น้ำมากกว่าระบบน้ำหยดแต่การเจริญเติบโตของต้นกล้าที่อยู่ในระบบน้ำหยดที่ประหยัดน้ำมากกว่าและมีการให้ปุ๋ยเพียงพอสามารถเจริญเติบโตได้เร็วและดีกว่า ดังนั้นหากมีการนำวิธีการจัดการที่ดีมาปรับใช้ในการปฏิบัติงานจะสามารถช่วยให้ใช้น้ำได้อย่างมีประสิทธิภาพมากที่สุดและต้นกล้ามีประสิทธิภาพด้วย รวมทั้งปริมาณฝนที่ตกต่างก็ส่งผลต่อการให้น้ำ หากจำนวนฝนตกน้อยจึงจำเป็นต้องมีการให้น้ำเพิ่มมากกว่าแหล่งที่มีปริมาณฝนและจำนวนวันฝนตกมากกว่า ส่งผลต่อความชื้นของดินในถุงต้นกล้า (ตารางภาคผนวกที่ 4-7) ซึ่งปัจจัยต่างๆ มีความแตกต่างจึงส่งผลต่อค่าวอเตอร์ฟุตพริ้นท์แตกต่างกันได้ดังเช่น Halimah *et al.* (2014) ได้ทำการศึกษาค่าวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ในการผลิตต้นกล้าปาล์มน้ำมัน โดยมีระบบการให้น้ำแบบสปริงเกอร์ พบว่า มีค่าวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ $4.69x10^{-1}$ ลูกบาศก์เมตรต่อตัน โดยมีค่าบลูวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ กรีนวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ และเกรย์วอเตอร์ฟุตพริ้นท์เท่ากับ $1.57x10^{-1}$ $3.10x10^{-1}$ และ $1.83x10^{-3}$ ลูกบาศก์เมตรต่อตัน ตามลำดับ ซึ่งมีค่าแตกต่างกันกับการศึกษาครั้งนี้ อาจมาจากระบบการจัดการและสภาพแวดล้อมของแต่ละพื้นที่ที่แตกต่างกันด้วย

ตารางที่ 1.1-4 กรีนวอเตอร์ฟุตพริ้นท์และบลูวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ของการผลิตต้นกล้าปาล์มน้ำมัน (ลูกบาศก์เมตรต่อต้น) 7 หน่วยงาน ในรอบการผลิตปี 2559-2561

หน่วย	กรีนวอเตอร์ฟุตพริ้นท์			เฉลี่ย	บลูวอเตอร์ฟุตพริ้นท์			เฉลี่ย
งาน	2559	2560	2561	3 ปี	2559	2560	2561	3 ปี
F	$2.5x10^{-1}$	$2.4x10^{-1}$	$2.3x10^{-1}$	**$2.4x10^{-1}$**	$14.8 x10^{-1}$	$7.0x10^{-2}$	$1.5x10^{-1}$	**$5.7x10^{-1}$**
G	$2.2x10^{-1}$	$2.3x10^{-1}$	$2.1x10^{-1}$	**$2.2x10^{-1}$**	$2.7x10^{-1}$	$4.0x10^{-2}$	$4.0x10^{-2}$	**$1.2 x10^{-1}$**
H	$2.1x10^{-1}$	$2.3x10^{-1}$	$2.1x10^{-1}$	**$2.2x10^{-1}$**	$2.0x10^{-2}$	$3.0x10^{-3}$	$2.0x10^{-3}$	**$1.0 x10^{-2}$**
I	$1.7x10^{-1}$	$1.8x10^{-1}$	$1.6x10^{-1}$	**$1.7x10^{-1}$**	$2.0x10^{-1}$	$1.0x10^{-1}$	$9.0x10^{-2}$	**$1.3x10^{-1}$**

หน่วย	กรีนวอเตอร์ฟุตพริ้นท์			เฉลี่ย	บลูวอเตอร์ฟุตพริ้นท์			เฉลี่ย
งาน	2559	2560	2561	3 ปี	2559	2560	2561	3 ปี
J	$2.3x10^{-1}$	$2.5x10^{-1}$	$2.4x10^{-1}$	**$2.4x10^{-1}$**	$1.5x10^{-1}$	$1.0x10^{-1}$	$2.4x10^{-1}$	**$1.6x10^{-1}$**
K	$8.0x10^{-2}$	$9.0x10^{-2}$	$9.0x10^{-2}$	**$9.0x10^{-2}$**	$8.0x10^{-2}$	$1.0x10^{-1}$	$4.0x10^{-2}$	**$8.0x10^{-2}$**
L	$1.3x10^{-1}$	$1.1x10^{-1}$	$7.0x10^{-2}$	**$1.0x10^{-1}$**	$1.4x10^{-1}$	$1.4x10^{-1}$	$2.6x10^{-1}$	**$1.8x10^{-1}$**
เฉลี่ย	**$1.8x10^{-1}$**	**$1.9x10^{-1}$**	**$1.7x10^{-1}$**	**$1.8 x10^{-1}$**	**$3.4x10^{-1}$**	**$8.0x10^{-2}$**	**$1.2x10^{-1}$**	**$1.8x10^{-1}$**

ตารางที่ 1.1-5 เกรย์วอเตอร์ฟุตพริ้นท์ วอเตอร์ฟุตพริ้นท์ของการผลิตต้นกล้าปาล์มน้ำมัน (ลูกบาศก์เมตรต่อต้น) 7 หน่วยงาน ในรอบการผลิตปี 2559-2561

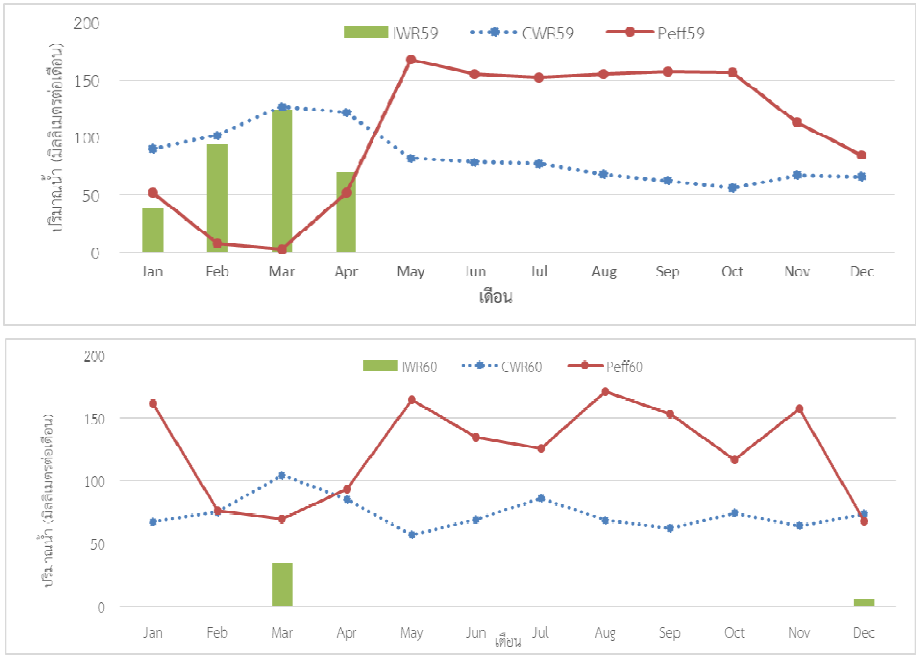
หน่วย	เกรย์วอเตอร์ฟุตพริ้นท์			เฉลี่ย	วอเตอร์ฟุตพริ้นท์			เฉลี่ย
งาน	2559	2560	2561	3 ปี	2559	2560	2561	3 ปี
F	$4.5x10^{-4}$	$4.3x10^{-4}$	2.0x10-3	**$9.7x10^{-4}$**	$17.3x10^{-1}$	$3.2x10^{-1}$	$3.8x10^{-1}$	**$8.1x10^{-1}$**
G	$5.0x10^{-4}$	$5.5x10^{-4}$	$6.3x10^{-4}$	**$5.6x10^{-4}$**	$4.9x10^{-1}$	$2.7x10^{-1}$	$2.5x10^{-1}$	**$3.4x10^{-1}$**
H	$6.0x10^{-4}$	$5.9x10^{-4}$	$8.0x10^{-5}$	**$4.2x10^{-4}$**	$2.4x10^{-1}$	$2.3x10^{-1}$	$2.1x10^{-1}$	**$2.2x10^{-1}$**
I	$4.0x10^{-4}$	$2.9x10^{-4}$	$1.9x10^{-4}$	**$2.9x10^{-4}$**	$3.7x10^{-1}$	$2.8x10^{-1}$	$2.5x10^{-1}$	**$3.3x10^{-1}$**
J	$2.0x10^{-6}$	$9.0x10^{-5}$	$8.0x10^{-5}$	**$6.0x10^{-5}$**	$3.7x10^{-1}$	$3.6x10^{-1}$	$4.8x10^{-1}$	**$4.0x10^{-1}$**
K	$1.4x10^{-4}$	$3.1x10^{-4}$	$6.9x10^{-4}$	**$3.8x10^{-4}$**	$1.6x10^{-1}$	$1.9x10^{-1}$	$1.3x10^{-1}$	**$1.6x10^{-1}$**
L	$2.2x10^{-4}$	$6.3x10^{-4}$	$3.0x10^{-5}$	**$2.9x10^{-4}$**	$2.7x10^{-1}$	$2.5x10^{-1}$	$3.3x10^{-1}$	**$2.8x10^{-1}$**
เฉลี่ย	**$3.3x10^{-4}$**	**$4.1x10^{-4}$**	**$5.3x10^{-4}$**	**$4.2x10^{-4}$**	**$5.2x10^{-1}$**	**$2.7x10^{-1}$**	**$2.9x10^{-1}$**	**$3.6x10^{-1}$**

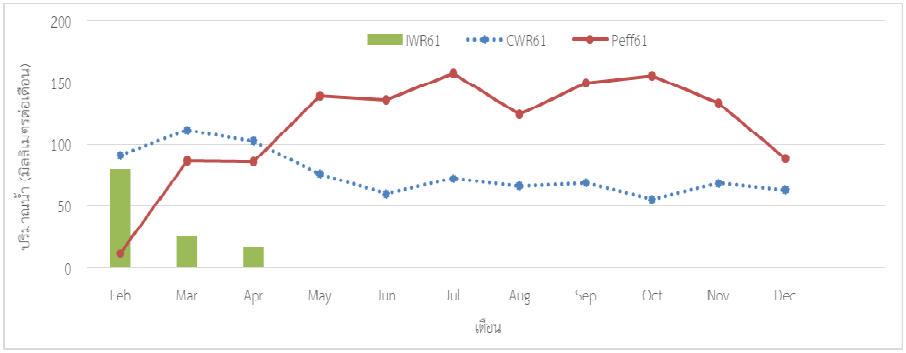
ตารางที่ 1.1-6 การเจริญเติบโตเฉลี่ยต่อต้นของต้นกล้าปาล์มน้ำมันอายุ 6 เดือน 7 หน่วยงาน ในรอบการผลิตปี 2559-2561

หน่วยงาน	ใบหอก	ใบสองแฉก	ใบขนนก	ใบแห้ง	ขนาดลำต้น (ซม.)	พื้นที่ใบ (ตร.ซม.)	ความสูงต้น (ซม.)
F	4.18	1.14	0.00	0.52	1.52	248.54	65.16
G	2.20	5.33	0.70	1.03	3.34	221.54	52.99
H	1.72	5.63	0.00	1.81	2.05	189.12	38.49
I	1.35	7.06	0.87	1.65	4.70	290.91	67.25
J	3.14	8.80	0.20	1.12	5.11	354.30	67.93
K	2.25	6.67	1.60	1.25	3.80	194.67	78.67
L	1.14	6.32	1.45	0.68	3.92	114.04	60.10

จากการคำนวณปริมาณฝนใช้การ (Precipitation Effective) ความต้องการน้ำ (Crop water requirement) และความต้องการน้ำชลประทาน (Irrigated water requirement) ของต้นกล้าปาล์มน้ำมันในจังหวัดสุราษฎร์ธานีและจังหวัดกระบี่ พบว่า ในปี 2559 และ 2561 ปริมาณฝนจะมีค่าต่ำในช่วงประมาณเดือนมกราคมถึงเมษายน ส่งผลให้ปริมาณฝนใช้การมีค่าต่ำ ในขณะที่ความต้องการน้ำของต้นกล้าปาล์มน้ำมันจะเริ่มเพิ่มสูงขึ้น จึงจำเป็นต้องมีการให้น้ำชลประทานเพิ่มในช่วงเดือนมกราคมถึงเมษายน และการให้น้ำชลประทานจะไม่จำเป็นหากปริมาณฝนใช้การมีค่าสูงกว่าความต้องการน้ำของต้นกล้าปาล์มน้ำมัน ซึ่งสามารถใช้น้ำจากธรรมชาติได้ ส่วนในปี 2560 พบว่า ปริมาณฝนค่อนข้างมากเกือบตลอดทั้งปี ส่งผลให้ปริมาณฝนใช้การมีค่าสูง จึงไม่จำเป็นต้องมีการให้น้ำชลประทานเพิ่มเช่นเดียวกับจังหวัดกระบี่ (ภาพที่ 3 a-c และ 4 a-c)

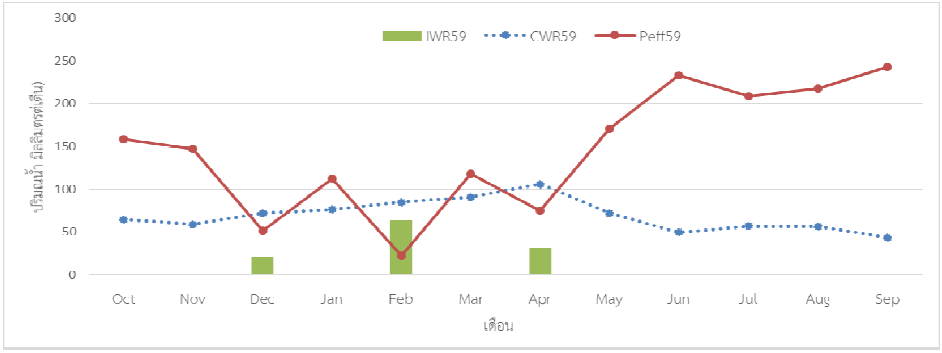
ภาพที่ 1.1-3 ปริมาณฝนใช้การ ความต้องการน้ำ และความต้องการน้ำชลประทานของต้นกล้าปาล์มน้ำมันในจังหวัดสุราษฎร์ธานีปี 2559-2561

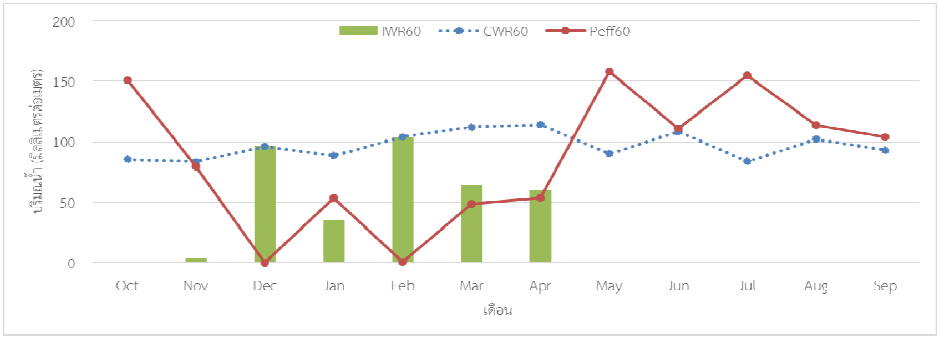


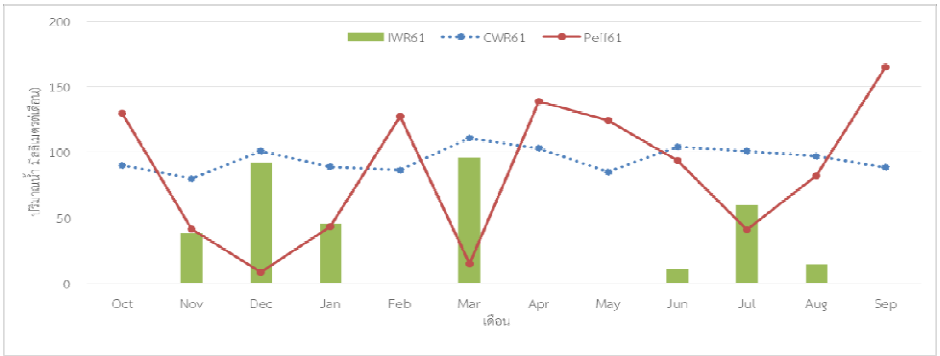


ภาพที่ 1.1-4 ปริมาณฝนใช้การ ความต้องการน้ำ และความต้องการน้ำชลประทานของต้นกล้าปาล์มน้ำมันในจังหวัดกระบี่ ปี 2559-2561

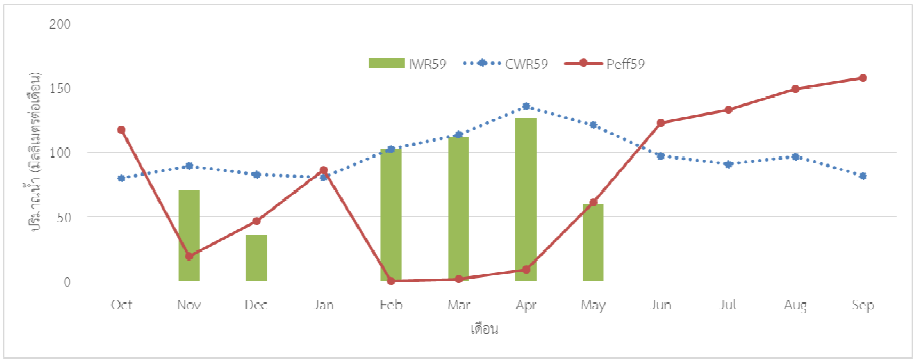
สำหรับปริมาณฝนใช้การ ความต้องการน้ำ และความต้องการน้ำชลประทานของต้นกล้าปาล์มน้ำมันในจังหวัดชลบุรี พบว่า ในปี 2559-2561 ปริมาณฝนจะมีค่าต่ำในช่วงประมาณเดือนธันวาคมถึงเมษายน ส่งผลให้ปริมาณฝนใช้การมีค่าต่ำ ในขณะที่ความต้องการน้ำของต้นกล้าปาล์มน้ำมันจะเริ่มเพิ่มสูงขึ้น จึงจำเป็นต้องมีการให้น้ำชลประทานเพิ่มในช่วงเดือนธันวาคมถึงเมษายน และการให้น้ำชลประทานจะไม่จำเป็นหากปริมาณฝนใช้การมีค่าสูงกว่าความต้องการน้ำของต้นกล้าปาล์มน้ำมัน ซึ่งสามารถใช้น้ำจากธรรมชาติได้ และจังหวัดตราด พบว่า ในปี 2559 ปริมาณฝนจะมีค่าต่ำในช่วงประมาณเดือนพฤศจิกายนถึงพฤษภาคม ส่งผลให้ปริมาณฝนใช้การมีค่าต่ำ จึงจำเป็นต้องมีการให้น้ำชลประทานเพิ่มในช่วงเดือนดังกล่าว (ภาพที่ 5 a-c และ 6 a-c)

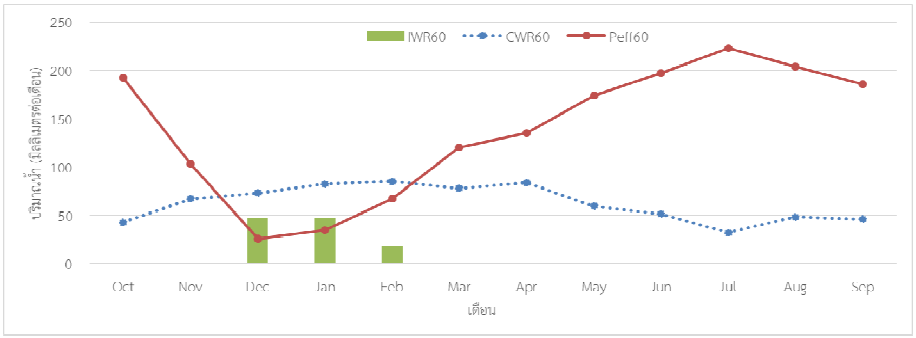


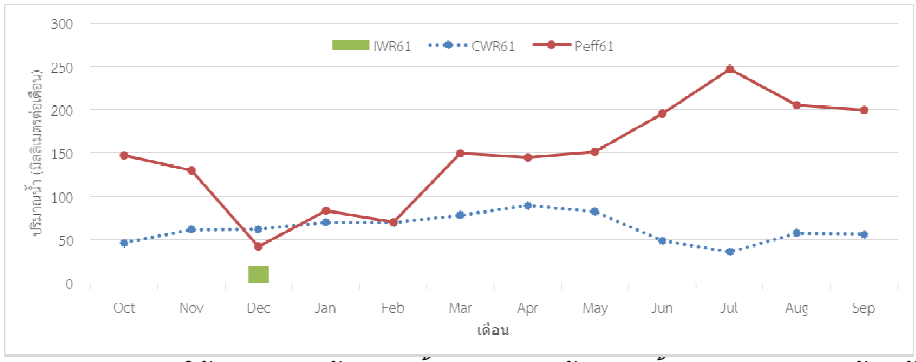




ภาพที่ 1.1-5 ปริมาณฝนใช้การ ความต้องการน้ำ และความต้องการน้ำชลประทาน ของต้นกล้าปาล์มน้ำมันในจังหวัดชลบุรี ปี 2559-2561







ภาพที่ 1.1-6 ปริมาณฝนใช้การ ความต้องการน้ำ และความต้องการน้ำชลประทานของต้นกล้าปาล์มน้ำมันในจังหวัดตราดปี 2559-2561

การวิเคราะห์วอเตอร์ฟุตพริ้นท์ของการผลิตปาล์มน้ำมันภาคใต้

1) พิกัดแปลงของสวนปาล์มน้ำมันที่ศึกษา ลักษณะสัณฐานวิทยาของชุดดิน และผลวิเคราะห์ดิน-ใบปาล์มน้ำมัน

1.1) พิกัดแปลงสวนปาล์มน้ำมันที่ศึกษา

ผลการคัดเลือกสวนปาล์มน้ำมันที่ศึกษา ใช้ข้อมูลเนื้อที่ให้ผลผลิตปาล์มน้ำมันของสำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร (2558) โดยคัดเลือกจำนวน 8 จังหวัด (อำเภอ) ดังนี้ สุราษฎร์ธานี (พระแสง) กระบี่ (คลองท่อม) ชุมพร (ท่าแซะ) นครศรีธรรมราช (สิชล) พังงา (คุระบุรี) ตรัง (สิเกา) สตูล (มะนัง) และระนอง (กระบุรี) (ตารางที่ 1.2-1) โดยหลักเกณฑ์การคัดเลือกอำเภอ เป็นอำเภอที่มีพื้นที่ปลูกปาล์มน้ำมันมากที่สุดในจังหวัดนั้น และส่งพิกัดสวนปาล์ม (ภาพที่ 3-6) ไปจำแนกความเหมาะสมของพื้นที่ปลูกปาล์มตามเกณฑ์จำแนกของกรมพัฒนาที่ดิน (ตารางที่ 1.2-2)

ตารางที่ 1.2-1 เนื้อที่ให้ผลผลิตปาล์มน้ำมัน (ไร่) ปี 2558 และแปลงเกษตรกรที่เก็บข้อมูล (ราย) ในเขตภาคใต้

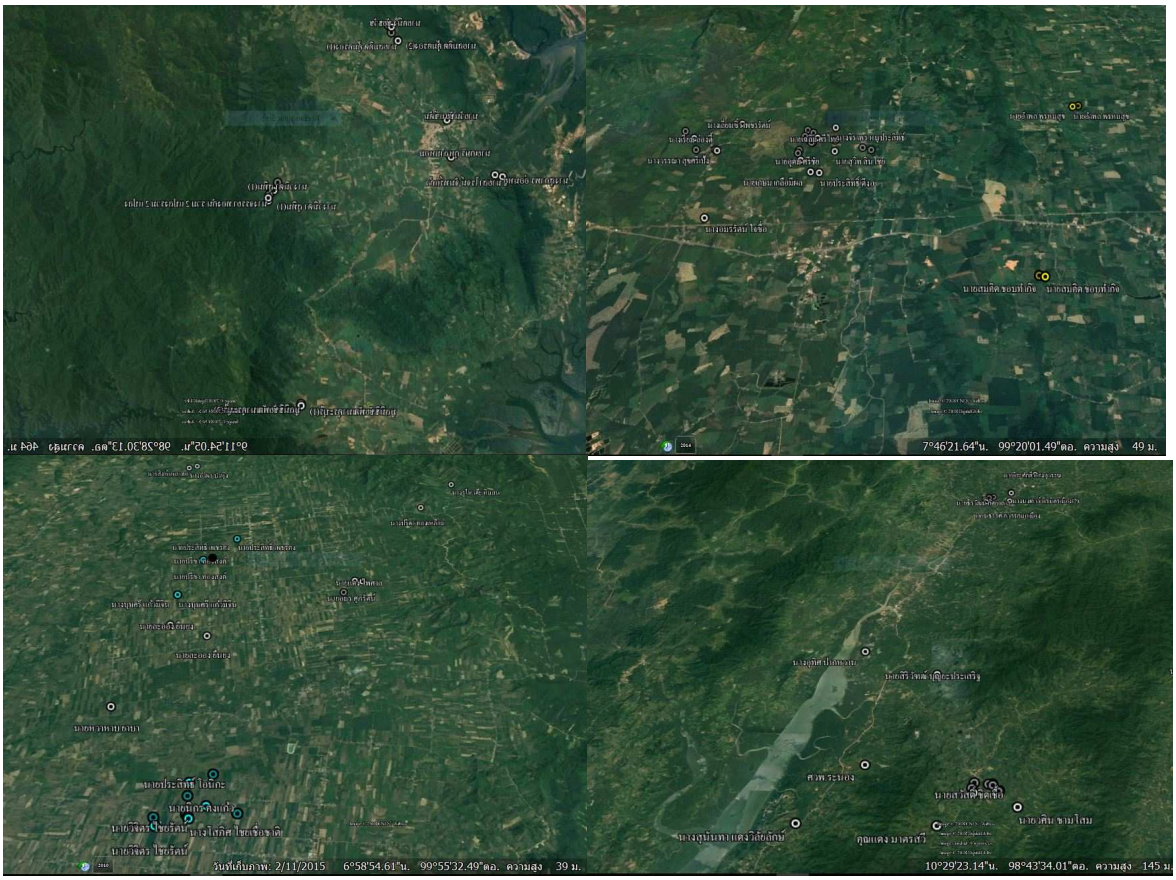
จังหวัด	*เนื้อที่ให้ผลผลิต (ไร่)*		*แปลงเกษตรกร (ราย)*
	2558	**2561**	
สุราษฎร์ธานี	1,061,355	1,179,458	20
กระบี่	984,694	1,086,190	28
ชุมพร	843,668	971,251	23
นครศรีธรรมราช	347,290	530,058	25
พังงา	178,819	234,566	32
ตรัง	168,318	191,989	24
สตูล	106,251	108,266	29
ระนอง	87,775	119,055	26
รวมแปลงเกษตรกร (ราย)			209

ตารางที่ 1.2-2 จำนวนสวนปาล์มน้ำมันในแต่ละช่วงอายุปาล์มน้ำมัน และจำแนกตามความเหมาะสมของพื้นที่ปลูกปาล์มน้ำมันของกรมพัฒนาที่ดิน จำนวน 209 แปลง

จังหวัด เขตภาคใต้	**ความเหมาะสมของพื้นที่ปลูกปาล์มน้ำมัน**	**ช่วงอายุปาล์มน้ำมัน (ปี)**				**รวม**
		0-4 ปี	**5-8 ปี**	**9-12 ปี**	**>12 ปี**	
สุราษฎร์ธานี	**เหมาะสมมาก**	3	3	1	2	**9**
	เหมาะสมน้อย-ปานกลาง	2	4	1	4	**11**
กระบี่	**เหมาะสมมาก**	-	-	-	-	**-**
	เหมาะสมน้อย-ปานกลาง	6	7	8	7	**28**
ชุมพร	**เหมาะสมมาก**	1	2	3	3	**9**
	เหมาะสมน้อย-ปานกลาง	4	2	4	4	**14**
นครศรีธรรมราช	**เหมาะสมมาก**	4	6	7	5	**22**
	เหมาะสมน้อย-ปานกลาง	1	1	-	1	**3**
พังงา	**เหมาะสมมาก**	4	6	2	5	**17**
	เหมาะสมน้อย-ปานกลาง	4	3	5	3	**15**
ตรัง	**เหมาะสมมาก**	7	7	3	7	**24**
	เหมาะสมน้อย-ปานกลาง	-	-	-	-	**-**

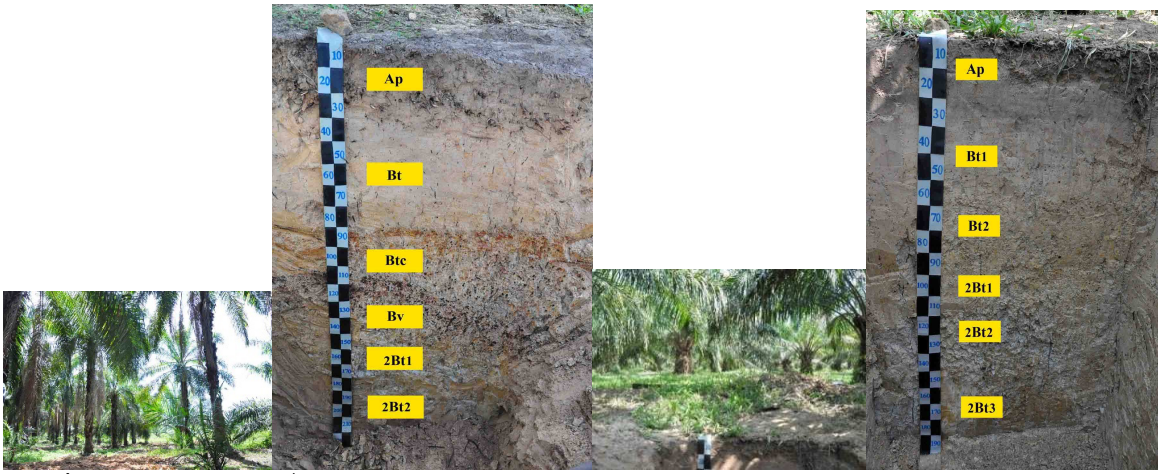
จังหวัด เขตภาคใต้	ความเหมาะสมของพื้นที่ปลูกปาล์มน้ำมัน	ช่วงอายุปาล์มน้ำมัน (ปี)				รวม
		0-4 ปี	5-8 ปี	9-12 ปี	>12 ปี	
สตูล	เหมาะสมมาก	5	4	1	1	11
	เหมาะสมน้อย-ปานกลาง	8	3	4	5	18
ระนอง	เหมาะสมมาก	6	3	7	4	20
	เหมาะสมน้อย-ปานกลาง	2	1	2	1	6
รวม 8 จังหวัดภาคใต้	เหมาะสมมาก	30	31	24	27	112
	เหมาะสมน้อย-ปานกลาง	27	21	24	25	97

ภาพที่ 1.2-1 พิกัดสวนปาล์มน้ำมันของเกษตรกรงานวิจัยรอยเท้าน้ำอำเภอพระแสง จังหวัดสุราษฎร์ธานี อำเภอคลองท่อม จังหวัดกระบี่ อำเภอท่าแซะ จังหวัดชุมพร และอำเภอสิชล จังหวัดนครศรีธรรมราช

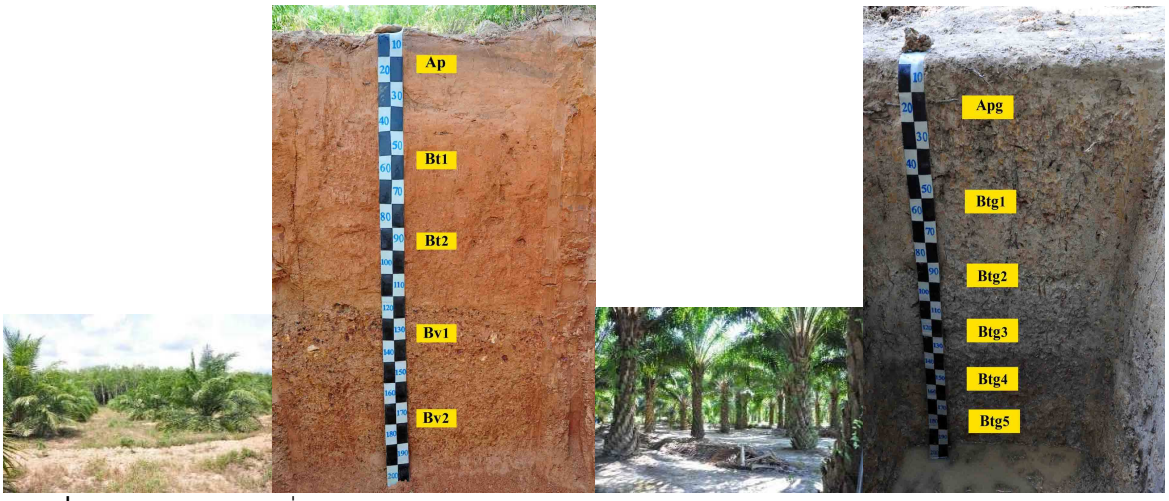


ภาพที่ 1.2-2 พิกัดสวนปาล์มน้ำมันของเกษตรกรงานวิจัยรอยเท้าน้ำ อำเภอคุระบุรี จังหวัดพังงา อำเภอสิเกา จังหวัดตรัง อำเภอมะนัง จังหวัดสตูล และอำเภอกระบุรี จังหวัดระนอง

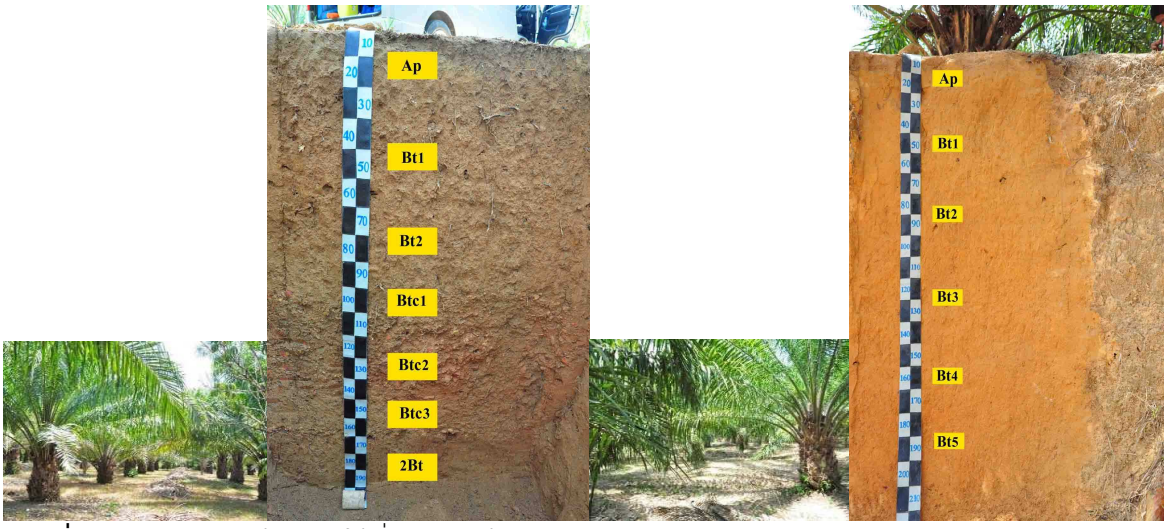
1.2) ลักษณะสัณฐานวิทยาของชุดดิน



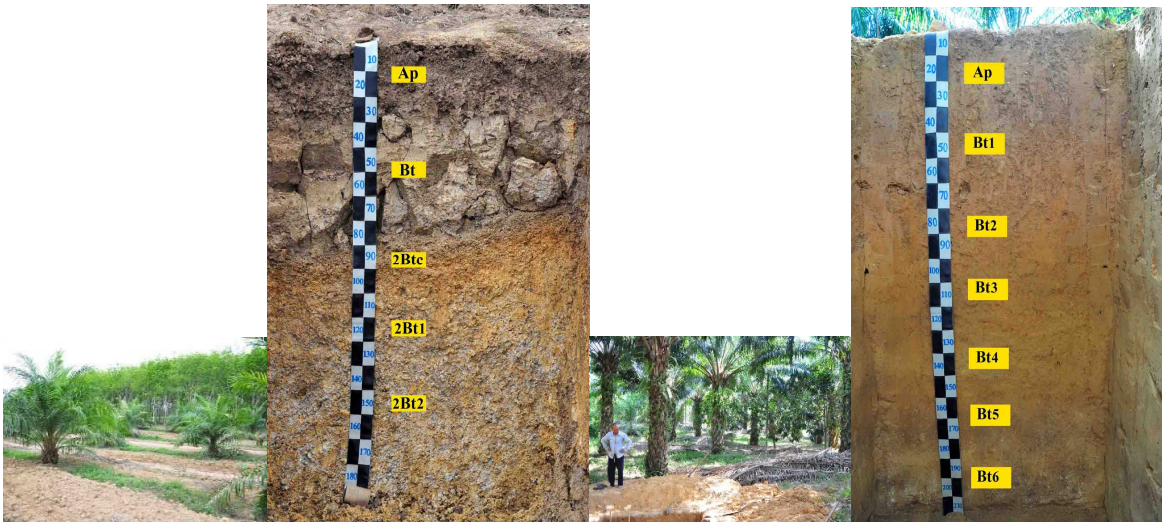
ภาพที่ 1.2-3 สภาพการใช้ที่ดินและหน้าตัดดินของดินพีดอน 1/2559 ม. 5 ต.ไทรขึง อ.พระแสง จ.สุราษฎร์ธานี (ด้านซ้าย) และ 2/2559 ม. 5 ต.เพหลา อ.คลองท่อม จ.กระบี่ (ด้านขวา)



ภาพที่ 1.2-4 สภาพการใช้ที่ดินและหน้าตัดดินของดินพีดอน 3/2559 ม.8 ต.สลุย อ.ท่าแซะ จ.ชุมพร (ด้านซ้าย) และ 4/2559 ม.4 ต.เสาเภา อ.สิชล จ.นครศรีธรรมราช (ด้านขวา)



ภาพที่ 1.2-5 สภาพแวดล้อมการใช้ที่ดินและหน้าตัดดินของดินพีดอน 5/2559 ม.7 ต.คุระ อ.คุระบุรี จ.พังงา (ด้านซ้าย) และ 6/2559 ม. 7 ต.กะลาเส อ.สิเกา จ.ตรัง (ด้านขวา)



ภาพที่ 1.2-6 สภาพการใช้ที่ดินและหน้าตัดดินของดินพีดอน 7/2559 ม.4 ต.นิคมพัฒนา อ.มะนัง จ.สตูล (ด้านซ้าย) และ 8/2559 ม.8 ต.ลำเลียง อ.กระบุรี จ.ระนอง (ด้านขวา)

ลักษณะสภาพการใช้ที่ดินในสวนปาล์มน้ำมันของตัวแทนทั้ง 8 จังหวัด มีทั้งพื้นที่ราบ เนินลาดชันเล็กน้อย รวมถึงสภาพที่ลุ่ม และหน้าตัดของดินมีความแตกต่างกันในแต่ละชั้นของหน้าตัดดินทั้ง 8 pedon (ภาพที่ 1.2-3 1.2-4 1.2-5 และ 1.2-6)

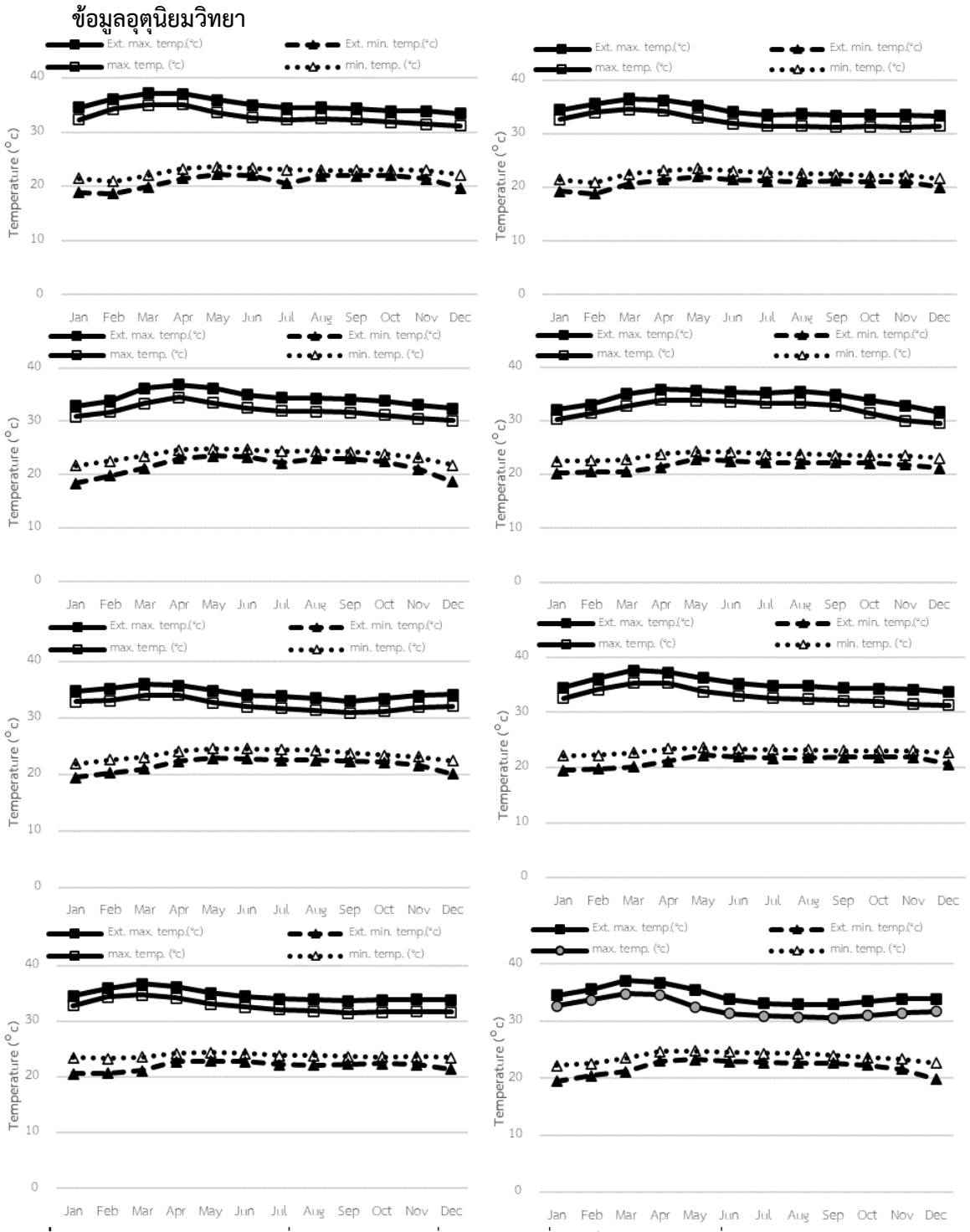
สมบัติทางกายภาพระดับความลึกที่ใกล้ผิวดินชั้นบน (0-20 หรือ 0-30 เซนติเมตร) ของสุราษฎร์ธานี กระบี่ ชุมพร นครศรีธรรมราช พังงา ตรัง สตูล และระนอง ประกอบด้วยดิน Loamy fine sand, Loam, Sandy loam, Sandy clay Loam, Silt loam, Loamy sand, Sandy clay loam และ Loam ตามลำดับ ซึ่งด้วยลักษณะดังกล่าวค่อนข้างเหมาะสมกับการปลูกปาล์มน้ำมัน สำหรับความลึกของระดับน้ำใต้ดินชุดดิน 8 ชุด ซึ่งมีการศึกษาชุดดินในช่วงแล้ง มีความลึก 180-220 เซนติเมตร โดยสุราษฎร์ธานีและตรังมีความลึกของระดับน้ำใต้ดินกว่า 220 เซนติเมตร ส่งผลต่อความสามารถในการดูดน้ำของระบบรากปาล์มน้ำมัน

ตารางที่ 1.2-3 สมบัติทางกายภาพของชุดดินที่ศึกษา

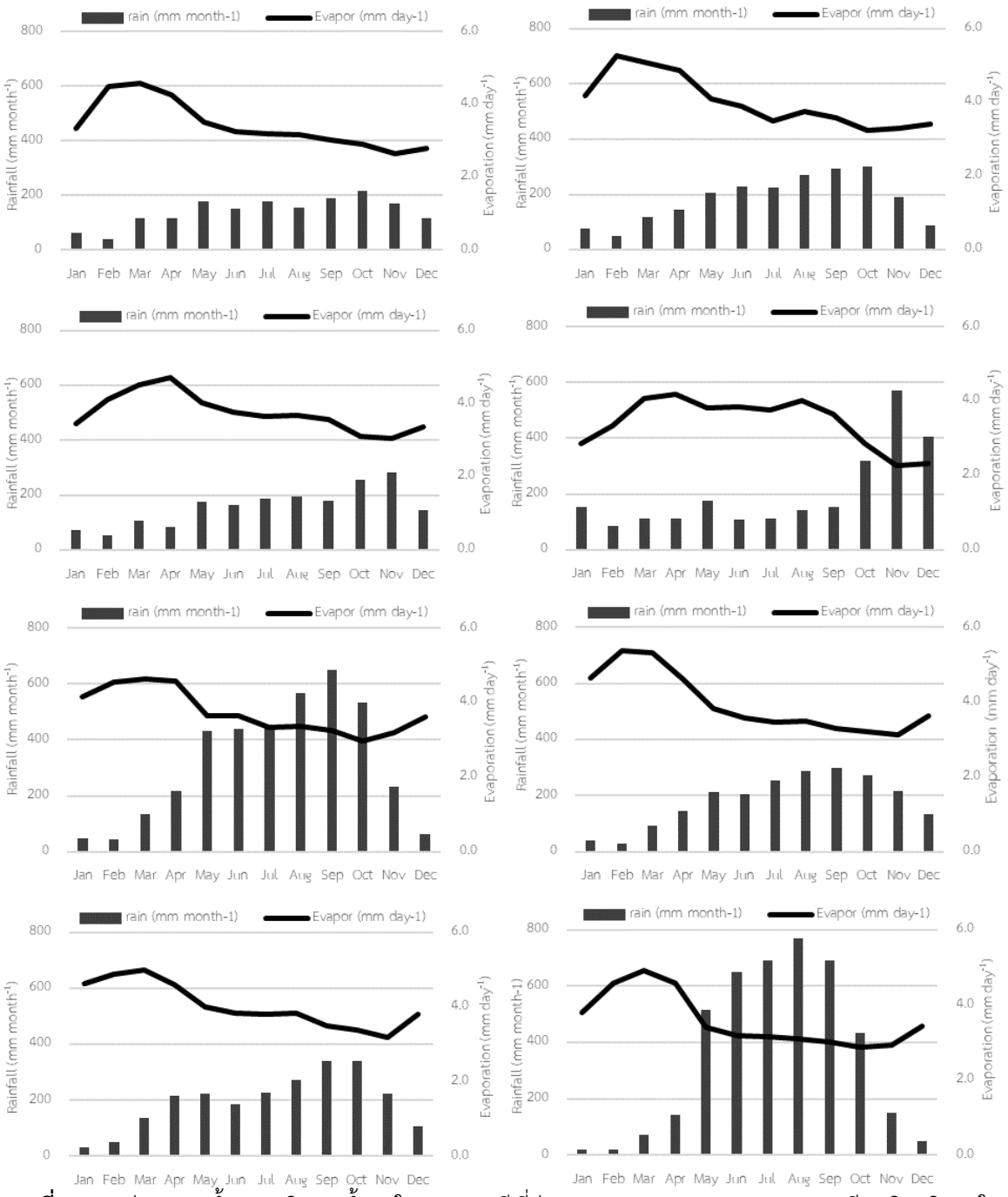
Depth (cm)	Horizon	Particle size distribution (g kg^{-1}) (USDA grading)			Textural class
		Sand	Silt	Clay	
Pedon 1/2559 นายสุรินทร์ เข็มเพชร ม. 5 ต.ไทรขึง อ.พระแสง จ.สุราษฎร์ธานี					
0-30	Ap	767	170	63	Loamy fine sand
30-80	Bt	715	35	250	Sandy clay loam
80-110/125	Btc	520	323	157	Loam
110/125-130/150	Bv	519	198	282	Sandy clay loam
150-170	2Bt1	400	131	469	Clay
170-220+	2Bt2	375	186	439	Clay
Pedon 2/2559 นายบุญธรรม ชัยขาว บ้านพรุเตียว หมู่ 5 ต. เพหลา อ.คลองท่อม จ.กระบี่					
0-25	Ap	404	471	125	Loam
25-60	Bt1	392	514	94	Silt loam
60-85	Bt2	391	420	189	Loam
85-110	2Bt1	299	450	251	Loam
110-135	2Bt2	192	525	283	Silty clay loam
135-190+	2Bt3	138	580	282	Silty clay loam
Pedon 3/2559 นายคำรณ นาคหาญ ม.8 ต. สลุย อ.ท่าแซะ จ.ชุมพร					
0-35	Ap	689	186	126	Sandy loam
35-75	Bt1	488	199	314	Sandy clay loam
75-110	Bt2	400	256	344	Clay loam
110-140	Bv1	492	163	345	Sandy clay loam
140-200+	Bv2	367	161	472	Clay
Pedon 4/2559 นายจำแลง เที่ยงตรง หมู่ 4 ต.เสาเภา อ.สิชล จ.นครศรีธรรมราช					
0-35	Apg	461	224	315	Sandy clay Loam

Depth (cm)	Horizon	Particle size distribution (g kg^{-1}) (USDA grading)			Textural class
		Sand	Silt	Clay	
35-75	Btg1	502	152	346	Sandy Clay
75-100	Btg2	507	147	345	Sandy Clay
100-130	Btg3	424	136	440	Clay
130-160	Btg4	333	133	534	Clay
160-200+	Btg5	211	163	627	Clay
Pedon 5/2559 นายสมคิด คุ้มพร้อม ม.7 ต.คุระ อ.คุระบุรี จ.พังงา					
0-30	Ap	96	654	250	Silt loam
30-60	Bt1	462	288	251	Loam
60-90	Bt2	279	312	410	Clay
90-110	Btc1	251	373	376	Clay loam
110-140	Btc2	270	229	501	Clay
140-160	Btc3	303	257	439	Clay
160-200+	2Bt	210	319	471	Clay
Pedon 6/2559 นายเฉลิม ศรีไทย 106 ม.7 ต.กะลาเส อ.สิเกา จ.ตรัง					
0-20	Ap	671	15	313	Loamy sand
20-60	Bt1	608	79	313	Sandy clay Loam
60-105	Bt2	621	129	250	Sandy clay Loam
105-140	Bt3	586	132	282	Sandy clay Loam
140-178	Bt4	598	88	314	Sandy clay Loam
178-200+	Bt5	614	72	314	Sandy clay Loam
Pedon 7/2559 นายละออง ยืนยง ม.4 ต.นิคมพัฒนา อ.มะนัง จ.สตูล					
0-25	Ap	197	427	376	Sandy clay loam
25-75	Bt	148	379	473	Clay
75-100	2Btc	85	410	505	Silty clay
100-140	2Bt1	43	456	501	Silty clay
140-180	2Bt2	44	451	505	Silty clay
Pedon 8/2559 นายบุญเลิศ สิทธิเวช 279/9 ม.8 ต.ลำเลียง อ. กระบุรี จ.ระนอง					
0-30	Ap	359	390	251	Loam
30-65	Bt1	330	355	315	Clay loam
65-90	Bt2	556	193	251	Sandy loam
90-125	Bt3	798	76	125	Sandy loam
125-145	Bt4	847	59	94	Loamy fine sand
145-175	Bt5	812	0	188	Sandy loam
175-210+	Bt6	764	57	179	Sandy Loam

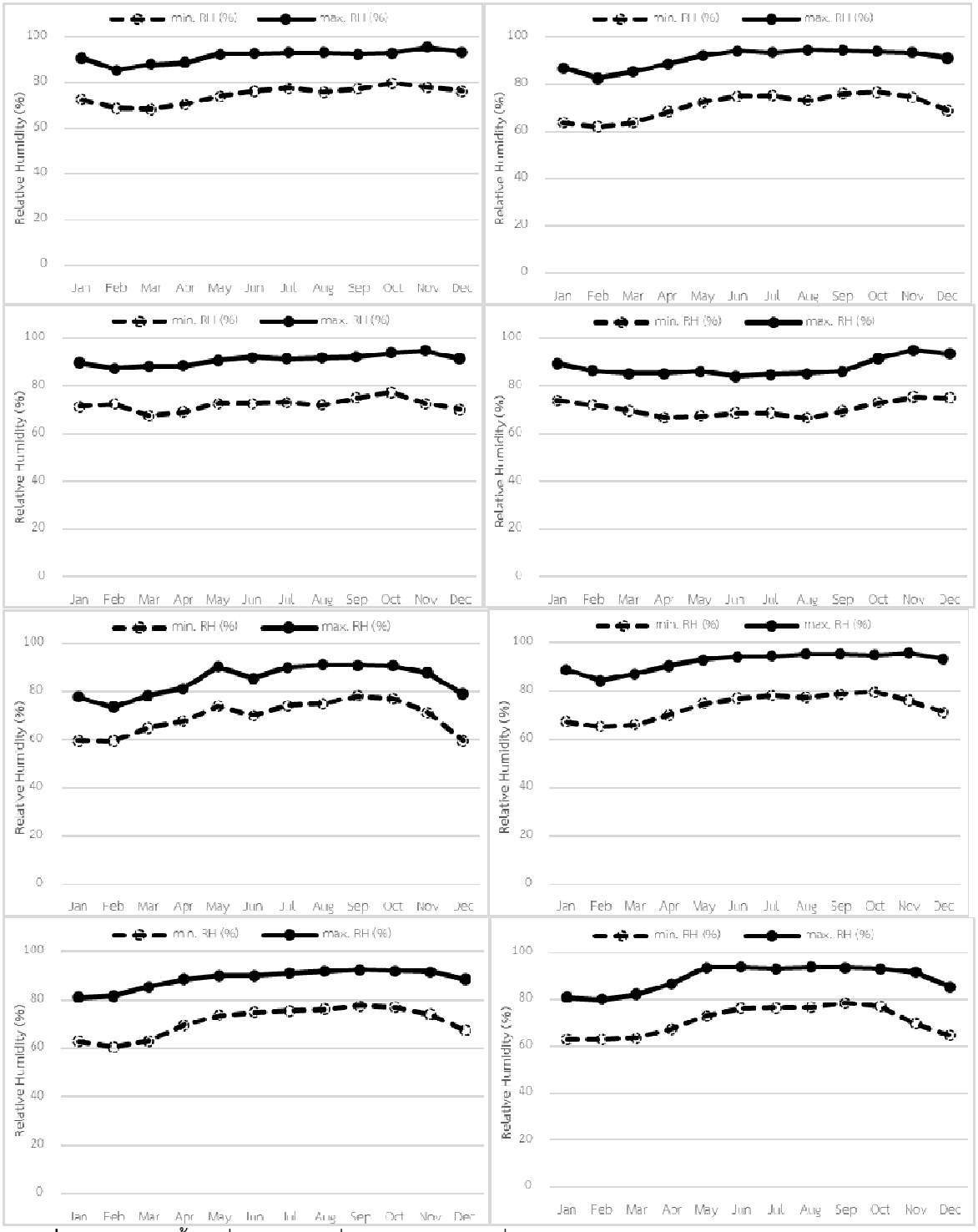
ข้อมูลอุตุนิยมวิทยา ปริมาณฝนใช้การ ความต้องการน้ำและความต้องการน้ำชลประทานของปาล์มน้ำมัน



ภาพที่ 1.2-7 อุณหภูมิสูงสุดและต่ำสุด อุณหภูมิเฉลี่ยสูงสุดและต่ำสุด ในรอบ 30 ปีที่ผ่านมา (พ.ศ.2529-2558) ของสถานีอุตุนิยมวิทยาในจังหวัดสุราษฎร์ธานี (SNI) กระบี่ (KBI) ชุมพร (CPN) นครศรีธรรมราช (NRT) พังงา (PNA) ตรัง (TRG) สตูล (STN) และระนอง (RNG)



ภาพที่ 1.2-8 ค่าระเหยน้ำและปริมาณน้ำฝนในรอบ 30 ปีที่ผ่านมา (พ.ศ.2529-2558) ของสถานีอุตุนิยมวิทยาในจังหวัดสุราษฎร์ธานี (SNI) กระบี่ (KBI) ชุมพร (CPN) นครศรีธรรมราช (NRT) พังงา (PNA) ตรัง (TRG) สตูล (STN) และระนอง (RNG)

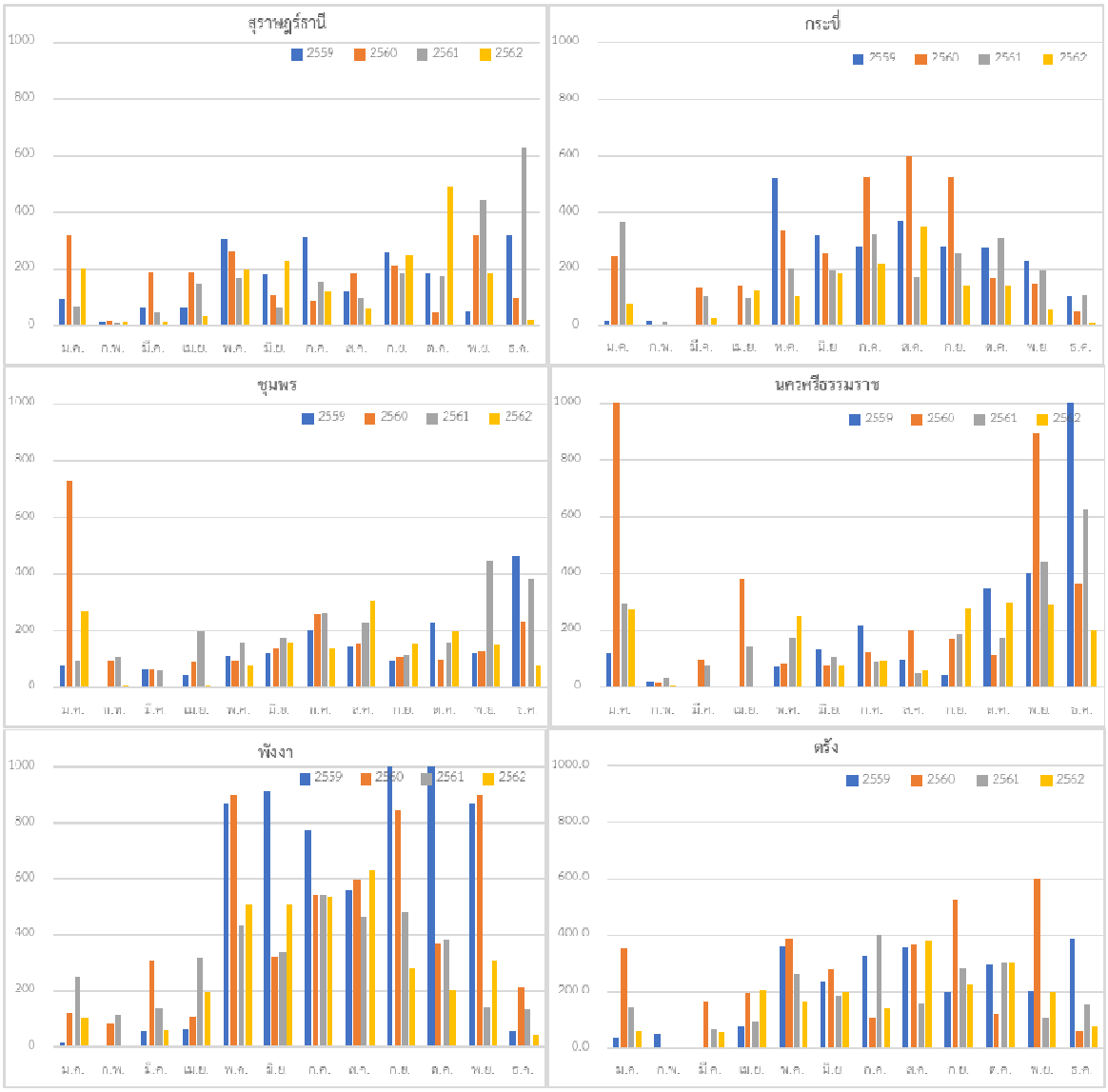


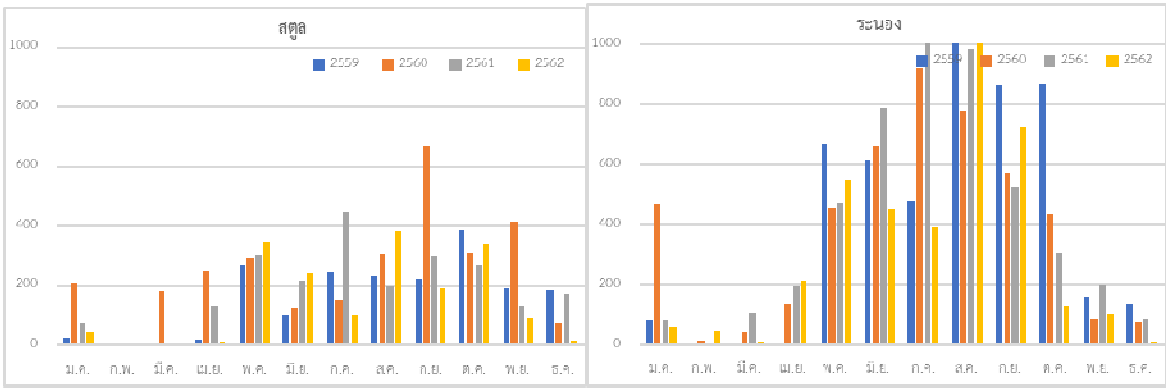
ภาพที่ 1.2-9 ความชื้นเฉลี่ยสูงสุดและต่ำสุดในรอบ 30 ปีที่ผ่านมา (พ.ศ.2529-2558) ของสถานีอุตุนิยมวิทยาในจังหวัดสุราษฎร์ธานี (SNI) กระบี่ (KBI) ชุมพร (CPN) นครศรีธรรมราช (NRT) พังงา (PNA) ตรัง (TRG) สตูล (STN) และระนอง (RNG)

ข้อมูลอุตุนิยมวิทยา ตลอดระยะเวลาดำเนินการวิจัย 4 ปี (พ.ศ. 2559-2562) โดยภาพรวมพบว่า ปริมาณน้ำฝนต่อเดือนมีค่าน้อยมากในช่วงเดือนมกราคม-เมษายน และพฤศจิกายน-ธันวาคม (บางจังหวัดปริมาณน้ำฝนสูงในช่วงเดือนพฤศจิกายน) และพบว่า ปริมาณฝนของจังหวัดชุมพรและนครศรีธรรมราช มีปริมาณค่อนข้างน้อยกว่า

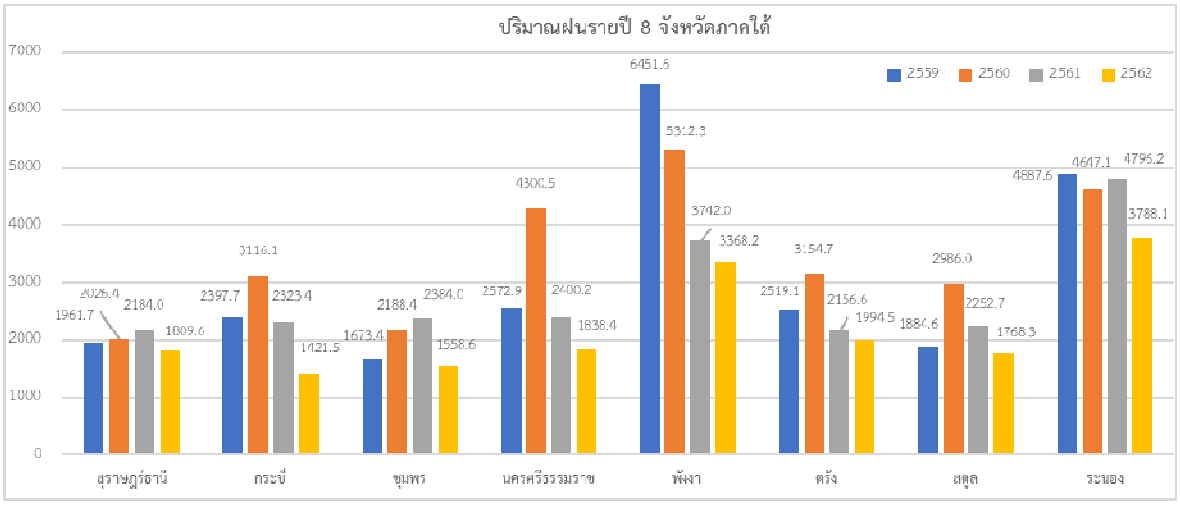
จังหวัดอื่นๆ ตลอด 4 ปี สำหรับปริมาณฝนในช่วง 4 ปี ของจังหวัดสุราษฎร์ธานี กระบี่ ตรังและสตูลมีค่าสูงกว่า 2 จังหวัดที่กล่าวข้างต้น และจังหวัดพังงาและระนองเป็นจังหวัดที่มีปริมาณฝนสูงมากในช่วงเดือนพฤษภาคม-ตุลาคม (ภาพที่ 10) ปริมาณน้ำฝนรายปีตลอด 4 ปี (2559-2562) ของจังหวัดสุราษฎร์ธานี มีค่า 1,962 2,026 2,184 และ 1,810 มิลลิเมตรต่อปี ตามลำดับ จังหวัดกระบี่ มีค่า 2,398 3,116 2,323 และ 1,421 มิลลิเมตรต่อปี ตามลำดับ จังหวัดชุมพร มีค่า 1,673 2,188 2,384 และ 1,559 มิลลิเมตรต่อปี ตามลำดับ จังหวัดนครศรีธรรมราช มีค่า 2,573 4,300 2,400 และ 1,838 มิลลิเมตรต่อปี ตามลำดับ จังหวัดพังงา มีค่า 6,452 5,312 3,742 และ 3,368 มิลลิเมตรต่อปี ตามลำดับ จังหวัดตรัง มีค่า 2,519 3,155 2,157 และ 1,994 มิลลิเมตรต่อปี ตามลำดับ จังหวัดสตูล มีค่า 1,885 2,986 2,253 และ 1,768 มิลลิเมตรต่อปี ตามลำดับ จังหวัดระนอง มีค่า 4,888 4,647 4,796 และ 3,788 มิลลิเมตรต่อปี ตามลำดับ (ภาพที่ 11)

ค่าระเหยน้ำ พบว่า จังหวัดนครศรีธรรมราช ค่าระเหยน้ำเฉลี่ยตลอดปี มีค่าต่ำที่สุด และจังหวัดที่ค่าระเหยน้ำเฉลี่ยรายเดือนตลอด 4 ปีค่อนข้างสูงคือ จังหวัดกระบี่และตรัง แสดงให้เห็นถึงอุณหภูมิโดยรอบทรงพุ่มที่มีค่าสูง ส่งผลให้ดินมีการระเหยน้ำเพิ่มมากขึ้น (ภาพที่ 12-13)

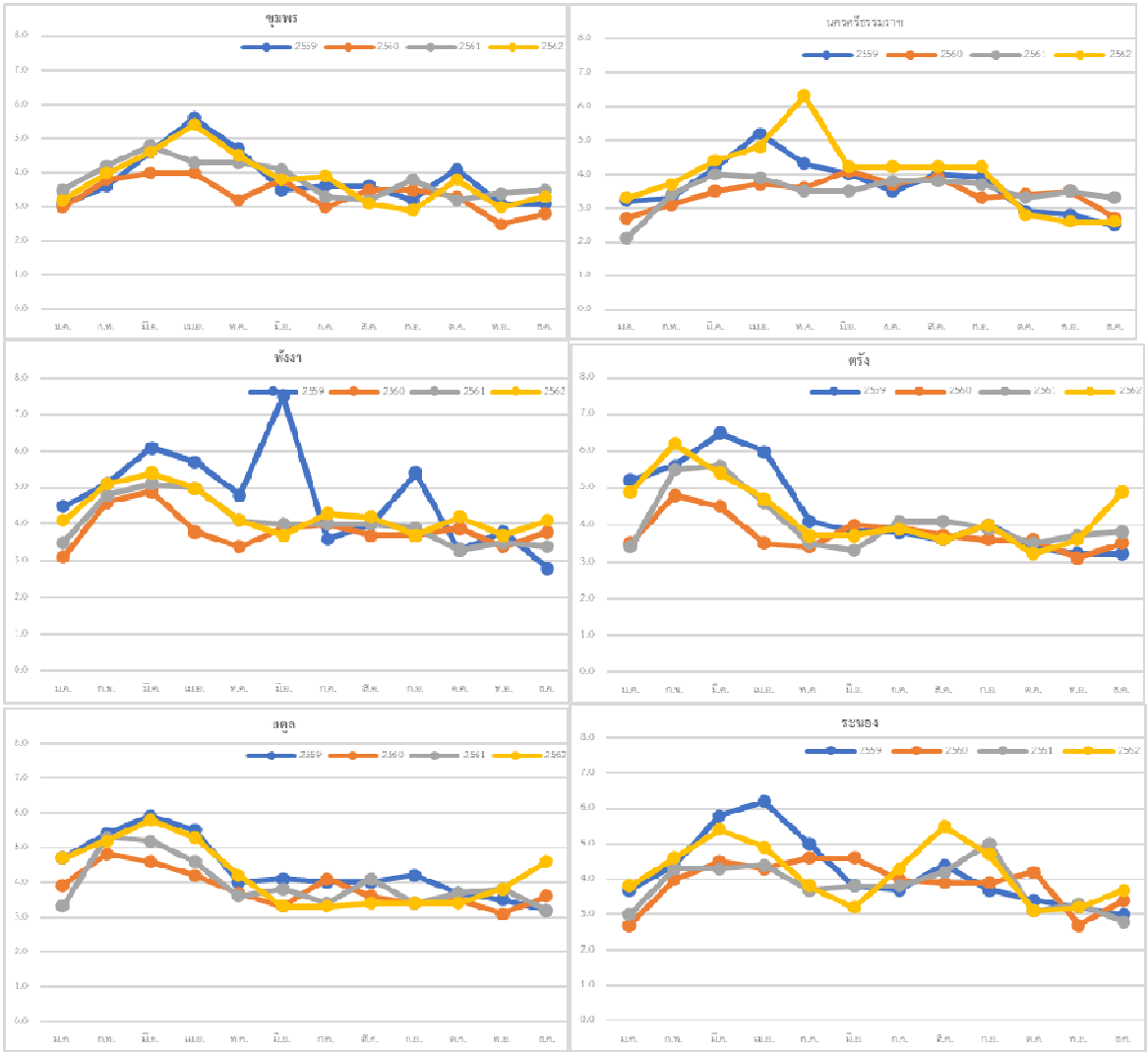




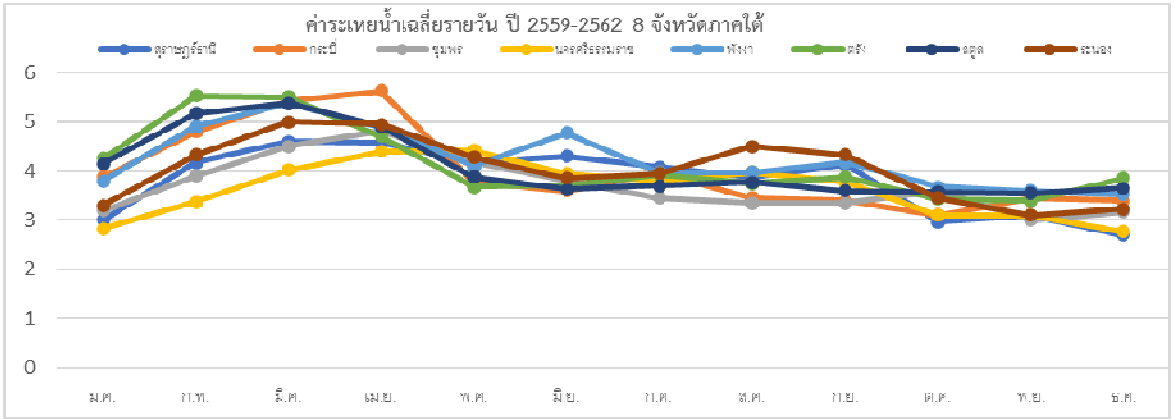
ภาพที่ 1.2-10 ปริมาณน้ำฝนรายเดือน (มิลลิเมตรต่อเดือน) จากสถานีอุตุนิยมวิทยาในจังหวัดสุราษฎร์ธานี กระบี่ ชุมพร นครศรีธรรมราช พังงา ตรัง สตูล และระนอง ระหว่างปีที่ดำเนินการ พ.ศ.2559-2562



ภาพที่ 1.2-11 ปริมาณน้ำฝนรายปี (มิลลิเมตรต่อปี) จากสถานีอุตุนิยมวิทยาในจังหวัดสุราษฎร์ธานี กระบี่ ชุมพร นครศรีธรรมราช พังงา ตรัง สตูล และระนอง ปีที่ดำเนินการ พ.ศ. 2559-2562



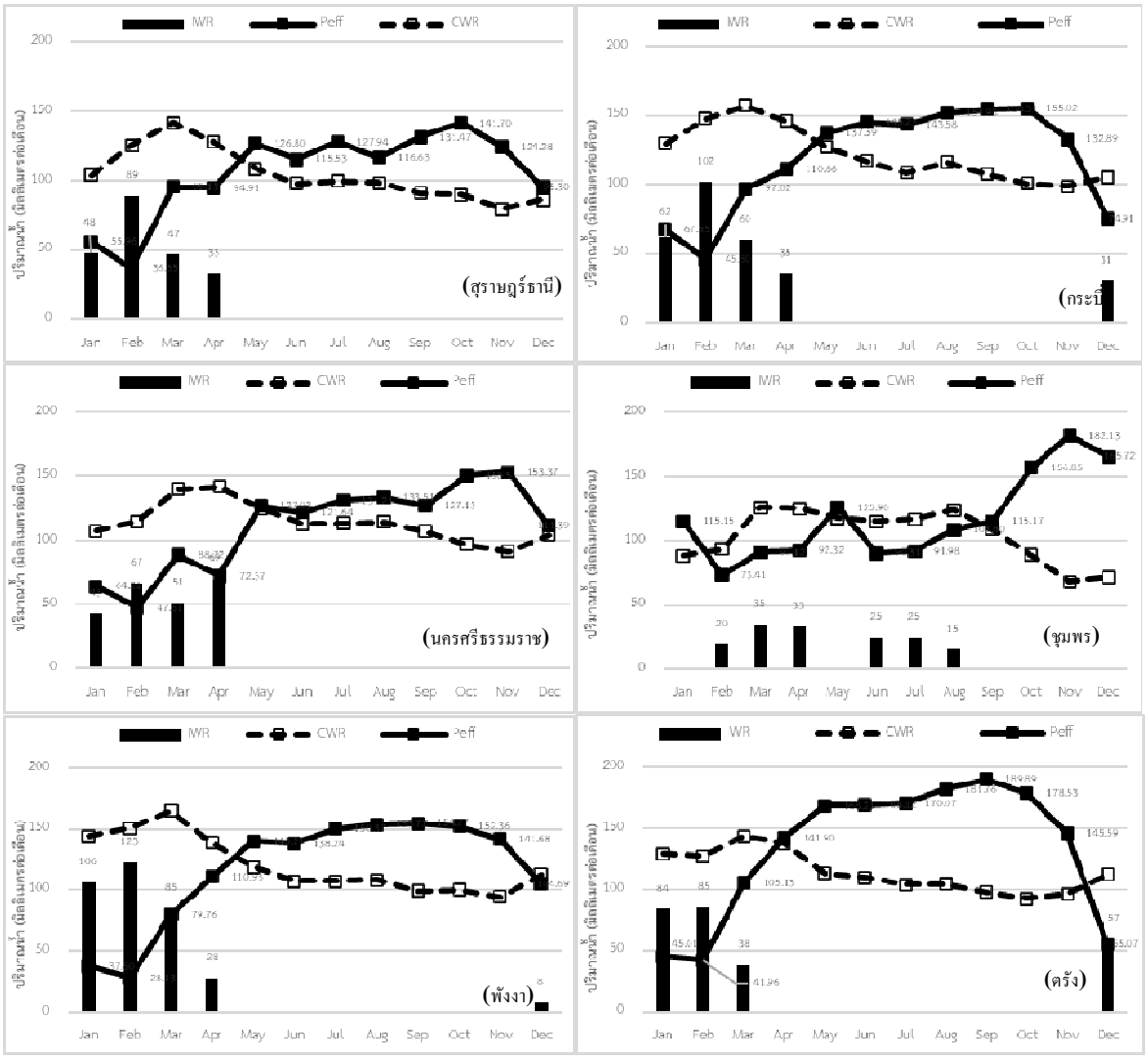
ภาพที่ 1.2-12 ค่าระเหยน้ำรายวันเฉลี่ยในแต่ละเดือน (มิลลิเมตรต่อวัน) จากสถานีอุตุนิยมวิทยาจังหวัดสุราษฎร์ธานี กระบี่ ชุมพร นครศรีธรรมราช พังงา ตรัง สตูล และระนอง ระหว่างปี พ.ศ. 2559-2562

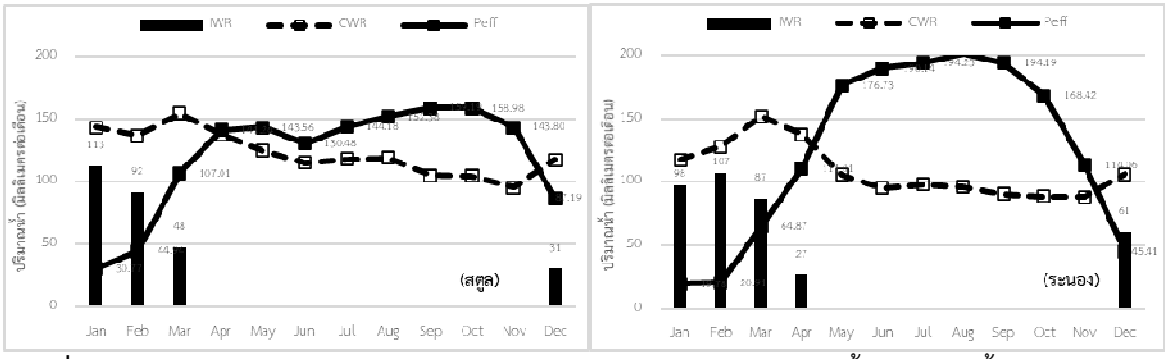


ภาพที่ 1.2-13 ค่าระเหยน้ำรายวันเฉลี่ยในแต่ละเดือน (มิลลิเมตรต่อวัน) ตลอด 4 ปี (พ.ศ. 2559-2562) จากสถานีอุตุนิยมวิทยาในจังหวัดสุราษฎร์ธานี กระบี่ ชุมพร นครศรีธรรมราช พังงา ตรัง สตูล และระนอง

ปริมาณฝนใช้การ ความต้องการน้ำและความต้องการน้ำชลประทานของปาล์มน้ำมัน

นำค่าเฉลี่ยปริมาณน้ำฝน ค่าระเหยน้ำตลอด 30 ปี และค่า Kc ของปาล์มน้ำมัน มาคำนวณปริมาณฝนใช้การ (Precipitation efficient; Peff) ค่าความต้องการน้ำของปาล์มน้ำมัน (Crop Water Requirement; CWR) และค่าความต้องการน้ำชลประทาน (Irrigated Water Requirement; IWR) หรือค่าการขาดน้ำ (Water deficit) ของปาล์มน้ำมันใน 8 จังหวัดภาคใต้ (ภาพที่ 14) พบว่า ค่าความต้องการน้ำของปาล์มน้ำมันในจังหวัดสุราษฎร์ธานี กระบี่ ชุมพร นครศรีธรรมราช พังงา ตรัง สตูล และระนอง มีค่า 1,250 1,461 1,368 1,245 1,446 1,365 1,474 และ 1,307 มิลลิเมตรต่อปี ตามลำดับ ปริมาณฝนใช้การมีค่า 1,262 1,417 1,329 1,409 1,393 1,592 1,444 และ 1,502 มิลลิเมตรต่อปี ตามลำดับ จึงส่งผลต่อค่าความต้องการน้ำชลประทานหรือค่าการขาดน้ำของปาล์มน้ำมัน โดยจังหวัดที่มีค่าการขาดน้ำสูงสุดคือ ระนอง (380 มิลลิเมตรต่อปี) สำหรับตรัง กระบี่ สตูล พังงา ชุมพร สุราษฎร์ธานีและนครศรีธรรมราช มีค่าการขาดน้ำ 350 290 283 264 231 217 และ 153 มิลลิเมตรต่อปี ตามลำดับ





ภาพที่ 1.2-14 ปริมาณฝนใช้การ (Precipitation efficient; Peff.) ความต้องการน้ำของปาล์มน้ำมัน (Crop Water Requirement; CWR) และความต้องการน้ำชลประทาน (Irrigation Water Requirement; IWR) ในจังหวัดสุราษฎร์ธานี กระบี่ ชุมพร นครศรีธรรมราช พังงา ตรัง สตูล และระนอง โดยคำนวณจากข้อมูลน้ำฝนและค่าระเหยเฉลี่ย 30 ปี

ธาตุอาหารปาล์มน้ำมัน ผลผลิตปาล์มน้ำมันและวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ของการผลิตปาล์มน้ำมันภาคใต้

การเก็บตัวอย่างดินและใบเพื่อวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพและเคมี และปริมาณธาตุอาหารในดินและธาตุอาหารในใบปาล์มน้ำมัน สำหรับให้คำแนะนำแก่เกษตรกรในการจัดการธาตุอาหารปาล์มน้ำมัน เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตปาล์มน้ำมัน ซึ่งส่งผลต่อประสิทธิภาพการใช้น้ำหรือรอยเท้าน้ำของการผลิตปาล์มน้ำมันไปโดยปริยาย และช่วยให้เกษตรกรสามารถผลิตปาล์มน้ำมันได้อย่างยั่งยืน เนื่องจากเป็นการใช้ทรัพยากรน้ำที่มีอย่างจำกัดและเป็นการลดต้นทุนการผลิต จากการใช้ปุ๋ยหรือธาตุอาหารอย่างมีประสิทธิภาพตามผลวิเคราะห์ดินและใบช่วยให้มีความสมดุลของธาตุอาหาร อย่างไรก็ตามพบว่า เกษตรกรหลายรายมีปัญหาด้านเงินทุน-ความตั้งใจจริงในการจัดการธาตุอาหารปาล์มน้ำมัน ส่งผลให้ปริมาณผลผลิตของเกษตรกรหลายรายต่ำกว่าที่ควรจะเป็นทั้งที่ค่าการขาดน้ำมีค่าต่ำกว่าหลายพื้นที่ ซึ่งจากการสัมภาษณ์เกษตรกรในการจัดการธาตุอาหารปาล์มน้ำมัน สำหรับการนำปริมาณไนโตรเจนที่เกษตรกรให้แก่ปาล์มน้ำมันมาวิเคราะห์ Grey Water Footprint ซึ่งจะทราบข้อมูลการจัดการธาตุอาหารชนิดอื่นเพิ่มมาด้วย

จากตารางที่ 4 เห็นได้ว่า เกษตรกรใน 8 อำเภอที่เป็นตัวแทนของแต่ละจังหวัดใส่ปุ๋ยไม่ครบชนิดที่ปาล์มน้ำมันต้องการ โดยเฉพาะแมกนีเซียมและโบรอนที่เกษตรกรหลายรายไม่เห็นความสำคัญ สำหรับธาตุอาหารหลักไนโตรเจน ฟอสฟอรัส โพแทสเซียม และแคลเซียม พบว่า เกษตรกรมีทั้งไม่ใส่ ใส่เหมาะสมและใส่ในปริมาณที่มากเกินไป ซึ่งส่งผลให้ต้นทุนการผลิตสูงโดยไม่ได้รับประโยชน์จากผลผลิตปาล์มน้ำมัน และอาจส่งผลต่อความสมดุลของธาตุอาหารด้วย โดยภาพรวมเกษตรกรที่อำเภอสิเกา จังหวัดตรังเป็นกลุ่มเกษตรกรที่มีความใส่ใจในการจัดการธาตุอาหารตามคำแนะนำ และเกษตรกรอำเภอท่าแซะ จังหวัดชุมพร (บ้านหัวว่าว) ส่วนใหญ่ไม่ใส่กีเซอไรท์และโบรอน และเป็นพื้นที่เดียวที่เกษตรกร 5 รายไม่ใส่ปุ๋ยแหล่งฟอสฟอรัสทั้ง 18-46-0 หรือหินฟอสเฟต

ตารางที่ 1.2-4 ปริมาณเนื้อปุ๋ยไนโตรเจน ฟอสฟอรัส โพแทสเซียม แมกนีเซียมและโบรอน (กรัมต่อต้นต่อปี) ของเกษตรกรที่ใส่ให้ปาล์มน้ำมัน 4 ช่วงอายุ (1-4 5-8 9-12 และมากกว่า 12 ปี) 190 แปลงใน 8 จังหวัดภาคใต้ ในปี 2561

เนื้อปุ๋ยที่เกษตรกรใส่ (กรัม/ต้น/ปี)	จำนวนเกษตรกร (ราย) ในแต่ละช่วงอายุปาล์มน้ำมัน				รวมทุกอายุ
	1-4 ปี	5-8 ปี	9-12 ปี	>12 ปี	
สุราษฎร์ธานี	**6**	**8**	**5**	**9**	**28**
ไนโตรเจน; N	255-2025	440-1020	480-2580	525-2025	255-2580
ฟอสฟอรัส; P	225-690 (1)	184-970	690-2160	180-690 (2)	0-2160

เนื้อปุ๋ยที่เกษตรกรใส่ (กรัม/ต้น/ปี)	จำนวนเกษตรกร (ราย) ในแต่ละช่วงอายุปาล์มน้ำมัน				รวมทุกอายุ
	1-4 ปี	5-8 ปี	9-12 ปี	>12 ปี	
โพแทสเซียม; K	225-1800	720-2910	720-4320	225-1980	225-4320
แมกนีเซียม; Mg	-	270 (7)	-	-	0-270
โบรอน; B	109	11 (7)	-	3.63 (8)	0-109
กระบี่	**6**	**8**	**9**	**6**	**29**
ไนโตรเจน; N	189-1200	508-1160	300-1139	300-1080	189-1200
ฟอสฟอรัส; P	108-900	175-1580 (1)	210-1350 (1)	240-600	0-1580
โพแทสเซียม; K	108-3210	900-1650 (1)	300-3900	300-2250	0-3900
แมกนีเซียม; Mg	68 (5)	270-1000 (5)	11 (8)	-	0-1000
โบรอน; B	7.26 (4)	33 (7)	7.26 (8)	-	0-33
ชุมพร	**5**	**6**	**6**	**5**	**22**
ไนโตรเจน; N	420-840 (2)	420-840 (1)	630-1710	315-1435	0-1710
ฟอสฟอรัส; P	-	140-300 (2)	140-2760 (3)	140-420	0-2760
โพแทสเซียม; K	1200-2400 (2)	150-1800 (1)	700-2400	900-3300	0-3300
แมกนีเซียม; Mg	-	-	540 (5)	-	0-540
โบรอน; B	20 (4)	-	-	-	0-20
นครศรีธรรมราช	**5**	**7**	**6**	**7**	**21**
ไนโตรเจน; N	225-700 (1)	180-702 (3)	180-1380 (2)	61-1260 (1)	0-1380
ฟอสฟอรัส; P	60-350 (1)	80-576 (4)	90-1380 (2)	32-900 (1)	0-1380
โพแทสเซียม; K	105-1750 (1)	180-4557 (3)	225-2580 (1)	165-2520 (1)	0-4557
แมกนีเซียม; Mg	-	250 (6)	250-270 (3)	-	0-270
โบรอน; B	-	3.63 (6)	22 (5)	3.63 (6)	0-22
พังงา	**3**	**4**	**5**	**10**	**22**
ไนโตรเจน; N	420-468	260-840	525-1655	290-1800 (1)	0-1800
ฟอสฟอรัส; P	231-552 (1)	140-840	15-300 (2)	120-900 (3)	0-900
โพแทสเซียม; K	720-1200	600-2280	108-2100	600-2700 (1)	0-2700
แมกนีเซียม; Mg	-	540 (3)	125-135 (2)	125-250 (7)	0-540
โบรอน; B	-	-	22 (3)	22 (7)	0-22
ตรัง	**7**	**5**	**5**	**5**	**22**
ไนโตรเจน; N	200-1296 (1)	420-980	292-900 (2)	420-1020 (2)	0-1296
ฟอสฟอรัส; P	139-540 (1)	200-920 (1)	224-420 (2)	460 (3)	0-920
โพแทสเซียม; K	475-2532 (2)	1180-2100	540-2100 (2)	1200-1800 (2)	0-2532
แมกนีเซียม; Mg	11 (6)	270 (4)	270 (4)	-	0-270
โบรอน; B	3.6-7.3 (5)	22-44 (3)	31-44 (3)	7-33 (3)	0-44
สตูล	**4**	**5**	**6**	**6**	**21**
ไนโตรเจน; N	0.52-945	86-780 (3)	0.33-420 (3)	184-630 (2)	0-945
ฟอสฟอรัส; P	1.50-417 (1)	91-465 (3)	0.96-90 (4)	184-600 (3)	0-600
โพแทสเซียม; K	0.11-2910 (1)	144-1800 (2)	0.1-2700 (3)	240-4680 (2)	0-4680

เนื้อปุ๋ยที่เกษตรกรใส่ (กรัม/ต้น/ปี)	จำนวนเกษตรกร (ราย) ในแต่ละช่วงอายุปาล์มน้ำมัน				รวมทุกอายุ
	1-4 ปี	5-8 ปี	9-12 ปี	>12 ปี	
แมกนีเซียม; Mg	-	250-800 (3)	75-240 (2)	75-125 (4)	0-800
โบรอน; B	-	-	11 (3)	11 (5)	0-11
ระนอง	**10**	**5**	**3**	**7**	**25**
ไนโตรเจน; N	42-810 (2)	840-1350 (1)	350-690 (1)	350-1600	0-1600
ฟอสฟอรัส; P	70-700 (7)	900-1520 (2)	250-1000 (1)	180-1520	0-1520
โพแทสเซียม; K	430-2016 (6)	1200-2700 (1)	600-2400	990-6320	0-6320
แมกนีเซียม; Mg	54-270 (6)	250-270 (3)	270 (2)	-	0-270
โบรอน; B	3.6 (9)	7.7-14.3 (2)	-	5.5-14.3 (5)	0-14.3

ผลผลิตปาล์มน้ำมัน มีความแตกต่างในแต่ละพื้นที่ และส่วนใหญ่เป็นผลสืบเนื่องมาจากการจัดการของเกษตรกร และช่วงอายุของปาล์มน้ำมัน โดยช่วงอายุที่ให้ผลผลิตสูงคือ ช่วงอายุ 9-12 ปี รองลงมาคือ ช่วงอายุปาล์มน้ำมัน 5-8 ปี และช่วงอายุมากกว่า 12 ปี ผลผลิตส่วนใหญ่คอนข้างลดลง ทั้งนี้สืบเนื่องจากสภาพอากาศและการจัดการของเกษตรกร (ตารางที่ 5)

ตารางที่ 1.2-5 ผลผลิตเฉลี่ยปาล์มน้ำมัน (ตันต่อไร่ต่อปี) 4 ช่วงอายุ (1-4 ปี 5-8 ปี 9-12 ปี และมากกว่า 12 ปี) 8 จังหวัดภาคใต้ ในปี 2559-2562 ที่ผ่านมา

ช่วงอายุ	ผลผลิตปาล์มน้ำมัน (ตันต่อไร่ต่อปี)			
	ปีที่ 1	ปีที่ 2	ปีที่ 3	ปีที่ 4*
สุราษฎร์ธานี				
1-4 ปี				
5-8 ปี	0.50±0.26	1.50±1.11	1.34±1.01	1.53±1.02
9-12 ปี	2.76±1.45	4.42±1.53	3.06±0.53	2.11±0.64
มากกว่า 12 ปี	2.82±2.42	2.83±1.21	2.68±0.89	1.49±0.57
กระบี่				
1-4 ปี		0.65±0.38		1.02±0.93
5-8 ปี	3.44±0.98	4.43±1.66	2.93±2.26	1.98±1.36
9-12 ปี	3.07±1.28	3.57±1.00	4.91±2.21	2.67±1.53
มากกว่า 12 ปี	3.38±1.36	3.18±0.94	4.53±2.08	2.52±2.10
ชุมพร				
1-4 ปี				
5-8 ปี	1.93±1.65	1.80±1.73	2.39±1.05	0.93±0.27
9-12 ปี	3.29±1.65	3.38±1.07	2.31±2.17	1.88±1.56
มากกว่า 12 ปี	2.15±0.78	2.77±0.96	2.94±1.48	1.81±1.06
นครศรีธรรมราช				
1-4 ปี				
5-8 ปี	3.02±0.91	3.02±1.49	1.35±1.39	1.52±0.94
9-12 ปี	3.92±1.18	4.57±2.10	3.35±1.18	2.37±1.39

ช่วงอายุ	ผลผลิตปาล์มน้ำมัน (ตันต่อไร่ต่อปี)			
	ปีที่ 1	ปีที่ 2	ปีที่ 3	ปีที่ 4*
มากกว่า 12 ปี	2.71±1.26	3.25±1.58	4.08±1.47	2.11±1.41
ตรัง				
1-4 ปี				1.26±0.01
5-8 ปี	2.24±0.82	5.05±4.71	4.81±2.47	0.82±0.37
9-12 ปี	2.13±0.70	3.18±1.75	5.80±2.19	3.72±0.91
มากกว่า 12 ปี	3.11±1.10	3.85±2.06	4.01±1.84	2.59±1.99
พังงา				
1-4 ปี				0.79
5-8 ปี	1.48±0.84	1.54	1.08±0.47	0.91±0.76
9-12 ปี	3.36±1.20	2.89±2.01	3.07±1.29	2.09±1.38
มากกว่า 12 ปี	1.17±0.61	2.71±1.22	3.04±1.71	2.48±1.33
สตูล				
1-4 ปี				
5-8 ปี	1.28±0.76	1.57±0.75	1.51±0.71	1.21±1.09
9-12 ปี	3.19±0.89	3.59±1.91	4.21±1.85	2.26±0.83
มากกว่า 12 ปี	2.26±1.17	1.81±1.29	1.92±1.43	2.83±2.19
ระนอง				
1-4 ปี				0.45±0.06
5-8 ปี	2.02±2.80	4.53	4.6	0.67±0.54
9-12 ปี	1.67±1.7	1.42±0.97	1.28±0.72	2.57±1.59
มากกว่า 12 ปี	2.97±1.52	3.70±2.05	3.35±1.49	1.31±0.66

* ผลผลิตปีที่ 4 เป็นผลผลิตในรอบ 6 เดือน

การวิเคราะห์วอเตอร์ฟุตพริ้นท์ จากผลวิเคราะห์ Blue WF Green WF และ Grey WF ของการผลิตปาล์มน้ำมันแต่ละช่วงอายุ และเสนอในรูปผลรวมของวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ (Total WF) และเฉลี่ยตลอดระยะเวลา 3 ปี พบว่า วอเตอร์ฟุตพริ้นท์ของการผลิตปาล์มน้ำมัน 8 จังหวัดภาคใต้ตลอดช่วงอายุ 25 ปีมีค่า 567-1,168 ลูกบาศก์เมตรต่อตันทะลายปาล์มน้ำมัน ใกล้เคียงกับการรายงานของ Sattayakul และคณะ (2016) ที่ศึกษาวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ของการผลิตปาล์มน้ำมันภาคใต้และภาคตะวันออกตลอดช่วงอายุ 25 ปี มีค่า 1,063 ลูกบาศก์เมตรต่อตันทะลายปาล์มน้ำมัน และหากเกษตรกรใช้พันธุ์ปาล์มน้ำมันลูกผสมสุราษฎร์ธานี 7 วอเตอร์ฟุตพริ้นท์ของการผลิตปาล์มน้ำมันลดลงเหลือ 888 ลูกบาศก์เมตรต่อตันทะลายปาล์มน้ำมัน และจากการศึกษาวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ของการผลิตปาล์มน้ำมันทางตอนกลางของเกาะกาลิมันตัน โดย Safitri และคณะ (2018) พบว่า วอเตอร์ฟุตพริ้นท์มีค่า 560-1,140 ลูกบาศก์เมตรต่อตันทะลายปาล์มน้ำมัน ขึ้นกับสภาพดิน สภาพภูมิอากาศ โดยเฉพาะปริมาณฝนและการกระจายตัว และสามารถจำแนกเป็นภาพรายจังหวัดได้ดังนี้

อำเภอพระแสง จังหวัดสุราษฎร์ธานี วอเตอร์ฟุตพริ้นท์ของการผลิตปาล์มน้ำมันเฉลี่ยตลอดระยะเวลา 3 ปี ของปาล์มน้ำมันช่วงอายุ 1-4 5-8 9-12 และ 12 ปีขึ้นไป มีค่า 1,477 774 580 และ 678 ลูกบาศก์เมตรต่อตันทะลาย ตามลำดับ และเมื่อนำค่าวอเตอร์ฟุตพริ้นท์แต่ละช่วงอายุมาถ่วงน้ำหนัก และเฉลี่ยตลอดอายุการผลิตปาล์มน้ำมัน 25 ปี วอเตอร์ฟุตพริ้นท์ของการผลิตปาล์มน้ำมันของอำเภอพระแสง จังหวัดสุราษฎร์ธานี มีค่า 805

ลูกบาศก์เมตรต่อตันทะลาย โดยวอเตอร์ฟุตพริ้นท์เฉลี่ยทั้ง 4 ช่วงอายุ ปีที่ 1 2 และ 3 มีค่า 1,128 653 และ 643 ลูกบาศก์เมตรต่อตันทะลาย ตามลำดับ (ตารางที่ 6)

อำเภอคลองท่อม จังหวัดกระบี่ วอเตอร์ฟุตพริ้นท์ของการผลิตปาล์มน้ำมันเฉลี่ยตลอดระยะเวลา 3 ปี ของปาล์มน้ำมันช่วงอายุ 1-4 5-8 9-12 และ 12 ปีขึ้นไป มีค่า 1,290 697 709 และ 797 ลูกบาศก์เมตรต่อตันทะลาย ตามลำดับ และเมื่อนำค่าวอเตอร์ฟุตพริ้นท์แต่ละช่วงอายุมาถ่วงน้ำหนัก และเฉลี่ยตลอดอายุการผลิตปาล์มน้ำมัน 25 ปี วอเตอร์ฟุตพริ้นท์ของการผลิตปาล์มน้ำมันของอำเภอคลองท่อม จังหวัดกระบี่ มีค่า 846 ลูกบาศก์เมตรต่อตันทะลาย โดยวอเตอร์ฟุตพริ้นท์เฉลี่ยทั้ง 4 ช่วงอายุ ปีที่ 1 2 และ 3 มีค่า 790 971 และ 858 ลูกบาศก์เมตรต่อตันทะลาย ตามลำดับ (ตารางที่ 6)

อำเภอท่าแซะ จังหวัดชุมพร วอเตอร์ฟุตพริ้นท์ของการผลิตปาล์มน้ำมันเฉลี่ยตลอดระยะเวลา 3 ปี ของปาล์มน้ำมันช่วงอายุ 1-4 5-8 9-12 และ 12 ปีขึ้นไป มีค่า 1,080 938 793 และ 1,018 ลูกบาศก์เมตรต่อตันทะลาย ตามลำดับ และเมื่อนำค่าวอเตอร์ฟุตพริ้นท์แต่ละช่วงอายุมาถ่วงน้ำหนัก และเฉลี่ยตลอดอายุการผลิตปาล์มน้ำมัน 25 ปี วอเตอร์ฟุตพริ้นท์ของการผลิตปาล์มน้ำมันของอำเภอท่าแซะ จังหวัดชุมพร มีค่า 979 ลูกบาศก์เมตรต่อตันทะลาย โดยวอเตอร์ฟุตพริ้นท์เฉลี่ยทั้ง 4 ช่วงอายุ ปีที่ 1 2 และ 3 มีค่า 1,060 821 และ 875 ลูกบาศก์เมตรต่อตันทะลาย ตามลำดับ (ตารางที่ 6)

อำเภอสิชล จังหวัดนครศรีธรรมราช วอเตอร์ฟุตพริ้นท์ของการผลิตปาล์มน้ำมันเฉลี่ยตลอดระยะเวลา 3 ปี ของปาล์มน้ำมันช่วงอายุ 1-4 5-8 9-12 และ 12 ปีขึ้นไป มีค่า 854 570 447 และ 626 ลูกบาศก์เมตรต่อตันทะลาย ตามลำดับ และเมื่อนำค่าวอเตอร์ฟุตพริ้นท์แต่ละช่วงอายุมาถ่วงน้ำหนัก และเฉลี่ยตลอดอายุการผลิตปาล์มน้ำมัน 25 ปี วอเตอร์ฟุตพริ้นท์ของการผลิตปาล์มน้ำมันของอำเภอสิชล จังหวัดนครศรีธรรมราช มีค่า 625 ลูกบาศก์เมตรต่อตันทะลาย โดยวอเตอร์ฟุตพริ้นท์เฉลี่ยทั้ง 4 ช่วงอายุ ปีที่ 1 2 และ 3 มีค่า 670 522 และ 513 ลูกบาศก์เมตรต่อตันทะลาย ตามลำดับ (ตารางที่ 1.2-6)

อำเภอสิเกา จังหวัดตรัง วอเตอร์ฟุตพริ้นท์ของการผลิตปาล์มน้ำมันเฉลี่ยตลอดระยะเวลา 3 ปี ของปาล์มน้ำมันช่วงอายุ 1-4 5-8 9-12 และ 12 ปีขึ้นไป มีค่า 1,007 857 855 และ 700 ลูกบาศก์เมตรต่อตันทะลาย ตามลำดับ และเมื่อนำค่าวอเตอร์ฟุตพริ้นท์แต่ละช่วงอายุมาถ่วงน้ำหนัก และเฉลี่ยตลอดอายุการผลิตปาล์มน้ำมัน 25 ปี วอเตอร์ฟุตพริ้นท์ของการผลิตปาล์มน้ำมันของอำเภอสิเกา จังหวัดตรังมีค่า 799 ลูกบาศก์เมตรต่อตันทะลาย โดยวอเตอร์ฟุตพริ้นท์เฉลี่ยทั้ง 4 ช่วงอายุ ปีที่ 1 2 และ 3 มีค่า 1,171 845 และ 548 ลูกบาศก์เมตรต่อตันทะลาย ตามลำดับ (ตารางที่ 1.2-6)

อำเภอคุระบุรี จังหวัดพังงา วอเตอร์ฟุตพริ้นท์ของการผลิตปาล์มน้ำมันเฉลี่ยตลอดระยะเวลา 3 ปี ของปาล์มน้ำมันช่วงอายุ 1-4 5-8 9-12 และ 12 ปีขึ้นไป มีค่า 1,126 957 673 และ 771 ลูกบาศก์เมตรต่อตันทะลาย ตามลำดับ และเมื่อนำค่าวอเตอร์ฟุตพริ้นท์แต่ละช่วงอายุมาถ่วงน้ำหนัก และเฉลี่ยตลอดอายุการผลิตปาล์มน้ำมัน 25 ปี วอเตอร์ฟุตพริ้นท์ของการผลิตปาล์มน้ำมันของอำเภอคุระบุรี จังหวัดพังงา มีค่า 842 ลูกบาศก์เมตรต่อตันทะลาย โดยวอเตอร์ฟุตพริ้นท์เฉลี่ยทั้ง 4 ช่วงอายุ ปีที่ 1 2 และ 3 มีค่า 1,003 756 และ 683 ลูกบาศก์เมตรต่อตันทะลาย ตามลำดับ (ตารางที่ 1.2-6)

อำเภอมะนัง จังหวัดสตูล วอเตอร์ฟุตพริ้นท์ของการผลิตปาล์มน้ำมันเฉลี่ยตลอดระยะเวลา 3 ปี ของปาล์มน้ำมันช่วงอายุ 1-4 5-8 9-12 และ 12 ปีขึ้นไป มีค่า 2,186 932 650 และ 1,086 ลูกบาศก์เมตรต่อตันทะลาย ตามลำดับ และเมื่อนำค่าวอเตอร์ฟุตพริ้นท์แต่ละช่วงอายุมาถ่วงน้ำหนัก และเฉลี่ยตลอดอายุการผลิตปาล์มน้ำมัน 25 ปี วอเตอร์ฟุตพริ้นท์ของการผลิตปาล์มน้ำมันของอำเภอมะนัง จังหวัดสตูล มีค่า 1,168 ลูกบาศก์เมตรต่อตันทะลาย โดยวอเตอร์ฟุตพริ้นท์เฉลี่ยทั้ง 4 ช่วงอายุ ปีที่ 1 2 และ 3 มีค่า 1,053 1,177 และ 1,410 ลูกบาศก์เมตรต่อตันทะลาย ตามลำดับ (ตารางที่ 1.2-6)

อำเภอกระบุรี จังหวัดระนอง วอเตอร์ฟุตพริ้นท์ของการผลิตปาล์มน้ำมันเฉลี่ยตลอดระยะเวลา 3 ปี ของปาล์มน้ำมันช่วงอายุ 1-4 5-8 9-12 และ 12 ปีขึ้นไป มีค่า 597 430 664 และ 570 ลูกบาศก์เมตรต่อตันทะลาย ตามลำดับ และเมื่อนำค่าวอเตอร์ฟุตพริ้นท์แต่ละช่วงอายุมาถ่วงน้ำหนัก และเฉลี่ยตลอดอายุการผลิตปาล์มน้ำมัน 25 ปี วอเตอร์ฟุตพริ้นท์ของการผลิตปาล์มน้ำมันของอำเภอกระบุรี จังหวัดระนอง มีค่า 567 ลูกบาศก์เมตรต่อตันทะลาย โดยวอเตอร์ฟุตพริ้นท์เฉลี่ยทั้ง 4 ช่วงอายุ ปีที่ 1 2 และ 3 มีค่า 657 541 และ 497 ลูกบาศก์เมตรต่อตันทะลาย ตามลำดับ (ตารางที่ 1.2-6)

ตารางที่ 1.2-6 วอเตอร์ฟุตพริ้นท์ (Water Footprint) ของการผลิตปาล์มน้ำมัน ปีที่ 1-3 จำแนกตามช่วงอายุ 4 ช่วงอายุ (1-4 5-8 9-12 และมากกว่า 12 ปี) ใน 8 จังหวัดภาคใต้ ในปี 2559-2561 ที่ผ่านมา

ช่วงอายุ	วอเตอร์ฟุตพริ้นท์ของการผลิตปาล์มน้ำมัน (ลูกบาศก์เมตรต่อตันทะลาย)					
	ปีที่ 1	ปีที่ 2	ปีที่ 3	เฉลี่ย 3 ปี	จำนวนปีแต่ละช่วง	แต่ละช่วงอายุ
สุราษฎร์ธานี						
1-4 ปี	2,433	520.5	-	**1,476.8**	4	5,907.0
5-8 ปี	702.9±320.6	864.1±591.6	756.2±354.8	**774.4**	4	3,097.6
9-12 ปี	750.3±392.4	434.2±169.9	555.8±116.6	**580.1**	4	2,320.4
มากกว่า 12 ปี	624.9±917.5	791.5±432.5	617.1±165.8	**677.8**	13	8,811.8
เฉลี่ย	**1,127.8**	**652.6**	**643.0**	**877.3**		**805.5**
กระบี่						
1-4 ปี	628.8±72.5	1,637.9±1259.6	1,602.2±992.3	**1,289.6**	4	5,158.5
5-8 ปี	705.3±186.1	783.6±262.8	602.0±283.0	**697.0**	4	2,787.9
9-12 ปี	951.9±450.5	642.7±158.3	532.9±193.9	**709.2**	4	2,836.7
มากกว่า 12 ปี	875.5±321.5	821.9±272.3	693.6±236.7	**797.0**	13	10,361.0
เฉลี่ย	**790.4**	**971.5**	**857.7**	**873.2**		**845.76**
ชุมพร						
1-4 ปี	1,080.1±822.4			**1080.1**	4	4,320.4
5-8 ปี	1,070.1±642.6	772.5±483.0	970.5±328.0	**937.7**	4	3,750.8
9-12 ปี	856.9±305.2	794.3±227.1	726.6±275.6	**792.6**	4	3,170.4
มากกว่า 12 ปี	1,232.6±525.6	894.9±340.4	927.6±339.3	**1018.4**	13	13,238.8
เฉลี่ย	**1059.9**	**820.6**	**874.9**	**957.2**		**979.21**
นครศรีธรรมราช						
1-4 ปี	854.5			**854.5**	4	3,418.0
5-8 ปี	508.9±48.7	584.6±205.4	615.8±179.2	**569.8**	4	2,279.1
9-12 ปี	528.1±176.1	412.0±145.5	401.6±138.2	**447.2**	4	1,788.9
มากกว่า 12 ปี	787.5±338.7	568.6±120.0	520.7±148.0	**625.6**	13	8,132.8
เฉลี่ย	**669.8**	**521.7**	**512.7**	**624.3**		**624.7**
ตรัง						
1-4 ปี	1,707.1	809.7±754.7	503.7±245.8	**1,006.8**	4	4,027.3
5-8 ปี	1,032.1±386.7	1,048.5±540.1	490.9±252.9	**857.2**	4	3,428.7

ช่วงอายุ	วอเตอร์ฟุตพริ้นท์ของการผลิตปาล์มน้ำมัน (ลูกบาศก์เมตรต่อตันทะลาย)					
	ปีที่ 1	ปีที่ 2	ปีที่ 3	เฉลี่ย 3 ปี	จำนวนปีแต่ละช่วง	แต่ละช่วงอายุ
9-12 ปี	1,161.6±238.1	847.5±450.3	554.7±320.5	**854.6**	4	3,418.4
มากกว่า 12 ปี	782.3±237.6	673.6±280.4	643.3±174.4	**699.7**	13	9,096.5
เฉลี่ย	**1,170.8**	**844.8**	**548.2**	**854.6**		**798.8**
พังงา						
1-4 ปี	1,126.5			**1,126.5**	4	4,506.0
5-8 ปี	1,224.1±451.0	863.8±499.0	783.6±380.9	**957.2**	4	3,828.7
9-12 ปี	564.1±167.4	786.8±450.1	669.4±415.9	**673.4**	4	2,693.7
มากกว่า 12 ปี	1098	618.8±99.8	596.0±52.5	**770.9**	13	10,022.1
เฉลี่ย	**1,003.2**	**756.5**	**683.0**	**882.0**		**842.0**
สตูล						
1-4 ปี	1,547.8	2,088.5	2,922.3	**2,186.2**	4	8,744.8
5-8 ปี	948.9±284.6	677.3±264.8	1,169.3±276.1	**931.8**	4	3,727.3
9-12 ปี	779.5	732.3	438.2±66.7	**650.0**	4	2,600.0
มากกว่า 12 ปี	937.2±253.6	1,211.4±655.1	1,109.7±545.8	**1,086.1**	13	14,119.3
เฉลี่ย	**1,053.4**	**1,177.4**	**1,409.9**	**1,213.5**		**1,167.7**
ระนอง						
1-4 ปี	663.4±538.6	558.1±213.6	568.8±348.6	**596.8**	4	2,387.1
5-8 ปี	495.9±171.5	464.6±128.0	328.2	**429.6**	4	1,718.3
9-12 ปี	638.5±323.9	700.5±631.3	652.3±488.9	**663.8**	4	2,655.1
มากกว่า 12 ปี	830.4±401.7	440.8±240.8	439.9±192.5	**570.4**	13	7,414.8
เฉลี่ย	**657.1**	**541.0**	**497.3**	**565.1**		**567.0**

การวิเคราะห์วอเตอร์ฟุตพริ้นท์ของการผลิตปาล์มน้ำมันภาคตะวันออกและตะวันตก

1) พิกัดแปลงของสวนปาล์มน้ำมันที่ศึกษา ลักษณะสัณฐานวิทยาของชุดดิน และผลวิเคราะห์ดิน-ใบปาล์มน้ำมัน

1.1) พิกัดแปลงสวนปาล์มน้ำมันที่ศึกษา

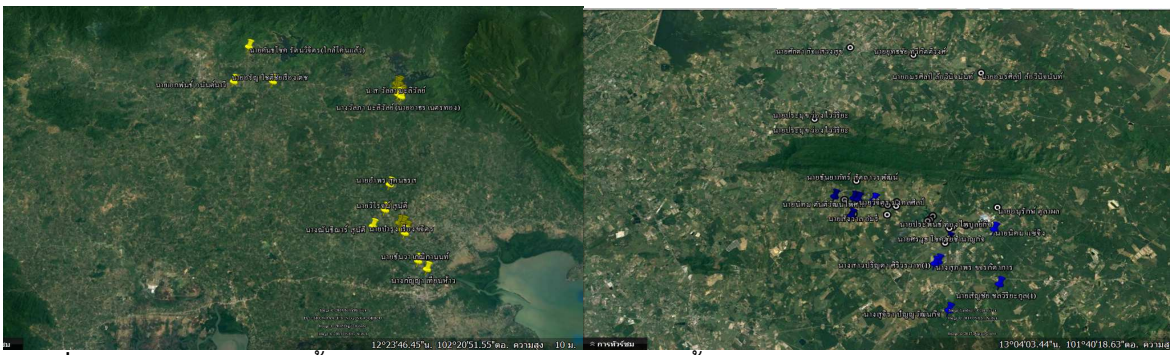
คัดเลือกสวนปาล์มน้ำมันที่ศึกษา ใช้ข้อมูลเนื้อที่ให้ผลผลิตปาล์มน้ำมันของสำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร (2559) โดยคัดเลือก 4 จังหวัด (อำเภอ) ดังนี้ ตราด (บ่อไร่และเมืองตราด) ชลบุรี (หนองใหญ่) กาญจนบุรี (ทองผาภูมิ) และประจวบคีรีขันธ์ (บางสะพานและบางสะพานน้อย) (ตารางที่ 1.3-1) โดยคัดเลือกอำเภอที่มีพื้นที่ปลูกปาล์มน้ำมันมากที่สุดในจังหวัดนั้น และส่งพิกัดสวนปาล์ม (ภาพที่ 1.3-1 และ 1.3-2) ไปจำแนกความเหมาะสมของพื้นที่ปลูกปาล์มตามเกณฑ์จำแนกของกรมพัฒนาที่ดิน (ตารางที่ 1.3-2)

ตารางที่ 1.3-1 เนื้อที่ให้ผลผลิตปาล์มน้ำมัน (ไร่) ปี 2559 และ 2562 และแปลงเกษตรกรที่เก็บข้อมูล (ราย) ในเขตภาคตะวันออกและตะวันตก

จังหวัด	เนื้อที่ให้ผลผลิต (ไร่)		แปลงเกษตรกร (ราย)
	2559	2562	
ตราด	61,074	62,481	**20**
ชลบุรี	103,322	104,956	**28**
กาญจนบุรี	12,669	18,849	**23**
ประจวบคีรีขันธ์	99,315	135,975	**25**
รวมแปลงเกษตรกร (ราย)			**89**

ตารางที่ 1.3-2 จำนวนสวนปาล์มน้ำมันในแต่ละช่วงอายุปาล์มน้ำมัน และจำแนกตามความเหมาะสมของพื้นที่ปลูกปาล์มน้ำมันของกรมพัฒนาที่ดิน จำนวน 89 แปลง

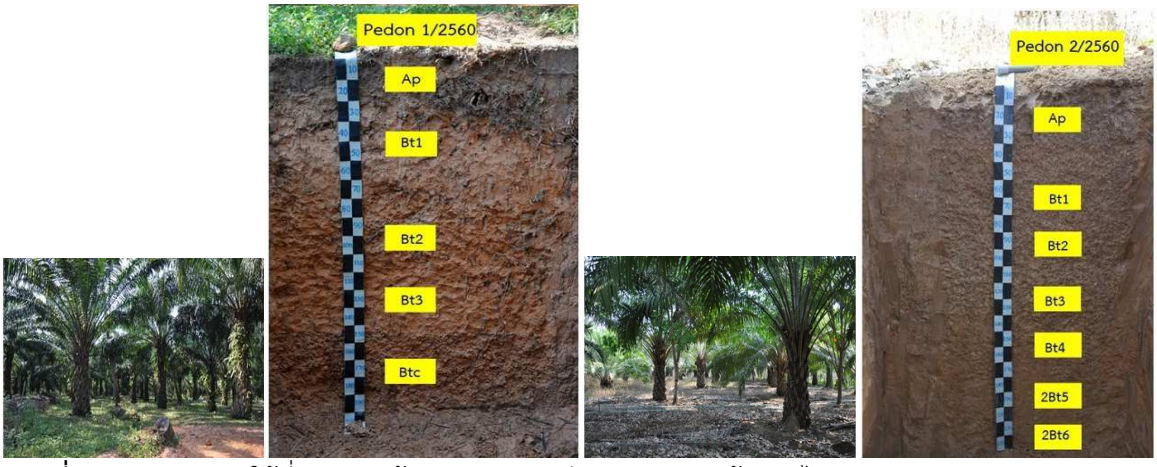
จังหวัด ภาคตะวันออก-ตะวันตก	ความเหมาะสมของพื้นที่ปลูกปาล์มน้ำมัน	ช่วงอายุปาล์มน้ำมัน (ปี)				รวม
		0-4 ปี	5-8 ปี	9-12 ปี	>12 ปี	
ตราด	**เหมาะสมมาก**					
	เหมาะสมน้อย-ปานกลาง	5	9	7	2	**23**
ชลบุรี	**เหมาะสมมาก**					
	เหมาะสมน้อย-ปานกลาง	4	5	5	9	**23**
กาญจนบุรี	**เหมาะสมมาก**					
	เหมาะสมน้อย-ปานกลาง	5	12	2	1	**20**
ประจวบคีรีขันธ์	**เหมาะสมมาก**					
	เหมาะสมน้อย-ปานกลาง	4	1	10	8	**23**
รวม 4 จังหวัด	**เหมาะสมมาก**					
	เหมาะสมน้อย-ปานกลาง	**18**	**27**	**24**	**20**	**89**



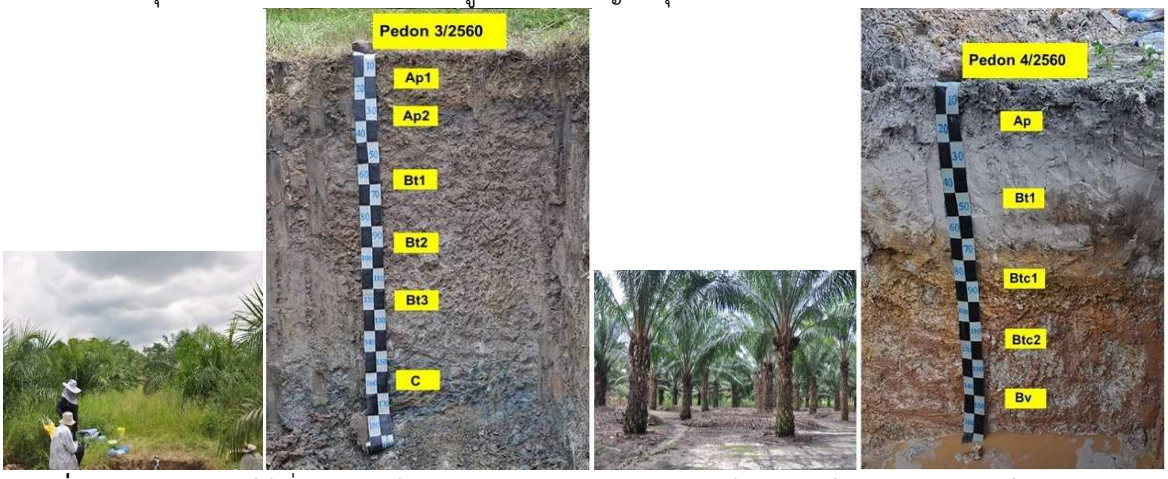
ภาพที่ 1.3-1 พิกัดสวนปาล์มน้ำมันของเกษตรกร งานวิจัยรอยเท้าน้ำอำเภอบ่อไร่ และอำเภอเมืองตราด จังหวัดตราด และอำเภอหนองใหญ่ จังหวัดชลบุรี

ภาพที่ 1.3-2 พิกัดสวนปาล์มน้ำมันของเกษตรกรงานวิจัยรอยเท้าน้ำอำเภอทองผาภูมิ จังหวัดกาญจนบุรี และอำเภอบางสะพานและบางสะพานน้อย จังหวัดประจวบคีรีขันธ์

1.2) ลักษณะสัณฐานวิทยาของชุดดิน



ภาพที่ 1.3-3 สภาพการใช้ที่ดินและหน้าตัดดินของดินพีดอน 1/2560 บ้านบ่อไพร ตำบลทรายทอง อำเภอบางสะพานน้อย จังหวัดประจวบคีรีขันธ์ พิกัด 47P 546150 1217236 และพีดอน 2/2560 บ้านนามกุย ตำบลลิ่นถิ่น อำเภอทองผาภูมิ จังหวัดกาญจนบุรี พิกัด 47P 476150 1606348

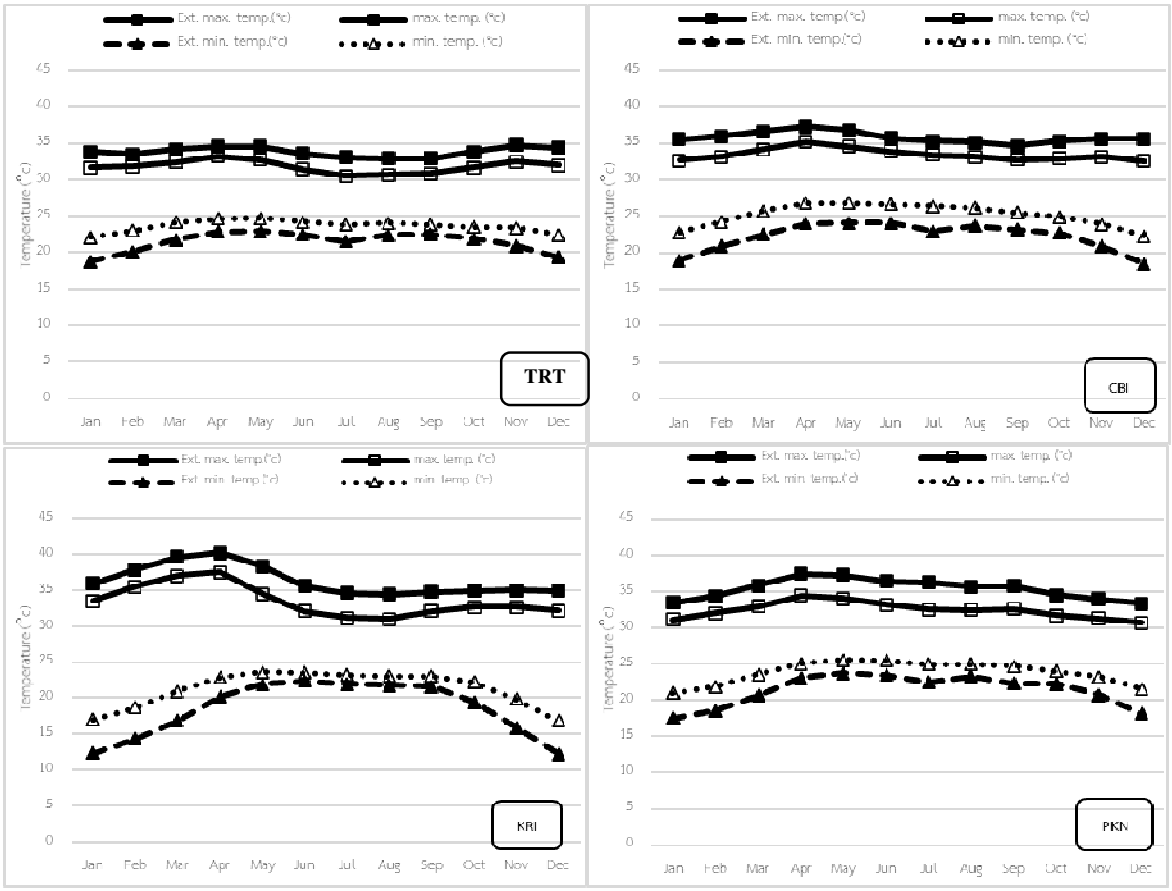


ภาพที่ 1.3-4 สภาพการใช้ที่ดินและหน้าตัดดินของดินพีดอน 3/2560 บ้านหนองใหญ่ ตำบลหนองใหญ่ อำเภอหนองใหญ่ จังหวัดชลบุรี พิกัด 47P 756394 1454817 และพีดอน 4/2560 บ้านเนินทราย อำเภอเมือง จังหวัดตราด พิกัด 47Q 283744 136143

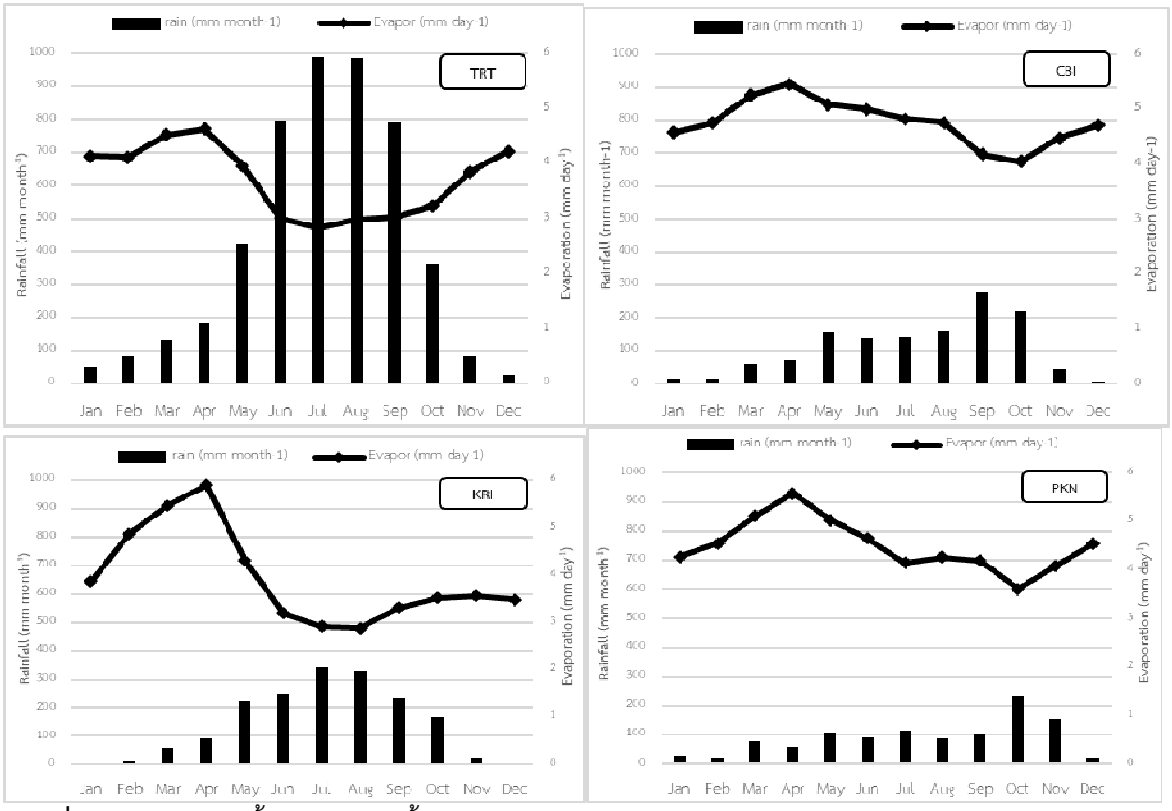
ลักษณะสภาพการใช้ที่ดินในสวนปาล์มน้ำมันของตัวแทนทั้ง 4 จังหวัด มีทั้งพื้นที่ราบ เนินลาดชันเล็กน้อย รวมถึงสภาพที่ลุ่ม และหน้าตัดของดินมีความแตกต่างกันในแต่ละชั้นของหน้าตัดดินทั้ง 4 pedon (ภาพที่ 1.3-4)

ข้อมูลอุตุนิยมวิทยา ปริมาณฝนใช้การ ความต้องการน้ำและความต้องการน้ำชลประทานของปาล์มน้ำมัน

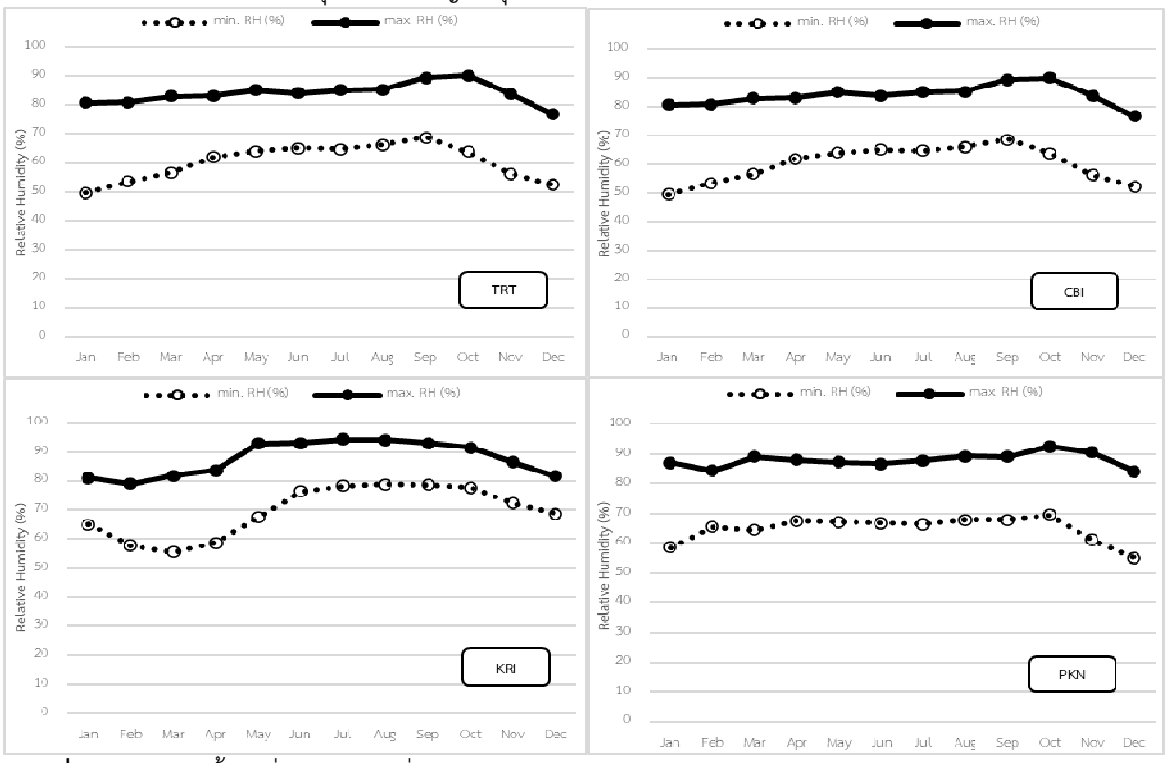
ข้อมูลอุตุนิยมวิทยา



ภาพที่ 1.3-5 อุณหภูมิสูงสุดและต่ำสุด อุณหภูมิเฉลี่ยสูงสุดและต่ำสุด ในรอบ 30 ปี (พ.ศ.2530-2559) ของสถานีอุตุนิยมวิทยาในจังหวัดตราด (TRT) ชลบุรี (CBI) กาญจนบุรี (KRI) และประจวบคีรีขันธ์ (PKN)



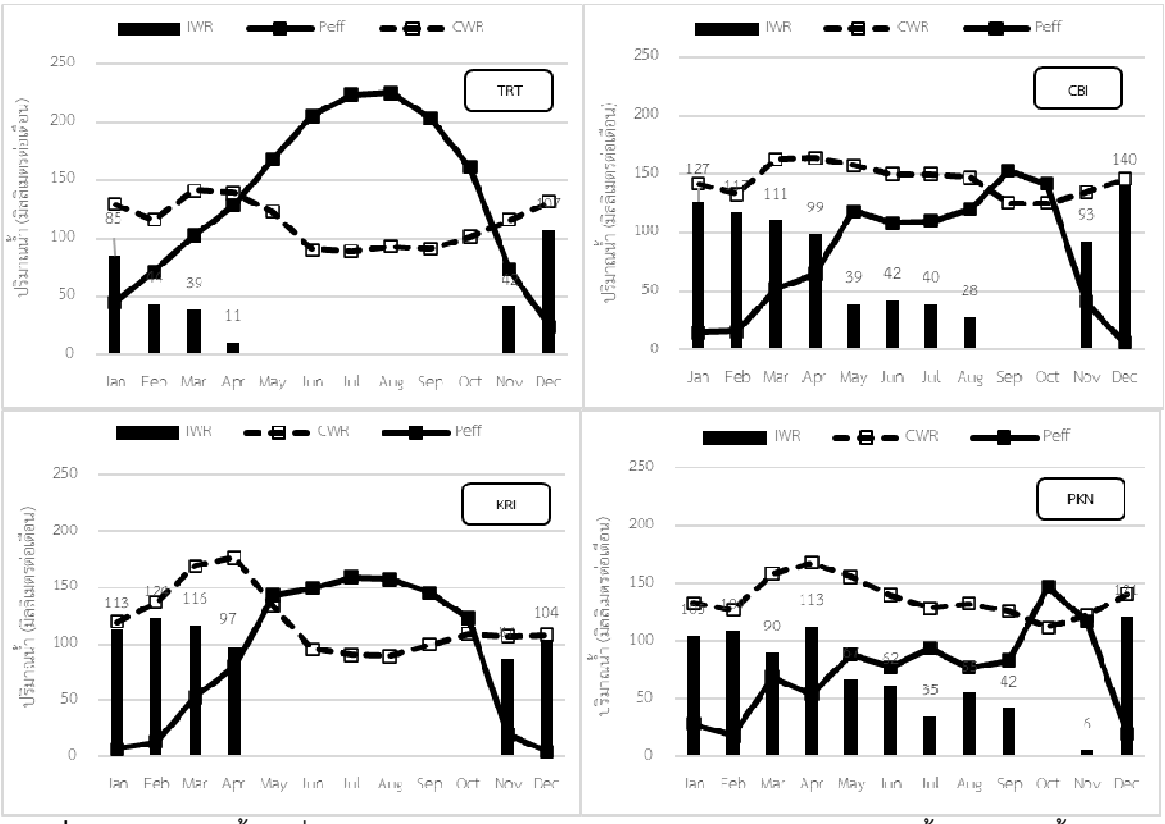
ภาพที่ 1.3-6 ค่าระเหยน้ำและปริมาณน้ำฝนในรอบ 30 ปี (พ.ศ.2530-2559) ของสถานีอุตุนิยมวิทยาในจังหวัดตราด (TRT) ชลบุรี (CBI) กาญจนบุรี (KRI) และประจวบคีรีขันธ์ (PKN)



ภาพที่ 1.3-7 ความชื้นเฉลี่ยสูงสุดและต่ำสุดในรอบ 30 ปี (พ.ศ.2530-2559) ของสถานีอุตุนิยมวิทยาในจังหวัดตราด (TRT) ชลบุรี (CBI) กาญจนบุรี (KRI) และประจวบคีรีขันธ์ (PKN)

ปริมาณฝนใช้การ ความต้องการน้ำและความต้องการน้ำชลประทานของปาล์มน้ำมัน

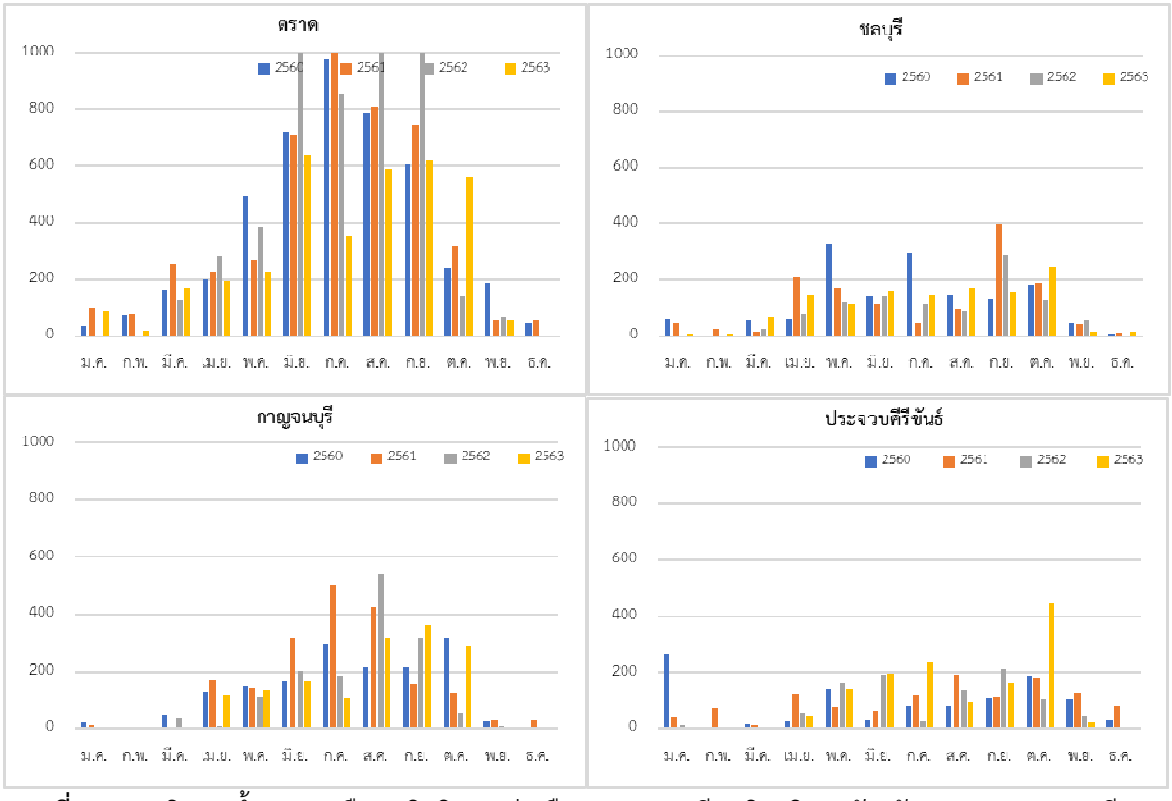
นำค่าเฉลี่ยปริมาณน้ำฝน ค่าระเหยน้ำตลอด 30 ปี และค่า Kc ของปาล์มน้ำมัน มาคำนวณปริมาณฝนใช้การ (Peff) ค่าความต้องการน้ำของปาล์มน้ำมัน (CWR) และค่าความต้องการน้ำชลประทาน หรือค่าการขาดน้ำของปาล์มน้ำมัน พบว่า ค่าความต้องการน้ำของปาล์มน้ำมันในจังหวัดตราด ชลบุรี กาญจนบุรีและประจวบคีรีขันธ์ มีค่า 1,360.5, 1,737.8, 1,435.6 และ 1,642.7 มิลลิเมตรต่อปี ตามลำดับ ปริมาณฝนใช้การมีค่า 1,629.8 946.9 1,056.4 และ 873.0 มิลลิเมตรต่อปี ตามลำดับ จึงส่งผลต่อค่าความต้องการน้ำชลประทานหรือค่าการขาดน้ำของปาล์มน้ำมัน โดยจังหวัดที่มีค่าการขาดน้ำสูงสุดคือ ชลบุรี (835 มิลลิเมตรต่อปี) ประจวบคีรีขันธ์ กาญจนบุรีและตราด มีค่าการขาดน้ำ 804 641 และ 328 มิลลิเมตรต่อปี ตามลำดับ (ภาพที่ 1.3-8)



