



รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์

โครงการ “การจัดการธาตุอาหารและน้ำตามความต้องการของพุทรา
อย่างแม่นยำ”

Mineral nutrient and water managements by precisely
under requirement of jujube

โดย

รศ.ดร. สุภัทร์ อิศรางกูร ณ อยุธยา (หัวหน้าโครงการ)

อ.ดร. รำไพ นามพิลา

นายสมยศ มีทา

สาขาวิชาพืชสวน คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น

มิถุนายน 2563

สัญญาเลขที่ RDG6220003

โครงการ “การจัดการธาตุอาหารและน้ำตามความต้องการของพุทรา
อย่างแม่นยำ”

Mineral nutrient and water managements by precisely
under requirement of jujube

โดย

รศ.ดร. สุภัทร์ อิศรางกูร ณ อยุธยา (หัวหน้าโครงการ)

อ.ดร. รำไพ นามพิลา

นายสมยศ มีทา

สาขาวิชาพืชสวน คณะเกษตรศาสตร์

มหาวิทยาลัยขอนแก่น

เครือข่ายวิจัยพัฒนาและนำใช้เกษตรแม่นยำ

สนับสนุนโดย สำนักงานคณะกรรมการส่งเสริมวิทยาศาสตร์ วิจัยและนวัตกรรม (สกสว.)

(ความเห็นในรายงานนี้เป็นของนักวิจัย สกสว. ไม่จำเป็นต้องเห็นด้วยเสมอไป)

บทสรุปสำหรับผู้บริหาร

พุทราบ้านโนน ถือเป็นผลไม้เศรษฐกิจที่สำคัญของจังหวัดกาฬสินธุ์ ได้รับการรับรองคุณภาพ Q และ Kalasin Food Safety (KS) โดยพันธุ์พุทราที่เกษตรกรนิยมปลูกในพื้นที่นี้ คือ พุทราน้ำจืด การผลิตของพุทราบ้านโนน มีปัญหาต่างๆ หลายด้าน ตั้งแต่ระบบการผลิต ไปจนถึงการตลาด อีกทั้งเกษตรกรมีการใช้เทคโนโลยีและการจัดการที่หลากหลายแตกต่างกัน ทั้งรูปแบบของโรงเรือน การตัดแต่งกิ่ง การไถพรวน การเก็บเกี่ยวและการจัดการหลังเก็บเกี่ยว โดยเฉพาะการจัดการธาตุอาหาร และการจัดการน้ำ ซึ่งถือได้ว่าเป็นปัจจัยที่สำคัญปัจจัยหนึ่งในการผลิตพุทราให้มีคุณภาพดี ซึ่งปัจจัยทั้งสองนี้มีผลโดยตรงต่อปริมาณและคุณภาพของผลผลิต ดังนั้น ถ้าเกษตรกรมีการจัดการธาตุอาหารและน้ำได้ตรงตามความต้องการของพุทราแล้ว น่าจะส่งเสริมให้ผลิตผลมีคุณภาพดี ซึ่งเป็นปัจจัยหนึ่งที่ทำให้พุทราสามารถจำหน่ายในตลาดได้ดีขึ้น โครงการวิจัยนี้ มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาวิจัยเกี่ยวกับปริมาณธาตุอาหารที่ติดไปกับผลผลิต ใบ และกิ่งของพุทรา และอัตราการคายน้ำของพุทราบ้านโนน เพื่อใช้เป็นแนวทางในการพัฒนาระบบการจัดการธาตุอาหาร และระบบการจัดการน้ำที่เหมาะสมสำหรับพุทราที่ผลิตในพื้นที่บ้านโนน อำเภอกมลาไสย จังหวัดกาฬสินธุ์ โดยการดำเนินงานวิจัยแบบออกเป็น 2 ส่วน คือ ระบบการจัดการธาตุอาหาร และระบบการจัดการน้ำ ซึ่งมีรายละเอียด ดังนี้

ส่วนที่ 1 การจัดการธาตุอาหารตามความต้องการของพุทราอย่างแม่นยำ ได้ดำเนินการในช่วงรอบการผลิตปี 2561/2562 ระหว่างเดือนธันวาคม 2561 ถึงเดือนมีนาคม 2562 ในแปลงเกษตรกรจำนวน 5 ราย โดยการดำเนินงานแบ่งออกเป็น 3 ส่วนงานที่สำคัญ คือ ทำการศึกษาข้อมูลพื้นฐานของการให้ผลผลิตแต่ละสวน ทำการศึกษาคูณสมบัติดินพื้นฐานของแต่ละสวน และทำการประเมินปริมาณธาตุอาหารในใบ กิ่ง และผล ของพุทรา เพื่อใช้เป็นแนวทางในการจัดการธาตุอาหารของพุทราตามการนำธาตุอาหารออกจากแปลงไปกับผลผลิต (crop removal) โดยการศึกษาข้อมูลพื้นฐานของการให้ผลผลิต พบว่า ผลผลิตของพุทราในสวนเกษตรกรตัวอย่างมีความแปรปรวนตามลักษณะการดูแลของเกษตรกร โดยมีผลผลิตอยู่ในช่วง 70-142 กิโลกรัมต่อต้น และพบว่าต้นพุทราที่มีใบในทรงพุ่มมาก ส่งผลให้มีปริมาณผลผลิตต่อต้นเพิ่มขึ้นตามจำนวนใบ ดังนั้นการเพิ่มผลผลิตต่อต้นต้องกระตุ้นให้พุทรามีการแทงยอดใหม่เพิ่มขึ้น เนื่องด้วยการออกดอกของพุทราเกิดขึ้นพร้อมกับยอดใหม่ที่ต้นพุทรามีการสร้างขึ้น สำหรับการเก็บข้อมูลคุณสมบัติดิน ดำเนินการเก็บตัวอย่างดินในเดือนธันวาคม 2561 และเดือนมีนาคม 2562 ที่ระดับความลึก 0-20 และ 20-40 เซนติเมตร เพื่อทำการวิเคราะห์คุณสมบัติดิน พบว่า ดินโดยส่วนใหญ่คุณลักษณะดินอยู่ในเกณฑ์ที่ดี แต่มีบางส่วนที่มีดินเป็นกรดจัด โดยมีค่าความเป็นกรดต่างของดิน (pH) ต่ำกว่า 4.5 รวมทั้งมีปริมาณโบรอนในดินต่ำ ส่งผลให้การติดผลน้อย และผลที่ได้มีคุณภาพผลไม่ดี (ตกเกรด)

การศึกษาระดับธาตุอาหารในชิ้นส่วนพืชเพื่อใช้ในการประเมินปริมาณธาตุอาหารในชิ้นส่วนต่างๆ แบ่งออกเป็น 3 ส่วน คือ ใบ กิ่ง และผล โดยใบทำการเก็บตัวอย่างในต่อเนื่องเดือนละ 1 ครั้ง ระหว่างเดือนธันวาคม 2561 – มีนาคม 2562 ส่วนธาตุอาหารในกิ่งทำการเก็บตัวอย่างลำต้นและกิ่งในช่วงที่เกษตรกรทำการตัดแต่งพุทรา (เดือนมีนาคม) โดยแต่ละสวนทำการเก็บตัวอย่างลำต้นและกิ่งแยกต้น สวนละ 5 ต้น โดยแต่ละต้นแบ่งกิ่งออกเป็น 3 ขนาด คือ กิ่งขนาดเล็ก (เส้นผ่าศูนย์กลาง <1.5 cm), กิ่งขนาดกลาง

(เส้นผ่าศูนย์กลาง 1.5-3.0 cm) และกิ่งขนาดใหญ่ (เส้นผ่าศูนย์กลาง >3.0 cm) นำมาอบแห้ง เพื่อวิเคราะห์ธาตุอาหารเช่นเดียวกับใบ ส่วนผล ทำการเก็บตัวอย่างผลตามการแบ่งตามชั้นคุณภาพ ได้แก่ เกรด A (น้ำหนักสด 27- 40 g), B (น้ำหนักสด 21-27 g) และตกเกรด (น้ำหนักสด <20 g) โดยแต่ละต้นจะทำการสุ่มเก็บตัวอย่างชั้นคุณภาพละ 5 ผล เพื่อวิเคราะห์ปริมาณธาตุอาหารเช่นเดียวกับใบและกิ่ง ซึ่งจากการศึกษาพบว่า ใบมีความเข้มข้นของธาตุอาหารในเนื้อเยื่อมากที่สุด ส่วนกิ่งมีความเข้มข้นธาตุอาหารในเนื้อเยื่อน้อยที่สุด ดังแสดงในตารางที่ 1 ซึ่งถ้าเกษตรกรทราบน้ำหนักของชิ้นส่วนพืชที่ถูกนำออกจากแปลง เกษตรกรสามารถที่จะประเมินปริมาณธาตุอาหารที่ต้นที่ถูกนำออกจากแปลงได้ โดยนำค่าความเข้มข้นธาตุอาหารในตารางที่ 1 ไปทำการคำนวณกับน้ำหนักของชิ้นส่วนต่างๆ ของพืชที่ถูกนำออกจากแปลงปลูก เพื่อนำไปเป็นแนวทางในการให้ปุ๋ยเพื่อชดเชยปริมาณธาตุอาหารที่ถูกนำออกโดยผลผลิต ทำให้ไม่เกิดการให้ธาตุอาหารมากเกินไปจนความจำเป็น พืชมีความสมบูรณ์เนื่องจากได้รับธาตุอาหารอย่างสมดุล ช่วยลดต้นทุนทางด้านปุ๋ยของเกษตรกร รวมถึงลดผลกระทบกับสิ่งแวดล้อมจากการให้ปุ๋ยมากเกินไปจนความจำเป็นได้

ตารางที่ 1 ความเข้มข้นของธาตุอาหารต่างๆ ในแต่ละชิ้นส่วนพืช เพื่อใช้ในการประเมินปริมาณธาตุอาหารในแต่ละชิ้นส่วนพืช

ส่วนของพืช	Nutrient concentration (mg/100g DW)				
	N	P	K	Ca	B
ใบ	3,680.40	204.00	2,089.60	1,564.80	2.05
กิ่งใหญ่	557.70	69.77	827.80	894.33	0.80
กิ่งกลาง	465.01	99.49	880.89	962.00	0.90
กิ่งเล็ก	653.26	159.96	951.36	906.00	0.97
ผล	1,300.92	53.50	1,364.65	81.73	1.33

สำหรับการศึกษาในรอบการผลิตปี 2561/2562 ซึ่งพบว่าสวนที่มีการจัดการที่ดีมาก มีผลผลิตพุทราประมาณ 140 กิโลกรัมต่อต้น มี N, P, K, Ca ที่ติดไปกับผลผลิต รวมทั้งใบและกิ่งที่มีการตัดแต่งกิ่งเท่ากับ 359.23, 22.43, 362.71 และ 119.83 กรัม/ต้น ตามลำดับ ส่วนธาตุ B ที่ติดมากับชิ้นส่วนต่างๆ ของพืช เท่ากับ 356.68 มิลลิกรัม/ต้น

ส่วนที่ 2 การจัดการน้ำตามความต้องการของพุทราอย่างแม่นยำ ทำการคัดเลือกสวนพุทราจำนวน 3 สวน ซึ่งอยู่ในอำเภอดำรงวิทยะ จังหวัดกาฬสินธุ์ โดยแต่ละสวนทำการคัดเลือกต้นพุทราจำนวน 3 ต้น การดำเนินงานวิจัยในส่วนนี้ทำการศึกษา 2 รอบปีของการผลิตพุทรา คือ รอบปีการผลิตที่ 1 (2561/2562) ติดตั้งเครื่องมือในช่วงเดือนมกราคม – มีนาคม 2562 และในรอบปีการผลิตที่ 2 ทำการติดตั้งเครื่องมือในช่วงเดือนกรกฎาคม 2562 – กุมภาพันธ์ 2563 (อาจมีความแตกต่างของช่วงเวลาในแต่ละสวน) การศึกษาครั้งนี้มีการเก็บข้อมูล 3 ชนิด ได้แก่ อัตราการคายน้ำของพุทรา ความชื้นในดิน และสภาพอากาศ โดยการวัดอัตราการคายน้ำของพุทรา ทำการติดตั้งหัวตรวจวัดการไหลของน้ำภายในต้นพืช (sap flow

probe) ที่โคนต้นหลักของลำต้นที่เกิดใหม่หลังจากตัดแต่งกิ่ง สูงจากพื้นดินประมาณ 100 เซนติเมตร โดยใช้หัวตรวจวัดแบบ Granier เก็บข้อมูลทุก 30 นาที ตามวิธี transient thermal dissipation method ส่วนความชื้นในดิน ทำการเก็บข้อมูลความชื้นดินรายครึ่งชั่วโมงเช่นเดียวกับการเก็บข้อมูลการคายน้ำของพุทรา ด้วยหัวตรวจวัดความชื้นดินรุ่น CS616 Water Content Reflectometer (Campbell Scientific, Leicester, UK) ทำการติดตั้งที่ดินห่างจากลำต้นพุทราประมาณ 80-100 เซนติเมตร เก็บข้อมูลทั้งอัตราการคายน้ำ และความชื้นดิน ด้วย Datalogger (CR1000, Campbell Scientific, Leicester, UK) ส่วนการเก็บข้อมูลสภาพอากาศ ใช้เครื่องตรวจอากาศขนาดเล็ก (U23 Pro v2 Temperature/Relative Humidity Data Logger-U23-001, Bourne, MA) บันทึกข้อมูลอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ทุก 30 นาที ทำการคำนวณค่าการขาดความดันไอน้ำของอากาศ (vapor pressure deficit, VPD) จากข้อมูลอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ที่ทำกรบันทึกเครื่องตรวจอากาศขนาดเล็ก

ผลการศึกษา พบว่าอัตราการคายน้ำรายวันของพุทรามีความผันแปรตามสภาพอากาศ และจำนวนใบในทรงพุ่ม โดยพุทราที่มีอัตราการคายน้ำในช่วงดินมีความชื้นสูงประมาณ 10-20 ลิตร/ต้น/วัน ส่วนการพัฒนาแบบจำลองความต้องการน้ำของพุทรา ได้ดำเนินการโดยใช้ความสัมพันธ์ของค่าการขาดความดันไอน้ำของอากาศสูงสุดในรอบวัน (maximum vapor pressure deficit, VPD_{max}) และอัตราการคายน้ำสูงสุดในรอบวัน (maximum sap flux density, J_{s_max}) และคำนวณอัตราการคายน้ำรายวันกับพื้นที่หน้าตัดของลำต้น ซึ่งผลคือได้อัตราการคายน้ำรายวัน (tree transpiration, E_t) ของต้นพุทรา พบว่า ความแม่นยำของแบบจำลองที่พัฒนาขึ้นยังขาดความสมบูรณ์ โดยสาเหตุส่วนหนึ่ง คือ การผันแปรของจำนวนใบในทรงพุ่ม ซึ่งควรมีการพิจารณาการเพิ่มตัวแปรของจำนวนใบในทรงพุ่มในแบบจำลองด้วย อย่างไรก็ตามแบบจำลองดังกล่าวสามารถประเมินความต้องการน้ำรายวันของต้นพุทราบางส่วน (ส่วน C) ได้ และเพื่อเป็นการสร้างความเชื่อมั่นในการใช้แบบจำลองประมาณความต้องการน้ำของพุทรา ควรมีการวิจัยทดสอบแบบจำลองกับการให้น้ำจริงในระดับแปลงเกษตรกรต่อไป

โดยสรุปการดำเนินงานของโครงการ “การจัดการธาตุอาหารและน้ำตามความต้องการของพุทราอย่างแม่นยำ” ได้พัฒนาวิธีการประเมินปริมาณธาตุอาหารที่ควรให้แก่พุทราอย่างเหมาะสมตามความต้องการของพุทรา โดยใช้แนวคิดปริมาณธาตุอาหารที่ติดไปกับผลผลิตและชิ้นส่วนที่นำออกจากแปลงปลูก ซึ่งช่วยให้การจัดการปุ๋ยในพุทรามีประสิทธิภาพมากขึ้น เนื่องจากการใช้ปุ๋ยอย่างไม่สมดูลมีผลกระทบทั้งปริมาณและคุณภาพผลผลิต และสิ่งแวดล้อม ซึ่งประเด็นปัญหาหนึ่งในการศึกษาครั้งนี้ พบว่า เกษตรกรผู้ปลูกไม้ผลมีปัญหาการให้ปุ๋ยเกินความต้องการของพืช อย่างเช่นในกรณีของปุ๋ยฟอสฟอรัส พบว่าเกษตรกรผู้ปลูกพุทรามีการให้ปุ๋ยฟอสฟอรัสมากเกินไปจนความจำเป็นเช่นเดียวกับไม้ผลชนิดอื่นๆ จนมีการตกค้างของฟอสฟอรัสในดินสูงมาก ซึ่งจำเป็นต้องมีวิธีการจัดการเพื่อลดปุ๋ยที่ตกค้างต่อไป ส่วนในด้านการจัดการน้ำอย่างแม่นยำ การพัฒนาแบบจำลองความต้องการน้ำ มีความจำเป็นต่อการผลิตไม้ผลคุณภาพ เนื่องด้วยน้ำเป็นปัจจัยหนึ่งที่เกี่ยวข้องกับการเคลื่อนที่ของธาตุอาหารในดินและพืช และเกี่ยวข้องกับการกระบวนการทางสรีรวิทยาอื่นของพืชด้วย ดังนั้นการให้น้ำในอัตราที่เหมาะสมกับความต้องการของพุทรา ช่วยส่งเสริมให้พุทราได้ผลผลิตที่ดีทั้งในแง่ปริมาณและคุณภาพ

Executive summary

Jujube 'Banphon' is a commercial fruit found within the Kalasin Province. The most celebrated jujube variety, the 'Nomsod', has received the 'Q' quality guarantee of Kalasin Food Safety (KS). However, problems in production exist in the areas of marketing and field management; such as greenhouse type, pruning, crop load, harvesting, and post-harvesting techniques; in which nutrient and water management are the main factors in the development and control of fruit quality. The objective of this project, therefore, was to study: 1) the nutrients of yield, leaf, branch, and fruit; and 2) the transpiration rates of the jujube 'Banphon' tree. Our goal was to develop the optimal nutrient and water management system for jujube production in Banphon, Kham Muang district, Kalasin province. The research, conducted in two parts, outlines the nutrient management system and the water management system, respectively.

Part 1 nutrient management by precisely under jujube requirement: The precise nutrient requirements of the jujube 'Banphon' were evaluated in the 2018/2019 production year, ranging from December to March, over five separate plantations. The study was divided into three main aspects: the general analysis of yield production in each plantation; soil properties; and the evaluation of nutrients in the leaves, branches, and fruits of jujube trees. The goals set managerial guidelines according to the crop removal concept. Firstly, we assessed the general information on each farm's yield, which ranged from 70 to 142 kilograms per tree. We noted that jujube canopies with greater leaf numbers produced higher yields, and, therefore, recommended that farmers induce new leaf flushings, which promotes increased flowering. Soil properties were determined from soil samples collected at depths of 0-20 and 20-40 centimeters. Our analysis showed that most of the soil in each farm was fertile; however, some plantations revealed problematic levels of acidity ($\text{pH} < 4.5$). Boron levels were also low, which may result in low fruit sets, which are low in quality, and a fall in fruit grading.

The study of nutrients in plant parts evaluated several tissues in the leaves, branches, and fruit. Leaf samples were collected each month, from December 2018 to March 2019; whereas branch samples were collected at the pruning stage in March. Each plantation presented five sample trees, in which branches were collected in three sizes: small branches (diameter < 1.5 cm); middle branches (diameter 1.5 - 3.0 cm); and main branches (diameter

> 3 cm). The branches, as well as the leaf samples of each tree, were dried and analyzed for nutrient concentration. Fruit samples were collected and separated according to three fruit-grade levels; Grade A (fresh weight 27 - 40 g), Grade B (fresh weight 21 - 27 g), and Falling Grade (fresh weight < 20 g), and were further evaluated for nutrient concentration. The results showed that nutrient contents were highest in the leaf samples and lowest in the branches (Table 1). We may deduce that if farmers know the weight of the plant parts removed from the field, they can evaluate the removed nutrient content, using the information provided in Table 1. This process will act as a guideline in nutrient management, which determines nutrient compensation through nutrient removal in the crop parts. This technique will also impact the management of fertilization, through lower usage, resulting in a balanced fertilizer supply, lower fertilizer costs, and reduced negative effects upon the environment.

Table 1. Nutrient concentrations in plant parts.

Plant parts	Nutrient concentration (mg/100 g DW)				
	N	P	K	Ca	B
Leaves	3,680.40	204.00	2,089.60	1,564.80	2.05
Main branch	557.70	69.77	827.80	894.33	0.80
Middle branch	465.01	99.49	880.89	962.00	0.90
Small branch	653.26	159.96	951.36	906.00	0.97
Fruit	1,300.92	53.50	1,364.65	81.73	1.33

The most successful crop management in the 2018/2019 season produced yields of 140 kg/tree, in which the removal of N, P, K, Ca of all plant parts (fruits, leaves, and branches) were 359.23, 22.43, 362.71, and 119.83 g/tree, respectively. The removed boron (B) content was 356.68 mg/tree.

Part 2 water management by precisely under jujube requirement: Three jujube plantations, located in Kham Muang district, Kalasin province, provided three sample trees. Data were collected to evaluate transpiration rates, soil moisture, and climate. Note that the experiments were conducted over two periods within the 2018/2019 season: January to March 2019; and July 2019 to February 2020.

Transpiration rates were determined by a sap-flow probe (Granier's), inserted into the main trunk at 100 cm above the soil level. Data collections were made every 30 minutes according to the transient thermal dissipation method. The soil moisture samples were also collected every 30 minutes, in which soil moisture contents were verified using a CS616 Water Content Reflectometer (Campbell Scientific, Leicester, UK). Soil probes were inserted in the soil 80 -100 cm from the tree trunks. Both transpiration rate and soil moisture data were recorded via a data logger (CR1000, Campbell Scientific, Leicester, UK). Climate, temperature, and relative humidity were recorded every 30 minutes with a U23 Pro v2 Temperature/Relative Humidity Data Logger-U23-001 (Bourne, MA, USA); then, the vapor pressure deficits (VPD) were calculated.

The results indicated that transpiration rates fluctuated according to climate and leaf number in a canopy; which, under well-watered conditions, was approximately 10 - 20 L/tree/day. The water requirement model involved was developed through the examination of the relationship between maximum vapor pressure deficit (VPD_{max}) and maximum sap flux density (J_{s_max}), in which the daily sap flux density was determined within the cross-sectional area of the trunk. We found that a precise model could estimate the water requirements of only a single plantation within our study, as it was dependent on the tree's leaf number within the canopy; which, therefore, must be considered as an essential parameter in each model.

In conclusion of the project "Mineral nutrient and water managements by precisely under requirement of jujube", the proposed evaluation method successfully determined the optimum nutrient contents for jujube trees, through the removal of nutrients by yield and plant parts taken in the field. The results increased productivity and yield through nutrient management, as well as the improved use of fertilizer, resulting in increased yields, lower costs, and improved environmental conditions. For example, phosphorus (P) residue should be reduced in the soil, which typically has higher levels, due to the overuse of fertilizer. Additionally, the development of an efficient water requirement model led to more efficient nutrient translocation in both soil and plants, which are related to several plant physiological processes. Determining each farm's optimum water requirements will result in the enhancement of jujube production in both volume and quality.

บทคัดย่อโครงการ

โครงการ “การจัดการธาตุอาหารและน้ำตามความต้องการของพุทราอย่างแม่นยำ” มีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาระบบการจัดการธาตุอาหารและน้ำสำหรับการผลิตพุทรานมสด หรือพุทราบ้านโพธิ์ อำเภอม่วง จังหวัดกาฬสินธุ์ โดยโครงการแบ่งการศึกษาออกเป็น 2 ส่วน คือ การศึกษาปริมาณธาตุอาหารในใบ กิ่ง และผลของพุทรา และการศึกษาอัตราการคายน้ำของพุทรา โดยการศึกษาปริมาณธาตุอาหารดำเนินการในสวนที่ได้รับใบรับรองสวนตามการเกษตรที่ดีและเหมาะสม (GAP) จำนวน 5 สวน ในรอบปีการผลิต 2561/2562 และการศึกษาอัตราการคายน้ำของพุทรา จำนวน 2 รอบการผลิต คือ ในรอบปีการผลิต 2561/2562 และรอบปีการผลิต 2562/2563 โดยสวนที่ทำการศึกษาอัตราการคายน้ำคัดเลือกจากสวนที่ทำการศึกษาด้านธาตุอาหาร จำนวน 3 สวน

การศึกษากำหนดปริมาณธาตุอาหารในใบ กิ่ง และผลของพุทรา เพื่อใช้เป็นแนวทางการจัดการธาตุอาหารตามแนวคิดปริมาณธาตุอาหารที่ติดไปกับผลผลิต และขึ้นส่วนพืชที่ออกไปจากแปลง (crop removal) โดยการศึกษาในส่วนนี้พบว่าผลผลิตของพุทรามีความแปรปรวนตามลักษณะการดูแลของเกษตรกร โดยมีผลผลิตอยู่ในช่วง 70-142 กิโลกรัมต่อต้น และพบว่าต้นพุทราที่มีใบในทรงพุ่มมาก ส่งผลให้มีปริมาณผลผลิตต่อต้นเพิ่มขึ้นตามจำนวนใบ การวิเคราะห์คุณสมบัติดิน พบว่า ดินโดยส่วนใหญ่คุณลักษณะดินอยู่ในเกณฑ์ที่ดี แต่มีบางสวนที่มีดินเป็นกรดจัด โดยมีค่าความเป็นกรดต่างของดิน (pH) ต่ำกว่า 4.5 รวมทั้งมีปริมาณโบรอนในดินต่ำ ส่งผลให้การติดผลน้อย และผลที่ได้มีคุณภาพผลไม่ดี การศึกษากำหนดปริมาณธาตุอาหารในชั้นส่วนพืชเพื่อใช้ในการประเมินปริมาณธาตุอาหารในชั้นส่วนต่างๆ โดยทำการวิเคราะห์ปริมาณไนโตรเจน (N) ฟอสฟอรัส (P) โพแทสเซียม (K) แคลเซียม (Ca) และโบรอน (B) พบว่า ใบพุทรา มี N, P, K, Ca และ B อยู่ในช่วง 1,140-3,976, 160-228, 1,220-2,740, 650-2,300 และ 1.13-3.77 mg/100g น้ำหนักแห้ง ตามลำดับ ส่วนธาตุอาหารในกิ่ง พบว่ากิ่งมี N, P, K, Ca และ B อยู่ในช่วง 416.90-604.73, 55.77-207.68, 666.67-1,157.20, 726.67-1,150.00 และ 0.59-1.35 mg/100g น้ำหนักแห้ง ตามลำดับ ส่วนผลมี N, P, K, Ca และ B อยู่ในช่วง 1,160.83-1,300.92, 29.57-36.37, 1,001.81-1,364.65, 43.05-61.73 และ 0.83-1.33 mg/100g น้ำหนักแห้ง ตามลำดับ

การประเมินปริมาณธาตุอาหารที่ถูกนำออกจากแปลงในรอบการผลิตพุทราปี 2561/2562 พบว่าสวนที่มีการจัดการที่ดีมาก มีผลผลิตพุทราประมาณ 140 กิโลกรัมต่อต้น มี N, P, K, Ca ที่ติดไปกับผลผลิตรวมทั้งใบและกิ่งที่มีการตัดแต่งกิ่ง เท่ากับ 359.23, 22.43, 362.71 และ 119.83 กรัม/ต้น ตามลำดับ ส่วนธาตุ B ที่ติดมากับชิ้นส่วนต่างๆ ของพืช เท่ากับ 356.68 มิลลิกรัม/ต้น

สำหรับการประเมินอัตราการคายน้ำของพุทรา ใช้หัตถวิธีวัดการไหลของน้ำภายในต้นพืช (sap flow probe) โดยติดตั้งที่โคนต้นหลักของลำต้นที่เกิดใหม่หลังจากตัดแต่งกิ่ง สูงจากพื้นดินประมาณ 100 เซนติเมตร ตามวิธี transient thermal dissipation method พบว่าอัตราการคายน้ำรายวันของพุทรา มีความผันแปรตามสภาพอากาศ และจำนวนใบในทรงพุ่ม โดยพุทราที่มีอัตราการคายน้ำในช่วงดินมีความชื้นสูงประมาณ 10-20 ลิตร/ต้น/วัน ส่วนการพัฒนาแบบจำลองความต้องการน้ำของพุทรา ได้ดำเนินการพัฒนาแบบจำลองจากความสัมพันธ์ของค่าการขาดความดันไอน้ำของอากาศสูงสุดในรอบวัน (maximum

vapor pressure deficit, VPDmax) และอัตราการคายน้ำสูงสุดในรอบวัน (maximum sap flux density, Js_max) และคำนวณอัตราการคายน้ำรายวันกับพื้นที่หน้าตัดของลำต้น ซึ่งผลคือได้อัตราการคายน้ำรายวัน (tree transpiration, ET) พบว่าแบบจำลองดังกล่าวสามารถประเมินความต้องการน้ำรายวันของต้นพุทราในสวน C ได้ แต่อีกสองสวนยังต้องการพัฒนาแบบจำลองให้มีความแม่นยำมากขึ้น อย่างไรก็ตามเพื่อสร้างความมั่นใจให้แก่เกษตรกรผู้ที่สนใจนำแบบจำลองดังกล่าวไปปรับใช้ในการให้น้ำตามความต้องการของพุทรา ควรมีการทดสอบการให้น้ำตามค่าที่ได้จากแบบจำลองในแปลงพุทราของเกษตรกรในระยะต่อไป

Project abstract

The objective of our study was to determine the most suitable mineral requirement and water management practices to increase the production and quality of jujube 'Nomsod' or 'Banphon' within the Kham Muang district, Kalasin province. Consisting of two parts, our project evaluated the nutrient concentrations in leaves, branches, and fruits; as well as jujube transpiration. The study of nutrient concentration in the plant parts was conducted in five 'good agricultural practice' (GAP) plantations in the 2018/2019 harvest. Levels of jujube transpiration were evaluated over two production periods; 2018/2019 and 2019/2020, within three plantations.

Our exploration of the nutrients in leaves, branches, and fruit was based on the crop removal concept. The results, which varied according to a farmer's practices and leaf numbers, produced yields ranging from 70 to 142 kilograms. Soil properties were mostly positive; however, some of the orchards sampled revealed low pH and boron concentrations, resulting in lower yields and fruit qualities. The analysis of nitrogen (N), Phosphorus (P), potassium (K), calcium (Ca) and boron (B) in plant leaves depicted amounts of 1,140 - 3,976 mg/100 g, 160 - 228 mg/100 g, 1,220 - 2,740 mg/100g, 650 - 2,300 mg/100g, and 1.13-3.77 mg/100 g, respectively. Branches produced levels of 416.90 - 604.73 mg/100 g (N), 55.77 - 207.68 mg/100 g (P), 666.67 - 1,157.20 mg/100 g (K), 726.67 - 1,150.00 mg/100 g (Ca), and 0.59 - 1.35 mg/100g (B); whereas the fruit presented 1,160.83 - 1,300.92 mg/100 g (N), 29.57 - 36.37 mg/100 g of (P), 1,001.81 - 1,364.65 mg/100 g (K), 43.05 - 61.73 mg/100 g (Ca), and 0.83 - 1.33 mg/100 g (B).

Nutrients removal in the fruit, leaves, and branches from the best producing orchard, which yielded 140 kg/ tree in the 2561/2562 harvest, resulted in nutrient levels of 359.23 g/tree (N), 22.43 g/tree (P), 362.71 g/tree (K), 119.83 g/tree (Ca), and 356.68 mg/tree (B).

The transpiration investigation was conducted by installing a sap-flow probe in the main trunk, which emerged at the start of the period, at 100 cm above the soil level. Data were recorded every 30 minutes according to the transient thermal dissipation method. The transpiration results fluctuated according to both the climate and leaf numbers, to roughly 10 to 20 liter/tree/day. The jujube water requirement model was developed by examining the relationship between maximum vapor pressure deficit (VPD_{max}) and maximum sap-flux density (Js_{max}); which then allowed the calculations of the daily tree transpiration (ET) and

sap-flux densities. Our model attempted to estimate the daily tree transpiration in each of the three plantations, yet was only successful in one; as the optimum water supplies of each farm varied. Therefore, specific parameters must be adhered to to accurately reveal a farm's tree transpiration rate, as well as develop the farmer's confidence in accepting our model.

สารบัญ

	หน้า
บทสรุปสำหรับผู้บริหาร	i
Execusive summary	iv
บทคัดย่อโครงการ	vii
Project abstract	ix
ส่วนที่ 1 การจัดการธาตุอาหารตามความต้องการของพุทราอย่างแม่นยำ	1
บทคัดย่อ	1
Abstract	3
ที่มาและความสำคัญ/หลักการและเหตุผล	5
การทบทวนเอกสารเชิงสังเคราะห์	5
วัตถุประสงค์	10
วิธีการศึกษา	11
ผลการศึกษา และวิจารณ์	19
1. ข้อมูลพื้นฐานในด้านผลผลิตของสวนพุทราที่ทำการศึกษาวิจัย	19
2. คุณสมบัติของดินพื้นฐานในแปลงพุทราที่ทำการศึกษา	24
3. ปริมาณธาตุอาหารในใบพุทรา	33
4. ปริมาณธาตุอาหารในกิ่งพุทรา	37
5. ปริมาณธาตุอาหารในผล	41
6. การประเมินปริมาณธาตุอาหารในชิ้นส่วนพืชและผลผลิตที่นำออกจากแปลง	44
สรุปผลการศึกษา	50
ข้อเสนอแนะการนำผลงานไปใช้ประโยชน์	51
ส่วนที่ 2 การจัดการน้ำตามความต้องการของพุทราอย่างแม่นยำ	52
บทคัดย่อ	52
Abstract	54
ที่มาและความสำคัญ/หลักการและเหตุผล	55
การทบทวนเอกสารเชิงสังเคราะห์	55
วัตถุประสงค์	58
วิธีการศึกษา	59
ผลการศึกษา และวิจารณ์	63
1. การศึกษาอัตราการคายน้ำของพุทรา รอบการผลิตปี 2561/2562	63

	หน้า
2. การศึกษาอัตราการคายน้ำของพุทรา รอบการผลิตปี 2562/2563	68
3. การพัฒนาแบบจำลองการให้น้ำของพุทรา	72
สรุปผลการศึกษา	78
ข้อเสนอแนะการนำผลงานไปใช้ประโยชน์	79
เอกสารอ้างอิง	80
ภาคผนวก	83

สารบัญภาพ

	หน้า
ภาพที่ 1.1 ลักษณะสวนพุทราแปลงคุณวิสัย (สวน A)	12
ภาพที่ 1.2 ลักษณะสวนพุทราแปลงคุณฮ้อย (สวน B)	12
ภาพที่ 1.3 ลักษณะสวนพุทราแปลงคุณทองจันทร์ (สวน C)	13
ภาพที่ 1.4 ลักษณะสวนพุทราแปลงคุณเสริมศักดิ์ (สวน D)	14
ภาพที่ 1.5 ลักษณะสวนพุทราแปลงคุณไฉ (สวน E)	15
ภาพที่ 1.6 ปริมาณผลผลิตต่อต้นจากสวนพุทราที่คัดเลือกจำนวน 5 สวน โดยสวน A และ B เป็นสวนที่มีการจัดการสวนพุทราในระดับดีมาก ส่วนสวน C, D และ E เป็นสวนที่มีการจัดการทั่วไป โดยทุกสวนได้รับการรับรอง GAP	18
ภาพที่ 1.7 ลักษณะผลในแต่ละชั้นคุณภาพของสวนพุทรา จำนวน 5 สวน โดยแถวที่ 1, 2, 3 และ 4 จากด้านบน แสดงถึงผลชั้นขนาดพิเศษ (จัมโบ้), ชั้น A, B และ C ตามลำดับ	20
ภาพที่ 1.8 น้ำหนักแห้งของกิ่งขนาดต่างๆ ใบ และน้ำหนักแห้งรวม (ต่อต้น) จากสวนพุทราที่คัดเลือกจำนวน 5 สวน โดยสวน A และ B เป็นสวนที่มีการจัดการสวนพุทราในระดับดีมาก ส่วนสวน C, D และ E เป็นสวนที่มีการจัดการทั่วไป	21
ภาพที่ 1.9 ความสัมพันธ์ของปริมาณผลผลิตต่อต้นและน้ำหนักแห้งใบ	22
ภาพที่ 1.10 ค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) ในดินชั้นบน (0-20 ซม, Top soil) และดินชั้นล่าง (20-40 ซม, Sub soil) ของสวนพุทรา 5 สวน ในเดือนธันวาคม 2561 และเดือนมีนาคม 2562 โดย error bar แสดงค่า standard error	24
ภาพที่ 1.11 ค่าการนำไฟฟ้า (EC) ในดินชั้นบน (0-20 ซม, Top soil) และดินชั้นล่าง (20-40 ซม, Sub soil) ของสวนพุทรา 5 สวน ในเดือนธันวาคม 2561 และเดือนมีนาคม 2562 โดย error bar แสดงค่า standard error	25
ภาพที่ 1.12 อินทรีย์วัตถุ (organic matter, OM) ในดินชั้นบน (0-20 ซม, Top soil) และดินชั้นล่าง (20-40 ซม, Sub soil) ของสวนพุทรา 5 สวน เดือนธันวาคม 2561 และเดือนมีนาคม 2562 โดย error bar แสดงค่า standard error	26
ภาพที่ 1.13 ฟอสฟอรัส (phosphorus, P) ในดินชั้นบน (0-20 ซม, Top soil) และดินชั้นล่าง (20-40 ซม, Sub soil) ของสวนพุทรา 5 สวน ในเดือนธันวาคม 2561 และเดือนมีนาคม 2562 โดย error bar แสดงค่า standard error	27
ภาพที่ 1.14 โพแทสเซียม (potassium, K) ในดินชั้นบน (0-20 ซม, Top soil) และดินชั้นล่าง (20-40 ซม, Sub soil) ของสวนพุทรา 5 สวน ในเดือนธันวาคม 2561 และเดือนมีนาคม 2562 โดย error bar แสดงค่า standard error	28

สารบัญภาพ

	หน้า
ภาพที่ 1.15 แคลเซียม (calcium, Ca) ในดินชั้นบน (0-20 ซม, Top soil) และดินชั้นล่าง (20-40 ซม, Sub soil) ของสวนพุทรา 5 สวน ในเดือนธันวาคม 2561 และเดือนมีนาคม 2562 โดย error bar แสดงค่า standard error	29
ภาพที่ 1.16 โบรอน (boron, B) ในดินชั้นบน (0-20 ซม, Top soil) และดินชั้นล่าง (20-40 ซม, Sub soil) ของสวนพุทรา 5 สวน ในเดือนธันวาคม 2561 และเดือนมีนาคม 2562 โดย error bar แสดงค่า standard error	30
ภาพที่ 1.17 ปริมาณไนโตรเจน (N) ในใบรายเดือน ของสวนพุทรา 5 สวน ระหว่างเดือนธันวาคม 2561 และเดือนมีนาคม 2562	32
ภาพที่ 1.18 ปริมาณฟอสฟอรัส (P) ในใบรายเดือน ของสวนพุทรา 5 สวน ระหว่างเดือนธันวาคม 2561 และเดือนมีนาคม 2562	32
ภาพที่ 1.19 ปริมาณโพแทสเซียม (K) ในใบรายเดือน ของสวนพุทรา 5 สวน ระหว่างเดือนธันวาคม 2561 และเดือนมีนาคม 2562	34
ภาพที่ 1.20 ปริมาณแคลเซียม (Ca) ในใบรายเดือน ของสวนพุทรา 5 สวน ระหว่างเดือนธันวาคม 2561 และเดือนมีนาคม 2562	34
ภาพที่ 1.21 ปริมาณโบรอน (B) ในใบรายเดือน ของสวนพุทรา 5 สวน ระหว่างเดือนธันวาคม 2561 และเดือนมีนาคม 2562	35
ภาพที่ 1.22 ปริมาณไนโตรเจน (N) ในกิ่ง ของสวนพุทรา 5 สวน (A-E) โดยแบ่งกิ่งออกเป็น 3 ขนาด คือ กิ่งขนาดเล็ก (small branch, diameter < 1.5 cm), กิ่งขนาดกลาง (middle branch, diameter 1.5-3.0 cm) และกิ่งขนาดใหญ่ (main branch, diameter >3.0 cm) ทำการเก็บตัวอย่างในเดือนมีนาคม 2562 โดย error bar แสดงค่า standard error	36
ภาพที่ 1.23 ปริมาณฟอสฟอรัส (P) ในกิ่ง ของสวนพุทรา 5 สวน (A-E) โดยแบ่งกิ่งออกเป็น 3 ขนาด คือ กิ่งขนาดเล็ก (small branch, diameter < 1.5 cm), กิ่งขนาดกลาง (middle branch, diameter 1.5-3.0 cm) และกิ่งขนาดใหญ่ (main branch, diameter >3.0 cm) ทำการเก็บตัวอย่างในเดือนมีนาคม 2562 โดย error bar แสดงค่า standard error	36
ภาพที่ 1.24 ปริมาณโพแทสเซียม (K) ในกิ่ง ของสวนพุทรา 5 สวน (A-E) โดยแบ่งกิ่งออกเป็น 3 ขนาด คือ กิ่งขนาดเล็ก (small branch, diameter < 1.5 cm), กิ่งขนาดกลาง (middle branch, diameter 1.5-3.0 cm) และกิ่งขนาดใหญ่ (main branch, diameter >3.0 cm) ทำการเก็บตัวอย่างในเดือนมีนาคม 2562 โดย error bar แสดงค่า standard error	37

สารบัญภาพ

	หน้า
ภาพที่ 1.25 ปริมาณแคลเซียม (Ca) ในกิ่ง ของสวนพุทรา 5 สวน (A-E) โดยแบ่งกิ่งออกเป็น 3 ขนาด คือ กิ่งขนาดเล็ก (small branch, diameter < 1.5 cm), กิ่งขนาดกลาง (middle branch, diameter 1.5-3.0 cm) และกิ่งขนาดใหญ่ (main branch, diameter >3.0 cm) ทำการเก็บตัวอย่างในเดือนมีนาคม 2562 โดย error bar แสดงค่า standard error	38
ภาพที่ 1.26 ปริมาณโบรอน (B) ในกิ่ง ของสวนพุทรา 5 สวน (A-E) โดยแบ่งกิ่งออกเป็น 3 ขนาด คือ กิ่งขนาดเล็ก (small branch, diameter < 1.5 cm), กิ่งขนาดกลาง (middle branch, diameter 1.5-3.0 cm) และกิ่งขนาดใหญ่ (main branch, diameter >3.0 cm) ทำการเก็บตัวอย่างในเดือนมีนาคม 2562 โดย error bar แสดงค่า standard error	38
ภาพที่ 1.27 ปริมาณไนโตรเจน (N) ในผลพุทรา 3 ขนาด ได้แก่ ขนาด A (27- 40 g), ขนาด B (21- 27 g) และขนาด C (<20 g) โดยเก็บตัวอย่างผลพุทราในช่วงเดือนมกราคม 2562 โดย error bar แสดงค่า standard error	39
ภาพที่ 1.28 ปริมาณฟอสฟอรัส (P) ในผลพุทรา 3 ขนาด ได้แก่ ขนาด A (27- 40 g), ขนาด B (21- 27 g) และขนาด C (<20 g) โดยเก็บตัวอย่างผลพุทราในช่วงเดือนมกราคม 2562 โดย error bar แสดงค่า standard error	40
ภาพที่ 1.29 ปริมาณโพแทสเซียม (K) ในผลพุทรา 3 ขนาด ได้แก่ ขนาด A (27- 40 g), ขนาด B (21- 27 g) และขนาด C (<20 g) โดยเก็บตัวอย่างผลพุทราในช่วงเดือนมกราคม 2562 โดย error bar แสดงค่า standard error	41
ภาพที่ 1.30 ปริมาณแคลเซียม (Ca) ในผลพุทรา 3 ขนาด ได้แก่ ขนาด A (27- 40 g), ขนาด B (21- 27 g) และขนาด C (<20 g) โดยเก็บตัวอย่างผลพุทราในช่วงเดือนมกราคม 2562 โดย error bar แสดงค่า standard error	41
ภาพที่ 1.31 ปริมาณโบรอน (B) ในผลพุทรา 3 ขนาด ได้แก่ ขนาด A (27- 40 g), ขนาด B (21- 27 g) และขนาด C (<20 g) โดยเก็บตัวอย่างผลพุทราในช่วงเดือนมกราคม 2562 โดย error bar แสดงค่า standard error	42
ภาพที่ 2.1 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการคายน้ำของพืช (ETree) กับค่าการขาดความดันไอน้ำของอากาศ (VPD) ของส้มโอพันธุ์มณีอีสาน	55
ภาพที่ 2.2 ลักษณะการติดวัดตรวจวัดบนลำต้นพืช การติดตั้งหัววัดความชื้นดิน และการต่อสายเพื่อเก็บข้อมูลด้วย data logger	57
ภาพที่ 2.3 อัตราการเคลื่อนที่ของน้ำภายในท่อน้ำ (xylem) ของพุทรา	61

สารบัญภาพ

	หน้า
ภาพที่ 2.4 การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ (A) ความชื้นสัมพัทธ์ (B) อัตราการคายน้ำรายวัน (ET) ของพุทรา และการเปลี่ยนแปลงของค่าการขาดความดันไอน้ำของบรรยากาศ (C) และความชื้นของดิน (D) ของสวนพุทรา A (คุณวิสัย) รอบการผลิตปี 2561/2562	63
ภาพที่ 2.5 การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ (A) ความชื้นสัมพัทธ์ (B) อัตราการคายน้ำรายวัน (ET) ของพุทรา และการเปลี่ยนแปลงของค่าการขาดความดันไอน้ำของบรรยากาศ (C) และความชื้นของดิน (D) ของสวนพุทรา C (คุณทองจันทร์) รอบการผลิตปี 2561/2562	64
ภาพที่ 2.6 การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ (A) ความชื้นสัมพัทธ์ (B) อัตราการคายน้ำรายวัน (ET) ของพุทรา และการเปลี่ยนแปลงของค่าการขาดความดันไอน้ำของบรรยากาศ (C) และความชื้นของดิน (D) ของสวนพุทรา E (คุณไฉ) รอบการผลิตปี 2561/2562	65
ภาพที่ 2.7 การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ (A) ความชื้นสัมพัทธ์ (B) อัตราการคายน้ำรายวัน (ET) ของพุทรา และการเปลี่ยนแปลงของค่าการขาดความดันไอน้ำของบรรยากาศ (C) และความชื้นของดิน (D) ของสวนพุทรา A (คุณวิสัย) รอบการผลิตปี 2562/2563 (มีข้อมูลบางส่วนสูญหายในภาพ C)	67
ภาพที่ 2.8 การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ (A) ความชื้นสัมพัทธ์ (B) อัตราการคายน้ำรายวัน (ET) ของพุทรา และการเปลี่ยนแปลงของค่าการขาดความดันไอน้ำของบรรยากาศ (C) และความชื้นของดิน (D) ของสวนพุทรา C (คุณทองจันทร์) รอบการผลิตปี 2562/2563	68
ภาพที่ 2.9 การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ (A) ความชื้นสัมพัทธ์ (B) อัตราการคายน้ำรายวัน (ET) ของพุทรา และการเปลี่ยนแปลงของค่าการขาดความดันไอน้ำของบรรยากาศ (C) และความชื้นของดิน (D) ของสวนพุทรา E (คุณไฉ) รอบการผลิตปี 2562/2563	69
ภาพที่ 2.10 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าการไหลของน้ำในท่อน้ำสูงสุด (maximum sap flux density; J_s_max) กับค่าการขาดความดันไอน้ำของสภาพอากาศสูงสุด (maximum vapor pressure deficit; VPD) โดยใช้ข้อมูลในช่วงเดือนกรกฎาคม – กันยายน 2562	70
ภาพที่ 2.11 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าการไหลของน้ำในท่อน้ำสูงสุด (maximum sap flux density; J_s_max) กับค่าการไหลของน้ำในท่อน้ำรวมในรอบวัน (cumulated daily sap flux density; J_s_daily)	71