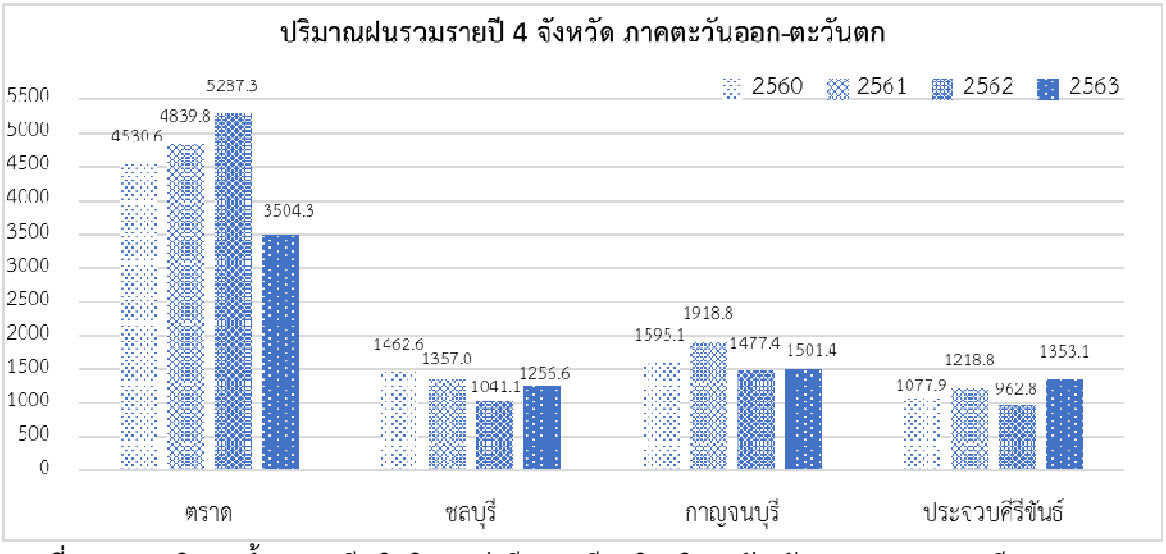
ภาพที่ 1.3-8 ปริมาณน้ำฝนที่ใช้การได้ (Precipitation efficiency; Peff.) ความต้องการน้ำของปาล์มน้ำมัน (Crop Water Requirement; CWR) และน้ำชลประทานที่ต้องเติมให้ปาล์มน้ำมัน (Irrigation Water Requirement; IWR) ในจังหวัดตราด (TRT) ชลบุรี (CBI) ประจวบคีรีขันธ์ (PKN) และกาญจนบุรี (KRI) โดยคำนวณจากข้อมูลน้ำฝนและค่าระเหยเฉลี่ย 30 ปี

ข้อมูลอุตุนิยมวิทยา ตลอดระยะเวลาดำเนินการวิจัย 4 ปี (พ.ศ. 2560-2563) โดยภาพรวมพบว่า ปริมาณน้ำฝนต่อเดือนมีค่าน้อยมากในช่วงเดือนมกราคม-เมษายน และพฤศจิกายน-ธันวาคม (ฝนทิ้งช่วงประมาณ 6 เดือน) และตลอด 4 ปีปริมาณน้ำฝนของจังหวัดชลบุรี กาญจนบุรีและประจวบคีรีขันธ์ มีปริมาณน้อยกว่าจังหวัดตราดมาก สำหรับปริมาณฝนในช่วง 4 ปี ของจังหวัดตราดมีปริมาณฝนสูงมากในช่วงเดือนมิถุนายน-สิงหาคม (ภาพที่ 9) ปริมาณน้ำฝนรายปีตลอด 4 ปี (2560-2563) ของจังหวัดตราด มีค่า 4,531 4,840 5,287 และ 3,504 มิลลิเมตรต่อปี ตามลำดับ จังหวัดชลบุรี มีค่า 1,462 1,357 1,041 และ 1,257 มิลลิเมตรต่อปี ตามลำดับ จังหวัดกาญจนบุรี มีค่า 1,595 1,919 1,477 และ 1,501 มิลลิเมตรต่อปี ตามลำดับ และจังหวัดประจวบคีรีขันธ์ซึ่งมีปริมาณน้ำฝนน้อยที่สุดใน 4 จังหวัด มีค่า 1,078 1,219 963 และ 1,353 มิลลิเมตรต่อปี ตามลำดับ (ภาพที่ 1.3-10)

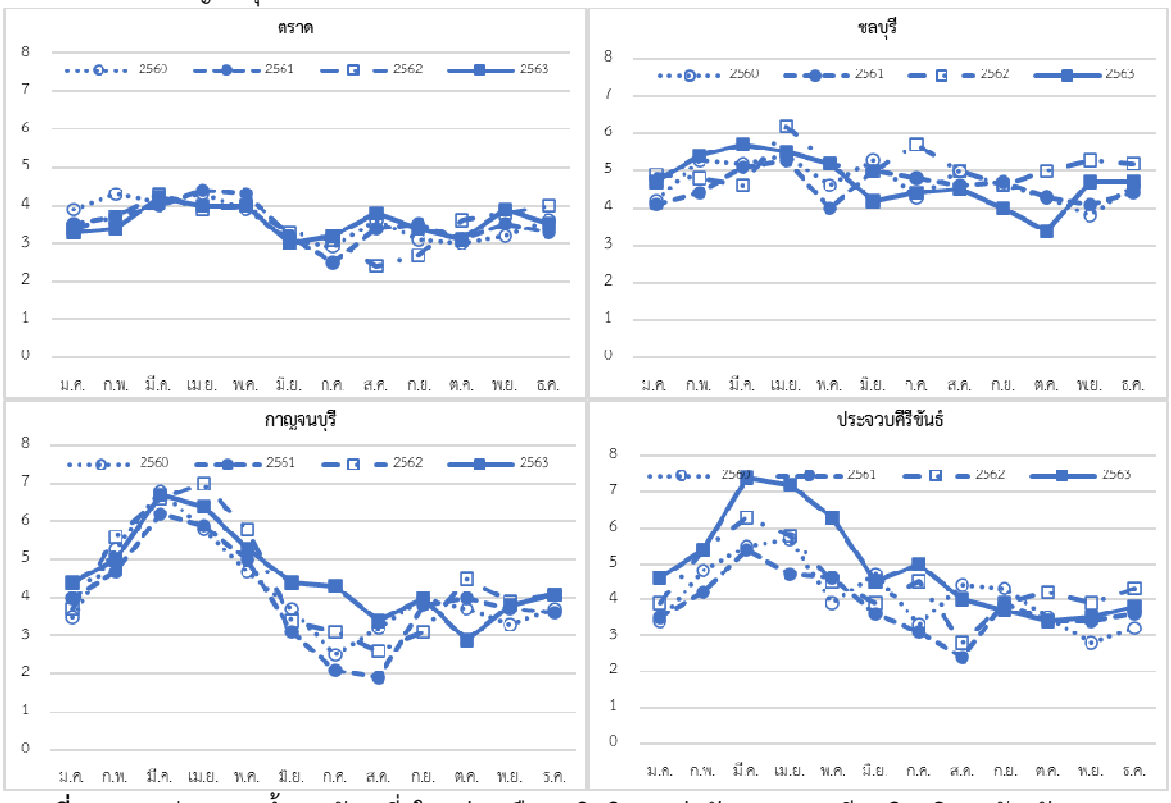
ค่าระเหยน้ำ พบว่า จังหวัดตราดค่าระเหยน้ำเฉลี่ยตลอดปีมีค่าต่ำที่สุด และจังหวัดที่ค่าระเหยน้ำเฉลี่ยรายเดือนตลอด 4 ปีค่อนข้างสูงคือ กาญจนบุรี ประจวบคีรีขันธ์และชลบุรี โดยค่าระเหยน้ำมีค่าสูงมากในช่วงเดือนมีนาคม-พฤษภาคม และในช่วงเดือนกรกฎาคม-สิงหาคม ซึ่งเป็นช่วงที่ฤดูฝน ค่าระเหยน้ำมีค่าลดลง แสดงให้เห็นถึงอุณหภูมิโดยรอบทรงพุ่มที่มีค่าสูง ส่งผลให้ดินมีการระเหยน้ำเพิ่มมากขึ้น ประมาณ 2-3 มิลลิเมตรต่อวัน ยกเว้นชลบุรีที่ค่าระเหยน้ำในช่วงฤดูฝนมีค่าสูงประมาณ 3-4 มิลลิเมตรต่อวัน (ภาพที่ 1.3-11) และจากค่าระเหยน้ำเฉลี่ยตลอด 4 ปี พบว่า ค่าระเหยน้ำเฉลี่ยของจังหวัดตราดมีค่าต่ำสุด 3.0-6.0 มิลลิเมตรต่อวัน ชลบุรี ประจวบคีรีขันธ์และกาญจนบุรีมีค่า 4.5-5.6 3.4-6.2 และ 2.8-6.6 มิลลิเมตรต่อวัน ตามลำดับ (ภาพที่ 1.3-12) โดยค่าระเหยน้ำที่มีปริมาณสูงมากมีความสัมพันธ์โดยตรงกับความต้องการน้ำของปาล์มน้ำมันที่ใช้ในการเจริญเติบโตและให้ผลผลิต



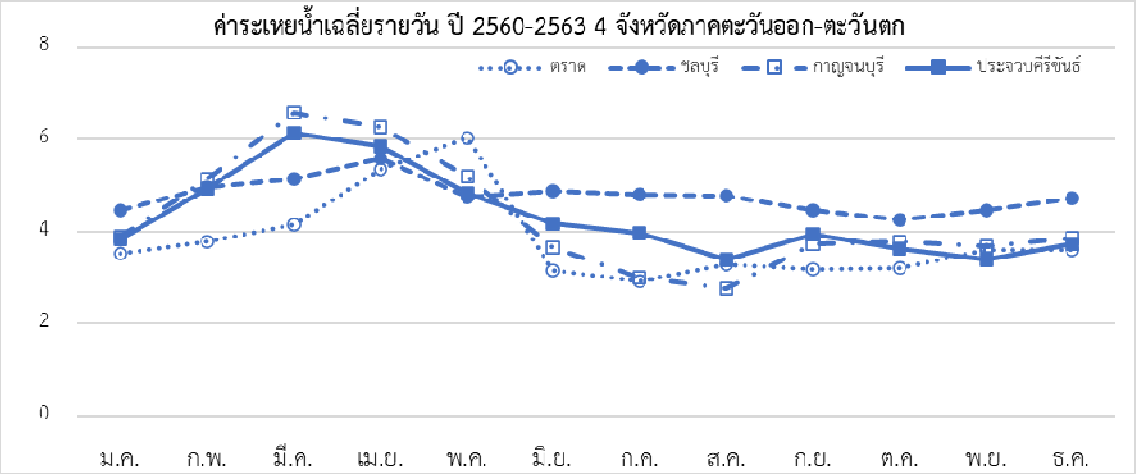
ภาพที่ 1.3-9 ปริมาณน้ำฝนรายเดือน (มิลลิเมตรต่อเดือน) จากสถานีอุตุนิยมวิทยาจังหวัดตราด (TRT) ชลบุรี (CBI) กาญจนบุรี (CPN) และประจวบคีรีขันธ์ (KPN) ระหว่างปีที่ดำเนินการ พ.ศ. 2560-2563



ภาพที่ 1.3-10 ปริมาณน้ำฝนรายปี (มิลลิเมตรต่อปี) สถานีอุตุนิยมวิทยาจังหวัดตราด (TRT) ชลบุรี (CBI) กาญจนบุรี (CPN) และประจวบคีรีขันธ์ (KPN) ระหว่างปีที่ดำเนินการ พ.ศ. 2560-2563



ภาพที่ 1.3-11 ค่าระเหยน้ำรายวันเฉลี่ยในแต่ละเดือน (มิลลิเมตรต่อวัน) จากสถานีอุตุนิยมวิทยาจังหวัดตราด (TRT) ชลบุรี (CBI) กาญจนบุรี (CPN) และประจวบคีรีขันธ์ (KPN) ระหว่างปีที่ดำเนินการ พ.ศ. 2560-2563



ภาพที่ 1.3-12 ค่าระเหยน้ำรายวันเฉลี่ยในแต่ละเดือน (มิลลิเมตรต่อวัน) ตลอด 4 ปี (พ.ศ. 2560-2563) จากสถานีอุตุนิยมวิทยาจังหวัดตราด (TRT) ชลบุรี (CBI) กาญจนบุรี (CPN) และประจวบคีรีขันธ์ (KPN)

ธาตุอาหารปาล์มน้ำมัน ผลผลิตปาล์มน้ำมันและวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ของการผลิตปาล์มน้ำมันภาคตะวันออกและตะวันตก

การเก็บตัวอย่างดินและใบเพื่อวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพและเคมี และปริมาณธาตุอาหารในดินและธาตุอาหารในใบปาล์มน้ำมัน สำหรับให้คำแนะนำแก่เกษตรกรในการจัดการธาตุอาหารปาล์มน้ำมัน เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตปาล์มน้ำมัน ซึ่งส่งผลต่อประสิทธิภาพการใช้น้ำหรือรอยเท้าน้ำของการผลิตปาล์มน้ำมันโดยปริยาย และช่วยให้เกษตรกรสามารถผลิตปาล์มน้ำมันได้อย่างยั่งยืน เนื่องจากเป็นการใช้ทรัพยากรน้ำที่มีอย่างจำกัดและเป็นการลดต้นทุนการผลิต จากการใช้ปุ๋ยหรือธาตุอาหารอย่างมีประสิทธิภาพตามผลวิเคราะห์ดินและใบช่วยให้มีความสมดุลของธาตุอาหาร อย่างไรก็ตามพบว่า เกษตรกรหลายรายมีปัญหาด้านเงินทุน-ความตั้งใจจริงในการจัดการธาตุอาหารปาล์มน้ำมัน ส่งผลให้ปริมาณผลผลิตของเกษตรกรหลายรายต่ำกว่าที่ควรจะเป็น และจากการสัมภาษณ์เกษตรกรในการจัดการธาตุไนโตรเจนที่เกษตรกรให้แก่ปาล์มน้ำมันเพื่อวิเคราะห์ Grey Water Footprint ทำให้ทราบข้อมูลการจัดการธาตุอาหารชนิดอื่นเพิ่มด้วย

ตราด ปี 2562 เกษตรกร 22 รายในอำเภอบ่อไร่และเมืองตราดมีการใส่ปุ๋ยไนโตรเจน ฟอสฟอรัส โพแทสเซียม แมกนีเซียมและโบรอน ร้อยละ 82 64 77 59 และ 59 ของจำนวนเกษตรกรตามลำดับ และปริมาณที่ใส่มีทั้งน้อยและมากเกินไปเมื่อเทียบกับความต้องการของปาล์มน้ำมัน โดยเฉพาะแมกนีเซียมและโบรอน เกษตรกรไม่ใส่ถึงร้อยละ 41 ของจำนวนเกษตรกร ตามลำดับ ส่งผลให้ปาล์มน้ำมันให้ผลผลิตน้อย เนื่องจากได้รับปริมาณธาตุอาหารไม่เหมาะสม ต้นทุนการผลิตในบางรายมีค่าสูงเกินความจำเป็น และส่งผลต่อความสมดุลของธาตุอาหารด้วย (ตารางที่ 1.3-3)

ชลบุรี ปี 2562 เกษตรกร 20 รายในอำเภอหนองใหญ่มีการใส่ปุ๋ยไนโตรเจน ฟอสฟอรัส โพแทสเซียม แมกนีเซียมและโบรอน ร้อยละ 45 45 65 0 และ 20 ของจำนวนเกษตรกร ตามลำดับ และปริมาณที่ใส่มีทั้งน้อยไปและมากไปเมื่อเทียบกับความต้องการของปาล์มน้ำมัน โดยเฉพาะแมกนีเซียมเกษตรกรไม่ใส่เลย และโบรอนเกษตรกรไม่ใส่ถึงร้อยละ 80 ของจำนวนเกษตรกร ส่งผลให้ปาล์มน้ำมันให้ผลผลิตน้อย เนื่องจากได้รับปริมาณธาตุอาหารไม่เหมาะสม ต้นทุนการผลิตมีค่าสูง และส่งผลต่อความสมดุลของธาตุอาหาร (ตารางที่ 1.3-3)

กาญจนบุรี ปี 2562 เกษตรกร 21 รายในอำเภอทองผาภูมิมีการใส่ปุ๋ยไนโตรเจน ฟอสฟอรัส โพแทสเซียม แมกนีเซียมและโบรอนเพียงร้อยละ 38 24 33 0 และ 5 ของจำนวนเกษตรกร ตามลำดับ และ

ปริมาณที่ใส่มีทั้งน้อยไปและมากไปเมื่อเทียบกับความต้องการของปาล์มน้ำมัน โดยเฉพาะแมกนีเซียมเกษตรกรไม่ใส่เลย และโบรอนเกษตรกรไม่ใส่ถึงร้อยละ 95 ของจำนวนเกษตรกร ส่งผลให้การผลิตปาล์มน้ำมันเป็นไปไม่สมบูรณ์ เนื่องจากได้รับธาตุอาหารไม่เหมาะสม ต้นทุนการผลิตในบางรายมีค่าสูง และส่งผลต่อความสมดุลของธาตุอาหารด้วย (ตารางที่ 1.3-3)

ประจวบคีรีขันธ์ ปี 2562 เกษตรกร 28 รายในอำเภอบางสะพานและบางสะพานน้อยใส่ปุ๋ยไนโตรเจน ฟอสฟอรัส โพแทสเซียม แมกนีเซียมและโบรอนเพียงร้อยละ 79 57 82 25 และ 36 ของจำนวนเกษตรกร ตามลำดับ และปริมาณที่ใส่มีปริมาณน้อยกว่าความต้องการของปาล์มน้ำมัน โดยเฉพาะแมกนีเซียม และโบรอน เกษตรกรไม่ใส่ถึงร้อยละ 75 และ 64 ของจำนวนเกษตรกร ตามลำดับ ส่งผลต่อผลผลิตปาล์ม เนื่องจากได้รับธาตุอาหารไม่เหมาะสม ต้นทุนการผลิตในบางรายมีค่าสูง และส่งผลต่อความสมดุลของธาตุอาหารด้วย (ตารางที่ 1.3-3)

ตารางที่ 1.3-3 ปริมาณเนื้อปุ๋ยไนโตรเจน ฟอสฟอรัส โพแทสเซียม แมกนีเซียมและโบรอน (กรัมต่อต้นต่อปี) ของเกษตรกรที่ใส่ปาล์มน้ำมัน 4 ช่วงอายุ (1-4 5-8 9-12 และมากกว่า 12 ปี) 91 แปลง ใน 4 จังหวัด ภาคตะวันออกและตะวันตก ปี 2562

ตะวันออก-ตะวันตก/ เนื้อปุ๋ยที่เกษตรกรใส่	**จำนวนเกษตรกร (ราย) ในแต่ละช่วงอายุปาล์มน้ำมัน**				**รวมทุกอายุ**
	1-4 ปี	**5-8 ปี**	**9-12 ปี**	**>12 ปี**	
ตราด (TRT)	**2**	**11**	**7**	**2**	**22**
N (กรัม)	300 (1)	260-960 (3)	340-630	473-714	0-960
P (กรัม)	140 (1)	60-920 (6)	258 (1)	302-560	1-920
K (กรัม)	360 (1)	210-2400 (4)	792-1800	1350-1890	0-2400
Mg (กรัม)	405 (1)	270-405 (8)	-	-	0-405
B (กรัม)	33 (1)	14.3-33 (6)	-	14.3-22	0-33
ชลบุรี (CBI)	**4**	**5**	**5**	**6**	**20**
N (กรัม)	-	330-780 (1)	420-560 (3)	305-780 (3)	0-780
P (กรัม)	-	225-1320 (1)	200-280 (3)	225-1322 (3)	0-1322
K (กรัม)	-	825-2850	600-1400 (2)	825-2400 (1)	0-2850
Mg (กรัม)	-	-	-	-	-
B (กรัม)	-	14.3 (4)	-	3.63-7.26 (3)	3.63-14.3
กาญจนบุรี (KRI)	**5**	**9**	**2**	**5**	**21**
N (กรัม)	420-1275 (2)	480-915 (7)	357-1275	693 (4)	0-1275
P (กรัม)	500 (3)	225 (8)	500 (1)	231 (4)	0-500
K (กรัม)	1200-3000 (2)	225 (8)	1020-3000	1155 (4)	0-3000
Mg (กรัม)	-	-	-	-	-
B (กรัม)	7.26(4)	-	-	-	0-7.26
ประจวบคีรีขันธ์ (PKN)	**4**	**2**	**11**	**11**	**28**
N (กรัม)	330-780 (2)	1260 (1)	420-2100 (2)	420-2100 (1)	0-2100
P (กรัม)	60-150 (2)	400 (1)	300-1840 (4)	120-1840 (5)	0-1840
K (กรัม)	150-600 (1)	1800-3600	1050-6000 (2)	660-6000 (2)	0-6000

ตะวันออก-ตะวันตก/ เนื้อปุ๋ยที่เกษตรกรใส่	จำนวนเกษตรกร (ราย) ในแต่ละช่วงอายุปาล์มน้ำมัน				รวมทุกอายุ
	1-4 ปี	5-8 ปี	9-12 ปี	>12 ปี	
Mg (กรัม)	200 (3)	670 (1)	270-800 (8)	800-1000 (9)	0-1000
B (กรัม)	-	7.26 (1)	3.63-11 (5)	3.3-22 (8)	0-22

ผลผลิตปาล์มน้ำมัน มีความแตกต่างในแต่ละพื้นที่ และส่วนใหญ่เป็นผลสืบเนื่องมาจากการจัดการของเกษตรกร และช่วงอายุของปาล์มน้ำมัน โดยช่วงอายุที่ให้ผลผลิตสูงคือ ช่วงอายุ 9-12 ปี รองลงมาคือ ช่วงอายุปาล์มน้ำมัน 5-8 ปี และช่วงอายุมากกว่า 12 ปี ผลผลิตส่วนใหญ่คอนข้างลดลง ทั้งนี้สืบเนื่องจากสภาพอากาศโดยเฉพาะปริมาณน้ำฝนที่ลดลงอย่างมาก รวมถึงการจัดการของเกษตรกรที่ส่งผลต่อผลผลิตปาล์มน้ำมันร่วมกัน (ตารางที่ 1.3-4)

ตารางที่ 1.3-4 ผลผลิตเฉลี่ยปาล์มน้ำมัน (ตันต่อไร่ต่อปี) 4 ช่วงอายุ (1-4 ปี 5-8 ปี 9-12 ปี และมากกว่า 12 ปี) 8 จังหวัดภาคตะวันออกและตะวันตก ในปี 2560-2563 ที่ผ่านมา

ช่วงอายุ	ผลผลิตปาล์มน้ำมัน (ตันต่อไร่ต่อปี)			
	ปีที่ 1 (2560)	ปีที่ 2 (2561)	ปีที่ 3 (2562)	ปีที่ 4 (2563)
ตราด				
1-4 ปี	1.05			
5-8 ปี	3.54±1.29	2.32±1.04	2.68±1.59	4.11
9-12 ปี	2.28±0.83	3.77±1.71	3.79±1.73	4.04±0.71
มากกว่า 12 ปี	2.50±1.13	3.56±1.61	3.57±0.97	2.53±0.87
ชลบุรี				
1-4 ปี				
5-8 ปี	3.48±1.82	3.51±1.70	3.36	
9-12 ปี	3.07±0.54	3.31±0.41	5.04±1.04	2.85±1.02
มากกว่า 12 ปี	1.95±0.73	3.51±0.78	2.66±0.72	2.88±1.99
กาญจนบุรี				
1-4 ปี		1.94		
5-8 ปี	5.41	2.35	1.68	
9-12 ปี	1.95±0.77	2.83±1.14	2.94±1.60	2.04±0.99
มากกว่า 12 ปี	3.06	2.44±0.14	2.19	1.90±0.62
ประจวบคีรีขันธ์				
1-4 ปี				
5-8 ปี	2.98	3.69	4.16	
9-12 ปี	2.67±0.76	4.22±0.67	5.91±2.69	4.42±2.66
มากกว่า 12 ปี	4.22±1.61	3.97±1.55	4.03±1.18	2.79±0.58

การวิเคราะห์วอเตอร์ฟุตพริ้นท์ จากผลวิเคราะห์ Blue WF Green WF และ Grey WF ของการผลิตปาล์มน้ำมันแต่ละช่วงอายุ และเสนอในรูปผลรวมของวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ (Total WF) และเฉลี่ยตลอดระยะเวลา 3

ปี พบว่า วอเตอร์ฟุตพริ้นท์ของการผลิตปาล์มน้ำมัน 4 จังหวัดภาคตะวันออกและตะวันตกตลอดช่วงอายุ 25 ปีมีค่า 625-979 ลูกบาศก์เมตรต่อตันทะลายปาล์มน้ำมัน ซึ่งต่ำกว่ารายงานของ Suttayakul และคณะ (2016) ที่ศึกษาวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ของการผลิตปาล์มน้ำมันภาคใต้และภาคตะวันออกตลอดช่วงอายุ 25 ปี มีค่า 1,063 ลูกบาศก์เมตรต่อตันทะลายปาล์มน้ำมัน และหากเกษตรกรใช้พันธุ์ปาล์มน้ำมันลูกผสมสุราษฎร์ธานี 7 วอเตอร์ฟุตพริ้นท์ของการผลิตปาล์มน้ำมันลดลงเหลือ 888 ลูกบาศก์เมตรต่อตันทะลายปาล์มน้ำมัน และจากการศึกษาวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ของการผลิตปาล์มน้ำมันทางตอนกลางของเกาะกาลิมันตัน โดย Safitri และคณะ (2018) พบว่าวอเตอร์ฟุตพริ้นท์มีค่า 560-1,140 ลูกบาศก์เมตรต่อตันทะลายปาล์มน้ำมัน ขึ้นกับสภาพดิน สภาพภูมิอากาศ โดยเฉพาะปริมาณฝนและการกระจายตัว และสามารถจำแนกเป็นภาพรายจังหวัดได้ดังนี้

อำเภอบ่อไร่ จังหวัดตราด วอเตอร์ฟุตพริ้นท์ของการผลิตปาล์มน้ำมันเฉลี่ยตลอดระยะเวลา 4 ปี ของปาล์มน้ำมันช่วงอายุ 1-4 5-8 9-12 และ 12 ปีขึ้นไป มีค่า 2,114 1,048 786 และ 747 ลูกบาศก์เมตรต่อตันทะลาย ตามลำดับ และเมื่อนำค่าวอเตอร์ฟุตพริ้นท์แต่ละช่วงอายุมาถ่วงน้ำหนัก และเฉลี่ยตลอดอายุการผลิตปาล์มน้ำมัน 25 ปี วอเตอร์ฟุตพริ้นท์ของการผลิตปาล์มน้ำมันของอำเภอบ่อไร่ จังหวัดตราด มีค่า 1,020 ลูกบาศก์เมตรต่อตันทะลาย (หากคิดเฉพาะช่วงอายุ 5-25 ปี วอเตอร์ฟุตพริ้นท์มีค่า 812 ลูกบาศก์เมตรต่อตันทะลาย) และวอเตอร์ฟุตพริ้นท์เฉลี่ยทั้ง 4 ช่วงอายุ ปีที่ 1 2 3 และ 4 มีค่า 1,265 940 848 และ 671 ลูกบาศก์เมตรต่อตันทะลาย ตามลำดับ (ตารางที่ 1.3-5)

อำเภอหนองใหญ่ จังหวัดชลบุรี วอเตอร์ฟุตพริ้นท์ของการผลิตปาล์มน้ำมันเฉลี่ยตลอดระยะเวลา 4 ปี ของปาล์มน้ำมันช่วงอายุ 5-8 9-12 และ 12 ปีขึ้นไป มีค่า 999 843 และ 1,106 ลูกบาศก์เมตรต่อตันทะลาย ตามลำดับ และเมื่อนำค่าวอเตอร์ฟุตพริ้นท์แต่ละช่วงอายุมาถ่วงน้ำหนัก และเฉลี่ยตลอดอายุการผลิตปาล์มน้ำมัน 5-25 ปี วอเตอร์ฟุตพริ้นท์ของการผลิตปาล์มน้ำมันของอำเภอหนองใหญ่ จังหวัดชลบุรี มีค่า 1,036 ลูกบาศก์เมตรต่อตันทะลาย โดยวอเตอร์ฟุตพริ้นท์เฉลี่ยทั้ง 4 ช่วงอายุ ปีที่ 1 2 3 และ 4 มีค่า 1,082 899 838 และ 1,168 ลูกบาศก์เมตรต่อตันทะลาย ตามลำดับ (ตารางที่ 1.3-5)

อำเภอทองผาภูมิ จังหวัดกาญจนบุรี วอเตอร์ฟุตพริ้นท์ของการผลิตปาล์มน้ำมันเฉลี่ยตลอดระยะเวลา 4 ปี ของปาล์มน้ำมันช่วงอายุ 1-4 5-8 9-12 และ 12 ปีขึ้นไป มีค่า 1,186 904 1,139 และ 1,014 ลูกบาศก์เมตรต่อตันทะลาย ตามลำดับ และเมื่อนำค่าวอเตอร์ฟุตพริ้นท์แต่ละช่วงอายุมาถ่วงน้ำหนัก และเฉลี่ยตลอดอายุการผลิตปาล์มน้ำมัน 25 ปี วอเตอร์ฟุตพริ้นท์ของการผลิตปาล์มน้ำมันของอำเภอบ่อไร่ จังหวัดตราด มีค่า 1,044 ลูกบาศก์เมตรต่อตันทะลาย (หากคิดเฉพาะช่วงอายุ 5-25 ปี วอเตอร์ฟุตพริ้นท์มีค่า 1,017 ลูกบาศก์เมตรต่อตันทะลาย) และวอเตอร์ฟุตพริ้นท์เฉลี่ยทั้ง 4 ช่วงอายุ ปีที่ 1 2 3 และ 4 มีค่า 916 937 1,147 และ 1,286 ลูกบาศก์เมตรต่อตันทะลาย ตามลำดับ (ตารางที่ 1.3-5)

อำเภอบางสะพานน้อย จังหวัดประจวบคีรีขันธ์ วอเตอร์ฟุตพริ้นท์ของการผลิตปาล์มน้ำมันเฉลี่ยตลอดระยะเวลา 4 ปี ของปาล์มน้ำมันช่วงอายุ 5-8 9-12 และ 12 ปีขึ้นไป มีค่า 1,679 692 และ 841 ลูกบาศก์เมตรต่อตันทะลาย ตามลำดับ และเมื่อนำค่าวอเตอร์ฟุตพริ้นท์แต่ละช่วงอายุมาถ่วงน้ำหนัก และเฉลี่ยตลอดอายุการผลิตปาล์มน้ำมัน 5-25 ปี วอเตอร์ฟุตพริ้นท์ของการผลิตปาล์มน้ำมันของอำเภอหนองใหญ่ จังหวัดชลบุรี มีค่า 972 ลูกบาศก์เมตรต่อตันทะลาย โดยวอเตอร์ฟุตพริ้นท์เฉลี่ยทั้ง 4 ช่วงอายุ ปีที่ 1 2 3 และ 4 มีค่า 1,335 1,222 614 และ 829 ลูกบาศก์เมตรต่อตันทะลาย ตามลำดับ (ตารางที่ 1.3-5)

ตารางที่ 1.3-5 วอเตอร์ฟุตพริ้นท์ของการผลิตปาล์มน้ำมัน ปีที่ 1-4 จำแนกตามอายุ 4 ช่วงอายุ (1-4 5-8 9-12 และมากกว่า 12 ปี) ใน 4 จังหวัดภาคตะวันออกและตะวันตก ปี 2560-2563 ที่ผ่านมา

ช่วงอายุ	วอเตอร์ฟุตพริ้นท์ของการผลิตปาล์มน้ำมัน (ลูกบาศก์เมตรต่อตันทะลาย)						
	ปีที่ 1	ปีที่ 2	ปีที่ 3	ปีที่ 4	เฉลี่ย 4 ปี	ปีแต่ละช่วง	แต่ละช่วงอายุ
ตราด							
1-4 ปี	2113.7				2113.7	4	8454.9
5-8 ปี	1174.4	1284.2	1203.6	529.8	1048.0	4	4191.9
9-12 ปี	1178.9	736.5	681.6	547.1	786.0	4	3144.1
>12 ปี	593.2	798.2	660.3	936.3	747.0	13	9711.2
เฉลี่ย	1265.1	939.7	848.5	671.1	931.1	(811.8)	1020.1
ชลบุรี							
1-4 ปี						4	
5-8 ปี	1159.4	1011.6	827.6		999.5	4	3998.2
9-12 ปี	868.1	858.3	569.0	1076.9	843.1	4	3372.3
>12 ปี	1219.5	827.0	1118.7	1259.8	1106.2	13	14381.2
เฉลี่ย	1082.3	899.0	838.5	1168.3	997.0		1035.8
กาญจนบุรี							
1-4 ปี		1185.8			1185.8	4	4743.4
5-8 ปี	676.7	668.8	1367.3		904.2	4	3617.0
9-12 ปี	1292.9	951.4	1026.7	1284.8	1139.0	4	4555.9
>12 ปี	778.6	942.2	1047.0	1286.6	1013.6	13	13177.0
เฉลี่ย	916.1	937.1	1147.0	1285.7	1071.5	(1,016.7)	1043.7
ประจวบคีรีขันธ์							
1-4 ปี						4	
5-8 ปี	2172.49	2233.62	631.9		1679.3	4	6717.4
9-12 ปี	916.12	631.59	496.1	726.1	692.5	4	2769.9
> 12 ปี	917.10	801.16	713.2	931.7	840.8	13	10930.2
เฉลี่ย	1335.2	1222.1	613.7	828.9	1000.0		972.3

การวิเคราะห์วอเตอร์ฟุตพริ้นท์ของการผลิตปาล์มน้ำมันภาคตะวันออกเฉียงเหนือ

1) พิกัดแปลงของสวนปาล์มน้ำมันที่ศึกษา ลักษณะสัณฐานวิทยาของชุดดิน และผลวิเคราะห์ดิน-ใบปาล์มน้ำมัน

1.1) พิกัดแปลงสวนปาล์มน้ำมันที่ศึกษา

ผลการคัดเลือกสวนปาล์มน้ำมันที่ศึกษา ใช้ข้อมูลเนื้อที่ให้ผลผลิตปาล์มน้ำมันของสำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร (2558) โดยคัดเลือกจำนวน 6 จังหวัด (อำเภอ) ดังนี้ หนองคาย (โพนพิสัย) บึงกาฬ (เซกา) อุดรธานี (บ้านดุง) สกลนคร (บ้านม่วง) เลย (เชียงคาน) และอุบลราชธานี (นาจะหลวย) (ตารางที่ 1.4-1) โดยหลักเกณฑ์

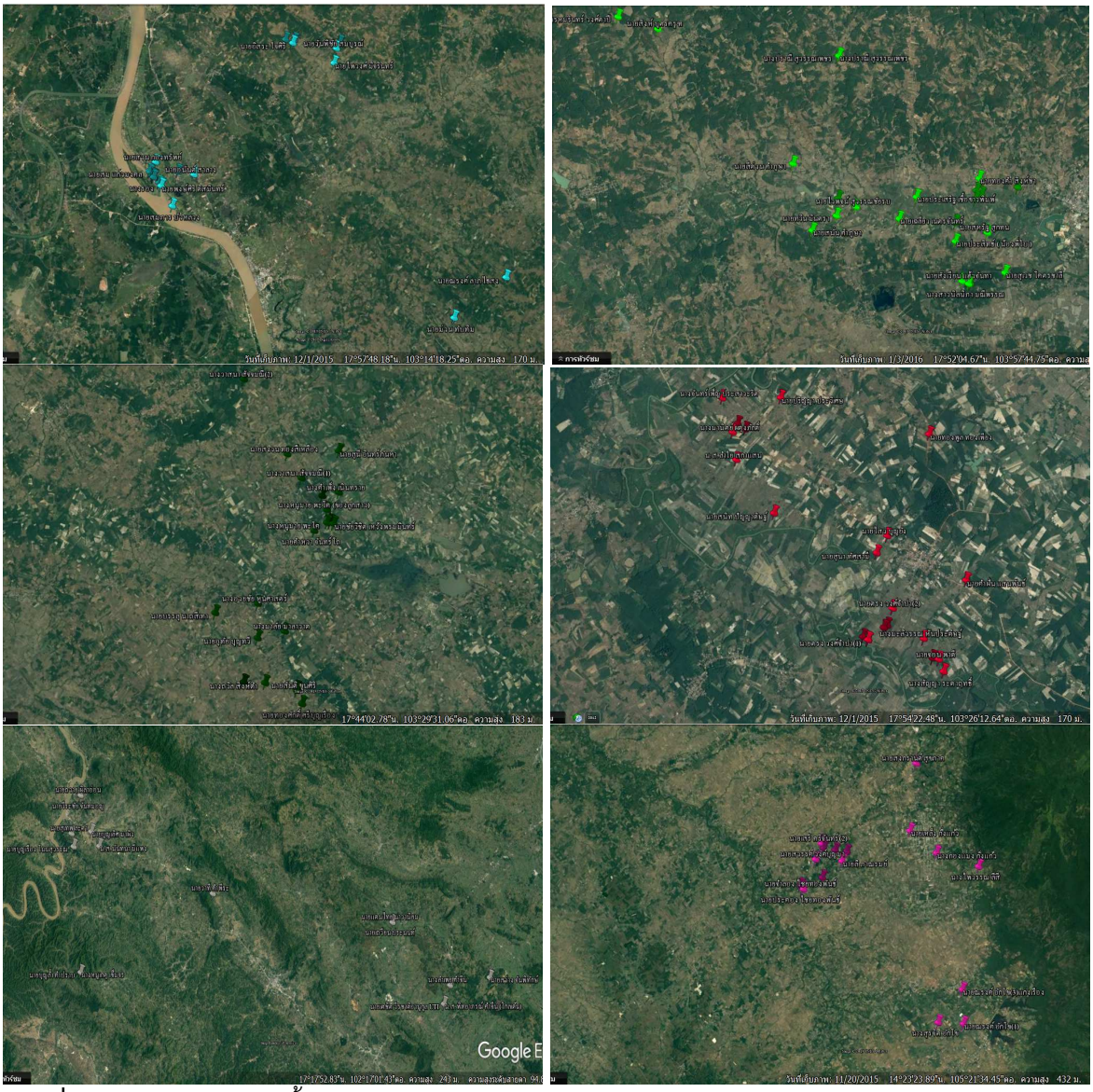
การคัดเลือกอำเภอ เป็นอำเภอที่มีพื้นที่ปลูกปาล์มน้ำมันมากที่สุดในจังหวัดนั้น และส่งพิกัดสวนปาล์ม (ภาพที่ 1.4-1) ไปจำแนกความเหมาะสมของพื้นที่ปลูกปาล์มตามเกณฑ์จำแนกของกรมพัฒนาที่ดิน (ตารางที่ 1.4-2)

ตารางที่ 1.4-1 เนื้อที่ให้ผลผลิตปาล์มน้ำมัน (ไร่) ปี 2559 และ 2562 และแปลงเกษตรกรที่เก็บข้อมูล (ราย) เขตภาคตะวันออกเฉียงเหนือ

จังหวัด	***เนื้อที่ให้ผลผลิต (ไร่)***		**แปลงเกษตรกร (ราย)**
	2559	**2562**	
หนองคาย	14,443	18,734	24
บึงกาฬ	14,597	24,819	25
อุดรธานี	20,499	24,749	21
สกลนคร	16,004	20,295	17
เลย	11,241	18,696	20
อุบลราชธานี	13,176	18,384	23
รวมแปลงเกษตรกร (ราย)			130

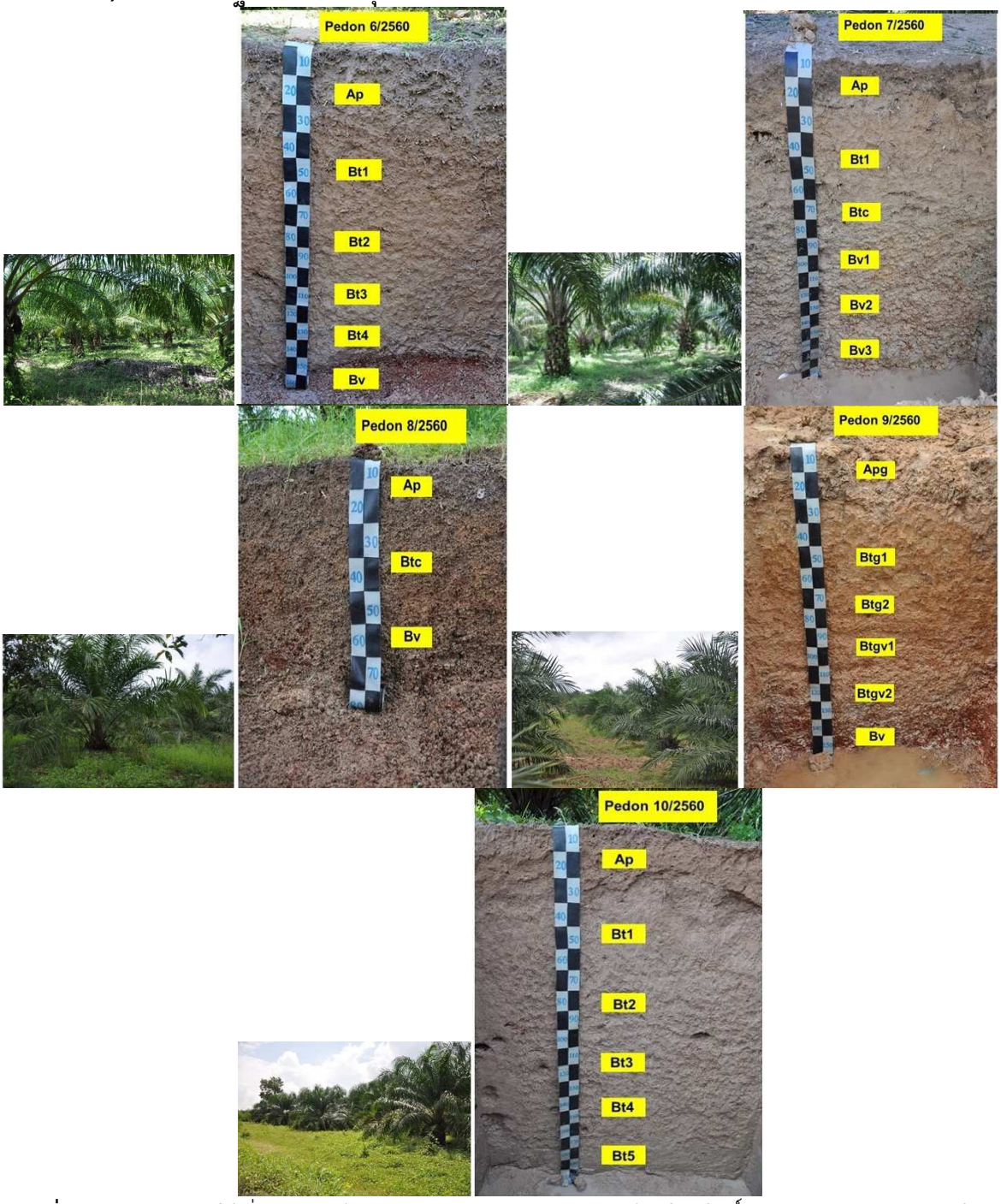
ตารางที่ 1.4-2 สวนปาล์มน้ำมันแต่ละช่วงอายุ และจำแนกตามความเหมาะสมของพื้นที่ปลูกปาล์มน้ำมันของกรมพัฒนาที่ดิน 130 แปลงในจังหวัดหนองคาย (NKI) บึงกาฬ (BKN) อุดรธานี (UDN) สกลนคร (SNK) เลย (LEI) และอุบลราชธานี (UBN)

จังหวัดภาคตะวันออกเฉียงเหนือ	**ความเหมาะสมของพื้นที่ปลูกปาล์มน้ำมัน**	**ช่วงอายุปาล์มน้ำมัน (ปี)**				**รวม**
		0-4 ปี	**5-8 ปี**	**9-12 ปี**	**>12 ปี**	
หนองคาย	เหมาะสมมาก					**-**
	เหมาะสมน้อย-ปานกลาง	0	18	6	0	**24**
บึงกาฬ	เหมาะสมมาก	-	-	-	-	**-**
	เหมาะสมน้อย-ปานกลาง	2	14	8	1	**25**
อุดรธานี	เหมาะสมมาก					
	เหมาะสมน้อย-ปานกลาง	4	16	1	0	**21**
สกลนคร	เหมาะสมมาก					
	เหมาะสมน้อย-ปานกลาง	9	6	2-	0	**17**
เลย	เหมาะสมมาก					
	เหมาะสมน้อย-ปานกลาง	1	12	4	3	**20**
อุบลราชธานี	เหมาะสมมาก					
	เหมาะสมน้อย-ปานกลาง	5	6	11	1	**23**
รวม 6 จังหวัด	**เหมาะสมมาก**					
	เหมาะสมน้อย-ปานกลาง	**21**	**72**	**32**	**5**	**130**



ภาพที่ 1.4-1 พิกัดสวนปาล์มน้ำมันของเกษตรกรอำเภอโพนพิสัย จังหวัดหนองคาย อำเภอเซกา จังหวัดบึงกาฬ อำเภอบ้านดุง จังหวัดอุดรธานี และอำเภอบ้านม่วง จังหวัดสกลนคร อำเภอเชียงคาน ท่าลี่และเอราวัณ จังหวัดเลย และอำเภอนาจะหลวย จังหวัดอุบลราชธานี

1.2) ลักษณะสัณฐานวิทยาของชุดดิน

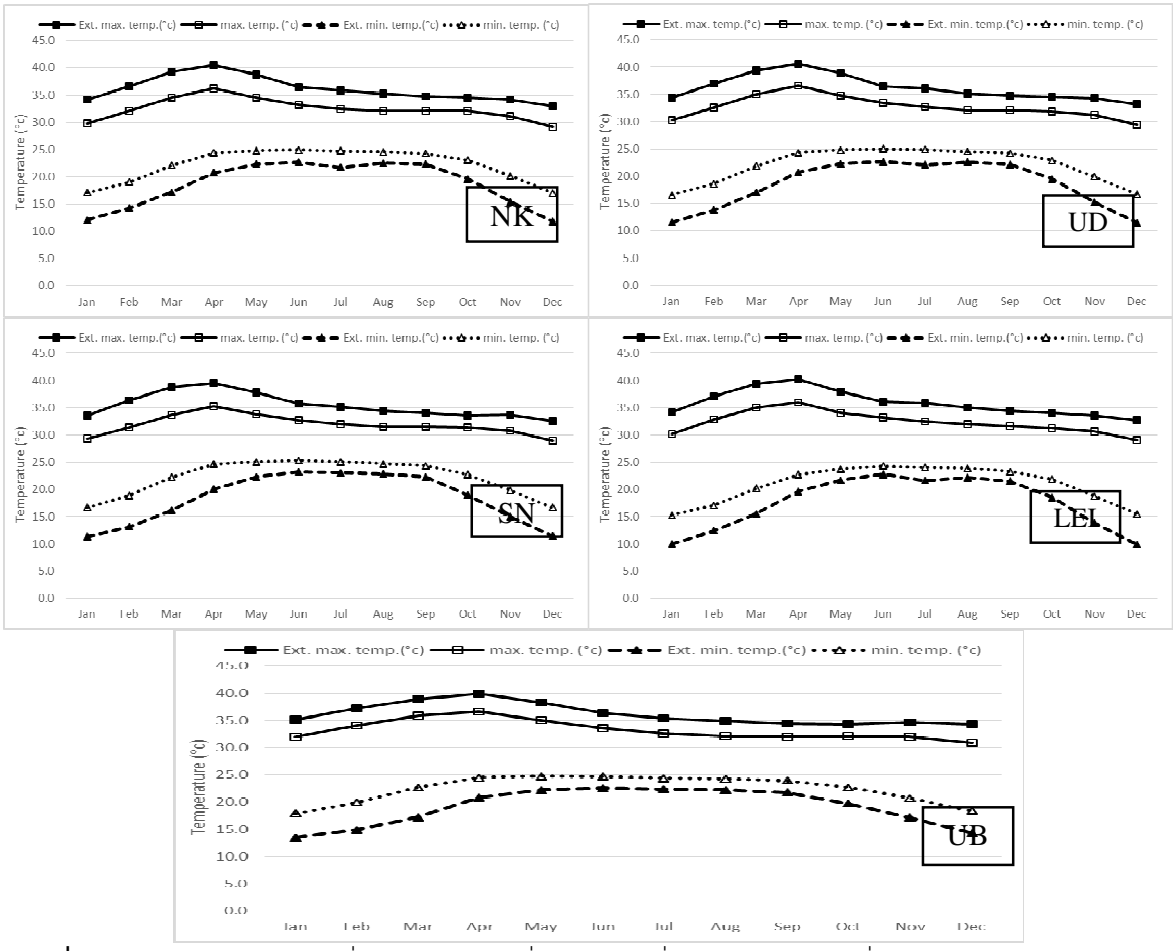


ภาพที่ 1.4-2 สภาพการใช้ที่ดินและหน้าตัดดินของดินพีดอน 6/2560 บ้านใหม่โพธิ์ชัย ตำบลนาหนัง อำเภอโพนพิสัย หนองคาย พิกัด 48Q 303757 1982810 พีดอน 7/2560 บ้านดอนอุดม ตำบลโนนสมบูรณ์ อำเภอเมือง บึงกาฬ พิกัด 48Q 357075 2023549 พีดอน 8/2560 บ้านเหล่าอุดม ตำบลบ้านจันทร์ อำเภอบ้านดุง อุดรธานี พิกัด 48Q 318801 1971290 พีดอน 9/2560 บ้านดงหม้อทอง ตำบลดงหม้อทองใต้ อำเภอบ้านม่วง สกลนคร พิกัด 48Q 335172 1984610 และพีดอน 10/2560 บ้านเหล่าอุดม ตำบลบ้านจันทร์ อำเภอบ้านดุง อุดรธานี พิกัด 48P 503990 1688774

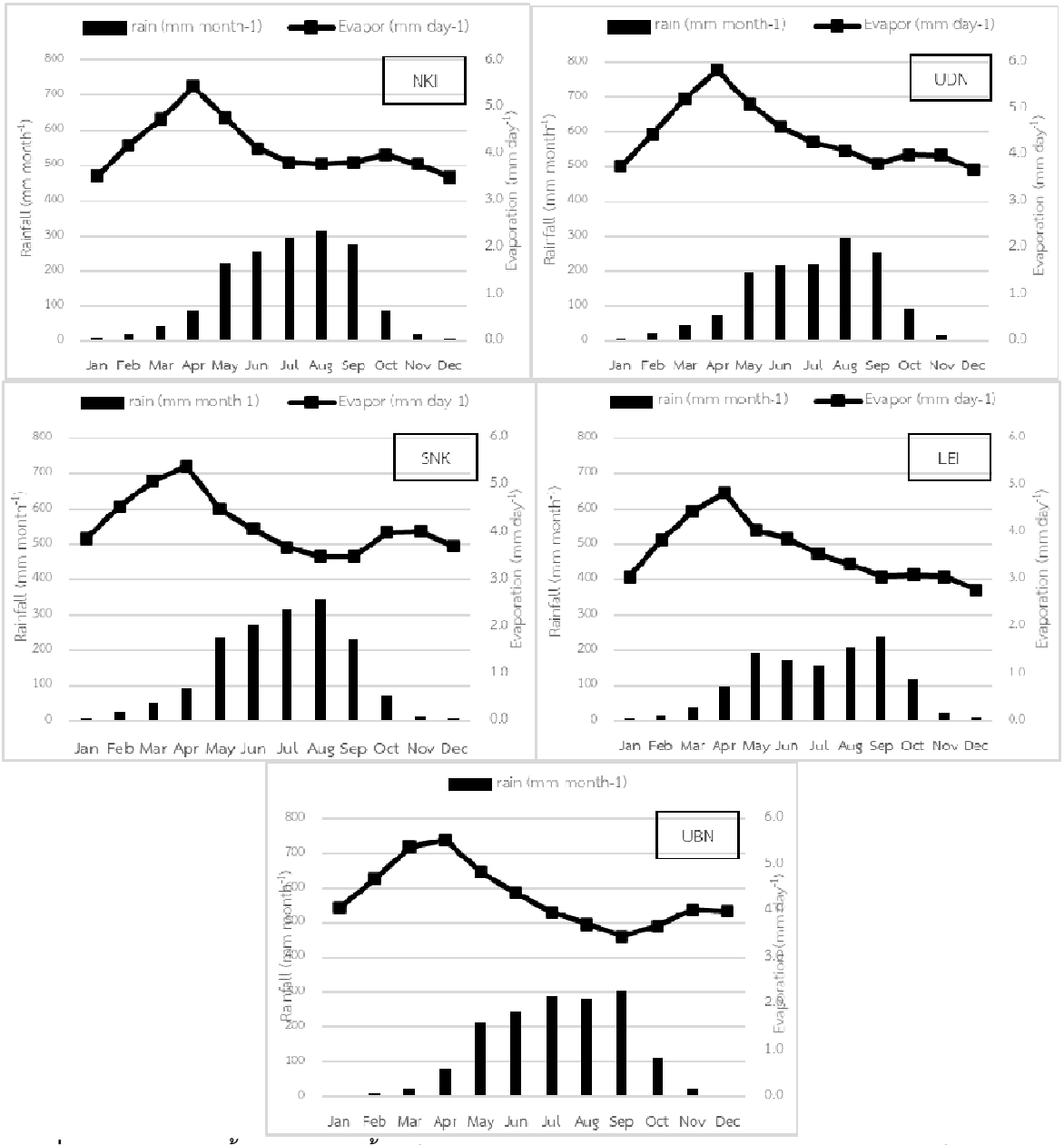
ลักษณะสภาพการใช้ที่ดินในสวนปาล์มน้ำมันของตัวแทนทั้ง 6 จังหวัด มีทั้งพื้นที่ราบ เนินลาดชันเล็กน้อย รวมถึงสภาพที่ลุ่ม และหน้าตัดของดินมีความแตกต่างกันในแต่ละชั้นของหน้าตัดดินทั้ง 5 pedon (ภาพที่ 1.4-2)

ข้อมูลอุตุนิยมวิทยา ปริมาณฝนใช้การ ความต้องการน้ำและความต้องการน้ำชลประทานของปาล์มน้ำมัน

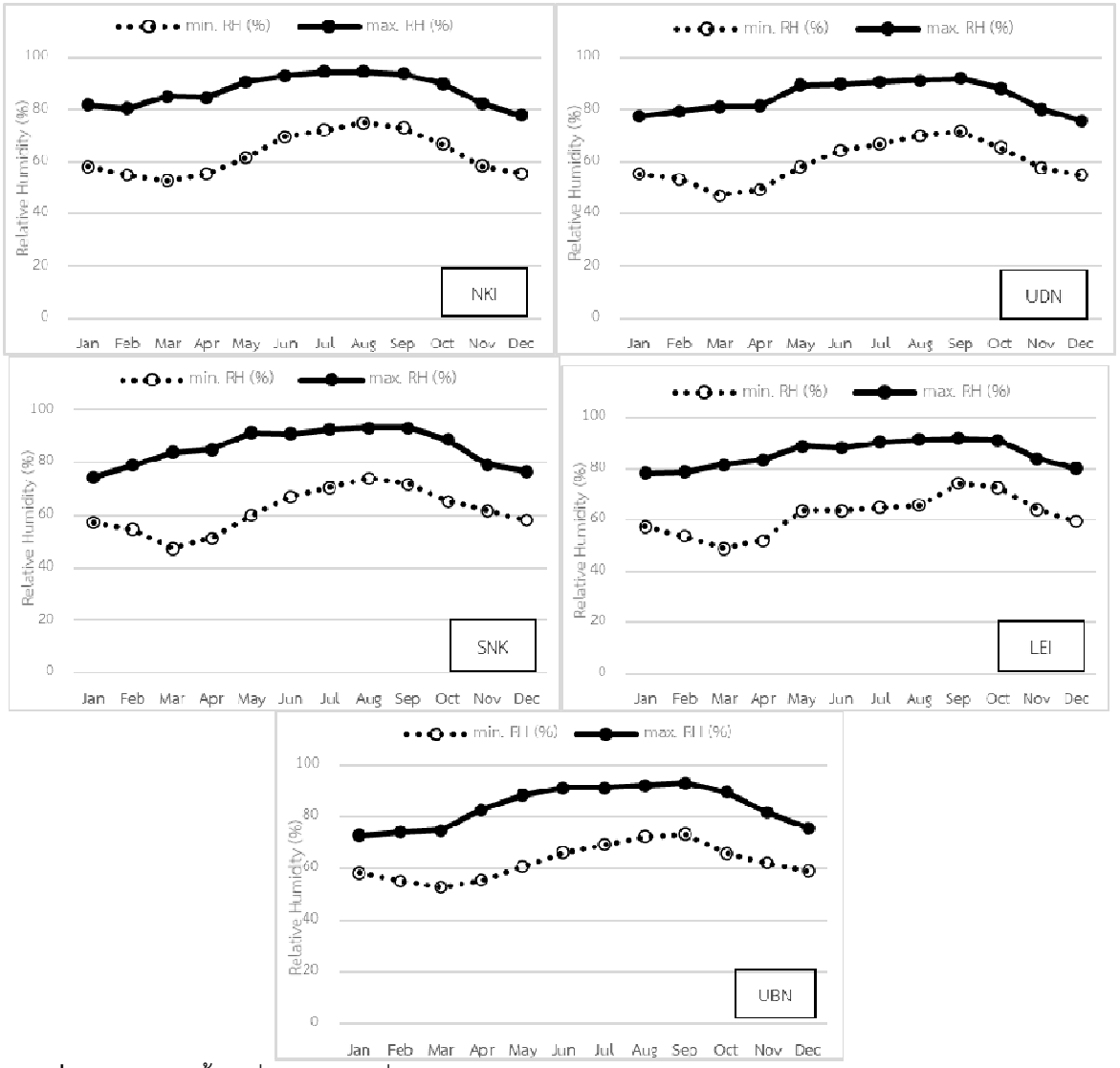
ข้อมูลอุตุนิยมวิทยา



ภาพที่ 1.4-3 อุณหภูมิสูงสุดและต่ำสุด อุณหภูมิเฉลี่ยสูงสุดและต่ำสุด ในรอบ 30 ปีที่ผ่านมา (พ.ศ.2530-2559) ของสถานีอุตุนิยมวิทยาในจังหวัดหนองคาย (NKI) อุดรธานี (UDN) สกลนคร (SNK) เลย (LEI) และอุบลราชธานี (UBN)



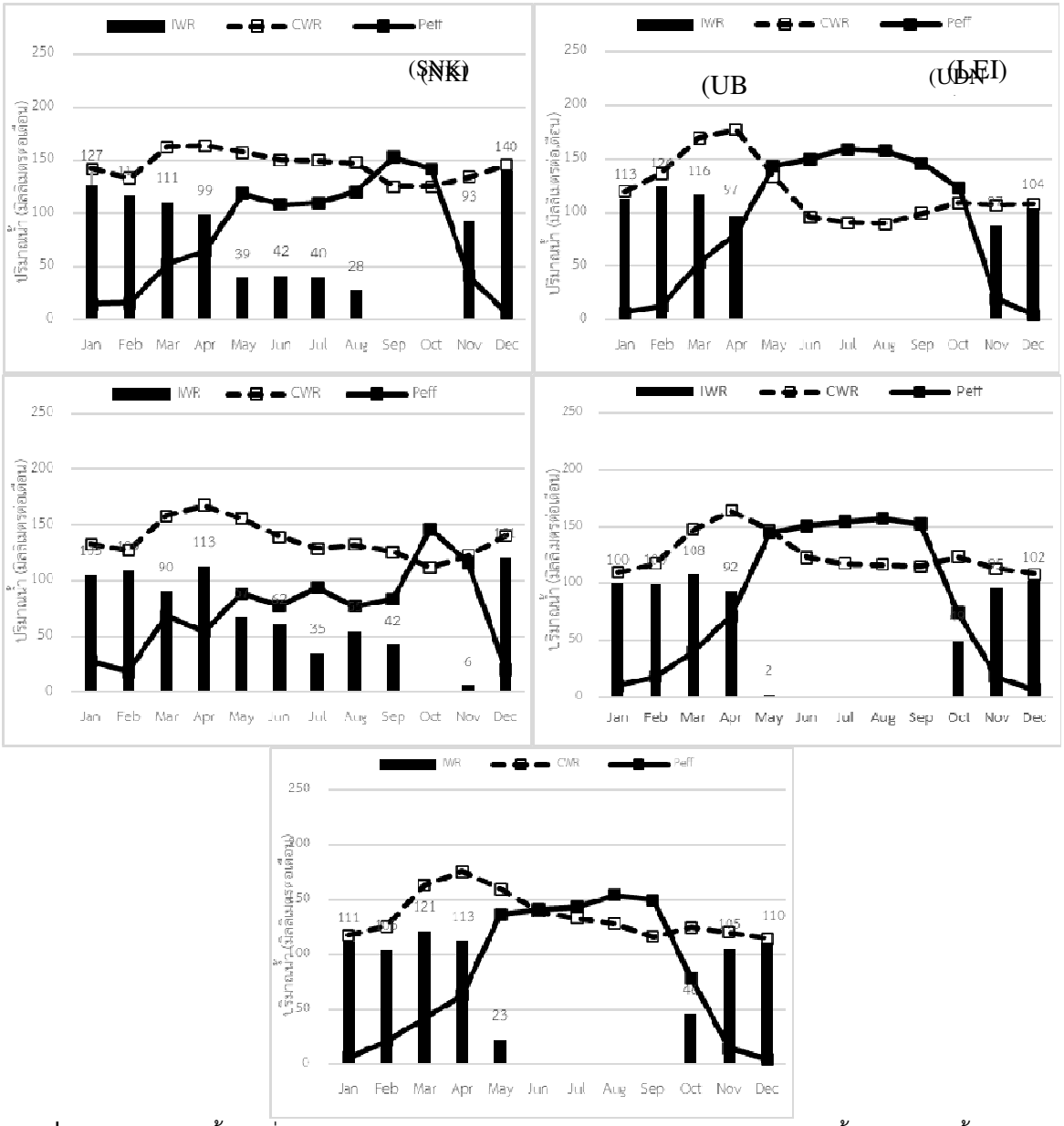
ภาพที่ 1.4-4 ค่าระเหยน้ำและปริมาณน้ำฝนในรอบ 30 ปี (พ.ศ.2530-2559) ของสถานีอุตุนิยมวิทยาในจังหวัดหนองคาย (NKI) อุดรธานี (UDN) สกลนคร (SNK) เลย (LEI) และ อุบลราชธานี (UBN)



ภาพที่ 1.4-5 ความชื้นเฉลี่ยสูงสุดและต่ำสุดในรอบ 30 ปี (พ.ศ.2530-2559) ของสถานีอุตุนิยมวิทยาในจังหวัดหนองคาย (NKI) อุดรธานี (UDN) สกลนคร (SNK) เลย (LEI) และอุบลราชธานี (UBN)

ปริมาณฝนใช้การ ความต้องการน้ำและความต้องการน้ำชลประทานของปาล์มน้ำมัน

นำค่าเฉลี่ยปริมาณน้ำฝน ค่าระเหยน้ำตลอด 30 ปี (ภาพที่ 3-5) และค่า Kc ของปาล์มน้ำมัน มาคำนวณปริมาณฝนใช้การ (Peff) ค่าความต้องการน้ำของปาล์มน้ำมัน (CWR) และค่าความต้องการน้ำชลประทาน หรือค่าการขาดน้ำของปาล์มน้ำมันใน 5 จังหวัดภาคตะวันออกเฉียงเหนือ พบว่า ค่าความต้องการน้ำของปาล์มน้ำมันในจังหวัดหนองคาย อุดรธานี สกลนคร เลย และอุบลราชธานี มีค่า 1,502.9, 1,620.6, 1,353.9 1,366.7 และ 1,700.3 มิลลิเมตรต่อปี ตามลำดับ ปริมาณฝนใช้การมีค่า 997.0, 957.6, 1,003.0, 926.1 และ 980.7 มิลลิเมตรต่อปี ตามลำดับ จึงส่งผลต่อค่าความต้องการน้ำชลประทานหรือค่าการขาดน้ำของปาล์มน้ำมัน โดยจังหวัดที่มีค่าการขาดน้ำสูงสุดคือ อุบลราชธานี (859 มิลลิเมตรต่อปี) อุดรธานี หนองคาย สกลนครและเลย มีค่าการขาดน้ำ 735 649 573 และ 524 มิลลิเมตรต่อปี ตามลำดับ (ภาพที่ 1.4-6)

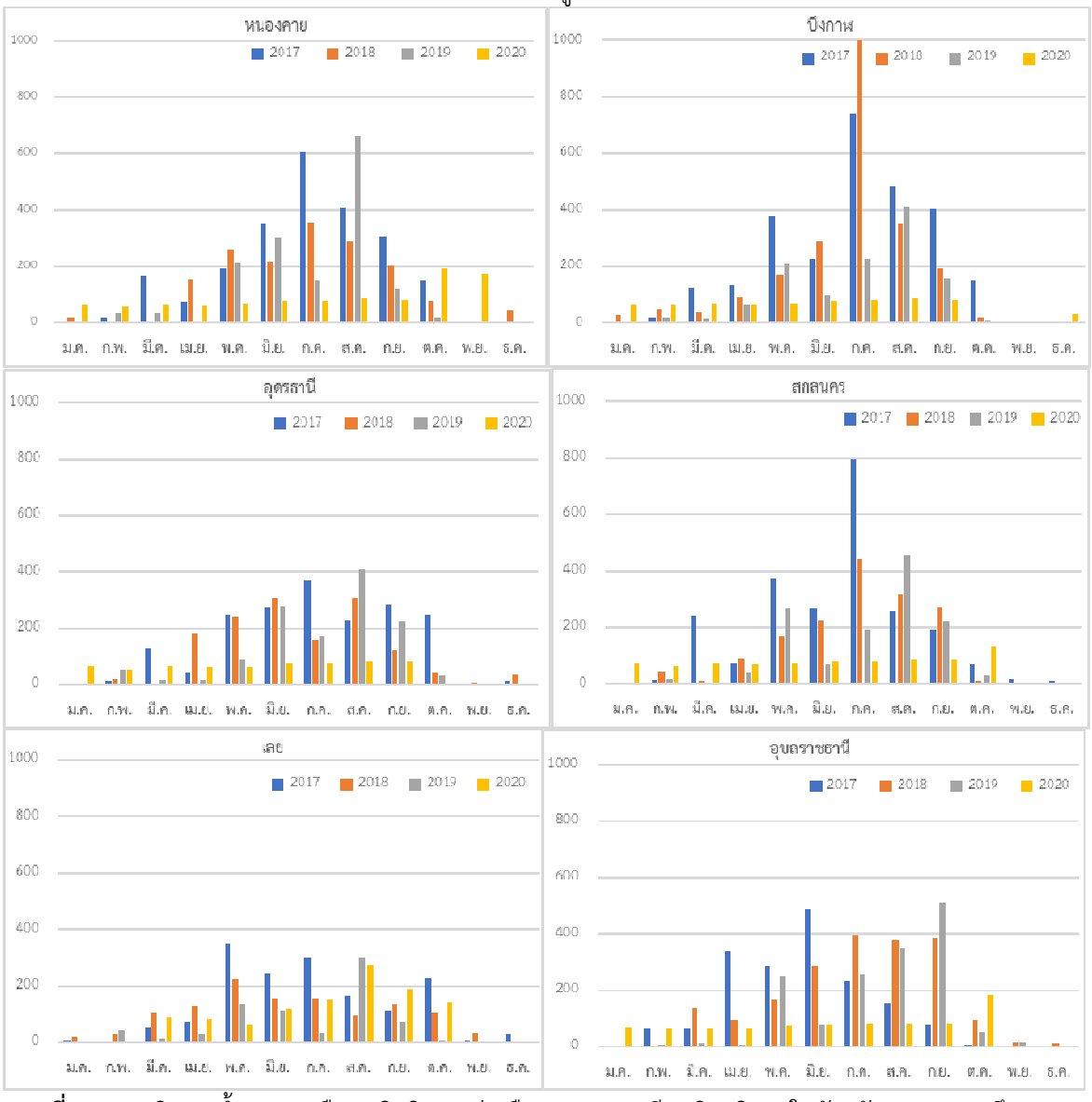


ภาพที่ 1.4-6 ปริมาณน้ำฝนที่ใช้การได้ (Precipitation efficiency; Peff.) ความต้องการน้ำของปาล์มน้ำมัน (Crop Water Requirement; CWR) และน้ำชลประทานที่ต้องเติมให้ปาล์มน้ำมัน (Irrigation Water Requirement; IWR) ในจังหวัดหนองคาย (NKI) อุดรธานี (UDN) สกลนคร (SNK) เลย (LEI) และอุบลราชธานี (UBN) โดยคำนวณจากข้อมูลน้ำฝนและค่าระเหยเฉลี่ย 30 ปี

ข้อมูลอุตุนิยมวิทยาตลอดระยะเวลาดำเนินการวิจัย 4 ปี (พ.ศ. 2560-2563)

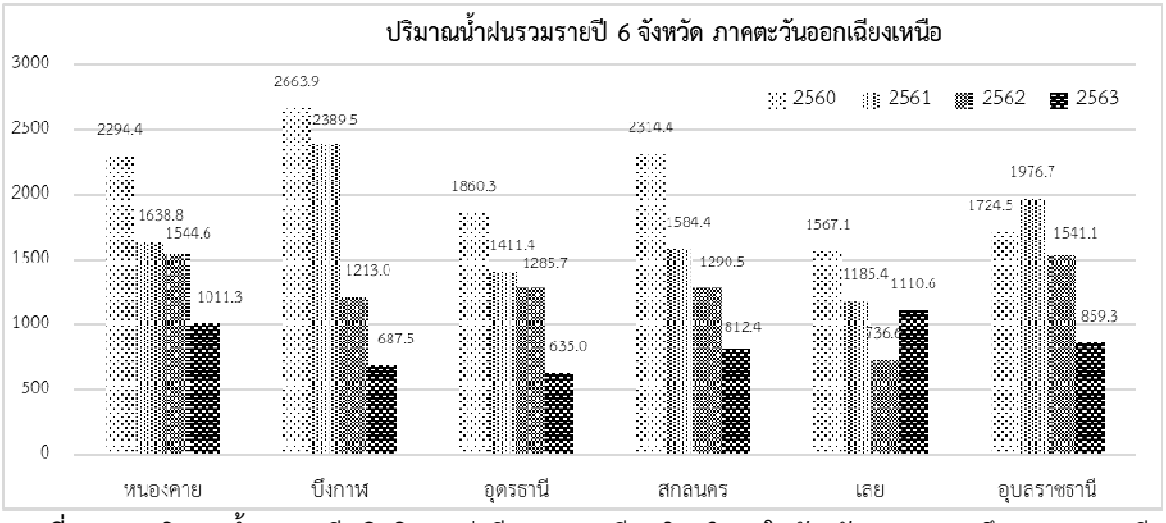
ปริมาณน้ำฝน ปริมาณน้ำฝนต่อเดือนมีค่าน้อยมากในช่วงเดือนมกราคม-เมษายน และตุลาคม-ธันวาคม (บางจังหวัดปริมาณน้ำฝนสูงในช่วงเดือนพฤศจิกายน) ภาพรวมของ 6 จังหวัดภาคตะวันออกเฉียงเหนือมีช่วงแล้งนานประมาณ 7 เดือน และปริมาณฝนเฉลี่ย 4 ปีของจังหวัดบึงกาฬ หนองคาย อุบลราชธานี สกลนคร อุดรธานี และเลย มีค่า 1738.5 1622.3 1525.4 1500.4 1298.1 และ 1149.9 มิลลิเมตรต่อปี ตามลำดับ ซึ่งปริมาณฝนดังกล่าวมีผลกระทบต่อประสิทธิภาพการใช้ธาตุอาหารของปาล์มน้ำมัน การเจริญเติบโตและการให้ผลผลิตปาล์ม

น้ำมันอย่างมาก และเป็นปัจจัยที่มีผลต่อวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ของการผลิตปาล์มน้ำมันในภาคตะวันออกเฉียงเหนือเป็นอย่างมาก เมื่อเปรียบเทียบกับภาคใต้ที่มีปริมาณน้ำฝนสูงกว่า (ภาพที่ 1.4-7)



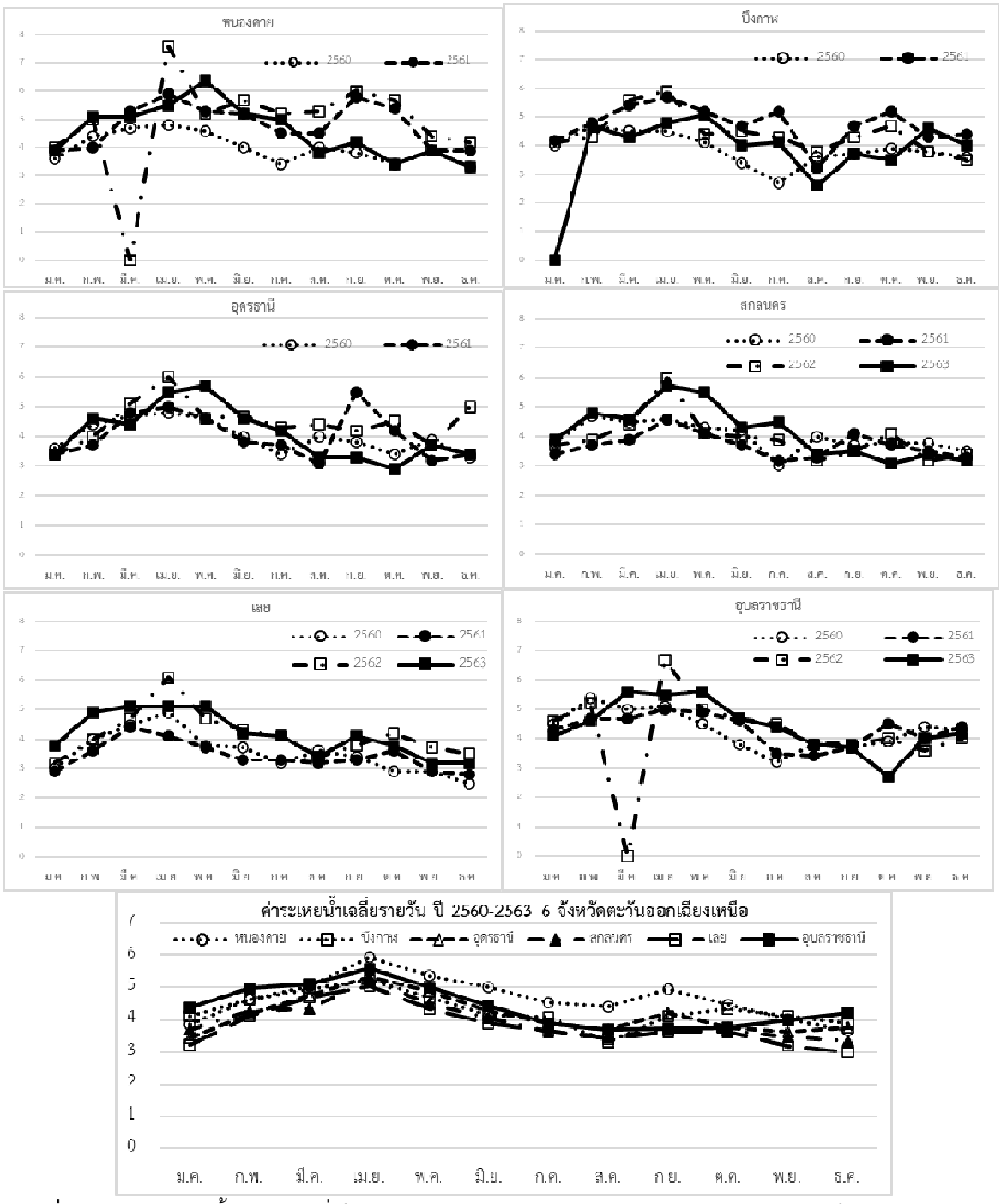
ภาพที่ 1.4-7 ปริมาณน้ำฝนรายเดือน (มิลลิเมตรต่อเดือน) จากสถานีอุตุนิยมวิทยาในจังหวัดหนองคาย บึงกาฬ อุดรธานี สกลนคร เลย และอุบลราชธานี ระหว่างปีที่ดำเนินการ พ.ศ. 2560 - 2563

เมื่อรวมปริมาณน้ำฝนรายปีตลอดระยะเวลาดำเนินการวิจัย ของ 6 จังหวัดภาคตะวันออกเฉียงเหนือ พบว่า ปริมาณน้ำฝนมีค่าลดลงตามลำดับจากปี 2560-2563 ยกเว้นจังหวัดเลยที่ปริมาณน้ำฝนปี 2563 มีค่าเพิ่มขึ้นจากปี 2562 จากแนวโน้มปริมาณน้ำฝนดังกล่าว สามารถคาดการณ์ได้ว่า จะส่งผลกระทบต่อการให้ผลผลิตปาล์มน้ำมันและวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ของการผลิตปาล์มน้ำมันในภาคตะวันออกเฉียงเหนือเป็นอย่างมากในปี 2563-2566 หากปริมาณน้ำฝนรวมในปีถัดไปยังคงสภาพเหมือนปี 2563 หรือมีปริมาณน้อยกว่าเดิม โดยเฉพาะจังหวัดบึงกาฬ อุดรธานี สกลนคร และอุบลราชธานี ซึ่งมีปริมาณน้ำฝนรวมในปี 2563 เพียง 687.5 635.0 812.4 และ 859.3 มิลลิเมตรต่อปี ตามลำดับ (ภาพที่ 1.4-8)



ภาพที่ 1.4-8 ปริมาณน้ำฝนรายปี (มิลลิเมตรต่อปี) จากสถานีอุตุนิยมวิทยาในจังหวัดหนองคาย บึงกาฬ อุดรธานี สกลนคร เลยและอุบลราชธานี ปีที่ดำเนินการ พ.ศ. 2560-2563

ค่าระเหยน้ำ จังหวัดหนองคายมีค่าระเหยน้ำเฉลี่ยตลอดปีสูงที่สุด 4.66 มิลลิเมตรต่อวัน รองลงมาคือจังหวัดอุบลราชธานี บึงกาฬ อุดรธานี สกลนครและเลยมีค่า 4.40 4.30 4.15 3.95 และ 3.82 มิลลิเมตรต่อวัน ตามลำดับ และภาพรวมของค่าระเหยน้ำรายเดือนตลอดทั้งปีพบว่า เดือนเมษายนมีค่าระเหยน้ำเฉลี่ยสูงสุด 5.39 มิลลิเมตรต่อวัน และเดือนธันวาคมมีค่าเฉลี่ยต่ำสุด 3.65 มิลลิเมตรต่อวัน แสดงให้เห็นถึงปริมาณแสงแดดรายเดือนรวมถึงอุณหภูมิโดยรอบทรงพุ่มที่มีค่าสูง ส่งผลให้ดินมีการระเหยน้ำเพิ่มมากขึ้น (ภาพที่ 9) และเมื่อเฉลี่ยค่าระเหยน้ำตลอด 4 ปี ในรอบปี พบว่า จังหวัดหนองคายมีค่าระเหยน้ำสูงกว่าจังหวัดอื่นอย่างชัดเจน และมีค่าสูงถึง 5.95 มิลลิเมตรต่อวันในเดือนเมษายน ซึ่งเป็นช่วงที่อากาศร้อนจัดมาก เช่นเดียวกับจังหวัดอุบลราชธานี อุดรธานี บึงกาฬ สกลนคร และเลยที่มีค่าระเหยน้ำสูง 5.57 5.32 5.22 5.22 และ 5.05 มิลลิเมตรต่อวัน ตามลำดับ จากนั้นค่าระเหยน้ำจะเริ่มลดลงตามปริมาณน้ำฝนที่เพิ่มขึ้น และเริ่มมีค่าเพิ่มสูงขึ้นอีกครั้งในเดือนกันยายนและตุลาคมตามปริมาณน้ำฝนที่เริ่มทิ้งช่วงในแต่ละจังหวัด (ภาพที่ 1.4-9)



ภาพที่ 1.4-9 ค่าระเหยน้ำรายวันเฉลี่ยในแต่ละเดือน (มิลลิเมตรต่อวัน) จากสถานีอุตุนิยมวิทยาในจังหวัดหนองคาย บึงกาฬ อุดรธานี สกลนคร เลยและอุบลราชธานี ระหว่างปี พ.ศ. 2559-2562 และค่าระเหยน้ำรายวันเฉลี่ยแต่ละเดือน (มิลลิเมตรต่อวัน) ตลอด 4 ปี (พ.ศ. 2559-2562)

ธาตุอาหารปาล์มน้ำมัน ผลผลิตปาล์มน้ำมันและวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ของการผลิตปาล์มน้ำมันภาคตะวันออกเฉียงเหนือ

การเก็บตัวอย่างดินและใบเพื่อวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพและเคมี และปริมาณธาตุอาหารในดินและธาตุอาหารในใบปาล์มน้ำมัน สำหรับให้คำแนะนำแก่เกษตรกรในการจัดการธาตุอาหารปาล์มน้ำมัน เพื่อเพิ่ม

ประสิทธิภาพการผลิตปาล์มน้ำมัน ซึ่งส่งผลต่อประสิทธิภาพการใช้น้ำหรือรอยเท้าน้ำของการผลิตปาล์มน้ำมันโดยปริยาย และช่วยให้เกษตรกรสามารถผลิตปาล์มน้ำมันได้อย่างยั่งยืน เนื่องจากเป็นการใช้ทรัพยากรน้ำที่มีอย่างจำกัดและเป็นการลดต้นทุนการผลิต จากการใช้ปุ๋ยหรือธาตุอาหารอย่างมีประสิทธิภาพตามผลวิเคราะห์ดินและใบช่วยให้มีความสมดุลของธาตุอาหาร อย่างไรก็ตามพบว่า เกษตรกรหลายรายมีปัญหาด้านเงินทุน-ความตั้งใจจริงในการจัดการธาตุอาหารปาล์มน้ำมัน ส่งผลให้ปริมาณผลผลิตของเกษตรกรหลายรายต่ำกว่าที่ควรจะเป็น และจากการสัมภาษณ์เกษตรกรในการจัดการธาตุไนโตรเจนที่เกษตรกรให้แก่ปาล์มน้ำมันเพื่อวิเคราะห์ Grey Water Footprint ทำให้ทราบข้อมูลการจัดการธาตุอาหารชนิดอื่นเพิ่มด้วย

หนองคาย ปี 2562 เกษตรกร 24 รายในอำเภอโพนพิสัยมีการใส่ปุ๋ยไนโตรเจน ฟอสฟอรัส โพแทสเซียม แมกนีเซียมและโบรอนเพียงร้อยละ 75 63 75 42 และ 62 ของจำนวนเกษตรกร ตามลำดับ และปริมาณที่ใส่มีทั้งน้อยไปและมากไปเมื่อเปรียบเทียบกับความต้องการของปาล์มน้ำมัน โดยเฉพาะแมกนีเซียม โบรอน และฟอสฟอรัส เกษตรกรไม่ใส่ถึงร้อยละ 58 38 และ 37 ของจำนวนเกษตรกร ตามลำดับ ส่งผลให้ปาล์มน้ำมันให้ผลผลิตน้อย เนื่องจากได้รับปริมาณธาตุอาหารไม่เหมาะสม ต้นทุนการผลิตในบางรายมีค่าสูงโดยไม่ได้รับประโยชน์จากผลผลิตปาล์มน้ำมัน และส่งผลต่อความสมดุลของธาตุอาหารด้วย (ตารางที่ 1.4-3)

บึงกาฬ ปี 2562 เกษตรกร 25 รายในอำเภอเซกามีการใส่ปุ๋ยไนโตรเจน ฟอสฟอรัส โพแทสเซียม แมกนีเซียมและโบรอนเพียงร้อยละ 64 56 52 8 และ 40 ของจำนวนเกษตรกร ตามลำดับ และปริมาณที่ใส่มีทั้งน้อยไปและมากไปเมื่อเปรียบเทียบกับความต้องการของปาล์มน้ำมัน โดยเฉพาะแมกนีเซียม โบรอนและโพแทสเซียม เกษตรกรไม่ใส่ถึงร้อยละ 92 60 และ 48 ของจำนวนเกษตรกร ตามลำดับ ส่งผลให้ปาล์มน้ำมันให้ผลผลิตน้อย เนื่องจากได้รับปริมาณธาตุอาหารไม่เหมาะสม ต้นทุนการผลิตในบางรายมีค่าสูงโดยไม่ได้รับประโยชน์จากผลผลิตปาล์มน้ำมัน และส่งผลต่อความสมดุลของธาตุอาหารด้วย (ตารางที่ 1.4-3)

อุดรธานี ปี 2562 เกษตรกร 21 รายในอำเภอบ้านดุงมีการใส่ปุ๋ยไนโตรเจน ฟอสฟอรัส โพแทสเซียม แมกนีเซียมและโบรอนเพียงร้อยละ 67 38 81 10 และ 57 ของจำนวนเกษตรกร ตามลำดับ และปริมาณที่ใส่มีทั้งน้อยไปและมากไปเมื่อเปรียบเทียบกับความต้องการของปาล์มน้ำมัน โดยเฉพาะแมกนีเซียม ฟอสฟอรัสและโบรอน เกษตรกรไม่ใส่ถึงร้อยละ 90 62 และ 43 ของจำนวนเกษตรกร ตามลำดับ ส่งผลให้ปาล์มน้ำมันให้ผลผลิตน้อย เนื่องจากได้รับปริมาณธาตุอาหารไม่เหมาะสม ต้นทุนการผลิตในบางรายมีค่าสูงโดยไม่ได้รับประโยชน์จากผลผลิตปาล์มน้ำมัน และส่งผลต่อความสมดุลของธาตุอาหารด้วย (ตารางที่ 1.4-3)

สกลนคร ปี 2562 เกษตรกร 17 รายในอำเภอบ้านม่วงมีการใส่ปุ๋ยไนโตรเจน ฟอสฟอรัส โพแทสเซียม แมกนีเซียมและโบรอนเพียงร้อยละ 47 53 53 6 และ 29 ของจำนวนเกษตรกร ตามลำดับ และปริมาณที่ใส่มีปริมาณน้อยกว่าความต้องการของปาล์มน้ำมัน โดยเฉพาะแมกนีเซียม โบรอนและไนโตรเจน เกษตรกรไม่ใส่ถึงร้อยละ 94 71 และ 53 ของจำนวนเกษตรกร ตามลำดับ ส่งผลให้ปาล์มน้ำมันให้ผลผลิตน้อย เนื่องจากได้รับปริมาณธาตุอาหารไม่เหมาะสม ต้นทุนการผลิตในบางรายมีค่าสูงโดยไม่ได้รับประโยชน์จากผลผลิตปาล์มน้ำมัน และส่งผลต่อความสมดุลของธาตุอาหารด้วย (ตารางที่ 1.4-3)

เลย ปี 2562 เกษตรกร 24 รายในอำเภอเชียงคาน ท่าลี่และเอราวัณ มีการใส่ปุ๋ยไนโตรเจน ฟอสฟอรัส โพแทสเซียม แมกนีเซียมและโบรอนเพียงร้อยละ 54 46 58 4 และ 17 ของจำนวนเกษตรกร ตามลำดับ และปริมาณที่ใส่มีทั้งน้อยไปและมากไปเมื่อเปรียบเทียบกับความต้องการของปาล์มน้ำมัน โดยเฉพาะแมกนีเซียม โบรอนและฟอสฟอรัส เกษตรกรไม่ใส่ถึงร้อยละ 96 83 และ 54 ของจำนวนเกษตรกร ตามลำดับ ส่งผลให้ปาล์มน้ำมันให้ผลผลิตน้อย เนื่องจากได้รับปริมาณธาตุอาหารไม่เหมาะสม ต้นทุนการผลิตในบางรายมีค่าสูงโดยไม่ได้รับประโยชน์จากผลผลิตปาล์มน้ำมัน และส่งผลต่อความสมดุลของธาตุอาหารด้วย (ตารางที่ 1.4-3)

อุบลราชธานี ปี 2562 เกษตรกร 27 รายในอำเภอนาจะหลวย มีการใส่ปุ๋ยไนโตรเจน ฟอสฟอรัส โพแทสเซียม แมกนีเซียมและโบรอนเพียงร้อยละ 85 81 85 7 และ 59 ของจำนวนเกษตรกร ตามลำดับ และปริมาณที่ใส่มีทั้งน้อยไปและมากไปเมื่อเปรียบเทียบกับความต้องการของปาล์มน้ำมัน โดยเฉพาะแมกนีเซียม และโบรอน เกษตรกรไม่ใส่ถึงร้อยละ 93 และ 41 ของจำนวนเกษตรกร ตามลำดับ ส่งผลให้ปาล์มน้ำมันให้ผลผลิตน้อย เนื่องจากได้รับปริมาณธาตุอาหารไม่เหมาะสม ต้นทุนการผลิตในบางรายมีค่าสูงโดยไม่ได้รับประโยชน์จากผลผลิตปาล์มน้ำมัน และส่งผลต่อความสมดุลของธาตุอาหารด้วย (ตารางที่ 1.4-3)

ตารางที่ 1.4-3 ปริมาณเนื้อปุ๋ยไนโตรเจน ฟอสฟอรัส โพแทสเซียม แมกนีเซียมและโบรอน (กรัมต่อต้นต่อปี) ของเกษตรกรที่ใส่ปาล์มน้ำมัน 4 ช่วงอายุ (1-4 5-8 9-12 และมากกว่า 12 ปี) 142 แปลง ใน 6 จังหวัดภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ปี 2562

เนื้อปุ๋ยที่เกษตรกรใส่ (กรัม/ต้น/ปี)	จำนวนเกษตรกร (ราย) ในแต่ละช่วงอายุปาล์มน้ำมัน				รวมทุกอายุ
	1-4 ปี	5-8 ปี	9-12 ปี	>12 ปี	
หนองคาย NKI	**0**	**18**	**6**	**0**	**24**
ไนโตรเจน; N	-	235-1720 (6)	75-910	-	0-1720
ฟอสฟอรัส; P	-	45-1160 (8)	75-800 (1)	-	0-1160
โพแทสเซียม; K	-	300-5800 (6)	975-2400	-	0-5800
แมกนีเซียม; Mg	-	135-540 (14)	-	-	0-540
โบรอน; B	-	11-72.6 (6)	7.26-66 (3)	-	0-72.6
บึงกาฬ BKN	**2**	**14**	**8**	**1**	**25**
ไนโตรเจน; N	920 (1)	290-1950 (7)	210-1380	-	0-1950
ฟอสฟอรัส; P	-	0.12-2300 (8)	15-1485	-	0-2300
โพแทสเซียม; K	600 (1)	80-3000 (7)	240-1350 (3)	-	0-3000
แมกนีเซียม; Mg	-	135 (12)	-	-	0-135
โบรอน; B	3.63 (1)	3.63-44 (7)	22-73 (6)	-	0-73
อุดรธานี UDN	**4**	**16**	**1**	**0**	**21**
ไนโตรเจน; N	135-630 (2)	210-1340 (5)	630	-	0-1340
ฟอสฟอรัส; P	105-120 (2)	15-460 (10)	-	-	0-460
โพแทสเซียม; K	160-3000 (1)	405-3000 (3)	1800	-	0-3000
แมกนีเซียม; Mg	-	135 (14)	-	-	0-135
โบรอน; B	11-36.3 (2)	3.63-181.5 (7)	3.63	-	0-181.5
สกลนคร SNK	**9**	**6**	**2**	**-**	**17**
ไนโตรเจน; N	183-630 (6)	348-600 (3)	0.1-240	-	0-630
ฟอสฟอรัส; P	45-105 (5)	138-460 (3)	0.2-241	-	0-460
โพแทสเซียม; K	45-1200 (5)	360-1200 (3)	378-1200	-	0-1200
แมกนีเซียม; Mg	135 (8)	-	-	-	0-135
โบรอน; B	3.63 (8)	22 (4)	03.63-11	-	0-22
เลย LEI	**2**	**15**	**4**	**3**	**24**
ไนโตรเจน; N	900 (1)	90-3660 (5)	1380 (3)	1260 (2)	0-3660
ฟอสฟอรัส; P	350 (1)	3.13-1500 (5)	-	-	0-1500
โพแทสเซียม; K	1750 (1)	225-4500 (5)	300-1800 (2)	3600 (2)	0-4500

เนื้อปุ๋ยที่เกษตรกรใส่ (กรัม/ต้น/ปี)	จำนวนเกษตรกร (ราย) ในแต่ละช่วงอายุปาล์มน้ำมัน				รวมทุกอายุ
	1-4 ปี	5-8 ปี	9-12 ปี	>12 ปี	
แมกนีเซียม; Mg	-	135 (14)	-	-	0-135
โบรอน; B	11 (1)	11 (13)	-	3.63 (2)	0-11
อุบลราชธานี UBN	6	8	12	1	27
ไนโตรเจน; N	61-1680	360-735	375-1680 (4)	574	0-1680
ฟอสฟอรัส; P	20-1125	105-690	97-375 (5)	390	0-1125
โพแทสเซียม; K	320-4512	450-2010	750-4512 (4)	1290	0-4512
แมกนีเซียม; Mg	-	-	250 (11)	-	0-250
โบรอน; B	11-80 (3)	0.7-30 (2)	22-100 (6)	7.26	0-100

หมายเหตุ : ตัวเลขใน () หมายถึง จำนวนเกษตรกรที่ไม่ใส่ปุ๋ยชนิดนั้นจากจำนวนเกษตรกรในแต่ละช่วงอายุของปาล์มน้ำมัน

ผลผลิตปาล์มน้ำมัน มีความแตกต่างในแต่ละพื้นที่ และส่วนใหญ่เป็นผลจากความไม่เหมาะสมของพื้นที่ โดยเฉพาะปริมาณน้ำฝน ร่วมกับสมบัติทางเคมีของดินและการจัดการของเกษตรกร ร่วมกับช่วงอายุของปาล์มน้ำมัน โดยช่วงอายุที่ให้ผลผลิตสูงคือ อายุ 9-12 ปี รองลงมาคือ อายุปาล์มน้ำมัน 5-8 ปี และอายุมากกว่า 12 ปี ผลผลิตส่วนใหญ่ค่อนข้างลดลง ทั้งนี้สืบเนื่องจากสภาพอากาศ โดยเฉพาะปริมาณน้ำฝนที่มีปริมาณลดลงตลอดช่วงเวลาที่ดำเนินงานวิจัยร่วมกับการจัดการของเกษตรกร (ตารางที่ 1.4-4)

ตารางที่ 1.4-4 ผลผลิตเฉลี่ยปาล์มน้ำมัน (ตันต่อไร่ต่อปี) 4 ช่วงอายุ (1-4 ปี 5-8 ปี 9-12 ปี และมากกว่า 12 ปี) 6 จังหวัดภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ปีงบประมาณ 2560-2563

ช่วงอายุ	ผลผลิตปาล์มน้ำมัน (ตันต่อไร่ต่อปี)			
	ปีที่ 1 (2560)	ปีที่ 2 (2561)	ปีที่ 3 (2562)	ปีที่ 4 (2563)
หนองคาย				
1-4 ปี	2.75±0.08	2.21	-	
5-8 ปี	4.21±2.25	2.82±0.90	2.67	2.44±0.13
9-12 ปี	4.08±1.14	3.58±1.25	2.76±0.73	2.86±1.57
มากกว่า 12 ปี	5.64±0.75	3.58±1.88	3.28±1.67	3.36±1.14
บึงกาฬ				
1-4 ปี	1.87±1.95	0.42		
5-8 ปี	2.10±0.93	3.24±1.17	2.21±1.20	2.04±0.89
9-12 ปี	2.63±0.89	3.27±1.96	2.08±0.91	2.01±0.99
มากกว่า 12 ปี	3.07±1.32	3.13±1.28	1.73	2.58±1.43
อุดรธานี				
1-4 ปี		0.83		
5-8 ปี	1.44±0.83	1.46±1.10	1.49±0.66	0.92±0.21
9-12 ปี		1.41±0.72	2.34±1.54	2.05±1.04
มากกว่า 12 ปี				
สกลนคร				
1-4 ปี	0.59	1.7		
5-8 ปี	1.49±0.59	2.43±1.47	1.95±1.20	1.23±0.66
9-12 ปี	2.31±0.79	2.37±1.61	2.80±0.99	1.06±0.44

ช่วงอายุ	ผลผลิตปาล์มน้ำมัน (ตันต่อไร่ต่อปี)			
	ปีที่ 1 (2560)	ปีที่ 2 (2561)	ปีที่ 3 (2562)	ปีที่ 4 (2563)
มากกว่า 12 ปี				
เลย				
1-4 ปี	0.90			
5-8 ปี	1.87±0.99	2.51±1.22	2.42±1.77	1.42±0.99
9-12 ปี	3.45±2.59	2.76±0.87	1.79±0.58	1.76±0.73
มากกว่า 12 ปี	2.43±0.48	2.06±0.56		
อุบลราชธานี				
1-4 ปี	1.87±1.95	0.42		
5-8 ปี	1.91±1.06	4.24±1.17	1.68±1.15	2.94±2.50
9-12 ปี	3.28±2.04	4.27±1.96	4.91±2.49	5.45±1.30
มากกว่า 12 ปี	3.39±1.16	3.25±1.35	3.18±0.95	3.41±1.50

การวิเคราะห์วอเตอร์ฟุตพริ้นท์ ผลวิเคราะห์กรีนวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ (Green WF) (ตารางที่ 1.4-5) บลูวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ (Blue WF) (ตารางที่ 1.4-6) และเกรย์วอเตอร์ฟุตพริ้นท์ (Grey WF) (ตารางที่ 1.4-7) ของการผลิตปาล์มน้ำมันแต่ละช่วงอายุ ตลอดระยะเวลา 4 ปี และผลรวมวอเตอร์ฟุตพริ้นท์เฉลี่ย (Total WF) พบว่า วอเตอร์ฟุตพริ้นท์ของการผลิตปาล์มน้ำมัน 6 จังหวัดภาคตะวันออกเฉียงเหนือตลอดช่วงอายุ 25 ปีมีค่า 739-2.187 ลูกบาศก์เมตรต่อตันทะลายปาล์มน้ำมัน (ตารางที่ 1.4-8) ซึ่งมีค่าทั้งต่ำกว่าและสูงกว่ารายงานของ Suttayakul และคณะ (2016) ที่ศึกษาวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ของการผลิตปาล์มน้ำมันภาคใต้และภาคตะวันออกตลอดช่วงอายุ 25 ปี มีค่า 1,063 ลูกบาศก์เมตรต่อตันทะลายปาล์มน้ำมัน และวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ของการผลิตปาล์มน้ำมันที่อำเภอโพนพิสัย จังหวัดหนองคาย มีค่าใกล้เคียงกับการใช้พันธุ์ปาล์มน้ำมันลูกผสมสุราษฎร์ธานี 7 ที่มีค่าวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ 888 ลูกบาศก์เมตรต่อตันทะลายปาล์มน้ำมัน และแต่เมื่อเปรียบเทียบกับวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ของการผลิตปาล์มน้ำมันทางตอนกลางเกาะกาลิมันตัน โดย Safitri และคณะ (2018) มีค่า 560-1,140 ลูกบาศก์เมตรต่อตันทะลายปาล์มน้ำมัน วอเตอร์ฟุตพริ้นท์ของการผลิตปาล์มน้ำมันในภาคตะวันออกเฉียงเหนือมีค่าสูงกว่า ทั้งนี้เนื่องจากปัจจัยของความเหมาะสมของพื้นที่ปลูก ขึ้นกับสภาพดิน สภาพภูมิอากาศ โดยเฉพาะปริมาณฝนและการกระจายตัว

ตารางที่ 1.4-5 กรีนวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ (Green Water Footprint) ของการผลิตปาล์มน้ำมัน ปีที่ 1-4 จำแนกตามช่วงอายุ 4 ช่วงอายุ (1-4 5-8 9-12 และมากกว่า 12 ปี) ใน 6 จังหวัดภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ในปี 2560-2563

ช่วงอายุ	กรีนวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ของการผลิตปาล์มน้ำมัน (ลูกบาศก์เมตรต่อตันทะลาย)				
	ปีที่ 1	ปีที่ 2	ปีที่ 3	ปีที่ 4	เฉลี่ย 4 ปี
หนองคาย					
1-4 ปี	580.10	721.80			**650.95**
5-8 ปี	378.90	565.70	597.50	653.80	**548.98**
9-12 ปี	391.00	445.61	578.00	557.80	**493.10**
> 12 ปี	282.85	445.61	486.37	474.79	**422.40**

เฉลี่ย	**408.21**	**544.68**	**553.96**	**562.13**	**528.86**
บึงกาฬ					
1-4 ปี	853.10	3,798.29			**2,325.70**
5-8 ปี	759.66	492.37	721.85	782.00	**688.97**
9-12 ปี	606.57	487.85	766.96	793.67	**663.77**
> 12 ปี	519.64	509.68	922.13	618.33	**642.44**
เฉลี่ย	**684.74**	**1,322.05**	**803.65**	**731.33**	**1,080.22**
อุดรธานี					
1-4 ปี		1,846.06			**1,846.06**
5-8 ปี	1,064.05	1,049.47	1,028.34	1,665.46	**1,201.83**
9-12 ปี		1,086.69	654.80	747.43	**829.64**
>12 ปี					
เฉลี่ย	**1,064.05**	**1,327.40**	**841.57**	**1,206.45**	**1,292.51**
สกลนคร					
1-4 ปี	2,719.96	943.98			**1,831.97**
5-8 ปี	1,077.03	660.40	822.96	1,304.69	**966.27**
9-12 ปี	694.71	677.12	573.13	1,513.94	**864.72**
> 12 ปี					
เฉลี่ย	**1,497.23**	**760.50**	**698.05**	**1,409.32**	**1,220.99**
เลย					
1-4 ปี	1,646.36				**1,646.36**
5-8 ปี	792.37	590.33	612.28	1,043.47	**759.61**
9-12 ปี	429.48	536.86	827.78	841.89	**659.00**
>12 ปี	609.76	719.28			**664.52**
เฉลี่ย	**869.49**	**615.49**	**720.03**	**942.68**	**932.37**
อุบลราชธานี					
1-4 ปี	839.12	3,736.10			**2,287.61**
5-8 ปี	821.55	370.09	934.02	533.73	**664.85**
9-12 ปี	478.40	367.49	319.58	287.92	**363.35**
> 12 ปี	462.88	482.82	493.45	460.16	**474.83**
เฉลี่ย	**650.49**	**1,239.12**	**582.35**	**427.27**	**947.66**

ตารางที่ 1.4-6 บลูวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ (Blue Water Footprint) ของการผลิตปาล์มน้ำมัน ปีที่ 1-4 จำแนกตามช่วงอายุ 4 ช่วงอายุ (1-4 5-8 9-12 และมากกว่า 12 ปี) ใน 6 จังหวัดภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ในปี 2560-2563

ช่วงอายุ	บลูวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ของการผลิตปาล์มน้ำมัน (ลูกบาศก์เมตรต่อตันทะลาย)				
	ปีที่ 1	ปีที่ 2	ปีที่ 3	ปีที่ 4	เฉลี่ย 4 ปี
หนองคาย					
1-4 ปี	294.30	366.20			**330.25**
5-8 ปี	192.20	287.00	303.10	331.70	**278.50**
9-12 ปี	198.40	226.10	293.20	283.00	**250.18**
> 12 ปี	143.50	226.10	246.80	240.90	**214.33**
เฉลี่ย	**207.10**	**276.35**	**281.03**	**285.20**	**268.31**
บึงกาฬ					
1-4 ปี	432.80	1,927.06			**1,179.93**
5-8 ปี	385.41	249.80	366.23	396.75	**349.55**
9-12 ปี	307.74	247.51	389.12	402.67	**336.76**
> 12 ปี	263.64	258.58	467.84	313.71	**325.94**
เฉลี่ย	**347.40**	**670.74**	**407.73**	**371.04**	**548.05**
อุดรธานี					
1-4 ปี		1,278.03			**1,278.03**
5-8 ปี	736.64	726.55	711.92	1,153.01	**832.03**
9-12 ปี		752.32	453.32	517.45	**574.36**
>12 ปี					
เฉลี่ย	**736.64**	**918.97**	**582.62**	**835.23**	**894.81**
สกลนคร					
1-4 ปี	951.76	330.32			**641.04**
5-8 ปี	376.87	231.09	287.97	456.54	**338.12**
9-12 ปี	243.09	236.94	200.55	529.75	**302.58**
> 12 ปี					
เฉลี่ย	**523.91**	**266.11**	**244.26**	**493.14**	**427.25**
เลย					
1-4 ปี	783.27				**783.27**
5-8 ปี	376.97	280.85	291.30	496.44	**361.39**
9-12 ปี	204.33	255.41	393.82	400.53	**313.52**
>12 ปี	290.10	342.20			**316.15**
เฉลี่ย	**413.67**	**292.82**	**342.56**	**448.49**	**443.58**

อุบลราชธานี					
1-4 ปี	615.69	2,741.27			**1,678.48**
5-8 ปี	602.79	271.54	685.32	391.61	**487.82**
9-12 ปี	351.02	269.63	234.49	211.25	**266.60**
> 12 ปี	339.63	354.26	362.05	337.63	**348.39**
เฉลี่ย	**477.28**	**909.18**	**427.29**	**313.50**	**695.32**

ตารางที่ 1.4-7 เกรย์วอเตอร์ฟุตพริ้นท์ (Grey Water Footprint) ของการผลิตปาล์มน้ำมัน ปีที่ 1-4 จำแนกตามช่วงอายุ 4 ช่วงอายุ (1-4 5-8 9-12 และมากกว่า 12 ปี) ใน 6 จังหวัดภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ในปี 2560-2563

ช่วงอายุ	**เกรย์วอเตอร์ฟุตพริ้นท์ของการผลิตปาล์มน้ำมัน (ลูกบาศก์เมตรต่อตันทะลาย)**				
	ปีที่ 1	**ปีที่ 2**	**ปีที่ 3**	**ปีที่ 4**	**เฉลี่ย 4 ปี**
หนองคาย					
1-4 ปี	0.05	0.06			**0.05**
5-8 ปี	0.03	0.05	0.05	0.05	**0.05**
9-12 ปี	0.03	0.04	0.05	0.05	**0.04**
> 12 ปี	0.02	0.04	0.04	0.04	**0.03**
เฉลี่ย	**0.03**	**0.04**	**0.05**	**0.05**	**0.04**
บึงกาฬ					
1-4 ปี	0.09	0.41			**0.25**
5-8 ปี	0.08	0.05	0.08	0.08	**0.07**
9-12 ปี	0.07	0.05	0.08	0.09	**0.07**
> 12 ปี	0.06	0.05	0.10	0.07	**0.07**
เฉลี่ย	**0.07**	**0.14**	**0.09**	**0.08**	**0.12**
อุดรธานี					
1-4 ปี		0.30			**0.30**
5-8 ปี	0.17	0.17	0.17	0.27	**0.19**
9-12 ปี		0.17	0.11	0.12	**0.13**
>12 ปี					
เฉลี่ย	**0.17**	**0.21**	**0.14**	**0.19**	**0.21**
สกลนคร					
1-4 ปี	0.32	0.11			**0.22**
5-8 ปี	0.13	0.08	0.10	0.15	**0.11**
9-12 ปี	0.08	0.08	0.07	0.18	**0.10**
> 12 ปี					

เฉลี่ย	**0.18**	**0.09**	**0.08**	**0.17**	**0.14**
เลย					
1-4 ปี	0.17				**0.17**
5-8 ปี	0.08	0.06	0.06	0.11	**0.08**
9-12 ปี	0.04	0.06	0.09	0.09	**0.07**
>12 ปี	0.06	0.07			**0.07**
เฉลี่ย	**0.09**	**0.06**	**0.07**	**0.10**	**0.10**
อุบลราชธานี					
1-4 ปี	0.04	0.17			**0.11**
5-8 ปี	0.04	0.02	0.04	0.02	**0.03**
9-12 ปี	0.02	0.02	0.01	0.01	**0.02**
> 12 ปี	0.02	0.02	0.02	0.02	**0.02**
เฉลี่ย	**0.03**	**0.06**	**0.03**	**0.02**	**0.04**

อำเภอโพนพิสัย จังหวัดหนองคาย วอเตอร์ฟุตพริ้นท์ของการผลิตปาล์มน้ำมันเฉลี่ยตลอดระยะเวลา 4 ปี ของปาล์มน้ำมันช่วงอายุ 1-4 5-8 9-12 และ 12 ปีขึ้นไป มีค่า 981 827 743 และ 637 ลูกบาศก์เมตรต่อตันทะลาย ตามลำดับ และเมื่อนำค่าวอเตอร์ฟุตพริ้นท์แต่ละช่วงอายุมาถ่วงน้ำหนัก และเฉลี่ยตลอดอายุการผลิตปาล์มน้ำมัน 25 ปี วอเตอร์ฟุตพริ้นท์ของการผลิตปาล์มน้ำมันของอำเภอโพนพิสัย จังหวัดหนองคาย มีค่า 739 ลูกบาศก์เมตรต่อตันทะลาย โดยวอเตอร์ฟุตพริ้นท์เฉลี่ยทั้ง 4 ช่วงอายุ ปีที่ 1 2 3 และ 4 มีค่า 615 821 835 และ 847 ลูกบาศก์เมตรต่อตันทะลาย ตามลำดับ (ตารางที่ 1.4-8)

อำเภอเซกา จังหวัดบึงกาฬ วอเตอร์ฟุตพริ้นท์ของการผลิตปาล์มน้ำมันเฉลี่ยตลอดระยะเวลา 3 ปี ของปาล์มน้ำมันช่วงอายุ 1-4 5-8 9-12 และ 12 ปีขึ้นไป มีค่า 3,506 1,039 1,001 และ 968 ลูกบาศก์เมตรต่อตันทะลาย ตามลำดับ และเมื่อนำค่าวอเตอร์ฟุตพริ้นท์แต่ละช่วงอายุมาถ่วงน้ำหนัก และเฉลี่ยตลอดอายุการผลิตปาล์มน้ำมัน 25 ปี วอเตอร์ฟุตพริ้นท์ของการผลิตปาล์มน้ำมันของอำเภอเซกา จังหวัดบึงกาฬ มีค่า 1,391 ลูกบาศก์เมตรต่อตันทะลาย โดยวอเตอร์ฟุตพริ้นท์เฉลี่ยทั้ง 4 ช่วงอายุ ปีที่ 1 2 3 และ 4 มีค่า 1,032 1,993 1,211 และ 1,102 ลูกบาศก์เมตรต่อตันทะลาย ตามลำดับ (ตารางที่ 1.4-8)

อำเภอบ้านดุง จังหวัดอุดรธานี วอเตอร์ฟุตพริ้นท์ของการผลิตปาล์มน้ำมันเฉลี่ยตลอดระยะเวลา 3 ปี ของปาล์มน้ำมันช่วงอายุ 1-4 5-8 และ 9-12 ปี มีค่า 3,124 2,034 และ 1,404 ลูกบาศก์เมตรต่อตันทะลาย ตามลำดับ และเมื่อนำค่าวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ 3 ช่วงอายุมาถ่วงน้ำหนัก และเฉลี่ยตลอดอายุการผลิตปาล์มน้ำมัน 12 ปี วอเตอร์ฟุตพริ้นท์ของการผลิตปาล์มน้ำมันของอำเภอบ้านดุง จังหวัดอุดรธานี มีค่า 2,187 ลูกบาศก์เมตรต่อตันทะลาย โดยวอเตอร์ฟุตพริ้นท์เฉลี่ยทั้ง 4 ช่วงอายุ ปีที่ 1 2 3 และ 4 มีค่า 1,801 2,247 1,424 และ 2,042 ลูกบาศก์เมตรต่อตันทะลาย ตามลำดับ (ตารางที่ 1.4-8)

อำเภอบ้านม่วง จังหวัดสกลนคร วอเตอร์ฟุตพริ้นท์ของการผลิตปาล์มน้ำมันเฉลี่ยตลอดระยะเวลา 3 ปี ของปาล์มน้ำมันช่วงอายุ 1-4 5-8 และ 9-12 ปี มีค่า 2,473 1,304 และ 1,167 ลูกบาศก์เมตรต่อตันทะลาย ตามลำดับ และเมื่อนำค่าวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ 3 ช่วงอายุมาถ่วงน้ำหนัก และเฉลี่ยตลอดอายุการผลิตปาล์มน้ำมัน 12 ปี วอเตอร์ฟุตพริ้นท์ของการผลิตปาล์มน้ำมันของอำเภอบ้านม่วง จังหวัดสกลนคร มีค่า 1,648 ลูกบาศก์เมตรต่อตันทะลาย โดยวอเตอร์ฟุตพริ้นท์เฉลี่ยทั้ง 4 ช่วงอายุ ปีที่ 1 2 3 และ 4 มีค่า 2,021 1,027 942 และ 1,903 ลูกบาศก์เมตรต่อตันทะลาย ตามลำดับ (ตารางที่ 1.4-8)

อำเภอเอราวัณ จังหวัดเลย วอเตอร์ฟุตพริ้นท์ของการผลิตปาล์มน้ำมันเฉลี่ยตลอดระยะเวลา 3 ปี ของปาล์มน้ำมันช่วงอายุ 1-4 5-8 9-12 และ 12 ปีขึ้นไป มีค่า 2,430 1,121 973 และ 981 ลูกบาศก์เมตรต่อตันทะลาย ตามลำดับ และเมื่อนำค่าวอเตอร์ฟุตพริ้นท์แต่ละช่วงอายุมาถ่วงน้ำหนัก และเฉลี่ยตลอดอายุการผลิตปาล์มน้ำมัน 25 ปี วอเตอร์ฟุตพริ้นท์ของการผลิตปาล์มน้ำมันของอำเภอเชียงคาน ท่าลี่ และเอราวัณ จังหวัดเลย มีค่า 1,234 ลูกบาศก์เมตรต่อตันทะลาย โดยวอเตอร์ฟุตพริ้นท์เฉลี่ยทั้ง 4 ช่วงอายุ ปีที่ 1 2 3 และ 4 มีค่า 1,283 908 1,063 และ 1,391 ลูกบาศก์เมตรต่อตันทะลาย ตามลำดับ (ตารางที่ 1.4-8)

อำเภอนาจะหลวย จังหวัดอุบลราชธานี วอเตอร์ฟุตพริ้นท์ของการผลิตปาล์มน้ำมันเฉลี่ยตลอด 3 ปี ของปาล์มน้ำมันช่วงอายุ 1-4 5-8 9-12 และ 12 ปีขึ้นไป มีค่า 3,966 1,153 630 และ 823 ลูกบาศก์เมตรต่อตันทะลาย ตามลำดับ และเมื่อนำค่าวอเตอร์ฟุตพริ้นท์แต่ละช่วงอายุมาถ่วงน้ำหนัก และเฉลี่ยตลอดอายุการผลิตปาล์มน้ำมัน 25 ปี วอเตอร์ฟุตพริ้นท์ของการผลิตปาล์มน้ำมันของอำเภอนาจะหลวย จังหวัดอุบลราชธานี มีค่า 1,348 ลูกบาศก์เมตรต่อตันทะลาย โดยวอเตอร์ฟุตพริ้นท์เฉลี่ยทั้ง 4 ช่วงอายุ ปีที่ 1 2 3 และ 4 มีค่า 1,128 2,148 1,010 และ 741 ลูกบาศก์เมตรต่อตันทะลาย ตามลำดับ (ตารางที่ 1.4-8)

ตารางที่ 1.4-8 วอเตอร์ฟุตพริ้นท์ (Water Footprint) ของการผลิตปาล์มน้ำมัน ปีที่ 1-3 จำแนกตามช่วงอายุ 4 ช่วงอายุ (1-4 5-8 9-12 และมากกว่า 12 ปี) ใน 6 จังหวัดภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ปี 2560-2563

ช่วงอายุ	วอเตอร์ฟุตพริ้นท์ของการผลิตปาล์มน้ำมัน (ลูกบาศก์เมตรต่อตันทะลาย)						
	ปีที่ 1	ปีที่ 2	ปีที่ 3	ปีที่ 4	เฉลี่ย 4 ปี	จำนวนปีในช่วง	แต่ละช่วงอายุ
หนองคาย							
1-4 ปี	874.45	1088.06			981.3	4	3,925.01
5-8 ปี	571.13	852.75	900.65	985.55	827.5	4	3,310.08
9-12 ปี	589.43	671.75	871.25	840.85	743.3	4	2,973.27
> 12 ปี	426.37	671.75	733.21	715.73	636.8	13	8,277.93
เฉลี่ย	615.35	821.07	835.03	847.38	797.21		739.45
บึงกาฬ							
1-4 ปี	1285.99	5725.77			3505.9	4	14023.5
5-8 ปี	1145.15	742.23	1088.15	1178.83	1038.6	4	4154.4
9-12 ปี	914.38	735.42	1156.16	1196.43	1000.6	4	4002.4
> 12 ปี	783.33	768.31	1390.07	932.10	968.5	13	12589.9
เฉลี่ย	1032.21	1992.93	1211.46	1102.45	1628.38		1390.8
อุดรธานี							
1-4 ปี		3124.38			3124.4	4	12497.5
5-8 ปี	1800.86	1776.19	1740.43	2818.74	2034.1	4	8136.2
9-12 ปี		1839.18	1108.22	1264.99	1404.1	4	5616.5
>12 ปี						13	
เฉลี่ย	1800.86	2246.58	1424.32	2041.87	2187.52		2187.5
สกลนคร							
1-4 ปี	3672.04	1274.41			2473.2	4	9892.9
5-8 ปี	1454.03	891.56	1111.03	1761.38	1304.5	4	5218.0

ช่วงอายุ	วอเตอร์ฟุตพริ้นท์ของการผลิตปาล์มน้ำมัน (ลูกบาศก์เมตรต่อตันทะลาย)						
	ปีที่ 1	ปีที่ 2	ปีที่ 3	ปีที่ 4	เฉลี่ย 4 ปี	จำนวนปีในช่วง	แต่ละช่วงอายุ
9-12 ปี	937.88	914.14	773.75	2043.87	1167.4	4	4669.6
> 12 ปี						13	
เฉลี่ย	2021.31	1026.70	942.39	1902.63	1648.38		1648.4
เลย							
1-4 ปี	2429.80				2429.80	4	9719.2
5-8 ปี	1169.42	871.24	903.64	1540.01	1121.08	4	4484.3
9-12 ปี	633.86	792.33	1221.69	1242.51	972.60	4	3890.4
>12 ปี	899.92	1061.56			980.74	13	12749.7
เฉลี่ย	1283.25	908.38	1062.66	1391.26	1376.05		1233.7
อุบลราชธานี							
1-4 ปี	1454.85	6477.54			3966.20	4	15864.8
5-8 ปี	1424.38	641.64	1619.39	925.36	1152.69	4	4610.8
9-12 ปี	829.44	637.14	554.09	499.19	629.96	4	2519.9
> 12 ปี	802.53	837.10	855.52	797.82	823.24	13	10702.2
เฉลี่ย	1127.80	2148.35	1009.67	740.79	1643.02		1347.9

การวิเคราะห์วอเตอร์ฟุตพริ้นท์ของการผลิตปาล์มน้ำมันภาคเหนือและภาคกลาง

1) พิกัดแปลงของสวนปาล์มน้ำมันที่ศึกษา

ผลการคัดเลือกสวนปาล์มน้ำมันที่ศึกษา ใช้ข้อมูลเนื้อที่ให้ผลผลิตปาล์มน้ำมันของสำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร (2558) โดยคัดเลือกจำนวน 6 จังหวัด (อำเภอ) ดังนี้ เชียงราย (พญาเม็งรายและเวียงเชียงรุ้ง) น่าน (แม่จริม) สุโขทัย (ศรีสัชนาลัยและทุ่งเสลี่ยม) พิษณุโลก (นครไทย) อุทัยธานี (ห้วยคต) และปทุมธานี (วิหารแดง) (ตารางที่ 1.5-1) โดยหลักเกณฑ์การคัดเลือกอำเภอ เป็นอำเภอที่มีพื้นที่ปลูกปาล์มน้ำมันมากในจังหวัดนั้น และส่งพิกัดสวนปาล์ม (ภาพที่ 1.5-1 1.5-2 และ 1.5-3) ไปจำแนกความเหมาะสมของพื้นที่ปลูกปาล์มตามเกณฑ์จำแนกของกรมพัฒนาที่ดิน (ตารางที่ 1.5-2)

ตารางที่ 1.5-1 เนื้อที่ให้ผลผลิตปาล์มน้ำมัน (ไร่) ปี 2560 และ 2564 และแปลงเกษตรกรที่เก็บข้อมูล (ราย) ในเขตภาคเหนือภาคกลาง

จังหวัด	***เนื้อที่ให้ผลผลิต (ไร่)***		**แปลงเกษตรกร (ราย)**
	2560	**2564**	
เชียงราย	11,496	11,816	22
น่าน	2,967	4,571	20
สุโขทัย	5,525	8,159	23
พิษณุโลก	9,252	16,812	23
อุทัยธานี	5,817	10,095	27
ปทุมธานี	8,066	8,416	20
รวมแปลงเกษตรกร (ราย)			**135**

ตารางที่ 1.5-2 จำนวนสวนปาล์มน้ำมันในแต่ละช่วงอายุปาล์มน้ำมัน และจำแนกตามความเหมาะสมของพื้นที่ปลูกปาล์มน้ำมันของกรมพัฒนาที่ดิน จำนวน 135 แปลง ในจังหวัดเชียงราย (CRI) น่าน (NAN) สุโขทัย (STI) พิษณุโลก (PLK) อุทัยธานี (UTI) และปทุมธานี (PTE)

จังหวัดเขตภาคเหนือและภาคกลาง	ความเหมาะสมของพื้นที่ปลูกปาล์มน้ำมัน	ช่วงอายุปาล์มน้ำมัน (ปี)				รวม
		0-4 ปี	5-8 ปี	9-12 ปี	>12 ปี	
เชียงราย	**เหมาะสมมาก**	-	-	-	-	**-**
	เหมาะสมน้อย-ปานกลาง	2	19	1	0	**22**
น่าน	**เหมาะสมมาก**	-	-	-	-	**-**
	เหมาะสมน้อย-ปานกลาง	9	11	0	0	**20**
สุโขทัย	**เหมาะสมมาก**	-	-	-	-	
	เหมาะสมน้อย-ปานกลาง	3	17	3	0	**23**
พิษณุโลก	**เหมาะสมมาก**	-	-	-	-	
	เหมาะสมน้อย-ปานกลาง	1	19	3	0	**23**
อุทัยธานี	**เหมาะสมมาก**	-	-	-	-	
	เหมาะสมน้อย-ปานกลาง	6	17	2	2	**27**
ปทุมธานี	**เหมาะสมมาก**	-	-	-	-	
	เหมาะสมน้อย-ปานกลาง	5	11	4	0	**20**
รวม 6 จังหวัด	**เหมาะสมมาก**	**-**	**-**	**-**	**-**	
	เหมาะสมน้อย-ปานกลาง	**26**	**94**	**13**	**2**	**135**

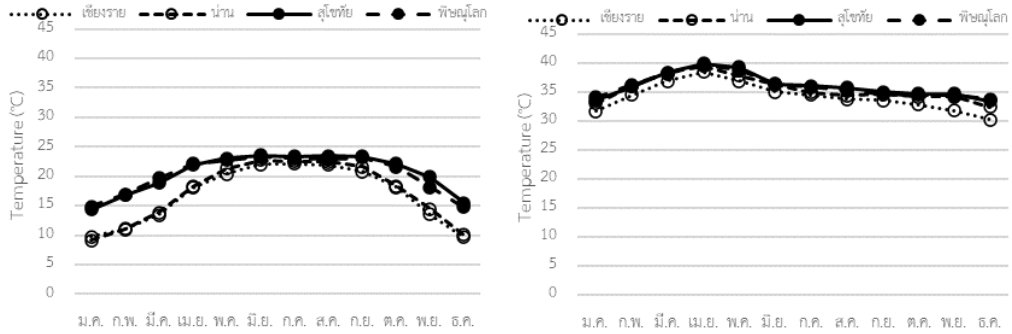
ภาพที่ 1.5-1 พิกัดสวนปาล์มน้ำมันของเกษตรกรงานวิจัยรอยเท้าน้ำอำเภอเวียงเชียงรุ้ง-พญาเม็งราย จังหวัดเชียงราย (ซ้าย) และอำเภอแม่จริม จังหวัดน่าน (ขวา)

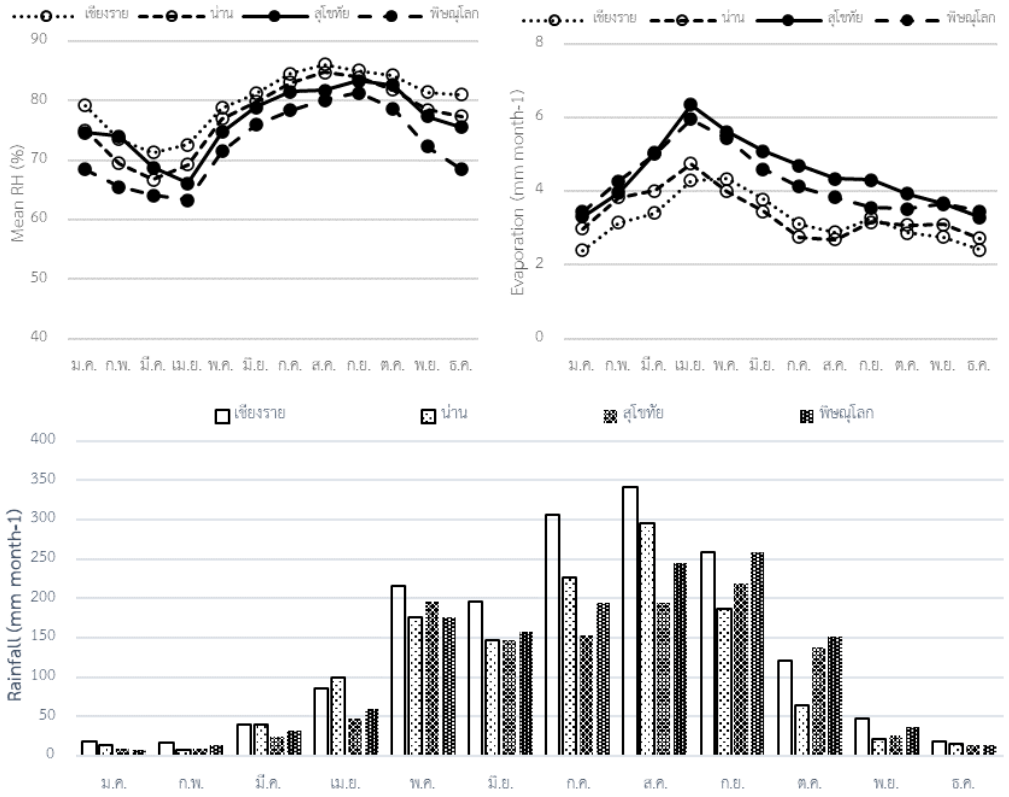
ภาพที่ 1.5-2 พิกัดสวนปาล์มน้ำมันของเกษตรกรงานวิจัยรอยเท้าน้ำอำเภอศรีสัชนาลัย-ทุ่งเสลี่ยม จังหวัดสุโขทัย (ซ้าย) และอำเภอนครไทย จังหวัดพิษณุโลก (ขวา)

ภาพที่ 1.5-3 พิกัดสวนปาล์มน้ำมันของเกษตรกรงานวิจัยรอยเท้าน้ำอำเภอห้วยคต จังหวัดอุทัยธานี (ซ้าย) และอำเภอหนองเสือ จังหวัดปทุมธานี (ขวา)

ข้อมูลอุตุนิยมวิทยา ปริมาณฝนใช้การ ความต้องการน้ำและความต้องการน้ำชลประทานของปาล์มน้ำมัน

ข้อมูลอุตุนิยมวิทยา ข้อมูลอุตุนิยมวิทยาที่ใช้ในการคำนวณปริมาณฝนใช้การ ความต้องการน้ำ และความต้องการน้ำชลประทาน ใช้ข้อมูลของสถานีอุตุนิยมวิทยาในพื้นที่เชียงราย น่าน สุโขทัย พิษณุโลก อุทัยธานี และปทุมธานี (ภาพที่ 1.5-4)

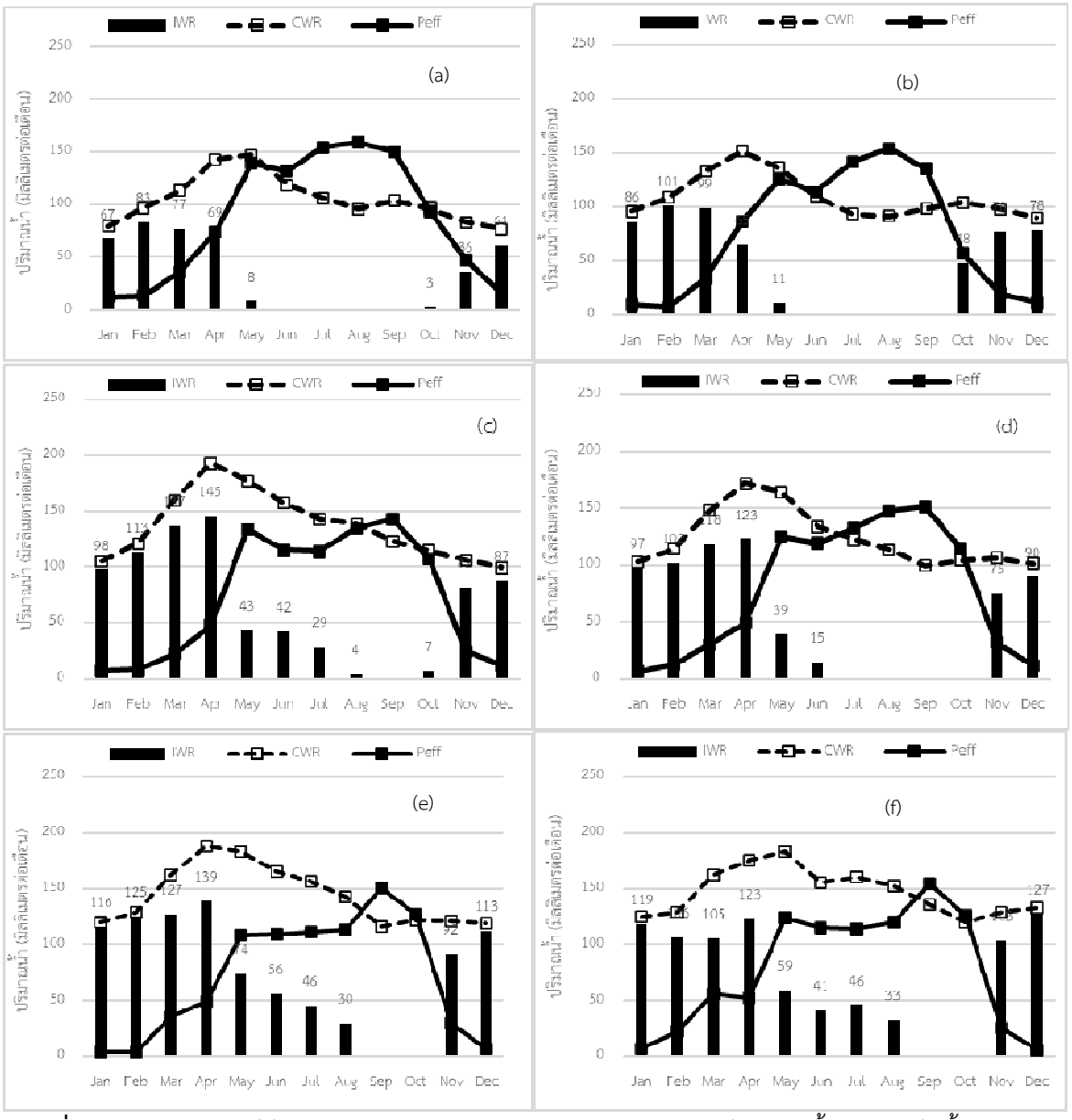




ภาพที่ 1.5-4 ค่าเฉลี่ยข้อมูลสภาพอากาศรายเดือน 30 ปี (พ.ศ. 2531-2560) อุณหภูมิต่ำสุด (a) อุณหภูมิสูงสุด (b) ความชื้นสัมพัทธ์ (c) ค่าระเหยน้ำ (d) และปริมาณน้ำฝน (e) จากสถานีอุตุนิยมวิทยาในจังหวัดเชียงราย น่าน สุโขทัยและพิษณุโลก

ปริมาณฝนใช้การ ความต้องการน้ำและความต้องการน้ำชลประทานของปาล์มน้ำมัน

นำค่าเฉลี่ยปริมาณน้ำฝน ค่าระเหยน้ำตลอด 30 ปี และค่า Kc ของปาล์มน้ำมัน มาคำนวณปริมาณฝนใช้การ (Peff) ค่าความต้องการน้ำของปาล์มน้ำมัน (CWR) และค่าความต้องการน้ำชลประทาน หรือค่าการขาดน้ำของปาล์มน้ำมันใน 6 จังหวัดภาคเหนือและภาคกลาง พบว่า ค่าความต้องการน้ำของปาล์มน้ำมันในจังหวัดเชียงราย น่าน สุโขทัย พิษณุโลก อุทัยธานี และปทุมธานีมีค่า 1,260.6, 1,313.3, 1,641.2, 1,482.9, 1,725.8 และ 1,761.2 มิลลิเมตรต่อปี ตามลำดับ ปริมาณฝนใช้การมีค่า 1,027.5, 898.6, 872.7, 930.9, 848.8 และ 923.2 มิลลิเมตรต่อปี ตามลำดับ จึงส่งผลต่อค่าความต้องการน้ำชลประทานหรือค่าการขาดน้ำของปาล์มน้ำมัน โดยจังหวัดที่มีค่าการขาดน้ำสูงสุดคือ อุทัยธานี (916 มิลลิเมตรต่อปี) ปทุมธานี สุโขทัย พิษณุโลก น่าน และเชียงราย มีค่าการขาดน้ำ 862 788 658 567 และ 405 มิลลิเมตรต่อปี ตามลำดับ (ภาพที่ 1.5-5)



ภาพที่ 1.5-5 ปริมาณฝนใช้การ (Precipitation efficiency; Peff.) ความต้องการน้ำของปาล์มน้ำมัน (Crop Water Requirement; CWR) และน้ำชลประทานที่ต้องเติมให้ปาล์มน้ำมัน (Irrigation Water Requirement; IWR) ในจังหวัดเชียงราย (CRI; a) น่าน (NAN; b) สุโขทัย (STI; c) พิษณุโลก (PHS; d) อุทัยธานี (UTE; e) และปทุมธานี (PTI; f) โดย CRI NAN SKT PHS คำนวณจากข้อมูลน้ำฝนและค่าระเหยเฉลี่ย 30 ปี และ UTE PTI คำนวณจากข้อมูลน้ำฝนและค่าระเหยเฉลี่ย 10 ปี

ธาตุอาหารปาล์มน้ำมัน ผลผลิตและวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ของการผลิตปาล์มน้ำมันภาคเหนือและภาคกลาง

การเก็บตัวอย่างดินและใบเพื่อวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพและเคมี และปริมาณธาตุอาหารในดินและธาตุอาหารในใบปาล์มน้ำมัน สำหรับให้คำแนะนำแก่เกษตรกรในการจัดการธาตุอาหารปาล์มน้ำมัน เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตปาล์มน้ำมัน ซึ่งส่งผลต่อประสิทธิภาพการใช้น้ำหรือรอยเท้าน้ำของการผลิตปาล์มน้ำมันโดยปริยาย และช่วยให้เกษตรกรสามารถผลิตปาล์มน้ำมันได้อย่างยั่งยืน เนื่องจากเปนการใช้ทรัพยากรน้ำที่มีอย่างจำกัดและเป็นการลดต้นทุนการผลิต จากการใช้ปุ๋ยหรือธาตุอาหารอย่างมีประสิทธิภาพตามผลวิเคราะห์ดินและใบ

ช่วยให้มีความสมดุลของธาตุอาหาร อย่างไรก็ตามพบว่า เกษตรกรหลายรายมีปัญหาด้านเงินทุน-ความตั้งใจจริงในการจัดการธาตุอาหารปาล์มน้ำมัน ส่งผลให้ปริมาณผลผลิตของเกษตรกรหลายรายต่ำกว่าที่ควรจะเป็น และจากการสัมภาษณ์เกษตรกรในการจัดการธาตุไนโตรเจนที่เกษตรกรให้แก่ปาล์มน้ำมันเพื่อวิเคราะห์ Grey Water Footprint ทำให้ทราบข้อมูลการจัดการธาตุอาหารชนิดอื่นเพิ่มด้วย

เชียงราย เกษตรกรที่สนใจร่วมโครงการ 22 คน (ปาล์มน้ำมันอายุ 1-4 ปี 2 ราย อายุ 5-8 ปี 19 ราย และอายุ 9-12 ปี 1 ราย) ในรายที่อายุปาล์มน้ำมันเล็ก ใส่ปุ๋ยน้อยกว่าคำแนะนำ ไม่ครบทุกตัว สำหรับรายที่ปาล์มน้ำมันอายุ 5-8 ปี ใส่ไนโตรเจนครบ ใส่กีเซอไรท์ 1 ราย และโบรอน 5 ราย จึงได้ให้คำแนะนำที่ถูกต้องเกี่ยวกับการจัดการปาล์มน้ำมัน (ตารางที่ 1.5-3)

น่าน เกษตรกรที่สนใจร่วมโครงการ 20 คน (ปาล์มน้ำมันอายุ 1-4 ปี 9 รายและปาล์มน้ำมันอายุ 5-8 ปี 11 ราย) ในรายเกษตรกรที่อายุปาล์มน้ำมันยังเล็ก ใส่ปุ๋ยหลากหลาย และใส่ไม่ครบทุกตัว สำหรับรายที่ปาล์มน้ำมันอายุ 5-8 ปี ใส่ไนโตรเจนครบ ไม่ใส่กีเซอไรท์และใส่โบรอน 6 ราย จึงให้คำแนะนำเกี่ยวกับการจัดการปาล์มน้ำมัน เพื่อให้เกษตรกรผลิตปาล์มน้ำมันได้อย่างมีศักยภาพ (ตารางที่ 1.5-3)

สุโขทัย เกษตรกรที่สนใจร่วมโครงการ 23 คน (ปาล์มน้ำมันอายุ 1-4 ปี 3 ราย อายุ 5-8 ปี 17 รายและอายุ 9-12 ปี 3 ราย) เกษตรกรที่อายุปาล์มน้ำมันยังเล็ก ใส่ปุ๋ยไม่ครบทุกตัว สำหรับรายที่ปาล์มน้ำมันอายุ 5-8 ปี ไม่ใส่กีเซอไรท์และใส่โบรอน 1 ราย และรายที่ปาล์มน้ำมันอายุ 9-12 ปี ไม่ใส่ทั้งกีเซอไรท์และโบรอน อัตราที่ใส่หลากหลาย จึงให้คำแนะนำเกี่ยวกับการจัดการปาล์มน้ำมัน (ตารางที่ 1.5-3)

พิษณุโลก เกษตรกรที่สนใจร่วมโครงการ 23 คน (ปาล์มน้ำมันอายุ 1-4 ปี 1 ราย ปาล์มน้ำมันอายุ 5-8 ปี 19 รายและปาล์มน้ำมันอายุ 9-12 ปี 3 ราย) ในรายเกษตรกรที่อายุปาล์มน้ำมันยังเล็ก ใส่ปุ๋ยไม่เหมาะสมตามคำแนะนำ และใส่ไม่ครบทุกตัว สำหรับรายที่ปาล์มน้ำมันอายุ 5-8 ปี ใส่ไนโตรเจนครบ ไม่ใส่กีเซอไรท์และใส่โบรอน 2 ราย และรายที่ปาล์มน้ำมันอายุ 9-12 ปี ไม่ใส่ทั้งกีเซอไรท์และโบรอน จึงได้ให้คำแนะนำที่ถูกต้องเกี่ยวกับการจัดการปาล์มน้ำมัน ((ตารางที่ 1.5-3)

อุทัยธานี เกษตรกรที่สนใจร่วมโครงการ 27 คน (ปาล์มน้ำมันอายุ 1-4 ปี 6 ราย ปาล์มน้ำมันอายุ 5-8 ปี 17 ราย ปาล์มน้ำมันอายุ 9-12 ปี 2 ราย และปาล์มน้ำมันอายุมากกว่า 12 ปี 2 ราย) ในรายเกษตรกรที่อายุปาล์มน้ำมันยังเล็ก ใส่ปุ๋ยไม่ครบทุกตัว สำหรับรายที่ปาล์มน้ำมันอายุ 5-8 ปี ส่วนใหญ่ใส่ไนโตรเจน ฟอสฟอรัสและโพแทสเซียม ไม่ใส่กีเซอไรท์และใส่โบรอน 1 คน และรายที่ปาล์มน้ำมันอายุ 9-12 ปี ไม่ใส่ทั้งกีเซอไรท์และโบรอน และรายที่ปาล์มน้ำมันอายุมากกว่า 12 ปีใส่เฉพาะกีเซอไรท์อย่างเดียว อัตราที่ใส่ค่อนข้างหลากหลาย จึงได้ให้คำแนะนำที่ถูกต้องเกี่ยวกับการจัดการปาล์มน้ำมัน เพื่อให้เกษตรกรสามารถผลิตปาล์มน้ำมันได้อย่างมีศักยภาพ (ตารางที่ 1.5-3)

ปทุมธานี จำนวนเกษตรกรที่สนใจร่วมโครงการ 20 คน (ปาล์มน้ำมันอายุ 1-4 ปี 5 ราย ปาล์มน้ำมันอายุ 5-8 ปี 11 รายและปาล์มน้ำมันอายุ 9-12 ปี 4 ราย) สำหรับการใส่ปุ๋ยของเกษตรกรที่ทุ่งรังสิต เป็นแหล่งปลูกปาล์มน้ำมันที่มีน้ำทั้งปี ดังนั้นการใส่ปุ๋ยของเกษตรกรจึงใส่ในปริมาณมากและบ่อยครั้ง อัตราที่ใส่ค่อนข้างหลากหลาย จึงได้ให้คำแนะนำเกี่ยวกับปริมาณปุ๋ยที่เหมาะสมในการจัดการปาล์มน้ำมัน เพื่อให้เกษตรกรสามารถผลิตปาล์มน้ำมันได้อย่างมีศักยภาพ (ตารางที่ 1.5-3)

ตารางที่ 1.5-3 ปริมาณเนื้อปุ๋ยไนโตรเจน ฟอสฟอรัส โพแทสเซียม แมกนีเซียมและโบรอน (กรัมต่อต้นต่อปี) ของเกษตรกรที่ใส่ให้ปาล์มน้ำมัน 4 ช่วงอายุ (1-4 5-8 9-12 และมากกว่า 12 ปี) 135 แปลง ใน 6 จังหวัดภาคเหนือและภาคกลาง ในปี 2561

จังหวัด/ เนื้อปุ๋ยที่ใส่	**จำนวนเกษตรกร (ราย) ในแต่ละช่วงอายุปาล์มน้ำมัน**				**รวมทุกอายุ**
	1-4 ปี	**5-8 ปี**	**9-12 ปี**	**>12 ปี**	
เชียงราย (CRI)	**2**	**19 (17)**	**1**	**-**	**22**
N (กรัม)	26-670	1-1310			1-1310 (19)
P (กรัม)	14 (1)	90-600(15)			14-600 (16)
K (กรัม)	70-600	150-2700(16)			70-2700 (18)
Mg (กรัม)	-	112.5(1)			112.5 (1)
B (กรัม)	-	3.63-22(5)			3.63-22 (5)
น่าน (NAN)	**9**	**11**	**-**	**-**	**20**
N (กรัม)	1-915 (7)	1-1342 (9)			1-1342 (16)
P (กรัม)	1-450 (7)	1-330 (9)			1-450 (16)
K (กรัม)	1-990 (6)	1-750 (8)			1-990 (14)
Mg (กรัม)	225 (1)	-			225 (1)
B (กรัม)	4-11 (3)	4-36 (6)			4-36 (9)
สุโขทัย (STI)	**3**	**17**	**3**	**-**	**23**
N (กรัม)	1-732 (2)	1-760 (16)	120-325		1-760 (21)
P (กรัม)	1-180 (2)	1-750 (13)	120-325		1-750 (18)
K (กรัม)	1-900	1-3150 (15)	120-525		1-3150 (21)
Mg (กรัม)	-	-	-		-
B (กรัม)	-	6.6 (1)	-		6.6 (1)
พิษณุโลก (PLK)	**1**	**19 (17)**	**3**	**-**	**23**
N (กรัม)	600	140-1075	560-885		140-1075 (21)
P (กรัม)	600	120-773	195-560		120-773 (21)
K (กรัม)	600	240-1008	195-1820		195-1820 (21)
Mg (กรัม)	-	-	-		-
B (กรัม)	-	4-11 (2)	-		4-11 (2)
อุทัยธานี (UTI)	**6**	**17**	**2**	**2**	**27**
N (กรัม)	1-1381 (4)	1-900 (14)	1380 (1)	-	1-1381 (19)
P (กรัม)	1-80 (4)	1-990 (14)	780 (1)	-	0-990 (19)
K (กรัม)	1-1200 (5)	1-1800 (12)	540 (1)	-	1-1800 (18)
Mg (กรัม)	-	-	-	260 (1)	260 (1)
B (กรัม)	-	11 (1)	-	-	11 (1)
ปทุมธานี (PTE)	**5**	**11**	**4**	**0**	**20**
N (กรัม)	68-840	500-1560	585-1188		68-1560

จังหวัด/ เนื้อปุ๋ยที่ใส่	จำนวนเกษตรกร (ราย) ในแต่ละช่วงอายุปาล์มน้ำมัน				รวมทุกอายุ
	1-4 ปี	5-8 ปี	9-12 ปี	>12 ปี	
P (กรัม)	68-420	500-1505	480-2196		68-2196
K (กรัม)	68-1980	528-4200	585-4160		68-4200
Mg (กรัม)	135-270 (2)	135-648 (7)	216-810 (3)		135-810 (12)
B (กรัม)	11-33 (3)	11-44 (5)	3.6-44 (3)		3.6-44 (11)

หมายเหตุ : ตัวเลขใน () หมายถึง จำนวนเกษตรกรที่ไม่ใส่ปุ๋ยชนิดนั้นจากจำนวนเกษตรกรในแต่ละช่วงอายุของปาล์มน้ำมัน

ผลผลิตปาล์มน้ำมัน มีความแตกต่างในแต่ละพื้นที่ และส่วนใหญ่เป็นผลจากความไม่เหมาะสมของพื้นที่ โดยเฉพาะปริมาณน้ำฝน ร่วมกับสมบัติทางเคมีของดินและการจัดการของเกษตรกร ร่วมกับช่วงอายุของปาล์มน้ำมัน โดยช่วงอายุที่ให้ผลผลิตสูงคือ ช่วงอายุ 9-12 ปี รองลงมาคือ ช่วงอายุปาล์มน้ำมัน 5-8 ปี และช่วงอายุมากกว่า 12 ปี ผลผลิตส่วนใหญ่ค่อนข้างลดลง ทั้งนี้เนื่องจากสภาพภูมิอากาศ โดยเฉพาะปริมาณน้ำฝนที่มีปริมาณลดลงตลอดช่วงเวลาที่ดำเนินงานวิจัยร่วมกับการจัดการของเกษตรกร (ตารางที่ 1.5-4)

ตารางที่ 1.5-4 ผลผลิตเฉลี่ยปาล์มน้ำมัน (ตันต่อไร่ต่อปี) 4 ช่วงอายุ (1-4 ปี 5-8 ปี 9-12 ปี และมากกว่า 12 ปี) 6 จังหวัดภาคเหนือและภาคกลาง ปีงบประมาณ 2561-2563

ช่วงอายุ	ผลผลิตปาล์มน้ำมัน (ตันต่อไร่ต่อปี)		
	ปีที่ 1 (2561)	ปีที่ 2 (2562)	ปีที่ 3 (2563)
เชียงราย			
1-4 ปี	1.87		
5-8 ปี	1.64±0.62	2.17±0.84	1.78±0.38
9-12 ปี		2.38±1.14	1.23±0.29
มากกว่า 12 ปี			
น่าน			
1-4 ปี			
5-8 ปี	1.52±1.30	1.26±0.82	
9-12 ปี		1.52±1.37	0.77±0.39
มากกว่า 12 ปี			
สุโขทัย			
1-4 ปี	0.98±0.84		
5-8 ปี	0.90±0.96	1.35±0.80	0.78±0.36
9-12 ปี	0.56±0.18	1.79±0.67	0.72±0.43
มากกว่า 12 ปี		1.23	
พิษณุโลก			
1-4 ปี	1.10		
5-8 ปี	2.33±1.25	2.62±1.65	2.13±1.31
9-12 ปี	4.92	1.82±1.13	1.62±0.54
มากกว่า 12 ปี			

ช่วงอายุ	ผลผลิตปาล์มน้ำมัน (ตันต่อไร่ต่อปี)		
	ปีที่ 1 (2561)	ปีที่ 2 (2562)	ปีที่ 3 (2563)
อุทัยธานี			
1-4 ปี	2.39		
5-8 ปี	2.61±1.51	2.68±1.56	1.37±0.54
9-12 ปี	2.51±1.12	2.25±1.09	0.94±0.75
มากกว่า 12 ปี		3.24	0.97
ปทุมธานี			
1-4 ปี	2.68±0.63		
5-8 ปี	4.08±1.68	4.86±1.33	1.87±0.87
9-12 ปี	4.42±1.68	3.02±1.01	1.78±0.52
มากกว่า 12 ปี		6.00±1.35	3.27±0.82

การวิเคราะห์วอเตอร์ฟุตพริ้นท์ ผลวิเคราะห์วอเตอร์ฟุตพริ้นท์ของการผลิตปาล์มน้ำมัน ตลอดระยะเวลา 4 ปีของ 6 จังหวัดภาคเหนือและภาคกลางตลอดช่วงอายุปาล์มน้ำมัน 25 ปีมีค่า 621-1,759 ลูกบาศก์เมตรต่อตันทะลายปาล์มน้ำมัน (ตารางที่ 1.5-7) ซึ่งมีทั้งต่ำกว่าและสูงกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับ Suttayakul และคณะ (2016) ที่ศึกษาวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ของการผลิตปาล์มน้ำมันภาคใต้และภาคตะวันออกตลอดช่วงอายุ 25 ปี มีค่า 1,063 ลูกบาศก์เมตรต่อตันทะลายปาล์มน้ำมัน และวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ของการผลิตปาล์มน้ำมันที่อำเภอหนองเสือ จังหวัดปทุมธานี และอำเภอนครไทย จังหวัดพิษณุโลกมีค่า 621 และ 906 ลูกบาศก์เมตรต่อตันทะลายปาล์มน้ำมัน ใกล้เคียงกับวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ของการผลิตปาล์มน้ำมันลูกผสมสุราษฎร์ธานี 7 ที่มีค่า 888 ลูกบาศก์เมตรต่อตันทะลายปาล์มน้ำมัน สำหรับวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ของการผลิตปาล์มน้ำมันในจังหวัดปทุมธานี พิษณุโลก อุทัยธานีและเชียงรายมีค่า 621-1,188 ลูกบาศก์เมตรต่อตันทะลายปาล์มน้ำมัน ใกล้เคียงกับกับวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ของการผลิตปาล์มน้ำมันทางตอนกลางของเกาะกาลิมันตันที่มีค่า 560-1,140 ลูกบาศก์เมตรต่อตันทะลายปาล์มน้ำมัน (Safitri และคณะ, 2018) วอเตอร์ฟุตพริ้นท์ของการผลิตปาล์มน้ำมันในจังหวัดภาคเหนือและภาคกลางมีค่าแตกต่างกันมากกว่า 2 เท่า เนื่องจากปัจจัยของความเหมาะสมของพื้นที่ปลูก สภาพดิน สภาพภูมิอากาศ (ปริมาณฝนและการกระจายตัว) และการจัดการของเกษตรกร โดยเฉพาะการจัดการน้ำที่จังหวัดปทุมธานี

อำเภอเวียงเชียงรุ้ง-พญาเม็งราย จังหวัดเชียงราย ผลผลิตปาล์มน้ำมันมีค่า 1.21-3.08 ตันต่อไร่ต่อปี เฉลี่ย 1.81 ตันต่อไร่ต่อปี วอเตอร์ฟุตพริ้นท์ของการผลิตปาล์มน้ำมันแต่ละช่วงอายุถ่วงน้ำหนัก มีค่า 828-1,675 ลูกบาศก์เมตรต่อตันทะลาย วอเตอร์ฟุตพริ้นท์ของการผลิตปาล์มน้ำมันเฉลี่ย 1,188 ลูกบาศก์เมตรต่อตันทะลาย (ตารางที่ 1.5-7)

อำเภอแม่จริม จังหวัดน่าน ผลผลิตปาล์มน้ำมันมีค่า 1.01-3.15 ตันต่อไร่ต่อปี เฉลี่ย 1.67 ตันต่อไร่ต่อปี วอเตอร์ฟุตพริ้นท์ของการผลิตปาล์มน้ำมันแต่ละช่วงอายุถ่วงน้ำหนัก มีค่า 901-2,226 ลูกบาศก์เมตรต่อตันทะลาย วอเตอร์ฟุตพริ้นท์ของการผลิตปาล์มน้ำมันเฉลี่ย 1,378 ลูกบาศก์เมตรต่อตันทะลาย (ตารางที่ 1.5-7)

อำเภอศรีสัชนาลัย-ทุ่งเสลี่ยม จังหวัดสุโขทัย ผลผลิตปาล์มน้ำมันมีค่า 1.16-2.30 ตันต่อไร่ต่อปี เฉลี่ย 1.53 ตันต่อไร่ต่อปี วอเตอร์ฟุตพริ้นท์ของการผลิตปาล์มน้ำมันแต่ละช่วงอายุถ่วงน้ำหนัก มีค่า 1,161-2,357 ลูกบาศก์เมตรต่อตันทะลาย วอเตอร์ฟุตพริ้นท์ของการผลิตปาล์มน้ำมันเฉลี่ย 1,759 ลูกบาศก์เมตรต่อตันทะลาย (ตารางที่ 1.5-7)

อำเภอนครไทย จังหวัดพิษณุโลก ผลผลิตปาล์มน้ำมันมีค่า 1.33-5.51 ตันต่อไร่ต่อปี เฉลี่ย 2.69 ตันต่อไร่ต่อปี วอเตอร์ฟุตพริ้นท์ของการผลิตปาล์มน้ำมันแต่ละช่วงอายุถ่วงน้ำหนัก มีค่า 443-1,919 ลูกบาศก์เมตรต่อตันทะลาย วอเตอร์ฟุตพริ้นท์ของการผลิตปาล์มน้ำมันเฉลี่ย 906 ลูกบาศก์เมตรต่อตันทะลาย (ตารางที่ 1.5-7)

อำเภอห้วยคต จังหวัดอุทัยธานี ผลผลิตปาล์มน้ำมันมีค่า 1.52-4.57 ตันต่อไร่ต่อปี เฉลี่ย 2.51 ตันต่อไร่ต่อปี วอเตอร์ฟุตพริ้นท์ของการผลิตปาล์มน้ำมันแต่ละช่วงอายุถ่วงน้ำหนัก มีค่า 636-1,921 ลูกบาศก์เมตรต่อตันทะลาย วอเตอร์ฟุตพริ้นท์ของการผลิตปาล์มน้ำมันเฉลี่ย 1,102 ลูกบาศก์เมตรต่อตันทะลาย (ตารางที่ 1.5-7)

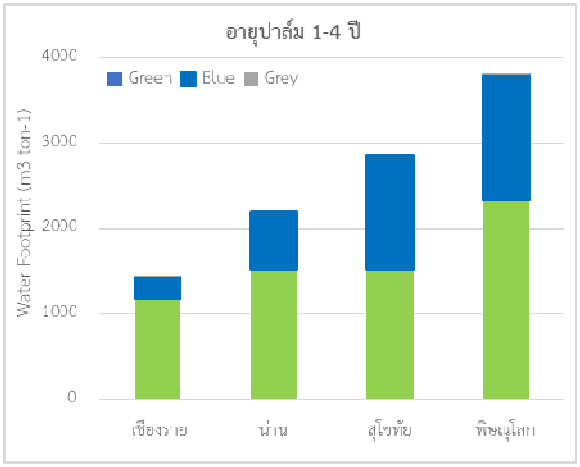
อำเภอหนองเสือ จังหวัดปทุมธานี ผลผลิตปาล์มน้ำมันมีค่า 2.48-6.61 ตันต่อไร่ต่อปี เฉลี่ย 4.57 ตันต่อไร่ต่อปี วอเตอร์ฟุตพริ้นท์ของการผลิตปาล์มน้ำมันแต่ละช่วงอายุถ่วงน้ำหนัก มีค่า 435-1,149 ลูกบาศก์เมตรต่อตันทะลาย วอเตอร์ฟุตพริ้นท์ของการผลิตปาล์มน้ำมันเฉลี่ย 621 ลูกบาศก์เมตรต่อตัน(ตารางที่ 1.5-7)

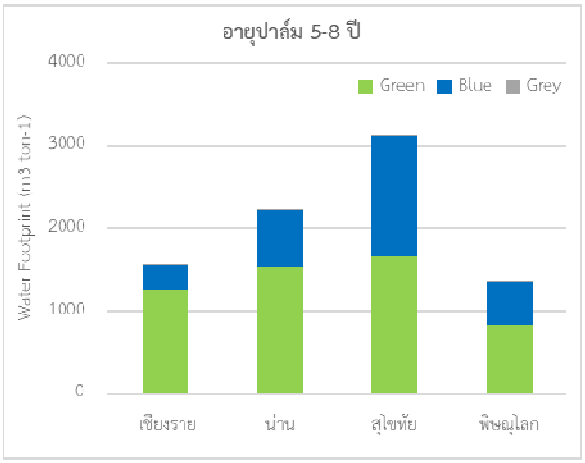
ตารางที่ 1.5-5 ปริมาณฝนใช้การ ความต้องการน้ำชลประทาน วอเตอร์ฟุตพริ้นท์เฉลี่ยของการผลิตปาล์มน้ำมันในช่วงที่ไม่ให้ผลผลิตของจังหวัดเชียงราย น่าน สุโขทัย พิษณุโลก อุทัยธานี และปทุมธานี ปี 2561-2564

จังหวัด	ปริมาณการใช้น้ำของการผลิตปาล์มน้ำมัน		
	ปริมาณฝนใช้การ (มิลลิเมตรต่อไร่ต่อปี)	ความต้องการน้ำชลประทาน (มิลลิเมตรต่อไร่ต่อปี)	วอเตอร์ฟุตพริ้นท์ (ลูกบาศก์เมตรต่อไร่ต่อปี)
เชียงราย	1643.9	373.1	**3,227**
น่าน	1522.3	668.1	**3,505**
สุโขทัย	1396.3	1229.6	**4,201**
พิษณุโลก	1485.8	946.5	**3,892**
อุทัยธานี	1358.0	1403.3	**4,418**
ปทุมธานี	1477.2	1340.8	**4,509**

ตารางที่ 1.5-6 วอเตอร์ฟุตพริ้นท์เฉลี่ยของการผลิตปาล์มน้ำมันในช่วงอายุ 1-4 5-8 9-12 และ มากกว่า 12 ปี และเฉลี่ย 4 ช่วงอายุ ของจังหวัดเชียงราย น่าน สุโขทัย พิษณุโลก อุทัยธานี และปทุมธานี ปี 2561

จังหวัด	วอเตอร์ฟุตพริ้นท์ (ลบ.ม./ตันผลผลิตทะลาย)				
	1-4 ปี*	5-8 ปี	9-12 ปี	>12 ปี	เฉลี่ย
เชียงราย	1,440.7	1,551.4	-	-	**1,496.1**
น่าน	2,190.4	2,220.4	-	-	**2,205.4**
สุโขทัย	2,854.3	3,113.6	3,597.4	-	**3,188.4**
พิษณุโลก	3,801.0	1,350.4	659.2		**1,936.9**
อุทัยธานี	1,931.2	1,746.0	893.6	3,540.1	**1,523.6**
ปทุมธานี	1,588.7	937.4	782.9	-	**1,103.0**





ภาพที่ 1.5-6 สัดส่วนของกรีน บลูและเกรย์วอเตอร์ฟุตพริ้นท์ของการผลิตปาล์มน้ำมันช่วงอายุ 1-4 ปี และ 5-8 ปี ในจังหวัดเชียงราย น่าน สุโขทัยและพิษณุโลก

ตารางที่ 1.5-7 ผลผลิตปาล์มน้ำมันเฉลี่ย และวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ของการผลิตปาล์มน้ำมันเฉลี่ย ระหว่างปี 2561-2564 ของจังหวัดเชียงราย น่าน สุโขทัย พิษณุโลก อุทัยธานี และปทุมธานี

จังหวัด	ผลผลิตปาล์มน้ำมันเฉลี่ย (ตัน/ไร่/ปี)			วอเตอร์ฟุตพริ้นท์รวมเฉลี่ย (ลบ.ม.ต่อตันทะลาย)		
	ต่ำสุด	สูงสุด	เฉลี่ย	สูงสุด	ต่ำสุด	เฉลี่ย
เชียงราย	1.21	3.08	**1.81**	1,675	828	**1,188**
น่าน	1.01	3.15	**1.67**	2,226	901	**1,378**
สุโขทัย	1.16	2.30	**1.53**	2,357	1,161	**1,759**
พิษณุโลก	1.33	5.51	**2.69**	1,919	443	**906**
อุทัยธานี	1.52	4.57	**2.51**	1,921	636	**1,102**
ปทุมธานี	2.48	6.61	**4.57**	1,149	435	**621**

สรุปผลการวิจัย และข้อเสนอแนะ

วอเตอร์ฟุตพริ้นท์เฉลี่ยของการผลิตเมล็ดงอก 5 หน่วยงานในรอบผลิต 3 ปีมีค่า 0.48 0.38 และ 0.37 ลิตรต่อเมล็ด ตามลำดับ หน่วยงาน D วอเตอร์ฟุตพริ้นท์น้อยที่สุด 0.20 ลิตรต่อเมล็ด และมีเฉพาะบลูวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ วอเตอร์ฟุตพริ้นท์เฉลี่ยในการผลิตต้นกล้าปาล์มน้ำมัน 7 หน่วยงานในรอบผลิตปี 59 60 และ 61 มีค่า $5.2x10^{-1}$ $2.7x10^{-1}$ และ $2.9x10^{-1}$ ลูกบาศก์เมตรต่อต้น ตามลำดับ (เฉลี่ย $3.6x10^{-1}$ ลูกบาศก์เมตรต่อต้น) กรีน บลู และเกรย์ วอเตอร์ฟุตพริ้นท์เฉลี่ย 3 ปี $1.8x10^{-1}$ $1.8x10^{-1}$ และ $4.2x10^{-4}$ ลูกบาศก์เมตรต่อต้น โดยหน่วยงาน K มีค่าวอเตอร์ฟุตพริ้นท์น้อยที่สุดเฉลี่ย 3 ปี $1.6x10^{-1}$ ลูกบาศก์เมตรต่อต้น โดยมีค่ากรีน บลู และเกรย์วอเตอร์ฟุตพริ้นท์เฉลี่ย 3 ปี $9.0x10^{-2}$ $8.0x10^{-2}$ และ $3.8x10^{-4}$ ลูกบาศก์เมตรต่อต้น ตามลำดับ

การวิเคราะห์วอเตอร์ฟุตพริ้นท์ของการผลิตปาล์มน้ำมันในภาคใต้ 8 จังหวัด ตลอดอายุปาล์มน้ำมัน 25 ปี ความต้องการน้ำของปาล์มน้ำมัน 8 จังหวัดภาคใต้มีค่า 1,245-1,474 มิลลิเมตรต่อปี ปริมาณฝนใช้การเฉลี่ยของจังหวัดสุราษฎร์ธานี กระบี่ ชุมพร นครศรีธรรมราช พังงา ตรัง สตูล และระนองมีค่า 1,262 1,417 1,329 1,409 1,393 1,592 1,444 และ 1,502 มิลลิเมตรต่อปี ตามลำดับ ความต้องการน้ำชลประทานของปาล์มน้ำมัน จังหวัดที่ค่าการขาดน้ำสูงสุดคือ ระนอง 380 มิลลิเมตรต่อปี ตรัง กระบี่ สตูล พังงา ชุมพร สุราษฎร์ธานีและนครศรีธรรมราชมีค่าการขาดน้ำ 350 290 283 264 231 217 และ 153 มิลลิเมตรต่อปี ตามลำดับ วอเตอร์ฟุตพริ้นท์ของการผลิตปาล์มน้ำมันเฉลี่ย 25 ปี จังหวัดระนองมีค่าต่ำสุด 567 ลูกบาศก์เมตรต่อตันทะลาย และสตูล มีค่าสูงสุด 1,168 ลูกบาศก์เมตรต่อตันทะลาย และวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ของการผลิตปาล์มน้ำมันจังหวัดนครศรีธรรมราช ตรัง สุราษฎร์ธานี พังงา กระบี่ และชุมพร มีค่า 625 799 805 842 846 และ 979 ลูกบาศก์เมตรต่อตันทะลาย ตามลำดับ

การวิเคราะห์วอเตอร์ฟุตพริ้นท์ของการผลิตปาล์มน้ำมันภาคตะวันออกและตะวันตก 4 จังหวัด ตลอดอายุปาล์มน้ำมัน 25 ปี ความต้องการน้ำของปาล์มน้ำมันมีค่า 1,360-1,643 มิลลิเมตรต่อปี ปริมาณฝนใช้การเฉลี่ยของจังหวัดตราด ชลบุรี กาญจนบุรี และประจวบคีรีขันธ์ มีค่า 1,629.8 946.9 1,056.4 และ 873.0 มิลลิเมตรต่อปี ตามลำดับ ความต้องการน้ำชลประทานของปาล์มน้ำมัน จังหวัดที่ค่าการขาดน้ำสูงสุดคือ ชลบุรี (835 มิลลิเมตรต่อปี) และประจวบคีรีขันธ์ กาญจนบุรีและตราด มีค่าการขาดน้ำ 804 641 และ 328 มิลลิเมตรต่อปี ตามลำดับ วอเตอร์ฟุตพริ้นท์ของการผลิตปาล์มน้ำมันเฉลี่ย 5-25 ปี ของจังหวัดตราด ชลบุรี กาญจนบุรี และประจวบคีรีขันธ์ มีค่า 811.8 1,035.8 1,016.7 และ 972.3 ลูกบาศก์เมตรต่อตันทะลาย ตามลำดับ และวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ของการผลิตปาล์มน้ำมันจังหวัดตราด ประจวบคีรีขันธ์ กาญจนบุรีและชลบุรี มีค่า 811.8 972.3 1,016.7 และ 1,035.8 ลูกบาศก์เมตรต่อตันทะลาย ตามลำดับ

การวิเคราะห์วอเตอร์ฟุตพริ้นท์ของการผลิตปาล์มน้ำมันภาคตะวันออกเฉียงเหนือ 6 จังหวัด ตลอดอายุปาล์มน้ำมัน 25 ปี ความต้องการน้ำของปาล์มน้ำมันมีค่า 1,354-1,700 มิลลิเมตรต่อปี ปริมาณฝนใช้การเฉลี่ยของจังหวัดหนองคาย อุดรธานี สกลนคร เลย และอุบลราชธานี มีค่า 997 958 1,003 926 และ 981 มิลลิเมตรต่อปี ตามลำดับ ความต้องการน้ำชลประทานหรือค่าการขาดน้ำของปาล์มน้ำมัน ของจังหวัดหนองคาย อุดรธานี สกลนคร เลย และอุบลราชธานี มีค่า 1,503, 1,621, 1,354 1,367 และ 1,700 มิลลิเมตรต่อปี ตามลำดับ วอเตอร์ฟุตพริ้นท์ของการผลิตปาล์มน้ำมันเฉลี่ย 25 ปี จังหวัดหนองคายมีค่าต่ำสุด 739 ลูกบาศก์เมตรต่อตันทะลาย แสดงว่ามีประสิทธิภาพการใช้น้ำสูงสุด วอเตอร์ฟุตพริ้นท์ของจังหวัดเลย อุบลราชธานี บึงกาฬ สกลนคร และอุดรธานี มีค่า 1,233.7 1,347.9 1,390.8 1,648.4 และ 2,187.5 ลูกบาศก์เมตรต่อตันทะลาย ตามลำดับ

การวิเคราะห์วอเตอร์ฟุตพริ้นท์ของการผลิตปาล์มน้ำมันภาคเหนือและภาคกลาง 6 จังหวัด ตลอดอายุปาล์มน้ำมัน 25 ปี ความต้องการน้ำของปาล์มน้ำมันในจังหวัดเชียงราย น่าน สุโขทัย พิษณุโลก อุทัยธานี และ

ปทุมธานีมีค่า 1,260.6 1,313.3 1,641.2 1,482.9 1,725.8 และ 1,761.2 มิลลิเมตรต่อปี ตามลำดับ ปริมาณฝนใช้การเฉลี่ยของจังหวัดเชียงราย น่าน สุโขทัย พิษณุโลก อุทัยธานี และปทุมธานี มีค่า 1,027.5, 898.6, 872.7, 930.9, 848.8 และ 923.2 มิลลิเมตรต่อปี ตามลำดับ ความต้องการน้ำชลประทาน เรียงลำดับจากมากไปน้อยของจังหวัดอุทัยธานี ปทุมธานี สุโขทัย พิษณุโลก น่าน และเชียงราย มีค่า 916 862 788 658 567 และ 405 มิลลิเมตรต่อปี ตามลำดับ วอเตอร์ฟุตพริ้นท์ของการผลิตปาล์มน้ำมันเฉลี่ย 25 ปี จังหวัดปทุมธานีมีค่าต่ำสุด 621 ลูกบาศก์เมตรต่อตันทะลาย แสดงว่ามีประสิทธิภาพการใช้น้ำในการผลิตปาล์มน้ำมันสูงสุด วอเตอร์ฟุตพริ้นท์ของการผลิตปาล์มน้ำมันของจังหวัดพิษณุโลก อุทัยธานี เชียงราย น่าน สุโขทัย มีค่า 906 1,102 1,188 1,378 และ 1,759 ลูกบาศก์เมตรต่อตันทะลาย ตามลำดับ

ข้อเสนอแนะ : สำหรับวอเตอร์ฟุตพริ้นท์การผลิตเมล็ดงอกและต้นกล้าปาล์มน้ำมัน จะมีค่าสูงหรือต่ำขึ้นกับหลายปัจจัย โดยเฉพาะระบบจัดการแต่ละขั้นตอนการผลิต ทั้งการจัดวางซึ่งมีจำนวนต้นกล้าต่อพื้นที่และระยะการวางต่างกัน ทำให้จำนวนต้นกล้าต่อพื้นที่มากน้อยต่างกันเมื่อเทียบกับปริมาณน้ำที่ให้ ส่งผลให้อัตราการใช้น้ำมากน้อยต่างกันด้วย ระบบการให้น้ำที่แตกต่างกัน ซึ่งจะช่วยลดพื้นที่การสูญเสียน้ำ ทำให้การใช้น้ำน้อยลง และการจัดการด้านปุ๋ยในอัตราส่วนแตกต่างกัน ส่งผลต่อการเจริญเติบโตของต้นกล้าแตกต่างกันด้วย ดังนั้นหากมีการจัดการที่ดีจะสามารถช่วยให้ใช้น้ำได้อย่างมีประสิทธิภาพมากที่สุดและต้นกล้ามีประสิทธิภาพด้วย อีกทั้งหากสามารถเลือกผลิตในช่วงฤดูกาลที่มีปริมาณฝนเหมาะสมก็สามารถลดต้นทุนการให้น้ำได้ และสาเหตุที่ทำให้ค่าปริมาณการใช้น้ำในการผลิตของบางหน่วยงานมีค่าสูง เนื่องด้วยในช่วงการเก็บข้อมูลหน่วยงานยังไม่มีการควบคุมการผลิตที่รัดกุมแต่เมื่อได้รับคำแนะนำจึงมีการปรับปรุงหรือปรับเปลี่ยนระบบการผลิตมากขึ้น ทำให้ค่าการใช้น้ำมีประสิทธิภาพเพิ่มมากขึ้น

ปัจจัยที่มีผลต่อวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ของการผลิตปาล์มน้ำมันประกอบด้วย ช่วงอายุปาล์มน้ำมัน โดยปาล์มน้ำมันช่วงอายุ 1-4 ปี ยังไม่ให้ผลผลิต โดยฌพาะช่วง 3 ปีแรก การให้ผลผลิตในปีที่ 4 ปริมาณผลผลิตมีค่าไม่มากนัก เนื่องจากเป็นช่วงที่เพิ่งเริ่มให้ผลผลิตระยะแรก ส่งผลให้ช่วงดังกล่าวเป็นช่วงใช้น้ำที่ไม่มีผลผลิตมาคำนวณ ความเหมาะสมของพื้นที่ทั้งสมบัติของดินและสภาพภูมิอากาศ โดยเฉพาะปริมาณน้ำฝนการกระจายตัวของฝน (จำนวนวันฝนตก) และค่าการระเหยน้ำ สำหรับปัจจัยที่สำคัญมากอีกปัจจัยคือ การจัดการสวนปาล์มน้ำมันของเกษตรกรตามความต้องการของปาล์มน้ำมัน ทั้งการจัดการน้ำและการจัดการธาตุอาหาร ซึ่งเป็นปัจจัยหลักในการเพิ่มศักยภาพการให้ผลผลิตของปาล์มน้ำมัน (ผลผลิตสูง วอเตอร์ฟุตพริ้นท์จะมีค่าต่ำ แต่หากผลผลิตต่ำ วอเตอร์ฟุตพริ้นท์มีค่าสูง) การจัดการธาตุอาหารตามความต้องการของปาล์มน้ำมัน โดยใช้การประเมินปริมาณธาตุอาหารที่ปาล์มน้ำมันต้องการจากผลวิเคราะห์ดินใบ เป็นวิธีที่แม่นยำและช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการใช้ธาตุอาหารได้เป็นอย่างดี เนื่องจากมีการปรับความสมดุลของธาตุอาหาร ไม่ให้ขัดแย้งกันเอง (antagonism) ปาล์มน้ำมันสามารถใช้ประโยชน์จากธาตุอาหารในดินได้เพิ่มขึ้น ส่งผลให้ปาล์มน้ำมันให้ผลผลิตเพิ่มขึ้นเช่นกัน เป็นการเพิ่มประสิทธิภาพการใช้น้ำได้เป็นอย่างดี (กรณีค่าขาดน้ำต่ำกว่า 200 มิลลิเมตรต่อปี)

บรรณานุกรม

พิชญาภา ราชธรรมมา. 2555. การใช้น้ำอย่างคุ้มค่ากับ Water footprint. วารสารกรมวิทยาศาสตร์บริการ ปีที่ 60 ฉบับที่ 189: 35-37.

ลักขณา เจริญสุขม รัตชยุดา กองบุญ และเศรษฐ์ สัมภัตตะกุล. 2555. การวิเคราะห์วอเตอร์ฟุตพริ้นท์ของปาล์มน้ำมันสำหรับผลิตไบโอดีเซลในประเทศไทย การประชุมวิชาการและนำเสนอผลงานทางวิศวกรรมนวัตกรรมและการจัดการอุตสาหกรรมอย่างยั่งยืน ครั้งที่ 1 ณ ศูนย์นิทรรศการและการประชุมไบเทค บางนาใ 17-18 ตุลาคม 2555. หน้า 1-11.

สำนักข่าว M Report. 2562. "วอเตอร์ฟุตพริ้นท์" มาตรฐานการใช้น้ำภาคอุตสาหกรรม ลดข้อจำกัดทางการค้า, สืบค้นเมื่อ 9 สิงหาคม 2562. จาก. https://www.mreport.co.th/news/government-news/1801310007

Halimah, M., S. Vijaya, H. Zulkifli, S.K.K. Nik and Y.M. Choo. 2014. Water footprint: Part 1 - Production of oil palm seedlings in peninsular Malaysia. Journal of Oil Palm Research Vol. 26 (4) : 273-281.

Hoekstra, A. Y., A. K. Chapagain, M. M. Aldaya and M. M. Mekonnen. 2011. The water footprint assessment manual: Setting the global standard. Earthscan. London. UK. 203 pp.

Lukkanaporn, S., B. Kampanad, A. Chumlong and S. Wachara. 2012. The water footprint of oil palm crop in Phetchaburi province. International Journal of Renewable Energy. Vol. 7(2) : 49-54.

สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร. 2561 ข้อมูลผลผลิตปาล์มน้ำมัน. [Internet document] URLhttp://www.oae.go.th/assets/portals/1/fileups/prcaidata/files/oilpalm%2061.pdf

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

Hoekstra, A.Y., Chapagain, A.K., Aldaya, M.M. and M.M. Mekonnen. 2011. The water footprint assessment manual: setting the global standard. Water footprint Network, The Netherlands.

Jarernsook L., Gongboon R. and S. Sumpattakul. 2012. Water footprint analysis of oil palm for biodiesel production in Thailand, *The 1st National Conference on Sustainable Industrial Innovation and Management*. Available online: http://dpru.pnru1.com/doc/dprudoc00000100.pdf [assessed 18 July 2013] [in Thai].

Mekonnen M.M. and A.Y. Hoekstra. 2010. The green, blue and grey water footprint of crops and derived crop product. Value of Water Research Report Series No. 47, The Netherlands: UNESCO-IHE, Delft.

Safitri, L., H. Hermantoro, S. Purboseno, V. Kautsar, S.K. Saptomo and A. Kurniawan. 2018. Water Footprint and Crop Water Usage of Oil Palm (*Elaeis guineensis*) in Central Kalimantan: Environmental Sustainability Indicators for Different Crop Age and Soil Conditions. Water 2019 11, 35: 1-16.

Suttayakul, P., A. H-Kittikun, C. Suksaroj, J. Mungkalasiri, R. Wisansuwannakorn and C. Musikavong. 2016. Water footprints of products of oil palm plantations and palm oil mills in Thailand. Sci. Total Environ. 542: 521-529.

Thailand's Royal Irrigation Department (RID). 2010.*The assessment of crop water requirements for cultivation*. Available online: http://water.rid.go.th/hwm/cropwater/ estimate_ET.pdf [assessed 15 July 2013] [in Thai].

กิจกรรมที่ 2
การวิเคราะห์วอเตอร์ฟุตพริ้นท์ของการผลิตอ้อย
Water Footprint Assessment for Sugarcane Production

ปรีชา กาเพ็ชร ดาวรุ่ง คงเทียน มัทนา วานิชย์ พิกุล ซุนพุ่ม พินิจ กัลยาศิลปิน ดารารัตน์ มณีจันทร์
วิชณีย์ ออมทรัพย์สิน
Preecha Kapetch Daorung Kongtien Mattana Wanitch Phikun Sunphum Pinit Kalayasilapin
Dararat Maneejan Vichanee Ormzubsin

คำสำคัญ (Key words)
อ้อย วอเตอร์ฟุตพริ้นท์ วอเตอร์ฟุตพริ้นท์สีเขียว วอเตอร์ฟุตพริ้นท์สีฟ้า วอเตอร์ฟุตพริ้นท์สีเทา
sugarcane, water footprint, green water footprint, blue water footprint, grey water footprint

บทคัดย่อ

การผลิตอ้อยมีความจำเป็นต้องใช้น้ำในกระบวนการผลิตเป็นจำนวนมาก จากสถานการณ์การเปลี่ยนแปลงของสภาพภูมิอากาศรวมถึงพื้นที่ปลูกอ้อยเพิ่มมากขึ้น ทำให้มีการใช้น้ำสำหรับการผลิตอ้อยเพิ่มมากขึ้นด้วย จึงได้ประเมินค่าวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ของอ้อยเพื่อการวางแผนการใช้น้ำที่มีอยู่สำหรับการผลิตอ้อยอย่างมีประสิทธิภาพ ดำเนินการเก็บข้อมูลการผลิตอ้อยในสภาพการปลูกแบบอาศัยน้ำฝนจำนวน 119 แปลง และการปลูกแบบให้น้ำชลประทาน 54 แปลง ในพื้นที่ปลูก 13 จังหวัด ที่เป็นแหล่งปลูกอ้อยที่สำคัญของประเทศไทย ระหว่างปร 2558-2560 บันทึกข้อมูลวันปลูก วันเก็บเกี่ยว การให้น้ำ การใส่ปุ๋ย ข้อมูลสภาพภูมิอากาศ และผลผลิต แล้วนำมาใช้คำนวณค่าวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ตามคู่มือการประเมินร่องรอยการใช้น้ำ พบว่า วอเตอร์ฟุตพริ้นท์ของอ้อยในสภาพอาศัยน้ำฝนมีค่าเฉลี่ย 95.1 ลบ.ม./ตัน โดยเป็น WF_{Green} และ WF_{Grey} จำนวน 69.6 และ 25.6 ลบ.ม./ตัน ตามลำดับ ส่วนสภาพให้น้ำชลประทานมีค่าเฉลี่ย 117.7 ลบ.ม./ตัน แยกเป็น WF_{Green} WF_{Blue} และ WF_{Grey} จำนวน 58.5 37.5 และ 21.7 ลบ.ม./ตัน ตามลำดับ การปลูกแบบให้น้ำชลประทานทำให้วอเตอร์ฟุตพริ้นท์สีฟ้า (WF_{Blue}) เพิ่มขึ้น 37.5 ลบ.ม/ตัน แต่ผลผลิตเพิ่มขึ้นเพียง 1.4 ตัน/ไร่ ดังนั้นการพิจารณาการให้น้ำแก่อ้อยจึงต้องคำนึงถึงพันธุ์ที่ปลูก และให้น้ำในปริมาณที่เหมาะสม เพื่อให้การใช้น้ำสำหรับการผลิตอ้อยมีประสิทธิภาพมากขึ้น

Abstracts

Sugarcane production needs high volume of water to obtain satisfactory yield. Climate change and increasing of planting area resulted in increased water demand for sugarcaneproduction. Water footprintof sugarcane was thus evaluated sothat the information could be used to improve its water use efficiency. The study was conducted by collecting information on weather data, field management practices and yield from farmers' fields in some major production areas, altogether 119 samples were taken from rainfed fields and 54 samples from irrigated fields during 2015-2017. After that, the water footprint was estimated according to "The Water Footprint Assessment Manual". Results showed that the average of sugarcane water footprint for rainfed condition was 95.1 $m^3 .t^{-1}$ which could be further divided into WF_{Green} and WF_{Grey} with 69.6 and 25.6 $m^3 .t^{-1}$, respectively. For irrigated condition, the water footprint showed 117.7 $m^3 .t^{-1}$ which could be further divided into WF_{Green}, WF_{Blue} and WF_{Grey} with 58.5, 37.5 and 21.7 $m^3 .t^{-1}$, respectively. Under the irrigated condition, the WF_{Blue} had increased by the average of 37.5 $m^3 .t^{-1}$ while sugarcane yield showed relatively smaller increase (1.4 $t.rai^{-1}$). In order to improve the water use efficiency of sugarcane under irrigation system, the cultivars and their water requirement should be taken into consideration.

บทนำ

อ้อยเป็นพืชเศรษฐกิจที่สำคัญของประเทศไทย มีพื้นที่ปลูกอ้อยทั้งประเทศประมาณ 10 ล้านไร่ กระจายอยู่ทั้งภาคเหนือ ภาคตะวันอออกเฉียงเหนือ ภาคกลาง และภาคตะวันออก (นิรนาม, 2560) และมีแนวโน้มมีพื้นที่ปลูกเพิ่มขึ้นจากนโยบายของรัฐบาลที่จะปรับเปลี่ยนพื้นที่ปลูกข้าวที่ไม่เหมาะสมมาปลูกอ้อยทดแทน พื้นที่ปลูกอ้อยทั้งหมดปลูกอยู่บนชุดดินที่มากกว่า 200 ชุดดิน และมีสภาพอากาศที่แตกต่างกันโดยเฉพาะปริมาณน้ำฝนตั้งแต่ 800-2,400 มม./ปี เนื่องจากสภาพแวดล้อมที่จำกัดที่ไม่สามารถควบคุมได้มีหลากหลาย ส่งผลให้การจัดการมีความแตกต่างกันตามสภาพภูมิสังคมและทุนทรัพย์ โดยเฉพาะการจัดการเรื่องน้ำ ถือเป็น 1 ใน 17 เป้าหมายการพัฒนาที่ยั่งยืน (sustainable development goals; SDG) เนื่องจากส่งผลกระทบต่อประชาชนทั่วโลกมากกว่า 40% และมียุทธศาสตร์ที่เกี่ยวข้องคือการสร้างความมั่นคงของน้ำต่อภาคการผลิต ทั้งภาคอุตสาหกรรมและภาคเกษตร (นิรนาม, 2561) ดังนั้นในระบบการผลิตอ้อยวิธีการหนึ่งที่ช่วยในการคำนวณการใช้น้ำของอ้อยได้ คือ การคำนวณค่าวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ (water footprint ; WF) ซึ่งมีการคำนวณผลรวมของการใช้น้ำจากแหล่งต่าง ๆ ได้แก่ แหล่งน้ำจากธรรมชาติ เช่น น้ำฝนและความชื้นในดิน (green water footprint: WF_{Green}) แหล่งน้ำชลประทาน (blue water footprint: WF_{Blue}) และน้ำที่ใช้บำบัดของเสียจากการใช้ปุ๋ยเคมี (grey water footprint: WF_{Grey}) จากรายงานของ Gerbens-Leenes and Hoekstra (2012) พบว่า ค่าเฉลี่ยของการใช้น้ำสำหรับผลิตอ้อยมีขนาด 209 ลบ.ม./ตัน ขณะที่ Ratchayuda and Sate (2012) พบว่า วอเตอร์ฟุตพริ้นท์ของอ้อยที่ปลูกในภาคเหนือของประเทศไทยมีขนาด 226 ลบ.ม./ตัน และการศึกษาของเจษฎา (2553) ที่ศึกษาในภาคตะวันออกเฉียงเหนือพบว่า อ้อยต้องการน้ำประมาณ 120 ลบ.ม./ตัน หรือคิดเป็นปริมาณการใช้น้ำทั้งหมด 12,000 ล้านลูกบาศก์เมตรต่อฤดูปลูก (คิดที่ผลผลิตอ้อย 100 ล้านตันต่อปี) ในขณะที่ประเทศไทยมีแนวโน้มผลิตอ้อยเพิ่มมากขึ้น เนื่องมาจากการเพิ่มขึ้นของโรงงานน้ำตาล แต่การศึกษาการใช้น้ำสำหรับการผลิตอ้อยในประเทศยังไม่ครอบคลุมทั้งระบบการผลิต เช่น การศึกษาในสภาพให้น้ำชลประทาน หรือศึกษาในสภาพอาศัยน้ำฝน ถึงแม้ว่ามีการศึกษาทั้งสองสภาพแล้วแต่เป็นการวิเคราะห์ในสถานการณ์ที่ต่างสถานที่และต่างเวลากันทำให้ผลที่ได้มีความแปรปรวนสูง จึงควรมีการศึกษาหาปริมาณน้ำสำหรับการผลิตอ้อยให้กว้างขวางยิ่งขึ้นเพื่อการวางแผนการผลิตรวมถึงการจัดการน้ำในแต่ละแหล่งปลูกเพื่อให้มีการใช้น้ำอย่างมีประสิทธิภาพในการผลิตอ้อยมากขึ้น การศึกษานี้ได้ทำการประเมินค่าวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ของอ้อยในแหล่งปลูกที่สำคัญของประเทศไทย ทั้งภายใต้สภาพการผลิตแบบอาศัยน้ำฝนและการให้น้ำชลประทาน ระหว่างปี 2558-2560 เพื่อหาค่าวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ของอ้อยสำหรับนำไปใช้ในการวางแผนการใช้น้ำในกระบวนการผลิตอ้อยให้มีประสิทธิภาพและยั่งยืน

ระเบียบวิธีการวิจัย

การดำเนินงานแบ่งเป็น 2 การทดลอง ดังนี้

การทดลองที่ 2.1 การวิเคราะห์วอเตอร์ฟุตพริ้นท์ของการผลิตอ้อยภายใต้สภาพการให้น้ำชลประทาน

- อุปกรณ์

1) อุปกรณ์สำหรับเก็บและบันทึกข้อมูลผลผลิตและองค์ประกอบผลผลิตอ้อย
2) อุปกรณ์สำหรับบันทึกข้อมูลน้ำฝนแบบอัตโนมัติ
3) อุปกรณ์สำหรับการให้น้ำ

- วิธีการ

การเก็บข้อมูลในแปลงทดลอง

ปลูกอ้อยทดลองในแปลงทดลองของศูนย์วิจัยพืชไร่นครสวรรค์ ศูนย์วิจัยพืชไร่ขอนแก่น ศูนย์วิจัยพืชสวนเลย ศูนย์วิจัยและพัฒนาการเกษตรมุกดาหาร ศูนย์วิจัยและพัฒนาการเกษตรกาญจนบุรี ศูนย์วิจัยและพัฒนาการเกษตรปราจีนบุรี ศูนย์วิจัยและพัฒนาการเกษตรสุโขทัย และศูนย์วิจัยและพัฒนาการเกษตรบุรีรัมย์ ทุกแปลงปลูกอ้อยจำนวน 3 พันธุ์ ได้แก่ KK07-037 95-2-213 และ K95-84 และ 6 แปลงแรกปลูกอ้อย 3 วันปลูกได้แก่วันปลูกที่ 1 ปลูกในช่วงเดือนพฤศจิกายน 2558-ธันวาคม 2558 วันปลูกที่ 2 ปลูกในช่วงเดือนมกราคม 2559-กุมภาพันธ์ 2559 และวันปลูกที่ 3 ปลูกในช่วงเดือนมีนาคม-พฤษภาคม 2559 ส่วนแปลงทดลองที่จังหวัดสุโขทัยและบุรีรัมย์ปลูกครั้งเดียวในช่วงเดือนพฤศจิกายน 2559-มกราคม 2560 เก็บผลผลิตอ้อยในช่วงเดือนมกราคมถึงเดือนมีนาคมของปีถัดไป ให้น้ำแบบสปริงค์เกอร์ ปริมาณ 24 มิลลิเมตร ทุกๆ 14 วัน เก็บข้อมูลผลผลิตอ้อยโดยการสุ่มเก็บผลผลิตพื้นที่เก็บเกี่ยว 3 แถว แถวยาว 5 เมตร จำนวน 4 ซ้ำ บันทึกข้อมูลข้อมูลวันปลูก การให้น้ำ วันเก็บเกี่ยวผลผลิต และข้อมูลสภาพภูมิอากาศจากเครื่องตรวจวัดสภาพอากาศที่อยู่ในแปลงทดลอง หรือสถานีตรวจวัดสภาพอากาศของกรมอุตุนิยมวิทยาที่อยู่ใกล้เคียงกับแปลงเก็บข้อมูล

การวิเคราะห์ข้อมูล

การประเมินค่าวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ (WF) ประเมินจากน้ำ 3 ประเภทคือ 1) Green water (WF_{Green}) เป็นปริมาณน้ำฝนและความชื้นในดินที่พืชเอาไปใช้ 2) Blue water (WF_{Blue}) เป็นปริมาณน้ำผิวดินที่ใช้ในการชลประทาน และ 3) Grey water (WF_{Grey}) เป็นปริมาณน้ำจืดที่จำเป็นต้องใช้ในการเจือจางสารมลพิษที่ปนเปื้อนลงสู่แหล่งน้ำให้เป็นน้ำดีตามมาตรฐาน ค่าวอเตอร์ฟุตพริ้นท์คำนวณได้ตามสมการ

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

เมื่อ WF = water footprint

WF_{Green} = Green water footprint

WF_{Blue} = Blue water footprint

WF_{Grey} = Grey water footprint

โดยที่ Green water footprint คำนวณได้จาก

WF_{Green} = CWR เมื่อ P_{eff} > CWR และ

WF_{Green} = Peff เมื่อ P_{eff} < CWR

และ CWR คำนวณได้จากสมการ

$$CWR = \sum ET_c$$

$$ET_c = K_c \times ET_o$$

เมื่อ CWR = ปริมาณความต้องการน้ำของพืช (มิลลิเมตรต่อวัน)

ET_o = ปริมาณน้ำต้องการคายระเหยภายใต้สภาวะการเจริญเติบโตในอุดมคตินับตั้งแต่วันปลูกถึงวันเก็บเกี่ยว

K_c = สัมประสิทธิ์การใช้น้ำของพืช

ET_o = การคายระเหยน้ำของพืชอ้างอิง (มิลลิเมตรต่อวัน)

P_{eff} = ปริมาณฝนใช้การ = 0.80 x ปริมาณน้ำฝนที่วัดได้

WF_{Blue} = 0 เมื่อ P_{eff} > CWR

WF_{Blue} = CWR - P_{eff} เมื่อ P_{eff} < CWR

ส่วนค่า Gray water คำนวนได้จากสมการ

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

เมื่อ AR = อัตราการใช้ปุ๋ยไนโตรเจนในพื้นที่เพาะปลูก (กก./ไร่)

α = สัดส่วนของปุ๋ยไนโตรเจนจากการชะละลาย

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

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

Y = ผลผลิตต่อพื้นที่ (กก./ไร่)

ในการทดลองนี้ใช้ค่า α = 0.1, C_{max} = 5 กก/ลบ.ม., C_{nat} = 0 กก./ลบ.ม.

- เวลาและสถานที่ ตุลาคม 2558 ถึง กันยายน 2561 ที่ศูนย์ศูนย์วิจัยพืชไร่นครสวรรค์ ศูนย์วิจัยพืชไร่ขอนแก่น ศูนย์วิจัยพืชสวนเลย ศูนย์วิจัยและพัฒนาการเกษตรมุกดาหาร ศูนย์วิจัยและพัฒนาการเกษตรกาญจนบุรี ศูนย์วิจัยและพัฒนาการเกษตรปราจีนบุรี ศูนย์วิจัยและพัฒนาการเกษตรสุโขทัย และศูนย์วิจัยและพัฒนาการเกษตรบุรีรัมย์

การทดลองที่ 2.2 การวิเคราะห์วอเตอร์ฟุตพริ้นท์ของการผลิตอ้อยภายใต้สภาพอาศัยน้ำฝน

- อุปกรณ์

1) อุปกรณ์สำหรับเก็บและบันทึกข้อมูลผลผลิตและองค์ประกอบผลผลิตอ้อย

2) อุปกรณ์สำหรับบันทึกข้อมูลน้ำฝนแบบอัตโนมัติ

- วิธีการ

การเก็บข้อมูลในแปลงทดลอง

เก็บข้อมูลผลผลิตอ้อยของแปลงทดลองที่ดำเนินการในไร่เกษตรกร 13 จังหวัด เพื่อหาวอเตอร์ฟุตพริ้นต์ของการผลิตอ้อย ได้แก่ จังหวัดนครสวรรค์ กาญจนบุรี ขอนแก่น ปราจีนบบุรี มุกดาหาร เลย สุโขทัย กาฬสินธุ์ บุรีรัมย์ อุทัยธานี สุพรรณบุรี นครราชสีมา และมหาสารคาม โดยการสุ่มเก็บผลผลิตพื้นที่เก็บเกี่ยว 3 แถว แถวยาว 5 เมตร จำนวน 4 ซ้ำ บันทึกข้อมูลวันปลูก วันเก็บเกี่ยว ผลผลิต และข้อมูลสภาพภูมิอากาศจากเครื่องตรวจวัดสภาพอากาศที่อยู่ในแปลงทดลอง หรือสถานีตรวจวัดสภาพอากาศของกรมอุตุนิยมวิทยาที่อยู่ใกล้เคียงกับแปลงเก็บข้อมูล

การวิเคราะห์ข้อมูล

การประเมินค่าวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ (WF) ประเมินจากน้ำ 3 ประเภทคือ 1) Green water (WF_{Green}) เป็นปริมาณน้ำฝนและความชื้นในดินที่พืชเอาไปใช้ 2) Blue water (WF_{Blue}) เป็นปริมาณน้ำผิวดินที่ใช้ในการชลประทาน และ 3) Grey water (WF_{Grey}) เป็นปริมาณน้ำจืดที่จำเป็นต้องใช้ในการเจือจางสารมลพิษที่ปนเปื้อนลงสู่แหล่งน้ำให้เป็นน้ำดีตามมาตรฐาน ค่าวอเตอร์ฟุตพริ้นท์คำนวณได้ตามสมการ

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

เมื่อ WF = water footprint

WF_{Green} = Green water footprint

WF_{Blue} = Blue water footprint

WF_{Grey} = Grey water footprint

โดยที่ Green water footprint คำนวณได้จาก

WF_{Green} = CWR เมื่อ P_{eff} > CWR และ

WF_{Green} = Peff เมื่อ P_{eff} < CWR

และ CWR คำนวณได้จากสมการ

$$CWR = \sum ET_c$$

$$ET_c - K_c \times ET_o$$

เมื่อ CWR = ปริมาณความต้องการน้ำของพืช (มิลลิเมตรต่อวัน)

ET_o = ปริมาณน้ำต้องการคายระเหยภายใต้สภาวะการเจริญเติบโตในอุดมคตินับตั้งแต่วันปลูกถึงวันเก็บเกี่ยว

K_c = สัมประสิทธิ์การใช้น้ำของพืช

ET_o = การคายระเหยน้ำของพืชอ้างอิง (มิลลิเมตรต่อวัน)

P_{eff} = ปริมาณฝนใช้การ = 0.80 x ปริมาณน้ำฝนที่วัดได้

WF_{Blue} = 0 เมื่อ P_{eff} > CWR

WF_{Blue} = CWR - P_{eff} เมื่อ P_{eff} < CWR

ส่วนค่า Gray water คำนวนได้จากสมการ

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

เมื่อ AR = อัตราการใช้ปุ๋ยไนโตรเจนในพื้นที่เพาะปลูก (กก./ไร่)

α = สัดส่วนของปุ๋ยไนโตรเจนจากการชะละลาย

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

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

Y = ผลผลิตต่อพื้นที่ (กก./ไร่)

ในการทดลองนี้ใช้ค่า α = 0.1, C_{max} = 5 กก/ลบ.ม., C_{nat} = 0 กก./ลบ.ม.

- เวลาและสถานที่ ตุลาคม 2558 ถึง กันยายน 2561 ที่ไร่เกษตรกร 13 จังหวัด

ผลการวิจัยและอภิปราย

วอเตอร์ฟุตพริ้นท์ของการผลิตอ้อยในสภาพให้น้ำชลประทาน

ผลผลิตอ้อยในการปลูกแบบให้น้ำชลประทานเฉลี่ย 17.3 ตัน/ไร่ มีความแปรปรวนค่อนข้างสูง 6.8 ตัน/ไร่ เมื่อพิจารณาเป็นรายจังหวัดจากการปลูกอ้อย 3 พันธุ์และ 3 วันปลูก พบว่า จ. นครสวรรค์มีผลผลิตเฉลี่ยสูงที่สุด 32.5 ตัน/ไร่ ต่ำสุดที่จังหวัดเลยเฉลี่ย 11.3 ตัน/ไร่ แสดงให้เห็นถึงความแตกต่างของสภาพแวดล้อมที่มีผลกระทบต่อผลผลิต (Table 2.1-1) ด้านพันธุ์เมื่อเฉลี่ยจากแต่ละแหล่งปลูกกับทุกวันปลูก พบว่า ได้ผลผลิตใกล้เคียงกัน 18.2 17.6 และ 16.8 ตัน/ไร่ สำหรับพันธุ์ KK07-037 95-2-213 และ K95-84 ตามลำดับ (Table 2.1-2) และเมื่อพิจารณาจากวันปลูกและพบว่าค่าเฉลี่ยจากทั้ง 3 พันธุ์จากทุกแหล่งปลูก วันปลูกที่ 1 คือปลูกในช่วงเดือนพฤศจิกายน ถึงเดือนธันวาคม ให้ผลผลิตสูงที่สุด เฉลี่ย 23.0 ตัน/ไร่ วันปลูกที่ 2 ปลูกช่วงเดือนมกราคมถึงกุมภาพันธุ์ได้ผลผลิตเฉลี่ย 15.8 ตัน/ไร่ และวันปลูกที่ 3 ปลูกในช่วงเดือนมีนาคมถึงเดือนพฤษภาคม ให้ผลผลิตเฉลี่ยต่ำที่สุด 13.8 ตัน/ไร่ (Table 2.1-3) ผลผลิตสูงสุดมาจากการใช้พันธุ์ KK07-037 ปลูกวันปลูกที่ 1 และปลูกที่ศูนย์วิจัยพืชไร่นครสวรรค์ ส่วนผลผลิตต่ำสุดมาจากพันธุ์ K95-84 ปลูกในวันปลูกที่ 3 ในแปลงทดลองศูนย์วิจัยและพัฒนาการเกษตรกาญจนบุรี ความหลากหลายของสภาพแวดล้อมและการจัดการแปลงปลูกอ้อยทำให้ผลผลิตมีความแปรปรวนสูง ในขณะที่ จ.สุโขทัย และ จ.บุรีรัมย์ มีความแปรปรวนน้อยมาก เนื่องมาจากมีการปลูกอ้อยวันปลูกเดียว ทำให้ผลผลิตที่ได้ไม่แตกต่างกัน

Table 2.1-1 Maximum yield, minimum yield, average yield, and standard deviation of sugarcane production under irrigated condition in some major production areas in Thailand during 2015-2017

Province	Maximum yield ($t.rai^{-1}$)	Minimum yield ($t.rai^{-1}$)	Average yield ($t.rai^{-1}$)	Standard deviation ($t.rai^{-1}$)
Nakhon Sawan	40.1	23.9	32.5	8.7
Khon Kaen	33.4	9.7	20.6	4.3
Loei	19.3	5.5	11.3	4.3
Kanchanaburi	23.1	5.4	12.8	5.2
Prachin Buri	21.9	6.7	12.6	3.2
Mukdahan	21.7	10.6	15.0	5.2
Sukhothai	19.6	16.5	17.5	1.4
Buri Ram	16.7	15.7	16.0	0.4

Table 2.1-2 Maximum yield, minimum yield, average yield, and standard deviation of various cultivars for sugarcane production under irrigated condition in some major production areas in Thailand during 2015-2017

Cultivars	Maximum yield ($t.rai^{-1}$)	Minimum yield ($t.rai^{-1}$)	Average yield ($t.rai^{-1}$)	Standard deviation
KK07-037	40.1	6.7	18.2	10.1
95-2-213	34.6	6.3	17.6	9.0
K95-84	34.0	5.5	16.8	8.8

Table 2.1-3 Maximum yield, minimum yield, average yield, and standard deviation of various planting date for sugarcane production under irrigated condition in some major production areas in Thailand during 2015-2017

Planting date	Maximum yield ($t.rai^{-1}$)	Minimum yield ($t.rai^{-1}$)	Average yield ($t.rai^{-1}$)	Standard deviation ($t.rai^{-1}$)
Nov. 2015-Dec. 2015	40.1	12.8	23.0	8.5
Jan. 2016-Feb. 2016	35.3	6.8	15.8	8.4
Mar. 2016-May 2016	32.7	5.5	13.8	8.2

สำหรับค่าวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ของอ้อยในระบบการผลิตตั้งแต่ปลูกจนถึงเก็บเกี่ยวเฉลี่ย 117.7 ลบ.ม./ตัน โดยเป็น green water footprint, blue water footprint และ grey water footprint เฉลี่ย 58.5 37.5 และ 21.7 ลบ.ม./ตัน ตามลำดับ (Table 2.1-4) และมีความแปรปรวนสูงเช่นเดียวกัน เนื่องมากจากความแปรปรวนของผลผลิตที่มีค่าสูง ความแตกต่างของสภาพภูมิอากาศ ช่วงเวลาปลูกอ้อย และการใช้ปุ๋ยเคมี ทำให้มีค่า green water foot print, blue water footprint และ grey water footprint มีความแตกต่างกัน

Table 2.1-4 The water footprint of sugarcane for sugarcane production under irrigated condition in some major production areas in Thailand during 2015-2017

Province	Total WF ($m^3.t^{-1}$)	WF_{Green} ($m^3.t^{-1}$)	WF_{Blue} ($m^3.t^{-1}$)	WF_{Grey} ($m^3.t^{-1}$)
Nakhon Sawan	53.0	26.8	16.8	9.4
Khon Kaen	91.8	49.8	24.3	17.7
Loei	156.9	89.0	36.7	31.1
Kanchanaburi	120.6	39.9	52.2	28.5
Prachin Buri	172.3	81.3	57.0	33.9
Mukdahan	104.2	56.0	37.7	10.5
Sukhothai	102.0	60.6	23.1	18.3
Buri Ram	155.2	80.4	52.4	22.4
Mean	117.7	58.5	37.5	21.7
SD	57.5	30.9	18.8	13.5

ถึงแม้ว่าวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ของอ้อยในสภาพการผลิตแบบอาศัยน้ำฝนมีค่าต่ำกว่าการผลิตแบบให้น้ำชลประทาน 22.6 ลบ.ม./ตัน แต่ผลผลิตของอ้อยทั้งสองระบบการผลิตไม่ได้เป็นปัจจัยที่จะบอกถึงค่าวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ ทั้งนี้เนื่องจากตลอดการผลิตอ้อยแบบการให้น้ำชลประทาน มีการให้น้ำตามความต้องการน้ำของอ้อยในปริมาณที่ค่อนข้างมากคิดเป็น blue water footprint เฉลี่ย 37.5 ลบ.ม./ตัน แต่ผลผลิตเพิ่มขึ้นจากการปลูกแบบอาศัยน้ำฝนเพียง 1.4 ตัน/ไร่ อาจเป็นเพราะว่าในช่วงปีที่ศึกษามีปริมาณน้ำฝนเพียงพอต่อการรักษาระดับผลผลิตอ้อยในการปลูกสภาพอาศัยน้ำฝนไม่ให้ลดลงได้ หรืออ้อยที่ปลูกในสภาพอาศัยน้ำฝนสามารถทนการขาดน้ำได้โดยที่ไม่ต้องการน้ำตามความต้องการน้ำของอ้อย สอดคล้องกับผลการทดลองของ ปรีชาและคณะ (2553) ที่พบว่าการให้น้ำในปริมาณร้อยละ 20 ของความต้องการน้ำของอ้อยพันธุ์ขอนแก่น 3 สามารถทำให้ผลผลิตแตกต่างจากการไม่ให้น้ำได้ แต่ผลผลิตไม่มีความแตกต่างเมื่อเพิ่มปริมาณน้ำเป็นร้อยละ 60 แสดงว่าการให้น้ำเพียงร้อยละ 20 ของความต้องการน้ำของอ้อยเพียงพอต่อการรักษาระดับผลผลิตไม่ให้ลดลงได้ ขณะที่ กอบเกียรติและคณะ (2555) พบว่า อ้อยพันธุ์ขอนแก่น 3 มีแนวโน้มให้ผลผลิตสูงสุด 35 ตัน/ไร่ เมื่อให้น้ำเสริมร้อยละ 37.5 ของความจุ

ความชื้นที่เป็นประโยชน์สูงสุดของดินภายในระดับความลึก 1 เมตร และการศึกษาของ Jidapa *et al*. (2017) ที่พบว่า อ้อยพันธุ์ UT 12 และ UT 13 มีน้ำหนักแห้งเหนือดินลดลงเมื่อขาดน้ำในช่วงต้นของการเจริญเติบโต ส่วนพันธุ์ขอนแก่น 3 KKU99-02 และ KKU99-03 ไม่มีความแตกต่างกันกับเมื่อให้น้ำที่ระดับความชื้นสนาม ชี้ให้เห็นว่าการให้น้ำแก่อ้อยควรคำนึงถึงพันธุ์ที่ปลูก และปริมาณน้ำที่ให้เหมาะสมกับแต่ละพันธุ์ จะทำให้การใช้น้ำสำหรับการผลิตอ้อยได้มีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น

การปลูกอ้อยในสภาพอาศัยน้ำฝน

การปลูกอ้อยในพื้นที่ปลูกต่าง ๆ การปลูกในสภาพอาศัยน้ำฝนส่วนใหญ่ปลูกพันธุ์ ขอนแก่น 3 (KK3) และแอลเค92-11 (LK92-11) และจ. สุพรรณบุรี นอกจากปลูกทั้งสองพันธุ์ดังกล่าวแล้วยังมีการปลูกพันธุ์อู่ทอง 10 (U-Thong 10) และอู่ทอง 12 (U-Thong 12) ส่วนการปลูกในสภาพให้น้ำชลประทานใช้พันธุ์ KK07-037 95-2-213 KK07-050 และ K95-84 มีช่วงเวลาการปลูกที่ค่อนข้างกว้าง ตั้งแต่เดือนพฤศจิกายน 2558 ไปจนถึงเดือนเมษายน 2559 และช้าที่สุดปลูกในเดือนสิงหาคม 2559 ที่ จ.กาญจนบุรี แต่ทั้งหมดเก็บเกี่ยวในช่วงเดือนมกราคมถึงเดือนมีนาคมซึ่งเป็นช่วงฤดูเปิดหีบของโรงงานน้ำตาล ช่วงเวลาการปลูกที่ไม่พร้อมกันทำให้ค่าปริมาณน้ำฝนซึ่งเป็นตัวแปรสำคัญสำหรับการคำนวณค่า green water footprint มีค่าแตกต่างกันค่อนข้างสูง อยู่ระหว่าง 217-904 มม. (Table 2.2-1) ในส่วนของการใช้ปุ๋ยเคมีที่เกี่ยวข้องกับค่า blue water footprint พบว่า มีการใช้ปุ๋ยไนโตรเจนแตกต่างกันในแต่ละแหล่งการผลิต มีค่าระหว่าง 7.5-22.0 กก.ไนโตรเจน/ไร่ (Table 2.2-2)

Table 2.2-1 Sugarcane cultivars, planting date, harvesting date, and rainfall accumulation for sugarcane production in some major production areas in Thailand during 2015-2017

Province	Cultivars	Planting date	Harvesting date	Rainfall accumulation during production (mm.)
Nakhon Sawan	KK3, KK07-037, K95-84, 95-2-213	Nov. 2015-Apr.2016	Jan. 2017-Apr. 2017	506-825
Khon Kaen	KK07-037, K95-84, 95-2-213	Nov. 2015-Apr.2016	Jan. 2017-Apr. 2017	476-558
Loei	KK07-037, K95-84, 95-2-213	Dec. 2015-Mar.2016	Jan. 2017-Mar. 2017	305-606
Kanchanaburi	KK07-037, K95-84, 95-2-213, KK07-050	Dec. 2015-Oct.2016	Jan. 2017-Mar. 2017	217-531
Prachin Buri	KK07-037, K95-84, 95-2-213, KK07-050	Dec. 2015-Mar.2016	Jan. 2017-Mar 2017	455-616
Mukdahan	KK07-037, K95-84, 95-2-213, KK07-050	Dec. 2015-Mar.2016	Jan. 2017-Mar 2017	470-538
Sukhothai	KK3, KK07-037, K95-84, 95-2-213, KK07-050	Nov. 2015-Dec.2015	Jan. 2017-Mar 2017	612-685

Province	Cultivars	Planting date	Harvesting date	Rainfall accumulation during production (mm.)
Buri Ram	KK3, LK92-11	Nov. 2015-Dec.2015	Jan. 2017-Mar. 2017	792-844
Kalasin	KK3, LK92-11	Nov. 2015-Dec.2015	Jan. 2017-Mar. 2017	730-882
Maha Sarakham	KK3, LK92-11	Nov. 2015-Dec.2015	Jan. 2017-Mar. 2017	668-789
Uthai Thani	KK3, LK92-11	Nov. 2015-Mar.2016	Jan. 2017-Mar. 2017	693-904
Suphan Buri	KK3, U-Thong 10, LK92-11, U-thong 12	Nov. 2015-Mar.2016	Jan. 2017-Mar. 2017	542-645
Nakhon Ratchasima	KK3, LK92-11	Nov. 2015-Jan.2016	Jan. 2017-Mar. 2017	680-772

Table 2.2-2 Total fertilizer application for sugarcane production and nitrogen leaching in some major production areas in Thailand during 2015-2017

Province	Total fertilizer application ($kg.rai^{-1}$)			Nitrogen leaching ($kg.rai^{-1}$)
	N	P_2O_5	K_2O	
Nakhon Sawan	18.1	14.8	12.3	1.8
Khon Kaen	15.0	15.0	15.0	1.5
Loei	15.0	15.0	15.0	1.5
Kanchanaburi	18.0	9.0	18.0	1.8
Prachin Buri	18.0	9.0	18.0	1.8
Mukdahan	7.5	7.5	7.5	0.8
Sukhothai	20.5	13.1	10.4	2.0
Burirum	23.2	11.3	13.4	2.3
Kalasin	20.8	10.7	8.9	2.1
Maha Sarakham	14.3	13.0	10.1	1.4
Uthai Thani	19.6	9.5	4.0	2.0
Suphan Buri	18.8	7.5	10.2	1.9
Nakhon Ratchasima	22.0	10.8	10.3	2.2

วอเตอร์ฟุตพริ้นท์ของอ้อยในสภาพอาศัยน้ำฝน

ผลผลิตอ้อย 119 แปลง เฉลี่ย 15.9 ตัน/ไร่ โดย จ.นครสวรรค์มีค่าเฉลี่ยของผลผลิตสูงที่สุด 21.6 ตัน/ไร่ แต่มีค่าความแปรปรวนค่อนข้างสูง 8.0 ตัน/ไร่ เนื่องจากมีช่วงวันปลูกที่กว้าง ตั้งแต่พฤศจิกายน 2558 จนถึงเมษายน 2559 ในแปลงที่ปลูกช้าและการจัดการแปลงไม่ดีผลผลิตต่ำมาก 5.0 ตัน/ไร่ ในขณะที่แปลงที่ปลูกเร็วได้รับผลผลิตสูง 35.3 ตัน/ไร่ ในทำนองเดียวกันใน จ.สุพรรณบุรี ผลผลิตสูงสุดเท่ากับ 38.8 ตัน/ไร่ เพราะมีการจัดการแปลงที่ดี ปลูกพันธุ์ขอนแก่น 3 ซึ่งมีศักยภาพในการให้ผลผลิตสูง แต่ค่าเฉลี่ยของจังหวัด 19.6 ตัน/ไร่ และมีความแปรปรวนของผลผลิตสูง 8.1 ตัน/ไร่ เพราะมีการใช้พันธุ์ที่หลากหลาย ในกลุ่มของผลผลิตต่ำ พบว่ามีสาเหตุแตกต่างกันออกไปในแต่ละพื้นที่ เช่นจังหวัดกาญจนบุรีมีสาเหตุมาจากการปลูกช้า (เดือนสิงหาคม) ผลผลิต 4.4 ตัน/ไร่ จ.กาฬสินธุ์ พบว่า มีการกำจัดวัชพืชไม่ทันเวลา 8.0 ตัน/ไร่ จ.มหาสารคาม และ จ.บุรีรัมย์ ในแปลงที่ได้ผลผลิตต่ำพบว่า มีการใช้ปุ๋ยในอัตราที่ต่ำกว่าแปลงที่ได้รับผลผลิตสูง (12.3 และ 12.7 ตัน/ไร่ ตามลำดับ) (Table 2.2-3) ซึ่งผลผลิตอ้อยเป็นตัวแปรสำคัญในการคำนวณค่าวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ของอ้อย ในการศึกษานี้ได้ค่าวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ของอ้อยเฉลี่ย 95.1 ลบ.ม./ตัน โดยเป็น green water footprint และ grey water footprint เฉลี่ย 69.6 และ 25.6 ลบ.ม./ตัน ตามลำดับ (Table 2.2-4) เมื่อเปรียบเทียบกับการศึกษาที่ผ่านมาพบว่า มีค่าต่ำกว่าค่อนข้างมาก เช่น การศึกษาของ สานิตย์ดาและคณะ (2555) พบว่า ค่าวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ของอ้อยเฉลี่ย 192 ลบ.ม./ตัน จากผลผลิตอ้อยเฉลี่ย 10.1 ตัน/ไร่ Rattikarn and Sate (2012) ได้ค่าวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ของอ้อยเฉลี่ย 202 ลบ.ม./ตัน จากผลผลิตอ้อยเฉลี่ย 11.0 ตัน/ไร่ และ Khanittha *et al*. (2017) ได้ค่าวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ของอ้อยในช่วงปี 2556-2557 เฉลี่ย 178 ลบ.ม./ตัน จากผลผลิตอ้อยเฉลี่ย 11.0 ตัน/ไร่ ดังนั้นเมื่อผลผลิตสูงขึ้นทำให้ค่าวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ต่ำลงได้

Table 2.2-3 Maximum yield, minimum yield, average yield, and standard deviation of sugarcane production under rainfed condition in some major production areas in Thailand during 2015-2017

Province	Maximum yield ($t.rai^{-1}$)	Minimum yield ($t.rai^{-1}$)	Average yield ($t.rai^{-1}$)	Standard deviation ($t.rai^{-1}$)
Nakhon Sawan	35.3	5.0	21.6	8.0
Khon Kaen	15.1	9.1	11.7	2.1
Loei	23.4	6.0	15.6	66.6
Kanchanaburi	17.3	4.4	11.2	4.4
Prachin Buri	22.5	8.2	15.6	4.6
Mukdahan	22.6	9.0	15.7	3.9
Sukhothai	17.4	13.4	15.3	1.4
Buri Ram	22.2	12.7	17.8	3.0
Kalasin	18.0	8.0	12.7	3.8
Maha Sarakham	22.0	12.3	17.3	2.9
Uthai Thani	19.6	10.9	15.4	2.8
Suphan Buri	38.8	13.1	19.6	8.1
Nakhon Ratchasima	25.6	14.0	17.4	3.7

Table 2.2-4 The water footprint of sugarcane for sugarcane production under rainfed condition in some major production areas in Thailand during 2015-2017

Province	Total WF ($m^3.t^{-1}$)	WF_{Green} ($m^3.t^{-1}$)	WF_{Grey} ($m^3.t^{-1}$)
Nakhon Sawan	82.1	62.1	20.0
Khon Kaen	98.1	71.8	26.3
Loei	96.3	71.0	25.3
Kanchanaburi	86.0	45.9	40.1
Prachin Buri	84.8	59.4	25.4
Mukdahan	65.1	54.8	10.3
Sukhothai	95.2	68.0	27.2
Buri Ram	103.3	74.8	28.5
Kalasin	143.7	107.9	35.8
Maha Sarakham	87.2	70.6	16.6
Uthai Thani	118.0	90.1	27.9
Suphan Buri	78.1	56.9	21.3
Nakhon Ratchasima	98.7	71.1	27.6
Mean	95.1	69.6	25.6
SD	19.5	15.9	7.6

สรุปผลการวิจัย และข้อเสนอแนะ

ค่าวอเตอร์ฟุตพรินท์ของอ้อยในสภาพอาศัยน้ำฝนจากแหล่งปลูกที่สำคัญเฉลี่ย 95.1 ลบ.ม./ตัน มีขนาดของ green water footprint และ grey water footprint 69.6 : 25.6 ลบ.ม./ตัน ตามลำดับ และในสภาพให้น้ำชลประทานเฉลี่ย 117.7 ลบ.ม./ตัน มีขนาดของ green water footprint, blue water footprint และ grey water footprint 58.5 37.5 และ 21.7 ลบ.ม./ตัน ตามลำดับ การปลูกแบบให้น้ำชลประทานมีค่า blue water footprint เพิ่มขึ้นจากการปลูกแบบอาศัยน้ำฝน 22.6 ลบ.ม./ตัน เนื่องจากต้องให้น้ำตามความต้องการน้ำของอ้อย ดังนั้นการพิจารณาการให้น้ำแก่อ้อยจึงต้องคำนึงถึงพันธุ์ การจัดการ และปริมาณน้ำให้เหมาะสม จะทำให้อ้อยใช้น้ำมีประสิทธิภาพเพิ่มขึ้นได้

บรรณานุกรม

Allen R.G., 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.

Chapagain A.K., A.Y. Hoekstra, H.H.G. Savenije, and R. Gautam. 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.

Gerbens-Leenes P.W. and A.Y. Hoekstra. 2012. The Water Footprint of Sweetners and Bio-ethanol. *Env. Inter.* 40 (2012) : 202-211.

Hoekstra A.Y., A.K. Chapagain, M.M. Aldaya, and M.M. Mekonnen. 2011. *The Water Footprint Manual Setting the Global Standard*. Earthscan Washington, DC. 228 p.

Jidapa K., S. Patcharin, and J. Nattawut. 2017. Growth and Physiological Patterns of Sugarcane Cultivars to Mimics Drought Conditions in Late Rainy Season System. Naresuan University. *J. Sci. Tech*. 25 (2): 102-112.

Khanittha C., K. Supasit, and D.C. Slack. 2017. Evaluation of the Water Footprint of Sugarcane in Eastern Thailand. *Eng. J*. 21 (5): 193-201.

Ratchayuda K. and S. Sate. 2012. Water Footprint of Bioethanol Production from Sugarcane in Thailand. *J. Env. Earth Sci*. 2(11) : 61-68.

Rattikarn K., and S. Sate. 2012. The Water Footprint of Sugarcane and Cassava in Northern Thailand. *Procedia-Social and Behavioral Sci.* 40 (2012): 451-460.

กอบเกียรติ ไพศาลเจริญ ทักษิณา ศันสยะวิชัย ศุภกาญจน์ ล้วนมณี ศรีสุดา ทิพยรักษ์ เกษม ชูสอน จินดารัตน์ ชื่นรุ่ง และชยันต์ ภักดีไทย. 2555. ความต้องการน้ำและค่าสัมประสิทธิ์การใช้น้ำของอ้อยพันธุ์ขอนแก่น 3. *ว. แก่นเกษตร.* 40 (พิเศษ 3): 103-114.

เจษฎา ภัทรเลอพงศ์. 2553. การศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการสังเคราะห์แสงด้วยแสงสุทธิและศักย์ของน้ำในใบอ้อยเพื่อหาค่าสอบเทียบแบบจำลองมวลชีวภาพของอ้อย. หน้า 58-95 *ใน รายงานฉบับสมบูรณ์ โครงการสร้างองค์ความรู้และพัฒนาด้านอ้อยภายใต้แผนแม่บทโครงการสร้างพื้นฐานทางปัญญา โครงการระยะยาว ปี 2552: เล่มที่ 2 ด้านดิน น้ำและปุ๋ย.* กรุงเทพฯ.

นิรนาม. 2554. *คำนวณฝนใช้การ.* คู่มือปฏิบัติงาน เล่มที่ 6/16. กรมชลประทาน. 27 หน้า.

นิรนาม. 2560. *รายงานพื้นที่ปลูกอ้อย ปีการผลิต 2559/60*. กลุ่มวิชาการและสารสนเทศอุตสาหกรรมอ้อยและน้ำตาลทราย สำนักนโยบายอุตสาหกรรมอ้อยและน้ำตาลทราย สำนักงานคณะกรรมการอ้อยและน้ำตาลทราย กรุงเทพฯ 127 หน้า.

นิรนาม. 2561. *SDG6 การจัดการน้ำและสุขาภิบาล*. แหล่งข้อมูล https://thailand.opendevelopmentmekong.net/th/topics/sdg-6-clean-water-and-sanitation สืบค้น: 18 กรกฎาคม 2563.

ปรีชา กาเพ็ชร ทักษิณา ศันสยะวิชัย กาญจนา กิระศักดิ์ และสุพัตตรา คณานิตย์. 2553. การตอบสนองของอ้อย (*Sacharum offcinarum* L.) พันธุ์ขอนแก่น 3 ต่ออัตราการให้น้ำในปริมาณจำกัด. *ว.วิชาการเกษตร*. 28 (3): 306-316.

สานิตย์ดา เตียวต๋อย ชลิตา สุวรรณ และ ธณัฏฐ์ยศ สมใจ. 2555. วอเตอร์ฟุตพริ้นต์ของอ้อยและมันสำปะหลังสำหรับการผลิตเอทานอลในภาคตะวันออก ประเทศไทย. *ว.สมาคมวิศวกรรมเกษตรแห่งประเทศไทย.* 18 (1): 69-75.

กิจกรรมที่ 3
การวิเคราะห์วอเตอร์ฟุตพริ้นท์ของการผลิตมันสำปะหลัง
Water Footprint Assessment for Cassava Production

วลัยพร ศะศิประภา อานนท์ มลิพันธ์ กุสุมา รอดแผ้วพาล โสภิตา สมคิด
เบญจรัตน์ เลิศการค้าสุข รวีวรรณ เชื้อกิตติศักดิ์ ดรุณี เพ็งฤกษ์ ปฐมพงษ์ วงศ์สุวรรณ์
เบญมาศ คำสืบ สายชล แสงแก้ว จิณณจาร์ หาญเศรษฐสุข วารีย์ เวรวรณ์ เสาวรี บำรุง
สายน้ำ อุดพ้วย และอนุสรณ์ เทียนศิริฤกษ์
Walaiporn Sasiprapa Anon Malipan Kusuma Rodpawpan Sopita Somkid
Benjarat Lertkankasuk Raweewan Cheakittisak Darunee Pangluak Prathompong Wongsuwan
Benjamas Kumsueb Saichon Sangkaew Jinnajar Hansethasuk Waree Wenworn
Saowaree Bumrung Sainam Udpuay and Anusorn Tiensiriroek

คำสำคัญ (Key words)
วอเตอร์ฟุตพริ้นท์, มันสำปะหลัง, การจัดการน้ำ
Water footprint , Cassava, water managements

บทคัดย่อ

วอเตอร์ฟุตพริ้นท์เป็นเครื่องชี้วัดการใช้น้ำทั้งทางตรงและทางอ้อม โดยคำนวณปริมาณน้ำจากทุกขั้นตอนตลอดห่วงโซ่ของการผลิตสินค้า มันสำปะหลังเป็นต้นน้ำของอุตสาหกรรมหลายประเภท มีการเผยแพร่ผลการศึกษาวอเตอร์ฟุตพริ้นท์จากข้อมูลมือสองเป็นหลัก การศึกษาในระดับแปลงเกษตรกรยังมีจำกัด จึงดำเนินการศึกษาเพื่อประเมินวอเตอร์ฟุตพริ้นท์จากแปลงที่มีการจัดการน้ำแตกต่างกันในระดับการทดลอง การปลูกในสภาพของเกษตรกร และการผลิตเป็นผลิตภัณฑ์แป้งมันสำปะหลัง คำนวณวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ของมันสำปะหลังหัวสด 1 ตัน พบว่า พื้นที่ที่ให้น้ำได้มีค่าวอเตอร์ฟุตพริ้นท์เฉลี่ย 211 ลบ.ม./ตันหัวสด ส่วนพื้นที่ให้น้ำจำกัด และพื้นที่อาศัยน้ำฝน มีขนาดเฉลี่ย 224 และ 301 ลบ.ม./ตันหัวสด ตามลำดับ ผลผลิตที่สูงให้ขนาดของวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ต่ำ การให้น้ำถูกจังหวะตามความต้องการช่วยให้ผลผลิตสูงขึ้น พันธุ์และช่วงปลูกมีผลให้ขนาดวอเตอร์ฟุตพริ้นท์แตกต่างกันถึงแม้จะปลูกในพื้นที่เดียวกัน ส่วนการประเมินวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ในสภาพแปลงเกษตรกรดำเนินการจาก 4 รอบการผลิต 2560/61 -2563/64 ใน 26 จังหวัด พบว่า ค่าวอเตอร์ฟุตพริ้นท์มีความแตกต่างกันในแต่ละพื้นที่ อันเนื่องมาจากสภาพดินฟ้าอากาศ และการจัดการ การปลูกมันสำปะหลังของเกษตรกร ส่วนใหญ่ปลูกแบบอาศัยน้ำฝน พันธุ์ที่นิยมปลูกได้แก่เกษตรศาสตร์ 50 ระยอง 5 ระยอง 72 ระยอง 11 ส่วนใหญ่ปลูกช่วงเดือนมีนาคมถึงพฤษภาคม ภาคตะวันออกปลูกได้เร็วกว่า ขณะที่ภาคเหนือปลูกล่าช้ากว่าพื้นที่อื่นๆ ระยะเวลาปลูกจนถึงเก็บเกี่ยวเฉลี่ย 10.4 เดือน ต่ำสุด 4 เดือน สูงสุด 19 เดือน เกษตรกรใช้ปุ๋ยไนโตรเจนเฉลี่ย 7.2 กก.N ต่อไร่ ผลผลิตมันสำปะหลังหัวสดเฉลี่ย 4.1 ตัน/ไร่ ค่าวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ของมันสำปะหลังหัวสดเฉลี่ย 268 ลบ.ม./ตัน แยกเป็นค่ากรีนวอเตอร์ฟุตพริ้นต์เฉลี่ย 266 ลบ.ม./ตัน และค่าเกรย์วอเตอร์ฟุตพริ้นต์เฉลี่ย 42 ลบ.ม./ตัน สูงสุดที่จังหวัดพิษณโลก 373 ลบ.ม./ตัน ต่ำสุดที่อุดรธานี 138 ลบ.ม./ตัน

การวิเคราะห์วอเตอร์ฟุตพริ้นท์ของการผลิตแป้งดิบมันสำปะหลัง กรณีศึกษา 3 โรงงานในจังหวัดอุบลราชธานี กำแพงเพชร และสระแก้ว ปีการผลิต 2563-2564 พบว่า การแปรรูปผลิตภัณฑ์แป้งดิบ 1 ตัน ต้องใช้ผลผลิตหัวสด 4.35-4.55 ตัน การแปรรูปแป้งดิบมีการใช้ปริมาณน้ำสูงสุดในขั้นตอนการล้างหัวสดร้อยละ 57-

71 ของปริมาณการใช้น้ำทั้งหมดในกระบวนการผลิต เมื่อนำปริมาณน้ำที่ใช้และปริมาณน้ำเสมือนจริงมาวิเคราะห์วอเตอร์ฟุตพริ้นท์ พบว่า การผลิตแป้งดิบ 1 ตันของแต่ละโรงงานที่ทำการศึกษา มีวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ 38.1 42.5 และ 53.0 ลบ.ม. ตามลำดับ เฉลี่ย 44.6 ลบ.ม./ตันแป้งดิบ เมื่อรวมกับการผลิตมันสำปะหลังในไร่เกษตรกรที่ส่งเข้าโรงงาน วอเตอร์ฟุตพริ้นท์ของวัตถุดิบหัวสดต่อการผลิตแป้งดิบ 1 ตัน ในแต่ละจังหวัดมีค่า 1,079 909 และ 798 ลบ.ม./ตันแป้งดิบ ตามลำดับ เฉลี่ย 928.8 ลบ.ม./ตันแป้งดิบ รวมเป็นวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ทั้งการผลิตมันสำปะหลังในไร่เกษตรกรและกระบวนการแปรรูปในโรงงานจนได้ผลิตภัณฑ์แป้งดิบ 1 ตัน มีวอเตอร์ฟุตพริ้นท์เท่ากับ 1,117 951 และ 851 ลบ.ม. ตามลำดับ หรือเฉลี่ย 973 ลบ.ม. ซึ่งฐานข้อมูลที่ได้จะช่วยสนับสนุนข้อมูลการติดฉลากวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ของผลิตภัณฑ์ในอนาคต รวมทั้งการปรับปรุงการใช้น้ำในขั้นตอนต่างๆ ทำให้เกิดการผลิตที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมต่อไป

Abstracts

Water footprint is used as a tool to measure both direct and indirect water uses by crops or products. Cassava root yield has a wide range of uses in many local downstream industries. Water footprint (WP) of cassava had reported from secondary data- basis, that field-based publication has limited. So, investigation should be conduct WP of cassava was assessed under 3 water managements, the result show that the averaged WP of cassava under irrigation conditions had low WP of 211 m^3/ton, compared to 224 and 301 m^3/ton of limited-irrigation and rainfed conditions, respectively. Higher yield gave low WP, whereas irrigation as crop water requirement gave a higher yield. Varieties and planting times were the main factors determining WP differences, although cassava was grown at the same farm. Whereas WF of cassava fresh root yield in farmer's fields was investigated from 4 consecutive growing seasons between 2017/18-2020/21 in 26 provinces. The result shown that WP varies for each region due to different of soil, weather and management. Almost cassava grows in rainfed condition, KU50, R5 R72 and R11 are major cultivars. The growing season start in March-May, earlier in east region and late in the north region, 10.4 months long that 4 months minimum and 19 months maximum. The average fertilizer application rate was 7.2 kg.N/rai. The average root yield was 4.1 ton/rai. The WF assessment show that the water uses per 1 ton of fresh root yield is 268 whereas 266 is WF_{green} and 42 is WP_{grey}. Pitsanulok province was highest 373 m^3 and Udonthani was lowest 138 m^3.

WF of native tapioca starch from factories was investigated, 3 case studies of tapioca starch factories in Ubonratchathani, Kamphaengphet, and Sakaeo province during 2020-2021 growing seasons. The result shows that 1 ton of products of native tapioca starch was used 4.35-4.55 tons of fresh root yields. In processing procedure, the highest of water content used was the fresh roots washing step, 57-71% of the total water consumption. Water consumption and virtual water content were analyzed, it found that the water footprint of 1 ton of native starch for each plant studied had 38.1, 42.5 and, 53.0 m^3, respectively, averaging 44.6 m^3. While cassava fresh root yields in farmer's fields for each factories were 1,079, 909 and 798 m^3./ton of native starch, respectively, averaging 928.8. Combining both the farmer’s cassava production and native starch production resulting 1 ton of native tapioca starch having water footprint of 1,117, 951 and 851 m^3, respectively, averaging 973 m^3. Therefore, this database will support the water footprint labeling data of starch products in the future and improving water use in the processing each process to continuing environmentally friendly production.

บทนำ

ไทยเป็นผู้ส่งออกผลิตภัณฑ์มันสำปะหลังรายใหญ่ที่สุดของโลก โดยมีส่วนแบ่งในตลาดส่งออก แป้งมันสำปะหลังดิบอยู่ที่ 80% มันเส้น 57% และแป้งมันสำปะหลังดัดแปร 30% จากวัตถุดิบในประเทศ 88.6% ใช้ผลิตเพื่อบริโภคภายในประเทศ 36% ที่เหลือส่งออก (ชัยวัช, 2563) มีเกษตรกรผู้ปลูกมันสำปะหลังประมาณ 5.2 แสนครัวเรือน พื้นที่เพาะปลูก 9.4 ล้านไร่ ผลผลิต 28.9 ล้านตัน ในปี พ.ศ. 2563 (สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร, 2564) จากสภาพภูมิอากาศในช่วงที่ผ่านมา ทำให้ระบบการผลิตของมันสำปะหลังเปลี่ยนแปลง เช่น การปลูกล่าช้า ปลูกแล้วกระทบแล้งต้องปลูกซ้ำ ช่วงฤดูปลูกสั้นทำให้ผลผลิตลดลง รวมทั้งการปรับเปลี่ยนการพืชปลูกจากผลผลิตและราคาของพืชแข่งขัน เช่น อ้อยโรงงานและข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ แม้การปลูกมันสำปะหลังจะอาศัยน้ำฝนเป็นหลัก แต่สภาวะโลกร้อนส่งผลกระทบต่อวัฏจักรของน้ำบนโลก เกิดความผันแปรของพายุหมุนเขตร้อน ภาวะฝนแล้ง ฝนทิ้งช่วงยาวนาน และขาดแคลนน้ำในบางพื้นที่ หรือภาวะน้ำท่วมหนัก ซึ่งส่งผลกระทบต่อภาคการเกษตร การบริหารจัดการน้ำแบบบูรณาการ เพื่อปกป้องและฟื้นฟูระบบนิเวศน์ที่เกี่ยวข้องกับแหล่งน้ำ และรักษาทรัพยากรธรรมชาติและสภาพภูมิอากาศเพื่อพลเมืองโลกรุ่นต่อไป จึงเป็นเป้าหมายหนึ่งของการพัฒนาที่ยั่งยืน (SDGs) จึงมีแนวคิดในการบริหารจัดการน้ำผ่านเครื่องมือที่เรียกว่า วอเตอร์ฟุตพริ้นท์ (Water footprint: WF) วัดการใช้น้ำทั้งทางตรงและทางอ้อม โดยคำนวณปริมาณน้ำจากผลรวมของทุกขั้นตอนตลอดห่วงโซ่ของการผลิตสินค้า หรือบริการ หลายประเทศใช้ค่าวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ในการผลิตพืชและผลิตภัณฑ์เป็นเครื่องมือกีดกันทางการการค้า

มันสำปะหลังจึงเป็นต้นน้ำของอุตสาหกรรมหลายประเภท การศึกษาวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ในการผลิตมันสำปะหลัง ใช้ข้อมูลมือสองเป็นหลัก เช่น มันสำปะหลังของโลก คำนวณวอเตอร์ฟุตพริ้นท์แยกเป็นกรีน บลู และเกรย์วอเตอร์ 550 0 และ 13 ลบ.ม./ตัน ตามลำดับ (Mekonnen and Hoekstra, 2011) Tapanee *et al* (2015) ประมาณค่าจากการปลูกวันที่ 1 พ.ค. แบบอาศัยน้ำฝนมีขนาด 257 ลบ.ม./ตัน แยกเป็นกรีน บลู และเกรย์วอเตอร์ขนาด 178 0 78 ลบ.ม./ตัน ตามลำดับ ส่วนอนัตยา และคณะ (2557) รายงานค่าวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ของจังหวัดลพบุรี 430 ลบ.ม./ตันหัวสด แยกเป็นกรีนและเกรย์วอเตอร์ 333 และ 97 ลบ.ม./ตัน ตามลำดับ รวมทั้งชินาธิปกรณ์ และธำรงรัตน์ (2554) ที่รายงานว่ามันสำปะหลังมีวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ 599.4 ลบ.ม./ตัน ซึ่งคำนวณจากผลผลิตมันสำปะหลัง 3.4 ตัน/ไร่ สำหรับการผลิตเอทานอลจากมันสำปะหลังประมาณ 64 - 77 % เป็นกรีนวอเตอร์ ซึ่งติดมากับการผลิตมันสำปะหลังในแปลง Babel *et al.* (2011) รายงานวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ของมันสำปะหลังในเขตลุ่มน้ำคลองโพธิ์ จังหวัดระยองมีค่า 435 ลบ.ม./ตัน จากผลผลิตเฉลี่ย 3.78 ตัน/ไร่ ในขณะที่ Kongboon and Sampattagul (2012) ได้วิเคราะห์วอเตอร์ฟุตพริ้นท์ของมันสำปะหลังในเขตภาคเหนือของประเทศไทย พบว่า มีค่า 509 ลบ.ม./ตัน จากผลผลิตเฉลี่ยของสำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร 3.48 ตัน/ไร่ สูงที่สุดและต่ำที่สุดอยู่ที่จังหวัดอุทัยธานีและจังหวัดกำแพงเพชร ซึ่งมีค่าวอเตอร์ฟุตพรินต์เท่ากับ 547 ลบ.ม./ตัน และ 451 ลบ.ม./ตัน สานิตย์ดา และคณะ (2555) รายงานวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ของมันสำปะหลังในเขตภาคตะวันออก ได้แก่ จันทบุรี ฉะเชิงเทรา ชลบุรี ปราจีนบุรี ระยอง และสระแก้ว มีค่าอยู่ระหว่าง 395-468 ลบ.ม./ตัน เฉลี่ย 448 ลบ.ม./ตัน เมื่อเปรียบเทียบกับต่างประเทศผู้ผลิตมันสำปะหลังรายใหญ่ พบว่า วอเตอร์ฟุตพริ้นท์ของมันสำปะหลังในไนจีเรีย บราซิล ไทย คองโกและอินโดนีเซียมีค่า 578, 610, 409-455, 769 และ 502 ลบ.ม./ตัน ตามลำดับ (Kaenchan and Gheewala. 2013) การประเมินมีความแตกต่างในเรื่องของที่มาและช่วงเวลาของข้อมูล

การประเมินวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ของวัตถุดิบมักประเมินจากข้อมูลมือสองเป็นหลัก เช่น การผลิตเอทานอลจากมันสำปะหลังมีปริมาณ 2,544 ลิตรน้ำ/ลิตรเอทานอล (อนัตยา และคณะ,2557) โดยปริมาณ 64 - 77 % เป็นกรีนวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ (ชินาธิปกรณ์ และ ธำรงรัตน์, 2554; อนัตยา และคณะ, 2557) ซึ่งติดมากับการผลิตมัน

สำปะหลังในแปลง ทำให้เห็นว่าการผลิตในภาคเกษตรใช้น้ำมาก หากผลผลิตต่อไร่สูงขึ้นจะสามารถลดขนาดของวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ลงได้อีก ซึ่งแสดงให้เห็นว่า การจัดการน้ำในพื้นที่ปลูกมันสำปะหลัง และการเพิ่มผลผลิตต่อไร่มีความสำคัญ การให้น้ำในระบบการผลิตมันสำปะหลังจะช่วยยกระดับผลผลิตได้ และจากสภาพภูมิอากาศที่ร้อนและแห้งแล้งในช่วง 2-3 ปีที่ผ่านมา ทำให้ระบบการผลิตของมันสำปะหลังเปลี่ยนแปลง เป็นต้นว่า การปลูกล่าช้าออกไป ทำให้ระยะเวลาในการเจริญเติบโตสั้นลง หรือปลูกแล้วกระทบแล้งทั้งในระยะแรกและระยะการเจริญเติบโต ทำให้ผลผลิตลดลง แต่บางพื้นที่ที่มีสภาพเอื้ออำนวยจึงพัฒนาระบบการให้น้ำมาใช้ในมันสำปะหลัง เช่น ในพื้นที่ จ.นครราชสีมา กำแพงเพชร และบุรีรัมย์

แม้ Water Footprint จะเป็นมาตรฐานภาคสมัครใจเป็นเครื่องมือกระตุ้นให้ลดการใช้น้ำ โดยเฉพาะประเทศที่กำลังจะเผชิญปัญหาการแย่งชิงทรัพยากร การศึกษาข้อมูลในระดับแปลงจึงมีความจำเป็น เพื่อให้ได้ข้อมูลการประเมินวอเตอร์ฟุตพริ้นท์จากข้อเท็จจริงในสภาพการผลิตของประเทศ ทั้งการใช้น้ำต่อหน่วยผลผลิตของมันสำปะหลัง และการแปรรูปผลิตภัณฑ์แป้งดิบมันสำปะหลัง จึงจำเป็นอย่างยิ่งในการสร้างองค์ความรู้เกี่ยวกับมาตรฐานการประเมินฟุตพริ้นท์น้ำ เพื่อเตรียมความพร้อมในการแสดงข้อมูลฟุตพริ้นท์น้ำของผลิตภัณฑ์เกษตรและอาหาร ที่อาจถูกนำมาใช้เป็นเงื่อนไขทางการค้าระหว่างประเทศ และเป็นข้อมูลประกอบการตัดสินใจเกี่ยวกับการจัดการน้ำที่เหมาะสมต่อไป

ระเบียบวิธีการวิจัย

การดำเนินงานแบ่งเป็น 3 การทดลอง ดังนี้

การทดลองที่ 3.1 การวิเคราะห์วอเตอร์ฟุตพริ้นท์ของมันสำปะหลังที่มีการจัดการน้ำแตกต่างกัน

ดำเนินการคัดเลือกแปลง สำหรับใช้ศึกษาและเก็บข้อมูลการเจริญเติบโต ผลผลิตและการใช้น้ำของมันสำปะหลัง จากพื้นที่ที่มีการจัดการน้ำแตกต่างกัน 3 ระดับ โดยปลูกโดยใช้พันธุ์ ช่วงเวลาและวิธีการปฏิบัติรักษาตามที่เกษตรกรในพื้นที่นั้นปฏิบัติเป็นประจำ ระหว่างปี พ.ศ. 2558-2560 คือ

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

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

3) ไม่ให้น้ำของเกษตรกร ใช้พื้นที่ จ.ระยอง เป็นตัวแทน

จัดทำโปรไฟล์ดิน เก็บตัวอย่างดินวิเคราะห์คุณสมบัติทางกายภาพและทางเคมีดินในแปลงทดลอง พบว่าดินปลูกมันสำปะหลังที่กำแพงเพชร เนื้อดินเป็นดินร่วนปนทราย เป็นกรดจัด มีอินทรีย์วัตถุปานกลางระหว่าง 1.2 - 1.7 % ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์พบมากในดินบน และพบน้อยในระดับความลึกลงไป โพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้สูงมากระหว่าง 334 – 796. มก./กก. ส่วนที่นครราชสีมา เนื้อดินเป็นดินร่วนเหนียวปนทราย มีกรดจัด ชั้นดินบนมีอินทรีย์วัตถุสูงระหว่าง 2.06-2.32% เนื่องจากเกษตรกรมีการใส่อินทรีย์วัตถุเป็นประจำ ส่วนดินชั้นล่าง ๆ มีปริมาณปานกลางถึงต่ำ ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์พบสูงมากในดินบน และพบน้อยในระดับความลึกลงไปเรื่อยๆ และโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้มีค่าปานกลางถึงต่ำระหว่าง 14.6 – 52.2 มก./กก. และแปลงที่จังหวัดระยอง ดินมีความเป็นกรดจัด ปริมาณอินทรียวัตถุน้อยระหว่าง 0.13 - 0.29 % ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ในดินบนพบปานกลาง และพบน้อยในระดับความลึกลงไป และโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้มีปริมาณต่ำที่ 17.6 – 34.6 มก./กก. (ตารางที่ 3.1-1) นอกจากนี้ยังพบว่า แปลง บ.หนองเข้ พบดินดาน 2 ชั้น หนาเกือบ 50 ซม สำหรับคุณสมบัติทางกายภาพ ดิน มี 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 และสภาพนำน้ำ (Hydraulic conductivity) ของดิน ติดตั้งอุปกรณ์ตรวจวัดทางอุตุนิยมวิทยาในแปลง

ปลูกและดูแลรักษาตามวิธีการให้น้ำต่าง ๆ ที่กำหนด และเก็บข้อมูลการดูแล การจัดการ (ดิน น้ำ ปุ๋ย) ปฏิบัติจริงในแปลง พัฒนาการและการเจริญเติบโต การให้น้ำและการจัดการในแปลง สุ่มเก็บข้อมูลการเจริญเติบโตและการหยั่งลึกของราก เมื่อมันสำปะหลังอายุประมาณ 4 8 10 หรือ 12 เดือน ตามช่วงเวลาปลูกของแต่ละราย เก็บข้อมูลพัฒนาการความสูง ความกว้างของทรงต้น จำนวนและพื้นที่ใบ รวมไปถึงข้อมูลผลผลิตหัวสด เปอร์เซ็นต์แป้ง น้ำหนักแห้งของส่วนต่างๆ คำนวณวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ของมันสำปะหลัง 1 ตัน

ตารางที่ 3.1-1 คุณสมบัติบางประการของดินในแปลงทดลองปลูกมันสำปะหลัง

สถานที่	ระดับความลึก (cm)	เนื้อดิน	pH	FC (mm.)	PWP (mm.)	%OM	avai.P (mg/kg)	exch.K (mg/kg)
ต.วังชะพู อ.ขาณุวรลักษณ์ จ.กำแพงเพชร	0-22	loamy sand	4.81	12.69	7.02	1.35	14.10	79.6
	22 - 38	sandy loam	5.41	15.90	10.94	1.24	4.75	64.4
	38+	sandy loam	5.34	17.98	14.61	1.22	2.08	42.4
ต.ทรงธรรม อ.เมือง จ.กำแพงเพชร	0-26	sandy loam	4.86	18.50	11.75	1.74	26.80	35.2
	26-41	sandy loam	4.38	26.10	22.41	1.39	4.10	37.5
	41+	sandy loam	4.03	29.11	25.05	1.28	2.60	33.4
บ.หนองเข้ ต. สุขไพบูลย์ อ.เสิงสาง จ.นครราชสีมา	0-21	sandy clay loam	5.30	32.59	26.39	2.32	71.25	45.69
	21 – 31	clay loam	5.40	35.3	32.24	1.63	28.05	22.12
	31-44	sandy clay loam	5.10	37.31	33.33	0.85	30.65	16.82
	44-100	sandy clay loam	4.90	35.52	29.68	0.61	5.18	18.57
บ.หนองกาด ต.สุขไพบูลย์ อ.เสิงสาง จ.นครราชสีมา	0-28	sandy clay loam	5.40	27.41	22.67	2.06	57.75	52.21
	28-52	sandy clay loam	5.20	40.24	35.27	0.49	2.31	20.42
	52+	sandy clay loam	5.10	41.98	35.27	0.46	0.85	14.58
ต.ห้วยโป่ง อ.มาบตาพุต จ.ระยอง	0 - 14	loamy sand	4.60	15.65	8.29	0.50	18.15	20.82
	14 - 32	loamy sand	4.50	16.68	10.32	0.31	6.65	17.66
	32 - 72	sandy loam	4.50	17.59	13.93	0.29	5.05	25.22
	72 - 100	sandy clay loam	4.30	21.09	18.11	0.23	6.95	34.59

คำนวณวอเตอร์ฟุตพริ๊นท์ของมันสำปะหลังหัวสด 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 α คือ สัดส่วนของปุ๋ยไนโตรเจนจากการชะละลาย (ประมาณ 10%)

AR ปริมาณปุ๋ยไนโตรเจนที่ใช้ (kg/ไร่)

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

C_{nat} ความเข้มข้นของไนโตรเจนในธรรมชาติ

Y ผลผลิต

สำหรับปริมาณน้ำที่พืชใช้ (CWU) ตลอดช่วงปลูกคำนวณได้จากสูตร $\sum ET_c$ 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 :

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

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

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

สำหรับปริมาณปุ๋ยไนโตรเจน คำนวณจากชนิดและปริมาณการใช้ปุ๋ยของเกษตรกร การวิเคราะห์ตัวอย่างปุ๋ยและรายงานของประภาศรีและคณะ (2548)

การทดลองที่ 3.2 การวิเคราะห์วอเตอร์ฟุตพริ้นท์ของมันสำปะหลังของเกษตรกร

การสำรวจและเก็บรวบรวมข้อมูลในพื้นที่ปลูกมันสำปะหลัง ตามสัดส่วนของพื้นที่เพาะปลูกในจังหวัดที่ปลูกมันสำปะหลังมากกว่า 100,000 ไร่ขึ้นไป ตามข้อมูลสถิติการเกษตรของประเทศไทย ปี พ.ศ. 2559 สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร (2560) และแผนที่ปลูกมันสำปะหลังของกรมพัฒนาที่ดิน จำนวนรวม 26 จังหวัด สุ่มสัมภาษณ์เกษตรกรตามสัดส่วนพื้นที่ปลูก โดยใช้แบบสัมภาษณ์ซึ่งประกอบด้วย การใช้พันธุ์มันสำปะหลัง เนื้อดิน การเตรียมแปลงปลูก การปรับปรุงดินก่อนปลูก อัตราปลูก การใช้ปัจจัยการผลิตทางเกษตร การจัดการดูแลรักษา การให้น้ำ การเก็บเกี่ยวผลผลิต และผลผลิตหัวสดต่อไร่ รวมทั้งวันที่เกี่ยวข้อง ได้แก่ วันปลูก วันเก็บเกี่ยว ของปีเพาะปลูก 2560/61 - 2563/46 ส่วนข้อมูลภูมิอากาศรวบรวมจากสถานีอุตุนิยมวิทยาในพื้นที่หรือที่อยู่ใกล้เคียงของปี พ.ศ. 2560-2564 สำหรับปุ๋ยมูลสัตว์ และปุ๋ยอินทรีย์คิดปริมาณไนโตรเจน ตามประภาศรี และคณะ, 2541)

คำนวณวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ของมันสำปะหลังต่อผลผลิตหัวสด คำนวณปริมาณน้ำแยกเป็นส่วน Blue Water Footprint (WF_{blue}), Green Water Footprint (WF_{green}) และ Grey Water Footprint (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 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 $ET_c = K_s \times K_c \times ET_0$

CWU =$\sum ET_c$ ตลอดช่วงปลูก (K_s คือ ผลกระทบที่เกิดจากการขาดน้ำต่อกระบวนการคายน้ำของพืช มีค่า 1)

K_c มันสำปะหลัง (บัญชาและคณะ, 2553)

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

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

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

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

$ET_{c\ blue}$ = max (0, ET_c - Peff) กรณีปลูกแบบอาศัยน้ำฝน มีค่า 0

การทดลองที่ 3.3 การวิเคราะห์วอเตอร์ฟุตพริ้นท์ของการผลิตแป้งมันสำปะหลัง

สัมภาษณ์และสอบถามผู้ประกอบการแปรรูปผลิตภัณฑ์จากผลผลิตหัวสดมันสำปะหลังเป็นแป้งดิบมันสำปะหลัง (native tapioca starch) โดยใช้แบบสัมภาษณ์ เพื่อศึกษาขั้นตอนต่าง ๆ ในกระบวนการผลิตแป้งดิบมันสำปะหลังตั้งแต่การรวบรวมผลผลิตหัวสดมันสำปะหลังเข้าสู่โรงงานจนสิ้นสุดกระบวนการแปรรูปผลิตภัณฑ์แป้งดิบ สอบถามข้อมูลปริมาณการใช้น้ำในแต่ละขั้นตอน การใช้ปัจจัยการผลิตที่เกี่ยวข้อง และการใช้พลังงานในการผลิต จากนั้นนำมาคำนวณวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ในกระบวนการผลิตแป้งดิบมันสำปะหลัง

การคำนวณค่าวอเตอร์ฟุตพรินต์ของผลิตภัณฑ์ ในการใช้น้ำตลอดห่วงโซ่กระบวนการผลิตแป้งดิบมันสำปะหลัง สามารถคำนวณได้โดยใช้สูตร

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

กรีนวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ (WF_{green}) : ปริมาณน้ำที่อยู่ในรูปของความชื้นของวัตถุดิบ (หัวสด) ที่ถูกใช้ในการผลิตสินค้าและบริการ

บูลวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ (WF_{blue}) : ปริมาณน้ำจากแหล่งน้ำธรรมชาติทั้งแหล่งน้ำผิวดินและแหล่งน้ำใต้ดิน รวมทั้งแหล่งน้ำต่าง ๆ ที่ถูกใช้ในการผลิตสินค้าและบริการ

เกรย์วอเตอร์ฟุตพริ้นท์ (WF_{grey}) : ปริมาณน้ำที่ใช้ในการบำบัดน้ำเสียที่เกิดขึ้นจากกระบวนการผลิตสินค้าและบริการให้เป็นน้ำดีตามมาตรฐาน ซึ่งในการทดลองในครั้งนี้ดำเนินการศึกษาค่า BOD (biochemical oxygen demand) ของน้ำเสียที่เกิดจากกระบวนการผลิตแป้งดิบ โดยใช้น้ำบำบัดให้ได้มาตรฐานตาม ประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม เรื่อง กำหนดมาตรฐานควบคุมการระบายน้ำทิ้งจากโรงงาน พ.ศ. 2560 ที่กำหนดน้ำที่เกิดจากการประกอบกิจการโรงงานที่จะระบายออกจากโรงงาน ต้องมีค่า BOD ไม่เกิน 20 มิลลิกรัมต่อลิตร

การคำนวณวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ของการผลิตของผลิตภัณฑ์ โดยการคำนวณหาปริมาณน้ำที่ใช้ตลอดห่วงโซ่ของกระบวนการผลิตแป้งดิบมันสำปะหลัง สามารถคำนวณได้จากสมการ

$$WF = VW \times C$$

โดยที่ WF คือ วอเตอร์ฟุตพริ้นท์ของผลิตภัณฑ์ (ลบ.ม./ตัน)
VW คือ ปริมาณน้ำเสมือนของผลิตภัณฑ์ (ลบ.ม./ตัน)
C คือ ปริมาณวัตถุดิบที่ใช้ในการผลิต (ตัน)

การคำนวณปริมาณน้ำเสมือนการผลิตของผลิตภัณฑ์ การคำนวณหาปริมาณน้ำที่ใช้ตลอดห่วงโซ่ของกระบวนการผลิตแป้งดิบมันสำปะหลัง สามารถคำนวณได้จากสมการ

$$VW = VW_{green} + VW_{blue} + VW_{grey}$$

โดยที่ VW_{green} คือ ปริมาณน้ำกรีนวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ของผลิตภัณฑ์ (ลบ.ม./ตัน)
VW_{blue} คือ ปริมาณน้ำบูลวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ของผลิตภัณฑ์ (ลบ.ม./ตัน)
VW_{grey} คือ ปริมาณน้ำเกรย์วอเตอร์ฟุตพริ้นท์ของผลิตภัณฑ์ (ลบ.ม./ตัน)

ผลการวิจัยและอภิปราย

การวิเคราะห์วอเตอร์ฟุตพริ้นท์ของมันสำปะหลังที่มีการจัดการน้ำแตกต่างกัน

การเจริญเติบโตและผลผลิต

จ. นครราชสีมา ปลูกพันธุ์ CMR43-8-89 วันที่ 12 ธันวาคม 2558 และ 16 ธันวาคม 2558 ทั้ง 2 แปลง ปลูกแบบยกร่อง ให้น้ำแบบหยด ปีก่อนหน้าใส่ขี้ไก่รองพื้นแต่ปีที่ปลูกนี้ใส่เฉพาะ 15-15-15 อัตรา 45 กก/ไร่ รองพื้น และใส่ปุ๋ยอีกทางสายน้ำหยด 25-5-5 อัตรา 2 กก/ไร่ เมื่อมันสำปะหลังอายุ 2 เดือน ให้น้ำสัปดาห์ละครั้ง อีกแปลงรองพื้นด้วยปุ๋ยขี้หมูอัดเม็ด 600 กก/ไร่ ให้น้ำทางสายน้ำหยด สัปดาห์ละครั้ง แต่ประสบปัญหาหัวเน่าเนื่องจากเชื้อไฟทอปเทอร่าที่เกิดจากเชื้อรา *Phytophthora melonis* (รังษี และคณะ, 2556) เกษตรกรจึงเก็บเกี่ยวเร็วขึ้นที่อายุ 8 เดือน ผลผลิต 4.5 ตัน/ไร่ เปอร์เซ็นต์แป้ง 22% อีก 1 แปลงเก็บเกี่ยวที่อายุ 13 เดือน ผลผลิต 7.8 ตัน/ไร่ เปอร์เซ็นต์แป้ง 24.8% (ตารางที่ 3.1-2) รอบที่ 2 ปลูกแปลงเดียวเนื่องจากเปลี่ยนไปปลูกพืชอื่นหลีกเลี่ยงโรค ปลูกวันที่ 3 มี.ค. 60 ใส่ขี้ไก่แกลบรองพื้น และ 12-4-40 เมื่อมันสำปะหลังอายุ 1.5 เดือน ให้น้ำ 2 ครั้ง เก็บเกี่ยว 19 ธ.ค. 60 ผลผลิต 7.7 ตัน/ไร่ เปอร์เซ็นต์แป้ง 24% พื้นที่นี้นิยมปลูกมันสำปะหลังแบบให้น้ำหยด และนิยมใช้พันธุ์ CMR43-8-89 ผลผลิตประมาณ 9-10 ตัน/ไร่ ผลผลิตที่ได้ลดน้อยลงจากช่วงก่อนหน้ามาก ในพื้นที่จึงลดการปลูกมันสำปะหลังลงหันไปปลูกพืชอื่นทดแทน ในปีที่ 2 แปลงปลูกมันสำปะหลังมีขนาดเล็กลง มีการใช้ปุ๋ยไนโตรเจนระหว่าง 7.8- 38 กก./ไร่

จ. กำแพงเพชร ปลูกพันธุ์ ระยอง 13 และระยอง 11 วันที่ 26 กุมภาพันธ์ 2558 อีกแปลงปลูกพันธุ์CMR35-22-166 หรือน้องแบม และCMR43-8-89 วันที่ 6 กรกฎาคม 2558 ปลูกแบบยกร่อง ให้น้ำแบบหยด ระยะปลูก 80*120 ม. ใส่ 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 อีกแปลงปรับปรุงดินก่อนปลูกด้วยการรองพื้นด้วยปุ๋ยขี้ไก่แกลบ (50 กระสอบ/ไร่ 2 ปี/ครั้ง) น้ำอามิ 1 คันรถ (9,000 ลิตร/25 ไร่) ขี้เถ้าแกลบ 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 อีกแปลงพันธุ์ระยอง 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 พ.ศ. 2559 ทำให้ผลผลิตหัวสดและเปอร์เซ็นต์แป้งไม่สูงนักและแตกต่างกัน ซึ่งการปลูกใหม่ในปีถัดไปพันธุ์ระยอง 13 ให้ผลผลิต 4.5 ตัน/ไร่ มีการใช้ปุ๋ยไนโตรเจนระหว่าง 16.6- 35 กก./ไร่ ส่วนพันธุ์อื่น ๆ ผลผลิตต่ำ อย่างไรก็ตามพื้นที่กำแพงเพชรและใกล้เคียงนิยมปลูกแบบข้ามปีและมีพันธุ์ที่เกษตรกรปลูกหลากหลายกว่าพื้นที่อื่น ๆ ซึ่งทั้ง 2 ปีนี้ฝนมาช้าการปลูกในช่วงต้นฤดูฝนจึงล่าไปมาก ทำให้ผลผลิตต่ำ และช่วงปลายฤดูฝนฝนตกชุกทำให้ประสบปัญหาหัวมันเน่า ซึ่งจะมีผลต่อการคำนวณรอยเท้าน้ำของมันสำปะหลัง ซึ่งจำนวนครั้งและปริมาณการให้น้ำรวมทั้งปริมาณฝนในแปลง

จ. ระยอง ปลูกพันธุ์ระยอง 9 วันที่ 26 พฤศจิกายน 2558 ระยอง 13 ปลูกเมื่อ 9 กุมภาพันธ์ 2559 ปลูกแบบยกร่อง อาศัยน้ำฝน ใส่ปุ๋ย 15-7-18 50 กก./ไร่ ผลผลิตพันธุ์ระยอง 9 อายุ 12 เดือน 4.15 ตัน/ไร่ เปอร์เซ็นต์แป้ง 27.9 % ให้ผลผลิตหัวสด 4.79 ตัน./ไร่ มีเปอร์เซ็นต์แป้ง 24.3 % ปีถัดมาปลูก เมื่อ 23 มกราคม 2559 ใช้พันธุ์ระยอง 9 ระยอง 11 และ ระยอง 13 ให้ผลผลิตหัวสด 5.1 3.2 และ 3.3 ตัน/ไร่ ตามลำดับ มีการใช้ปุ๋ยไนโตรเจน 7.5 กก./ไร่

ปริมาณการใช้น้ำของพืช

ฝนใช้การที่ได้จากการคำนวณข้างต้น ให้ค่าที่ค่อนข้างสูงกว่าวิธี FAO/AGLW method และ Fixed percentage แต่ต่ำกว่าวิธี soil water balance method (Pongpinyopap and Mungcharoen, 2012) การตัดสินใจปลูกมันสำปะหลังของเกษตรกรยังเสี่ยงต่อการขาด ในพื้นที่ที่ให้น้ำได้เกษตรกรเลือกที่จะให้น้ำเพื่อพยุงให้ข้ามแล้ง ปริมาณน้ำที่ให้ทั้งหมดส่วนใหญ่อยู่ในช่วงแรกของการปลูกก่อนเข้าฤดูฝน (ภาพที่ 3.1-1) การปลูกในช่วงปลายฝนให้ผลผลิตสูงกว่าการปลูกช่วงพฤษภาคม-มิถุนายน ของทั้ง 2 รอบปี เมื่อพิจารณาร่วมกับความต้องการน้ำของพืช พื้นที่นครราชสีมา การปลูกในช่วงปลายฝนมีปริมาณน้ำฝนไม่เพียงพอต่อความต้องการของมันสำปะหลัง แต่ปริมาณปริมาณน้ำที่ให้ก็ยังไม่เพียงพอกับความต้องการของพืช การปลูกช่วงเดือนมี.ค.ก็ยังเสี่ยงต่อการขาดน้ำในช่วงแรกของการเจริญเติบโต ส่วนพื้นที่กำแพงเพชรการปลูกในช่วงกุมภาพันธ์ ฝนไม่เพียงพอกับความต้องการ เกษตรกรให้น้ำแต่ปริมาณไม่มากด้วยปริมาณต้นทุนในพื้นที่มีจำกัด แต่การปลูกในช่วงมิถุนายน แม้ช่วงแรกปริมาณน้ำฝนมีมากแต่ยังทำให้ระยะ 5 เดือนหลังปลูกประสบปัญหาการขาดน้ำปริมาณน้ำฝนไม่เพียงพอกับความต้องการของพืชทั้งๆปริมาณน้ำฝนตลอดฤดูปลูกรอบการปลูกที่ 2 สูงกว่าก็ตาม

สำหรับพื้นที่อาศัยน้ำฝน การปลูกในเดือนพฤศจิกายน ทำให้เกิดขาดน้ำในช่วงอายุ 3-5 เดือน แต่การปลูกในรอบ 2 ช่วงมกราคมแม้จะมีความเสียงต่อการขาดน้ำแต่โอกาสที่จะขาดน้ำในระยะยาวๆตลอดฤดูปลูกมีน้อย (ภาพที่ 3.1-1) ซึ่งหากเลือกพันธุ์ที่เหมาะสมทำให้ผลผลิตเพิ่มขึ้น เช่น กรณีปลูกพันธุ์ระยอง 9 ให้ผลผลิตเพิ่มขึ้นจาก 4.15 เป็น 5.15 ตัน/ไร่

วอเตอร์ฟุตพริ้นท์

ค่าเฉลี่ยของวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ของมันสำปะหลังหัวสด 1 ตัน ที่ประมาณได้อยู่ระหว่าง 147-366 ลบ.ม. โดย 48-87 % เป็นกรีนวอเตอร์หรือมีขนาดระหว่าง 92-339 ลบ.ม. 0-9 % เป็นบลูวอเตอร์มีขนาด 0-21 ลบ.ม. และ 13-48 % เป็นเกรย์วอเตอร์มีขนาด 29-97 ลบ.ม. โดยแยกพื้นที่นครราชสีมาได้วอเตอร์ฟุตพริ้นท์เฉลี่ย 211 ลบ.ม. เป็นกรีน บลู และเกรย์วอเตอร์ ขนาด 142 11 และ 58 ลบ.ม. ตามลำดับ พื้นที่กำแพงเพชรมีวอเตอร์ฟุตพริ้นท์เฉลี่ย 224 ลบ.ม. เป็นกรีน บลู และเกรย์วอเตอร์ ขนาด 133 4.5 86 และลบ.ม. ตามลำดับ ส่วนพื้นที่ระยองมีขนาดเฉลี่ย 301 ลบ.ม. เป็นกรีน บลู และเกรย์วอเตอร์ ขนาด 210 0 และ 41 ลบ.ม. ตามลำดับ (ตารางที่ 3.1-2) เมื่อเรียงลำดับตามผลผลิตมันสำปะหลังทุกแปลงและทุกฤดูปลูก พบว่า ผลผลิตที่สูงให้ขนาดของวอเตอร์ฟุตพริ้นท์มีแนวโน้มต่ำลง (ภาพที่ 3.1-2) การเลือกปลูกในช่วงที่เหมาะสมลดปริมาณการใช้น้ำ การให้น้ำถูกจังหวะตามความต้องการช่วยให้ผลผลิตสูงขึ้น พันธุ์และช่วงปลูกมีผลให้ขนาดวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ ถึงแม้จะปลูกในพื้นที่เดียวกัน (ภาพที่ 3.1-3) ตารางที่ 3.1-2) นอกจากนี้ การตัดสินใจให้น้ำของเกษตรกรยึดหลักความจำเป็น อีกทั้งปริมาณน้ำที่ให้น้อยกว่าความต้องการมาก เนื่องจากช่วงปีก่อนๆประสบปัญหาขาดแคลนน้ำ พันธุ์ที่เปอร์เซ็นต์แป้งสูงมักให้ผลผลิตต่ำ การให้น้ำยกระดับผลผลิตได้ไม่มาก ต่างจากพันธุ์ที่ผลผลิตสูงแต่เปอร์เซ็นต์แป้งน้อยกว่าที่การให้น้ำผลผลิตมักเพิ่มสูง นอกจากนี้ การใช้ปุ๋ยของเกษตรกรในพื้นที่กำแพงเพชรที่นิยมปรับปรุงดินด้วยอินทรียวัตถุชนิดต่าง ๆ แต่ใส่ในปริมาณที่สูงแม้บางแปลงไม่ได้ใช้ปุ๋ยเคมีอีก ก็ยังทำให้เกรย์วอเตอร์มีขนาดสูงอยู่ ทั้งนี้การเฉลี่ยปริมาณปุ๋ยไนโตรเจนจากระยะเวลาที่ต้องมีการใส่ซ้ำอาจทำให้ผลการคำนวณสูงกว่าค่าที่เป็นจริง

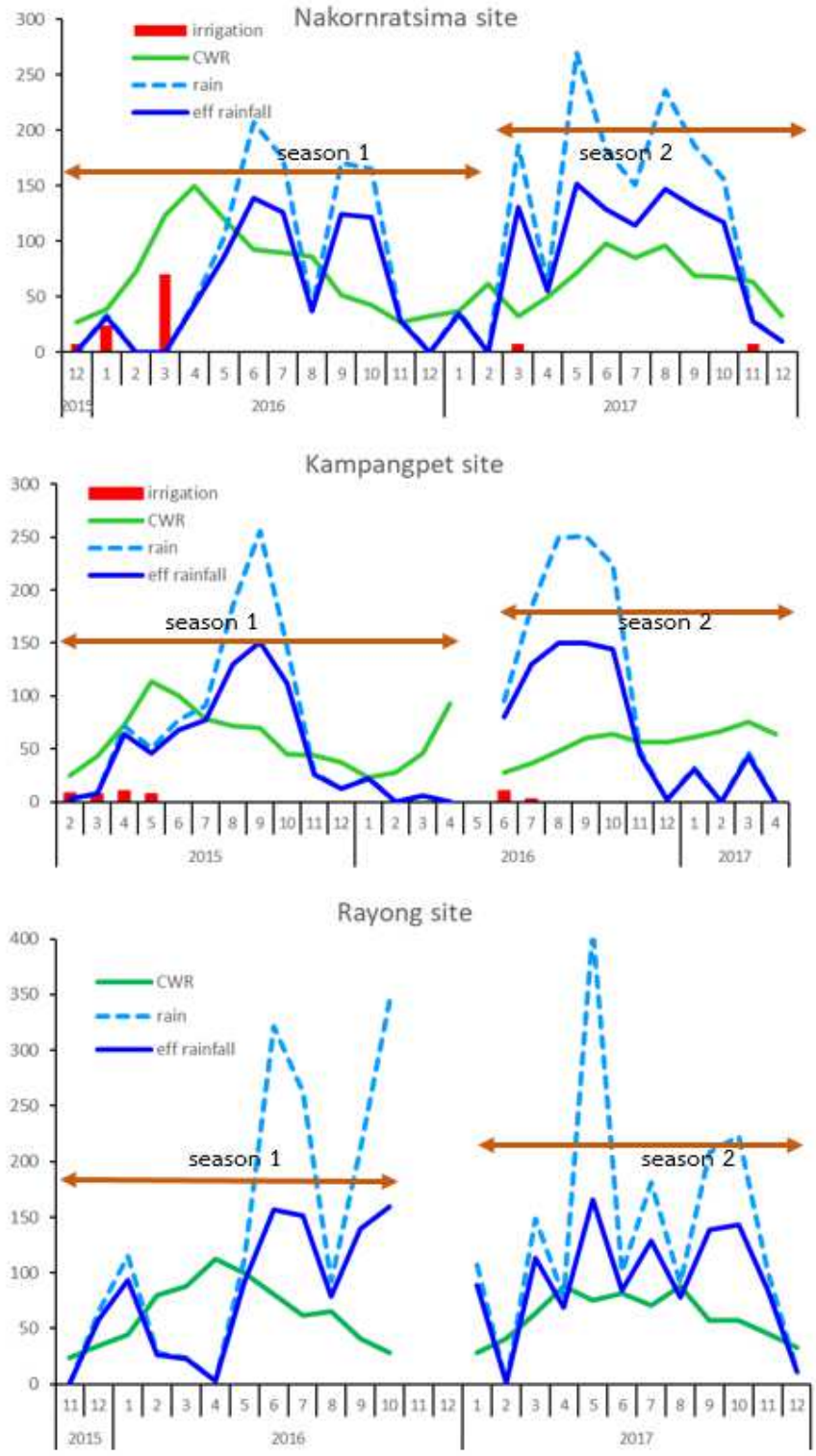
การศึกษาวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ในมันสำปะหลังนี้ใกล้เคียงกับการศึกษาของ Tapanee, *et al* (2015) ที่ประมาณค่าจากการปลูกวันที่ 1 พ.ค. แบบอาศัยน้ำฝนมีขนาด 257 ลบ.ม./ตัน แยกเป็นกรีน บลู และเกรย์วอเตอร์ขนาด 178 0 และ 78 ตามลำดับ แต่ต่ำกว่ามากกับรายงานของอนัตยา และคณะ(2557) ที่มันสำปะหลังมีวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ 430 ลบ.ม. แยกเป็นกรีนวอเตอร์ 333 และเกรย์วอเตอร์ 97 ลบ.ม. ตามลำดับ ซึ่งผู้วิจัยประเมินจากข้อมูลมือสองเป็นหลัก รวมทั้ง ชินาธิปกรณ์ และ ธำรงรัตน์ (2554) ที่รายงานว่ามันสำปะหลังมีวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ 599.4 ลบ.ม./ตัน ซึ่งคำนวณจากผลผลิตมันสำปะหลัง 3.4 ตัน/ไร่

ผลการศึกษาแสดงให้เห็นข้อมูลปริมาณน้ำใช้ส่วนต่าง ๆ สถานที่ และระยะเวลาที่เกิดการใช้น้ำ ปัจจัยที่มีผลกระทบต่อปริมาณน้ำชนิดต่าง ๆ ที่คำนวณได้ เช่น วันปลูก อายุเก็บเกี่ยว การใช้พันธุ์ ปุ๋ย การให้น้ำ และสภาพภูมิอากาศ ซึ่งทำให้การปลูกมันสำปะหลังในที่ดินและเกษตรกรเดียวกันมีปริมาณวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ในแต่ละฤดูการผลิตแตกต่างไป อย่างไรก็ตาม การประมาณค่าใช้ K_c มันสำปะหลังค่าเดียวกันสำหรับทุกพันธุ์ และไม่ได้คำนึงถึงความเครียดของน้ำดิน (soil water stress) โดยปัจจัยที่มีผลต่อเกรย์วอเตอร์ฟุตพริ้นท์ คือ ธาตุอาหารอื่นๆ สารเคมีกำจัดวัชพืช และกำจัดโรคและแมลง แต่การศึกษานี้คำนวณเฉพาะจากการใช้ปุ๋ยไนโตรเจนเท่านั้น เนื่องจากขาดข้อมูลการบำบัดน้ำเสียให้เป็นน้ำดีตามค่ามาตรฐานของมลพิษอื่น ๆ จ.นครราชสีมา ช่วงการศึกษาวอเตอร์ฟุตพริ้นท์นี้ได้รับผลกระทบจากการระบาดของโรครากเน่าโคนเน่า ทำให้ผลผลิตลดลงอย่างมาก ซึ่งควรจัดการสภาพแวดล้อมเพื่อหลีกเลี่ยงการเป็นโรค เช่น ทำให้แปลงไม่แน่นทึบ ดินแห้ง และเปลี่ยนไปปลูกพืชอื่นแทนเนื่องจากการเพร่กระจายของโรคจะไปกับดินและน้ำ เลือกพันธุ์ทนต่อโรค เก็บเกี่ยวเร็วขึ้น เป็นต้น อย่างไรก็ตาม พื้นที่นี้มีแนวโน้มว่าประสิทธิภาพการใช้น้ำในการผลิตมันสำปะหลังสูง ส่วน จ.กำแพงเพชร ความแปรปรวนของฝนมาก การใช้พันธุ์หลากหลาย ควรปลูกในช่วงต้นฝน และเลือกใช้พันธุ์ที่ปรับตัวได้กว้าง ไม่จำเป็นต้องให้น้ำเสริม สำหรับเขตอาศัยน้ำฝน จ.ระยอง ปลูกช่วงก่อนเข้าฤดูฝนทั้งหมด พันธุ์ระยอง 9 มีประสิทธิภาพการใช้น้ำสูงสุด โดยขนาดวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ 227 ลบ.ม. ขณะที่พันธุ์ระยอง 11 มีประสิทธิภาพการใช้น้ำต่ำสุด นอกจากนี้การให้ปุ๋ยตามค่าวิเคราะห์ดินควรนำมาใช้ร่วมด้วย เพื่อให้การใช้ปุ๋ยมีประสิทธิภาพสูงสุด โดยเฉพาะปุ๋ยไนโตรเจนที่นำมาใช้ในการคำนวณ เพื่อการผลิตมันสำปะหลังอย่างยั่งยืน

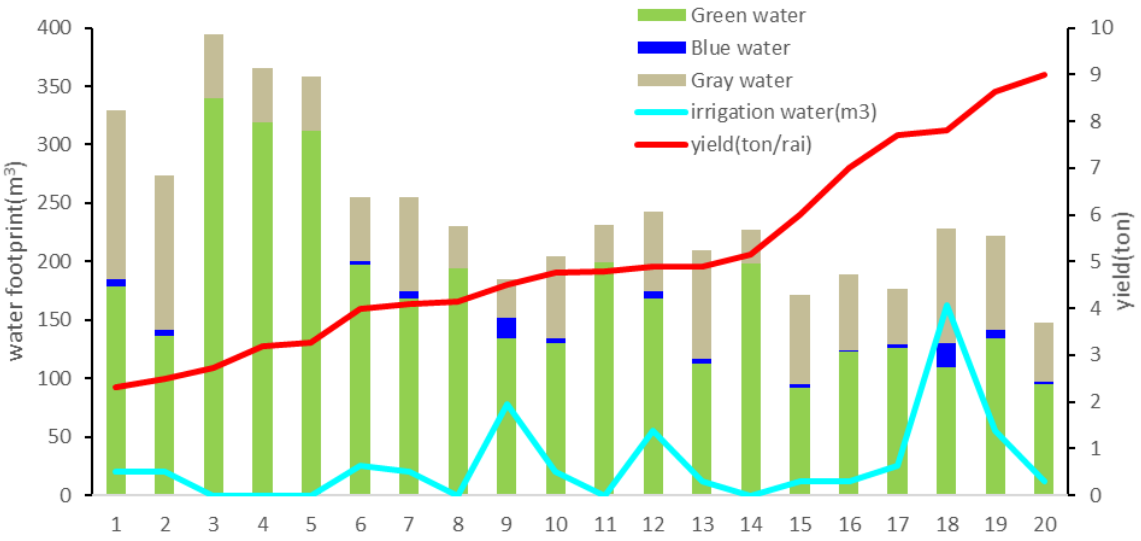
a)

b)

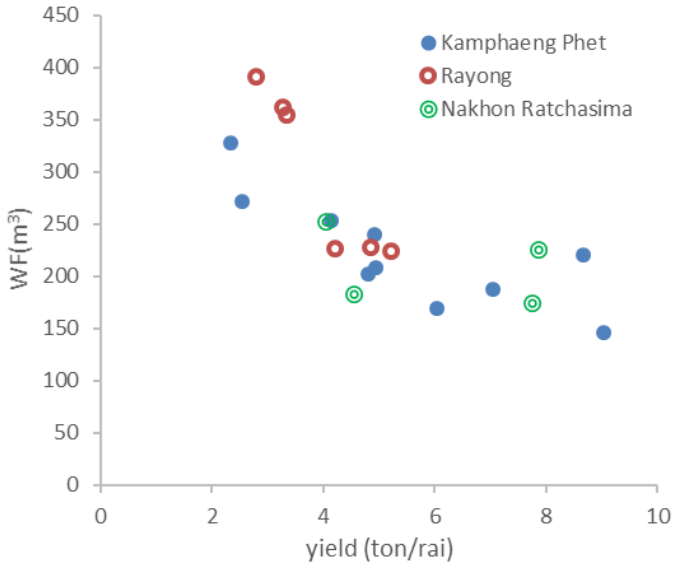
c)



ภาพที่ 3.1-1 ปริมาณฝน ฝนใช้การ ความต้องการน้ำของมันสำปะหลัง และปริมาณน้ำชลประทาน (มม.) ใน จ.นครราชสีมา (a), กำแพงเพชร (b) และระยอง (c) ระหว่างปี พ.ศ. 2558-2560.