สารบัญภาพ

	หน้า
ภาพที่ 2.12 อัตราการคายน้ำต่อต้นรายวันของพุทราที่ได้จากการวัดจริง (Measured ET – กราฟแท่ง) และอัตราการคายน้ำต่อต้นรายวันที่ได้จากแบบจำลอง (Estimated ET – เส้นประ) ของสวนพุทรา A (คุณวิสัย) รอบการผลิตปี 2562/2563	72
ภาพที่ 2.13 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการคายน้ำต่อต้นรายวันของพุทราที่ได้จากการวัดจริง (Measured ET) และอัตราการคายน้ำต่อต้นรายวันที่ได้จากแบบจำลอง (Estimated ET)	72
ภาพที่ 2.14 อัตราการคายน้ำต่อต้นรายวันของพุทราที่ได้จากการวัดจริง (Measured ET – กราฟแท่ง) และอัตราการคายน้ำต่อต้นรายวันที่ได้จากแบบจำลอง (Estimated ET – เส้นประ) ของสวนพุทรา C (คุณทองจันทร์) รอบการผลิตปี 2562/2563	73
ภาพที่ 2.15 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการคายน้ำต่อต้นรายวันของพุทราที่ได้จากการวัดจริง (Measured ET) และอัตราการคายน้ำต่อต้นรายวันที่ได้จากแบบจำลอง (Estimated ET)	73
ภาพที่ 2.16 อัตราการคายน้ำต่อต้นรายวันของพุทราที่ได้จากการวัดจริง (Measured ET – กราฟแท่ง) และอัตราการคายน้ำต่อต้นรายวันที่ได้จากแบบจำลอง (Estimated ET – เส้นประ) ของสวนพุทรา E (คุณไว) รอบการผลิตปี 2562/2563	74
ภาพที่ 2.17 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการคายน้ำต่อต้นรายวันของพุทราที่ได้จากการวัดจริง (Measured ET) และอัตราการคายน้ำต่อต้นรายวันที่ได้จากแบบจำลอง (Estimated ET)	74

สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 1 ความเข้มข้นของธาตุอาหารต่างๆ ในแต่ละชั้นส่วนพีช เพื่อใช้ในการประเมินปริมาณธาตุอาหารในแต่ละชั้นส่วนพีช	ii
ตารางที่ 1.1 ค่ามาตรฐานธาตุอาหารในใบของไม้ผลที่สำคัญของไทยบางชนิด	6
ตารางที่ 1.2 ปริมาณธาตุอาหารที่ติดกับผลผลิตผลสด 1 กิโลกรัม ในไม้ผลบางชนิดของไทย	7
ตารางที่ 1.3 ปริมาณธาตุอาหารที่ติดไปกับใบพุทรา 4 สายพันธุ์ (mg/100 g dry weight)	8
ตารางที่ 1.4 ปริมาณธาตุอาหารที่ติดไปกับผลพุทรา 4 สายพันธุ์ (mg/100 g dry weight)	9
ตารางที่ 1.5 ขนาด น้ำหนักสด และน้ำหนักแห้งของผลในแต่ละชั้นคุณภาพของสวนพุทราจำนวน 5 สวน	19
ตารางที่ 1.6 ความเข้มข้นของธาตุอาหารต่างๆ ในแต่ละชั้นส่วนพีช เพื่อใช้ในการประเมินปริมาณธาตุอาหารในแต่ละชั้นส่วนพีช	43
ตารางที่ 1.7 ปริมาณธาตุอาหารที่ติดไปกับชั้นส่วนพีชและผลผลิตที่นำออกจากแปลงปลูก (ต่อต้น) โดยคิดแยกตามชั้นส่วนของพีช ได้แก่ ใบ กิ่งใหญ่ กิ่งกลาง กิ่งเล็ก และผลผลิต (สวน A = คุณวิสัย)	43
ตารางที่ 1.8 ปริมาณธาตุอาหารที่ติดไปกับชั้นส่วนพีชและผลผลิตที่นำออกจากแปลงปลูก (ต่อต้น) โดยคิดแยกตามชั้นส่วนของพีช ได้แก่ ใบ กิ่งใหญ่ กิ่งกลาง กิ่งเล็ก และผลผลิต (สวน B = คุณฮ้อย)	44
ตารางที่ 1.9 ปริมาณธาตุอาหารที่ติดไปกับชั้นส่วนพีชและผลผลิตที่นำออกจากแปลงปลูก (ต่อต้น) โดยคิดแยกตามชั้นส่วนของพีช ได้แก่ ใบ กิ่งใหญ่ กิ่งกลาง กิ่งเล็ก และผลผลิต (สวน C = คุณทองจันทร์)	45
ตารางที่ 1.10 ปริมาณธาตุอาหารที่ติดไปกับชั้นส่วนพีชและผลผลิตที่นำออกจากแปลงปลูก (ต่อต้น) โดยคิดแยกตามชั้นส่วนของพีช ได้แก่ ใบ กิ่งใหญ่ กิ่งกลาง กิ่งเล็ก และผลผลิต (สวน D = คุณเสริมศักดิ์)	46
ตารางที่ 1.11 ปริมาณธาตุอาหารที่ติดไปกับชั้นส่วนพีชและผลผลิตที่นำออกจากแปลงปลูก (ต่อต้น) โดยคิดแยกตามชั้นส่วนของพีช ได้แก่ ใบ กิ่งใหญ่ กิ่งกลาง กิ่งเล็ก และผลผลิต (สวน E = คุณไฉ)	47

สารบัญตารางผนวก

	หน้า
ตารางผนวกที่ 1 คุณสมบัติดินบางประการในดินชั้นบน (0-20 ซม) และดินชั้นล่าง (20-40 ซม) ของสวนพุทรา จำนวน 5 สวน ในเดือนธันวาคม 2561 และเดือนมีนาคม 2562	79
ตารางผนวกที่ 2 ปริมาณธาตุอาหารในใบพุทรา ระหว่างเดือนธันวาคม 2561 ถึงเดือนมีนาคม 2562	80
ตารางผนวกที่ 3 ปริมาณธาตุอาหารบางชนิดในกิ่งพุทรา 3 ขนาด โดยเก็บตัวอย่างกิ่งจากสวนพุทรา จำนวน 5 สวน ในเดือนมีนาคม 2562 ซึ่งเกษตรกรมีการตัดต้นพุทรา	81
ตารางผนวกที่ 4 ปริมาณธาตุอาหารบางชนิดในผลพุทรา 3 ขนาด ของสวนตัวอย่าง 5 สวน โดยเก็บตัวอย่างผลพุทราในช่วงเดือนมกราคม 2562	82
ตารางผนวกที่ 5 การเปรียบเทียบวัตถุดิบประสงค์ กิจกรรมที่วางแผนไว้ และกิจกรรมที่ได้ดำเนินการ และผลที่ได้รับตลอดโครงการ	95

ส่วนที่ 1

การจัดการธาตุอาหารตามความต้องการของพุทราอย่างแม่นยำ

บทคัดย่อ

การดำเนินงานวิจัยในส่วนของ “การจัดการธาตุอาหารตามความต้องการของพุทราอย่างแม่นยำ” มีวัตถุประสงค์เพื่อให้ทราบปริมาณธาตุอาหารที่ติดไปกับผลผลิต ใบ ลำต้น และกิ่งของพุทรา เพื่อใช้เป็นแนวทางในการพัฒนาระบบการจัดการธาตุอาหารสำหรับการผลิตพุทราบ้านโพธิ์ โดยทำการคัดเลือกสวนพุทราพันธุ์นมสดที่มีผลผลิตคุณภาพดี จำนวน 5 สวน ในอำเภอม่วงสามสิบ จังหวัดกาฬสินธุ์ ซึ่งได้รับใบรับรองสวนตามการเกษตรที่ดีและเหมาะสม (GAP) แต่ละสวนทำการคัดเลือกต้นพุทราตัวอย่าง จำนวน 5 ต้น ที่มีขนาดสม่ำเสมอ ทำการศึกษาข้อมูลพื้นฐานของการให้ผลผลิตแต่ละสวน พบว่าผลผลิตของพุทราในสวนเกษตรกรตัวอย่างมีความแปรปรวนตามลักษณะการดูแลของเกษตรกร โดยมีผลผลิตอยู่ในช่วง 70-142 กิโลกรัมต่อต้น และพบว่าต้นพุทราที่มีใบในทรงพุ่มมาก ส่งผลให้มีปริมาณผลผลิตต่อต้นเพิ่มขึ้นตามจำนวนใบ สำหรับการเก็บข้อมูลคุณสมบัติดิน ดำเนินการเก็บตัวอย่างดินในเดือนธันวาคม 2561 และมีนาคม 2562 ที่ระดับความลึก 0-20 และ 20-40 เซนติเมตร เพื่อทำการวิเคราะห์คุณสมบัติดิน พบว่า ดินโดยส่วนใหญ่คุณลักษณะดินอยู่ในเกณฑ์ที่ดี แต่มีบางสวนที่มีดินเป็นกรดจัด โดยมีค่าความเป็นกรดของดิน (pH) ต่ำกว่า 4.5 รวมทั้งมีปริมาณโบรอนในดินต่ำ ส่งผลให้การติดผลน้อย และผลที่ได้มีคุณภาพผลไม่ดี (ตกเกรด)

การศึกษ ปริมาณธาตุอาหารในชิ้นส่วนพืชเพื่อใช้ในการประเมินปริมาณธาตุอาหารในชิ้นส่วนต่างๆ แบ่งออกเป็น 3 ส่วน คือ ใบ กิ่ง และผล โดยใบทำการเก็บตัวอย่างในต่อเนื่องเดือนละ 1 ครั้ง ระหว่างเดือนธันวาคม 2561 – มีนาคม 2562 โดยแต่ละต้นทำการเก็บใบกระจายรอบทรงพุ่ม นำไปอบแห้ง และบดเพื่อทำการวิเคราะห์ปริมาณไนโตรเจน (N) ฟอสฟอรัส (P) โพแทสเซียม (K) แคลเซียม (Ca) และโบรอน (B) พบว่า ใบพุทรา มี N, P, K, Ca และ B อยู่ในช่วง 1,140-3,976, 160-228, 1,220-2,740, 650-2,300 และ 1.13-3.77 mg/100g น้ำหนักแห้ง ตามลำดับ ส่วนธาตุอาหารในกิ่งทำการเก็บตัวอย่างลำต้นและกิ่งในช่วงที่เกษตรกรทำการตัดแต่งพุทรา (เดือนมีนาคม) โดยแต่ละสวนทำการเก็บตัวอย่างลำต้นและกิ่งแยกต้น สวนละ 5 ต้น โดยแต่ละต้นแบ่งกิ่งออกเป็น 3 ขนาด คือ กิ่งขนาดเล็ก (เส้นผ่าศูนย์กลาง <1.5 cm), กิ่งขนาดกลาง (เส้นผ่าศูนย์กลาง 1.5-3.0 cm) และกิ่งขนาดใหญ่ (เส้นผ่าศูนย์กลาง >3.0 cm) นำมาอบแห้ง เพื่อวิเคราะห์ธาตุอาหารเช่นเดียวกับใบ พบว่ากิ่งมี N, P, K, Ca และ B อยู่ในช่วง 416.90-604.73, 55.77-207.68, 666.67-1,157.20, 726.67-1,150.00 และ 0.59-1.35 mg/100g น้ำหนักแห้ง ตามลำดับ

ส่วนผล ทำการเก็บตัวอย่างผลตามการแบ่งตามชั้นคุณภาพ ได้แก่ เกรด A (น้ำหนักสด 27- 40 g), B (น้ำหนักสด 21-27 g) และตกเกรด (น้ำหนักสด <20 g) โดยแต่ละต้นจะทำการสุ่มเก็บตัวอย่างชั้นคุณภาพละ 5 ผล ทำการชั่งน้ำหนักสดของผล แล้วนำไปอบแห้งด้วยเครื่อง Freeze Dry ที่อุณหภูมิ -52 องศาเซลเซียส จนตัวอย่างแห้งสนิท เพื่อทำการวิเคราะห์ปริมาณธาตุอาหารในผลพุทรา ผลการวิเคราะห์

พบว่าผลแต่ละชิ้นไม่มีความแตกต่างของปริมาณธาตุอาหาร แต่ผลที่มากจากสวนที่ต่างกันจะมีธาตุอาหารที่แตกต่างกัน โดยผลมี N, P, K, Ca และ B อยู่ในช่วง 1,160.83-1300.92, 29.57-36.37, 1,001.81-1,364.65, 43.05-61.73 และ 0.83-1.33 mg/100g น้ำหนักแห้ง ตามลำดับ

การประเมินปริมาณธาตุอาหารในชิ้นส่วนต่างๆ ต้องทราบความเข้มข้นของธาตุอาหารที่มีอยู่ในชิ้นส่วนนั้นๆ โดยในการศึกษาครั้งนี้ ได้ผลสรุปเบื้องต้นของความเข้มข้นของธาตุอาหารเพื่อใช้ในการประเมินปริมาณธาตุอาหารที่ติดไปกับชิ้นส่วนต่างๆ ได้ดังนี้

- ส่วนของใบมีความเข้มข้นของ N, P, K, Ca และ B เท่ากับ 3,680.40, 204.00, 2,089.60, 1,564.80 และ 2.05 mg/100g น้ำหนักแห้ง ตามลำดับ
- ส่วนของกิ่งใหญ่ มีความเข้มข้นของ N, P, K, Ca และ B เท่ากับ 557.70, 69.77, 827.80, 894.33 และ 0.80 mg/100g น้ำหนักแห้ง ตามลำดับ
- กิ่งกลางมีความเข้มข้นของ N, P, K, Ca และ B เท่ากับ 465.01, 99.49, 880.89, 962.00 และ 0.90 mg/100g น้ำหนักแห้ง ตามลำดับ
- กิ่งเล็กมีความเข้มข้นของ N, P, K, Ca และ B เท่ากับ 653.26, 159.96, 951.36, 906.00 และ 0.97 mg/100g น้ำหนักแห้ง ตามลำดับ
- ส่วนผลมีความเข้มข้นของ N, P, K, Ca และ B เท่ากับ 1,300.92, 53.50, 1,364.65, 81.73 และ 1.33 mg/100g น้ำหนักแห้ง ตามลำดับ

โดยผลมีการนำธาตุอาหารจากพื้นที่ปลูกออกไปมากที่สุด สำหรับการศึกษาในรอบการผลิตปี 2561/2562 ซึ่งพบว่าสวนที่มีการจัดการที่ดีมาก มีผลผลิตพุทราประมาณ 140 กิโลกรัมต่อต้น มี N, P, K, Ca ที่ติดไปกับผลผลิต รวมทั้งใบและกิ่งที่มีการตัดแต่งกิ่ง เท่ากับ 359.23, 22.43, 362.71 และ 119.83 กรัม/ต้น ตามลำดับ ส่วนธาตุ B ที่ติดมากับชิ้นส่วนต่างๆ ของพืช เท่ากับ 356.68 มิลลิกรัม/ต้น

Abstracts

The objective of the research, herein, was to determine the nutrients removed in jujube tree fruits, leaves, and stems of Jujube; which will serve in setting guidelines for the development of a successful nutrient management system in the Ban Phon, Kham Muang district, Kalasin province. Five 'good agricultural practice' (GAP) orchards provided five similar trees, with equal samples of each part. The basic yields of each farm demonstrated varied results, which ranged from 70 to 142 kilograms, according to the practices of the owner. We observed increased yields concomitant with increasing leaf numbers. Soil properties were evaluated over two periods; December 2018 and March 2019. The soil samples, collected at 0 - 20 cm and 20 - 40 cm from the surface, presented satisfactory properties. However, orchards with low soil pH (< 4.5) and low boron concentrations produced lower yields and fruit qualities.

Nitrogen (N), phosphorus (P), potassium (K), calcium (Ca), and boron (B) levels in the jujube trees were evaluated in three tree parts: leaves, stems, and fruits; in each month, from December 2018 to March 2019. The leaf sampling technique involved collecting samples distributed around the canopy, oven-drying them, and preparing them for nutrient analysis. The nutrient levels obtained were 1,140 - 3,976 mg/100 g (N), 160 - 228 mg/100 g (P), 1,220 - 2,740 mg/100 g (K), 650 - 2,300 mg/100 g (Ca), and 1.13 - 3.77 mg/100g (B). Branches were separated in three sample types: small branches (< 1.5 cm diameter), middle branches (1.5 - 3.0 cm diameter), and main branches (> 3 cm diameter); which produced nutrient levels of 416.90 - 604.73 mg/100 g (N), 55.77 - 207.68 mg/100 g (P), 666.67 - 1,157.20 mg/100 g (K), 726.67 - 1,150.00 mg/100 g (Ca), and 0.59 - 1.35 mg/100 g (B).

In the investigation of nutrient concentrations in jujube fruit, three grade qualities were evaluated: Grade A (fresh weight 27 - 40 g), Grade B (fresh weight 21 - 27 g), and Falling Grade (fresh weight < 20 g). Five pieces of fruit from each grade in each sampled tree were initially weighed and recorded (fresh weights), then freeze-dried at -52°C . The nutrients were analyzed similarly to the leaves and branches, which showed that fruit grade, had no significant effect upon nutrient concentration; however, results did vary between orchards. The range of nutrient concentrations were 1,160.83 - 1300.92 mg/100 g (N), 29.57 - 36.37 mg/100 g (P), 1,001.81 - 1,364.65 mg/100 g (K), 43.05 - 61.73 mg/100 g (Ca), and 0.83 - 1.33 mg/100 g (B).

Nutrient concentrations were determined from the nutrient removal of crop parts as follows:

- Leaves removed 3,680.40 mg/100 g of N, 204.00 mg/100 g of P, 2,089.60 mg/100 g of K, 1,564.80 mg/100 g of Ca, and 2.05 mg/100 g of B.
- Main braches removed 557.70 mg/100 g of N, 69.77 mg/100 g of P, 827.80 mg/100 g of K, 894.33 mg/100 g of Ca, and 0.80 mg/100 g of B.
- Middle braches removed 465.01 mg/100 g of N, 99.49 mg/100 g of P, 880.89 mg/100 g of K, 962.00 mg/100 g of Ca, and 0.90 mg/100 g of B.
- Small braches removed 653.26 mg/100 g of N, 159.96 mg/100 g of P, 951.36 mg/100 g of K, 906.00 mg/100 g of Ca, and 0.97 mg/100 g of B.
- Fruit removed 1,300.92 mg/100 g of N, 53.50 mg/100 g of P, 1,364.65 mg/100 g of K, 81.73 mg/100 g of Ca, and 1.33 mg/100 g of B.

We further noted that jujube fruit removed more nutrients from the soil samples than any other plant part. Lastly, the orchard with the best production results in the 2561/2562 season yielded 140 kg/tree through the removal of 359.23 g/tree (N), 22.43 g/tree (P), 362.71 g/tree (K), 119.83 g/tree (Ca), and 356.68 mg/tree (B) in the fruit, leaves, and branches.

ที่มาและความสำคัญ/หลักการและเหตุผล

พุทราบ้านโพน ถือเป็นผลไม้เศรษฐกิจที่สำคัญของจังหวัดกาฬสินธุ์ ได้รับการรับรองคุณภาพ Q และ Kalasin Food Safety (KS) โดยเกษตรกรบ้านโพนมีการปลูกพุทราพันธุ์ต่างๆ ได้แก่ พันธุ์พวงทอง พันธุ์สามรส พันธุ์แอปเปิ้ล พันธุ์จัมโบ้ พันธุ์บอมเบ และพันธุ์นมสด ซึ่งเป็นพันธุ์ที่เกษตรกรนิยมปลูกมากที่สุด ซึ่งตำบลโพน เริ่มปลูกพุทราในปี พ.ศ. 2526 โดยคุณศิริบุตร เป็นผู้เริ่มนำพุทราพันธุ์แอปเปิ้ล และเจดีย์สีทอง ประมาณ 5-6 ต้น เข้ามาปลูกในพื้นที่ หลังจากออกผลผลิตชุดแรก พบว่า มีรสชาติหวาน กรอบ อร่อย ในปี 2527 จึงได้ขยายพันธุ์เพิ่มเติมโดยวิธีการเสียบยอด เป็น 60-100 ต้น เพื่อใช้เป็นรายได้เสริม และมีการพัฒนาการปลูก และนำพันธุ์อื่นๆ เข้ามาปลูก ในปัจจุบันมีพื้นที่เพาะปลูกเพิ่มขึ้น ประมาณ 1,600 ไร่ ได้ผลผลิตไร่ละประมาณ 4-5 ตัน สามารถเก็บผลผลิตได้ประมาณ 4-5 เดือนต่อปี ราคาผลผลิตประมาณ กิโลกรัมละ 25-33 บาท ซึ่งถือได้ว่าเป็นพืชที่ให้ผลตอบแทนแก่เกษตรกรในระดับสูงกว่าพืชอื่นๆ โดยเฉพาะพืชไร่หลายชนิด แต่พุทราที่จำเป็นต้องได้รับการจัดการที่เหมาะสมเพื่อให้ผลผลิตมีคุณภาพที่ดี ตรงตามความต้องการของผู้บริโภคด้วย การผลิตของพุทราบ้านโพน มีปัญหาต่างๆ หลายด้าน ตั้งแต่ระบบการผลิต ไปจนถึงการตลาด อีกทั้งเกษตรกรมีการใช้เทคโนโลยีและการจัดการที่หลากหลายแตกต่างกัน ทั้งรูปแบบของโรงเรือน การตัดแต่งกิ่ง การไถ่ผล การเก็บเกี่ยวและการจัดการหลังเก็บเกี่ยว โดยเฉพาะการจัดการธาตุอาหาร ซึ่งถือได้ว่าเป็นปัจจัยที่สำคัญปัจจัยหนึ่งในการผลิตพุทราให้มีคุณภาพดี ซึ่งถ้าเกษตรกรมีการจัดการธาตุอาหารได้ตรงตามความต้องการของพุทราแล้ว น่าจะส่งเสริมให้ผลผลิตมีคุณภาพดี สามารถช่วยให้พุทราสามารถจำหน่ายในตลาดได้ดีขึ้น

อย่างไรก็ตาม การจัดการธาตุอาหารในพุทรา โดยเฉพาะในประเทศไทยยังมิได้มีการศึกษาไม่มากนัก สำหรับในต่างประเทศพบมีการศึกษาวิจัยอยู่บ้าง เช่น San et al. (2009) และ Johnstone (2018) ได้รายงานปริมาณธาตุอาหารที่ติดไปกับใบและผลของพุทรา ซึ่งสามารถใช้เป็นแนวทางในการจัดการธาตุอาหารที่เหมาะสมแก่พุทราต่อไป อย่างไรก็ตาม ปริมาณธาตุอาหารที่ติดไปกับใบและผลมีความแตกต่างกันขึ้นกับสายพันธุ์ (San et al., 2009) ดังนั้น ควรมีการวิเคราะห์ปริมาณธาตุอาหารในพุทราที่ปลูกในบ้านโพน เนื่องด้วยธาตุอาหารในพืชมีความผันแปรตามพันธุ์ แหล่งปลูก สภาพภูมิอากาศ รวมทั้งอายุใบด้วย (สมิตรา และคณะ, 2547ก; สุภัทร์, 2560; Isarangkool Na Ayutthaya et al., 2017) ดังนั้น โครงการนี้ต้องการศึกษาวิจัยเกี่ยวกับปริมาณธาตุอาหารที่ติดไปกับผลผลิต ใบ และกิ่งของพุทรา เพื่อใช้เป็นแนวทางในพัฒนาระบบการจัดการธาตุอาหารอย่างเหมาะสมและแม่นยำ สำหรับพุทราที่ผลิตในพื้นที่บ้านโพน อำเภอกำแพง จังหวัดกาฬสินธุ์ ต่อไป

การทบทวนเอกสารเชิงสังเคราะห์

การจัดการธาตุอาหารตามความต้องการของพืช

การจัดการธาตุอาหารของพืช ถือได้ว่าเป็นปัจจัยที่สำคัญอีกปัจจัยหนึ่งในการสร้างความอุดมสมบูรณ์ให้แก่พืช ซึ่งมีผลต่อกระบวนการเจริญเติบโตและการพัฒนาการของพืช รวมถึงกระบวนการออกดอก

และการติดผลที่สมบูรณ์ ทำให้ผลผลิตที่ได้มีคุณภาพที่ดี การให้ธาตุอาหารแก่ไม้ผลในปัจจุบันต้องคำนึงถึงความสมดุล ไม่ให้ธาตุอาหารหรือปุ๋ยมากเกินไปจนความจำเป็นของพืช โดยเฉพาะการให้ธาตุอาหารบางชนิดมากเกินไปอาจมีผลกระทบต่อธาตุอื่นๆ ก่อให้เกิดการขาดธาตุอาหารที่เป็นปฏิปักษ์ต่อธาตุที่ให้มากเกินไปได้นอกจากนี้การให้ปุ๋ยแก่ไม้ผลต้องคำนึงถึงต้นทุนของการให้ปุ๋ยแก่พืชด้วย ข้อพิจารณาของการจัดการปุ๋ยในปัจจุบัน ต้องคำนึงถึงการให้ปุ๋ยได้ในระดับที่พอเพียงต่อความต้องการของพืชที่ปลูก โดยมีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมน้อยที่สุด และยังคงรักษาความอุดมสมบูรณ์ของพื้นที่ปลูกได้อย่างยั่งยืน ซึ่งเทคนิคการให้ปุ๋ยไม้ผลมีการพัฒนาระบบการให้ปุ๋ยอย่างมีประสิทธิภาพอยู่ 2 ระบบ คือ การให้ปุ๋ยตามค่าวิเคราะห์ดินและใบพืช และการให้ปุ๋ยตามปริมาณธาตุอาหารที่ติดไปกับผลผลิต (สุภัทร์, 2560)

ตารางที่ 1.1 ค่ามาตรฐานธาตุอาหารในใบของไม้ผลที่สำคัญของไทยบางชนิด

ธาตุอาหาร	ลำไย	ส้มโอ (ภาคใต้)	ส้มโอ (ภาคอีสาน)	มังคุด	ทุเรียน
N (%)	1.88-2.42	2.50-3.00	2.41-2.77	1.00-1.40	2.00-2.40
P (%)	0.12-0.22	0.15-0.20	0.13-0.23	0.05-0.08	0.15-0.25
K (%)	1.27-1.88	1.50-2.00	1.43-3.64	0.60-1.00	1.50-2.50
Ca (%)	0.88-2.16	3.00-4.00	1.40-3.30	1.00-1.40	1.70-2.50
Mg (%)	0.20-0.31	0.30-0.50	0.22-0.46	0.12-0.18	0.25-0.50
Fe (mg/kg)	68.11-86.99	40-80	40.17-99.80	50-150	40-120
Cu (mg/kg)	16.32-18.45	>5	ND	5-15	10-25
Zn (mg/kg)	16.99-24.29	>20	19.27-42.03	15-30	10-30
Mn (mg/kg)	47.00-80.46	5-15	ND	50-250	50-120
B (mg/kg)	22.30-45.58	ND	13.50-22.76	25-45	30-70
ที่มา:	ยุทธนา และ คณะ (2548)	สมศักดิ์ (2556)	สังคม (2552)	สุมิตรา และ คณะ (2547ก)	สุมิตรา และ คณะ (2547ข)

ND = ไม่มีรายงาน

หลักการในการดำเนินการพัฒนามาตรฐานธาตุอาหารในดินและใบพืช พืชแต่ละชนิดจำเป็นต้องมีค่ามาตรฐานธาตุอาหารของตัวเองหรือแต่ละสายพันธุ์ ถ้ายังไม่มีค่ามาตรฐานธาตุอาหารเฉพาะสายพันธุ์ ยินยอมให้ใช้ค่ามาตรฐานธาตุอาหารในพืชชนิดเดียวกันได้แม้จะมีความแตกต่างของสายพันธุ์ และค่ามาตรฐานธาตุอาหารของพืชขึ้นอยู่กับสภาพแวดล้อมของพื้นที่ปลูกด้วย ทั้งสภาพแวดล้อมของดินและสภาพอากาศ ดังนั้น โดยทั่วไปควรมีค่ามาตรฐานธาตุอาหารของพืชแต่ละสายพันธุ์ในแต่ละประเทศ ซึ่งการนำค่ามาตรฐานธาตุอาหารของประเทศอื่นมาใช้ อาจเกิดความแปรปรวน (สุมิตรา และคณะ, 2547ก; สุภัทร์,

2560) การวิเคราะห์ดินและใบพืชเพื่อประเมินความต้องการธาตุอาหาร พบว่า มีชนิดไม้ผลที่ได้ดำเนินการพัฒนาระบบค่ามาตรฐานธาตุอาหารในใบหลายชนิด ได้แก่ ทูเรียน (สุมิตรา และคณะ, 2547ก) มังคุด (สุมิตรา และคณะ, 2547ข) ส้ม (นันทรัตน์ และคณะ, 2548) มะม่วง (อัครจรรย์ และคณะ, 2545) ลำไย (ยุทธนา และคณะ, 2548) และส้มโอ (สังคม และคณะ, 2552) ดังตัวอย่างค่ามาตรฐานธาตุอาหารในใบตารางที่ 1.1 แต่อย่างไรก็ตามอาจมีเพียงทูเรียนและมังคุดที่ได้รับการนำไปใช้ประโยชน์อย่างชัดเจน ส่วนในไม้ผลอื่นๆ ยังขาดความต่อเนื่องในการนำไปใช้ประโยชน์อย่างจริงจัง อาจเนื่องจากสถาบันการศึกษา และหน่วยงานต่างๆ ยังมีข้อจำกัดในเรื่องห้องปฏิบัติการ รวมทั้งผู้ปฏิบัติงานทางด้านนี้โดยตรงและจริงจัง รวมทั้งเกษตรกรยังไม่เห็นความสำคัญในการให้ปุ๋ยให้ตรงตามความต้องการของพืชมากนัก แต่ยังเป็นการใส่ให้เกินความต้องการ เนื่องจากกลัวว่าจะไม่ได้รับผลผลิตที่ดี

ตารางที่ 1.2 ปริมาณธาตุอาหารที่ติดกับผลผลิตผลสด 1 กิโลกรัม ในไม้ผลบางชนิดของไทย

ธาตุอาหาร	ปริมาณธาตุอาหารที่ติดไปกับผลผลิต 1 กิโลกรัม		
	ลำไย	ส้มโอ	มะม่วง
N (g)	3.71	1.9	1.21
P (g)	0.42	0.28	0.16
K (g)	3.73	3.21	1.82
Ca (g)	1.53	1.67	0.46
Mg (g)	0.26	0.22	0.25
Fe (mg)	20.51	3.38	ND
Mn (mg)	15.12	0.73	ND
Zn (mg)	4.43	1.36	ND
Cu (mg)	15.12	0.49	ND
B (mg)	ND	ND	1.59
ที่มา:	ยุทธนา และคณะ (2548)	สมศักดิ์ (2556)	Isarangkool Na Ayutthaya et al. (2017)

ND=ไม่มีรายงาน

ส่วนการให้ปุ๋ยตามปริมาณธาตุอาหารที่ติดไปกับผลผลิต (crop removal) มีไม้ผลที่ได้ดำเนินการวิเคราะห์ปริมาณธาตุอาหารในผล เพื่อใช้เป็นแนวทางในการให้ธาตุอาหาร ได้แก่ ลำไย (ยุทธนา และคณะ, 2548), มะม่วง (สุภัทร์ และคณะ, 2551; Isarangkool Na Ayutthaya et al., 2017) และส้มโอ (สังคม และคณะ, 2552) นอกจากนี้ยังมีงานวิจัยในต่างประเทศด้วย เช่น ส้มหลายๆ ชนิด (Alva and Paramasivan, 1998) และมะเฟือง (Zabedah et al., 2008) เป็นต้น โดยมีตัวอย่างปริมาณธาตุอาหารที่

ติดไปกับผลผลิต ดังตารางที่ 1.2 ซึ่งถ้าเราทราบปริมาณธาตุอาหารที่ติดไปกับผลผลิต จะช่วยให้สามารถประเมินปริมาณธาตุอาหารที่พืชใช้ไปต่อการผลิตได้ ดังนั้น หลักการการให้ปุ๋ยตามปริมาณธาตุอาหารที่ติดไปกับผลผลิตออกจากแปลง คือ การให้ปุ๋ยตามปริมาณธาตุอาหารที่ติดไปกับผลผลิตเพื่อชดเชยธาตุอาหารที่นำออกไปจากแปลงปลูก (สุภัทร, 2560) และนอกจากผลผลิตแล้วถ้ามีการตัดแต่งกิ่ง แล้วมีการนำกิ่งที่ตัดออกไปใช้ประโยชน์อย่างอื่น หรือนำออกไปจากแปลงต้องคำนวณธาตุอาหารที่ติดออกไปกับกิ่งและใบที่ตัดทิ้งด้วย แต่ถ้ากิ่งที่ทำการตัดแต่งไปทำการย่อยด้วยเครื่องย่อยกิ่งไม้แล้วนำมาใส่คืนที่โคนต้น สามารถคิดแต่ปริมาณธาตุอาหารที่ติดไปกับผลผลิตก็นำไปขายอย่างเดียวได้ นอกจากนี้ ข้อดีของการให้ปุ๋ยตามปริมาณธาตุอาหารที่ติดไปกับผลผลิต ไม่จำเป็นต้องใช้ห้องปฏิบัติการในการวิเคราะห์ธาตุอาหารในใบพืชในขั้นตอนแนะนำส่งเสริมเกษตรกร ซึ่งสามารถให้คำแนะนำในการจัดการธาตุอาหารได้อย่างรวดเร็วมากขึ้น

สำหรับการศึกษาวิจัยปริมาณธาตุอาหารที่ติดไปกับผลผลิตของพุทรา San et al. (2009) ได้ศึกษาวิจัยปริมาณธาตุอาหารที่ติดไปกับใบ และผลของพุทรา ไว้ดังตารางที่ 1.3 และ 1.4 ตามลำดับ ซึ่งพบว่าสายพันธุ์มีผลต่อการสะสมธาตุอาหารในชิ้นส่วนพืช การนำค่าปริมาณธาตุอาหารจากรายงานของ San et al. (2009) มาปรับใช้โดยตรงจึงไม่สามารถนำมาประยุกต์ใช้ได้ทันที เพราะสายพันธุ์มีผลต่อการผันแปรของธาตุอาหารในชิ้นส่วนของพืช รวมทั้งพื้นที่ปลูกพุทราในด้านสภาพแวดล้อมและคุณสมบัติดิน อาจส่งผลให้เกิดความแปรปรวนของปริมาณธาตุอาหารในผลผลิต รวมทั้งกิ่งและใบของพุทราได้

ตารางที่ 1.3 ปริมาณธาตุอาหารที่ติดไปกับใบพุทรา 4 สายพันธุ์ (mg/100 g dry weight)

Minerals	Promising Jujube genotypes			
	20-C-10	20-C-22	20-C-51	20-C-52
Nitrogen	2,353.30a	2,056.70b	1,511.70d	1,756.70c
Potassium	1,078.30a	904.70b	873.70c	751.00d
Phosphorus	83.17b	119.03a	126.10a	74.50b
Calcium	3,612.70c	4,807.70b	4,746.00b	4,961.30a
Magnesium	271.33a	255.00b	239.67c	244.00c
Iron	19.03b	16.30c	18.40b	21.33a
Sodium	8.50a	10.33a	11.27a	8.47a
Magnesium	3.90a	1.47c	3.33b	3.83a
Zinc	2.53a	2.30ab	1.97b	1.23c
Boron	6.53a	4.63b	6.17a	6.07a
Copper	0.57a	0.23b	0.13b	0.10b

Mean followed by different letters (a, b, c, d) in the same row are significantly different ($P < 0.05$).

ที่มา: San et al. (2009)

ตารางที่ 1.4 ปริมาณธาตุอาหารที่ติดไปกับผลพุทรา 4 สายพันธุ์ (mg/100 g dry weight)

Minerals	Promising Jujube genotypes			
	20-C-10	20-C-22	20-C-51	20-C-52
Nitrogen	506.67a	170.00c	173.33c	310.00b
Potassium	314.67c	348.00b	420.00a	405.67a
Phosphorus	27.13b	27.30b	30.20a	29.73a
Calcium	106.33a	79.33b	121.33a	117.50a
Magnesium	18.10b	15.77c	121.33a	117.50a
Iron	1.43a	0.67b	0.80ab	0.67b
Sodium	9.50a	8.53a	6.07b	8.50a
Magnesium	0.20a	0.10a	0.17a	0.17a
Zinc	1.27a	0.83b	1.00b	0.53c
Boron	0.80	nd	nd	nd

Mean followed by different letters (a, b, c, d) in the same row are significantly different ($P < 0.05$),

nd = not detected

ที่มา: San et al. (2009)

ความสำคัญของพุทราและแนวทางการจัดการธาตุอาหารที่เกี่ยวข้องกับพุทรา

ตำบลโพธิ์ เป็นแหล่งผลิตพุทราที่ใหญ่ที่สุดในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ นฤมล (2556) รายงานโดยใช้อัตราของกรมวิชาการเกษตร (2555) ว่า ประเทศไทย มีเกษตรกรผู้ปลูกพุทราที่ได้รับการรับรอง GAP จำนวน 195 ราย พื้นที่ปลูกประมาณ 885 ไร่ โดยจังหวัดกาฬสินธุ์ มีผู้ปลูกพุทราที่ได้รับการรับรอง GAP จำนวน 157 ราย พื้นที่ปลูกประมาณ 627 ไร่ หรือประมาณร้อยละ 70.87 ของพื้นที่ปลูกที่ได้รับการรับรอง GAP โดยร้อยละ 90 ของเกษตรกรและพื้นที่ปลูก อยู่ในตำบลโพธิ์ อำเภอคำม่วง (142 ราย 570 ไร่) โดยพันธุ์ที่นิยมปลูกคือ พันธุ์นมสด จัมโบ้ สามรส และแอปเปิ้ล ต้นทุนการผลิตที่สำคัญ คือ การใช้ปุ๋ยประมาณ 26.13% ของต้นทุนทั้งหมด

การจัดการปุ๋ยของพุทราบ้านโพธิ์ มีรายละเอียด ดังนี้ คือ หลังจากตัดต้นแล้ว เกษตรกรจะมีการใส่ปุ๋ยสูตร 46-0-0 หรือ 18-46-0 หรือ 15-15-15+46-0-0 (ตามเทคนิคของเกษตรกรแต่ละราย) ในฤดูฝน เกษตรกรอาจมีการให้ปุ๋ยคอกบริเวณโคนต้น ประมาณต้นละ 1 กระสอบ และก่อนการเก็บเกี่ยว อาจมีการใส่ปุ๋ย 29-5-18 หรือ 0-0-60 หรือ ไม่ใส่ปุ๋ยเคมี (ตามเทคนิคของเกษตรกรแต่ละราย) นอกจากนี้ ยังอาจมีการให้ปุ๋ยชีวภาพต่างๆ อาทิ น้ำหมักชีวภาพจากหน่อกล้วย เป็นต้น ซึ่งแต่ละสวนไม่มีการตรวจสอบสถานะของธาตุอาหารในดินและพืชก่อนการใส่ปุ๋ย รวมทั้งเกษตรกรผู้ปลูกพุทราไม่ทราบความต้องการปุ๋ยของพุทราในแต่ละช่วง ซึ่งโดยทั่วไปเกษตรกรมักให้ปุ๋ยเกินความต้องการของพืช ซึ่งนอกจากต้องมีการลงทุนที่สูงแล้ว ยังก่อผลกระทบในระยะยาว ในเรื่องความไม่สมดุลของธาตุอาหารในดิน และมีผลต่อสภาวะ

แวดล้อมต่อไป ซึ่งเมื่อเกิดปัญหาแล้วการจัดการเพื่อแก้ไขปัญหาดังกล่าวจะมีความยากมาก เพื่อให้ดินหรือสภาพแวดล้อมกลับมามีความอุดมสมบูรณ์อีกครั้ง

ดังนั้น การศึกษาความต้องการธาตุอาหารในพืชรูปร่างโนตามแนวคิด crop removal จะดำเนินการวิจัยเพื่อให้ทราบทั้งปริมาณธาตุอาหารที่ติดไปกับผลผลิต รวมทั้งใบและกิ่งด้วย เนื่องจากการตัดแต่งกิ่งพืชรูปร่างโนเป็นการตัดแต่งอย่างหนักมาก จนเหลือแต่ต่อ และรอการแตกกิ่งก้านใหม่ในรอบปีการผลิตถัดไป การพิจารณาปริมาณธาตุอาหารจึงต้องพิจารณาทั้งด้านธาตุอาหารที่ติดไปกับผลพืชรูปร่างโนเพื่อการจำหน่าย และการตัดแต่งกิ่งและใบออกจากแปลงปลูก เพื่อใช้เป็นแนวทางในการประเมินปริมาณธาตุอาหารตามความต้องการของพืชรูปร่างโนอย่างแม่นยำ ตรงตามความต้องการของพืชรูปร่างโน เพื่อให้ได้ผลผลิตที่มีคุณภาพดีต่อไป

วัตถุประสงค์

เพื่อให้ทราบปริมาณธาตุอาหารที่ติดไปกับผลผลิต ใบ และลำต้นและกิ่งของพืชรูปร่างโน เพื่อใช้เป็นแนวทางในการพัฒนาระบบการจัดการธาตุอาหารสำหรับการผลิตพืชรูปร่างโน

วิธีการศึกษา

การศึกษาแนวทางการจัดการธาตุอาหารอย่างแม่นยำตามความต้องการของพุทรา ดำเนินการโดยคัดเลือกสวนพุทราพันธุ์ผสมที่มีผลผลิตคุณภาพดี จำนวน 5 สวน โดยได้รับความร่วมมือจากเจ้าหน้าที่เกษตรขององค์การบริหารส่วนตำบลโพธิ์ อำเภอคำม่วง จังหวัดกาฬสินธุ์ โดยแต่ละสวนที่ทำการคัดเลือกมีใบรับรองสวนตามการเกษตรที่ดีและเหมาะสม (GAP) ซึ่งแต่ละสวนทำการคัดเลือกต้นพุทราตัวอย่างจำนวน 5 ต้น ที่มีขนาดสม่ำเสมอ เพื่อใช้เป็นตัวแทนของแต่ละสวน และต้นพุทราที่ทำการคัดเลือกเป็นต้นที่ไม่อยู่ในแนวขอบแปลง โดยมีรายละเอียดของแต่ละสวน ดังนี้

1. สวนคุณวิสัย ภูจันทา (สวน A) เป็นสวนที่มีผลผลิตพุทราที่มีคุณภาพอยู่ในเกณฑ์ที่ดีมาก ที่ตั้งสวนพิกัดทางภูมิศาสตร์ $16^{\circ}51'53''\text{N}$ $103^{\circ}37'26''\text{E}$ มีความสูงจากระดับน้ำทะเล 186 เมตร (ภาพที่ 1.1) เป็นพื้นที่ดอน กลุ่มชุดดินที่ 40 (กลุ่มดินร่วนหยาบลึกลงลึกถึงลึกมากที่เกิดจากตะกอนลำน้ำหรือวัตถุต้นกำเนิดเนื้อหยาบ) ตามข้อมูลของระบบนำเสนอแผนที่ชุดดินมาตราส่วน 1:25000 กรมพัฒนาที่ดิน (2563) สำหรับแปลงพืชข้างเคียงเป็นแปลงอ้อย อายุต้นพุทราประมาณ 15 ปี เป็นแปลงที่มีการจัดการดีมาก แปลงนี้มีบ่อน้ำขุดเองสำหรับการให้น้ำพุทรา การจัดการน้ำเริ่มให้น้ำหลังจากที่ใกล้หมดฤดูฝน ในช่วงเดือนกันยายน ปริมาณการให้น้ำจะขึ้นอยู่กับสภาพของดินหากดินแห้งมากก็จะให้น้ำมากกว่าปกติ จนกว่าดินจะมีความชื้นตามที่เกษตรกรต้องการ ให้น้ำประมาณ 1-2 ครั้ง/สัปดาห์ ใช้ระบบน้ำพ่นฝอยขนาดเล็ก

ส่วนการจัดการปุ๋ย เริ่มใส่ปุ๋ยครั้งแรกช่วงเดือนมิถุนายน คือ ปุ๋ยคอก (มูลวัว) ซึ่งแบ่งใส่จำนวน 3 ครั้ง ระหว่างมิถุนายน-พฤศจิกายน ครั้งละ 30 กิโลกรัม/ต้น หลังจากใส่ปุ๋ยคอกในช่วงเดือนมิถุนายนใช้ปุ๋ยเคมี สูตร 15-15-15 ใส่ประมาณ 500-700 กรัม/ต้น ใช้ 1-2 ครั้ง/เดือน และใช้จุลินทรีย์หน่อกล้วย (ทำเอง) 2 ครั้ง/เดือน (บำรุงต้น) เมื่อพุทราเริ่มออกดอกจะใช้ปุ๋ยสูตร 8-24-24 จำนวน 50 กิโลกรัม ร่วมกับยูเรีย 10 กิโลกรัม ละลายน้ำ 200 ลิตร ทำการให้ปุ๋ยผ่านระบบน้ำ เมื่อพุทราเริ่มติดผลจะใช้ปุ๋ยสูตร 18-46-0 และเมื่อพุทราอยู่ในช่วงขนาดผลจนใกล้ถึงระยะเก็บเกี่ยวผลผลิตจะใช้ปุ๋ยสูตร 13-13-21 เพื่อเพิ่มความหวานของผลพุทรา และระหว่างที่พุทราติดผลอาจมีการใส่ปุ๋ยอินทรีย์ (มูลวัว) เพิ่มเติมอีกครั้งหนึ่ง

2. สวนคุณฮ้อย คงอาษา (สวน B) เป็นสวนพุทราที่มีผลผลิตที่มีคุณภาพอยู่ในเกณฑ์ที่ดีมาก ที่ตั้งสวนพิกัดทางภูมิศาสตร์ $16^{\circ}51'33''\text{N}$ $103^{\circ}38'33''\text{E}$ มีความสูงจากระดับน้ำทะเล 188 เมตร (ภาพที่ 1.2) เป็นพื้นที่ดอน กลุ่มชุดดินที่ 40 (กลุ่มดินร่วนหยาบลึกลงลึกถึงลึกมากที่เกิดจากตะกอนลำน้ำหรือวัตถุต้นกำเนิดเนื้อหยาบ) ซึ่งรายงานโดยกรมพัฒนาที่ดิน (2563) แปลงพืชข้างเคียงเป็นแปลงมันสำปะหลัง และเริ่มมีการเปลี่ยนจากแปลงมันสำปะหลังเป็นแปลงมะม่วง ส่วนด้านหลังสวนเป็นพื้นที่ต่ำและมีแปลงนา อายุต้นพุทราประมาณ 15 ปี แปลงนี้มีบ่อน้ำขุดเองสำหรับการให้น้ำพุทรา การจัดการน้ำ เริ่มให้น้ำหลังจากที่ใกล้หมดฤดูฝน ในช่วงเดือนตุลาคม ปริมาณการให้น้ำจะขึ้นอยู่กับสภาพของดินหากดินแห้งมากก็จะให้น้ำมากกว่าปกติ จนกว่าดินจะมีความชื้นตามที่เกษตรกรต้องการ ให้น้ำประมาณ 1 ครั้ง/สัปดาห์

ส่วนการจัดการปุ๋ย เริ่มใส่ปุ๋ยครั้งแรกช่วงเดือนมิถุนายน คือ ปุ๋ยคอก (มูลวัว) โดยใส่ 1 ครั้ง/ปี อัตรา 40-50 กิโลกรัม/ตัน หลังจากนั้นประมาณช่วงเดือนสิงหาคม ทำการใส่ปุ๋ยเคมีผสมจากปุ๋ยสูตร 15-15-15 จำนวน 20 กิโลกรัม ร่วมกับยูเรีย จำนวน 10 กิโลกรัม ใส่ต้นละประมาณ 200-300 กรัม/ต้น เดือนละ 1 ครั้ง/เดือน และใช้ฮอร์โมนอื่นๆ 2 ครั้ง/เดือน และในเดือนกันยายนพุดราเริ่มติดผลจะใช้ปุ๋ยสูตร 29-5-18 ใช้ประมาณ 2 ครั้ง/รอบปลูก



ภาพที่ 1.1 ลักษณะสวนพุดราแปลงคุณวิสัย (สวน A)

ที่มา: Google Earth (2020)



ภาพที่ 1.2 ลักษณะสวนพุดราแปลงคุณฮ้อย (สวน B)

ที่มา: Google Earth (2020)

3. สวนคุณทองจันทร์ ศรีบัว (สวน C) เป็นสวนพุทราที่มีผลผลิตที่มีคุณภาพอยู่ในเกณฑ์ที่ดี และมักมีผลผลิตออกจำหน่ายก่อนสวนอื่นๆ ที่ตั้งสวนพิกัดทางภูมิศาสตร์ $16^{\circ}55'08''\text{N}$ $103^{\circ}37'57''\text{E}$ มีความสูงจากระดับน้ำทะเล 198 เมตร (ภาพที่ 1.3) เป็นพื้นที่ดอน กลุ่มชุดดินที่ 40 (กลุ่มดินร่วนหยาบลึกถึงลึกมากที่เกิดจากตะกอนลำน้ำหรือวัตถุต้นกำเนิดเนื้อหยาบ) ซึ่งรายงานโดยกรมพัฒนาที่ดิน (2563) แปลงพืชข้างเคียงเป็นแปลงไม้ผล และในรัศมีรอบแปลงมีแปลงยางพาราหลายจุด อายุต้นพุทราประมาณ 10 ปี แปลงนี้การเจาะบ่อบาดาลเป็นแหล่งน้ำของการดูแลต้นพุทรา การจัดการน้ำ เริ่มให้น้ำหลังจากที่ใกล้หมดฤดูฝน ในช่วงเดือนกันยายน ปริมาณการให้น้ำจะขึ้นอยู่กับสภาพของดินหากดินแห้งมากก็จะให้น้ำมากกว่าปกติ จนกว่าดินจะมีความชื้นตามที่เกษตรกรต้องการ ให้น้ำประมาณ 1-2 ครั้ง/สัปดาห์

ส่วนการจัดการปุ๋ย เริ่มใส่ปุ๋ยครั้งแรกช่วงเดือนมิถุนายน คือ ปุ๋ยคอกร่วมกับปุ๋นขาว โดยปุ๋ยคอกใช้ปุ๋ยมูลวัว อัตรา 30 กิโลกรัม/ต้น/ปี หลังจากนั้นประมาณช่วงเดือนกรกฎาคมใช้ปุ๋ยเคมีสูตร 15-15-15 ใส่ประมาณ 100 กรัม/ต้น ความถี่ในการใส่ 1-2 ครั้ง/เดือน เมื่อพุทราเริ่มออกดอกและติดผลจะใช้ปุ๋ยสูตร 8-24-24 ใช้ประมาณ 2 ครั้ง/เดือน และในช่วงพุทราใกล้ถึงระยะเก็บเกี่ยวผลผลิตใช้ปุ๋ยเคมีสูตร 0-0-60 ใช้ 2 ครั้ง/เดือน



ภาพที่ 1.3 ลักษณะสวนพุทราแปลงคุณทองจันทร์ (สวน C)

ที่มา: Google Earth (2020)

4. สวนคุณเสริมศักดิ์ ราชติกา (สวน D) เป็นสวนพุทราที่มีผลผลิตที่มีคุณภาพอยู่ในเกณฑ์ปานกลาง-ดี แต่ผลผลิตในปีที่ทำการศึกษารัฐอาทราหามีปัญหากันผลเน่า คล้ายอาการขาดแคลเซียม ที่ตั้งสวนพิกัดทางภูมิศาสตร์ $16^{\circ}52'18''\text{N}$ $103^{\circ}36'03''\text{E}$ มีความสูงจากระดับน้ำทะเล 183 เมตร (ภาพที่ 1.4) เป็นพื้นที่ดอน กลุ่มชุดดินที่ 40 (กลุ่มดินร่วนหยาบลึก

ถึงลึกมากที่เกิดจากตะกอนลำน้ำหรือวัตถุต้นกำเนิดเนื้อหยาบ) ซึ่งตามข้อมูลของระบบ
นำเสนอแผนที่ชุดดินมาตราส่วน 1:25000 กรมพัฒนาที่ดิน (2563) แจ้งว่าดินมีปัญหาเป็นดิน
กรดในพื้นที่ตอน แปลงพืชข้างเคียงเป็นแปลงมันสำปะหลัง อายุต้นพุทราประมาณ 10 ปี
แปลงนี้มีบ่อน้ำขนาดเล็กกักเก็บน้ำไว้เพื่อใช้ดูแลต้นพุทรา แต่ถ้าปีไหนแล้งจัดน้ำจะไม่เพียงพอ
ต่อการดูแลต้นพุทรา (และในรอบการผลิตปี 2562/2563 เกษตรกรได้ทำการขุดเจาะน้ำ
บาดาลทำให้มีผลผลิตที่ดีขึ้นกว่ารอบปีที่ 2561/2562 ซึ่งโครงการได้ทำการเก็บข้อมูลธาตุ
อาหาร) การจัดการน้ำ เริ่มให้น้ำหลังจากที่ใกล้หมดฤดูฝน ในช่วงเดือนกันยายน ปริมาณการ
ให้น้ำจะขึ้นอยู่กับสภาพของดินหากดินแห้งมากก็จะให้น้ำมากกว่าปกติ จนกว่าดินจะมี
ความชื้นตามที่เกษตรกรต้องการ ให้น้ำประมาณ 1-2 ครั้ง/สัปดาห์

การจัดการปุ๋ย เริ่มใส่ปุ๋ยครั้งแรกช่วงเดือนมิถุนายน คือ ปุ๋ยคอก (ปุ๋ยมูลวัวผสมมูลไก่
อัตรา 1:1) โดยใส่ปีละหนึ่งครั้ง จำนวน 1 กิโลกรัม/ต้น และเสริมด้วยปุ๋ยชีวภาพทางการค้า
อัตรา 1 กิโลกรัม/ต้น หลังจากนั้นประมาณช่วงเดือนกรกฎาคม ใช้ปุ๋ยเคมีผสมจาก ปุ๋ยสูตร
15-15-15 จำนวน 50 กิโลกรัม ร่วมกับยูเรีย 25 กิโลกรัม ทำการใส่ประมาณ 100 กรัม/ต้น
ความถี่ในการใส่ 1-2 ครั้ง/เดือน และเมื่อพุทราเริ่มติดผลใช้ปุ๋ยเคมีสูตร 0-0-60 จำนวน 2
ครั้ง/เดือน



ภาพที่ 1.4 ลักษณะสวนพุทราแปลงคุณสมบัติ (สวน D)

ที่มา: Google Earth (2020)

5. สวนคุณไฉ โพนะทา (สวน E) จากประวัติของสวน เจ้าของสวนเป็นเกษตรกรกลุ่มแรกๆ ที่ทำการ
ปลูกพุทราทดแทนการทำนา และไร่อ้อย สวนพุทราที่มีผลผลิตที่มีคุณภาพอยู่ในเกณฑ์ปานกลาง
ที่ตั้งสวนพิกัดทางภูมิศาสตร์ $16^{\circ}52'24''\text{N}$ $103^{\circ}36'19''\text{E}$ มีความสูงจากระดับน้ำทะเล 177

เมตร (ภาพที่ 1.5) เป็นพื้นที่ต่ำที่สุดในของทุกสวน พืชอื่นๆ รอบแปลง คือ การทำนา และ อ้อย แต่ตามข้อมูลของระบบนำเสนอแผนที่ชุดดินมาตราส่วน 1:25000 กรมพัฒนาที่ดิน (2563) รายงานว่าเป็นพื้นที่ดอน โดยจัดอยู่ในกลุ่มชุดดินที่ 40 (กลุ่มดินร่วนหยาบถึงลึกมากที่เกิดจากตะกอนลำน้ำหรือวัตถุต้นกำเนิดเนื้อหยาบ) อายุต้นพุทราประมาณ 10 ปี แปลงนี้มีบ่อน้ำสำหรับการให้น้ำแก่พุทรา การจัดการน้ำ เริ่มให้น้ำหลังจากที่ใกล้หมดฤดูฝน ในช่วงเดือนกันยายน ปริมาณการให้น้ำจะขึ้นอยู่กับสภาพของดินหากดินแห้งมากก็จะให้น้ำมากกว่าปกติ จนกว่าดินจะมีความชื้นตามที่เกษตรกรต้องการ ให้น้ำประมาณ 1-2 ครั้ง/สัปดาห์

การจัดการปุ๋ย เริ่มใส่ปุ๋ยครั้งแรกช่วงเดือนมิถุนายน คือ ปุ๋ยคอก (ปุ๋ยมูลวัว) อัตรา 30 กิโลกรัม/ตัน/ปี หลังจากนั้นประมาณช่วงเดือนมิถุนายน-กรกฎาคมใช้ปุ๋ยเคมีผสมระหว่างปุ๋ยสูตร 15-15-15 จำนวน 20 กิโลกรัม ร่วมกับปุ๋ยยูเรีย 10 กิโลกรัม ใส่ประมาณ 200-500 กรัม/ตัน ความถี่ 1-2 ครั้ง/เดือน และใช้ฮอร์โมนอื่นๆ 2 ครั้ง/เดือน และเมื่อพุทราเริ่มติดผลจะใช้ปุ๋ยสูตร 8-24-24 ใช้ประมาณ 1-2 ครั้ง/เดือน



ภาพที่ 1.5 ลักษณะสวนพุทราแปลงคุณไว (สวน E)

ที่มา: Google Earth (2020)

จากการศึกษาลักษณะของพื้นที่ปลูกพุทราทั้ง 5 สวน และสอบถามวิธีการจัดการทางด้านธาตุอาหารของเกษตรกรแต่ละสวน ได้สรุปแผนภูมิการจัดการพุทราตามสัดในรอบปี กรณีตำบลโพธิ์ จังหวัดกาฬสินธุ์ ดังแผนภูมิในหน้า 16

แผนการจัดการผลิตพุทราหมสดในรอบปี กรณีตำบลโพน จังหวัดกาฬสินธุ์



การเก็บข้อมูลและการวิเคราะห์ธาตุอาหาร

1. ปริมาณธาตุอาหารในดิน

การศึกษาการเปลี่ยนแปลงของธาตุอาหารในดิน ในสวนพุทรา เพื่อเป็นข้อมูลพื้นฐานประกอบการพิจารณาธาตุอาหารในชิ้นส่วนพืช โดยแต่ละสวนทำการเลือกต้นพุทราจำนวน 5 ต้น โดยพุทราแต่ละต้นทำการเก็บตัวอย่างดิน 4 จุดกระจายรอบทรงพุ่ม ทำการเก็บตัวอย่าง 2 ระดับความลึก คือ 0-15 เซนติเมตร และ 15-30 เซนติเมตร นำตัวอย่างดินแต่ละต้นรวมกันเป็น 1 ตัวอย่าง นำตัวอย่างที่เก็บได้มาตากให้แห้งในที่ร่ม และทำการบดให้ละเอียดเพื่อทำการวิเคราะห์ ความเป็นกรด-ด่าง (Soil Reaction: pH) ค่าการนำไฟฟ้า (EC) ปริมาณอินทรีย์วัตถุ (Organic Matter: OM) และธาตุอาหารต่างๆ ได้แก่ ฟอสฟอรัส (P) โพแทสเซียม (K) แคลเซียม (Ca) และโบรอน (B) ตามวิธีของทศนีย์ และคณะ (2537) และศรีสม (2544)

2. ปริมาณธาตุอาหารที่ติดไปกับใบ

ทำการศึกษาการเปลี่ยนแปลงของธาตุอาหารในใบพุทรา โดยพุทราแต่ละต้น ทำการเก็บตัวอย่างในต่อเนื่องเดือนละ 1 ครั้ง (เดือนธันวาคม 2561 – มีนาคม 2562) ทำการเก็บตัวอย่างใบพุทราที่บริเวณรอบทรงพุ่ม จำนวน 8 จุดๆ จุดละ 3 ใบ (ใบตำแหน่งที่ 3 จากปลายกิ่งของทรงพุ่ม) รวมเป็น 24 ใบ ต่อ 1 ต้น เพื่อเป็นตัวอย่างการศึกษาการเปลี่ยนแปลงธาตุอาหารในใบของพุทราในแต่ละเดือน นำตัวอย่างใบที่เก็บได้มาอบตัวอย่างด้วยตู้อบลมร้อน อุณหภูมิ 65 องศาเซลเซียส นาน 72 ชั่วโมง เพื่อวิเคราะห์ปริมาณธาตุอาหารในใบ ได้แก่ ไนโตรเจน (N) ฟอสฟอรัส (P) โพแทสเซียม (K) แคลเซียม (Ca) และโบรอน (B) ตามวิธีของทศนีย์ และคณะ (2537) และศรีสม (2544)

สำหรับน้ำหนักของใบพุทราทั้งต้นทำการริดใบทั้งต้นของพุทราในช่วงเดือนมีนาคม 2562 เพื่อหาน้ำหนักใบสดทั้งหมดของพุทรา โดยแต่ละสวนทำการเก็บตัวอย่างใบแยกต้น สวนละ 5 ต้น และนำตัวอย่างใบมาอบแห้งด้วยตู้อบลมร้อน อุณหภูมิ 65 องศาเซลเซียส นาน 72 ชั่วโมง ทำการชั่งน้ำหนักแห้ง เพื่อค่าตัวแปรในการคำนวณจากน้ำหนักสดเป็นน้ำหนักแห้ง เพื่อให้ทราบน้ำหนักแห้งของใบทั้งหมดของต้นพุทรา ซึ่งจะนำไปคำนวณปริมาณธาตุอาหารที่ติดไปกับใบทั้งหมด

3. ปริมาณธาตุอาหารที่ติดไปกับลำต้นและกิ่ง

ทำการเก็บตัวอย่างลำต้นและกิ่งในช่วงที่เกษตรกรทำการตัดแต่งพุทรา (เดือนมีนาคม 2562) โดยแต่ละสวนทำการเก็บตัวอย่างลำต้นและกิ่งแยกต้น สวนละ 5 ต้น และในแต่ละต้นแบ่งกิ่งออกเป็น 3 ขนาด คือ กิ่งขนาดเล็ก (เส้นผ่าศูนย์กลาง < 1.5 cm), กิ่งขนาดกลาง (เส้นผ่าศูนย์กลาง 1.5-3.0 cm) และกิ่งขนาดใหญ่ (เส้นผ่าศูนย์กลาง > 3.0 cm) นำมาตัวอย่างซึ่งน้ำหนักสด และนำตัวอย่างกิ่งมาอบแห้ง ด้วยตู้อบลมร้อน อุณหภูมิ 65 องศาเซลเซียส จนตัวอย่างแห้งสนิท ทำการชั่งน้ำหนักแห้ง และจัดเตรียมตัวอย่างเพื่อวิเคราะห์ปริมาณธาตุอาหารในกิ่ง ได้แก่ ไนโตรเจน (N) ฟอสฟอรัส (P) โพแทสเซียม (K) แคลเซียม (Ca) และโบรอน (B) ตามวิธีของทศนีย์ และคณะ (2537) และศรีสม (2544)

4. ปริมาณธาตุอาหารที่ติดไปกับผล

ทำการเก็บข้อมูลน้ำหนักสดผลผลิตทั้งต้น และน้ำหนักสดของผลผลิตที่มีการแบ่งชั้นคุณภาพ ได้แก่ เกรด A, B และตกเกรด ในส่วนตัวอย่างผลผลิตเพื่อการวิเคราะห์ปริมาณธาตุอาหารในผลผลิต จะทำการ

สุ่มเก็บผลผลิต โดยแบ่งออกเป็น 3 ชั้นคุณภาพดังกล่าว โดยพุทราแต่ละต้นจะทำการสุ่มเก็บตัวอย่างชั้นคุณภาพละ 5 ผล นำมาทำการแยกชิ้นส่วนเนื้อที่รับประทานได้ และเมล็ด ทำการชั่งน้ำหนักสดของแต่ละชิ้นส่วน แล้วนำไปอบแห้งด้วยเครื่อง Freeze Dry ที่อุณหภูมิ -52 องศาเซลเซียส จนตัวอย่างแห้งสนิท เพื่อทำการวิเคราะห์ปริมาณธาตุอาหารในผลพุทราต่อไป

ผลการศึกษา และวิจารณ์

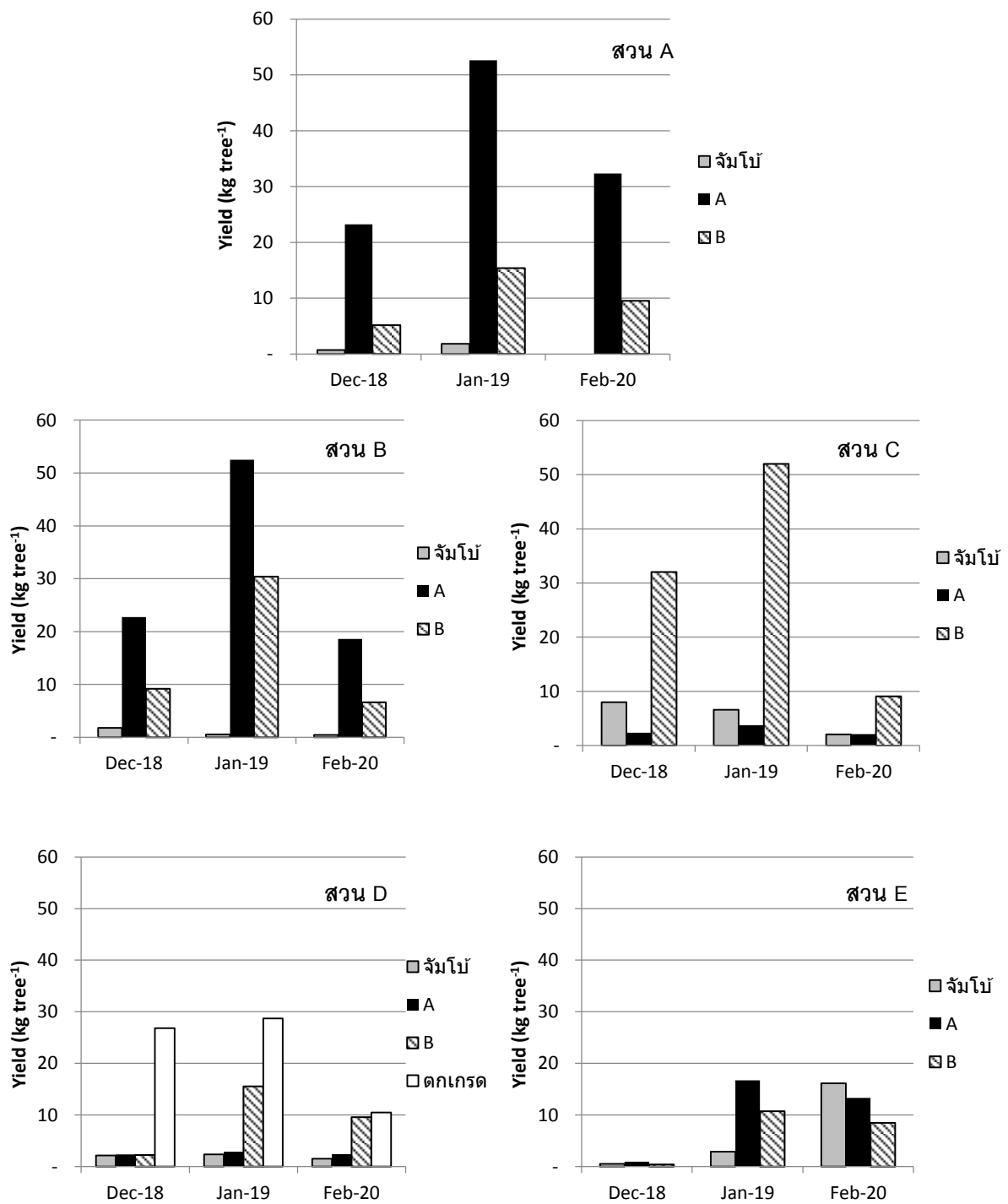
1. ข้อมูลพื้นฐานในด้านผลผลิตของสวนพุทราที่ทำการศึกษาวิจัย

ปริมาณผลผลิต

จากการศึกษาปริมาณผลผลิต และเกรดของผลผลิตของสวนพุทราในพื้นที่บ้านโนน อำเภอกำแพง จังหวัดกาฬสินธุ์ จำนวน 5 สวน พบว่า สวนพุทราแต่ละสวนมีผลผลิตต่อต้นแตกต่างกัน โดยสวน A ถึง E มีผลผลิตโดยรวมต่อต้นตลอดฤดูกาลจำหน่ายผลผลิต เท่ากับ 140.8, 142.8, 117.9, 107.1 และ 70.1 กิโลกรัมต่อต้น ตามลำดับ นอกจากนี้ในการแบ่งชั้นคุณภาพผล โดยแบ่งจากขนาดผล พบว่า แต่ละสวนมีผลผลิตที่มีชั้นคุณภาพแตกต่างกัน ตั้งแต่ ชั้นพิเศษ (จัมโบ้) จนถึงตกเกรด (ภาพที่ 1.6) โดยในปีการผลิต 2561 ต่อเนื่อง 2562 (รอบปีการผลิต 2561/2562) พบว่าพุทราให้ผลผลิตในช่วงเดือนธันวาคม ถึง กุมภาพันธ์ ซึ่งพุทราจะมีผลผลิตสูงสุดในเดือนมกราคม และชั้นคุณภาพของผลที่เกษตรกรในพื้นที่นี้สามารถผลิตได้ คือ ชั้นคุณภาพระดับ A หรือที่เกษตรกร เรียกว่า ลูกแก้วเอ อย่างไรก็ตามราคาจำหน่ายของชั้นพิเศษ (จัมโบ้) กับ แก้วเอ ไม่มีความแตกต่างกัน ทำให้เกษตรกรมีความพึงพอใจต่อคุณภาพของผลผลิต ถ้าเกษตรกรสามารถผลิตพุทราให้อยู่ในชั้นแก้วเอ แต่คุณภาพระดับ B, C และตกเกรด ราคาต่ำกว่าชั้นแก้วเอ ประมาณเท่าตัว ทำให้เกษตรกรโดยส่วนใหญ่ ต้องการทราบวิธีการและเทคโนโลยีการผลิตให้ได้ผลผลิตชั้นแก้วเอขึ้นไป

จากข้อมูลผลผลิตโดยรวมซึ่งพบว่าสวน C มีผลผลิตชั้นพิเศษมากกว่าสวนอื่นๆ อาจเกิดเนื่องจากช่วงเวลาการออกดอกของสวน C เร็วกว่าสวนอื่นๆ และการออกดอกในช่วงแรกเปอร์เซ็นต์การติดผลไม่สูงมากนัก ทำให้ผลที่ติดมีการพัฒนาที่ดีได้รับอาหารสะสมจากต้นไปสู่ผลอย่างสมบูรณ์ เนื่องจากน้ำหนักผลต่อต้นน้อยกว่าสวน A และสวน B ซึ่งน่าจะเป็นสาเหตุหนึ่งที่ทำให้สวน C มีปริมาณผลผลิตชั้นพิเศษมากกว่าสวนอื่นๆ ประกอบกับการจัดการสวนของสวน C มีระบบการให้น้ำและการดูแลรักษาที่ดีด้วย

ส่วนผลผลิตของสวน D และสวน E มีผลผลิตน้อยกว่าสวนอื่นๆ และขนาดหรือคุณภาพของผลไม่ดีเท่ากับสวนอื่นๆ น่าจะมีปัจจัยพื้นฐานที่สำคัญ คือ ลักษณะดินพื้นฐาน คือ สวน D แปลงดั้งเดิมเป็นมันสำปะหลัง และพืชรอบๆ แปลงยังเป็นการผลิตมันสำปะหลังอยู่ แหล่งน้ำเป็นบ่อขนาดเล็กในปีที่แล้งจัดๆ น้ำไม่เพียงพอต่อการให้น้ำแก่พุทรา และวิเคราะห์คุณสมบัติดิน พบว่ามีค่าความเป็นกรดต่างของดิน (pH) เป็นกรดจัด รวมถึงปริมาณ B ต่ำกว่า ค่ามาตรฐาน (รายละเอียดอยู่ในส่วนคุณสมบัติของดิน) ส่วนสวน E พื้นที่ปลูกแต่ก่อนทำนา และแปลงพืชรอบๆ ยังคงสถานะเป็นแปลงนา ในช่วงที่ฝนตกหนัก ดินมีความชื้นสูงมาก อาจส่งผลต่อความสมบูรณ์ของต้นพุทราได้ ในแง่ธาตุอาหารในดิน พบว่า สวน E มีปริมาณโบรอนในดินต่ำกว่าค่ามาตรฐาน ซึ่งอาจส่งผลต่อกระบวนการติดผล และการพัฒนาของผลพุทรา ทำให้พุทราที่ผลิตได้คุณภาพไม่นัก



ภาพที่ 1.6 ปริมาณผลผลิตต่อต้นจากสวนพุทราที่คัดเลือกจำนวน 5 สวน โดยสวน A และ B เป็นสวนที่มีการจัดการสวนพุทราในระดับดีมาก ส่วนสวน C, D และ E เป็นสวนที่มีการจัดการทั่วไป โดยทุกสวนได้รับการรับรอง GAP

น้ำหนักสดและน้ำหนักแห้งของผลแต่ละชั้นคุณภาพ

จากการศึกษาการแบ่งชั้นคุณภาพผล (ภาพที่ 1.7) พบว่า ชั้นคุณภาพผลขนาดพิเศษมีน้ำหนักสดเฉลี่ย 73.95 กรัม ส่วนชั้น A, B และ C มีน้ำหนักผลเฉลี่ย 27-40, 21-30 และน้อยกว่า 20 กรัม ตามลำดับ (ตารางที่ 1.5) อย่างไรก็ตาม การจัดชั้นคุณภาพในแต่ละสวน มีความผันแปรตามแต่เจ้าของสวน ทำให้ขนาดผลของแต่ละสวนมีผลในแต่ละชั้นคุณภาพแตกต่างกันบ้างเล็กน้อย โดยปกติผลในชั้นพิเศษมีปริมาณไม่มากนัก และมักมีผลผลิตในช่วงต้นฤดูกาล ซึ่งน่าจะเกิดจากดอกที่มีการติดผลรุ่นแรกๆ มีการแข่งขันในการใช้อาหารกับผลอื่นๆ ไม่มากนัก ทำให้ผลที่ได้มีขนาดใหญ่ การศึกษาสัดส่วนเนื้อและเมล็ด พบว่า ผลพุทรา มีสัดส่วนเนื้อมากกว่าเมล็ด ประมาณ 15-20 เท่า โดยผลที่มีขนาดใหญ่ขึ้นจะมีสัดส่วนของเนื้อมากขึ้น ซึ่งแสดงให้เห็นว่าผลขนาดใหญ่เกิดจากการพัฒนาของส่วนเนื้อผลพุทราที่มากขึ้น

ตารางที่ 1.5 ขนาด น้ำหนักสด และน้ำหนักแห้งของผลในแต่ละชั้นคุณภาพของสวนพุทรา จำนวน 5 สวน

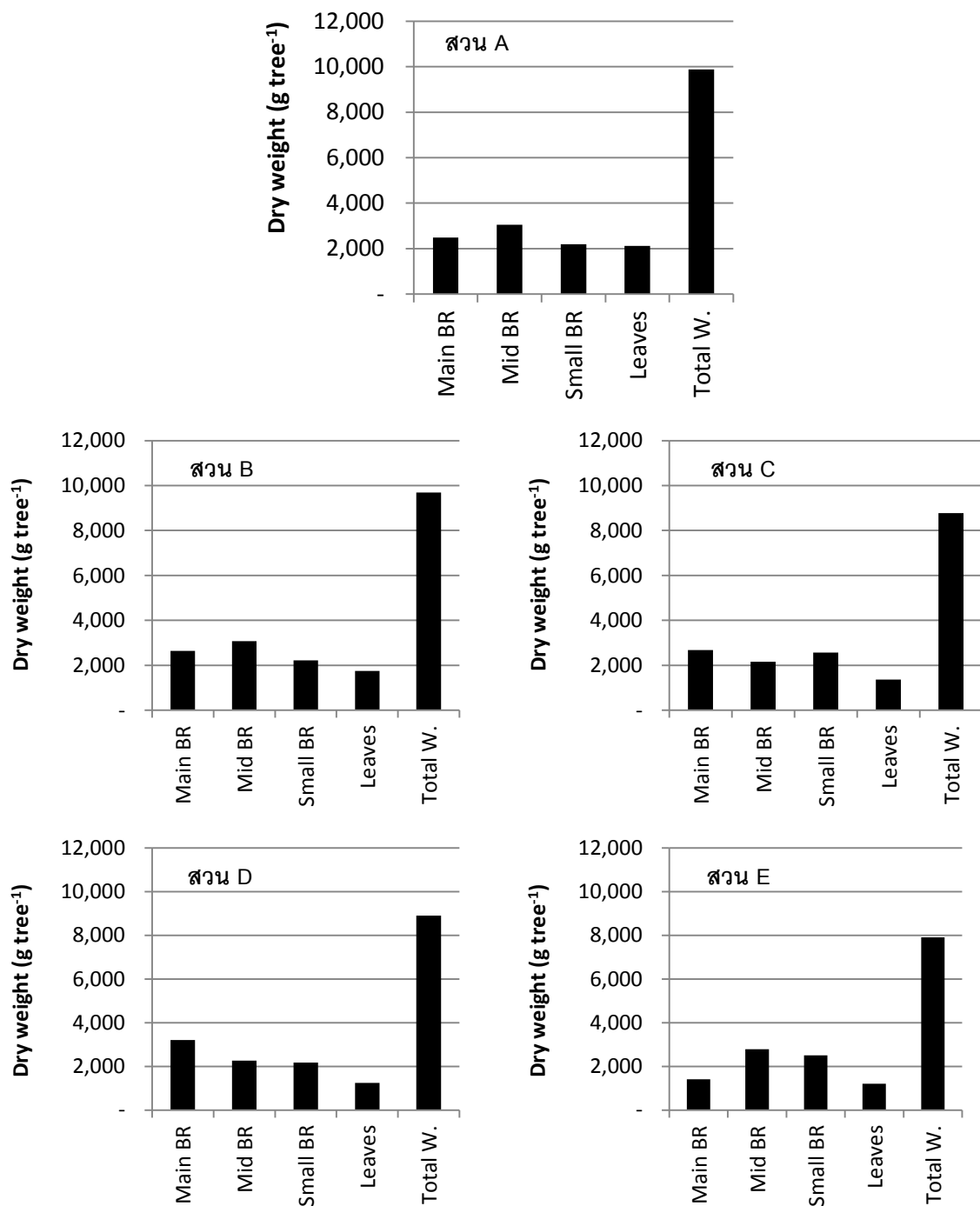
สวน	Grade	Total FW (g)	Pulp FW (g)	Seed FW (g)	Pulp/ Seed	Width (mm)	Height (mm)	Pulp DW (g)	Seed DW (g)
คุณวิสัย (A)	A	39.39A	35.45A	1.89A	19.154	39.33A	43.82A	4.48A	0.90A
	B	30.68B	26.32B	1.75AB	15.314	36.42B	40.48A	3.27B	0.83AB
	C	23.22C	20.56B	1.43B	14.922	32.99C	36.38B	2.30B	0.70B
	F-test	**	**	ns	ns	**	**	**	ns
คุณฮ้อย (B)	A	27.88A	24.54A	1.35	18.51A	35.06A	38.93A	2.97A	0.54
	B	22.28AB	19.54B	1.22	16.35AB	32.48B	36.12B	2.19B	0.48
	C	18.13B	14.95B	1.10	13.89B	29.91C	33.27C	1.66B	0.47
	F-test	*	**	ns	*	**	**	*	ns
คุณทอง จันทร์ (C)	Jumbo	73.95A	68.74A	3.53A	19.58A	48.35A	56.31A	8.53A	1.01A
	A	28.54B	26.06B	1.23B	21.40A	35.78B	38.60B	3.14B	0.50B
	B	21.22BC	19.91BC	1.23B	16.37B	32.58C	34.93C	2.26B	0.42B
	C	16.66C	15.54C	0.93B	16.85B	30.14D	32.08C	1.86B	0.40B
	F-test	**	**	**	**	**	**	**	**
คุณเสริม ศักดิ์ (D)	A	32.86A	29.89A	1.87	16.89	37.47A	39.72A	3.79A	0.87A
	B	24.41B	20.89B	1.39	15.30	33.52B	35.44B	2.39B	0.66AB
	C	17.70B	15.95B	1.16	14.06	30.83B	32.88B	1.79B	0.56B
	F-test	**	**	ns	ns	**	**	**	ns
คุณไผ (E)	A	29.36A	26.88A	1.55A	17.49	35.89A	40.19A	3.44A	0.75A
	B	24.08B	22.84B	1.26B	18.31	33.75B	37.91B	2.95B	0.61B
	C	19.49C	18.43C	1.10B	17.09	31.24C	35.06C	2.22C	0.51C
	F-test	**	**	**	ns	**	**	**	**



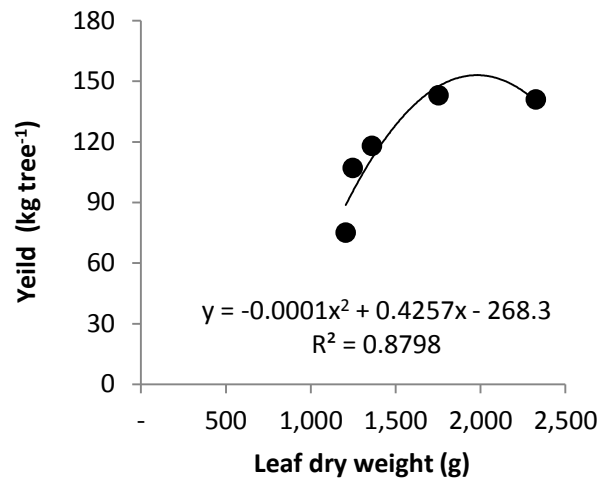
ภาพที่ 1.7 ลักษณะผลในแต่ละชั้นคุณภาพของสวนพุทรา จำนวน 5 สวน โดยแถวที่ 1, 2, 3 และ 4 จากด้านบน แสดงถึงผลชั้นขนาดพิเศษ (จัมโบ้), ชั้น A, B และ C ตามลำดับ

น้ำหนักของกิ่ง และใบของต้นพุทรา

การศึกษาน้ำหนักของกิ่ง และใบพุทรา ซึ่งดำเนินการเก็บตัวอย่างกิ่ง จากต้นพุทราในระยะตัดต้น เพื่อพักต้นหลังจากเก็บเกี่ยวผลผลิตแล้ว ส่วนใบทำการเก็บตัวอย่างใบต่อเนื่องทั้งใบที่ร่วงอยู่ที่โคนต้น และใบที่เหลือยู่บนต้นในช่วงที่ทำการตัดแต่งต้นพุทรา พบว่า สวน A และสวน B มีน้ำหนักใบมากกว่าสวน C, D และ E สอดคล้องกับน้ำหนักกิ่งขนาดต่างๆ พบว่า สวน A และ B มีน้ำหนักกิ่งโดยรวมมากกว่าสวนอื่นๆ ที่เหลือ ซึ่งเมื่อพิจารณาขนาดทรงต้น โดยพิจารณาน้ำหนักรวมของกิ่งและใบ พบว่า สวน A และสวน B มีน้ำหนักรวมใกล้เคียงกัน ประมาณ 10 กิโลกรัม ส่วนสวนอื่นๆ ที่เหลือ มีน้ำหนักรวมของใบและกิ่งน้อยกว่าสองสวนดังกล่าวข้างต้น (ภาพที่ 1.8) และในการหาความสัมพันธ์ของข้อมูลผลผลิตและน้ำหนักแห้งใบของแต่ละสวน พบว่า ปริมาณผลผลิตต่อต้นของพุทรามีความสัมพันธ์กับน้ำหนักแห้งใบ (ภาพที่ 1.9) ซึ่งแสดงให้เห็นว่าถ้าต้นพุทรามีใบมาก จะมีผลผลิตมากตามไปด้วย ซึ่งเป็นลักษณะทางธรรมชาติในกระบวนการออกดอกของพุทรา โดยการออกดอกจะเกิดมาพร้อมกับการแตกตาเพื่อแทงยอดใหม่ เลยทำให้ถ้ามีการแตกใบมากก็就会有การออกดอกและนำไปสู่การติดผลที่เพิ่มขึ้น ส่งผลให้ทรงพุ่มของต้นพุทรามีขนาดใหญ่ขึ้นด้วย



ภาพที่ 1.8 น้ำหนักแห้งของกิ่งขนาดต่างๆ ใบ และน้ำหนักแห้งรวม (ต่อต้น) จากสวนพุทราที่คัดเลือกจำนวน 5 สวน โดยสวน A และ B เป็นสวนที่มีการจัดการสวนพุทราในระดับดีมาก ส่วนสวน C, D และ E เป็นสวนที่มีการจัดการทั่วไป



ภาพที่ 1.9 ความสัมพันธ์ของปริมาณผลผลิตต่อต้นและน้ำหนักแห้งใบ

2. คุณสมบัติของดินพื้นฐานในแปลงพุทราที่ทำการศึกษา

ความเป็นกรด-ด่างของดิน การศึกษาคุณสมบัติทางเคมีของดินแต่ละสวน พบว่าสวนพุทราที่ทำการศึกษาทั้ง 5 สวน มีค่า pH อยู่ในช่วง 4.44-6.14 โดยสวน D มีค่า pH ต่ำที่สุด (ภาพที่ 1.10) ดินมีสถานะเป็นกรดจัด ซึ่งจากข้อมูลของระบบนำเสนอแผนที่ชุดดินมาตราส่วน 1:25000 กรมพัฒนาที่ดิน (2563) พบว่าดินสวนดังกล่าวน่ามีลักษณะคล้ายเป็นดินพื้นฐานของพื้นที่นี้ ส่วนสวนพุทราอื่นๆ มีการปรับปรุงคุณสมบัติดินเป็นประจำทุกปี จากการใส่ปุ๋ยอินทรีย์ และปูน ทำให้ค่าความเป็นกรดด่างเปลี่ยนแปลงไปในทางที่ดีขึ้น มีค่าค่อนข้างกรดอ่อน (สูงกว่า 5.5) ซึ่งค่า pH โดยทั่วไปควรมีค่าอยู่ในช่วง 5.5-6.6 ซึ่งส่งผลต่อความเป็นประโยชน์ของธาตุอาหารในดิน

ค่าการนำไฟฟ้าของดิน จากการวิเคราะห์ค่า EC พบว่า ดินบนมักมีค่า EC สูงกว่าดินล่าง โดยทั้ง 5 สวนมีค่า EC เฉลี่ยอยู่ในช่วง 54-1,264 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (ภาพที่ 1.11) โดยสวน B มีค่าการนำไฟฟ้าต่ำที่สุด สอดคล้องกับปริมาณ P, K และ Ca ในดินของสวน B ซึ่งมีค่าต่ำมากด้วย เนื่องจากค่า EC มีความสัมพันธ์กับประจุธาตุอาหารที่ละลายอยู่ในดิน สำหรับสวน E จากการวิเคราะห์ทางสถิติพบว่า มีค่า EC มากกว่าสวนอื่นๆ น่าจะเกิดจากดินพื้นฐานเป็นที่ลุ่มพื้นที่รอบข้างทำนา ซึ่งอาจมีผลต่อปริมาณธาตุอาหารที่ละลายอยู่ในดิน

อินทรีย์วัตถุในดิน (OM) จากการวิเคราะห์ OM ของดินที่ปลูกพุทราทั้ง 5 สวน พบว่ามีค่า OM อยู่ในช่วง 1.01-2.28 % (ภาพที่ 1.12) ซึ่งถือว่า มี OM อยู่ในเกณฑ์ค่อนข้างสูง (สุภัทร์, 2560) สำหรับแปลงปลูกพืชที่อยู่ในพื้นที่ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ โดยเมื่อเทียบลักษณะดินที่ปลูกพุทราที่ทำการศึกษากับแปลงรอบข้าง เช่น แปลงมันสำปะหลัง จะพบว่าแปลงพุทราน่าจะมีคุณลักษณะดินที่ดีกว่ามาก เนื่องจากการจัดการพื้นที่ปลูกไม้ผลโดยส่วนใหญ่เกษตรกรจะมีการปรับปรุงบำรุงดินมากกว่าการปลูกพืชไร่ เช่น การใส่ปุ๋ยอินทรีย์แก่ต้นพุทรา การปลูกไม้ผลในระยะยาวน่าจะทำให้ดินมีคุณสมบัติที่ดีขึ้น และการเปรียบเทียบค่า OM ของดินในเดือนธันวาคม 2561 กับมีนาคม 2562 พบว่าการวิเคราะห์ดินในเดือนมีนาคม 2562 ค่า OM ของดินสูงขึ้น ซึ่งน่าจะเกิดเนื่องจากเกษตรกรมีการใส่ปุ๋ยคอกให้แก่พุทราในช่วงที่พุทราเริ่มติดผลใน

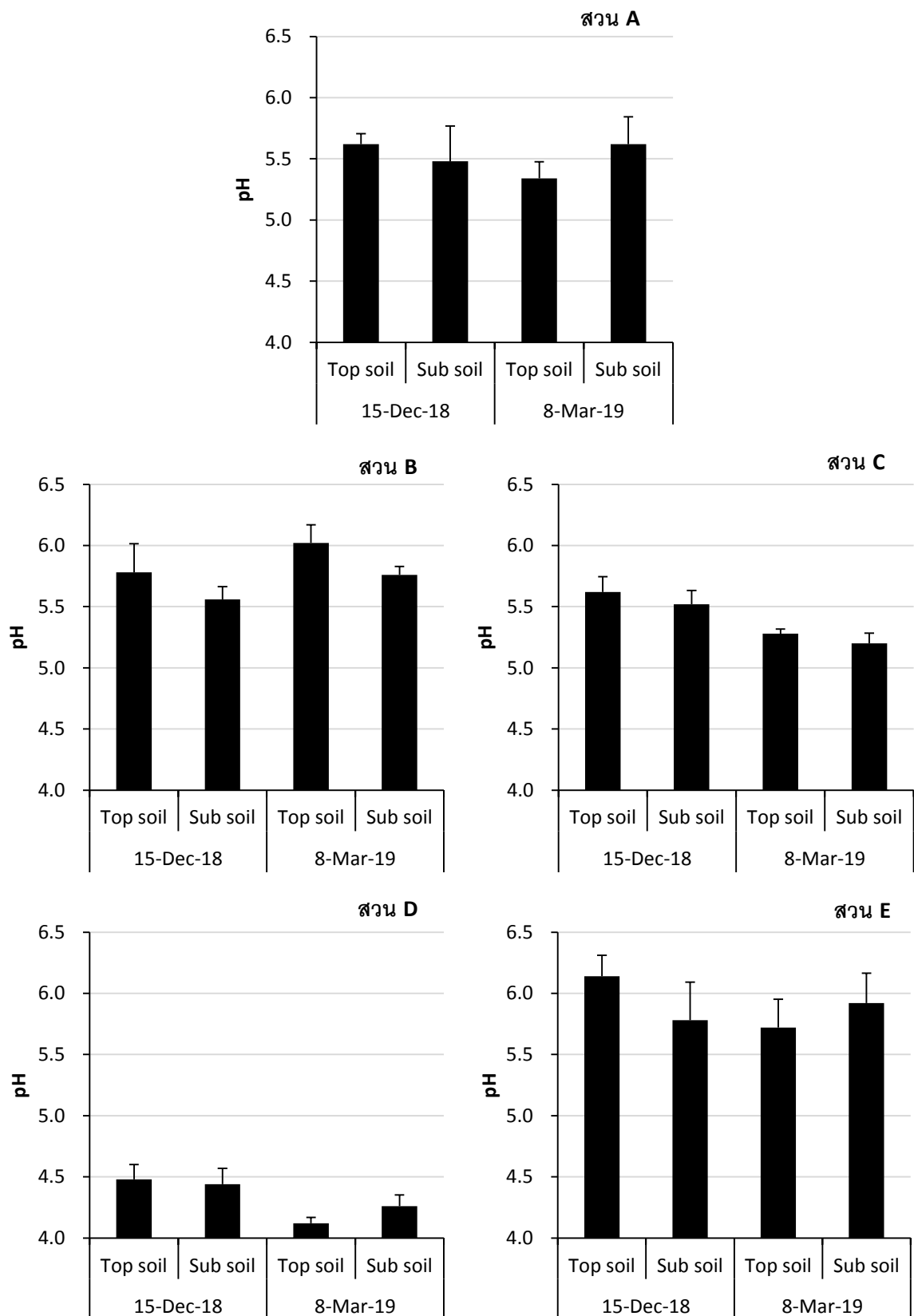
เดือนมกราคม 2562 (ข้อมูลได้จากการสอบถามและสังเกต) เพื่อต้องการให้พุทรามีผลขนาดใหญ่ ส่งผลให้ OM มีค่าสูงขึ้นในช่วงเดือนมีนาคม 2562 ประกอบกับพุทราเริ่มมีการร่วงของใบในช่วงเดือนธันวาคม-มกราคม ซึ่งน่าจะส่งผลต่อการเพิ่มขึ้นของปริมาณอินทรีย์วัตถุในดินด้วย

ฟอสฟอรัส (P) จากการวิเคราะห์ปริมาณ P ในดิน (ภาพที่ 1.13) พบว่า P ในดินของสวนที่ทำการศึกษามีค่าส่วนใหญ่มีค่าสูงกว่าค่า P ในดินที่แนะนำทั่วไป (15-25 mg/kg) ยกเว้นสวน B มีค่า P ในดินใกล้เคียงกับค่าที่เหมาะสมในการปลูกไม้ผลทั่วไป (สุภัทร์, 2560) ซึ่งสอดคล้องกับการจัดการธาตุอาหารของเกษตรกรที่นิยมใส่ปุ๋ยสูตร 8-24-24 ให้แก่ไม้ผล เพื่อกระตุ้นการสร้างตาดอกของไม้ผล อย่างไรก็ตามวิธีการใส่ปุ๋ย P เพื่อกระตุ้นการสร้างตาดอกอยู่ในช่วงปรับเปลี่ยนองค์ความรู้ที่จะต้องถ่ายทอดให้แก่เกษตรกรต่อไป ซึ่งถ้าเปรียบเทียบกับค่า P ในดินของสวนพุทราสวนอื่นๆ ที่มีค่า P สูงมาก กับสวน B ซึ่งมีค่าน้อยแต่อยู่ในระดับพอเพียง ก็ไม่มีผลต่อการออกดอกของพุทรา และสวน B ยังมีปริมาณผลผลิตและคุณภาพของผลผลิตอยู่ในเกณฑ์ที่ดีมากด้วย