ภาพที่ 3.1-2 Green, blue และ grey water footprint ผลผลิตหัวสดมันสำปะหลังและปริมาณน้ำชลประทาน ในแปลงทดลองที่จ.นครราชสีมา กำแพงเพชร และระยอง ระหว่างปี พ.ศ. 2558-2560



ภาพที่ 3.1-3 ความสัมพันธ์ระหว่างผลผลิตหัวสดมันสำปะหลังและ water footprint.

ตารางที่ 3.1-2 Water footprint และผลผลิตหัวสดมันสำปะหลังที่ปลูกในสภาพให้น้ำแตกต่างกันที่ จ.นครราชสีมา กำแพงเพชร และระยอง ระหว่างปี พ.ศ. 2558-2560

Water application	variety	age (month)	yield (ton/rai)	% starch	Water footprint(m^3/ton)			
					Green	Blue	Grey	total
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

การวิเคราะห์วอเตอร์ฟุตพริ้นท์ของมันสำปะหลังของเกษตรกร

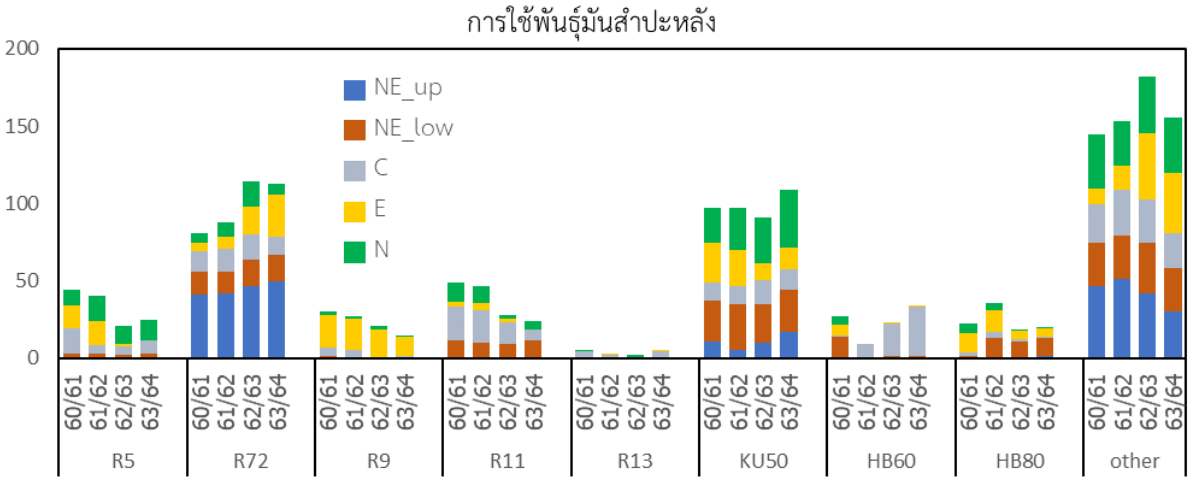
พันธุ์มันสำปะหลัง

การใช้พันธุ์มันสำปะหลังในแต่ละแหล่งปลูกมีความหลากหลาย พบว่า เกษตรกรในแต่ละพื้นที่ปลูกใช้พันธุ์มันสำปะหลังทั้งพันธุ์ที่ผ่านการรับรองจากกรมวิชาการเกษตรและสายพันธุ์มันสำปะหลังที่ไม่ได้ผ่านการรับรองพันธุ์ เช่น สายพันธุ์ CMR33-38-48 CMR36-55-166 และ CMR43-08-89 เป็นต้น เมื่อพิจารณาจากสัดส่วนพื้นที่ปลูกภาคตะวันออกเฉียงเหนือตอนบนนิยมปลูกพันธุ์เกษตรศาสตร์ 50 (KU50) รองลงมา ได้แก่ ระยอง 72 (R72) แต่ภาคตะวันออกเฉียงเหนือตอนล่างนิยมปลูก ระยอง 72 มากกว่า ภาคกลางนิยมปลูกพันธุ์ระยอง 5 (R5) รองลงมาเป็นเกษตรศาสตร์ 50 ภาคตะวันออกนิยมปลูกเกษตรศาสตร์ 50 รองลงมา ได้แก่ ระยอง 9 (ตารางที่ 3.2-1) ส่วนภาคเหนือนิยมปลูกพันธุ์เกษตรศาสตร์ 50 รองมาเป็นระยอง 11 แต่ในหลายพื้นที่เกษตรกรไม่ทราบชื่อพันธุ์ที่ใช้ปลูก หรือเป็นสายพันธุ์/พันธุ์ที่ผู้จำหน่ายพันธุ์ หรือเกษตรกรตั้งชื่อเรียกพันธุ์เอง การใช้พันธุ์ในช่วงปี 2560/61-2563/64 ไม่แตกต่างกันมากนัก (ภาพที่ 3.2-1) ทั้งนี้ช่วงปีท้ายๆของการศึกษามีการระบาดของโรคใบด่างมันสำปะหลัง จึงทำให้มีการเคลื่อนย้ายท่อนพันธุ์จำกัด และระมัดระวังเรื่องแหล่งที่มาของท่อนพันธุ์ การใช้ท่อนพันธุ์ของเกษตรกร จึงไม่ค่อยเปลี่ยนแปลงมากนัก แต่ยังพบการหาพันธุ์ใหม่ๆ มาปลูก

ตารางที่ 3.2-1 การใช้พันธุ์มันสำปะหลังรายจังหวัดปีการเพาะปลูก 2560/61-2563/64

จังหวัด	R5	R72	R9	R11	R13	KU50	HB60	HB80	อื่นๆ
นครราชสีมา		35				15.7	0.25	0.18	49.3
อุบลราชธานี		96							4.36
บุรีรัมย์		34							65.8
ศรีสะเกษ		100							
มหาสารคาม		11				31.7			57.2
สุรินทร์	31	42	1.6					13.2	12.9
ชัยภูมิ	3	31		1		42.2	1.13	0.69	21.2
เลย	6	4.1		1		23.1			66.3
อุดรธานี		1	3.6	27		13.7	13.5	29.6	11.3
กาฬสินธุ์		19				8.08	12.5	22.9	37.8
ขอนแก่น		57	2	16	9.1	13			3.64
สกลนคร						100			
มุกดาหาร				88					12.5
กาญจนบุรี	8	8.5		11	3.1	25.9	26	3.64	13.7
นครสวรรค์	5	3	10	49	5.1	7.45		1.06	18.8
ลพบุรี	0.1	33		1			4.14	1.61	59.6
อุทัยธานี	29	11	3.7	5	2.8	3.31	3.91	2.25	39.7
สระแก้ว	1	22	4.2	2	0.6	27.4	1.17	8.01	34
ชลบุรี	8	1.3	38	3	0.1	15.6	2.53	15.3	16.4
ฉะเชิงเทรา	19	6.5	9.2	2		31.9	0.62	1.03	29.6
จันทบุรี	10	41							48.6
ปราจีนบุรี	1	40	15			35.6			7.45
กำแพงเพชร	9	0.8	1.1	17	1.1	0.05	2.11	5.11	64
เพชรบูรณ์	5	45							50.2
ตาก	60	9.2	7.9	3	0.9	6.11	3.13	6.65	2.98
พิษณุโลก	2	4.3	0.6			91.1			1.99

หมายเหตุ: R5: ระยอง 5 R72: ระยอง 72 R9: ระยอง 9 R11: ระยอง 11 R13: ระยอง 13
KU50: เกษตรศาสตร์ 50 HB60: ห้วยบง 60 HB80: ห้วยบง 80



ภาพที่ 3.2-1 การเปลี่ยนแปลงการใช้พันธุ์มันสำปะหลังของเกษตรกรรายภาคปีเพาะปลูก 2560/61-2563/64

ช่วงปลูกและเก็บเกี่ยว

การปลูกในสภาพอาศัยน้ำฝนในแต่ละแหล่งปลูกจึงขึ้นอยู่กับการตกของฝน พบว่า ส่วนใหญ่ปลูกในช่วงเดือนมีนาคมถึงพฤษภาคม พื้นที่ทางภาคตะวันออกปลูกได้เร็วกว่าพื้นที่อื่น ส่วนใหญ่ปลูกในเดือนกุมภาพันธ์-มีนาคม (ภาพที่ 3.2-1) พื้นที่อื่นการปลูกเกษตรกรจะรอให้มีฝนก่อนหรือรอจังหวะฝน ภาคเหนือการปลูกล่าช้ากว่าพื้นที่อื่นๆ บางพื้นที่ปลูกหลังเก็บผลผลิตอาศัยความชื้นในดิน แต่ก็ทำได้เฉพาะบางพื้นที่ที่มีฝนกระจายดีเท่านั้น การตกของฝนมีผลต่อช่วงเวลาการเริ่มต้นฤดูปลูกมันสำปะหลังในทุกพื้นที่ มีเกษตรกรจำนวนน้อยมากที่ให้น้ำ จากการสำรวจพบร้อยละ 1 ในปีการผลิตแรกโดยให้แบบน้ำหยด หรือสปริงเกอร์ ประกอบกับปัญหาการแย่งน้ำที่มีจำกัดในบางพื้นที่ บางพื้นที่น้ำมากจนเกิดปัญหาหัวมันเน่าผลผลิตลดลง ตลอดจนการเพิ่มขึ้นของผลผลิตและต้นทุนที่ใช้ในการให้น้ำของเกษตรกรไม่สอดคล้องกัน ทำให้การให้น้ำหยดซึ่งเคยได้รับความนิยมก่อนหน้านี้ลดลงอย่างมาก เกษตรกรปรับตัว เช่น ปลูกให้ตรงกับฤดูฝน ปรับช่วงปลูกมาปลูกช่วงปลายฝนมากขึ้นเพื่อให้มันสำปะหลังเจริญเติบโตก่อนเข้าช่วงฤดูหนาว และมีใบปกคลุมดินพอที่จะข้ามแล้ง พร้อมที่จะเติบโตและสะสมน้ำหนักในช่วงฤดูฝนถัดไปช่วยทำให้ผลผลิตสูงขึ้น รวมทั้งเปลี่ยนเป็นพืชอื่นที่ให้ผลตอบแทนสูงกว่า

ส่วนการเก็บเกี่ยวผลผลิตหัวสด เริ่มตั้งแต่ลานมันเปิดเป็นหลักเนื่องจากเกษตรกรขายผลผลิตผ่านลานมันและโรงงานแป้ง และช่วงเวลาการชำระหนี้ของเกษตรกร เช่น ธกส. ชำระเดือนมีนาคม ส่วนใหญ่เก็บเกี่ยวในช่วงมกราคมถึงเมษายน ผลผลิตหัวสดกระจุกตัวสู่แหล่งรับซื้อในช่วง 3-4 เดือน ยกเว้นฉะเชิงเทรา และปราจีนบุรีที่ผลผลิตส่วนใหญ่ออกในช่วงปลายปี (ภาพที่ 3.2-2) โดยเก็บเกี่ยวในช่วงเดือนพฤศจิกายน ซึ่งหลังเก็บเกี่ยวก็จะปลูกต่อเลยเนื่องจากต้องการความชื้นที่เหลืออยู่ให้มันสำปะหลังโตพอข้ามแล้งไปได้ เกษตรกรหลายพื้นที่ปลูกแบบเก็บเกี่ยวข้ามปีเพื่อให้มีท่อนพันธุ์แข็งแรงและเพียงพอสำหรับปลูกในฤดูถัดไป จากสภาวะแห้งแล้ง ฝนทิ้งช่วง และปลูกแล้วฝนไม่ตก กลุ่มนี้จะตัดต้นเพื่อใช้เป็นท่อนพันธุ์สำหรับปลูกในช่วงต้นปีหลังฝนตก และจะเก็บเกี่ยวในช่วงปลายปีของปีถัดไป ทั้งช่วงปลูกและเก็บเกี่ยวเปลี่ยนแปลงไม่มากนักในปีถัดๆ ไป รวมระยะเวลาปลูกจนถึงเก็บเกี่ยวเฉลี่ย 10.4 เดือน ต่ำสุด 4 เดือน สูงสุด 19 เดือน (ตารางที่ 3.2-2)

จังหวัด	ปลูก												เก็บเกี่ยว											
	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	เม.ย.	พ.ค.	มิ.ย.	ก.ค.	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	เม.ย.	พ.ค.	มิ.ย.	ก.ค.	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.
นครราชสีมา	2.3	7.4	20	24	21	9.4	8.4		0.6	3.6	1.6	0.6	6.9	25	32	9	5.0	0.6	13	0.5	1.5	2.6	1.4	2.5
อุบลราชธานี	2.1	2.4	11	26	48	5.5	0.6	0.7		1.6	2.4		6	43	26	11		0.8	1.0			2.5	6.0	4.0
บุรีรัมย์	2.1	2.4	17	14	35	14			2.2	3.2	1.9	7.9	3.0	3.6	13	21	0.1	4.1	2.9	16	1.0	4.3	25	6.1
ศรีสะเกษ			9.9	34	49	7							30	19	29	15								6.4
มหาสารคาม		9.5		4.2	4.0	3.8		7.7	7.5	29	14	21	4.0		4.0	9.7		7	23	30	18			4.0
สุรินทร์			21	23	31	18				6.5			9.5	33	21	2	15				3.2	3.2		12
ชัยภูมิ	0.3	12	14	14	12	11	6.6	0.4	3.1	14	5.2	6.5	14	25	17	7.3	6.5	0.6		2.9	4.8	13	3.6	6.3
เลย	0.8	4.4	14	29	30	17	5.7						12	28	23	22	12	0.7				0.8	1.5	0.8
อุดรธานี	2.1	22	33	13	16	2.7	5.4	0.3		1.1	1.2	3.5	23	17	30	7.8	0.6	0.3	0.3	0.9	9.1	0.3	4.5	6.0
กาฬสินธุ์	3.2	11	34	18		5.8		1.3		9.7	9.4	7.1	6.3	28	25	10		0.8				17	9.9	3.8
ขอนแก่น	4.5	11	19	20	15	12	10			2.5	2.5	2.5	13	25	41	5.7		0.9			1.6		5	7.7
สกลนคร		7.2	29	14	4.5	2.2	2.3	2.2	2.2	11	17	8.4	6	28	9.4	4.4	2.2	6.6			2.2	18	12	10
มุกดาหาร		1.3	36	33	5.3	11	8.3		1.8		3.7		6.4	2.2	51	6.6	16			1.9		5.3	7	4.4
กาญจนบุรี	19	7.6	19	18	13	8.5	0.3	3.4			3.8	6.7	19	19	30	16	0.5		1.7	0.3		4.5	3.8	4.3
นครสวรรค์		3.3	34	21	17	9.1	14				2.5		4.8	12	23	1.7	1.9						21	35
ลพบุรี		11	10	29	32	14						4.3	16	34	24	5.4							5.3	16
อุทัยธานี	12	15	13	5.3	17					6.9	18	14	11	19	21	6	7.9	2.6	1.9			4.7	12	13
สระแก้ว	3.2	17	27	23	17	3.6		1.9		0.6	1	5.5	3.0	35	7	15	1.8	2.3		0.7	5.3	4.7	0.3	26
ชลบุรี	8	21	36	12	6.7	0.2					15	0.7	9	15	8.4	5.6	0.0	14	0.0	1.7	8.4	0.2	11	27
ฉะเชิงเทรา		8.5	39	7.9	2.2	1.8	1.1	0.8		3.5	7.3	28	3.1	27	24	2.8	1.8	0.7			0.6	17	17	7.4
จันทบุรี		13	30	28	27		3.4						14	34	16	1.7	9	9.3						16
ปราจีนบุรี	0.4	5.8		6.7	22	3.5	15	1	0.4		19	26	15	28	5.5			3.8	0.2		0.5		44	2.7
กำแพงเพชร	0.4	0.9	15	14	19	37	4.9	3.8		0.5	2.1	2.1	2.0	18	35	14	2.6				1.8	2.0	17	8.2
เพชรบูรณ์		7.5	15	11	18	40	8.2						1	40	37	2.2							12	7.7
ตาก	1.2				37	30	24		1.6	6.3			12	5	3.8	23	14	13				1.4	25	2.2
พิษณุโลก	8.2	8.1	4.7	1.3	15	30	4			1	17	11	17	1.9	50	18	0.5							13

ภาพที่ 3.2-2 ร้อยละของช่วงปลูกและเก็บเกี่ยวมันสำปะหลังในแต่ละเดือนเฉลี่ยของเกษตรกร 26 จังหวัด ในปีการเพาะปลูก 2560/61- 2563-64

ตารางที่ 3.2-2 ช่วงระยะเวลาปลูกจนถึงเก็บเกี่ยวมันสำปะหลังเฉลี่ยเป็นเดือน (ในวงเล็บเป็นค่าต่ำสุด-สูงสุด) ของเกษตรกร 26 จังหวัด ในปีการเพาะปลูก 2560/61- 2563-64

จังหวัด	ปีการเพาะปลูก (เดือน)			
	2560/61	2561/62	2562/63	2563/64
นครราชสีมา	10.7 (6-14)	11.2 (7-17)	10.5 (9-13)	12 (7-15)
อุบลราชธานี	9.7 (5-17)	9.5 (6-13)	10 (7-11)	9.3 (5-11)
บุรีรัมย์	7.7 (4-14)	9.8 (7-13)	9.5 (5-13)	9.5 (6-14)
ศรีสะเกษ	9.7 (8-12)	9.2 (9-10)	10.4 (8-13)	10.1 (9-11)
มหาสารคาม	10.5 (7-16)	8.8 (5-12)	8.3 (6-9)	9.8 (9-11)
สุรินทร์	9.6 (7-11)	9.2 (7-11)	10.6 (10-11)	9.8 (5-13)
ชัยภูมิ	10.8 (8-13)	10.4 (6-12)	10.9 (9-12)	9.7 (7-13)
เลย	10.3 (7-12)	10.4 (7-12)	11.1 (7-12)	10.3 (9-12)
อุดรธานี	10.6 (7-13)	9.8 (6-13)	11.5 (10-12)	10.1 (8-12)
กาฬสินธุ์	10.6 (7-13)	11.5 (7-12)	11.8 (11-12)	11.2 (9-12)
ขอนแก่น	9.7 (8-12)	11.5 (11-12)	11.4 (10-12)	9.6 (8-13)
สกลนคร	10.8 (7-12)	11.1 (8-13)	11.8 (11-12)	11.4 (9-15)
มุกดาหาร	9.9 (6-13)	10.4 (4-12)	11.6 (9-12)	7.7 (6-10)
กาญจนบุรี	10.8 (7-15)	11.1 (7-16)	10.7 (7-14)	12 (12-12)
นครสวรรค์	9.9 (7-13)	11.2 (8-13)	9.8 (9-11)	7.7 (6-9)
ลพบุรี	9.8 (8-11)	10.1 (9-12)	9.3 (6-10)	10.3 (8-12)
อุทัยธานี	12.5 (11-16)	11.3 (7-15)	10.3 (5-16)	10.7 (9-12)
สระแก้ว	9.1 (4-12)	9.6 (6-14)	11.7 (9-16)	10 (8-12)
ชลบุรี	10.9 (7-14)	12.1 (7-19)	11.3 (8-19)	10.7 (10-12)
ฉะเชิงเทรา	11.7 (10-13)	10.4 (8-12)	9.8 (7-12)	11.4 (9-14)
จันทบุรี	11.3 (7-12)	9.8 (7-12)	9.2 (8-10)	10 (8-12)
ปราจีนบุรี	9.3 (6-12)	10.3 (8-13)	8.9 (7-12)	9.4 (9-10)
กำแพงเพชร	10.6 (7-18)	12.1 (7-18)	11 (9-19)	10.4 (7-18)
เพชรบูรณ์	10.1 (7-12)	11 (10-13)	9.4 (8-11)	7 (6-8)
ตาก	12.5 (11-17)	9.8 (5-12)	11.1 (8-17)	9 (5-16)
พิษณุโลก	12.6 (10-16)	12.5 (10-16)	10 (8-13)	10.3 (4-14)

การใช้ปัจจัยการผลิตทางการเกษตร

เน้นการใช้ปุ๋ยไนโตรเจนเป็นหลัก ซึ่งนำไปใช้ในการประเมินค่าวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ การใช้ปัจจัยการผลิต ได้แก่ ปุ๋ยในรูปแบบต่าง ๆ ทั้งปุ๋ยอินทรีย์ และปุ๋ยเคมี สารเคมีทางการเกษตร ได้แก่ สารควบคุมวัชพืช แช่ท่อนพันธุ์ก่อนปลูก รวมทั้งการให้น้ำชลประทานเสริมในช่วงแล้งบางแปลง พบว่า เกษตรกรทำตามวิธีการของตนเองที่เคยปฏิบัติ มีการเปลี่ยนแปลงบ้างขึ้นอยู่กับทุน ราคาผลผลิตในแต่ละปี การใช้ปุ๋ยในการปลูกมันสำปะหลังเริ่มตั้งแต่การเตรียมดินโดยการใส่อินทรีย์วัตถุ เช่น กากตะกอนโรงงาน ขี้เถ้า ขี้ไก่แกลบ การใส่ปุ๋ยรองก้นหลุมพร้อมปลูกด้วยเครื่องปลูก บางกรณีเกษตรกรจะรอใส่ 1-3 เดือนหลังปลูกเพื่อให้แน่ใจว่าต้นมันสำปะหลังรอดแล้ว และอีกครั้ง 4-6 เดือนหลังปลูก การใช้ปุ๋ยของเกษตรกรในแต่ละรายมีความแตกต่างกันอย่างเด่นชัด เช่น เกษตรกรบางรายใช้เพียงวัสดุอินทรีย์ปรับปรุงดิน บางรายใช้ปุ๋ยเคมีอย่างเดียว บางรายใช้วัสดุอินทรีย์ร่วมกับการใช้ปุ๋ยเคมี หรือผสมปุ๋ยเคมีใช้เอง บางรายมีการฉีดพ่นปุ๋ยทางใบ จากการคำนวณการใช้ปุ๋ยในการปลูกมันสำปะหลังของเกษตรกรเมื่อคิดเป็นเนื้อปุ๋ยไนโตรเจน พบว่า ภาคตะวันออก เกษตรกรใช้ปุ๋ยไนโตรเจนเฉลี่ยสูงสุด 10.7 กก.N ต่อไร่ รองมาคือ ภาคตะวันออกเฉียงเหนือตอนล่าง เกษตรกรใช้ปุ๋ยไนโตรเจนในกระบวนการผลิตเฉลี่ย 7.2 กก.N ต่อไร่ ส่วนภาคอื่น ๆ การใช้ปุ๋ยใกล้เคียงกัน (ตารางที่ 3.2-3) ชลบุรีเป็นจังหวัดที่มีการใช้ปุ๋ยไนโตรเจนสูงสุด 13.6 กก.N ต่อไร่ ส่วนจังหวัดตากเกษตรกรมีการใช้ปุ๋ยไนโตรเจนต่ำสุดเฉลี่ย 1.8 กก.N ต่อไร่ ภาพรวมตลอด 4 ปีการเพาะปลูกการใช้ปุ๋ยของเกษตรกรมีแนวโน้มลดลง ทั้งนี้อาจมีสาเหตุหนึ่งมาจากการตกของฝนที่น้อยลง รายได้และผลผลิตของฤดูกาลก่อน

ผลผลิต

ภาคตะวันออกเฉียงเหนือตอนล่าง จากการสำรวจและรวบรวมข้อมูลในพื้นที่ 6 จังหวัด ในปีการผลิต 2560/61-2563/64 รวม 4 ปี ให้ผลผลิตหัวสดเฉลี่ย 4.0 ตันต่อไร่ โดยจังหวัดศรีสะเกษให้ผลผลิตหัวสดเฉลี่ยสูงสุด 4.6 ตันต่อไร่ ในขณะที่จังหวัดสุรินทร์ให้ผลผลิตหัวสดเฉลี่ยต่ำสุด 3.2 ตันต่อไร่ ภาคตะวันออกเฉียงเหนือตอนบน 7 จังหวัด ให้ผลผลิตหัวสดเฉลี่ย 5.0 ตันต่อไร่ โดยจังหวัดอุดรธานีให้ผลผลิตหัวสดเฉลี่ยสูงสุด 6.5 ตันต่อไร่ ในขณะที่จังหวัดมุกดาหารให้ผลผลิตหัวสดเฉลี่ยต่ำสุด 4.2 ตันต่อไร่ ภาคกลางในพื้นที่ 4 จังหวัด ให้ผลผลิตหัวสดเฉลี่ย 3.9 ตันต่อไร่ โดยจังหวัดลพบุรีให้ผลผลิตหัวสดเฉลี่ยสูงสุด 4.7 ตันต่อไร่ ในขณะที่จังหวัดอุทัยธานีให้ผลผลิตหัวสดเฉลี่ยต่ำสุด 3.1 ตันต่อไร่ ภาคตะวันออกในพื้นที่ 5 จังหวัด ให้ผลผลิตหัวสดเฉลี่ย 3.7 ตันต่อไร่ โดยจังหวัดปราจีนบุรีให้ผลผลิตหัวสดเฉลี่ยสูงสุด 4.5 ตันต่อไร่ ในขณะที่จังหวัดฉะเชิงเทราและสระแก้วให้ผลผลิตหัวสดเฉลี่ยต่ำสุด 3.5 ตันต่อไร่ ภาคเหนือ พื้นที่ 4 จังหวัด ให้ผลผลิตหัวสดเฉลี่ย 3.5 ตันต่อไร่ โดยจังหวัดตากให้ผลผลิตหัวสดเฉลี่ยสูงสุด 4.0 ตันต่อไร่ ในขณะที่จังหวัดพิษณุโลกให้ผลผลิตหัวสดเฉลี่ยต่ำสุด 2.9 ตันต่อไร่ (ตารางที่ 3.2-3) โดยภาพรวม 26 จังหวัด ผลผลิตเฉลี่ย 4.1 ตัน/ไร่ ภาคตะวันออกเฉียงเหนือตอนบนให้ผลผลิตมันสำปะหลังหัวสดเฉลี่ยสูงสุด และภาคเหนือให้ผลผลิตเฉลี่ยต่ำสุด

วอเตอร์ฟุตพริ้นท์ของมันสำปะหลัง

วอเตอร์ฟุตพริ้นท์ของมันสำปะหลังหัวสด 1 ตัน คำนวณแยกเป็น กรีนวอเตอร์ฟุตพริ้นต์ (WF_{Green}) และบลูวอเตอร์ฟุตพริ้นต์ (WF_{Blue}) และเกร์ยวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ (WF_{grey}) ในแต่ละจังหวัด มีรายละเอียดดังนี้

ภาคตะวันออกเฉียงเหนือตอนล่าง 6 จังหวัด จังหวัดสุรินทร์มีค่าวอเตอร์ฟุตพริ้นต์สูงที่สุด 346 ลบ.ม./ตันหัวสด ในขณะที่จังหวัดศรีสะเกษมีค่าวอเตอร์ฟุตพริ้นต์ต่ำที่สุดที่ 222 ลบ.ม./ตันหัวสด โดยค่าวอเตอร์ฟุตพริ้นต์ของภาคตะวันออกเฉียงเหนือตอนล่างเฉลี่ย 288 ลบ.ม./ตันหัวสด แยกเป็นกรีนวอเตอร์ฟุตพริ้นต์เฉลี่ย 245 ลบ.ม./ตันหัวสด และเกรย์วอเตอร์ฟุตพริ้นต์เฉลี่ย 43 ลบ.ม./ตันหัวสด (ตารางที่ 3.2-3)

ภาคตะวันออกเฉียงเหนือตอนบน จังหวัดชัยภูมิมีค่าวอเตอร์ฟุตพริ้นต์สูงที่สุด 238 ลบ.ม./ตันหัวสด ในขณะที่จังหวัดอุดรธานีมีค่าวอเตอร์ฟุตพริ้นต์ต่ำที่สุดที่ 138 ลบ.ม./ตันหัวสด โดยค่าวอเตอร์ฟุตพริ้นต์ของภาคตะวันออกเฉียงเหนือตอนบนเฉลี่ย 196 ลบ.ม./ตันหัวสด แยกเป็นค่ากรีนวอเตอร์ฟุตพริ้นต์เฉลี่ย 168 ลบ.ม./ตันหัวสด และเกรย์วอเตอร์ฟุตพริ้นต์เฉลี่ย 28 ลบ.ม./ตันหัวสด

ภาคกลาง จังหวัดอุทัยธานีมีค่าวอเตอร์ฟุตพริ้นต์สูงที่สุด 402 ลบ.ม./ตันหัวสด ในขณะที่จังหวัดลพบุรีมีค่าวอเตอร์ฟุตพริ้นต์ต่ำที่สุดที่ 193 ลบ.ม./ตันหัวสด โดยค่าวอเตอร์ฟุตพริ้นต์ของภาคกลางเฉลี่ย 304 ลบ.ม./ตันหัวสด แยกเป็นค่ากรีนวอเตอร์ฟุตพริ้นต์เฉลี่ย 262 ลบ.ม./ตันหัวสด และค่าเกรย์วอเตอร์ฟุตพริ้นต์เฉลี่ย 42 ลบ.ม./ตันหัวสด

ภาคตะวันออก จังหวัดฉะเชิงเทรามีค่าวอเตอร์ฟุตพริ้นต์สูงที่สุด 343 ลบ.ม./ตันหัวสด ในขณะที่จังหวัดจันทบุรีมีค่าวอเตอร์ฟุตพริ้นต์ต่ำที่สุดที่ 220 ลบ.ม./ตันหัวสด โดยมีค่าวอเตอร์ฟุตพริ้นต์ของภาคตะวันออกเฉลี่ย 308 ลบ.ม./ตันหัวสด แยกเป็นค่ากรีนวอเตอร์ฟุตพริ้นต์เฉลี่ย 236 ลบ.ม./ตันหัวสด และค่าเกรย์วอเตอร์ฟุตพริ้นต์เฉลี่ย 72 ลบ.ม./ตันหัวสด

ภาคเหนือ จังหวัดพิษณุโลกมีค่าวอเตอร์ฟุตพริ้นต์สูงที่สุด 373 ลบ.ม./ตันหัวสด และในขณะที่จังหวัดตากมีค่าวอเตอร์ฟุตพริ้นต์ต่ำที่สุดที่ 226 ลบ.ม./ตันหัวสด โดยมีค่าวอเตอร์ฟุตพริ้นต์ของภาคเหนือเฉลี่ย 271 ลบ.ม./ตันหัวสด แยกเป็นค่ากรีนวอเตอร์ฟุตพริ้นต์เฉลี่ย 230 ลบ.ม./ตันหัวสด และค่าเกรย์วอเตอร์ฟุตพริ้นต์เฉลี่ย 42 ลบ.ม./ตันหัวสด

รวมทั้ง 26 จังหวัด มีค่าวอเตอร์ฟุตพริ้นต์เฉลี่ย 268 ลบ.ม./ตันหัวสด แยกเป็นค่ากรีนวอเตอร์ฟุตพริ้นต์เฉลี่ย 266 ลบ.ม./ตันหัวสด และค่าเกรย์วอเตอร์ฟุตพริ้นต์เฉลี่ย 42 ลบ.ม./ตันหัวสด สูงสุดที่จังหวัดพิษณุโลก 373 ลบ.ม./ตันหัวสด ต่ำสุดที่อุดรธานี 138 ลบ.ม./ตันหัวสด

การปลูกมันสำปะหลังในการสำรวจปีแรกส่วนใหญ่อาศัยน้ำฝน มีบางส่วนที่ให้น้ำเสริม พบในจังหวัดชัยภูมิและอุบลราชธานีร้อยละ 1 ของแปลงที่สำรวจ ส่วนในปีถัดมาปลูกแบบอาศัยน้ำฝนทั้งหมด จึงทำให้การปลูกมันสำปะหลังที่อาศัยน้ำฝน มีค่าบลูวอเตอร์ฟุตพริ้นต์เป็น 0 สำหรับแปลงที่มีการให้น้ำ เมื่อแยกประเมิน พบว่าจังหวัดอุบลราชธานีมีการนำน้ำล้างจากโรงงานมาใช้เป็นน้ำเสริม แต่ผลผลิตไม่ได้สูงขึ้น บางแปลงเน่า ทำให้ค่ากรีนวอเตอร์ฟุตพริ้นต์สูงมาก 462 ลบ.ม./ตันหัวสด ค่าบลูวอเตอร์ฟุตพริ้นต์ 181 ลบ.ม./ตันหัวสด รวมวอเตอร์ฟุตพริ้นต์ของกลุ่มแปลงที่ให้น้ำ 707 ลบ.ม./ตัน ขณะที่จังหวัดชัยภูมิมีการให้น้ำเสริมบ้างในช่วงแล้ง แต่ผลผลิตในพื้นที่นี้สูงทำให้ค่ากรีนวอเตอร์ฟุตพริ้นต์ บลูวอเตอร์ฟุตพริ้นต์มีค่าไม่สูงมาก 195 และ 118 ลบ.ม./ตัน ตามลำดับ ต่างจากการผลิตแบบอาศัยน้ำฝน

ตารางที่ 3.2-3 ผลผลิตหัวสดเฉลี่ยต่อไร่ ปริมาณการใช้ปุ๋ยไนโตรเจนเฉลี่ยและ WFgreen WFblue WFgrey และ WPของการปลูกมันสำปะหลังในแต่ละจังหวัด ในปีการผลิต 2560/61-2563/64

จังหวัด	พื้นที่เฉลี่ย (ไร่)	ผลผลิตเฉลี่ย (ตัน/ไร่)	ปริมาณการใช้ปุ๋ยเฉลี่ย (กก.N/ไร่)	WFgreen (ลบ.ม./ตันหัวสด)	WFblue (ลบ.ม./ตันหัวสด)	WFgrey (ลบ.ม./ตันหัวสด)	WP (ลบ.ม./ตันหัวสด)
อาศัยน้ำฝน		**4.1**	**7.2**	**266**	**0**	**42**	**268**
นครราชสีมา	1,477,367	4.0	6.3	274	0	36	310
อุบลราชธานี	479,069	3.8	5.7	213	0	40	253
บุรีรัมย์	255,686	4.1	8.9	189	0	55	245
ศรีสะเกษ	156,386	4.6	10.9	168	0	54	222
มหาสารคาม	139,302	3.5	9.6	222	0	60	282
สุรินทร์	115,881	3.2	12.6	261	0	85	346
ภาคตะวันออกเฉียงเหนือตอนล่าง		**4.0**	**7.2**	**245**	**0**	**43**	**288**
ชัยภูมิ	632,590	4.6	5.4	212	0	25	238
เลย	318,354	4.7	8.1	151	0	39	189
อุดรธานี	265,041	6.5	6.6	116	0	22	138
กาฬสินธุ์	254,038	5.0	6.4	142	0	28	170
ขอนแก่น	233,930	5.2	6.8	151	0	26	177
สกลนคร	116,118	4.5	6.2	155	0	29	183
มุกดาหาร	140,109	4.2	6.1	190	0	34	224
ภาคตะวันออกเฉียงเหนือตอนบน		**5.0**	**6.4**	**168**	**0**	**28**	**196**
กาญจนบุรี	481,424	4.1	4.0	268	0	27	295
นครสวรรค์	373,356	3.3	8.6	304	0	59	364
ลพบุรี	303,450	4.7	6.3	166	0	27	193
อุทัยธานี	160,345	3.1	9.4	328	0	74	402
ภาคกลาง		**3.9**	**6.5**	**262**	**0**	**42**	**304**
สระแก้ว	376,058	3.5	9.4	245	0	79	324
ชลบุรี	150,932	3.8	13.6	222	0	72	294
ฉะเชิงเทรา	220,555	3.5	12.5	258	0	85	343
จันทบุรี	54,612	4.3	3.7	190	0	30	220
ปราจีนบุรี	119,275	4.5	11.1	202	0	47	249
ภาคตะวันออก		**3.7**	**10.7**	**236**	**0**	**72**	**308**
กำแพงเพชร	684,357	3.7	6.3	205	0	37	242
เพชรบูรณ์	215,016	3.1	7.2	260	0	55	315
ตาก	135,710	4.0	1.8	217	0	9	226
พิษณุโลก	164,960	2.9	8.7	302	0	71	373
ภาคเหนือ		**3.5**	**6.3**	**230**	**0**	**42**	**271**
พื้นที่ให้น้ำ				**267**	**135**	**19**	**420**
อุบลราชธานี	33	3	5.9	462	181	64	707
ชัยภูมิ	90	4.5	0.5	195	118	2	315

การให้ผลผลิตมันสำปะหลังเกี่ยวข้องโดยตรงกับการตกของฝน กำหนดการเริ่มต้นฤดูปลูก ช่วงระยะเวลาที่มันสำปะหลังเติบโตที่สอดคล้องกับระยะการสะสมน้ำหนักหัว ปี พ.ศ. 2560 ปริมาณน้ำฝนรวมสูงมากในทุกภูมิภาค แล้วลดลงทุก ๆ ปี มาต่ำสุดในปี พ.ศ 2562 และเพิ่มสูงขึ้นอีกเล็กน้อยในปี พ.ศ 2563 ยกเว้นภาคเหนือที่ปริมาณน้ำฝนรวมปี พ.ศ 2563 ไม่แตกต่างจากปี พ.ศ 2562 กระทบต่อการปลูกมันสำปะหลังของเกษตรกร ทำให้พื้นที่ปลูก ผลผลิต และการใช้พันธุ์มันสำปะหลังของเกษตรกรเปลี่ยนแปลง บางพื้นที่ต้องปลูกหลายครั้ง ผลผลิตจึงมีความแตกต่างกันโดยมีแนวโน้มลดลงในปีหลังๆ จากช่วงแล้งที่ยาวนานขึ้น ทำให้มีผลต่อค่าวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ของมันสำปะหลัง การศึกษาวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ของมันสำปะหลัง มีความแตกต่างกันของข้อมูลที่ใช้ ของชินาธิปกรณ์และธำรงรัตน์ (2554) สานิตย์ดา และคณะ (2555) และ Kongboon and Sampattagul (2012) ซึ่งมีค่ามากกว่าวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ของมันสำปะหลังที่ได้จากการศึกษานี้ จากการประเมินข้อมูลรายแปลง พบว่า ผลผลิตที่สูงขึ้นทำให้ขนาดของวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ลดลง การให้น้ำถูกจังหวะตามความต้องการช่วยให้ผลผลิตสูงขึ้น พันธุ์และช่วงปลูกมีผลให้ขนาดวอเตอร์ฟุตพริ้นท์แตกต่างกัน ระหว่าง 147-366 ลบ.ม./ตัน โดย 48-87 % เป็นกรีนวอเตอร์ 0-9 % เป็นบลูวอเตอร์ และ 13-48 % เป็นเกรย์วอเตอร์ (วลัยพรและคณะ, 2561)

อย่างไรก็ตาม การประมาณฝนใช้การมีหลายวิธี ซึ่งจากการศึกษาของ Pongpinyopap and Mungcharoen (2012) กล่าวถึงการประมาณด้วยวิธี USDA-SCS ทำให้ค่ากรีนวอเตอร์ฟุตพริ้นต์ที่ได้ต่ำกว่าการประมาณด้วยวิธี soil water balance method ซึ่งจะมีผลกระทบทำให้ค่าบลูวอเตอร์สูงกว่าความเป็นจริงได้ และอาจเป็นสาเหตุสำคัญ ทำให้ผลการศึกษาก่อนหน้าแตกต่างจากผลการศึกษาครั้งนี้ การปลูกมันสำปะหลังที่อาศัยน้ำฝนใช้การประมาณจากปริมาณความต้องการใช้น้ำของพืช ซึ่งใช้วิธี A-pan ซึ่งน่าจะให้ค่าการคายระเหยของพืชได้ใกล้เคียงในแต่ละพื้นที่ โดยปัจจุบันมีค่าการตรวจวัดนี้ในสถานีอุตุนิยมวิทยาทั่วประเทศ มันสำปะหลังส่วนใหญ่ปลูกแบบอาศัยน้ำฝน จึงไม่มีค่าบลูวอเตอร์ ทำนองเดียวกับอนัตยาและคณะ (2557) หรือ ทิพยปภาและคณะ (2013) ที่ไม่มีค่าบลูวอเตอร์ในการปลูกแบบอาศัยน้ำฝน และช่วงระยะเวลาการปลูกมันสำปะหลังก็มีส่วนสำคัญ ซึ่งการประมาณค่าจากข้อมูลมือ 2 มักใช้เวลาเก็บเกี่ยวที่ 12 เดือนเป็นหลัก แต่ในความเป็นจริงเกษตรกรเก็บเกี่ยวที่อายุหลากหลายตั้งแต่ 6 - 18 เดือน โดยเฉลี่ย 10.4 เดือน การปลูกที่เก็บเกี่ยวอายุน้อยมักใช้พันธุ์ที่สะสมน้ำหนักเร็ว ส่วนที่เก็บข้ามปีมักใช้ประโยชน์จากการมีท่อนพันธุ์ไว้ปลูกในฤดูฝนที่จะมาถึงและปล่อยให้ต้นแตกใหม่สะสมน้ำหนักเพิ่มอีกประมาณเท่าตัว ซึ่งจะช่วยเพิ่มผลผลิตและลดต้นทุน เนื่องจากไม่ต้องปลูกหรือใส่ปุ๋ยเพิ่มอีก อีกทั้งอัตราการใส่ปุ๋ยของเกษตรกรต่ำกว่าคำแนะนำ ช่วงเวลาเก็บเกี่ยวเมื่อเฉลี่ยโดยถ่วงน้ำหนักกับพื้นที่ปลูกแล้วต่ำกว่าการประมาณของรายงานก่อนหน้าที่ใช้ระยะเวลาปลูก 12 เดือน และค่า K_c ที่มักใช้ของ FAO ซึ่งมีเพียง 3 ระดับตามการเจริญเติบโต อีกทั้งสูงกว่าของบัญชาและคณะ (2553) และน้ำซึ่งเคยเป็นทางออกในการเพิ่มผลผลิตแต่เกษตรกรน้อยคนที่ประสบความสำเร็จในการใช้น้ำเพิ่มผลผลิต เช่น ถ้าต้องการให้น้ำมันสำปะหลัง ควรให้ในช่วงแล้ง โดยให้น้ำ 45 มม./เดือน โดยแบ่งให้ 2 ครั้ง ทำให้ผลผลิตสูง ดัชนีเก็บเกี่ยวสูงขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ (นพศูลและคณะ, 2550) หรือ การให้น้ำในระหว่างช่วงอายุ 2-5 เดือน ทำให้ได้ผลผลิตหัวสดเพิ่มขึ้นเฉลี่ย 27.7% (วินัยและคณะ, 2550) ดังนั้นการพิจารณา เพื่อลดการใช้น้ำ หรือลดปริมาณน้ำเสียจากการปลูกมันสำปะหลังอย่างน้อยควรนำปัจจัยเหล่านี้ ประกอบการพิจารณา ได้แก่ พื้นที่ปลูกมันสำปะหลัง พันธุ์มันสำปะหลัง วิธีการปลูกมันสำปะหลัง ลักษณะสมบัติของดิน รวมถึงปริมาณปุ๋ยที่ใช้ ผลผลิตที่สูงลดขนาดของวอเตอร์ฟุตปริ้นท์ได้ ช่วงปลูกมีผลให้ขนาดวอเตอร์ฟุตปริ้นท์แตกต่างกันถึงแม้จะปลูกในพื้นที่เดียวกัน การปลูกในช่วงปลายฝนมีปริมาณน้ำฝนไม่เพียงพอต่อความต้องการของมันสำปะหลัง หลีกเลี่ยงการปลูกในช่วงมิถุนายน จะทำให้ช่วงปลูกสั้นไม่เพียงพอกับการสะสมน้ำหนักหัว รวมทั้งการใช้ท่อนพันธุ์สะอาดปราศจากโรค

การวิเคราะห์วอเตอร์ฟุตพริ้นท์ของการผลิตแป้งมันสำปะหลัง

1. การผลิตแป้งดิบในพื้นที่จังหวัดอุบลราชธานี

1.1. ผลผลิตหัวสดที่นำเข้าโรงงาน

ปริมาณหัวสดมันสำปะหลังที่นำเข้าสู่โรงงานเพื่อใช้ในกระบวนการผลิตแป้งดิบส่วนใหญ่มาจากอำเภอในพื้นที่จังหวัดอุบลราชธานี โดยผลผลิตหัวสดร้อยละ 78 มาจากลานรวบรวมผลผลิต (ลานมัน) ซึ่งปริมาณแป้งของผลผลิตหัวสดจากลานรวบรวมผลผลิตส่วนใหญ่มีปริมาณแป้งในหัวสดอยู่ระหว่าง 22-23 เปอร์เซ็นต์ ในขณะที่ผลผลิตหัวสดที่เกษตรกรนำมาขายโดยตรงให้กับโรงงานมีปริมาณแป้งอยู่ระหว่าง 24-25 เปอร์เซ็นต์ โดยผลผลิตหัวสดส่วนใหญ่ที่นำเข้าแปรรูปเป็นแป้งดิบอยู่ในช่วงเดือนตุลาคมถึงพฤษภาคม เมื่อวิเคราะห์ปริมาณแป้งในหัวสดในช่วงการนำเข้ามาแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์แป้งดิบมีปริมาณแป้งเฉลี่ย 23 เปอร์เซ็นต์ (ตารางที่ 3.3-1)

สำหรับข้อมูลในการทดลองการวิเคราะห์วอเตอร์ฟุตพริ้นท์ของมันสำปะหลังของเกษตรกร ซึ่งเป็นการทดลองควบคู่กับการดำเนินงานวิจัยในครั้งนี้ จากการสำรวจและเก็บรวบรวมข้อมูลการผลิตมันสำปะหลังในไร่เกษตรกรแบบอาศัยน้ำฝนในพื้นที่จังหวัดอุบลราชธานี ปีการผลิต 2561/2562 พบว่า การผลิตมันสำปะหลังในไร่เกษตรกรเขตจังหวัดอุบลราชธานีเพื่อให้ได้ผลผลิตหัวสด 1 ตัน ใช้น้ำในกระบวนการผลิต 248.3 ลบ.ม. เมื่อคำนวณกรีนวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ ในกระบวนการผลิตแป้งดิบของโรงงาน จากการศึกษาปริมาณความชื้นในหัวสดมันสำปะหลังในพันธุ์ต่าง ๆ พบว่า หัวสดมันสำปะหลังมีความชื้นร้อยละ 65 โดยน้ำหนักหัวสด เมื่อนำมาคำนวณกับปริมาณผลผลิตหัวสดในการแปรรูปผลิตภัณฑ์แป้งดิบตามเป้าหมายการผลิตต่อปี พบว่า การแปรรูปผลิตภัณฑ์แป้งดิบ 1 ตันจากหัวสดมันสำปะหลัง มีกรีนวอเตอร์ฟุตพริ้นท์เท่ากับ 6.9 ลบ.ม. (ตารางที่ 3.3-2)

1.2 ผลิตภัณฑ์แป้งดิบ

ปริมาณหัวสดมันสำปะหลังต่อการผลิตแป้งดิบน้ำหนัก 1 ตัน จากการรวบรวมข้อมูลที่ได้จากการสัมภาษณ์ พบว่า ผลผลิตหัวสดส่วนใหญ่มีค่าเฉลี่ยปริมาณแป้งในหัวสด 23 เปอร์เซ็นต์ ดังนั้นการผลิตแป้งดิบ 1 ตัน ต้องใช้ผลผลิตหัวสดประมาณ 4.35 ตัน เมื่อคำนวณค่าวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ของผลผลิตหัวสดเพื่อนำมาผลิตแป้งดิบ 1 ตัน มี WF ของวัตถุดิบหัวสด 1,079.6 ลบ.ม. (ตารางที่ 3.3-2) นอกจากนี้ในกระบวนการผลิตแป้งดิบทำให้เกิดผลิตภัณฑ์ผลพลอยได้ คือ กากมันสำปะหลังเปียก (การผลิตแป้งดิบ 1 ตัน ทำให้เกิดกากมัน 1.33 ตัน) และเปลือกหัวสดรวมตะกอนดิน เมื่อสิ้นสุดกระบวนการผลิตทำให้ได้แป้งดิบมันสำปะหลังที่มีคุณภาพความชื้นไม่เกินร้อยละ 13 ตามมาตรฐานสินค้าแป้งมันสำปะหลัง

1.3 ปริมาณการใช้น้ำในกระบวนการผลิต

ในระบบกระบวนการผลิตแป้งดิบของโรงงานแหล่งน้ำที่ใช้ส่วนใหญ่นำมาจากแหล่งน้ำธรรมชาติ โดยปริมาณการใช้น้ำส่วนใหญ่อยู่ในขั้นตอนการล้างหัวสดให้สะอาดซึ่งมีปริมาณการใช้น้ำร้อยละ 57 ของปริมาณน้ำทั้งหมด และในระบบการผลิตนำน้ำกลับมาใช้ใหม่ต่อวันร้อยละ 60 ของปริมาณน้ำทั้งหมด เมื่อคำนวณบูลวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ พบว่า ในระบบกระบวนการผลิตแป้ง 1 ตัน มีบูลวอเตอร์ฟุตพริ้นท์เท่ากับ 18.7 ลบ.ม. (ตารางที่ 3.3-2)

1.4 การบำบัดน้ำเสียที่เกิดขึ้นจากกระบวนการผลิต

การศึกษาค่า BOD ของน้ำเสียที่เกิดจากกระบวนการผลิตแป้งดิบ โดยใช้น้ำบำบัดให้ได้มาตรฐานควบคุมการระบายน้ำทิ้งจากโรงงาน ต้องมีค่า BOD ไม่เกิน 20 มก./ลิตร พบว่า ในกระบวนการผลิตแป้งดิบ 1 ตัน มีค่าเกรย์วอเตอร์ฟุตพริ้นท์ 12.5 ลบ.ม. (ตารางที่ 3.3-2)

1.5 วอเตอร์ฟุตพริ้นท์ของการผลิตแป้งดิบของโรงงาน

ในกระบวนการผลิตแป้งดิบ 1 ตัน ใช้ผลผลิตหัวสดประมาณ 4.35 ตัน ทำให้มีวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ของผลผลิตหัวสด 1,079.6 ลบ.ม. ในขณะที่เมื่อนำผลผลิตหัวสดมันสำปะหลังเข้าสู่กระบวนการแปรรูปเป็นแป้งดิบ มีค่า WF_{green} : WF_{blue} : WF_{grey} เท่ากับ 6.9 : 18.7 : 12.5 ลบ.ม. รวมกระบวนการแปรรูปมีวอเตอร์ฟุตพริ้นท์

เท่ากับ 38.1 ลบ.ม. ดังนั้นวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ของการผลิตแป้งดิบ 1 ตัน ตั้งแต่กระบวนการผลิตในแปลงปลูกจนสิ้นสุดการแปรรูปผลิตภัณฑ์มีค่า WF เท่ากับ 1,117.1 ลบ.ม. (ตารางที่ 3.3-2)

2. การผลิตแป้งดิบในพื้นที่จังหวัดกำแพงเพชร

2.1 ผลผลิตหัวสดที่นำเข้าโรงงาน

ปริมาณหัวสดมันสำปะหลังที่นำเข้าสู่โรงงานเพื่อใช้ในกระบวนการผลิตแป้งดิบส่วนใหญ่มาจากอำเภอในพื้นที่จังหวัดกำแพงเพชรและนครสวรรค์ โดยผลผลิตหัวสดส่วนใหญ่นำเข้าโรงงานในช่วงเดือนตุลาคมถึงมีนาคม เมื่อวิเคราะห์ปริมาณแป้งในหัวสดในช่วงการนำเข้ามาแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์แป้งดิบมีปริมาณแป้งเฉลี่ย 23 เปอร์เซ็นต์ (ตารางที่ 3.3-1)

สำหรับข้อมูลในการทดลองการวิเคราะห์วอเตอร์ฟุตพริ้นท์ของมันสำปะหลังของเกษตรกร จากข้อมูลการสำรวจและเก็บรวบรวมการผลิตมันสำปะหลังในไร่เกษตรกรแบบอาศัยน้ำฝนในพื้นที่จังหวัดกำแพงเพชรและนครสวรรค์ ปีการผลิต 2561/2562 พบว่า การผลิตมันสำปะหลังในไร่เกษตรกรเขตจังหวัดกำแพงเพชรและนครสวรรค์เพื่อให้ได้ผลผลิตหัวสด 1 ตัน ใช้น้ำในกระบวนการผลิต 196.2 และ 221.7 ลบ.ม ตามลำดับ หรือมีค่าเฉลี่ย 209.0 ลบ.ม. เมื่อคำนวณกรีนวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ ในกระบวนการผลิตแป้งดิบของโรงงาน โดยคำนวณปริมาณความชื้นในหัวสดมันสำปะหลังร้อยละ 65 โดยน้ำหนักหัวสด และนำมาคำนวณกับปริมาณผลผลิตหัวสดที่ใช้ในการแปรรูปผลิตภัณฑ์แป้งดิบตามเป้าหมายการผลิตต่อปี พบว่า การแปรรูปผลิตภัณฑ์แป้งดิบ 1 ตันจากหัวสดมันสำปะหลัง มีกรีนวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ 6.9 ลบ.ม. (ตารางที่ 3.3-2)

2.2 ผลิตภัณฑ์แป้งดิบ

ปริมาณหัวสดมันสำปะหลังต่อการผลิตแป้งดิบน้ำหนัก 1 ตัน จากการรวบรวมข้อมูลที่ได้จากการสัมภาษณ์ พบว่า ผลผลิตหัวสดส่วนใหญ่มีค่าเฉลี่ยปริมาณแป้งในหัวสด 23 เปอร์เซ็นต์ ดังนั้นการผลิตแป้งดิบ 1 ตัน ต้องใช้ผลผลิตหัวสดประมาณ 4.35 ตัน เมื่อคำนวณค่าวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ของผลผลิตหัวสดที่นำมาจากจังหวัดกำแพงเพชรและนครสวรรค์เพื่อนำมาผลิตแป้งดิบ 1 ตัน มีค่า WF ของหัวสดเท่ากับ 908.7 ลบ.ม.(ตารางที่ 3.3-2) นอกจากนี้ในกระบวนการผลิตแป้งดิบทำให้เกิดผลิตภัณฑ์ผลพลอยได้ คือ กากมันสำปะหลังเปียก เปลือกหัวสด และตะกอนดิน เมื่อสิ้นสุดกระบวนการผลิตทำให้ได้แป้งดิบมันสำปะหลังที่มีคุณภาพความชื้นไม่เกินร้อยละ 13 ตามมาตรฐานสินค้าแป้งมันสำปะหลัง

2.3 ปริมาณการใช้น้ำในกระบวนการผลิต

ในระบบกระบวนการผลิตแป้งดิบของโรงงานแหล่งน้ำที่ใช้ส่วนใหญ่นำมาจากแหล่งน้ำธรรมชาติ โดยปริมาณการใช้น้ำส่วนใหญ่อยู่ในขั้นตอนการล้างหัวสดให้สะอาดซึ่งมีปริมาณการใช้น้ำร้อยละ 71 ของปริมาณน้ำทั้งหมด และในระบบการผลิตนำน้ำกลับมาใช้ใหม่ต่อวันร้อยละ 71 ของปริมาณน้ำทั้งหมด เมื่อคำนวณบูลวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ พบว่า ในระบบกระบวนการผลิตแป้ง 1 ตัน มีบูลวอเตอร์ฟุตพริ้นท์เท่ากับ 17.1 ลบ.ม. (ตารางที่ 3.3-2)

2.4 การบำบัดน้ำเสียที่เกิดขึ้นจากกระบวนการผลิต

การศึกษาค่า BOD ของน้ำเสียที่เกิดจากกระบวนการผลิตแป้งดิบ โดยใช้น้ำบำบัดให้ได้มาตรฐานควบคุมการระบายน้ำทิ้งจากโรงงาน พบว่า ในกระบวนการผลิตแป้งดิบ 1 ตัน มีค่าเกรย์วอเตอร์ฟุตพริ้นท์ (WFgrey) เท่ากับ 18.5 ลบ.ม. (ตารางที่ 3.3-2)

2.5 วอเตอร์ฟุตพริ้นท์ของการผลิตแป้งดิบของโรงงาน

ในกระบวนการผลิตแป้งดิบ 1 ตัน ของโรงงานในพื้นที่จังหวัดกำแพงเพชร ใช้ผลผลิตหัวสดประมาณ 4.35 ตัน ทำให้มีวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ของวัตถุดิบหัวสด 908.7 ลบ.ม ในขณะที่เมื่อนำผลผลิตหัวสดมันสำปะหลังเข้าสู่กระบวนการแปรรูปเป็นแป้งดิบ มีค่า WF_{green} : WF_{blue} : WF_{grey} เท่ากับ 6.9 : 17.1 : 18.5 ลบ.ม รวม

กระบวนการแปรรูปมีวอเตอร์ฟุตพริ้นท์เท่ากับ 42.5 ลบ.ม ดังนั้นวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ของการผลิตแป้งดิบ 1 ตัน ตั้งแต่กระบวนการผลิตในแปลงปลูกจนสิ้นสุดการแปรรูปผลิตภัณฑ์มีค่า WF เท่ากับ 951.2 ลบ.ม (ตารางที่ 3.3-2)

3. การผลิตแป้งดิบในพื้นที่จังหวัดสระแก้ว

3.1 ผลผลิตหัวสดที่นำเข้าโรงงาน

ปริมาณหัวสดมันสำปะหลังที่นำเข้าสู่โรงงานเพื่อใช้ในกระบวนการผลิตแป้งดิบส่วนใหญ่มาจากอำเภอในพื้นที่จังหวัดสระแก้ว การนำเข้าผลผลิตหัวสดของโรงงานเพื่อแปรรูปเป็นแป้งดิบในช่วงเดือนกันยายนถึงเมษายน เมื่อวิเคราะห์ปริมาณแป้งในหัวสดในช่วงการนำเข้ามาแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์แป้งดิบมีปริมาณแป้งเฉลี่ย 22 เปอร์เซ็นต์ (ตารางที่ 3.3-1)

สำหรับข้อมูลในการทดลองการวิเคราะห์วอเตอร์ฟุตพริ้นท์ของมันสำปะหลังของเกษตรกร จากข้อมูลการสำรวจและเก็บรวบรวมการผลิตมันสำปะหลังในไร่เกษตรกรแบบอาศัยน้ำฝนในพื้นที่จังหวัดสระแก้ว ปีการผลิต 2561/2562 พบว่า การผลิตมันสำปะหลังในไร่เกษตรกรเขตจังหวัดสระแก้วเพื่อให้ได้ผลผลิตหัวสด 1 ตัน ใช้น้ำในกระบวนการผลิต 175.6 ลบ.ม เมื่อคำนวณกรีนวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ในกระบวนการผลิตแป้งดิบของโรงงาน โดยคำนวณปริมาณความชื้นในหัวสดมันสำปะหลังร้อยละ 65 โดยน้ำหนักหัวสด และนำมาคำนวณกับปริมาณผลผลิตหัวสดที่ใช้ในการแปรรูปผลิตภัณฑ์แป้งดิบตามเป้าหมายการผลิตต่อปี พบว่า การแปรรูปผลิตภัณฑ์แป้งดิบ 1 ตัน จากหัวสดมันสำปะหลัง มีกรีนวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ 7.1 ลบ.ม (ตารางที่ 3.3-2)

3.2 ผลิตภัณฑ์แป้งดิบ

ปริมาณหัวสดมันสำปะหลังต่อการผลิตแป้งดิบน้ำหนัก 1 ตัน จากการรวบรวมข้อมูลที่ได้จากการสัมภาษณ์ พบว่า ผลผลิตหัวสดส่วนใหญ่มีค่าเฉลี่ยปริมาณแป้งในหัวสด 22 เปอร์เซ็นต์ ดังนั้นการผลิตแป้งดิบ 1 ตัน ต้องใช้ผลผลิตหัวสดประมาณ 4.55 ตัน เมื่อคำนวณค่าวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ของผลผลิตหัวสดที่นำมาจากจังหวัดสระแก้วเพื่อนำมาผลิตแป้งดิบ 1 ตัน มีวอเตอร์ฟุตพริ้นท์วัตถุดิบหัวสด 798.2 ลบ.ม (ตารางที่ 3.3-2) นอกจากนี้ในกระบวนการผลิตแป้งดิบทำให้เกิดผลิตภัณฑ์ผลพลอยได้ คือ กากมันสำปะหลังเปียก (การผลิตแป้งดิบ 1 ตัน ทำให้เกิดกากมัน 1.38 ตัน) เปลือกหัวสด และตะกอนดิน เมื่อสิ้นสุดกระบวน การผลิตทำให้ได้แป้งดิบมันสำปะหลังที่มีคุณภาพความชื้นไม่เกินร้อยละ 13 ตามมาตรฐานสินค้าแป้งมันสำปะหลัง (ประกาศกระทรวงพาณิชย์, 2562)

3.3 ปริมาณการใช้น้ำในกระบวนการผลิต

ในระบบกระบวนการผลิตแป้งดิบของโรงงานแหล่งน้ำที่ใช้ส่วนใหญ่นำมาจากแหล่งน้ำธรรมชาติ โดยปริมาณการใช้น้ำส่วนใหญ่อยู่ในขั้นตอนการล้างหัวสดให้สะอาดซึ่งมีปริมาณการใช้น้ำร้อยละ 68 ของปริมาณน้ำทั้งหมด และในระบบการผลิตมีการนำน้ำกลับมาใช้ใหม่ต่อวันร้อยละ 27 ของปริมาณน้ำทั้งหมด เมื่อคำนวณบูลวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ พบว่า ในระบบกระบวนการผลิตแป้ง 1 ตัน มีบูลวอเตอร์ฟุตพริ้นท์เท่ากับ 24.3 ลบ.ม (ตารางที่ 3.3-2)

3.4 การบำบัดน้ำเสียที่เกิดขึ้นจากกระบวนการผลิต

การศึกษาค่า BOD ของน้ำเสียที่เกิดจากกระบวนการผลิตแป้งดิบ โดยใช้น้ำบำบัดให้ได้มาตรฐานควบคุมการระบายน้ำทิ้งจากโรงงาน พบว่า ในกระบวนการผลิตแป้งดิบ 1 ตัน มีเกรย์วอเตอร์ฟุตพริ้นท์เท่ากับ 21.4 ลูกบาศก์เมตร (ตารางที่ 3.3-2)

3.5 วอเตอร์ฟุตพริ้นท์ของการผลิตแป้งดิบของโรงงาน

การผลิตแป้งดิบ 1 ตัน ของโรงงานผลิตแป้งดิบ ในพื้นที่จังหวัดสระแก้ว ใช้ผลผลิตหัวสดประมาณ 4.55 ตัน ทำให้มีวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ของผลผลิตหัวสด 798.2 ลบ.ม ในขณะที่เมื่อนำผลผลิตหัวสดมันสำปะหลังเข้าสู่กระบวนการแปรรูปเป็นแป้งดิบ มีค่า WF_{green} : WF_{blue} : WF_{grey} เท่ากับ 7.1 : 24.3 : 21.4 ลบ.ม รวม

กระบวนการแปรรูปมีวอเตอร์ฟุตพริ้นท์เท่ากับ 53.0 ลบ.ม ดังนั้นวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ของการผลิตแป้งดิบ 1 ตัน ตั้งแต่กระบวนการผลิตในแปลงปลูกจนสิ้นสุดการแปรรูปผลิตภัณฑ์มีค่าเท่ากับ 851.2 ลบ.ม (ตารางที่ 3.3-2)

4. วอเตอร์ฟุตพริ้นท์ของการผลิตแป้งดิบมันสำปะหลัง

การวิเคราะห์วอเตอร์ฟุตพริ้นท์ของการผลิตแป้งดิบมันสำปะหลังในกรณีศึกษา 3 โรงงานในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ภาคเหนือ และภาคตะวันออกของประเทศไทย ตั้งแต่กระบวนการผลิตในไร่เกษตรกรจนสิ้นสุดกระบวนการแปรรูปผลิตภัณฑ์แป้งดิบมันสำปะหลัง พบว่า วอเตอร์ฟุตพริ้นท์ของวัตถุดิบหัวสดมันสำปะหลังที่นำมาผลิตแป้งดิบเป็นปัจจัยสำคัญต่อค่าวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ของผลิตภัณฑ์แป้งดิบ เนื่องจากการแปรรูปแป้งดิบ 1 ตัน ใช้ผลผลิตหัวสดอยู่ระหว่าง 4.35-4.55 ตัน จากการวิเคราะห์ข้อมูลที่ได้จากแบบสัมภาษณ์ในกรณีศึกษาของโรงงานผลิตแป้งดิบในพื้นที่จังหวัดอุบลราชธานี กำแพงเพชร และสระแก้ว มีวอเตอร์ฟุตพริ้นท์วัตถุดิบหัวสดในการผลิตแป้งดิบ 1 ตันเท่ากับ 1,079 909 และ 798 ลบ.ม ตามลำดับ หรือมีวอเตอร์ฟุตพริ้นท์วัตถุดิบหัวสดเฉลี่ย 928.8 ลบ.ม/ตันแป้งดิบ ในขณะที่กระบวนการผลิตแป้งดิบภายในโรงงานมีวอเตอร์ฟุตพริ้นท์เท่ากับ 38.1 42.5 และ 53.0 ลบ.ม ตามลำดับ หรือมีวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ในกระบวนการผลิตแป้งดิบของโรงงาน 44.6 ลบ.ม/ตันแป้งดิบ ซึ่งมีความสอดคล้องกับการศึกษาของ ธารทิพย์ (2559) ได้รายงานว่า การใช้น้ำในกระบวนการผลิตแป้งมันสำปะหลังจากสถิติการศึกษาของกรมโรงงานอุตสาหกรรมปี พ.ศ. 2551 มีการใช้น้ำ 36 ลบ.ม ต่อผลิตภัณฑ์แป้ง 1 ตัน และ ขนิษฐา (2556) ซึ่งรายงานค่าวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ในเขตภาคตะวันออกเฉียงเหนือตอนล่างเท่ากับ 39.2 ลบ.ม./ตันแป้งมัน เมื่อนำวอเตอร์ฟุตพริ้นท์วัตถุดิบหัวสดมารวมกับวอเตอร์ฟุตพริ้นท์กระบวนการผลิตแป้งดิบของโรงงาน ทำให้การผลิตภัณฑ์แป้งดิบ 1 ตัน มีวอเตอร์ฟุตพริ้นท์รวม 1,117 951 และ 851 ลบ.ม ตามลำดับ หรือมีวอเตอร์ฟุตพริ้นท์เฉลี่ย 973.4 ลบ.ม/ตันแป้งดิบ (ตารางที่ 3.3-2)

ตารางที่ 3.3-1 คุณลักษณะผลผลิตหัวสดเฉลี่ย และการใช้น้ำในกระบวนการผลิตแป้งดิบมันสำปะหลังของโรงงานในจังหวัดอุบลราชธานี กำแพงเพชรและสระแก้ว

component	Factories of native tapioca starch in the province studies		
	Ubon Ratchathani	Kampheng Phet	Sa Kaeo
Cassava fresh root quality			
WF of fresh root yields[1/] (m^3/ton)	248.3	209.0	175.6
Fresh root yields			
- Starch content (%)	23.0	23.0	22.0
- Moisture of yields (%)	65	65	65
Industrial water used			
(% of the amount of water used)			
- Root rinsing (%/day)	57	71	68
- Reusing water (%/day)	60	71	27
Production efficiency (%)	80	100	80
Native starch quality			
- Moisture of native starch (%)	13	13	13

WF: Water Footprint

[1/]: Data from farmers' water footprint analysis of cassava, In 2019

ตารางที่ 3.3-2 วอเตอร์ฟุตพรินท์ของหัวมันสำปะหลังสดและการผลิตแป้งดิบมันสำปะหลังของโรงงานในจังหวัดอุบลราชธานี กำแพงเพชรและสระแก้ว

province	WF of fresh root yields[1/] (m^3/starch ton)	WF of native starch production (m^3/starch ton)				All include (m^3/starch ton)
		WFgreen	WFblue	WFgrey[2/]	Total	
Ubon Ratchathani	1,079.6	6.9	18.7	12.5	38.1	1,117.1
Kampheng Phet	908.7	6.9	17.1	18.5	42.5	951.2
Sa Kaeo	798.2	7.3	24.3	21.4	53.0	851.2
Average	928.8	7.1	20.0	17.5	44.6	973.4

WF: Water Footprint

[1/]: Data from farmers' water footprint analysis of cassava, In 2019

[2/]: Calculated from the BOD of the water quality in the production process.

สรุปผลการวิจัย และข้อเสนอแนะ

วอเตอร์ฟุตพริ้นท์เป็นเครื่องมือช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการใช้น้ำในการผลิต สินค้า ผลิตภัณฑ์ งานบริการต่างๆ อย่างยั่งยืน ซึ่งปริมาณน้ำส่วนใหญ่ของวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ในการผลิตสินค้า จะติดมาจากภาคการเกษตร ดังนั้น การลดขนาดของวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ หรือการเพิ่มประสิทธิภาพการใช้น้ำ ต้องจัดการเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตในภาคการเกษตร จากการศึกษาวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ของมันสำปะหลังหัวสด 1 ตัน ในพื้นที่ที่มีการจัดการให้น้ำแตกต่าง 3 ระดับ พบว่า ค่าเฉลี่ยของวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ของมันสำปะหลังระหว่าง 147-366 ลบ.ม. โดย 48-87% เป็นกรีนวอเตอร์ 0-9% เป็นบลูวอเตอร์ และ 13-48% เป็นเกรย์วอเตอร์ พื้นที่นครราชสีมามีวอเตอร์ฟุตพริ้นท์เฉลี่ย 211 ลบ.ม. เป็นกรีน บลู และเกรย์วอเตอร์ ขนาด 142 11 และ 58 ลบ.ม. ตามลำดับ พื้นที่กำแพงเพชรมีวอเตอร์ฟุตพริ้นท์เฉลี่ย 224 ลบ.ม. เป็นกรีน บลู และเกรย์วอเตอร์ ขนาด 133 4.5 และ86 ลบ.ม. ตามลำดับ ส่วนพื้นที่ระยองมีขนาดเฉลี่ย 301 ลบ.ม. เป็นกรีน บลู และเกรย์วอเตอร์ ขนาด 210 0 และ 41 ลบ.ม. ตามลำดับ เกรย์วอเตอร์ฟุตพริ้นท์บางพื้นที่มีปริมาณสูง ควรการลดปริมาณการใช้ปุ๋ยโดยใช้ตามค่าวิเคราะห์ดิน ผลผลิตที่สูงให้ขนาดของวอเตอร์ฟุตพริ้นท์มีแนวโน้มต่ำลง การเลือกพันธุ์ที่เหมาะสมกับพื้นที่ การเลือกช่วงเวลาปลูกที่เหมาะสม รวมทั้งจัดการดินและน้ำเพื่อลดความเสี่ยงจากการขาดน้ำในช่วงที่พืชมีความต้องการ

การปลูกมันสำปะหลังของเกษตรกรส่วนใหญ่ปลูกแบบอาศัยน้ำฝน ภาคตะวันออกเฉียงเหนือตอนบนนิยมปลูกพันธุ์เกษตรศาสตร์ 50 รองลงมา ได้แก่ ระยอง 72 แต่ภาคตะวันออกเฉียงเหนือตอนล่างนิยมปลูก ระยอง 72 มากกว่า ภาคกลางนิยมปลูกพันธุ์ระยอง 5 รองลงมาเป็นเกษตรศาสตร์ 50 ภาคตะวันออกนิยมปลูกเกษตรศาสตร์ 50 รองลงมา ได้แก่ ระยอง 9 ส่วนภาคเหนือตอนล่างนิยมปลูกพันธุ์เกษตรศาสตร์ 50 รองมาเป็นระยอง 11 ส่วนใหญ่ปลูกช่วงเดือนมีนาคมถึงพฤษภาคม ภาคตะวันออกปลูกได้เร็วกว่า ขณะที่ภาคเหนือการปลูกล่าช้ากว่าพื้นที่อื่นๆ ระยะเวลาปลูกจนถึงเก็บเกี่ยวเฉลี่ย 10.4 เดือน ต่ำสุด 4 เดือน สูงสุด 19 เดือน ภาคตะวันออกเกษตรกรใช้ปุ๋ยไนโตรเจนเฉลี่ยสูงสุด 10.7 กก.N ต่อไร่ โดยชลบุรีเป็นจังหวัดที่มีการใช้สูงสุด 13.6 กก.N ต่อไร่ ส่วนตากใช้ต่ำสุดเฉลี่ย 1.8 กก.N ต่อไร่ ผลผลิตเฉลี่ย 4.1 ตัน/ไร่ ภาคตะวันออกเฉียงเหนือตอนบนให้ผลผลิตมันสำปะหลังหัวสดเฉลี่ยสูงสุด และภาคเหนือให้ผลผลิตเฉลี่ยต่ำสุด มีค่าวอเตอร์ฟุตพริ้นท์เฉลี่ย 268 ลบ.ม./ตันหัวสด แยกเป็นค่ากรีนวอเตอร์ฟุตพริ้นต์เฉลี่ย 266 ลบ.ม./ตันหัวสด และค่าเกรย์วอเตอร์ฟุตพริ้นต์เฉลี่ย 42 ลบ.ม./ตันหัวสด สูงสุดที่จังหวัดพิษณโลก 373 ลบ.ม./ตันหัวสด ต่ำสุดที่อุดรธานี 138 ลบ.ม./ตันหัวสด

วอเตอร์ฟุตพริ้นท์เป็นมาตรฐานภาคสมัครใจ เป็นเครื่องมือกระตุ้นให้ลดการใช้น้ำ โดยเฉพาะประเทศที่กำลังจะเผชิญปัจหาการแย่งชิงทรัพยากร จากการศึกษาในมันสำปะหลัง เมื่อพิจารณาปริมาณวอเตอร์ฟุตพริ้นท์พบว่า กรีน และเกรย์วอเตอร์ฟุตพริ้นท์มีปริมาณที่สูง ดังนั้นการพิจารณาเพื่อลดการใช้น้ำหรือลดปริมาณน้ำเสียจากการปลูกมันสำปะหลังอย่างน้อยควรนำปัจจัยเปล่านี้ ประกอบการพิจารณา ได้แก่ พื้นที่ปลูกมันสำปะหลัง พันธุ์มันสำปะหลัง วิธีการปลูกมันสำปะหลัง ลักษณะสมบัติของดิน รวมถึงปริมาณปุ๋ยที่ใช้ การปลูกในช่วงปลายฝนมีปริมาณน้ำฝนไม่เพียงพอต่อความต้องการของมันสำปะหลัง ต้องให้น้ำในพื้นที่ที่มีน้ำต้นทุนจำกัด ต้องให้น้ำในปริมาณและช่วงเวลาที่เหมาะสม ซึ่งหากเลือกพันธุ์ที่เหมาะสมหรือสลับพันธุ์ปลูกทำให้ผลผลิตเพิ่มขึ้น เกษตรกรมีความเสี่ยงสูง ในการเลือกจังหวะการปลูกให้สอดคล้องกับการตกของฝนในสถานการณ์ของการแปรปรวนของสภาพอากาศ ทางเลือกอาจต้องหาพันธุ์ที่มีการสะสมน้ำหนักเร็ว เติบโตในช่วงแรกเร็วเพื่อให้คลุมพื้นที่ได้เร็ว ลดการคายระเหยของพืช

สำหรับแนวทางการปรับปรุงประสิทธิภาพการใช้น้ำในกระบวนการผลิตของโรงงานที่จะสามารถปรับปรุงเพื่อลดวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ของโรงงาน ได้แก่

(1) พัฒนาวิธีการลดการใช้น้ำในขั้นตอนการล้างหัวสด ซึ่งเป็นขั้นตอนการใช้ปริมาณน้ำสูงสุดในกระบวนการแปรรูปแป้งมันสำปะหลัง เช่น ลดการสูญเสียน้ำในระหว่างการล้างหัวสด การหมุนเวียนนำน้ำกลับมาใช้ใหม่อย่างเหมาะสมและรวดเร็ว เป็นต้น

(2) การนำน้ำเสียหลังจากหลังผ่านระบบบำบัดมาใช้ในกระบวนการผลิต

(3) การพัฒนาระบบการบำบัดน้ำเสียของโรงงาน เนื่องจากเกรย์วอเตอร์ฟุตพริ้นท์ (WFgrey) หรือปริมาณน้ำที่ใช้ในการบำบัดน้ำเสียที่เกิดขึ้นจากกระบวนการผลิตสินค้าให้เป็นน้ำดีตามมาตรฐานมี WFgrey อยู่ระหว่างร้อยละ 32.8-43.5 ของปริมาณน้ำที่ใช้ทั้งหมดของโรงงาน

ผลการศึกษาที่ได้จะเป็นฐานข้อมูลวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ของมันสำปะหลังและผลิตภัณฑ์แป้งดิบ ตั้งแต่การนำปริมาณวัตถุดิบมาใช้ในการแปรรูปเป็นแป้งดิบจนสิ้นสุดกระบวนการผลิตแป้งดิบ ซึ่งผลลัพธ์ที่ได้ทำให้ผู้ประกอบการแป้งมันสำปะหลัง สามารถใช้เป็นข้อมูลประกอบการตัดสินใจในการปรับปรุงขั้นตอนการผลิตเพื่อเพิ่มโอกาสทางการค้า รวมทั้งใช้เป็นฐานข้อมูลในการพัฒนาการติดฉลากวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ของผลิตภัณฑ์ในอนาคต และประโยชน์แฝง คือ ช่วยลดปัญหาสิ่งแวดล้อมในพื้นที่ของชุมชน เกิดการผลิตที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมต่อไป

บรรณานุกรม

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

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

Kongboon, R.and S. Sampattagul. 2012. The water footprint of sugarcane and cassava in northern Thailand. Procedia - Social and Behavioral Sciences. 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.

Pongpinyopap S. and Mungcharoen T. 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.

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,

Shabbir, H.G., T. Silalertruksa , P. Nilsalab, R. Mungkung, S.R. Perret and N. Chaiyawannakarn. 2014. Water Footprint and Impact of Water Consumption for Food, Feed, Fuel Crops Production in Thailand. Water. 6: 1698-1718. doi:10.3390/w6061698.

Tapanee, N., S. Papong, P. Malakul and T. Mungcharoen. 2015. The Carbon and Water Footprint Assessment of Cassava-based Bioethanol Production in Thailand. 13-18 pp. ***In*** International Conference on Biological, Environment and Food Engineering (BEFE-2015) May 15-16, 2015 Singapore.

ขนิษฐา มีวาสนา. 2556.รายงานการวิจัยวอเตอร์และคาร์บอนฟุตพริ้นท์ของกระบวนการผลิตแป้งมันสำปะหลังในภาคตะวันออกเฉียงเหนือตอนล่างของประเทศไทย. Available at : http://sutir.sut.ac.th:8080/sutir/handle/123456789/7425. Accessed: Sep,15 2021.

ชัยวัช โชวเจริญสุข. 2563. แนวโน้มธุรกิจ/อุตสาหกรรม 2563-2565 : มันสำปะหลัง. Available at: https://www.krungsri.com/th/research/industry/industry-outlook/agriculture/cassava/IO/io-cassava-20 . Accessed: Sep,15 2021.

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

ทิพยปภา สุขุมาลชาติ อดิชัย พรพรมหมินทร์ และสุรชัย ลิปิวัฒนาการ. 2556. วอเตอรฟุตปริ้นของข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ในประเทศไทย. KKU Engineering Journal. 40(1): 67-78. Available at: http://www.en.kku.ac.th/enjournal/th/.

ธารทิพย์ เศรษฐชาญวิทย์. 2559. การประยุกต์หลักการประเมินวัฏจักรชีวิตเพื่อการประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์และวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ของอุตสาหกรรมแป้งมันสำปะหลัง. ว.พัฒนบริหารศาสตร์. 56(3): 221-252.

นพศูล สมุทรทอง เอ็จ สโรบล วิจารณ วิชชุกิจ และสุเทพ ทองแพ. 2550. ผลของปริมาณและอัตราการให้น้ำต่อการเจริญเติบโตและการให้ผลผลิตของมันสำปะหลัง. หน้า 75-82. *ใน*. เรื่องเต็มการประชุมทางวิชาการของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ครั้งที่ 45 สาขาพืช. กรุงเทพ.

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

ประกาศกระทรวงพาณิชย์ เรื่อง กำหนดให้แป้งมันสำปะหลังเป็นสินค้ามาตรฐานสินค้าแป้งมันสำปะหลัง พ.ศ. 2562 เล่ม 136 ตอนพิเศษ 56 ง ราชกิจจานุเบกษา 6 มีนาคม 2562 หน้า 2.

ประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม เรื่อง กำหนดมาตรฐานควบคุมการระบายน้ำทิ้งจากโรงงาน พ.ศ. 2560 เล่ม 134 ตอนพิเศษ 153 ง ราชกิจจานุเบกษา 7 มิถุนายน 2560 หน้า 11.

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.

รังษี เจริญสถาพร ธีรนันท์ แซ่ลี้ อัมพร จุลคต ศักดา เชิดชู และ ฤทัยรัตน์ น้อยจาด. 2556. Phytophthora สาเหตุโรครากและหัวเน่าของมันสำปะหลังในประเทศไทย. หน้า 260-261. *ใน* : การประชุมวิชาการอารักขาพืชแห่งชาติ ครั้งที่ 11. 26-28 พฤศจิกายน 2556. โรงแรมเซนทารา แอนด์คอนเวนชั่นเซนเตอร์, จังหวัดขอนแก่น.

วลัยพร ศะศิประภา จิณณจาร์ หาญเศรษฐสุข กุสุมา รอดแผ้วพาล ปฐมพงษ์ วงศ์สุวรรณ์ ดรุณี เพ็งฤกษ์ เสาวรี บำารุง วารีย์ เวรวรณ์ สายนำ้ อุดพ้วย และอนุสรณ์ เทียนศิริฤกษ์. 2561. การวิเคราะห์วอเตอร์ฟุตพริ้นท์ของมันสำปะหลังที่มีการจัดการน้ำแตกต่างกัน.ว.วิชาการเกษตร. 36(2):173-185.

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

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

สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร. 2560. มันสำปะหลังโรงงาน : เนื้อที่เพาะปลูก เนื้อที่เก็บเกี่ยว ผลผลิต และผลผลิตต่อเนื้อที่เก็บเกี่ยว ปี 2557 – 2559. แหล่งข้อมูล: http://oae.go.th/production.html. สืบค้นเมื่อ: 12 มีนาคม 2561.

สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร. 2564. มันสำปะหลังโรงงาน : เนื้อที่เพาะปลูก เนื้อที่เก็บเกี่ยว ผลผลิต และผลผลิตต่อเนื้อที่เก็บเกี่ยว ปี 2563. แหล่งข้อมูล: https://www.oae.go.th/assets/portals/1/fileups/prcaidata/files/casava63.pdf สืบค้นเมื่อ: 15 ธันวาคม 2564

อนัตยา บุญฮวด นาฏสุดา ภูมิจำนงค์ และอัจฉรา อัศวรุจิกุลชัย. 2557. การประเมินวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ของการผลิตเอทานอลจากมันสำปะหลังพื้นที่จังหวัดลพบุรี ประเทศไทย. หน้า 392-379. แหล่งข้อมูล: http://gsbooks.gs.kku.ac.th/57/grc15/files/pmo19.pdf. สืบค้นเมื่อ: 12 มีนาคม 2561.

กิจกรรมที่ 4
การวิเคราะห์วอเตอร์ฟุตพริ้นท์ของการแปรรูปาล์มน้ำมัน
Water Footprint Assessment for Oil Palm Processing

วิชณีย์ ออมทรัพย์สิน ธีระ ชูแก้ว เตือนจิตร เพ็ชรรุณ เพ็ญศิริ จำรัสฉาย สุจิตรา พรหมเชื้อ มณีรัตน์ ทองเรือง
Vichanee Ormzubsin Teera Chukaew Tuenjit Petchroon Pensiri Jumradshine
Sujitra Promcheau and Maneerat Thongreung

คำสำคัญ (Keywords)
วอเตอร์ฟุตพริ้นท์, ทะลายปาล์ม, น้ำมันปาล์มดิบ, น้ำมันปาล์มบริสุทธิ์, การแปรรูปปาล์มน้ำมัน
Water footprint, Fresh Fruit Bunch, Crude Palm Oil, Refined Bleached Deodorized Palm Oil, Oil palm processing

บทคัดย่อ

การวิเคราะห์วอเตอร์ฟุตพริ้นท์ของการแปรรูปาล์มน้ำมัน ตั้งแต่การผลิตน้ำมันปาล์มดิบแบบมาตรฐาน แบบระดับชุมชน และการผลิตน้ำมันปาล์มบริสุทธิ์ มีวัตถุประสงค์เพื่อประเมินการใช้น้ำทางตรงและการใช้น้ำทางอ้อมของโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มและโรงงานกลั่นน้ำมันปาล์มบริสุทธิ์ ดำเนินการทดลองตั้งแต่เดือนตุลาคม 2560 ถึงกันยายน 2564 การวิเคราะห์วอเตอร์ฟุตพริ้นท์ของการผลิตน้ำมันปาล์มดิบแบบมาตรฐาน พบว่า การสกัดน้ำมันปาล์มดิบ 1 ตัน ใช้ทะลายปาล์มสด 4.05-6.05 ตัน อัตราการสกัดน้ำมันร้อยละ 16.53-24.70 ปริมาณน้ำทางตรงและทางอ้อมของการสกัดน้ำมันปาล์มดิบมีค่า 3.43-6.91 ลูกบาศก์เมตรต่อตันน้ำมันปาล์มดิบ วอเตอร์ฟุตพริ้นท์ไม่คิดรวมการได้มาซึ่งทะลายปาล์มสดมีค่า 3.34-6.62 ลูกบาศก์เมตรต่อตันน้ำมันปาล์มดิบ และวอเตอร์ฟุตพริ้นท์คิดรวมการได้มาซึ่งทะลายปาล์มสดมีค่า 4,309-6,437 ลูกบาศก์เมตรต่อตันน้ำมันปาล์มดิบ การวิเคราะห์วอเตอร์ฟุตพริ้นท์ของการผลิตน้ำมันปาล์มดิบระดับชุมชน พบว่า การสกัดน้ำมันปาล์มดิบ 1 ตัน ใช้ทะลายปาล์มสด 5.09-5.23 ตัน อัตราการสกัดน้ำมันปาล์มดิบร้อยละ 19.12-19.65 ปริมาณน้ำทางตรงและทางอ้อม 3.40-6.21 ลูกบาศก์เมตรต่อตันน้ำมันปาล์มดิบ วอเตอร์ฟุตพริ้นท์ไม่คิดรวมการได้มาซึ่งทะลายปาล์มสดมีค่า 3.16-6.05 ลูกบาศก์เมตรต่อตันน้ำมันปาล์มดิบ วอเตอร์ฟุตพริ้นท์คิดรวมการได้มาซึ่งทะลายปาล์มสด มีค่า 5,563-5,409 ลูกบาศก์เมตรต่อตันน้ำมันปาล์มดิบ การวิเคราะห์วอเตอร์ฟุตพริ้นท์ของการผลิตน้ำมันปาล์มบริสุทธิ์ พบว่า การกลั่นน้ำมันปาล์มบริสุทธิ์ 1 ตัน ใช้น้ำมันปาล์มดิบ 4.05-6.05 ตัน ปริมาณน้ำทางตรงและทางอ้อมของการกลั่นน้ำมันปาล์มบริสุทธิ์มีค่า 3.43-6.91 ลูกบาศก์เมตรต่อตันน้ำมันปาล์มบริสุทธิ์ วอเตอร์ฟุตพริ้นท์ไม่คิดรวมการได้มาซึ่งน้ำมันปาล์มดิบมีค่า 3.34-6.62 ลูกบาศก์เมตรต่อตันน้ำมันปาล์มบริสุทธิ์ และวอเตอร์ฟุตพริ้นท์คิดรวมการได้มาซึ่งน้ำมันปาล์มดิบและทะลายปาล์มน้ำมันมีค่า 4,309-6,437 ลูกบาศก์เมตรต่อตันน้ำมันปาล์มบริสุทธิ์

Abstracts

Water footprint analysis of oil palm processing consisted of palm oil mill process and the palm oil refine process. The objective of this study was to assess the direct water use and the indirect water use of palm oil mills and palm oil refineries. The experiment was conducted from October 2017 to September 2021. Water footprint analysis of standard crude palm oil (CPO) production showed that extraction of 1 ton of CPO required 4.05-6.05 tonnes of fresh palm bunches (FFB), with an oil extraction rate of 16.53-24.70%. The direct and indirect water content of CPO process was 3.43-6.91 m^3ton^{-1}CPO. Water footprint, excluding the acquisition of FFB, was 3.34-6.62 m^3ton^{-1}CPO. and Water Footprint, including the acquisition of FFB, was 4,309-6,437 m^3ton^{-1}CPO. The water footprint analysis of community-level CPO production revealed that the extraction of 1 ton of CPO required 5.09-5.23 tonnes FFB, the extraction rate of CPO was 19.12-19.65%, direct and indirect water use 3.40-6.21 m^3ton^{-1}CPO. Water footprint, excluding the acquisition of FFB was 3.16-6.05 m^3ton^{-1}CPO. The water footprint calculated including the acquisition of FFB was 5,563-5,409 m^3ton^{-1}CPO. The water footprint analysis of refined bleached deodorized palm oil (RBDPO) production revealed that 1 ton RBDPO required 4.05-6.05 tons of CPO. The direct and indirect water use of RBDPO was 3.43-6.91 m^3ton^{-1}RBDPO Water footprint, excluding CPO acquisition was 3.34-6.62 m^3ton^{-1}RBDPO and Water Footprint, including the acquisition of CPO and FFB was 4,309-6,437 m^3ton^{-1}RBDPO.

บทนำ

ปัจจุบันปัญหาการขาดแคลนน้ำเพื่อใช้สำหรับการอุปโภคและบริโภคกำลังเกิดขึ้นทั่วโลก ประเทศต่าง ๆ ให้ความสำคัญในการบริหารจัดการน้ำ และเพิ่มประสิทธิภาพการใช้น้ำ โดยเฉพาะน้ำที่ใช้สำหรับกระบวนการผลิตสินค้าอุตสาหกรรมและสินค้าเกษตรกรรม เพื่อสนับสนุน ส่งเสริม และสร้างความตระหนักในการใช้น้ำในกระบวนการผลิตสินค้าและบริการ รวมถึงมีส่วนรับผิดชอบให้เกิดการใช้น้ำที่เหมาะสมมากขึ้น ดังนั้น องค์การมาตรฐานสากล (Organization for Standardization) จึงได้ประกาศใช้มาตรฐาน ISO 14046 หรือวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ (Water footprint) เป็นตัวชี้วัดการใช้น้ำทั้งทางตรงและทางอ้อม ซึ่งช่วยให้เห็นภาพการใช้น้ำที่มีความเหมาะสมและก่อเกิดประโยชน์ ถึงแม้ว่าวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ไม่ได้เป็นมาตรฐานบังคับให้ผู้ผลิตสินค้าอุตสาหกรรมและสินค้าเกษตรกรรมเพื่อการส่งออกดำเนินการ แต่มีความเป็นไปได้ว่าปัญหาด้านสิ่งแวดล้อมที่เกิดขึ้นกับแหล่งน้ำต่าง ๆ ทั่วโลก จะกระตุ้นให้มีการประกาศให้วอเตอร์ฟุตพริ้นท์เป็นมาตรฐานบังคับ เนื่องจากการคำนวณวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ นอกจากทำให้ทราบปริมาณการใช้น้ำที่ซ่อนอยู่ในการผลิตสินค้าได้อย่างชัดเจนขึ้นแล้ว ยังสามารถใช้ประเมินผลกระทบที่เกิดจากการผลิตและการค้าต่อการใช้ทรัพยากรน้ำได้อีกด้วย สามารถเข้าใจปัญหาการขาดแคลนน้ำและมลภาวะทางน้ำได้ดีขึ้น รวมทั้งนำไปสู่วิธีแก้ปัญหาที่เชื่อมโยงกับกระบวนการผลิตสินค้าและ supply chain ทั้งระบบ (สำนักงานที่ปรึกษาการเกษตรต่างประเทศ ประจำสหภาพยุโรป, 2558)

ประเทศไทยจัดเป็น 1 ใน 10 ประเทศที่ใช้น้ำค่อนข้างมาก โดยเฉพาะการใช้น้ำในภาคการเกษตรและอุตสาหกรรมเกษตรเพื่อการส่งออก ในขณะที่แหล่งน้ำในประเทศไทยทั้งน้ำผิวดิน และน้ำใต้ดินมีจำกัด ดังนั้น การให้ความสำคัญในการใช้น้ำอย่างมีประสิทธิภาพจึงเป็นแนวทางหนึ่งในการดำเนินการ ซึ่งจะเป็นตัวชี้วัดและประเมินการใช้น้ำในแต่ละกิจกรรมการผลิต ทั้งน้ำผิวดิน น้ำใต้ดิน ความชื้นที่มีอยู่ในดิน รวมถึงปริมาณน้ำเสียที่เกิดขึ้นจากกระบวนการผลิต โดยวอเตอร์ฟุตพริ้นท์จะเป็นตัวชี้วัดถึงประสิทธิภาพในการใช้น้ำทั้งทางตรงและทางอ้อม ซึ่งสามารถนำมาประเมินผลกระทบที่เกิดจากการผลิตและการค้าต่อการใช้ทรัพยากรน้ำได้อย่างมีประสิทธิภาพ (สำนักข่าว M Report, 2562)

ประเทศไทยมีผลผลิตน้ำมันปาล์มเป็นอันดับ 3 ของโลก พื้นที่ปลูกน้ำมันปาล์มและโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มดิบของไทยส่วนใหญ่อยู่ในภาคใต้ คิดเป็นร้อยละ 85 ของพื้นที่ปลูกปาล์มน้ำมันทั่วประเทศ จังหวัดที่มีพื้นที่ปลูกปาล์มน้ำมันมากสุด คือ กระบี่ สุราษฎร์ธานี และชุมพร พื้นที่ปลูกปาล์มน้ำมันที่เหลืออีกร้อยละ 15 กระจายอยู่ในภาคเหนือ ภาคกลาง และภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ซึ่งเป็นพื้นที่ปลูกปาล์มน้ำมันที่เพิ่มขึ้นในช่วง 10 ปีที่ผ่านมาตามยุทธศาสตร์ของแผนพลังงานทดแทนและพลังงานทางเลือกของประเทศ (เชฐชุดา เชื้อสุวรรณ, 2561) ข้อมูลในปี 2561 ประเทศไทยมีพื้นที่ให้ผลผลิต 5.09 ล้านไร่ มีผลผลิตปาล์มน้ำมัน 15.39 ล้านตัน เพิ่มขึ้นจาก 14.10 ล้านตันในปี 2560 ร้อยละ 9.15 คิดเป็นปริมาณน้ำมันปาล์มดิบ 2.74 ล้านตัน (ส่วนประชาสัมพันธ์/ข้อมูล : สำนักวิจัยเศรษฐกิจการเกษตร, 2561) ข้อมูลในปี 2562 คาดว่าประเทศไทยมีเนื้อที่ให้ผลผลิต 5.47 ล้านไร่ มีผลผลิตปาล์มน้ำมัน 16.76 ล้านตัน เพิ่มขึ้นร้อยละ 8.90 จากปี 2561 (ข่าวสด, 2562) ซึ่งผลผลิตปาล์มน้ำมันดังกล่าวจะถูกนำเข้าสู่โรงงานสกัดน้ำมันปาล์ม ดังนั้นเพื่อเป็นการส่งเสริมการบริหารจัดการน้ำอย่างยั่งยืนของโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มดิบ การวิเคราะห์วอเตอร์ฟุตพริ้นท์ของการแปรรูปปาล์มน้ำมัน จึงจำเป็นต้องดำเนินการวิเคราะห์เพื่อสนับสนุนให้โรงงานอุตสาหกรรมสามารถประเมินการใช้น้ำในอุตสาหกรรมแปรรูปปาล์มน้ำมันได้

โครงการวิเคราะห์วอเตอร์ฟุตพริ้นท์ของการแปรรูปปาล์มน้ำมัน จึงเป็นเครื่องมือช่วยให้ผู้ประกอบการสามารถทำธุรกิจและแข่งขันได้ในกรณีที่ถูกกีดกันทางการค้า นอกจากนี้ยังเป็นการเพิ่มประสิทธิภาพการใช้น้ำ ช่วยลดปริมาณการใช้น้ำในภาคอุตสาหกรรม และเป็นการอนุรักษ์แหล่งน้ำบาดาลให้เกิดความยั่งยืน ส่งผลให้ผู้ประกอบการสามารถลดต้นทุน สามารถแข่งขันและอยู่ในตลาดโลกได้ งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์ เพื่อวิเคราะห์

ปริมาณการใช้น้ำต่อหน่วยผลผลิตน้ำมันปาล์มดิบแบบมาตรฐานและผลผลิตน้ำมันปาล์มดิบระดับชุมชน และวิเคราะห์ปริมาณการใช้น้ำต่อหน่วยผลผลิตน้ำมันปาล์มบริสุทธิ์ เพื่อนำไปใช้ในการจัดสรรและใช้ประโยชน์จากน้ำสำหรับการแปรรูปปาล์มน้ำมันอย่างมีประสิทธิภาพและยั่งยืน

ระเบียบวิธีการวิจัย

ดำเนินงาน 3 การทดลอง ดังนี้

การทดลองที่ 4.1 การวิเคราะห์วอเตอร์ฟุตพริ้นท์ของการผลิตน้ำมันปาล์มดิบแบบมาตรฐาน (หีบแยก)

1. การรวบรวมข้อมูล

การรวบรวมข้อมูลที่ได้จากแต่ละโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มดิบ ดำเนินการรวบรวมโดยจัดทำแบบสอบถามข้อมูลที่ต้องการได้แก่ ข้อมูลการผลิต ข้อมูลการใช้สารเคมีในโรงงาน ข้อมูลพลังงาน ข้อมูลผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการผลิต ข้อมูลผลิตภัณฑ์ที่ส่งขายออกโรงงาน ข้อมูลราคาผลิตภัณฑ์ที่ได้ ข้อมูลระบบบำบัดน้ำเสีย ข้อมูลการขนส่งปาล์มทะลาย ข้อมูลการขนส่งสารเคมีและน้ำมันดีเซล (ตารางที่ 4-1) (เพชรดา สัตยากูล, 2557)

ตารางที่ 4-1 ข้อมูลที่ใช้ในการคำนวณวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ของการผลิตน้ำมันปาล์มดิบ

ข้อมูลที่ต้องการ	ปริมาณ	หน่วย	หมายเหตุ
ข้อมูลการผลิต			
1. ปริมาณทะลายปาล์มสดเข้าโรงงาน		ตันต่อปี	
2. ปริมาณผลปาล์มร่วงเข้าโรงงาน		ตันต่อปี	
3. ปริมาณการใช้น้ำของโรงงาน		ลบ.ม.ต่อปี	
4. จำนวนวันทำงานของโรงงาน		วัน/ปี	
5. จำนวนชั่วโมงทำงาน		ชั่วโมง/วัน	
ข้อมูลการใช้สารเคมีทั้งหมดในโรงงาน			
1. ดินขาว		ก.ก.ต่อปี	
2. สารเคมี 1 คือ		ก.ก.ต่อปี	
3. สารเคมี 2 คือ		ก.ก.ต่อปี	
4. สารเคมี 3 คือ		ก.ก.ต่อปี	
5. สารเคมี 4 คือ		ก.ก.ต่อปี	
6. สารเคมี 5 คือ		ก.ก.ต่อปี	
ข้อมูลพลังงาน			
1. ปริมาณการซื้อไฟฟ้าจากการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค		หน่วยต่อปี	ข้อมูลจากบิลค่าไฟฟ้า
2. ปริมาณการใช้น้ำมันดีเซลภายในโรงงาน		ลิตรต่อปี	
ข้อมูลผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการผลิต			
1. ปริมาณ CPO		ตันต่อปี	
2. ปริมาณ PKO		ตันต่อปี	กรณีที่โรงงานมีการผลิต
3. ปริมาณทะลายปาล์มเปล่า		ตันต่อปี	
4. ปริมาณเส้นใย		ตันต่อปี	
5. ปริมาณกะลา		ตันต่อปี	
6. ปริมาณกากตะกอนดีแคนเตอร์		ตันต่อปี	
7. ปริมาณกากเมล็ดใน		ตันต่อปี	
ข้อมูลผลิตภัณฑ์ที่ส่งขายออกโรงงาน			
1. ปริมาณ CPO		ตันต่อปี	

ข้อมูลที่ต้องการ	ปริมาณ	หน่วย	หมายเหตุ
2. ปริมาณ PKO		ตันต่อปี	กรณีที่โรงงานมีการผลิต
3. ปริมาณทะลายปาล์มเปล่า		ตันต่อปี	
4. ปริมาณเส้นใย		ตันต่อปี	
5. ปริมาณกะลา		ตันต่อปี	
6. ปริมาณกากตะกอนดีแคนเตอร์		ตันต่อปี	
7. ปริมาณกากเมล็ดใน		ตันต่อปี	
ข้อมูลราคาผลิตภัณฑ์ที่ได้			
1. CPO		บาทต่อตัน	
2. PKO		บาทต่อตัน	
3. ทะลายปาล์มเปล่า		บาทต่อตัน	
4. เส้นใย		บาทต่อตัน	
5. กะลา		บาทต่อตัน	
6. กากตะกอนดีแคนเตอร์		บาทต่อตัน	
7. กากเมล็ดใน		บาทต่อตัน	
ข้อมูลระบบบำบัดน้ำเสีย			
1. ปริมาณน้ำเสียเข้าระบบบำบัดน้ำเสีย		ลบ.ม.ต่อปี	หรือ ลบ.ม.ต่อวัน
2. ปริมาณน้ำทิ้ง		ลบ.ม.ต่อปี	หรือ ลบ.ม.ต่อวัน
3. ปริมาณน้ำดิบ		ลบ.ม.ต่อปี	หรือ ลบ.ม.ต่อวัน

2. การจัดทำบัญชีรายการ

การจัดทำบัญชีรายการเป็นการทำบัญชีรายการของชนิด ปริมาณของสาร พลังงานที่เข้า - ออกของกระบวนการสกัดน้ำมันปาล์มดิบ 1 ตัน โดยบัญชีรายการของการสกัดน้ำมันปาล์มดิบสารขาเข้า ได้แก่

- ทะลายปาล์มสด
- สารเคมี
- น้ำมันดีเซล
- ไฟฟ้า
- น้ำที่ใช้ในกระบวนการผลิต

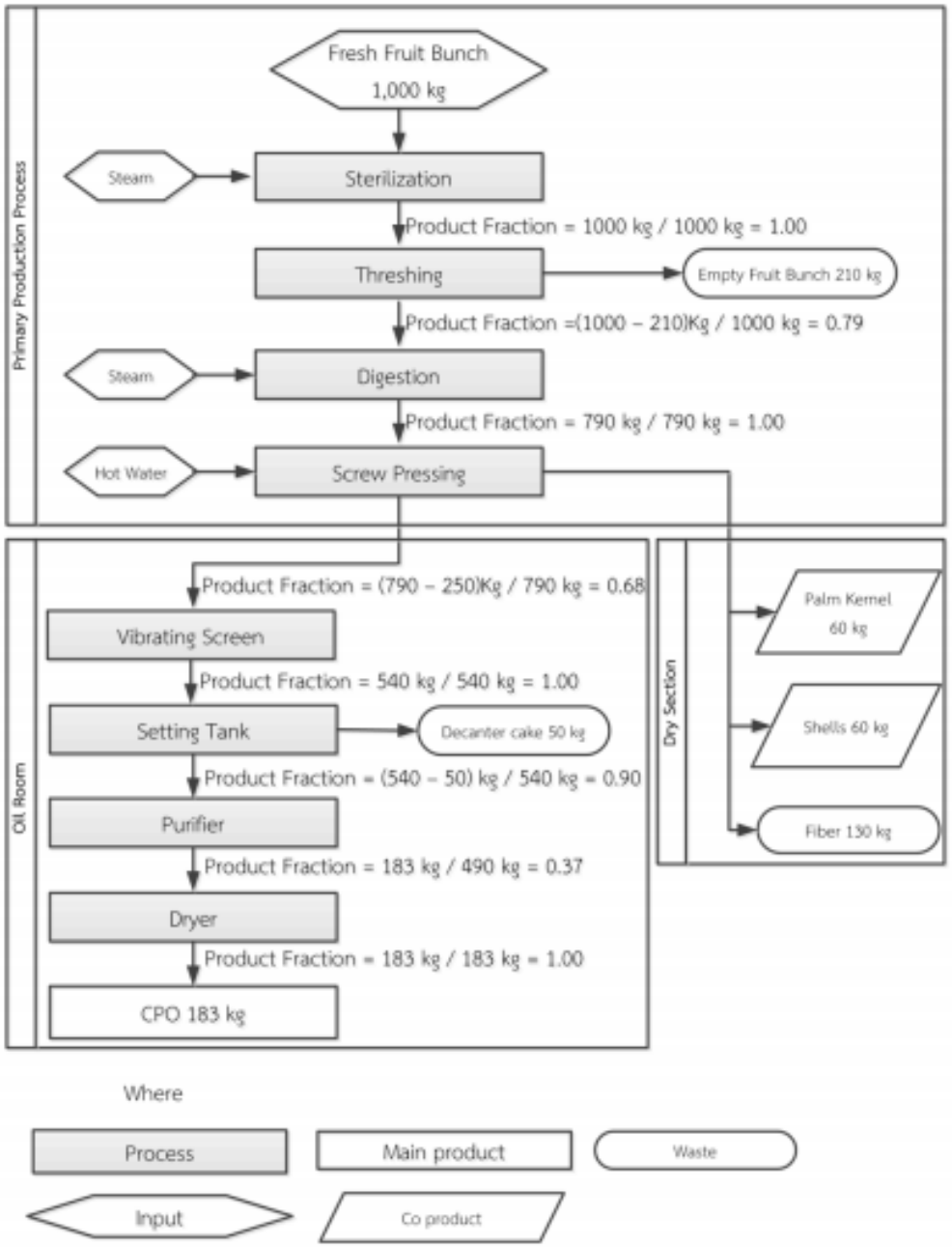
สำหรับบัญชีรายการของการสกัดน้ำมันปาล์มดิบสารขาออก ได้แก่

- น้ำมันปาล์มดิบ
- เมล็ดใน
- กะลา
- เส้นใย
- ทะลายปาล์มเปล่า
- กากตะกอนดีแคนเตอร์
- น้ำเสีย

3. การคำนวณสัดส่วนผลิตภัณฑ์

สัดส่วนผลิตภัณฑ์คำนวณได้ 2 ประเภท คือ 1) สัดส่วนผลิตภัณฑ์ทางทฤษฎี หาค่าโดยใช้ข้อมูลปริมาณผลิตภัณฑ์หลัก ผลิตภัณฑ์ร่วม และของเสียที่เกิดขึ้นทางทฤษฎี 2) สัดส่วนผลิตภัณฑ์ที่เกิดขึ้นจริง หาค่าโดยใช้ข้อมูลของโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มดิบ คือข้อมูลปริมาณผลิตภัณฑ์หลัก ผลิตภัณฑ์ร่วม และของเสียที่เกิดขึ้น (Department of Alternative Energy Development and Efficiency, 2006) การคำนวณสัดส่วนผลิตภัณฑ์ใช้ข้อมูลทางทฤษฎีแสดงดังภาพที่ 4-1 คือ

- ทะลายปาล์มสด 1 ตัน เข้าสู่กระบวนการนึ่งปาล์ม มีสัดส่วนผลิตภัณฑ์ 1.00
- ทะลายปาล์มสดเข้าสู่กระบวนการแยกผลปาล์ม ค่าทางทฤษฎีได้ทะลายปาล์มเปล่า 210 กิโลกรัม ผลปาล์มสด 790 กิโลกรัม มีสัดส่วนผลิตภัณฑ์ 0.79
- ผลปาล์มเข้าสู่กระบวนการย่อยผลปาล์ม มีสัดส่วนผลิตภัณฑ์ 1.00
- ผลปาล์มเข้าสู่กระบวนการบีบผลปาล์ม ค่าทางทฤษฎีได้เส้นใย 130 กิโลกรัม กะลา 60 กิโลกรัม เมล็ดใน 60 กิโลกรัม และน้ำมันปาล์มดิบ 540 กิโลกรัม มีสัดส่วนผลิตภัณฑ์ 0.68
- น้ำมันปาล์มดิบผ่านตะแกรงสั่น มีสัดส่วนผลิตภัณฑ์ 1.00
- น้ำมันปาล์มดิบเข้าสู่ถังตกตะกอน ค่าทางทฤษฎีได้กากตะกอนดีแคนเตอร์ 50 กิโลกรัม และน้ำมันปาล์มดิบ 490 กิโลกรัม มีสัดส่วนผลิตภัณฑ์ 0.90
- น้ำมันปาล์มดิบเข้าสู่กระบวนการทำให้บริสุทธิ์ ค่าทางทฤษฎีได้น้ำมันปาล์มดิบ 183 กิโลกรัม มีสัดส่วนผลิตภัณฑ์ 0.37
- น้ำมันปาล์มดิบเข้าสู่กระบวนการกำจัดน้ำ มีสัดส่วนผลิตภัณฑ์ 1.00



ภาพที่ 4-1 การคำนวณสัดส่วนผลิตภัณฑ์ทางทฤษฎี

ที่มา: Department of Alternative Energy Development and Efficiency, (2006)

4. การคำนวณปริมาณน้ำทางตรงและทางอ้อม

กระบวนการผลิตที่ใช้น้ำในโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มดิบ สามารถแบ่งเป็นการใช้น้ำทางตรงและการใช้น้ำทางอ้อม กระบวนการผลิตที่ใช้น้ำทางตรงได้แก่ การนึ่งปาล์ม ย่อยปาล์ม และบีบผลปาล์ม แต่กระบวนการที่กล่าวมานั้นไม่สามารถคำนวณค่าการใช้น้ำในแต่ละกระบวนการได้ ดังนั้นจึงใช้ค่าการใช้น้ำทั้งหมดของโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มดิบ สำหรับการใช้น้ำทางอ้อมคำนวณจากปริมาณสารเคมี ไฟฟ้า และน้ำมันดีเซลที่ใช้ในการขนส่งและใช้ภายในโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มดิบ แล้วนำมาคูณกับค่าวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ของน้ำมันดีเซล ไฟฟ้า และสารเคมี (เพชรดา สัตยากูล, 2557)

5. การประเมินวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ไม่คิดรวมการได้มาซึ่งทะลายปาล์มสด (รูปแบบที่ 1)

การประเมินวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ไม่คิดรวมการได้มาซึ่งทะลายปาล์มสด เป็นการประเมินวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ของการสกัดน้ำมันปาล์มดิบและไม่คิดรวมการปลูกปาล์มน้ำมัน ซึ่งต้องการประเมินวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ที่เกิดจากการใช้น้ำทางตรงและทางอ้อมของโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มดิบ (เพชรดา สัตยากูล, 2557)

6. การประเมินวอเตอร์ฟุตพริ้นท์คิดรวมการได้มาซึ่งทะลายปาล์มสด (รูปแบบที่ 2)

การประเมินวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ของการสกัดน้ำมันปาล์มดิบนอกจากคิดรวมการได้มาซึ่งทะลายปาล์มสดแล้วยังคิดรวมการปลูกปาล์มน้ำมันด้วย สำหรับการคิดรวมการปลูกปาล์มน้ำมันนั้น ใช้ค่าวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ของการได้มาซึ่งทะลายปาล์มสดของประเทศไทยในการคำนวณ (Suttayakul *et al*., 2016)

การทดลองที่ 4.2 การวิเคราะห์วอเตอร์ฟุตพริ้นท์ของการสกัดน้ำมันปาล์มดิบระดับชุมชน

1. การรวบรวมข้อมูล

ดำเนินการโดยจัดทำแบบสอบถามเพื่อรวบรวมข้อมูลจากแต่ละโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มดิบ ข้อมูลที่ต้องการได้แก่ การผลิต การใช้สารเคมีในโรงงาน พลังงาน ผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการผลิตผลิตภัณฑ์ที่ส่งขายออกโรงงาน ราคาผลิตภัณฑ์ที่ได้ ระบบบำบัดน้ำเสีย การขนส่งปาล์มทะลาย การขนส่งสารเคมีและน้ำมันดีเซล (ตารางที่ 4-1) (เพชรดา สัตยากูล, 2557)

2. การจัดทำบัญชีรายการ

การจัดทำบัญชีรายการเป็นการทำบัญชีรายการของชนิด ปริมาณของสาร พลังงานที่เข้า - ออกของกระบวนการสกัดน้ำมันปาล์มดิบ 1 ตัน โดยบัญชีรายการของการสกัดน้ำมันปาล์มดิบสารขาเข้า ได้แก่

- ทะลายปาล์มสด
- สารเคมี
- น้ำมันดีเซล
- ไฟฟ้า
- น้ำที่ใช้ในกระบวนการผลิต

สำหรับบัญชีรายการของการสกัดน้ำมันปาล์มดิบสารขาออก ได้แก่

- น้ำมันปาล์มดิบ
- เมล็ดใน
- กะลา
- เส้นใย
- ทะลายปาล์มเปล่า
- กากตะกอนดีแคนเตอร์
- น้ำเสีย

3. การคำนวณสัดส่วนผลิตภัณฑ์

สัดส่วนผลิตภัณฑ์คำนวณได้ 2 ประเภท คือ 1) สัดส่วนผลิตภัณฑ์ทางทฤษฎี หาค่าโดยใช้ข้อมูลปริมาณผลิตภัณฑ์หลัก ผลิตภัณฑ์ร่วม และของเสียที่เกิดขึ้นทางทฤษฎี 2) สัดส่วนผลิตภัณฑ์ที่เกิดขึ้นจริง หาค่าโดยใช้ข้อมูลของโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มดิบ คือข้อมูลปริมาณผลิตภัณฑ์หลัก ผลิตภัณฑ์ร่วม และของเสียที่เกิดขึ้น (Department of Alternative Energy Development and Efficiency, 2006) การคำนวณสัดส่วนผลิตภัณฑ์ใช้ข้อมูลทางทฤษฎี (ภาพที่ 4-1)

4. การคำนวณปริมาณน้ำทางตรงและทางอ้อม

กระบวนการผลิตที่ใช้น้ำในโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มดิบ สามารถแบ่งเป็นการใช้น้ำทางตรงและการใช้น้ำทางอ้อม กระบวนการผลิตที่ใช้น้ำทางตรงได้แก่ การนึ่งปาล์ม ย่อยปาล์ม และบีบผลปาล์ม แต่กระบวนการที่กล่าวมานั้นไม่สามารถคำนวณค่าการใช้น้ำในแต่ละกระบวนการได้ ดังนั้นจึงใช้ค่าการใช้น้ำทั้งหมดของโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มดิบ สำหรับการใช้น้ำทางอ้อมคำนวณจากปริมาณสารเคมี ไฟฟ้า และน้ำมันดีเซลที่ใช้ในการขนส่งและใช้ภายในโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มดิบ แล้วนำมาคูณกับค่าวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ของน้ำมันดีเซล ไฟฟ้า และสารเคมี (เพชรดา สัตยากูล, 2557)

5. การประเมินวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ไม่คิดรวมการได้มาซึ่งทะลายปาล์มสด (รูปแบบที่ 1)

การประเมินวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ไม่คิดรวมการได้มาซึ่งทะลายปาล์มสด เป็นการประเมินวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ของการสกัดน้ำมันปาล์มดิบและไม่คิดรวมการปลูกปาล์มน้ำมัน ซึ่งต้องการประเมินวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ที่เกิดจากการใช้น้ำทางตรงและทางอ้อมของโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มดิบ (เพชรดา สัตยากูล, 2557)

6. การประเมินวอเตอร์ฟุตพริ้นท์คิดรวมการได้มาซึ่งทะลายปาล์มสด (รูปแบบที่ 2)

การประเมินวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ของการสกัดน้ำมันปาล์มดิบนอกจากคิดรวมการได้มาซึ่งทะลายปาล์มสดแล้วยังคิดรวมการปลูกปาล์มน้ำมันด้วย สำหรับการคิดรวมการปลูกปาล์มน้ำมันนั้น ใช้ค่าวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ของการได้มาซึ่งทะลายปาล์มสดของประเทศไทยในการคำนวณ (Suttayakul *et al*., 2016)

การทดลองที่ 4.3 การวิเคราะห์วอเตอร์ฟุตพริ้นท์ของการผลิตน้ำมันปาล์มบริสุทธิ์

1. การรวบรวมข้อมูล

การรวบรวมข้อมูลที่ได้จากโรงงานกลั่นน้ำมันปาล์มบริสุทธิ์ ดำเนินการรวบรวมโดยจัดทำแบบสอบถามข้อมูลที่ต้องการได้แก่ ข้อมูลการผลิต ข้อมูลการใช้สารเคมีในโรงงาน ข้อมูลพลังงาน ข้อมูลผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการผลิต ข้อมูลผลิตภัณฑ์ที่ส่งขายออกโรงงาน ข้อมูลราคาผลิตภัณฑ์ที่ได้ ข้อมูลระบบบำบัดน้ำเสีย ข้อมูลการขนส่งน้ำมันปาล์มดิบ ข้อมูลการขนส่งสารเคมีและน้ำมันดีเซล (ตารางที่ 4-2)

ตารางที่ 4-2 ข้อมูลที่ใช้ในการคำนวณวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ของการผลิตน้ำมันปาล์มบริสุทธิ์

ข้อมูลที่ต้องการ	ปริมาณ	หน่วย	หมายเหตุ
ข้อมูลการผลิต			
1. ปริมาณทะลายปาล์มสดเข้าโรงงาน		ตันต่อปี	
2. ปริมาณผลปาล์มร่วงเข้าโรงงาน		ตันต่อปี	
3. ปริมาณการใช้น้ำของโรงงาน		ลบ.ม.ต่อปี	
4. จำนวนวันทำงานของโรงงาน		วัน/ปี	
5. จำนวนชั่วโมงทำงาน		ชั่วโมง/วัน	
ข้อมูลการใช้สารเคมีทั้งหมดในโรงงาน			
1. ดินขาว		ก.ก.ต่อปี	
2. สารเคมี 1 คือ		ก.ก.ต่อปี	
3. สารเคมี 2 คือ		ก.ก.ต่อปี	
ข้อมูลพลังงาน			
1. ปริมาณการซื้อไฟฟ้าจากการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค		หน่วยต่อปี	ข้อมูลจากบิลค่าไฟฟ้า
2. ปริมาณการใช้น้ำมันดีเซลภายในโรงงาน		ลิตรต่อปี	

ข้อมูลที่ต้องการ	ปริมาณ	หน่วย	หมายเหตุ
ข้อมูลผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการผลิต			
1. ปริมาณ RBDPO		ตันต่อปี	
2. ปริมาณ PFAD		ตันต่อปี	
ข้อมูลผลิตภัณฑ์ที่ส่งขายออกโรงงาน			
1. ปริมาณ RBDPO		ตันต่อปี	
2. ปริมาณ PFAD		ตันต่อปี	กรณีที่โรงงานมีการผลิต
ข้อมูลระบบบำบัดน้ำเสีย			
1. ปริมาณน้ำเสียเข้าระบบบำบัดน้ำเสีย		ลบ.ม.ต่อปี	หรือ ลบ.ม.ต่อวัน
2. ปริมาณน้ำทิ้ง		ลบ.ม.ต่อปี	หรือ ลบ.ม.ต่อวัน
3. ปริมาณน้ำดิบ		ลบ.ม.ต่อปี	หรือ ลบ.ม.ต่อวัน

2. การจัดทำบัญชีรายการ

การจัดทำบัญชีรายการเป็นการทำบัญชีรายการของชนิด ปริมาณของสาร พลังงานที่เข้า - ออกของกระบวนการสกัดน้ำมันปาล์มดิบ 1 ตัน โดยบัญชีรายการของการสกัดน้ำมันปาล์มดิบสารขาเข้า ได้แก่

- น้ำมันปาล์มดิบ
- สารเคมี
- น้ำมันดีเซล
- ไฟฟ้า
- น้ำที่ใช้ในกระบวนการผลิต

สำหรับบัญชีรายการของการสกัดน้ำมันปาล์มดิบสารขาออก ได้แก่

- น้ำมันปาล์มบริสุทธิ์
- กรดไขมันปาล์ม
- น้ำเสีย

3. การคำนวณสัดส่วนผลิตภัณฑ์

สัดส่วนผลิตภัณฑ์คำนวณได้ 2 ประเภท คือ 1) สัดส่วนผลิตภัณฑ์ทางทฤษฎี หาค่าโดยใช้ข้อมูลปริมาณผลิตภัณฑ์หลัก ผลิตภัณฑ์ร่วม และของเสียที่เกิดขึ้นทางทฤษฎี 2) สัดส่วนผลิตภัณฑ์ที่เกิดขึ้นจริง หาค่าโดยใช้ข้อมูลของโรงงานกลั่นน้ำมันปาล์มบริสุทธิ์ คือข้อมูลปริมาณผลิตภัณฑ์หลัก ผลิตภัณฑ์ร่วม และของเสียที่เกิดขึ้น (Department of Alternative Energy Development and Efficiency, 2006)

ที่มา: Department of Alternative Energy Development and Efficiency, (2006)

4. การคำนวณปริมาณน้ำทางตรงและทางอ้อม

กระบวนการผลิตที่ใช้น้ำในโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มดิบ สามารถแบ่งเป็นการใช้น้ำทางตรงและการใช้น้ำทางอ้อม กระบวนการผลิตที่ใช้น้ำทางตรงได้แก่ การนึ่งปาล์ม ย่อยปาล์ม และบีบผลปาล์ม แต่กระบวนการที่กล่าวมานั้นไม่สามารถคำนวณค่าการใช้น้ำในแต่ละกระบวนการได้ ดังนั้นจึงใช้ค่าการใช้น้ำทั้งหมดของโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มดิบ สำหรับการใช้น้ำทางอ้อมคำนวณจากปริมาณสารเคมี ไฟฟ้า และน้ำมันดีเซลที่ใช้ในการขนส่งและใช้ภายในโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มดิบ แล้วนำมาคูณกับค่าวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ของน้ำมันดีเซล ไฟฟ้า และสารเคมี

5. การประเมินวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ไม่คิดรวมการได้มาซึ่งน้ำมันปาล์มดิบ (รูปแบบที่ 1)

การประเมินวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ไม่คิดรวมการได้มาซึ่งน้ำมันปาล์มดิบ เป็นการประเมินวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ของการกลั่นน้ำมันปาล์มบริสุทธิ์และไม่คิดรวมผลผลิตปาล์มน้ำมัน ซึ่งต้องการประเมินวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ที่เกิดจากการใช้น้ำทางตรงและทางอ้อมของโรงงานกลั่นน้ำมันปาล์มบริสุทธิ์

6. การประเมินวอเตอร์ฟุตพริ้นท์คิดรวมการได้มาซึ่งน้ำมันปาล์มดิบ (รูปแบบที่ 2)

การประเมินวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ของการกลั่นน้ำมันปาล์มบริสุทธิ์ นอกจากคิดรวมการได้มาซึ่งน้ำมันปาล์มดิบ แล้วยังคิดรวมการได้มาของทะลายปาล์มสดด้วย โดยใช้ค่าวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ของการได้มาซึ่งทะลายปาล์มสดจากการทดลองในกิจกรรมที่ 1 การวิเคราะห์วอเตอร์ฟุตพริ้นท์ของการผลิตปาล์มน้ำมัน

ผลการวิจัยและอภิปราย

การวิเคราะห์วอเตอร์ฟุตพริ้นท์ของการผลิตน้ำมันปาล์มดิบแบบมาตรฐาน (หีบแยก)

1. การรวบรวมข้อมูล

การประเมินวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ของการสกัดน้ำมันปาล์มดิบ เริ่มจากรวบรวมข้อมูลที่ได้จากแต่ละโรงงาน จากนั้นจัดทำบัญชีรายการชนิดและปริมาณของสาร รวมทั้งพลังงานที่เข้า - ออกของกระบวนการสกัดน้ำมันปาล์มดิบ 1 ตัน และคำนวณสัดส่วนผลิตภัณฑ์ต่อด้วยการประเมินวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ โดยรูปแบบการประเมินวอเตอร์ฟุตพริ้นท์แบ่งได้ 3 รูปแบบ ได้แก่

รูปแบบที่ 1 ประเมินวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ไม่คิดรวมการได้มาซึ่งทะลายปาล์มสด เป็นการประเมินการใช้น้ำทางตรงและทางอ้อม เพื่อศึกษาปริมาณการใช้น้ำในการสกัดน้ำมันปาล์มดิบ ผลการประเมินวอเตอร์ฟุตพริ้นท์รูปแบบที่ 1 แสดงให้เห็นถึงการใช้น้ำของโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มดิบ

รูปแบบที่ 2 ประเมินวอเตอร์ฟุตพริ้นท์โดยการคิดรวมการได้มาซึ่งทะลายปาล์มสดและไม่คิดเกรย์วอเตอร์จากน้ำทิ้ง ผลการประเมินวอเตอร์ฟุตพริ้นท์รูปแบบที่ 2 แสดงให้เห็นถึงค่าวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ของผลิตภัณฑ์จากการสกัดน้ำมันปาล์มดิบ

รูปแบบที่ 3 ประเมินวอเตอร์ฟุตพริ้นท์โดยคิดรวมการได้มาซึ่งทะลายปาล์มสดและคิดรวมเกรย์วอเตอร์จากน้ำทิ้ง ผลการประเมินวอเตอร์ฟุตพริ้นท์รูปแบบที่ 3 แสดงถึงผลกระทบต่อปริมาณน้ำในธรรมชาติเมื่อมีการทิ้งน้ำที่ผ่านระบบการบำบัดน้ำเสียจากโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มดิบ (เพชรดา สัตยากูล, 2557)

โรงงานสกัดน้ำมันปาล์มดิบที่ติดต่อเพื่อขอข้อมูลดำเนินงานวิจัยประกอบด้วย

ภาคตะวันออก

1. บริษัทสุขสมบูรณ์น้ำมันปาล์ม จำกัด อำเภอหนองใหญ่ จังหวัดชลบุรี
2. บริษัท อีสเทิร์น ปาล์มออยล์ จำกัด อำเภอหนองใหญ่ จังหวัดชลบุรี

ภาคใต้

3. บริษัท ล่ำสูง (ประเทศไทย) จำกัด (มหาชน) อำเภอสิเกา จังหวัดตรัง
4. บริษัท ยูนิวานิชน้ำมันปาล์ม จำกัด (มหาชน) อำเภออ่าวลึก จังหวัดกระบี่
5. บริษัท ภัทร ปาล์มออยล์ จำกัด อำเภอเขาพนม จังหวัดกระบี่
6. บริษัท นครน้ำมันปาล์ม จำกัด อำเภอเชียรใหญ่ จังหวัดนครศรีธรรมราช
7. บริษัท สหรุ่งทรัพย์น้ำมันปาล์ม จำกัด อำเภอท่าแพ จังหวัดสตูล
8. บริษัท ตรังน้ำมันปาล์ม จำกัด อำเภอสิเกา จังหวัดตรัง
9. บริษัท ไทยผลิตภัณฑ์ปาล์ม จำกัด อำเภอหาดใหญ่ จังหวัดสงขลา
10. บริษัท เอเชียนน้ำมันปาล์ม จำกัด อำเภออ่าวลึก จังหวัดกระบี่

ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ

11. บริษัท อีสานพัฒนาอุตสาหกรรมปาล์ม จำกัด อำเภอวานรนิวาส จังหวัดสกลนคร
12. บริษัท หนองคายปาล์มออยล์ อินดัสทรีส์ จำกัด อำเภอศรีเชียงใหม่ จังหวัดหนองคาย

ภาคกลาง

13. บริษัท ไทยเจริญน้ำมันปาล์ม จำกัด อำเภออัมพวา จังหวัดสมุทรสงคราม
14. บริษัท สมอทองปาล์ม 4 (สระบุรี) จำกัด อำเภอหนองแค จังหวัดสระบุรี

ภาคตะวันตก

15. บริษัท แม่สอดกรีนพาวเวอร์ จำกัด อำเภอแม่สอด จังหวัดตาก
16. บริษัท ทองมงคลอุตสาหกรรมน้ำมันปาล์ม จำกัด อำเภอบางสะพาน จังหวัดประจวบคีรีขันธ์

17. บริษัท น้ำมันปาล์ม ภาคตะวันตก จำกัด อำเภอทองผาภูมิ จังหวัดกาญจนบุรี

18. บริษัท เสถียรปาล์ม จำกัด อำเภอท่ามะกา จังหวัดกาญจนบุรี

ภาคเหนือ

19. บริษัท สวนปาล์มอัสวิน จำกัด อำเภอเวียงเชียงรุ้ง จังหวัดเชียงราย

อย่างไรก็ตามโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มดิบที่ให้ความอนุเคราะห์ข้อมูลในการดำเนินงานวิจัยประกอบด้วย

1. บริษัท ยูนิวานิชน้ำมันปาล์ม จำกัด (มหาชน) อำเภออ่าวลึก จังหวัดกระบี่

2. บริษัท ล่ำสูง (ประเทศไทย) จำกัด (มหาชน) อำเภอสิเกา จังหวัดตรัง

3. บริษัทสุขสมบูรณ์น้ำมันปาล์ม จำกัด อำเภอหนองใหญ่ จังหวัดชลบุรี

4. บริษัท อีสานพัฒนาอุตสาหกรรมปาล์ม จำกัด อำเภอวานรนิวาส จังหวัดสกลนคร

5. บริษัท ภัทร ปาล์มออยล์ จำกัด อำเภอเขาพนม จังหวัดกระบี่

2. การจัดทำบัญชีรายการ

ข้อมูลที่ได้จากโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มดิบ นำมาจัดทำบัญชีรายการ ซึ่งเป็นการจัดทำบัญชีรายการของชนิด ปริมาณของสาร พลังงานที่เข้า - ออกของกระบวนการสกัดน้ำมันปาล์มดิบ 1 ตัน โดยสารขาเข้าและสารขาออกสำหรับการสกัดน้ำมันปาล์มดิบแสดงดังตารางที่ 4-3

ตารางที่ 4-3 บัญชีรายการสำหรับการผลิตน้ำมันปาล์มดิบ 1 ตัน

พารามิเตอร์	หน่วย	บริษัท				
		ยูนิวานิช น้ำมันปาล์ม จำกัด (มหาชน)	ล่ำสูง (ประเทศไทย) จำกัด (มหาชน)	สุขสมบูรณ์ น้ำมันปาล์ม จำกัด	อีสานพัฒนา อุตสาหกรรม ปาล์ม จำกัด	ภัทร ปาล์มออยล์ จำกัด
สารขาเข้า						
ทะลายปาล์มสด	ตัน	6.05	5.88	5.64	4.05	5.26
ปริมาณการใช้น้ำ	ลูกบาศก์เมตร	5.78	6.45	4.34	4.04	3.16
ปริมาณไฟฟ้าจากการ ไฟฟ้าส่วนภูมิภาค	กิโลวัตต์-ชั่วโมง	4.20	41.27	54.66	40.54	39.47
ปริมาณการใช้น้ำมันดีเซล	ลิตร	1.62	4.12	2.07	3.24	1.58
ปริมาณการใช้สารเคมี						
- ดินขาว	กิโลกรัม	11.27	7.65	28.55	8.31	10.53
- คลอรีน	กิโลกรัม	-	-	0.49	-	-
- สารส้ม	กิโลกรัม	-	-	1.06	-	-
- สารพอลิเมอร์	กิโลกรัม	-	-	0.015	-	0.032
- เกลือ	กิโลกรัม	2.78	-	-	-	0.605
- โพลีอลูมิเนียมคลอไรด์	กิโลกรัม	0.15	-	-	-	0.095
สารขาออก						
ผลิตภัณฑ์หลัก						
- น้ำมันปาล์มดิบ	ตัน	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
ผลิตภัณฑ์ร่วม						
- เมล็ดใน	ตัน	0.32	0.29	0.16	0.12	0.29
- เส้นใย	ตัน	0.72	0.80	0.58	0.40	0
- กะลา	ตัน	0.41	0.35	0.08	0.18	1.84
วัสดุเศษเหลือ						

พารามิเตอร์	หน่วย	บริษัท				
		ยูนิวานิช น้ำมันปาล์ม จำกัด (มหาชน)	ล่ำสูง (ประเทศไทย) จำกัด (มหาชน)	สุขสมบูรณ์ น้ำมันปาล์ม จำกัด	อีสานพัฒนา อุตสาหกรรม ปาล์ม จำกัด	ภัทร ปาล์มออยล์ จำกัด
- ทะลายปาล์มเปล่า	ตัน	1.00	0.24	1.31	1.00	0.09
- กากตะกอนดีแคนเตอร์	ตัน	0.27	0.18	0.17	0	0.05

จากข้อมูลในตารางที่ 4-3 พบว่า การสกัดน้ำมันปาล์มดิบ 1 ตันของโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มดิบที่ศึกษาใช้ทะลายปาล์มสดอยู่ในช่วง 4.05 - 6.05 ตัน และมีการใช้ทะลายปาล์มสดเฉลี่ย 5.38 ตัน โดยมีอัตราการสกัดน้ำมันปาล์มดิบอยู่ในช่วงร้อยละ 16.53 - 24.70 (ยูนิวานิชน้ำมันปาล์ม จำกัด (มหาชน) ล่ำสูง (ประเทศไทย) จำกัด (มหาชน) สุขสมบูรณ์น้ำมันปาล์ม จำกัด อีสานพัฒนาอุตสาหกรรมปาล์ม จำกัด และภัทร ปาล์มออยล์ จำกัด มีอัตราการสกัดน้ำมันปาล์มดิบ ร้อยละ 16.53 17.00 17.73 24.70 และ 19.01 ตามลำดับ เมื่อพิจารณาจากปริมาณน้ำที่ใช้ในกระบวนการสกัดน้ำมันปาล์มดิบพบว่า การสกัดน้ำมันปาล์มดิบ 1 ตัน ใช้น้ำอยู่ในช่วง 3.16 - 6.45 ลูกบาศก์เมตร โดยมีค่าการใช้น้ำเฉลี่ย 4.75 ลูกบาศก์เมตร การใช้น้ำในปริมาณที่ต่างกันอาจเนื่องจากประสิทธิภาพของหม้อไอน้ำรวมถึงปริมาณทะลายปาล์มสดที่แตกต่างกันของแต่ละโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มดิบ ซึ่งค่าที่ได้จากการศึกษาครั้งนี้อยู่ในช่วงเดียวกันกับการศึกษาของ Suttayakul et al. (2016) โดยได้ศึกษาปริมาณน้ำที่ใช้ในกระบวนการสกัดน้ำมันปาล์มดิบของโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มในจังหวัดสุราษฎร์ธานี กระบี่ ชุมพร และชลบุรี และพบว่ามีค่าการใช้น้ำเฉลี่ย 5.02 ลูกบาศก์เมตร

3. สัดส่วนผลิตภัณฑ์

การหาสัดส่วนผลิตภัณฑ์คำนวณจากมวลของผลิตภัณฑ์ต่อมวลวัตถุดิบ จากนั้นใช้ค่าสัดส่วนผลิตภัณฑ์ที่ได้เปรียบเทียบกับค่าสัดส่วนผลิตภัณฑ์ทางทฤษฎี สำหรับสัดส่วนผลิตภัณฑ์ของโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มดิบที่ศึกษาแสดงในตารางที่ 4-4

ตารางที่ 4-4 สัดส่วนผลิตภัณฑ์ของโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มดิบ

กระบวนการ	สัดส่วนผลิตภัณฑ์					
	ยูนิวานิช น้ำมันปาล์ม จำกัด (มหาชน)	ล่ำสูง (ประเทศไทย) จำกัด (มหาชน)	สุขสมบูรณ์ น้ำมันปาล์ม จำกัด	อีสานพัฒนา อุตสาหกรรม ปาล์ม จำกัด	ภัทร ปาล์มออยล์ จำกัด	ค่าทาง ทฤษฎี
การนึ่งปาล์ม	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
การแยกผลปาล์ม	0.83	0.78	0.77	0.75	0.81	0.80
การย่อยผลปาล์ม	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
การบีบผลปาล์ม	0.72	0.68	0.81	0.77	0.87	0.68
กรองผ่านตะแกรงสั่น	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
ถังตกตะกอน	0.92	0.94	0.95	1.00	1.00	0.90
การทำให้บริสุทธิ์	0.30	0.34	0.29	0.42	0.27	0.37
การกำจัดน้ำ	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00

4. การคำนวณปริมาณน้ำทางตรงและทางอ้อม

การใช้น้ำทางตรงของการสกัดน้ำมันปาล์มดิบหมายถึงบลูวอเตอร์เพียงอย่างเดียว เนื่องจากโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มดิบส่วนใหญ่มีระบบบำบัดน้ำเสีย ไม่มีการทิ้งน้ำจากกระบวนการสกัดน้ำมันปาล์มโดยตรง (เกรย์วอ

เตอร์) สำหรับน้ำทางตรงของการสกัดน้ำมันปาล์มดิบประกอบด้วย น้ำที่ใช้ในขั้นตอนต่าง ๆ เช่น การนึ่งปาล์ม การย่อยผลปาล์ม การบีบผลปาล์ม แต่อย่างไรก็ตาม ไม่สามารถคำนวณค่าการใช้น้ำทางตรงของแต่ละขั้นตอนที่กล่าวมาได้ จึงคำนวณค่าการใช้น้ำทางตรงจากข้อมูลปริมาณการน้ำใช้ทั้งหมดภายในโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มดิบ จากข้อมูลในตารางที่ 4-5 พบว่า ปริมาณการใช้น้ำทางตรงของแต่ละโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มดิบอยู่ในช่วง 3.16 - 6.45 ลูกบาศก์เมตรต่อตันน้ำมันปาล์มดิบ และมีค่าเฉลี่ยการใช้น้ำทางตรง 4.75 ลูกบาศก์เมตรต่อตันน้ำมันปาล์มดิบ

การใช้น้ำทางอ้อมของการสกัดน้ำมันปาล์มดิบ ใช้ข้อมูลปริมาณสารเคมี ไฟฟ้า และน้ำมันดีเซลที่ใช้ในโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มดิบ จากนั้นคูณกับค่าวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ของน้ำมันดีเซล ไฟฟ้า และสารเคมี (ตารางที่ 4-6) สำหรับการใช้น้ำทางอ้อมนั้น ประกอบด้วยวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ของการผลิต (วอเตอร์ฟุตพริ้นท์ของการผลิตสารเคมี ไฟฟ้าจากการไฟฟ้า น้ำมันดีเซล) และวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ของการขนส่ง (วอเตอร์ฟุตพริ้นท์ของการขนส่งสารเคมี น้ำมันดีเซล ทะลายปาล์มสดเข้าสู่โรงงาน) ซึ่งปริมาณการใช้น้ำทางอ้อมของโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มดิบแสดงในตารางที่ 4-7 จากข้อมูลพบว่า ปริมาณการใช้น้ำทางอ้อมของโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มดิบมีค่า 0.26 - 0.46 ลูกบาศก์เมตรต่อตันน้ำมันปาล์มดิบ และมีค่าเฉลี่ยการใช้น้ำทางอ้อม 0.35 ลูกบาศก์เมตร ต่อตันน้ำมันปาล์มดิบ

ตารางที่ 4-5 ปริมาณน้ำทางตรงที่ใช้ในกระบวนการสกัดน้ำมันปาล์มดิบ

บริษัท	ปริมาณน้ำทางตรง (ลูกบาศก์เมตรต่อตันน้ำมันปาล์มดิบ)
ยูนิวานิชน้ำมันปาล์ม จำกัด (มหาชน)	5.78
ล่ำสูง (ประเทศไทย) จำกัด (มหาชน)	6.45
สุขสมบูรณ์น้ำมันปาล์ม จำกัด	4.34
อีสานพัฒนาอุตสาหกรรมปาล์ม จำกัด	4.04
ภัทร ปาล์มออยล์ จำกัด	3.16