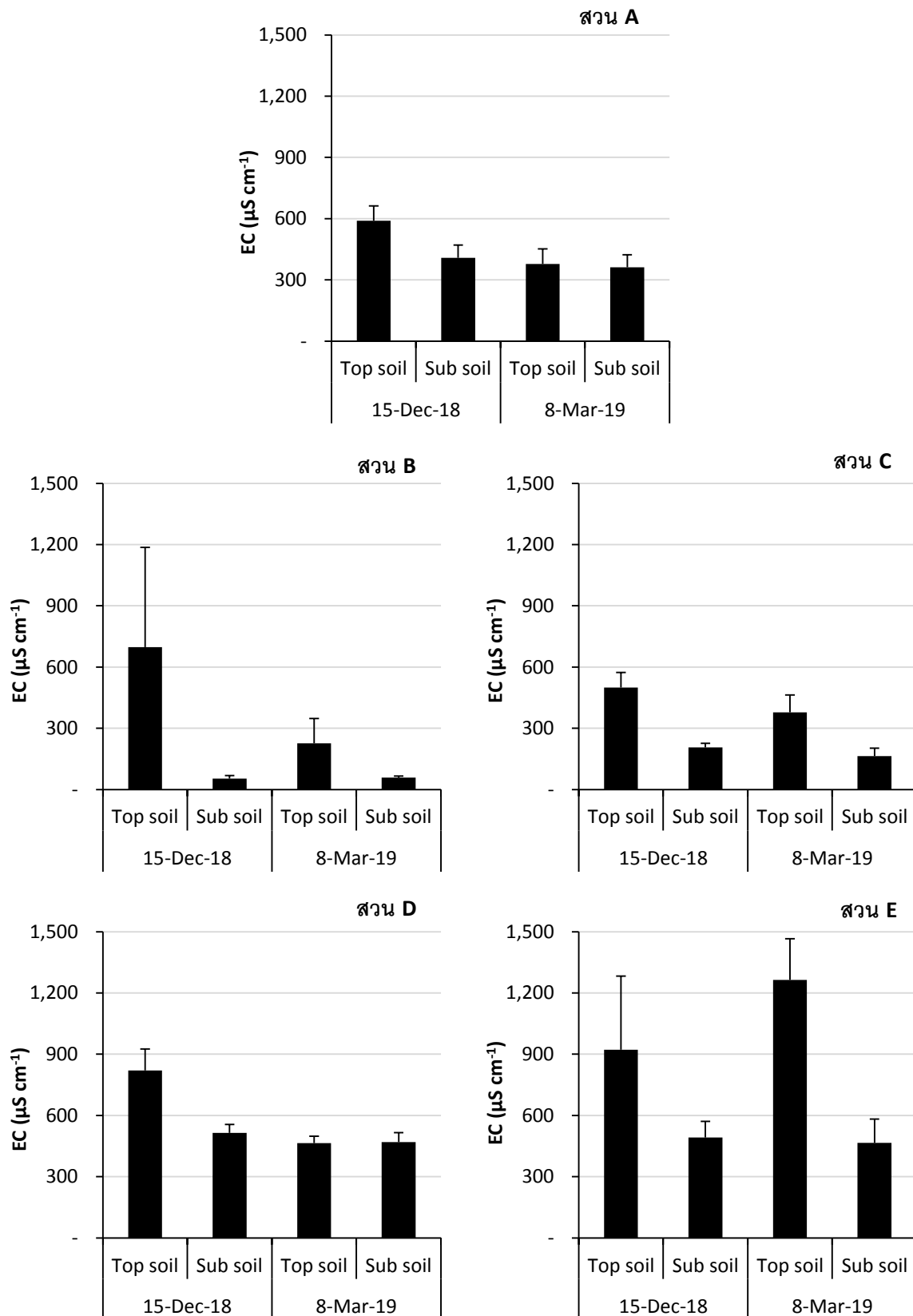
โพแทสเซียม (K) การวิเคราะห์ปริมาณ K ในดิน (ภาพที่ 1.14) พบว่า K ในดินมีความเป็นไปได้ในทางเดียวกับ P ในดิน คือ มีปริมาณสูงกว่าค่าที่เหมาะสมทั่วไป (100-150 mg/kg) ซึ่งการที่ K ในดินมีค่าสูงเกิดจากการใช้ปุ๋ยของเกษตรกรที่น้ำจะใส่ปุ๋ยมากเกินไปเกินความต้องการของพืช โดยเฉพาะการใส่ปุ๋ยสูตร 13-13-21 เพื่อเพิ่มความหวานให้แก่พุทรา แต่พิจารณาวิธีการใส่ปุ๋ยของสวนต่างๆ พบว่าสวน B ซึ่งมีค่าธาตุอาหารต่างๆ ต่ำกว่าสวนอื่นๆ มีรูปแบบการจัดการธาตุอาหารที่แตกต่างจากสวนอื่น และใส่ปุ๋ยในปริมาณที่น้อยกว่าสวนอื่นด้วย จากการสอบถามข้อมูลการใช้ปุ๋ยของเกษตรกรคร่าวๆ (สวน A และสวน C) พบว่าเกษตรกรมีการใส่ปุ๋ยต่อต้นต่อปีทั้งหมดรวมกัน ประมาณ 8-10 กิโลกรัม/ต้น

แคลเซียม (Ca) ส่วนปริมาณ Ca ในดินที่ตรวจพบมีค่าแปรปรวนตามช่วงการเจริญเติบโตของพุทรา (ภาพที่ 1.15) โดยการเก็บตัวอย่างดินในเดือนธันวาคม 2561 ซึ่งพุทราอยู่ในช่วงออกดอกและติดผล พบว่า Ca ในดินมีปริมาณสูงกว่าในช่วงที่เก็บเกี่ยวพุทราแล้ว (มีนาคม 2562) น่าจะเกิดจากในช่วงเดือนธันวาคม เกษตรกรมีการใส่ปูนขาว หรือโดโลไมต์ให้แก่พุทรา เพื่อเป็นการปรับค่าความเป็นกรดต่างของดิน ทำให้ Ca ในดินมีค่าที่สูง แต่หลังจากนั้น Ca ในดินลดลง ซึ่งในธาตุอาหารอื่นๆ ก็เกิดในลักษณะเดียวกัน คือ ในเดือนธันวาคม 2561 มีปริมาณธาตุอาหารในดินสูงกว่า เดือนมีนาคม 2562

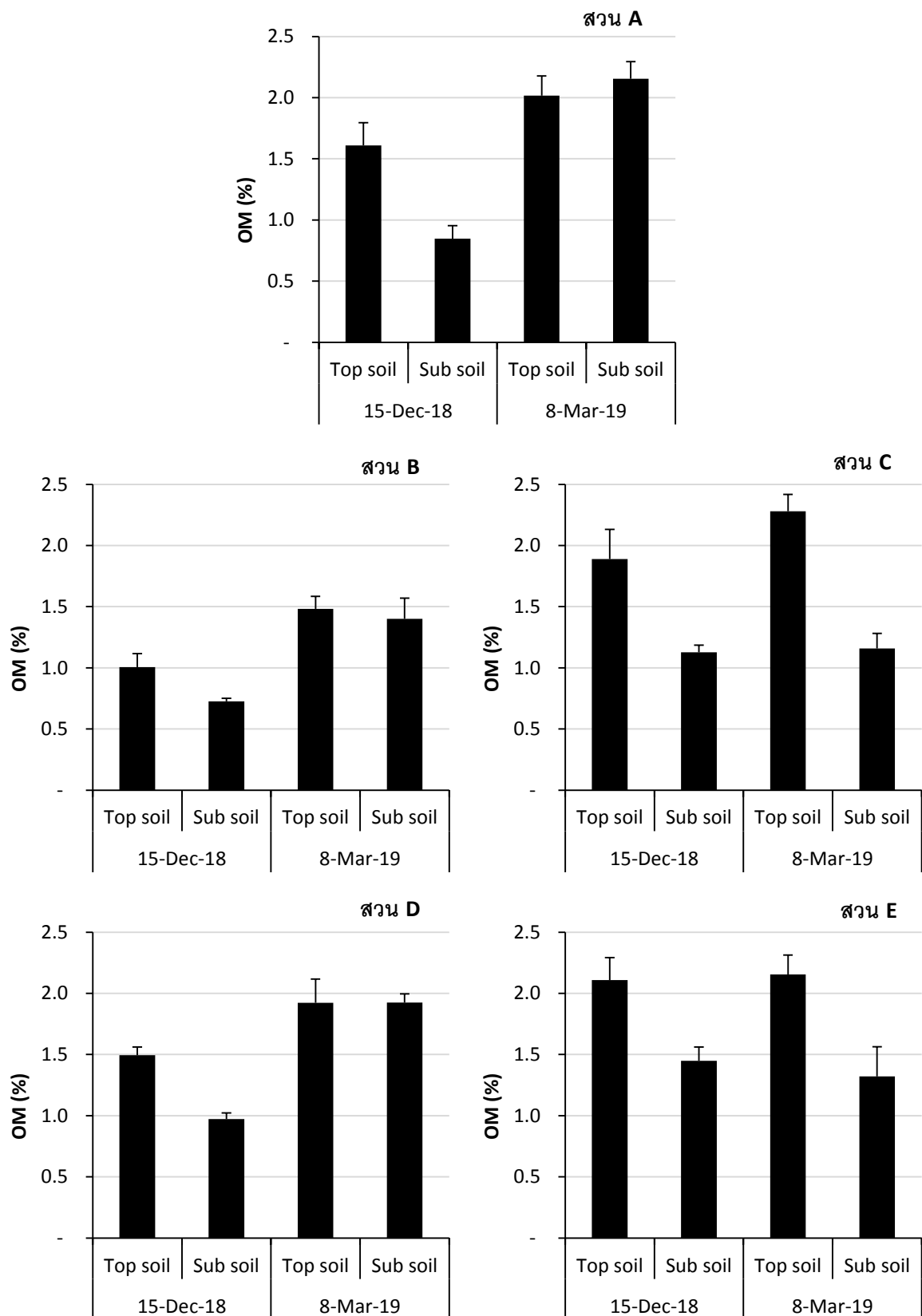
โบรอน (B) เป็นธาตุที่พืชต้องการในปริมาณน้อย โดยการวิเคราะห์ พบว่าดินของสวนพุทราที่ทำการศึกษามี B อยู่ในช่วง 0.14-1.53 mg/kg (ภาพที่ 1.16) แต่ไม่พบความแตกต่างทางสถิติของโบรอนในดินของสวนพุทราที่ทำการศึกษารั้งนี้ แต่เมื่อนำไปเทียบกับค่ามาตรฐาน B ในดิน (สุภัทร์, 2560) พบว่าสวนพุทราบางสวน ได้แก่ สวน D และ สวน E มีปริมาณ B ต่ำกว่าค่ามาตรฐาน B ในดิน ซึ่งอาจมีผลต่อการติดผลของพุทราได้ เนื่องจาก B มีผลต่อกระบวนการถ่ายละอองเกสรและปฏิสนธิของพืช (ยงยุทธ, 2546) รวมถึงการขยายขนาดของผลด้วย และจากการทำงานวิจัยต่อเนื่องในรอบการผลิตปี 2562/2563 ได้เข้าเยี่ยมแปลงสวน D และแนะนำให้เกษตรกรมีการฉีดพ่นแคลเซียม-โบรอน ให้แก่พุทรา ทางใบทุกๆ 2 สัปดาห์ พบว่าการติดผลของสวน D มีคุณภาพที่ดีขึ้น และปัญหาโรคก้นผลเน่าลดลง (จากการสังเกตและสอบถามเกษตรกร)



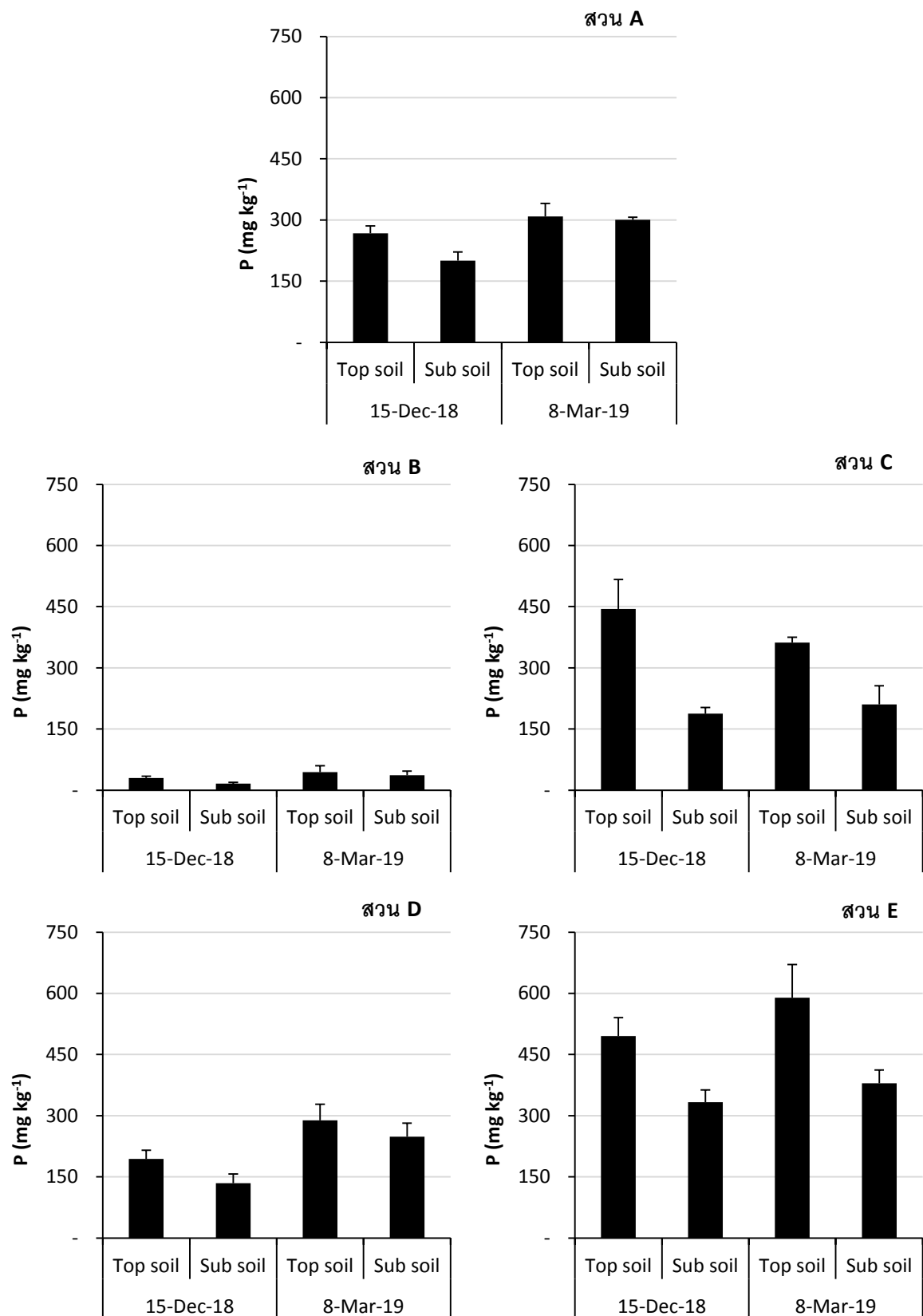
ภาพที่ 1.10 ค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) ในดินชั้นบน (0-20 ซม, Top soil) และดินชั้นล่าง (20-40 ซม, Sub soil) ของสวนพุทรา 5 สวน ในเดือนธันวาคม 2561 และเดือนมีนาคม 2562 โดย error bar แสดงค่า standard error



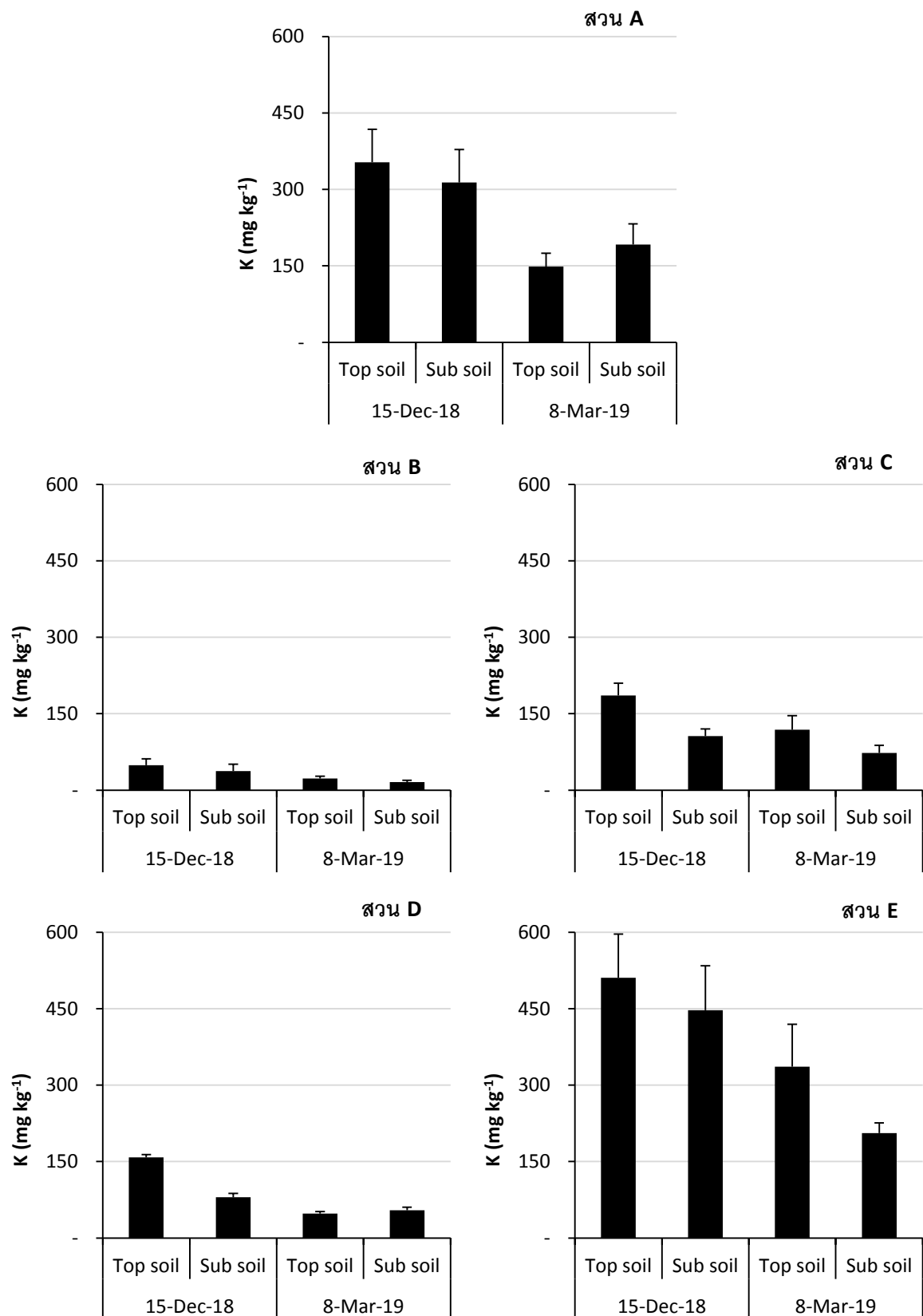
ภาพที่ 1.11 ค่าการนำไฟฟ้า (EC) ในดินชั้นบน (0-20 ซม, Top soil) และดินชั้นล่าง (20-40 ซม, Sub soil) ของสวนพุทรา 5 สวน ในเดือนธันวาคม 2561 และเดือนมีนาคม 2562 โดย error bar แสดงค่า standard error



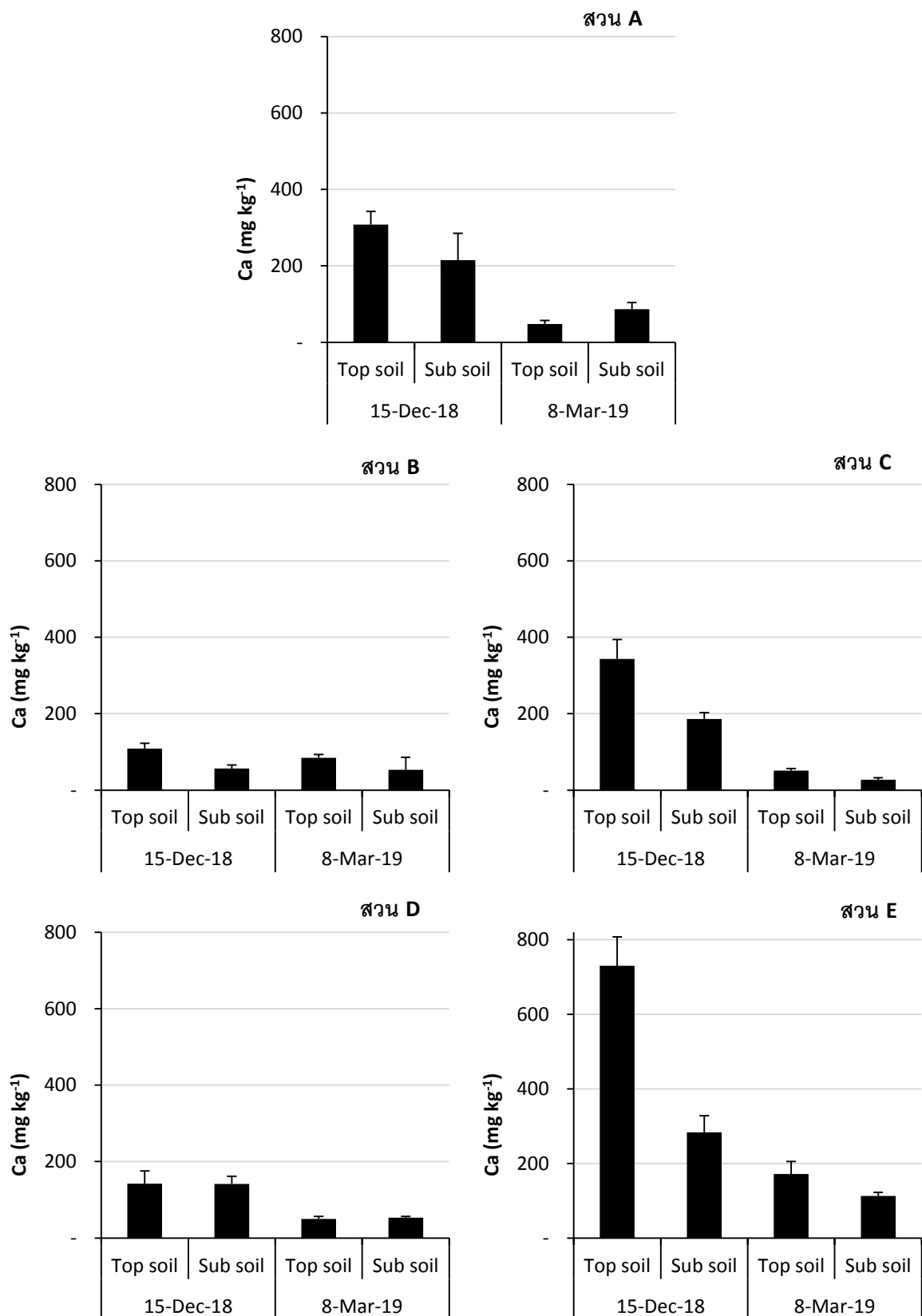
ภาพที่ 1.12 อินทรีย์วัตถุ (organic matter, OM) ในดินชั้นบน (0-20 ซม, Top soil) และดินชั้นล่าง (20-40 ซม, Sub soil) ของสวนพุทรา 5 สวน ในเดือนธันวาคม 2561 และเดือนมีนาคม 2562 โดย error bar แสดงค่า standard error



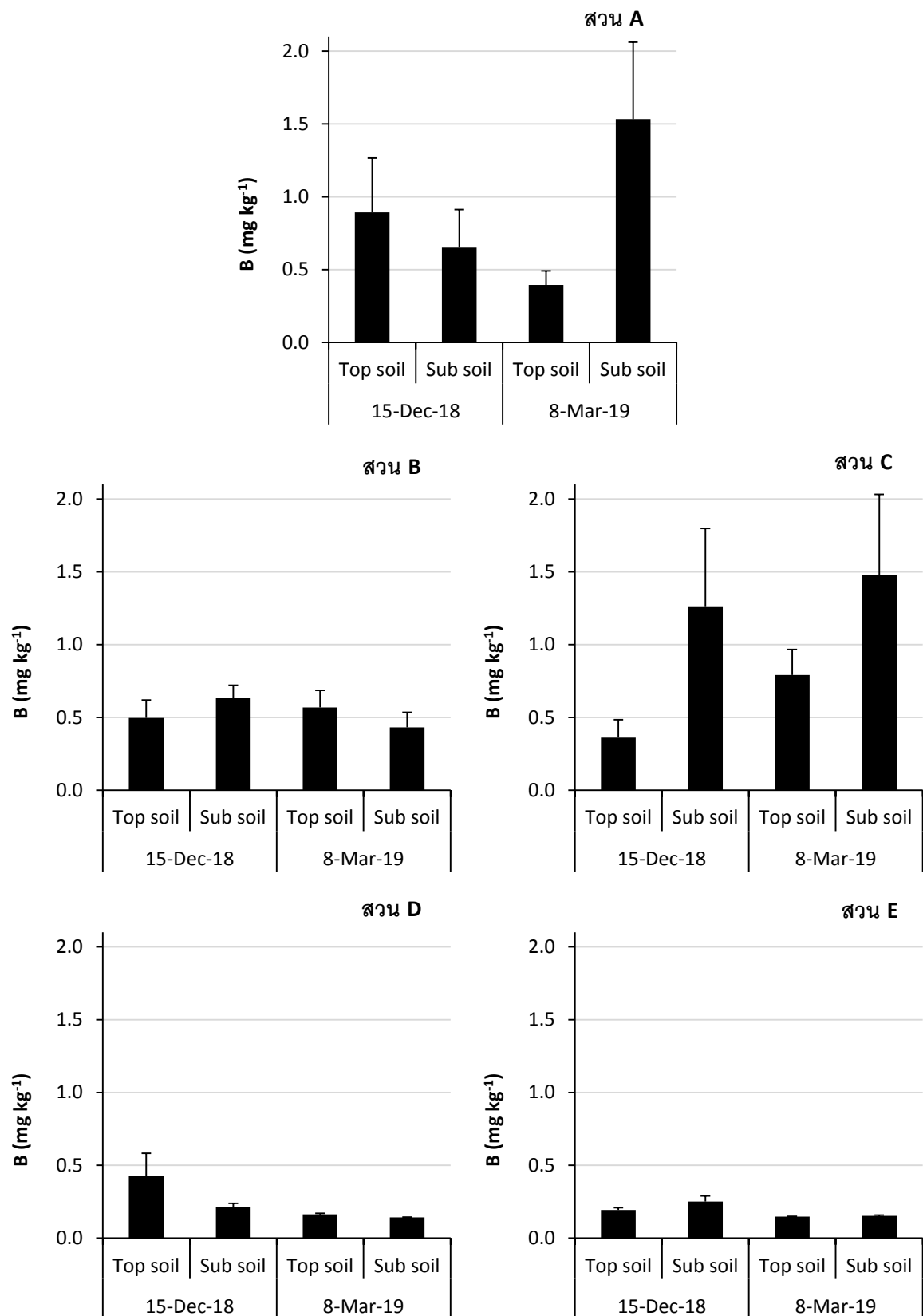
ภาพที่ 1.13 ฟอสฟอรัส (phosphorus, P) ในดินชั้นบน (0-20 ซม, Top soil) และดินชั้นล่าง (20-40 ซม, Sub soil) ของสวนพุทรา 5 สวน ในเดือนธันวาคม 2561 และเดือนมีนาคม 2562 โดย error bar แสดงค่า standard error



ภาพที่ 1.14 โพแทสเซียม (potassium, K) ในดินชั้นบน (0-20 ซม, Top soil) และดินชั้นล่าง (20-40 ซม, Sub soil) ของสวนพุทรา 5 สวน ในเดือนธันวาคม 2561 และเดือนมีนาคม 2562 โดย error bar แสดงค่า standard error



ภาพที่ 1.15 แคลเซียม (calcium, Ca) ในดินชั้นบน (0-20 ซม, Top soil) และดินชั้นล่าง (20-40 ซม, Sub soil) ของสวนพุทรา 5 สวน ในเดือนธันวาคม 2561 และเดือนมีนาคม 2562 โดย error bar แสดงค่า standard error



ภาพที่ 1.16 โบรอน (boron, B) ในดินชั้นบน (0-20 ซม, Top soil) และดินชั้นล่าง (20-40 ซม, Sub soil) ของสวนพุทรา 5 สวน ในเดือนธันวาคม 2561 และเดือนมีนาคม 2562 โดย error bar แสดงค่า standard error

โดยสรุปในส่วนของการวิเคราะห์ปริมาณธาตุอาหารในดิน การที่สวน B เป็นสวนที่มี P, K และ Ca ต่ำกว่าสวนอื่นๆ แต่ปริมาณผลผลิตและเกรดของผลผลิตอยู่ในเกณฑ์ที่ดี ซึ่งอาจเกิดจากความสมดุลของธาตุอาหารอื่นๆ และการฉีดพ่นธาตุอาหารเสริมให้แก่พุทราทางใบ อย่างไรก็ตามการพิจารณาความสมบูรณ์ของต้นพืช โดยเฉพาะกลุ่มไม้ผล ไม่สามารถประเมินได้จากความอุดมสมบูรณ์ของดินเพียงอย่างเดียว รวมทั้งปริมาณธาตุอาหารในดินที่สูงไม่ได้ยืนยันว่าในดินนั้นสามารถให้ธาตุอาหารโดยตรงทั้งหมดแก่พืช ควรมีการพิจารณาธาตุอาหารในใบร่วมด้วย เนื่องจากปริมาณธาตุอาหารในใบเป็นดัชนีชี้วัดความสมบูรณ์ของพืชได้ดีกว่าการพิจารณาเฉพาะคุณลักษณะของดิน (สมิตรา และคณะ, 2547ก) ดังนั้นการพิจารณาความอุดมสมบูรณ์ของพืช โดยเฉพาะในกลุ่มไม้ผล ควรมีการพิจารณาร่วมกันระหว่างสถานะธาตุอาหารในดินร่วมกับธาตุอาหารในใบ

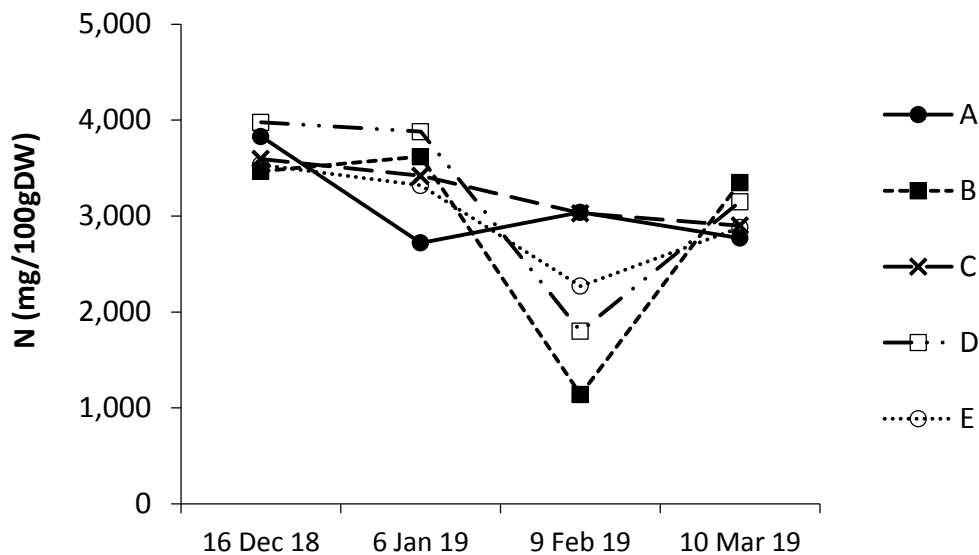
3. ปริมาณธาตุอาหารในใบพุทรา

ไนโตรเจน (N) ในใบ จากการเก็บตัวอย่างใบรายเดือน ระหว่างเดือนธันวาคม 2561 ถึงมีนาคม 2562 พบว่าปริมาณ N ในใบมีค่าอยู่ในช่วง 1,140-3,976 mg/100g น้ำหนักแห้ง (ภาพที่ 1.17) โดยพบว่าในเดือนธันวาคม 2561 มี N ในใบสูงที่สุด ซึ่งน่าจะเกี่ยวเนื่องกับอายุของใบพืช ซึ่งใบพืชที่มีอายุน้อยจะมี N ในใบที่สูง และมีการลดลงของปริมาณ N ตามอายุใบ อย่างไรก็ตามในเดือนมีนาคม 2562 พบว่าใบพุทราที่มี N ในใบเพิ่มขึ้น ซึ่งเป็นผลมาจากช่วงการเก็บผลผลิตชุดใหญ่ในเดือนมกราคมและต้นเดือนกุมภาพันธ์ 2562 ต้นพุทรามีการแตกใบใหม่ในช่วงปลายเดือนกุมภาพันธ์ 2562 ซึ่งอาจมีการเคลื่อนย้ายของธาตุ N มาสู่ใบที่เกิดขึ้นใหม่ โดยการเก็บตัวอย่างใบในการศึกษาครั้งนี้ ทำการเก็บตัวอย่างใบในตำแหน่งที่ 3 จากปลายกิ่ง ทำให้การเก็บตัวอย่างใบในเดือนมีนาคม เป็นใบชุดใหม่ที่เกิดขึ้นหลังจากเก็บเกี่ยวผลผลิตแล้ว ส่งผลให้ค่าวิเคราะห์ปริมาณ N ในใบจึงมีค่าสูงขึ้น เนื่องจากเป็นใบที่มีอายุน้อย สอดคล้องกับรายงานของอนุวัฒน์ และคณะ (2557) ซึ่งพบว่าปริมาณ N มีการลดลงตามอายุใบของยางพารา และเมื่อยางพารามีการแตกใบใหม่ ชุดที่ 2 ระหว่างปี ใบใหม่ที่เกิดขึ้นจะมีปริมาณ N สูงขึ้น

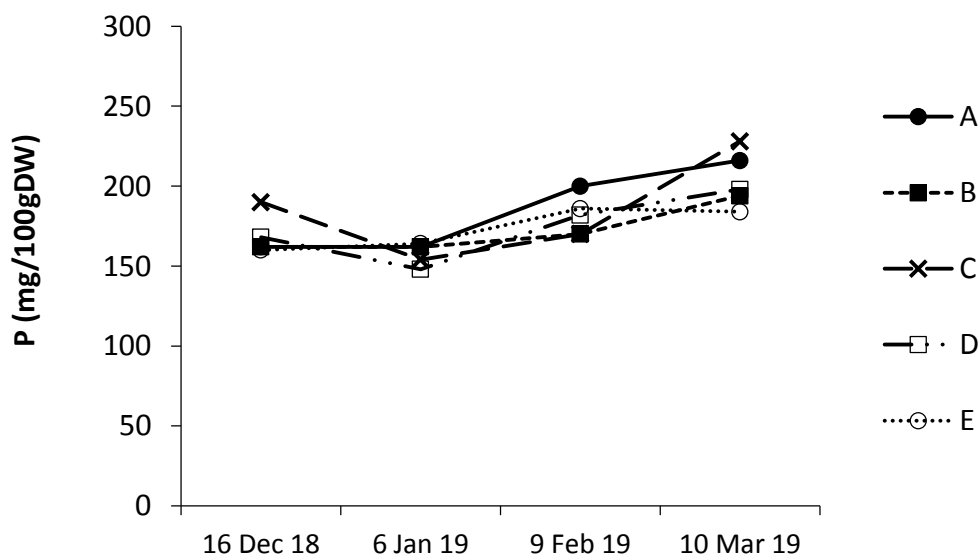
ส่วนการพิจารณาความแตกต่างของ N ในใบของสวนที่ทดลอง พบว่าในเดือนธันวาคม 2561 พุทราทุกสวนที่คัดเลือกน่าจะมีความสมบูรณ์ใกล้เคียงกัน แต่มีความแปรปรวนของธาตุ N ในใบ ในช่วงเดือนกุมภาพันธ์ 2562 น่าจะเกิดจากต้นพุทราบางส่วนมีการผลิยอดใบใหม่หลังการเก็บผลผลิตบางส่วนออกจากต้น จึงส่งผลให้ปริมาณ N ในใบมีความแตกต่างกัน และในกรณีของสวน B ซึ่งมีค่า N ต่ำที่สุด ($P < 0.01$) อาจเกิดเนื่องจากสวนดังกล่าวมีการใส่ปุ๋ยในปริมาณที่น้อยกว่าสวนอื่นๆ ประกอบกับต้นพุทราสวนดังกล่าวให้ผลผลิตใกล้เคียงกับสวน A (ประมาณ 140 กิโลกรัมต่อต้น) สำหรับการเปรียบเทียบปริมาณ N ในใบของพุทราที่ได้จากการศึกษาครั้งนี้กับรายงานของ San et al. (2009) พบว่าค่าที่วิเคราะห์ได้มีค่าอยู่ในช่วงเดียวกับรายงานดังกล่าว (1,511-2,353 mg/100g น้ำหนักแห้ง) ทั้งนี้ปริมาณ N ในใบมีความแปรปรวนตามพันธุ์ของพุทรา

ฟอสฟอรัส (P) ในใบ จากการวิเคราะห์ปริมาณ P ในใบ ไม่พบความแตกต่างทางสถิติของ P ในใบในแต่ละสวน และมีความแปรปรวนของ P ในใบแต่ละช่วงการเจริญเติบโตของพุทราไม่มากนัก โดย P ในใบมีค่าอยู่ในช่วง 160-228 mg/100g น้ำหนักแห้ง (ภาพที่ 1.18) ซึ่งโดยปกติ P เป็นธาตุหลักที่พืช

ต้องการน้อยกว่า N และ K ประมาณ 8-10 เท่า (สุภัทร, 2560) และเมื่อพิจารณาความสัมพันธ์ของ P ในดิน (ภาพที่ 1.13) กับปริมาณ P ในใบ พบว่าถึงแม้ดินจะมีปริมาณ P สูง ก็ไม่มีผลต่อการเพิ่มปริมาณ P ในใบ ซึ่งแสดงให้เห็นว่าการนำเข้า (uptake) ของ P จากดินมาสู่พืช มีปัจจัยควบคุมการนำเข้าของ P ในดินเข้าสู่ต้นพืช ดังนั้นจากการวิเคราะห์อาจชี้ได้ว่า การใช้ปุ๋ย P ของเกษตรกรผู้ปลูกพุทรา โดยส่วนใหญ่ให้ปุ๋ยมากเกินไปเกินความต้องการของต้นพุทรา และทำให้เกิดการตกค้างของ P ในดินเป็นอย่างมาก



ภาพที่ 1.17 ปริมาณไนโตรเจน (N) ในใบรายเดือน ของสวนพุทรา 5 สวน ระหว่างเดือนธันวาคม 2561 และเดือนมีนาคม 2562



ภาพที่ 1.18 ปริมาณฟอสฟอรัส (P) ในใบรายเดือน ของสวนพุทรา 5 สวน ระหว่างเดือนธันวาคม 2561 และเดือนมีนาคม 2562

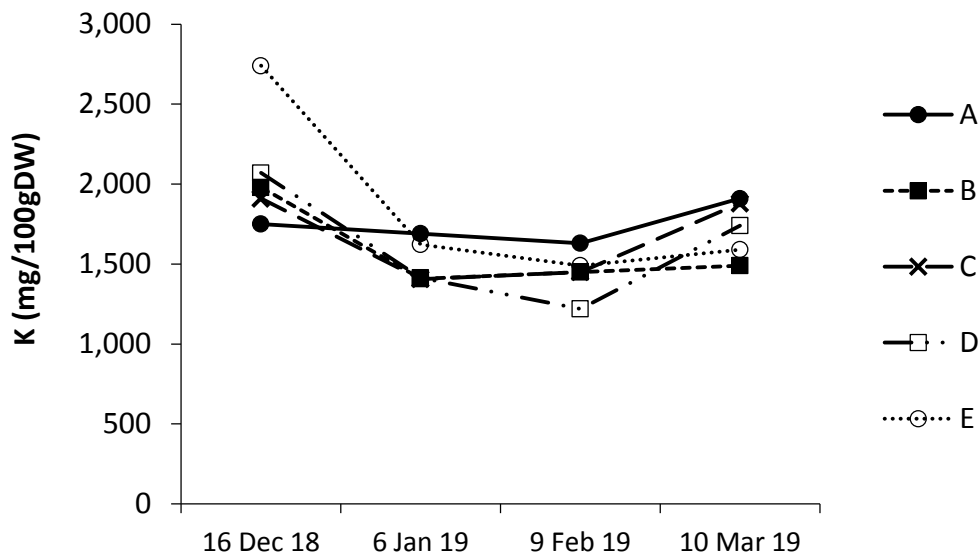
สำหรับการเปรียบเทียบปริมาณ P ในใบของพุทราที่ได้จากการศึกษาครั้งนี้กับรายงานของ San et al. (2009) พบว่าค่า P ที่วิเคราะห์ได้มีค่าสูงกว่ารายงานดังกล่าว (74.50-126.10 mg/100g น้ำหนักแห้ง) ซึ่งน่าจะเกิดจากปริมาณ P ในดินของสวนที่ทำการศึกษานี้มี P ในดินสูง จึงส่งผลให้มีการสะสม P ในใบสูงตามไปด้วย

โพแทสเซียม (K) ในใบ การเปลี่ยนแปลงของ K ในใบ (ภาพที่ 1.19) มีลักษณะการเปลี่ยนแปลงคล้ายกับปริมาณ N ในใบ คือ ในช่วงเดือนธันวาคม 2561 มีปริมาณ K สูงสุด และลดต่ำลงในช่วงที่พุทรามีการเก็บเกี่ยวผลผลิต ซึ่งน่าจะเกิดการเคลื่อนย้ายของ K ในใบไปสู่ผล สำหรับการเปรียบเทียบ K ในใบของแต่ละสวน พบว่ามีการเพิ่มปริมาณ K ในใบ สอดคล้องกับปริมาณ K ในดิน ดังตัวอย่างของ K ในใบ และ K ในดินของสวน E (ภาพที่ 1.14) ซึ่งพบว่าในเดือนธันวาคม 2561 สวน E มีปริมาณ K ในดินสูงกว่าสวนอื่นๆ ส่งผลให้ K ในใบ (ภาพที่ 1.19) มีค่าสูงกว่าสวนอื่นๆ ด้วย แต่ในช่วงปลายฤดู การเปลี่ยนแปลงของ K ในใบแต่ละสวนมีความแปรปรวนสูง ซึ่งอาจเกิดจากจำนวนผลผลิต และการแตกใบใหม่ของต้นพุทราในแต่ละสวน โดยค่าวิเคราะห์ของ K ในใบของสวนพุทรา มีค่าอยู่ในช่วง 1,220-2,740 mg/100g น้ำหนักแห้ง และเมื่อเปรียบเทียบกับรายงาน K ในใบของพุทรา โดย San et al. (2009) พบว่าพุทราชนิดนี้มีค่า K ในใบที่ทำการศึกษานี้มีปริมาณสูงกว่า K ในใบของรายงานดังกล่าว ซึ่งน่าจะเกิดขึ้นจากวิธีการให้ปุ๋ยของเกษตรกรไทยที่นิยมให้ปุ๋ย K สูง เพื่อเพิ่มความหวานของผลไม้ รวมทั้งความแตกต่างทางด้านสายพันธุ์

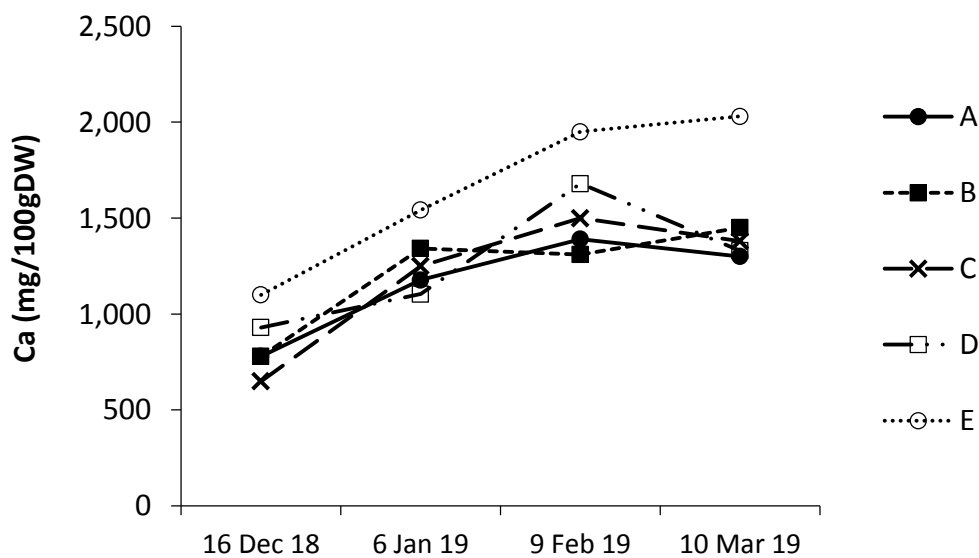
แคลเซียม (Ca) ในใบ การเปลี่ยนแปลงของ Ca ในใบมีการเพิ่มขึ้นตามอายุใบ (ภาพที่ 1.20) ซึ่งเป็นคุณสมบัติของธาตุ Ca ซึ่งเป็นธาตุเคลื่อนย้ายได้ยาก (immobile) ในต้นพืช ทำให้พืชที่อายุน้อยมีการสะสม Ca ในปริมาณที่ต่ำ แต่หลังจากนั้นใบแก่จะสะสม Ca มากขึ้น และไม่เกิดการเคลื่อนที่ของ Ca ไปเนื้อเยื่อส่วนอื่นๆ (ยงยุทธ, 2546; สุภัทร, 2560) โดยการศึกษา Ca ในช่วงที่พุทราอยู่ในช่วงให้ผลผลิตมี Ca ในใบอยู่ในช่วง 650-2,300 mg/100g น้ำหนักแห้ง สำหรับการเปรียบเทียบปริมาณ Ca ในใบของสวนพุทราต่างๆ พบว่าปริมาณ Ca ในใบมีการเพิ่มขึ้นตามปริมาณ Ca ในดิน ดังตัวอย่างของสวน E ซึ่งมีปริมาณ Ca ในดินมากกว่าสวนอื่นๆ (ภาพที่ 1.15) ส่งผลให้ใบพุทราของสวน E มีปริมาณ Ca ในใบสูงกว่าสวนอื่นๆ ด้วย ส่วนการเปรียบเทียบค่า Ca ในใบที่วิเคราะห์ได้จากการศึกษาครั้งนี้ พบว่ามีค่าต่ำกว่าค่า Ca ในใบที่รายงานโดย San et al. (2009) ซึ่งน่าจะเกิดจากดินพื้นที่ปลูกพุทราในการศึกษานี้มี Ca ในดินอยู่ในเกณฑ์ที่ต่ำ ส่งผลให้การสะสม Ca ในใบมีปริมาณที่น้อยลงตามไปด้วย

โบรอน (B) ในใบ การเปลี่ยนแปลงของปริมาณ B ในใบ (ภาพที่ 1.21) พบว่าปริมาณ B มีค่าอยู่ในช่วง 1.13-3.77 mg/100g น้ำหนักแห้ง ซึ่งพบว่าในช่วงเดือนมกราคม 2562 ปริมาณ B ในใบพุทราสวน A มีปริมาณ B สูงที่สุด น่าจะเกิดเนื่องจาก สวน A มีการให้ปุ๋ยในกลุ่มแคลเซียม-โบรอน ให้แก่พุทรา โดยพ่นให้แก่พุทรา โดยเฉพาะในช่วงที่พุทราติดผล จึงทำให้ปริมาณ B ในใบเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว แต่หลังจากนั้น ปริมาณ B ในใบก็มีความใกล้เคียงกับสวนอื่นๆ นอกจากนี้ การพิจารณาความสัมพันธ์ของปริมาณ B ในใบกับปริมาณผลผลิตต่อต้น พบว่ามีความสัมพันธ์เชิงบวก ในกรณีตัวอย่างของสวน D ซึ่งมีการติดผลน้อย และผลมีขนาดเล็ก (ภาพที่ 1.16) พบว่ามีปริมาณ B ในใบต่ำที่สุดตลอดในช่วงที่ทำการศึกษาระหว่างเดือนธันวาคม 2561 - มีนาคม 2562 โดยมีค่า B ในใบอยู่ในช่วง 1.13-1.52