ตารางที่ 4-6 ค่าวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ของน้ำมันดีเซล ไฟฟ้า และสารเคมี

ชนิด	ค่าวอเตอร์ฟุตพริ้นท์	หน่วย
น้ำมันดีเซล	0.0042	ลูกบาศก์เมตร/กิโลกรัม
ไฟฟ้า	0.0023	ลูกบาศก์เมตร/กิโลวัตต์-ชั่วโมง
ดินขาว	0.0073	ลูกบาศก์เมตร/กิโลกรัม
คลอรีน	0.0143	ลูกบาศก์เมตร/กิโลกรัม
โซเดียมคลอไรด์	0.0057	ลูกบาศก์เมตร/กิโลกรัม
โซเดียมไฮดรอกไซด์	0.0142	ลูกบาศก์เมตร/กิโลกรัม
โซเดียมไฮโปคลอไรด์	0.0094	ลูกบาศก์เมตร/กิโลกรัม
กรดไฮโดรคลอริค	0.0161	ลูกบาศก์เมตร/กิโลกรัม
โพแทสเซียมอลูมิเนียมซัลเฟต	0.0665	ลูกบาศก์เมตร/กิโลกรัม
โพลีอลูมิเนียมคลอไรด์	0.0280	ลูกบาศก์เมตร/กิโลกรัม
ไดคลีน	0.0546	ลูกบาศก์เมตร/กิโลกรัม
โซเดียม SBS	0.0129	ลูกบาศก์เมตร/กิโลกรัม
โซเดียมคาร์บอเนต	0.0084	ลูกบาศก์เมตร/กิโลกรัม

ชนิด	ค่าวอเตอร์ฟุตพริ้นท์	หน่วย
เรซิน	0.0194	ลูกบาศก์เมตร/กิโลกรัม
สารละลายฟอสเฟต	0.1498	ลูกบาศก์เมตร/กิโลกรัม

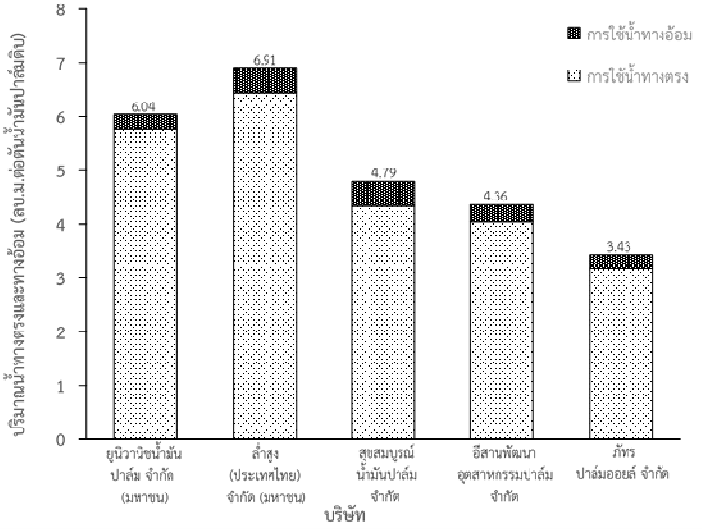
ที่มา: เพชรดา สัตยากูล (2557)

ตารางที่ 4-7 ปริมาณน้ำทางอ้อมที่ใช้ในกระบวนการสกัดน้ำมันปาล์มดิบ

บริษัท	ผลิต			ขนส่ง			ปริมาณน้ำทางอ้อม (ลูกบาศก์เมตรต่อตันน้ำมันปาล์มดิบ)
	ไฟฟ้า	สารเคมี	น้ำมันดีเซล	สารเคมี	น้ำมันดีเซล	ทะลายปาล์มสด	
ยูนิวานิชน้ำมันปาล์ม จำกัด (มหาชน)	0.0097 (3.06)	0.0849 (26.88)	0.0058 (1.83)	0	0	0.1605 (50.81)	0.26
ล่ำสูง (ประเทศไทย) จำกัด (มหาชน)	0.0949 (20.83)	0.0561 (12.31)	0.0148 (3.24)	0.0006 (0.13)	0.0011 (0.23)	0.2885 (63.29)	0.46
สุขสมบูรณ์น้ำมันปาล์ม จำกัด	0.1257 (27.05)	0.2257 (48.56)	0.0074 (1.60)	0	0	0.0943 (20.29)	0.45
อีสานพัฒนาอุตสาหกรรมปาล์ม จำกัด	0.0932 (31.12)	0.0610 (20.34)	0.0116 (3.88)	0	0	0.1325 (44.24)	0.31
ภัทร ปาล์มออยล์ จำกัด	0.0908 (31.65)	0.0807 (28.14)	0.0057 (1.97)	0	0	0.0971 (33.85)	0.27

() สัดส่วนร้อยละ

เมื่อพิจารณาปริมาณน้ำทางตรงและทางอ้อมของแต่ละโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มดิบพบว่า ค่าการใช้น้ำ (รวมปริมาณน้ำทางตรงและทางอ้อม) ของโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มดิบที่ศึกษาอยู่ในช่วง 3.43 - 6.91 ลูกบาศก์เมตรต่อตันน้ำมันปาล์มดิบ และมีค่าเฉลี่ยการใช้น้ำ 5.11 ลูกบาศก์เมตรต่อตันน้ำมันปาล์มดิบ (ภาพที่ 4-2)



ภาพที่ 4-2 ปริมาณการใช้น้ำทางตรงและทางอ้อม

5. การประเมินวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ไม่คิดรวมการได้มาซึ่งทะลายปาล์มสด (รูปแบบที่ 1)

การประเมินวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ไม่คิดรวมการได้มาซึ่งทะลายปาล์มสด เป็นการศึกษาวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ที่เกิดจากโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มดิบเพียงอย่างเดียว จากการคำนวณพบว่า ค่าวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ไม่คิดรวมการได้มาซึ่งทะลายปาล์มสดที่ได้มีค่าอยู่ในช่วง 3.34-6.62 ลูกบาศก์เมตรต่อตันน้ำมันปาล์มดิบ (ตารางที่ 4-8) และมีค่าเฉลี่ยวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ไม่คิดรวมการได้มาซึ่งทะลายปาล์มสด 4.95 ลูกบาศก์เมตรต่อตันน้ำมันปาล์มดิบ

ตารางที่ 4-8 วอเตอร์ฟุตพริ้นท์ของการสกัดน้ำมันปาล์มดิบ (ไม่คิดรวมการได้มาซึ่งทะลายปาล์มสด)

บริษัท	วอเตอร์ฟุตพริ้นท์ของการสกัดน้ำมันปาล์มดิบ (ลูกบาศก์เมตรต่อตันน้ำมันปาล์มดิบ)
ยูนิวานิชน้ำมันปาล์ม จำกัด (มหาชน)	5.88
ล่ำสูง (ประเทศไทย) จำกัด (มหาชน)	6.62
สุขสมบูรณ์น้ำมันปาล์ม จำกัด	4.70
อีสานพัฒนาอุตสาหกรรมปาล์ม จำกัด	4.22
ภัทร ปาล์มออยล์ จำกัด	3.34

6. การประเมินวอเตอร์ฟุตพริ้นท์คิดรวมการได้มาซึ่งทะลายปาล์มสด (รูปแบบที่ 2)

การประเมินวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ของการสกัดน้ำมันปาล์มดิบนอกจากคิดรวมการได้มาซึ่งทะลายปาล์มสดแล้วยังคิดรวมการปลูกปาล์มน้ำมันด้วย สำหรับการคิดรวมการปลูกปาล์มน้ำมันนั้น ใช้ค่าวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ของการได้มาซึ่งทะลายปาล์มสดของประเทศไทยในการคำนวณ ซึ่งมีค่าเท่ากับ 1,063 ลูกบาศก์เมตรต่อตันทะลายปาล์มสด (ตารางที่ 4-9) (Suttayakul *et al*., 2016) ภาพที่ 3 - 7 แสดงการคำนวณวอเตอร์ฟุตพริ้นท์คิดรวมการได้มาซึ่งทะลายปาล์มสด โดยใช้ข้อมูลจากโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มดิบและใช้ค่าสัดส่วนผลิตภัณฑ์ที่ได้เพื่อหาค่าวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ของการสกัดน้ำมันปาล์มดิบ

ตารางที่ 4-9 วอเตอร์ฟุตพริ้นท์ของการได้มาซึ่งทะลายปาล์มสด

	วอเตอร์ฟุตพริ้นท์ (ลูกบาศก์เมตรต่อตันทะลายปาล์มสด)			
ประเทศไทย	กรีนวอเตอร์	บลูวอเตอร์	เกรย์วอเตอร์	วอเตอร์ฟุตพริ้นท์
	723	191	149	1,063

ที่มา: Suttayakul et al. (2016)

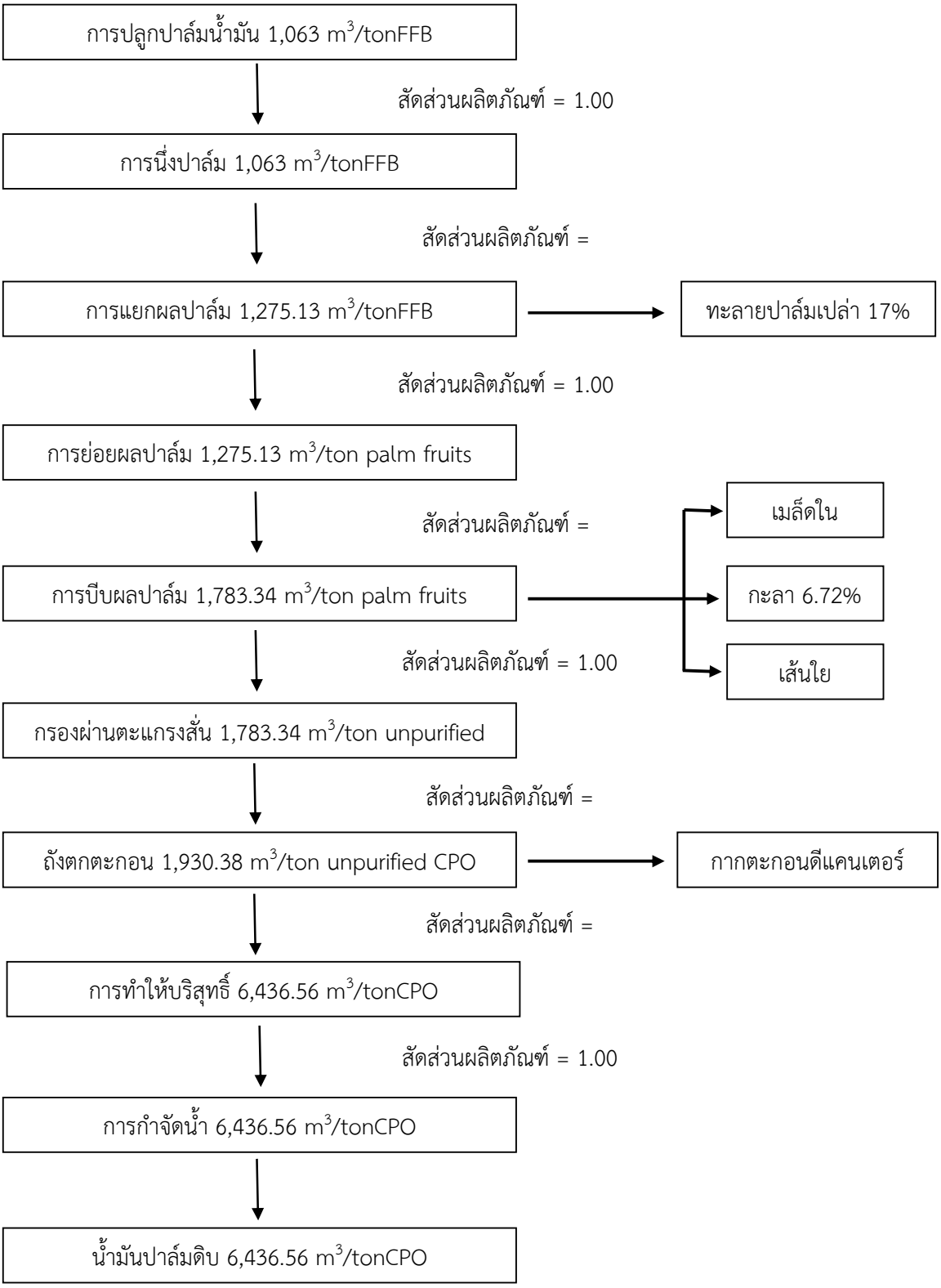
ค่าวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ของการสกัดน้ำมันปาล์มดิบ (คิดรวมการได้มาซึ่งทะลายปาล์มสด) หลังจากการคำนวณพบว่า โรงงานสกัดน้ำมันปาล์มของบริษัท ยูนิวานิชน้ำมันปาล์ม จำกัด (มหาชน) มีค่าวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ของการสกัดน้ำมันปาล์มดิบ 6,437 ลูกบาศก์เมตรต่อตันน้ำมันปาล์มดิบ ประกอบด้วยกรีนวอเตอร์ร้อยละ 67.9 บลูวอเตอร์ร้อยละ 18.0 และเกรย์วอเตอร์ร้อยละ 14.3 (ภาพที่ 4-3)

โรงงานสกัดน้ำมันปาล์มของบริษัท ล่ำสูง (ประเทศไทย) จำกัด (มหาชน) มีค่าวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ของการสกัดน้ำมันปาล์มดิบ 6,259 ลูกบาศก์เมตรต่อตันน้ำมันปาล์มดิบ ประกอบด้วยกรีนวอเตอร์ร้อยละ 81.8 บลูวอเตอร์ร้อยละ 15.8 และเกรย์วอเตอร์ร้อยละ 2.4 (ภาพที่ 4-4)

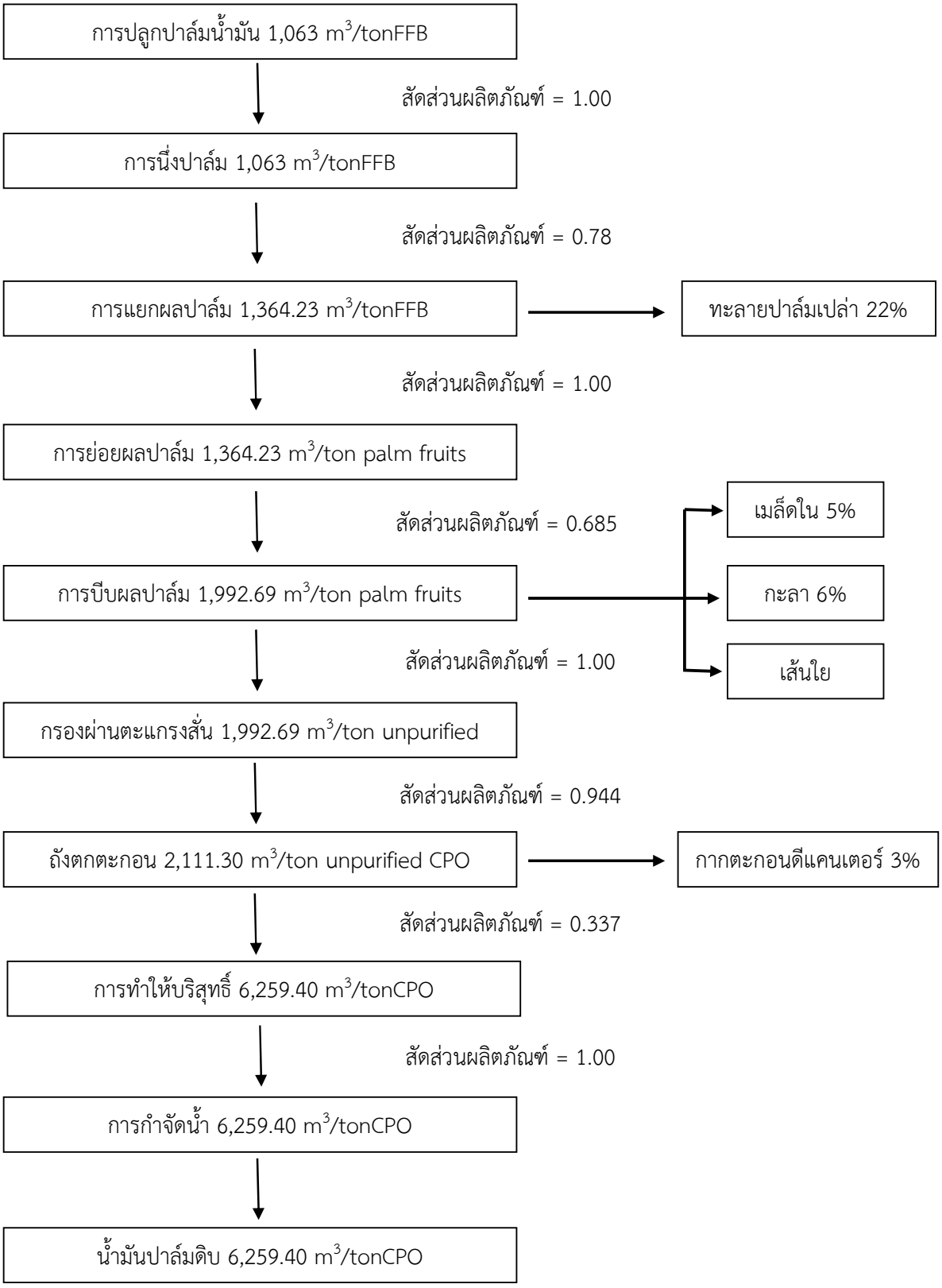
โรงงานสกัดน้ำมันปาล์มของบริษัทสุขสมบูรณ์น้ำมันปาล์ม จำกัด มีค่าวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ของการสกัดน้ำมันปาล์มดิบ 6,004 ลูกบาศก์เมตรต่อตันน้ำมันปาล์มดิบ ประกอบด้วยกรีนวอเตอร์ร้อยละ 67.9 บลูวอเตอร์ร้อยละ 18.0 และเกรย์วอเตอร์ร้อยละ 14.0 (ภาพที่ 4-5)

โรงงานสกัดน้ำมันปาล์มของบริษัทอีสานพัฒนาอุตสาหกรรมปาล์ม จำกัด มีค่าวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ของการสกัดน้ำมันปาล์มดิบ 4,309 ลูกบาศก์เมตรต่อตันน้ำมันปาล์มดิบ ประกอบด้วยกรีนวอเตอร์ร้อยละ 68.1 บลูวอเตอร์ร้อยละ 17.9 และเกรย์วอเตอร์ร้อยละ 14.0 (ภาพที่ 4-6)

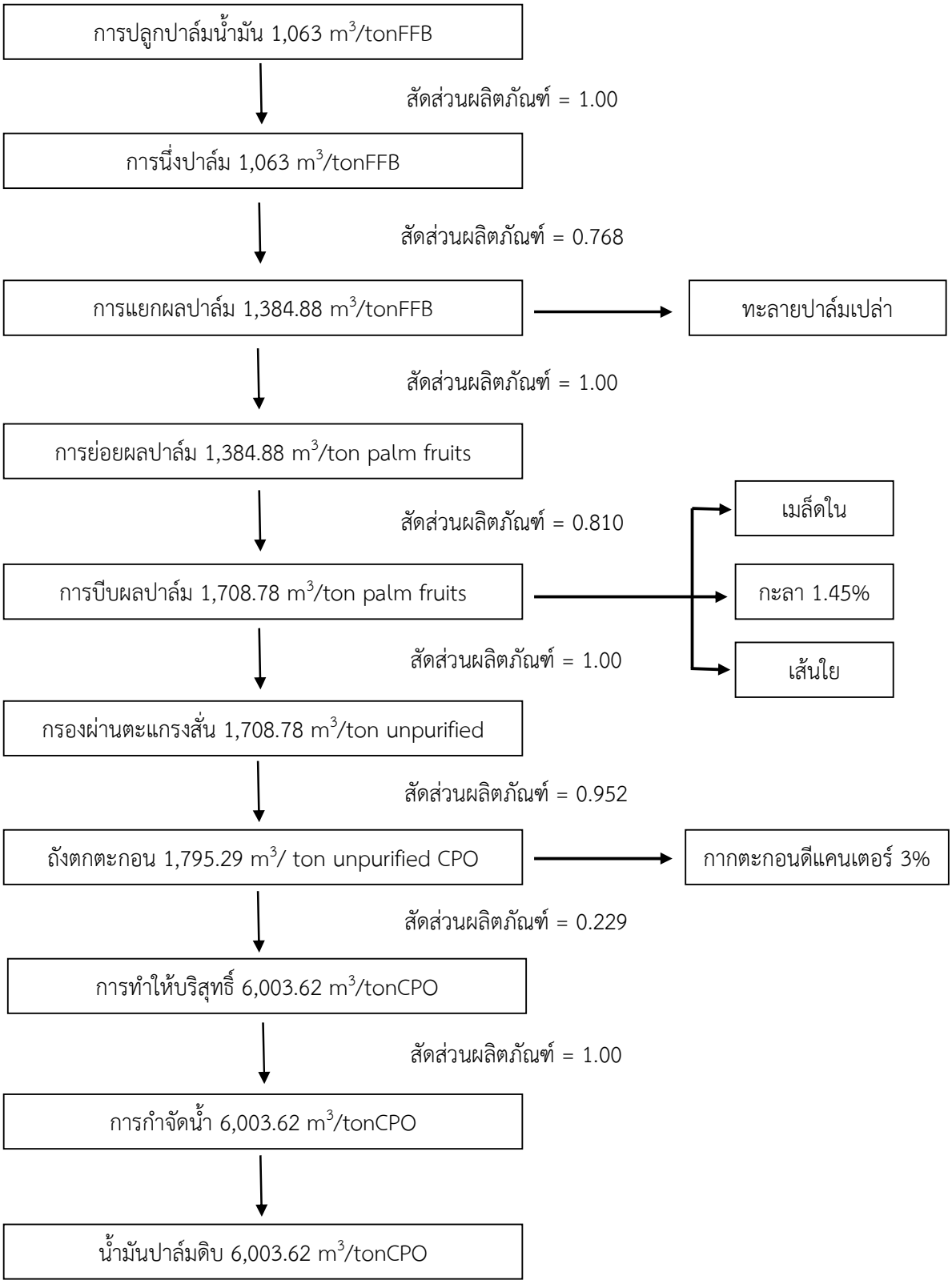
โรงงานสกัดน้ำมันปาล์มของบริษัทภัทร ปาล์มออยล์ จำกัด มีค่าวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ของการสกัดน้ำมันปาล์มดิบ 5,595 ลูกบาศก์เมตรต่อตันน้ำมันปาล์มดิบ ประกอบด้วยกรีนวอเตอร์ร้อยละ 68.0 บลูวอเตอร์ร้อยละ 17.8 และเกรย์วอเตอร์ร้อยละ 14.1 (ภาพที่ 4-7)



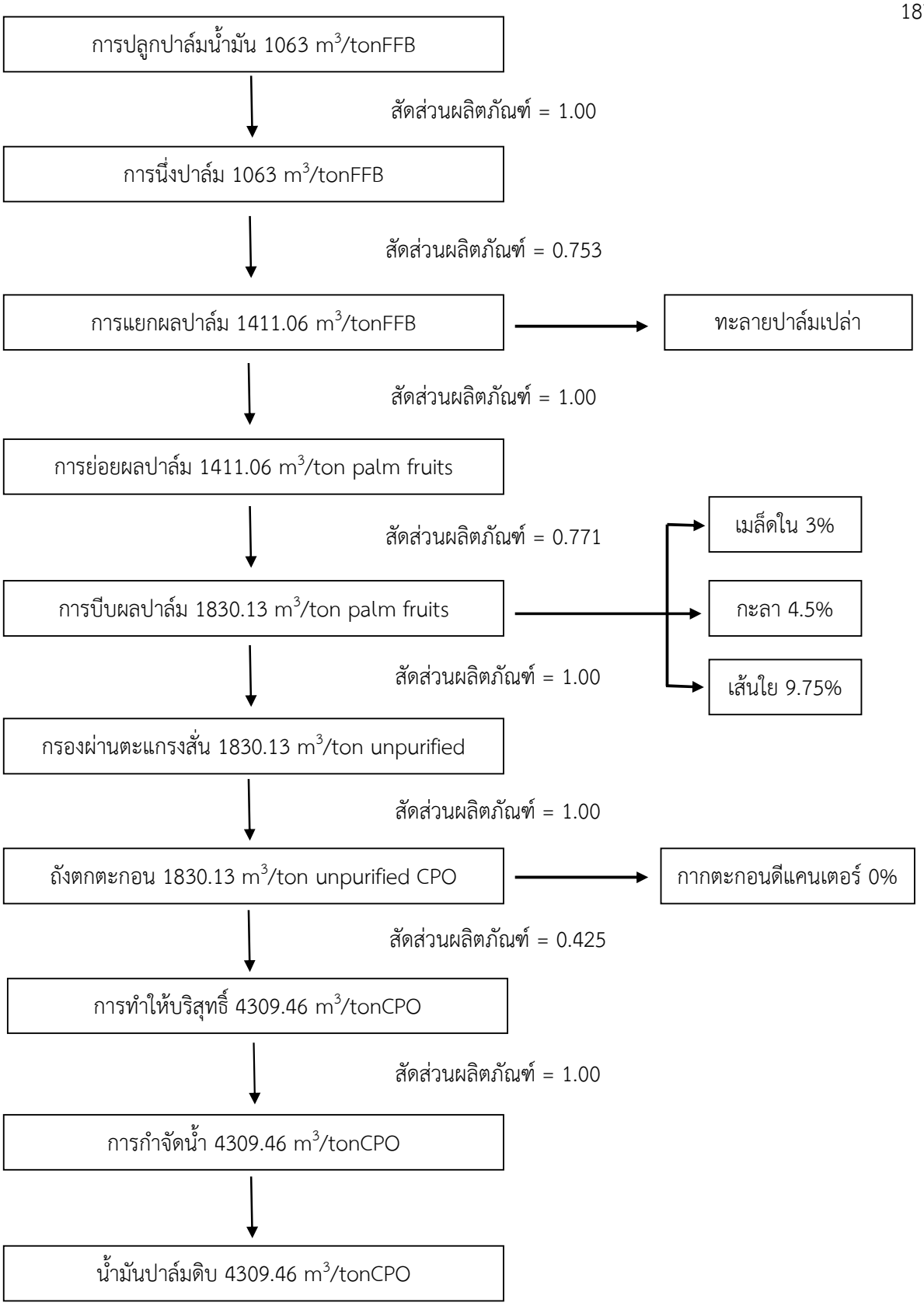
ภาพที่ 4-3 การคำนวณวอเตอร์ฟุตพริ้นท์คิดรวมการได้มาซึ่งทะลายปาล์มสดของโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มบริษัท ยูนิวานิชน้ำมันปาล์ม จำกัด (มหาชน)



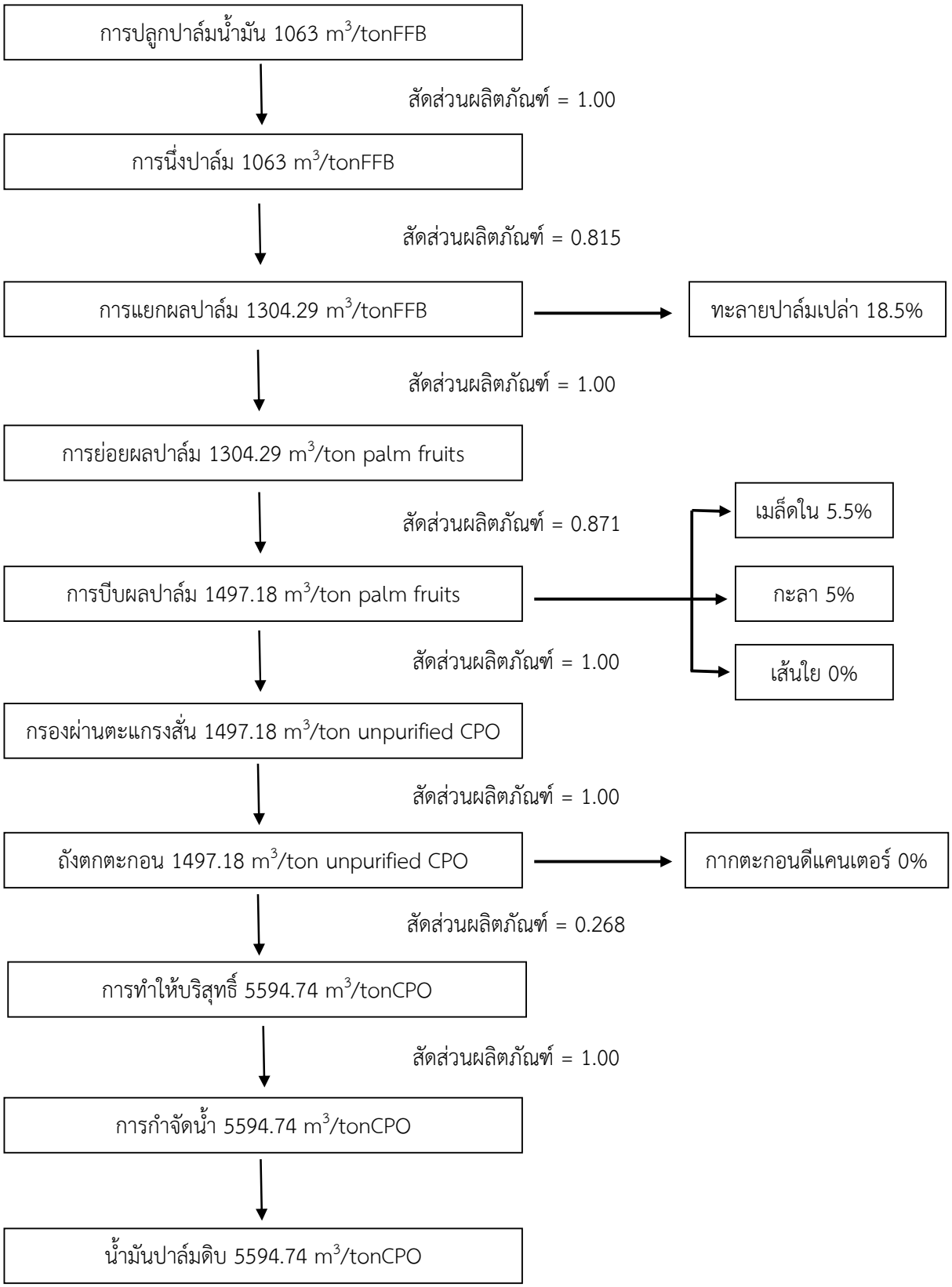
ภาพที่ 4-4 การคำนวณวอเตอร์ฟุตพริ้นท์คิดรวมการได้มาซึ่งทะลายปาล์มสดของโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มบริษัท ล่ำสูง (ประเทศไทย) จำกัด (มหาชน)



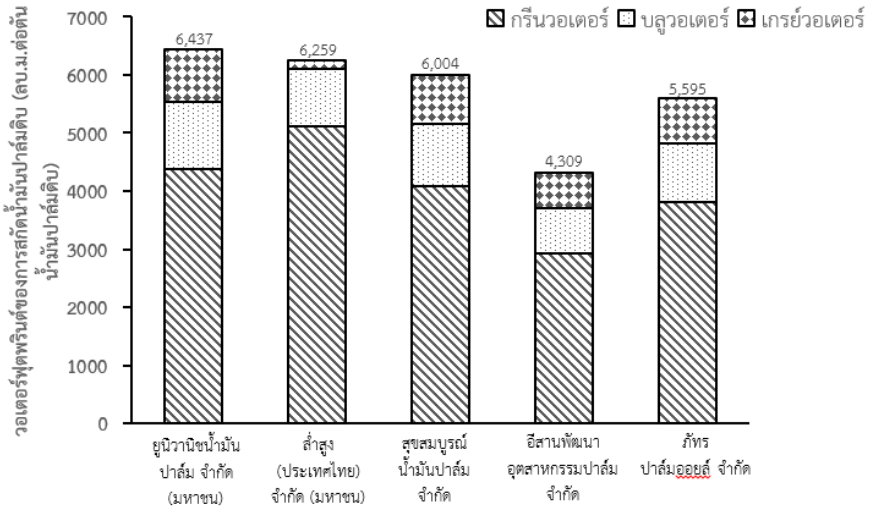
ภาพที่ 4-5 การคำนวณวอเตอร์ฟุตพริ้นท์คิดรวมการได้มาซึ่งทะลายปาล์มสดของโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มบริษัท สุขสมบูรณ์น้ำมันปาล์ม จำกัด



ภาพที่ 4-6 การคำนวณวอเตอร์ฟุตพริ้นท์คิดรวมการได้มาซึ่งทะลายปาล์มสดของโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มบริษัท อีสานพัฒนาอุตสาหกรรมปาล์ม จำกัด



ภาพที่ 4-7 การคำนวณวอเตอร์ฟุตพริ้นท์คิดรวมการได้มาซึ่งทะลายปาล์มสดของโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มบริษัท ภัทร ปาล์มออยล์ จำกัด



ภาพที่ 4-8 วอเตอร์ฟุตพริ้นท์ของการสกัดน้ำมันปาล์มดิบคิดรวมการได้มาซึ่งทะลายปาล์มสด

การวิเคราะห์วอเตอร์ฟุตพริ้นท์ของการสกัดน้ำมันปาล์มดิบระดับชุมชน

1. การรวบรวมข้อมูล

การประเมินวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ของการสกัดน้ำมันปาล์มดิบ เริ่มจากรวบรวมข้อมูลที่ได้จากแต่ละโรงงาน จากนั้นจัดทำบัญชีรายการชนิดและปริมาณของสาร รวมทั้งพลังงานที่เข้า - ออกของกระบวนการสกัดน้ำมันปาล์มดิบ 1 ตัน และคำนวณสัดส่วนผลิตภัณฑ์ต่อด้วยการประเมินวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ โดยรูปแบบการประเมินวอเตอร์ฟุตพริ้นท์แบ่งได้ 3 รูปแบบ ได้แก่

รูปแบบที่ 1 ประเมินวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ไม่คิดรวมการได้มาซึ่งทะลายปาล์มสด เป็นการประเมินการใช้น้ำทางตรงและทางอ้อม เพื่อศึกษาปริมาณการใช้น้ำในการสกัดน้ำมันปาล์มดิบ ผลการประเมินวอเตอร์ฟุตพริ้นท์รูปแบบที่ 1 แสดงให้เห็นถึงการใช้น้ำของโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มดิบ

รูปแบบที่ 2 ประเมินวอเตอร์ฟุตพริ้นท์โดยการคิดรวมการได้มาซึ่งทะลายปาล์มสดและไม่คิดเกรย์วอเตอร์จากน้ำทิ้ง ผลการประเมินวอเตอร์ฟุตพริ้นท์รูปแบบที่ 2 แสดงให้เห็นถึงค่าวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ของผลิตภัณฑ์จากการสกัดน้ำมันปาล์มดิบ

รูปแบบที่ 3 ประเมินวอเตอร์ฟุตพริ้นท์โดยคิดรวมการได้มาซึ่งทะลายปาล์มสดและคิดรวมเกรย์วอเตอร์จากน้ำทิ้ง ผลการประเมินวอเตอร์ฟุตพริ้นท์รูปแบบที่ 3 แสดงให้เห็นถึงผลกระทบต่อปริมาณน้ำในธรรมชาติเมื่อมีการทิ้งน้ำที่ผ่านระบบการบำบัดน้ำเสียจากโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มดิบ (เพชรดา สัตยากูล, 2557)

โดยโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มดิบระดับชุมชนที่ติดต่อเพื่อขอข้อมูลดำเนินงานวิจัยประกอบด้วย

1. สหกรณ์นิคมอ่าวลึก จำกัด อำเภอปลายพระยา จังหวัดกระบี่
2. สหกรณ์นิคมคลองท่อม จำกัด อำเภอคลองท่อม จังหวัดกระบี่
3. สหกรณ์นิคมปลายพระยา จำกัด อำเภอปลายพระยา จังหวัดกระบี่
4. สหกรณ์นิคมปากน้ำ จำกัด อำเภอปลายพระยา จังหวัดกระบี่
5. สหกรณ์นิคมคลองท่อมสอง จำกัด อำเภอคลองท่อม จังหวัดกระบี่
6. ชุมนุมสหกรณ์ชาวสวนปาล์มน้ำมันกระบี่ จำกัด อำเภออ่าวลึก จังหวัดกระบี่
7. สหกรณ์นิคมวิภาวดี จำกัด อำเภอวิภาวดี จังหวัดสุราษฎร์ธานี
8. สหกรณ์นิคมท่าฉาง อำเภอวิภาวดี จังหวัดสุราษฎร์ธานี

9. สหกรณ์นิคมพนม จำกัด อำเภอพนม จังหวัดสุราษฎร์ธานี

10. สหกรณ์นิคมหลังสวน จำกัด อำเภอหลังสวน จังหวัดชุมพร

11. สหกรณ์นิคมท่าแซะ จำกัด อำเภอท่าแซะ จังหวัดชุมพร

12. สหกรณ์นิคมปะทิว จำกัด อำเภอปะทิว จังหวัดชุมพร

13. สหกรณ์นิคมทุ่งสง จำกัด อำเภอทุ่งสง จังหวัดนครศรีธรรมราช

14. ชุมนุมสหกรณ์ปาล์มน้ำมันนครศรีธรรมราช อำเภอพระพรหม จังหวัดนครศรีธรรมราช

15. โรงงานสกัดน้ำมันปาล์มขนาดเล็กของศูนย์วิจัยปาล์มน้ำมันสุราษฎร์ธานี อำเภอกาญจนดิษฐ์ จังหวัดสุราษฎร์ธานี

อย่างไรก็ตามโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มดิบระดับชุมชนส่วนใหญ่ได้หยุดการสกัดน้ำมันปาล์มดิบไปแล้ว สำหรับบางโรงงานเช่น โรงงานสกัดน้ำมันปาล์มขนาดเล็กของศูนย์วิจัยปาล์มน้ำมันสุราษฎร์ธานี ไม่มีมิเตอร์ไฟและมิเตอร์น้ำแยกออกมาเพื่อใช้เฉพาะภายในโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มดิบ ทำให้ไม่สามารถเก็บข้อมูลได้ โดยโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มดิบระดับชุมชนที่ยังคงดำเนินการสกัดน้ำมันปาล์มดิบและให้ความอนุเคราะห์ข้อมูลในการดำเนินงานวิจัยประกอบด้วย

1. สหกรณ์นิคมคลองท่อม จำกัด อำเภอคลองท่อม จังหวัดกระบี่

2. ชุมนุมสหกรณ์ชาวสวนปาล์มน้ำมันกระบี่ จำกัด อำเภออ่าวลึก จังหวัดกระบี่

2. การจัดทำบัญชีรายการ

ข้อมูลที่ได้จากโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มดิบ นำมาจัดทำบัญชีรายการ ซึ่งเป็นการจัดทำบัญชีรายการของชนิด ปริมาณของสาร พลังงานที่เข้า - ออกของกระบวนการสกัดน้ำมันปาล์มดิบ 1 ตัน โดยสารขาเข้าและสารขาออกสำหรับการสกัดน้ำมันปาล์มดิบแสดงดังตารางที่ 4-10

ตารางที่ 4-10 บัญชีรายการสำหรับการผลิตน้ำมันปาล์มดิบ 1 ตัน

พารามิเตอร์	หน่วย	โรงงาน	
		สหกรณ์นิคมคลองท่อม จำกัด	ชุมนุมสหกรณ์ชาวสวนปาล์มน้ำมันกระบี่ จำกัด
สารขาเข้า			
ทะลายปาล์มสด	ตัน	5.23	5.09
ปริมาณการใช้น้ำ	ลูกบาศก์เมตร	2.95	5.68
ปริมาณไฟฟ้าจากการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค	กิโลวัตต์-ชั่วโมง	85.79	151.51
ปริมาณการใช้น้ำมันดีเซล	ลิตร	2.84	5.22
ปริมาณการใช้สารเคมี			
- ดินขาว	กิโลกรัม	0.58	0.89
- สารส้ม	กิโลกรัม	-	0.047
สารขาออก			
ผลิตภัณฑ์หลัก			
- น้ำมันปาล์มดิบ	ตัน	1.00	1.00
ผลิตภัณฑ์ร่วม			
- เมล็ดใน	ตัน	0.33	0.35
- เส้นใย	ตัน	0	0.69
- กะลา	ตัน	1.84	0.72
วัสดุเศษเหลือ			

พารามิเตอร์	หน่วย	โรงงาน	
		สหกรณ์นิคมคลองท่อม จำกัด	ชุมนุมสหกรณ์ชาวสวนปาล์มน้ำมันกระบี่ จำกัด
- ทะลายปาล์มเปล่า	ตัน	1.32	1.16
- กากตะกอนดีแคนเตอร์	ตัน	0	0.17

จากข้อมูลในตารางที่ 4-10 พบว่า การสกัดน้ำมันปาล์มดิบ 1 ตันของโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มดิบระดับชุมชนที่ศึกษา สหกรณ์นิคมคลองท่อม จำกัด ใช้ทะลายปาล์มสด 5.23 ตัน และชุมนุมสหกรณ์ชาวสวนปาล์มน้ำมันกระบี่ จำกัด ใช้ทะลายปาล์มสด 5.09 ตัน โดยมีอัตราการสกัดน้ำมันปาล์มดิบร้อยละ 19.12 และ 19.65 ตามลำดับ เมื่อพิจารณาจากปริมาณน้ำที่ใช้ในกระบวนการสกัดน้ำมันปาล์มดิบ พบว่า การสกัดน้ำมันปาล์มดิบ 1 ตัน สหกรณ์นิคมคลองท่อม จำกัด ใช้น้ำ 2.95 ลูกบาศก์เมตร และชุมนุมสหกรณ์ชาวสวนปาล์มน้ำมันกระบี่ จำกัด ใช้น้ำ 5.68 ลูกบาศก์เมตร การใช้น้ำในปริมาณที่ต่างกันอาจเนื่องจากประสิทธิภาพของหม้อไอน้ำรวมถึงปริมาณทะลายปาล์มสดที่แตกต่างกันของแต่ละโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มดิบ

3. สัดส่วนผลิตภัณฑ์

การหาสัดส่วนผลิตภัณฑ์คำนวณจากมวลของผลิตภัณฑ์ต่อมวลวัตถุดิบ จากนั้นใช้ค่าสัดส่วนผลิตภัณฑ์ที่ได้เปรียบเทียบกับค่าสัดส่วนผลิตภัณฑ์ทางทฤษฎี สำหรับสัดส่วนผลิตภัณฑ์ของโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มดิบที่ศึกษาแสดงในตารางที่ 4-11

ตารางที่ 4-11 สัดส่วนผลิตภัณฑ์ของโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มดิบ

กระบวนการ	สัดส่วนผลิตภัณฑ์		
	สหกรณ์นิคมคลองท่อม จำกัด	ชุมนุมสหกรณ์ชาวสวนปาล์มน้ำมันกระบี่ จำกัด	ค่าทางทฤษฎี
การนึ่งปาล์ม	1.00	1.00	1.00
การแยกผลปาล์ม	0.74	0.77	0.80
การย่อยผลปาล์ม	1.00	1.00	1.00
การบีบผลปาล์ม	0.62	0.55	0.68
กรองผ่านตะแกรงสั่น	1.00	1.00	1.00
ถังตกตะกอน	1.00	0.92	0.90
การทำให้บริสุทธิ์	0.41	0.50	0.37
การกำจัดน้ำ	1.00	1.00	1.00

4. การคำนวณปริมาณน้ำทางตรงและทางอ้อม

การใช้น้ำทางตรงของการสกัดน้ำมันปาล์มดิบหมายถึงบลูวอเตอร์เพียงอย่างเดียว เนื่องจากโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มดิบส่วนใหญ่มีระบบบำบัดน้ำเสีย ไม่มีการทิ้งน้ำจากกระบวนการสกัดน้ำมันปาล์มโดยตรง (เกรย์วอเตอร์) สำหรับน้ำทางตรงของการสกัดน้ำมันปาล์มดิบประกอบด้วย น้ำที่ใช้ในขั้นตอนต่างๆ เช่น การนึ่งปาล์ม การย่อยผลปาล์ม การบีบผลปาล์ม แต่อย่างไรก็ตาม ไม่สามารถคำนวณค่าการใช้น้ำทางตรงของแต่ละขั้นตอนที่กล่าวมาได้ จึงคำนวณค่าการใช้น้ำทางตรงจากข้อมูลปริมาณการน้ำใช้ทั้งหมดภายในโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มดิบ จากข้อมูลในตารางที่ 4-12 พบว่า ปริมาณการใช้น้ำทางตรงของสหกรณ์นิคมคลองท่อม จำกัด เท่ากับ 2.95 ลูกบาศก์

เมตรต่อตันน้ำมันปาล์มดิบ และปริมาณการใช้น้ำทางตรงของชุมนุมสหกรณ์ชาวสวนปาล์มน้ำมันกระบี่ จำกัด เท่ากับ 5.68 ลูกบาศก์เมตรต่อตันน้ำมันปาล์มดิบ

การใช้น้ำทางอ้อมของการสกัดน้ำมันปาล์มดิบ ใช้ข้อมูลปริมาณสารเคมี ไฟฟ้า และน้ำมันดีเซลที่ใช้ในโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มดิบ จากนั้นคูณกับค่าวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ของน้ำมันดีเซล ไฟฟ้า และสารเคมี (ตารางที่ 4-13) สำหรับการใช้น้ำทางอ้อมนั้น ประกอบด้วยวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ของการผลิต (วอเตอร์ฟุตพริ้นท์ของการผลิตสารเคมี ไฟฟ้าจากการไฟฟ้า น้ำมันดีเซล) และวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ของการขนส่ง (วอเตอร์ฟุตพริ้นท์ของการขนส่งสารเคมี น้ำมันดีเซล ทะลายปาล์มสดเข้าสู่โรงงาน) ซึ่งปริมาณการใช้น้ำทางอ้อมของโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มดิบ (ตารางที่ 4-14) จากข้อมูลพบว่า ปริมาณการใช้น้ำทางอ้อมของสหกรณ์นิคมคลองท่อม จำกัด 0.45 ลูกบาศก์เมตรต่อตันน้ำมันปาล์มดิบ และปริมาณการใช้น้ำทางอ้อมของชุมนุมสหกรณ์ชาวสวนปาล์มน้ำมันกระบี่ จำกัด 0.53 ลูกบาศก์เมตรต่อตันน้ำมันปาล์มดิบ

ตารางที่ 4-12 ปริมาณน้ำทางตรงที่ใช้ในกระบวนการสกัดน้ำมันปาล์มดิบ

บริษัท	ปริมาณน้ำทางตรง (ลูกบาศก์เมตรต่อตันน้ำมันปาล์มดิบ)
สหกรณ์นิคมคลองท่อม จำกัด	2.95
ชุมนุมสหกรณ์ชาวสวนปาล์มน้ำมันกระบี่ จำกัด	5.68

ตารางที่ 4-13 วอเตอร์ฟุตพริ้นท์ของน้ำมันดีเซล ไฟฟ้า และสารเคมี

ชนิด	ค่าวอเตอร์ฟุตพริ้นท์	หน่วย
น้ำมันดีเซล	0.0042	ลูกบาศก์เมตร/กิโลกรัม
ไฟฟ้า	0.0023	ลูกบาศก์เมตร/กิโลวัตต์-ชั่วโมง
ดินขาว	0.0073	ลูกบาศก์เมตร/กิโลกรัม
คลอรีน	0.0143	ลูกบาศก์เมตร/กิโลกรัม
โซเดียมคลอไรด์	0.0057	ลูกบาศก์เมตร/กิโลกรัม
โซเดียมไฮดรอกไซด์	0.0142	ลูกบาศก์เมตร/กิโลกรัม
โซเดียมไฮโปคลอไรด์	0.0094	ลูกบาศก์เมตร/กิโลกรัม
กรดไฮโดรคลอริค	0.0161	ลูกบาศก์เมตร/กิโลกรัม
โพแทสเซียมอลูมิเนียมซัลเฟต	0.0665	ลูกบาศก์เมตร/กิโลกรัม
โพลีอลูมิเนียมคลอไรด์	0.0280	ลูกบาศก์เมตร/กิโลกรัม
ไดคลีน	0.0546	ลูกบาศก์เมตร/กิโลกรัม
โซเดียม SBS	0.0129	ลูกบาศก์เมตร/กิโลกรัม
โซเดียมคาร์บอเนต	0.0084	ลูกบาศก์เมตร/กิโลกรัม
เรซิน	0.0194	ลูกบาศก์เมตร/กิโลกรัม
สารละลายฟอสเฟต	0.1498	ลูกบาศก์เมตร/กิโลกรัม

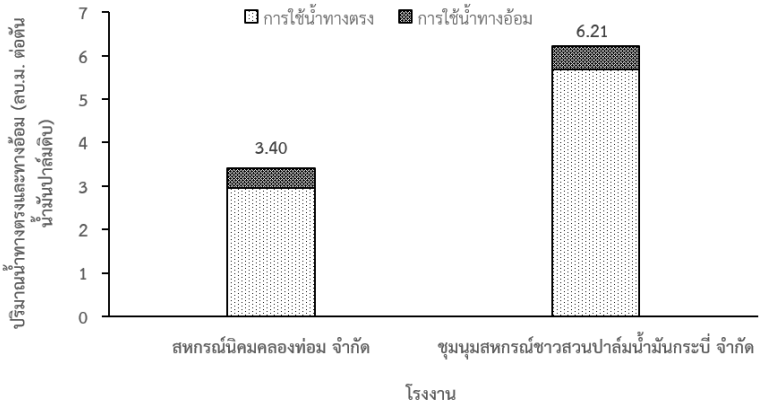
ที่มา: เพชรดา สัตยากูล (2557)

ตารางที่ 4-14 ปริมาณน้ำทางอ้อมที่ใช้ในกระบวนการสกัดน้ำมันปาล์มดิบ

โรงงาน	ผลิต			ขนส่ง			ปริมาณน้ำทางอ้อม (ลูกบาศก์เมตรต่อตันน้ำมันปาล์มดิบ)
	ไฟฟ้า	สารเคมี	น้ำมันดีเซล	สารเคมี	น้ำมันดีเซล	ทะลายปาล์มสด	
สหกรณ์นิคมคลองท่อม จำกัด	0.1973 (44.20)	0.0043 (0.96)	0.0102 (2.28)	0	0	0.2344 (52.50)	0.45
ชุมนุมสหกรณ์ชาวสวนปาล์มน้ำมันกระบี่ จำกัด	0.3485 (65.51)	0.0072 (1.36)	0.0187 (3.52)	0	0	0.1570 (29.52)	0.53

() สัดส่วนร้อยละ

เมื่อพิจารณาปริมาณน้ำทางตรงและทางอ้อมของโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มดิบพบว่า ค่าการใช้น้ำ (รวมน้ำทางตรงและทางอ้อม) ของสหกรณ์นิคมคลองท่อม จำกัด 3.40 ลูกบาศก์เมตรต่อตันน้ำมันปาล์มดิบ และการใช้น้ำของชุมนุมสหกรณ์ชาวสวนปาล์มน้ำมันกระบี่ จำกัด 6.21 ลูกบาศก์เมตรต่อตันน้ำมันปาล์มดิบ (ภาพที่ 4-9)



ภาพที่ 4-9 ปริมาณการใช้น้ำทางตรงและทางอ้อม

5. การประเมินวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ไม่คิดรวมการได้มาซึ่งทะลายปาล์มสด (รูปแบบที่ 1)

การประเมินวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ไม่คิดรวมการได้มาซึ่งทะลายปาล์มสด เป็นการศึกษาวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ที่เกิดจากโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มดิบเพียงอย่างเดียว จากการคำนวณพบว่า ค่าวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ไม่คิดรวมการได้มาซึ่งทะลายปาล์มสดของสหกรณ์นิคมคลองท่อม จำกัด เท่ากับ 3.16 ลูกบาศก์เมตรต่อตันน้ำมันปาล์มดิบ และค่าวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ไม่คิดรวมการได้มาซึ่งทะลายปาล์มสดของชุมนุมสหกรณ์ชาวสวนปาล์มน้ำมันกระบี่ จำกัด เท่ากับ 6.05 ลูกบาศก์เมตรต่อตันน้ำมันปาล์มดิบ (ตารางที่ 4-15)

ตารางที่ 4-15 วอเตอร์ฟุตพริ้นท์ของการสกัดน้ำมันปาล์มดิบ (ไม่คิดรวมการได้มาซึ่งทะลายปาล์มสด)

บริษัท	วอเตอร์ฟุตพริ้นท์ของการสกัดน้ำมันปาล์มดิบ (ลูกบาศก์เมตรต่อตันน้ำมันปาล์มดิบ)
สหกรณ์นิคมคลองท่อม จำกัด	3.16
ชุมนุมสหกรณ์ชาวสวนปาล์มน้ำมันกระบี่ จำกัด	6.05

6. การประเมินวอเตอร์ฟุตพริ้นท์คิดรวมการได้มาซึ่งทะลายปาล์มสด (รูปแบบที่ 2)

การประเมินวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ของการสกัดน้ำมันปาล์มดิบนอกจากคิดรวมการได้มาซึ่งทะลายปาล์มสดแล้วยังคิดรวมการปลูกปาล์มน้ำมันด้วย สำหรับการคิดรวมการปลูกปาล์มน้ำมันนั้น ใช้ค่าวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ของการได้มาซึ่งทะลายปาล์มสดของประเทศไทยในการคำนวณ ซึ่งมีค่า 1,063 ลูกบาศก์เมตรต่อตันทะลายปาล์มสด (ตารางที่ 4-16) (Suttayakul *et al*., 2016) ภาพที่ 4-10 และ 4-11 แสดงการคำนวณวอเตอร์ฟุตพริ้นท์คิดรวมการได้มาซึ่งทะลายปาล์มสด โดยใช้ข้อมูลจากโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มดิบและใช้ค่าสัดส่วนผลิตภัณฑ์ที่ได้เพื่อหาค่าวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ของการสกัดน้ำมันปาล์มดิบ

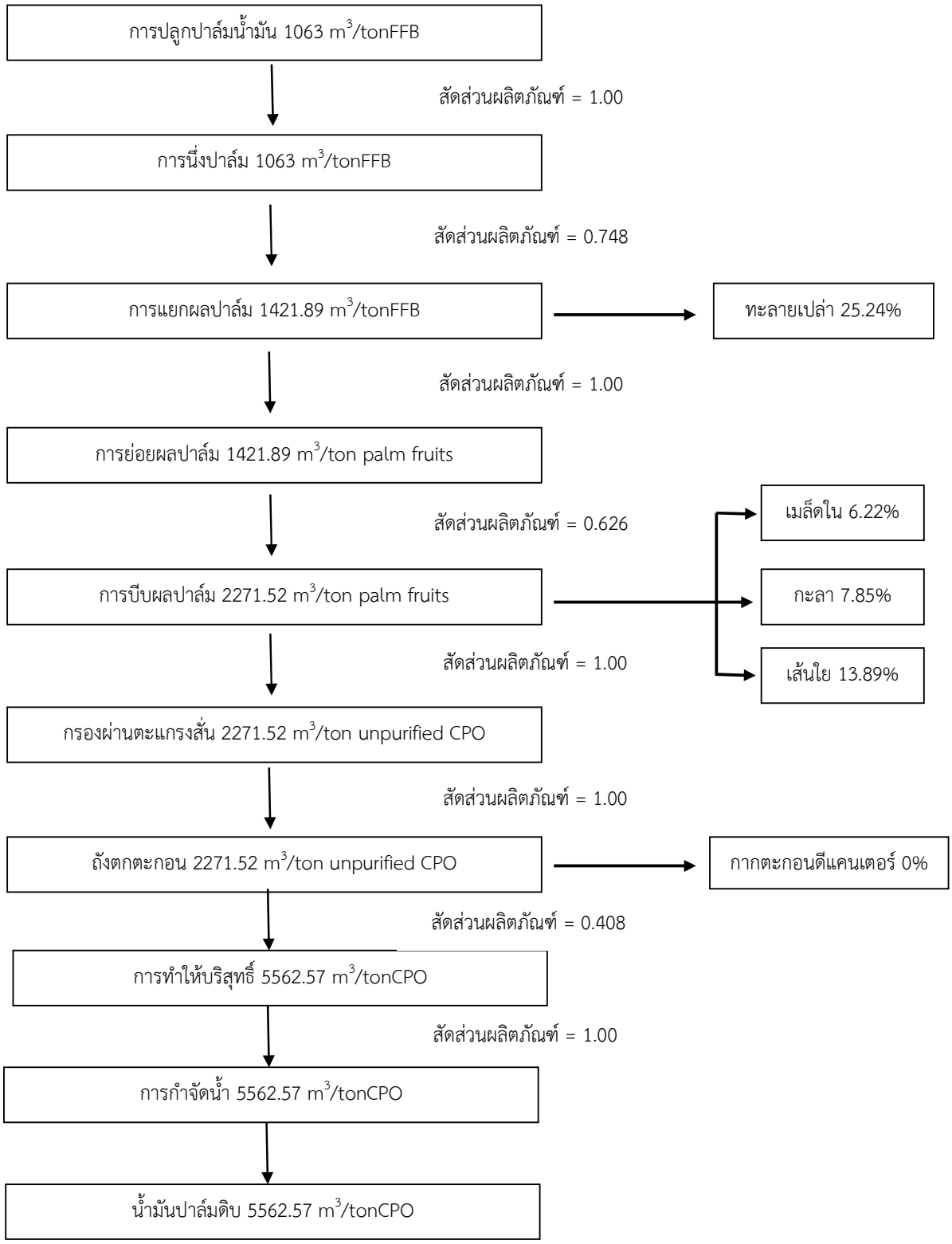
ตารางที่ 4-16 วอเตอร์ฟุตพริ้นท์ของการได้มาซึ่งทะลายปาล์มสด

	วอเตอร์ฟุตพริ้นท์ (ลูกบาศก์เมตรต่อตันทะลายปาล์มสด)			
ประเทศไทย	กรีนวอเตอร์	บลูวอเตอร์	เกรย์วอเตอร์	วอเตอร์ฟุตพริ้นท์
	723	191	149	1,063

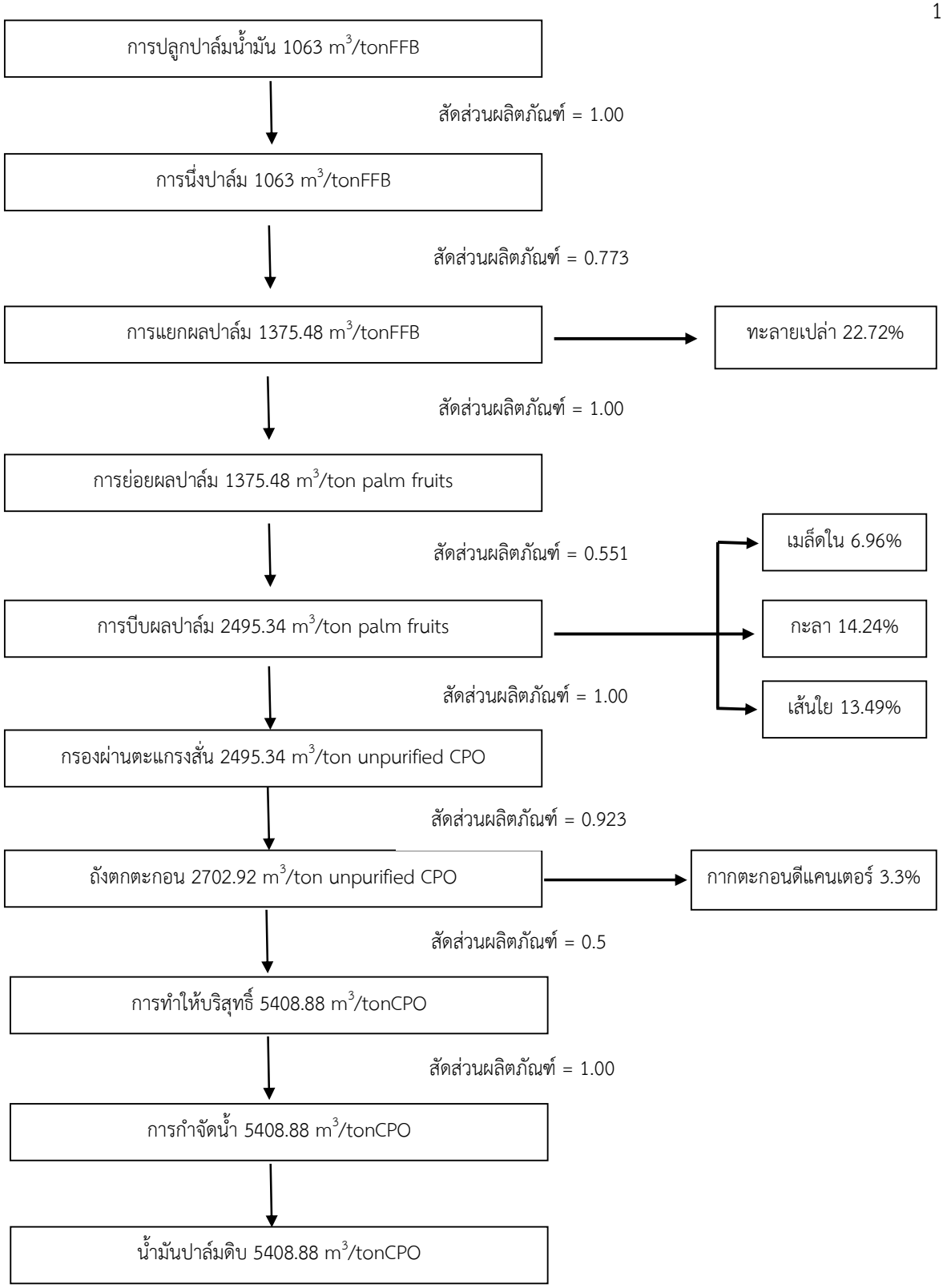
ที่มา: Suttayakul *et al*. (2016)

ค่าวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ของการสกัดน้ำมันปาล์มดิบ (คิดรวมการได้มาซึ่งทะลายปาล์มสด) หลังจากการคำนวณพบว่า โรงงานสกัดน้ำมันปาล์มของสหกรณ์นิคมคลองท่อม จำกัด มีค่าวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ของการสกัดน้ำมันปาล์มดิบ 5,563 ลูกบาศก์เมตรต่อตันน้ำมันปาล์มดิบ ประกอบด้วยกรีนวอเตอร์ร้อยละ 68.01 บลูวอเตอร์ร้อยละ 17.9 และเกรย์วอเตอร์ร้อยละ 14.0 (ภาพที่ 4-12)

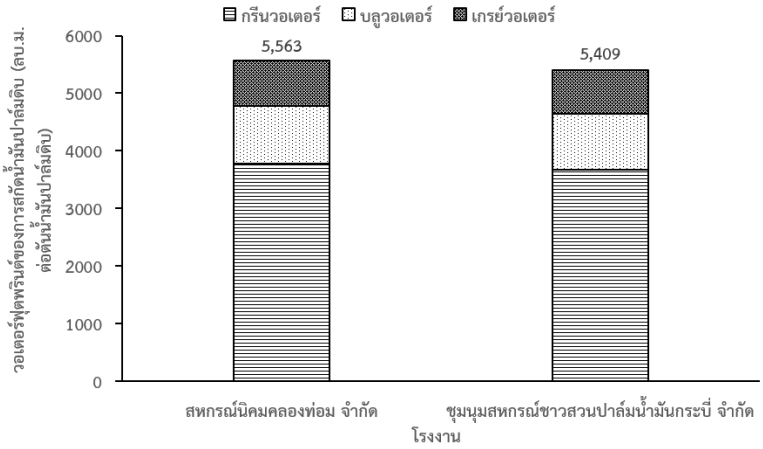
โรงงานสกัดน้ำมันปาล์มของชุมนุมสหกรณ์ชาวสวนปาล์มน้ำมันกระบี่ จำกัด มีค่าวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ของการสกัดน้ำมันปาล์มดิบ 5,409 ลูกบาศก์เมตรต่อตันน้ำมันปาล์มดิบ ประกอบด้วยกรีนวอเตอร์ร้อยละ 68.01 บลูวอเตอร์ร้อยละ 17.9 และเกรย์วอเตอร์ร้อยละ 14.0 (ภาพที่ 4-12)



ภาพที่ 4-10 การคำนวณวอเตอร์ฟุตพริ้นท์คิดรวมการได้มาซึ่งทะลายปาล์มสดของโรงงานสกัดน้ำมันปาล์ม สหกรณ์นิคมคลองท่อม จำกัด



ภาพที่ 4-11 การคำนวณวอเตอร์ฟุตพริ้นท์คิดรวมการได้มาซึ่งทะลายปาล์มสดของโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มชุมนุมสหกรณ์ชาวสวนปาล์มน้ำมันกระบี่ จำกัด



ภาพที่ 4-12 วอเตอร์ฟุตพริ้นท์ของการสกัดน้ำมันปาล์มดิบคิดรวมการได้มาซึ่งทะลายปาล์มสด

การวิเคราะห์วอเตอร์ฟุตพริ้นท์ของการผลิตน้ำมันปาล์มบริสุทธิ์

1) การรวบรวมข้อมูล

การประเมินวอเตอร์ฟุตพริ้นท์การผลิตน้ำมันปาล์มบริสุทธิ์ ข้อมูลจากบริษัท สุขสมบูรณ์น้ำมันปาล์มจำกัด จัดทำบัญชีรายการชนิดและปริมาณของสาร รวมทั้งพลังงานที่เข้า-ออกของกระบวนการกลั่นน้ำมันปาล์มบริสุทธิ์ 1 ตัน คำนวณสัดส่วนผลิตภัณฑ์ และประเมินวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ 3 รูปแบบ ดังนี้

รูปแบบที่ 1 ประเมินวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ไม่คิดรวมการได้มาซึ่งน้ำมันปาล์มดิบ เป็นการประเมินการใช้น้ำทางตรงและทางอ้อม เพื่อศึกษาปริมาณการใช้น้ำในการกลั่นน้ำมันปาล์มบริสุทธิ์ ผลการประเมินวอเตอร์ฟุตพริ้นท์รูปแบบที่ 1 แสดงการใช้น้ำของโรงงานกลั่นน้ำมันปาล์ม

รูปแบบที่ 2 ประเมินวอเตอร์ฟุตพริ้นท์โดยคิดรวมการได้มาซึ่งน้ำมันปาล์มดิบ และไม่คิดเกรย์วอเตอร์จากน้ำทิ้ง ผลการประเมินวอเตอร์ฟุตพริ้นท์รูปแบบที่ 2 แสดงให้เห็นถึงค่าวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ของผลิตภัณฑ์จากการกลั่น

โรงงานกลั่นน้ำมันปาล์ม ที่ติดต่อเพื่อขอข้อมูลดำเนินงานวิจัยประกอบด้วย

1. บริษัท บริษัท สุขสมบูรณ์น้ำมันพืช จำกัด อำเภอหนองใหญ่ จังหวัดชลบุรี
2. บริษัท อีสเทิร์น ปาล์มออยล์ จำกัด อำเภอหนองใหญ่ จังหวัดชลบุรี
3. บริษัท ล่ำสูง (ประเทศไทย) จำกัด (มหาชน) อำเภอสิเกา จังหวัดตรัง
4. บริษัท ยูนิวานิชน้ำมันปาล์ม จำกัด (มหาชน) อำเภออ่าวลึก จังหวัดกระบี่
5. บริษัท พีพีพี กรีนคอมเพล็กซ์ จำกัด อำเภอบางสะพานน้อย จังหวัดประจวบคีรีขันธ์

อย่างไรก็ตามโรงงานกลั่นน้ำมันปาล์มที่ให้ความอนุเคราะห์ข้อมูลในการดำเนินงานวิจัย คือ บริษัท สุขสมบูรณ์น้ำมันพืช จำกัด

2. การจัดทำบัญชีรายการ

นำข้อมูลจากโรงงานกลั่นน้ำมันปาล์มมาจัดทำบัญชีรายการของชนิด ปริมาณสาร พลังงานเข้า-ออกของกระบวนการกลั่นน้ำมันปาล์ม 1 ตัน โดยสารขาเข้าและสารขาออกสำหรับการกลั่นน้ำมันปาล์ม (ตารางที่ 4-17)

ตารางที่ 4-17 บัญชีรายการสำหรับการผลิตน้ำมันปาล์มบริสุทธิ์ 1 ตันของบริษัท สุขสมบูรณ์น้ำมันพืช จำกัด

พารามิเตอร์	หน่วย	ปริมาณ
สารขาเข้า		
น้ำมันปาล์มดิบ	ตันต่อปี	249,722.48
ปริมาณการใช้น้ำ	ลบ.ม.ต่อปี	40,475
ปริมาณไฟฟ้าจากการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค	กิโลวัตต์ต่อปี	10,000,000
ปริมาณการใช้น้ำมันดีเซล	ลิตร	-
ปริมาณการใช้สารเคมี		
- Phosphoric acid	กิโลกรัมต่อปี	240,000
- Citric acid	กิโลกรัมต่อปี	9,000
- แป้งฟอกสี	กิโลกรัมต่อปี	3,700,000
สารขาออก		
ผลิตภัณฑ์หลัก		
- น้ำมันปาล์มบริสุทธิ์ (RBDPO)	ตันต่อปี	240,000
Palm Oleine	ตันต่อปี	140,000
Palm Stearine	ตันต่อปี	60,000
ผลิตภัณฑ์ร่วม		
- กรดไขมันปาล์ม (Palm Fatty Acid Distillate, PFAD)	ตันต่อปี	12,000
วัสดุเศษเหลือ		
- น้ำเสียที่เข้าระบบบำบัด	ลบ.ม.ต่อปี	227,949

การกลั่นน้ำมันปาล์มบริสุทธิ์ 1 ตันของโรงงานกลั่นน้ำมันปาล์มต้องใช้น้ำมันปาล์มดิบ 1.0405 ตัน โดยอัตราการกลั่นน้ำมันปาล์มบริสุทธิ์มีค่าร้อยละ 96.11 เมื่อพิจารณาปริมาณน้ำที่ใช้ในกระบวนการกลั่นน้ำมันปาล์มบริสุทธิ์ พบว่า น้ำมันปาล์มบริสุทธิ์ 1 ตัน ใช้น้ำเฉลี่ย 0.1686 ลูกบาศก์เมตร

3. การคำนวณปริมาณน้ำทางตรงและทางอ้อม

การใช้น้ำทางตรงของการกลั่นน้ำมันปาล์มบริสุทธิ์หมายถึง บลูวอเตอร์อย่างเดียว เนื่องจากโรงงานกลั่นน้ำมันปาล์มบริสุทธิ์มีระบบบำบัดน้ำเสีย ไม่มีการทิ้งน้ำจากกระบวนการกลั่นน้ำมันปาล์มโดยตรง (เกรย์วอเตอร์) น้ำทางตรงของกระบวนการกลั่นน้ำมันปาล์มบริสุทธิ์ประกอบด้วยน้ำใช้ในขั้นตอนต่างๆ เช่น การกำจัดกรดไขมันอิสระ (PFAD) การฟอกสี การกำจัดกลิ่น ฯ และไม่สามารถคำนวณการใช้น้ำทางตรงแต่ละขั้นตอนได้ จึงคำนวณจากปริมาณน้ำใช้ทั้งหมดในโรงงานกลั่นน้ำมันปาล์มบริสุทธิ์ พบว่า ปริมาณการใช้น้ำทางตรงมีค่า 0.1686 ลูกบาศก์เมตรต่อตันน้ำมันปาล์มบริสุทธิ์ (ตารางที่ 4-18)

ตารางที่ 4-18 ปริมาณน้ำทางตรงที่ใช้ในกระบวนการกลั่นน้ำมันปาล์มบริสุทธิ์

บริษัท	ปริมาณน้ำทางตรง (ลูกบาศก์เมตรต่อตันน้ำมันปาล์มบริสุทธิ์)
สุขสมบูรณ์ น้ำมันพืช จำกัด	0.1686

การใช้น้ำทางอ้อมของการผลิตน้ำมันปาล์มบริสุทธิ์ ใช้ข้อมูลปริมาณสารเคมี น้ำมันดีเซล และไฟฟ้า ที่ใช้ในโรงงานกลั่นน้ำมันปาล์มบริสุทธิ์ จากนั้นคูณกับวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ของไฟฟ้า และสารเคมี (ตารางที่ 4-19) สำหรับการใช้น้ำทางอ้อมนั้น ประกอบด้วยวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ของการผลิต (สารเคมี น้ำมันดีเซล และไฟฟ้า) และวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ของการขนส่ง (ขนส่งสารเคมี น้ำมันดีเซล ขนส่งน้ำมันปาล์มดิบเข้าโรงงาน) ปริมาณการใช้น้ำทางอ้อมของโรงงานกลั่นน้ำมันปาล์มบริสุทธิ์มีค่า 0.6911 ลูกบาศก์เมตรต่อตันน้ำมันปาล์มบริสุทธิ์ (ตารางที่ 4-20) ปริมาณน้ำทางตรงและทางอ้อมที่ใช้ผลิตน้ำมันปาล์มบริสุทธิ์ 1 ตัน ของโรงงานกลั่นน้ำมันปาล์มบริสุทธิ์มีค่า 0.8597 ลูกบาศก์เมตรต่อตันน้ำมันปาล์มบริสุทธิ์ โดยปริมาณน้ำที่ใช้ในการผลิตและการขนส่งร้อยละ 32.2 และ 67.8 ตามลำดับ

ตารางที่ 4-19 วอเตอร์ฟุตพริ้นท์ของน้ำมันดีเซล ไฟฟ้า และสารเคมี

ชนิด	ค่าวอเตอร์ฟุตพริ้นท์	หน่วย
น้ำมันดีเซล	0.0042	ลูกบาศก์เมตร/กิโลกรัม
ไฟฟ้า	0.0023	ลูกบาศก์เมตร/กิโลวัตต์-ชั่วโมง
Phosphoric acid	0.0143	ลูกบาศก์เมตร/กิโลกรัม
Citric acid	0.0057	ลูกบาศก์เมตร/กิโลกรัม
แป้งฟอกสี	0.0073	ลูกบาศก์เมตร/กิโลกรัม

ตารางที่ 4-20 ปริมาณน้ำทางอ้อม (ลูกบาศก์เมตรต่อตันน้ำมันปาล์มบริสุทธิ์) ที่ใช้ในการผลิตน้ำมันปาล์มบริสุทธิ์

บริษัท	การผลิต			การขนส่ง			ปริมาณน้ำทางอ้อม
	ไฟฟ้า	สารเคมี	น้ำมันดีเซล	สารเคมี	น้ำมันดีเซล	น้ำมันปาล์มดิบ	
สุขสมบูรณ์น้ำมันพืช จำกัด	0.0958 (13.86)	0.1271 (18.39)	0 (0)	0.4292 (62.10)	0 (0)	0.0390 (5.64)	0.6911

() สัดส่วนร้อยละ

4. การประเมินวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ของการผลิตน้ำมันปาล์มบริสุทธิ์

4.1) รูปแบบที่ 1:วอเตอร์ฟุตพริ้นท์ของการผลิตน้ำมันปาล์มบริสุทธิ์ไม่คิดรวมการได้มาน้ำมันปาล์มดิบ

การประเมินวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ของการผลิตน้ำมันปาล์มบริสุทธิ์ไม่คิดรวมการได้มาซึ่งน้ำมันปาล์มดิบ ศึกษาเฉพาะวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ที่เกิดจากโรงกลั่นน้ำมันปาล์มบริสุทธิ์อย่างเดียว จากการประมวลผลข้อมูลพบว่าวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ไม่คิดรวมการได้มาซึ่งน้ำมันปาล์มดิบมีค่า **0.8597 ลูกบาศก์เมตรต่อตันน้ำมันปาล์มบริสุทธิ์**

4.2) รูปแบบที่ 2:วอเตอร์ฟุตพริ้นท์ของการผลิตน้ำมันปาล์มบริสุทธิ์คิดรวมการได้มาซึ่งน้ำมันปาล์มดิบ

การประเมินวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ของการผลิตน้ำมันปาล์มบริสุทธิ์คิดรวมการได้มาซึ่งน้ำมันปาล์มดิบและทะลายปาล์มน้ำมัน 15 จังหวัด โดยใช้วอเตอร์ฟุตพริ้นท์เฉลี่ยของการผลิตน้ำมันปาล์มดิบไม่คิดรวมการได้มาซึ่งทะลายปาล์มน้ำมัน มีค่า 5.11 ลูกบาศก์เมตรต่อตันน้ำมันปาล์มดิบ (ธีระ และคณะ, 2562) และวอเตอร์ฟุตพริ้นท์เฉลี่ยของการผลิตปาล์มน้ำมัน (ทะลายปาล์มน้ำมัน 1 ตัน) ตามจังหวัดที่ศึกษา 15 จังหวัด ได้แก่ ชลบุรี ตราด ประจวบคีรีขันธ์ กาญจนบุรี สกลนคร สุราษฎร์ธานี กระบี่ นครศรีธรรมราช ชุมพร สตูล สงขลา ตรัง นราธิวาส ระนอง และพังงา (วิชณีย์ และคณะ, 2562-2563) โดยอัตราการสกัดน้ำมันปาล์มดิบ 1 ตัน ต้องใช้ทะลายปาล์มน้ำมัน 5.60 ตัน หรืออัตราการสกัดเฉลี่ยร้อยละ 17.86 ดังนั้น วอเตอร์ฟุตพริ้นท์เฉลี่ยของการได้มาซึ่งน้ำมันปาล์มดิบ 15 จังหวัด มีค่า 5.32 ลูกบาศก์เมตรต่อตันน้ำมันปาล์มดิบ และวอเตอร์ฟุตพริ้นท์เฉลี่ยของการผลิตทะลาย

ปาล์มน้ำมัน 15 จังหวัด มีค่า 5,099.18 ลูกบาศก์เมตรต่อตันทะลายปาล์มน้ำมัน ดังนั้นวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ของการผลิตน้ำมันปาล์มบริสุทธิ์ 1 ตัน มีค่า 5,104.5 ลูกบาศก์เมตรต่อตันน้ำมันปาล์มดิบ (ตารางที่ 4-21) และเมื่อคิดรวมกับวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ที่เกิดจากโรงกลั่นน้ำมันปาล์มบริสุทธิ์ 0.8597 ลูกบาศก์เมตรต่อตันน้ำมันปาล์มบริสุทธิ์ **วอเตอร์ฟุตพริ้นท์ของการผลิตน้ำมันปาล์มบริสุทธิ์คิดรวมการได้มาซึ่งน้ำมันปาล์มดิบและทะลายปาล์มน้ำมัน มีค่า 5,105.36 ลูกบาศก์เมตรต่อตันน้ำมันปาล์มบริสุทธิ์**

ตารางที่ 4-21 ปริมาณน้ำมันปาล์มดิบที่ใช้ผลิตน้ำมันปาล์มบริสุทธิ์จาก 15 จังหวัด วอเตอร์ฟุตพริ้นท์ของการผลิตน้ำมันปาล์มดิบแต่ละจังหวัด ทะลายปาล์มน้ำมันทั้งหมดที่ใช้ผลิตน้ำมันปาล์มดิบ วอเตอร์ฟุตพริ้นท์ของการผลิตทะลายปาล์มน้ำมัน 1 ตัน และทะลายปาล์มน้ำมันทั้งหมดในแต่ละจังหวัด

จังหวัด	น้ำมันปาล์มดิบ (ตันต่อปี)	วอเตอร์ฟุตพริ้นท์ (ลบ.ม.ต่อตันน้ำมันปาล์มดิบต่อปี)	ทะลายปาล์มน้ำมันที่ใช้ผลิต (ตันต่อปี)	วอเตอร์ฟุตพริ้นท์ (ลบ.ม.ต่อตันทะลายปาล์มน้ำมัน)	วอเตอร์ฟุตพริ้นท์ (ลบ.ม.ต่อทะลายปาล์มน้ำมันที่ใช้ผลิตต่อปี)
A	88,522.93	452,352.17	476,253.36	1035.8	493,303,234
B	24,419.50	124,783.65	131,376.91	811.8	106,651,776
C	14,106.73	72,085.39	75,894.21	972.3	73,791,938
D	300.75	1,536.83	1,618.04	1016.7	1,645,056
E	1,230.50	6,287.86	6,620.09	1405.2	9,302,550
F	50,640.36	258,772.24	272,445.14	805.5	219,454,558
G	38,409.16	196,270.81	206,641.28	845.8	174,777,195
H	11,163.34	57,044.67	60,058.77	624.7	37,518,713
I	6,774.90	34,619.74	36,448.96	979.2	35,690,824
J	5,419.37	27,692.98	29,156.21	1167.7	34,045,707
K	4,030.11	20,593.86	21,681.99	828.8	17,970,035
L	3,048.74	15,579.06	16,402.22	798.8	13,102,094
M	897.82	4,587.86	4,830.27	828.8	4,003,329
N	601.07	3,071.47	3,233.76	567.0	1,833,540
O	157.20	803.29	845.74	842.0	712,110
รวม	**249,722.48**	**1,276,081.87**	**1,343,506.94**		**1,223,802,658.58**
เฉลี่ย		**5.32**	**5.60**	**902.0**	**5,099.18**

สรุปผลการวิจัย และข้อเสนอแนะ

การสกัดน้ำมันปาล์มดิบ 1 ตัน แบบมาตรฐาน (หีบแยก) ของโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มดิบ 5 โรงงาน ใช้ทะลายปาล์มสด 4.05-6.05 ตัน (เฉลี่ย 5.38 ตัน) อัตราการสกัดน้ำมันปาล์มดิบมีค่าร้อยละ 16.53-24.70 การใช้น้ำอยู่ในช่วง 3.16-6.45 ลูกบาศก์เมตร (เฉลี่ย 4.75 ลูกบาศก์เมตร) โดยวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ของการสกัดน้ำมันปาล์มดิบของบริษัท ยูนิวานิชน้ำมันปาล์ม จำกัด (มหาชน) บริษัท ล่ำสูง (ประเทศไทย) จำกัด (มหาชน) บริษัทสุขสมบูรณ์น้ำมันปาล์ม จำกัด บริษัทอีสานพัฒนาอุตสาหกรรมปาล์ม จำกัด และบริษัทภัทร ปาล์มออยล์ จำกัด มีค่า 6,437 6,259 6,004 4,309 และ 5,595 ลูกบาศก์เมตรต่อตันน้ำมันปาล์มดิบ ตามลำดับ โดยบริษัทอีสานพัฒนาอุตสาหกรรมปาล์ม จำกัดมีค่าวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ของการสกัดน้ำมันปาล์มดิบต่ำสุดหรือมีประสิทธิภาพการใช้น้ำสูงสุด เนื่องจากวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ของการได้มาของผลผลิตทะลายมีค่าต่ำกว่าบริษัทอื่น

การสกัดน้ำมันปาล์มดิบระดับชุมชน 1 ตันของสหกรณ์นิคมคลองท่อม จำกัด และชุมนุมสหกรณ์ชาวสวนปาล์มน้ำมันกระบี่ จำกัด ใช้ทะลายปาล์มสด 5.23 และ 5.09 ตัน อัตราการสกัดน้ำมันปาล์มดิบร้อยละ 19.12 และ 19.65 และมีปริมาณน้ำทางตรงและทางอ้อม 3.40 และ 6.21 ลูกบาศก์เมตรต่อตันน้ำมันปาล์มดิบ) และวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ของการสกัดน้ำมันปาล์มดิบของสหกรณ์นิคมคลองท่อม จำกัด และชุมนุมสหกรณ์ชาวสวนปาล์มน้ำมันกระบี่ จำกัด มีค่า 5,563 และ 5,409 ลูกบาศก์เมตรต่อตันน้ำมันปาล์มดิบ

การผลิตน้ำมันปาล์มบริสุทธิ์ 1 ตัน ของโรงงานกลั่นน้ำมันปาล์ม ต้องใช้น้ำมันปาล์มดิบ 1.0405 ตัน คิดเป็นอัตราการกลั่นน้ำมันปาล์มบริสุทธิ์ร้อยละ 96.11 และ**วอเตอร์ฟุตพริ้นท์ของการผลิตน้ำมันปาล์มบริสุทธิ์ไม่คิดรวมการได้มาของน้ำมันปาล์มดิบมีค่า 0.8597 ลูกบาศก์เมตรต่อตันน้ำมันปาล์มบริสุทธ์** โดยเป็นปริมาณน้ำใช้ทางตรงและทางอ้อม 0.1686 และ 0.6911 ลูกบาศก์เมตรต่อตันน้ำมันปาล์มบริสุทธ์ หรือคิดเป็นร้อยละ 19.6 และ 80.4 ตามลำดับ และ**วอเตอร์ฟุตพริ้นท์ของการผลิตน้ำมันปาล์มดิบมีค่า 5.32 ลูกบาศก์เมตรต่อตันน้ำมันปาล์มดิบ และวอเตอร์ฟุตพริ้นท์เฉลี่ยของการผลิตทะลายปาล์มน้ำมันจาก 15 จังหวัด มีค่า 5,099.18 ลูกบาศก์เมตรต่อตันทะลาย** ดังนั้น**วอเตอร์ฟุตพริ้นท์ของการผลิตน้ำมันปาล์มบริสุทธิ์คิดรวมการได้มาของน้ำมันปาล์มดิบและทะลายปาล์มน้ำมัน มีค่า 5,105.36 ลูกบาศก์เมตรต่อตันน้ำมันปาล์มบริสุทธิ์**

การเพิ่มประสิทธิภาพการใช้น้ำหรือการลดค่าวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ของการผลิตน้ำมันปาล์มดิบและน้ำมันปาล์มบริสุทธิ์ ควรปรับลดในส่วนของการผลิตทะลายปาล์มน้ำมันหรือการเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตปาล์มน้ำมันด้วยการจัดการที่เหมาะสมเพื่อเพิ่มผลผลิตปาล์มน้ำมันจะช่วยลดวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ได้อย่างมีประสิทธิภาพ เนื่องจากมีสัดส่วนของการผลิตน้ำมันปาล์มดิบสูงถึงร้อยละ 99.88 และการลดวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ของการสกัดน้ำมันปาล์มดิบจะช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการใช้น้ำหรือวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ของการผลิตน้ำมันปาล์มบริสุทธิ์ได้มากกว่าการลดวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ของการผลิตน้ำมันปาล์มบริสุทธิ์ไม่คิดรวมการได้มาของน้ำมันปาล์มดิบ เนื่องจากมีค่าวอเตอร์ฟุตพริ้นท์สูงกว่า 6.19 เท่า

บรรณานุกรม

ข่าวสด. 2562. ชาวสวนอ่วมราคาปาล์มดิ่ง, สืบค้นเมื่อ 22 กรกฎาคม 2562. จาก. https://www.khaosod.co.th/economics/news_2120675

เชฐชุดา เชื้อสุวรรณ. 2561. แนวโน้มธุรกิจ/อุตสาหกรรม ปี 2561-63 อุตสาหกรรมน้ำมันปาล์ม, สืบค้นเมื่อ 22 กรกฎาคม 2562. จาก. https://www.krungsri.com/bank/getmedia/ac57ec39-c8ab-4546-8c48-5dfde9e45328/IO_Oil_Palm_2018_TH.aspx

เพชรดา สัตยากูล. 2557. การประเมินวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ของผลิตภัณฑ์จากโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มดิบในประเทศไทย. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.

ส่วนประชาสัมพันธ์/ข้อมูล : สำนักวิจัยเศรษฐกิจการเกษตร. 2561. กนป. รุกมาตรการการปรับสมดุลน้ำมันปาล์ม เกษตร-พลังงาน-พาณิชย์-อุตสาหกรรม จับมือพัฒนาปาล์มทั้งระบบ, สืบค้นเมื่อ 22 กรกฎาคม 2562. จาก. https://www.moac.go.th/news-preview-402791791399

สำนักข่าว M Report. 2562. "วอเตอร์ฟุตพริ้นท์" มาตรฐานการใช้น้ำภาคอุตสาหกรรม ลดข้อจำกัดทางการค้า, สืบค้นเมื่อ 9 สิงหาคม 2562. จาก. https://www.mreport.co.th/news/government-news/1801310007

สำนักงานที่ปรึกษาการเกษตรต่างประเทศ ประจำสหภาพยุโรป. 2558. Water footprint คืออะไร?, สืบค้นเมื่อ 9 สิงหาคม 2562. จาก. http://www.oae.go.th/download/climate_change/water_footprint.pdf

Department of Alternative Energy Development and Efficiency. 2006. Best practice guide eco-efficiency in palm oil industry. Thai – German Program for Enterprise Competitiveness. Energy and Eco-Efficiency in Agro-Industry.

Suttayakul, P., A. H-Kittikun, C. Suksaroj, J. Mungkalasiri, R. Wisansuwannakorn and C. Musikavong. 2016. Water footprints of products of oil palm plantations and palm oil mills in Thailand. Sci. Total Environ. 542: 521-529.

กิจกรรมที่ 5
การวิเคราะห์วอเตอร์ฟุตพริ้นท์ของการผลิตกาแฟ
Water Footprint Analysis of Coffee Production

สุภัทรา เลิศวัฒนาเกียรติ วีรา คล้ายพุก เสกสม พัฒนาพิชัย[1] ลาวัณย์ จันทร์อัมพร ทิพยา ไกรทอง
ฉัตต์นภา ข่มอาวุธ วิชณีย์ ออมทรัพย์สิน ฐิตนนท์ หงส์โชติธนวดี[1] อุดมเกียรติ เกิดสม[1]
Supattra Lertwatanakiat, Veera Klaipuk, Lawan Chanamporn, Tippaya tkraitong,
Chatnapa Khomarwut, Vichanee Ormzubsin, Thitinon Hongchotithanavadee[1/]
Udomkiat Kertsom[1/]

คำสำคัญ (Keywords)
กาแฟโรบัสตา กาแฟอะราบิกา วอเตอร์ฟุตพริ้นท์ กรีนวอเตอร์ฟุตพริ้นท์, บลูวอเตอร์ฟุตพริ้นท์,
เกรย์วอเตอร์ฟุตพริ้นท์ ปริมาณใช้น้ำ
Robusta Coffee, Arabica Coffee, Water Footprint, green water footprint, blue water footprint,
grey water footprint, water consumption

บทคัดย่อ

ในการวิเคราะห์วอเตอร์ฟุตพรินท์ของการผลิตกาแฟ มีวัตถุประสงค์เพื่อวิเคราะห์ปริมาณการใช้น้ำต่อหน่วยผลผลิตของกาแฟโรบัสตาและอะราบิกา เพื่อนำไปใช้ในการจัดสรรและใช้ประโยชน์จากน้ำสำหรับการผลิตกาแฟอย่างมีประสิทธิภาพและยั่งยืน โดยศึกษาสัมประสิทธิ์การใช้น้ำของกาแฟโรบัสตา วิเคราะห์ของการผลิตกาแฟโรบัสตา และวิเคราะห์วอเตอร์ฟุตพรินท์กาแฟอะราบิกา พื้นที่ศึกษาที่จังหวัดปัตตานี ชุมพร ระนอง สุราษฎร์ธานี เชียงรายและเชียงใหม่ ระยะเวลาดำเนินงาน ปี 2560-2564 ผลการศึกษาพบว่า กาแฟโรบัสตาในช่วงอายุ 13-24 เดือน หลังย้ายปลูก ค่า Kc เฉลี่ยจากสมการ Pan Method, Hargreaves, Radiation, Blaney Criddle, Modified Penman, และ Penman Monteith เท่ากับ 0.91, 1.08, 0.79, 1.01, 1.08, 0.90 และ 1.05 ตามลำดับ โดยมีค่า ETo ในช่วงทำการศึกษาเฉลี่ยแต่ละสมการเท่ากับ 3.61, 4.82, 3.87, 3.55, 4.34 และ 3.69 มิลลิเมตรต่อวัน ตามลำดับ ในการประเมินค่าวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ของกาแฟโรบัสตาที่ปลูกใน 3 จังหวัด ได้แก่ ชุมพร ระนอง และสุราษฎร์ธานี ช่วงปี พ.ศ. 2556 - 2560 โดยเก็บรวบรวมข้อมูลด้วยวิธีเทคนิคการวิจัยภาคสนาม พบว่า ค่าวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ของการผลิตกาแฟโรบัสตาเฉลี่ยเท่ากับ 35.7 ลูกบาศก์เมตรต่อกิโลกรัม เป็นค่ากรีนวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ เท่ากับ 23.4 ลูกบาศก์เมตรต่อกิโลกรัม บลูวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ เท่ากับ 11.8 ลูกบาศก์เมตรต่อกิโลกรัม และเกรย์วอเตอร์ฟุตพริ้นท์ 0.4 ลูกบาศก์เมตรต่อกิโลกรัม ส่วนค่าวอเตอร์ฟุตพรินท์ของการปลูกกาแฟอะราบิกา ในพื้นที่จังหวัดเชียงใหม่ และเชียงราย ในช่วงปีการผลิต 2563 – 2564 โดยใช้การสัมภาษณ์ร่วมกับการใช้โปรแกรม CROPWAT 8.0 ผลการศึกษาพบว่า พบว่า วอเตอร์ฟุตพริ้นท์รวม 8.08 และ 7.06 ลูกบาศก์เมตร/กก กรีนวอเตอร์ฟุตพรินท์ เฉลี่ย 5.65 และ 6.87 ลูกบาศก์เมตร/กก ตามลำดับ และเกรย์วอเตอร์ฟุตพรินท์ 2.43 และ 0.19 ลูกบาศก์เมตร/กก ตามลำดับ

Abstract

The objective of this program; water footprint analysis of coffee production was to analyze the water consumption per unit yield of Robusta and Arabic coffee which would used to allocate and utilize water for efficient and sustainable coffee production. In study on the water use coefficient of Robusta coffee, the analysis of Robusta coffee production and the analysis of water footprint of Arabica coffee. Scope areas were in Pattani, Chumphon, Ranong, Surat Thani, Chiang Rai and Chiang Mai in 2018-2021. The results showed that Robusta coffee at 13-24 months after transplanting, mean Kc values from the Pan Method, Hargreaves, Radiation, Blaney Criddle, Modified Penman and Penman Monteith equations were 0.91, 1.08, 0.79, 1.01, 1.08, 0.90 and 1.05 respectively. The mean ETo values for each equation were 3.61, 4.82, 3.87, 3.55, 4.34 and 3.69 mm day^{-1}, respectively. To assess the water footprint of Robusta coffee grown in 3 provinces; Chumphon Ranong and Surat Thani during 2013-2017, data were collected by field research techniques. It was found that the average water footprint of Robusta coffee production was 35.7 m^3kg^{-1}, WFgreen WFblue and WFgrey 23.4, 11.8 and 0.4 m^3kg^{-1}, respectively. As for the water footprint of Arabica coffee cultivation In the area of Chiang Mai and Chiang Rai during the production year 2020-2021, by interviews combine with the use of CROPWAT 8.0 program, the results showed that the total water footprint was 8.08 and 7.06 m^3kg^{-1}. WFgreen averaged 5.65 and 6.87 m^3kg^{-1}, respectively, and WFgrey 2.43 and 0.19 m^3kg^{-1}, respectively.

บทนำ

กาแฟเป็นพืชเศรษฐกิจที่สำคัญชนิดหนึ่ง ในปี 2563 ยุคนิวนอร์มัล แนวโน้มการบริโภคกาแฟไทยภาพรวมการตลาดมูลค่า 60,000 ล้านบาท แบ่งเป็นตลาดกาแฟในบ้าน 33,000 ล้านบาท และตลาดกาแฟนอกบ้านมูลค่า 27,000 ล้านบาท โดยพบว่าการปรับตัวของผู้ผลิตและผู้บริโภคกาแฟจากวิกฤตโควิด- 19 ส่งผลให้ตลาดกาแฟในบ้านปี 2563 มีการเติบโต 10.7 เปอร์เซ็นต์ นอกจากนี้ กาแฟไทยยังมีศักยภาพในการทำตลาดต่างประเทศ โดยใช้ประโยชน์จากความตกลงเขตการค้าเสรีอาเซียน สำหรับสินค้าเมล็ดกาแฟ ได้รับการยกเว้นภาษี และโควตาจากอาเซียน (ยกเว้น เมียนมา กำหนดภาษีสินค้าเมล็ดกาแฟดิบที่ 5 เปอร์เซ็นต์) ออสเตรเลีย นิวซีแลนด์ ชิลี และเกาหลีใต้แล้ว ส่วนผลิตภัณฑ์กาแฟ ประเทศอาเซียน ออสเตรเลีย นิวซีแลนด์ ญี่ปุ่น ชิลี เกาหลีใต้ และฮ่องกง ได้ยกเลิกภาษีให้ไทยแล้วที่ ความต้องการใช้เมล็ดกาแฟของโรงงานแปรรูปกาแฟในประเทศเพิ่มขึ้นจาก 71,300 ตัน ในปี 2559 เป็น 95,493 ตัน ในปี 2563 ในขณะเดียวกันผลผลิตกาแฟในประเทศกลับลดลงอย่างต่อเนื่อง เนื่องจากเกษตรกรได้ปรับเปลี่ยนไปปลูกพืชเศรษฐกิจอื่นที่ให้ผลตอบแทนสูงกว่า รวมทั้งปัญหาค่าจ้างแรงงานเก็บเกี่ยวที่สูงและหายาก ทำให้เกษตรกรโค่นต้นกาแฟที่ไม่สมบูรณ์และอายุมากออก เนื้อที่ให้ผลจึงลดลงจาก 262,074 ไร่ ในปี 2559 เหลือเพียง 223,690 ไร่ ในปี 2563 ส่งผลให้ผลผลิตลดลงจาก 30,860 ตัน ในปี 2559 เหลือผลผลิตเพียง 22,505 ตันในปี 2563 ทำให้ผลผลิตไม่เพียงพอต่อความต้องการใช้เมล็ดกาแฟของโรงงานแปรรูปที่เพิ่มขึ้น ทำให้ต้องมีการนำเข้าจากต่างประเทศเพิ่มขึ้น ซึ่งภายใต้ความตกลงเขตการค้าเสรีอาเซียน (AFTA) ประเทศไทยจะต้องเปิดตลาดให้นำเข้ากาแฟเสรี โดยลดภาษีนำเข้าเมล็ดกาแฟและกาแฟสำเร็จรูปเหลือร้อยละ 5 และร้อยละ 0 ตามลำดับ ซึ่งทำให้ไทยไม่สามารถแข่งขันกับประเทศในอาเซียน ได้แก่ ประเทศเวียดนาม ลาว และอินโดนีเซีย ซึ่งประเทศเหล่านี้สามารถผลิตกาแฟที่ให้ผลผลิตสูงกว่าและต้นทุนการผลิตที่ต่ำกว่า อีกทั้งปัจจุบันสวนกาแฟของไทยส่วนใหญ่เป็นสวนผสม ปลูกร่วมกับพืชเศรษฐกิจอื่น ประกอบกับการเปลี่ยนแปลงของสภาพภูมิอากาศซึ่งส่งผลให้ผลผลิตต่ำ ตามแผนยุทธศาสตร์กาแฟ 2560-2564 มีเป้าหมายการรักษาผลผลิตกาแฟภายใต้การผลิตที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม

ในปัจจุบันองค์กรระหว่างประเทศว่าด้วยมาตรฐาน (International Organization Standardization, ISO) ได้เริ่มโครงการเพื่อสร้างมาตรฐานระหว่างประเทศเกี่ยวกับปริมาณรอยเท้าน้ำ (Water footprint) โดยใช้วิธีการประเมินวัฏจักรชีวิต (Life Cycle Assessment, LCA) เป็นเครื่องมือที่ใช้ประเมินผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมของผลิตภัณฑ์ตลอดจนวัฏจักรชีวิตของการผลิตภัณฑ์นั้น (รมณี, 2554) ที่เป็นสาเหตุเกิดเครื่องมือที่ว่าปริมาณรอยเท้าน้ำที่ช่วยกระตุ้นผู้ประกอบการและผู้บริโภคให้ตระหนักถึงความสำคัญของการใช้น้ำ โดยส่งเสริมให้ผู้บริโภคหันมาเลือกสินค้าที่มีการใช้น้ำน้อยในการผลิต รวมทั้งผู้ประกอบการให้คำนึงถึงผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมและมีความรับผิดชอบต่อสังคมที่ช่วยลดการขาดแคลนน้ำตลอดจนเพื่อเตรียมพร้อมถ้าในอนาคตภาครัฐออกกฎข้อบังคับเกี่ยวกับปริมาณรอยเท้าน้ำ (Water footprint) เพื่อสร้างภาพลักษณ์การผลิตสินค้าการเกษตรที่มีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น โดยเฉพาะในส่วนภาคการเกษตรที่มีการใช้น้ำที่มากเพื่อการเพาะปลูกพืชตลอดจนเพื่อลดความขัดแย้งในการเกิดปัญหาการแย่งน้ำระหว่างภาคการเกษตร ภาคอุตสาหกรรม และภาคการอุปโภคและบริโภคในอนาคต

United Nations (2011) รายงานว่าการเพาะปลูกพืชจำเป็นต้องใช้น้ำมากโดยปัจจุบันร้อยละ 70 ของน้ำในแม่น้ำและชั้นอุ้มน้ำในโลกถูกนำไปใช้ในภาคการเกษตรและคาดการณ์ว่าในปีพ.ศ. 2658 ความต้องการใช้น้ำจะสูงขึ้นร้อยละ 35-60 เมื่อเทียบกับปี พ.ศ. 2543 แต่ปริมาณน้ำที่ใช้สาหรับการเจริญเติบโตของพืชลดลงถึงร้อยละ 50 ซึ่งเป็นผลเนื่องมาจากการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศและปัญหาดังกล่าวได้เกิดขึ้นแล้วในหลายพื้นที่ จากผลกระทบในการใช้น้ำของสินค้าและบริการที่เกิดขึ้น และนับวันจะทวีความรุนแรงเพิ่มขึ้น Hoekstra (2011) จึง

ได้มีการเสนอแนวคิดเกี่ยวกับการบริหารจัดการน้ำและการกระตุ้นหรือการส่งเสริมให้ผู้ใช้น้ำทางตรงและทางอ้อม ได้เปลี่ยนแนวคิดให้ตระหนักถึงปริมาณน้ำที่ใช้ในการผลิตสินค้าและบริการรวมถึงมีส่วนรับผิดชอบให้เกิดการใช้น้ำที่เหมาะสมมากขึ้นโดยมีการพัฒนาแนวทางการวิเคราะห์ปริมาณน้ำที่ใช้ในการผลิตรูปแบบใหม่และเป็นรูปธรรมมากขึ้นคือวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ (Water footprint, WF) ซึ่งเป็นตัวชี้วัดการใช้น้ำทั้งทางตรงและทางอ้อมที่ทำให้มองเห็นภาพการใช้น้ำที่เกิดขึ้นและการใช้น้ำนั้นมีความเหมาะสมในการใช้ประโยชน์ วอเตอร์ฟุตพริ้นท์เป็นคำนวณปริมาณการใช้น้ำ จากผลรวมปริมาณการใช้น้ำทั้ง 3 ประเภท ประกอบ ด้วย กรีนวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ (Green WF) เป็นปริมาณการใช้น้ำจากน้ำฝนและความชื้นในดิน บลูวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ (Blue WF) เป็นปริมาณการใช้น้ำจากแหล่งน้ำผิวดินและแหล่งน้ำใต้ดิน และเกรย์วอเตอร์ฟุตพริ้นท์ (Grey WF) เป็นปริมาณการใช้น้ำสำหรับเจือจางมลพิษในน้ำให้อยู่ในค่ามาตรฐานที่กำหนดโดยแต่ละประเภทพิจารณาการใช้น้ำจากแหล่งน้ำที่แตกต่างกัน

ปัญหาด้านทรัพยากรน้ำ นับเป็นปัญหาสิ่งแวดล้อมที่หลายประเทศได้ให้ความสำคัญ ในปีพ.ศ. 2560 ทางรัฐบาลได้บรรจุวาระการบริหารจัดการทรัพยากรน้ำ ในแผนพัฒนาเศรษฐกิจและสังคมแห่งชาติฉบับที่12 (พ.ศ. 2560-2564) เพื่อปรับปรุงประสิทธิภาพการบริหารจัดการทรัพยากรน้ำทั้งระบบอย่างยั่งยืน

Liu et al. (2006) พบว่าพืชเมื่อได้รับน้ำในปริมาณที่ไม่เพียงพอต่อการเจริญเติบโตก็จะมีผลทำให้ การเปิดของปากใบ อัตราการคายน้ำของพืช และการสังเคราะห์แสงของพืชลดลง ซึ่งมีผลกระทบต่อการเจริญเติบโตทางลำต้น และผลผลิตของพืชให้มีค่าลดลงในที่สุด สำหรับการให้น้ำในปริมาณที่ลดลง ดังนั้นปริมาณน้ำที่ให้แก่พืชเป็นปัจจัยที่สำคัญในการกำหนดการเจริญเติบโต และการสะสมน้ำหนักแห้งรวมของพืช พืชที่ได้รับน้ำในปริมาณที่น้อยก็จะแสดงอาการขาดน้ำโดยมีผลต่อปริมาณน้ำในใบ ค่า total conductance และอัตราการคายน้ำจากใบลดลง และ Ashley (1983) พบว่าพืชเมื่อได้รับน้ำปริมาณน้อยและมีการขาดน้ำเป็นเวลานาน มีผลทำให้ความเต่งของใบลดลง ปากใบของพืชจะปิดเพื่อลดการคายน้ำของพืช จึงทำให้การแลกเปลี่ยนก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ระหว่างพืชกับอากาศยุติลง กระบวนการสังเคราะห์แสงเกิดขึ้นน้อย การสร้างอาหารจึงมีน้อย จึงมีผลทำให้การเจริญเติบโตทางลำต้นลดลง การสะสมน้ำหนักแห้งทางใบ ลำต้น และเหง้า มีค่าลดลงเมื่อเปรียบเทียบกันกับพืชที่ไม่ขาดน้ำ เช่นเดียวกับ Boyer (1976) และ Devlin (1975) ที่กล่าวไว้ว่า พืชเมื่อได้รับน้ำในปริมาณที่น้อยลง และไม่เพียงพอต่อความต้องการในการเจริญเติบโตของพืช ก็จะมีผลทำให้กระบวนการต่างๆ ทางสรีรวิทยาของพืชเปลี่ยนแปลงไป กล่าวคือพืชจะมีการแบ่งเซลล์และขยายตัวของเซลล์ลดลง ปริมาณน้ำในใบและศักยภาพของน้ำในใบพืชลดลง Total conductance และอัตราการคายน้ำของพืชลดลง ซึ่งจะมีผลต่อเนื่องไปถึงอัตราการสังเคราะห์แสงของพืชลดลง และมีผลทำให้การสะสมน้ำหนักต้นแห้งและผลผลิตมีค่าลดลง เมื่อเปรียบเทียบกันกับพืชที่ไม่ขาดน้ำ คือได้รับน้ำอย่างเพียงพอตลอดอายุการเจริญเติบโต โดยทั่วไปแล้ว สภาพการพร่องน้ำจะมีผลกระทบต่อการเจริญเติบโตและผลผลิตของพืช แต่จะกระทบมากหรือน้อยเพียงใดขึ้นอยู่กับชนิด และพันธุ์พืชเป็นประการแรก ส่วนประการหลังขึ้นอยู่กับช่วงเวลาที่เกิดการพร่องน้ำเป็นสำคัญ ซึ่งจะมีความสำคัญอย่างยิ่งในงานชลประทาน เพราะอยู่ในวิสัยที่สามารถควบคุมได้ (สุรีย์, 2526)

การปลูกกาแฟในประเทศไทยส่วนใหญ่จะอาศัยน้ำฝนตามธรรมชาติ แต่ควรดูแลรักษาให้ดินมีความชื้นสม่ำเสมอในช่วงหลังปลูกใหม่ 3 เดือนแรก โดยให้น้ำทุกๆ 1 สัปดาห์ และทำการให้น้ำทุกๆ 2 สัปดาห์ จนกระทั่งให้ผลผลิต โดยระบบการให้น้ำแบบฝอยละเอียด ซึ่งใน 1 รอบการผลิตต้นกาแฟมีความต้องการน้ำ คือต้องทำการให้น้ำ ในช่วงดอกออกจากการพักตัวและเริ่มเจริญมีขนาดใหญ่จนเป็นดอกสีขาว เพื่อให้ดอกบานได้เต็มที่และพร้อมเพรียงกัน ช่วงเริ่มติดผล ช่วงการพัฒนาผล และช่วงผลสะสมน้ำหนัก ควรให้น้ำทุกๆ 2-4 สัปดาห์ เพราะหากมีการขาดน้ำจะทำให้เนื้อเยื่อรอบๆเมล็ดขยายตัวได้น้อย ทำให้ได้เมล็ดขนาดเล็ก ผลผลิตต่ำ (กรมวิชาการเกษตร, 2547; สถาบันวิจัยพืชสวน. 2559) โดย เจาว และคณะ (2556) แนะนำให้ทำการคลุมหน้าดินด้วยหญ้า

แห้งหรือใบไม้แห้งใต้ต้นกาแฟ เพื่อจะทำให้ดินมีความชุ่มชื้นในช่วงฤดูร้อน โดยในประเทศไทย ยังไม่พบการตีพิมพ์การวิเคราะห์ค่าสัมประสิทธิ์การใช้น้ำของกาแฟ รวมไปถึงค่าวิเคราะห์ปริมาณการใช้น้ำต่อหน่วยผลผลิตของกาแฟในประเทศไทย

Antonio et al (2011) รายงานปริมาณการใช้น้ำของกาแฟอาราบิกา ที่ปลูกที่เมือง Piracicaba ประเทศบราซิล ตามช่วงอายุตั้งแต่ 15, 17, 20, 22, 25, 28, 30, 35, และ 40 เดือน มีค่าเท่ากับ 0.20, 0.66, 0.87, 1.62, 1.50, 2.80, 2.81, 3.68 และ 4.04 มิลลิเมตรต่อวัน ตามลำดับ โดย Emilio et al. (2015) พบว่าต้นกาแฟที่ทำการให้น้ำ มีความสูง ขนาดลำต้น และการให้ผลผลิต มากกว่า ต้นกาแฟที่ไม่มีการให้น้ำเพิ่มเติม และ Liu et al. (2016) รายงานว่า รูปแบบการให้น้ำแบบขาดแคลนที่ 80 เปอร์เซ็นต์ของปริมาณน้ำที่กาแฟต้องการ เป็นรูปแบบที่เหมาะสมในการจัดการการให้น้ำ และให้ปุ๋ย ในกาแฟอาราบิกา เนื่องจากเป็นรูปแบบที่ประหยัดน้ำชลประทาน และให้ผลผลิตกาแฟที่มีคุณภาพ ในพื้นที่ร้อนและแห้งแล้ง ทางตะวันตกเฉียงใต้ของประเทศจีน

Mekonnen and Hoekstra (2011) ประเมินวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ในภาคเกษตรกรรม พบมีใช้น้ำมากที่สุด คิดเป็นร้อยละ 92 ของการใช้น้ำทั้งหมด และทำการศึกษาค่าวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ของการเพาะปลูกและการบริโภคสินค้าเกษตรอย่าง เช่น ฝ้าย ชา กาแฟ พืชพลังงาน ข้าวสาลี และข้าว พบว่าค่าวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ของกาแฟ 1 ถ้วย 125 มิลลิลิตร มีค่าเท่ากับ 132 ลิตร มีการใช้น้ำสีเขียวร้อยละ 96 น้ำสีฟ้าร้อยละ 1 และน้ำสีเทาร้อยละ 3 โดยในช่วงปี 1996-2005 กาแฟมีอัตราการใช้น้ำรวมภาคการผลิตและขนส่งเท่ากับ 85 ล้านลูกบาศก์เมตรต่อปี คิดเป็นร้อยละ 3.7 ของปริมาณการใช้น้ำในการผลิตและการขนส่งผลิตภัณฑ์ด้านการเกษตรและอุตสาหกรรมโดยรวม

Chapagain and Hoekstra (2007) รายงานการประเมินค่าวอเตอร์ฟุตพริ้นท์การบริโภคกาแฟของประเทศเนเธอร์แลนด์ ซึ่งเป็นประเทศที่มีการบริโภคกาแฟคิดเป็นร้อยละ 2.4 ของการบริโภคกาแฟทั่วโลก พบว่าใช้น้ำเพื่อบริโภคชาและกาแฟ 2.7 ล้านลูกบาศก์เมตรต่อปี โดยมาตรฐานกาแฟในประเทศเนเธอร์แลนด์ 1 ถ้วย ใช้น้ำ 140 ลิตร ซึ่งน้ำดังกล่าวส่วนมากมาจากการเพาะปลูก ที่นำเข้ามาจากประเทศบราซิล โคลัมเบีย อินโดนีเซีย และจีน ซึ่งชี้ให้เห็นว่าค่าวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ของกาแฟ ไม่ได้มีการใช้น้ำที่เป็นทรัพยากรภายในประเทศเนเธอแลนด์เท่านั้น แต่ส่วนใหญ่แฝงมาในรูปทรัพยากรน้ำต่างประเทศ ที่เป็นประเทศที่ผลิตเมล็ดกาแฟ ส่งผลให้ประเทศเหล่านั้นมีปริมาณการใช้น้ำสำหรับการเพาะปลูกที่ค่อนข้างสูง (Hoekstra et al, 2011)

จากผลกระทบในการใช้น้ำของสินค้าและบริการที่เกิดขึ้น Hoekstra (2011) จึงได้มีการเสนอแนวคิดเกี่ยวกับการบริหารจัดการน้ำและการกระตุ้นหรือการส่งเสริมให้ผู้ใช้น้ำทางตรงและทางอ้อมได้เปลี่ยนแนวคิดให้ตระหนักถึงปริมาณน้ำที่ใช้ในการผลิตสินค้าและบริการรวมถึงมีส่วนรับผิดชอบให้เกิดการใช้น้ำที่เหมาะสมมากขึ้น โดยมีการพัฒนาแนวทางการวิเคราะห์ปริมาณน้ำที่ใช้ในการผลิตรูปแบบใหม่และเป็นรูปธรรมมากขึ้นคือ วอเตอร์ฟุตพริ้นท์ (Water footprint, WF) ซึ่งเป็นตัวชี้วัดการใช้น้ำทั้งทางตรงและทางอ้อมที่ท้าให้มองเห็นภาพการใช้น้ำที่เกิดขึ้นและการใช้น้ำนั้นมีความเหมาะสมในการใช้ประโยชน์หรือไม่ วอเตอร์ฟุตพริ้นท์เป็นการคำนวณปริมาณการใช้น้ำ จากผลรวมปริมาณการใช้น้ำทั้ง 3 ประเภท ประกอบด้วย กรีนวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ (Green WF) เป็นปริมาณการใช้น้ำจากน้ำฝนและความชื้นในดิน บลูวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ (Blue WF) เป็นปริมาณการใช้น้ำจากแหล่งน้ำผิวดินและแหล่งน้ำใต้ดิน และเกรย์วอเตอร์ฟุตพริ้นท์ (Grey WF) เป็นปริมาณการใช้น้ำสำหรับเจือจางมลพิษในน้ำให้อยู่ในค่ามาตรฐานที่กำหนดโดยแต่ละประเภทพิจารณาการใช้น้ำจากแหล่งน้ำที่แตกต่างกัน ซึ่ง Mekonnen และ Hoekstra (2011) ได้ประเมินวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ในแต่ละภาคการผลิต พบว่า ภาคเกษตรกรรมมีการใช้น้ำมากที่สุด ร้อยละ 92 ของการใช้น้ำทั้งหมด จึงมีการศึกษาวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ของการเพาะปลูกและการบริโภคสินค้าเกษตรอย่างหลากหลาย เช่น ฝ้าย ชา กาแฟ พืชพลังงาน ข้าวสาลี ข้าว เป็นต้น

วัตถุประสงค์ในการศึกษา เพื่อวิเคราะห์ปริมาณการใช้น้ำต่อหน่วยผลผลิต (Water Footprint) ของกาแฟโรบัสตาและกาแฟอะราบิกา เพื่อนำไปใช้ในการจัดสรรและใช้ประโยชน์จากน้ำสำหรับการผลิตกาแฟอย่างมีประสิทธิภาพและยั่งยืน

ขอบเขตของโครงการวิจัย ได้ทำการศึกษาค่าสัมประสิทธิ์การใช้น้ำของกาแฟโรบัสตา การคายระเหยน้ำและค่าชักนำปากใบของกาแฟโรบัสตา และกาแฟอะราบิกาในแหล่งปลูกต่างๆ สำหรับใช้ในการวิเคราะห์วอเตอร์ฟุตพริ้นท์ของการผลิตกาแฟโรบัสตาและกาแฟอะราบิกา โดยแบ่งการวิเคราะห์วอเตอร์ฟุตพริ้นท์เป็น 2 ช่วง คือ ช่วงกล้ากาแฟ และช่วงให้ผลผลิต โดยเลือกพื้นที่จากการสำรวจและพิจารณาจากแหล่งปลูกสำคัญ

วอเตอร์ฟุตพริ้นท์ (Water Footprint) ของสินค้าหรือบริการ หมายถึง ปริมาณน้ำที่ใช้ในกระบวนการผลิตสินค้าและบริการทั้งทางตรงและทางอ้อม โดยคำนวณปริมาณน้ำจากผลรวมของทุกขั้นตอนตลอดห่วงโซ่ของการผลิตสินค้าและบริการนั้น ซึ่งพิจารณาทั้งการใช้น้ำทางตรงและทางอ้อมรวมทั้งแสดงแหล่งที่มาของน้ำใช้และน้ำเสียที่เกิดขึ้น (Hoektra *et al*., 2011) ปริมาณน้ำที่ใช้จะมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับปัจจัยทางภูมิศาสตร์และเวลาที่ทำการศึกษาการศึกษาในพื้นที่และเวลาที่ต่างกันจะทำให้ค่าการใช้น้ำมีค่าไม่เท่ากันวิธีการคำนวณที่นิยมใช้แพร่หลายเป็นวิธีการของ Water Footprint Network (WFN) ซึ่งเป็นการคำนวณจากผลรวมปริมาณการใช้น้ำทั้ง 3 ประเภทประกอบไปด้วยกรีนวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ (Green WF) เป็นปริมาณการใช้น้ำจากน้ำฝนและความชื้นในดินบลูวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ (Blue WF) เป็นปริมาณการใช้น้ำจากแหล่งน้ำผิวดินและแหล่งน้ำใต้ดินและเกรย์วอเตอร์ฟุตพริ้นท์ (Grey WF) เป็นปริมาณการใช้น้ำสำหรับเจือจางมลพิษในน้ำให้อยู่ในค่ามาตรฐานที่กำหนดโดยแต่ละประเภทพิจารณาการใช้น้ำจากแหล่งน้ำที่แตกต่างกัน

ดังนั้นจากสมมติฐาน วอเตอร์ฟุตพริ้นท์สามารถหาได้จากผลรวมของกรีนบลูและเกรย์วอเตอร์ฟุตพริ้นท์ ซึ่งแสดงในหน่วยลูกบาศก์เมตรต่อตัน (m^3/ton) โดยวิธีการคำนวณวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ถูกแบ่งออกเป็น 2 ส่วนคือ การคำนวณวอเตอร์ฟุตพริ้นท์จากค่าความต้องการน้ำใช้ของกาแฟและการคำนวณวอเตอร์ฟุตพริ้นท์จากปริมาณการชะล้างมลพิษที่ไหลลงสู่แหล่งน้ำ

การคำนวณวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ของการผลิตกาแฟ

วิธีการคำนวณวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ของการผลิตกาแฟ ทำได้โดยคำนวณหาปริมาณน้ำที่ใช้ตลอดห่วงโซ่ของกระบวนการผลิตเมล็ดกาแฟ สามารถคำนวณได้จาก

$$WF_{\text{กาแฟ}} = VW_{\text{กาแฟ}} \times C$$

โดยที่ $WF_{\text{กาแฟ}}$ คือ วอเตอร์ฟุตพริ้นท์ของกาแฟ (ลบ.ม. ต่อปี)
$VW_{\text{กาแฟ}}$ คือ ปริมาณน้ำเสมือนของการผลิตเมล็ดกาแฟ (ลบ.ม. ต่อตัน)
C คือ ปริมาณเมล็ดกาแฟที่ใช้ในการผลิต (ตันต่อปี)

การคำนวณหาปริมาณน้ำที่ใช้ตลอดห่วงโซ่ของกระบวนการผลิตเมล็ดกาแฟ หรือปริมาณน้ำเสมือนของการผลิตเมล็ดกาแฟ สามารถคำนวณได้จาก

$$VW_{\text{กาแฟ}} = VW_{\text{green, กาแฟ}} + VW_{\text{blue, กาแฟ}} + VW_{\text{gray, กาแฟ}}$$

โดยที่ $VW_{\text{กาแฟ}}$ คือ ปริมาณน้ำเสมือนของการผลิตเมล็ดกาแฟ (ลบ.ม. ต่อตัน)
$VW_{\text{green, กาแฟ}}$ คือ ปริมาณน้ำเสมือนเขียวของการผลิตเมล็ดกาแฟ (ลบ.ม. ต่อตัน)
$VW_{\text{blue, กาแฟ}}$ คือ ปริมาณน้ำเสมือนน้ำเงินของการผลิตเมล็ดกาแฟ (ลบ.ม. ต่อตัน)
$VW_{\text{gray, กาแฟ}}$ คือ ปริมาณน้ำเสมือนเทาของการผลิตเมล็ดกาแฟ (ลบ.ม. ต่อตัน)

การคำนวณหาปริมาณน้ำเสมือนเขียวของการผลิตเมล็ดกาแฟ สามารถคำนวณได้จาก

$$VW_{green,\ กาแฟ} = \frac{P_{effective}}{Y}$$

โดยที่ $VW_{green,\ กาแฟ}$ คือ ปริมาณน้ำเสมือนเขียวของการผลิตเมล็ดกาแฟ (ลบ.ม. ต่อตัน)
$P_{effective}$ คือ ปริมาณฝนใช้การของกาแฟ (ลบ.ม. ต่อไร่)
Y คือ ปริมาณผลผลิตเมล็ดกาแฟต่อพื้นที่เพาะปลูก (ตันต่อไร่)

การคำนวณหาปริมาณน้ำเสมือนน้ำเงินของการผลิตเมล็ดกาแฟ สามารถคำนวณได้จาก

$$VW_{blue,\ กาแฟ} = \frac{I_{water}}{Y}$$

โดยที่ $VW_{blue,\ กาแฟ}$ คือ ปริมาณน้ำเสมือนน้ำเงินของการผลิตเมล็ดกาแฟ (ลบ.ม. ต่อตัน)
I_{water} คือ ปริมาณน้ำชลประทาน (ลบ.ม. ต่อไร่)

การคำนวณหาปริมาณน้ำเสมือนเทาของการผลิตเมล็ดกาแฟ สามารถคำนวณได้จาก

$$VW_{gray,\ กาแฟ} = \frac{(\alpha \times AR) / (C_{max} - C_{natural})}{Y}$$

โดยที่ $VW_{gray,\ กาแฟ}$ คือ ปริมาณน้ำเสมือนเทาของการผลิตเมล็ดกาแฟ (ลบ.ม. ต่อตัน)
AR คือ อัตราการใช้สารเคมีในพื้นที่เพาะปลูก (กิโลกรัมต่อไร่)
α คือ สัดส่วนการชะล้าง
C_{max} คือ ความเข้มข้นมากที่สุดที่ยอมรับได้ (กิโลกรัมต่อ ลบ.ม.)
$C_{natural}$ คือ ความเข้มข้นของมลพิษ (กิโลกรัมต่อ ลบ.ม.)

ความสัมพันธ์ของปริมาณการใช้น้ำของกาแฟ ปริมาณฝนใช้การ และปริมาณน้ำชลประทาน มีความสัมพันธ์กัน ดังนี้

$$CRW_{กาแฟ} = P_{effective} + I_{water}$$

โดยที่ $CRW_{กาแฟ}$ คือ ปริมาณการใช้น้ำของการผลิตเมล็ดกาแฟ (ลบ.ม. ต่อไร่)
$P_{effective}$ คือ ปริมาณฝนใช้การของกาแฟ (ลบ.ม. ต่อไร่)
I_{water} คือ ปริมาณน้ำชลประทาน (ลบ.ม. ต่อไร่)

การคำนวณปริมาณการใช้น้ำของกาแฟ

ปริมาณการใช้น้ำของกาแฟ หรือ การคายระเหยน้ำ (evapotranspiration) ของกาแฟ ขึ้นอยู่กับคุณลักษณะของดิน และสภาพแวดล้อมที่ทำการเพาะปลูก งานวิจัยนี้เลือกใช้วิธีการคำนวณโดยใช้ข้อมูลศักย์การคายระเหยน้ำของพืชหรือปริมาณการใช้น้ำของพืชอ้างอิง (ETo) และค่าสัมประสิทธิ์การใช้น้ำของพืช (Kc) โดยปริมาณการใช้น้ำของกาแฟ (ET) สามารถคำนวณได้จาก

$$ET = Kc_{กาแฟ} \times ETo$$

โดยที่ ET คือ ปริมาณการใช้น้ำของกาแฟ (มล.)
Kc คือ ค่าสัมประสิทธิ์การใช้น้ำของกาแฟ
ETo คือ ปริมาณการใช้น้ำของพืชอ้างอิง (มล.)

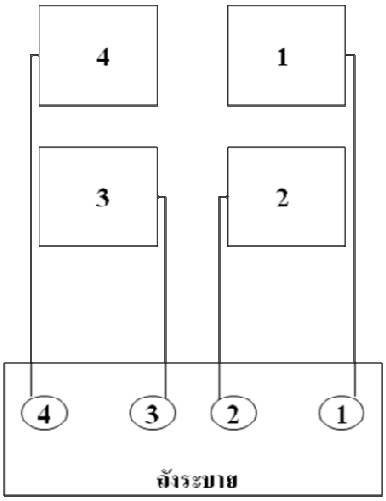
ระเบียบวิธีการวิจัย

การทดลองที่ 5.1 การวิเคราะห์วอเตอร์ฟุตพริ้นท์ของการผลิตกาแฟโรบัสตา

ขั้นตอนที่ 1: การวิเคราะห์ค่าสัมประสิทธิ์การใช้น้ำของกาแฟโรบัสตา

ประเด็นการวิจัย ดำเนินการศึกษาสัมประสิทธิ์การใช้น้ำของกาแฟโรบัสตา ในช่วงการเจริญเติบโตก่อนให้ผลผลิตและช่วงให้ผลผลิต ในระหว่างวันที่ วันที่ 1 ธันวาคม 2559 ถึงวันที่ 30 พฤศจิกายน 2561 ณ แปลงทดลองสถานีทดลองการใช้น้ำชลประทานที่ 7 (ปัตตานี) อำเภอเมือง จังหวัดยะลา ตั้งอยู่ที่ระยะเส้นรุ้ง (Latitude) 6o 4/ 00// เหนือ ระยะเส้นแวง (Longitude) 101o 17/ 41// ตะวันออก สูงกว่าระดับน้ำทะเล 11.00 เมตร จากระดับน้ำทะเลปานกลาง ดินชุดยะลา มีความชื้นชลประทาน (Field Capacity: FC) และจุดเหี่ยวถาวร (Permanent Wilting Point: PWP) 25.7 และ 9.5 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ และ ความถ่วงจำเพาะปรากฏของดินในถังวัดปริมาณการใช้น้ำของพืชถัง A, B, C และ D เท่ากับ 1.11, 1.22, 1.18 และ 1.21 โดยศึกษาในกาแฟโรบัสตา อายุกล้า 1 ปี โดยใช้ถังวัดปริมาณการใช้น้ำของพืช (Lysimeter) แบบระบายน้ำ (Percolation type) ซึ่งวัดการใช้น้ำด้วยความแตกต่างระหว่างปริมาณน้ำที่เติมเข้าไป และปริมาณน้ำที่ระบายออกก้นถัง ประกอบด้วยถังปลูกพืช 4 ถัง แต่ละถังจะมีท่อระบายน้ำไปยังถังวัดน้ำระบายเพื่อหาปริมาณน้ำที่เหลือจากความสามารถในการกักเก็บของดินในถัง ทำการให้น้ำแก่พืชจนถึงจุดความชื้นชลประทาน เมื่อความชื้นที่พืชสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้ในดินต่ำกว่า 75% โดยทำการตรวจวัดความชื้นดินทุกๆ 7 วัน

การบันทึกข้อมูล โดยการเก็บตัวอย่างดินที่ใช้ในการทดลอง เพื่อหาเพื่อวิเคราะห์หาความชื้นของดินที่จุดความชื้นชลประทาน (Field capacity: FC) ความชื้นของดินที่จุดเหี่ยวถาวร (Permanent Wilting Point: PWP) ปริมาณความชื้นในดินที่เป็นประโยชน์ในดิน และความถ่วงจำเพาะปรากฏของดิน ข้อมูลความชื้นดินก่อนทำการให้น้ำทุกๆ 7 วัน ปริมาณการให้น้ำชลประทาน ปริมาณน้ำที่ระบายลงในถังวัดน้ำระบาย และข้อมูลทางอุตุนิยมวิทยา (Meteorological data) ปริมาณและจำนวนวันที่ฝนตก อุณหภูมิอากาศปริมาณการระเหยของน้ำจากถาดระเหย ชนิด Class - A pan กระแสลมผิวดิน จำนวนชั่วโมงแสงแดดต่อวัน และความชื้นสัมพัทธ์อากาศ ข้อมูลการเจริญเติบโตของต้นกาแฟโรบัสตาหลังย้ายปลูกทุกๆ 1 เดือน ตามอายุ 1-12 เดือน ประกอบด้วย ความสูง ขนาดทรงพุ่ม และขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางลำต้นเหนือผิวดิน 10 เซนติเมตร แล้วทำการคำนวณค่า การคายระเหย (Evapotranspiration: ET) ค่าสัมประสิทธิ์ของถาดวัดการระเหยเบ็ดเสร็จ (Crop Coefficient: K'p) ของกาแฟโรบัสตา คำนวณปริมาณการใช้น้ำของพืชอ้างอิง (Reference Crop Evapotranspiration: ETo) จากสมการ Pan Method, Hargreaves, Radiation, Blaney Criddle, Modified Penman และ Penman Montieth โดยใช้โปรแกรมคำนวณ MRQuick และคำนวณค่าสัมประสิทธิ์การใช้น้ำของพืช (Crop Coefficient: Kc) ของกาแฟ

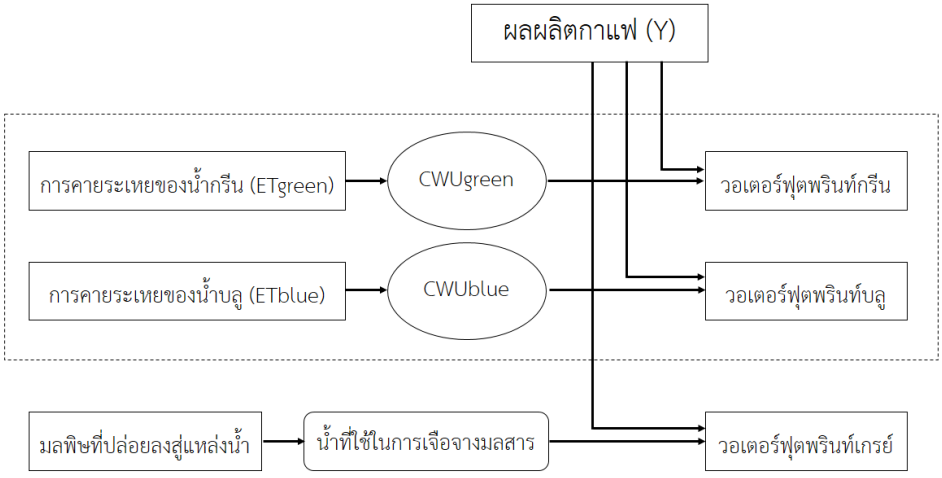


□ 1, 2, 3 และ 4 ถังปลูกพืช
O 1, 2, 3 และ 4 ถังรับน้ำระบาย

ภาพที่ 5.1-1 แผนผังถัง Lysimeter Percolation type

ขั้นตอนที่ 2: การวิเคราะห์วอเตอร์ฟุตปริ๊นท์ของการผลิตกาแฟโรบัสตา

สำรวจข้อมูลการปลูกกาแฟโรบัสตา สรุปและสังเคราะห์ข้อมูลการปลูกที่รวบรวมได้จากแบบสอบถาม แล้วคำนวณค่าวอเตอร์ฟุตพรินต์ของการปลูกพืช การศึกษาครั้งนี้ดำเนินการตามคู่มือการประเมินรอยเท้าน้ำ "The Water Footprint Assessment Manual" ของ Hoekstra *et al.* (2011) การประเมินวอเตอร์ฟุตพริ้นท์กาแฟในภาคเกษตรกรรม มีแผนผังการเก็บข้อมูลการใช้น้ำในการปลูกกาแฟแสดงได้ดังภาพที่ 2



ภาพที่ 5.1-2 แผนผังการวิเคราะห์ค่าการใช้น้ำหรือวอเตอร์ฟุตพิ้นท์ของกาแฟโรบัสตา

การประเมินวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ในภาคการเกษตร ได้แบ่งการประเมินออกเป็น 3 ส่วนด้วยกันคือ วอเตอร์ฟุตพริ้นท์กรีน บลู และเกรย์ โดยวอเตอร์ฟุตพริ้นท์กรีนและบลู ได้ใช้โปรแกรม CROPWAT 8.0 คำนวณค่าการระเหยน้ำของพืช (Crop Evapotranspiration; ET) โดยการคำนวณค่าการคายระเหยน้ำของพืชอาศัยสมการของ Penman – Monteith โดยใช้ข้อมูลสภาพภูมิประเทศ สภาพภูมิอากาศ และข้อมูลเกี่ยวกับพืช โดยผลการคำนวณจะนำมาหาค่า วอเตอร์ฟุตพริ้นท์กรีน และบลู โดยใช้สมการดังต่อไปนี้

$$WF\ green,blue = \frac{CWU\ green,blue}{Y} \quad \text{---------- (1)}$$

โดย WF green,blue คือ วอเตอร์ฟุตพริ้นท์กรีนและบลู (ลูกบาศก์เมตร/ตัน)
โดย CWU green,blue คือ ค่าความต้องการใช้น้ำของพืช (ลูกบาศก์เมตร/ไร่)
โดย Y คือ ปริมาณผลผลิตต่อพื้นที่ (ตัน/ไร่)

จากสมการที่ (1) ค่าความต้องการใช้น้ำของพืช (CWU) คำนวณได้จากค่าการสะสมการคายระเหยน้ำของพืช (Evapotraspiration; ET) ตลอดช่วงอายุการเจริญเติบโต (Length of growing period; lgp) โดยใช้สมการดังต่อไปนี้

$$CWU\ green,blue = 1.6 \sum_{d=1}^{lgp} ET\ green,blue \quad \text{---------- (2)}$$

โดย CWU green,blue คือ ค่าความต้องการใช้น้ำของพืช (ลูกบาศก์เมตร/ไร่)
โดย ET green,blue คือ ค่าการสะสมการคายระเหยน้ำของพืช (มิลลิเมตร/วัน)

ในส่วนของการคำนวณเกรย์วอเตอร์ฟุตพรินท์ในภาคเกษตรกรรม อาศัยหลักการที่ว่าปริมาณของมวลสารทางน้ำหาได้จากปริมาณน้ำที่ต้องการเพื่อเจือจางมวลสารที่มีอยู่ในน้ำตามค่ามาตรฐาน แสดงในหน่วยลูกบาศก์เมตร/ตัน โดยกำหนดให้อัตราการชะล้าง (α) ที่ไหลลงแม่น้ำเท่ากับ 10 % ของอัตราการใช้ปุ๋ยที่เกิดขึ้น ซึ่งในงานวิจัยนี้พิจารณาผลกระทบที่เกิดจากการใช้ปุ๋ยไนโตรเจนเท่านั้น ส่วนผลต่างความเข้มข้นของมวลสารซึ่งความเข้มข้นสูงสุดที่ยอมรับได้ (C_{max}) อ้างอิงจากค่ามาตรฐานคุณภาพในแหล่งน้ำผิวดินของประเทศไทยจากกรมควบคุมมลพิษ มีค่าเท่ากับ 5 มิลลิกรัมต่อลิตร และค่าความเข้มข้นตามธรรมชาติ (Cnat) มีค่าเท่ากับศูนย์

$$WF\ grey = \frac{(\alpha x AR)/(Cmax - Cnat)}{Y} \quad \text{---------- (3)}$$

โดย WF gray คือ วอเตอร์ฟุตพริ้นท์เกรย์ของผลผลิต (ลูกบาศก์เมตร/ตัน)
โดย AR คือ อัตราการใช้สารเคมีในพื้นที่ (กิโลกรัม/ไร่)
โดย α คือ อัตราการชะล้างสารเคมี โดยคิดปริมาณปุ๋ยไนโตรเจน ร้อยละ 10 ของปริมาณปุ๋ยไนโตรเจนทั้งหมดที่ใช้
โดย Cmax คือ ความเข้มข้นของมลพิษมากสุดที่ยอมรับได้ (กิโลกรัม/ลูกบาศก์เมตร)
โดย Cnat คือ ความเข้มข้นของมลพิษตามธรรมชาติ (กิโลกรัม/ลูกบาศก์เมตร)
โดย Y คือ ปริมาณผลผลิตต่อพื้นที่ (ตัน/ไร่)

โดยในงานวิจัยชิ้นนี้การหาค่าคายระเหยน้ำของพืชเกิดจากการคำนวณโดยอาศัยข้อมูลสภาพภูมิอากาศด้วยการใช้โปรแกรม CROPWAT 8.0 ซึ่งเป็นเครื่องมือในการคำนวณค่าการคายระเหยน้ำของพืช ซึ่งข้อมูลที่จำเป็นสำหรับการคำนวณค่าการคายระเหยน้ำประกอบด้วย ข้อมูลเชิงพื้นที่ ข้อมูลสภาพภูมิอากาศ (อุณหภูมิสูงสุด อุณหภูมิต่ำสุด ปริมาณแสงแดด ความเร็วลม ความชื้นสัมพัทธ์ และปริมาณน้ำฝน) ใช้ข้อมูลจากโปรแกรม CLIMWAT 2.0 ที่อ้างอิงข้อมูลจริงจากกรมอุตุวิทยาตามพื้นที่ที่ศึกษาจากสถานีใกล้เคียงหรือสถานีที่เป็นตัวแทนที่ดีที่สุด ข้อมูลปัจจัยการผลิตพืช (ค่าสัมประสิทธิ์ของพืช ช่วงระยะเวลาในการเจริญเติบโตของพืช ความยาวราก

Critical depletion ความสูงของพืช ชนิดของดิน ความชื้นในดิน) อ้างอิงจากระบบสารสนเทศของกรมพัฒนาที่ดินและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง ดังสรุปในตารางที่ 5.1-1

ตารางที่ 5.1-1 ข้อมูลพืชของกาแฟ

รายการ	
การเจริญเติบโต (วัน)	365
ค่าสัมประสิทธิ์การใช้น้ำ (Penman - Monteith)	1.05
ค่าการหยั่งลึกของรากพืช (เมตร)	2.00
ค่าระดับการขาดน้ำของพืช (ร้อยละ)	0.40
ค่าปัจจัยในการตอบสนองต่อการให้ผลผลิตของพืช	3.0

ระยะเวลาดำเนินการ

ปีเริ่มต้น 2560 – สิ้นสุด 2562

สถานที่ดำเนินการทดลอง สถาบันวิจัยพืชสวน ศูนย์วิจัยพืชสวนชุมพร แปลงเกษตรกรจังหวัดชุมพร ระนอง

การทดลองที่ 5.2 การวิเคราะห์วอเตอร์ฟุตพริ้นท์ของการผลิตกาแฟอะราบิกา

สำรวจสภาพแปลงกาแฟในพื้นที่ศึกษา และกำหนดแปลงกาแฟที่ให้ผลผลิตแล้วเพื่อเป็นตัวแทนในการศึกษา แล้วสัมภาษณ์เกษตรกรผู้ปลูกกาแฟอะราบิกาในพื้นที่จังหวัดเชียงใหม่และจังหวัดเชียงราย (ใช้วิธีการสัมภาษณ์แบบกึ่งโครงสร้าง) และบันทึกข้อมูลการจัดการด้านต่าง ๆ ของการปลูกกาแฟอะราบิกา แบ่งเป็น ช่วงกล้ากาแฟ ช่วงให้ผลผลิต (ระยะพักตัว ระยะออกดอก และระยะให้ผล) และการแปรรูปกาแฟ (แบบเปียก/แบบแห้ง) บันทึกและรวบรวมข้อมูลอุตุนิยมวิทยาก่อนการศึกษา 30 ปี แล้วคำนวณวอเตอร์ฟุต พรินท์ของการปลูกกาแฟอะราบิกา (WFgreen+WFblue+WFgrey) โดยข้อมูลที่ต้องใช้ในการคำนวณ ได้แก่ ค่าสัมประสิทธิ์พืช ช่วงอายุการเจริญเติบโต ระดับหยั่งลึกของรากพืช ระดับการขาดน้ำ ปัจจัยในการตอบสนองต่อการให้ผลผลิต ความสูงของต้น และผลผลิต (ตันต่อปี) โดยการประเมินวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ในภาคการเกษตรกรรมของ Mekonnen และ Hoekstra (2011) ได้แสดงวิธีการหาค่าวอร์เตอร์ฟุตพรินท์ทั้งหมดที่เกิดจากการเพาะปลูกพืชหรือต้นไม้ ดังสมการต่อไปนี้

$$\text{WF green, blue} = \frac{\text{CWU green, blue}}{\text{Y}} \qquad \text{---------- (1)}$$

$$\text{CWU green, blue} = 1.6 \sum_{d=1}^{lgp} ET\ green, blue \qquad \text{---------- (2)}$$

$$WF_{grey} = \frac{(\alpha \times AR)/(C_{max} - C_{nat})}{Y} \qquad (3)$$

โดยที่ WF green, blue คือ วอเตอร์ฟุตปรินท์กรีนและบลู (ลูกบาศก์เมตร/ตัน)

CWU green, blue คือ ค่าความต้องการใช้น้ำของพืช (ลูกบาศก์เมตร/ไร่)

CWU green มีค่าเท่ากับ CWU เมื่อปริมาณน้ำฝนใช้การ (P_{eff}) มีค่ามากกว่า CWU และจะมีค่าเท่ากับ P_{eff} เมื่อ P_{eff} มีค่าน้อยกว่า CWU

CWU blue มีค่าเท่ากับ 0 เมื่อ P_{eff} มีค่ามากกว่า CWU และจะมีค่าเท่ากับ CWU- P_{eff} เมื่อ P_{eff} มีค่าน้อยกว่า CWU

-ค่า P_{eff} คำนวณได้จากโปรแกรม CROPWAT8.0

Y คือ ปริมาณผลผลิตต่อพื้นที่ (ตัน/ไร่)

ET green, blue คือ ค่าการสะสมการคายระเหยน้ำของพืช (มิลลิเมตร/วัน)

AR คือ อัตราการใช้ปุ๋ยไนโตรเจนในพื้นที่เพาะปลูก (กก./ไร่)

ในส่วนของการคำนวณเกรย์วอเตอร์ฟุตพรินท์ในภาคเกษตรกรรม อาศัยหลักการที่ว่าปริมาณของมลสารทางน้ำหาได้จากปริมาณน้ำที่ต้องการเพื่อเจือจางมลสารที่มีอยู่ในน้ำตามค่ามาตรฐาน แสดงในหน่วยลูกบาศก์เมตร/ตัน โดยกำหนดให้อัตราการชะล้าง (α) ที่ไหลลงแม่น้ำเท่ากับ 10 % ของอัตราการใช้ปุ๋ยที่เกิดขึ้น สัดส่วนของปุ๋ยไนโตรเจนจากการชะละลาย มีค่า 10 เปอร์เซ็นต์ของอัตราปุ๋ย (Chapagain, et al., 2006) ซึ่งในงานวิจัยนี้พิจารณาผลกระทบที่เกิดจากการใช้ปุ๋ยไนโตรเจนเท่านั้น ส่วนผลต่างความเข้มข้นของมลสารซึ่งความเข้มข้นสูงสุดที่ยอมรับได้ (Cmax) อ้างอิงจากค่ามาตรฐานคุณภาพในแหล่งน้ำผิวดินของประเทศไทยจากกรมควบคุมมลพิษ มีค่า 5 มิลลิกรัมต่อลิตร และค่าความเข้มข้นตามธรรมชาติ (Cnat) มีค่าเท่ากับศูนย์

ระยะเวลาดำเนินการ

เริ่มต้น 2563 – สิ้นสุด 256**4**

สถานที่ดำเนินการทดลอง

- แปลงเกษตรกร อำเภอแม่วาง สะเมิง และดอยสะเก็ด จังหวัดเชียงใหม่
- แปลงเกษตรกร อำเภอเมือง เวียงป่าเป้า แม่สรวย และเวียงแก่น จังหวัดเชียงราย

ผลการศึกษา และวิจารณ์ผล

การทดลองที่ 5.1 การวิเคราะห์ค่าสัมประสิทธิ์การใช้น้ำของกาแฟโรบัสตา

ผลการศึกษาสัมประสิทธิ์การใช้น้ำของกาแฟโรบัสตา ในช่วงการเจริญเติบโตก่อนให้ผลผลิต ช่วงอายุ 1-12 เดือนและ 13-24 เดือนหลังย้ายปลูก จากต้นกล้ากาแฟโรบัสตาเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อชำถุงอายุ 2 ปี โดยทำการศึกษาเก็บข้อมูลตั้งแต่วันที่ 1 ธันวาคม 2559 ถึง วันที่ 30 พฤศจิกายน 2561 ได้ผลการศึกษาดังต่อไปนี้

1.1 การเจริญเติบโตของกาแฟโรบัสตา

การเจริญเติบโตของต้นกาแฟโรบัสตา ในด้านความสูงต้น ความกว้างทรงพุ่มต้น และขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางลำต้น มีค่าเฉลี่ยเพิ่มขึ้น โดยหลังย้ายปลูก 1-12 เดือน ต้นกาแฟโรบัสตาที่ปลูกในถังวัดปริมาณการใช้น้ำ ทั้ง 4 ถัง มีความสูงต้นเฉลี่ย เพิ่มขึ้น 50.40 เซนติเมตร ความกว้างทรงพุ่มต้นเฉลี่ย เพิ่มขึ้น 83.38 เซนติเมตร เส้นผ่านศูนย์กลางลำต้นเฉลี่ย เพิ่มขึ้น 22.31 มิลลิเมตร โดยมีการตัดแต่งทรงพุ่มต้นในช่วงอายุต้น 14 เดือน ซึ่งหลังย้ายปลูก 13-24 เดือน ต้นกาแฟบัสต้าที่ปลูกในถังวัดปริมาณการใช้น้ำ ทั้ง 4 ถัง มีความสูงต้นเฉลี่ยเพิ่มขึ้น 53.75 เซนติเมตร ความกว้างทรงพุ่มต้นเฉลี่ย เพิ่มขึ้น 29.38 เซนติเมตร เส้นผ่านศูนย์กลางลำต้นเฉลี่ยเพิ่มขึ้น 13.05 มิลลิเมตร

1.2 ผลวิเคราะห์ดินในถังวัดการใช้น้ำของพืช

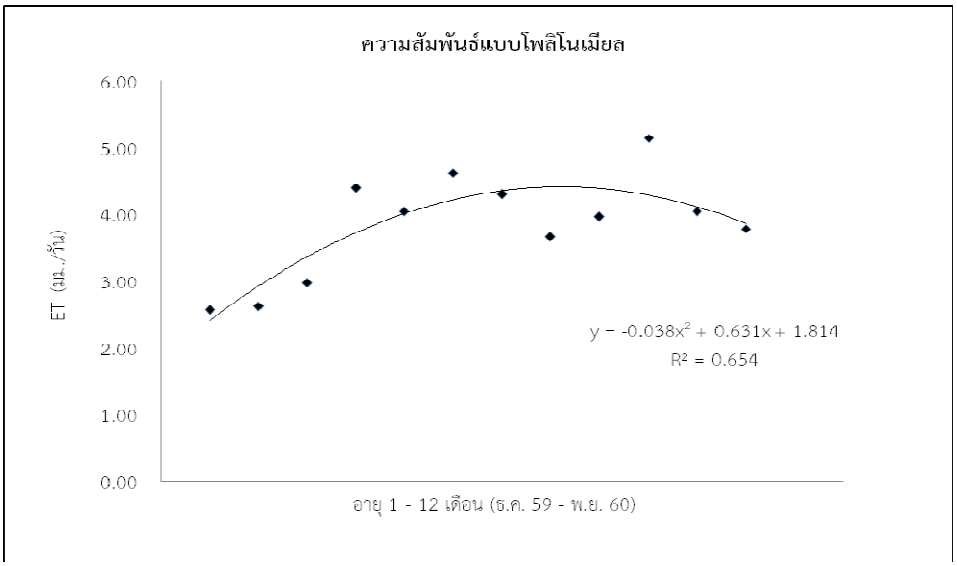
สมบัติทางเคมีและกายภาพของดินในถังวัดการใช้น้ำของพืชที่ทำการศึกษา ที่ระดับความลึก 0-30 เซนติเมตร เป็นดินร่วน ปฏิกิริยาดินเป็นกรดปานกลาง อัตราการไหลซึมน้ำค่อนข้างช้า ความชื้นที่เป็นประโยชน์เท่ากับ 16.2 เปอร์เซ็นต์ ความชื้นที่อิ่มตัวด้วยน้ำเท่ากับ 48.7 เปอร์เซ็นต์ ไม่มีปัญหาด้านความเค็มของดิน ความจุประจุบวกที่แลกเปลี่ยนได้ปานกลาง ปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ต่อพืชสูง เปอร์เซ็นต์ของอินทรียวัตถุในดินปานกลาง และปริมาณโพแทสเซียมทั้งหมดที่สกัดได้สูง (ตารางที่ 5.1-2)

ตารางที่ 5.1-2 รายงานผลวิเคราะห์ตัวอย่างดินในถังวัดการใช้น้ำของพืชที่ทำการศึกษา

รายการ	หน่วย	ผลวิเคราะห์ตัวอย่างดิน
ความลึกในการเก็บตัวอย่าง	(ซม.)	0-30
Particle Size Hydrometer	Sand (%)	35.2
	Silt (%)	40.8
	Clay (%)	24.0
Texture Class		L
Percolation Rate	6 hr. Flow (cm/hr.)	0.53
	Near uniform Flow (cm/hr.)	0.47
	Instability Index	10
Moisture Retention (%)	Tension in bars 1/10	-
	1/3	25.7
	15	9.5
Available Moisture	(%)	16.2
pH Water	paste	5.8
Salt Extractable Electrical Conductivity	($ECx10^3$)	1.7
CEC NH_4 Extractable	(meq/100 g)	13
Organic Matter	(%)	1.9
Available Phosphorus	Bray II (ppm.)	42
Total Extractable Potassium	(ppm)	223

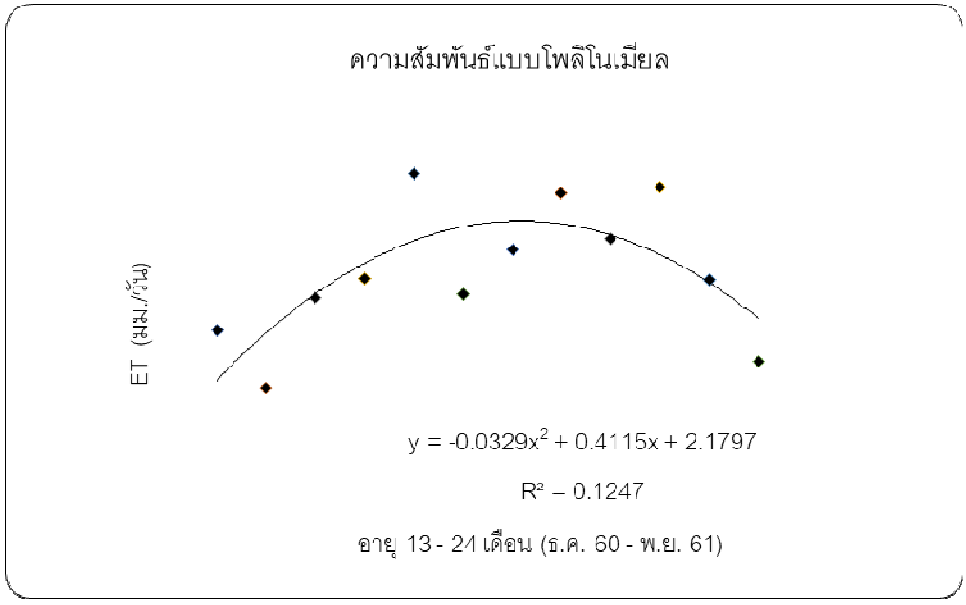
1.3 ค่าการคายระเหย (Evapotranspiration: ET) ของกาแฟโรบัสตา

ค่าการคายระเหยของกาแฟโรบัสตา ในช่วงอายุก่อนการให้ผลผลิตอายุ 1-12 เดือนหลังย้ายปลูก ตั้งแต่วันที่ 1 ธันวาคม 2559 ถึง วันที่ 30 พฤศจิกายน 2560 โดยทำตรวจการวัดค่าการคายระเหยของต้นกาแฟโรบัสตาจากถังปลูก Lysimeter Percolation type พบว่า ค่าการคายระเหยของกาแฟโรบัสตา ที่ใช้ในการเจริญเติบโตเป็นรายเดือน เท่ากับ 79.48, 81.02, 83.19, 136.05, 121.05, 143.17, 128.95, 113.45, 122.73 , 154.17, 125.07 และ 113.42 มิลลิเมตรต่อเดือน ตามลำดับ เฉลี่ยเท่ากับ 116.81 มิลลิเมตรต่อเดือน ค่าการคายระเหยเฉลี่ยต่อวันรายเดือนเท่ากับ 2.56, 2.61, 2.97, 4.37, 4.04, 4.62, 4.30, 3.66, 3.96, 5.14, 4.03 และ 3.78 มิลลิเมตรต่อวัน ตามลำดับ เฉลี่ยเท่ากับ 3.84 มิลลิเมตรต่อวัน ค่าเฉลี่ยต่ำสุดในเดือนธันวาคม 2559 เท่ากับ 2.56 มิลลิเมตรต่อวัน สูงสุดในเดือนกันยายน 2560 เท่ากับ 5.14 มิลลิเมตรต่อวัน (ภาพที่ 5.1-4 และตารางที่ 5.1-7)



ภาพที่ 5.1-3 ความสัมพันธ์แบบโพลิโนเมียลระหว่างค่าการคายระเหย และอายุหลังปลูกของกาแฟโรบัสต้า ที่ปลูกในถังวัดการใช้น้ำของพืช

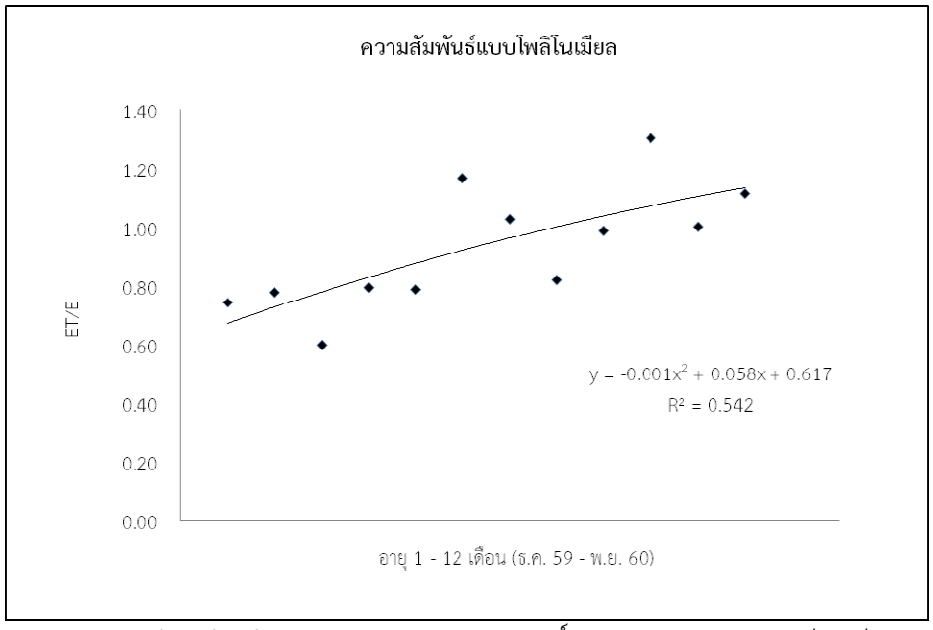
ค่าการการคายระเหยของกาแฟโรบัสตา ในช่วงให้ผลผลิตอายุ 13-24 เดือนหลังย้ายปลูก ตั้งแต่วันที่ 1 ธันวาคม 2560 ถึง วันที่ 30 พฤศจิกายน 2561 โดยทำตรวจการวัดค่าการคายระเหยของต้นกาแฟโรบัสตา จากถังปลูก Lysimeter Percolation type พบว่า ค่าการคายระเหยของกาแฟโรบัสตา ที่ใช้ในการเจริญเติบโตเป็นรายเดือน เท่ากับ 74.60, 51.29, 79.66, 95.77, 134.17, 89.48, 104.51, 130.88, 112.01, 129.18, 95.74 และ 59.97 มิลลิเมตรต่อเดือน ตามลำดับ เฉลี่ยเท่ากับ 96.44 มิลลิเมตรต่อเดือน ค่าการคายระเหยเฉลี่ยต่อวันรายเดือนเท่ากับ 2.41, 1.65, 2.85, 3.09, 4.47, 2.89, 3.48, 4.22, 3.61, 4.31, 3.09 และ 2.00 มิลลิเมตรต่อวัน ตามลำดับ เฉลี่ยเท่ากับ 3.17 มิลลิเมตรต่อวัน ค่าเฉลี่ยต่ำสุดในเดือนมกราคม 2561 เท่ากับ 1.65 มิลลิเมตรต่อวัน สูงสุดในเดือนเมษายน 2561 เท่ากับ 4.47 มิลลิเมตรต่อวัน (ภาพที่ 5.1-4)



ภาพที่ 5.1-4 ความสัมพันธ์แบบโพลิโนเมียลระหว่างค่าการคายระเหย และอายุหลังปลูกของกาแฟโรบัสต้า ที่ปลูกในถังวัดการใช้น้ำของพืช

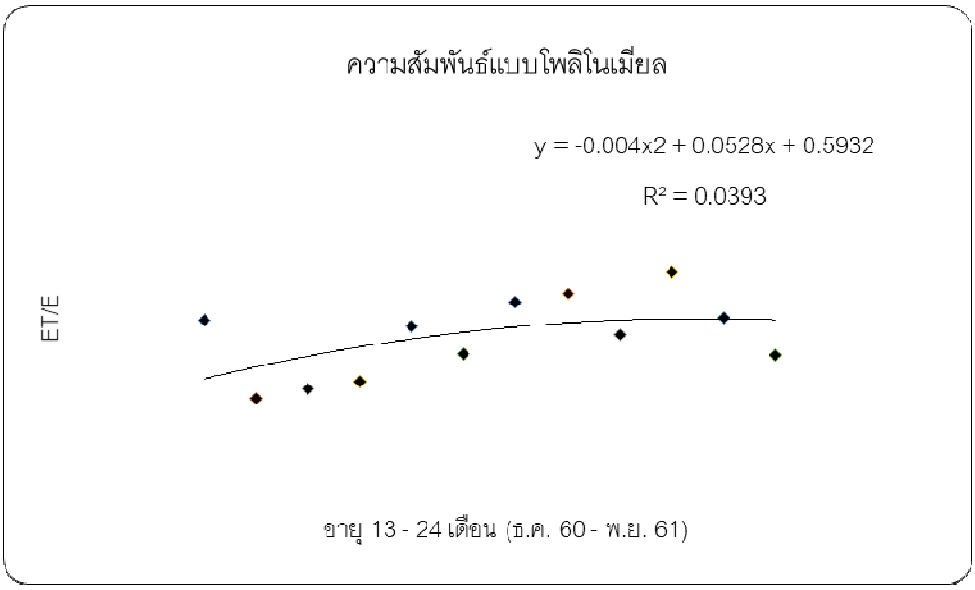
1.4 สัมประสิทธิ์ของถาดวัดการระเหยเบ็ดเสร็จ (Overall Pan coefficient: ET/E, K'p) ของกาแฟโรบัสต้า

ค่าสัมประสิทธิ์ของถาดวัดการระเหยเบ็ดเสร็จของกาแฟโรบัสต้า ในช่วงอายุก่อนการให้ผลผลิตอายุ 1-12 เดือนหลังย้ายปลูก ตั้งแต่วันที่ 1 ธันวาคม 2559 ถึง วันที่ 30 พฤศจิกายน 2560 โดยคำนวณจากสัดส่วนของค่าการคายระเหยของกาแฟโรบัสตา กับค่าการระเหยของน้ำจากถาดวัดการระเหย พบว่ามีค่าเฉลี่ยรายเดือนเท่ากับ 0.74, 0.79, 0.59, 0.80, 0.80, 1.15, 0.99, 0.84, 0.94, 1.29, 1.10 และ 1.04 ตามลำดับ เฉลี่ยเท่ากับ 0.91 ค่าเฉลี่ยต่ำสุดในเดือนกุมภาพันธ์ 2560 เท่ากับ 2.56 มิลลิเมตรต่อวัน สูงสุดในเดือนกันยายน 2560 เท่ากับ 5.14 มิลลิเมตรต่อวัน (ภาพที่ 5.1-5 และตารางที่ 5.1-7)



ภาพที่ 5.1-5 ความสัมพันธ์แบบโพลิโนเมียลระหว่างค่าสัมประสิทธิ์ของถาดวัดการระเหยเบ็ดเสร็จและอายุหลังปลูกของกาแฟโรบัสตา ที่ปลูกในถังวัดการใช้น้ำของพืช

ค่าสัมประสิทธิ์ของถาดวัดการระเหยเบ็ดเสร็จของกาแฟโรบัสตา ในช่วงให้ผลผลิตอายุ 13-24 เดือนหลังย้ายปลูก ตั้งแต่วันที่ 1 ธันวาคม 2560 ถึง วันที่ 30 พฤศจิกายน 2561 โดยคำนวณจากสัดส่วนของค่าการคายระเหยของกาแฟโรบัสตา กับค่าการระเหยของน้ำจากถาดวัดการระเหย พบว่ามีค่าเฉลี่ยรายเดือนเท่ากับ 0.89, 0.46, 0.51, 0.55, 0.86, 0.71, 0.99, 1.04, 0.81, 1.15, 0.90 และ 0.70 ตามลำดับ เฉลี่ยเท่ากับ 0.80 ค่าเฉลี่ยต่ำสุดในเดือนมกราคม 2561 เท่ากับ 0.46 สูงสุดในเดือนกันยายน 2561 เท่ากับ 1.15 (ภาพที่ 5.1-8)



ภาพที่ 5.1-6 ความสัมพันธ์แบบโพลิโนเมียลระหว่างค่าสัมประสิทธิ์ของถาดวัดการระเหยเบ็ดเสร็จและอายุหลังปลูกของกาแฟโรบัสต้า ที่ปลูกในถังวัดการใช้น้ำของพืช

1.5 ปริมาณการใช้น้ำของพืชอ้างอิง (Reference Crop Evapotranspiration: ETo)

1) สมการ Pan Method ปริมาณการใช้น้ำของพืชอ้างอิงที่คำนวณโดยใช้โดยสมการ Pan Method ช่วงก่อนให้ผลผลิต ตั้งแต่วันที่ 1 ธันวาคม 2559 ถึง วันที่ 30 พฤศจิกายน 2560 คิดเป็นรายเดือนเท่ากับ 90.83, 87.42, 119.56, 143.84, 129.00, 106.02, 110.70, 115.01, 111.60, 101.70, 105.40 และ 93.00 มิลลิเมตรต่อเดือน เฉลี่ยต่อวันของแต่ละเดือนเท่ากับ 2.39, 2.82, 4.27, 4.64, 4.30, 3.42, 3.69, 3.71, 3.60, 3.39, 3.40 และ 3.10 มิลลิเมตรต่อวัน ตามลำดับ ค่าเฉลี่ยเท่ากับ 3.61 มิลลิเมตรต่อวัน โดยค่าปริมาณการใช้น้ำของพืชอ้างอิงจากสมการ Pan Method ในช่วงดังกล่าวมีค่าสูงสุดในเดือนมีนาคม 2560 เท่ากับ 4.64 มิลลิเมตรต่อวัน และมีค่าต่ำสุดในเดือนมกราคม 2560 เท่ากับ 2.82 มิลลิเมตรต่อวัน (ตารางที่ 5.3 และ 5.4)

ช่วงการให้ผลผลิต ตั้งแต่วันที่ 1 ธันวาคม 2560 ถึง วันที่ 30 พฤศจิกายน 2561 คิดเป็นรายเดือนเท่ากับ 71.30, 94.86, 131.88, 146.94, 132.60, 107.88, 89.40, 107.26, 117.18, 95.10, 90.21 และ 72.90 มิลลิเมตรต่อเดือน เฉลี่ยต่อวันของแต่ละเดือนเท่ากับ 2.30, 3.06, 4.71, 4.74, 4.42, 3.48, 2.98, 3.46, 3.78, 3.17, 2.91 และ 2.43 มิลลิเมตรต่อวัน ตามลำดับ ค่าเฉลี่ยเท่ากับ 3.45 มิลลิเมตรต่อวัน โดยค่า ปริมาณการใช้น้ำของพืชอ้างอิงจากสมการ Pan Method ในช่วงดังกล่าวมีค่าสูงสุดในเดือนมีนาคม 2561 เท่ากับ 4.74 มิลลิเมตรต่อวัน และมีค่าต่ำสุดในเดือนธันวาคม 2560 เท่ากับ 2.30 มิลลิเมตรต่อวัน (ตารางที่ 5.1-5 และ 5..1-6)

2) สมการ Hargreaves คำนวณหาปริมาณการใช้น้ำของพืชอ้างอิงที่คำนวณโดยใช้โดยสมการ Hargreaves ตั้งแต่วันที่ 1 ธันวาคม 2559 ถึง วันที่ 30 พฤศจิกายน 2560 คิดเป็นรายเดือนเท่ากับ 116.20, 123.97, 134.49, 173.25, 159.49, 161.47, 151.56, 157.56, 159.80, 152.43, 150.55 และ 118.69 มิลลิเมตรต่อเดือน เฉลี่ยต่อวันของแต่ละเดือนเท่ากับ 3.75, 4.00, 4.80, 5.59, 5.32, 5.21, 5.05, 5.08, 5.15, 5.08, 4.86 และ 3.96 มิลลิเมตรต่อวัน ตามลำดับ ค่าเฉลี่ยเท่ากับ 4.82 มิลลิเมตรต่อวัน โดยค่าปริมาณการใช้น้ำของพืชอ้างอิงจากสมการ Hargreves ในช่วงดังกล่าวมีค่าสูงสุดในเดือนมีนาคม 2560 เท่ากับ 5.59 มิลลิเมตรต่อวัน และมีค่าต่ำสุดในเดือนธันวาคม 2559 เท่ากับ 3.75 มิลลิเมตรต่อวัน (ตารางที่ 5.1-3 และ 5.1-4)

ช่วงการให้ผลผลิต ตั้งแต่วันที่ 1 ธันวาคม 2560 ถึง วันที่ 30 พฤศจิกายน 2561 คิดเป็นรายเดือนเท่ากับ 118.53, 125.04, 142.92, 170.51, 164.82, 163.60, 149.02, 158.67, 164.61, 153.78, 146.50 และ 130.74 มิลลิเมตรต่อเดือน เฉลี่ยต่อวันของแต่ละเดือนเท่ากับ 3.82, 4.03, 5.10, 5.50, 5.49, 5.28, 4.97, 5.12, 5.31, 5.13, 4.73 และ 4.36 มิลลิเมตรต่อวัน ตามลำดับ ค่าเฉลี่ยเท่ากับ 4.90 มิลลิเมตรต่อวัน โดยค่าปริมาณการใช้น้ำของพืชอ้างอิงจากสมการ Hargreaves ในช่วงดังกล่าวมีค่าสูงสุดในเดือนมีนาคม 2561 เท่ากับ 5.50 มิลลิเมตรต่อวัน และมีค่าต่ำสุดในเดือนธันวาคม 2560 เท่ากับ 3.82 มิลลิเมตรต่อวัน (ตารางที่ 5.1-5 และ 5.1-6)

3) สมการ Radiation ปริมาณการใช้น้ำของพืชอ้างอิงที่คำนวณโดยใช้โดยสมการ Radiation ตั้งแต่วันที่ 1 ธันวาคม 2559 ถึง วันที่ 30 พฤศจิกายน 2560 คิดเป็นรายเดือนเท่ากับ 77.27, 92.16, 132.95, 157.49, 140.44, 122.93, 116.18, 124.65, 126.89, 114.66, 119.29 และ 83.58 มิลลิเมตรต่อเดือน เฉลี่ยต่อวันของแต่ละเดือนเท่ากับ 2.49, 2.97, 4.75, 5.08, 4.68, 3.97, 3.87, 4.02, 4.09, 3.82, 3.85 และ 2.79 มิลลิเมตรต่อวัน ตามลำดับ ค่าเฉลี่ยเท่ากับ 3.87 มิลลิเมตรต่อวัน โดยค่าปริมาณการใช้น้ำของพืชอ้างอิงจากสมการ Radiation ในช่วงดังกล่าวมีค่าสูงสุดในเดือนมีนาคม 2560 เท่ากับ 5.08 มิลลิเมตรต่อวัน และมีค่าต่ำสุดในเดือนธันวาคม 2559 เท่ากับ 2.49 มิลลิเมตรต่อวัน (ตารางที่ 5.1-3 และ 5.1-4)

ช่วงการให้ผลผลิต วันที่ 1 ธันวาคม 2560 ถึง วันที่ 30 พฤศจิกายน 2561 คิดเป็นรายเดือนเท่ากับ 75.92, 96.29, 142.00, 164.78, 148.58, 133.16, 100.63, 111.63, 128.49, 112.03, 114.37 และ 104.49 มิลลิเมตรต่อเดือน เฉลี่ยต่อวันของแต่ละเดือนเท่ากับ 2.45, 3.11, 5.07, 5.32, 4.95, 4.30, 3.35, 3.60, 4.14, 3.73, 3.69 และ 3.48 มิลลิเมตรต่อวัน ตามลำดับ ค่าเฉลี่ยเท่ากับ 3.93 มิลลิเมตรต่อวัน โดยค่าปริมาณการใช้น้ำของพืชอ้างอิงจากสมการ Radiation ในช่วงดังกล่าวมีค่าสูงสุดในเดือนมีนาคม 2561 เท่ากับ 5.32 มิลลิเมตรต่อวัน และมีค่าต่ำสุดในเดือนธันวาคม 2560 เท่ากับ 2.45 มิลลิเมตรต่อวัน (ตารางที่ 5.1-5 และ 5.1-6)

4) สมการ Blaney Criddle ปริมาณการใช้น้ำของพืชอ้างอิงที่คำนวณโดยใช้โดยสมการ Blaney Criddle ตั้งแต่วันที่ 1 ธันวาคม 2559 ถึง วันที่ 30 พฤศจิกายน 2560 คิดเป็นรายเดือนเท่ากับ 100.12, 100.11, 94.32, 108.33, 111.79, 117.69, 113.74, 118.02, 115.26, 111.06, 108.15 และ 98.13มิลลิเมตรต่อเดือน เฉลี่ยต่อวันของแต่ละเดือนเท่ากับ 3.23, 3.23, 3.37, 3.49, 3.73, 3.80, 3.79, 3.81, 3.72, 3.70, 3.49 และ 3.27 มิลลิเมตรต่อวัน ตามลำดับ ค่าเฉลี่ยเท่ากับ 3.55 มิลลิเมตรต่อวัน โดยค่าปริมาณการใช้น้ำของพืชอ้างอิงจากสมการ Blaney Criddle ในช่วงดังกล่าวมีค่าสูงสุดในเดือนกรกฎาคม 2560 เท่ากับ 3.81 มิลลิเมตรต่อวัน และมีค่าต่ำสุดในเดือนมกราคม 2560 เท่ากับ 3.23 มิลลิเมตรต่อวัน (ตารางที่ 5.1-3 และ 5.1-4)

ช่วงการให้ผลผลิต ตั้งแต่วันที่ 1 ธันวาคม 2560 ถึง วันที่ 30 พฤศจิกายน 2561 คิดเป็นรายเดือนเท่ากับ 100.22, 101.15, 93.31, 107.88, 111.86, 117.03, 113.38, 117.83, 116.49, 110.05, 106.85 และ 99.94 มิลลิเมตรต่อเดือน เฉลี่ยต่อวันของแต่ละเดือนเท่ากับ 3.23, 3.26, 3.33, 3.48, 3.73, 3.78, 3.78, 3.80, 3.76, 3.67, 3.45 และ 3.33 มิลลิเมตรต่อวัน ตามลำดับ ค่าเฉลี่ยเท่ากับ 3.55 มิลลิเมตรต่อวัน โดยค่าปริมาณการใช้น้ำของพืชอ้างอิงจากสมการ Blaney Criddle ในช่วงดังกล่าวมีค่าสูงสุดในเดือนกรกฎาคม 2561 เท่ากับ 3.80 มิลลิเมตรต่อวัน และมีค่าต่ำสุดในเดือนธันวาคม 2560 เท่ากับ 3.23 มิลลิเมตรต่อวัน (ตารางที่ 5.1-5 และ 5.1-6)

5) สมการ Modified Penman ปริมาณการใช้น้ำของพืชอ้างอิงที่คำนวณโดยใช้โดยสมการ Modified Penman ตั้งแต่วันที่ 1 ธันวาคม 2559 ถึง วันที่ 30 พฤศจิกายน 2560 คิดเป็นรายเดือนเท่ากับ 91.22, 103.31, 146.87, 174.91, 154.45, 137.83, 130.08, 139.70, 143.00, 130.49, 132.98 และ 95.08 มิลลิเมตรต่อเดือน เฉลี่ยต่อวันของแต่ละเดือนเท่ากับ 2.94, 3.33, 5.2, 5.64, 5.15, 4.45, 4.34, 4.51, 4.61, 4.35, 4.29 และ 3.17

มิลลิเมตรต่อวัน ตามลำดับ ค่าเฉลี่ยเท่ากับ 4.34 มิลลิเมตรต่อวัน โดยค่าปริมาณการใช้น้ำของพืชอ้างอิงจากสมการ Modified Penman ในช่วงดังกล่าวมีค่าสูงสุดในเดือนมีนาคม 2560 เท่ากับ 5.64 มิลลิเมตรต่อวัน และมีค่าต่ำสุดในเดือนธันวาคม 2559 เท่ากับ 2.94 มิลลิเมตรต่อวัน (ตารางที่ 5.1-3 และ 5.1-4)

ช่วงการให้ผลผลิต ตั้งแต่วันที่ 1 ธันวาคม 2560 ถึง วันที่ 30 พฤศจิกายน 2561 คิดเป็นรายเดือนเท่ากับ 89.20, 106.58, 155.66, 179.04, 162.99, 145.39, 112.88, 125.70, 142.47, 126.15, 125.22 และ 113.41 มิลลิเมตรต่อเดือน เฉลี่ยต่อวันของแต่ละเดือนเท่ากับ 2.88, 3.44, 5.56, 5.78, 5.43, 4.69, 3.76, 4.05, 4.60, 4.20, 4.04 และ 3.78 มิลลิเมตรต่อวัน ตามลำดับ ค่าเฉลี่ยเท่ากับ 4.35 มิลลิเมตรต่อวัน โดยค่าปริมาณการใช้น้ำของพืชอ้างอิงจากสมการ Modified Penman ในช่วงดังกล่าวมีค่าสูงสุดในเดือนมีนาคม 2561 เท่ากับ 5.78 มิลลิเมตรต่อวัน และมีค่าต่ำสุดในเดือนธันวาคม 2560 เท่ากับ 2.88 มิลลิเมตรต่อวัน (ตารางที่ 5.1-5 และ 5.1-6)

6) สมการ Penman Monteith ปริมาณการใช้น้ำของพืชอ้างอิงที่คำนวณโดยใช้โดยสมการ Penman Monteith ตั้งแต่วันที่ 1 ธันวาคม 2559 ถึง วันที่ 30 พฤศจิกายน 2560 คิดเป็นรายเดือนเท่ากับ 80.02, 90.80, 118.84, 143.12, 130.98, 119.55, 112.35, 119.03, 121.52, 112.15, 113.65 และ 84.19 มิลลิเมตรต่อเดือน เฉลี่ยต่อวันของแต่ละเดือนเท่ากับ 2.58, 2.93, 4.24, 4.62, 4.37, 3.86, 3.75, 3.84, 3.92, 3.74, 3.67 และ 2.81 มิลลิเมตรต่อวัน ตามลำดับ ค่าเฉลี่ยเท่ากับ 3.69 มิลลิเมตรต่อวัน โดยค่า ปริมาณการใช้น้ำของพืชอ้างอิงจากสมการ Penman Monteith ในช่วงดังกล่าวมีค่าสูงสุดในเดือนมีนาคม 2560 เท่ากับ 4.62 มิลลิเมตรต่อวัน และมีค่าต่ำสุดในเดือนธันวาคม 2559 เท่ากับ 2.58 มิลลิเมตรต่อวัน (ตารางที่ 5.1-3 และ 5.1-4)

ช่วงการให้ผลผลิต ตั้งแต่วันที่ 1 ธันวาคม 2560 ถึง วันที่ 30 พฤศจิกายน 2561 คิดเป็นรายเดือนเท่ากับ 79.02, 93.91, 124.57, 147.61, 137.06, 126.84, 100.82, 109.47, 123.23, 109.01, 109.23 และ 99.27 มิลลิเมตรต่อเดือน เฉลี่ยต่อวันของแต่ละเดือนเท่ากับ 2.55, 3.03, 4.45, 4.76, 4.57, 4.09, 3.36, 3.53, 3.98, 3.63, 3.52 และ 3.31 มิลลิเมตรต่อวัน ตามลำดับ ค่าเฉลี่ยเท่ากับ 3.73 มิลลิเมตรต่อวัน โดยค่า ปริมาณการใช้น้ำของพืชอ้างอิงจากสมการ Penman Monteith ในช่วงดังกล่าวมีค่าสูงสุดในเดือนมีนาคม 2561 เท่ากับ 4.76 มิลลิเมตรต่อวัน และมีค่าต่ำสุดในเดือนธันวาคม 2560 เท่ากับ 2.55 มิลลิเมตรต่อวัน (ตารางที่ 5.1-5 และ 5.1-6)

ตารางที่ 5.1-3 ปริมาณการใช้น้ำของพืชอ้างอิง จากสมการต่างๆ ในช่วงก่อนให้ผลผลิต (หน่วย: มิลลิเมตรต่อเดือน)

วัน/เดือน/ปี	จำนวนวัน	ปริมาณการใช้น้ำของพืชอ้างอิง (Reference Crop Evapotranspiration : ETo) จากสูตรต่างๆ (มม./เดือน)					
		Pan Method	Hargreaves	Radiation	Blaney Criddle	Modified Penman	Penman Monteith
1-31 ธ.ค. 59	31	90.83	116.20	77.27	100.12	91.22	80.02
1-31 ม.ค. 60	31	87.42	123.97	92.16	100.11	103.31	90.80
1-28 ก.พ. 60	28	119.56	134.49	132.95	94.32	146.87	118.84
1-31 มี.ค. 60	31	143.84	173.25	157.49	108.33	174.91	143.12
1-30 เม.ย. 60	30	129.00	159.49	140.44	111.79	154.45	130.98
1-31 พ.ค. 60	31	106.02	161.47	122.93	117.69	137.83	119.55
1-30 มิ.ย. 60	30	110.70	151.56	116.18	113.74	130.08	112.35
1-31 ก.ค. 60	31	115.01	157.56	124.65	118.02	139.70	119.03
1-31 ส.ค. 60	31	111.60	159.80	126.89	115.26	143.00	121.52
1-30 ก.ย. 60	30	101.70	152.43	114.66	111.06	130.49	112.15
1-31 ต.ค. 60	31	105.40	150.55	119.29	108.15	132.98	113.65
1-30 พ.ย. 60	30	93.00	118.69	83.58	98.13	95.08	84.19
เฉลี่ย	**-**	**109.51**	**146.62**	**117.37**	**108.06**	**131.66**	**112.18**
รวม	**365**	**1314.08**	**1759.46**	**1408.49**	**1296.70**	**1579.92**	**1346.20**

ตารางที่ 5.1-4 ปริมาณการใช้น้ำของพืชอ้างอิง จากสมการต่างๆ ในช่วงการให้ผลผลิต (หน่วย: มิลลิเมตรต่อเดือน)

วัน/เดือน/ปี	จำนวนวัน	ปริมาณการใช้น้ำของพืชอ้างอิง (Reference Crop Evapotranspiration : ETo) จากสมการต่างๆ (มม./เดือน)					
		Pan Method	Hargreaves	Radiation	Blaney Criddle	Modified Penman	Penman Monteith
1-31 ธ.ค. 60	31	71.30	118.53	75.92	100.22	89.20	79.02
1-31 ม.ค. 61	31	94.86	125.04	96.29	101.15	106.58	93.91
1-28 ก.พ. 61	28	131.88	142.92	142.00	93.31	155.66	124.57
1-31 มี.ค. 61	31	146.94	170.51	164.78	107.88	179.04	147.61
1-30 เม.ย. 61	30	132.60	164.82	148.58	111.86	162.99	137.06
1-31 พ.ค. 61	31	107.88	163.60	133.16	117.03	145.39	126.84
1-30 มิ.ย. 61	30	89.40	149.02	100.63	113.38	112.88	100.82
1-31 ก.ค. 61	31	107.26	158.67	111.63	117.83	125.70	109.47
1-31 ส.ค. 61	31	117.18	164.61	128.49	116.49	142.47	123.23
1-30 ก.ย. 61	30	95.10	153.78	112.03	110.05	126.15	109.01
1-31 ต.ค. 61	31	90.21	146.50	114.37	106.85	125.22	109.23
1-30 พ.ย. 61	30	72.90	130.74	104.49	99.94	113.41	99.27
เฉลี่ย	**-**	**104.79**	**149.06**	**119.36**	**108.00**	**132.06**	**113.34**
รวม	**365**	**1257.51**	**1788.72**	**1432.35**	**1295.98**	**1584.67**	**1360.05**

ตารางที่ 5.1-5 ปริมาณการใช้น้ำของพืชอ้างอิง จากสมการต่างๆ ในช่วงก่อนให้ผลผลิต (หน่วย: มิลลิเมตรต่อวัน)

วัน/เดือน/ปี	จำนวนวัน	ปริมาณการใช้น้ำของพืชอ้างอิง (Reference Crop Evapotranspiration : ETo) จากสูตรต่างๆ (มม./วัน)					
		Pan Method	Hargreaves	Radiation	Blaney Criddle	Modified Penman	Penman Monteith
1-31 ธ.ค. 59	31	2.93	3.75	2.49	3.23	2.94	2.58
1-31 ม.ค. 60	31	2.82	4.00	2.97	3.23	3.33	2.93
1-28 ก.พ. 60	28	4.27	4.80	4.75	3.37	5.25	4.24
1-31 มี.ค. 60	31	4.64	5.59	5.08	3.49	5.64	4.62
1-30 เม.ย. 60	30	4.30	5.32	4.68	3.73	5.15	4.37
1-31 พ.ค. 60	31	3.42	5.21	3.97	3.80	4.45	3.86
1-30 มิ.ย. 60	30	3.69	5.05	3.87	3.79	4.34	3.75
1-31 ก.ค. 60	31	3.71	5.08	4.02	3.81	4.51	3.84
1-31 ส.ค. 60	31	3.60	5.15	4.09	3.72	4.61	3.92
1-30 ก.ย. 60	30	3.39	5.08	3.82	3.70	4.35	3.74
1-31 ต.ค. 60	31	3.40	4.86	3.85	3.49	4.29	3.67
1-30 พ.ย. 60	30	3.10	3.96	2.79	3.27	3.17	2.81
เฉลี่ย	**-**	**3.61**	**4.82**	**3.87**	**3.55**	**4.34**	**3.69**
รวม	**365**	**-**	**-**	**-**	**-**	**-**	**-**

ตารางที่ 5.1-6 ปริมาณการใช้น้ำของพืชอ้างอิง จากสมการต่างๆ ในช่วงการให้ผลผลิต (หน่วย: มิลลิเมตรต่อวัน)

วัน/เดือน/ปี	จำนวนวัน	ปริมาณการใช้น้ำของพืชอ้างอิง (Reference Crop Evapotranspiration : ETo) จากสมการต่างๆ (มม./วัน)					
		Pan Method	Hargreaves	Radiation	Blaney Criddle	Modified Penman	Penman Monteith
1-31 ธ.ค. 60	31	2.30	3.82	2.45	3.23	2.88	2.55
1-31 ม.ค. 61	31	3.06	4.03	3.11	3.26	3.44	3.03
1-28 ก.พ. 61	28	4.71	5.10	5.07	3.33	5.56	4.45
1-31 มี.ค. 61	31	4.74	5.50	5.32	3.48	5.78	4.76
1-30 เม.ย. 61	30	4.42	5.49	4.95	3.73	5.43	4.57
1-31 พ.ค. 61	31	3.48	5.28	4.30	3.78	4.69	4.09
1-30 มิ.ย. 61	30	2.98	4.97	3.35	3.78	3.76	3.36
1-31 ก.ค. 61	31	3.46	5.12	3.60	3.80	4.05	3.53
1-31 ส.ค. 61	31	3.78	5.31	4.14	3.76	4.60	3.98
1-30 ก.ย. 61	30	3.17	5.13	3.73	3.67	4.20	3.63
1-31 ต.ค. 61	31	2.91	4.73	3.69	3.45	4.04	3.52
1-30 พ.ย. 61	30	2.43	4.36	3.48	3.33	3.78	3.31
เฉลี่ย	**-**	**3.45**	**4.90**	**3.93**	**3.55**	**4.35**	**3.73**
รวม	**365**	**-**	**-**	**-**	**-**	**-**	**-**

1.6 ค่าสัมประสิทธิ์การใช้น้ำของพืช (Crop Coefficient: Kc) ของกาแฟโรบัสตา

1) สมการ Pan Method ค่าสัมประสิทธิ์การใช้น้ำของกาแฟโรบัสต้า ที่คำนวณโดยใช้สมการ Pan Methodในช่วงก่อนให้ผลผลิต ตั้งแต่วันที่ 1 ธันวาคม 2559 ถึง วันที่ 30 พฤศจิกายน 2560 รวม 12 เดือน มีค่าเป็นรายเดือน 0.88, 0.93, 0.70, 0.95, 0.94, 1.35, 1.16, 0.99, 1.10, 1.52, 1.19 และ 1.22 ตามลำดับ เฉลี่ยตลอดช่วงอายุ 1.08 โดยค่า Kc ของกาแฟโรบัสต้า จากสมการ Pan Method ในช่วงอายุดังกล่าวมีค่าสูงสุดในเดือน กันยายน 2560 1.52 และมีค่าต่ำสุดในเดือน กุมภาพันธ์ 2560 0.70 (ตารางที่ 5.1-11)

ส่วนในช่วงการให้ผลผลิต ตั้งแต่วันที่ 1 ธันวาคม 2560 ถึง วันที่ 30 พฤศจิกายน 2561 รวม 12 เดือน มีค่าเป็นรายเดือน 1.05, 0.54, 0.60, 0.65, 1.01, 0.83, 1.17, 1.22, 0.96, 1.36, 1.06 และ 0.82 ตามลำดับ เฉลี่ยตลอดช่วงอายุ 0.94 โดยค่า Kc ของกาแฟโรบัสต้า จากสมการ Pan Method มีค่าสูงสุดในเดือนกันยายน 2561 1.36 และมีค่าต่ำสุดในเดือนมกราคม 2561 0.54 (ตารางที่ 5.1-16)

2) สมการ Hargreaves ค่าสัมประสิทธิ์การใช้น้ำของกาแฟโรบัสต้า ที่คำนวณโดยใช้สมการ Hargreaves ในช่วงก่อนให้ผลผลิต ตั้งแต่วันที่ 1 ธันวาคม 2559 ถึง วันที่ 30 พฤศจิกายน 2560 รวม 12 เดือน มีค่าเป็นรายเดือนเท่ากับ 0.68, 0.65, 0.62, 0.79, 0.76, 0.89, 0.85, 0.72, 0.77, 1.01, 0.83 และ 0.96 ตามลำดับ เฉลี่ยตลอดช่วงอายุเท่ากับ 0.79 โดยค่า Kc ของกาแฟโรบัสต้า จากสมการ Hargreaves ในช่วงอายุดังกล่าวมีค่าสูงสุดในเดือน กันยายน 2560 เท่ากับ 1.01 และมีค่าต่ำสุดในเดือน กุมภาพันธ์ 2560 เท่ากับ 0.62 (ตารางที่ 5.1-11)

ส่วนในช่วงการให้ผลผลิต ตั้งแต่วันที่ 1 ธันวาคม 2560 ถึง วันที่ 30 พฤศจิกายน 2561 รวม 12 เดือน มีค่าเป็นรายเดือน 0.63, 0.41, 0.56, 0.56, 0.81, 0.55, 0.70, 0.82, 0.68, 0.84, 0.65 และ 0.46 ตามลำดับ เฉลี่ยตลอดช่วงอายุ 0.64 โดยค่า Kc ของกาแฟโรบัสต้า จากสมการ Hargreaves มีค่าสูงสุดในเดือนกันยายน 2561 1.36 และมีค่าต่ำสุดในเดือนมกราคม 2561 0.54 (ตารางที่ 5.1-16)

3) สมการ Radiation ค่าสัมประสิทธิ์การใช้น้ำของกาแฟโรบัสต้า ที่คำนวณโดยใช้สมการ Radiation ในช่วงก่อนให้ผลผลิต ตั้งแต่วันที่ 1 ธันวาคม 2559 ถึง วันที่ 30 พฤศจิกายน 2560 รวม 12 เดือน มีค่าเป็นรายเดือน 1.03, 0.88, 0.63, 0.86, 1.16, 1.11, 0.91, 0.97, 1.34, 1.05 และ 1.36 ตามลำดับ เฉลี่ยตลอดช่วงอายุ 1.01 โดยค่า Kc ของกาแฟโรบัสต้า จากสมการ Radiation ในช่วงอายุดังกล่าวมีค่าสูงสุดในเดือน พฤศจิกายน 2560 1.36 และมีค่าต่ำสุดในเดือน กุมภาพันธ์ 2560 0.63 (ตารางที่ 5.1-11)

ส่วนในช่วงการให้ผลผลิต ตั้งแต่วันที่ 1 ธันวาคม 2560 ถึง วันที่ 30 พฤศจิกายน 2561 รวม 12 เดือน มีค่าเป็นรายเดือน 0.98, 0.53, 0.56, 0.58, 0.90, 0.67, 1.04, 1.17, 0.87, 1.15, 0.84 และ 0.57 ตามลำดับ เฉลี่ยตลอดช่วงอายุ 0.82 โดยค่า Kc ของกาแฟโรบัสต้า จากสมการ Radiation มีค่าสูงสุดในเดือนกรกฎาคม 2561 1.17 และมีค่าต่ำสุดในเดือนมกราคม 2561 0.53 (ตารางที่ 5.1-16)

4) สมการ Blaney Criddle ค่าสัมประสิทธิ์การใช้น้ำของกาแฟโรบัสต้า ที่คำนวณโดยใช้สมการ Blaney Criddle ในช่วงก่อนให้ผลผลิต ตั้งแต่วันที่ 1 ธันวาคม 2559 ถึง วันที่ 30 พฤศจิกายน 2560 รวม 12 เดือน มีค่าเป็นรายเดือน 0.79, 0.81, 0.88, 1.26, 1.08, 1.22, 1.13, 0.96, 1.06, 1.39, 1.16 และ 1.16 ตามลำดับ เฉลี่ยตลอดช่วงอายุ 1.08 โดยค่า Kc ของกาแฟโรบัสต้า จากสมการ Blaney Criddle ในช่วงอายุดังกล่าวมีค่าสูงสุดในเดือน กันยายน 2560 1.39 และมีค่าต่ำสุดในเดือน มกราคม 2560 0.79 (ตารางที่ 5.1-11)

ส่วนในช่วงการให้ผลผลิต ตั้งแต่วันที่ 1 ธันวาคม 2560 ถึง วันที่ 30 พฤศจิกายน 2561 รวม 12 เดือน มีค่าเป็นรายเดือน 0.74, 0.51, 0.85, 0.89, 1.20, 0.76, 0.92, 1.11, 0.96, 1.17, 0.90 และ 0.60 ตามลำดับ เฉลี่ยตลอดช่วงอายุ 0.89 โดยค่า Kc ของกาแฟโรบัสต้าจากสมการ Blaney Criddle มีค่าสูงสุดในเดือนเมษายน 2561 1.20 และมีค่าต่ำสุดในเดือนมกราคม 2561 0.51 (ตารางที่ 5.1-16)

5) สมการ Modified Penman ค่าสัมประสิทธิ์การใช้น้ำของกาแฟโรบัสต้า ที่คำนวณโดยใช้สมการ Modified Penmanในช่วงก่อนให้ผลผลิต ตั้งแต่วันที่ 1 ธันวาคม 2559 ถึง วันที่ 30 พฤศจิกายน 2560 รวม 12 เดือน มีค่า 0.87, 0.78, 0.57, 0.78, 0.78, 1.04, 0.99, 0.81, 0.86, 1.18, 0.94 และ 1.19 ตามลำดับ เฉลี่ยตลอดช่วงอายุ 0.90 โดยค่า Kc ของกาแฟโรบัสต้า จากสมการ Modified Penman ในช่วงอายุดังกล่าวมีค่าสูงสุดในเดือน พฤศจิกายน 2560 1.19 และมีค่าต่ำสุดในเดือน กุมภาพันธ์ 2560 0.57 (ตารางที่ 5.1-11)

ส่วนในช่วงการให้ผลผลิต ตั้งแต่วันที่ 1 ธันวาคม 2560 ถึง วันที่ 30 พฤศจิกายน 2561 รวม 12 เดือน มีค่าเป็นรายเดือน 0.84, 0.48, 0.51, 0.53, 0.82, 0.62, 0.93, 1.04, 0.79, 1.02, 0.76 และ 0.53 ตามลำดับ เฉลี่ยตลอดช่วงอายุ 0.74 โดยค่า Kc ของกาแฟโรบัสต้า จากสมการ Modified Penman มีค่าสูงสุดในเดือนกรกฎาคม 2561 1.04 และมีค่าต่ำสุดในเดือนมกราคม 2561 0.48 (ตารางที่ 5.1-16)

6) สมการ Penman Monteith ค่าสัมประสิทธิ์การใช้น้ำของกาแฟโรบัสต้า ที่คำนวณโดยใช้สมการ Penman Monteith ในช่วงก่อนให้ผลผลิต ตั้งแต่วันที่ 1 ธันวาคม 2559 ถึง วันที่ 30 พฤศจิกายน 2560 รวม 12 เดือน มีค่าเป็นรายเดือน 0.99, 0.89, 0.70, 0.95, 0.92, 1.20, 1.15, 0.95, 1.01, 1.37, 1.10 และ 1.35 ตามลำดับ เฉลี่ยตลอดช่วงอายุ 1.05 โดยค่า Kc ของกาแฟโรบัสต้า จากสมการ Penman Monteith ในช่วงอายุดังกล่าวมีค่าสูงสุดในเดือน กันยายน 2560 1.37 และมีค่าต่ำสุดในเดือน กุมภาพันธ์ 2560 0.70 (ตารางที่ 5.1-11)

ส่วนในช่วงการให้ผลผลิต ตั้งแต่วันที่ 1 ธันวาคม 2560 ถึง วันที่ 30 พฤศจิกายน 2561 รวม 12 เดือน มีค่าเป็นรายเดือน 0.94, 0.55, 0.64, 0.65, 0.98, 0.71, 1.04, 1.20, 0.91, 1.19, 0.88 และ 0.60 ตามลำดับ เฉลี่ยตลอดช่วงอายุ 0.86 โดยค่า Kc ของกาแฟโรบัสต้า จากสมการ Penman Monteith มีค่าสูงสุดในเดือนกรกฎาคม 2561 1.20 และมีค่าต่ำสุดในเดือนมกราคม 2561 0.55 (ตารางที่ 5.1-16)

ตารางที่ 5.1-7 ค่าสัมประสิทธิ์การใช้น้ำ ของกาแฟโรบัสตาที่ปลูกในถังวัดปริมาณการใช้น้ำ ถัง A ในช่วงก่อนให้ผลผลิต

Lysimeter A									
วัน/เดือน/ปี	จำนวนวัน	อายุ (เดือน)	ET/E	ค่าสัมประสิทธิ์การใช้น้ำ (Crop Coefficient : Kc , ET/ETo) ของกาแฟโรบัสต้า					
				Pan Method	Hargreaves	Radiation	Blaney Criddle	Modified Penman	Penman Monteith
1-31 ธ.ค. 59	31	1	0.75	0.88	0.69	1.03	0.80	0.87	1.00
1-31 ม.ค. 60	31	2	0.78	0.92	0.65	0.87	0.80	0.78	0.89
1-28 ก.พ. 60	28	3	0.60	0.71	0.63	0.64	0.90	0.57	0.71
1-31 มี.ค. 60	31	4	0.80	0.94	0.78	0.86	1.25	0.77	0.94
1-30 เม.ย. 60	30	5	0.79	0.93	0.75	0.85	1.07	0.78	0.92
1-31 พ.ค. 60	31	6	1.17	1.37	0.90	1.19	1.24	1.06	1.22
1-30 มิ.ย. 60	30	7	1.03	1.21	0.89	1.16	1.18	1.03	1.19
1-31 ก.ค. 60	31	8	0.82	0.97	0.71	0.89	0.94	0.80	0.93
1-31 ส.ค. 60	31	9	0.99	1.17	0.81	1.03	1.13	0.91	1.07
1-30 ก.ย. 60	30	10	1.31	1.54	1.03	1.36	1.41	1.20	1.40
1-31 ต.ค. 60	31	11	1.01	1.18	0.83	1.05	1.15	0.94	1.10
1-30 พ.ย. 60	30	12	1.12	1.32	1.03	1.46	1.25	1.29	1.45
เฉลี่ย	**-**	**-**	**0.93**	**1.09**	**0.81**	**1.03**	**1.09**	**0.92**	**1.07**
รวม	**365**	**12**	**-**	**-**	**-**	**-**	**-**	**-**	**-**

ตารางที่ 5.1-8 ค่าสัมประสิทธิ์การใช้น้ำ ของกาแฟโรบัสตาที่ปลูกในถังวัดปริมาณการใช้น้ำ ถัง B ในช่วงก่อนให้ผลผลิต

Lysimeter B									
วัน/เดือน/ปี	จำนวนวัน	อายุ (เดือน)	ET/E	ค่าสัมประสิทธิ์การใช้น้ำ (Crop Coefficient : Kc , ET/ETo) ของกาแฟโรบัสต้า					
				Pan Method	Hargreaves	Radiation	Blaney Criddle	Modified Penman	Penman Monteith
1-31 ธ.ค. 59	31	1	0.69	0.81	0.64	0.96	0.74	0.81	0.92
1-31 ม.ค. 60	31	2	0.77	0.90	0.64	0.86	0.79	0.76	0.87
1-28 ก.พ. 60	28	3	0.57	0.67	0.59	0.60	0.84	0.54	0.67
1-31 มี.ค. 60	31	4	0.80	0.95	0.79	0.86	1.26	0.78	0.95
1-30 เม.ย. 60	30	5	0.78	0.92	0.74	0.84	1.06	0.77	0.90
1-31 พ.ค. 60	31	6	1.13	1.33	0.87	1.15	1.20	1.02	1.18
1-30 มิ.ย. 60	30	7	0.91	1.08	0.79	1.03	1.05	0.92	1.06
1-31 ก.ค. 60	31	8	0.90	1.05	0.77	0.97	1.03	0.87	1.02
1-31 ส.ค. 60	31	9	0.90	1.06	0.74	0.93	1.03	0.83	0.97
1-30 ก.ย. 60	30	10	1.23	1.45	0.97	1.29	1.33	1.13	1.31
1-31 ต.ค. 60	31	11	1.00	1.17	0.82	1.04	1.14	0.93	1.09
1-30 พ.ย. 60	30	12	1.01	1.19	0.93	1.32	1.12	1.16	1.31
เฉลี่ย	**-**	**-**	**0.89**	**1.05**	**0.77**	**0.99**	**1.05**	**0.88**	**1.02**
รวม	**365**	**12**	**-**	**-**	**-**	**-**	**-**	**-**	**-**

ตารางที่ 5.1-9 ค่าสัมประสิทธิ์การใช้น้ำ ของกาแฟโรบัสตาที่ปลูกในถังวัดปริมาณการใช้น้ำ ถัง C ในช่วงก่อนให้ผลผลิต

Lysimeter C									
วัน/เดือน/ปี	จำนวนวัน	อายุ (เดือน)	ET/E	ค่าสัมประสิทธิ์การใช้น้ำ (Crop Coefficient : Kc , ET/ETo) ของกาแฟโรบัสต้า					
				Pan Method	Hargreaves	Radiation	Blaney Criddle	Modified Penman	Penman Monteith
1-31 ธ.ค. 59	31	1	0.85	1.01	0.79	1.18	0.91	1.00	1.14
1-31 ม.ค. 60	31	2	0.88	1.03	0.73	0.98	0.90	0.87	0.99
1-28 ก.พ. 60	28	3	0.60	0.70	0.63	0.63	0.89	0.57	0.71
1-31 มี.ค. 60	31	4	0.83	0.97	0.81	0.89	1.29	0.80	0.98
1-30 เม.ย. 60	30	5	0.82	0.97	0.78	0.89	1.12	0.81	0.95
1-31 พ.ค. 60	31	6	1.14	1.34	0.88	1.15	1.20	1.03	1.18
1-30 มิ.ย. 60	30	7	0.99	1.17	0.85	1.11	1.14	1.00	1.15
1-31 ก.ค. 60	31	8	0.84	0.98	0.72	0.91	0.96	0.81	0.95
1-31 ส.ค. 60	31	9	0.89	1.05	0.73	0.92	1.02	0.82	0.96
1-30 ก.ย. 60	30	10	1.25	1.47	0.98	1.31	1.35	1.15	1.34
1-31 ต.ค. 60	31	11	0.94	1.11	0.77	0.98	1.08	0.88	1.03
1-30 พ.ย. 60	30	12	0.93	1.09	0.86	1.22	1.04	1.07	1.21
เฉลี่ย	**-**	**-**	**0.91**	**1.07**	**0.79**	**1.01**	**1.07**	**0.90**	**1.05**
รวม	**365**	**12**	**-**	**-**	**-**	**-**	**-**	**-**	**-**

ตารางที่ 5.1-10 ค่าสัมประสิทธิ์การใช้น้ำ ของกาแฟโรบัสต้าที่ปลูกในถังวัดปริมาณการใช้น้ำ ถัง D ในช่วงก่อนให้ผลผลิต

Lysimeter D									
วัน/เดือน/ปี	จำนวนวัน	อายุ (เดือน)	ET/E	ค่าสัมประสิทธิ์การใช้น้ำ (Crop Coefficient : Kc , ET/ETo) ของกาแฟโรบัสต้า					
				Pan Method	Hargreaves	Radiation	Blaney Criddle	Modified Penman	Penman Monteith
1-31 ธ.ค. 59	31	1	0.68	0.80	0.63	0.94	0.73	0.80	0.91
1-31 ม.ค. 60	31	2	0.72	0.85	0.60	0.81	0.74	0.72	0.82
1-28 ก.พ. 60	28	3	0.60	0.71	0.63	0.64	0.90	0.58	0.71
1-31 มี.ค. 60	31	4	0.79	0.93	0.77	0.85	1.23	0.76	0.93
1-30 เม.ย. 60	30	5	0.79	0.94	0.76	0.86	1.08	0.78	0.92
1-31 พ.ค. 60	31	6	1.16	1.36	0.89	1.17	1.23	1.05	1.21
1-30 มิ.ย. 60	30	7	1.02	1.20	0.88	1.14	1.17	1.02	1.18
1-31 ก.ค. 60	31	8	0.80	0.94	0.69	0.87	0.92	0.78	0.91
1-31 ส.ค. 60	31	9	0.95	1.12	0.78	0.99	1.09	0.87	1.03
1-30 ก.ย. 60	30	10	1.36	1.60	1.07	1.42	1.47	1.25	1.45
1-31 ต.ค. 60	31	11	1.09	1.29	0.90	1.14	1.25	1.02	1.19
1-30 พ.ย. 60	30	12	1.09	1.28	1.00	1.43	1.22	1.25	1.42
เฉลี่ย	**-**	**-**	**0.92**	**1.09**	**0.80**	**1.02**	**1.08**	**0.91**	**1.06**
รวม	**365**	**12**	**-**	**-**	**-**	**-**	**-**	**-**	**-**

ตารางที่ 5.1-11 ค่าสัมประสิทธิ์การใช้น้ำเฉลี่ย ของกาแฟโรบัสตาที่ปลูกในถังวัดปริมาณการใช้น้ำเฉลี่ย ในช่วงก่อนให้ผลผลิต

ค่าเฉลี่ย									
วัน/เดือน/ปี	จำนวนวัน	อายุ (เดือน)	ET/E	ค่าสัมประสิทธิ์การใช้น้ำ (Crop Coefficient : Kc , ET/ETo) ของกาแฟโรบัสต้า					
				Pan Method	Hargreaves	Radiation	Blaney Criddle	Modified Penman	Penman Monteith
1-31 ธ.ค. 59	31	1	0.74	0.88	0.68	1.03	0.79	0.87	0.99
1-31 ม.ค. 60	31	2	0.79	0.93	0.65	0.88	0.81	0.78	0.89
1-28 ก.พ. 60	28	3	0.59	0.70	0.62	0.63	0.88	0.57	0.70
1-31 มี.ค. 60	31	4	0.80	0.95	0.79	0.86	1.26	0.78	0.95
1-30 เม.ย. 60	30	5	0.80	0.94	0.76	0.86	1.08	0.78	0.92
1-31 พ.ค. 60	31	6	1.15	1.35	0.89	1.16	1.22	1.04	1.20
1-30 มิ.ย. 60	30	7	0.99	1.16	0.85	1.11	1.13	0.99	1.15
1-31 ก.ค. 60	31	8	0.84	0.99	0.72	0.91	0.96	0.81	0.95
1-31 ส.ค. 60	31	9	0.94	1.10	0.77	0.97	1.06	0.86	1.01
1-30 ก.ย. 60	30	10	1.29	1.52	1.01	1.34	1.39	1.18	1.37
1-31 ต.ค. 60	31	11	1.01	1.19	0.83	1.05	1.16	0.94	1.10
1-30 พ.ย. 60	30	12	1.04	1.22	0.96	1.36	1.16	1.19	1.35
เฉลี่ย	**-**	**-**	**0.91**	**1.08**	**0.79**	**1.01**	**1.08**	**0.90**	**1.05**
รวม	**365**	**12**	**-**	**-**	**-**	**-**	**-**	**-**	**-**

ตารางที่ 5.1-12 ค่าสัมประสิทธิ์การใช้น้ำ ของกาแฟโรบัสตาที่ปลูกในถังวัดปริมาณการใช้น้ำ ถัง A ในช่วงการให้ผลผลิต

Lysimeter A									
วัน/เดือน/ปี	จำนวนวัน	อายุ (เดือน)	ET/E	ค่าสัมประสิทธิ์การใช้น้ำ (Crop Coefficient : Kc , ET/ETo) ของกาแฟโรบัสตา					
				Pan Method	Hargreaves	Radiation	Blaney Criddle	Modified Penman	Penman Monteith
1-31 ธ.ค. 60	31	1	0.94	1.10	0.66	1.04	0.79	0.88	1.00
1-31 ม.ค. 61	31	2	0.43	0.50	0.38	0.50	0.47	0.45	0.51
1-28 ก.พ. 61	28	3	0.55	0.65	0.60	0.60	0.92	0.55	0.69
1-31 มี.ค. 61	31	4	0.56	0.66	0.57	0.59	0.90	0.54	0.66
1-30 เม.ย. 61	30	5	0.83	0.98	0.79	0.87	1.16	0.79	0.95
1-31 พ.ค. 61	31	6	0.73	0.85	0.56	0.69	0.79	0.63	0.73
1-30 มิ.ย. 61	30	7	0.99	1.17	0.70	1.04	0.92	0.92	1.03
1-31 ก.ค. 61	31	8	1.09	1.28	0.87	1.23	1.17	1.09	1.25
1-31 ส.ค. 61	31	9	0.95	1.12	0.80	1.02	1.13	0.92	1.07
1-30 ก.ย. 61	30	10	1.19	1.40	0.86	1.19	1.21	1.05	1.22
1-31 ต.ค. 61	31	11	1.05	1.23	0.76	0.97	1.04	0.89	1.02
1-30 พ.ย. 61	30	12	0.72	0.84	0.47	0.59	0.61	0.54	0.62
เฉลี่ย	**-**	**-**	**0.83**	**0.98**	**0.67**	**0.86**	**0.92**	**0.77**	**0.89**
รวม	**365**	**12**	**-**	**-**	**-**	**-**	**-**	**-**	**-**

ตารางที่ 5.1-13 ค่าสัมประสิทธิ์การใช้น้ำ ของกาแฟโรบัสตาที่ปลูกในถังวัดปริมาณการใช้น้ำ ถัง B ในช่วงการให้ผลผลิต

Lysimeter B									
วัน/เดือน/ปี	จำนวนวัน	อายุ (เดือน)	ET/E	ค่าสัมประสิทธิ์การใช้น้ำ (Crop Coefficient : Kc , ET/ETo) ของกาแฟโรบัสตา					
				Pan Method	Hargreaves	Radiation	Blaney Criddle	Modified Penman	Penman Monteith
1-31 ธ.ค. 60	31	1	0.85	1.00	0.60	0.94	0.71	0.80	0.90
1-31 ม.ค. 61	31	2	0.47	0.55	0.42	0.54	0.52	0.49	0.55
1-28 ก.พ. 61	28	3	0.51	0.60	0.55	0.56	0.85	0.51	0.63
1-31 มี.ค. 61	31	4	0.56	0.66	0.57	0.59	0.90	0.54	0.65
1-30 เม.ย. 61	30	5	0.87	1.02	0.82	0.91	1.21	0.83	0.99
1-31 พ.ค. 61	31	6	0.70	0.82	0.54	0.67	0.76	0.61	0.70
1-30 มิ.ย. 61	30	7	1.00	1.18	0.71	1.05	0.93	0.93	1.05
1-31 ก.ค. 61	31	8	1.06	1.25	0.84	1.20	1.14	1.06	1.22
1-31 ส.ค. 61	31	9	0.83	0.97	0.69	0.89	0.98	0.80	0.92
1-30 ก.ย. 61	30	10	1.19	1.40	0.87	1.19	1.21	1.06	1.22
1-31 ต.ค. 61	31	11	0.91	1.07	0.66	0.84	0.90	0.77	0.88
1-30 พ.ย. 61	30	12	0.64	0.75	0.42	0.52	0.55	0.48	0.55
เฉลี่ย	**-**	**-**	**0.80**	**0.94**	**0.64**	**0.82**	**0.89**	**0.74**	**0.86**
รวม	**365**	**12**	**-**	**-**	**-**	**-**	**-**	**-**	**-**

ตารางที่ 5.1-14 ค่าสัมประสิทธิ์การใช้น้ำ ของกาแฟโรบัสตาที่ปลูกในถังวัดปริมาณการใช้น้ำ ถัง C ในช่วงการให้ผลผลิต

Lysimeter C									
วัน/เดือน/ปี	จำนวนวัน	อายุ (เดือน)	ET/E	ค่าสัมประสิทธิ์การใช้น้ำ (Crop Coefficient : Kc , ET/ETo) ของกาแฟโรบัสตา					
				Pan Method	Hargreaves	Radiation	Blaney Criddle	Modified Penman	Penman Monteith
1-31 ธ.ค. 60	31	1	0.88	1.03	0.62	0.97	0.73	0.82	0.93
1-31 ม.ค. 61	31	2	0.44	0.51	0.39	0.50	0.48	0.46	0.52
1-28 ก.พ. 61	28	3	0.45	0.53	0.49	0.49	0.75	0.45	0.56
1-31 มี.ค. 61	31	4	0.53	0.62	0.53	0.55	0.84	0.51	0.62
1-30 เม.ย. 61	30	5	0.77	0.90	0.72	0.80	1.07	0.73	0.87
1-31 พ.ค. 61	31	6	0.65	0.77	0.50	0.62	0.71	0.57	0.65
1-30 มิ.ย. 61	30	7	0.98	1.15	0.69	1.02	0.91	0.91	1.02
1-31 ก.ค. 61	31	8	0.92	1.08	0.73	1.04	0.99	0.92	1.06
1-31 ส.ค. 61	31	9	0.73	0.86	0.61	0.78	0.86	0.71	0.82
1-30 ก.ย. 61	30	10	1.06	1.25	0.77	1.06	1.08	0.94	1.09
1-31 ต.ค. 61	31	11	0.81	0.95	0.59	0.75	0.80	0.69	0.79
1-30 พ.ย. 61	30	12	0.68	0.80	0.45	0.56	0.58	0.51	0.59
เฉลี่ย	**-**	**-**	**0.74**	**0.87**	**0.59**	**0.76**	**0.82**	**0.69**	**0.79**
รวม	**365**	**12**	**-**	**-**	**-**	**-**	**-**	**-**	**-**

ตารางที่ 5.1-15 ค่าสัมประสิทธิ์การใช้น้ำ ของกาแฟโรบัสตาที่ปลูกในถังวัดปริมาณการใช้น้ำ ถัง D ในช่วงการให้ผลผลิต

Lysimeter D									
วัน/เดือน/ปี	จำนวนวัน	อายุ (เดือน)	ET/E	ค่าสัมประสิทธิ์การใช้น้ำ (Crop Coefficient : Kc , ET/ETo) ของกาแฟโรบัสตา					
				Pan Method	Hargreaves	Radiation	Blaney Criddle	Modified Penman	Penman Monteith
1-31 ธ.ค. 60	31	1	0.89	1.05	0.63	0.99	0.75	0.84	0.95
1-31 ม.ค. 61	31	2	0.51	0.60	0.45	0.59	0.56	0.53	0.60
1-28 ก.พ. 61	28	3	0.54	0.64	0.59	0.59	0.90	0.54	0.68
1-31 มี.ค. 61	31	4	0.57	0.67	0.57	0.59	0.91	0.55	0.66
1-30 เม.ย. 61	30	5	0.97	1.15	0.92	1.02	1.36	0.93	1.11
1-31 พ.ค. 61	31	6	0.75	0.88	0.58	0.71	0.81	0.65	0.75
1-30 มิ.ย. 61	30	7	1.00	1.18	0.71	1.05	0.93	0.94	1.05
1-31 ก.ค. 61	31	8	1.08	1.27	0.86	1.22	1.16	1.08	1.24
1-31 ส.ค. 61	31	9	0.74	0.87	0.62	0.79	0.88	0.72	0.83
1-30 ก.ย. 61	30	10	1.18	1.38	0.86	1.17	1.20	1.04	1.21
1-31 ต.ค. 61	31	11	0.85	1.00	0.61	0.79	0.84	0.72	0.82
1-30 พ.ย. 61	30	12	0.76	0.90	0.50	0.63	0.65	0.58	0.66
เฉลี่ย	**-**	**-**	**0.82**	**0.96**	**0.66**	**0.85**	**0.91**	**0.76**	**0.88**
รวม	**365**	**12**	**-**	**-**	**-**	**-**	**-**	**-**	**-**

ตารางที่ 5.1-16 ค่าสัมประสิทธิ์การใช้น้ำเฉลี่ย ของกาแฟโรบัสตาที่ปลูกในถังวัดปริมาณการใช้น้ำเฉลี่ย ในช่วงการให้ผลผลิต

Average									
วัน/เดือน/ปี	จำนวนวัน	อายุ (เดือน)	ET/E	ค่าสัมประสิทธิ์การใช้น้ำ (Crop Coefficient : Kc , ET/ETo) ของกาแฟโรบัสตา					
				Pan Method	Hargreaves	Radiation	Blaney Criddle	Modified Penman	Penman Monteith
1-31 ธ.ค. 60	31	1	0.89	1.05	0.63	0.98	0.74	0.84	0.94
1-31 ม.ค. 61	31	2	0.46	0.54	0.41	0.53	0.51	0.48	0.55
1-28 ก.พ. 61	28	3	0.51	0.60	0.56	0.56	0.85	0.51	0.64
1-31 มี.ค. 61	31	4	0.55	0.65	0.56	0.58	0.89	0.53	0.65
1-30 เม.ย. 61	30	5	0.86	1.01	0.81	0.90	1.20	0.82	0.98
1-31 พ.ค. 61	31	6	0.71	0.83	0.55	0.67	0.76	0.62	0.71
1-30 มิ.ย. 61	30	7	0.99	1.17	0.70	1.04	0.92	0.93	1.04
1-31 ก.ค. 61	31	8	1.04	1.22	0.82	1.17	1.11	1.04	1.20
1-31 ส.ค. 61	31	9	0.81	0.96	0.68	0.87	0.96	0.79	0.91
1-30 ก.ย. 61	30	10	1.15	1.36	0.84	1.15	1.17	1.02	1.19
1-31 ต.ค. 61	31	11	0.90	1.06	0.65	0.84	0.90	0.76	0.88
1-30 พ.ย. 61	30	12	0.70	0.82	0.46	0.57	0.60	0.53	0.60
เฉลี่ย	**-**	**-**	**0.80**	**0.94**	**0.64**	**0.82**	**0.89**	**0.74**	**0.86**
รวม	**365**	**12**	**-**	**-**	**-**	**-**	**-**	**-**	**-**

การหาค่าการใช้น้ำของกาแฟโรบัสตา (ET) ในช่วงการเจริญเติบโตก่อนให้ผลผลิต อายุ 1-12 เดือน และ 13-24 เดือนหลังย้ายปลูก จากต้นกล้ากาแฟเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่ออายุ 2 ปี ทำการศึกษาโดยใช้ถังวัดปริมาณการใช้น้ำของพืชแบบระบายน้ำ (Lysimeter percolation type) พบว่า ค่าการคายระเหยของกาแฟโรบัสตาในช่วงอายุดังกล่าวมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 3.84 และ 3.17 มิลลิเมตรต่อวัน ตามลำดับ ค่าสัมประสิทธิ์ของถาดวัดการระเหยแบบเบ็ดเสร็จมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.91 และ 0.80 ตามลำดับ ซึ่งปริมาณการใช้น้ำของกาแฟโรบัสตาในช่วงดังกล่าว สอดคล้องกับรายงานของ Antonio et al. (2011) ที่รายงานปริมาณการใช้น้ำของกาแฟอาราบิกา ที่ปลูกที่เมือง Piracicaba ประเทศบราซิล ช่วงอายุ 35 เดือน มีค่าเท่ากับ 3.68 มิลลิเมตรต่อวัน และเมื่อพิจารณาเทียบกับการศึกษาในช่วงอายุต้น 1-12 เดือน พบว่าในช่วงการศึกษาอายุ 13-24 เดือน มีค่าปริมาณการใช้น้ำ และค่าสัมประสิทธิ์การใช้น้ำของกาแฟโรบัสตา มีค่าลดลง ซึ่งเป็นผลสืบเนื่องจากค่าเฉลี่ยการระเหยของน้ำในช่วงปีที่สองลดลง ค่าเฉลี่ยความชื้นสัมพัทธ์อากาศเพิ่มขึ้น และมีร่มเงาจากทรงพุ่มคลุมพื้นที่มากขึ้น จึงส่งผลให้มีปริมาณการใช้น้ำ และค่าสัมประสิทธิ์การใช้น้ำในช่วงที่ทำการศึกษาลดลง ซึ่งค่าสัมประสิทธิ์การใช้น้ำของพืช (Kc) จะมีความสัมพันธ์โดยตรงกับ ปริมาณน้ำฝน จำนวนวันที่ฝนตก และค่าการระเหยของน้ำ และจากการคำนวณค่าปริมาณการใช้น้ำของพืชอ้างอิง (ETo) จากสมการต่างๆ โดยใช้ข้อมูลทางอุตุนิยมวิทยาและค่าการระเหยจากถาดวัดการระเหย จะมีความสัมพันธ์คงที่กับการคายระเหยของพืช ดังนั้นในพื้นที่ต่างๆ เมื่อสภาพภูมิอากาศเปลี่ยนไป เมื่อนำข้อมูลสภาพภูมิอากาศมาคำนวณค่า ETo แล้วคูณด้วยค่า Kc ก็จะทำให้ทราบค่า ET ของพืชนั้นๆ ตามสภาพภูมิอากาศของพื้นที่ได้ ต่างจากการวัดโดยตรงในแปลงปลูกจะไม่สามารถนำค่าที่วัดได้ไปใช้กับพื้นที่อื่นๆ ซึ่งมีสภาพภูมิอากาศแตกต่างไปจากสภาพขณะที่ทำการวัดได้ (วิบูลย์, 2526)

จากค่าสัมประสิทธิ์การใช้น้ำ ซึ่งเป็นค่าคงที่ที่ได้จากความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณการใช้น้ำของพืช ที่ทำการทดลองและตรวจวัดจากถังวัดการใช้น้ำของพืช กับผลการคำนวณปริมาณการใช้น้ำของพืชอ้างอิง จากสูตรใดสูตรหนึ่ง ในกาแฟโรบัสตาที่ทำการศึกษา พบว่าช่วงอายุ 1-12 เดือน และ 13-24 เดือน ในทุกสมการมีค่า Kc อยู่ในช่วงระหว่าง 0.79-1.08 และ 0.41-1.20 โดยเมื่อพิจารณาค่า Kc จากสมการ Penman Monteith ซึ่งเป็นสมการที่นิยมใช้กันอย่างแพร่หลาย เนื่องจากเป็นวิธีการที่ใช้องค์ประกอบต่างๆที่มีผลกระทบต่อการใช้น้ำของพืชมารวบรวมได้อย่างครบถ้วน ทั้งสภาพภูมิอากาศ สภาพภูมิประเทศ และตั้งอยู่บนพื้นฐานของทฤษฎีที่เป็นที่ยอมรับกันมากกว่าวิธีการอื่นๆ (โอสถ และธีระพล, 2543) มาใช้ในการคำนวณค่า ETo พบว่า ค่า Kc ของกาแฟโรบัสตา จากสมการดังกล่าวในช่วงอายุ 1-12 เดือน เรียงลำดับจากน้อยไปมาก มีค่าเท่ากับ 0.70, 0.89, 0.92, 0.95, 0.99, 1.01, 1.10, 1.15, 1.20, 1.35 และ 1.37 โดยมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 1.05 ซึ่งค่า Kc รายเดือนที่เปลี่ยนแปลงขึ้นลงนั้น เกิดจากค่าสภาวะภูมิอากาศในช่วงเดือนนั้นๆ ที่เปลี่ยนแปลง เช่น ปริมาณน้ำฝน อุณหภูมิอากาศ ความชื้นสัมพัทธ์อากาศ ความเร็วลมผิวดิน และจำนวนชั่วโมงแสงแดด ส่วนในช่วงอายุ 13-24 เดือน มีค่าเท่ากับ 0.94, 0.55, 0.64, 0.65, 0.98, 0.71, 1.04, 1.20, 0.91, 1.19, 0.88 และ 0.60 โดยมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.86 โดยในช่วงเดือนมกราคม 2561 เป็นช่วงที่มีค่าต่ำสุด ซึ่งเป็นผลจากการตัดแต่งทรงพุ่มต้นกาแฟในช่วงอายุต้น 14 เดือน ทำให้ต้นกาแฟมีพื้นที่ใบลดลงทำให้ค่าการคายน้ำลดลงตามไปด้วย และค่า Kc รายเดือนที่เปลี่ยนแปลงขึ้นลงนั้น เกิดจากค่าสภาวะภูมิอากาศในช่วงเดือนนั้นๆ ที่เปลี่ยนแปลง เช่น ปริมาณน้ำฝน อุณหภูมิอากาศ ความชื้นสัมพันธ์อากาศ ความเร็วลมผิวดิน และจำนวนชั่วโมงแสงแดด ค่าเหล่านี้จะมีผลต่อการใช้น้ำของพืช และค่า ETo ที่จะนำมาคำนวณค่า Kc ดังนั้นการศึกษาทั้งค่า ET, ETo และ Kc เป็นประโยชน์ต่อการนำไปใช้ในงานชลประทาน และการเกษตร ในกรณีที่ปลูกพืชในท้องที่อื่นที่ยังไม่มีการทำการทดลองพืชชนิดนั้นมาก่อน และการนำค่า Kc ไปใช้งานต้องทราบว่าค่าที่ได้มาเป็นค่าที่คำนวณจากสมการใดเพื่อจะนำค่า ETo ของสมการนั้นมาใช้ เพื่อได้ค่า ET ที่ถูกต้อง โดยค่า Kc จะแตกต่างกันตาม ชนิดของพืช ช่วงการเจริญเติบโต และสมการที่ใช้ในการคำนวณค่า ETo เป็นสำคัญ (โอสถ และธีระพล, 2543)

การทดลองที่ 5.2 การวิเคราะห์วอเตอร์ฟุตพริ้นท์ของการผลิตกาแฟโรบัสตา

จากข้อมูลสถิติการเกษตรของประเทศไทย สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์ ในช่วงปี พ.ศ. 2556 – 2560 พบว่า กาแฟโรบัสตาในช่วง 5 ปีที่ผ่านมา เนื้อที่ให้ผล และผลผลิตลดลง โดยเนื้อที่ให้ผลลดลงจาก 260,968 ไร่ ในปี 2556 เหลือ 177,558 ไร่ ในปี 2560 หรือลดลงร้อยละ 3.42 ผลผลิตลดลงจาก 29,794 ตัน ในปี 2556 เหลือ 13,471 ตัน ในปี 2560 หรือลดลงร้อยละ 14.78 สำหรับผลผลิตต่อไร่ลดลงจาก 145 กิโลกรัมในปี 2556 เหลือ 76 กิโลกรัม ในปี 2560 หรือลดลงร้อยละ 11.83 ดังตารางที่ 5.1-17

ตารางที่ 5.1-17 เนื้อที่ให้ผล ผลผลิต และผลผลิตต่อไร่ กาแฟของไทย ปี 2556 – 2560

ปี	เนื้อที่ให้ผล (ไร่)			ผลผลิต (ตัน)			ผลผลิตต่อไร่ (กก.)	
	โรบัสตา	อะราบิกา	รวม	โรบัสตา	อะราบิกา	รวม	โรบัสตา	อะราบิกา
2556	206,405	54,563	260,968	29,794	8,156	37,950	145	150
2557	189,281	62,152	251,433	17,160	8,929	26,089	91	144
2558	186,106	68,841	254,947	21,338	9,241	30,579	115	135
2559	180,526	72,528	253,054	16,967	8,942	25,909	94	124
2560	177,558	80,203	257,761	13,471	10,146	23,617	76	128
อัตราเพิ่ม (ร้อยละ)	-3.42	9.69	-0.18	-14.78	4.48	9.11	-11.83	-4.56

ที่มา: ศูนย์สารสนเทศการเกษตร สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร

สำหรับแหล่งปลูกกาแฟพันธุ์โรบัสตาที่สำคัญของไทยอยู่ในภาคใต้ ได้แก่ จังหวัดชุมพร ระนอง และสุราษฎร์ธานี ซึ่งในปี 2556 - 2560 มีสัดส่วนร้อยละ 70 เมื่อเทียบกับเนื้อที่ปลูกทั้งหมด โดยใน 3 จังหวัดหลักที่เป็นแหล่งผลิตกาแฟโรบัสตา มีผลผลิตเฉลี่ย 108 กิโลกรัมต่อไร่ โดยจังหวัดชุมพรเป็นจังหวัดที่มีผลผลิตเฉลี่ยต่อไร่สูงที่สุด 116กิโลกรัมต่อไร่ ในขณะที่ผลผลิตต่อไร่เฉลี่ยของประเทศอยู่ที่ 119 กิโลกรัมต่อไร่ และผลผลิตเฉลี่ยของภาคใต้รวมทั้งสิ้น 7 จังหวัด ได้แก่ จังหวัดประจวบคีรีขันธ์ ชุมพร ระนอง สุราษฎร์ธานี พังงา กระบี่ นครศรีธรรมราช มีการให้ผลผลิตเฉลี่ย 113 กิโลกรัมต่อไร่ ดังตารางที่ 5..1-18

ตารางที่ 5.1-18 เนื้อที่ ผลผลิต และผลผลิตต่อไร่ของกาแฟเป็นรายจังหวัด ปี 2556 - 2560

ภาค/จังหวัด	เนื้อที่ยืนต้น (ไร่)	เนื้อที่ให้ผล (ไร่)	ผลผลิต (ตัน)	ผลผลิตต่อไร่ (กิโลกรัม)
รวมทั้งประเทศ	285,180	263,748	31,619	119
ภาคเหนือ	77,399	61,287	8,582	141
ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ	1,364	647	49	74
ภาคกลาง	1,631	1,321	139	106
ภาคใต้	204,786	200,492	22,848	113
เชียงราย	36,538	28,878	3,934	138
พะเยา	1,091	953	99	104
ลำปาง	4,417	2,938	409	141
เชียงใหม่	20,941	18,720	3,081	165
แม่ฮ่องสอน	3,992	2,903	393	136
ตาก	3,211	2,246	186	85

ภาค/จังหวัด	เนื้อที่ยืนต้น (ไร่)	เนื้อที่ให้ผล (ไร่)	ผลผลิต (ตัน)	ผลผลิตต่อไร่ (กิโลกรัม)
แพร่	1,311	1,065	116	109
น่าน	4,271	3,013	342	114
อุตรดิตถ์	807	167	9	71
พิษณุโลก	371	215	6	30
เพชรบูรณ์	449	189	8	38
เลย	419	153	10	61
ชัยภูมิ	55	9	-	-
นครราชสีมา	715	485	39	80
กาญจนบุรี	489	251	23	95
ประจวบคีรีขันธ์	1,142	1,071	116	109
ชุมพร	143,256	139,972	16,440	116
ระนอง	56,166	55,617	5,873	106
สุราษฎร์ธานี	3,042	2,706	272	102
พังงา	141	122	12	94
กระบี่	1,848	1,784	222	123
นครศรีธรรมราช	333	290	30	90

ที่มา: ศูนย์สารสนเทศการเกษตร สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร

พื้นที่ปลูกกาแฟโรบัสตาในจังหวัดชุมพร พบในเขตพื้นที่อำเภอท่าแซะ อำเภอสวี อำเภอเมืองชุมพร อำเภอพะโต๊ะ อำเภอปะทิว อำเภอทุ่งตะโก อำเภอหลังสวน และอำเภอละแม จังหวัดระนอง ได้แก่เขตพื้นที่อำเภอกระบุรี อำเภอละอุ่น อำเภอกะเปอร์ อำเภอเมืองระนอง และอำเภอสุขสำราญ จังหวัดสุราษฎร์ธานี ได้แก่เขตพื้นที่ อำเภอท่าชนะ อำเภอพนม อำเภอท่าฉาง อำเภอเคียนซา อำเภอไชยา อำเภอวิภาวดี อำเภอคีรีรัฐนิคม อำเภอพระแสง อำเภอเมืองสุราษฎร์ธานี อำเภอเกาะสมุย อำเภอพุนพิน อำเภอดอนสัก อำเภอบ้านตาขุน อำเภอบ้านนาสาร และอำเภอชัยบุรี จังหวัดประจวบคีรีขันธุ์ ได้แก่เขตพื้นที่ อำเภอบางสะพาน และอำเภอบางสะพานน้อย พื้นที่ปลูกต่อครอบครัว 5 – 25 ไร่ ส่วนมากเป็นที่สูงและมีความลาดชัน การให้น้ำอาศัยน้ำฝน มีการให้ปุ๋ยเคมี 3 ครั้ง/ปี แก่ต้นที่กำลังให้ผล เฉลี่ย 0.6 กิโลกรัมต่อต้นต่อปี ไม่มีการใช้สารเคมีสำหรับการป้องกันกำจัดโรคและแมลงศัตรูพืชแก่ต้นกาแฟโรบัสตา พันธุ์กาแฟที่เกษตรกรใช้ปลูกได้จากการคัดเลือกพันธุ์จากแปลงปลูกด้วยตัวเอง บริษัทเอกชน และซื้อจากร้านจำหน่ายพันธุ์ รวมไปถึงกล้าพันธุ์ที่กลุ่มวิสาหกิจ/สหกรณ์ที่เกษตรกรเป็นสมาชิกแจกจ่ายหรือจำหน่าย เกษตกรจะปลูกกาแฟโรบัสตาร่วมกับพืชชนิดอื่น เช่น ลองกอง ขนุน ทุเรียน กล้วย มังคุด มะพร้าว เป็นต้น โดยกาแฟโรบัสตาเป็นพืชรอง ส่วนไม้ผลเป็นพืชหลัก การใส่ปุ๋ยและรดน้ำ ส่วนใหญ่จะเป็นการให้ไม้ผลเป็นสำคัญ

เมื่อคำนวณค่ากรีนและบลูวอเตอร์ฟุตพรินท์ด้วยโปรแกรม CROPWAT 8.0 เพื่อหาค่าการคายระเหยของน้ำ ตลอดระยะเวลาการเจริญเติบโตของกาแฟโรบัสตา โดยกำหนดการให้น้ำพืชด้วยวิธีการให้น้ำชลประทาน เมื่อความชื้นถึงจุดวิกฤต (Irrigation at critical depletion) และให้น้ำจนความชื้นในดินถึงความจุในสนาม พบว่า ค่ากรีนวอเตอร์ฟุตพริ้นท์มีค่าสูงกว่าบลูวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ ดังตารางที่ 5.1-19 ในพื้นที่จังหวัดสุราษฎร์ธานีมีค่ากรีนวอเตอร์ฟุตพริ้นท์มากที่สุด เท่ากับ 26.87 ลบ.ม./กก. และน้อยที่สุดคือจังหวัดชุมพร เท่ากับ 21.33 ลูกบาศก์เมตร/กิโลกรัม โดยค่าความต้องการใช้น้ำบลูพบว่าจังหวัดระนองต้องการมากที่สุด เท่ากับ

757.12 ลูกบาศก์เมตร/ไร่/ปี และจังหวัดชุมพร ต้องการน้อยที่สุด เท่ากับ 548.32 ลูกบาศก์เมตร/ไร่/ปี ตามตารางที่ 5.1-19

ตารางที่ 5.1-19 ค่าคายระเหยน้ำ และค่าวอเตอร์ฟุตพริ้นต์กรีนและบลูของการปลูกกาแฟโรบัสตา

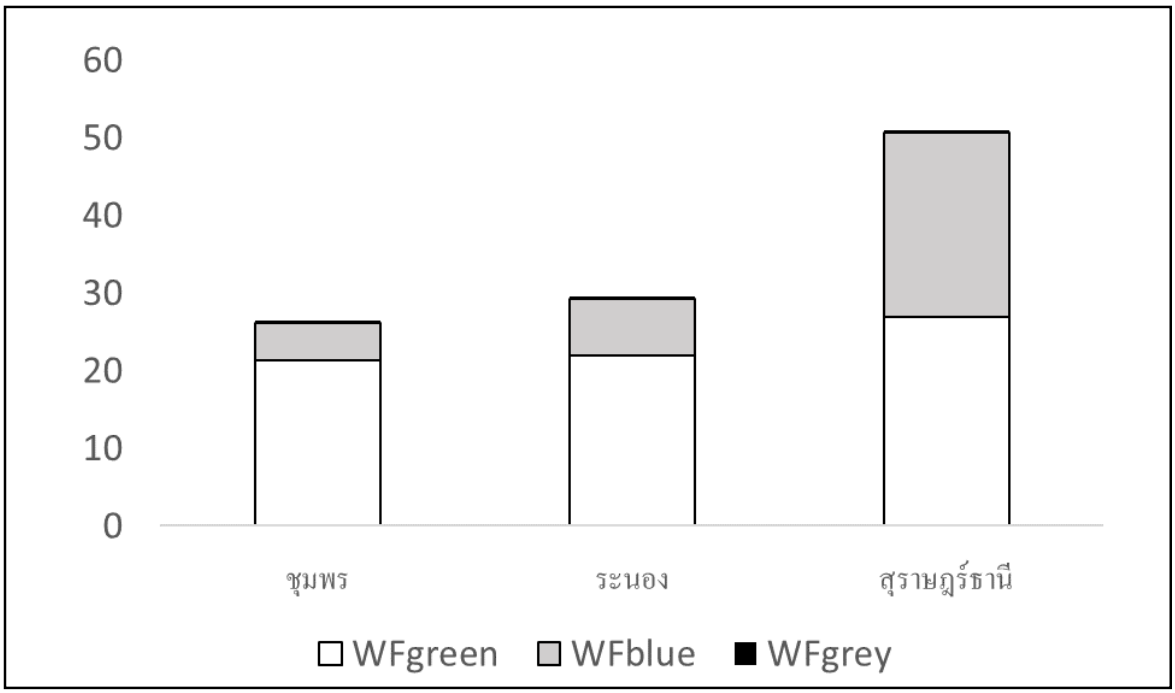
จังหวัด	ค่าคายระเหยน้ำ (มิลลิเมตร)		ค่าความต้องการใช้น้ำของพืช (ลูกบาศก์เมตร/ไร่/ปี)		วอเตอร์ฟุตพรินท์ (ลูกบาศก์เมตร/กิโลกรัม)	
	ETgreen	ETblue	CWUgreen	CWUblue	WFgreen	WFblue
ชุมพร	1,541.2	342.7	2,465.92	548.32	21.33	4.74
ระนอง	1,451.9	473.2	2,323.04	757.12	22.00	7.17
สุราษฎร์ธานี	1,511.7	498.1	2,418.72	796.96	26.87	23.71

ในส่วนของการใช้ปุ๋ย เนื่องจากเกษตรกรให้ปุ๋ยกาแฟพร้อมกับไม้ผลหลักพร้อมๆกัน และจะให้เมื่อต้นกาแฟกำลังให้ผลผลิต ซึ่งการคำนวณเกรย์วอเตอร์ฟุตพริ้นท์นั้นจะใช้ปริมาณเฉลี่ยของประเทศเป็นค่าตัวแทนของแต่ละจังหวัด พบว่าจังหวัดที่มีค่าเกรย์วอเตอร์ฟุตพริ้นท์มากที่สุด และน้อยที่สุด คือ สุราษฎร์ธานี และระนอง มีค่าเท่ากับ 0.453 และ 0.373 ลูกบาศก์เมตร/กิโลกรัม ตามลำดับ ดังตารางที่ 5.1-20

ตารางที่ 5.1-20 ปริมาณการใช้ปุ๋ยและปริมาณน้ำที่ต้องการเพื่อเจือจางการละล้างปุ๋ยที่มีอยู่ในแหล่งน้ำ

จังหวัด	ปริมาณการใช้ปุ๋ย ไนโตรเจน (กิโลกรัม/ปี)	สัดส่วนการชะล้าง (กิโลกรัม/ปี)	WFgrey (ลูกบาศก์เมตร/กิโลกรัม)
ชุมพร	6.892	0.689	0.409
ระนอง	0.611	0.061	0.373
สุราษฎร์ธานี	8.538	0.854	0.453

เมื่อพิจารณาเป็นรายจังหวัด จะเห็นว่า จังหวัดที่มีค่าวอเตอร์ฟุตพรินท์มากที่สุดคือ จังหวัดสุราษฎร์ธานี มีค่าเท่ากับ 51.033 ลูกบาศก์เมตร/กิโลกรัม โดยแบ่งเป็น กรีน บลู และเกรย์วอเตอร์ฟุตพริ้นท์ เท่ากับ 26.87 23.71 และ 0.453 ลูกบาศก์เมตร/กิโลกรัม ตามลำดับ และจังหวัดที่มีค่าวอเตอร์ฟุตพริ้นท์น้อยที่สุด คือ จังหวัด ชุมพร มีค่าเท่ากับ 26.479 ลูกบาศก์เมตร/กิโลกรัม โดยแบ่งเป็น กรีน บลู และเกรย์วอเตอร์ฟุตพริ้นท์ เท่ากับ 21.33 4.74 และ 0.409 ลูกบาศก์เมตร/กิโลกรัม ตามลำดับ ดังภาพที่ 5.1-7



ภาพที่ 5.1-7 วอเตอร์ฟุตพริ้นท์ของกาแฟโรบัสตา 3 จังหวัดหลักที่เป็นแหล่งปลูกกาแฟโรบัสตา (ปี พ.ศ. 2556 – 2560)

โดยค่าเฉลี่ยวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ของการผลิตกาแฟโรบัสตาใน 3 จังหวัดหลัก มีค่าวอเตอร์ฟุตพริ้นท์เท่ากับ 35.7 ลูกบากศ์เมตร/กิโลกรัม แบ่งเป็น กรีน บลู และเกรย์วอเตอร์ฟุตพรินท์ 23.40 11.87 และ 0.409 ตามลำดับ ดังตารางที่ 5.1-21

ตารางที่ 5.1-21 ค่าเฉลี่ยวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ของกาแฟโรบัสตาใน 3 จังหวัดผลิตหลัก (ปี พ.ศ. 2556 – 2560)

จังหวัด	ค่าเฉลี่ยวอเตอร์ฟุตพรินท์ (ลูกบาศก์เมตร/กิโลกรัม)			
	WFgreen	WFblue	WFgrey	Total
ชุมพร	21.33	4.74	0.409	26.479
ระนอง	22.00	7.17	0.373	29.543
สุราษฎร์ธานี	26.87	23.71	0.453	51.033
เฉลี่ย	23.40	11.87	0.409	35.679

การทดลองที่ 5.2 การวิเคราะห์วอเตอร์ฟุตพริ้นท์ของการผลิตกาแฟอะราบิกา

2.1 การผลิตต้นกล้ากาแฟอะราบิกาพันธุ์เชียงใหม่ 80 ของศูนย์วิจัยเกษตรหลวงเชียงใหม่ (แม่เหียะ)

ศูนย์วิจัยเกษตรหลวงเชียงใหม่ เป็นหน่วยงานหลักในการผลิตต้นกล้าพันธุ์ดี พันธุ์เชียงใหม่ 80 เพื่อจำหน่ายจ่ายแจกให้เกษตรกร โดยในปีงบประมาณ 2564 ผลิตต้นกล้ากาแฟ จำนวน 150,000 ต้น จากเมล็ดกาแฟ 60 กิโลกรัม ระยะเวลาตั้งแต่เพาะเมล็ดจนได้ต้นที่เหมาะสำหรับจำหน่ายประมาณ 11 เดือน ใช้น้ำปริมาณรวม 198,550 ลิตร คิดเป็น 0.75 ลิตรต่อต้นต่อปี (ตารางที่ 5.2-1) ทั้งนี้จากการศึกษาการให้น้ำในแปลงเพาะกล้าปาล์มน้ำมันที่ใช้น้ำน้อยที่สุดคือ 0.04 – 0.74 ลิตรต่อต้นต่อวัน (เตือนจิตร และคณะ, 2561)

ตารางที่ 5.2-1 ปริมาณใช้น้ำ (ลิตร) ในการผลิตต้นกล้ากาแฟ

ที่	ขั้นตอน	การปฏิบัติ	ปริมาณใช้น้ำ (ลิตร)
1	แช่เมล็ด	นำเมล็ดกะลากาแฟ (ความชื้น <12%) แช่น้ำสะอาด 12 ชั่วโมง ก่อนทำการเพาะ	164
2	เพาะเมล็ด	เพาะเมล็ดในกระบะทราย ขนาด 9 ตร.ม. จำนวน 6 กระบะ (เมล็ด 10 กก./1กระบะ) รดน้ำโดยใช้สายยางสวมหัวบัว 1 ครั้ง ทั้ง 6 กระบะใช้เวลาประมาณ 30 นาที และรดสารป้องกันกำจัดเชื้อรา จำนวน 6 บัว	565
		รดน้ำโดยใช้สายยางสวมหัวบัววันละ 1 ครั้ง ๆ รวม 6 กระบะใช้เวลา 18 นาที เป็นเวลา 45 วัน	13,770
		รดสารป้องกันกำจัดเชื้อรา จำนวน 2 ครั้ง รวม 12 บัว	109
3	ย้ายปลูกและดูแลรักษา	ถอนต้นกล้าอายุ 45 วัน ปลูกในถุงดินขนาด 2.5*6 นิ้ว จัดเรียงในพื้นที่ขนาด 4.2 ตร.ม. จำนวน 12 แปลง รดน้ำโดยใช้สายยางสวมหัวบัว ใช้เวลาประมาณ 3 นาที/แปลง คิดเป็นปริมาณน้ำ 612 ลิตร/ครั้ง ทุกวันๆ ละ 1 ครั้ง (นาน 10 เดือน)	183,600
		ใส่ปุ๋ย 46-0-0 โดยละลายในน้ำ ใช้รดแปลงละ 1 บัว จำนวน 2 ครั้ง/เดือน	182
		พ่นปุ๋ยไบโฟลาน โดยใช้ถังพ่นปริมาตร 16 ลิตร จำนวน 1 ถัง/ครั้ง/เดือน	160
		รวม (ลิตร)	198,550

ที่มา: คู่มือการผลิตต้นกล้ากาแฟอะราบิกาคุณภาพ (2563) ศูนย์วิจัยเกษตรหลวงเชียงใหม่ สถาบันวิจัยพืชสวน กรมวิชาการเกษตร

หมายเหตุ: บัวรดน้ำ มีความจุน้ำ 9.1 ลิตร หนึ่งบัว ใช้เวลารดประมาณ 32 วินาที สายยางสวมหัวบัว ให้ปริมาณน้ำ 27.3 ลิตร ในเวลา 30 วินาที ส่วนถังถังพ่น 16 ลิตร พ่นได้ประมาณ 130 ตร.ม./ครั้ง

2.2 ข้อมูลจากการสัมภาษณ์เกษตรกรผู้ปลูกกาแฟ

ผลการสัมภาษณ์เกษตรกรจำนวน 33 คน แบ่งเป็น จังหวัดเชียงรายจำนวน 23 คน ในอำเภอเมืองเวียงป่าเป้า แม่สรวย แม่ฟ้าหลวง และเวียงแก่น และจังหวัดเชียงใหม่จำนวน 10 คน ในอำเภอดอยสะเก็ด สะเมิง และแม่วาง พบว่า เกษตรกรเป็นเพศชายร้อยละ 81 ช่วงอายุที่ตอบมากที่สุดคือ 51-60 ปี รองลงมาคือช่วงอายุ 41-50 ปี เกษตรกรทุกคนเป็นเจ้าของสวนกาแฟ และส่วนใหญ่มีประสบการณ์ปลูกกาแฟมากกว่า 10 ปี โดยได้รับการสนับสนุนต้นกาแฟอะราบิกาจากหน่วยงานรัฐ อาทิ โครงการหลวง กรมวิชาการเกษตร และมหาวิทยาลัยเชียงใหม่

สำหรับรูปแบบการปลูก พบว่า เกษตรกรปลูกกาแฟอะราบิกาเป็นพืชหลักร่วมกับป่าธรรมชาติ ชาเมี่ยง และไม้ผล เช่น มะคาเดเมีย อาโวคาโด ในพื้นที่ลาดชันและที่ราบเชิงเขา ระดับความสูง 700-1,350 เมตรจากระดับน้ำทะเลปานกลาง ในปี 2563 ต้นกาแฟออกดอกหลายรุ่นตั้งแต่เดือนมกราคมถึงมิถุนายน โดยออกดอกมากที่สุดในเดือนเมษายน สามารถเก็บเกี่ยวผลผลิตได้ในช่วงเดือนพฤศจิกายนถึงมีนาคมของปีถัดไป ผลผลิตสด (เชอรี่) เฉลี่ย 1-2 กิโลกรัมต่อต้น โดยในพื้นที่จังหวัดเชียงรายมีผลผลิตสด (เชอรรี) ระหว่าง 263-520 กิโลกรัมต่อไร่ มีค่าเฉลี่ย 407 กิโลกรัมต่อไร่ ส่วนจังหวัดเชียงใหม่ มีผลผลิตสด(เชอรี่) ระหว่าง 192-583 กิโลกรัมต่อไร่ และมีค่าเฉลี่ย 401 กิโลกรัมต่อไร่ (ตารางที่ 5.2-2)

จากการสัมภาษณ์ เกษตรกรไม่มีการให้น้ำต้นกาแฟ โดยอาศัยน้ำฝนในการดูแลต้นกาแฟ มีการใช้น้ำธรรมชาติ (ประปาภูเขา) ในกระบวนการแปรรูปกาแฟแบบเปียก (Wet หรือ Wash process) ในขั้นตอน 1)

การลอยผลกาแฟสุก 2) การสีเปลือกกาแฟผลสด 3) การล้างทำความสะอาดกาแฟหลังจากสีเปลือก และ 4) การหมักกาแฟโดยใช้น้ำสะอาด ประมาณ 36 ชั่วโมง นำไปตากแห้งและจำหน่ายในรูปของกาแฟกะลา

ในส่วนของปัจจัยการผลิต เกษตรกรมีการบำรุงต้นกาแฟโดยใส่ปุ๋ยเคมี ปุ๋ยอินทรีย์เคมี และ/หรือใส่ปุ๋ยอินทรีย์ ปีละ 2 ครั้ง ในเดือนมิถุนายนและเดือยกันยายน ปุ๋ยเคมีที่ใช้มากที่สุด ได้แก่ ปุ๋ย 15-15-15 รองลงมาคือ 46-0-0 13-13-21 และ28-8-8 และมีการใส่ปุ๋ยอินทรีย์เคมี 12-3-3 ร่วมด้วย(ตารางที่ 5..2-2) ซึ่งไนโตรเจนที่เป็นองค์ประกอบของปุ๋ยเหล่านี้ จะนำไปคำณวนค่าวอเตอร์ฟุตปรินท์เกรย์ต่อไป อย่างไรก็ตาม มีเกษตรกรจำนวน 4 ราย ที่ไม่มีการใส่ปุ๋ยให้ต้นกาแฟ และเกษตรกรทุกคนไม่ใช้สารเคมีป้องกันกำจัดศัตรูพืช

ตารางที่ 5.2-2 การใช้ปุ๋ยเคมีในแปลงปลูกกาแฟและผลผลิตกาแฟ ในพื้นที่จังหวัดเชียงรายและเชียงใหม่

อำเภอ	พื้นที่ปลูก (ไร่)	ปริมาณปุ๋ยที่ใช้ (กก.)	ปริมาณไนโตรเจน (กก./ไร่)	ผลผลิต (กก./ไร่)
จังหวัดเชียงราย (23 คน)				
เมือง	93	6,500	87	520
เวียงป่าเป้า	153	11,750	186	481
แม่สรวย	241	15,100	283	263
แม่ฟ้าหลวง	404	27,450	456	379
เวียงแก่น	7	5,000	100	357
เฉลี่ย				407
จังหวัดเชียงใหม่ (10 คน)				
ดอยสะเก็ด	112	6,160	62	583
สะเมิง	36	ไม่ใช้ปุ๋ยเคมี	0	200
แม่วาง	20	ไม่ใช้ปุ๋ยเคมี	0	192
เฉลี่ย				401

2.3 การคำนวณหาค่าวอเตอร์ฟุตพรินท์ จากกระบวนการเพาะปลูกพืชโดยใช้โปรแกรม CROPWAT 8.0 ต้องใช้ข้อมูลจำเป็น (data input) ได้แก่ ค่าสัมประสิทธิ์การใช้น้ำของพืช (crop coefficient: Kc) ซึ่งในการศึกษาครั้งนี้แบ่งค่าสัมประสิทธ์การใช้น้ำของพืชกาแฟเป็น 3 ช่วง คือ Kc ini Kc mid และ Kc end (with weed) เท่ากับ 1.05 1.1 และ 1.1 (Richard *et al*., 1998) ซึ่งจากการสัมภาษณ์เกษตรกร พบว่า กาแฟอะราบิกาออกดอกในเดือนมกราคมถึงมิถุนายน สามารถเก็บเกี่ยวผลผลิตได้ในช่วงเดือนพฤศจิกายนถึงมีนาคมของปีถัดไป ซึ่งอาจคาดการณ์ค่าสัมประสิทธิ์การใช้น้ำของพืชกาแฟตามข้อมูลจากเกษตรกร ได้แก่ ช่วงเริ่มต้น (Kc ini) คือเดือนมกราคม-กุมภาพันธ์ ช่วงกลาง (Kc med) คือเดือนมีนาคม-กันยายน และช่วงปลาย (Kc end) คือเดือนตุลาคม-เดือนกุมภาพันธ์ (ตารางที่ 5..2-3)

จากข้อมูลสภาพอากาศของจังหวัดเชียงรายและเชียงใหม่ พบว่า เดือนเมษายน มีการระเหยน้ำของพืช (Eto) มากที่สุด คือ 146.40 และ 160.20 มิลลิเมตรต่อเดือน ตามลำดับ โดยในส่วนของเดือนธันวาคมมีการระเหยน้อยที่สุด คือ 75.64 และ 87.73 มิลลิเมตรต่อเดือน ตามลำดับ ทั้งนี้ค่าศักย์การคายระเหยน้ำของพืชของพื้นที่จังหวัดเชียงรายตลอดทั้งปี มีค่าเฉลี่ยคือ 3.63 มิลลิเมตรต่อวัน หรือ 110.41 มิลลิเมตรต่อเดือน ตามลำดับ (ตารางที่ 5.2-4) ส่วนของจังหวัดเชียงใหม่ มีค่าเฉลี่ย คือ 3.85 มิลลิเมตรต่อวัน และ 117.06 มิลลิเมตรต่อเดือน ตามลำดับ (ตารางที่ท 5.2-5)

ตารางที่ 5.2-3 ข้อมูลพืชของกาแฟสำหรับการนำเข้าโปรแกรม CROPWAT8.0

รายการ	ค่าพารามิเตอร์
การเจริญเติบโต (วัน)	365
ค่าสัมประสิทธิ์การใช้น้ำ (Kc value) [1/]	
(With weed)	
Kc ini (มกราคม-กุมภาพันธ์)	1.05
Kc mid (มีนาคม-กันยายน)	1.10
Kc end (ตุลาคม-กุมภาพันธ์)	1.10
ค่าการหยั่งลึกของรากพืช (เมตร)	2
ค่าระดับการขาดน้ำของพืช (ร้อยละ)	0.4
ค่าปัจจัยในการตอบสนองต่อการให้ผลผลิตของพืช	3.0

[1/] Richard *et al*, (1998)

ตารางที่ 5.2-4 ค่าการระเหยน้ำของพืชอ้างอิงรายวันและรายเดือนของจังหวัดเชียงราย

เดือน	ระยะ	Eto[1/] (มม./วัน)	จำนวนวัน	Eto (มม./เดือน)	Kc[2/]	Etc (มม./เดือน)	ปริมาณน้ำฝน (มม.)	ปริมาณน้ำฝนใช้การ[1/] (มม.)
มกราคม	เก็บเกี่ยว/พัฒนากิ่งก้าน	2.66	31	82.46	1.05	86.58	11.2	11
กุมภาพันธ์	เก็บเกี่ยว/พัฒนากิ่งก้าน	3.42	28	95.76	1.05	100.55	12.2	12
มีนาคม	เก็บเกี่ยว/ออกดอก	4.07	31	126.17	1.1	138.79	20.9	20.2
เมษายน	ออกดอก	4.88	30	146.40	1.1	161.04	94.6	80.3
พฤษภาคม	ออกดอก	4.62	31	143.22	1.1	157.54	194.7	134
มิถุนายน	ออกดอก/ติดผล	4.05	30	121.50	1.1	133.65	194.8	134.1
กรกฎาคม	ติดผล	3.80	31	117.80	1.1	129.58	319.1	156.9
สิงหาคม	ติดผล	3.65	31	113.15	1.1	124.47	377.7	162.8
กันยายน	ติดผล	3.69	30	110.70	1.1	121.77	271.2	152.1
ตุลาคม	เก็บเกี่ยว	3.43	31	106.33	1.1	116.96	130.7	103.4
พฤศจิกายน	เก็บเกี่ยว	2.86	30	85.80	1.1	94.38	56.6	51.5
ธันวาคม	เก็บเกี่ยว	2.44	31	75.64	1.1	83.20	18.5	18
	เฉลี่ย	3.63		110.41		120.71	1702.2	1036.3

หมายเหตุ:

[1/] ค่าการคายระเหยน้ำของพืชอ้างอิงรายวันและรายเดือน คำนวณโดยใช้โปรแกรม CROP WAT8.0

[2/] coffee Kc value, Richard *et al.* (1998)

ตารางที่ 5.2-5 ค่าการระเหยน้ำของพืชอ้างอิงรายวันและรายเดือนของจังหวัดเชียงใหม่

เดือน	ระยะ	Eto[1/] (มม./วัน)	จำนวนวัน	Eto (มม./เดือน)	Kc[2/]	Etc (มม./เดือน)	ปริมาณน้ำฝน (มม.)	ปริมาณน้ำฝนใช้การ[1/] (มม.)
มกราคม	เก็บเกี่ยว/พัฒนากิ่งก้าน	2.95	31	91.45	1.05	96.02	7.7	7.6
กุมภาพันธ์	เก็บเกี่ยว/พัฒนากิ่งก้าน	3.85	28	107.80	1.05	113.19	9.2	9.1
มีนาคม	เก็บเกี่ยว/ออกดอก	4.8	31	148.80	1.1	163.68	17.3	16.8
เมษายน	ออกดอก	5.34	30	160.20	1.1	176.22	54.5	49.7
พฤษภาคม	ออกดอก	4.75	31	147.25	1.1	161.98	155.4	116.8
มิถุนายน	ออกดอก/ติดผล	4.06	30	121.80	1.1	133.98	119.4	96.6
กรกฎาคม	ติดผล	3.74	31	115.94	1.1	127.53	157.6	117.9
สิงหาคม	ติดผล	3.54	31	109.74	1.1	120.71	224.4	143.8

เดือน	ระยะ	Eto[1/] (มม./วัน)	จำนวนวัน	Eto (มม./เดือน)	Kc[2/]	Etc (มม./เดือน)	ปริมาณน้ำฝน (มม.)	ปริมาณน้ำฝนใช้การ[1/] (มม.)
กันยายน	ติดผล	3.6	30	108.00	1.1	118.80	202.4	136.9
ตุลาคม	เก็บเกี่ยว	3.56	31	110.36	1.1	121.40	116.6	94.8
พฤศจิกายน	เก็บเกี่ยว	3.19	30	95.70	1.1	105.27	51.4	47.2
ธันวาคม	เก็บเกี่ยว	2.83	31	87.73	1.1	96.50	18.1	17.6
	เฉลี่ย	3.85		117.06		127.94	1134	854.8

หมายเหตุ:

[1/] ค่าการคายระเหยน้ำของพืชอ้างอิงรายวันและรายเดือน คำนวณโดยใช้โปรแกรม CROP WAT8.0

[2/] coffee Kc value, Richard *et al.* (1998)

2.3.1 การประเมินกรีนวอเตอร์ฟุตพรินท์

จากสมการที่ (1) หาค่าการคายระเหยของน้ำตลอดระยะเวลาการเจริญเติบโตของกาแฟอะราบิกา โดยใช้โปรแกรม CROPWAT8.0 เพื่อนำไปคำนวณค่ากรีนวอเตอร์ฟุตพรินท์และค่าบลูวอเตอร์ฟุตพรินท์ ซึ่งเกษตรกรที่สัมภาษณ์ ปลูกและดูแลกาแฟโดยอาศัยน้ำฝน มีผลผลิตเฉลี่ยแต่ละอำโดยภายใต้เหตุการณ์แบบเกษตรน้ำฝน (Rain-fed condition) กำหนดให้ ETgreen= ETa และ ETblue = 0 โดยที่ ETa = ค่าการคายระเหยน้ำของพืชจริง มีค่าเท่ากับค่าการใช้น้ำของพืชจริง พบว่า ค่ากรีนวอเตอร์ฟุตปรินท์เฉลี่ยของจังหวัดเชียงราย คือ 5.65 ลูกบาศก์เมตร/กิโลกรัม น้อยกว่าจังหวัดเชียงใหม่ (6.87 ลูกบาศก์เมตร/กิโลกรัม) แต่เมื่อพิจารณาแต่ละอำเภอในของจังหวัดเชียงราย พบว่า เกษตรกร อำเภอแม่สรวยมีค่ากรีนวอเอตร์ฟุตพรินท์มากที่สุดคือ 8.74 ลูกบาศก์เมตรต่อกิโลกรัม เมื่อเทียบกับปริมาณผลผลิตที่ได้เพียง 263 กิโลกรัมต่อไร่ (ตารางที่ 5.2-6) ทั้งนี้ เนื่องจากเกษตรกรกลุ่มดังกล่าวอยู่ระหว่างการปรับเปลี่ยนเพื่อขอรับรองแปลงผลิตพืชอินทรีย์ เช่นเดียวกับเกษตรกรอำเภอสะเมิง ที่เน้นการใช้ปุ๋ยอินทรีย์ และอำเภอแม่วาง ที่ไม่มีการใส่ปุ๋ยบำรุงต้นกาแฟ

ตารางที่ 5.2-6 ค่าการคายระเหยน้ำ ค่ากรีนและบลูวอเตอร์ฟุตพรินท์ ของจังหวัดเชียงรายและเชียงใหม่

จังหวัด	ค่าการระเหยน้ำของพืชอ้างอิง (มม./เดือน)	ผลผลิตกาแฟ (กก/ไร่)	ค่าความต้องการน้ำของพืช (ลบ.ม./ไร่)	กรีนวอเตอร์ฟุตปรินท์ (ลบ.ม./กก)
	ET green	Y	CWU green	WF green
เชียงราย	1437.9	407	2,300.6	5.65
เมือง		520		4.42
เวียงป่าเป้า		481		4.78
แม่สรวย		263		8.74
แม่ฟ้าหลวง		379		6.07
เวียงแก่น		357		6.44
เชียงใหม่	1525.6	401	2,440.9	6.87
ดอยสะเก็ด		583		4.19
สะเมิง		200		12.20
แม่วาง		192		12.71

2.3.2 การประเมินเกรย์วอเตอร์ฟุตพรินท์

สำหรับการใช้ปัจจัยการผลิตของเกษตรกร โดยเฉพาะการใส่ปุ๋ยเคมีที่มีธาตุไนโตรเจนเป็นส่วนประกอบ ที่สามาระถูกชะละลายสู่สิ่งแวดล้อมได้ง่าย จนอาจเกิดปัญหาในด้านสิ่งแวดล้อม โดยเฉพาะพื้นที่ลาดชัน ซึ่งมีความเสี่ยงต่อการชะละลายไนโตรเจนสู่พื้นที่ต่ำกว่า ซึ่งจากการคำนวณ โดยใช้สมการที่ (3) เพื่อ

หาปริมาณน้ำที่ต้องใช้เจือจางปุ๋ยที่มีอยู่ในแหล่งน้ำ พบว่า จังหวัดเชียงรายมีค่าเกรย์วอเตอร์ฟุตพรินท์สูงกว่าจังหวัดเชียงใหม่ คือ 2.43 และ 0.19 ลบ.ม./กก ตามลำดับ โดยเฉพาะอำเภอแม่ฟ้าหลวง จังหวัดเชียงราย ที่มีค่าเกรย์วอเตอร์ฟุตพรินท์มากที่สุดคือ 10.97 ลบ.ม./กก. ซึ่งสอดคล้องกับปริมาณปุ๋ยเคมีที่เกษตรกรใส่ในแปลงกาแฟ (ตารางที่ 5.2-7) ที่ทำให้ผลผลิตกาแฟมากกว่าอำเภออื่นๆ ด้วย

ตารางที่ 5.2-7 การใช้ปุ๋ยเคมีไนโตรเจนและปริมาณน้ำที่ต้องใช้เพื่อเจือจางการชะล้างปุ๋ยที่มีอยู่ในแหล่งน้ำของจังหวัดเชียงรายและเชียงใหม่

จังหวัด	ผลผลิตเฉลี่ย (กก/ไร่)	ปริมาณปุ๋ยไนโตรเจนที่ใช้ (กก./ไร่)	สัดส่วนการชะล้าง (กิโลกรัม/ปี)	วอเตอร์ฟุตปรินท์เกรย์ (ลบ.ม./กก)
เชียงราย	407	222.4	22.24	2.43
เมือง	520	87	8.7	0.29
เวียงป่าเป้า	481	186	18.6	1.44
แม่สรวย	263	283	28.3	6.09
แม่ฟ้าหลวง	379	456	45.6	10.97
เวียงแก่น	357	100	10	0.56
เชียงใหม่	401	62	6.2	0.19
ดอยสะเก็ด	583	62	6.2	0.13
สะเมิง	200	0	0	0.00
แม่วาง	192	0	0	0.00

สำหรับค่าวอเตอร์ฟุตพรินท์ของกาแฟอะราบิกาที่ให้ผลผลิตแล้ว จังหวัดเชียงรายมีค่าเฉลี่ย 8.08 ลบ.ม/กก เป็นกรีนวอเตอร์ฟุตพรินท์ บลูวอเตอร์ฟุตพรินท์ และเกรย์วอเตอร์ฟุตพรินท์ เฉลี่ย 5.65 0 และ 2.43 ลบ.ม/กก ตามลำดับ และสำหรับจังหวัดเชียงใหม่ มีค่าเฉลี่ย 7.06 ลบ.ม/กก เป็นกรีนวอเตอร์ฟุตพรินท์ บลูวอเตอร์ฟุตพรินท์ และเกรย์วอเตอร์ฟุตพรินท์ เฉลี่ย 6.87 0 และ 0.19 ลบ.ม/กก ตามลำดับ (ตารางที่ 5.2-8)

ตารางที่ 5.2-8 วอเตอร์ฟุตปรินท์ของกาแฟอะราบิกา จังหวัดเชียงรายและเชียงใหม่

จังหวัด	วอเตอร์ฟุตปรินท์ กรีน (ลบ.ม./กก)	วอเตอร์ฟุตปรินท์ บลู (ลบ.ม./กก)	วอเตอร์ฟุตปรินท์เกรย์ (ลบ.ม./กก)	วอเตอร์ฟุตปรินท์ (ลบ.ม/กก.)
เชียงราย	5.65	0	2.43	8.08
เชียงใหม่	6.87	0	0.19	7.06

สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

1. ผลการศึกษาสัมประสิทธิ์การใช้น้ำของกาแฟโรบัสตา ในช่วงการเจริญเติบโตก่อนให้ผลผลิต ช่วงอายุ 1-12 เดือนหลังย้ายปลูก ในถังวัดปริมาณการใช้น้ำของพืชแบบระบายน้ำ โดยทำการศึกษาเก็บข้อมูลตั้งแต่วันที่ 1 ธันวาคม 2559 ถึง วันที่ 30 พฤศจิกายน 2560 ณ แปลงทดลองสถานีทดลองการใช้น้ำชลประทานที่ 7 (ปัตตานี) อ.เมือง จ.ยะลา สามารถสรุปผลการศึกษาได้ดังนี้

1.1 ปริมาณการใช้น้ำ (Evapotranspiration: ET) ของกาแฟโรบัสต้า ในช่วงการเจริญเติบโตก่อนให้ผลผลิตและช่วงการให้ผลผลิต มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 3.84 และ 3.17 มิลลิเมตรต่อวัน ตามลำดับ

1.2 ค่าสัมประสิทธิ์ของถาดวัดการระเหยเบ็ดเสร็จ (Overall Pan Coefficient: K'p) ของกาแฟโรบัสต้า ในช่วงการเจริญเติบโตก่อนให้ผลผลิตและช่วงการให้ผลผลิต มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.91 และ 0.80 ตามลำดับ

1.3 ปริมาณการใช้น้ำของพืชอ้างอิง โดยใช้ข้อมูลภูมิอากาศในช่วงทำการศึกษา ที่คำนวณโดยใช้สมการ Pan Method, Hargreaves, Radiation, Blaney Criddle, Modified Penman และ Penman Monteith มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 3.61, 4.82, 3.87, 3.55, 4.34, และ 3.69 ตามลำดับ และช่วงการให้ผลผลิต 3.45, 4.90, 3.93, 3.55, 4.35, และ 3.73 ตามลำดับ

1.4 ค่าสัมประสิทธิ์การใช้น้ำของพืช (Crop Coeffient: Kc) ของกาแฟโรบัสต้า ในช่วงการเจริญเติบโตก่อนให้ผลผลิต ที่คำนวณโดยใช้สมการ Pan Method, Hargreaves, Radiation, Blaney Criddle, Modified Penman และ Penman Monteith มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.91, 1.08, 0.79, 1.01, 1.08, 0.90 และ 1.05 ตามลำดับและช่วงการให้ผลผลิต มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.80, 0.94, 0.64, 0.82, 0.89, 0.74 และ 0.86 ตามลำดับ

2. การวิเคราะห์วอเตอร์ฟุตปริ๊นท์ของการผลิตกาแฟโรบัสตา จากการคำนวณค่าผลรวมวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ของกาแฟโรบัสตาในพื้นที่ 3 จังหวัด โดยใช้ค่าผลผลิตเฉลี่ย 5 ปี พบว่า จังหวัดที่มีค่าวอเตอร์ฟุตพริ้นท์มากที่สุด คือ จังหวัดสุราษฎร์ธานี (51.033 ลูกบาศก์เมตร/กิโลกรัม) รองลงมาคือ ระนอง และชุมพร ตามลำดับ เมื่อพิจารณาค่าวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ในแต่ละจังหวัด พบว่า ในจังหวัดสุราษฎร์ธานี มีปริมาณการใช้น้ำมากกว่าจังหวัดชุมพรร้อยละ 68 ซึ่งเป็นผลเนื่องมาจากความต้องการการใช้น้ำที่แตกต่างกันในแต่ละพื้นที่ โดยส่วนใหญ่เกิดมาจากปริมาณของผลผลิตกาแฟโรบัสตาต่อพื้นที่ต่ำ ลักษณะสภาพแวดล้อมที่ไม่เหมาะสม ทำให้การจัดการเพาะปลูกต้องมากขึ้น ดังนั้นจึงจำเป็นต้องหาแนวทางในการลดค่าวอเตอร์ฟุตพิ้นท์ที่เกิดขึ้นโดยเพิ่มประสิทธิภาพการผลิต เช่น การจัดพัฒนาระบบน้ำในการเพาะปลูกสร้างระบบน้ำเพื่อช่วยเพิ่มปริมาณผลผลิตต่อพื้นที่ เมื่อจำแนกตามประเภทของวอเตอร์ฟุตพริ้นท์พบว่า ในพื้นที่ปลูกกาแฟโรบัสตามีค่าเฉลี่ยของปริมาณกรีนวอเตอร์ฟุตพริ้นท์สูงสุด รองลงมาคือบลูเวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ และเกรย์วอเตอร์ฟุตพริ้นท์มีค่าน้อยที่สุด มีค่าเท่ากับ 23.40 11.87 และ 0.409 ลูกบาศก์เมตร/กิโลกรัม ตามลำดับ คิดเป็นร้อยละ 65 33 และ 1 จากการคำนวณนั้นสามารถอธิบายได้ว่า ในแต่ละจังหวัดมีปริมาณฝนใช้การ (Effective rain) สูงมากสำหรับการนำไปใช้ โดยฝนใช้การ คือ น้ำฝนส่วนที่สามารถนำมาใช้ประโยชน์ได้จริง ซึ่งไม่รวมปริมาณน้ำฝนทั้งหมดที่ตกลงบนพื้นที่เพาะปลูกบางส่วนที่ไม่ได้เก็บอยู่ในพื้นที่เพาะปลูก แต่มีการไหลล้นออกไปตามผิวดินและใต้ดินบ้าง และบางส่วนติดค้าอยู่บนใบและกิ่งก้านของต้นพืชแล้วระเหยไป โดยค่าเฉลี่ยปริมาณฝนใช้การของประเทศไทยอยู่ที่ร้อยละ 80 ซึ่งปัจจัยที่มีผลต่อค่าฝนใช้การ เช่น ปริมาณที่ฝนที่ตก ชนิดของพืชที่ปลูก คุณสมบัติของดิน ความชื้นของดิน ความสามารถของดินที่จะดูดซับน้ำฝน ความลาดชันของดิน ความลึกของรากพืช และลักษณะภูมิประเทศ ทำให้พืชสามารถนำน้ำจากน้ำฝนและความชื้นในดินไปใช้ได้มากตามความต้องการ แสดงให้เห็นว่า น้ำฝนถือเป็นปัจจัยสำคัญในการเจริญเติบโตของกาแฟโรบัสตา แต่ยังต้องพึ่งพาแหล่งน้ำจาก

ชลประทานเพื่อให้มีปริมาณน้ำพอเพียงที่จะเจริญเติบโตและมีผลผลิตสูง หากเปรียบเทียบระหว่างน้ำจากทั้ง 2 แหล่ง จะเห็นว่าน้ำฝนถือเป็นทรัพยากรที่ไม่มีต้นทุน ในขณะที่น้ำชลประทานมีต้นทุนมากกว่า เพราะต้องอาศัยการจัดการสูงกว่าในการกักเก็บและกระจายน้ำไปยังพื้นที่ปลูก ประเทศไทยตั้งอยู่ในภูมิประเทศที่อยู่ในเขตร้อนและได้รับอิทธิพลจากลมมรสุมตลอด จึงถือว่าได้เปรียบเนื่องจากมีปริมาณน้ำฝนมาก ส่วนปริมาณที่ใช้ในการปรับสภาวะมลพิษในแหล่งน้ำให้อยู่ในมาตรฐานคุณภาพน้ำของแหล่งน้ำตามธรรมชาติ แม้ว่าจะมีสัดส่วนที่ต่ำกว่า แต่ถือว่าเป็นส่วนที่ควรให้ความสำคัญมาก เนื่องจากเป็นการสะท้อนถึงความเป็นมลพิษต่อแหล่งน้ำ ซึ่งส่งผลกระทบต่อเนื่องในระบบนิเวศ

3. การวิเคราะห์วอเตอร์ฟุตปริ้นท์ของการผลิตกาแฟอะราบิกา จากการสัมภาษณ์เกษตรกรผู้ปลูกกาแฟในพื้นที่จังหวัดเชียงรายและเชียงใหม่ ซึ่งเป็นแหล่งผลิตอะราบิกาที่สำคัญของประเทศไทย พบว่า เกษตรกรปลูกกาแฟพันธุ์อะราบิกาบนที่ลาดชันและที่ราบเชิงเขา ปลูกร่วมกับป่าธรรมชาติ ชาเมี่ยงและไม้ผลเมืองหนาว พึงพาอาศัยธรรมชาติโดยเฉพาะน้ำฝน บำรุงต้นกาแฟด้วยปุ๋ยเคมี ปุ๋ยอินทรีย์ และปุ๋ยอินทรีย์เคมี ใส่ปีละ 2 ครั้ง ช่วงเดือนมิถุนายนและกันยายน ไม่มีการใช้สารเคมีป้องกันกำจัดศัตรูพืช เมื่อพิจารณาผลรวมของค่าวอเตอร์ฟุตปรินท์ พบว่า จังหวัดเชียงรายมีค่าเฉลี่ยมากที่สุดคือ 8.08 ลบ.ม/กก เป็นวอเตอร์ฟุตปรินท์กรีน วอเตอร์ฟุตปรินท์บลู และวอเตอร์ฟุตปรินท์เกรย์ เฉลี่ย 5.65 0 และ 2.43 ลบ.ม/กก ตามลำดับ และสำหรับจังหวัดเชียงใหม่ มีค่าเฉลี่ย 7.06 ลบ.ม/กก เป็นวอเตอร์ฟุตปรินท์กรีน วอเตอร์ฟุตปรินท์บลู และวอเตอร์ฟุตปรินท์เกรย์ เฉลี่ย 6.87 0 และ 0.19 ลบ.ม/กก ตามลำดับ การใช้ปุ๋ยเคมีที่มีไนโตรเจนเป็นองค์ประกอบ ทำให้ค่าวอเตอร์ฟุตปรินท์เกรย์เพิ่มขึ้น และมีความเสี่ยงในการปนเปื้อนในสิ่งแวดล้อมและระบบนิเวศ แต่หากไม่มีการบำรุงต้นก็จะทำให้ได้ผลผลิตน้อย ดังนั้นจึงควรส่งเสริมให้ใช้ปุ๋ยเคมีให้เหมาะสมทั้งด้านปริมาณและระยะเวลาที่ใส่

บรรณานุกรม

กรมชลประทาน. มปป. ปริมาณการใช้น้ำพืชอ้างอิงโดยวิธี Modified Penman. [เอกสารออนไลน์]. http://water.rid.go.th/hwm/cropwater/CWRdata/ETo/MP-North.htm ค้นพบเมื่อ 25 พฤศจิกายน 2564.

กรมพัฒนาที่ดิน. 2552. รายงานสำรวจดินเพื่อการเกษตรจังหวัดเชียงราย. เอกสารวิชาการฉบับที่ 156/02/52. สำนักสำรวจจำแนกดินและวางแผนการใช้ที่ดิน. กรมพัฒนาที่ดิน. กระทรวงเกษตรและสหกรณ์.

กรมวิชาการเกษตร. 2547. เอกสารวิชาการ กาแฟ. เอกสารวิชาการลำดับที่ 17/2547. สถาบันวิจัยพืชสวน กรมวิชาการเกษตร. พิมพ์ครั้งที่ 1. โรงพิมพ์ดอกเบี้ย กรุงเทพฯ. 127 หน้า.

เจาว เปาโล โคเลีย, ธนเดช จิระประกอบชัย, มาริน่า เชวิส, โจเซฟ เกย์, วีรวิชญ์ กุลสิทธิไชยา, ดนยา ปรัชญนันทน์ และ อาแมนด้า ไรอัน. 2556. คู่มือกาแฟ: แนวทางการทำไร่กาแฟอย่างยั่งยืนในภาคเหนือของประเทศไทย. เอกสารเผยแพร่ มูลนิธิรักษ์ไทย IQP-SSP6 (2013). 28 หน้า.

วิบูลย์ บุญยธโรกุล. 2526. หลักการชลประทาน. ห.จ.ก. โรงพิมพ์เอเชีย. กรุงเทพฯ. 274 หน้า.

ศูนย์สารสนเทศการเกษตร สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์. 2563. นโยบายการบริหารผลผลิต/ส่งเสริมการผลิตสินค้าเกษตรในประเทศ.

สุรีย์ สอนสมบูรณ์. 2526. เกษตรชลประทานประยุกต์. ฝ่ายเกษตรชลประทาน กองจัดสรรน้ำและบำรุงรักษา กรมชลประทาน. กรุงเทพฯ. 275 หน้า.

โอสถ ชาญเวชช์ และธีระพล ตั้งสมบุญ. 2543. เอกสารวิชาการปริมาณการใช้น้ำชลประทานของพืช ปริมาณการใช้น้ำของพืชอ้างอิง และค่าสัมประสิทธิ์พืช. ส่วนการใช้น้ำชลประทาน สำนักอุทกวิทยาและบริหารน้ำ กรมชลประทาน. กรุงเทพฯ. 109 หน้า.

Antonio, R.P., B.P.C. Marcelo and A.V.N. Nilson. 2011. Coffee crop coefficient for precision irrigation based on leaf area index. Agrometeorology Article Bragantia, Campinas, v. 70, n. 4, p.946-951.

Ashley, B. A. 1983[2006]. Crop-water relation. John Wiley and Sons Inc. New York. 422p.

Boyer, J.S. 1976. Photosynthesis at low water potential. Phil. Trans. Roy. Soc. London. B. 273: 501-512.

Chapagain, A.K. and A.Y. Hoekstra. 2007. The water footprint of coffee and tea consumption in the Netherlands, Ecological Economics 64: 109-118.

Chapagain, A.K., Hoekstra, A.Y., Savenije, H.H.G., Gautam, R., 2006. The water footprint of cotton consumption: an assessment of the impact of worldwide consumtion of cotton products on the water resources in the cotton producing countries. Ecological Economics, 60, 186-203.