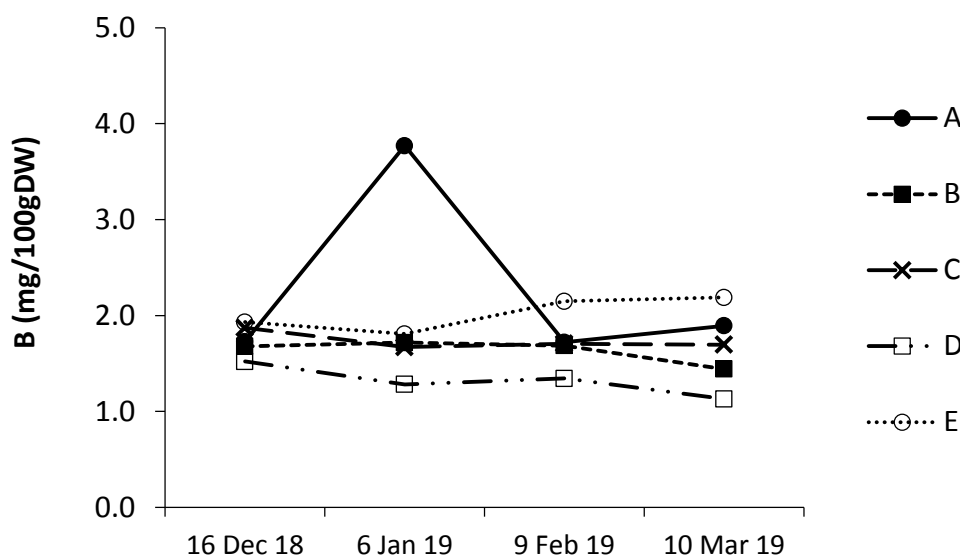
mg/100g น้ำหนักแห้ง ประกอบกับการสังเกต ซึ่งพบว่า สวน D มีปัญหาอาการกันผลเน่าในช่วงที่
 ทำการศึกษาในปริมาณที่สูงด้วย และการเปรียบเทียบปริมาณ B ในใบของการศึกษาครั้งนี้ พบว่ามีค่าต่ำ
 กว่า B ในใบที่รายงานโดย San et al. (2009) เช่นเดียวกับ Ca ซึ่งน่าจะเกิดจากสาเหตุปริมาณ B ในดิน
 พื้นที่ปลูกพืชรต่ำกว่าค่ามาตรฐานธาตุอาหาร เช่นเดียวกับปริมาณ Ca ในดิน



ภาพที่ 1.19 ปริมาณโพแทสเซียม (K) ในใบรายเดือน ของสวนพุทรา 5 สวน ระหว่างเดือนธันวาคม 2561 และเดือนมีนาคม 2562



ภาพที่ 1.20 ปริมาณแคลเซียม (Ca) ในใบรายเดือน ของสวนพุทรา 5 สวน ระหว่างเดือนธันวาคม 2561 และเดือนมีนาคม 2562



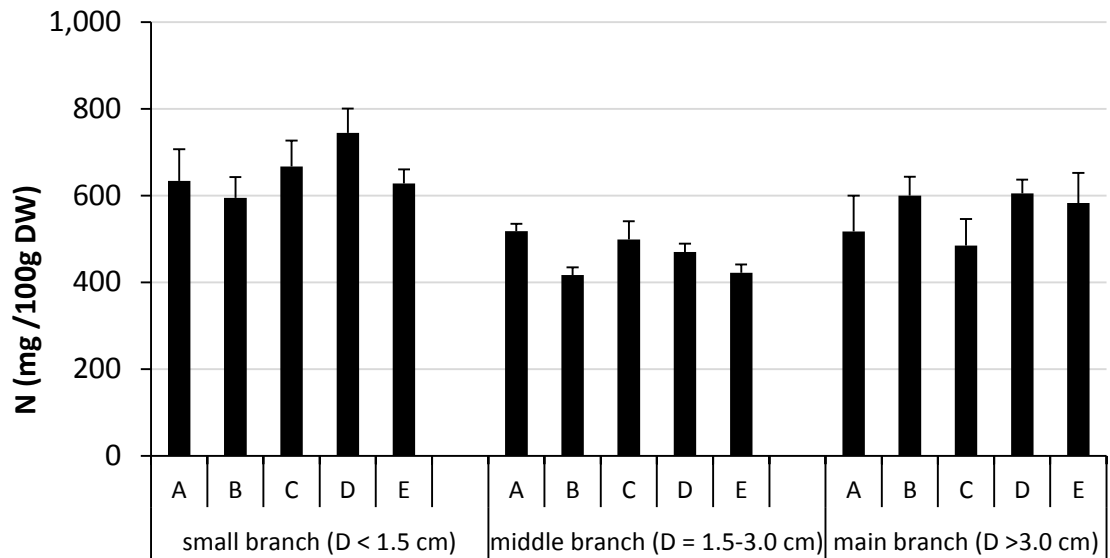
ภาพที่ 1.21 ปริมาณโบรอน (B) ในใบรายเดือน ของสวนพุทรา 5 สวน ระหว่างเดือนธันวาคม 2561 และ เดือนมีนาคม 2562

4. ปริมาณธาตุอาหารในกิ่งพุทรา

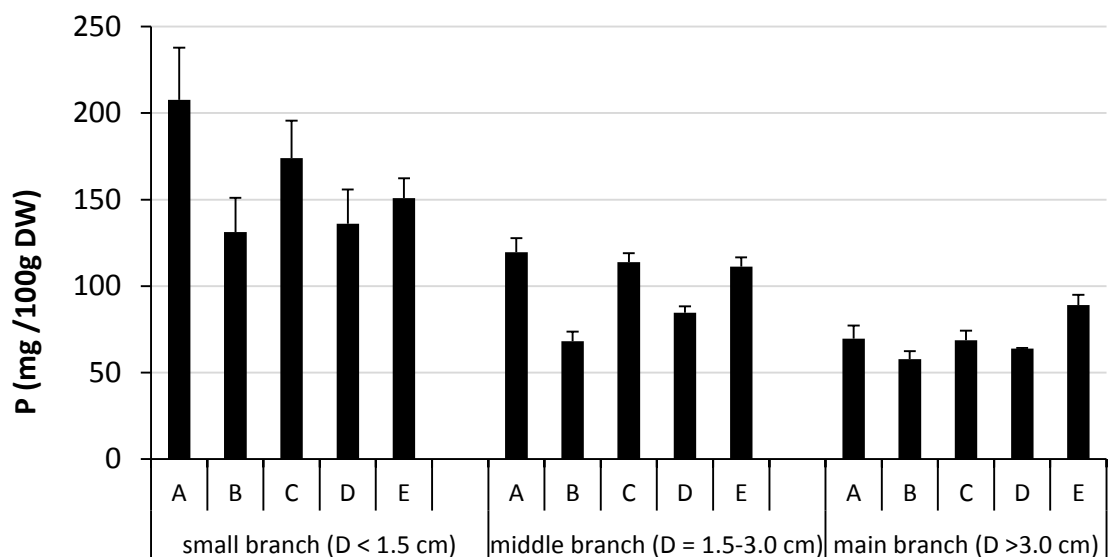
การศึกษาปริมาณธาตุอาหารในกิ่งพุทรา ทำการแบ่งกิ่งพุทราออกเป็น 3 กลุ่ม คือ กิ่งขนาดเล็ก (small branch, diameter < 1.5 cm), กิ่งขนาดกลาง (middle branch, diameter 1.5-3.0 cm) และ กิ่งขนาดใหญ่ (main branch, diameter > 3.0 cm) โดยการเก็บตัวอย่างดำเนินการในช่วงที่เกษตรกรทำการตัดแต่งต้นหลังจากที่เก็บเกี่ยวผลผลิตแล้วในเดือนมีนาคม 2562 จากการวิเคราะห์ปริมาณธาตุอาหารในกิ่งมีรายละเอียดของแต่ละธาตุ ดังนี้

ไนโตรเจน (N) ในกิ่ง การวิเคราะห์ N ในกิ่ง (ภาพที่ 1.22) พบว่า N ในกิ่งเล็ก กิ่งกลาง และกิ่งใหญ่ มีค่าอยู่ในช่วง 594.21-744.22, 416.90-518.12 และ 487.47-604.73 mg/100g น้ำหนักแห้ง ตามลำดับ แต่ความแตกต่างของปริมาณ N ของกิ่งแต่ละขนาดมีแนวโน้มไม่พบความแตกต่างทางสถิติ ยกเว้นในกรณีกิ่งกลาง ซึ่งพบว่า N ในกิ่งกลางของสวน B และ E มีค่าต่ำสุด ($P < 0.05$) อย่างไรก็ตามยังไม่พบรายงานปริมาณธาตุอาหารในกิ่งของพืชต่างๆ แต่จากการเปรียบเทียบปริมาณ N ในกิ่ง กับ N ในใบ (ภาพที่ 1.17) พบว่าใบเป็นชิ้นส่วนที่มีปริมาณ N มากกว่ากิ่ง สำหรับค่าเฉลี่ยของ N ในกิ่งเล็ก กิ่งกลาง และกิ่งใหญ่ มีค่าเท่ากับ 653.26, 465.01 และ 557.70 mg/100g น้ำหนักแห้ง ตามลำดับ

ฟอสฟอรัส (P) ในกิ่ง การวิเคราะห์ P ในกิ่ง (ภาพที่ 1.23) พบว่า P ในกิ่งเล็ก กิ่งกลาง และกิ่งใหญ่ มีค่าอยู่ในช่วง 131.14-207.68, 68.18-119.58 และ 57.77-89.06 mg/100g น้ำหนักแห้ง ตามลำดับ โดยกิ่งเล็กมีปริมาณ P มากกว่ากิ่งขนาดใหญ่ ซึ่งน่าจะเกิดจาก P เป็นธาตุที่เคลื่อนย้ายได้ง่ายในพืช และมักสะสมในส่วนที่มีอายุน้อยกว่า (ยงยุทธ, 2546; Mills and Jones, 1996) จึงส่งผลให้กิ่งขนาดเล็กซึ่งอยู่ด้านบนทรงพุ่มมีการสะสมของ P มากกว่า กิ่งใหญ่ซึ่งอยู่ใกล้กับโคนต้น สำหรับค่าเฉลี่ยของ P ในกิ่งเล็ก กิ่งกลาง และกิ่งใหญ่ มีค่าเท่ากับ 159.96, 99.49 และ 69.77 mg/100g น้ำหนักแห้ง ตามลำดับ

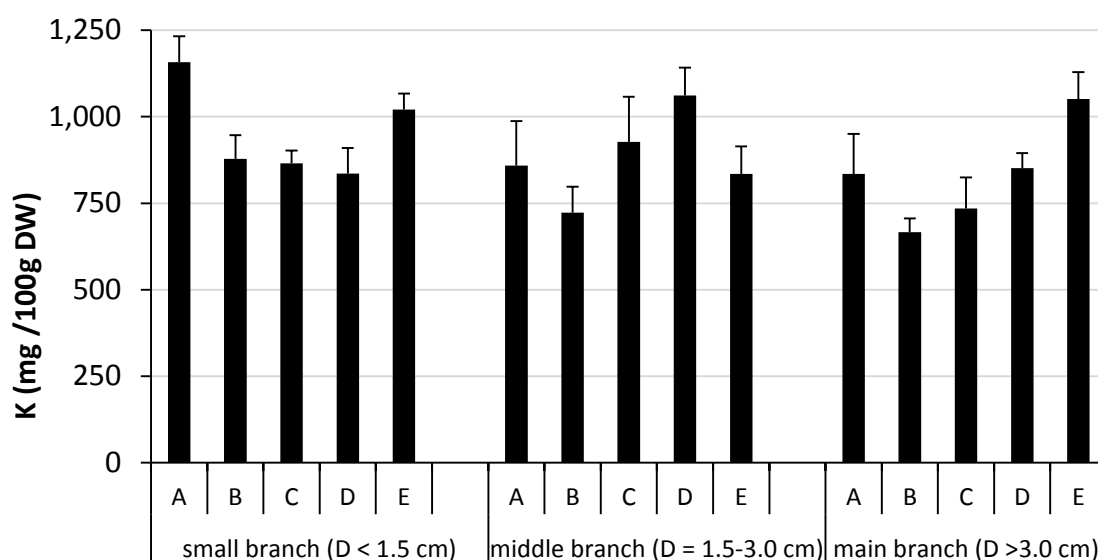


ภาพที่ 1.22 ปริมาณไนโตรเจน (N) ในกิ่ง ของสวนพุทรา 5 สวน (A-E) โดยแบ่งกิ่งออกเป็น 3 ขนาด คือ กิ่งขนาดเล็ก (small branch, diameter < 1.5 cm), กิ่งขนาดกลาง (middle branch, diameter 1.5-3.0 cm) และกิ่งขนาดใหญ่ (main branch, diameter >3.0 cm) ทำการเก็บตัวอย่างในเดือนมีนาคม 2562 โดย error bar แสดงค่า standard error



ภาพที่ 1.23 ปริมาณฟอสฟอรัส (P) ในกิ่ง ของสวนพุทรา 5 สวน (A-E) โดยแบ่งกิ่งออกเป็น 3 ขนาด คือ กิ่งขนาดเล็ก (small branch, diameter < 1.5 cm), กิ่งขนาดกลาง (middle branch, diameter 1.5-3.0 cm) และกิ่งขนาดใหญ่ (main branch, diameter >3.0 cm) ทำการเก็บตัวอย่างในเดือนมีนาคม 2562 โดย error bar แสดงค่า standard error

โพแทสเซียม (K) ในกิ่ง จากการวิเคราะห์ P ในกิ่ง (ภาพที่ 1.24) พบว่า P ในกิ่งเล็ก กิ่งกลาง และกิ่งใหญ่ มีค่าอยู่ในช่วง 835.87-1,157.20, 722.55-1,060.96 และ 666.67-1,051.65 mg/100g น้ำหนักแห้ง ตามลำดับ โดยกิ่งเล็กมีปริมาณ K มากกว่ากิ่งขนาดใหญ่ ซึ่งน่าจะเกิดจาก K เป็นธาตุที่เคลื่อนย้ายได้ง่ายในพืช เช่นเดียวกับ P จึงมีการสะสมในส่วนที่มีอายุน้อยกว่า (ยงยุทธ, 2546; Mills and Jones, 1996) และเมื่อเทียบปริมาณ K ในกิ่งกับ K ในใบ (ภาพที่ 1.19) พบว่า K ในกิ่งมีปริมาณน้อยกว่าปริมาณ K ในใบ สำหรับค่าเฉลี่ยของ K ในกิ่งเล็ก กิ่งกลาง และกิ่งใหญ่ มีค่าเท่ากับ 951.36, 880.89 และ 827.80 mg/100g น้ำหนักแห้ง ตามลำดับ

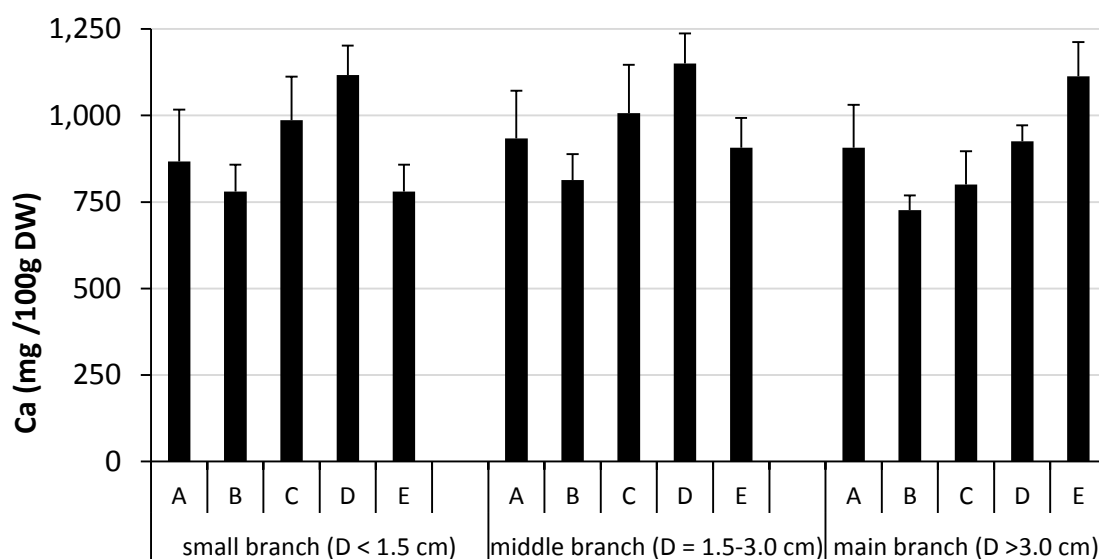


ภาพที่ 1.24 ปริมาณโพแทสเซียม (K) ในกิ่ง ของสวนพุทรา 5 สวน (A-E) โดยแบ่งกิ่งออกเป็น 3 ขนาด คือ กิ่งขนาดเล็ก (small branch, diameter < 1.5 cm), กิ่งขนาดกลาง (middle branch, diameter 1.5-3.0 cm) และกิ่งขนาดใหญ่ (main branch, diameter >3.0 cm) ทำการเก็บตัวอย่างในเดือนมีนาคม 2562 โดย error bar แสดงค่า standard error

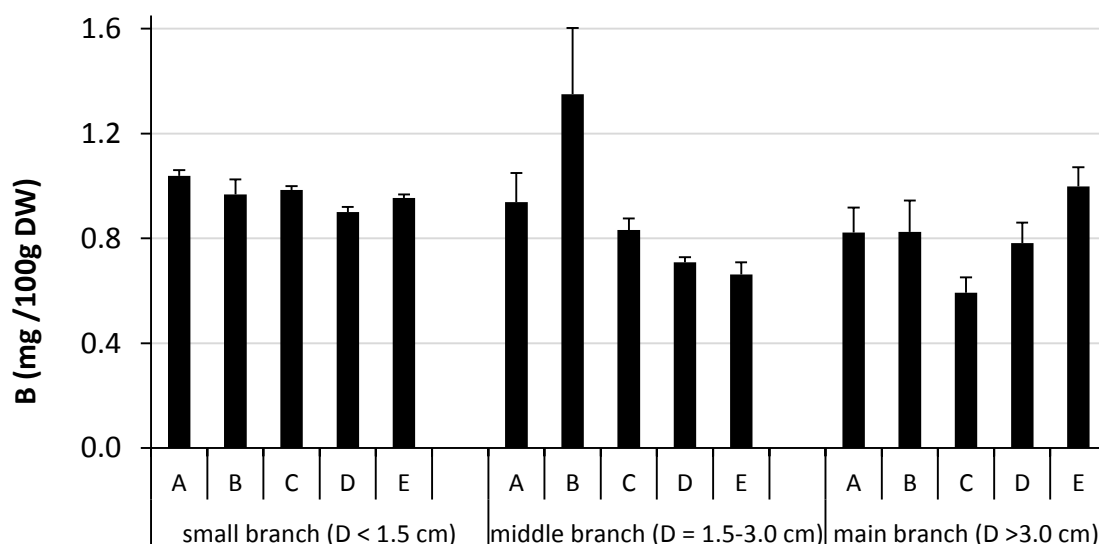
แคลเซียม (Ca) ในกิ่ง จากการวิเคราะห์ Ca ในกิ่ง (ภาพที่ 1.25) พบว่า P ในกิ่งเล็ก กิ่งกลาง และกิ่งใหญ่ มีค่าอยู่ในช่วง 780-1,116.67, 813.33-1,150.00 และ 726.67-1,051.65 mg/100g น้ำหนักแห้ง ตามลำดับ โดยไม่พบความแตกต่างของปริมาณ Ca ในกิ่งของแต่ละสวน สำหรับการเปรียบเทียบปริมาณ Ca ในกิ่งกับ Ca ในใบ (ภาพที่ 1.20) พบว่า Ca ในกิ่งมีปริมาณน้อยกว่าปริมาณ Ca ในใบ สำหรับค่าเฉลี่ยของ Ca ในกิ่งเล็ก กิ่งกลาง และกิ่งใหญ่ มีค่าเท่ากับ 906.00, 962.00 และ 894.33 mg/100g น้ำหนักแห้ง ตามลำดับ

โบรอน (B) ในกิ่ง จากการวิเคราะห์ B ในกิ่ง (ภาพที่ 1.25) พบว่า P ในกิ่งเล็ก กิ่งกลาง และกิ่งใหญ่ มีค่าอยู่ในช่วง 0.90-1.04, 0.66-1.35 และ 0.59-1.00 mg/100g น้ำหนักแห้ง ตามลำดับ โดยการวิเคราะห์ทางสถิติมีแนวโน้มไม่พบความแตกต่างทางสถิติของ B ในกิ่ง ของแต่ละสวน และกิ่งแต่ละขนาดมี B ในกิ่งใกล้เคียงกัน โดยมีค่า B ในกิ่งเล็ก กิ่งกลาง และกิ่งใหญ่ มีค่าเท่ากับ 0.97, 0.90 และ 0.80

mg/100g น้ำหนักแห้ง ตามลำดับ และเมื่อนำค่า B ในกิ่ง ไปเทียบกับปริมาณ B ในใบ (ภาพที่ 1.21) พบว่าใบมีปริมาณ B สูงกว่าในกิ่ง



ภาพที่ 1.25 ปริมาณแคลเซียม (Ca) ในกิ่ง ของสวนพุทรา 5 สวน (A-E) โดยแบ่งกิ่งออกเป็น 3 ขนาด คือ กิ่งขนาดเล็ก (small branch, diameter < 1.5 cm), กิ่งขนาดกลาง (middle branch, diameter 1.5-3.0 cm) และกิ่งขนาดใหญ่ (main branch, diameter >3.0 cm) ทำการเก็บตัวอย่างในเดือนมีนาคม 2562 โดย error bar แสดงค่า standard error



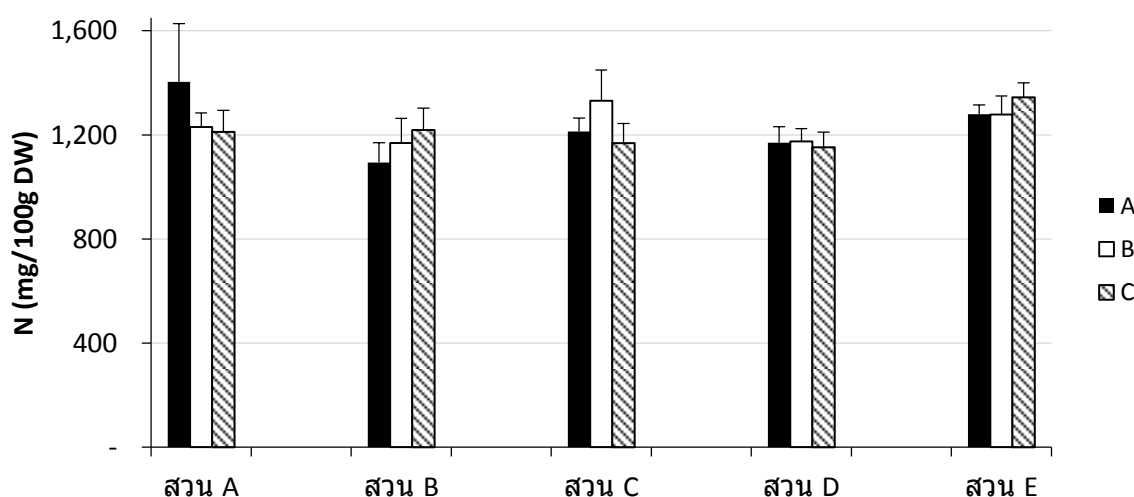
ภาพที่ 1.26 ปริมาณโบรอน (B) ในกิ่ง ของสวนพุทรา 5 สวน (A-E) โดยแบ่งกิ่งออกเป็น 3 ขนาด คือ กิ่งขนาดเล็ก (small branch, diameter < 1.5 cm), กิ่งขนาดกลาง (middle branch, diameter 1.5-3.0 cm) และกิ่งขนาดใหญ่ (main branch, diameter >3.0 cm) ทำการเก็บตัวอย่างในเดือนมีนาคม 2562 โดย error bar แสดงค่า standard error

สำหรับการศึกษาธาตุอาหารในส่วนต้นพุทราครั้งนี้ไม่มีการเก็บตัวอย่างราก เพื่อวิเคราะห์ปริมาณธาตุอาหารในราก เนื่องด้วยจากการพิจารณาสิ่งที่น่าสนใจจากแปลงปลูก ได้แก่ ใบ กิ่งที่ตัดแต่ง และผลผลิต ดังนั้น การพิจารณาธาตุอาหารที่ติดไปกับผลผลิต และชิ้นส่วนที่น่าสนใจจากแปลง ในแนวความคิดการจัดการธาตุอาหารตามปริมาณธาตุอาหารที่ออกไปจากแปลง (crop removal) จึงไม่พิจารณาในส่วนธาตุอาหารที่อยู่ในราก เพราะไม่มีการนำออกจากแปลง แต่มีการย่อยสลายหมุนเวียนอยู่ในแปลงที่ปลูกพุทรา

5. ปริมาณธาตุอาหารในผล

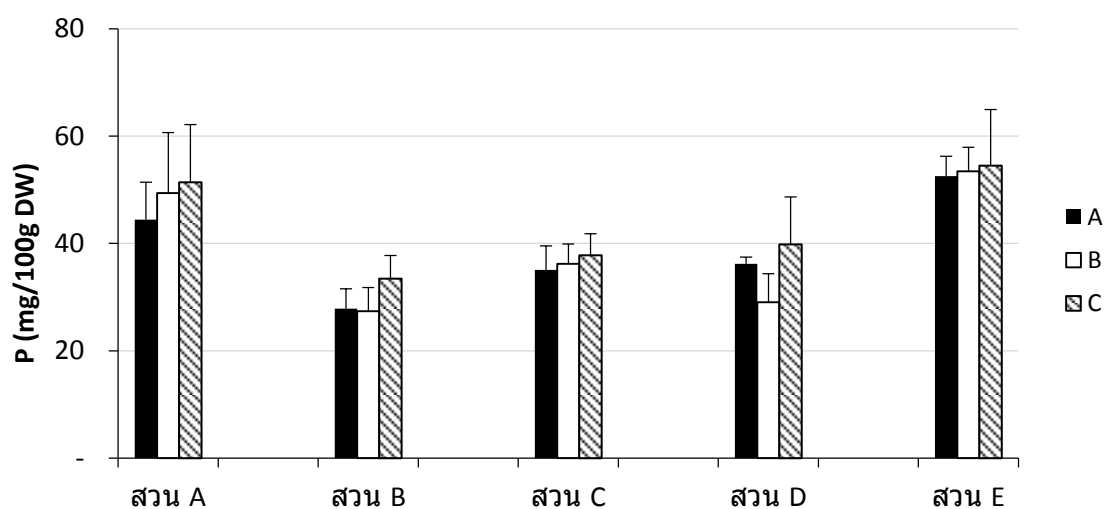
การวิเคราะห์ปริมาณธาตุอาหารในผล โดยทำการแบ่งกลุ่มของผลออกเป็น 3 กลุ่ม ตามการแบ่งชั้นคุณภาพ ได้แก่ เกรด A, B และตกเกรด (C) ซึ่งจากผลการศึกษาพบว่าปริมาณธาตุอาหารในผลทุกชุดในแต่ละชั้นคุณภาพที่เก็บตัวอย่างจากสวนเดียวกัน ไม่พบความแตกต่างของปริมาณธาตุอาหารทุกชนิดในผลที่แตกต่างชั้นกัน (ภาพที่ 1.27 ถึง ภาพที่ 1.31) แต่ความแตกต่างกันของธาตุอาหารภายในผลที่เก็บมาจากสวนที่ต่างกัน โดยมีรายละเอียดดังนี้

ไนโตรเจน (N) ในผล การวิเคราะห์ปริมาณ N ในผล พบว่า ผลที่เก็บเกี่ยวจากทุกสวนไม่มีความแตกต่างของ N ในผล (ภาพที่ 1.27) โดยค่าที่วิเคราะห์ของ N ในผลมีค่าอยู่ในช่วง 1,160.83-1,300.92 mg/100g น้ำหนักแห้ง และมีค่าเฉลี่ยของ N ในผลของทุกสวน เท่ากับ 1,229.43 mg/100g น้ำหนักแห้ง และเมื่อนำค่าการวิเคราะห์ที่ได้ไปเทียบกับค่ารายงาน N ในผลพุทราโดย San et al. (2009) พบว่าค่า N ที่วิเคราะห์ได้ในการศึกษารุ่นนี้สูงกว่าการรายงานก่อนหน้านี้ อย่างไรก็ตามปริมาณธาตุอาหารในเนื้อเยื่อพืชมีความผันแปรตามพันธุ์พืช และสภาพพื้นที่ปลูก (สุมิตร และคณะ, 2547ก; สุภัทร์, 2560) ดังนั้น การวิเคราะห์ธาตุอาหารของพุทราในโครงการนี้ ทำให้การประเมินธาตุอาหารที่ติดไปกับผลผลิตมีความแม่นยำ



ภาพที่ 1.27 ปริมาณไนโตรเจน (N) ในผลพุทรา 3 ขนาด ได้แก่ ขนาด A (27- 40 g), ขนาด B (21- 27 g) และขนาด C (<20 g) โดยเก็บตัวอย่างผลพุทราในช่วงเดือนมกราคม 2562 โดย error bar แสดงค่า standard error

ฟอสฟอรัส (P) ในผล การวิเคราะห์ปริมาณ P ในผล (ภาพที่ 1.28) พบว่า ปริมาณ P ของผลพุทราจากสวน A และสวน E มีปริมาณ P สูงกว่าสวนอื่นๆ ($P<0.01$) โดยมีปริมาณ P อยู่ในช่วง 48.43-50.50 mg/100g น้ำหนักแห้ง ส่วนสวนอื่นมีค่า P อยู่ในช่วง 29.57-36.37 mg/100g น้ำหนักแห้ง และเมื่อนำค่าที่วิเคราะห์ได้ของโครงการนี้ไปเทียบกับรายงานของ San et al. (2009) พบว่า ค่าที่วิเคราะห์ได้มีความใกล้เคียงกัน ซึ่งอาจเป็นข้อบ่งชี้ว่าการนำเข้าของ P มาสู่ลำต้น และเคลื่อนที่มาสู่ผล พืชมีกลไกที่ควบคุมการเคลื่อนที่ของ P ทำให้ปริมาณ P ในชิ้นส่วนพืชที่เกี่ยวข้องกับการเจริญเติบโต ได้แก่ ใบ และผล มีการเปลี่ยนแปลงไม่มากนัก ถ้าดินไม่มีปัญหาการขาด P ในดิน

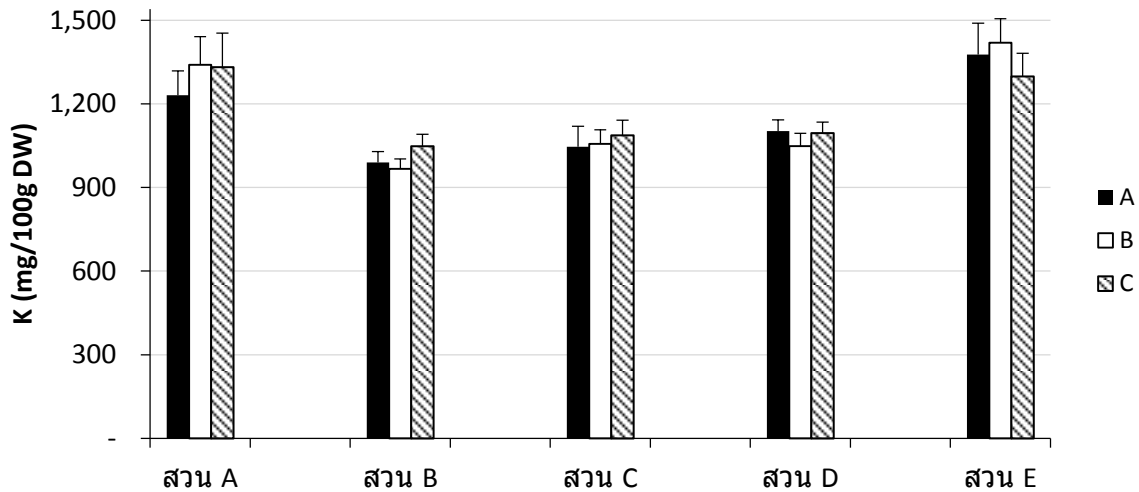


ภาพที่ 1.28 ปริมาณฟอสฟอรัส (P) ในผลพุทรา 3 ขนาด ได้แก่ ขนาด A (27- 40 g), ขนาด B (21- 27 g) และขนาด C (<20 g) โดยเก็บตัวอย่างผลพุทราในช่วงเดือนมกราคม 2562 โดย error bar แสดงค่า standard error

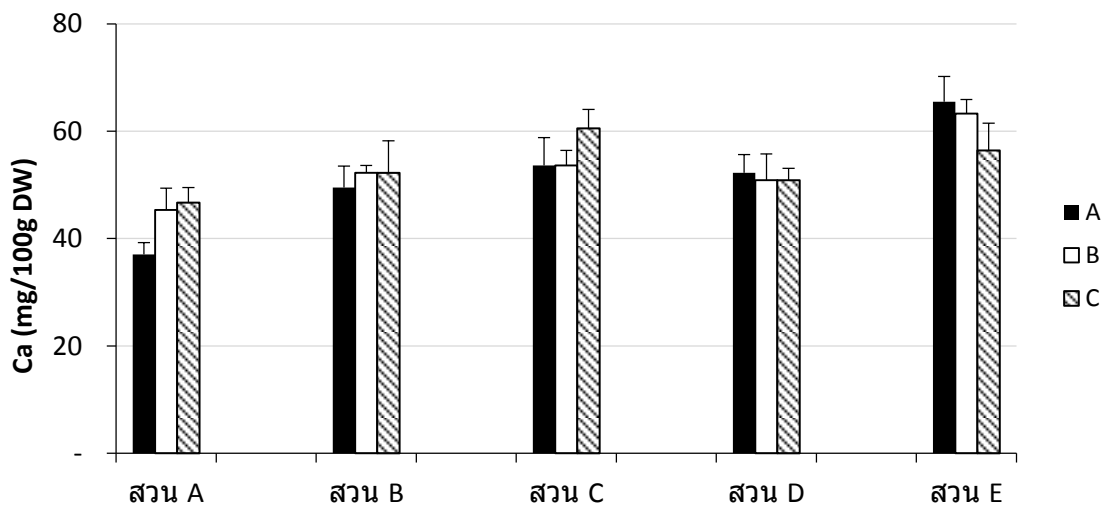
โพแทสเซียม (K) ในผล การวิเคราะห์ปริมาณ K ในผล (ภาพที่ 1.29) พบผลการวิเคราะห์ในแนวทางเดียวกับ P คือ พบว่า ปริมาณ K ของผลพุทราจากสวน A และสวน E มีปริมาณ K สูงกว่าสวนอื่นๆ ($P<0.01$) โดยมีปริมาณ K อยู่ในช่วง 1,300.62-1,364.65 mg/100g น้ำหนักแห้ง ส่วนสวนอื่นมีค่า K อยู่ในช่วง 1,001.81-1,082.01 mg/100g น้ำหนักแห้ง และเมื่อนำค่าที่วิเคราะห์ได้ของโครงการนี้ไปเทียบกับรายงานของ San et al. (2009) พบว่า ค่า K ที่วิเคราะห์ได้ในการศึกษาครั้งนี้สูงกว่าการรายงานก่อนหน้านี้ ซึ่งน่าจะมีสาเหตุไปในแนวทางเดียวกันกับการเปลี่ยนแปลงของ N ในผล ซึ่งน่าจะเกิดจากพันธุกรรมทำให้การนำเข้าธาตุอาหาร และการเคลื่อนที่ของธาตุอาหารมีความแตกต่างกัน

แคลเซียม (Ca) ในผล การวิเคราะห์ปริมาณ Ca ในผล (ภาพที่ 1.30) พบว่าปริมาณ Ca ในผลพุทราจากสวน E มีปริมาณ Ca สูงกว่าสวนอื่นๆ ($P<0.01$) โดยมีปริมาณ Ca เท่ากับ 61.73 mg/100g น้ำหนักแห้ง ส่วนสวนอื่นมีค่า Ca อยู่ในช่วง 43.05-55.94 mg/100g น้ำหนักแห้ง ซึ่งอาจเกิดจากสวน E มีการติดผลที่น้อยทำให้ไม่เกิดการแย่งกันระหว่างธาตุ Ca ที่มีภายในต้นพืช สำหรับการเปรียบเทียบปริมาณ

Ca ของการศึกษาครั้งนี้กับรายงานของ San et al. (2009) พบว่า ค่า Ca ที่วิเคราะห์ได้ในการศึกษาครั้งนี้ น้อยกว่าการรายงานก่อนหน้านี้ ซึ่งน่าจะมีผลมาจากพันธุกรรม และสภาพแวดล้อมในการปลูกพุทรา โดยเฉพาะคุณลักษณะของดิน ซึ่งจากรายงานของ San et al. (2009) พบว่าทั้ง Ca ในใบและ Ca ในผล มีค่าสูงกว่าค่าที่วิเคราะห์ได้ในการศึกษาครั้งนี้ประมาณ 2 เท่า

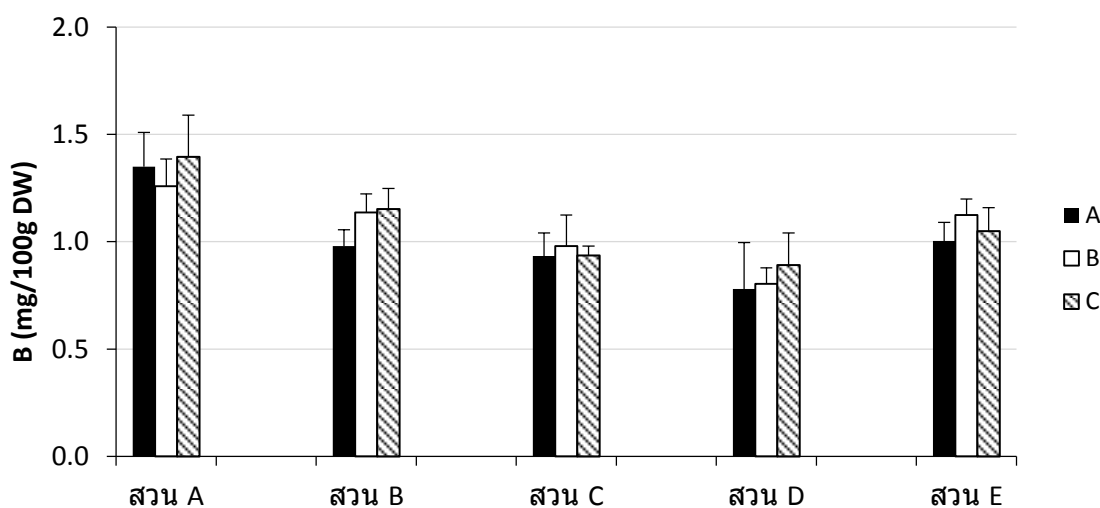


ภาพที่ 1.29 ปริมาณโพแทสเซียม (K) ในผลพุทรา 3 ขนาด ได้แก่ ขนาด A (27- 40 g), ขนาด B (21- 27 g) และขนาด C (<20 g) โดยเก็บตัวอย่างผลพุทราในช่วงเดือนมกราคม 2562 โดย error bar แสดงค่า standard error



ภาพที่ 1.30 ปริมาณแคลเซียม (Ca) ในผลพุทรา 3 ขนาด ได้แก่ ขนาด A (27- 40 g), ขนาด B (21- 27 g) และขนาด C (<20 g) โดยเก็บตัวอย่างผลพุทราในช่วงเดือนมกราคม 2562 โดย error bar แสดงค่า standard error

โบรอน (B) ในผล การวิเคราะห์ปริมาณ B ในผล (ภาพที่ 1.30) พบว่าสวน A มีปริมาณ B ในผล สูงที่สุด คือ 1.33 mg/100g น้ำหนักแห้ง ($P < 0.01$) ส่วนสวนอื่นๆ มี B ในผลอยู่ในช่วง 0.83-1.09 mg/100g น้ำหนักแห้ง และเมื่อนำค่า B ที่วิเคราะห์ได้ในโครงการนี้ ไปเทียบกับรายงานของ San et al. (2009) พบว่าค่าที่วิเคราะห์ได้มีความใกล้เคียงกัน



ภาพที่ 1.31 ปริมาณโบรอน (B) ในผลพุทรา 3 ขนาด ได้แก่ ขนาด A (27- 40 g), ขนาด B (21- 27 g) และขนาด C (<20 g) โดยเก็บตัวอย่างผลพุทราในช่วงเดือนมกราคม 2562 โดย error bar แสดงค่า standard error

6. การประเมินปริมาณธาตุอาหารในชิ้นส่วนพืชและผลผลิตที่นำออกจากแปลง

การประมาณปริมาณธาตุอาหารที่ติดไปกับผลผลิต ดำเนินการโดยใช้ข้อมูลน้ำหนักของกิ่ง และใบ (รวมทั้งใบร่วงระหว่างเดือนธันวาคม 2561 – เดือนกุมภาพันธ์ 2562) ที่มีการตัดแต่งออกจากแปลง หลังจากเก็บเกี่ยวผลผลิตพุทราแล้ว และผลผลิต พบว่าชิ้นส่วนของพืชที่นำออกจากแปลงของต้นพุทรา คือ ผลผลิต มากกว่าส่วนใบและกิ่งประมาณ 5-6 เท่า โดยการคำนวณน้ำหนักแห้งจากข้อมูลน้ำหนักสด เพื่อใช้ในการประเมินปริมาณธาตุอาหารในชิ้นส่วนต่างๆ มีค่าตัวแปรที่ใช้ในการเปลี่ยนค่าน้ำหนักสดเป็นน้ำหนักแห้ง (conversion factor, CF) ดังนี้ คือ CF ของใบ กิ่ง และผล มีค่าเท่ากับ 0.44, 0.41 และ 0.13 ตามลำดับ ซึ่งแสดงให้เห็นว่า ใบและกิ่ง มีความชื้น 56-59% ส่วนผลมีความชื้นประมาณ 87%

เมื่อได้น้ำหนักแห้งของพืชแล้ว นำค่าน้ำหนักแห้งที่ได้ไปคำนวณกับความเข้มข้นของธาตุอาหาร ที่มีในแต่ละชิ้นส่วน เพื่อประเมินปริมาณธาตุอาหารที่ติดไปกับชิ้นส่วนต่างๆ ต่อไป โดยในการศึกษาครั้งนี้ สำหรับใบและผล ขอใช้ค่าเฉลี่ยของช่วงที่มีธาตุอาหารชนิดนั้นสูงสุดเป็นค่าความเข้มข้นของธาตุอาหารใน ชิ้นส่วนพืชที่ใช้ในการคำนวณ ดังตารางที่ 1.6 ซึ่งพบว่าปริมาณธาตุอาหารที่สูญเสียไปกับชิ้นส่วนพืชมีลำดับ จากมากไปหาน้อย คือ ใบ ผล และกิ่ง ตามลำดับ

ตารางที่ 1.6 ความเข้มข้นของธาตุอาหารต่างๆ ในแต่ละชั้นส่วนพืช เพื่อใช้ในการประเมินปริมาณธาตุอาหารในแต่ละชั้นส่วนพืช

ส่วนของพืช	Nutrient concentration (mg/100g DW)				
	N	P	K	Ca	B
ใบ	3,680.40	204.00	2,089.60	1,564.80	2.05
กิ่งใหญ่	557.70	69.77	827.80	894.33	0.80
กิ่งกลาง	465.01	99.49	880.89	962.00	0.90
กิ่งเล็ก	653.26	159.96	951.36	906.00	0.97
ผล	1,300.92	53.50	1,364.65	81.73	1.33

การประเมินปริมาณธาตุอาหารสวน A จากการประเมินปริมาณธาตุอาหารที่ติดไปกับผลผลิต โดยสวน A มีน้ำหนักสดของใบ กิ่งใหญ่ กิ่งกลาง กิ่งเล็ก และผล เท่ากับ 4.87, 6.06, 7.43, 5.34 และ 140.76 กิโลกรัม พบว่าในรอบการผลิต 2561/2562 สำหรับพุทรา 1 ตัน มีการนำธาตุ N, P, K และ Ca ติดไปกับผลผลิต 359.23, 22.43, 362.71 และ 119.83 กรัม/ตัน ตามลำดับ ส่วนธาตุ B ที่ติดมากับชิ้นส่วนต่างๆ ของพืช 356.68 มิลลิกรัม/ตัน (ตารางที่ 1.7) และเมื่อเกษตรกรทราบปริมาณธาตุอาหารชนิดต่างๆ ที่ติดไปกับผลผลิตแล้วสามารถนำไปคำนวณเป็นปริมาณของปุ๋ยสูตรต่างๆ หรือใช้แม่ปุ๋ยเพื่อทำปุ๋ยผสมสำหรับการให้ปุ๋ยในปริมาณที่เหมาะสมต่อไป อย่างไรก็ตามการจัดการธาตุอาหารที่เหมาะสมกับพุทรา ควรมีการทดสอบการให้ธาตุอาหารตามข้อมูลปริมาณธาตุอาหารที่ติดไปกับผลผลิต เทียบกับวิธีการของเกษตรกร เพื่อให้ได้แนวทางการจัดการธาตุอาหารของพุทราที่ชัดเจนจนสามารถนำไปเผยแพร่ต่อเกษตรกรได้

ตารางที่ 1.7 ปริมาณธาตุอาหารที่ติดไปกับชิ้นส่วนพืชและผลผลิตที่นำออกจากแปลงปลูก (ต่อตัน) โดยคิดแยกตามชิ้นส่วนของพืช ได้แก่ ใบ กิ่งใหญ่ กิ่งกลาง กิ่งเล็ก และผลผลิต (สวน A = คุณวิสัย)

Plant parts	FW (kg tree ⁻¹)	CF	DW (g tree ⁻¹)	N (g tree ⁻¹)	P (g tree ⁻¹)	K (g tree ⁻¹)	Ca (g tree ⁻¹)	B (mg tree ⁻¹)
ใบ	4.87	0.44	2,142.88	78.87	4.37	44.78	33.53	43.93
กิ่งใหญ่	6.06	0.41	2,484.50	13.86	1.73	20.57	22.22	19.97
กิ่งกลาง	7.43	0.41	3,045.85	14.16	3.03	26.83	29.30	27.35
กิ่งเล็ก	5.34	0.41	2,188.26	14.30	3.50	20.82	19.83	21.20
ผล	140.76	0.13	18,298.91	238.05	9.79	249.72	14.96	244.23
รวม	164.46		28,160.41	359.23	22.43	362.71	119.83	356.68

หมายเหตุ FW = fresh weight (น้ำหนักสด), DW = dry weight (น้ำหนักแห้ง) และ CF = conversion factor (สัมประสิทธิ์การเปลี่ยนจากน้ำหนักสด เป็นน้ำหนักแห้ง)

การประเมินปริมาณธาตุอาหารสวน B การประเมินปริมาณธาตุอาหารที่ติดไปกับผลผลิต โดยสวน B มีน้ำหนักสดของใบ กิ่งใหญ่ กิ่งกลาง กิ่งเล็ก และผล เท่ากับ 4.02, 6.43, 7.46, 5.41 และ 142.84 กิโลกรัม ซึ่งถ้าพิจารณาขนาดทรงพุ่ม จำนวนใบ และกิ่ง ภายในทรงพุ่ม รวมถึงปริมาณผลผลิต พบว่าสวน B มีขนาดต้นพุทราที่ใกล้เคียงกับสวน A สำหรับปริมาณธาตุอาหารที่ติดไปกับชิ้นส่วนพืช พบว่าในรอบการผลิต 2561/2562 พุทรา 1 ต้นของสวน B มีการนำธาตุ N, P, K และ Ca ติดไปกับผลผลิต 350.01, 21.97, 360.19 และ 115.92 กรัม/ต้น ตามลำดับ ส่วนธาตุ B ที่ติดมากับชิ้นส่วนต่างๆ ของพืช เท่ากับ 354.20 มิลลิกรัม/ต้น (ตารางที่ 1.8)

ตารางที่ 1.8 ปริมาณธาตุอาหารที่ติดไปกับชิ้นส่วนพืชและผลผลิตที่นำออกจากแปลงปลูก (ต่อต้น) โดยคิดแยกตามชิ้นส่วนของพืช ได้แก่ ใบ กิ่งใหญ่ กิ่งกลาง กิ่งเล็ก และผลผลิต (สวน B = คุณฮ้อย)

Plant parts	FW (kg tree ⁻¹)	CF	DW (g tree ⁻¹)	N (g tree ⁻¹)	P (g tree ⁻¹)	K (g tree ⁻¹)	Ca (g tree ⁻¹)	B (mg tree ⁻¹)
ใบ	4.02	0.44	1,766.92	65.03	3.60	36.92	27.65	36.23
กิ่งใหญ่	6.43	0.41	2,636.09	14.70	1.84	21.82	23.58	21.18
กิ่งกลาง	7.46	0.41	3,059.31	14.23	3.04	26.95	29.43	27.47
กิ่งเล็ก	5.41	0.41	2,217.39	14.49	3.55	21.10	20.09	21.48
ผล	142.84	0.13	18,568.91	241.57	9.93	253.40	15.18	247.83
รวม	164.46		28,248.62	350.01	21.97	360.19	115.92	354.20