Devlin, R.M. 1975. Plant Physiology. 3rd Edition. D. Van Nostrand Company lnc. N.Y. 600p.

Emilio S., A.A.B. Eduardo, M.C.S. Jane, C.M.P. Regina. 2015. Coffee productivity and root systems in cultivation schemes with different population arrangements and with and without drip irrigation. Agricultural Water Management 148 (2015): 16-23.

Hoekstra A. Y. and Chapagain A. K. 2007. Water footprints of nations: Water use by people as a function of their consumption pattern. ***Water Resources Management***. 21: 35-48.

Hoekstra, A.Y., Chapagain, A.K., Aldaya, M.M. and M.M. Mekonnen. 2011. The water footprint assessment manual: setting the global standard. Water footprint Network, The Netherlands.

Liu, F.l., A. Shahnazari, M.N. Andersen, S.E. Jacobsen and C.R. Jensen. 2006. Effects of deficit irrigation and partial root drying on gas exchange biomass partitioning and water use efficiency in potato. Scientia Horticulturae. 109: 113-117.

Liu, X., F. Li, Y. Zhang and Q. Yang. 2016. Effects of deficit irrigation on yield and nutritional quality of Arabica coffee (*Coffea arabica*) under different N rates in dry and hot region of southwest China. Agricultural Water Management 172 (2016): 1-8.

Mekonnen M. M. and Hoekstra A. Y. 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, D. Raes, and M. Smith. 1998. Crop evapotranspiration - Guidelines for computing crop water requirements - FAO Irrigation and drainage paper 56. FAO.

United Nations. 2011. UN-Water Statistics: Graphs & Maps. (ระบบออนไลน์) www.unwater.org/statistics_res.html (14 สิงหาคม 2555)

กิจกรรมที่ 6

การวิเคราะห์วอเตอร์ฟุตพริ้นท์ของการผลิตข้าวโพด

Water Footprint Assessment for Corn Production

เพชรลดา นวลตาล กัญญรัตน์ จำปาทอง จิราลักษณ์ ภูมิไธสง สุวิตา เกิดเล็ก รัศมี สิมมา พรทิพย์ จันทร์บุตร์
จิตรลดา ทองสอดแสง ชูศักดิ์ คุณุไทย ศิริลักษณ์ สมนึก และวิชณีย์ ออมทรัพย์สิน
Phetrada Nualtan Kanyarat Champathong Jiraluck Phomthaison
Suvita kerdlek Ratsamee Simma Pornthip Chanbut Chitrlada Thongsodsaeng
Choosak Kunuthai Siriluk Somnuek and Vichanee Ormzubsin

คำสำคัญ (Key words)
รอยเท้าน้ำ, ข้าวโพดหวาน, ข้าวโพดฝักอ่อน, ข้าวโพดเลี้ยงสัตว์
water footprint, sweet corn, baby corn, Maize.

บทคัดย่อ

ศึกษาวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ข้าวโพดหวาน ข้าวโพดฝักอ่อน และข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ ในปี 2562-2564 ในข้าวโพดหวาน และข้าวโพดฝักอ่อน ปี 2562-2563 วางแผนการทดลองแบบ Randomization Complete Block Design 4 ซ้ำ 6 กรรมวิธี ประกอบด้วย ปริมาณการให้น้ำที่กำหนดโดยใช้อัตราส่วนระหว่างปริมาณน้ำที่ให้ต่อค่าการระเหยจากถาดวัดการระเหย (Irrigation water/Evaporation, IW/E) 6 อัตรา คือ 0.0 0.2 0.4 0.6 0.8 และ 1.0 ในปี 2564 ศึกษาวอเตอร์ฟุตพริ้นท์การผลิตข้าวโพดหวาน ข้าวโพดฝักอ่อนและข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ในแปลงเกษตรกร พบว่า ปี 2562 ข้าวโพดหวานและข้าวโพดฝักสด ที่ให้น้ำอัตรา IW/E 1.0 วอเตอร์ฟุตพริ้นท์มีค่า 130 และ 103 ลูกบาศก์เมตรต่อตัน ตามลำดับ ปี 2563 ข้าวโพดหวานและข้าวโพดฝักสด ที่ให้น้ำอัตรา IW/E 0.8 วอเตอร์ฟุตพริ้นท์มีค่า 38 และ 93 ลูกบาศก์เมตรต่อตัน ตามลำดับ ปี 2564 การผลิตข้าวโพดหวานในแปลงเกษตรกรมีวอเตอร์ฟุตพริ้นท์สีเขียว วอเตอร์ฟุตพริ้นท์สีน้ำเงิน วอเตอร์ฟุตพริ้นท์สีเทาและวอเตอร์ฟุตพริ้นท์รวม มีค่า 130 776 0.010 และ 907 ลูกบาศก์เมตรต่อตัน ตามลำดับ การผลิตข้าวโพดฝักอ่อนของเกษตรกร วอเตอร์ฟุตพริ้นท์สีเขียว วอเตอร์ฟุตพริ้นท์สีน้ำเงิน วอเตอร์ฟุตพริ้นท์สีเทา และวอเตอร์ฟุตพริ้นท์รวมมีค่า 95 4,979 0.018 และ 5,074 ลูกบาศก์เมตรต่อตัน ตามลำดับ การผลิตข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ในภาคเหนือของไทยได้แก่ จังหวัดน่าน ตาก และเพชรบูรณ์ วอเตอร์ฟุตพริ้นท์สีเขียวมีค่า 219.98, 211.63, 310.69 ลูกบาศก์เมตรต่อตันผลผลิต ตามลำดับ วอเตอร์ฟุตพริ้นท์สีเทามีค่า 0.09 0.05 และ 0.10 ลูกบาศก์เมตรต่อตันผลผลิต ตามลำดับ และวอเตอร์ฟุตพริ้นท์รวม มีค่า 220.08 211.67 และ 310.79 ลูกบาศก์เมตรต่อตันผลผลิต ตามลำดับ ส่วนการผลิตข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ภาคตะวันออกเฉียงเหนือของไทย ได้แก่ จังหวัดเลย นครราชสีมา และชัยภูมิ วอเตอร์ฟุตพริ้นท์สีเขียวมีค่า 30.90, 282.80, 242.07 ลูกบาศก์เมตรต่อตันผลผลิต ตามลำดับ วอเตอร์ฟุตพริ้นท์สีน้ำเงินมีค่า 1,057.23 0 และ 0 ลูกบาศก์เมตรต่อตันผลผลิต ตามลำดับ วอเตอร์ฟุตพริ้นท์สีเทามีค่า 0.07 0.04 และ 0.05 ลูกบาศก์เมตรต่อตันผลผลิต ตามลำดับ และวอเตอร์ฟุตพริ้นท์รวมมีค่า 1,088.2 282.80 และ 242.58 ลูกบาศก์เมตรต่อตันผลผลิต ตามลำดับ

Abstracts

Study the water footprint of sweet corn, baby corn, and maize in 2019-2021. In 2019-2020, Randomization Complete Block Design with 4 replications was used in this experiment 6 treatments were included with the water content assigned by the ratio of irrigation water and evaporation (Irrigation water/Evaporation; IW/E) at 0.0 0.2 0.4 0.6 0.8 and 1.0 rate. The result showed that at the rate of IW/E 0.8 and 1.0 of was the most efficient of using water resources. In 2021, the study water footprint of sweet corn, baby corn, and maize production in farmer's fields. The results showed that in 2019, sweet corn and baby corn of the water supply at the IW/E rate of 1.0 has a water footprint of 130 and 103 m^3/ton, respectively. In 2020, sweet corn and baby corn of the water supply at an IW/E rate of 0.8 has a water footprint of 38 and 93 m^3/ton, respectively. In 2021, the production of sweet corn in the green water footprint, Blue Water Footprint, Gray water footprint, and total water footprint was 130, 776, 0.010, and 907 m^3/ton, respectively. As for the production of baby corn in the green water footprint, blue water footprint, gray water footprint, and total water footprint were 95 4,979 0.018 and 5,074 m^3/ton, respectively. The production of maize in northern Thailand (Nan, Tak, and Phetchabun provinces), green water footprint was 219.98, 211.63, 310.69 m^3/ton, respectively. Gray water footprint was 0.09, 0.05, and 0.10 m^3/ton, respectively, and the total water footprint was 220.08, 211.67, and 310.79 m^3/ton, respectively. The production of maize in the northeastern region of Thailand (Loei, Nakhon Ratchasima, and Chaiyaphum), green water footprint was 30.90, 282.80, 242.07 m^3/ton, respectively. Blue water footprint was 1,057.23 0 and 0 m^3/ton, respectively. Gray water footprint 0.07 0.04 and 0.05 m^3/ton, respectively, and total water footprint is 1,088.2, 282.80, and 242.58 m^3/ton, respectively.

บทนำ

ผิวโลกประกอบด้วยน้ำ 3 ใน 4 ส่วน แบ่งเป็นน้ำเค็มร้อยละ 97.5 และน้ำจืดเพียงร้อยละ 2.5 ซึ่งน้ำจืดส่วนใหญ่อยู่ในรูปของน้ำแข็งร้อยละ 70 และอยู่ในรูปของเหลวร้อยละ 30 และน้ำจืดที่เป็นของเหลวร้อยละ 99 เป็นน้ำใต้ดิน และมีน้ำจืดเพียงร้อยละ 1 เท่านั้น ที่เป็นน้ำผิวดินในแม่น้ำ ลำคลอง และแหล่งน้ำผิวดินต่างๆ (วราวุธ, 2559) จากข้อมูลนี้ทำให้เราทราบว่าโลกของเรามีปริมาณน้ำจืดใช้อย่างจำกัดมาก ดังนั้นเราจึงมีความจำเป็นที่จะต้องใช้ทรัพยากรน้ำให้มีประสิทธิภาพสูงสุด

จากภาวะภูมิอากาศเปลี่ยนแปลงในปัจจุบัน ทำให้ทั่วโลกได้ตระหนักถึงผลกระทบที่จะเกิดขึ้นจากการนำทรัพยากรต่างๆ มาใช้ประโยชน์ ไม่ว่าจะเป็นผลกระทบทางด้านสิ่งแวดล้อม การบุกรุกทำลายป่า รวมถึงผลกระทบต่อการเกิดภาวะโลกร้อนซึ่งกำลังเผชิญอยู่ในปัจจุบัน ด้วยเหตุนี้ ทำให้หลายประเทศได้มีการศึกษาถึงผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมของการนำทรัพยากรมาใช้ประโยชน์ในรูปแบบต่าง ๆ เช่น การวิเคราะห์คาร์บอนฟุตพริ้นท์ การประเมินค่าวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ (Water Footprint) หรือ รอยเท้าสำหรับใช้น้ำ เป็นต้น การประเมินค่าวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ เป็นแนวคิดเกี่ยวกับปริมาณการใช้น้ำในการผลิตสินค้า และบริการอย่างใดอย่างหนึ่ง น้ำเป็นทรัพยากรที่มีอยู่อย่างจำกัด แต่ความต้องการใช้น้ำมีเพิ่มขึ้นตามการเติบโตของประชากรและเศรษฐกิจ และคาดว่าวอเตอร์ฟุตพริ้นท์จะเข้ามามีบทบาทต่อการกำหนดนโยบายในการค้าในอนาคต โดยเฉพาะตลาดในยุโรปและอเมริกา ซึ่งในอนาคตเราอาจจะเห็นการนำฉลากวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ มาแสดงบนผลิตภัณฑ์เพื่อให้ทั้งผู้ผลิตและผู้บริโภคให้ความสำคัญกับการใช้น้ำในการผลิตสินค้า วอเตอร์ฟุตพริ้นท์ (Water Footprint) เป็นค่าชี้วัดการใช้น้ำ ปริมาณน้ำที่ใช้ในกระบวนการผลิตสินค้าและบริการทั้งทางตรงและทางอ้อม โดยคำนวณปริมาณน้ำจากผลรวมของทุกขั้นตอนตลอดห่วงโซ่ของการผลิตสินค้าและบริการนั้น เพื่อให้ตระหนักถึงความสำคัญเรื่องการอนุรักษ์น้ำและการใช้ทรัพยากรน้ำอย่างมีประสิทธิภาพ ดังนั้น การศึกษาวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ของการผลิตข้าวโพดหวาน จึงเป็นเครื่องมือช่วยในการประเมินหามาตรการ สำหรับการวางแผนและจัดการทรัพยากรน้ำเพื่อการผลิตข้าวโพดหวานอย่างยั่งยืนในอนาคต

วอเตอร์ฟุตพริ้น (water footprint) หรือรอยเท้าน้ำ คือ ตัวชี้วัดปริมาณการใช้น้ำทั้งทางตรงและทางอ้อม.ในห่วงโซ่อุปทาน ซึ่งเริ่มตั้งแต่กระบวนการผลิตไปจนกระทั่งสินค้าส่งถึงมือผู้บริโภค โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อให้คนในโลกทั้งผู้ผลิตและผู้บริโภคทราบถึงปริมาณน้ำที่ใช้จริงในกระบวนการต่างๆ เพื่อปลุกจิตสำนึกให้คนตระหนักถึงคุณค่าของทรัพยากรน้ำซึ่งนับวันจะขาดแคลนมากขึ้น การศึกษาวอเตอร์ฟุตพริ้นท์เป็นการคำนวณปริมาณการใช้น้ำจากผลรวมทุกขั้นตอนตลอดห่วงโซ่การผลิตสินค้าและบริการหรือการเพาะปลูกพืช ซึ่งแสดงรายละเอียดสถานที่และระยะเวลาที่เกิดการใช้น้ำอย่างชัดเจน และสามารถนำปริมาณการใช้น้ำที่ได้มาประเมินผลกระทบที่เกิดจากการผลิตสินค้าและบริการรวมถึงการเพาะปลูกพืชที่มีต่อการใช้ทรัพยากรน้ำได้อีกด้วย เพื่อให้การจัดการทรัพยากรน้ำเกิดประโยชน์และมีประสิทธิภาพสูงสุด ทำให้เข้าใจถึงปัญหาการขาดแคลนน้ำ และมลภาวะทางน้ำได้ดียิ่งขึ้น เพื่อนำไปสู่การแก้ไขปัญหาที่เชื่อมโยงกับกระบวนการผลิตสินค้าและบริการ รวมทั้งการเพาะปลูกพืชทั้งระบบ ข้อมูลวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ที่ถูกต้องยังช่วยให้เกษตรกรและผู้วางนโยบายของประเทศสามารถตัดสินใจได้ว่าควรเพาะปลูกพืชชนิดใดเพื่อให้สอดคล้องกับปริมาณน้ำที่มีในแต่ละพื้นที่ ซึ่งจะทำให้การผลิตสินค้าเกษตรมีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น นอกจากนี้ การคำนวณวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ ยังสามารถนำมาใช้ต่อรองราคาการให้บริการด้านสภาพแวดล้อม (ecological services) ของสินค้าแต่ละชนิด และสามารถใช้เป็นดัชนีชี้วัดความยั่งยืน (sustainability indicator) และช่วยให้ผู้บริโภคตระหนักถึงความสำคัญของการใช้น้ำในการผลิตสินค้าและบริการรวมถึงการปลูกพืชแต่ละชนิดอีกด้วย

ข้าวโพดหวาน จัดเป็นข้าวโพดฝักสดกลุ่มพืชเพื่อการส่งออก ที่มีความสำคัญทางเศรษฐกิจของประเทศไทย เพราะสามารถแปรรูปผลผลิตได้หลายรูปแบบ เช่น แปรรูปบรรจุกระป๋อง บรรจุทั้งเมล็ดและฝัก ข้าวโพด

ครีม บรรจุฝักในถุงพลาสติกสุญญากาศ แบบแช่แข็งทั้งเมล็ดและทั้งฝัก สามารถส่งออกผลิตภัณฑ์ได้ทั้งในตลาดยุโรป อเมริกา อาฟริกา และการส่งออกผลิตภัณฑ์ไม่มีปัญหาด้านโภชนาการ เนื่องจาก ขั้นตอนการผลิตมีการใช้สารเคมีน้อย ส่งผลให้ผลผลิตที่ได้มีความปลอดภัยต่อผู้บริโภคสูง เพราะไม่มีสารพิษตกค้าง หรือมีน้อยมาก นอกจากนี้ ยังเป็นพืชที่มีศักยภาพการผลิตสูง สามารถเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตได้ง่ายเพราะเป็นพืชระยะเวลาการผลิตสั้น โดยใช้ระยะเวลาเพียง 70-75 วัน

ข้าวโพดฝักอ่อน มีแหล่งปลูกที่สำคัญของประเทศ ได้แก่ จังหวัดกาญจนบุรี ราชบุรี นครปฐม เชียงใหม่ เชียงราย ลำพูน และสระบุรี ในแหล่งที่มีน้ำชลประทาน เกษตรกรสามารถปลูกข้าวโพดฝักอ่อนได้ปีละ 3-4 ครั้ง แต่ละครั้งใช้เวลาตั้งแต่ปลูกจนถึงเก็บเกี่ยวเพียง 60-70 วัน (สมชาย และคณะ, 2535) นอกจากนี้ผลพลอยได้จากส่วนที่เหลือของข้าวโพดฝักอ่อน เช่น เปลือก ไหม และต้น นำมาใช้เป็นอาหารหยาบเลี้ยงโคเนื้อและโคนมได้ เกษตรกรส่วนใหญ่จะปลูกข้าวโพดฝักอ่อน 3-4 ครั้งต่อปี แม้ว่ารายได้จากการเพาะปลูกข้าวโพดฝักอ่อนจะอยู่ในระดับที่ดี แต่ปัจจัยตัวหนึ่งที่กำหนดรายได้ดังกล่าวคือ ราคาของข้าวโพดฝักอ่อนที่เกษตรกรได้รับทั้งในรูปทั้งเปลือกและปอกเปลือก มีการเคลื่อนไหวขึ้นลงอยู่ตลอดเวลา ดังนั้น พื้นที่เพาะปลูกข้าวโพดฝักอ่อนของเกษตรกรจึงขึ้นอยู่กับราคาผลผลิตประกอบกับพื้นที่เพาะปลูกข้าวโพดฝักอ่อนที่สำคัญของประเทศเป็นแหล่งผลิตพืชผักอายุสั้นทั้งเพื่อการบริโภคและเพื่อการส่งออกซึ่งมีราคาสูง ดังนั้นการตัดสินใจเลือกพืชปลูกของเกษตรกรจึงขึ้นอยู่กับราคาผลผลิตเป็นสำคัญ

ข้าวโพดฝักอ่อนเป็นพืชที่ต้องการน้ำมากตั้งแต่วันปลูกจนเสร็จสิ้นการเก็บเกี่ยว หากขาดน้ำแล้ว ฝักอ่อนจะมีลักษณะผิดปกติ แต่จากภาวะโลกร้อนในปัจจุบัน ทำให้ทั่วโลกได้ตระหนักถึงผลกระทบที่จะเกิดขึ้นจากการนำทรัพยากรต่าง ๆ มาใช้ประโยชน์ เช่น การวิเคราะห์คาร์บอนฟุตพริ้นท์ และการประเมินค่าวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ (Water Footprint) หรือ รอยเท้าสำหรับใช้น้ำ เป็นต้น การประเมินค่าวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ เป็นแนวคิดเกี่ยวกับปริมาณการใช้น้ำในการผลิตสินค้า และบริการอย่างใดอย่างหนึ่ง ทรัพยากรน้ำตามธรรมชาติมีน้อยกว่าความต้องการใช้ปริมาณน้ำเพื่อตอบสนองต่อความต้องการของประชากรโลก คาดว่าวอเตอร์ฟุตพริ้นท์จะเข้ามามีบทบาทต่อการกำหนดนโยบายในการค้าในอนาคตโดยเฉพาะตลาดในยุโรปและอเมริกา ซึ่งในอนาคตเราอาจจะเห็นการนำฉลากวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ มาแสดงบนผลิตภัณฑ์เพื่อให้ทั้งผู้ผลิตและผู้บริโภคให้ความสำคัญกับการใช้น้ำในการผลิตสินค้า การเพิ่มผลผลิตทางการเกษตรและลดต้นทุนการผลิต จำเป็นต้องมีการให้น้ำชลประทานอย่างมีประสิทธิภาพ ซึ่งมีส่วนสำคัญที่จะทำให้ผลผลิตเพิ่มขึ้น (ดิเรก และคณะ, 2542) ประกอบกับต้องคำนึงถึงความสัมพันธ์ระหว่างดิน น้ำ และพืช เพื่อจัดการให้น้ำให้เหมาะสมกับสภาพพื้นที่ โดยคำนึงถึงช่วงเวลาการให้น้ำ และการควบคุมปริมาณน้ำที่ให้อย่างมีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น (รักศักดิ์ และคณะ, 2555) ดังนั้น การศึกษาวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ของการผลิตข้าวโพดฝักอ่อน จึงเป็นเครื่องมือช่วยในการประเมินหามาตรการ สำหรับการวางแผนและจัดการทรัพยากรน้ำเพื่อการผลิตข้าวโพดฝักอ่อนอย่างยั่งยืนในอนาคต

ข้าวโพดเลี้ยงสัตว์เป็นพืชเศรษฐกิจที่สำคัญของประเทศไทย ในปี 2563 ประเทศไทยมีพื้นที่ปลูกข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ประมาณ 7 ล้านไร่ จังหวัดเพชรบูรณ์ เป็นจังหวัดที่มีพื้นที่ปลูกข้าวโพดเลี้ยงสัตว์มากที่สุด มีพื้นที่ปลูกข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ 844,735 ไร่ รองลงมาได้แก่ จังหวัดนครราชสีมา มีพื้นที่ปลูก 716,000 ไร่ จังหวัดน่านมีพื้นที่ปลูกข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ 661,367 ไร่ จังหวัดตากมีพื้นที่ปลูกข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ 589,711 ไร่ จังหวัดเลยมีพื้นที่ปลูกข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ 469,167 ไร่ และจังหวัดชัยภูมิมีพื้นที่ปลูกข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ 110,884 ไร่ (สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร, 2564)

การศึกษาปริมาณวอเตอร์ฟุตพริ้นหรือรอยเท้าน้ำของการปลูกข้าวโพดในครั้งนี้จึงมีความสำคัญทำให้เราทราบถึงค่าวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ของการปลูกข้าวโพด ซึ่งจะทำให้สามารถนำไปปรับใช้ประกอบการบริหารจัดการน้ำที่ใช้ในการปลูกข้าวโพดให้มีประสิทธิภาพและได้ประโยชน์สูงสุดต่อไป

วอเตอร์ฟุตพริ้นท์ แบ่งเป็น 3 ประเภท ดังนี้

1. Green Water Footprint (รอยเท้าน้ำสีเขียว) หมายถึง ปริมาณน้ำจากฝนที่ตกลงในพื้นที่เพาะปลูก และถูกเก็บกักในเขตรากพืช ถูกพืชดูดขึ้นมาใช้ในกระบวนการระเหย การคายน้ำ และการสังเคราะห์แสงของพืช เป็นส่วนที่เกี่ยวข้องกับผลผลิตของการเพาะปลูกพืช

2. Blue Water Footprint (รอยเท้าน้ำสีน้ำเงิน) หมายถึง ปริมาณน้ำจากแหล่งน้ำธรรมชาติทั้งแหล่งน้ำผิวดิน เช่น น้ำในแม่น้ำ ทะเลสาบ รวมทั้งน้ำในอ่างเก็บน้ำต่างๆ และแหล่งน้ำใต้ดิน ได้แก่ น้ำบาดาล ที่ถูกใช้ในการผลิตสินค้าและบริการแล้วสูญเสียในรูปของการระเหย การนำไปใช้เป็นส่วนหนึ่งของผลผลิต หรือในรูปของน้ำที่เหลือใช้แล้วทิ้งลงสู่แหล่งน้ำอื่น (return flow) หรือไหลกลับสู่แหล่งน้ำเดิมภายหลังในช่วงเวลาที่แตกต่างกันมากได้แก่ ปริมาณน้ำที่ใช้ในระบบเกษตรชลประทาน อุตสาหกรรม และอุปโภค-บริโภค

3. Gray Water Footprint (รอยเท้าน้ำสีเทา) หมายถึง ปริมาณน้ำเสียที่เกิดขึ้นจากกระบวนการผลิตสินค้าและบริการ ซึ่งคำนวณจากปริมาณน้ำดีที่ใช้ในการบำบัดน้ำเสียให้เป็นน้ำดีที่มีคุณภาพมาตรฐานตามที่กำหนด ก่อนปล่อยลงสู่แหล่งน้ำ

ปัจจัยการคำนวณวอเตอร์ฟุตพริ้นท์สำหรับการปลูกพืช มีดังนี้

1) ปริมาณการใช้น้ำของพืช

ปริมาณการใช้น้ำของพืชหรือการคายระเหยน้ำของพืช (crop evapotranspiration, ET) หมายถึง ปริมาณน้ำที่พืชต้องการใช้จริง รวมถึงปริมาณน้ำที่สูญเสียไปจากแปลงปลูกโดยกระบวนการคายน้ำของพืชและการระเหย ซึ่งมีหน่วยเป็นมิลลิเมตรต่อวัน หรือ ลูกบาศก์เมตรต่อไร่ต่อวัน หรือลูกบาศก์เมตรต่อเฮกแตร์ต่อวัน เป็นต้น ซึ่งการใช้น้ำของพืชประกอบด้วยข้อมูลค่าสัมประสิทธิ์พืช (crop coefficient, Kc) ตามช่วงระยะเวลาของการเจริญเติบโต สิ่งสำคัญที่สุดของการนำค่าสัมประสิทธิ์พืชไปใช้คือต้องทราบว่าเป็นค่าสัมประสิทธิ์พืชที่ได้จากวิธีการใด เพื่อจะนำค่าการใช้น้ำอ้างอิงของพืชจากวิธีการเดียวกันนั้นมาใช้เพื่อให้ได้ค่าปริมาณการใช้น้ำที่ถูกต้อง การค่านวณปริมาณการใช้น้ำของพืช มีวิธีหลายวิธี ดังนี้

1.1 การหาปริมาณการใช้น้ำของพืชโดยวิธีตรวจวัด

1.1.1 การวัดจากถังวัดการใช้น้ำของพืช (lysimeter tank) เป็นถังที่มีอุปกรณ์สำหรับวัดปริมาณน้ำที่สูญเสียไป เพื่อจะนำมาคำนวณปริมาณการใช้น้ำของพืชในแต่ละช่วงเวลา

1.1.2 การศึกษาจากค่าความชื้นในดิน วิธีนี้เหมาะสำหรับดินที่มีเนื้อดินสม่ำเสมอตลอดความลึกและระดับน้ำใต้ดินอยู่ต่ำกว่าระดับผิวดินมาก เป็นวิธีการวัดโดยการหาค่าความชื้นในดินก่อนและหลังให้น้ำแก่พืชทุกครั้ง

1.1.3 การศึกษาจากแปลงทดลอง ซึ่งการหาค่าการใช้น้ำของพืชจากแปลงทดลองนั้น แปลงทดลองควรมีระดับน้ำใต้ดินอยู่ต่ำกว่าระดับผิวดินอย่างน้อย 25 เมตร ซึ่งจะทำให้เชื่อได้ว่าพืชไม่สามารถดูดน้ำใต้ดินมาใช้ได้ จากนั้นทดลองโดยให้น้ำแก่พืชในปริมาณที่แตกต่างกันแล้ววัดผลผลิตที่ได้รับ ซึ่งพบว่าพืชทุกชนิดที่ทดลองจะให้ผลผลิตเพิ่มขึ้นเมื่อให้น้ำเพิ่มขึ้น จนถึงระดับหนึ่งที่เมื่อเพิ่มปริมาณน้ำที่ให้แล้วจะทำให้ผลผลิตลดลง จึงใช้ค่าปริมาณน้ำที่จุดเริ่มมีการเปลี่ยนแปลงผลผลิตจากที่เพิ่มขึ้นเป็นลดลงนั้นเป็นปริมาณการใช้น้ำของพืชชนิดนั้นๆ

1.2 การหาปริมาณการใช้น้ำของพืชโดยอาศัยข้อมูลภูมิอากาศหรือเรียกอีกอย่างหนึ่งว่าการหาปริมาณการใช้น้ำของพืชอ้างอิง (reference crop evopotranspriration, ET_0)

ปริมาณการใช้น้ำของพืชอ้างอิง (ET_0) ขึ้นอยู่กับความเปลี่ยนแปลงของสภาพภูมิอากาศรอบข้างแต่เพียงอย่างเดียว เช่น อิทธิพลที่เกิดจากการแผ่รังสีของดวงอาทิตย์ อุณหภูมิ ความชื้นสัมพัทธ์ ความเร็วลม ชั่วโมงแสงแดด เป็นต้น การคำนวณหาปริมาณการใช้น้ำของพืชอ้างอิง จะเป็นการนำเอาข้อมูลของสภาพ

ภูมิอากาศ ณ ช่วงเวลาและสถานที่ใช้ทดลองนั้นหรือเป็นสถานที่ที่จะนำค่าการใช้น้ำของพืชอ้างอิงไปใช้งาน ข้อมูลดังกล่าวจะต้องผ่านการตรวจสอบ วิเคราะห์ ปรับปรุงตลอดจนแบ่งช่วงให้ตรงกับช่วงการเจริญเติบโตหรืออายุพืชหรือช่วงเวลาที่จะนำไปใช้ ข้อมูลประกอบการคำนวณปริมาณการใช้น้ำของพืชอ้างอิง (ET_0) มีดังนี้

1. ข้อมูลสภาพภูมิประเทศ

1.1 พิกัดภูมิศาสตร์ (เส้นรุ้ง เส้นแวง ความสูงจากระดับน้ำทะเลปานกลาง)

2. ข้อมูลภูมิอากาศหรือข้อมูลสถิติอุตุนิยมวิทยา เป็นข้อมูลภูมิอากาศเฉลี่ยรายวัน รายสัปดาห์หรือรายเดือน ขึ้นอยู่กับช่วงเวลาของการศึกษาหรือความละเอียดของผลงานที่ต้องการ และเป็นข้อมูลที่อยู่ในช่วงเวลาเดียวกับที่ศึกษา ได้แก่

2.1 อุณหภูมิ (อุณหภูมิสูงสุด/ต่ำสุดเฉลี่ย/อุณหภูมิเฉลี่ย (หน่วยเป็นองศาเซลเซียส))

2.2. ความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศ (ความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ย หน่วยเป็นร้อยละ)

2.3 ความเร็วลมที่ระดับความสูง 2 เมตร จากผิวดิน (ความเร็วลมผิวดินเฉลี่ย หน่วยเป็น เมตรต่อวินาที)

2.4 ชั่วโมงแสงแดดเฉลี่ย หน่วยเป็น ชั่วโมงต่อวัน

2.5 การระเหยของน้ำจากอ่างวัดการระเหยแบบ Class A pan (ค่าการระเหยของน้ำเฉลี่ย หน่วยเป็น มิลลิเมตรต่อวัน)

2) ค่าสัมประสิทธิ์พืช (crop coefficient, Kc)

การคำนวณค่าสัมประสิทธิ์พืช คำนวณจากความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณการใช้น้ำของพืชที่ได้จากการทดลองในพืชแต่ละชนิดและแต่ละพื้นที่เพาะปลูก โดยอาจใช้วิธีการวัดจากถังวัดการใช้น้ำของพืช (lysimeter tank) การศึกษาจากค่าความชื้นในดินหรือการศึกษาจากแปลงทดลองกับปริมาณการใช้น้ำของพืชอ้างอิง โดยใช้สูตรคำนวณของ Penman Monteith, Modified Penman ดังสมการ

$$Kc = ETc / ET_0$$

เมื่อ Kc = ค่าสัมประสิทธิ์พืช

ETc = ปริมาณการใช้น้ำของพืช (มิลลิเมตรต่อวัน)

ET_0 = ปริมาณการใช้น้ำของพืชอ้างอิง (มิลลิเมตรต่อวัน)

ระเบียบวิธีการวิจัย (Research Methodology)

การดำเนินงานประกอบด้วย 4 การทดลอง

การทดลองที่ 6.1 การวิเคราะห์วอเตอร์ฟุตพริ้นท์ของการผลิตข้าวโพดหวาน

อุปกรณ์

- เมล็ดพันธุ์ข้าวโพดหวานลูกผสมพันธุ์ชัยนาท 2
- ปุ๋ยเคมี 15-15-15 และ 46-0-0
- สารเคมีป้องกันกำจัดโรค แมลงศัตรูพืช และสารเคมีกำจัดวัชพืช
- วัสดุอุปกรณ์ในแปลงทดลอง เช่น มาตรวัดน้ำ สายยาง เป็นต้น
- แบบสอบถามเกษตรกร
- ปากกา

วิธีการ

ปี 2562 – 2563 วางแผนการทดลองแบบ RCBD จำนวน 4 ซ้ำ 6 กรรมวิธี ประกอบด้วย ปริมาณการให้น้ำที่กำหนด โดยใช้อัตราส่วนระหว่างปริมาณน้ำที่ให้ต่อค่าการระเหยจากถาดวัดการระเหย (Irrigation water/Evaporation, IW/E) 6 อัตรา คือ 0.0 0.2 0.4 0.6 0.8 และ 1.0 โดยจะให้น้ำทุกครั้งเมื่อค่าการระเหยจากถาดวัดการระเหยสะสมครบ 50 มิลลิเมตร โดยอัตราการให้น้ำทั้ง 6 อัตราต่อครั้ง ได้แก่ 0.0 0.2 0.4 0.6 0.8 และ 1.0 จะให้ปริมาณน้ำ 0 324 648 972 1,296 และ 1,620 ลิตรต่อครั้ง

ปี 2564 สำรวจและกำหนดแปลงข้าวโพดหวานที่จัดเก็บข้อมูล ภายใต้สภาพปัจจัยการผลิตไม่จำกัด จำนวน 25 แปลง ในสภาพพื้นที่ปลูก 10 จังหวัด เพื่อเป็นตัวแทนในการวิเคราะห์ ได้แก่ ไร่เกษตรกร จังหวัดเชียงราย เชียงใหม่ ลำปาง นครสวรรค์ นครราชสีมา สระบุรี ลพบุรี ปทุมธานี กาญจนบุรี ราชบุรี และชลบุรี

วิธีปฏิบัติการทดลอง

ปี 2562 – 2563 ดำเนินการทดลองบนดินร่วนเหนียว ชุดดินราชบุรี ค่าวิเคราะห์ดิน มีค่า pH 6.2 ปริมาณอินทรียวัตถุ 1.31 เปอร์เซ็นต์ ปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ 28 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม และปริมาณโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ 87 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ไถเตรียมแปลง และใส่ปุ๋ยรองพื้น 15-15-15 อัตรา 50 กิโลกรัมต่อไร่ ระยะปลูก 0.75x0.20 เมตร ขนาดแปลงทดลอง 4.5x6.0 เมตร พื้นที่เก็บเกี่ยว 3.0x5.0 เมตร ปลูกข้าวโพดหวานวันที่ 11 ธันวาคม 2562 หลังปลูกข้าวโพดหวานทุกกรรมวิธีจะได้รับน้ำอย่างเพียงพอสำหรับการงอก หลังจากนั้น จะเริ่มบันทึกค่าการระเหยน้ำจากถาดวัดการระเหย และเมื่อค่าการระเหยสะสมครบ 50 มิลลิเมตร ให้น้ำตามอัตราที่กำหนด เมื่อข้าวโพดหวานอายุ 7 วัน ถอนแยกให้เหลือ 1 ต้นต่อหลุม เมื่อข้าวโพดอายุ 25 วัน ใส่ปุ๋ย 46-0-0 อัตรา 22 กิโลกรัมต่อไร่ และข้าวโพดอายุ 40-45 วัน ใส่ปุ๋ย 46-0-0 อัตรา 22 กิโลกรัมต่อไร่ ดูแลรักษาตามคำแนะนำของกรมวิชาการเกษตร เก็บเกี่ยวผลผลิตข้าวโพดหวานหลังจากไหมโผล่พ้นเปลือกฝักแล้ว 18-20 วัน (เก็บเกี่ยวผลผลิตเมื่อวันที่ 26 กุมภาพันธ์ 2563) พื้นที่เก็บเกี่ยว 15 ตารางเมตร

หลังจากเก็บเกี่ยวผลผลิต นำข้อมูลผลผลิต ข้อมูลปริมาณน้ำที่ให้ และข้อมูลการใช้ปุ๋ยเคมี มาคำนวณ Water Footprint (WF) ในการผลิตข้าวโพดหวาน เป็นการคำนวณจากผลรวมปริมาณการใช้น้ำ 3 ประเภท 1) Green water (WFGreen) เป็นปริมาณน้ำฝนและความชื้นในดินที่พืชนำไปใช้ 2) Blue water (WFBlue) เป็นปริมาณน้ำผิวดินที่ใช้ในการชลประทาน และ 3) Grey water (WFGrey) เป็นปริมาณน้ำจืดที่จำเป็นต้องใช้ในการเจือจางสารมลพิษที่ปนเปื้อนลงสู่แหล่งน้ำดีมาตรฐาน ค่าวอเตอร์ฟุตพริ้นท์คำนวณได้ตามสมการ (ชินาธิปกรณ์ และธำรงรัตน์, 2554; Kongboon and Sampattagul, 2012)

WF = WFGreen + WFblue + WFGrey

เมื่อ WF = Water footprint

WFGreen = Grren water footprint

WFblue = Blue water footprint

WFgrey = Grey water footprint

โดยที่ Green water footprint คำนวณได้จาก

WFgreen = CWR เมื่อ Peff > CWR และ

WFGreen = Peff เมื่อ Peff < CWR

โดยที่ Peff คือ ปริมาณฝนใช้การ (มม.)

CWR คือ ปริมาณการใช้น้ำของพืช

ปี 2564 สัมภาษณ์เกษตรกรตามแบบบันทึกข้อมูล หลังจากนั้นนำข้อมูลผลผลิต การใช้ปุ๋ยเคมี และปริมาณการให้น้ำ มาคำนวณ Water Footprint (WF) ในการผลิตข้าวโพดหวาน นำมาคำนวณผลรวมปริมาณการใช้น้ำ 3 ประเภท ได้แก่ 1) Green water (WFGreen) เป็นปริมาณน้ำฝนและความชื้นในดินที่พืชนำไปใช้ 2) Blue water (WFBlue) เป็นปริมาณน้ำผิวดินที่ใช้ในการชลประทาน และ 3) Grey water (WFGrey) เป็นปริมาณน้ำจืดที่จำเป็นต้องใช้ในการเจือจางสารมลพิษที่ปนเปื้อนลงสู่แหล่งน้ำดีมาตรฐาน ค่าวอเตอร์ฟุตพริ้นท์คำนวณได้ตามสมการ (ชินาธิปกรณ์ และธำรงรัตน์, 2554; Kongboon and Sampattagul, 2012)

WF = WFGreen + WFblue + WFGrey

การบันทึกข้อมูล

1. ความถี่ในการให้น้ำและปริมาณน้ำที่ให้

2 การเจริญเติบโตที่ระยะออกไหม 50% ได้แก่ ความสูงต้น ความสูงฝัก น้ำหนักแห้งส่วนเหนือดินและดัชนีพื้นที่ใบ

3. ผลผลิต และองค์ประกอบผลผลิต ได้แก่ ความกว้างฝัก ความยาวฝัก เส้นผ่านศูนย์กลางฝัก น้ำหนักฝักทั้งเปลือก และน้ำหนักฝักปอกเปลือก

4. Water footprint

5. Green water footprint

6. Blue water footprint

7. Grey water footprint

- เวลาและสถานที่ : เดือนตุลาคม 2562 ถึงกันยายน 2563 ณ แปลงทดลองศูนย์วิจัยพืชไร่ชัยนาท
เดือนตุลาคม 2563 ถึงกันยายน 2564 ณ ไร่เกษตรกรจังหวัดเชียงราย เชียงใหม่ ลำปาง นครสวรรค์ นครราชสีมา สระบุรี ลพบุรี ปทุมธานี กาญจนบุรี ราชบุรี และชลบุรี

การทดลองที่ 6.2 การวิเคราะห์วอเตอร์ฟุตพริ้นท์ของการผลิตข้าวโพดฝักอ่อน

อุปกรณ์

- เมล็ดพันธุ์ข้าวโพดฝักอ่อนลูกผสม Pac321
- ปุ๋ยเคมี 15-15-15 และ 46-0-0
- สารเคมีป้องกันกำจัดโรค แมลงศัตรูพืช และสารเคมีกำจัดวัชพืช
- วัสดุอุปกรณ์ในแปลงทดลอง เช่น มาตรวัดน้ำ สายยาง เป็นต้น
- แบบสอบถามเกษตรกร

- ปากกา

วิธีการ

ปี 2562 – 2563 วางแผนการทดลองแบบ RCBD จำนวน 4 ซ้ำ 6 กรรมวิธี ประกอบด้วย ปริมาณการให้น้ำที่กำหนด โดยใช้อัตราส่วนระหว่างปริมาณน้ำที่ให้ต่อค่าการระเหยจากถาดวัดการระเหย (Irrigation water/Evaporation, IW/E) 6 อัตรา คือ 0.0 0.2 0.4 0.6 0.8 และ 1.0 โดยจะให้น้ำทุกครั้งเมื่อค่าการระเหยจากถาดวัดการระเหยสะสมครบ 50 มิลลิเมตร โดยอัตราการให้น้ำทั้ง 6 อัตราต่อครั้ง ได้แก่ 0.0 0.2 0.4 0.6 0.8 และ 1.0 จะให้ปริมาณน้ำ 0 324 648 972 1,296 และ 1,620 ลิตรต่อครั้ง

ปี 2564 สำรวจและกำหนดแปลงข้าวโพดฝักอ่อนที่จัดเก็บข้อมูล ภายใต้สภาพปัจจัยการผลิตไม่จำกัด จำนวน 25 แปลง ในสภาพพื้นที่ปลูก 10 จังหวัด เพื่อเป็นตัวแทนในการวิเคราะห์ ได้แก่ ไร่เกษตรกร จังหวัดเชียงราย เชียงใหม่ ลำปาง นครสวรรค์ นครราชสีมา สระบุรี ลพบุรี ปทุมธานี กาญจนบุรี ราชบุรี และชลบุรี

วิธีปฏิบัติการทดลอง

ปี 2562 – 2563 ดำเนินการทดลองบนดินร่วนเหนียว เป็นดินชุดราชบุรี มี texture ชนิด clay loam มีค่าวิเคราะห์ดิน มีค่า pH 6.2 ปริมาณอินทรียวัตถุ 1.31 เปอร์เซ็นต์ ปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ 28 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม และปริมาณโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ 87 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ไถเตรียมแปลงและใส่ปุ๋ยรองพื้น 15-15-15 อัตรา 50 กิโลกรัมต่อไร่ ระยะปลูก 0.75x0.20 เมตร ขนาดแปลงทดลอง 4.5x6.0 เมตร พื้นที่เก็บเกี่ยว 3.0x5.0 เมตร ปลูกข้าวโพดหวานวันที่ 11 ธันวาคม 2562 โดยใช้เครื่องมือปลูกข้าวโพดด้วยมือ หลังปลูกข้าวโพดฝักอ่อนทุกกรรมวิธีจะได้รับน้ำอย่างเพียงพอสำหรับการงอก หลังจากนั้น จะเริ่มบันทึกค่าการระเหยน้ำจากถาดวัดการระเหย และเมื่อค่าการระเหยสะสมครบ 50 มิลลิเมตร ให้น้ำตามอัตราที่กำหนด เมื่อข้าวโพดฝักอ่อนอายุ 7 วัน ถอนแยกให้เหลือ 1 ต้นต่อหลุม เมื่อข้าวโพดอายุ 25 วัน ใส่ปุ๋ย 46-0-0 อัตรา 22 กิโลกรัมต่อไร่ และข้าวโพดอายุ 40-45 วันใส่ปุ๋ย 46-0-0 อัตรา 22 กิโลกรัมต่อไร่ ดูแลรักษาตามคำแนะนำของกรมวิชาการเกษตร เก็บเกี่ยวผลผลิตข้าวโพดฝักอ่อนเมื่อไหมมีความยาว 6-8 เซนติเมตร

หลังจากเก็บเกี่ยวผลผลิต นำข้อมูลผลผลิต ข้อมูลปริมาณน้ำที่ให้ และข้อมูลการใช้ปุ๋ยเคมี มาคำนวณ Water Footprint (WF) ในการผลิตข้าวโพดหวาน เป็นการคำนวณจากผลรวมปริมาณการใช้น้ำ 3 ประเภท 1) Green water (WFGreen) เป็นปริมาณน้ำฝนและความชื้นในดินที่พืชนำไปใช้ 2) Blue water (WFBlue) เป็นปริมาณน้ำผิวดินที่ใช้ในการชลประทาน และ 3) Grey water (WFGrey) เป็นปริมาณน้ำจืดที่จำเป็นต้องใช้ในการเจือจางสารมลพิษที่ปนเปื้อนลงสู่แหล่งน้ำดีมาตรฐาน ค่าวอเตอร์ฟุตพริ้นท์คำนวณได้ตามสมการ (ชินาธิปกรณ์ และธำรงรัตน์, 2554; Kongboon and Sampattagul, 2012)

$$WF = WFGreen + WFblue + WFGrey$$

เมื่อ WF = Water footprint

WFGreen = Grren water footprint

WFblue = Blue water footprint

WFgrey = Grey water footprint

โดยที่ Green water footprint คำนวณได้จาก

WFgreen = CWR เมื่อ Peff > CWR และ

WFGreen = Peff เมื่อ Peff < CWR

โดยที่ Peff คือ ปริมาณฝนใช้การ (มม.)

CWR คือ ปริมาณการใช้น้ำของพืช

ปี 2564 สัมภาษณ์เกษตรกรตามแบบบันทึกข้อมูล หลังจากนั้นนำข้อมูลผลผลิต การใช้ปุ๋ยเคมี และปริมาณการให้น้ำ มาคำนวณ Water Footprint (WF) ในการผลิตข้าวโพดหวาน นำมาคำนวณผลรวมปริมาณการใช้น้ำ 3 ประเภท ได้แก่ 1) Green water (WFGreen) เป็นปริมาณน้ำฝนและความชื้นในดินที่พืชนำไปใช้ 2) Blue water (WFBlue) เป็นปริมาณน้ำผิวดินที่ใช้ในการชลประทาน และ 3) Grey water (WFGrey) เป็นปริมาณน้ำจืดที่จำเป็นต้องใช้ในการเจือจางสารมลพิษที่ปนเปื้อนลงสู่แหล่งน้ำดีมาตรฐาน ค่าวอเตอร์ฟุตพริ้นท์คำนวณได้ตามสมการ (ชินาธิปกรณ์ และธำรงรัตน์, 2554; Kongboon and Sampattagul, 2012)

WF = WFGreen + WFblue + WFGrey

การบันทึกข้อมูล

1. ความถี่ในการให้น้ำและปริมาณน้ำที่ให้

2 การเจริญเติบโตที่ระยะออกไหม 50% ได้แก่ ความสูงต้น ความสูงฝัก น้ำหนักแห้งส่วนเหนือดินและดัชนีพื้นที่ใบ

3. ผลผลิต และองค์ประกอบผลผลิต ได้แก่ ความกว้างฝัก ความยาวฝัก เส้นผ่านศูนย์กลางฝัก และน้ำหนักผลผลิต

4. Water footprint

5. Green water footprint

6. Blue water footprint

7. Grey water footprint

- เวลาและสถานที่ : เดือนตุลาคม 2562 ถึงกันยายน 2563 ณ แปลงทดลองศูนย์วิจัยพืชไร่ชัยนาท

เดือนตุลาคม 2563 ถึงกันยายน 2564 ณ ไร่เกษตรกรจังหวัดเชียงราย เชียงใหม่ ลำปาง นครสวรรค์ นครราชสีมา สระบุรี ลพบุรี ปทุมธานี กาญจนบุรี ราชบุรี และชลบุรี

การทดลองที่ 6.3 การศึกษาวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ของการปลูกข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ในภาคเหนือของประเทศไทย (จังหวัดน่าน ตาก และเพชรบูรณ์)

- อุปกรณ์

ใช้แบบสัมภาษณ์ (interviewing) สำหรับสัมภาษณ์เกษตรกร

- วิธีการ

ใช้แผนการสุ่มตัวอย่างแบบไม่อาศัยความน่าจะเป็น (Non Probability Sampling) และใช้วิธีการเลือกตัวอย่างโดยใช้วิจารณญาณ (Purposive or Judgmental Selection) (ศูนย์ประเมินผล, 2556) ในที่นี้หมายถึงเลือกเกษตรกรผู้ปลูกข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ในพื้นที่จังหวัดน่าน ตาก และเพชรบูรณ์

วิธีการดำเนินงาน

1. สุ่มสัมภาษณ์เกษตรกรผู้ปลูกข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ ในเขตจังหวัดน่าน จังหวัดตาก และจังหวัดเพชรบูรณ์ โดยเลือกเกษตรกรที่สามารถให้ข้อมูลได้โดยละเอียด

2. สัมภาษณ์เกษตรกรโดยใช้ชุดคำถามการใช้ปัจจัยการผลิตพืชทุกชนิดโดยละเอียด ตั้งแต่เริ่มเตรียมดินจนกระทั่งเก็บเกี่ยวผลผลิต

3. หาค่าปริมาณการใช้น้ำของพืช (crop evapotranspiration, ET) ซึ่งจะหาปริมาณการใช้น้ำของพืชโดยอาศัยข้อมูลภูมิอากาศหรือเรียกอีกอย่างหนึ่งว่าการหาปริมาณการใช้น้ำของพืชอ้างอิง (reference crop evopotranspriration, ET_0) โดยแบ่งช่วงของข้อมูลภูมิอากาศให้ตรงกับช่วงการเจริญเติบโตหรืออายุพืชหรือช่วงเวลาที่จะนำไปใช้

3.1 ข้อมูลด้านภูมิอากาศ ได้แก่ ค่าการคายระเหยน้ำ และข้อมูลปริมาณฝนเฉลี่ยในแต่ละสัปดาห์ที่เกษตรกรปลูกข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ โดยใช้ข้อมูลเฉลี่ยในช่วงระยะเวลา 30 ปี (ปี พ.ศ.2533 - 2563) ที่ได้จากสถานีอุตุนิยมวิทยาในพื้นที่ศึกษา ได้แก่ จังหวัดน่าน ตาก และเพชรบูรณ์

3.2 ข้อมูลด้านพืช ได้แก่ ช่วงอายุการเจริญเติบโต สัมประสิทธิ์การใช้น้ำของพืช

3.3 ข้อมูลด้านดิน ได้แก่ ข้อมูลชุดดิน ปริมาณน้ำในดิน

4. ใช้ค่าสัมประสิทธิ์พืช (crop coefficient, Kc) ข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ (กลุ่มวิจัยการใช้น้ำชลประทาน, มปป.)

5. คำนวณหาค่าปริมาณวอเตอร์ฟุตพริ้นท์หรือรอยเท้าน้ำในข้าวโพดเลี้ยงสัตว์

การคำนวณวอเตอร์ฟุตพริ้นหรือรอยเท้าน้ำ มีดังนี้ (Hoekstra, A. Y. et al. 2011)

1. การคำนวณผลรวมของวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ หรือผลรวมของรอยเท้าน้ำ มีรายละเอียด ดังนี้

$WFtotal = WFgreen + WFblue + WFgray$

เมื่อ $WFtotal$ = ผลรวมของรอยเท้าน้ำ (ลูกบาศก์เมตรต่อตัน)

$WFgreen$ = รอยเท้าน้ำสีเขียว (ลูกบาศก์เมตรต่อตัน)

$WFblue$ = รอยเท้าน้ำสีน้ำเงิน (ลูกบาศก์เมตรต่อตัน)

$WFgray$ = รอยเท้าน้ำสีเทา (ลูกบาศก์เมตรต่อตัน)

2. รอยเท้าน้ำสีเขียว และรอยเท้าน้ำสีน้ำเงิน คำนวณจากสมการ ดังนี้

$WFgreen = CWUgreen / Y$

$WFblue = CWUblue / Y$

เมื่อ $WFgreen$ = รอยเท้าน้ำสีเขียว (ลูกบาศก์เมตรต่อตัน)

$WFblue$ = รอยเท้าน้ำสีน้ำเงิน (ลูกบาศก์เมตรต่อตัน)

$CWUgreen$ = ปริมาณน้ำสีเขียวที่พืชใช้ (ลูกบาศก์เมตรต่อไร่)

$CWUblue$ = ปริมาณน้ำสีน้ำเงินที่พืชใช้ (ลูกบาศก์เมตรต่อไร่)

Y = ผลผลิตของพืช (ตันต่อไร่)

3. CWUgreen และ CWUblue คำนวณจากสมการ ดังนี้

$$CWUblue = 10 \sum_{d=1}^{lgp} ETblue$$

$$CWUgreen = 10 \sum_{d=1}^{lgp} ETgreen$$

เมื่อ lgp = ระยะการเจริญเติบโตของพืช (วัน)

$ETgreen$ = ปริมาณการใช้น้ำสีเขียวของพืชจริง (มิลลิเมตรต่อวัน)

$ETblue$ = ปริมาณการใช้น้ำสีน้ำเงินของพืชจริง (มิลลิเมตรต่อวัน)

4. ETgreen และ ETblue คำนวณจากสมการ ดังนี้

$ETgreen = \min (ETc, Peff)$

$ETblue = \max (0, ETc - Peff)$

เมื่อ ETc = ปริมาณการใช้น้ำของพืช (มิลลิเมตรต่อวัน)

Peff = ปริมาณฝนใช้การ (มิลลิเมตรต่อวัน)

5. ปริมาณการใช้น้ำของพืช (ET_C)

การคำนวณหาปริมาณการใช้น้ำของพืช คำนวณจากความสัมพันธ์ระหว่างค่าสัมประสิทธิ์พืชกับผลการคำนวณปริมาณการใช้น้ำของพืชอ้างอิง ดังสมการ

$ETc = Kc \times ET_0$

เมื่อ ETc = ปริมาณการใช้น้ำของพืช (มิลลิเมตรต่อวัน)

Kc = ค่าสัมประสิทธิ์พืช

ET_0 = ปริมาณการใช้น้ำของพืชอ้างอิง (มิลลิเมตรต่อวัน)

6. รอยเท้าน้ำสีเทา ประเมินจากอัตราการใช้สารเคมีต่อพื้นที่เพาะปลูก (AR) มีหน่วยเป็นกิโลกรัมต่อไร่ กับสัดส่วนของการชะล้าง (α) หารด้วยผลต่างของค่าสูงสุดที่ยอมรับได้กับค่าความเข้มข้นที่มีอยู่เดิมในธรรมชาติ (Cmax - Cnat) แล้วจึงหารด้วยผลผลิตต่อพื้นที่เพาะปลูก มีรายละเอียด ดังนี้

$WFgray = [(\alpha \times AR) / (Cmax - Cnat)] / Y$

เมื่อ α = สัดส่วนของการชะล้าง (leaching: run-off fraction)

AR = อัตราการใช้สารเคมีต่อพื้นที่เพาะปลูก (กิโลกรัมต่อไร่)

Cmax = ระดับความเข้มข้นของมลสารสูงสุดที่ยอมรับได้ในแหล่งน้ำ (กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร)

Cnat = ระดับความเข้มข้นของมลสารในแหล่งน้ำ (กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร)

Y = ผลผลิตพืช (ตันต่อไร่)

- เวลาและสถานที่

ระยะเวลา เริ่มต้นเดือน ตุลาคม 2563 สิ้นสุด กันยายน 2564 (งบประมาณปี 2564)

สถานที่ศึกษา ได้แก่ ไร่เกษตรกรจังหวัดน่าน ตาก และเพชรบูรณ์

การทดลองที่ 6.4 การศึกษาวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ของการปลูกข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ ในภาคตะวันออกเฉียงเหนือของประเทศไทย (จังหวัดเลย นครราชสีมา และชัยภูมิ)

- อุปกรณ์

ใช้แบบสัมภาษณ์ (interviewing) สำหรับสัมภาษณ์เกษตรกร

- วิธีการ

ใช้แผนการสุ่มตัวอย่างแบบไม่อาศัยความน่าจะเป็น (Non Probability Sampling) และใช้วิธีการเลือกตัวอย่างโดยใช้วิจารณญาณ (Purposive or Judgmental Selection) (ศูนย์ประเมินผล, 2556) ในที่นี้หมายถึงเลือกเกษตรกรผู้ปลูกข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ในพื้นที่จังหวัดเลย จังหวัดนครราชสีมา และจังหวัดชัยภูมิ

วิธีการดำเนินงาน

1. สุ่มสัมภาษณ์เกษตรกรผู้ปลูกข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ ในเขตจังหวัดเลย จังหวัดนครราชสีมา และจังหวัดชัยภูมิ โดยเลือกเกษตรกรที่สามารถให้ข้อมูลได้โดยละเอียด

2. สัมภาษณ์เกษตรกรโดยใช้ชุดคำถามการใช้ปัจจัยการผลิตพืชทุกชนิดโดยละเอียด ตั้งแต่เริ่มเตรียมดินจนกระทั่งเก็บเกี่ยวผลผลิต

3. หาค่าปริมาณการใช้น้ำของพืช (crop evapotranspiration, ET) ซึ่งจะหาปริมาณการใช้น้ำของพืชโดยอาศัยข้อมูลภูมิอากาศหรือเรียกอีกอย่างหนึ่งว่าการหาปริมาณการใช้น้ำของพืชอ้างอิง (reference crop evopotranspriration, ET_0) โดยแบ่งช่วงของข้อมูลภูมิอากาศให้ตรงกับช่วงการเจริญเติบโตหรืออายุพืชหรือช่วงเวลาที่จะนำไปใช้

3.1 ข้อมูลด้านภูมิอากาศ ได้แก่ ค่าการคายระเหยน้ำ และข้อมูลปริมาณฝนเฉลี่ยในแต่ละสัปดาห์ที่เกษตรกรปลูกข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ โดยใช้ข้อมูลเฉลี่ยในช่วงระยะเวลา 30 ปี (ปี พ.ศ.2533 - 2563) ที่ได้จากสถานีอุตุนิยมวิทยาในพื้นที่ศึกษา ได้แก่ จังหวัดเลย นครราชสีมา และชัยภูมิ

3.2 ข้อมูลด้านพืช ได้แก่ ช่วงอายุการเจริญเติบโต สัมประสิทธิ์การใช้น้ำของพืช

3.3 ข้อมูลด้านดิน ได้แก่ ข้อมูลชุดดิน ปริมาณน้ำในดิน

4. ใช้ค่าสัมประสิทธิ์พืช (crop coefficient, Kc) ข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ (กลุ่มวิจัยการใช้น้ำชลประทาน, มปป.)

5. คำนวณหาค่าปริมาณวอเตอร์ฟุตพริ้นท์หรือรอยเท้าน้ำในข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ ตามสูตรการคำนวณของHoekstra, A. Y. et al., 2011

- เวลาและสถานที่

ระยะเวลา เริ่มต้นเดือน ตุลาคม 2563 สิ้นสุด กันยายน 2564 (งบประมาณปี 2564)

สถานที่ศึกษา ได้แก่ ไร่เกษตรกรจังหวัดเลย นครราชสีมา และชัยภูมิ

ผลการวิจัย และอภิปรายผล

การทดลองที่ 6.1 การวิเคราะห์วอเตอร์ฟุตพริ้นท์ของการผลิตข้าวโพดหวาน

ปี 2562 การให้น้ำตั้งแต่อัตรา IW/E 0.6-1.0 ให้ผลผลิตฝักทั้งเปลือกสูงไม่แตกต่างกัน 3.26-3.79 ตันต่อไร่ แต่สูงกว่าและแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญยิ่งกับการให้น้ำอัตรา IW/E 0.0 0.2 และ 0.4 ที่ให้ผลผลิต 0.57 1.28 และ 2.68 ตันต่อไร่ ตามลำดับ สอดคล้องกับผลผลิตปอกเปลือกการให้น้ำที่อัตรา IW/E 0.6-1.0 ให้ผลผลิตฝักปอกเปลือก 2.00-2.29 ตันต่อไร่ ซึ่งสูงกว่าและแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญยิ่งกับการให้น้ำที่อัตรา IW/E 0.0 0.2 และ 0.4 ที่ให้ผลผลิต 0.31 0.64 และ 1.63 ตันต่อไร่ (ตารางที่ 6.1-2) ความสูงฝักและน้ำหนักแห้งของข้าวโพดที่ระยะเก็บเกี่ยวพบว่า การให้น้ำอัตรา IW/E 0.8-1.0 ความสูงต้นและความสูงฝักไม่แตกต่างกัน มีค่า 178-183 เซนติเมตร และ 87-89 เซนติเมตร ตามลำดับ ซึ่งการให้น้ำอัตรา IW/E 0.8-1.0 ความสูงต้นและความสูงฝักสูงกว่าและแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญยิ่งกับการให้น้ำที่อัตรา IW/E 0.0-0.6 มีค่า 88-150 เซนติเมตร และ 41-72 เซนติเมตร ตามลำดับ (ตารางที่ 6.1-1)

วอเตอร์ฟุตพริ้นท์ของข้าวโพดหวาน เกรย์วอเตอร์ฟุตพริ้นท์ของการผลิตข้าวโพดหวานที่ให้น้ำอัตรา IW/E 1.0 0.8, 0.6, 0.4, 0.2 และ 0.0 มีค่า 0.973, 0.433, 0.207, 0.170, 0.152 และ 0.147 ลูกบาศก์เมตรต่อตัน ตามลำดับ กรีนวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ของการผลิตข้าวโพดหวานที่ให้น้ำอัตรา IW/E 1.0 0.8, 0.6, 0.4, 0.2 และ 0.0 มีค่า 122.7, 54.6, 26.1, 21.5, 19.2 และ 18.5 ลูกบาศก์เมตรต่อตัน ตามลำดับ และบลูวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ของการผลิตข้าวโพดหวานที่ให้น้ำอัตรา IW/E 1.0 0.8, 0.6, 0.4, 0.2 และ 0.0 มีค่า 1,754.9, 691.5, 288.0, 201.3, 147.8 และ 112.2 ลูกบาศก์เมตรต่อตัน ตามลำดับ โดยวอเตอร์ฟุตพริ้นท์รวมของการให้น้ำอัตรา IW/E 1.0 0.8, 0.6, 0.4, 0.2 และ 0.0 มีค่า 1878.6, 746.6, 314.4, 222.9, 167.1 และ 130.8 ลูกบาศก์เมตรต่อตัน ตามลำดับ (ตารางที่ 6.1-3) สอดคล้องกับ Jeswani and Azapagic (2011) ที่ศึกษาการใช้น้ำของการผลิตข้าวโพดหวานทั่วโลกพบว่า มีรอยเท้าน้ำรวมช่วง 354-2,434 ลูกบาศก์เมตรต่อตัน

ปี 2563 ความสูงต้น การให้น้ำที่อัตรา IW/E 1.0 ให้ความสูงต้นสูงสุด 205 เซนติเมตร ไม่แตกต่างกับการให้น้ำอัตรา IW/E 0.8 ขณะที่การไม่ให้น้ำมีความสูงต้นต่ำสุด 70 เซนติเมตร ความสูงฝัก และน้ำหนักแห้งส่วนเหนือดิน การให้น้ำที่อัตรา IW/E 0.6 0.8 และ 1.0 ไม่แตกต่างกัน ในขณะที่การไม่ให้น้ำมีความสูงฝัก และน้ำหนักแห้งส่วนเหนือดินต่ำที่สุด 12 เซนติเมตร และ 394 กิโลกรัมต่อไร่ ตามลำดับ ด้านดัชนีพื้นที่ใบการไม่ให้น้ำมีดัชนีพื้นที่ใบต่ำสุด 1.55 (ตารางที่ 6.1-4) สอดคล้องกับการทดลองของ Aydinsakir *et. al.* (2013) ปลูกข้าวโพดหวานบนดินร่วนปนเหนียวพบว่า เมื่อข้าวโพดหวานขาดน้ำจะทำให้ความสูงต้นและความสูงฝักลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ด้านความกว้างฝัก การให้น้ำทุกกรรมวิธีสูงกว่ากรรมวิธีไม่ให้น้ำ มีแนวโน้มไปในทิศทางเดียวกับเส้นผ่านศูนย์กลางฝัก กรรมวิธีให้น้ำมีความกว้างฝักและเส้นผ่านศูนย์กลางฝักมีค่า 4.03-5.14 และ 2.50-2.83 เซนติเมตร ตามลำดับ ด้านความยาวฝัก การให้น้ำอัตรา IW/E 0.4-1.0 สูงกว่าการให้น้ำอัตรา IW/E 0.2 และกรรมวิธีไม่ให้น้ำ ความยาวฝัก การให้น้ำอัตรา IW/E 0.4-1.0 มีค่า 18-20 เซนติเมตร (ตารางที่ 6.1-5) สอดคล้องกับการทดลองของ Aydinsakir *et. al.* (2013) ปลูกข้าวโพดหวานบนเนื้อดินร่วนปนเหนียว พบว่าเมื่อข้าวโพดหวานขาดน้ำจะทำให้ความกว้างฝัก และความยาวฝักลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ด้านน้ำหนักฝักทั้งเปลือก การให้น้ำอัตรา IW/E 1.0 มีน้ำหนักฝักทั้งเปลือกสูงสุด 3.95 ตันต่อไร่ แต่ไม่แตกต่างกับการให้น้ำอัตรา IW/E 0.8 ให้น้ำหนักฝักทั้งเปลือก 3.71 กิโลกรัมต่อไร่ ด้านน้ำหนักฝักปอกเปลือกที่อัตราให้น้ำ IW/E 1.0 มีน้ำหนักฝักปอกเปลือกสูงสุด 2.59 ตันต่อไร่ แต่ไม่แตกต่างกับการให้น้ำอัตรา IW/E 0.6 และ 0.8 ให้น้ำหนักฝักปอกเปลือก 2.33 และ 2.45 ตันต่อไร่ ตามลำดับ ในขณะที่การให้น้ำอัตรา IW/E 0.0 ให้น้ำหนักฝักทั้งเปลือกและน้ำหนักฝักปอกเปลือกต่ำสุด 0.14 และ 0.11 ตันต่อไร่ ตามลำดับ (ตารางที่ 6.1-5) สอดคล้องกับ วันชัย และคณะ (2544) ที่ศึกษาการตอบสนองของข้าวโพดหวาน 3 พันธุ์ต่อปริมาณการ

ให้น้ำพบว่า เมื่อเพิ่มอัตราการให้น้ำเป็น IW/E 0.5 0.7 และ 0.9 ส่งผลให้ผลผลิตเพิ่มขึ้นระหว่าง 26-29 53-55 และ 70-72 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ในขณะที่การศึกษาการตอบสนองของข้าวโพดหวานต่ออัตราการให้น้ำในช่วงการเจริญเติบโตระยะต่างๆ พบว่า การให้น้ำในช่วงก่อนและหลังระยะการออกดอกตัวผู้ อัตราการให้น้ำ IW/E 0.9-0.9 ก่อนและหลังระยะการออกดอกตัวผู้ ให้ผลผลิตฝักสดปอกเปลือก และไม่ปอกเปลือกสูงกว่าวิธีการอื่นๆ อย่างมีนัยสำคัญ

วอเตอร์ฟุตพริ้นท์ของข้าวโพดหวาน การให้น้ำอัตรา IW/E 0.0 0.2 0.4 0.6 0.8 และ 1.0 พบว่า กรีนวอเตอร์ฟุตพริ้นท์มีค่า 16-48,452 ลูกบาศก์เมตรต่อตัน บลูวอเตอร์ฟุตพริ้นท์มีค่า 0-24 ลูกบาศก์เมตรต่อตัน เกรย์วอเตอร์ฟุตพริ้นท์มีค่า 0.14-416.35 ลูกบาศก์เมตรต่อตัน และวอเตอร์ฟุตพริ้นท์รวมค่า 36-48,868 ลูกบาศก์เมตรต่อตัน (Table 6.1-6) ซึ่งแตกต่างกับ Jeswani and Azapagic (2011) ที่ศึกษาการใช้น้ำของการปลูกข้าวโพดหวานทั่วโลก พบว่า มีรอยเท้าน้ำรวมอยู่ในช่วง 354-2,434 ลูกบาศก์เมตรต่อตัน การให้น้ำที่อัตรา IW/E 0.6 ค่าวอเตอร์ฟุตพริ้นท์น้อยสุด 36 ลูกบาศก์เมตรต่อตัน แสดงถึงการใช้น้ำอย่างมีประสิทธิภาพ แต่เมื่อคำนึงถึงผลผลิตแล้ว พบว่า น้ำหนักฝักทั้งเปลือก 3.38 ตันต่อไร่ ซึ่งน้อยกว่าการให้น้ำอัตรา IW/E 0.8 และ 1.0 ที่ให้มีน้ำหนักฝักทั้งเปลือก 3.71 และ 3.95 ตันต่อไร่ ตามลำดับ หรือผลผลิตเพิ่มขึ้นร้อยละ 10 และ 17 คิดเป็นรายได้เพิ่มขึ้น 2,511 และ 4,338 บาทต่อไร่ ตามลำดับ (ที่ราคา 7.61 บาทต่อกิโลกรัม) (กรมส่งเสริมการเกษตร, 2562) เมื่อเปรียบเทียบการให้น้ำที่อัตรา IW/E 0.6 แล้ว พบว่า การใช้น้ำของการให้น้ำที่อัตรา IW/E 0.8 และ 1.0 ให้ผลผลิตสูง และคุ้มค่า แต่เมื่อเปรียบเทียบปริมาณการใช้น้ำของการให้น้ำที่อัตรา IW/E 0.8 และ 1.0 พบว่า การให้น้ำที่อัตรา IW/E 0.8 มีปริมาณการใช้น้ำน้อยกว่าการให้น้ำที่อัตรา IW/E 1.0 ลดปริมาณการใช้น้ำได้ถึง 19,200 ลิตรต่อไร่ คิดเป็นร้อยละ 20 การให้น้ำที่อัตรา IW/E 0.8 เป็นการส่งเสริมการผลิตข้าวโพดหวานให้มีการใช้ทรัพยากรน้ำอย่างมีคุณค่า และเกิดประโยชน์สูงสุด

ปี 2564 สำรวจแปลงข้าวโพดหวานภายใต้สภาพปัจจัยการผลิตไม่จำกัด 25 แปลง ในพื้นที่ปลูก 10 จังหวัด ได้แก่ ไร่เกษตรกรจังหวัดเชียงราย เชียงใหม่ ลำปาง นครสวรรค์ นครราชสีมา สระบุรี ลพบุรี ปทุมธานี กาญจนบุรี ราชบุรี และชลบุรี เนื่องจากสถานการณ์ไวรัสโคโรน่า (COVID-19) ทำให้ไม่สามารถเดินทางไปปฏิบัติงานได้ตามแผนการทดลองที่วางไว้ จึงสำรวจได้ 8 จังหวัดได้แก่ จังหวัดเชียงราย เชียงใหม่ ลำปาง นครสวรรค์ นครราชสีมา สระบุรี ลพบุรี และกาญจนบุรี ผลการสำรวจ พบว่า

จังหวัดเชียงราย เกษตรกร 9 ราย ปลูกข้าวโพดหวานตั้งแต่พฤศจิกายน 2563-เมษายน 2564 กรีน บลู และเกรย์วอเตอร์ฟุตพริ้นท์มีค่า 20-157 275-1,619 และ 0.002 - 0.014 ลูกบาศก์เมตรต่อตัน ตามลำดับ หรือมีค่าเฉลี่ย 125 746 และ 0.006 ลูกบาศก์เมตรต่อตัน ตามลำดับ วอเตอร์ฟุตพริ้นท์รวม 351-1,803 ลูกบาศก์เมตรต่อตัน หรือมีค่าเฉลี่ย 872 ลูกบาศก์เมตรต่อตัน

จังหวัดเชียงใหม่ เกษตรกร 19 ราย ปลูกข้าวโพดหวานหลังนาตั้งแต่พฤศจิกายน 2563-กุมภาพันธ์ 2564 และปลูกฤดูฝนตั้งแต่กรกฎาคม-สิงหาคม 2564 โดยการผลิตข้าวโพดหวานหลังนาพบว่า กรีน บลู และเกรย์วอเตอร์ฟุตพริ้นท์มีค่า 13-71 0.02-227 และ 0.004-0.012 ลูกบาศก์เมตรต่อตัน ตามลำดับ วอเตอร์ฟุตพริ้นท์รวม 13-271 ลูกบาศก์เมตรต่อตัน และการผลิตข้าวโพดหวานฤดูฝนพบว่า กรีน บลู และเกรย์วอเตอร์ฟุตพริ้นท์มีค่า 220-293 194-561 และ 0.010-0.013 ลูกบาศก์เมตรต่อตัน ตามลำดับ วอเตอร์ฟุตพริ้นท์รวม 413-854 ลูกบาศก์เมตรต่อตัน เมื่อเฉลี่ยทั้ง 2 ช่วงการผลิตข้าวโพดหวานพบว่า กรีน บลู และเกรย์วอเตอร์ฟุตพริ้นท์มีค่า 56 69 และ 0.008 ลูกบาศก์เมตรต่อตัน ตามลำดับ วอเตอร์ฟุตพริ้นท์รวม 125 ลูกบาศก์เมตรต่อตัน

จังหวัดลำปาง เกษตรกร 60 ราย ปลูกข้าวโพดหวานช่วงฤดูแล้งแต่พฤศจิกายน 2563-เมษายน 2564 และปลูกฤดูฝนตั้งแต่พฤษภาคม-กรกฎาคม 2564 การผลิตข้าวโพดหวานช่วงฤดูแล้ง กรีน บลู และเกรย์วอ

เตอร์ฟุตพริ้นท์มีค่า 0.05-263 0–2,176 และ 0-0.038 ลูกบาศก์เมตรต่อตัน ตามลำดับ วอเตอร์ฟุตพริ้นท์รวม 0.6 – 2,439 ลูกบาศก์เมตรต่อตัน การผลิตข้าวโพดหวานช่วงฤดูฝน กรีน บลู และเกรย์วอเตอร์ฟุตพริ้นท์มีค่า 81-857 0-406 และ 0.003-0.014 ลูกบาศก์เมตรต่อตัน ตามลำดับ วอเตอร์ฟุตพริ้นท์รวม 81-605 ลูกบาศก์เมตรต่อตัน เมื่อเฉลี่ยทั้ง 2 ช่วงการผลิตข้าวโพดหวานพบว่า กรีน บลู และเกรย์วอเตอร์ฟุตพริ้นท์มีค่า 80 295 และ 0.011 ลูกบาศก์เมตรต่อตัน ตามลำดับ วอเตอร์ฟุตพริ้นท์รวม 377 ลูกบาศก์เมตรต่อตัน

จังหวัดนครสวรรค์ เกษตรกร 15 ราย ปลูกข้าวโพดหวาน 2 ช่วง คือ ปลูกหลังนาตั้งแต่พฤศจิกายน 2563 -กุมภาพันธ์ 2564 และปลูกต้นฤดูฝนตั้งแต่เมษายน-มิถุนายน 2564 การผลิตข้าวโพดหวานหลังนา พบว่า กรีน บลู และเกรย์วอเตอร์ฟุตพริ้นท์มีค่า 64-650 4-6,808 และ 0.002-0.028 ลูกบาศก์เมตรต่อตัน ตามลำดับ วอเตอร์ฟุตพริ้นท์รวม 213-6,872 ลูกบาศก์เมตรต่อตัน การผลิตข้าวโพดหวานช่วงฤดูฝน กรีน บลู และเกรย์วอเตอร์ฟุตพริ้นท์มีค่า 185-635 12-1,432 และ 0.001-0.0026 ลูกบาศก์เมตรต่อตัน ตามลำดับ วอเตอร์ฟุตพริ้นท์รวม 202-2,067 ลูกบาศก์เมตรต่อตัน เมื่อเฉลี่ยทั้ง 2 ช่วงการผลิตข้าวโพดหวานพบว่า กรีน บลู และเกรย์วอเตอร์ฟุตพริ้นท์มีค่า 244 911 และ 0.010 ลูกบาศก์เมตรต่อตัน ตามลำดับ วอเตอร์ฟุตพริ้นท์รวม 1,155 ลูกบาศก์เมตรต่อตัน

จังหวัดลพบุรี เกษตรกร 6 ราย ปลูกข้าวโพดหวานตั้งแต่ธันวาคม 2563-พฤษภาคม 2564 พบว่า กรีน บลู และเกรย์วอเตอร์ฟุตพริ้นท์มีค่า 0.15-851 58-12,096 และ 0.004-0.016 ลูกบาศก์เมตรต่อตัน ตามลำดับ หรือมีค่าเฉลี่ย 221 2,316 และ 0.010 ลูกบาศก์เมตรต่อตัน ตามลำดับ วอเตอร์ฟุตพริ้นท์รวม 238-12,947 ลูกบาศก์เมตรต่อตัน หรือมีค่าเฉลี่ย 2,537 ลูกบาศก์เมตรต่อตัน

จังหวัดสระบุรี เกษตรกร 4 ราย ปลูกข้าวโพดหวานตั้งแต่ธันวาคม 2563-มีนาคม 2564 พบว่า กรีน บลู และเกรย์วอเตอร์ฟุตพริ้นท์มีค่า 0.32-257 331-2,790 และ 0.005-0.023 ลูกบาศก์เมตรต่อตัน ตามลำดับ หรือมีค่าเฉลี่ย 130 1,479 และ 0.015 ลูกบาศก์เมตรต่อตัน ตามลำดับ วอเตอร์ฟุตพริ้นท์รวม 588-2,925 ลูกบาศก์เมตรต่อตัน หรือมีค่าเฉลี่ย 1,609 ลูกบาศก์เมตรต่อตัน

จังหวัดนครราชสีมา เกษตรกร 11 ราย ปลูกข้าวโพดหวานหลังนาตั้งแต่พฤศจิกายน 2563-มกราคม 2564 พบว่า กรีน บลู และเกรย์วอเตอร์ฟุตพริ้นท์มีค่า 2.2-34 3-360 และ 0.008 - 0.021 ลูกบาศก์เมตรต่อตัน ลูกบาศก์เมตรต่อตัน ตามลำดับ หรือมีค่าเฉลี่ย 15 124 และ 0.014 วอเตอร์ฟุตพริ้นท์รวม 5-372 ลูกบาศก์เมตรต่อตัน หรือมีค่าเฉลี่ย 139 ลูกบาศก์เมตรต่อตัน

จังหวัดกาญจนบุรี เกษตรกร 7 ราย โดยเกษตรกร 1 รายปลูกข้าวโพดหวานตุลาคม 2563 พบว่า กรีน บลู เกรย์ และวอเตอร์ฟุตพริ้นท์รวมมีค่า 142 21 0 และ 162 ลูกบาศก์เมตรต่อตัน ตามลำดับ และเกษตรกร 6 รายปลูกข้าวโพดหวานมิถุนายน-กรกฎาคม 2564 พบว่า กรีน บลู เกรย์ และวอเตอร์ฟุตพริ้นท์รวมมีค่า 123-205 22-505 0.001-0.016 และ 169-689 ลูกบาศก์เมตรต่อตัน ตามลำดับ หรือมีค่าเฉลี่ย 169 269 0.006 และ 438 ลูกบาศก์เมตรต่อตัน ตามลำดับ

รวม 8 จังหวัด เกษตรกร 131 ราย พบว่า กรีน บลู เกรย์ และวอเตอร์ฟุตพริ้นท์รวมมีค่า 15-224 69–2,316 0.006-0.015 และ 125-2,537 ลูกบาศก์เมตรต่อตัน ตามลำดับ หรือมีค่าเฉลี่ย 130 776 0.010 และ 907 ลูกบาศก์เมตรต่อตัน ตามลำดับ (ตารางที่ 6.1-7)

ตารางที่ 6.1-1 ความสูงต้น ความสูงฝัก และน้ำหนักแห้งที่ระยะเก็บเกี่ยวของข้าวโพดหวานพันธุ์ชัยนาท 2 เมื่อให้น้ำอัตราต่างกัน ณ ศูนย์วิจัยพืชไร่ชัยนาท ฤดูแล้ง 2562

IW/E	Plant Height (cm)	Ear Height (cm)	dry weight (g/m^2)
0.0	88 c	41.85 c	373 c
0.2	107 c	50.75 c	442 c
0.4	147 b	69.00 b	817 b
0.6	151 b	72.10 b	643 a
0.8	178 a	87.40 a	799 a
1.0	183 a	89.85 a	827 a
C.V. (%)	9.97	12.19	22.0

In a column, means followed by common letter are not significantly different at the 5% level by DMRT.

ตารางที่ 6.1-2 ขนาดฝัก ความยาวฝัก ผลผลิตทั้งเปลือก ผลผลิตปอกเปลือกของข้าวโพดหวานพันธุ์ชัยนาท 2 เมื่อให้น้ำอัตราต่างกัน ณ ศูนย์วิจัยพืชไร่ชัยนาท ฤดูแล้ง 2562

IW/E	Ear diameter (cm)	Ear Length (cm)	Cob width (cm)	Yield with husk (ton/rai)	Yield without husk (ton/rai)
0.0	2.65 c	9.38 b	1.76 b	0.57 d	0.31 c
0.2	3.91 b	12.91 b	2.05 b	1.28 c	0.64 c
0.4	4.53 ab	17.79 a	2.67 a	2.68 b	1.63 b
0.6	4.50 ab	17.48 a	2.73 a	3.26 a	2.00 a
0.8	4.80 ab	19.46 a	2.91 a	3.65 a	2.21 a
1.0	4.88 a	19.26 a	2.90 a	3.79 a	2.29 a
C.V. (%)	13.09	16.29	12.14	14.39	16.18

ตารางที่ 6.1-3 กรีน บลู เกรย์ และวอเตอร์ฟุตพริ้นท์รวมของการผลิตข้าวโพดหวานพันธุ์ชัยนาท 2 เมื่อให้น้ำอัตราต่างกัน ณ ศูนย์วิจัยพืชไร่ชัยนาท ฤดูแล้ง 2562

IW/E	Green water footprint (m^3/ton)	Blue water footprint (m^3/ton)	Grey water footprint (m^3/ton)	Total water footprint (m^3/ton)
0.0	123	1,755	0.97	1,879
0.2	55	692	0.43	747
0.4	26	288	0.21	314
0.6	22	201	0.17	223
0.8	19	148	0.15	167
1.0	19	112	0.15	130
average	**44**	**533**	**0.35**	**577**

ตารางที่ 6.1-4 ความสูงต้น ความสูงฝัก และน้ำหนักแห้งที่ระยะเก็บเกี่ยวของข้าวโพดหวานพันธุ์ชัยนาท 2 เมื่อให้น้ำอัตราต่างกัน ณ ศูนย์วิจัยพืชไร่ชัยนาท ฤดูแล้ง 2563

IW/E	Plant Height (cm)	Ear Height (cm)	dry weight (g/m^2)
0.0	70 e	12 d	394 d
0.2	103 d	40 c	612 c
0.4	146 c	79 b	926 b
0.6	180 b	102 ab	1,136 ab
0.8	198 ab	120 a	1,248 a

IW/E	Plant Height (cm)	Ear Height (cm)	dry weight (g/m^2)
1.0	205 a	116 a	1,220 a
C.V. (%)	9.43	20.6	15.52

In a column, means followed by common letter are not significantly different at the 5% level by DMRT.

ตารางที่ 6.1-5 ขนาดฝัก ความยาวฝัก ผลผลิตทั้งเปลือก ผลผลิตปอกเปลือกของข้าวโพดหวานพันธุ์ชัยนาท 2 เมื่อให้น้ำอัตราต่างกัน ณ ศูนย์วิจัยพืชไร่ชัยนาท ฤดูแล้ง 2563

IW/E	Ear diameter (cm)	Ear Length (cm)	Yield with husk (ton/rai)	Yield without husk (ton/rai)
0.0	0.87 b	2.6 c	0.14 e	0.11 d
0.2	4.03 a	12.7 b	1.18 d	0.78 c
0.4	5.12 a	18.1 a	2.56 c	1.91 b
0.6	5.14 a	19.5 a	3.38 b	2.33 a
0.8	5.06 a	19.5 a	3.71 ab	2.45 a
1.0	5.00 a	19.8 a	3.95 a	2.59 a
C.V. (%)	16.95	13.70	12.82	12.54

In a column, means followed by common letter are not significantly different at the 5% level by DMRT.

ตารางที่ 6.1-6 กรีน บลู เกรย์ และวอเตอร์ฟุตพริ้นท์รวมของการผลิตข้าวโพดหวานพันธุ์ชัยนาท 2 เมื่อให้น้ำอัตราต่างกัน ณ ศูนย์วิจัยพืชไร่ชัยนาท ฤดูแล้ง 2563

IW/E	Green water footprint (m^3/ton)	Blue water footprint (m^3/ton)	Grey water footprint (m^3/ton)	Water footprint(m^3/ton)
0.0	48,452	0.00	416.35	48,868
0.2	64	19.77	0.57	84
0.4	25	15.32	0.22	40
0.6	19	17.48	0.17	36
0.8	17	20.70	0.15	38
1.0	16	24.33	0.14	40

ตารางที่ 6.1-7 กรีน บลู เกรย์ และวอเตอร์ฟุตพริ้นท์รวมของการผลิตข้าวโพดหวานพันธุ์ชัยนาท 2 และผลผลิต เมื่อให้น้ำอัตราต่างกัน ณ ศูนย์วิจัยพืชไร่ชัยนาท ฤดูแล้ง 2563-2564

Province	Green water footprint (m^3/ton)	Blue water footprint (m^3/ton)	Grey water footprint (m^3/ton)	Total water footprint (m^3/ton)	Yield (ton/rai)
Chiang Rai	125	746	0.006	872	2.82
Chiang Mai	56	69	0.008	125	2.81
Lampang	80	295	0.011	377	3.13
Nakhon Sawan	244	911	0.010	1155	2.06
Lopburi	221	2,316	0.010	2,537	1.65
Saraburi	130	1,479	0.015	1,609	1.38
Nakhon Ratchasima	15	124	0.014	139	1.82

Province	Green water footprint (m^3/ton)	Blue water footprint (m^3/ton)	Grey water footprint (m^3/ton)	Total water footprint (m^3/ton)	Yield (ton/rai)
Kanchanaburi	169	269	0.006	438	2.43
Average	**130**	**776**	**0.010**	**907**	**2.26**

การทดลองที่ 6.2 การวิเคราะห์วอเตอร์ฟุตพริ้นท์ของการผลิตข้าวโพดฝักอ่อน

ผลการทดลอง ปี 2562 พบว่า ด้านผลผลิตของข้าวโพดฝักอ่อน การให้น้ำที่อัตรา IW/E 0.4-1.0 ให้ผลผลิตฝักทั้งเปลือกสูงไม่แตกต่างกัน ระหว่าง 2,249-3,314 กิโลกรัมต่อไร่ และสูงกว่าการให้น้ำอัตรา IW/E 0.0 อย่างมีนัยสำคัญ ยิ่ง เมื่อพิจารณาผลผลิตฝักปอกเปลือก พบว่าการให้น้ำที่อัตรา IW/E 0.8-1.0 ให้ผลผลิตฝักปอกเปลือกสูงที่สุด ด้านการเจริญเติบโตที่ระยะเก็บเกี่ยว การให้น้ำที่อัตรา IW/E 0.4-1.0 มีค่าพื้นที่ใบ น้ำหนักใบแห้ง น้ำหนักต้นแห้ง ไม่แตกต่างกัน มีค่าอยู่ระหว่าง 2.08-2.45 70.6-81.4 และ 104.4-133.5 กรัมต่อตารางเมตร ตามลำดับ ซึ่งสูงกว่าว่าการให้น้ำอัตรา IW/E 0.0-0.2 ค่าอยู่ระหว่าง 1.03-1.43 39.5-48.8 และ 58.8-68.3 กรัมต่อตารางเมตร ตามลำดับ (ตารางที่ 6.2-2) สำหรับความสูงต้น ความสูงฝักที่ระยะเก็บเกี่ยว พบว่า การให้น้ำอัตรา IW/E 0.8-1.0 ให้ความสูงต้นความสูงฝักสูงที่สุดระหว่าง 172.7-177.9 และ 108.2-113.9 เซนติเมตร ตามลำดับ ซึ่งไม่แตกต่างจากการให้น้ำที่อัตรา IW/E 0.6 ที่ให้ความสูงต้นและความสูงฝัก 157.9 และ 102.6 เซนติเมตร แต่สูงกว่าการให้น้ำอัตรา IW/E 0.0-0.4 ที่ให้ความสูงต้นความสูงฝักระหว่าง 75.8-130.6 และ 44.6-81.4 เซนติเมตร ตามลำดับ การให้น้ำอัตรา IW/E 0.4-1.0 ให้ค่าดัชนีพื้นที่ใบสูงกว่าการให้น้ำอัตรา IW/E 0.0-0.2 อย่างมีนัยสำคัญยิ่งความกว้างและความยาวฝัก พบว่า ทุกอัตราการให้น้ำให้ค่าไม่แตกต่างกันทางสถิติ มีค่าอยู่ระหว่าง 1.04-1.76 และ 7.2-9.2 เซนติเมตร ตามลำดับ (ตารางที่ 6.2-1) การคำนวณค่าวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ของข้าวโพดฝักอ่อน ค่าวอเตอร์ฟุตพริ้นท์สีเขียว (Wgreen) ของการให้น้ำที่อัตรา IW/E 1.0 0.8 0.6 0.4 0.2 และ 0.0 มีค่าเท่ากับ 369.2 119.7 59.2 62.3 42.8 และ 42.3 ลูกบาศก์เมตรต่อตัน ตามลำดับ และค่าวอเตอร์ฟุตพริ้นท์สีฟ้า (Wblue) ของการให้น้ำที่อัตรา IW/E 1.0 0.8 0.6 0.4 0.2 และ 0.0 มีค่าเท่ากับ 2,640.7 697.1 280.3 266.1 108.4 และ 60.8 ลูกบาศก์เมตรต่อตัน ตามลำดับ ค่าวอเตอร์ฟุตพริ้นท์สีเทา (Wgrey) การให้น้ำที่อัตรา IW/E 1.0 0.8 0.6 0.4 0.2 และ 0.0 มีค่าเท่ากับ 1.462 0.474 0.234 0.247 0.169 และ 0.167 ลูกบาศก์เมตรต่อตัน ตามลำดับ โดยค่า Total water footprint ของการให้น้ำที่อัตรา IW/E 0.0 0.2 0.4 0.6 0.8 และ 1.0 มีค่าเท่ากับ 3,011 817 340 289 151 และ 103 ลูกบาศก์เมตรต่อตัน ตามลำดับ (ตารางที่ 6.2-3)

ผลการทดลอง ปี 2563 พบว่า สำหรับความสูงต้นที่ระยะเก็บเกี่ยว พบว่า การให้น้ำอัตรา IW/E 0.8 และ 1.0 ให้ความสูงต้น สูงสุด 197 เซนติเมตร รองลงมา ได้แก่ การให้น้ำอัตรา IW/E 0.6 04 และ 0.2 ให้ความสูงต้น 178 157 และ 135 เซนติเมตร ตามลำดับ และการให้น้ำอัตรา IW/E 0.0 ให้ความสูงต้นต่ำสุด 31 เซนติเมตร ด้านความสูงฝัก การให้น้ำอัตรา IW/E 0.8 ให้ความสูงฝักสูงสุด 122 เซนติเมตร แต่ไม่แตกต่างกับการให้น้ำอัตรา IW/E 1.0 ให้ความสูงฝัก 119 เซนติเมตร มีแนวโน้มไปในทิศทางเดียวกับดัชนีพื้นที่ใบ การให้น้ำอัตรา IW/E 0.8 ให้ดัชนีพื้นที่ใบสูงสุด 4.17 แต่ไม่แตกต่างกับการให้น้ำอัตรา IW/E 1.0 ให้ดัชนีพื้นที่ใบ 3. ด้านน้ำหนักแห้งส่วนเหนือดิน พบว่า การให้น้ำอัตรา IW/E 1.0 ให้น้ำหนักแห้งส่วนเหนือดินสูงสุด 723 กิโลกรัมต่อไร่ 87 ขณะที่การให้น้ำอัตรา IW/E 0.0 ให้ความสูงต้น ความสูงฝัก น้ำหนักแห้งส่วนเหนือดิน และดัชนีพื้นที่ใบต่ำสุด เท่ากับ 31 เซนติเมตร 78 เซนติเมตร 106 กิโลกรัมต่อไร่ และ 1.06 ตามลำดับ (ตารางที่ 6.2-2) ซึ่งแตกต่างจากการทดลองของ รัฐกร และคณะ (2557) ที่ศึกษาผลผลิตและรอยเท้าน้ำของข้าวโพดฝัก

อ่อนที่ตอบสนองต่ออัตราการให้น้ำและปุ๋ยที่แตกต่างกัน พบว่า การให้น้ำชลประทาน 40 60 และ 80 เปอร์เซ็นต์ ของความชื้นที่พืชนำไปใช้ได้ ให้ความสูงต้น ไม่แตกต่างกัน มีค่าระหว่าง 108.61-188.75 เซนติเมตร การให้น้ำที่อัตรา IW/E 1.0 ให้ผลผลิตฝักทั้งเปลือกสูงสุด 2.42 ตันต่อไร่ แต่ไม่แตกต่างกับการให้น้ำอัตรา IW/E 0.8 ให้ผลผลิตฝักทั้งเปลือก 2.37 ตันต่อไร่ มีแนวโน้มไปในทิศทางเดียวกับผลผลิตฝักปอกเปลือก พบว่าการให้น้ำที่อัตรา IW/E 1.0 ให้ผลผลิตฝักปอกเปลือกสูงสุด 0.41 ต้นต่อไร่ แต่ไม่แตกต่างกับการให้น้ำอัตรา IW/E 0.8 ให้ผลผลิตฝักปอกเปลือก 0.37 ตันต่อไร่ (ตารางที่ 6.2-4) ด้านความกว้างและความยาวฝัก พบว่า อัตราการให้น้ำทุกอัตรา ให้ความกว้างและความยาวฝักไม่แตกต่างกัน มีค่าอยู่ระหว่าง 1.20-1.28 และ 8.34-8.63 เซนติเมตร ตามลำดับ ในขณะที่การไม่ให้น้ำ ให้ความกว้างและความยาวฝักต่ำสุด 0 เซนติเมตร (ตารางที่ 6.2-3) ซึ่งแตกต่างจากการทดลองของ รัฐกร และคณะ (2557) ที่ศึกษาผลผลิตและรอยเท้าน้ำของข้าวโพดฝักอ่อนที่ตอบสนองต่ออัตราการให้น้ำและปุ๋ยที่แตกต่างกัน พบว่า การให้น้ำชลประทาน 40 60 และ 80 เปอร์เซ็นต์ ของความชื้นที่พืชนำไปใช้ได้ ให้น้ำหนักฝัก และความยาวฝักไม่แตกต่างกัน มีค่าระหว่าง 1.09-1.24 ตันต่อไร่ และ 9.2-9.5 เซนติเมตร ตามลำดับ ค่าวอเตอรฟุตพริ้นท์ของข้าวโพดฝักอ่อน ผลการทดลอง พบว่า ค่าวอเตอร์ฟุตพริ้นท์สีเขียว ของการให้น้ำที่อัตรา IW/E 0.0 0.2 0.4 0.6 0.8 และ 1.0 มีค่า 1,598 193 136 123 60 และ 58 ลูกบาศก์เมตรต่อตัน ตามลำดับ ค่าวอเตอร์ฟุตพริ้นท์สีฟ้า ของการให้น้ำที่อัตรา IW/E 0.0 0.2 0.4 0.6 0.8 และ 1.0 มีค่าเท่ากับ 0 26 37 51 33 และ 40 ลูกบาศก์เมตรต่อตัน ตามลำดับ ค่าวอเตอร์ฟุตพริ้นท์สีเทา การให้น้ำที่อัตรา IW/E 0.0 0.2 0.4 0.6 0.8 และ 1.0 มีค่า 6.92 0.76 0.54 0.49 0.24 และ 0.23 ลูกบาศก์เมตรต่อตัน ตามลำดับ ด้านค่าวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ของข้าวโพดฝักอ่อน ของการให้น้ำที่อัตรา IW/E 1.0 0.8 0.6 0.4 0.2 และ 0.0 มีค่าเท่ากับ 99 93 174 174 220 และ 1,595 ลูกบาศก์เมตรต่อตัน ตามลำดับ (ตารางที่ 6.2-5) ซึ่งซึ่งแตกต่างจากการทดลองของ รัฐกร และคณะ (2557) ที่ศึกษาผลผลิตและรอยเท้าน้ำของข้าวโพดฝักอ่อนที่ตอบสนองต่ออัตราการให้น้ำและปุ๋ยที่แตกต่างกัน พบว่า การให้น้ำชลประทาน 40 60 และ 80 เปอร์เซ็นต์ ของความชื้นที่พืชนำไปใช้ได้ มีค่าวอเตอร์ฟุตพริ้นท์สีเขียว วอเตอร์ฟุตพริ้นท์สีฟ้า วอเตอร์ฟุตพริ้นท์สีเทา และวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ของข้าวโพดฝักอ่อน มีค่าระหว่าง 0.0004-0.0015 0.0003-0.0009 0.000001-0.000041 และ 0.0006-0.0024 ตามลำดับ

การให้น้ำที่อัตรา IW/E 0.8 มีค่าวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ 93 ลูกบาศก์เมตรต่อตัน มีค่าวอเตอร์ฟุตพริ้นท์น้อยที่สุด ถือว่าเป็นการใช้ทรัพยากรน้ำได้อย่างมีประสิทธิภาพ ส่งเสริมการผลิตข้าวโพดฝักอ่อนให้มีการใช้ทรัพยากรน้ำอย่างมีคุณค่า เกิดประโยชน์สูงสุด

ผลการทดลอง ปี 2564 สำรวจและกำหนดแปลงข้าวโพดหวานที่จัดเก็บข้อมูล ภายใต้สภาพปัจจัยการผลิตไม่จำกัด จำนวน 20 แปลง ในสภาพพื้นที่ปลูก 10 จังหวัด ได้แก่ ไร่เกษตรกรจังหวัดเชียงราย เชียงใหม่ ลำปาง นครสวรรค์ นครราชสีมา สระบุรี ลพบุรี ปทุมธานี กาญจนบุรี ราชบุรี และชลบุรี เนื่องจากสถานการไวรัสโคโรน่า (COVID-19) ทำให้ไม่สามารถเดินทางไปปฏิบัติงานได้ตามแผนการทดลองที่วางไว้ จึงสำรวจได้เพียง 5 จังหวัด ได้แก่ จังหวัดเชียงใหม่ ลำปาง นครสวรรค์ ลพบุรี และกาญจนบุรี ผลการทดลอง พบว่า

จังหวัดเชียงใหม่ สำรวจเกษตรกร จำนวน 10 ราย พบว่า มีการปลูกข้าวโพดฝักอ่อนในช่วงเดือนธันวาคม 2563 - เดือนมกราคม 2564 พบค่า Green water อยู่ระหว่าง 38 - 188 ลูกบาศก์เมตรต่อตัน Blue water อยู่ระหว่าง 628 – 70,027 ลูกบาศก์เมตรต่อตัน Gray water อยู่ระหว่าง 0.011 - 0.064 ลูกบาศก์เมตรต่อตัน Water footprint อยู่ระหว่าง 816 - 72152 ลูกบาศก์เมตรต่อตัน จังหวัดเชียงใหม่ มีค่าเฉลี่ย Green water Blue water Gray water และ Water footprint เท่ากับ 109 17,474 0.031 และ 17,584 ลูกบาศก์เมตรต่อตัน

จังหวัดลำปาง สำรวจเกษตรกร 8 ราย พบว่า ปลูกข้าวโพดฝักอ่อนเดือนพฤศจิกายนและธันวาคม 2563 เดือนมีนาคม และพฤษภาคม 2564 พบค่า Green water มีค่า 0.8-623 ลูกบาศก์เมตรต่อตัน Blue water มีค่า 0–3,490 ลูกบาศก์เมตรต่อตัน Gray water มีค่า 0.011-0.049 ลูกบาศก์เมตรต่อตัน Water footprint มีค่า 383–3,665 ลูกบาศก์เมตรต่อตัน จังหวัดลำปาง Green Blue และ Gray WF และ Water footprint มีค่า 209 2,085 0.028 และ 2,375 ลูกบาศก์เมตรต่อตัน

จังหวัดนครสวรรค์ สำรวจเกษตรกร 1 ราย พบว่า ปลูกข้าวโพดฝักอ่อนมกราคม 2564 พบค่า Green water 59 ลูกบาศก์เมตรต่อตัน Blue water 4,439 ลูกบาศก์เมตรต่อตัน Gray water 0.012 ลูกบาศก์เมตรต่อตัน Water footprint 4,552 ลูกบาศก์เมตรต่อตัน

จังหวัดลพบุรี สำรวจเกษตรกร 4 ราย พบว่า ปลูกข้าวโพดฝักอ่อนตั้งแต่ธันวาคม 2563 - พฤษภาคม 2564 พบค่า Green water มีค่า 12.2–14.0 ลูกบาศก์เมตรต่อตัน Blue water มีค่า 64.3-1,852 ลูกบาศก์เมตรต่อตัน Gray water มีค่า 0.002-0.016 ลูกบาศก์เมตรต่อตัน Water footprint มีค่า 78-1,865 ลูกบาศก์เมตรต่อตัน จังหวัดลพบุรี มีค่าเฉลี่ย Green water Blue water Gray water และ Water footprint มีค่า 13.3 576.6 0.011 และ 590 ลูกบาศก์เมตรต่อตัน

จังหวัดกาญจนบุรี สำรวจเกษตรกร 5 ราย พบว่า ปลูกข้าวโพดฝักอ่อนเดือนธันวาคม 2563–กุมภาพันธ์ 2564 พบค่า Green water มีค่า 0–4.8 ลูกบาศก์เมตรต่อตัน Blue water มีค่า 96-515 ลูกบาศก์เมตรต่อตัน Gray water มีค่า 0.003-0.023 ลูกบาศก์เมตรต่อตัน Water footprint มีค่า 98-515 ลูกบาศก์เมตรต่อตัน จังหวัดกาญจนบุรี Green water Blue water Gray water และ Water footprint มีค่า 1.5 267 0.011 และ 268 ลูกบาศก์เมตรต่อตัน

รวมทั้งหมด 5 จังหวัด เกษตรกร 28 ราย Green water มีค่า 2-205 ลูกบาศก์เมตรต่อตัน Blue water มีค่า 267–17,474 ลูกบาศก์เมตรต่อตัน Gray water มีค่า 0.011-0.031 ลูกบาศก์เมตรต่อตัน Water footprint มีค่า 268–17,584 ลูกบาศก์เมตรต่อตัน ค่าเฉลี่ย Green water Blue water Gray water และ Water footprint 95 4,979 0.018 และ 5,074 ลูกบาศก์เมตรต่อตัน (ตารางที่ 6.2-7)

ตารางที่ 6.2-1 ผลผลิตฝักสดทั้งเปลือก ผลผลิตฝักสดปอกเปลือกมาตรฐาน จำนวนฝักมาตรฐาน ความสูงต้น ความสูงฝักของข้าวโพดฝักอ่อน เมื่อให้น้ำในอัตราที่ต่างกัน ในฤดูแล้ง 2563

IW/E	Plant Height (cm)	Ear Height (cm)	dry weight (g/m^2)
0.0	76 c	45 d	121 c
0.2	97 c	60 cd	151 bc
0.4	131 b	81 bc	213 abc
0.6	158 ab	103 ab	241 ab
0.8	178 a	114 a	272 a
1.0	173 a	108 a	265 a
C.V. (%)	15.27	17.51	20.44

In a column, means followed by common letter are not significantly different at the 5% level by DMRT.

ตารางที่ 6.2-2 พื้นที่ใบ น้ำหนักแห้ง ความสูงต้น ความสูงฝักของข้าวโพดฝักอ่อน เมื่อให้น้ำในอัตราที่ต่างกัน ในฤดูแล้ง 2563

Treatment IW/E	Ear diameter (cm)	Ear Length (cm)	Yield with husk (ton/rai)	Yield without husk (ton/rai)
0.0	1.21	7.2	0.38 c	0.11 c
0.2	1.76	8.7	1.17 bc	0.37 b
0.4	1.10	8.2	2.37 a	0.46 b
0.6	1.11	8.6	2.25 ab	0.51 b
0.8	1.17	9.2	3.28 a	0.70 a
1.0	1.04	8.1	3.31 a	0.73 a
C.V. (%)	27.57	0.92	35.33	24.48

In a column, means followed by common letter are not significantly different at the 5% level by DMRT.

ตารางที่ 6.2-3 ความยาว-ความกว้างฝัก ฝัก วันออกดอกและออกไหมของข้าวโพดฝักอ่อนเมื่อให้น้ำอัตราต่างกัน ฤดูแล้ง 2563

IW/E	Green WF (m^3/ton)	Blue WF (m^3/ton)	Grey WF (m^3/ton)	Total WF (m^3/ton)
0.0	369.2	2640.7	1.462	3011.3
0.2	119.7	697.1	0.474	817.3
0.4	59.2	280.3	0.234	339.7
0.6	62.3	226.1	0.247	288.7
0.8	42.8	108.4	0.169	151.3
1.0	42.3	60.8	0.167	103.2
average	**115.9**	**668.9**	**0.5**	**785.3**

ตารางที่ 6.2-4 วอเตอร์ฟุตพริ้นท์ของการผลิตข้าวโพดฝักอ่อนและผลผลิตข้าวโพดฝักอ่อนทั้งเปลือก

IW/E	Plant Height (cm)	Ear Height (cm)	dry weight (g/m^2)
0.0	31 e	0 e	106 f
0.2	135 d	78 d	636 d
0.4	157 c	95 c	590 e
0.6	178 b	109 b	704 c
0.8	197 a	122 a	720 b
1.0	197 a	119 a	723 a
C.V. (%)	5.86	6.94	11.51

In a column, means followed by common letter are not significantly different at the 5% level by DMRT.

ตารางที่ 6.2-5 ขนาดฝัก ความยาวฝัก ผลผลิตทั้งเปลือก ผลผลิตปอกเปลือกของข้าวโพดฝักอ่อนลูกผสม Pac321 เมื่อให้น้ำอัตราต่างกัน ณ ศูนย์วิจัยพืชไร่ชัยนาท ฤดูแล้ง 2563

Treatment IW/E	Ear diameter (cm)	Ear Length (cm)	Yield with husk (ton/rai)	Yield without husk (ton/rai)
0.0	0.0 b	0.0 b	0.21 d	0.05 d
0.2	1.28 a	8.34 a	0.95 c	0.20 c
0.4	1.23 a	8.40 a	1.33 bc	0.24 c
0.6	1.21 a	8.41 a	1.71 bc	0.30 bc

Treatment IW/E	Ear diameter (cm)	Ear Length (cm)	Yield with husk (ton/rai)	Yield without husk (ton/rai)
0.8	1. 23 a	8.63 a	2.37 a	0.37 ab
1.0	1.20 a	8.58 a	2.42 a	0.41 a
C.V. (%)	8.28	7.38	26.73	25.71

In a column, means followed by common letter are not significantly different at the 5% level by DMRT.

ตารางที่ 6.2-6 กรีน บลู เกรย์ และวอเตอร์ฟุตพริ้นท์รวมของการผลิตข้าวโพดฝักอ่อนลูกผสม Pac321 เมื่อให้น้ำอัตราต่างกัน ณ ศูนย์วิจัยพืชไร่ชัยนาท ฤดูแล้ง 2563

IW/E	Green WF (m^3/ton)	Blue WF (m^3/ton)	Grey WF (m^3/ton)	WF (m^3/ton)
0.0	1,589	0	6.29	1,595
0.2	193	26	0.76	220
0.4	136	37	0.54	174
0.6	123	51	0.49	174
0.8	60	33	0.24	93
1.0	58	40	0.23	99

ตารางที่ 6.2-7 กรีน บลู เกรย์ และวอเตอร์ฟุตพริ้นท์รวมของการผลิตข้าวโพดฝักอ่อนลูกผสม Pac321 และผลผลิตเมื่อให้น้ำอัตราต่างกัน ณ ศูนย์วิจัยพืชไร่ชัยนาท ฤดูแล้ง 2563-2564

Province	Green WF (m^3/ton)	Blue WF (m^3/ton)	Grey WF (m^3/ton)	Total WF (m^3/ton)	Yield (ton/rai)
Chiang Mai	109	17,474	0.031	17,584	0.5
Lampang	290	2,085	0.028	2,375	0.6
Nakhon Sawan	59	4,493	0.012	4,552	1.5
Lopburi	13	577	0.011	590	1.4
Kanchanaburi	2	267	0.011	268	2.0
Average	**95**	**4,979**	**0.018**	**5,074**	**1.2**

การทดลองที่ 6.3 การศึกษาวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ของการปลูกข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ ในภาคเหนือของประเทศไทย (จังหวัดน่าน ตาก และเพชรบูรณ์)

ข้อมูลการผลิตข้าวโพดเลี้ยงสัตว์

จังหวัดน่าน ได้สัมภาษณ์เกษตรกรผู้ปลูกข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ในพื้นที่ 54 ราย ประกอบด้วยเกษตรกรอำเภอนาน้อย 19 ราย อำเภอบ้านหลวง 1 ราย และอำเภอเวียงสา 34 ราย พบว่า เกษตรกรมีพื้นที่ปลูกข้าวโพดเลี้ยงสัตว์เฉลี่ย 33.98 ไร่ ส่วนใหญ่ปลูกข้าวโพดเลี้ยงสัตว์พันธุ์ ไพโอเนียร์46 และซีพี888นิว ใช้เมล็ดพันธุ์เฉลี่ยอัตรา 3.31 กิโลกรัมต่อไร่ ใช้ปุ๋ยไนโตรเจน 45.81 กิโลกรัมต่อตันผลผลิต ได้ผลผลิตเฉลี่ย 540 กิโลกรัมต่อไร่

จังหวัดตาก ได้สัมภาษณ์เกษตรกรผู้ปลูกข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ในพื้นที่ 51 ราย ประกอบด้วยเกษตรกรอำเภอเมืองตาก 29 ราย อำเภอสามเงา 20 ราย และอำเภอแม่สอด 2 ราย พบว่า เกษตรกรมีพื้นที่ปลูกข้าวโพดเลี้ยงสัตว์เฉลี่ย 21 ไร่ ส่วนใหญ่ปลูกข้าวโพดเลี้ยงสัตว์พันธุ์ แปซิฟิก339 และแปซิฟิก999 ใช้เมล็ดพันธุ์

เฉลี่ยอัตรา 4.23 กิโลกรัมต่อไร่ ใช้ปุ๋ยไนโตรเจน 42.10 กิโลกรัมต่อตันผลผลิต ได้ผลผลิตเฉลี่ย 525 กิโลกรัมต่อไร่

จังหวัดเพชรบูรณ์ ได้สัมภาษณ์เกษตรกรผู้ปลูกข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ 32 ราย ประกอบด้วยเกษตรกรอำเภอเมืองเพชรบูรณ์ 1 ราย และอำเภอหนองไผ่ 31 ราย พบว่า เกษตรกรมีพื้นที่ปลูกข้าวโพดเลี้ยงสัตว์เฉลี่ย 32.81 ไร่ ส่วนใหญ่ปลูกข้าวโพดเลี้ยงสัตว์พันธุ์ ซีพี888 และNK6253 ใช้เมล็ดพันธุ์เฉลี่ยอัตรา 3.65 กิโลกรัมต่อไร่ ใช้ปุ๋ยไนโตรเจน 51.85 กิโลกรัมต่อตันผลผลิต ได้ผลผลิตเฉลี่ย 413 กิโลกรัมต่อไร่

ข้อมูลอุตุนิยมวิทยา

การคายระเหยน้ำและปริมาณน้ำฝน

ข้อมูลอุตุนิยมวิทยาเฉลี่ยรายสัปดาห์ 30 ปี ตั้งแต่ปี 2534-2563 แสดงข้อมูลเฉพาะ 14 สัปดาห์ในช่วงที่เกษตรกรส่วนใหญ่ปลูกข้าวโพดเลี้ยงสัตว์มากที่สุดในจังหวัดน่าน ตาก และเพชรบูรณ์ พบว่า การคายระเหยน้ำเฉลี่ยมีค่า 3.41 4.28 และ 4.75 มิลลิเมตรต่อวัน ตามลำดับ ปริมาณฝนเฉลี่ยมีค่า 7.49 5.05 และ 5.07 มิลลิเมตรต่อวัน ตามลำดับ (ภาพที่ 6.3-1 และ 6.3-2)

ปริมาณฝนใช้การ ความต้องการน้ำ และความต้องการน้ำชลประทานในการผลิตข้าวโพดเลี้ยงสัตว์

จังหวัดน่าน ปลูกข้าวโพดเลี้ยงสัตว์เดือนมิถุนายน-กันยายน ปริมาณฝนใช้การเฉลี่ยมีค่า 7.40 มิลลิเมตรต่อวัน ปริมาณฝนใช้การน้อยที่สุดสัปดาห์ที่ 2 มีค่า 3.95 มิลลิเมตรต่อวัน และปริมาณฝนใช้การมากที่สุดสัปดาห์ที่ 9 มีค่า 10.79 มิลลิเมตรต่อวัน ความต้องการน้ำเฉลี่ยมีค่า 3.31 มิลลิเมตรต่อวัน ความต้องการน้ำน้อยที่สุดสัปดาห์ที่ 14 มีค่า 1.94 มิลลิเมตรต่อวัน และความต้องการน้ำมากที่สุดสัปดาห์ที่ 6 มีค่า 4.52 มิลลิเมตรต่อวัน และไม่มีค่าความต้องการน้ำชลประทาน (ภาพที่ 6.3-3)

จังหวัดตาก ปลูกข้าวโพดเลี้ยงสัตว์เดือนกรกฎาคม-ตุลาคม ปริมาณฝนใช้การเฉลี่ยมีค่า 5.00 มิลลิเมตรต่อวัน ปริมาณฝนใช้การน้อยที่สุดสัปดาห์ที่ 1 มีค่า 2.66 มิลลิเมตรต่อวัน และปริมาณฝนใช้การมากที่สุดสัปดาห์ที่ 14 มีค่า 8.98 มิลลิเมตรต่อวัน ความต้องการน้ำเฉลี่ยมีค่า 4.26 มิลลิเมตรต่อวัน มีความต้องการน้ำน้อยที่สุดสัปดาห์ที่ 14 มีค่า 2.09 มิลลิเมตรต่อวัน และความต้องการน้ำมากที่สุดสัปดาห์ที่ 8 มีค่า 6.4 มิลลิเมตรต่อวัน ความต้องการน้ำชลประทานเฉลี่ยมีค่า 5.66 มิลลิเมตรต่อวัน และความต้องการน้ำชลประทาน (IWR) มากที่สุดในสัปดาห์ที่ 7 มีค่า 2.43 มิลลิเมตรต่อวัน (ภาพที่ 6.3-4)

จังหวัดเพชรบูรณ์ ปลูกข้าวโพดเลี้ยงสัตว์เดือนเมษายน–กรกฎาคม ปริมาณฝนใช้การเฉลี่ยมีค่า 5.02 มิลลิเมตรต่อวัน ปริมาณฝนใช้การน้อยที่สุดสัปดาห์ที่ 1 มีค่า 1.77 มิลลิเมตรต่อวัน และปริมาณฝนใช้การมากที่สุดสัปดาห์ที่ 7 มีค่า 8.72 มิลลิเมตรต่อวัน ความต้องการน้ำเฉลี่ยมีค่า 4.62 มิลลิเมตรต่อวัน มีความต้องการน้ำน้อยที่สุดสัปดาห์ที่ 1 มีค่า 2.75 มิลลิเมตรต่อวัน และความต้องการน้ำมากที่สุดสัปดาห์ที่ 8 มีค่า 6.13 มิลลิเมตรต่อวัน ความต้องการน้ำชลประทานเฉลี่ยมีค่า 0.34 มิลลิเมตรต่อวัน และความต้องการน้ำชลประทานมากที่สุดในสัปดาห์ที่ 5 มีค่า 1.08 มิลลิเมตรต่อวัน (ภาพที่ 6.3-5)

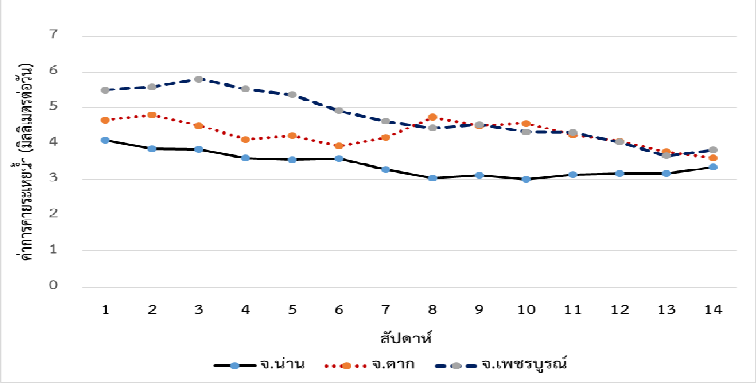
จังหวัดน่าน ปริมาณฝนใช้การเฉลี่ย 7.40 มิลลิเมตรต่อวัน และไม่มีความต้องการน้ำชลประทาน จังหวัดตาก ปริมาณฝนใช้การเฉลี่ย 5.00 มิลลิเมตรต่อวัน และมีความต้องการน้ำชลประทานเฉลี่ย 5.66 มิลลิเมตร และจังหวัดเพชรบูรณ์ ปริมาณฝนใช้การเฉลี่ย 5.02 มิลลิเมตรต่อวัน และมีความต้องการน้ำชลประทานเฉลี่ย 0.34 มิลลิเมตร (ภาพที่ 6.3-6)

ผลผลิตและวอเตอร์ฟุตพริ้นท์

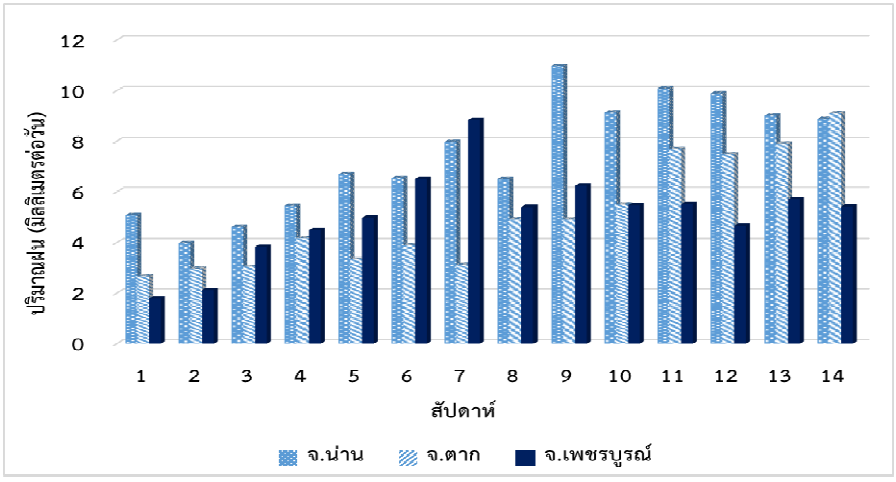
จังหวัดน่าน ผลผลิตข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ 113-1,000 กิโลกรัมต่อไร่ เฉลี่ย 540 กิโลกรัมต่อไร่ วอเตอร์ฟุตพริ้นท์มีค่า 74.26-658.73 ลูกบาศก์เมตรต่อตันผลผลิต เฉลี่ย 220.08 ลูกบาศก์เมตรต่อตันผลผลิต ประกอบด้วย กรีน และเกรย์วอเตอร์ฟุตพริ้นท์ 219.98 และ 0.09 ลูกบาศก์เมตรต่อตันผลผลิต ตามลำดับ

จังหวัดตาก ผลผลิตข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ 150-1,283 กิโลกรัมต่อไร่ เฉลี่ย 525 กิโลกรัมต่อไร่ วอเตอร์ฟุตพริ้นท์มีค่า 74.24-635.65 ลูกบาศก์เมตรต่อตันผลผลิต เฉลี่ย 211.67 ลูกบาศก์เมตรต่อตันผลผลิต ประกอบด้วยกรีนและเกรย์วอเตอร์ฟุตพริ้นท์ 211.63 และ 0.05 ลูกบาศก์เมตรต่อตันผลผลิต จังหวัดเพชรบูรณ์ ผลผลิตข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ 95-967 กิโลกรัมต่อไร่ เฉลี่ย 413 กิโลกรัมต่อไร่ วอเตอร์ฟุตพริ้นท์มีค่า 107.07-1,089.66 ลูกบาศก์เมตรต่อตันผลผลิต เฉลี่ย 310.79 ลูกบาศก์เมตรต่อตันผลผลิต ประกอบด้วยกรีน และเกรย์วอเตอร์ฟุตพริ้นท์ 310.69 และ 0.10 ลูกบาศก์เมตรต่อตันผลผลิต ตามลำดับ (ตารางที่ 6.3-1 และ 6.3-2)

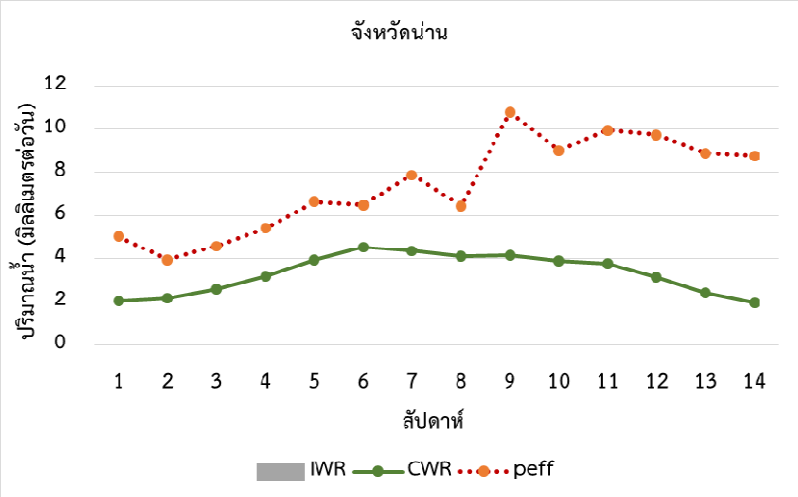
เมื่อพิจารณาภาพรวมทั้ง 3 จังหวัดพบว่า วอเตอร์ฟุตพริ้นท์ของการผลิตข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ในจังหวัดเพชรบูรณ์มีค่ามากสุด 310.79 ลูกบาศก์เมตรต่อตันผลผลิต และจังหวัดตากมีค่าน้อยสุด 211.67 ลูกบาศก์เมตรต่อตันผลผลิต วอเตอร์ฟุตพริ้นท์ของการผลิตข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ครั้งนี้มีค่าน้อยกว่าวอเตอร์ฟุตพริ้นท์จากการศึกษาของ วีรฉัตร์ (2558) พบว่า วอเตอร์ฟุตพริ้นท์ของข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ ซึ่งวิเคราะห์โดยใช้ CROPWAT 8.0 ในพื้นที่ลุ่มน้ำย่อยห้วยน้ำยาว 1 ตอนล่าง อำเภอท่าวังผา จังหวัดน่าน มีค่ากรีน บลู เกรย์ และวอเตอร์ฟุตพริ้นท์รวม 767.75 57.75 1.06 และ 826.56 ลูกบาศก์เมตรต่อตัน ตามลำดับ



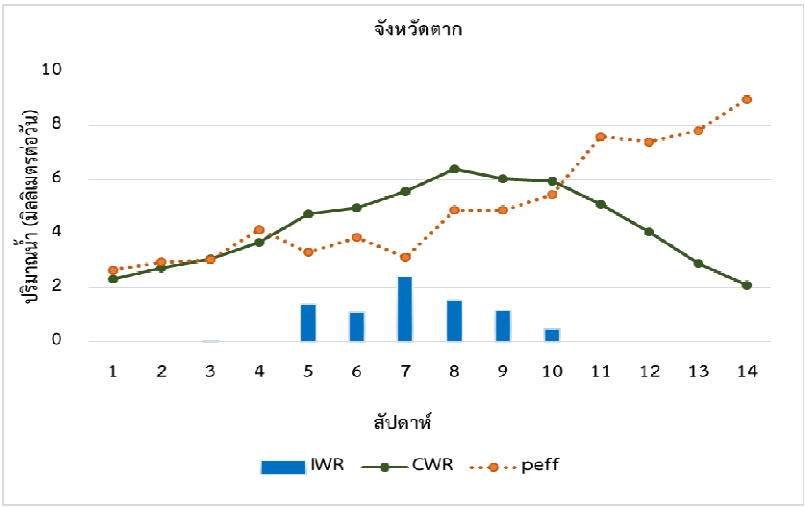
ภาพที่ 6.3-1 ค่าการคายระเหยน้ำ เฉลี่ยรายสัปดาห์ 30 ปี (ปี พ.ศ. 2534-2563) จากสถานีอุตุนิยมวิทยาจังหวัดน่าน จังหวัดตาก และจังหวัดเพชรบูรณ์



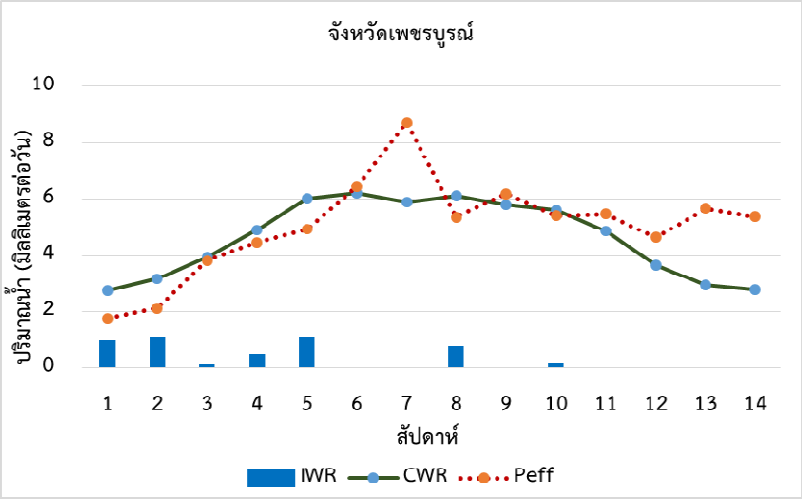
ภาพที่ 6.3-2 ปริมาณฝนเฉลี่ยรายสัปดาห์ 30 ปี (ปี พ.ศ. 2534-2563) จากสถานีอุตุนิยมวิทยาจังหวัดน่าน จังหวัดตาก และจังหวัดเพชรบูรณ์



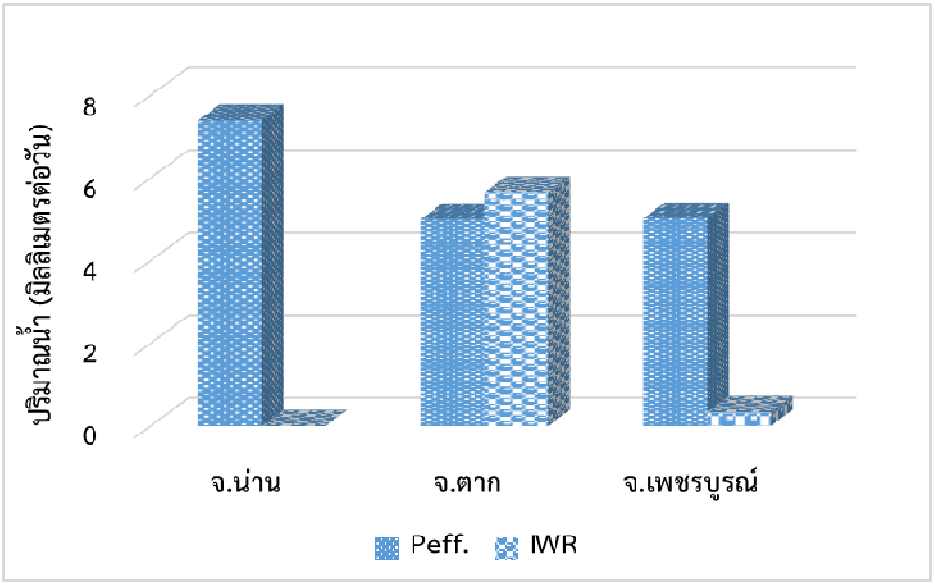
ภาพที่ 6.3-3 ค่าความต้องการน้ำ (Crop Water Requirement: CWR) ปริมาณฝนใช้การ (Precipitation effective: Peff) และค่าความต้องการน้ำชลประทาน (Irrigation Water Requirement: IWR) ของข้าวโพดเลี้ยงสัตว์จังหวัดน่าน



ภาพที่ 6.3-4 ค่าความต้องการน้ำ (Crop Water Requirement: CWR) ปริมาณฝนใช้การ (Precipitation effective: Peff) และค่าความต้องการน้ำชลประทาน (Irrigation Water Requirement: IWR) ของข้าวโพดเลี้ยงสัตว์จังหวัดตาก



ภาพที่ 6.3-5 ค่าความต้องการน้ำ (Crop Water Requirement: CWR) ปริมาณฝนใช้การ (Precipitation effective: Peff) และค่าความต้องการน้ำชลประทาน (Irrigation Water Requirement: IWR) ของข้าวโพดเลี้ยงสัตว์จังหวัดเพชรบูรณ์



ภาพที่ 6.3-6 ค่าปริมาณฝนใช้การ (Precipitation effective: Peff.) และค่าความต้องการน้ำชลประทาน (Irrigation Water Requriment: IWR) ของข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ในจังหวัดน่าน ตาก และเพชรบูรณ์

ตารางที่ 6.3-1 วอเตอร์ฟุตพริ้นท์สีเขียว วอเตอร์ฟุตพริ้นท์สีเทา และวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ทั้งหมดเฉลี่ย จากการปลูกข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ของเกษตรกรในจังหวัดน่าน ตาก และเพชรบูรณ์

Province	Green WF (m^3/ ton)	Blue WF (m^3/ ton)	Gray WF (m^3/ ton))	Total WF (m^3/ ton))
Nan	219.98	-	0.09	220.08
Tak	211.63	-	0.05	211.67
Phetchabun	310.69	-	0.10	310.79

ตารางที่ 6.3-2 ผลผลิตข้าวโพดเลี้ยงสัตว์และวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ทั้งหมดเฉลี่ย ในจังหวัดน่าน ตาก และเพชรบูรณ์

Province	Maize production (kg/rai)			Total WF (m^3/ ton))		
	Min	Max	Average	Min	Max	Average
Nan	112.78	1,000	**539.73**	74.26	658.73	**220.08**
Tak	150.00	1,283.85	**524.78**	74.24	635.65	**211.67**
Phetchabun	95.08	966.67	**412.70**	107.07	1089.66	**310.79**

การทดลองที่ 6.4 การศึกษาวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ของการปลูกข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ ในภาคตะวันออกเฉียงเหนือของประเทศไทย (จังหวัดเลย นครราชสีมา และชัยภูมิ)

ข้อมูลการผลิตข้าวโพดเลี้ยงสัตว์

จังหวัดเลย สัมภาษณ์เกษตรกรในพื้นที่ 42 ราย ประกอบด้วยเกษตรกรอำเภอเมืองเลย 19 ราย หนองไผ่ 23 ราย พบว่า เกษตรกรมีพื้นที่ปลูกข้าวโพดเลี้ยงสัตว์เฉลี่ย 5.75 ไร่ ส่วนใหญ่ปลูกพันธุ์ ซีพี535 ใช้เมล็ดพันธุ์เฉลี่ยอัตรา 3.43 กิโลกรัมต่อไร่ ใช้ปุ๋ยไนโตรเจน 59.35 กิโลกรัมต่อตันผลผลิต ผลผลิตเฉลี่ย 601 กิโลกรัมต่อไร่

จังหวัดนครราชสีมา สัมภาษณ์เกษตรกรในพื้นที่ 49 ราย ประกอบด้วยเกษตรกรอำเภอด่านขุนทด 4 ราย ปากช่อง 19 ราย สีคิ้ว 10 ราย และสูงเนิน 16 ราย พบว่า เกษตรกรมีพื้นที่ปลูกข้าวโพดเลี้ยงสัตว์เฉลี่ย 31 ไร่ ส่วนใหญ่ปลูกพันธุ์ ไพโอเนียร์81 และ NK7328 ใช้เมล็ดพันธุ์เฉลี่ยอัตรา 3.16 กิโลกรัมต่อไร่ ใช้ปุ๋ยไนโตรเจน 32.60 กิโลกรัมต่อตันผลผลิต ผลผลิตเฉลี่ย 590 กิโลกรัมต่อไร่

จังหวัดชัยภูมิ สัมภาษณ์เกษตรกรในพื้นที่ 44 ราย ประกอบด้วยเกษตรกรอำเภอจัตุรัส 39 ราย และบำเหน็จณรงค์ 3 ราย และซับใหญ่ 2 ราย พบว่า เกษตรกรมีพื้นที่ปลูกข้าวโพดเลี้ยงสัตว์เฉลี่ย 19.26 ไร่ ส่วนใหญ่ปลูกพันธุ์ แปซิฟิค339 ใช้เมล็ดพันธุ์เฉลี่ยอัตรา 3.06 กิโลกรัมต่อไร่ ใช้ปุ๋ยไนโตรเจน 40.03 กิโลกรัมต่อตันผลผลิต ผลผลิตเฉลี่ย 508 กิโลกรัมต่อไร่

ข้อมูลอุตุนิยมวิทยา

การคายระเหยน้ำและปริมาณน้ำฝน

ข้อมูลอุตุนิยมวิทยาเฉลี่ยรายสัปดาห์ 30 ปี ตั้งแต่ปี 2534-2563 แสดงข้อมูลเฉพาะ 14 สัปดาห์ในช่วงที่เกษตรกรส่วนใหญ่ปลูกข้าวโพดเลี้ยงสัตว์มากที่สุดในจังหวัดเลย นครราชสีมา และชัยภูมิพบว่า การคายระเหยน้ำเฉลี่ยมีค่า 3.30 6.43 และ 4.51 มิลลิเมตรต่อวัน ตามลำดับ ปริมาณฝนเฉลี่ยมีค่า 0.73 6.35 และ 6.85 มิลลิเมตรต่อวัน ตามลำดับ (ภาพที่ 6.4-1 และ 6.4-2)

ปริมาณฝนใช้การ ความต้องการน้ำ และความต้องการน้ำชลประทานในการผลิตข้าวโพดเลี้ยงสัตว์

จังหวัดเลย ปลูกข้าวโพดเลี้ยงสัตว์เดือนธันวาคม-มีนาคม ปริมาณฝนใช้การเฉลี่ยมีค่า 0.65 มิลลิเมตรต่อวัน ปริมาณฝนใช้การสัปดาห์ที่ 3 มีค่าน้อยที่สุด 0.00 มิลลิเมตรต่อวัน และปริมาณฝนใช้การสัปดาห์ที่ 13 มีค่ามากที่สุด 1.96 มิลลิเมตรต่อวัน ความต้องการน้ำของข้าวโพดเฉลี่ยมีค่า 3.24 มิลลิเมตรต่อวัน ความต้องการน้ำสัปดาห์ที่ 1 มีค่าน้อยที่สุด 1.52 มิลลิเมตรต่อวัน และความต้องการน้ำสัปดาห์ที่ 10 มีค่ามากที่สุด 4.45 มิลลิเมตรต่อวัน ความต้องการน้ำชลประทานเฉลี่ยมีค่า 2.58 มิลลิเมตรต่อวัน ตามลำดับ ข้าวโพดเลี้ยงสัตว์มีความต้องการน้ำชลประทานทุกสัปดาห์ และความต้องการน้ำชลประทานสัปดาห์ที่ 10 มีค่ามากที่สุด 3.87 มิลลิเมตรต่อวัน (ภาพที่ 6.4-3)

จังหวัดนครราชสีมา ปลูกข้าวโพดเลี้ยงสัตว์เดือนกรกฎาคม-ตุลาคม ปริมาณฝนใช้การเฉลี่ยมีค่า 6.28 มิลลิเมตรต่อวัน ปริมาณฝนใช้การสัปดาห์ที่ 3 มีค่าน้อยที่สุด 3.30 มิลลิเมตรต่อวัน และปริมาณฝนใช้การสัปดาห์ที่ 14 มีค่ามากที่สุด 8.99 มิลลิเมตรต่อวัน ความต้องการน้ำของข้าวโพดเฉลี่ยมีค่า 6.30 มิลลิเมตรต่อวัน มีความต้องการน้ำสัปดาห์ที่ 14 มีค่าน้อยที่สุด 3.00 มิลลิเมตรต่อวัน และความต้องการน้ำสัปดาห์ที่ 7 มีค่ามากที่สุด 9.98 มิลลิเมตรต่อวัน ความต้องการน้ำชลประทานเฉลี่ยมีค่า 1.48 มิลลิเมตรต่อวัน ความต้องการน้ำชลประทาน (IWR) สัปดาห์ที่ 7 มีค่ามากที่สุด 5.63 มิลลิเมตรต่อวัน (ภาพที่ 6.4-4)

จังหวัดชัยภูมิ ปลูกข้าวโพดเลี้ยงสัตว์เดือนกรกฎาคม-ตุลาคม ปริมาณฝนใช้การเฉลี่ยมีค่า 6.76 มิลลิเมตรต่อวัน ปริมาณฝนใช้การมีค่าน้อยที่สุดสัปดาห์ที่ 1 มีค่า 3.39 มิลลิเมตรต่อวัน และปริมาณฝนใช้การมากที่สุดสัปดาห์ที่ 11 มีค่า 12.08 มิลลิเมตรต่อวัน ความต้องการน้ำของข้าวโพดเฉลี่ยมีค่า 4.42 มิลลิเมตรต่อวัน ความต้องการน้ำน้อยที่สุดสัปดาห์ที่ 14 มีค่า 2.48 มิลลิเมตรต่อวัน และมีความต้องการน้ำมากที่สุดสัปดาห์ที่ 7 มีค่า 6.06 มิลลิเมตรต่อวัน ความต้องการน้ำชลประทานเฉลี่ยมีค่า 0.02 มิลลิเมตรต่อวัน โดยมีความต้องการน้ำชลประทานเฉพาะสัปดาห์ที่ 6 มีค่า 0.23 มิลลิเมตรต่อวัน (ภาพที่ 6.4-5)

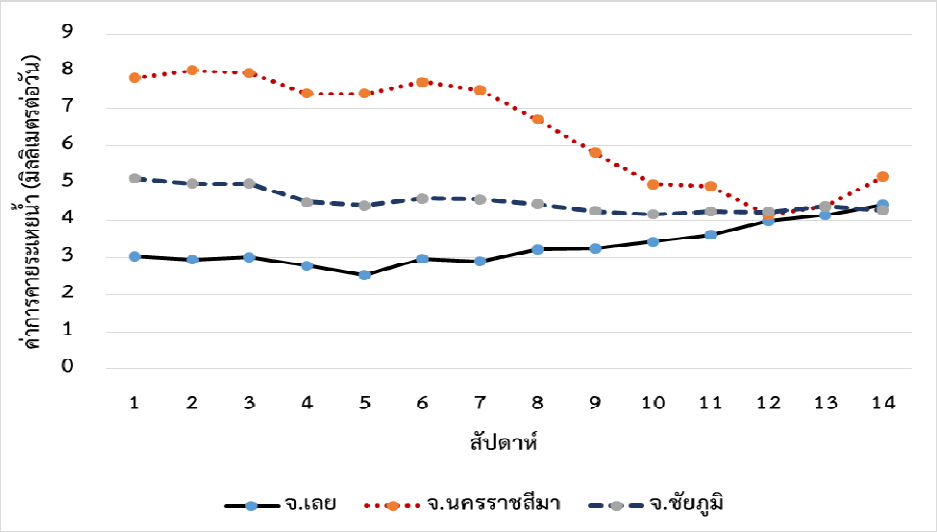
จังหวัดเลย มีปริมาณฝนใช้การเฉลี่ย 0.66 มิลลิเมตรต่อวัน และมีความต้องการน้ำชลประทานเฉลี่ย 2.58 มิลลิเมตรต่อวัน จังหวัดนครราชสีมา ปริมาณฝนใช้การเฉลี่ย 6.28 มิลลิเมตรต่อวัน และมีความต้องการน้ำชลประทานเฉลี่ย 1.48 มิลลิเมตรต่อวัน และจังหวัดชัยภูมิ มีปริมาณฝนใช้การเฉลี่ย 6.76 มิลลิเมตรต่อวัน และมีความต้องการน้ำชลประทานเฉลี่ย 0.02 มิลลิเมตรต่อวัน (ภาพที่ 6.4-6)

ผลผลิตและวอเตอร์ฟุตพริ้นท์

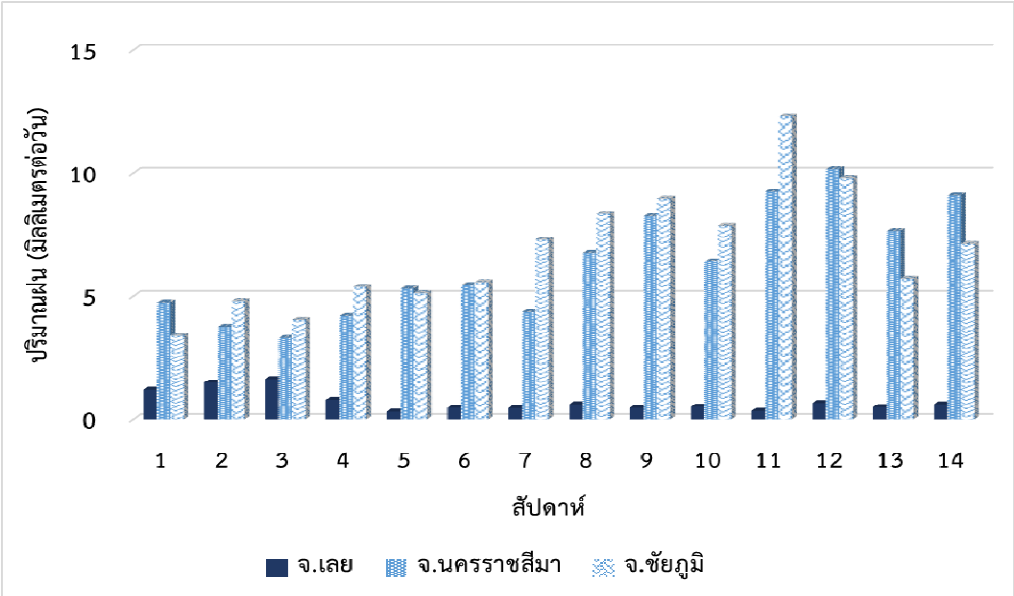
จังหวัดเลย ผลผลิตข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ 189-1,392 กิโลกรัมต่อไร่ เฉลี่ย 601 กิโลกรัมต่อไร่ และวอเตอร์ฟุตพริ้นท์มีค่า 371.4-3,463.4 ลูกบาศก์เมตรต่อตันผลผลิต เฉลี่ย 1,088.2 ลูกบาศก์เมตรต่อตันผลผลิต ประกอบด้วย กรีน บลู และเกรย์วอเตอร์ฟุตพริ้นท์ 30.9 1,057.2 และ 0.07 ลูกบาศก์เมตรต่อตันผลผลิต ตามลำดับ นครราชสีมา ผลผลิตข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ 145-1,315 กิโลกรัมต่อไร่ เฉลี่ย 590 กิโลกรัมต่อไร่ และวอเตอร์ฟุตพริ้นท์มีค่า 107.0–654.9 ลูกบาศก์เมตรต่อตันผลผลิต เฉลี่ย 282.8 ลูกบาศก์เมตรต่อตันผลผลิต ประกอบด้วยกรีน และเกรย์วอเตอร์ฟุตพริ้นท์ 282.7 และ 0.04 ลูกบาศก์เมตรต่อตันผลผลิต ตามลำดับ ชัยภูมิ ผลผลิตข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ 151-1,160 กิโลกรัมต่อไร่ เฉลี่ย 508 กิโลกรัมต่อไร่ และวอเตอร์ฟุตพริ้นท์มีค่า 86.41–654.88 ลูกบาศก์เมตรต่อตันผลผลิต หรือเฉลี่ย 242.58 ลูกบาศก์เมตรต่อตันผลผลิต ประกอบด้วย กรีน และเกรย์วอเตอร์ฟุตพริ้นท์ 242.07 และ 0.05 ลูกบาศก์เมตรต่อตันผลผลิต ตามลำดับ (ตารางที่ 6.4-1 และ 6.4-2)

ผลการศึกษาพบว่า วอเตอร์ฟุตพริ้นท์เฉลี่ยของจังหวัดเลยมีค่ามากที่สุด 1,088.2 ลูกบาศก์เมตรต่อตันผลผลิต และชัยภูมิมีค่าน้อยที่สุด 242.58 ลูกบาศก์เมตรต่อตันผลผลิต วอเตอร์ฟุตพริ้นท์จากการศึกษาครั้งนี้มีค่าน้อยกว่าการศึกษาของวีรฉัตร์ (2558) พบว่า วอเตอร์ฟุตพริ้นท์ของข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ วิเคราะห์โดยใช้ CROPWAT 8.0 ในพื้นที่ลุ่มน้ำย่อยห้วยน้ำยาว 1 ตอนล่าง อำเภอท่าวังผา จังหวัดน่าน กรีน บลู เกรย์ และวอเตอร์ฟุตพริ้นท์รวมมีค่า 767.75 57.75 1.06 และ 826.56 ลูกบาศก์เมตรต่อตัน ตามลำดับ

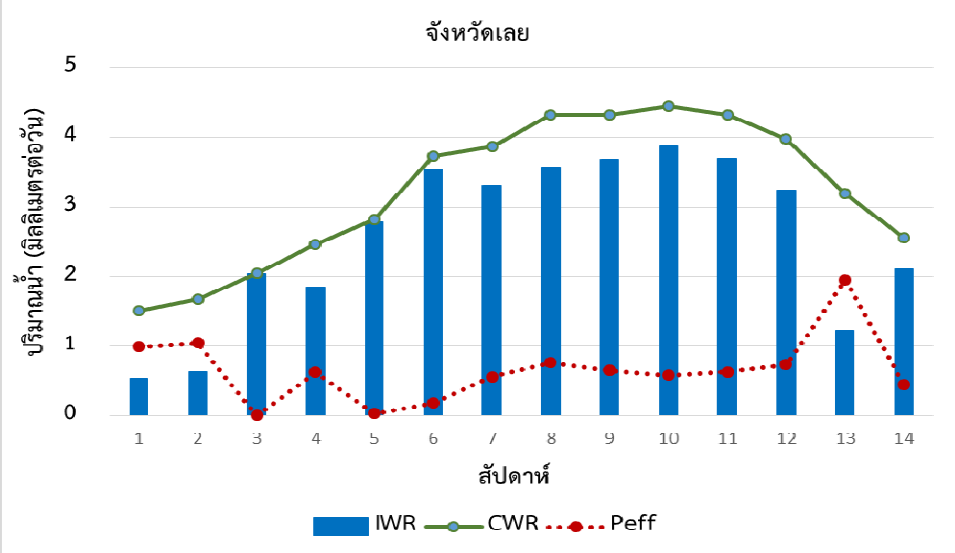
เกษตรกรจังหวัดเลยให้น้ำข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ 125-1,235.7 ลูกบาศก์เมตรต่อไร่ เฉลี่ย 444.4 ลูกบาศก์เมตรต่อไร่ (ภาพที่ 6.4-7) ซึ่งมีค่าใกล้เคียงกับค่าปริมาณการใช้น้ำของข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ในจังหวัดเลยที่ให้ไว้โดยกรมชลประทาน มีค่า 506 ลูกบาศก์เมตรต่อไร่ (กรมชลประทาน, มปป.)