หมายเหตุ FW = fresh weight (น้ำหนักสด), DW = dry weight (น้ำหนักแห้ง) และ CF = conversion factor (สัมประสิทธิ์การเปลี่ยนจากน้ำหนักสด เป็นน้ำหนักแห้ง)

การประเมินปริมาณธาตุอาหารสวน C การประเมินปริมาณธาตุอาหารที่ติดไปกับผลผลิต โดยสวน C มีน้ำหนักสดของใบ กิ่งใหญ่ กิ่งกลาง กิ่งเล็ก และผล เท่ากับ 3.12, 6.51, 5.25, 6.25 และ 117.94 กิโลกรัม ซึ่งถ้าพิจารณาขนาดทรงพุ่ม จำนวนใบ และกิ่ง ภายในทรงพุ่ม รวมถึงปริมาณผลผลิต พบว่าสวน C มีขนาดต้นพุทราที่เล็กกว่ากับสวน A และ B โดยเฉพาะจำนวนใบมีน้อยกว่าสวน A และสวน B สำหรับปริมาณธาตุอาหารที่ติดไปกับชิ้นส่วนพืช พบว่าในรอบการผลิต 2561/2562 พุทรา 1 ต้นของสวน C มีการนำธาตุ N, P, K และ Ca ติดไปกับผลผลิต 291.61, 19.11, 303.37 และ 101.82 กรัม/ต้น ตามลำดับ ส่วน B ที่ติดมากับชิ้นส่วนต่างๆ ของพืช เท่ากับ 298.40 มิลลิกรัม/ต้น (ตารางที่ 1.9) ซึ่งเมื่อนำไปเปรียบเทียบกับปริมาณธาตุอาหารที่ติดไปกับชิ้นส่วนพืชของสวน A และ B พบว่าสวน C นำธาตุอาหารออกไปน้อยกว่าสวน C แต่การให้ปุ๋ย เพื่อยกระดับผลผลิตให้สูงขึ้น จำเป็นต้องใช้ปริมาณธาตุอาหารของสวน A และสวน B เป็นเกณฑ์ รวมทั้งอาจต้องมีการปรับคุณสมบัติดิน โดยเฉพาะค่า pH ของดิน (< 5.5) เพื่อยกระดับให้ใกล้เคียงกับสวน A และสวน B ซึ่งในรอบปีการผลิต 2562/2563 ผู้วิจัยได้แนะนำให้เกษตรกรมีการใส่ปุ๋ย

ชาวเพื่อยกระดับ pH เพิ่มขึ้นแล้ว แต่ยังไม่ได้ทำการติดตามข้อมูลการเปลี่ยนแปลงของคุณสมบัติดิน ซึ่งควรดำเนินการติดตามต่อไป เพื่อให้ได้แนวทางในการแนะนำเกษตรกรรายอื่นๆ เพื่อการขยายผลให้เกิดการถ่ายทอดองค์ความรู้ในวงกว้างต่อไป

ตารางที่ 1.9 ปริมาณธาตุอาหารที่ติดไปกับชิ้นส่วนพืชและผลผลิตที่นำออกจากแปลงปลูก (ต่อต้น) โดยคิดแยกตามชิ้นส่วนของพืช ได้แก่ ใบ กิ่งใหญ่ กิ่งกลาง กิ่งเล็ก และผลผลิต (สวน C = คุณทองจันทร์)

Plant parts	FW (kg tree ⁻¹)	CF	DW (g tree ⁻¹)	N (g tree ⁻¹)	P (g tree ⁻¹)	K (g tree ⁻¹)	Ca (g tree ⁻¹)	B (mg tree ⁻¹)
ใบ	3.12	0.44	1,372.07	50.50	2.80	28.67	21.47	28.13
กิ่งใหญ่	6.51	0.41	2,670.64	14.89	1.86	22.11	23.88	21.46
กิ่งกลาง	5.25	0.41	2,152.99	10.01	2.14	18.97	20.71	19.33
กิ่งเล็ก	6.25	0.41	2,563.68	16.75	4.10	24.39	23.23	24.84
ผล	117.94	0.13	15,332.35	199.46	8.20	209.23	12.53	204.64
รวม	164.46		24,091.73	291.61	19.11	303.37	101.82	298.40

หมายเหตุ FW = fresh weight (น้ำหนักสด), DW = dry weight (น้ำหนักแห้ง) และ CF = conversion factor (สัมประสิทธิ์การเปลี่ยนจากน้ำหนักสด เป็นน้ำหนักแห้ง)

การประเมินปริมาณธาตุอาหารสวน D สำหรับการประเมินปริมาณธาตุอาหารที่ติดไปกับผลผลิตของสวน D ซึ่งมีผลผลิตอยู่ในเกณฑ์ระดับปานกลาง-ดี แต่คุณภาพผลไม่ดีมากนัก และมีปัญหากันผลเน่า โดยในสวน D พุทรา 1 ต้น มีน้ำหนักสดของใบ กิ่งใหญ่ กิ่งกลาง กิ่งเล็ก และผล เท่ากับ 2.86, 7.79, 5.51, 5.29 และ 107.06 กิโลกรัม ซึ่งถ้าพิจารณาขนาดทรงพุ่ม จำนวนใบ และกิ่ง ภายในทรงพุ่ม รวมถึงปริมาณผลผลิต พบว่าสวน D มีขนาดทรงพุ่มใกล้เคียงกับสวน C สำหรับปริมาณธาตุอาหารที่ติดไปกับชิ้นส่วนพืช พบว่าในรอบการผลิต 2561/2562 พุทรา 1 ต้นของสวน D มีการนำธาตุ N, P, K และ Ca ติดไปกับผลผลิต 269.87, 17.96, 283.20 และ 101.02 กรัม/ต้น ตามลำดับ ส่วนปริมาณ B ที่ติดมากับชิ้นส่วนต่างๆ ของพืช เท่ากับ 278.53 มิลลิกรัม/ต้น (ตารางที่ 1.10)

การพิจารณาการจัดการธาตุอาหารของสวน D น่าจะเป็นไปในแนวทางเดียวกับสวน C คือ ควรใช้ปริมาณธาตุอาหารที่ประเมินได้จากสวน A หรือสวน B แต่ต้องพิจารณาคุณลักษณะของดินเป็นองค์ประกอบด้วย ซึ่งพบว่าสวน D มีปัญหาทางด้านคุณลักษณะของดิน คือ pH เป็นกรดจัด น้อยกว่า 4.5 (ภาพที่ 1.10) และมีปริมาณโบรอนในดินต่ำ (ภาพที่ 1.16) และจากการสอบถามเกษตรกรร่วมกับการสังเกต ยังพบว่าสวนนี้อาจมีเวลาในการจัดการแปลงน้อยกว่าสวนอื่นๆ และมีปัญหาด้านแหล่งน้ำ น้ำไม่เพียงพอที่จะให้แก่พุทราได้ตลอดฤดูกาล รวมถึงการจัดการปุ๋ยเกษตรกรมีความเข้าใจผิด โดยมีการใส่ปุ๋ย

สูตร 0-0-60 ตั้งแต่ผลยังเล็ก (ปลายเดือนธันวาคม 2561) เพราะกลัวว่าพุทราจะไม่หวาน ซึ่งส่งผลให้ผลผลิตที่ได้มีขนาดเล็กกว่าปกติ ซึ่งในการดำเนินงานต่อเนื่องของโครงการในรอบการผลิตปี 2562/2563 ได้แนะนำให้เกษตรกรปรับคุณสมบัติดินโดยใส่ปูนขาว หรือโดโลไมต์ ส่วนปัญหาการขาดแคลนโบรอน ได้แนะนำให้เกษตรกรฉีดพ่นแคลเซียม-โบรอนให้แก่พืชทางใบ เนื่องจากดินสภาพกรดจัดทำให้พืชขาดแคลเซียมและโบรอนได้ (ยงยุทธ, 2546; สุภัทร์, 2560) และเกษตรกรมีการปรับปรุงระบบการให้น้ำแก่พุทราให้ดีขึ้น ซึ่งจากการเข้าเยี่ยมสวนในช่วงรอบการผลิตปี 2562/2563 พบว่าคุณภาพผลของสวน D มีคุณภาพดีขึ้น ปัญหาถิ่นผลเน่าลดลง (ข้อมูลจากการสังเกต) ซึ่งควรมีการติดตามการเปลี่ยนแปลงของคุณสมบัติดิน และธาตุอาหารในใบ รวมถึงคุณภาพผลต่อไป

ตารางที่ 1.10 ปริมาณธาตุอาหารที่ติดไปกับชิ้นส่วนพืชและผลผลิตที่นำออกจากแปลงปลูก (ต่อต้น) โดยคิดแยกตามชิ้นส่วนของพืช ได้แก่ ใบ กิ่งใหญ่ กิ่งกลาง กิ่งเล็ก และผลผลิต (สวน D= คุณเสริมศักดิ์)

Plant parts	FW (kg tree ⁻¹)	CF	DW (g tree ⁻¹)	N (g tree ⁻¹)	P (g tree ⁻¹)	K (g tree ⁻¹)	Ca (g tree ⁻¹)	B (mg tree ⁻¹)
ใบ	2.86	0.44	1,258.61	46.32	2.57	26.30	19.69	25.80
กิ่งใหญ่	7.79	0.41	3,192.63	17.81	2.23	26.43	28.55	25.66
กิ่งกลาง	5.51	0.41	2,260.76	10.51	2.25	19.91	21.75	20.30
กิ่งเล็ก	5.29	0.41	2,168.40	14.17	3.47	20.63	19.65	21.01
ผล	107.06	0.13	13,917.94	181.06	7.45	189.93	11.38	185.76
รวม	164.46		22,798.34	269.87	17.96	283.20	101.02	278.53

หมายเหตุ FW = fresh weight (น้ำหนักสด), DW = dry weight (น้ำหนักแห้ง) และ CF = conversion factor (สัมประสิทธิ์การเปลี่ยนจากน้ำหนักสด เป็นน้ำหนักแห้ง)

การประเมินปริมาณธาตุอาหารสวน E ในการประเมินปริมาณธาตุอาหารที่ติดไปกับผลผลิต โดยสวน E มีน้ำหนักสดของใบ กิ่งใหญ่ กิ่งกลาง กิ่งเล็ก และผล เท่ากับ 2.76, 3.44, 6.76, 6.09 และ 70.11 กิโลกรัม ในการพิจารณาแบบการจัดการของสวน E ถือได้ว่าการจัดการที่ไม่ดีมากนัก รวมทั้งพื้นที่ดั้งเดิมเป็นนาข้าว อาจมีปัจจัยทั้งด้านการจัดการร่วมกับปัญหาของสภาพพื้นที่ ทำให้ผลผลิตของสวนนี้ไม่ดีมากนัก สำหรับการประเมินปริมาณธาตุอาหารที่ติดไปกับชิ้นส่วนพืช พบว่าในรอบการผลิต 2561/2562 พุทรา 1 ต้นของสวน E มีการนำธาตุ N, P, K และ Ca ติดไปกับผลผลิต 200.37, 15.09, 209.64 และ 88.39 กรัม/ต้น ตามลำดับ ส่วนธาตุ B ที่ติดมากับชิ้นส่วนต่างๆ ของพืช เท่ากับ 206.99 มิลลิกรัม/ต้น (ตารางที่ 1.11) ซึ่งปริมาณธาตุอาหารที่ประเมินได้มีค่าต่ำ เนื่องจากทรงพุ่มต้นมีขนาดเล็ก รวมทั้งผลผลิตต่อต้นไม่เท่ากับสวนอื่นๆ

จากการศึกษาทางด้านธาตุอาหาร ร่วมกับการสอบถามพูดคุยกับเกษตรกร ปัญหาที่สำคัญของสวนนี้ คือ ปริมาณ B ในดินต่ำมาก เช่นเดียวกับสวน E และเจ้าของสวนเป็นเกษตรกรที่มีอายุมากที่สุด (ประมาณ 70 ปี) รวมทั้งมีสวนพุทราที่ต้องดูแลหลายสวน เนื่องจากแปลงปลูกไม่เป็นผืนเดียวกัน ถึงแม้จะมีบุตรชายช่วยทำงาน แต่ต้องแบ่งเวลาไปดูพุทราแปลงอื่นๆ ด้วย ทำให้การปรับวิธีการผลิตของสวนนี้เป็นไปได้ยาก แต่เกษตรกรเจ้าของแปลงมีความพึงพอใจในผลผลิตของตัวเอง และมีร้านค้า รวมถึงช่องทางการจำหน่ายที่ชัดเจน ทำให้ถึงแม้แปลงพุทราที่ทำการศึกษานี้มีผลผลิตต่ำ แต่ไม่ก่อปัญหาให้แก่เกษตรกรเนื่องจากมีพุทราจำนวนหลายแปลง

ตารางที่ 1.11 ปริมาณธาตุอาหารที่ติดไปกับชิ้นส่วนพืชและผลผลิตที่นำออกจากแปลงปลูก (ต่อต้น) โดยคิดแยกตามชิ้นส่วนของพืช ได้แก่ ใบ กิ่งใหญ่ กิ่งกลาง กิ่งเล็ก และผลผลิต (สวน E = คุณไฉ)

Plant parts	FW (kg tree ⁻¹)	CF	DW (g tree ⁻¹)	N (g tree ⁻¹)	P (g tree ⁻¹)	K (g tree ⁻¹)	Ca (g tree ⁻¹)	B (mg tree ⁻¹)
ใบ	2.76	0.44	1,215.42	44.73	2.48	25.40	19.02	24.92
กิ่งใหญ่	3.44	0.41	1,410.59	7.87	0.98	11.68	12.62	11.34
กิ่งกลาง	6.76	0.41	2,773.01	12.89	2.76	24.43	26.68	24.90
กิ่งเล็ก	6.09	0.41	2,497.53	16.32	3.99	23.76	22.63	24.20
ผล	70.11	0.13	9,114.00	118.57	4.88	124.37	7.45	121.64
รวม	164.46		17,010.54	200.37	15.09	209.64	88.39	206.99

หมายเหตุ FW = fresh weight (น้ำหนักสด), DW = dry weight (น้ำหนักแห้ง) และ CF = conversion factor (สัมประสิทธิ์การเปลี่ยนจากน้ำหนักสด เป็นน้ำหนักแห้ง)

การประเมินปริมาณธาตุอาหารที่ติดไปกับชิ้นส่วนของพืช พบว่าสวนที่ให้ผลผลิตสูง จะมีขนาดทรงพุ่มที่ใหญ่กว่าสวนที่ให้ผลผลิตน้อย ดังนั้น การจัดการเพื่อให้พุทราให้ผลผลิตสูง ต้องกระตุ้นให้พุทรา มีการแตกใบและช่อใบให้มากที่สุดในช่วงที่พุทรามีการออกดอก เพราะดอกของพุทราจะมาพร้อมกับช่อใบชุดใหม่ สำหรับการพัฒนาคุณภาพผลที่เกี่ยวข้องกับการจัดการธาตุอาหารพืช เกษตรกรต้องมีการวางแผนการจัดการธาตุอาหารให้ตรงกับความต้องการของพืช โดยการศึกษาครั้งนี้ทำให้ทราบปริมาณธาตุอาหารต่างๆ ที่พืชต้องการ แต่สัดส่วนการให้ของแต่ละธาตุในแต่ละช่วงเวลาก็มีความสำคัญ โดยหลักการคร่าวๆ คือ ในช่วงเวลาที่บำรุงใบ และช่วงหลังออกดอกใหม่ๆ ควรให้ปุ๋ย N ในอัตราที่สูง เพื่อเร่งการเจริญเติบโตของใบและผล อย่างเช่นการให้ยูเรีย (46-0-0) ร่วมกับปุ๋ยสูตร 15-15-15 ในช่วงที่พุทราเริ่มติดผลในเดือนพฤศจิกายน – ธันวาคม ซึ่งพบว่าสวนที่มีการจัดการที่ดีให้ปุ๋ยในลักษณะดังกล่าว มีผลผลิตที่มีขนาดใหญ่ และมีปริมาณผลผลิตต่อต้นมากขึ้น ส่วนบางสวนที่มีการจัดการปุ๋ยไม่เหมาะสมในช่วงการออกดอก พบว่า

ต้นพุทรามีผลขนาดเล็ก และปริมาณผลผลิตต่อต้นลดลง ส่วนการจัดการปุ๋ยในระยะก่อนเก็บเกี่ยวในช่วงเดือนมกราคม – กุมภาพันธ์ ควรให้ปุ๋ย K ในสัดส่วนที่สูงในช่วงระยะก่อนเก็บเกี่ยว อย่างเช่น การให้ปุ๋ยสูตร 0-0-60 หรือ 13-13-21 ซึ่งส่งเสริมให้ผลพุทรามีรสชาติหวานมากขึ้น

ทั้งนี้การจัดการธาตุอาหารที่ดี ต้องพิจารณาคุณสมบัติดินร่วมด้วย โดยเฉพาะค่า pH ของดิน ซึ่งจากการศึกษาได้ข้อมูลที่ชัดเจน คือ ถ้าดินเป็นกรดจัด ส่งผลให้พุทรามีคุณภาพผลที่ไม่ดี ได้ผลที่มีขนาดเล็ก สำหรับการให้ปุ๋ย P ควรมีการทดลองในบางส่วนเพื่อหยุดการให้ปุ๋ย P หรือหาวิธีการลดปริมาณ P ในดิน เนื่องจากในดินจากสวนพุทราที่วิเคราะห์ได้มีค่า P สูงมาก ซึ่งเป็นปัญหาที่เกิดกับสวนไม้ผลทั่วไป เนื่องจากเกษตรกรเชื่อว่าการให้ปุ๋ย P ในอัตราสูง เช่น ปุ๋ยสูตร 8-24-24 หรือ 9-25-25 ส่งเสริมกระบวนการออกดอกของไม้ผล (สุมิตรา และคณะ, 2547ก และ 2547ข) ซึ่งการลดการใช้ปุ๋ย P เป็นแนวทางหนึ่งในการช่วยลดต้นทุนของทางด้านปุ๋ยของเกษตรกร รวมทั้งการให้ปุ๋ย P ในรูปแบบนี้ อาจสร้างปัญหาในระยะยาว คือ ส่งผลให้ต้นพุทราขาดธาตุอาหารรองอื่นๆ เช่น เหล็ก และสังกะสี เป็นต้น ซึ่งผลการวิเคราะห์ปริมาณธาตุอาหารในดินและใบของสวน B ช่วยยืนยันว่า ถึงแม้ปริมาณธาตุอาหารในดินไม่สูง แต่ถ้ามี P อยู่ในระดับพอเพียง ก็สามารถที่จะทำให้ผลผลิตมีปริมาณและคุณภาพที่ดีได้

สรุปผลการศึกษา

การพัฒนาระบบการจัดการธาตุอาหารสำหรับการผลิตพุทราบ้านโนน โดยทำการศึกษาในช่วงรอบการผลิตปี 2561/2562 (ธันวาคม 2561-มีนาคม 2562) ในแปลงเกษตรกรจำนวน 5 สวน พบว่าผลผลิตของพุทราในสวนเกษตรกรตัวอย่างมีความแปรปรวนตามลักษณะการดูแลของเกษตรกร โดยมีผลผลิตอยู่ในช่วง 70-142 กิโลกรัมต่อต้น และพบว่าต้นพุทราที่มีใบในทรงพุ่มมาก ส่งผลให้มีปริมาณผลผลิตต่อต้นเพิ่มขึ้นตามจำนวนใบ ดังนั้นการเพิ่มผลผลิตต่อต้นต้องกระตุ้นให้พุทรามีการแทงยอดใหม่เพิ่มขึ้น เนื่องด้วยการออกดอกของพุทราเกิดขึ้นพร้อมกับยอดใหม่ที่ต้นพุทรามีการสร้างขึ้น

การวิเคราะห์ปริมาณธาตุอาหารในชิ้นส่วนพืช พบว่า ใบพุทรามี N, P, K, Ca และ B อยู่ในช่วง 1,140-3,976, 160-228, 1,220-2,740, 650-2,300 และ 1.13-3.77 mg/100g น้ำหนักแห้ง ตามลำดับ ส่วนกิ่งมีธาตุดังกล่าวอยู่ในช่วง 416.90-604.73, 55.77-207.68, 666.67-1,157.20, 726.67-1,150.00 และ 0.59-1.35 mg/100g น้ำหนักแห้ง ตามลำดับ ส่วนในผลพุทรา พบว่ามีธาตุดังกล่าวอยู่ในช่วง 1,160.83-1300.92, 29.57-36.37, 1,001.81-1,364.65, 43.05-61.73 และ 0.83-1.33 mg/100g น้ำหนักแห้ง ตามลำดับ

การประมาณปริมาณธาตุอาหารในชิ้นส่วนพืชและผลผลิตที่นำออกจากแปลง พบว่า พุทรามีการนำธาตุอาหารออกจากแปลงโดยติดไปกับผลมากที่สุด โดยถ้าต้นพุทรามีผลผลิตประมาณ 140 กิโลกรัม มีการนำธาตุ N, P, K และ Ca ติดไปกับผลผลิต รวมทั้งใบและกิ่งที่มีการตัดแต่งกิ่ง เท่ากับ 359.23, 22.43, 362.71 และ 119.83 กรัม/ต้น ตามลำดับ ส่วนธาตุ B ที่ติดมากับชิ้นส่วนต่างๆ ของพืช เท่ากับ 356.68 มิลลิกรัม/ต้น

ข้อเสนอแนะการนำผลงานไปใช้ประโยชน์

จากผลการดำเนินการของโครงการในส่วน “การพัฒนาระบบการจัดการธาตุอาหารสำหรับการผลิตพืชมูลฐานอย่างแม่นยำ” ได้พัฒนาข้อมูลปริมาณธาตุอาหารที่ติดไปกับผลผลิต และชิ้นส่วนพืช ได้แก่ ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส โพแทสเซียม แคลเซียม และโบรอน ซึ่งได้ทำการวิเคราะห์แยกระหว่างใบ กิ่ง และผล ของพืชมูลฐาน ดังนั้นการทดสอบการให้ธาตุอาหารในแปลงเกษตรกรจริงควรมีการดำเนินการวิจัยเพิ่มเติม โดยเกษตรกรต้องทราบน้ำหนักของชิ้นส่วนพืชที่ถูกลำออกจากแปลงในหน่วยน้ำหนักสด แล้วนำมาคำนวณกับข้อมูลธาตุอาหารที่ติดไปกับผลผลิตและชิ้นส่วนพืชที่ได้พัฒนาขึ้น เพื่อกำหนดปริมาณปุ๋ยที่จะทำการให้แก่พืชมูลฐานอย่างเหมาะสม ซึ่งในส่วนนี้นักวิจัยสามารถดำเนินการวิจัยต่อเนื่อง เพื่อทดสอบการให้ปุ๋ยในระดับแปลงเกษตรกรจริง เพื่อสร้างความเชื่อมั่นในการปุ๋ยอย่างแม่นยำตามคำแนะนำการจัดการธาตุอาหารภายใต้แนวคิด crop removal

ทั้งนี้ ก่อนการทดสอบการให้ปุ๋ยตามปริมาณธาตุอาหารที่ติดไปกับผลผลิตและชิ้นส่วนพืชที่นำออกจากแปลง นักวิจัยควรคำนึงถึงคุณสมบัติดินเบื้องต้น ได้แก่ ค่าความเป็นกรดต่างของดิน (pH) และอินทรีย์วัตถุในดิน (OM) เพื่อปรับปรุงคุณสมบัติดินพื้นฐานให้มีความเหมาะสมตามความต้องการของพืช เพื่อนำไปสู่การทดสอบปริมาณการใส่ปุ๋ยอย่างเหมาะสมและแม่นยำอย่างมีประสิทธิภาพต่อไป

ส่วนที่ 2

การจัดการน้ำตามความต้องการของพุทราอย่างแม่นยำ

บทคัดย่อ

การจัดการน้ำตามความต้องการของพุทราอย่างแม่นยำ มีวัตถุประสงค์ต้องการทราบอัตราการคายน้ำรายวันของพุทรา เพื่อนำข้อมูลมาพัฒนาแบบจำลองอย่างง่ายระหว่างอัตราการคายน้ำกับสภาพอากาศ เพื่อใช้เป็นแนวทางในการให้น้ำแก่พุทราอย่างเหมาะสม โดยทำการคัดเลือกสวนพุทราจำนวน 3 สวน ซึ่งอยู่ในอำเภอลำปาง จังหวัดกาฬสินธุ์ โดยแต่ละสวนทำการคัดเลือกต้นพุทราจำนวน 3 ต้น การดำเนินงานวิจัยทำการศึกษา 2 รอบปีของการผลิตพุทรา คือ รอบปีการผลิตที่ 1 (2561/2562) ติดตั้งเครื่องมือในช่วงเดือนมกราคม – มีนาคม 2562 และในรอบปีการผลิตที่ 2 ทำการติดตั้งเครื่องมือในช่วงเดือนกรกฎาคม 2562 – กุมภาพันธ์ 2563 (อาจมีความแตกต่างของช่วงเวลาในแต่ละสวน) การศึกษาครั้งนี้มีการเก็บข้อมูล 3 ชนิด ได้แก่ อัตราการคายน้ำของพุทรา ความชื้นในดิน และสภาพอากาศ

การวัดอัตราการคายน้ำของพุทรา ทำการติดตั้งหัวตรวจวัดการไหลของน้ำภายในต้นพืช (sap flow probe) ที่โคนต้นหลักของลำต้นที่เกิดใหม่หลังจากตัดแต่งกิ่ง สูงจากพื้นดินประมาณ 100 เซนติเมตร โดยใช้หัวตรวจวัดแบบ Granier เก็บข้อมูลทุก 30 นาที ตามวิธี transient thermal dissipation method ส่วนความชื้นในดินทำการเก็บข้อมูลความชื้นดินรายครึ่งชั่วโมงเช่นเดียวกับการเก็บข้อมูลการคายน้ำของพุทรา ด้วยหัวตรวจวัดความชื้นดินรุ่น CS616 Water Content Reflectometer (Campbell Scientific, Leicester, UK) ทำการติดตั้งที่ดินห่างจากลำต้นพุทราประมาณ 80-100 เซนติเมตร เก็บข้อมูลทั้งอัตราการคายน้ำ และความชื้นดิน ด้วย Datalogger (CR1000, Campbell Scientific, Leicester, UK) ส่วนการเก็บข้อมูลสภาพอากาศ ใช้เครื่องตรวจอากาศขนาดเล็ก (U23 Pro v2 Temperature/Relative Humidity Data Logger-U23-001, Bourne, MA) บันทึกข้อมูลอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ทุก 30 นาที ทำการคำนวณค่าการขาดความดันไอน้ำของอากาศ (vapor pressure deficit, VPD) จากข้อมูลอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ที่ทำการบันทึกเครื่องตรวจอากาศขนาดเล็ก

ผลการศึกษา พบว่าอัตราการคายน้ำรายวันของพุทรามีความผันแปรตามสภาพอากาศ และจำนวนใบในทรงพุ่ม โดยพุทราที่มีอัตราการคายน้ำในช่วงดินมีความชื้นสูงประมาณ 10-20 ลิตร/ต้น/วัน ส่วนการพัฒนาแบบจำลองความต้องการน้ำของพุทรา ได้ดำเนินการโดยใช้ความสัมพันธ์ของค่าการขาดความดันไอน้ำของอากาศสูงสุดในรอบวัน (maximum vapor pressure deficit, VPD_{max}) และอัตราการคายน้ำสูงสุดในรอบวัน (maximum sap flux density, J_{s_max}) และคำนวณอัตราการคายน้ำรายวันกับพื้นที่หน้าตัดของลำต้น ซึ่งค่าที่ได้จากแบบจำลอง คือ อัตราการคายน้ำรายวัน (tree transpiration, E_T) ของต้นพุทรา พบว่า ความแม่นยำของแบบจำลองที่พัฒนาขึ้นยังขาดความสมบูรณ์ โดยสาเหตุส่วนหนึ่ง คือ การผันแปรของจำนวนใบในทรงพุ่ม ซึ่งควรมีการพิจารณาการเพิ่มตัวแปรของจำนวนใบในทรงพุ่มในแบบจำลองด้วย อย่างไรก็ตาม แบบจำลองดังกล่าวสามารถประเมินความต้องการน้ำรายวันของต้นพุทราบางส่วน (สวน C)

ได้ แต่เพื่อสร้างความมั่นใจให้แก่เกษตรกรผู้สนใจนำแบบจำลองดังกล่าวไปปรับใช้ ในการให้น้ำตามความต้องการของพืชม ควรมีการทดสอบการให้น้ำตามค่าที่ได้จากแบบจำลองในแปลงพืชมในระยะต่อไป

Abstract

The development of an effective water management system was created through the evaluation of the jujube's daily transpiration rates. Our simple model was developed by studying the relationship between transpiration rate(s) and climate, for the purpose of creating a guideline that can be used to determine the jujube tree's optimum water supply. Three sample trees were selected from three jujube orchards in the Kham Muang district of Kalasin. Depending on each orchard, two production periods were studied; January to March 2019 and July 2019 to February 2020. Tree transpiration rate, soil moisture, and climate data were recorded.

Firstly, the transpiration rate was investigated via the sap-flow probe technique. A Granier's type probe was installed in the newly developed main trunk at 100 cm above soil level. Data were recorded every 30 minutes according to the transient thermal dissipation method, and soil water contents were measured with a CS616 Water Content Reflectometer (Campbell Scientific, Leicester, UK). Secondly, soil probes were installed at the soil surface, roughly 80 to 100 cm from the main trunk. Sap flow and soil water contents were measured with a datalogger (CR1000, Campbell Scientific, Leicester, UK). Lastly, climate data (temperature and relative humidity) were recorded every 30 minutes via a small data logger (U23 Pro v2 Temperature/Relative Humidity Data Logger-U23-001, Bourne, MA, USA). Vapor pressure deficits (VPD) were calculated from the temperature and relative humidity statistics.

Our results determined that jujube transpiration, approximately 10 to 20 liters tree⁻¹ day⁻¹, fluctuated according to the climate and leaf numbers within the jujube canopy. The optimal water requirement model was developed by studying the relationship between maximum vapor pressure deficit (VPD_{max}) and maximum sap flux density (Js_{max}); through which further study of the sap wood area generated daily tree transpiration (E_T) levels. Through an evaluation of the model's accuracy, we determined a lack of completeness and/or accuracy, due to the variation of leaf numbers within the jujube canopy; therefore, we recommend this factor be used as a parameter in future water requirement models. Our model also accurately estimated the daily transpiration rates in only a single orchard, suggesting that further research is required to improve both method accuracy and farmer confidence.

ที่มาและความสำคัญ/หลักการและเหตุผล

การจัดการน้ำในระดับที่เหมาะสมตามความต้องการของไม้ คือ การให้น้ำในระดับที่ไม่มากเกินไปหรือน้อยเกินไปกว่าความต้องการของพืช ซึ่งโดยทั่วไปถ้าไม้ผลขาดน้ำ ผลจะมีขนาดเล็กหรือแคระแกรน (Larson and Schaffer, 1989; Yakushiji et al., 1998; Spreer et al., 2007) แต่ในกรณีที่ให้น้ำมากเกินไปเกินความต้องการของพืช ก็เป็นสาเหตุหนึ่งที่ทำให้ผลผลิตไม่มีคุณภาพได้ เนื่องจากการให้น้ำมากเกินไปส่งผลให้ธาตุอาหารบางส่วนถูกชะล้างจากดินบนลงไปในดินล่าง (ไชยรัตน์ และคณะ, 2551) ทำให้ปริมาณธาตุอาหารไม่เพียงพอต่อความต้องการของการพัฒนาผลหรือทำให้คุณภาพผลไม่ดี ปัจจุบันการประเมินความต้องการน้ำของพืชมีแนวทางในการประเมินโดยใช้การวัดอัตราการคายน้ำ (transpiration rate) ของพืชด้วยหัวตรวจวัด แล้วให้น้ำชดเชยตามอัตราการคายน้ำของพืช โดย Xinguang et al. (2017) ได้วัดอัตราการคายน้ำของพุทราด้วยหัวตรวจวัดในท่อน้ำ (xylem sap flow probe) พบว่าพุทราใช้อัตราการคายน้ำประมาณ 2.5-3.0 มิลลิเมตรต่อวัน ซึ่งหลักการการให้น้ำในระดับที่เหมาะสม คือ การให้ชดเชยปริมาณน้ำที่สูญเสียไปจากพื้นที่ปลูกพืช ซึ่งในไม้ผลอาจพิจารณาจากค่าการคายน้ำของพืชเป็นหลักใหญ่ๆ ได้ อย่างไรก็ตาม การศึกษาอัตราการคายน้ำของพุทรายังมีไม่มากนัก โดยเฉพาะในประเทศไทย ทำให้การให้น้ำของพุทราเกษตรกรอาศัยประสบการณ์จากการให้น้ำที่ผ่านมา โดยที่ไม่ทราบความต้องการน้ำที่เหมาะสมของต้นพุทรา ซึ่งอาจเป็นสาเหตุหนึ่งที่ทำให้ผลผลิตของพุทรา มีปริมาณและคุณภาพไม่เป็นไปตามความต้องการของผู้บริโภค

ดังนั้น ในการวิจัยของโครงการนี้ต้องการศึกษาอัตราการคายน้ำรายวันของพุทราด้วยหัวตรวจวัดติดกับลำต้น เพื่อนำข้อมูลมาพัฒนาแบบจำลองอย่างง่ายระหว่างอัตราการคายน้ำกับสภาพอากาศ เพื่อใช้เป็นแนวทางในการให้น้ำแก่พุทราอย่างเหมาะสมต่อไป

การทบทวนเอกสารเชิงสังเคราะห์

สถานการณ์การผลิตพุทราบ้านโพน อำเภอกำแพง จังหวัดกาฬสินธุ์

พุทราบ้านโพน ถือเป็นผลไม้เศรษฐกิจที่สำคัญของจังหวัดกาฬสินธุ์ ได้รับการรับรองคุณภาพการเกษตรที่ดีและเหมาะสม (Good Agricultural Practice, GAP) หรือได้รับเครื่องหมาย Q รวมทั้งได้รับเครื่องหมาย Kalasin Food Safety (KS) โดยพุทราพันธุ์นวมสด เป็นพันธุ์ที่เกษตรกรนิยมปลูกมากที่สุด ปัจจุบันมีพื้นที่เพาะปลูกเพิ่มขึ้น ประมาณ 1,600 ไร่ ได้ผลผลิตไร่ละประมาณ 4-5 ตัน สามารถเก็บผลผลิตได้ประมาณ 4-5 เดือนต่อปี ราคาผลผลิตประมาณ กิโลกรัมละ 25-33 บาท ซึ่งถือได้ว่าเป็นพืชที่ให้ผลตอบแทนแก่เกษตรกรในระดับสูงกว่าพืชอื่นๆ โดยเฉพาะพืชไร่หลายชนิด แต่พุทราที่จำเป็นต้องได้รับการจัดการน้ำและธาตุอาหารที่เหมาะสมเพื่อให้ผลผลิตมีคุณภาพที่ดีตรงตามความต้องการของผู้บริโภคด้วย

การผลิตของพุทราบ้านโพน ยังมีปัญหาต่างๆ หลายด้าน ตั้งแต่ระบบการผลิต ไปจนถึงการตลาด อีกทั้งเกษตรกรมีการใช้เทคโนโลยีและการจัดการที่หลากหลายแตกต่างกัน ทั้งรูปแบบของโรงเรือน การตัดแต่งกิ่ง การไถพรวน การจัดการธาตุอาหาร การเก็บเกี่ยวและการจัดการหลังเก็บเกี่ยว โดยเฉพาะการจัดการ

น้ำ ซึ่งถือได้ว่าเป็นปัจจัยที่สำคัญปัจจัยหนึ่งในการผลิตพุทราให้มีคุณภาพดี ซึ่งถ้าเกษตรกรมีการจัดการน้ำได้ตรงตามความต้องการของพุทราแล้ว น่าจะส่งเสริมให้ผลิตผลมีคุณภาพดี ซึ่งเป็นปัจจัยหนึ่งที่ทำให้พุทราสามารถจำหน่ายในตลาดได้ดีขึ้น

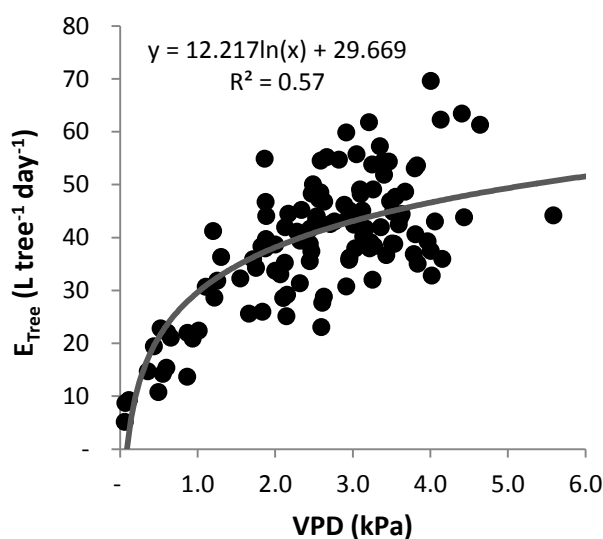
ระบบการผลิตพุทราในพื้นที่บ้านโนน อำเภอคำม่วง จังหวัดกาฬสินธุ์ เกษตรกรจัดการให้มีการเก็บเกี่ยวได้ในช่วง ธันวาคม – กุมภาพันธ์ โดยต้นพุทราจะมีการเจริญเติบโตทางใบในช่วงเดือนพฤษภาคม – พฤศจิกายน ซึ่งการดูแลผลผลิตดังกล่าว ถือได้ว่าในบางช่วงการเจริญเติบโตโดยเฉพาะช่วงที่พุทรามีการออกดอกและติดผล อยู่ในช่วงฤดูแล้ง ซึ่งถ้าการจัดการน้ำไม่เหมาะสมจะมีผลต่อคุณภาพของผลพุทราต่อไป ดังนั้นจึงควรมีการวางแผนในเรื่องการจัดการน้ำ เพื่อให้ต้นพุทรา มีความสมบูรณ์สำหรับการให้ผลผลิต นอกจากนี้ ในพื้นที่ภาคตะวันออกเฉียงเหนือมีฝนทิ้งช่วงเป็นประจำทุกปีในเดือนกรกฎาคม-สิงหาคม ถ้าเกษตรกรปล่อยให้พุทราขาดน้ำในช่วงนี้ ซึ่งเป็นช่วงที่พุทรามีการพัฒนากิ่งและใบใหม่ อาจส่งผลต่อการสังเคราะห์แสง และสะสมอาหารภายในต้น ซึ่งมีผลต่อคุณภาพผลในช่วงที่พุทราออกดอกติดผลต่อไป ซึ่งวิธีการให้น้ำของเกษตรกรจากการสัมภาษณ์ เกษตรกรมีการติดตั้งระบบการให้น้ำแบบสปริงเกลอร์ หรือระบบน้ำหยด ในระหว่างการพัฒนาของผล แต่ไม่ทราบปริมาณที่ต้องให้อย่างเหมาะสม ใช้เพียงการสังเกตความชื้นดินในการให้น้ำ ซึ่งอาจไม่ตรงกับความต้องการของพุทราหรืออาจให้มากเกินไปเกินความต้องการจนไปชะล้างปุ๋ยบางชนิด ทำให้สูญเสียธาตุอาหาร พืชไม่สามารถนำไปใช้ได้

การจัดการน้ำตามความต้องการของพืช

การจัดการน้ำในระดับที่เหมาะสมตามความต้องการของไม้ คือ การให้น้ำในระดับที่ไม่มากเกินไปหรือน้อยเกินไปกว่าความต้องการของพืช การให้น้ำมากเกินไปหรือน้อยเกินความต้องการของพืช สามารถส่งผลเสียให้แก่พืชที่ปลูก โดยเฉพาะผลผลิตอาจมีคุณภาพไม่ดี ผลเล็กหรือแฉะแกรนได้ และรสชาติของผลอาจไม่หวานอร่อยตามที่ผู้บริโภคต้องการ (Larson and Schaffer, 1989; Yakushiji et al., 1998; Spreer et al., 2007; ไชยรัตน์ และคณะ, 2551) ดังนั้น การจัดการน้ำให้พอเพียงถือได้ว่าเป็นเรื่องสำคัญอย่างมาก สุภภัทร์ (2555) ได้สรุปวิธีการประเมินความต้องการน้ำของไม้ผลไว้ดังนี้ ได้แก่ การประเมินจากค่าความชื้นในดินโดยใช้เครื่องวัดความชื้นในดิน (tensiometer) ซึ่งได้ดำเนินการโดยอิทธิสุนทร (2542) การคำนวณจากค่าการคายระเหยน้ำอ้างอิง (reference evapotranspiration) หรือการวัดอัตราการคายน้ำ (transpiration rate) ของพืชด้วยหัวตรวจวัดแล้วให้น้ำชดเชยตามอัตราการคายน้ำของพืช ซึ่งได้ดำเนินการประเมินความต้องการน้ำโดยการวัดอัตราการคายน้ำในส้อมโพนธ์ทองดี (สุภภัทร์, 2554; สังคม, 2554) และพันธุ์มณีอีสาน (สังคม, 2561) ซึ่งหลักการการให้น้ำในระดับที่เหมาะสม คือ การให้ชดเชยปริมาณน้ำที่สูญเสียไปจากพื้นที่ปลูกพืช ซึ่งในไม้ผลอาจพิจารณาจากค่าอัตราการคายน้ำของพืชเป็นหลักใหญ่ๆ ได้

อย่างไรก็ตามการจัดการน้ำให้เหมาะสมตามความต้องการของพืช ยังมีการนำไปใช้ประโยชน์ได้น้อยมาก หรือยังแทบจะไม่มีเลย เช่น การใช้เครื่องวัดความชื้นในดิน ตามวิธีการของอิทธิสุนทร (2542) เกิดปัญหาจากเครื่องวัดความชื้นในดินที่ผลิตและขายอยู่ในปัจจุบันมีปัญหาเรื่องการรวบซึม เมื่อใช้งานใน

แปลงไปได้สักพักหนึ่ง ทำให้เมื่อเกษตรกรนำไปใช้เกิดปัญหาการแปรผลความต้องการน้ำคลาดเคลื่อน จึงไม่เชื่อถือในวิธีการดังกล่าว ส่วนวิธีการประเมินจากค่าระเหยน้ำอ้างอิง ทั้งๆ ที่เป็นวิธีการที่มีความแม่นยำสูง แต่มีความยากเกินไปในระดับเกษตรกรที่จะคำนวณได้ ส่วนการประเมินจากการวัดอัตราการคายน้ำ ในขั้นตอนนี้อาจจำเป็นต้องสร้างแบบจำลองอย่างง่าย โดยมีพารามิเตอร์ที่เกษตรกรต้องใช้น้อยที่สุด ถึงจะทำให้ง่ายต่อการใช้ประโยชน์จริง ซึ่งจากการทำงานวิจัยในโครงการ “ระบบการผลิตส้มโอคุณภาพดีเพื่อสร้างอัตลักษณ์ของส้มโอชัยภูมิ” (สังคม และคณะ, 2561) พบว่า อัตราการคายน้ำของส้มโอพันธุ์ฉวีสุภา มีความสัมพันธ์กับค่าการขาดความดันไอน้ำของอากาศ (vapor pressure deficit, VPD) ดังภาพที่ 2.1



ภาพที่ 2.1 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการคายน้ำของพืช (E_{Tree}) กับค่าการขาดความดันไอน้ำของอากาศ (VPD) ของส้มโอพันธุ์ฉวีสุภา

ที่มา: Isarangkool Na Ayutthaya et al. (2016)

จากความสัมพันธ์ดังกล่าว ชี้ให้เห็นว่าอัตราการคายน้ำของพืชมีความแปรปรวนตามสภาพอากาศ ซึ่งถ้าวันไหนสภาพอากาศไม่ร้อนมากนักอัตราการคายน้ำจะต่ำ แต่ถ้าวันไหนแดดแรงอัตราการคายน้ำของพืชจะสูง ซึ่งพารามิเตอร์ที่ใช้ในการคำนวณ VPD ได้แก่ อุณหภูมิ และความชื้นสัมพันธ์ ดังนั้น ถ้ามีการเขียนแบบจำลองอย่างง่ายด้วยโปรแกรม Excel เกษตรกรเพียงกรอกข้อมูลอุณหภูมิ และความชื้นสัมพันธ์ ก็จะทราบอัตราการคายน้ำของพืช ซึ่งก็คือ ปริมาณน้ำที่ควรจะให้แก่พืชต่อไป ซึ่งในพุทราถ้ามีการวัดอัตราการคายน้ำ และทำการหาความสัมพันธ์เช่นเดียวกับในส้มโอพันธุ์ฉวีสุภาก็น่าจะได้ปริมาณการให้น้ำแก่พุทราที่เหมาะสมต่อไป

งานวิจัยทางด้านการจัดการน้ำในการผลิตพุทรา เพื่อผลิตพุทราให้ได้คุณภาพ ได้แก่ Hu et al. (2012) ใช้ค่าการคายระเหยน้ำอ้างอิง พบว่าพุทราในแต่ละช่วงการเจริญเติบโตมีความต้องการน้ำแตกต่างกัน ดังนั้น ค่าสัมประสิทธิ์การใช้น้ำในพุทรา (crop coefficient, K_c) ควรมีการเปลี่ยนแปลงตามระยะการเจริญเติบโต โดยช่วงที่พุทราต้องการน้ำมากที่สุด คือ ช่วงการพัฒนาผล โดยค่า K_c ในช่วงนี้มีค่าประมาณ

1.2 ซึ่งหมายถึงพุทรมีการคายน้ำสูงกว่าค่าการคายระเหยอ้างอิง ส่วน Zhang et al. (2010) ได้ใช้วิธีการวัดศักย์ของน้ำในดิน ซึ่งมีความคล้ายกับการใช้ tensiometer ประเมินความชื้นในดิน โดยอิทธิสุนทร (2542) ซึ่ง Zhang et al. (2010) พบว่าควรให้ความชื้นดินของพื้นที่ปลูกพุทรมีค่าศักย์ของน้ำในดิน อยู่ระหว่าง -25 kPa ถึง -40 kPa ส่งผลให้ต้นพุทราเจริญเติบโตได้ดี นอกจากนี้ Xinguang et al. (2017) ได้วัดอัตราการคายน้ำของพุทราด้วยหัวตรวจวัดในท่อน้ำ (xylem sap flow probe) พบว่าพุทรมีอัตราการคายน้ำประมาณ 2.5-3.0 มิลลิเมตรต่อวัน

อย่างไรก็ตาม อัตราการคายน้ำของพืชมีความผันแปรตามพันธุ์กรรม และสภาพแวดล้อม (สุภัทร์, 2554; Isarangkool Na Ayutthaya et al., 2018) นอกจากนี้อัตราการคายน้ำในพุทรายังมีความผันแปรตามจำนวนใบภายในทรงพุ่ม (Xinguang et al., 2017) การตรวจวัดอัตราการคายน้ำของพุทราหรือความต้องการน้ำของพุทราจึงน่าจะมีสัมพันธ์กับขนาดทรงพุ่มของพุทราด้วย ซึ่งในการวิจัยทางด้านน้ำจึงควรมีการตรวจวัดอัตราการคายน้ำเฉพาะพันธุ์และมีความจำเพาะกับพื้นที่ เพื่อให้ได้ค่าเฉพาะของพื้นที่เพื่อให้สามารถนำไปใช้ประโยชน์ในการประมาณค่าความต้องการน้ำของพุทราที่แม่นยำ โดยสรุปการดำเนินงานวิจัยของโครงการในส่วนที่ 2 นี้มีเป้าหมาย เพื่อศึกษาอัตราการคายน้ำของพุทรา เพื่อเป็นแนวทางในการสร้างแบบจำลองอย่างง่ายโดยใช้ข้อมูลสภาพอากาศ ได้แก่ อุณหภูมิ และความชื้นสัมพัทธ์ เป็นตัวแปรในการประมาณค่าความต้องการน้ำของพุทรา เพื่อใช้เป็นแนวทางในการให้น้ำแก่พุทราอย่างเหมาะสมต่อไป

วัตถุประสงค์

เพื่อให้ทราบอัตราการคายน้ำรายวันของพุทราด้วยหัวตรวจวัดติดกับลำต้น และนำข้อมูลมาพัฒนาแบบจำลองอย่างง่ายระหว่างอัตราการคายน้ำกับสภาพอากาศ เพื่อใช้เป็นแนวทางในการให้น้ำแก่พุทราอย่างเหมาะสม

วิธีการศึกษา

การเก็บข้อมูลอัตราการคายน้ำ ความชื้นดิน และสภาพอากาศ

คัดเลือกสวนพุทราจำนวน 3 สวน โดยแต่ละสวนทำการคัดเลือกต้นพุทราจำนวน 3 ต้น เพื่อศึกษาอัตราการคายน้ำของพุทรา โดยการดำเนินงานวิจัยในส่วนนี้ทำการศึกษา 2 รอบปีการผลิตพุทรา คือ รอบปีการผลิตที่ 1 (2561/2562) ติดตั้งเครื่องมือในช่วงเดือนมกราคม – มีนาคม 2562 และในรอบปีการผลิตที่ 2 ทำการติดตั้งเครื่องมือในช่วงเดือนกรกฎาคม 2562 – กุมภาพันธ์ 2563 (อาจมีความแตกต่างของช่วงเวลาในแต่ละสวน) ซึ่งการศึกษารั้งนี้มีการเก็บข้อมูล 3 ชนิด ได้แก่ อัตราการคายน้ำของพุทรา ความชื้นในดิน และสภาพอากาศ โดยมีรายละเอียด ดังนี้

1. อัตราการคายน้ำของพุทรา

ทำการติดตั้งหัวตรวจวัดการไหลของน้ำภายในต้นพืช (sap flow probe) ที่โคนต้นหลักของลำต้นที่เกิดใหม่หลังจากตัดแต่งกิ่ง สูงจากพื้นดินประมาณ 100 เซนติเมตร โดยใช้หัวตรวจวัดแบบ Granier (1985, 1987) ทำการให้กระแสไฟฟ้าคงที่และเก็บข้อมูลทุก 30 นาที ตามวิธี transient thermal dissipation method (Do and Rocheteau, 2002; Isarangkool Na Ayutthaya et al., 2010) โดยเก็บข้อมูลด้วย Datalogger (CR1000, Campbell Scientific, Leicester, UK) ดังภาพที่ 2.2



ภาพที่ 2.2 ลักษณะการติดตั้งหัวตรวจวัดบนลำต้นพืช การติดตั้งหัววัดความชื้นดิน และการต่อสายเพื่อเก็บข้อมูลด้วย data logger

ที่มา: โครงการวิจัยรหัส RDG6220003

โดยการเก็บข้อมูลจะทำการบันทึกข้อมูลรอบละครึ่งชั่วโมง โดยในรอบครึ่งชั่วโมงแบ่งเป็นการให้ความร้อนคงที่นาน 10 นาที และปล่อยให้เย็นจนเท่ากับอุณหภูมิปกติของเนื้อไม้ นาน 20 นาที แล้วนำอุณหภูมิที่มีการเปลี่ยนแปลงในแต่ละช่วงเวลา ทำการคำนวณหาการเคลื่อนที่ของน้ำในรอบครึ่งชั่วโมง (sap flux density, J_s ในหน่วย $L\ dm^{-2}\ h^{-1}$) ตามวิธีของ Do and

Rocheteau (2002) และ Isarangkool Na Ayutthaya et al. (2009) และทำการคำนวณอัตราการคายน้ำรายวันของพุทราแต่ละต้นต่อไป โดยมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

จากการบันทึกข้อมูลสัญญาณในแต่ละครึ่งชั่วโมง ทำการหาค่าสัญญาณแต่ละช่วงเวลาในรอบครึ่งชั่วโมง (ΔT_a) โดยหาสัดส่วนของความแตกต่างของสัญญาณอุณหภูมิขณะให้ความร้อนกับอุณหภูมิขณะเย็น ดังสมการที่ 1

$$\Delta T_a = T_{on} - \Delta T_{off} \quad (1)$$

เมื่อ ΔT_a = ค่าสัญญาณแต่ละช่วงเวลาในรอบครึ่งชั่วโมง

T_{on} = ค่าสัญญาณอุณหภูมิสูงสุดของช่วงที่ให้ความร้อน (นาทิตั้งที่ 10 ในรอบ 30 นาที)

ΔT_{off} = ค่าสัญญาณอุณหภูมิในช่วงที่หัวตรวจวัดเย็น หรือ อุณหภูมิที่เท่ากับเนื้อไม้ปกติ โดยเฉลี่ยจากอุณหภูมิเริ่มต้นก่อนให้กระแสไฟฟ้า (นาทิตั้งที่ 0 ในรอบ 30 นาที) และอุณหภูมิเมื่อปิดกระแสไฟฟ้าแล้ว 10 นาที (นาทิตั้งที่ 20 ในรอบ 30 นาที)

เมื่อได้ค่าสัญญาณของแต่ละช่วงเวลา จะมีการหาค่าสัญญาณแต่ละช่วงเวลาที่สูงที่สุด (ΔT_{0a}) ในรอบ 24 ชั่วโมง (มักเกิดตอนกลางวัน) เพื่อนำมาคำนวณค่าสัญญาณการไหลของน้ำแต่ละช่วงเวลาในรอบครึ่งชั่วโมง (K_a) ดังสมการที่ 2

$$K_a = (\Delta T_{0a} - \Delta T_{ua}) / \Delta T_{ua} \quad (2)$$

เมื่อ K_a = ค่าสัญญาณการไหลของน้ำแต่ละช่วงเวลาในรอบครึ่งชั่วโมง

ΔT_{0a} = ค่าสัญญาณแต่ละช่วงเวลาในช่วงที่อุณหภูมิสูงสุด หรือในช่วงที่การไหลของน้ำในลำต้น มีค่า = 0

ΔT_{ua} = ค่าสัญญาณที่วัดในแต่ละรอบครึ่งชั่วโมง

หลังจากนั้น ทำการหา sap flux density (J_s) โดยการนำค่าการไหลของน้ำแต่ละช่วงเวลา (ครึ่งชั่วโมง) มาคำนวณตามวิธีการของ Isarangkool Na Ayutthaya et al. (2009) ดังสมการที่ 3 โดย 12.95 คือ ค่าคงที่ของ slope จากความสัมพันธ์ของ J_s และ K_a

$$J_s = K_a \times 12.95 \quad (3)$$

ทำการรวมอัตราการไหลของน้ำในรอบ 24 ชั่วโมง จากข้อมูลที่บันทึกการไหลครึ่งชั่วโมง และทำการหาปริมาณการไหลของน้ำรายวันต่อต้น (E_T) ดังสมการที่ 4

$$E_T = A_{sw} \times J_s \quad (4)$$

เมื่อ E_T = ปริมาณการไหลของน้ำรายวันต่อต้น หรืออัตราการคายน้ำรายวันของต้นพุทรา
 A_{sw} = พื้นที่หน้าตัดของลำต้นพืชที่ใช้ในการวัด โดยไม่รวมส่วนเปลือก (xylem area)
 J_s = อัตราการไหลของน้ำที่คำนวณได้จากสมการ (3)

โดยเมื่อคำนวณเสร็จ E_T เป็นค่าอัตราการคายน้ำรายวันของต้นพุทราที่วัดในแต่ละวันโดยมีหน่วยเป็น $L \text{ tree}^{-2} \text{ day}^{-1}$

2. ความชื้นในดิน

ทำการเก็บข้อมูลความชื้นดินรายครึ่งชั่วโมงเช่นเดียวกับการเก็บข้อมูลการคายน้ำของพุทรา ด้วยหัวตรวจวัดความชื้นดินรุ่น CS616 Water Content Reflectometer (Campbell Scientific, Leicester, UK) ทำการติดตั้งที่ดินห่างจากลำต้นพุทราประมาณ 80-100 เซนติเมตร โดยติดตั้งเข้ากับ Datalogger (CR1000, Campbell Scientific, Leicester, UK) ซึ่งเป็นชุดเดียวกันกับการเก็บข้อมูลการคายน้ำของพุทรา เพื่อบันทึกข้อมูลทุก 30 นาที การคำนวณความชื้นดินใช้สมการที่ได้จากการ calibration โดยบริษัทผู้จำหน่ายเครื่องมือ

3. สภาพอากาศ

การเก็บข้อมูลสภาพอากาศ ดำเนินการโดยใช้เครื่องตรวจอากาศขนาดเล็ก (U23 Pro v2 Temperature/Relative Humidity Data Logger-U23-001, Bourne, MA) บันทึกข้อมูลอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ ทุก 30 นาที แล้วนำมาทำการคำนวณค่าการขาดความดันไอน้ำของบรรยากาศ (vapor pressure deficit; VPD) ตามวิธีของ Allen et al. (1998) ดังสมการที่ 5 ถึงสมการที่ 7

$$VPD = e_s - e_a \quad (5)$$

โดย e_s = saturated vapor pressure (kPa)

e_a = partial vapor pressure (kPa)

การคำนวณ e_s เป็นไปตามสมการ

$$e_s = 0.6108 \text{Exp} \left(\frac{17.27T}{T+237.3} \right) \quad (6)$$

โดย T = อุณหภูมิ (temperature) หน่วยองศาเซลเซียส

สำหรับค่าคงที่ซึ่งใช้ในการคำนวณ e_s เท่ากับ 17.27 และ 237.3 ให้ค่าโดย Allen et al. (1998)

การคำนวณ ea เป็นตามสมการ

$$ea = es \frac{RH}{100} \quad (7)$$

โดย RH = ความชื้นสัมพัทธ์ (relative humidity)

การวิเคราะห์ทางสถิติ ทำการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของสภาพอากาศและอัตราการคายน้ำด้วยโปรแกรม SPSS 17.0 (SPSS Inc., New York, NY, USA) และโปรแกรม Sigmaplot 10.0 (Systat Software, Inc., Chicago, IL, USA)

การสร้างแบบจำลองต้องการน้ำของพุทรา

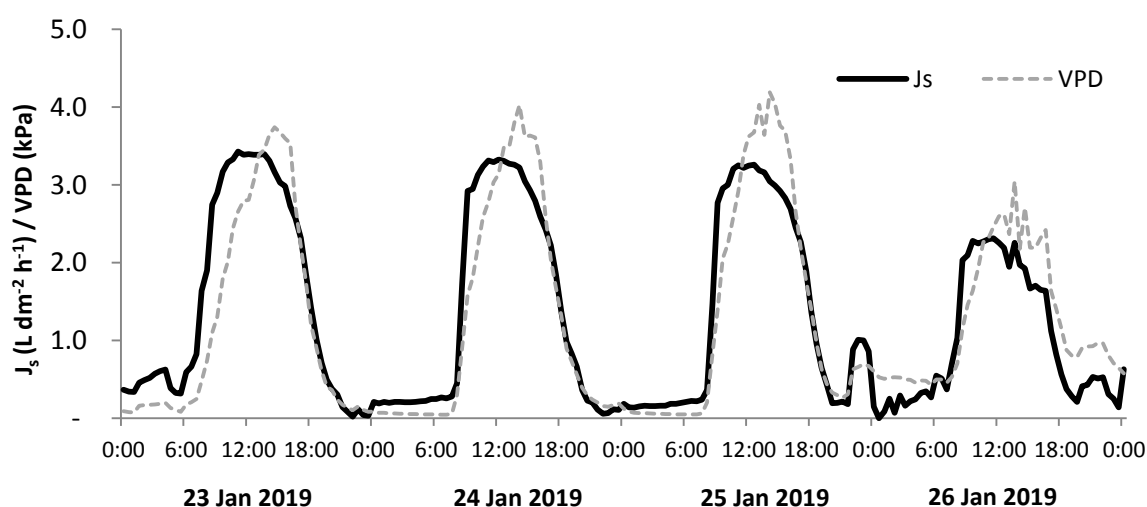
ทำการสร้างแบบจำลองความต้องการน้ำรายวันของพุทราจากความสัมพันธ์ของ VPD กับอัตราการคายน้ำของพุทรา ตามแนวคิดจากความสัมพันธ์ของสภาพอากาศกับอัตราการคายน้ำของพืช โดยใช้สมการความสัมพันธ์ระหว่างค่าการไหลของน้ำในท่อน้ำสูงสุด (maximum sap flux density; J_{s_max}) กับค่าการขาดความดันไอน้ำของสภาพอากาศสูงสุด (maximum vapor pressure deficit; VPD) โดยคาดว่า VPD_{max} น่าจะสามารถเป็นตัวแปรที่ใช้ประมาณค่าของอัตราการคายน้ำได้ โดยรายละเอียดของแบบจำลองได้อธิบายไว้ในส่วนของผลการทดลองหน้า 73-74 ในสมการที่ 8-11 และเมื่อได้ค่าประมาณอัตราการคายน้ำ (Estimated E_T) นำค่าดังกล่าวไปเปรียบเทียบกับค่าที่วัดได้จริง (Measured E_T) เพื่อประเมินความแม่นยำของแบบจำลองที่พัฒนาขึ้น โดยทำการหา root mean square error (RMSE) เพื่อพิจารณาความแปรปรวนของอัตราการคายน้ำที่ประมาณโดยแบบจำลองที่พัฒนาขึ้น โดยขอบเขตของการศึกษาของโครงการนี้ต้องการให้ได้แบบจำลองความต้องการน้ำของพุทรา โดยยังไม่มีทดสอบแบบจำลองโดยให้น้ำจริงในแปลงเกษตรกร

ผลการศึกษา และวิจารณ์

การศึกษ้อัตราการคายน้ำของต้นพุทราในโครงการนี้ ดำเนินการต่อเนื่องเป็นเวลา 2 รอบการผลิต คือ รอบที่ 1 ในช่วงรอบการผลิตพุทราของเกษตรกรในปี 2561/2562 โดยทำการติดตั้งหัวตรวจวัดการไหลของน้ำในท่อน้ำ (xylem sap flux) ที่ลำต้นพุทราระหว่างเดือนมกราคม-มีนาคม 2562 ส่วนในรอบที่ 2 ในช่วงปีการผลิตพุทราของเกษตรกรในปี 2562/2563 โดยทำการติดตั้งหัวตรวจวัดการไหลของน้ำในท่อน้ำที่ลำต้นพุทราระหว่างเดือนกรกฎาคม 2562-กุมภาพันธ์ 2563 ซึ่งในแต่ละรอบการวัดอัตราการคายน้ำของต้นพุทราได้ผลการดำเนินงาน ดังนี้

1. การศึกษ้อัตราการคายน้ำของพุทรา รอบการผลิตปี 2561/2562 (รอบที่ 1)

จากการศึกษาลักษณะการคายน้ำในรอบวันของพุทราพันธุ์มสศ พบว่าการไหลของน้ำในท่อน้ำ (sap flux density, J_s) ของพุทราพันธุ์มสศเพิ่มขึ้นในช่วงเช้า และมีค่าสูงสุดในช่วงเที่ยงวัน หลังจากนั้นการไหลของน้ำในท่อน้ำของพุทราพันธุ์มสศลดลงในช่วงบ่าย และมีค่าเข้าใกล้ศูนย์ในตอนกลางคืน ซึ่งสอดคล้องกับการเปลี่ยนแปลงของการเปลี่ยนแปลงค่า VPD (ภาพที่ 2.3) โดยลักษณะการคายน้ำแบบนี้เป็นลักษณะของการคายน้ำของพืชโดยทั่วไปที่มีการเปิดปากใบในตอนกลางวัน และปิดปากใบในตอนกลางคืน เช่น กล้วย (Lu et al., 2002) ยูคาลิปตัส (O'Grady et al., 2008) ยางพารา (Isarangkool Na Ayutthaya et al., 2011) และส้มโอพันธุ์ทองดี (สุภัทร์ และคณะ, 2554) และเมื่อเทียบลักษณะของสภาพอากาศทั้ง 4 วัน พบว่าค่า VPD มีความแปรปรวนอย่างมากในวันที่ 4 (26 มกราคม 2562) ส่งผลให้ค่าการไหลของน้ำในท่อน้ำแปรปรวนตามค่า VPD ไปด้วย ดังนั้น VPD เป็นดัชนีหนึ่งที่ควบคุมอัตราการไหลของน้ำในท่อน้ำ หรือการคายน้ำของพืช



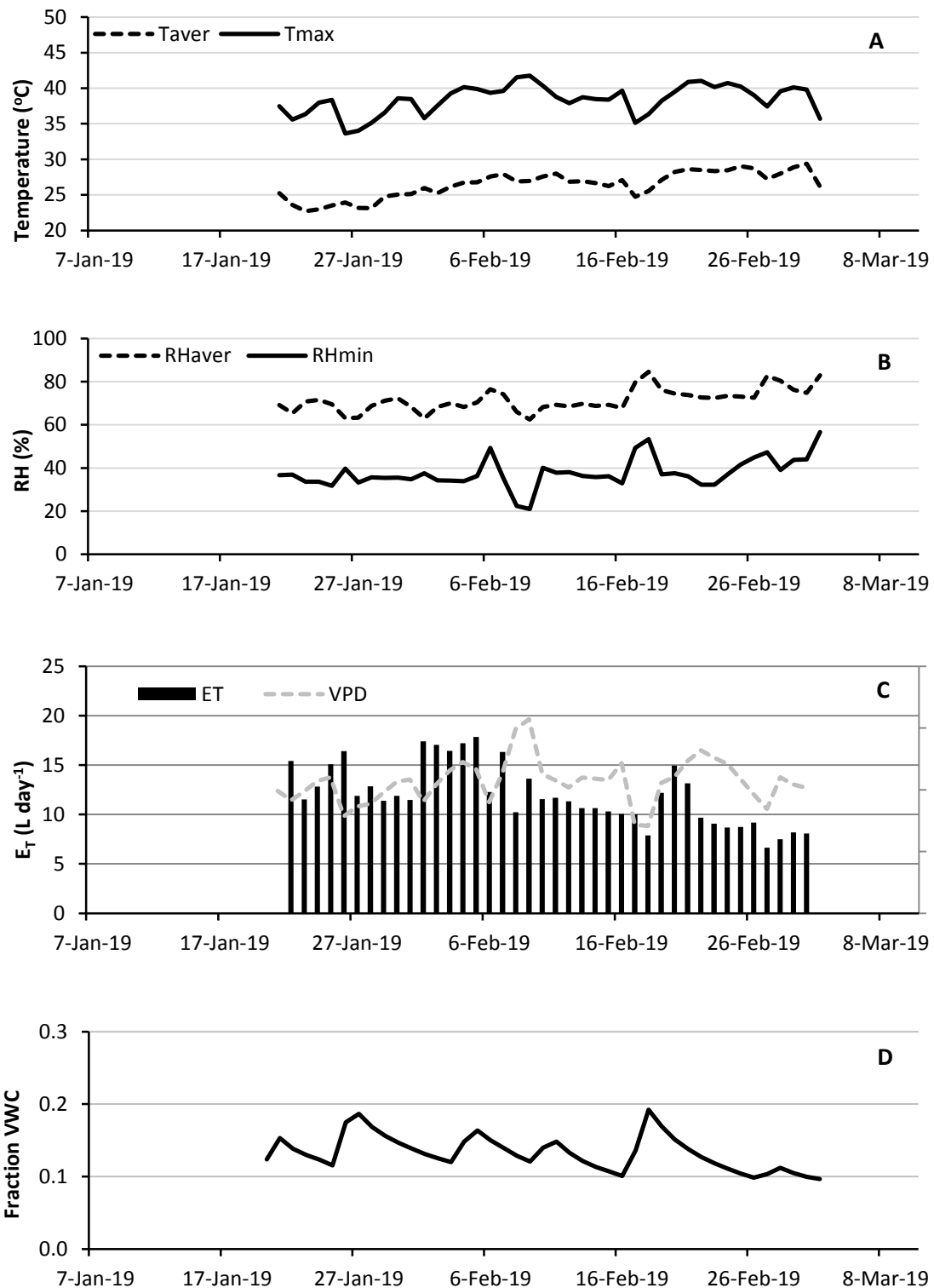
ภาพที่ 2.3 อัตราการเคลื่อนที่ของน้ำภายในท่อน้ำ (xylem) ของพุทรา (23 – 26 มกราคม 2562)

จากการศึกษาอัตราการคายน้ำของพุทราจำนวน 3 สวน โดยคัดเลือกจากบางสวนที่ทำการศึกษาดูแลการจัดการธาตุอาหารอย่างแม่นยำ ได้แก่ สวนคุณวิสัย (สวน A) สวนคุณทองจันทร์ (สวน C) และสวนคุณไฉ (สวน E) พบว่าข้อมูลสภาพอากาศ ได้แก่ อุณหภูมิ และความชื้นสัมพัทธ์ ของทุกสวนในช่วงที่ทำการศึกษามีอุณหภูมิสูงสุดในรอบวันอยู่ในช่วง 35-45 องศาเซลเซียส (ภาพที่ 2.4A, 2.5A และ 2.6A) ส่วนความชื้นสัมพัทธ์ต่ำสุดในรอบวัน มีค่าเฉลี่ยประมาณ 40 เปอร์เซ็นต์ (ภาพที่ 2.4B, 2.5B และ 2.6B) ซึ่งข้อมูลอุณหภูมิที่เก็บได้มีค่าสูงมาก เนื่องจากการติดตั้งเครื่องตรวจอากาศขนาดเล็ก ทำการติดตั้งไว้ภายในโรงเรือนของพุทรา เพื่อให้ทราบสถานะของสภาพอากาศที่ต้นพุทราได้รับจริง ซึ่งโดยปกติสภาพอากาศภายในโรงเรือนน่าจะร้อนกว่าสภาพอากาศภายนอกโรงเรือนประมาณ 3-5 องศาเซลเซียส และสภาพโรงเรือนพุทรา เป็นการกางมุ้งครอบเหนือทรงพุ่ม เพื่อช่วยลดการระบาดของโรคและแมลงศัตรูพืช โดยไม่มีระบบช่วยลดอุณหภูมิภายในโรงเรือน

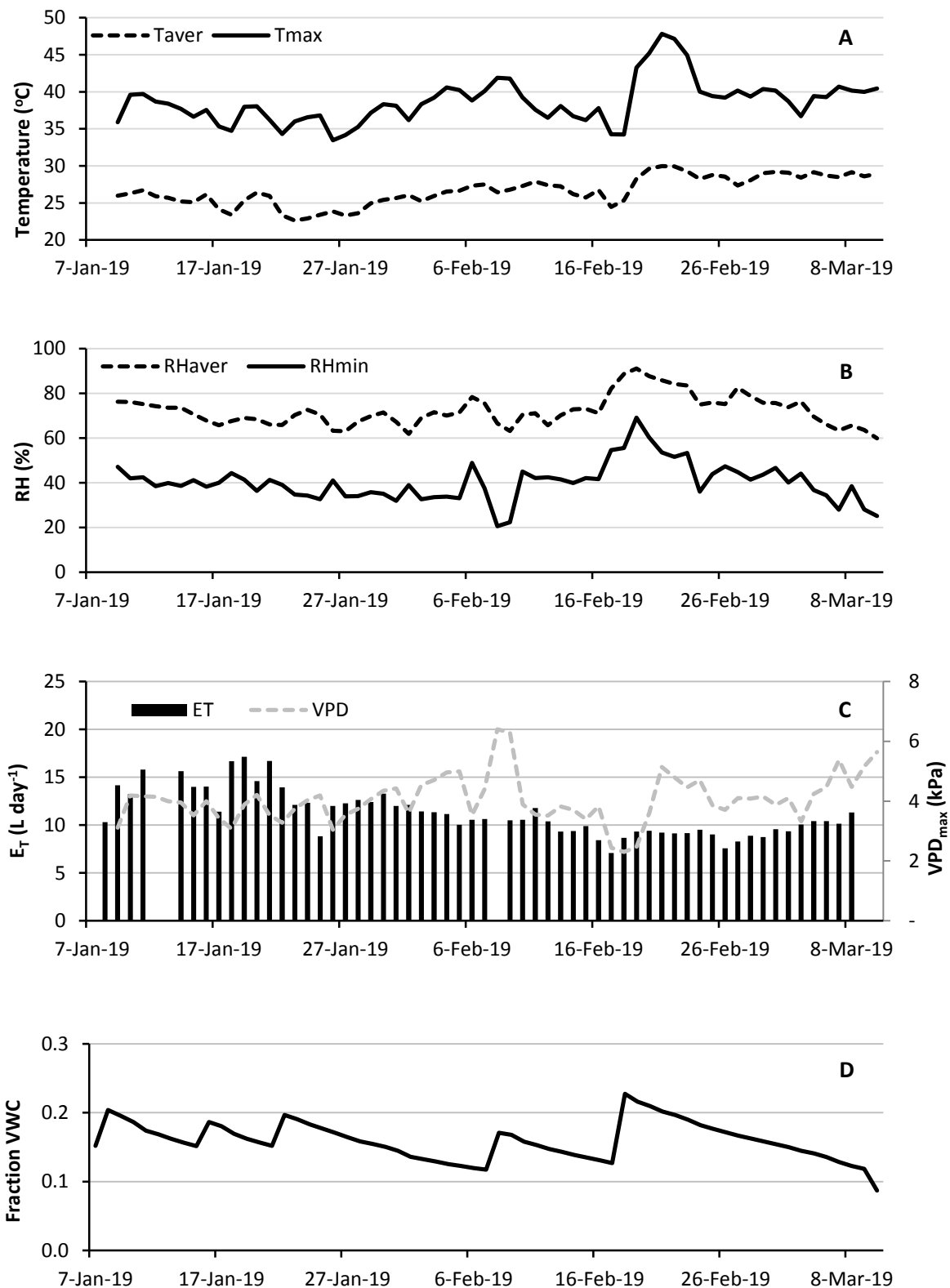
เมื่อนำข้อมูลมาคำนวณค่าการขาดความดันไอน้ำของบรรยากาศ (vapor pressure deficit, VPD) พบว่าค่า VPD สูงสุดในรอบวัน (VPD_{max}) มีค่าอยู่ในช่วง 2.80-6.40 kPa (ภาพที่ 2.4C, 2.5C และ 2.6C) ซึ่งค่า VPD_{max} ที่คำนวณได้มีความผันแปรตามอุณหภูมิ และความชื้นสัมพัทธ์ในแต่ละวัน สำหรับการคำนวณอัตราการคายน้ำต่อต้นต่อวัน (E_T) จากอัตราการไหลของน้ำในท่อน้ำในรอบวัน พบว่าอัตราการคายน้ำของพุทราในช่วงที่ทำการศึกษาระหว่างเดือนมกราคม-มีนาคม 2562 มีอัตราการคายน้ำสูงสุดประมาณ 18 ลิตร/ต้น/วัน (ภาพที่ 2.4C และ 2.5C) แต่อัตราการน้ำของสวน E มีค่าต่ำมาก ซึ่งอาจเกิดเนื่องจากจำนวนใบในทรงพุ่มและขนาดของทรงพุ่มของต้นพุทราในสวน E เล็กกว่าสวน A และสวน C (ภาพที่ 1.9) ซึ่งการคายน้ำ ซึ่งเป็นกระบวนการที่พืชสูญเสียน้ำของพืชโดยผ่านปากใบ เมื่อต้นพืชมีจำนวนใบน้อยย่อมส่งผลให้มีการสูญเสียน้ำที่น้อยด้วย และเมื่อพิจารณาถึงคุณภาพผลของสวน E เทียบกับสวนอื่นๆ ก็พบว่าปริมาณผลผลิตต่อต้นน้อยที่สุดด้วย

การวัดสถานะความชื้นในดิน พบว่า การจัดการน้ำของพุทราในรอบปีการผลิต 2561/2562 มีลักษณะเหมือนกับเกษตรกรปล่อยให้พุทราอยู่ในสภาพแล้ง โดยสวน A ให้น้ำแก่พุทราในความถี่สัปดาห์ละครั้ง (ภาพที่ 2.4D) สวน C ให้น้ำแก่พุทราทุก 10 วัน (ภาพที่ 2.5D) ส่วนสวน E การให้น้ำไม่มีความสม่ำเสมอ (ภาพที่ 2.6D) และการให้น้ำในแต่ละครั้งไม่น่าจะเพียงพอต่อความต้องการของพุทรา โดย ค่า fraction volumetric water content (VWC) ต่ำกว่า 0.20 ยกเว้นในสวน E ค่า VWC เท่ากับ 0.27 หลังจากที่มีการให้น้ำแก่พุทรา แต่อีกสาเหตุหนึ่งที่ส่งผลให้สวน E มีค่า VWC สูง อาจเนื่องจากดินพื้นฐานจากการสังเกต เป็นดินเหนียว เนื่องจากเป็นพื้นที่ทำนามาก่อน ส่วนดินอีก 2 สวน มีลักษณะเป็นดินทรายหยาบ พื้นที่ดอน VWC ที่ระดับความจุความชื้นสนามอาจมีความแตกต่างกันได้

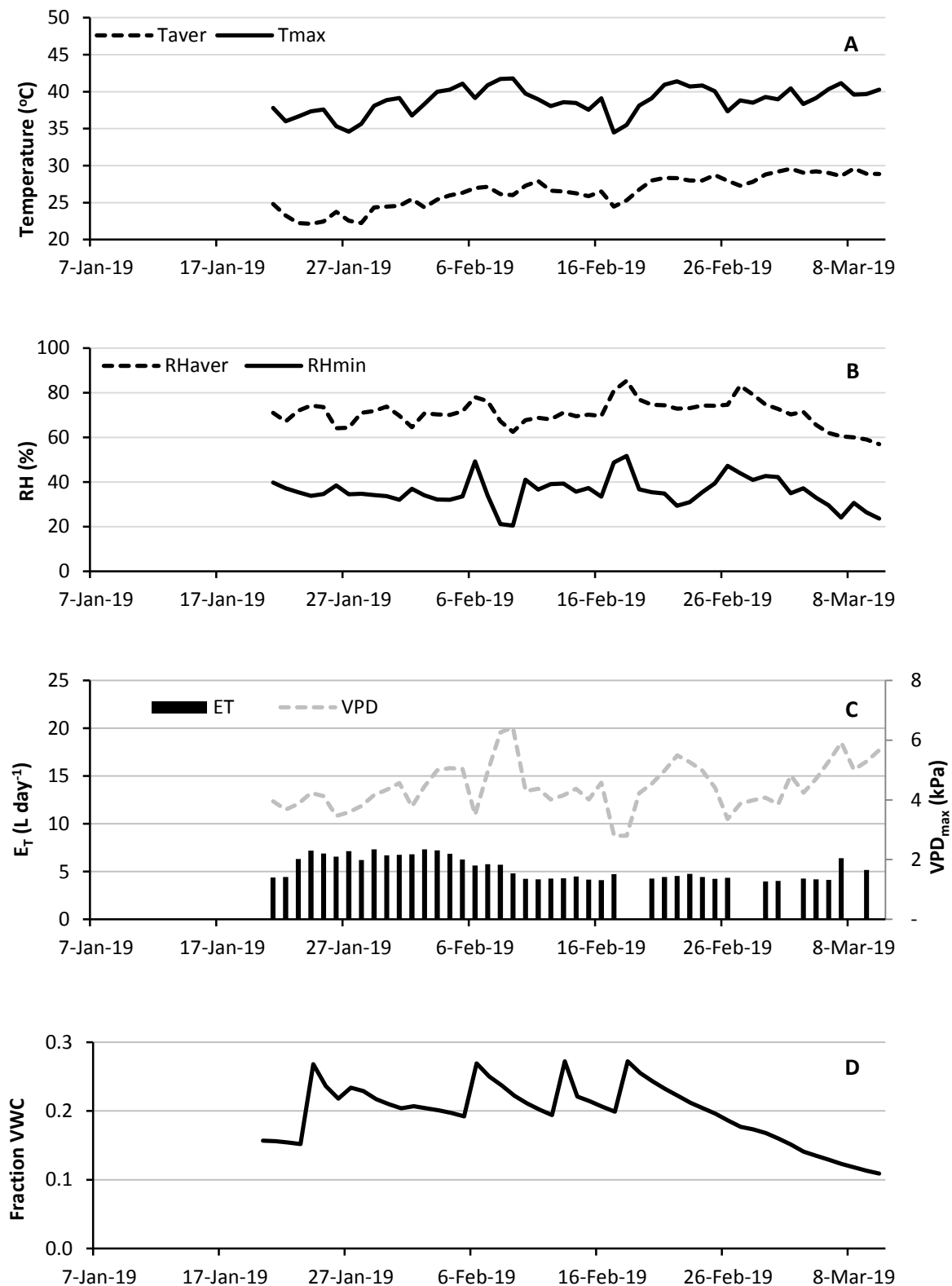
อย่างไรก็ตามในการศึกษารอบที่ 1 อยู่ในช่วงฤดูแล้ง ประกอบกับเกษตรกรมีการให้น้ำแก่พุทรา น้อยลงในช่วงระยะเวลาก่อนเก็บเกี่ยวผลผลิตพุทรา เพื่อให้ผลมีรสชาติหวานมากขึ้น ดังนั้น ดินอาจเกิดภาวะแล้งได้ ส่งผลให้พุทราที่มีอัตราการคายน้ำที่น้อยลง การศึกษาวิจัยเรื่องอัตราการคายน้ำของพุทราจึงได้ดำเนินการอีกครั้งหนึ่ง ในรอบการผลิตปี 2562/2563 ในระหว่างเดือนกรกฎาคม 2562 – กุมภาพันธ์ 2563 เพื่อยืนยันข้อมูลปริมาณการคายน้ำของพุทราให้มีความชัดเจนมากยิ่งขึ้น



ภาพที่ 2.4 การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ (A) ความชื้นสัมพัทธ์ (B) อัตราการคายน้ำรายวัน (E_T) ของพุทรา และการเปลี่ยนแปลงของค่าการขาดความดันไอน้ำของบรรยากาศ (C) และความชื้นของดิน (D) ของสวนพุทรา A (คุณวิสัย) รอบการผลิตปี 2561/2562 ซึ่งการศึกษาอยู่ในระยะที่พุทรา อยู่ในช่วงการติดผลและเก็บเกี่ยว



ภาพที่ 2.5 การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ (A) ความชื้นสัมพัทธ์ (B) อัตราการคายน้ำรายวัน (E_T) ของพุทรา และการเปลี่ยนแปลงของค่าการขาดความดันไอน้ำของบรรยากาศ (C) และความชื้นของดิน (D) ของสวนพุทรา C (คุนทองจันทร์) รอบการผลิตปี 2561/2562 ซึ่งการศึกษาอยู่ในระยะที่ พุทราอยู่ในช่วงการติดผลและเก็บเกี่ยว



ภาพที่ 2.6 การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ (A) ความชื้นสัมพัทธ์ (B) อัตราการคายน้ำรายวัน (E_T) ของพุทรา และการเปลี่ยนแปลงของค่าการขาดความดันไอน้ำของบรรยากาศ (C) และความชื้นของดิน (D) ของสวนพุทรา E (คุณไว) รอบการผลิตปี 2561/2562 ซึ่งการศึกษาอยู่ในระยะที่พุทราอยู่ในช่วงการติดผลและเก็บเกี่ยว

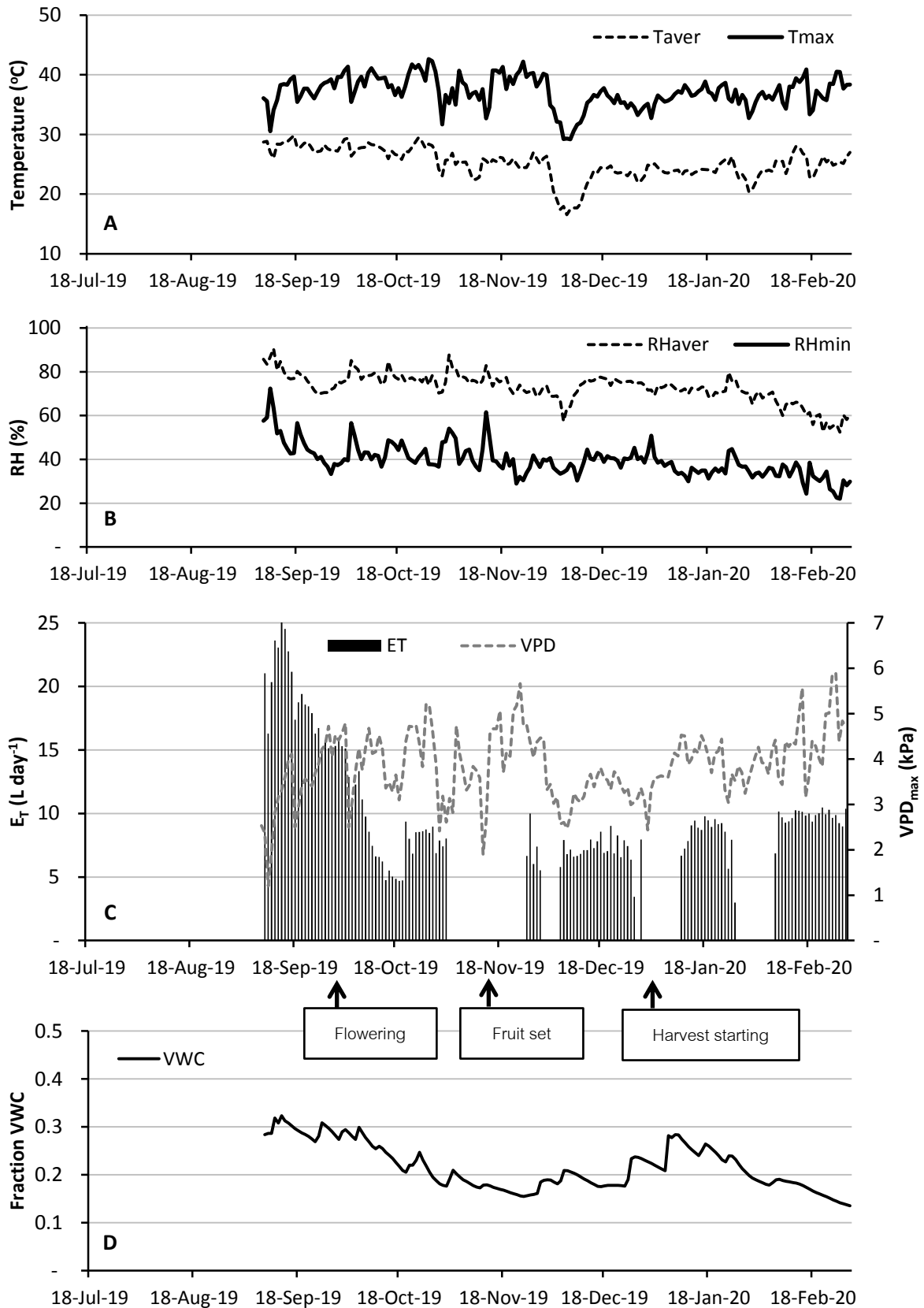
2. การศึกษาอัตราการคายน้ำของพุทรา รอบการผลิตปี 2562/2563 (รอบที่ 2)

การศึกษาด้านอัตราการคายน้ำของต้นพุทราในรอบการผลิต ปี 2562/2563 ดำเนินการในช่วงเดือนกรกฎาคม 2562 ถึงกุมภาพันธ์ 2563 ซึ่งครอบคลุมในช่วงที่ต้นพุทราเริ่มมีใบเต็มทรงพุ่ม (กรกฎาคม – กันยายน 2562) และต้นพุทราออกดอกในปลายเดือนกันยายนต่อเนื่องจนถึงต้นตุลาคม และสามารถเก็บผลจำหน่ายได้ในช่วงปลายเดือนธันวาคม 2562 ถึงกลางกุมภาพันธ์ 2563 ซึ่งจากการนับช่วงอายุผลตั้งแต่ออกดอกจนกระทั่งเก็บเกี่ยวได้คร่าวๆ ใช้เวลาประมาณ 90-95 วัน

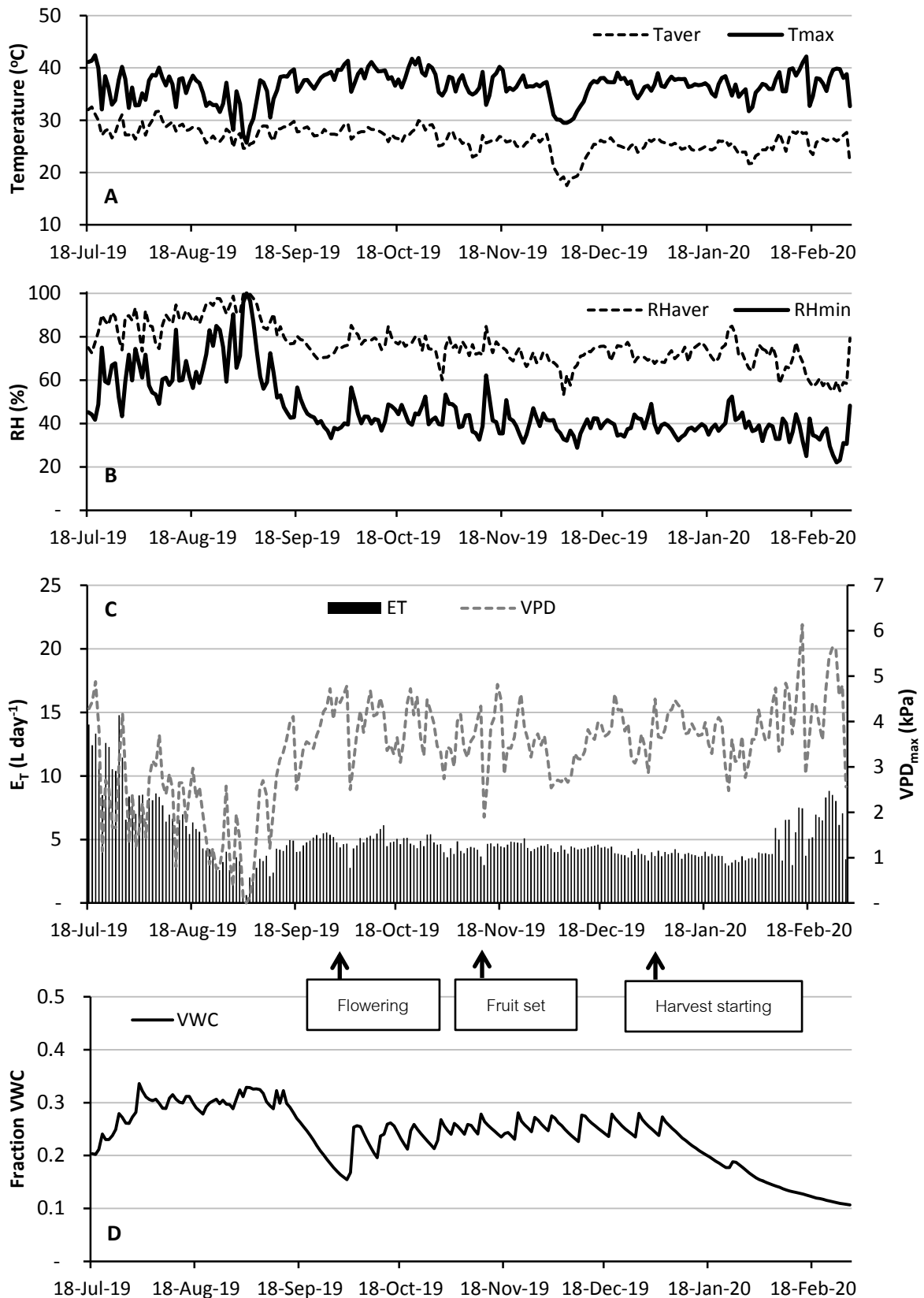
สภาพอากาศ ซึ่งทำการวัดอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ พบว่า อุณหภูมิมีการผันแปรตามช่วงฤดูกาล โดยอุณหภูมิรอบวันสูงสุด (T_{max}) มีค่าอยู่ในช่วง 30-42 องศาเซลเซียส ซึ่งสภาพอากาศของการรอบการผลิตที่ 2 มีอุณหภูมิต่ำกว่ารอบการผลิตที่ 1 (รอบปี 2561/2562) และอุณหภูมิเฉลี่ยในรอบวันมีค่าเท่ากับ 17 องศาเซลเซียส (ภาพที่ 2.7A, 2.8A และ 2.9A) ส่วนความชื้นสัมพัทธ์ต่ำสุดในรอบวัน มีค่าเฉลี่ยประมาณ 40 เปอร์เซ็นต์ (ภาพที่ 2.7B, 2.8B และ 2.9B) และในช่วงฤดูฝนที่มีฝนตกตลอดวัน พบว่าความชื้นสัมพัทธ์มีค่าเฉลี่ยใกล้เคียง 100 (ภาพที่ 2.8B)

การคำนวณค่า VPD_{max} พบว่าในช่วงฤดูฝน (กรกฎาคม – กันยายน 2562) มีค่า VPD_{max} ต่ำกว่าในช่วงฤดูแล้ง (ภาพที่ 2.8C) ซึ่งการแปรปรวนของค่า VPD_{max} เป็นตามการเปลี่ยนแปลงของสภาพอากาศ (ภาพที่ 2.7C, 2.8C และ 2.9C) ส่วนค่าความชื้นดิน พบว่าในช่วงฤดูฝน ในเดือนกรกฎาคม – กันยายน 2562 ดินมีความชื้นสูงมาก โดยสวน A และสวน C มีความชื้นดิน (fraction VWC) ประมาณ 0.30 หลังจากนั้นเกษตรกรทำการให้น้ำแก่พุทราอย่างต่อเนื่อง แต่ปริมาณน้ำที่ให้ไม่สามารถชดเชยการสูญเสียน้ำของดินได้ โดยในช่วงต้นฤดูแล้ง ซึ่งเป็นช่วงที่พุทรามีการออกดอกและติดผล ค่า VWC มีค่าอยู่ในช่วง 0.20-0.25 (ภาพ 2.7D และ 2.8D) ส่วนสวน E ในช่วงปลายฤดูฝน (กันยายน 2562) VWC สูงมาก ประมาณ 0.40 และจากการสังเกตพบว่าในช่วงดังกล่าวดินมีความอึดตัวด้วยน้ำ (ภาพ 2.9D) แต่เมื่อเข้าสู่ฤดูแล้ง (เดือนพฤศจิกายน 2562) การเปลี่ยนแปลง VWC เป็นไปในแนวทางเดียวกับสวน A และสวน C