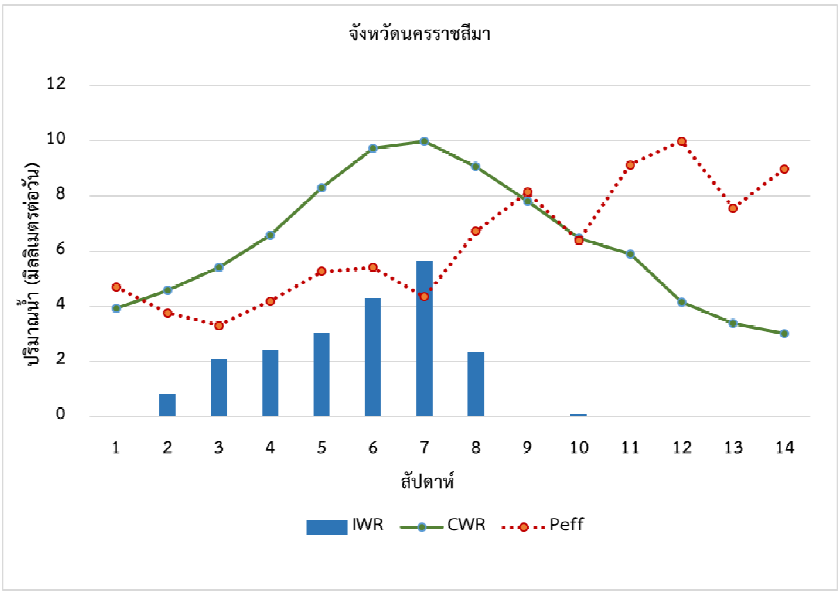
ภาพที่ 6.4-1 ค่าการคายระเหยน้ำ (Evapotranspiration) เฉลี่ยรายสัปดาห์ 30 ปี (ปี พ.ศ. 2534-2563) จากสถานีอุตุนิยมวิทยาจังหวัดเลย จังหวัดนครราชสีมา และจังหวัดชัยภูมิ



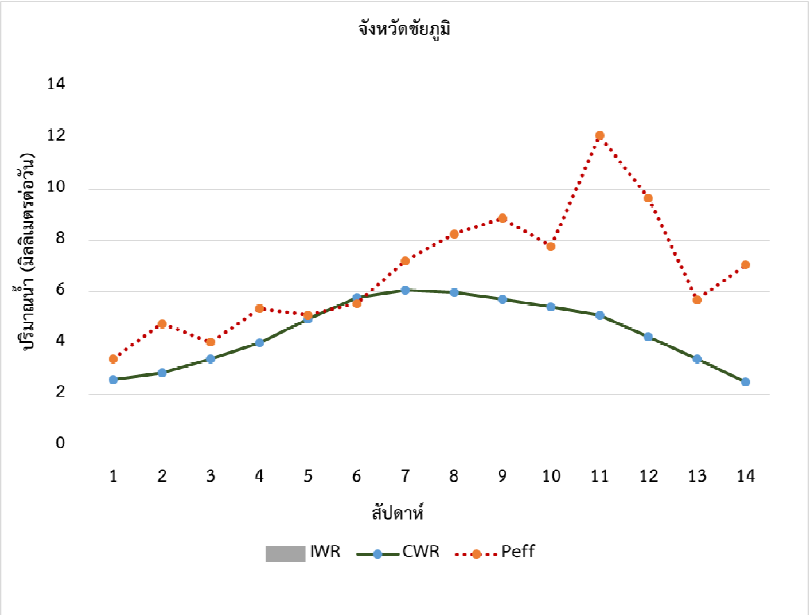
ภาพที่ 6.4-2 ปริมาณฝนเฉลี่ยรายสัปดาห์ 30 ปี (ปี พ.ศ. 2534-2563) จากสถานีอุตุนิยมวิทยาจังหวัดเลย นครราชสีมา และชัยภูมิ



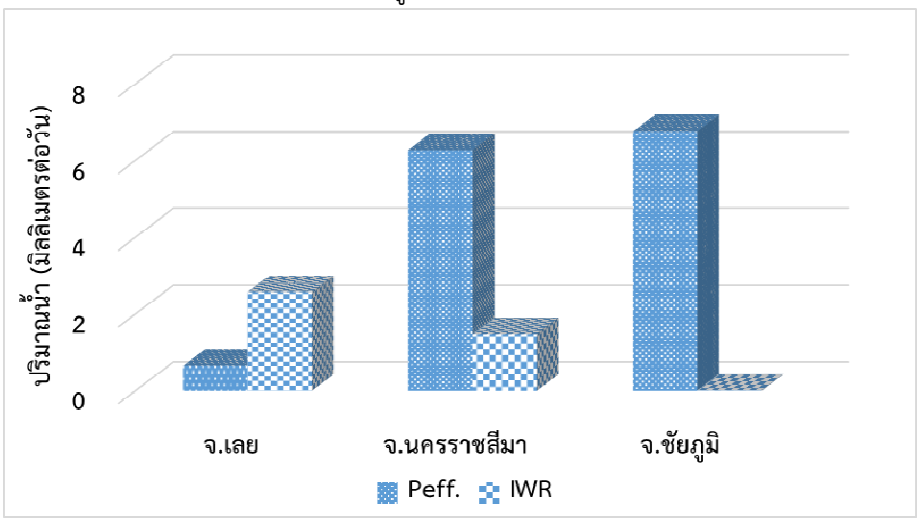
ภาพที่ 6.4-3 ค่าความต้องการน้ำ (Crop Water Requirement: CWR) ปริมาณฝนใช้การ (Precipitation effective: Peff) และค่าความต้องการน้ำชลประทาน (Irrigation Water Requirement: IWR) ของข้าวโพดเลี้ยงสัตว์จังหวัดเลย



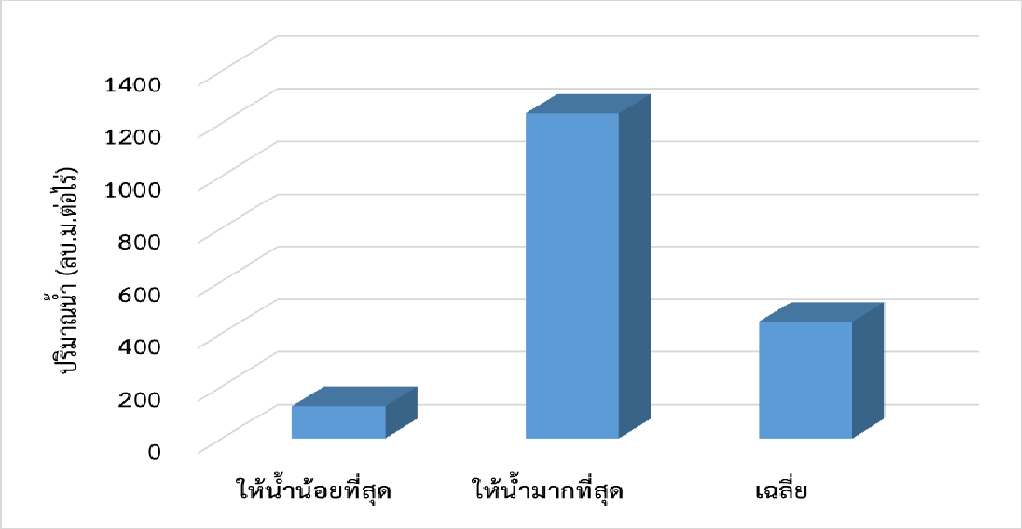
ภาพที่ 6.4-4 ค่าความต้องการน้ำ (Crop Water Requirement: CWR) ปริมาณฝนใช้การ (Precipitation effective: Peff) และค่าความต้องการน้ำชลประทาน (Irrigation Water Requirement: IWR) ของข้าวโพดเลี้ยงสัตว์จังหวัดครราชสีมา



ภาพที่ 6.4-5 ค่าความต้องการน้ำ (Crop Water Requirement: CWR) ปริมาณฝนใช้การ (Precipitation effective: Peff) และค่าความต้องการน้ำชลประทาน (Irrigation Water Requirement: IWR) ของข้าวโพดเลี้ยงสัตว์จังหวัดชัยภูมิ



ภาพที่ 6.4-6 ค่าปริมาณฝนใช้การ (Precipitation effective: Peff.) และค่าความต้องการน้ำชลประทาน (Irrigation Water Requriment: IWR) ของข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ที่ปลูกในจังหวัดเลย จังหวัดนครราชสีมา และจังหวัดชัยภูมิ



ภาพที่ 6.4-7 ปริมาณน้ำที่ใช้ในการปลูกข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ของเกษตรกร จังหวัดเลย เดือนธันวาคม-มีนาคม

ตารางที่ 6.4-1 วอเตอร์ฟุตพริ้นท์สีเขียว วอเตอร์ฟุตพริ้นท์สีเทาและวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ทั้งหมด จากการปลูกข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ของเกษตรกรในจังหวัดเลย นครราชสีมา และชัยภูมิ

Province	Green WF (m^3/ton)	Blue WF (m^3/ton)	Gray WF (m^3/ton))	Total WF (m^3/ton))
Loei	30.9	1,057.23	0.07	**1,088.2**
Nakhon Ratchasima	282.7	-	0.04	**282.8**
Chaiyaphum	242.07	-	0.05	**242.58**

ตารางที่ 6.4-2 ผลผลิตข้าวโพดเลี้ยงสัตว์และวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ทั้งหมดในจังหวัดเลย นครราชสีมา และชัยภูมิ

Province	Maize production (kg./rai)			Total Water Footprint (m^3/ ton))		
	Min	Max	Average	Min	Max	Average
Loei	189	1,392	601	371.4	3,463.4	1,088.2
Nakhon Ratchasima	145	1,315	590	107.00	654.90	282.80
Chaiyaphum	151	1,160	508	86.41	654.88	242.58

สรุปผลการวิจัย และข้อเสนอแนะ (Conclusion and Suggestion)

การทดลองที่ 6.1 การวิเคราะห์วอเตอร์ฟุตพริ้นท์ของการผลิตข้าวโพดหวาน

จากการศึกษาการวิเคราะห์วอเตอร์ฟุตพริ้นท์ของการผลิตข้าวโพดหวาน พบว่า

1. การให้น้ำที่อัตรา IW/E 0.8 มีค่าวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ ส่งเสริมการผลิตข้าวโพดหวานให้มีการใช้ทรัพยากรน้ำอย่างมีคุณค่า เกิดประโยชน์สูงสุด และช่วยสนับสนุนการบริหารจัดการน้ำให้มีประสิทธิภาพ แนวทางการลดปริมาณวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ในการปลูกข้าวโพดหวาน สามารถส่งเสริมให้เกษตรกรปลูกข้าวโพดหวานในช่วงที่มีปริมาณฝนเพียงพอ หรือมีการให้น้ำในระดับตามความต้องการของพืชเพื่อที่จะไม่กระทบกับผลผลิตข้าวโพดหวาน

2. การสำรวจแปลงเกษตร ค่า Green water อยู่ระหว่าง 15 - 224 ลูกบาศก์เมตรต่อตัน Blue water อยู่ระหว่าง 69 – 2,316 ลูกบาศก์เมตรต่อตัน Gray water อยู่ระหว่าง 0.006 - 0.015 ลูกบาศก์เมตรต่อตัน Water footprint อยู่ระหว่าง 125 - 2537 ลูกบาศก์เมตรต่อตัน มีค่า Green water Blue water Gray water และ Water footprint เฉลี่ยรวมทั้งหมด เท่ากับ 130 776 0.010 และ 907 ลูกบาศก์เมตรต่อตัน

การทดลองที่ 6.2 การวิเคราะห์วอเตอร์ฟุตพริ้นท์ของการผลิตข้าวโพดฝักอ่อน

จากการศึกษาการวิเคราะห์วอเตอร์ฟุตพริ้นท์ของการผลิตข้าวโพดหวาน พบว่า

1. การให้น้ำที่อัตรา IW/E 0.8 และ 0.1 มีค่าวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ที่ส่งเสริมการผลิตข้าวโพดฝักอ่อนให้มีการใช้ทรัพยากรน้ำอย่างมีคุณค่า เกิดประโยชน์สูงสุด และช่วยสนับสนุนการบริหารจัดการน้ำให้มีประสิทธิภาพ แนวทางการลดปริมาณวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ในการปลูกข้าวโพดฝักอ่อน สามารถส่งเสริมให้เกษตรกรปลูกข้าวโพดฝักอ่อนในช่วงที่มีปริมาณฝนเพียงพอ หรือมีการให้น้ำในระดับตามความต้องการของพืชเพื่อที่จะไม่กระทบกับผลผลิตข้าวโพดฝักอ่อน

2. การสำรวจแปลงเกษตร ค่า Green water อยู่ระหว่าง 2 - 205 ลูกบาศก์เมตรต่อตัน Blue water อยู่ระหว่าง 267 – 17,474 ลูกบาศก์เมตรต่อตัน Gray water อยู่ระหว่าง 0.011 - 0.031 ลูกบาศก์เมตรต่อตัน Water footprint อยู่ระหว่าง 268 – 17,584 ลูกบาศก์เมตรต่อตัน มีค่าเฉลี่ย Green water Blue water Gray water และ Water footprint เท่ากับ 95 4,979 0.018 และ 5,074 ลูกบาศก์เมตรต่อตัน

การทดลองที่ 6.3 การศึกษาวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ของการปลูกข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ ในภาคเหนือของประเทศไทย (จังหวัดน่าน ตาก และเพชรบูรณ์)

<u>จังหวัดตาก</u> จากผลการศึกษาครั้งนี้ เมื่อเปรียบเทียบปริมาณฝนใช้การเฉลี่ยรายสัปดาห์ ในรอบ 30 ปี กับค่าความต้องการน้ำชลประทานจากการปลูกข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ของเกษตรกรจังหวัดตาก ซึ่งปลูกข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ในเดือนกรกฎาคม – เดือนตุลาคมพบว่า หากเกษตรกรเลื่อนวันปลูกข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ออกไปอีกประมาณ 4 สัปดาห์ หรือปลูกข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ประมาณต้นเดือนสิงหาคม จะทำให้ตรงกับช่วงที่มีปริมาณฝนใช้การมากขึ้น และมีค่าความต้องการน้ำชลประทานลดลง ซึ่งข้าวโพดเลี้ยงสัตว์จะไม่ขาดน้ำในช่วงที่มีความต้องการน้ำสูงสุด คือ สัปดาห์ที่ 8 ของการปลูกข้าวโพด ซึ่งจะมีผลทำให้มีประสิทธิภาพในการปลูกข้าวโพดสูงสุด ฉะนั้นจากผลการศึกษาครั้งนี้ควรแนะนำให้เกษตรกรจังหวัดตากปลูกข้าวโพดเลี้ยงในช่วงเดือนสิงหาคม – เดือนพฤศจิกายน

<u>จังหวัดเพชรบูรณ์</u> เมื่อเปรียบเทียบปริมาณฝนใช้การเฉลี่ยรายสัปดาห์ ในรอบ 30 ปี กับค่าความต้องการน้ำชลประทานจากการปลูกข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ของเกษตรกรจังหวัดเพชรบูรณ์ ซึ่งปลูกข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ในช่วงต้นเดือนเมษายน – เดือนกรกฎาคม พบว่า หากเกษตรกรเลื่อนวันปลูกข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ออกไปอีกประมาณ 2 สัปดาห์ หรือปลูกข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ประมาณกลางเดือนเมษายน จะทำให้ตรงกับช่วงที่มีปริมาณ

ฝนใช้การมากขึ้น และมีค่าความต้องการน้ำชลประทานลดลง จึงเป็นช่วงเวลาที่เหมาะสมในการปลูกข้าวโพดเลี้ยงสัตว์มากกว่าปลูกต้นเดือนเมษายน

จังหวัดน่าน เกษตรกรปลูกข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ในเดือนกรกฎาคม – เดือนตุลาคม เป็นช่วงเวลาที่เหมาะสมในการปลูกข้าวโพดเลี้ยงสัตว์เนื่องจาก จากผลการศึกษานี้มีค่าความต้องการน้ำชลประทานในช่วงเวลาดังกล่าว น้อยมาก แสดงให้เห็นว่าในช่วงเวลาดังกล่าวมีปริมาณฝนใช้การเพียงพอต่อความต้องการของข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ ซึ่งจะทำให้การปลูกข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ในช่วงเวลาดังกล่าวมีประสิทธิภาพสูงสุด

การทดลองที่ 6.4 การศึกษาวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ของการปลูกข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ ในภาคตะวันออกเฉียงเหนือของประเทศไทย (จังหวัดเลย นครราชสีมา และชัยภูมิ)

จังหวัดเลย เกษตรกรปลูกข้าวโพดเลี้ยงสัตว์เดือนธันวาคม-มีนาคม ซึ่งมีปริมาณฝนใช้การน้อย เกษตรกรจึงจำเป็นต้องให้น้ำชลประทานเพิ่มเติม จึงจะทำให้การปลูกข้าวโพดเลี้ยงสัตว์มีประสิทธิภาพสูงสุด

จังหวัดนครราชสีมา จากผลการศึกษาครั้งนี้ เมื่อเปรียบเทียบปริมาณฝนใช้การเฉลี่ยรายสัปดาห์ ในรอบ 30 ปี กับค่าความต้องการน้ำชลประทานจากการปลูกข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ของเกษตรกรจังหวัดนครราชสีมา ซึ่งปลูกข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ในเดือนกรกฎาคม – เดือนตุลาคมพบว่า หากเกษตรกรเลื่อนวันปลูกข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ออกไปอีกประมาณ 4 สัปดาห์ หรือปลูกข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ประมาณต้นเดือนสิงหาคม จะทำให้ตรงกับช่วงที่มีปริมาณฝนใช้การมากขึ้น และมีค่าความต้องการน้ำชลประทานลดลง ซึ่งข้าวโพดเลี้ยงสัตว์จะไม่ขาดน้ำในช่วงที่มีความต้องการน้ำสูงสุด คือ สัปดาห์ที่ 7 ของการปลูกข้าวโพด ซึ่งจะมีผลทำให้มีประสิทธิภาพในการปลูกข้าวโพดสูงสุด ฉะนั้นจากผลการศึกษาครั้งนี้ควรแนะนำให้เกษตรกรจังหวัดนครราชสีมาปลูกข้าวโพดเลี้ยงในช่วงเดือนสิงหาคม – เดือนพฤศจิกายน

จังหวัดชัยภูมิ เกษตรกรปลูกข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ในเดือนกรกฎาคม – เดือนตุลาคม เป็นช่วงเวลาที่เหมาะสมในการปลูกข้าวโพดเลี้ยงสัตว์เนื่องจาก จากผลการศึกษานี้ไม่มีค่าความต้องการน้ำชลประทานในช่วงเวลาดังกล่าว แสดงให้เห็นว่าในช่วงเวลาดังกล่าวมีปริมาณฝนใช้การเพียงพอต่อความต้องน้ำของการปลูกข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ ซึ่งจะทำให้การปลูกข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ในช่วงเวลาดังกล่าวมีประสิทธิภาพสูงสุด

บรรณานุกรม

กรมชลประทาน. มปป. *ปริมาณการใช้น้ำของพืช.* (ระบบออนไลน์) http://water.rid.go.th/hwm/cropwater/CWRdata/ET/index.htm (สืบค้นวันที่ 25 มกราคม 2565).

กรมอุตุนิยมวิทยา. 2563. ข้อมูลปริมาณน้ำฝนรายเดือน อุณหภูมิสูงสุด-อุณหภูมิต่ำสุดรายเดือน ความเร็วลมเฉลี่ยรายเดือน เปอร์เซ็นต์ความชื้นสัมพัทธ์ในอากาศเฉลี่ย ชั่วโมงที่มีแสงแดดเฉลี่ยรายเดือนของสถานีชัยนาท ชัยนาท.

กลุ่มวิจัยการใช้น้ำชลประทาน. มปป. *ค่าสัมประสิทธิ์พืช (kc) ของพืช 40 ชนิด*. (ระบบออนไลน์) http://water.rid.go.th/hwm/cropwater/CWRdata/Kc/kc_th.pdf (สืบค้น 20 มกราคม 2565).

ชินาธิปกรณ์ พงศ์ภิญโญภาพ และธำรงรัตน์ มุ่งเจริญ. 2554. วอเตอร์ฟุตพริ้นท์ของกระบวนการผลิตเอทานอลจากมันสำปะหลังประเทศไทย. *วิศวกรรมสาร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.* 75: 41-52.

ปรีชา กาเพ็ชร ดาวรุ่ง คงเทียน มัทนา วานิชย์ พิกุล ชุนพุ่ม ดารารัตน์ มณีจันทร์ พินิจ กัลยาศิลปิน และวิชณีย์ ออมทรัพย์สิน. 2564. วอเตอร์ฟุตพริ้นท์ของอ้อยในสภาพอาศัยน้ำฝนและให้น้ำชลประทานในบางแหล่งปลูกที่สำคัญ. *วารสารวิชาการเกษตร*. 39 (1): 17-28.

วราวุธ วุฒิวณิชย์. 2559. *Water Footprint นวัตกรรมเพื่อปลุกจิตสำนึกคนให้รู้คุณค่าทรัพยากรน้ำ.* ภาควิชาวิศวกรรมชลประทาน คณะวิศวกรรมศาสตร์ กำแพงแสน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

วันชัย ถนอมทรัพย์, วิไลวรรณ พรหมคำ, เสน่ห์ เครือแก้ว, สุมนา งามผ่องใส และ จิราลักษณ์ ภูมิไธสง. 2544. สรุปงานวิจัยการจัดการน้ำ ปุ๋ย และอัตราปลูกสำหรับข้าวโพดหวาน บนดินชุดราชบุรี (clay) ระหว่างปี 2540-2542 ของศูนย์วิจัยพืชไร่ชัยนาท. น. 157-169. ใน Proceedings of The Thirtieth National Corn and Sorghum Research Conference 2001. กรุงเทพฯ.

วีรฉัตร์ ฉัตรปัญญาเจริญ. 2558. วอเตอร์ฟุตพริ้นท์ของข้าวนาสวน (Oryza sativa L.) และข้าวโพด (Zea mays L.) ในพื้นที่ลุ่มน้ำย่อยห้วยน้ำยาว 1 ตอนล่าง อำเภอท่าวังผา จังหวัดน่าน. ดุษฎีนิพนธ์ปริญญาเอก, มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์. 157 หน้า.

ศูนย์ประเมินผล. 2556. คู่มือการประเมินผล. พิมพ์ครั้งที่ 2. สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์. 340 หน้า.

ส่วนการใช้น้ำชลประทาน สำนักอุทกวิทยาและบริหารน้ำ. 2554. คู่มือการหาปริมาณการใช้น้ำของพืช ปริมาณการใช้น้ำของพืชอ้างอิงและค่าสัมประสิทธิ์พืช. กรมชลประทาน. 123 หน้า.

สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร. 2564. *สถิติการเกษตรของประเทศไทย ปี 2563*. กระทรวงเกษตรและสหกรณ์. กรุงเทพฯ. 214 หน้า.

อรวิกา ศรีทอง. 2561. การศึกษาวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ของข้าว ในเขตจังหวัดสุพรรณบุรี. *วารสารวิศวกรรมศาสตร์ราชมงคลธัญบุรี.* 16: 23-32.

Aydinsakir K., S. Erdal, D. Buyuktas, R. Bastug, and R. Toker. 2013. The influence of regular deficit irrigation application in water use, yield and quality components of two corns (Zea mays L.) genotype. Agriculture Water Management. 128: 65-71.

Hoelstra. A.Y., A. K. Chapagain, M. M. Aldaya and M. M. Mekonnen. 2011. The Water Footprint Assessment Manual: setting the Global Standard. Earthscan, International Lrd, Padstow, Cornwall, UK. 228 page.

Jeswani H. K., and A. Azapagic. 2011. Water footprint: methodologies and a case study for assessing the impacts of water use. *Journal of Cleaner Production*. 19: 1288-1299.

Kongboon, R., and S. Sampattagul. 2012. The water footprint of sugarcane and cassava in northern Thailand. *Social and Behavioral Science*. 40: 451-460.

กิจกรรมที่ 7
การวิเคราะห์วอเตอร์ฟุตพริ้นท์ของการแปรรูปอ้อย
Water Footprint Assessment for Sugar Cane Processing

พรทิพย์ จันทร์บุตร์ รัศมี สิมมา ชูศักดิ์ คุณุไทย น้ำผึ้ง ชมพูเขียว ไพเราะ ขวัญงาม
อุดมวิทย์ ไวทยการ ตรียนัย ตุงคะเสน จิตรลดา ทองสอดแสง และวิชณีย์ ออมทรัพย์สิน
Phornthip Chanbut Ratsamee Simma Choosak Kunuthai Namphueng Chomphukhiao Pairoh
Khwanngam Udomwit Vaidhayakarn Treeyanai Tungkasen Chitrlada Thongsodsaeng and
Vichanee Ormzubsin

คำสำคัญ (Key words)
วอเตอร์ฟุตพริ้นท์, น้ำตาลทราย, เขตภาคกลาง และเขตภาคตะวันออกเฉียงเหนือ
Water Footprint, Sugar, Central Region and Northeast Region

บทคัดย่อ

การวิเคราะห์วอเตอร์ฟุตพริ้นท์ของการผลิตน้ำตาลทรายของโรงงานน้ำตาลทรายเขตภาคกลาง และภาคตะวันออกเฉียงเหนือ เพื่อประเมินการใช้น้ำทางตรง และการใช้น้ำทางอ้อม โดยใช้ข้อมูลของโรงงานน้ำตาลทรายในจังหวัดกาญจนบุรี ราชบุรี สุพรรณบุรี อุดรธานี นครราชสีมา และบุรีรัมย์ ดำเนินการทดลองตั้งแต่เดือนตุลาคม 2563 ถึงธันวาคม 2564 พบว่า ในการผลิตน้ำตาลทราย 50 กิโลกรัมของโรงงานน้ำตาลทรายในเขตภาคตะวันตกใช้ปริมาณอ้อย 450.0450 - 541.2566 กิโลกรัม และใช้ปริมาณอ้อยเฉลี่ย 10.1115 กิโลกรัม ผลิตน้ำตาลทราย 1 กิโลกรัม ปริมาณการใช้น้ำทางตรงและทางอ้อมของการผลิตน้ำตาลทรายอยู่ในช่วง 75.4975 – 93.3628 ลูกบาศก์เมตร/50 กิโลกรัมน้ำตาลทราย ค่าวอเตอร์ฟุตพริ้นท์การผลิตน้ำตาลทรายคิดรวมการได้มาซึ่งผลผลิตอ้อยอยู่ในช่วง 282.1819–336.9281 ลูกบาศก์เมตร/50 กิโลกรัมน้ำตาลทราย และค่าวอเตอร์ฟุตพริ้นท์การผลิตน้ำตาลทรายไม่คิดรวมการได้มาซึ่งผลผลิตอ้อยอยู่ในช่วง 75.5154 – 93.2636 ลูกบาศก์เมตร/50 กิโลกรัมน้ำตาลทราย ขณะที่โรงงานน้ำตาลทรายเขตภาคตะวันออกเฉียงเหนือใช้ปริมาณอ้อย 404.2691-459.8760 กิโลกรัมผลิตน้ำตาลทราย 50 กิโลกรัม และใช้ปริมาณอ้อยเฉลี่ย 8.6407 กิโลกรัม ผลิตน้ำตาลทราย 1 กิโลกรัม ปริมาณการใช้น้ำทางตรงและทางอ้อมของการผลิตน้ำตาลทรายอยู่ในช่วง 63.7616–103.7502 ลูกบาศก์เมตร/50 กิโลกรัมน้ำตาลทราย ค่าวอเตอร์ฟุตพริ้นท์การผลิตน้ำตาลทรายคิดรวมการได้มาซึ่งผลผลิตอ้อยอยู่ในช่วง 245.6827 – 298.1347 ลูกบาศก์เมตร/50 กิโลกรัมน้ำตาลทราย และค่าวอเตอร์ฟุตพริ้นท์การผลิตน้ำตาลทรายไม่คิดรวมการได้มาซึ่งผลผลิตอ้อยอยู่ในช่วง 63.7616 – 103.7502 ลูกบาศก์เมตร/50 กิโลกรัมน้ำตาลทราย

Abstracts

Water Footprint Analysis of Sugar Production of Central Region and Northeast Sugar Mills to assess direct and indirect water use. Using data from sugar factories in Kanchanaburi, Ratchaburi, Suphan Buri, Udon Thani, Nakhon Ratchasima and Buriram provinces, the experiment was conducted from October 2020 to December 2021. It was found that the production of 50 kg of granulated sugar used 450.0450 - 541.2566 kg of sugar cane. While 1 kg of sugar uses an average amount of sugar cane 10.1115 kg. The direct and indirect water consumption of sugar production is in the range of 75.4975 – 93.3628 m3/50 kg of granulated sugar. The water footprint of sugar production, inclusive of sugarcane production, is in the range of 282.1819 - 336.9281 m3/50 kg of granulated sugar. Excluding the acquisition of sugarcane production, the water footprint value was in the range of 75.5154 – 93.2636 m3/50 kg of granulated sugar. While the sugar mills in the northeastern region use the amount of sugarcane 404.2691-459.8760 kg produces 50 kg of granulated sugar, and an average amount of 8.6407 kg of sugar cane is used to produce 1 kg of granulated sugar. The direct and indirect water consumption of sugar production is in the range of 63.7616 – 103.7502 m3/50 kg of granulated sugar. The water footprint of sugar production, inclusive of sugarcane production, is in the range of 245.6827 – 298.1347 m3/50 kg of granulated sugar. Excluding the acquisition of sugarcane production, the water footprint value was in the range of 63.7616 – 103.7502 m3/50 kg of granulated sugar.

บทนำ

UNICEF and World Health Organization (2012) เปิดเผยในการประชุมระดับโลกทางด้านน้ำจืด หรือ World Water Forum ที่กรุงอิสตันบูล ประเทศตุรกี พบว่า จากการสำรวจประชากรโลกจะเพิ่มจาก 6.5 พันล้านคนในปัจจุบันเป็น 9 พันล้านคนในปี ค.ศ. 2050 โดยเพิ่มขึ้นในประเทศกำลังพัฒนา และหลายพื้นที่ เช่น แอฟริกาเหนือ และตะวันออกกลางมีปัญหาการขาดแคลนน้ำเป็นทุนเดิมอยู่แล้ว อัตราการเติบโตของประชากรทำให้ความต้องการน้ำเพิ่มขึ้นตามไปด้วย ซึ่งแต่ละปีประชากรโลกมีความต้องการน้ำจืดเพิ่มขึ้นปีละประมาณ 64,000 ล้านลูกบาศก์เมตร ในขณะที่ทรัพยากรน้ำของโลกร่อยหรอลดลงไปอย่างต่อเนื่อง ความน่าจะเป็นในการเกิดปัญหาด้านการจัดสรรทรัพยากรน้ำที่มีอยู่อย่างจำกัด จึงมีค่อนข้างสูงคาดว่าเกือบครึ่งหนึ่งของประชากรโลกจะประสบปัญหาดังกล่าว

ปัจจุบันปัญหาการขาดแคลนน้ำเพื่อใช้สำหรับการอุปโภคและบริโภคกำลังเกิดขึ้นทั่วโลก ประเทศต่าง ๆ ให้ความสำคัญในการบริหารจัดการน้ำ และเพิ่มประสิทธิภาพการใช้น้ำ โดยเฉพาะน้ำที่ใช้สำหรับกระบวนการผลิตสินค้าอุตสาหกรรมและสินค้าเกษตรกรรม เพื่อสนับสนุน ส่งเสริม และสร้างความตระหนักในการใช้น้ำในกระบวนการผลิตสินค้าและบริการ รวมถึงมีส่วนรับผิดชอบให้เกิดการใช้น้ำที่เหมาะสมมากขึ้น ดังนั้นองค์การมาตรฐานสากล (Organization for Standardization) จึงได้ประกาศใช้มาตรฐาน ISO 14046 หรือวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ (Water footprint) เป็นตัวชี้วัดการใช้น้ำทั้งทางตรงและทางอ้อม ซึ่งช่วยให้เห็นภาพการใช้น้ำที่มีความเหมาะสมและก่อเกิดประโยชน์ ถึงแม้ว่าวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ไม่ได้เป็นมาตรฐานบังคับให้ผู้ผลิตสินค้าอุตสาหกรรมและสินค้าเกษตรกรรมเพื่อการส่งออกดำเนินการ แต่มีความเป็นไปได้ว่าปัญหาด้านสิ่งแวดล้อมที่เกิดขึ้นกับแหล่งน้ำต่าง ๆ ทั่วโลก จะกระตุ้นให้มีการประกาศให้วอเตอร์ฟุตพริ้นท์เป็นมาตรฐานบังคับ เนื่องจากการคำนวณวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ นอกจากทำให้ทราบปริมาณการใช้น้ำที่ซ่อนอยู่ในการผลิตสินค้าได้อย่างชัดเจนขึ้นแล้ว ยังสามารถใช้ประเมินผลกระทบที่เกิดจากการผลิตและการค้าต่อการใช้ทรัพยากรน้ำได้อีกด้วย สามารถเข้าใจปัญหาการขาดแคลนน้ำและมลภาวะทางน้ำได้ดีขึ้น รวมทั้งนำไปสู่วิธีแก้ปัญหาที่เชื่อมโยงกับกระบวนการผลิตสินค้าและ Supply chain ทั้งระบบ (สำนักงานที่ปรึกษาการเกษตรต่างประเทศประจำสหภาพยุโรป, 2558)

ภาคเกษตรกรรมมีความสำคัญต่อระบบเศรษฐกิจของประเทศ เพราะในปัจจุบันประเทศไทยมีผลิตภัณฑ์ทางการเกษตรเพื่อการบริโภคและการจำหน่ายทั้งในและต่างประเทศเป็นมูลค่าที่สูงมาก โดยเฉพาะอย่างยิ่งผลิตภัณฑ์น้ำตาลที่ผลิตมากจากอ้อย ปัจจุบันพื้นที่ในการปลูกอ้อยมีประมาณ 10.99 ล้านไร่ แบ่งเป็นพื้นที่ปลูกอ้อยส่งโรงงาน 9.86 ล้านไร่ พื้นที่ปลูกอ้อยทำพันธุ์ 1.12 ล้านไร่ พื้นที่ปลูกอ้อยเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องจาก 6.86 ล้านไร่ในปี 2551/2552 เป็น 10.99 ล้านไร่ ในปีการผลิต 2559/60 (สำนักงานคณะกรรมการอ้อยและน้ำตาลทราย, 2560) ซึ่งส่วนหนึ่งมาจากนโยบายของรัฐบาลในการบริหารพื้นที่เกษตรกรรมของพืช (Zoning) โดยมีการปรับเปลี่ยนพื้นที่ไม่เหมาะสมสำหรับข้าวไปปลูกอ้อย มันสำปะหลัง ปาล์มน้ำมัน และข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ จึงส่งผลให้มีพื้นที่ปลูกอ้อยเพิ่มขึ้นพื้นที่ปลูกอ้อยในประเทศไทยมีพื้นที่ปลูกทั้งในเขตชลประทานและนอกเขตชลประทาน การปลูกอ้อยแบ่งเป็น 4 ช่วงด้วยกัน คือ ระยะเริ่มงอก ระยะอ้อยแตกกอ ระยะย่างปล้อง และระยะสุกแก่ ในช่วงการเจริญเติบโตของอ้อยจะต้องการปริมาณน้ำที่เพียงพอ เพื่อการขยายตัวของเซลล์ที่ดูดน้ำเข้าไปเพื่อการเจริญเติบโต (กริยาพร เทพรัตน์, 2548) ซึ่งทำให้อ้อยมีปริมาณน้ำอ้อยที่สูงและมีคุณภาพที่ดี นอกจากนี้การปลูกอ้อยพบว่ามีความต้องการใช้น้ำถึง 806-1,640 ลูกบาศก์เมตรต่อไร่ ขึ้นอยู่กับชนิดของชุดดิน (สัญชัย หุ่นดี, 2548)

อุตสาหกรรมน้ำตาลทรายขาวของประเทศไทยจัดเป็นอุตสาหกรรมที่ทำรายได้สูง และไทยยังเป็นประเทศผู้ส่งออกน้ำตาลทรายติดอันดับ 1 ใน 5 ของโลก จากรายงานการผลิตน้ำตาลทรายทั่วประเทศในปี 2560/61 พบว่ามีโรงงานเปิดหีบทั้งหมด 54 โรงงาน มีประสิทธิภาพการผลิตน้ำตาล 109.03 กิโลกรัมต่อตันอ้อย เมื่อเทียบกับปี 2559/60 ที่มีประสิทธิภาพการผลิตน้ำตาล 107.9 กิโลกรัมต่อตันอ้อย หรือเพิ่มขึ้น 1.13 กิโลกรัมต่อตันอ้อย สามารถผลิตน้ำตาลได้ 14.7 ล้านตัน จากอ้อยเข้าหีบ 134.9 ล้านตัน คิดเป็นมูลค่า 134,000 ล้านบาท ส่วนปริมาณกากน้ำตาลปี 2560/61 ผลิตได้ 5.49 ล้านตัน เพิ่มขึ้น 1.63 ล้านตันจากปี 2559/60 สำหรับปัจจัยที่มีผลทำให้สามารถผลิตน้ำตาลได้เพิ่มขึ้นมาจากคุณภาพผลผลิตอ้อยเข้าหีบอยู่ในเกณฑ์ดีมีค่าความหวานเฉลี่ย 12.48 ซี.ซี.เอส. และโรงงานน้ำตาลทั่วประเทศได้เตรียมพร้อมด้านการผลิตอย่างมีประสิทธิภาพซึ่งถือเป็นตัวเลขที่สูงมาก ดังนั้นในกระบวนการผลิตน้ำตาลทรายขาวจึงมีการใช้น้ำในปริมาณมาก โดยทั้งภาคเกษตรกรรมและภาคอุตสาหกรรมจัดเป็นส่วนที่ก่อให้เกิดปัญหาด้านสิ่งแวดล้อมทั้งสิ้น (สำนักงานคณะกรรมการอ้อยและน้ำตาลทราย, 2561)

การทราบค่าวอเตอร์ฟุตพริ้นท์นอกจากทำให้เห็นภาพปริมาณการใช้น้ำจริงที่อยู่ในการผลิตสินค้าต่อหน่วยผลิตภัณฑ์ได้อย่างชัดเจนมากขึ้นแล้วยังสามารถนำมาใช้ประเมินผลกระทบที่เกิดจากการผลิตสินค้าและบริการต่อการใช้ทรัพยากรน้ำ ซึ่งในปัจจุบันถือเป็นเครื่องมือที่ได้รับการยอมรับและนิยมใช้เพื่อประเมินมาตรฐานด้านการจัดการสิ่งแวดล้อมได้อีกด้วยซึ่งจะทำให้เข้าใจปัญหาการขาดแคลนน้ำ และมลภาวะทางน้ำได้ดียิ่งขึ้นรวมทั้งนำไปสู่วิธีการแก้ไขปัญหาที่เชื่อมโยงกับกระบวนการผลิตสินค้า และ Supply chain ทั้งระบบ ดังนั้นผู้วิจัยจึงสนใจศึกษาค่าวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ของการผลิตน้ำตาลทรายเพื่อเป็นข้อมูลสำคัญสำหรับงานบริหารจัดการและแก้ไขปัญหาด้านสิ่งแวดล้อมจากอุตสาหกรรมน้ำตาลทรายต่อไป

ระเบียบวิธีการวิจัย

การดำเนินงานแบ่งเป็น 2 การทดลอง ดังนี้

การทดลองที่ 7.1 การวิเคราะห์วอเตอร์ฟุตพริ้นท์ของการผลิตน้ำตาลทรายเขตภาคกลาง

1. การรวบรวมข้อมูล

การรวบรวมข้อมูลที่ได้จากแต่ละโรงงานผลิตน้ำตาลทราย ดำเนินการรวบรวมโดยจัดทำแบบสอบถามข้อมูลที่ต้องการได้แก่ ข้อมูลการผลิต ข้อมูลการใช้สารเคมีในโรงงาน ข้อมูลพลังงาน ข้อมูลผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการผลิต ข้อมูลผลิตภัณฑ์ที่ส่งขายออกโรงงาน และข้อมูลระบบบำบัดน้ำเสีย (ตารางที่ 7-1) (พงศเทพ สุวรรณวารี, 2557)

ตารางที่ 7-1 ข้อมูลที่ใช้คำนวณวอเตอร์ฟุตพริ้นท์

กระบวนการที่ 1 การสกัดน้ำอ้อย/ต่อวัน	**หน่วย**	**ปริมาณ**
สารขาเข้า		
วัตถุดิบและสารเคมี		
-อ้อยสด	กิโลกรัม	
-อ้อยเผา	กิโลกรัม	
-น้ำร้อนพรมกากอ้อย	ลิตร	
-น้ำหล่อเย็น-น้ำใช้	ลิตร	
-Disodiumthio carbamade	กิโลกรัม	
- Quaternary ammonium cpd.	กิโลกรัม	
พลังงาน		
-ไอน้ำ	กิโลกรัม	
-ไฟฟ้า	กิโลวัตต์-ชม.	
สารขาออก		
ผลิตภัณฑ์หลัก		
-น้ำอ้อยรวม	ตัน	
-กากอ้อยละเอียด	กิโลกรัม	
ผลิตภัณฑ์พลอยได้		
-กากอ้อย	ตัน	
-ทราย	ตัน	
-ไอเสีย	กิโลกรัม	
-น้ำเสีย	กิโลกรัม	
กระบวนการที่ 2 การผลิตน้ำตาลทรายดิบ/ต่อวัน	**หน่วย**	**ปริมาณ**
สารขาเข้า		
วัตถุดิบและสารเคมี		
-น้ำอ้อยรวม	กิโลกรัม	
-กากอ้อยละเอียด	กิโลกรัม	
โมลาสรีไฟน์	กิโลกรัม	
ปูนขาว	กิโลกรัม	
-Di-glyceride	กิโลกรัม	
Polyacrylamide	กิโลกรัม	
-เอมไซม์ amylase	กิโลกรัม	
-โซดาไฟน้ำร้อยละ 50	กิโลกรัม	
-โซดาไฟเกล็ด	กิโลกรัม	

-กรดเกลือ	กิโลกรัม	
-Succinic acid diester	กิโลกรัม	
-น้ำใช้	ลิตร	
-น้ำร้อน	ลิตร	
พลังงาน		
ไอเสีย	กิโลกรัม	
ไฟฟ้า	กิโลวัตต์-ชม.	
สารขาออก		
ผลิตภัณฑ์หลัก		
-น้ำตาลทรายดิบไฮโพล	กิโลกรัม	
-น้ำตาลทรายสีทอง	กิโลกรัม	
-น้ำตาลทรายขาวเกรด 3	กิโลกรัม	
-น้ำตาลทราบดิบเทกอง	กิโลกรัม	
-น้ำตาลทรายดิบ	กิโลกรัม	
-โมลาส	กิโลกรัม	
ผลิตภัณฑ์พลอยได้		
-กากหม้อกรอง	กิโลกรัม	
-ไอระเหยคอนเดนเซอร์	กิโลกรัม	
-น้ำร้อนพรมกากอ้อย	กิโลกรัม	
-น้ำ Condensate	ลิตร	
-น้ำเสีย	ลิตร	
-กากปูนขาว	กิโลกรัม	
-กระดาษปนเปื้อนสารตะกั่ว	กิโลกรัม	
น้ำเสียปนเปื้อนสารตะกั่ว	กิโลกรัม	
กระบวนการที่ 3 การผลิตน้ำตาลทรายขาว	**หน่วย**	**ปริมาณ**
สารขาเข้า		
วัตถุดิบและสารเคมี		
-น้ำตาลทรายดิบ	กิโลกรัม	
-น้ำร้อน	ลิตร	
-ปูนขาว	กิโลกรัม	
-ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์	กิโลกรัม	
-Cellulose fiber	กิโลกรัม	
-น้ำเกลือเข้มข้นร้อยละ 24	กิโลกรัม	
-เรซิน	กิโลกรัม	
-แอลกอฮอล์	กิโลกรัม	
-น้ำใช้	ลิตร	
พลังงาน		
-ไอเสีย	กิโลกรัม	
-ไฟฟ้า	กิโลวัตต์-ชม.	
สารขาออก		
ผลิตภัณฑ์หลัก		
-น้ำตาลทรายขาวบริสุทธิ์	กิโลกรัม	
-น้ำตาลทรายขาวเกรด1	กิโลกรัม	

ผลิตภัณฑ์พลอยได้		
-โมลาสรีไฟน์	กิโลกรัม	
-กากหม้อกรองรีไฟน์	กิโลกรัม	
-กากปูนขาว	กิโลกรัม	
-ไอระเหยจากคอนเดนเซอร์	กิโลกรัม	
-น้ำร้อน Condensate	กิโลกรัม	
-เรซินเสื่อมสภาพ	กิโลกรัม	
-น้ำเสีย	ลิตร	
-น้ำเสียปนเปื้อนเกลือ	ลิตร	
-กระดาษปนเปื้อนสารตะกั่ว	กิโลกรัม	
-น้ำเสียปนเปื้อนสารตะกั่ว	กิโลกรัม	
กระบวนการที่ 4 การบรรจุน้ำตาลทรายขาว	**หน่วย**	**ปริมาณ**
สารขาเข้า		
วัตถุดิบและสารเคมี		
-น้ำตาลทรายขาว	กิโลกรัม	
-ถุงพลาสติก PE	กิโลกรัม	
กระสอบ PP	กิโลกรัม	
-ด้ายเย็บกระสอบ	กิโลกรัม	
พลังงาน		
-LPG	กิโลกรัม	
-ไฟฟ้า	กิโลวัตต์-ชม.	
สารขาออก		
ผลิตภัณฑ์หลัก		
-น้ำตาลทรายขาว	กิโลกรัม	
ผลิตภัณฑ์พลอยได้		
-เศษบรรจุภัณฑ์	กิโลกรัม	
การขนส่งอ้อยเข้าสู่โรงงานผลิตน้ำตาลทรายขาว		
การจัดการของเสีย		

2. การจัดทำบัญชีรายการ

การจัดทำบัญชีรายการเป็นการทำบัญชีรายการของชนิด ปริมาณของสาร พลังงานที่เข้า – ออกของกระบวนการผลิตน้ำตาล 50 กิโลกรัม การใช้วัตถุดิบ น้ำ พลังงานเชื้อเพลิง

โดยบัญชีรายการของการผลิตน้ำตาล ขาเข้า ได้แก่

- อ้อยสด
- อ้อยเผา
- สารเคมี
- บรรจุภัณฑ์
- ไอน้ำ
- พลังงานไฟฟ้า
- น้ำเสีย

สำหรับบัญชีรายการของการผลิตน้ำตาลสารขาออก สารขาออก ได้แก่ ชนิดและปริมาณของผลผลิตหลัก ผลผลิตพลอยได้และของเสียที่ปล่อยออกสู่สิ่งแวดล้อมของกระบวนการผลิตน้ำตาลทรายขาว

3. การคำนวณสัดส่วนผลิตภัณฑ์

สัดส่วนผลิตภัณฑ์คำนวณได้ 2 ประเภท คือ 1) สัดส่วนผลิตภัณฑ์ทางทฤษฎี หาค่าโดยใช้ข้อมูลปริมาณผลิตภัณฑ์หลัก ผลิตภัณฑ์ร่วม และของเสียที่เกิดขึ้นทางทฤษฎี 2) สัดส่วนผลิตภัณฑ์ที่เกิดขึ้นจริง หาค่าโดยใช้ข้อมูลของโรงงานผลิตน้ำตาล คือข้อมูลปริมาณผลิตภัณฑ์หลัก ผลิตภัณฑ์ร่วม และของเสียที่เกิดขึ้นในการวิเคราะห์เป็นต้องเชื่อมกระบวนการย่อย ๆ ที่อยู่ในระบบการผลิตโดยใช้ปริมาณอ้างอิงของวัตถุดิบหรือพลังงาน ในกระบวนการย่อยภายในระบบที่ศึกษาอาจเกิดผลิตภัณฑ์ตั้งแต่ 2 ชนิดขึ้นไป แต่มีผลิตภัณฑ์เพียงชนิดที่ถูกนำไปใช้ในกระบวนการต่อไปภายในระบบ ส่วนที่เหลือจะถูกนำไปแปรรูปใช้ใหม่เป็นวัตถุดิบในกระบวนการอื่น ๆ หรือถูกทิ้งไป

การคำนวณสัดส่วนผลิตภัณฑ์ใช้ข้อมูลทางทฤษฎี คือ

- อ้อยสด และ อ้อยเผา 431.965 กิโลกรัม ผ่านกระบวนการสกัดน้ำอ้อยได้น้ำอ้อยปริมาณ 455.25 กิโลกรัม

- น้ำอ้อย 455.25 กิโลกรัม ผ่านกระบวนการผลิตน้ำตาลทรายดิบเกิดกรีนวอเตอร์ 6.83 ลูกบาศก์เมตร บลูวอเตอร์ 37.33 ลูกบาศก์เมตร และเกรย์วอเตอร์ 10.02 ลูกบาศก์เมตร Hoekstra et al, (2011) ผลผลิตที่ได้คือ น้ำตาลทรายดิบ 78.33 กิโลกรัม

- น้ำตาลทรายดิบ 59.60 กิโลกรัม เข้าสู่กระบวนการผลิตน้ำตาลทรายขาวบริสุทธิ์เกิดกรีนวอเตอร์ 6.38 ลูกบาศก์เมตร บลูวอเตอร์ 33.97 ลูกบาศก์เมตร และเกรย์วอเตอร์ 9.06 ลูกบาศก์เมตร Hoekstra et al, (2011) ผลผลิตน้ำตาลทรายขาวบริสุทธิ์เกิด 56.62 กิโลกรัม

- น้ำตาลทรายขาวบริสุทธิ์เข้าสู่กระบวนการบรรจุน้ำตาลโดยผลิตเป็นน้ำตาลกระสอบขนาด 50 กิโลกรัม

4. การคำนวณปริมาณน้ำทางตรงและทางอ้อม

กระบวนการผลิตที่ใช้น้ำในโรงงานน้ำตาล สามารถแบ่งออกเป็นการใช้น้ำทางตรงและการใช้น้ำทางอ้อม กระบวนการผลิตที่ใช้น้ำทางตรงได้แก่ กระบวนการสกัดน้ำอ้อย กระบวนการผลิตน้ำตาลทรายดิบ กระบวนการผลิตน้ำตาลทรายขาวบริสุทธิ์ และกระบวนการบรรจุน้ำตาล แต่กระบวนการที่กล่าวมานั้นไม่สามารถคำนวณค่าการใช้น้ำในแต่ละกระบวนการได้ ดังนั้นจึงใช้ค่าการใช้น้ำทั้งหมดของโรงงานผลิตน้ำตาล สำหรับการใช้น้ำทางอ้อมคำนวณจากปริมาณอ้อยสด อ้อยเผา สารเคมีและวัตถุดิบในกระบวนการต่าง ๆ แล้วนำมาคูณกับค่าวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ของแต่ละวัตถุดิบและกระบวนการ

5. การประเมินวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ไม่คิดรวมการได้มาซึ่งการผลิตน้ำตาล (รูปแบบที่ 1)

การประเมินวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ไม่คิดรวมการได้มาของอ้อย เป็นการประเมินวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ของการผลิตน้ำตาล และไม่คิดรวมการปลูกอ้อยซึ่งต้องการประเมินวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ที่เกิดจากการใช้น้ำทางตรงและทางอ้อมของโรงงานผลิตน้ำตาล

6. การประเมินวอเตอร์ฟุตพริ้นท์คิดรวมการได้มาการได้มาของอ้อย (รูปแบบที่ 2)

การประเมินวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ของการผลิตน้ำตาล นอกจากคิดรวมการได้มาของอ้อย แล้วยังคิดรวมการปลูกอ้อยด้วย สำหรับการคิดรวมการปลูกอ้อยนั้น ใช้ค่าวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ของการได้มาซึ่งอ้อยของประเทศไทยในการคำนวณ (สำนักงานเศรษฐกิจอุตสาหกรรม, 2557)

การทดลองที่ 7.2 การวิเคราะห์วอเตอร์ฟุตพริ้นท์ของการผลิตน้ำตาลทรายเขตภาคตะวันออกเฉียงเหนือ

1. การรวบรวมข้อมูล

การรวบรวมข้อมูลที่ได้จากแต่ละโรงงานผลิตน้ำตาลทราย ดำเนินการรวบรวมโดยจัดทำแบบสอบถามข้อมูลที่ต้องการได้แก่ ข้อมูลการผลิต ข้อมูลการใช้สารเคมีในโรงงาน ข้อมูลพลังงาน ข้อมูลผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการผลิต ข้อมูลผลิตภัณฑ์ที่ส่งขายออกโรงงาน และข้อมูลระบบบำบัดน้ำเสีย (ตารางที่ 7-1) (พงศเทพ สุวรรณวารี, 2557)

2. การจัดทำบัญชีรายการ

การจัดทำบัญชีรายการเป็นการทำบัญชีรายการของชนิด ปริมาณของสาร พลังงานที่เข้า – ออกของกระบวนการผลิตน้ำตาล 50 กิโลกรัม การใช้วัตถุดิบ น้ำ พลังงานเชื้อเพลิง

โดยบัญชีรายการของการผลิตน้ำตาล ขาเข้า ได้แก่

- อ้อยสด
- อ้อยเผา
- สารเคมี
- บรรจุภัณฑ์
- ไอน้ำ
- พลังงานไฟฟ้า
- น้ำเสีย

สำหรับบัญชีรายการของการผลิตน้ำตาลสารขาออก สารขาออก ได้แก่ ชนิดและปริมาณของผลผลิตหลัก ผลผลิตพลอยได้และของเสียที่ปล่อยออกสู่สิ่งแวดล้อมของกระบวนการผลิตน้ำตาลทรายขาว

3. การคำนวณสัดส่วนผลิตภัณฑ์

สัดส่วนผลิตภัณฑ์คำนวณได้ 2 ประเภท คือ 1) สัดส่วนผลิตภัณฑ์ทางทฤษฎี หาค่าโดยใช้ข้อมูลปริมาณผลิตภัณฑ์หลัก ผลิตภัณฑ์ร่วม และของเสียที่เกิดขึ้นทางทฤษฎี 2) สัดส่วนผลิตภัณฑ์ที่เกิดขึ้นจริง หาค่าโดยใช้ข้อมูลของโรงงานผลิตน้ำตาล คือข้อมูลปริมาณผลิตภัณฑ์หลัก ผลิตภัณฑ์ร่วม และของเสียที่เกิดขึ้น ในการวิเคราะห์เป็นต้องเชื่อมกระบวนการย่อย ๆ ที่อยู่ในระบบการผลิตโดยใช้ปริมาณอ้างอิงของวัตถุดิบหรือพลังงาน ในกระบวนการย่อยภายในระบบที่ศึกษาอาจเกิดผลิตภัณฑ์ตั้งแต่ 2 ชนิดขึ้นไป แต่มีผลิตภัณฑ์เพียงชนิดที่ถูกนำไปใช้ในกระบวนการต่อไปภายในระบบ ส่วนที่เหลือจะถูกนำไปแปรรูปใช้ใหม่เป็นวัตถุดิบในกระบวนการอื่น ๆ หรือถูกทิ้งไป

การคำนวณสัดส่วนผลิตภัณฑ์ใช้ข้อมูลทางทฤษฎี คือ

- อ้อยสด และ อ้อยเผา 431.965 กิโลกรัม ผ่านกระบวนการสกัดน้ำอ้อยได้น้ำอ้อยปริมาณ 455.25 กิโลกรัม

- น้ำอ้อย 455.25 กิโลกรัม ผ่านกระบวนการผลิตน้ำตาลทรายดิบเกิดกรีนวอเตอร์ 6.83 ลูกบาศก์เมตร บลูวอเตอร์ 37.33 ลูกบาศก์เมตร และเกรย์วอเตอร์ 10.02 ลูกบาศก์เมตร Hoekstra et al. (2011) ผลผลิตที่ได้คือ น้ำตาลทรายดิบ 78.33 กิโลกรัม

- น้ำตาลทรายดิบ 59.60 กิโลกรัม เข้าสู่กระบวนการผลิตน้ำตาลทรายขาวบริสุทธิ์เกิดกรีนวอเตอร์ 6.38 ลูกบาศก์เมตร บลูวอเตอร์ 33.97 ลูกบาศก์เมตร และเกรย์วอเตอร์ 9.06 ลูกบาศก์เมตร Hoekstra et al. (2011) ผลผลิตน้ำตาลทรายขาวบริสุทธิ์เกิด 56.62 กิโลกรัม

- น้ำตาลทรายขาวบริสุทธิ์เข้าสู่กระบวนการบรรจุน้ำตาลโดยผลิตเป็นน้ำตาลกระสอบขนาด 50 กิโลกรัม

4. การคำนวณปริมาณน้ำทางตรงและทางอ้อม

กระบวนการผลิตที่ใช้น้ำในโรงงานน้ำตาล สามารถแบ่งออกเป็นการใช้น้ำทางตรงและการใช้น้ำทางอ้อม กระบวนการผลิตที่ใช้น้ำทางตรงได้แก่ กระบวนการสกัดน้ำอ้อย กระบวนการผลิตน้ำตาลทรายดิบ กระบวนการผลิตน้ำตาลทรายขาวบริสุทธิ์ และกระบวนการบรรจุน้ำตาล แต่กระบวนการที่กล่าวมานั้นไม่สามารถคำนวณค่าการใช้น้ำในแต่ละกระบวนการได้ ดังนั้นจึงใช้ค่าการใช้น้ำทั้งหมดของโรงงานผลิตน้ำตาล สำหรับการใช้น้ำทางอ้อมคำนวณจากปริมาณอ้อยสด อ้อยเผา สารเคมีและวัตถุดิบในกระบวนการต่าง ๆ แล้วนำมาคูณกับค่าวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ของแต่ละวัตถุดิบและกระบวนการ

5. การประเมินวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ไม่คิดรวมการได้มาซึ่งการผลิตน้ำตาล (รูปแบบที่ 1)

การประเมินวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ไม่คิดรวมการได้มาของอ้อย เป็นการประเมินวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ของการผลิตน้ำตาล และไม่คิดรวมการปลูกอ้อยซึ่งต้องการประเมินวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ที่เกิดจากการใช้น้ำทางตรงและทางอ้อมของโรงงานผลิตน้ำตาล

6. การประเมินวอเตอร์ฟุตพริ้นท์คิดรวมการได้มาการได้มาของอ้อย (รูปแบบที่ 2)

การประเมินวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ของการผลิตน้ำตาล นอกจากคิดรวมการได้มาของอ้อย แล้วยังคิดรวมการปลูกอ้อยด้วย สำหรับการคิดรวมการปลูกอ้อยนั้น ใช้ค่าวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ของการได้มาซึ่งอ้อยของประเทศไทยในการคำนวณ สำนักงานเศรษฐกิจอุตสาหกรรม, (2557)

ผลการวิจัยและอภิปราย

1. การรวบรวมข้อมูล

การวิเคราะห์วอเตอร์ฟุตพริ้นท์ของการผลิตน้ำตาลทรายเขตภาคกลาง

การประเมินวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ของการผลิตน้ำตาลทราย เริ่มจากรวบรวมข้อมูลที่ได้จาก แต่ละโรงงาน จากนั้นจัดทำบัญชีรายการชนิดและปริมาณของสาร รวมทั้งพลังงานที่เข้า – ออกของกระบวนการผลิตน้ำตาลทราย 50 กิโลกรัม และคำนวณสัดส่วนผลิตภัณฑ์ต่อด้วยการประเมินวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ โดยรูปแบบการประเมินวอเตอร์ฟุตพริ้นท์แบ่งได้ 2 รูปแบบ ได้แก่

รูปแบบที่ 1 การประเมินวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ไม่คิดรวมการได้มาของอ้อย เป็นการประเมินวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ของการผลิตน้ำตาล และไม่คิดรวมการปลูกอ้อยซึ่งต้องการประเมินวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ที่เกิดจากการใช้น้ำทางตรงและทางอ้อมของโรงงานผลิตน้ำตาล

รูปแบบที่ 2 การประเมินวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ของการผลิตน้ำตาล นอกจากคิดรวมการได้มาของอ้อย แล้วยังคิดรวมการปลูกอ้อยด้วย สำหรับการคิดรวมการปลูกอ้อยนั้น ใช้ค่าวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ของการได้มาซึ่งอ้อยของประเทศไทยในการคำนวณ (สำนักงานเศรษฐกิจอุตสาหกรรม, 2557)

โดยโรงงานน้ำตาลที่ติดต่อเพื่อขอข้อมูลดำเนินงานวิจัยประกอบด้วย

1. โรงงานน้ำตาลสิงห์บุรี จังหวัดสิงห์บุรี
2. โรงงานอุตสาหกรรมน้ำตาลสุพรรณบุรี จังหวัดสุพรรณบุรี
3. โรงงานน้ำตาลรีไฟน์ชัยมงคล (อู่ทอง) จังหวัดสุพรรณบุรี
4. โรงงานไทยเพิ่มพูนอุตสาหกรรม จังหวัดกาญจนบุรี
5. โรงงานประจวบอุตสาหกรรม จังหวัดกาญจนบุรี
6. โรงงานน้ำตาลท่ามะกา จังหวัดกาญจนบุรี
7. โรงงานน้ำตาลนิวกรุงไทย จังหวัดกาญจนบุรี
8. โรงงานอุตสาหกรรมน้ำตาลบ้านไร่ จังหวัดอุทัยธานี
9. โรงงานน้ำตาลไทยกาญจนบุรี จังหวัดกาญจนบุรี
10. โรงงานอุตสาหกรรมมิตรเกษตร จังหวัดกาญจนบุรี

11. โรงงานน้ำตาลมิตรผล จังหวัดสุพรรณบุรี
12. โรงงานน้ำตาลบ้านโป่ง จังหวัดราชบุรี
13. โรงงานน้ำตาลราชบุรี จังหวัดราชบุรี
14. โรงงานอุตสาหกรรมน้ำตาล ที.เอ็น. จังหวัดลพบุรี
15. โรงงานอุตสาหกรรมน้ำตาลปราณบุรี จังหวัดประจวบคีรีขันธ์
16. โรงงานน้ำตาลสระบุรี จังหวัดสระบุรี
17. โรงงานมิตรเกษตร (อุทัยธานี) จังหวัดอุทัยธานี
18. โรงงานน้ำตาลสระบุรี (สระโบสถ์) จังหวัดลพบุรี

โดยโรงงานน้ำตาลที่ดำเนินการให้ความอนุเคราะห์ข้อมูลในการดำเนินงานวิจัยประกอบด้วย โรงงานน้ำตาลจังหวัดกาญจนบุรี โรงงานน้ำตาลจังหวัดราชบุรี และโรงงานน้ำตาลจังหวัดสุพรรณบุรี จังหวัดละ 1 โรงงาน

การวิเคราะห์วอเตอร์ฟุตพริ้นท์ของการผลิตน้ำตาลทรายเขตภาคตะวันออกเฉียงเหนือ

การประเมินวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ของการผลิตน้ำตาลทราย เริ่มจากรวบรวมข้อมูลที่ได้จาก แต่ละโรงงาน จากนั้นจัดทำบัญชีรายการชนิดและปริมาณของสาร รวมทั้งพลังงานที่เข้า – ออกของกระบวนการผลิตน้ำตาลทราย 50 กิโลกรัม และคำนวณสัดส่วนผลิตภัณฑ์ต่อด้วยการประเมินวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ โดยรูปแบบการประเมินวอเตอร์ฟุตพริ้นท์แบ่งได้ 2 รูปแบบ ได้แก่

รูปแบบที่ 1 การประเมินวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ไม่คิดรวมการได้มาของอ้อย เป็นการประเมินวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ของการผลิตน้ำตาล และไม่คิดรวมการปลูกอ้อยซึ่งต้องการประเมินวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ที่เกิดจากการใช้น้ำทางตรงและทางอ้อมของโรงงานผลิตน้ำตาล

รูปแบบที่ 2 การประเมินวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ของการผลิตน้ำตาล นอกจากคิดรวมการได้มาของอ้อยแล้วยังคิดรวมการปลูกอ้อยด้วย สำหรับการคิดรวมการปลูกอ้อยนั้น ใช้ค่าวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ของการได้มาซึ่งอ้อยของประเทศไทยในการคำนวณ สำนักงานเศรษฐกิจอุตสาหกรรม, (2557)

โดยโรงงานน้ำตาลที่ติดต่อเพื่อขอข้อมูลดำเนินงานวิจัยประกอบด้วย

1. โรงงานน้ำตาลสุรินทร์ จังหวัดสุรินทร์
2. โรงงานอุตสาหกรรมน้ำตาลอีสาน จังหวัดกาฬสินธุ์
3. โรงงานน้ำตาลมิตรกาฬสินธุ์ จังหวัดกาฬสินธุ์
4. โรงงานน้ำตาลวังขนาย (มหาวัง) จังหวัดมหาสารคาม
5. โรงงานน้ำตาลเกษตรผล จังหวัดอุดรธานี
6. โรงงานอุตสาหกรรมโคราช จังหวัดนครราชสีมา
7. โรงงานรวมเกษตรกรอุตสาหกรรม (ขอนแก่น) จังหวัดขอนแก่น
8. โรงงานอุตสาหกรรมอ่างเวียน (ราชสีมา) จังหวัดนครราชสีมา
9. โรงงานน้ำตาลครบุรี จังหวัดนครราชสีมา
10. โรงงานน้ำตาลทรายขาวเริ่มอุดม จังหวัดอุดรธานี
11. โรงงานน้ำตาลกุมภวาปี จังหวัดอุดรธานี
12. โรงงานน้ำตาลขอนแก่น จังหวัดขอนแก่น
13. โรงงานน้ำตาลสหเรือง จังหวัดมุกดาหาร
14. โรงงานน้ำตาลบุรีรัมย์ จังหวัดบุรีรัมย์
15. โรงงานรวมเกษตรกรอุตสาหกรรม (ชัยภูมิ) จังหวัดชัยภูมิ

16. โรงงานน้ำตาลเอราวัณ จังหวัดหนองบัวลำภู
17. โรงงานน้ำตาลไทยกาญจนบุรี (อุดรธานี) จังหวัดอุดรธานี
18. โรงงานรวมเกษตรกรอุตสาหกรรม (มิตรภูหลวง) จังหวัดเลย
19. โรงงานน้ำตาลขอนแก่น (วังสะพุง) จังหวัดเลย
20. โรงงานน้ำตาลระยอง (ชัยภูมิ) จังหวัดชัยภูมิ
21. โรงงานไทยรุ่งเรืองอุตสาหกรรม (สกลนคร) จังหวัดสกลนคร
22. โรงงานน้ำตาลมิตรกาฬสินธุ์ (อำนาจเจริญ) จังหวัดอำนาจเจริญ

โดยโรงงานน้ำตาลที่ดำเนินการให้ความอนุเคราะห์ข้อมูลในการดำเนินงานวิจัยประกอบด้วย โรงงานน้ำตาลจังหวัดอุดรธานี โรงงานน้ำตาลจังหวัดนครราชสีมา และโรงงานน้ำตาลจังหวัดบุรีรัมย์ จังหวัดละ 1 โรงงาน

2. การจัดทำบัญชีรายการ

การวิเคราะห์วอเตอร์ฟุตพริ้นท์ของการผลิตน้ำตาลทรายเขตภาคกลาง

การจัดทำบัญชีรายการเป็นการทำบัญชีรายการของชนิด ปริมาณของสาร พลังงานที่เข้า – ออกของกระบวนการผลิตน้ำตาล 50 กิโลกรัม โดยบัญชีรายการของการผลิตน้ำตาล ขาเข้า ได้แก่ อ้อยสด อ้อยเผา สารเคมี บรรจุภัณฑ์ ไอน้ำ พลังงานไฟฟ้า และน้ำเสีย โดยสารขาเข้าและสารขาออกสำหรับการผลิตน้ำตาลทราย 50 กิโลกรัม ในแต่ละกระบวนการแสดงดังตารางที่ 7-2

ตารางที่ 7-2 บัญชีรายการสำหรับการผลิตน้ำตาลทรายของโรงงานภาคกลาง

กระบวนการที่ 1 การสกัดน้ำอ้อย

	โรงงานภาคกลาง		
	จังหวัดกาญจนบุรี	**จังหวัดราชบุรี**	**จังหวัดสุพรรณบุรี**
ขาเข้า			
ปริมาณอ้อย (กก.)	615,758,000.00	643,910,727.63	10,522,030.00
น้ำร้อนพรมกากอ้อย (กก.)	229,270,380.00	224,155,344.05	3,696,390.00
Disodiumthio carbamade (กก.)	-	3,690.00	-
Quaternary ammonium cpd. (กก.)	-	4,861.00	-
ขาออก			
น้ำอ้อยรวม (กก.)	664,179,130.00	643,910,727.63	11,197,540.00
กากอ้อย (กก.)	185,775,707.00	164,311,275.70	3,020,966.00
ทราย (กก.)	4,488,400.00	14,484,998.00	-
กระบวนการที่ 2 กระบวนการผลิตน้ำตาลทรายดิบ			
ขาเข้า			
น้ำอ้อยรวม (กก.)	664,179,130.00	643,910,727.63	11,197,540.00
ปูนขาว (กก.)	1,061,370.00	418,639.45	8,958.03
โซดาไฟน้ำ 50% (กก.)	127,420.00	202,504.60	
โซดาไฟเกล็ด (กก.)	1,100.00	-	-
Polyacrylamide (กก.)	-	-	-
กรดเกลือ (กก.)	-	201,000.00	-

น้ำ (ล.)	-	143,246,000.00	1,775.16
ขาออก			
น้ำตาลทรายดิบ (กก.)	9,805,750.00	67,440,250.00	972,000.00
โมลาส (กก.)	27,711,000.00	28,035,480.00	412,000.00
กากหม้อกรอง (กก.)	44,376,570.00	15,425,354.73	443,250.00
กระบวนการที่ 3 กระบวนการผลิตน้ำตาลทรายขาว			
ขาเข้า			
น้ำตาลทรายดิบ (กก.)	4,572,990.50	67,440,750.00	-
ปูนขาว (กก.)	365,839.00	60,300.00	-
น้ำเกลือเข้มข้น 24% (กก)	2,154,310.00	4,824,000.00	-
เรซิน (กก.)	-	17,120.00	-
แอลกอฮอล์ (ล.)		720.00	-
น้ำร้อน (ล.)	9,145,993.00	68,206,000.00	-
High performance decolorants (HPD)	-	-	-
High Performance Adsorbent (HPD)	-	-	-
Filter Aid	-	-	-
ขาออก			
น้ำตาลทรายขาวบริสุทธิ์(กก.)	27,013,800.00	48,678,210.00	-
โมลาส (กก.)	25,500,000.00	50,786,000.00	-
กากหม้อกรอง (กก.)	355,010.00	2,148.75	-
กระบวนการที่ 4 การบรรจุน้ำตาลทรายขาว			
ขาเข้า			
น้ำตาลทรายขาว (กก.)	23,848,000.00	484,782,100.00	-
กระสอบ PP (กก.)	61,836.00	111,499.88	-
ด้ายเย็บกระสอบ (กก.)	720.00	2,635.72	-
ถุงพลาสติก PE (กก.)	20,612.00	43,630.39	-
ขาออก			
น้ำตาลทรายบริสุทธิ์ (กก.)	23,848,000.00	484,782,100.00	-
เศษบรรจุ (กก.)	1,760.00	-	-

จากข้อมูลในตารางที่ 7-2 พบว่า กระบวนการผลิตน้ำตาลทราย ของโรงงานผลิตน้ำตาลทรายที่ศึกษา โรงงานน้ำตาลจังหวัดกาญจนบุรีใช้อ้อยสดและอ้อยเผาปริมาณ 615,758,000.00 กิโลกรัม ได้น้ำตาลทรายขาวบริสุทธิ์ 23,848,000.00 กิโลกรัม โรงงานน้ำตาลจังหวัดราชบุรีใช้อ้อยสดและอ้อยเผาปริมาณ 643,910,727.63 กิโลกรัม ได้น้ำตาลทรายขาวบริสุทธิ์ 484,782,100.00 กิโลกรัม และโรงงานน้ำตาลจังหวัดสุพรรณบุรีใช้อ้อยสดและอ้อยเผาปริมาณ 10,522,030.00 กิโลกรัม ได้น้ำตาลทรายดิบ 972,000.00 กิโลกรัม การได้ปริมาณน้ำตาลจากกระบวนการผลิตที่ต่างกันอาจเนื่องจากประสิทธิภาพของเครื่องจักรต่าง ๆ และกำลัง

การผลิตของแต่ละโรงงานที่ศึกษา รวมถึงปริมาณอ้อยสดและอ้อยเผาที่แตกต่างกันของแต่ละโรงงานผลิตน้ำตาล

ตารางที่ 7-3 บัญชีรายการสำหรับการผลิตน้ำตาลทราย 50 กิโลกรัมของโรงงานภาคกลาง

กระบวนการที่ 1 การสกัดน้ำอ้อย			
		โรงงานภาคกลาง	
	จังหวัดกาญจนบุรี	**จังหวัดราชบุรี**	**จังหวัดสุพรรณบุรี**
ขาเข้า			
ปริมาณอ้อย (กก.)	525.4308	450.0450	541.2566
น้ำร้อนพรมกากอ้อย (กก.)	195.6380	172.7182	190.1435
Disodiumthio carbamade (กก.)	-	0.0028	-
Quaternary ammonium cpd. (กก.)	-	0.0037	-
ขาออก			
น้ำอ้อยรวม (กก.)	566.7489	496.1521	576.0051
กากอ้อย (กก.)	158.5237	126.6066	155.3994
ทราย (กก.)	3.8299	11.1611	-
กระบวนการที่ 2 การผลิตน้ำตาลทรายดิบ			
ขาเข้า			
น้ำอ้อยรวม (กก.)	566.7489	496.1521	576.0051
ปูนขาว (กก.)	2.2252	0.0431	0.4608
โซดาไฟน้ำ 50% (กก.)	0.2671	0.0208	0
โซดาไฟเกล็ด (กก.)	0.0023	0	0
Polyacrylamide (กก.)	-	-	-
กรดเกลือ (กก.)	-	0.0207	10.3395
น้ำ (ล.)	-	14.7742	23.1481
ขาออก			
น้ำตาลทรายดิบ (กก.)	20.5588	6.9557	50
โมลาส (กก.)	58.0992	2.8915	21.1934
กากหม้อกรอง (กก.)	93.0404	1.5909	22.8009
กระบวนการที่ 3 การผลิตน้ำตาลทรายขาว			
ขาเข้า			
น้ำตาลทรายดิบ (กก.)	9.5877	6.9557	-
ปูนขาว (กก.)	0.7670	0.0062	-
น้ำเกลือเข้มข้น 24% (กก)	4.5167	0.4975	-
เรซิน (กก.)	-	0.0017	-
แอลกอฮอล์ (ล.)	-	0.00007	-
น้ำร้อน (ล.)	19.1755	0.1796	-
High performance	-	-	-

decolorants (HPD)			
High Performance Adsorbent (HPD)	-	-	-
Filter Aid	-	-	-
ขาออก			
น้ำตาลทรายขาวบริสุทธิ์(กก)	56.6374	5.0206	-
โมลาส (กก.)	53.4636	5.2380	-
กากหม้อกรอง (กก.)	0.7443	0.0002	-
กระบวนการที่ 4 การบรรจุน้ำตาลทรายขาว			
ขาเข้า			
น้ำตาลทรายขาว (กก.)	50.0000	50.0000	-
กระสอบ PP (กก.)	0.1296	0.0115	-
ด้ายเย็บกระสอบ (กก.)	0.0015	0.0002	-
ถุงพลาสติก PE (กก.)	0.0432	0.0045	-
ขาออก			
น้ำตาลทรายบริสุทธิ์ (กก.)	50	50	-
เศษบรรจุ (กก.)	0.0036	0	-

จากข้อมูลตารางที่ 7-3 พบว่า กระบวนการผลิตน้ำตาลทราย 50 กิโลกรัม ของโรงงานผลิตน้ำตาลทรายที่ศึกษา ปริมาณอ้อยที่ใช้ในกระบวนการผลิตน้ำตาลทราย 50 กิโลกรัม โรงงานน้ำตาลจังหวัดกาญจนบุรีใช้อ้อยปริมาณ 525.4308 กิโลกรัม โรงงานน้ำตาลจังหวัดราชบุรีใช้อ้อยปริมาณ 450.0450 กิโลกรัม และโรงงานน้ำตาลจังหวัดสุพรรณบุรีใช้อ้อยปริมาณ 541.2566 กิโลกรัม เนื่องจากทั้ง 3 โรงงานของภาคกลางที่ศึกษามีขนาดและกำลังการผลิตที่แตกต่างกันอาจทำให้ประสิทธิภาพของเครื่องจักรในกระบวนการผลิตต่าง ๆ มีความแตกต่างกัน

การวิเคราะห์วอเตอร์ฟุตพริ้นท์ของการผลิตน้ำตาลทรายเขตภาคตะวันออกเฉียงเหนือ

การจัดทำบัญชีรายการเป็นการทำบัญชีรายการของชนิด ปริมาณของสาร พลังงานที่เข้า – ออกของกระบวนการผลิตน้ำตาล 50 กิโลกรัม โดยบัญชีรายการของการผลิตน้ำตาล ขาเข้า ได้แก่ อ้อยสด อ้อยเผา สารเคมี บรรจุภัณฑ์ ไอน้ำ พลังงานไฟฟ้า และน้ำเสีย โดยสารขาเข้าและสารขาออกสำหรับการผลิตน้ำตาลทราย 50 กิโลกรัม ในแต่ละกระบวนการแสดงดังตารางที่ 7-1

ตารางที่ 7-4 บัญชีรายการสำหรับการผลิตน้ำตาลทรายของโรงงานภาคตะวันออกเฉียงเหนือ

กระบวนการที่ 1 การสกัดน้ำอ้อย			
	โรงงานภาคตะวันออกเฉียงเหนือ		
	จังหวัดอุดรธานี	**จังหวัดนครราชสีมา**	**จังหวัดบุรีรัมย์**
ขาเข้า			
ปริมาณอ้อย (กก.)	716,862,940.00	1,197,121,715.10	1,759,276,340.00
น้ำร้อนพรมกากอ้อย (กก.)	223,446,173.39	849,697.32	474,792,550.00
Disodiumthio carbamade (กก.)	-	3,445.65	2,081.00
Quaternary ammonium cpd. (กก.)	-	3,487.70	3,442.00
ขาออก			
น้ำอ้อยรวม (กก.)	755,501,850.00	2,768,354.64	1,750,298,868.00
กากอ้อย (กก.)	191,586,160.00	714,335,960.00	478,690,816.00
ทราย (กก.)	39,069,000.00	18,928.30	15,049,087.00
กระบวนการที่ 2 กระบวนการผลิตน้ำตาลทรายดิบ			
ขาเข้า			
น้ำอ้อยรวม (กก.)	755,501,850.00	2,768,354.64	1,750,298,868.00
ปูนขาว (กก.)	645,176.00	1,691,940.00	869,576.47
โซดาไฟน้ำ 50% (กก.)	210,000.00	241,280.00	358,750.00
โซดาไฟเกล็ด (กก.)	-	178,000.00	-
Polyacrylamide (กก.)	-	-	8,547.00
กรดเกลือ (กก.)	-	52,090.00	201,000.00
น้ำ (ล.)	-	-	592,344.00
ขาออก			
น้ำตาลทรายดิบ (กก.)	48,853,810.00	183,623,560.00	80,872,900.00
โมลาส (กก.)	30,608,000.00	109,542,070.00	65,969,280.00
กากหม้อกรอง (กก.)	35,986,820.00	99,029,660.00	81,631,080.00
กระบวนการที่ 3 กระบวนการผลิตน้ำตาลทรายขาว			
ขาเข้า			
น้ำตาลทรายดิบ (กก.)	37,174,660.00	183,623,560.00	44,636,140.00
ปูนขาว (กก.)	706,319.00	2,669,610.00	729,823.43
น้ำเกลือเข้มข้น 24% (กก.)	1,613,250.00	-	-
เรซิน (กก.)	20,000.00	90,000.00	0
แอลกอฮอล์ (ล.)	247.21	4,200.00	0
น้ำร้อน (ล.)		1,795,819.91	6,053,000.00
High performance decolorants (HPD)	-	-	16151.10
High Performance	-	-	34,500.00

Adsorbent (HPD)			
Filter Aid	-	-	49,200.00
ขาออก			
น้ำตาลทรายขาวบริสุทธิ์(กก.)	35,315,930.00	316,946,000.00	40,937,850.00
โมลาส (กก.)	-	109,542,070.00	-
กากหม้อกรอง (กก.)	2,148.75	15,182,070.00	2,115.76
กระบวนการที่ 4 การบรรจุน้ำตาลทรายขาว			
ขาเข้า			
น้ำตาลทรายขาว (กก.)	31,185,000.00	186,789,000.00	131,106,050.00
กระสอบ PP (กก.)	31,635.00	7,146,471,251.41	382,170.00
ด้ายเย็บกระสอบ (กก.)	1,080.00	7,698,893.48	2,230.00
ถุงพลาสติก PE (กก.)	20,612.00	38,540,633.30	57,980.00
ขาออก			
น้ำตาลทรายบริสุทธิ์ (กก.)	31,185,000.00	130,157,000.00	131,106,050.00
เศษบรรจุ (กก.)	-	-	1,320.00

จากข้อมูลในตารางที่ 7-4 พบว่า กระบวนการผลิตน้ำตาลทราย ของโรงงานผลิตน้ำตาลทรายที่ศึกษา โรงงานน้ำตาลจังหวัดอุดรธานีใช้อ้อยสดและอ้อยเผาปริมาณ 716,862,940.00 กิโลกรัม ได้น้ำตาลทรายขาวบริสุทธิ์ 31,185,000.00 กิโลกรัม โรงงานน้ำตาลจังหวัดนครราชสีมาใช้อ้อยสดและอ้อยเผาปริมาณ 1,197,121,715.10 กิโลกรัม ได้น้ำตาลทรายขาวบริสุทธิ์ 130,157,000.00 กิโลกรัม และโรงงานน้ำตาลจังหวัดบุรีรัมย์ใช้อ้อยสดและอ้อยเผาปริมาณ 1,759,276,340.00 กิโลกรัม ได้น้ำตาลทรายขาวบริสุทธิ์ 131,106,050.00 กิโลกรัม การได้ปริมาณน้ำตาลจากกระบวนการผลิตที่ต่างกันอาจเนื่องจากประสิทธิภาพของเครื่องจักรต่าง ๆ และกำลังการผลิตของแต่ละโรงงานที่ศึกษา รวมถึงปริมาณอ้อยสดและอ้อยเผาที่แตกต่างกันของแต่ละโรงงานผลิตน้ำตาลทราย

ตารางที่ 7-5 บัญชีรายการสำหรับการผลิตน้ำตาลทราย 50 กิโลกรัมของโรงงานภาคตะวันออกเฉียงเหนือ

กระบวนการที่ 1 การสกัดน้ำอ้อย			
	โรงงานภาคตะวันออกเฉียงเหนือ		
	จังหวัดอุดรธานี	**จังหวัดนครราชสีมา**	**จังหวัดบุรีรัมย์**
ขาเข้า			
ปริมาณอ้อย (กก.)	431.9654	459.8760	404.2691
น้ำร้อนพรมกากอ้อย (กก.)	134.6436	0.3264	109.1039
Disodiumthio carbamade (กก.)	-	0.0013	0.0004
Quaternary ammonium cpd. (กก.)	-	0.0013	0.0007
ขาออก			
น้ำอ้อยรวม (กก.)	455.2500	461.0634	402.2061
กากอ้อย (กก.)	115.4454	274.4131	109.9997
ทราย (กก.)	23.5420	0.0072	3.4581
กระบวนการที่ 2 การผลิตน้ำตาลทรายดิบ			
ขาเข้า			

น้ำอ้อยรวม (กก.)	455.2483	1.0635	402.2061
ปูนขาว (กก.)	1.0344	0.6500	0.3316
โซดาไฟน้ำ 50% (กก.)	0.3367	0.0927	0.1368
โซดาไฟเกล็ด (กก.)	-	0.0684	0.0000
Polyacrylamide (กก.)	-	0.0000	0.0033
กรดเกลือ (กก.)	-	0.0200	0.0767
น้ำ (ล.)	-	0.0000	0.2259
ขาออก			
น้ำตาลทรายดิบ (กก.)	78.3290	70.5393	30.8426
โมลาส (กก.)	49.0749	42.0807	25.1587
กากหม้อกรอง (กก.)	57.6989	38.0424	31.1317
กระบวนการที่ 3 การผลิตน้ำตาลทรายขาว			
ขาเข้า			
น้ำตาลทรายดิบ (กก.)	59.6034	70.5393	17.0229
ปูนขาว (กก.)	1.1325	1.0255	0.2783
น้ำเกลือเข้มข้น 24% (กก.)	2.5866	0.0000	-
เรซิน (กก.)	0.0321	0.0346	-
แอลกอฮอล์ (ล.)	0.0004	0.0016	-
น้ำร้อน (ล.)	0.0000	0.6899	2.3084
High performance decolorants (HPD)	-	-	0.0062
High Performance Adsorbent (HPD)	-	-	0.0132
Filter Aid	-	-	0.0188
ขาออก			
น้ำตาลทรายขาวบริสุทธิ์(กก.)	56.6233	121.7553	15.6125
โมลาส (กก.)	-	42.0807	-
กากหม้อกรอง (กก.)	0.0034	5.8322	0.0008

กระบวนการที่ 4 การบรรจุน้ำตาลทรายขาว			
ขาเข้า			
น้ำตาลทรายขาว (กก.)	50.0000	71.7553	50.0000
กระสอบ PP (กก.)	0.0507	2745.3273	0.1457
ด้ายเย็บกระสอบ (กก.)	0.0017	2.9575	0.0009
ถุงพลาสติก PE (กก.)	0.0330	14.8054	0.0221
ขาออก			
น้ำตาลทรายบริสุทธิ์ (กก.)	50.0000	50.0000	50.0000
เศษบรรจุ (กก.)	-	-	0.0005

จากข้อมูลในตารางที่ 7-5 พบว่า กระบวนการผลิตน้ำตาลทราย 50 กิโลกรัม ของโรงงานผลิตน้ำตาลทรายที่ศึกษา ปริมาณอ้อยที่ใช้ในกระบวนการผลิตน้ำตาลทราย 50 กิโลกรัม โรงงานน้ำตาลจังหวัดอุดรธานีใช้อ้อยปริมาณ 431.9654 กิโลกรัม โรงงานน้ำตาลจังหวัดนครราชสีมาใช้อ้อยปริมาณ 459.8760 กิโลกรัม และโรงงานน้ำตาลจังหวัดบุรีรัมย์ใช้อ้อยปริมาณ 404.2691 กิโลกรัม เนื่องจากทั้ง 3 โรงงานของภาคตะวันออกเฉียงเหนือที่ศึกษามีขนาดและกำลังการผลิตที่แตกต่างกันอาจทำให้ประสิทธิภาพของเครื่องจักรในกระบวนการผลิตต่าง ๆ มีความแตกต่างกัน

3. การหาสัดส่วนผลิตภัณฑ์

การวิเคราะห์วอเตอร์ฟุตพริ้นท์ของการผลิตน้ำตาลทรายเขตภาคกลาง

การหาสัดส่วนผลิตภัณฑ์ในกระบวนการผลิตน้ำตาลทราย สัดส่วนผลิตภัณฑ์คำนวณได้ 2 ประเภท คือ 1) สัดส่วนผลิตภัณฑ์ทางทฤษฎี หาค่าโดยใช้ข้อมูลปริมาณผลิตภัณฑ์หลัก ผลิตภัณฑ์ร่วม และของเสียที่เกิดขึ้นทางทฤษฎี 2) สัดส่วนผลิตภัณฑ์ที่เกิดขึ้นจริง หาค่าโดยใช้ข้อมูลของโรงงานผลิตน้ำตาล คือข้อมูลปริมาณผลิตภัณฑ์หลัก ผลิตภัณฑ์ร่วม และของเสียที่เกิดขึ้น จนได้ผลิตภัณฑ์น้ำตาลทรายขาวบริสุทธิ์เข้าสู่กระบวนการบรรจุน้ำตาลโดยผลิตเป็นน้ำตาลทรายกระสอบละ 50 กิโลกรัม (ตารางที่ 7-6 และ 7-7)

ตารางที่ 7-6 สัดส่วนผลิตภัณฑ์ของโรงงานน้ำตาลในการผลิตน้ำตาลทรายดิบของโรงงานภาคกลาง

โรงงานน้ำตาล	สัดส่วนผลิตภัณฑ์ (กระบวนการ)					
	อ้อยสด และ อ้อยเผา (กก.)	การสกัดน้ำอ้อย (กก.)	ผลิตน้ำตาลทรายดิบ (กก.)	กรีนวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ (ลบ.ม.)	บลูวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ (ลบ.ม.)	เกรย์วอเตอร์ฟุตพริ้นท์ (ลบ.ม.)
จังหวัดกาญจนบุรี	525.4308	566.7489	20.5588	8.5012	46.473410	12.4685
จังหวัดราชบุรี	450.0450	496.1521	6.9557	7.4423	40.684473	10.9153
จังหวัดสุพรรณบุรี	541.2566	576.0051	50	8.6401	47.232422	12.6721

ตารางที่ 7-7 สัดส่วนผลิตภัณฑ์ของโรงงานน้ำตาลทรายในการผลิตน้ำตาลทรายขาวบริสุทธิ์ของโรงงานภาคกลาง

โรงงานน้ำตาล	สัดส่วนผลิตภัณฑ์				
	กระบวนการ				
	น้ำตาลทรายดิบ (กก.)	น้ำตาลทรายขาวบริสุทธิ์ (กก.)	กรีนวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ (ลบ.ม.)	บลูวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ (ลบ.ม.)	เกรย์วอเตอร์ฟุตพริ้นท์ (ลบ.ม.)
จังหวัดกาญจนบุรี	9.5877	56.6374	1.0259	5.4650	1.4573
จังหวัดราชบุรี	6.9557	5.0206	0.7443	3.9647	1.0573
จังหวัดสุพรรณบุรี	50	-	-	-	-

การวิเคราะห์วอเตอร์ฟุตพริ้นท์ของการผลิตน้ำตาลทรายเขตภาคตะวันออกเฉียงเหนือ

การหาสัดส่วนผลิตภัณฑ์ในกระบวนการผลิตน้ำตาลทราย สัดส่วนผลิตภัณฑ์คำนวณได้ 2 ประเภท คือ 1) สัดส่วนผลิตภัณฑ์ทางทฤษฎี หาค่าโดยใช้ข้อมูลปริมาณผลิตภัณฑ์หลัก ผลิตภัณฑ์ร่วม และของเสียที่เกิดขึ้นทางทฤษฎี 2) สัดส่วนผลิตภัณฑ์ที่เกิดขึ้นจริง หาค่าโดยใช้ข้อมูลของโรงงานผลิตน้ำตาล คือข้อมูลปริมาณผลิตภัณฑ์หลัก ผลิตภัณฑ์ร่วม และของเสียที่เกิดขึ้น จนได้ผลิตภัณฑ์น้ำตาลทรายขาวบริสุทธิ์เข้าสู่กระบวนการบรรจุน้ำตาลโดยผลิตเป็นน้ำตาลทรายกระสอบละ 50 กิโลกรัม (ตารางที่ 7-8 และ 7-9)

ตารางที่ 7-8 สัดส่วนผลิตภัณฑ์ของโรงงานน้ำตาลในการผลิตน้ำตาลทรายดิบของโรงงานภาคตะวันออกเฉียงเหนือ

โรงงานน้ำตาล	สัดส่วนผลิตภัณฑ์					
	กระบวนการ					
	อ้อยสด และอ้อยเผา (กก.)	การสกัดน้ำอ้อย (กก.)	ผลิตน้ำตาลทรายดิบ (กก.)	กรีนวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ (ลบ.ม.)	บลูวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ (ลบ.ม.)	เกรย์วอเตอร์ฟุตพริ้นท์ (ลบ.ม.)
จังหวัดอุดรธานี	431.9654	455.2500	78.3290	6.8287	37.3304	10.0155
จังหวัดนครราชสีมา	459.8760	461.0634	70.5393	6.9200	37.8071	10.1400
จังหวัดบุรีรัมย์	404.2691	402.2061	30.8426	6.0300	32.9809	8.8500

ตารางที่ 7-9 สัดส่วนผลิตภัณฑ์ของโรงงานน้ำตาลทรายในการผลิตน้ำตาลทรายขาวบริสุทธิ์ของโรงงานภาคตะวันออกเฉียงเหนือ

โรงงานน้ำตาล	สัดส่วนผลิตภัณฑ์				
	กระบวนการ				
	น้ำตาลทรายดิบ (กก.)	น้ำตาลทรายขาวบริสุทธิ์ (กก.)	กรีนวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ (ลบ.ม.)	บลูวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ (ลบ.ม.)	เกรย์วอเตอร์ฟุตพริ้นท์ (ลบ.ม.)
จังหวัดอุดรธานี	59.6034	50	6.3809	33.9739	9.0601
จังหวัดนครราชสีมา	70.5393	50	7.5512	40.2073	10.7221
จังหวัดบุรีรัมย์	17.0229	50	1.8206	9.7030	2.5904

4. การคำนวณปริมาณน้ำทางตรงและทางอ้อม

การวิเคราะห์วอเตอร์ฟุตพริ้นท์ของการผลิตน้ำตาลทรายเขตภาคกลาง

การประเมินวอเตอร์ฟุตพริ้นท์แบบไม่คิดรวมการได้มาของอ้อย เป็นการประเมินวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ของการผลิตน้ำตาล และไม่คิดรวมการปลูกอ้อยซึ่งต้องการประเมินวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ที่เกิดจากการใช้น้ำทางตรง

และทางอ้อมของโรงงานผลิตน้ำตาล กระบวนการผลิตที่ใช้น้ำในโรงงานน้ำตาล สามารถแบ่งออกเป็นการใช้น้ำทางตรงและการใช้น้ำทางอ้อม กระบวนการผลิตที่ใช้น้ำทางตรงได้แก่ กระบวนการสกัดน้ำอ้อย กระบวนการผลิตน้ำตาลทรายดิบ กระบวนการผลิตน้ำตาลทรายขาวบริสุทธิ์ และกระบวนการบรรจุน้ำตาล แต่กระบวนการที่กล่าวมานั้นไม่สามารถคำนวณค่าการใช้น้ำในแต่ละกระบวนการได้ ดังนั้นจึงใช้ค่าการใช้น้ำทั้งหมดของโรงงานผลิตน้ำตาล สำหรับการใช้น้ำทางอ้อมคำนวณจากปริมาณอ้อยสด อ้อยเผา สารเคมีและวัตถุดิบในกระบวนการต่าง ๆ แล้วนำมาคูณกับค่าวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ของแต่ละวัตถุดิบและกระบวนการ (ตารางที่ 7-10) จากข้อมูลตารางที่ 7-11 พบว่า การใช้น้ำทางตรงของกระบวนการผลิตน้ำตาลทรายไม่คิดรวมการได้มาของอ้อย ปริมาณการใช้น้ำทางตรงของแต่ละโรงงานน้ำตาลเฉลี่ย 82.8400 ลูกบาศก์เมตร/50 กิโลกรัมน้ำตาล หรือ 1.6568 ลูกบาศก์เมตรต่อน้ำตาล 1 กิโลกรัม สำหรับการใช้ทางอ้อมคำนวณจากปริมาณอ้อยสด อ้อยเผา สารเคมีและวัตถุดิบในกระบวนการต่าง ๆ แล้วนำมาคูณกับค่าวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ของแต่ละวัตถุดิบและกระบวนการ การใช้น้ำทางอ้อมของกระบวนการผลิตน้ำตาลทรายไม่คิดรวมการได้มาของอ้อย ปริมาณการใช้น้ำทางอ้อมของแต่ละโรงงานน้ำตาลเฉลี่ย 0.0098 ลูกบาศก์เมตร/50 กิโลกรัมน้ำตาล หรือ 0.0002 ลูกบาศก์เมตรต่อน้ำตาล 1 กิโลกรัม (ตารางที่ 7-12)

ตารางที่ 7-10 ค่าวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ของวัตถุดิบในกระบวนการ

ชนิด	วอเตอร์ฟุตพริ้นท์	หน่วย
Disodiumthio carbamade	0.1290	ลูกบาศก์เมตร/กิโลกรัม
Quaternary ammonium cpd.	0.1290	ลูกบาศก์เมตร/กิโลกรัม
กรดเกลือ	0.0014	ลูกบาศก์เมตร/กิโลกรัม
ปูนขาว	0.0032	ลูกบาศก์เมตร/กิโลกรัม
น้ำเกลือเข้มข้น 24%	0.0014	ลูกบาศก์เมตร/กิโลกรัม
แอลกอฮอล์	0.0031	ลูกบาศก์เมตร/กิโลกรัม
กระสอบ PP	0.0081	ลูกบาศก์เมตร/กิโลกรัม
ด้ายเย็บกระสอบ	0.0191	ลูกบาศก์เมตร/กิโลกรัม
ถุงพลาสติก PE	0.0089	ลูกบาศก์เมตร/กิโลกรัม
โซดาไฟน้ำ 50%	0.0151	ลูกบาศก์เมตร/กิโลกรัม
โซดาไฟเกล็ด	0.0151	ลูกบาศก์เมตร/กิโลกรัม
น้ำ	1.0000	ลูกบาศก์เมตร/กิโลกรัม
เรซิน	0.0240	ลูกบาศก์เมตร/กิโลกรัม
เศษบรรจุภัณฑ์	0.0002	ลูกบาศก์เมตร/กิโลกรัม
ไอน้ำ	0.0050	ลูกบาศก์เมตร/กิโลกรัม
ไฟฟ้า	0.0030	ลูกบาศก์เมตร/กิโลวัตต์-ชั่วโมง

ที่มา สำนักงานเศรษฐกิจอุตสาหกรรม, (2557)

ตารางที่ 7-11 ปริมาณน้ำทางตรงที่ใช้ในกระบวนการผลิตน้ำตาลทรายแบบไม่คิดรวมการได้มาของอ้อย ของโรงงานภาคกลาง

หน่วยงาน	ปริมาณน้ำทางตรง (ลูกบาศก์เมตร/50 กิโลกรัมน้ำตาล)
โรงงานน้ำตาลจังหวัดกาญจนบุรี	75.4975
โรงงานน้ำตาลจังหวัดราชบุรี	79.6598
โรงงานน้ำตาลจังหวัดสุพรรณบุรี	93.3626
เฉลี่ย	82.8400

ตารางที่ 7-12 ปริมาณน้ำทางอ้อมที่ใช้ในกระบวนการผลิตน้ำตาลทรายแบบไม่คิดรวมการได้มาของอ้อย ของโรงงานภาคกลาง

หน่วยงาน	ปริมาณน้ำทางอ้อม (ลูกบาศก์เมตร/50 กิโลกรัมน้ำตาล)
โรงงานน้ำตาลจังหวัดกาญจนบุรี	0.0178
โรงงานน้ำตาลจังหวัดราชบุรี	0.0018
โรงงานน้ำตาลจังหวัดสุพรรณบุรี	0.0000
เฉลี่ย	0.0098

การประเมินวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ของการผลิตน้ำตาลแบบคิดรวมซึ่งการได้มาของอ้อย นอกจากคิดรวมการได้มาของอ้อยแล้ว ยังคิดรวมการปลูกอ้อยด้วย สำหรับการคิดรวมการปลูกอ้อยนั้น ใช้ค่าวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ของการได้มาซึ่งอ้อยของประเทศไทยในการคำนวณ จากข้อมูลตารางที่ 7-13 พบว่า การใช้น้ำทางตรงของกระบวนการผลิตน้ำตาลทรายแบบคิดรวมการได้มาของอ้อย ปริมาณการใช้น้ำทางตรงของแต่ละโรงงานน้ำตาลเฉลี่ย 82.8400 ลูกบาศก์เมตร/50 กิโลกรัมน้ำตาล หรือ 1.6568 ลูกบาศก์เมตรต่อน้ำตาล 1 กิโลกรัม สำหรับกระบวนการใช้ทางอ้อมคำนวณจากปริมาณอ้อยสด อ้อยเผา สารเคมีและวัตถุดิบในกระบวนการต่าง ๆ แล้วนำมาคูณค่าวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ของแต่ละวัตถุดิบและกระบวนการ การใช้น้ำทางอ้อมของกระบวนการผลิตน้ำตาลทรายแบบคิดรวมการได้มาของอ้อย ปริมาณการใช้น้ำทางอ้อมของแต่ละโรงงานน้ำตาลเฉลี่ย 227.5164 ลูกบาศก์เมตร/50 กิโลกรัมน้ำตาล หรือ 4.5503 ลูกบาศก์เมตรต่อน้ำตาล 1 กิโลกรัม (ตารางที่ 7-14)

ตารางที่ 7-13 ปริมาณน้ำทางตรงที่ใช้ในกระบวนการผลิตน้ำตาลทรายแบบคิดรวมการได้มาของอ้อย ของโรงงานภาคกลาง

หน่วยงาน	ปริมาณน้ำทางตรง (ลูกบาศก์เมตร/50 กิโลกรัมน้ำตาล)
โรงงานน้ำตาลจังหวัดกาญจนบุรี	75.4975
โรงงานน้ำตาลจังหวัดราชบุรี	79.6598
โรงงานน้ำตาลจังหวัดสุพรรณบุรี	93.3626
เฉลี่ย	82.8400

ตารางที่ 7-14 ปริมาณน้ำทางอ้อมที่ใช้ในกระบวนการผลิตน้ำตาลทรายแบบคิดรวมการได้มาของอ้อย ของโรงงานภาคกลาง

หน่วยงาน	ปริมาณน้ำทางอ้อม (ลูกบาศก์เมตร/50 กิโลกรัมน้ำตาล)
โรงงานน้ำตาลจังหวัดกาญจนบุรี	236.4617
โรงงานน้ำตาลจังหวัดราชบุรี	202.5221
โรงงานน้ำตาลจังหวัดสุพรรณบุรี	243.5655
เฉลี่ย	227.5164

การวิเคราะห์วอเตอร์ฟุตพริ้นท์ของการผลิตน้ำตาลทรายเขตภาคตะวันออกเฉียงเหนือ

การประเมินวอเตอร์ฟุตพริ้นท์แบบไม่คิดรวมการได้มาของอ้อย เป็นการประเมินวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ของการผลิตน้ำตาล และไม่คิดรวมการปลูกอ้อยซึ่งต้องการประเมินวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ที่เกิดจากการใช้น้ำทางตรง

และทางอ้อมของโรงงานผลิตน้ำตาล กระบวนการผลิตที่ใช้น้ำในโรงงานน้ำตาล สามารถแบ่งออกเป็นการใช้น้ำทางตรงและการใช้น้ำทางอ้อม กระบวนการผลิตที่ใช้น้ำทางตรงได้แก่ กระบวนการสกัดน้ำอ้อย กระบวนการผลิตน้ำตาลทรายดิบ กระบวนการผลิตน้ำตาลทรายขาวบริสุทธิ์ และกระบวนการบรรจุน้ำตาล แต่กระบวนการที่กล่าวมานั้นไม่สามารถคำนวณค่าการใช้น้ำในแต่ละกระบวนการได้ ดังนั้นจึงใช้ค่าการใช้น้ำทั้งหมดของโรงงานผลิตน้ำตาล สำหรับการใช้น้ำทางอ้อมคำนวณจากปริมาณอ้อยสด อ้อยเผา สารเคมีและวัตถุดิบในกระบวนการต่าง ๆ แล้วนำมาคูณค่าวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ของแต่ละวัตถุดิบและกระบวนการ (ตารางที่ 7-10) จากตารางที่ 7-15 พบว่า การใช้น้ำทางตรงของกระบวนการผลิตน้ำตาลทรายไม่คิดรวมการได้มาของอ้อย ปริมาณการใช้น้ำทางตรงของแต่ละโรงงานน้ำตาลเฉลี่ย 76.2423 ลูกบาศก์เมตร/50 กิโลกรัมน้ำตาลทรายหรือ 1.5248 ลูกบาศก์เมตรต่อน้ำตาล 1 กิโลกรัม สำหรับการใช้น้ำทางอ้อมคำนวณจากปริมาณอ้อยสด อ้อยเผา สารเคมีและวัตถุดิบในกระบวนการต่าง ๆ แล้วนำมาคูณค่าวอเตอร์ฟุตพริ้นท์แต่ละวัตถุดิบและกระบวนการ การใช้น้ำทางอ้อมของกระบวนการผลิตน้ำตาลทรายไม่คิดรวมการได้มาของอ้อย การใช้น้ำทางอ้อมของแต่ละโรงงานน้ำตาลเฉลี่ย 0.0037 ลูกบาศก์เมตร/50 กิโลกรัมน้ำตาล หรือ 0.0007 ลูกบาศก์เมตรต่อน้ำตาล 1 กิโลกรัม (ตารางที่ 7-16)

ตารางที่ 7-15 ปริมาณน้ำทางตรงที่ใช้ในกระบวนการผลิตน้ำตาลทรายแบบไม่คิดรวมการได้มาของอ้อย ของโรงงานภาคตะวันออกเฉียงเหนือ

หน่วยงาน	ปริมาณน้ำทางตรง (ลูกบาศก์เมตร/50 กิโลกรัมน้ำตาล)
โรงงานน้ำตาลอุดรธานี	103.7386
โรงงานน้ำตาลจังหวัดนครราชสีมา	61.2302
โรงงานน้ำตาลจังหวัดบุรีรัมย์	63.7581
เฉลี่ย	76.2423

ตารางที่ 7-16 ปริมาณน้ำทางอ้อมที่ใช้ในกระบวนการผลิตน้ำตาลทรายแบบไม่คิดรวมการได้มาของอ้อย ของโรงงานภาคตะวันออกเฉียงเหนือ

หน่วยงาน	ปริมาณน้ำทางอ้อม (ลูกบาศก์เมตร/50 กิโลกรัมน้ำตาล)
โรงงานน้ำตาลอุดรธานี	0.0116
โรงงานน้ำตาลจังหวัดนครราชสีมา	0.0251
โรงงานน้ำตาลจังหวัดบุรีรัมย์	0.0035
เฉลี่ย	0.0037

การประเมินวอเตอร์ฟุตพริ้นท์การผลิตน้ำตาลแบบคิดรวมซึ่งการได้มาของอ้อยและรวมการปลูกอ้อยด้วย สำหรับการคิดรวมการปลูกอ้อย ใช้วอเตอร์ฟุตพริ้นท์ของการได้มาซึ่งอ้อยของประเทศไทยในการคำนวณ (สำนักงานเศรษฐกิจอุตสาหกรรม, 2557) จากตารางที่ 7-17 พบว่า การใช้น้ำทางตรงของกระบวนการผลิตน้ำตาลทรายแบบคิดรวมการได้มาของอ้อย ปริมาณการใช้น้ำทางตรงของแต่ละโรงงานน้ำตาลเฉลี่ย 76.2423 ลูกบาศก์เมตร/50 กิโลกรัมน้ำตาลหรือ 1.5248 ลูกบาศก์เมตรต่อน้ำตาล 1 กิโลกรัม สำหรับกระบวนการใช้ทางอ้อมคำนวณจากปริมาณอ้อยสด อ้อยเผา สารเคมีและวัตถุดิบในกระบวนการต่าง ๆ แล้วนำมาคูณค่าวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ของแต่ละวัตถุดิบและกระบวนการ การใช้น้ำทางอ้อมของกระบวนการผลิตน้ำตาลทรายแบบคิดรวมการได้มาของอ้อย ปริมาณการใช้น้ำทางอ้อมของแต่ละโรงงานน้ำตาลเฉลี่ย 201.9265 ลูกบาศก์เมตร/50 กิโลกรัมน้ำตาลหรือ 4.0385 ลูกบาศก์เมตรต่อน้ำตาล 1 กิโลกรัม (ตารางที่ 7-18)

ตารางที่ 7-17 ปริมาณน้ำทางตรงที่ใช้ในกระบวนการผลิตน้ำตาลทรายแบบคิดรวมการได้มาของอ้อย ของโรงงานภาคตะวันออกเฉียงเหนือ

หน่วยงาน	ปริมาณน้ำทางตรง (ลูกบาศก์เมตร/50 กิโลกรัมน้ำตาล)
โรงงานน้ำตาลอุดรธานี	103.7386
โรงงานน้ำตาลจังหวัดนครราชสีมา	61.2302
โรงงานน้ำตาลจังหวัดบุรีรัมย์	63.7581
เฉลี่ย	76.2423

ตารางที่ 7-18 ปริมาณน้ำทางอ้อมที่ใช้ในกระบวนการผลิตน้ำตาลทรายแบบคิดรวมการได้มาของอ้อย ของโรงงานภาคตะวันออกเฉียงเหนือ

หน่วยงาน	ปริมาณน้ำทางอ้อม (ลูกบาศก์เมตร/50 กิโลกรัมน้ำตาล)
โรงงานน้ำตาลอุดรธานี	194.3960
โรงงานน้ำตาลจังหวัดนครราชสีมา	229.4589
โรงงานน้ำตาลจังหวัดบุรีรัมย์	181.9246
เฉลี่ย	201.9265

5. การประเมินวอเตอร์ฟุตพริ้นท์การผลิตน้ำตาลทรายแบบไม่คิดรวมการได้มาของอ้อย (รูปแบบที่ 1)

การวิเคราะห์วอเตอร์ฟุตพริ้นท์ของการผลิตน้ำตาลทรายเขตภาคกลาง

การประเมินวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ไม่คิดรวมการได้มาของอ้อย เป็นการประเมินวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ของการผลิตน้ำตาล และไม่คิดรวมการปลูกอ้อยซึ่งต้องการประเมินวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ที่เกิดจากการใช้น้ำทางตรงและทางอ้อมของโรงงานผลิตน้ำตาล จากการคำนวณพบว่า ค่าวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ไม่คิดรวมการได้มาของอ้อยที่ได้มี

ค่าอยู่ในช่วง 75.5154-93.3626 ลูกบาศก์เมตร/50 กิโลกรัมน้ำตาลทราย (ตารางที่ 7-19) และค่าเฉลี่ยวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ไม่คิดรวมการได้มาของอ้อย 82.8466 ลูกบาศก์เมตร/50 กิโลกรัมน้ำตาลทราย

ตารางที่ 7-19 วอเตอร์ฟุตพริ้นท์ของการผลิตน้ำตาลทราย (ไม่คิดรวมการได้มาของอ้อย) ของโรงงานภาคกลาง

หน่วยงาน	วอเตอร์ฟุตพริ้นท์ของการผลิตน้ำตาลทราย (ลูกบาศก์เมตร/50 กิโลกรัมน้ำตาลทราย)
โรงงานน้ำตาลจังหวัดกาญจนบุรี	75.5154
โรงงานน้ำตาลจังหวัดราชบุรี	79.6617
โรงงานน้ำตาลจังหวัดสุพรรณบุรี	93.3626
เฉลี่ย	82.8466

การวิเคราะห์วอเตอร์ฟุตพริ้นท์ของการผลิตน้ำตาลทรายเขตภาคตะวันออกเฉียงเหนือ

การประเมินวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ไม่คิดรวมการได้มาของอ้อย เป็นการประเมินวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ของการผลิตน้ำตาล และไม่คิดรวมการปลูกอ้อยซึ่งต้องการประเมินวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ที่เกิดจากการใช้น้ำทางตรงและทางอ้อมของโรงงานผลิตน้ำตาล จากการคำนวณพบว่า ค่าวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ไม่คิดรวมการได้มาของอ้อยที่ได้มีค่า 63.7616 -103.7502 ลูกบาศก์เมตร/50 กิโลกรัมน้ำตาลทราย (ตารางที่ 7-20) และมีค่าเฉลี่ยวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ไม่คิดรวมการได้มาของอ้อย 74.3407 ลูกบาศก์เมตร/50 กิโลกรัมน้ำตาลทราย

ตารางที่ 7-20 วอเตอร์ฟุตพริ้นท์ของการผลิตน้ำตาลทราย (ไม่คิดรวมการได้มาของอ้อย) ของโรงงานภาคตะวันออกเฉียงเหนือ

หน่วยงาน	วอเตอร์ฟุตพริ้นท์ของการผลิตน้ำตาลทราย (ลูกบาศก์เมตร/50 กิโลกรัมน้ำตาลทราย)
โรงงานน้ำตาลอุดรธานี	103.7502
โรงงานน้ำตาลจังหวัดนครราชสีมา	83.7450
โรงงานน้ำตาลจังหวัดบุรีรัมย์	63.7616
เฉลี่ย	74.3407

6. การประเมินวอเตอร์ฟุตพริ้นท์การผลิตน้ำตาลทรายแบบคิดรวมการได้มาของอ้อย (รูปแบบที่ 2)

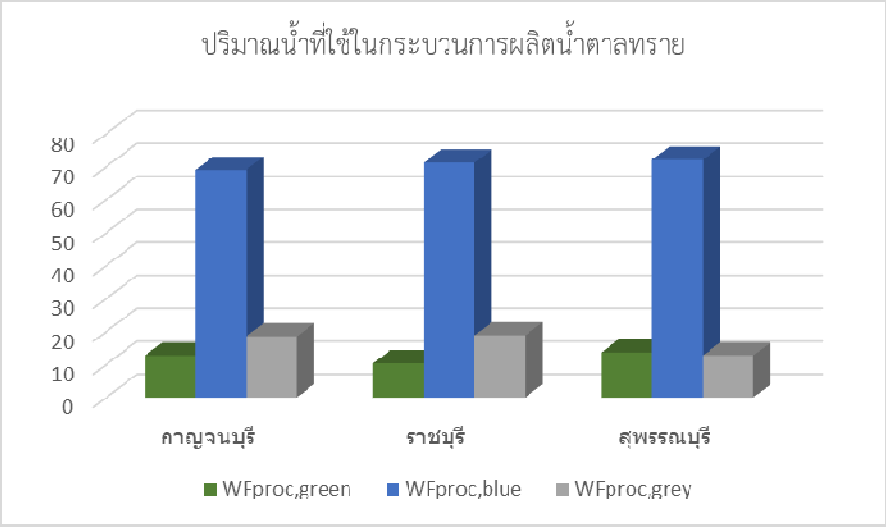
การวิเคราะห์วอเตอร์ฟุตพริ้นท์ของการผลิตน้ำตาลทรายเขตภาคกลาง

การประเมินวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ของการผลิตน้ำตาลคิดรวมการได้มาของอ้อย และคิดรวมการปลูกอ้อยด้วย การปลูกอ้อยใช้ค่าวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ของการได้มาซึ่งอ้อยของประเทศไทยในการคำนวณ (สำนักงานเศรษฐกิจอุตสาหกรรม, 2557) วอเตอร์ฟุตพริ้นท์ของการการผลิตน้ำตาล (คิดรวมการได้มาของอ้อย) หลังคำนวณพบว่า มีค่า 282.1819-336.9281 ลูกบาศก์เมตร/50 กิโลกรัมน้ำตาลทราย (ตารางที่ 7-21) และค่าเฉลี่ยวอเตอร์ฟุตพริ้นท์คิดรวมการได้มาของอ้อย 310.3564 ลูกบาศก์เมตร/50 กิโลกรัมน้ำตาลทราย

ตารางที่ 7-21 วอเตอร์ฟุตพริ้นท์ของการผลิตน้ำตาลทราย (คิดรวมการได้มาของอ้อย) ของโรงงานภาคกลาง

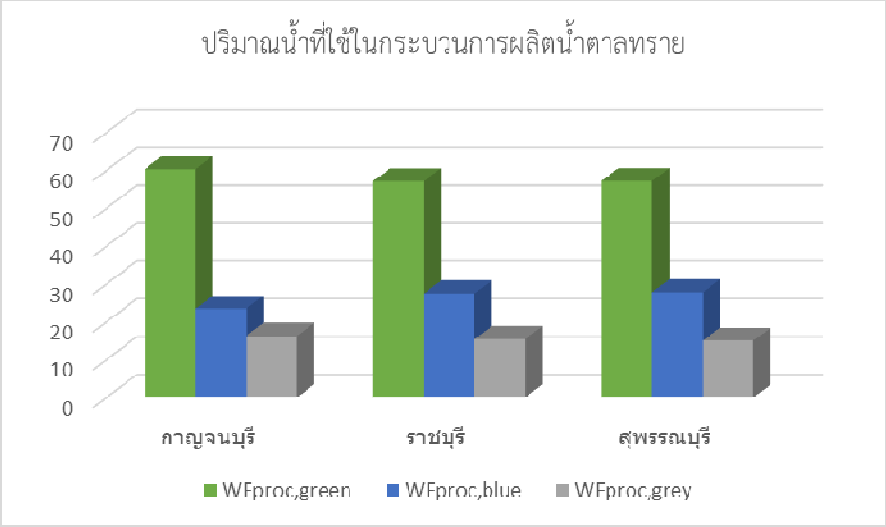
หน่วยงาน	วอเตอร์ฟุตพริ้นท์ของการผลิตน้ำตาลทราย (ลูกบาศก์เมตร/50 กิโลกรัมน้ำตาลทราย)
โรงงานน้ำตาลจังหวัดกาญจนบุรี	311.9592
โรงงานน้ำตาลจังหวัดราชบุรี	282.1819
โรงงานน้ำตาลจังหวัดสุพรรณบุรี	336.9281
เฉลี่ย	310.3564

เมื่อพิจารณาจากปริมาณน้ำที่ใช้ในกระบวนการผลิตน้ำตาลทรายของโรงงานน้ำตาลทรายเขตภาคกลาง พบว่าการผลิตน้ำตาลทรายโดยไม่คิดรวมการได้มาซึ่งผลผลิตอ้อย การผลิตน้ำตาลทราย 50 กิโลกรัม ใช้ปริมาณน้ำ 82.8466 ลูกบาศก์เมตร/50 กิโลกรัมน้ำตาลทราย ประกอบด้วยกรีนวอเตอร์เฉลี่ยร้อยละ 12.1565 บลูวอเตอร์เฉลี่ยร้อยละ 70.7163 และเกรย์วอเตอร์เฉลี่ยร้อยละ 16.6314 (ภาพที่ 7-1)



ภาพที่ 7-1 วอเตอร์ฟุตพริ้นท์ของการผลิตน้ำตาลทรายแบบไม่คิดรวมการได้มาซึ่งผลผลิตของโรงงานภาคกลาง

สำหรับปริมาณน้ำที่ใช้ในกระบวนการผลิตน้ำตาลทรายของโรงงานน้ำตาลทรายเขตภาคกลาง พบว่าการผลิตน้ำตาลทรายโดยคิดรวมการได้มาซึ่งผลผลิตอ้อย การผลิตน้ำตาลทราย 50 กิโลกรัม ใช้ปริมาณน้ำ 310.3564 ลูกบาศก์เมตร/50 กิโลกรัมน้ำตาลทราย ประกอบด้วยกรีนวอเตอร์เฉลี่ยร้อยละ 58.2101 บลูวอเตอร์เฉลี่ยร้อยละ 26.2337 และเกรย์วอเตอร์เฉลี่ยร้อยละ 15.5561 (ภาพที่ 7-2)



ภาพที่ 7-2 วอเตอร์ฟุตพริ้นท์ของการผลิตน้ำตาลทรายแบบคิดรวมการได้มาซึ่งผลผลิต

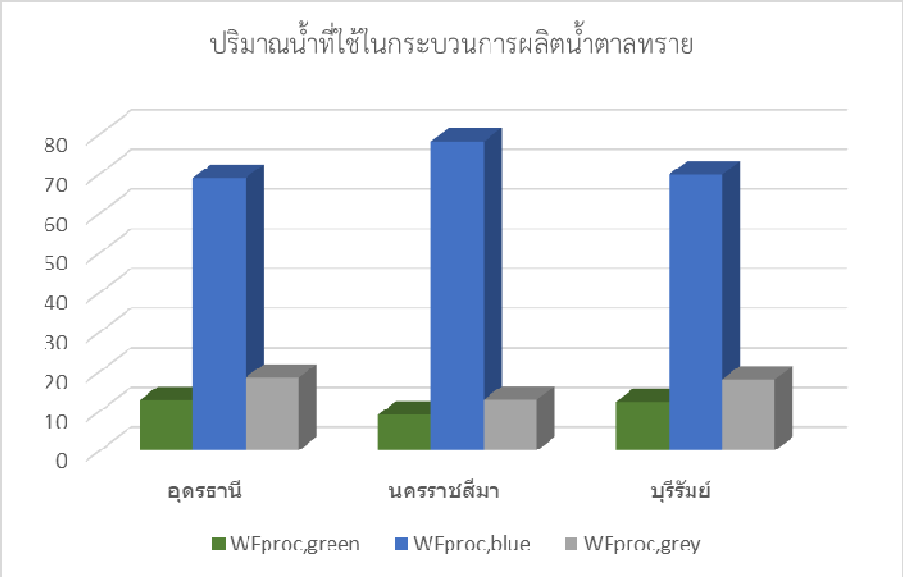
การวิเคราะห์วอเตอร์ฟุตพริ้นท์ของการผลิตน้ำตาลทรายเขตภาคตะวันออกเฉียงเหนือ

การประเมินวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ของการผลิตน้ำตาล นอกจากคิดรวมการได้มาของอ้อย แล้วยังคิดรวมการปลูกอ้อยด้วย สำหรับการคิดรวมการปลูกอ้อยนั้น ใช้ค่าวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ของการได้มาซึ่งอ้อยของประเทศไทยในการคำนวณ (สำนักงานเศรษฐกิจอุตสาหกรรม, 2557) ค่าวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ของการการผลิตน้ำตาล (คิดรวมการได้มาของอ้อย) หลังจากการคำนวณพบว่า มีค่า 245.6827-298.1347 ลูกบาศก์เมตร/50 กิโลกรัมน้ำตาลทราย (ตารางที่ 7-22) และมีค่าเฉลี่ยวอเตอร์ฟุตพริ้นท์คิดรวมการได้มาของอ้อย 278.1689 ลูกบาศก์เมตร/50 กิโลกรัมน้ำตาลทราย

ตารางที่ 7-22 วอเตอร์ฟุตพริ้นท์ของการผลิตน้ำตาลทราย (คิดรวมการได้มาของอ้อย) ของโรงงานภาคตะวันออกเฉียงเหนือ

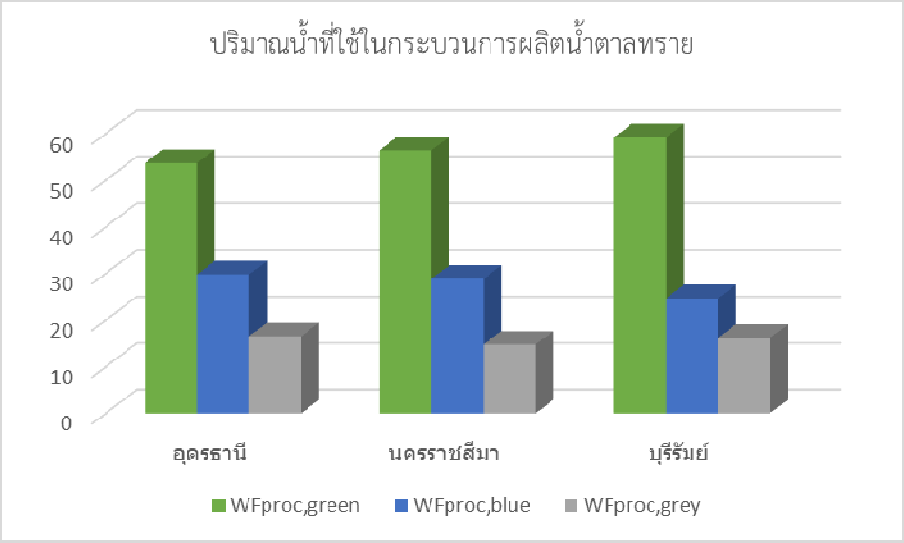
หน่วยงาน	วอเตอร์ฟุตพริ้นท์ของการผลิตน้ำตาลทราย (ลูกบาศก์เมตร/50 กิโลกรัมน้ำตาลทราย)
โรงงานน้ำตาลอุดรธานี	298.1347
โรงงานน้ำตาลจังหวัดนครราชสีมา	290.6892
โรงงานน้ำตาลจังหวัดบุรีรัมย์	245.6827
เฉลี่ย	278.1689

เมื่อพิจารณาจากปริมาณน้ำที่ใช้ในกระบวนการผลิตน้ำตาลทรายของโรงงานน้ำตาลทรายเขตภาคตะวันออกเฉียงเหนือ พบว่าการผลิตน้ำตาลทรายโดยไม่คิดรวมการได้มาซึ่งผลผลิตอ้อย การผลิตน้ำตาลทราย 50 กิโลกรัม ใช้ปริมาณน้ำ 83.7523 ลูกบาศก์เมตร/50 กิโลกรัมน้ำตาลทราย ประกอบด้วยกรีนวอเตอร์เฉลี่ยร้อยละ 11.3598 บลูวอเตอร์เฉลี่ยร้อยละ 72.2558 และเกรย์วอเตอร์เฉลี่ยร้อยละ 16.3845 (ภาพที่ 7-3)



ภาพที่ 7-3 วอเตอร์ฟุตพริ้นท์ของการผลิตน้ำตาลทรายแบบไม่คิดรวมการได้มาซึ่งผลผลิตอ้อยของโรงงานภาคตะวันออกเฉียงเหนือ

สำหรับปริมาณน้ำที่ใช้ในกระบวนการผลิตน้ำตาลทรายของโรงงานน้ำตาลทรายเขตภาคตะวันออกเฉียงเหนือ พบว่าการผลิตน้ำตาลทรายโดยคิดรวมการได้มาซึ่งผลผลิตอ้อย การผลิตน้ำตาลทราย 50 กิโลกรัม ใช้ปริมาณน้ำ 278.1689 ลูกบาศก์เมตร/50 กิโลกรัมน้ำตาลทราย ประกอบด้วยกรีนวอเตอร์เฉลี่ยร้อยละ 56.4088 บลูวอเตอร์เฉลี่ยร้อยละ 27.7629 และเกรย์วอเตอร์เฉลี่ยร้อยละ 15.8282 (ภาพที่ 7-4)



ภาพที่ 7-4 วอเตอร์ฟุตพริ้นท์ของการผลิตน้ำตาลทรายแบบคิดรวมการได้มาซึ่งผลผลิตอ้อยของโรงงานภาคตะวันออกเฉียงเหนือ

สรุปผลการวิจัย และข้อเสนอแนะ

1. โรงงานผลิตน้ำตาลทรายที่ศึกษาในเขตภาคกลางใช้ปริมาณอ้อยเฉลี่ย 505.5774 กิโลกรัมในการผลิตน้ำตาลทราย 50 กิโลกรัม หรือ 1 กิโลกรัมน้ำตาลทราย ใช้อ้อยเฉลี่ย 10.1115 กิโลกรัม โดยโรงงานน้ำตาลทรายจังหวัดกาญจนบุรีใช้อ้อย 525.4308 กิโลกรัม โรงงานน้ำตาลทรายจังหวัดราชบุรีใช้อ้อย 450.0450 กิโลกรัม และโรงงานน้ำตาลทรายจังหวัดสุพรรณบุรีใช้อ้อย 541.2566 กิโลกรัม ขณะที่โรงงานผลิตน้ำตาลทรายที่ศึกษาในเขตภาคตะวันออกเฉียงเหนือใช้อ้อยเฉลี่ย 432.0368 กิโลกรัมในการผลิตน้ำตาลทราย 50 กิโลกรัม หรือ 1 กิโลกรัมน้ำตาลทราย ใช้ปริมาณอ้อยเฉลี่ย 8.6407 กิโลกรัม โดยโรงงานน้ำตาลทรายจังหวัดอุดรธานีใช้อ้อย 431.9654 กิโลกรัม โรงงานน้ำตาลทรายจังหวัดนครราชสีมาใช้อ้อย 459.8760 กิโลกรัม และโรงงานน้ำตาลทรายจังหวัดบุรีรัมย์ใช้อ้อย 404.2691 กิโลกรัม

2. การผลิตน้ำตาลทรายโดยไม่คิดรวมการได้มาซึ่งผลผลิตอ้อยของโรงงานผลิตน้ำตาลทรายที่ศึกษาในเขตภาคกลาง 50 กิโลกรัม ใช้ปริมาณน้ำ 82.8466 ลูกบาศก์เมตร/50 กิโลกรัมน้ำตาลทราย หรือการผลิตน้ำตาลทราย 1 กิโลกรัม ใช้น้ำ 1.6569 ลูกบาศก์เมตร การผลิตน้ำตาลทรายโดยคิดรวมการได้มาซึ่งผลผลิตอ้อย การผลิตน้ำตาลทราย 50 กิโลกรัม ใช้น้ำ 310.3564 ลูกบาศก์เมตร/50 กิโลกรัมน้ำตาลทราย หรือการผลิตน้ำตาลทราย 1 กิโลกรัม ใช้น้ำ 6.2071 ลูกบาศก์เมตร ขณะที่โรงงานผลิตน้ำตาลทรายที่ศึกษาในเขตภาคตะวันออกเฉียงเหนือผลิตน้ำตาลทรายโดยไม่คิดรวมการได้มาซึ่งผลผลิต 50 กิโลกรัม ใช้น้ำ 83.7523 ลูกบาศก์เมตร/50 กิโลกรัมน้ำตาลทราย หรือการผลิตน้ำตาลทราย 1 กิโลกรัม ใช้น้ำ 1.6750 ลูกบาศก์เมตร การผลิตน้ำตาลทรายโดยคิดรวมการได้มาซึ่งผลผลิตอ้อย การผลิตน้ำตาลทราย 50 กิโลกรัม ใช้น้ำ 278.1689 ลูกบาศก์เมตร/50 กิโลกรัมน้ำตาลทราย หรือการผลิตน้ำตาลทราย 1 กิโลกรัม ใช้น้ำ 5.5633 ลูกบาศก์เมตร

บรรณานุกรม

กริยาพร เทพรัตน์. 2548. ต้นทุนและผลตอบแทนในการปลูกอ้อยเพื่อส่งโรงงานอุตสาหกรรมในจังหวัดอุดรธานี. วิทยานิพนธ์ปริญญาบัญชีมหาบัณฑิต. มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.

พงศ์เทพ สุวรรณวารี. 2557. วอเตอร์ฟุตพริ้นท์ของการผลิตน้ำตาลทรายขาวในภาคตะวันออกเฉียงเหนือตอนล่างของประเทศไทย กรณีศึกษา: จังหวัดนครราชสีมา ชัยภูมิ บุรีรัมย์ และสุรินทร์. รายงานการวิจัย. มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี.

สัญชัย หุ่นดี. 2548. การกำหนดปริมาณและรอบการให้น้ำชลประทานในการปลูกอ้อย โดยใช้โปรแกรม CROPWAT ในจังหวัดชลบุรี. เอกสารวิชาการ. ส่วนวิจัยและวินิจฉัยคุณภาพดิน. กรมพัฒนาที่ดิน.

สำนักงานเศรษฐกิจอุตสาหกรรม. 2557. แนวทางการประเมิน Water Footprint ผลิตภัณฑ์สำหรับอุตสาหกรรมการผลิตแป้งมันสำปะหลัง ข้าวโพดหวาน และน้ำตาลทราย. หนังสือเผยแผ่ทางวิชาการ. สถาบันอาหาร. สำนักงานเศรษฐกิจอุตสาหกรรม.

สำนักงานที่ปรึกษาการเกษตรต่างประเทศ ประจำสหภาพยุโรป. 2558. Water footprint คืออะไร?, สืบค้นเมื่อ 9 สิงหาคม 2562. จาก. http://www.oae.go.th/download/climate_change/water_footprint.pdf

สำนักงานคณะกรรมการอ้อยและน้ำตาลทราย. 2559. สำนักงานประชาคมเศรษฐกิจอาเซียน (AEC) และผลกระทบต่ออุตสาหกรรมอ้อยและน้ำตาลทรายของไทย. 5 หน้า. http://www.ocsb.go.th/upload/ warning/fileupload/2899-6464.pdf.

สำนักงานคณะกรรมการอ้อยและน้ำตาลทราย. 2560. รายงานพื้นที่ปลูกอ้อยปีการผลิต 2559/60. 127 หน้า.

สำนักงานคณะกรรมการอ้อยและน้ำตาลทราย. 2561. รายงานการผลิตน้ำตาลทรายของโรงงานน้ำตาลทั่วประเทศ ประจำปีการผลิต 2560/2561 ฉบับปิดหีบ. http://www.ocsb.go.th. สืบค้นเมื่อวันที่ 15 สิงหาคม 2561.

Hoekstra, AY, Chapagain, AK, Aldaya, MM, and Mekonnen , MM, 2011. The Water Footprint Assessment Manual. TJ International Ltd, Padstow, Cornwall.

UNICEF and World Health Organization. 2012. Progress on drinking water and sanitation: Joint Monitoring Programme update 2012. p 1-58.