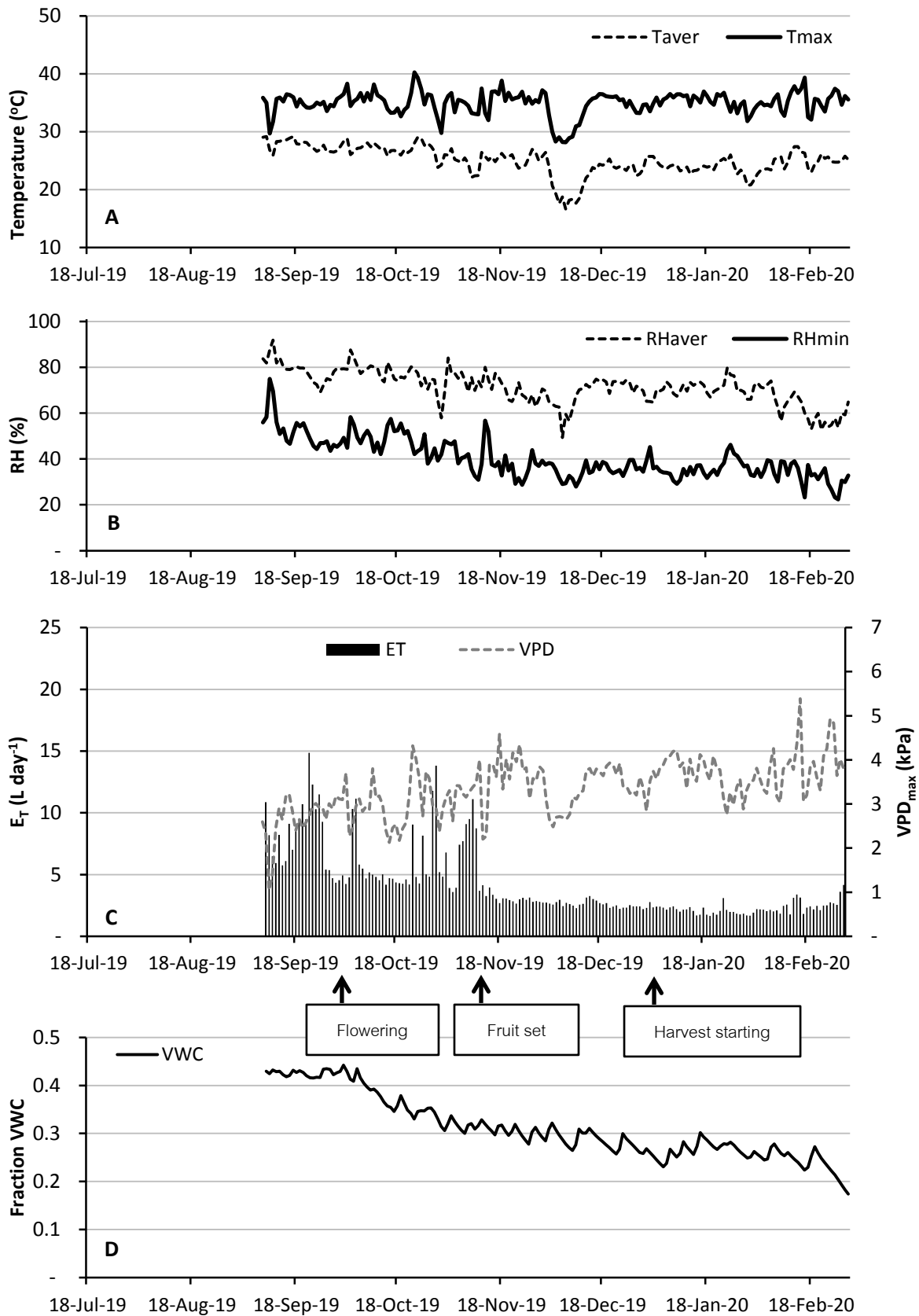
สำหรับอัตราการคายน้ำของพุทราทั้ง 3 สวน พบว่ามีความสอดคล้องความชื้นดิน โดยในช่วงที่พุทรามีการออกดอกและติดผลระหว่างเดือนตุลาคม 2562 – กุมภาพันธ์ 2563 อัตราการคายน้ำของต้นพุทราลดลง และมีค่าเกือบคงที่ตลอดในช่วงดังกล่าว โดยสวน A (ภาพ 2.7C) มีอัตราการคายน้ำสูงกว่าสวน C (ภาพ 2.8C) และสวน E (ภาพ 2.9C) จากการที่อัตราการคายน้ำของต้นพุทราลดลงในช่วงที่พุทรามีการออกดอกและติดผล น่าจะมีสาเหตุมาจากใบเข้าสู่ระยะชราภาพ (senescence) และร่วงหล่นจากต้น โดยจากการสังเกตพบว่าช่วงพุทราออกดอก ใบชุดแรกจะเริ่มแก่ แสดงอาการใบเหลือง และเริ่มร่วงออกจากต้น ทำให้จำนวนใบในต้นลดน้อยลง ซึ่งน่าจะเป็นสาเหตุหนึ่งที่ทำให้พุทราอัตราการคายน้ำลดลง ส่วนสาเหตุอื่นๆ อาจเกี่ยวข้องกับความชื้นดินที่ลดลง ทำให้พุทราเกิดการปรับตัวให้เข้ากับสภาวะแล้งอ่อนๆ ที่เกิดขึ้น ถึงแม้ว่าเกษตรกรจะมีการให้น้ำ แต่อาจไม่ได้ให้ชดเชยในระดับที่สูญเสียความชื้นจากดินไป ทำให้พุทรามีการลดอัตราการคายน้ำลง ด้วยกระบวนการปิดปากใบเนื่องจากความแล้ง อย่างไรก็ตามถ้ามีการศึกษาในรอบปีถัดไป ควรมีการตรวจวัดค่าการชักนำน้ำของใบพุทรา (stomata conductance) ในช่วงการเจริญเติบโตต่างๆ เพื่อยืนยัน สาเหตุของการลดลงของการคายน้ำของต้นพุทราต่อไป



ภาพที่ 2.7 การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ (A) ความชื้นสัมพัทธ์ (B) อัตราการคายน้ำรายวัน (E_T) ของพุทรา และการเปลี่ยนแปลงของค่าการขาดความดันไอน้ำของบรรยากาศ (C) และความชื้นของดิน (D) ของสวนพุทรา A (คุณวิสัย) รอบการผลิตปี 2562/2563 (มีข้อมูลบางส่วนสูญหายในภาพ C)



ภาพที่ 2.8 การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ (A) ความชื้นสัมพัทธ์ (B) อัตราการคายน้ำรายวัน (E_t) ของพุทรา และการเปลี่ยนแปลงของค่าการขาดความดันไอน้ำของบรรยากาศ (C) และความชื้นของดิน (D) ของสวนพุทรา C (คุนทองจันทร์) รอบการผลิตปี 2562/2563



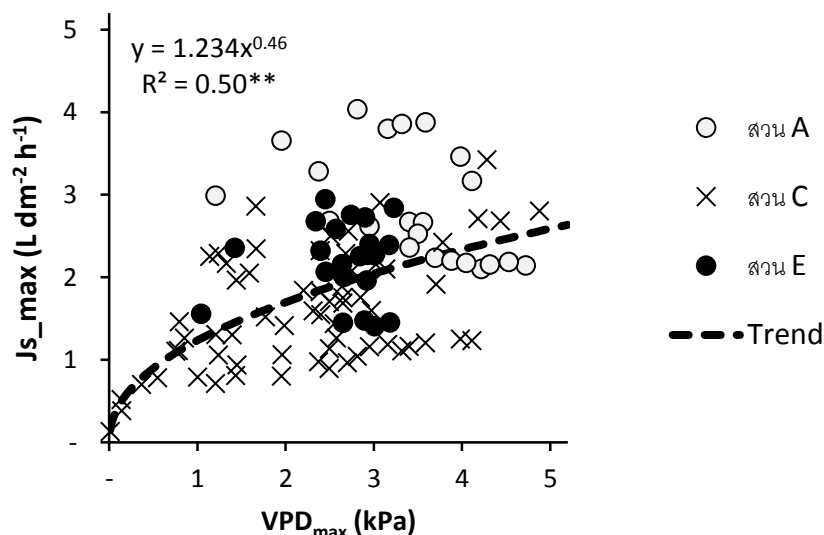
ภาพที่ 2.9 การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ (A) ความชื้นสัมพัทธ์ (B) อัตราการคายน้ำรายวัน (E_T) ของพุทรา และการเปลี่ยนแปลงของค่าการขาดความดันไอน้ำของบรรยากาศ (C) และความชื้นของดิน (D) ของสวนพุทรา E (คุณไว) รอบการผลิตปี 2562/2563

การเปรียบเทียบอัตราการคายน้ำของพุทราในรอบการผลิตปี 2561/2562 กับอัตราการคายน้ำของพุทราในรอบการผลิตปี 2562/2563 พบว่าอัตราการคายน้ำของต้นพุทราแต่ละสวนมีอัตราการคายน้ำที่ใกล้เคียงกัน โดยสวน A (มีจำนวนใบมากที่สุด) มีอัตราการคายน้ำในช่วงดินมีความชื้นสูงประมาณ 15 ลิตร/ต้น/วัน (ภาพที่ 2.4C และ 2.7C) ส่วนสวน C (มีจำนวนใบอยู่ระดับกลาง) มีอัตราการคายน้ำในรอบวันของต้นพุทรา เท่ากับ 9-12 ลิตร/ต้น/วัน (ภาพที่ 2.5C และ 2.8C) และสวน E (มีจำนวนใบในทรงพุ่มน้อยที่สุด) มีอัตราการคายน้ำในรอบวันของต้นพุทรา เท่ากับ 6-10 ลิตร/ต้น/วัน (ภาพที่ 2.6C และ 2.9C) อย่างไรก็ตาม ในช่วงฤดูแล้งถ้ามีการให้น้ำในระดับที่ชดเชยที่สูญเสียไป หรือให้น้ำจนความชื้นดินอยู่ในระดับความจุความชื้นสนาม (field capacity) น่าจะทำให้อัตราการคายน้ำของพุทรามีความใกล้เคียงกันในช่วงฤดูฝน แต่ทั้งนี้อัตราการคายน้ำขึ้นกับจำนวนใบภายในทรงพุ่มด้วย เนื่องจากพุทรามีกระบวนการร่วงของใบ เนื่องจากใบพุทราบางส่วนเข้าสู่ระยะการชราภาพ ซึ่งควรมีการทดสอบวิธีการให้น้ำในระดับที่พอเพียงเพื่อยืนยันผล และสามารถเผยแพร่องค์ความรู้สู่เกษตรกรผู้สนใจต่อไป

3. การพัฒนาแบบจำลองการให้น้ำของพุทรา

การพัฒนาแบบจำลองการให้น้ำในพุทรา มีขั้นตอนการพัฒนาแบบจำลองดังต่อไปนี้

- 1) ทำการหาสมการความสัมพันธ์ระหว่างค่าการไหลของน้ำในท่อน้ำสูงสุด (maximum sap flux density; J_{s_max}) กับค่าการขาดความดันไอน้ำของสภาพอากาศสูงสุด (maximum vapor pressure deficit; VPD_{max}) โดยใช้ข้อมูลเฉพาะในช่วงที่ดินมีความชื้นสูง (เดือนกรกฎาคม – กันยายน 2562) พบว่า J_{s_max} มีความสัมพันธ์เชิงบวกกับค่า VPD แบบไม่เป็นเส้นตรง ($P < 0.01$) ดังภาพที่ 2.9 โดยมีสมการความสัมพันธ์ ดังสมการที่ 8



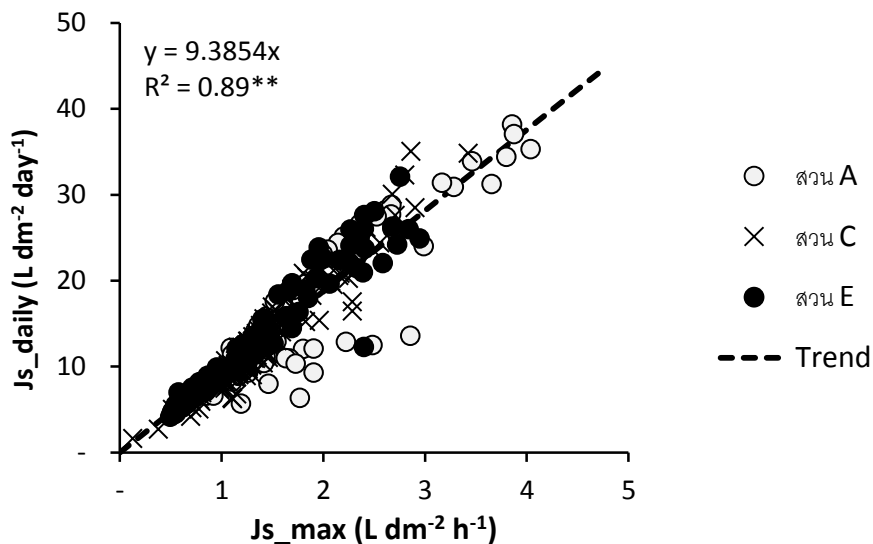
ภาพที่ 2.10 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าการไหลของน้ำในท่อน้ำสูงสุด (maximum sap flux density; J_{s_max}) กับค่าการขาดความดันไอน้ำของสภาพอากาศสูงสุด (maximum vapor pressure deficit; VPD) โดยใช้ข้อมูลในช่วงเดือนกรกฎาคม – กันยายน 2562

$$Js_max = 1.234VPD^{0.46} \quad (8)$$

โดย Js_max = ค่าการไหลของน้ำในท่อน้ำสูงสุด (maximum sap flux density)

VPD = ค่าการขาดความดันไอน้ำของสภาพอากาศสูงสุด (maximum vapor pressure deficit)

- 2) ทำการหาสมการความสัมพันธ์ของค่าการไหลของน้ำในท่อน้ำสูงสุด (maximum sap flux density; Js_max) กับค่าการไหลของน้ำในท่อน้ำรวมในรอบวัน (cumulated daily sap flux density; Js_daily) จากข้อมูลที่วัดได้ของการเก็บข้อมูลในโครงการนี้จากทั้ง 3 สวน ซึ่งพบว่า Js_max มีความสัมพันธ์เชิงเส้นตรงกับ Js_daily ($P < 0.01$) ดังภาพที่ 2.11 และได้สมการความสัมพันธ์เชิงเส้นตรง ดังสมการที่ 9



ภาพที่ 2.11 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าการไหลของน้ำในท่อน้ำสูงสุด (maximum sap flux density; Js_max) กับค่าการไหลของน้ำในท่อน้ำรวมในรอบวัน (cumulated daily sap flux density; Js_daily)

$$Js_daily = 9.3854Js_max \quad (9)$$

โดย Js_daily = ค่าการไหลของน้ำในท่อน้ำรวมในรอบวัน (cumulated daily sap flux density)

Js_max = ค่าการไหลของน้ำในท่อน้ำสูงสุด (maximum sap flux density)

- 3) ทำการทดสอบความแม่นยำของแบบจำลองความต้องการน้ำของพุทรา โดยประมาณค่าความต้องการน้ำของต้นพุทรา โดยเริ่มจากประมาณค่า J_s_max ด้วยสมการที่ 8 โดยใช้ค่า VPD_{max} รายวันเป็นตัวแปรเพื่อประมาณค่า J_s_max ของแต่ละวัน และทำการแทนค่า J_s_max ในสมการที่ 9 เพื่อให้ได้ J_s_daily และเมื่อได้ J_s_daily จากสมการที่ 9 แล้ว นำไปคูณกับขนาดลำต้น (ซึ่งมีการประมาณพื้นที่หน้าตัดของลำต้นของต้นพุทราด้วยสมการที่ 10) โดยการคำนวณอัตราการคายน้ำของพุทรารายวัน เป็นไปดังสมการที่ 11

$$A = \pi \left(\frac{r-b}{10} \right)^2 \quad (10)$$

โดยที่ A = พื้นที่หน้าตัดลำต้น (หน่วย dm^2)
 r = รัศมีของลำต้นหลัก (หน่วย cm)
 b = ความหนาเปลือกลำต้นหลัก (หน่วย cm)

หมายเหตุ การหารด้วย 10 เป็นการเปลี่ยนหน่วยจากเซนติเมตรเป็นเดซิเมตร

$$ET = J_s_daily \times A \quad (11)$$

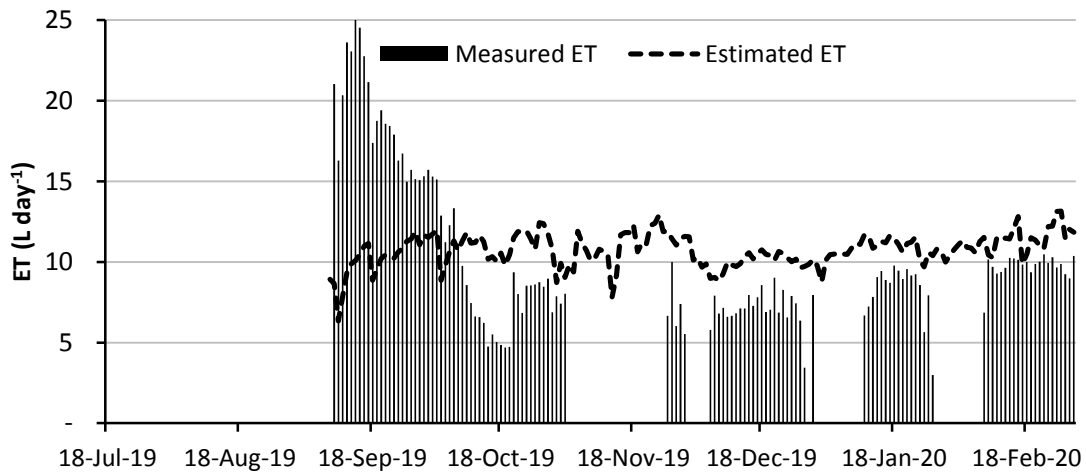
โดย J_s_daily = ค่าการไหลของน้ำในท่อน้ำรวมในรอบวัน (cumulated daily sap flux density) ซึ่งประมาณได้จากสมการที่ 9

A = พื้นที่หน้าตัดลำต้น ซึ่งประมาณได้จากรัศมีของลำต้นในสมการที่ 10

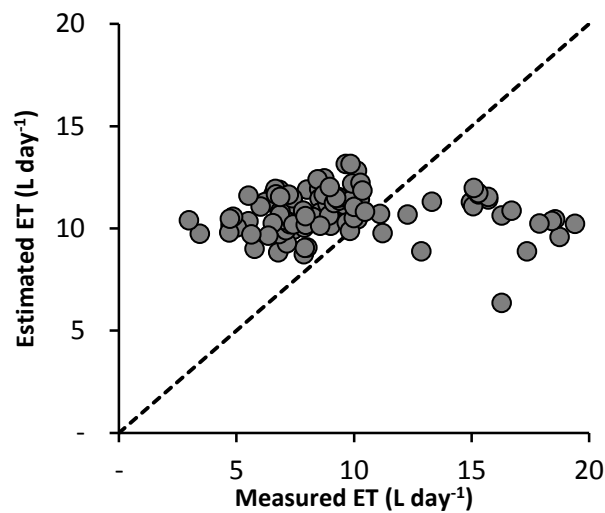
- 4) ทดสอบเปรียบเทียบค่าการคายน้ำต่อต้นรายวันที่ประมาณจากแบบจำลอง กับข้อมูลการคายน้ำของพุทรา จำนวน 3 สวน ในรอบการผลิตปี 2562/2563 พบว่าแบบจำลองสามารถประมาณค่าการคายน้ำรายวันของพุทราได้ แต่ความแม่นยำยังไม่สูงมากนัก โดยมีรายละเอียดของการประมาณค่าการคายน้ำรายวันในแต่ละสวน ดังนี้ ได้แก่ สวน A (ภาพที่ 2.12 และภาพที่ 2.13) พบว่าในช่วงที่ดินมีความชื้นสูงค่า (กันยายน 2562) อัตราการคายน้ำที่ได้จากแบบจำลองมีค่าต่ำกว่าค่าที่วัดได้จริง (underestimation) แต่ในช่วงที่พุทรามีการออกดอกติดผล (กลางเดือนตุลาคม 2562 – กุมภาพันธ์ 2563) ค่าอัตราการคายน้ำต่อต้นรายวันที่ได้จากแบบจำลองมีค่าสูงกว่าค่าที่วัดได้จริง (overestimation) โดยมีค่า root mean square error (RMSE) เท่ากับ 5.02 (ภาพที่ 2.13)

สำหรับการทดสอบความแม่นยำของแบบจำลองการคายน้ำต่อต้นรายวัน ของพุทราสวน C พบว่า ในช่วงเดือนกรกฎาคม 2562 อัตราการคายน้ำต่อต้นรายวันที่ได้แบบจำลองต่ำกว่าค่าที่วัดได้จริง แต่หลังจากนั้นอัตราการคายน้ำต่อต้นรายวันที่ได้แบบจำลองมีค่าสูงกว่าค่าที่วัดได้จริง (ภาพที่ 2.14) ส่วนการหาความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการคายน้ำที่ได้จาก

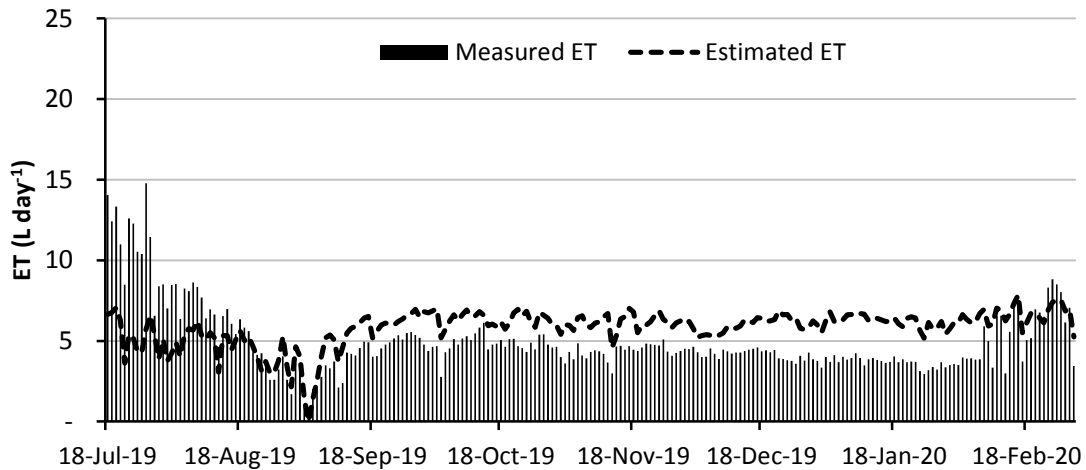
แบบจำลองกับอัตราการคายน้ำต่อต้นรายวันที่วัดได้จริงของพุทรา (ภาพที่ 2.15) มีค่า RMSE เท่ากับ 2.29



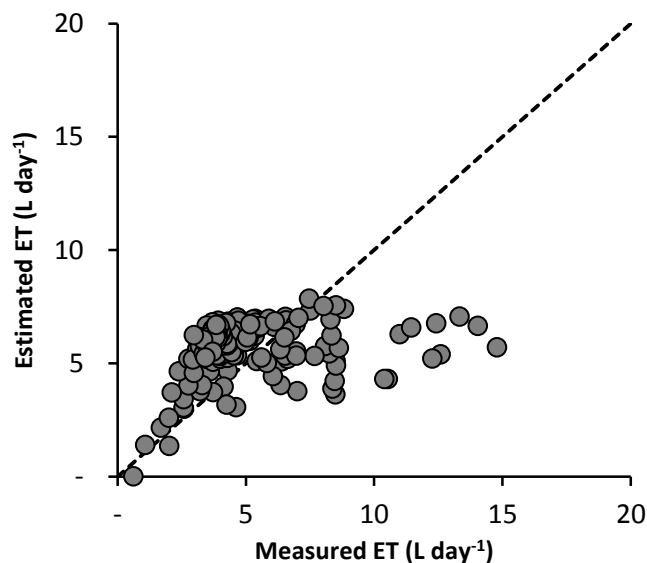
ภาพที่ 2.12 อัตราการคายน้ำต่อต้นรายวันที่ได้จากการวัดจริง (Measured ET – กราฟแท่ง) และอัตราการคายน้ำต่อต้นรายวันที่ได้จากแบบจำลอง (Estimated ET – เส้นประ) ของสวนพุทรา A (คุณวิสัย) รอบการผลิตปี 2562/2563



ภาพที่ 2.13 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการคายน้ำต่อต้นรายวันที่ได้จากการวัดจริง (Measured ET) และอัตราการคายน้ำต่อต้นรายวันที่ได้จากแบบจำลอง (Estimated ET)



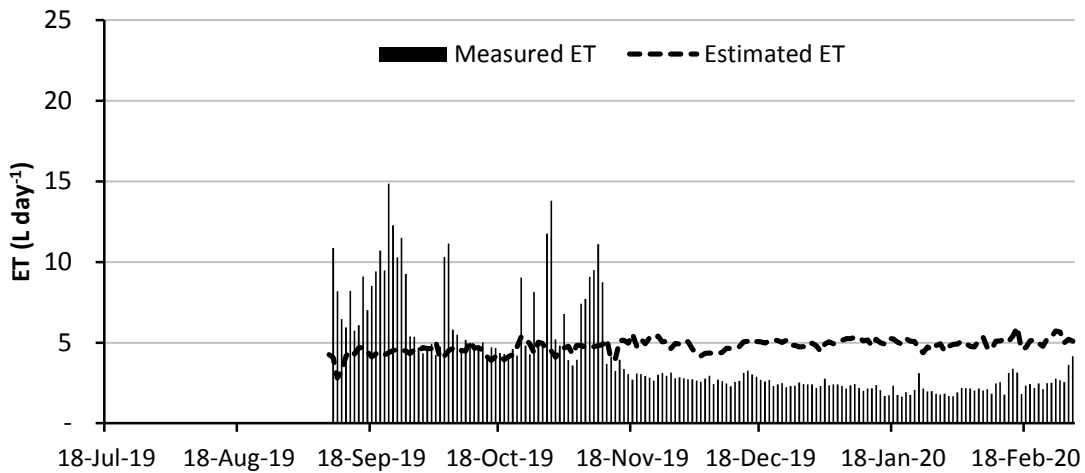
ภาพที่ 2.14 อัตราการคายน้ำต่อต้นรายวันของพุทราที่ได้จากการวัดจริง (Measured ET – กราฟแท่ง) และอัตราการคายน้ำต่อต้นรายวันที่ได้จากแบบจำลอง (Estimated ET – เส้นประ) ของสวนพุทรา C (คุนทองจันทร์) รอบการผลิตปี 2562/2563



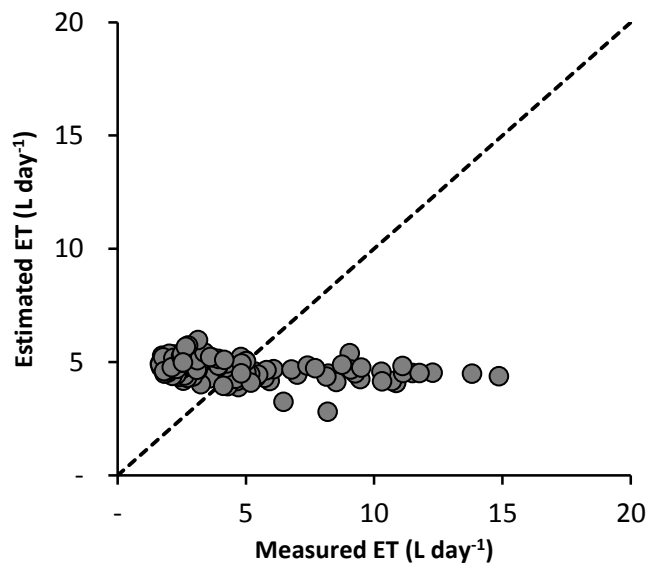
ภาพที่ 2.15 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการคายน้ำต่อต้นรายวันของพุทราที่ได้จากการวัดจริง (Measured ET) และอัตราการคายน้ำต่อต้นรายวันที่ได้จากแบบจำลอง (Estimated ET)

สำหรับการทดสอบความแม่นยำของแบบจำลองการคายน้ำต่อต้นรายวัน ของสวน E พบว่าอัตราการคายน้ำต่อต้นรายวันของพุทราที่มีลักษณะความแปรปรวนเช่นเดียวกับสวน A และสวน C (ภาพที่ 2.16) โดยเฉพาะในช่วงที่พุทรามีการติดผลช่วงกลางเดือนพฤศจิกายน 2562 – กุมภาพันธ์ 2563 พบว่าอัตราการคายน้ำต่อต้นรายวันที่ได้จากแบบจำลองสูงกว่าค่าที่วัดได้จริงประมาณ 1 เท่า ส่วนการหาความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการ

คายน้ำที่ได้จากแบบจำลองกับอัตราการคายน้ำต่อต้นรายวันที่วัดได้จริงของพุทรา (ภาพที่ 2.17) มีค่า RMSE = 3.03



ภาพที่ 2.16 อัตราการคายน้ำต่อต้นรายวันของพุทราที่ได้จากการวัดจริง (Measured ET – กราฟแท่ง) และอัตราการคายน้ำต่อต้นรายวันที่ได้จากแบบจำลอง (Estimated ET – เส้นประ) ของสวนพุทรา E (คุณไฉ) รอบการผลิตปี 2562/2563



ภาพที่ 2.17 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการคายน้ำต่อต้นรายวันของพุทราที่ได้จากการวัดจริง (Measured ET) และอัตราการคายน้ำต่อต้นรายวันที่ได้จากแบบจำลอง (Estimated ET)

จากการทดสอบการประมาณอัตราการคายน้ำต่อต้นรายวันของพุทราจากแบบจำลอง พบว่าแบบจำลองสามารถประมาณค่าการคายน้ำต่อต้นรายวันได้ดีเฉพาะสวน C อาจเนื่องจากข้อมูลที่ใช้ในการพัฒนาแบบจำลองโดยส่วนใหญ่เป็นข้อมูลจากสวน C (ภาพที่ 2.10) ทำให้แบบจำลองมีความแม่นยำอย่าง

ยังกับลักษณะต้นที่ใช้เป็นข้อมูลพื้นฐานของแบบจำลอง โดยลักษณะต้นที่สำคัญ คือ จำนวนใบต่อต้น ซึ่งทั้งสามสวนมีจำนวนใบต่อต้นแตกต่างกัน ซึ่งน่าจะส่งผลต่อความแม่นยำของแบบจำลอง ดังนั้นในการพัฒนาแบบจำลองต้องพิจารณาถึงปัจจัยทางด้านจำนวนใบต่อต้นด้วย

นอกจากนี้ การที่แบบจำลองประเมินอัตราการคายน้ำในช่วงฤดูแล้งสูงกว่าอัตราการคายน้ำจริงที่วัดได้จากหัตถตรวจวัดการไหลของน้ำที่ลำต้นพืช อาจมีผลมาจากความชื้นในดินในช่วงที่ฤดูแล้งไม่ใช่ความชื้นที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของพุทรา ถึงแม้ว่าเกษตรกรมีการให้น้ำ แต่การให้น้ำไม่น่าจะอยู่ในระดับพอเพียงต่อความต้องการของพุทรา (ภาพที่ 2.7D, 2.8D และ 2.9D) ซึ่งจากข้อมูลความชื้นดินที่ทำการศึกษา พบว่าค่าความชื้นในดิน หรือ VWC ในช่วงฤดูแล้ง (ปลายตุลาคม 2562 – กุมภาพันธ์ 2563) มีค่าต่ำกว่าในฤดูฝนประมาณ 25-30 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งทำให้เกิดการกระตุ้นกระบวนการปิดปากใบพืช ส่งผลต่อการลดลงของอัตราการคายน้ำของพุทรา อย่างไรก็ตามเพื่อให้เกิดความเชื่อมั่นและยืนยันผลของแบบจำลองควรมีการทดสอบการให้น้ำตามค่าที่คำนวณได้จากแบบจำลองในระดับแปลงเกษตรกร เพื่อสร้างความมั่นใจให้แก่เกษตรกรผู้ที่สนใจนำแบบจำลองดังกล่าว ไปปรับใช้ในการให้น้ำตามความต้องการของพุทราต่อไป

สรุปผลการศึกษา

การวัดอัตราการคายน้ำรายวัน ได้ดำเนินการต่อเนื่อง 2 รอบการผลิต คือ รอบการผลิตปี 2561/2562 (ธันวาคม 2561 – ต้นมีนาคม 2562) และรอบการผลิตปี 2562/2563 (กรกฎาคม 2562 ถึง กุมภาพันธ์ 2563) พบว่าอัตราการคายน้ำของพุทรามีความผันแปรตามจำนวนใบในทรงพุ่ม และสภาพอากาศ โดยจากการศึกษาพบว่าพุทราที่มีอัตราการคายน้ำในช่วงดินมีความชื้นสูงประมาณ 10-20 ลิตรต่อวัน

ส่วนการพัฒนาแบบจำลองความต้องการน้ำของพุทรา ได้ดำเนินการโดยใช้ความสัมพันธ์ของ VPD_{max} และอัตราการคายน้ำสูงสุดในรอบวัน (J_s_{max}) และคำนวณอัตราการคายน้ำต่อต้นด้วยขนาดของลำต้น พบว่า ในการพิจารณาความแม่นยำของแบบจำลองที่พัฒนาขึ้น แบบจำลองดังกล่าวสามารถประเมินอัตราการคายน้ำของสวน C ได้ผลดีที่สุด ส่วนสวนอื่นๆ ยังคงมีความคลาดเคลื่อน ซึ่งสาเหตุส่วนหนึ่ง คือ จำนวนใบในทรงพุ่ม ซึ่งควรมีการพิจารณาการเพิ่มตัวแปรของจำนวนใบในทรงพุ่มในแบบจำลองด้วย และนอกจากนี้ อัตราการคายน้ำที่วัดได้จริงในฤดูแล้ง น่าจะมีค่าต่ำกว่าศักยภาพการคายน้ำของต้นพุทรา เนื่องจากความชื้นดินในช่วงที่ทำการศึกษามีค่าต่ำ แม้ว่าเกษตรกรมีการให้น้ำ แต่น่าจะยังไม่พอเพียงต่อความต้องการของพุทรา จึงทำให้อัตราการคายน้ำของพุทราลดลง และมีค่าอัตราการคายน้ำต่ำกว่าค่าที่แบบจำลองประเมินได้ ซึ่งควรมีการวิจัยทดสอบการให้น้ำตามค่าที่แบบจำลองประเมินได้ในระดับแปลงเกษตรกรต่อไป

ข้อเสนอแนะการนำผลงานไปใช้ประโยชน์

จากผลการดำเนินการของโครงการในส่วน “การจัดการน้ำตามความต้องการของพุทราอย่างแม่นยำ” ได้ศึกษาข้อมูลอัตราการคายน้ำรายวันของพุทรานมสด และพัฒนาแบบจำลองการประมาณค่าอัตราการคายน้ำรายวันของต้นพุทรา อย่างไรก็ตาม จากการทดสอบแบบจำลองที่พัฒนาขึ้น โดยนำไปเปรียบเทียบกับข้อมูลที่ได้จากการตรวจวัดด้วยหัวตรวจวัดการไหลของน้ำที่ลำต้น (sap flow probe) พบว่า แบบจำลองดังกล่าวยังไม่สามารถประมาณค่าการคายน้ำของพุทราได้อย่างแม่นยำ ซึ่งควรมีการศึกษาวิจัยเพิ่มเติมทั้งในแง่ การเพิ่มตัวแปรที่เกี่ยวข้องกับปริมาณใบในทรงพุ่มในแบบจำลองที่จะพัฒนาต่อไป และควรมีการวิจัยทดสอบค่าการให้น้ำรายวันที่ประเมินได้จากแบบจำลอง โดยมีการให้น้ำจริงแก่ต้นพุทราในระดับแปลงเกษตรกรต่อไป เพื่อสร้างความมั่นใจให้แก่เกษตรกรผู้สนใจใช้แบบจำลองประมาณปริมาณการให้น้ำแก่พุทราในอัตราที่เหมาะสมตามความต้องการของพุทรา

เอกสารอ้างอิง

- กรมพัฒนาที่ดิน. 2563. ระบบนำเสนอแผนที่ชุดดินมาตราส่วน 1:25,000 ค้นเมื่อเดือนเมษายน 2563
<http://eis.ddd.go.th/Lddeis/SoilView.aspx>
- ไชยรัตน์ ทศกร, สุภัทร์ อิศรางกูร ณ อยุธยา, สังคม เตชะวงศ์เสถียร, พงษ์ศักดิ์ ยิ่งยืน, และเกษสุดา เดชภิ
มล. 2551. วิธีการให้น้ำต่อคุณลักษณะของดิน ธาตุอาหาร และการเจริญเติบโตของส้มโอ.
วิทยาศาสตร์เกษตร. 39(พิเศษ): 134-137.
- นฤมล สุขรัง. 2556. การจัดการการผลิตและการตลาดพุทราที่ใช้การเกษตรดีที่เหมาะสมของเกษตรกรใน
ตำบลโพธิ์ อำเภอดำม่วง จังหวัดกาฬสินธุ์. รายงานการศึกษาอิสระปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาธุรกิจการเกษตร บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยขอนแก่น.
- นันทรัตน์ ศุภกานิต, ปญจพร เลิศรัตน์ และสิริ สุวรรณเขตนิคม. 2548. การประเมินความต้องการธาตุ
อาหารของส้มโดยการวิเคราะห์พืช. รายงานฉบับสมบูรณ์ สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย,
กรุงเทพฯ.
- ยงยุทธ โอสดสภา. 2546. ธาตุอาหารพืช. พิมพ์ครั้งที่ 2. สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.
- ยุทธนา เขาสุเมรุ, ชิตี ศรีตันทิพย์ และสันติ ช่างเจรจา. 2548. การจัดการดินและปุ๋ยอย่างมีประสิทธิภาพ
เพื่อการผลิตลำไย. รายงานฉบับสมบูรณ์ สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย, กรุงเทพฯ.
- สมศักดิ์ มณีพงษ์. 2556. การจัดการธาตุอาหารเพื่อผลิตส้มโอคุณภาพ. สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย,
กรุงเทพฯ.
- สังคม เตชะวงศ์เสถียร, สุภัทร์ อิศรางกูร ณ อยุธยา, ฝากจิต ปาลินทร ลากจิต, พงษ์ศักดิ์ ยิ่งยืน และเกษ
สุดา เดชภิมล. 2552. การศึกษาสภาพการผลิตและการพัฒนาการผลิตส้มโอพันธุ์ทองดีของ
เกษตรกรในเขตอำเภอบ้านแท่น จังหวัดชัยภูมิ. รายงานฉบับสมบูรณ์ สำนักงานกองทุนสนับสนุน
การวิจัย, กรุงเทพฯ.
- สังคม เตชะวงศ์เสถียร, สุชีลา เตชะวงศ์เสถียร, สุภัทร์ อิศรางกูร ณ อยุธยา, สุนนา นีระ, พงษ์ศักดิ์ ยิ่งยืน,
ราไฟ นามพิลา และสมยศ มีทา. 2561. ระบบการผลิตส้มโอคุณภาพดีเพื่อสร้างอัตลักษณ์ของส้มโอ
ชัยภูมิ. รายงานฉบับสมบูรณ์ สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย, กรุงเทพฯ.
- สุภัทร์ อิศรางกูร ณ อยุธยา, สหพันธ์ ม่วงมิตร, ชัชวาลย์ ชุมณี, ธีระยุทธ นาคแดง และ สังคม เตชะวงศ์
เสถียร. 2551. ปริมาณไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียมในผลมะม่วงพันธุ์มหาชนกตามระยะ
การเจริญเติบโตของผล. วิทยาศาสตร์เกษตร. 39(3) (พิเศษ): 114-117.
- สุภัทร์ อิศรางกูร ณ อยุธยา. 2555. การประมาณความต้องการน้ำของไม้ยืนต้นเศรษฐกิจเพื่อการให้น้ำที่
เหมาะสม. เกษตร. 40: 279-290.
- สุภัทร์ อิศรางกูร ณ อยุธยา. 2560. หลักการผลิตไม้ผล. คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น,
ขอนแก่น.

- สุภัทร์ อิศรางกูร ณ อยุธยา, สมยศ มีทา, พงษ์ศักดิ์ ยิ่งยืน, พัทธกร ส่งศรี, และสังคม เตชะวงศ์เสถียร. 2554. อัตราการคายน้ำในรอบวันและต่อวันของต้นส้มโอพันธุ์ทองดี. วิทยาศาสตร์เกษตร. 42(พิเศษ): 47-50.
- สุมิตรา ภู่วโรตม, พรทิศา กัญญวงศ์หา, นุจรี บุญแปลง และพิมล เกษสมม. 2547ก. การจัดการธาตุอาหารและการเพิ่มประสิทธิภาพของปุ๋ยในสวนทุเรียน. รายงานฉบับสมบูรณ์ สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย, กรุงเทพฯ.
- สุมิตรา ภู่วโรตม, พรทิศา กัญญวงศ์หา, นุจรี บุญแปลง และชัยวัฒน์ มกรเทศ. 2547ข. การวิเคราะห์พืชเพื่อเป็นแนวทางการใส่ปุ๋ยในมังคุด. รายงานฉบับสมบูรณ์ สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย, กรุงเทพฯ.
- อนุวัฒน์ ประกอบมี, สุภัทร์ อิศรางกูร ณ อยุธยา และ สังคม เตชะวงศ์เสถียร. 2557. ผลของอายุใบและตำแหน่งใบต่อปริมาณธาตุอาหารหลักในใบยางพาราสายพันธุ์ RRIM600. แก่นเกษตร. 42 (พิเศษ 1): 181-185.
- อัศจรรย์ สุขอารมณ์, จิระพงษ์ ประสิทธิ์เขตร, อรพินท์ สุริยพันธุ์, ประเทือง ลักษณะวิมล, สัมฤทธิ์ เฟื่องจันทร์ และเรณู ขำเลิศ. 2545. การจัดการธาตุอาหารพืช เพื่อการเพิ่มผลผลิตและควบคุมคุณภาพของมะม่วง. รายงานฉบับสมบูรณ์ สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย, กรุงเทพฯ.
- อิทธิสุนทร นันทกิจ, ปัญจพร เลิศรัตน์, และสุรินทร์ ไวยเจริญ. 2542. การพัฒนาระบบการให้น้ำและปุ๋ยอย่างมีประสิทธิภาพสำหรับสวนทุเรียน. สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย, กรุงเทพฯ.
- Allen R.G., Pereir L.S., Raes D., and Smith M. 1998. Crop evapotranspiration: guidelines for computing crop water requirements. FAO.
- Do F., and Rocheteau A. 2002. Influence of natural temperature gradients on measurements of xylem sap flow with thermal dissipation probes. 2. Advantages and calibration of a non-continuous heating system. Tree Physiology 22: 649-654.
- Granier A. 1985. Une nouvelle méthode pour la mesure des flux de sève dans le tronc des arbres. Annals of Forest Science. 42: 193-200.
- Granier A. 1987. Evaluation of transpiration in a Douglas-fir stand by means of sap flow measurement. Tree Physiology. 3: 309-320.
- Hu Y., Li Y. and Zhang Y. 2012. A study on crop coefficients of jujube under drip-irrigation in Loess Plateau of China. African Journal of Agricultural Research. 7(19): 2971-2977.
- Isarangkool Na Ayutthaya S., Do F.C., Pannengpetch K., Junjittakarn J., Maeght J.-L., Rocheteau A., and Cochard H. 2010. Transient thermal dissipation method of xylem sap flow measurement: multi-species calibration and field evaluation. Tree Physiology. 30: 139-148.

- Isarangkool Na Ayutthaya S., Rattanawong R., Meetha S., Songsri P. and Kasemsap P. 2018. Xylem sap flow and trunk growth of 5 hybrid rubber tree clones. *Acta Horticulturae*. 1197: 1-6.
- Isarangkool Na Ayutthaya S., Meetha S., Yungyuen P., Nampila R., and Techawongstien S. 2016. Transpiration rate of pummelo ‘Manee-Isan’ and responds to environments. pp. 25. The second Asian horticultural congress 2016. September 26th-28th, 2016, Chengdu, China.
- Isarangkool Na Ayutthaya S., Yangyuen P., Songsri P., Meetha S. and Techawongstien, S. 2017. Changing of macronutrients in leaves in yearly growth stages of pummelo. *Acta Horticulturae*. 1178: 47–51.
- Johnstone R. 2018. Jujube fertiliser recommendations. Department of Primary Industries and Regional Development. ค้นเมื่อ 1 กันยายน 2561. <https://www.agric.wa.gov.au/minor-fruits/jujube-fertiliser-recommendations?nopaging=1>.
- Larson K.D. and Schaffer B. 1989. Effect of irrigation on leaf water potential, growth and yield of mango trees. *Proceedings of the Florida State Horticultural Society*. 102: 226-228.
- Mills H.A. and Jones J.B. 1996. Plant analysis handbook II. MicroMacro publishing, Georgia.
- San B., Yildirim A.N., Polat M. and Yildirm F. 2009. Mineral composition of leaves and fruits of some promising Jujube (*Zizyphus jujuba* Miller) genotypes. *Asian Journal of Chemistry*. 21(4): 2898-2902.
- Spreer W., Nagle M., Neidhart S., Carle R., Ongprasert S. and Muller J. 2007. Effect of regulated deficit irrigation and partial rootzone drying on the quality of mango fruits (*Mangifera indica* L., cv. ‘Chok Anan’). *Agricultural Water Management*. 88: 173-180.
- Xinguang W., Bo L., Chengjiu G., Youke W., Jianqiang H., Liu S., Tieliang W. and Mingze Y. 2017. Identification of sap flow driving factors of jujube plantation in semi-arid areas in Northwest China. *International Journal of Agricultural and Biological Engineering*. 10(2): 172-183.
- Yakushiji H., Morinaga K. and Nonami H. 1998. Sugar accumulation and partitioning in Satsuma mandarin tree tissue and fruit in response to drought stress. *Journal of the American Society for Horticultural Science*. 123(4): 719-726.
- Zhang P., Wang Y., Zhan J., Wang X. and Wu P. 2010. Scheduling irrigation for jujube (*Zizyphus jujuba* Mill.). *African Journal of Biotechnology*. 9(35): 5694-5703.

ภาคผนวก

ตารางผนวกที่ 1 คุณสมบัติดินบางประการในดินชั้นบน (0-20 ซม) และดินชั้นล่าง (20-40 ซม) ของสวนพุทรา จำนวน 5 สวน ในเดือนธันวาคม 2561 และเดือนมีนาคม 2562

ชั้นดิน	สวน	pH	EC ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	OM (%)	P (mg/kg)	K (mg/kg)	Ca (mg/kg)	B (mg/kg)
<u>เก็บตัวอย่าง เดือนธันวาคม 2561</u>								
Top soil	A	5.62B	590	1.61AB	267.58B	353.34B	307.65B	0.89
	B	5.78AB	698	1.01C	29.80C	49.01C	108.75C	0.50
	C	5.62B	500	1.89AB	444.63A	185.79C	343.50B	0.36
	D	4.48C	820	1.49BC	193.72B	158.43C	142.28C	0.43
	E	6.14A	922	2.11A	495.53A	510.63A	729.74A	0.19
F-test		**	ns	**	**	**	**	ns
Sub soil	A	5.48A	408A	0.85CD	200.49B	313.44A	215.14AB	0.65
	B	5.56A	54B	0.73D	15.95D	37.62B	56.71C	0.63
	C	5.52A	206B	1.13B	188.00BC	106B	186.22AB	1.26
	D	4.44B	514A	0.97BC	134.68C	79.79B	141.13BC	0.21
	E	5.78A	492A	1.45A	333.23A	446.80A	283.36A	0.25
F-test		**	**	**	**	**	**	ns
<u>เก็บตัวอย่าง เดือนมีนาคม 2562</u>								
Top soil	A	5.34BC	378B	2.02A	308.58B	148.42B	47.90B	0.39BC
	B	6.02A	226B	1.48B	44.14	22.64B	84.54B	0.57AB
	C	5.28C	378B	2.28A	361.75B	118.69B	51.38B	0.79A
	D	4.12D	464B	1.92AB	288.53B	47.80B	49.64B	0.16C
	E	5.72AB	1264A	2.15A	589.13A	335.96A	171.78A	0.15C
F-test		**	*	*	**	**	**	**
Sub soil	A	5.62AB	362A	2.15A	300.61AB	191.88A	86.28AB	1.53A
	B	5.76A	58B	1.40B	36.98C	15.78B	53.13AB	0.43B
	C	5.20B	164B	1.16B	210.55B	72.95B	26.96B	1.48A
	D	4.26C	470A	1.92AB	248.41B	54.66B	53.13AB	0.14B
	E	5.92A	466A	1.32B	379.70A	205.60A	112.46A	0.15B
		**	**	**	**	**	**	*

ns, * และ ** แสดงถึงไม่พบความแตกต่างทางสถิติ, มีความแตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95 และ 99 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ

ตารางผนวกที่ 2 ปริมาณธาตุอาหารในใบพุทรา ระหว่างเดือนธันวาคม 2561 ถึงเดือนมีนาคม 2562

ธาตุ	สวน	16-Dec-18	6-Jan-19	9-Feb-19	10-Mar-19
N (mg/100g DW)	A	3830	2720B	3040A	2770B
	B	3468	3620A	1140C	3350A
	C	3594	3420A	3030A	2900B
	D	3976	3880A	1800B	3150AB
	E	3534	3320A	2270B	2880B
	AVER	3680	3390	2260	3011
	F-test	ns	**	**	*
P (mg/100g DW)	A	162	162	200	216
	B	162	162	170	194
	C	190	154	170	228
	D	168	148	182	198
	E	160	164	186	184
	AVER	168	158	182	204
	F-test	ns	ns	ns	ns
K (mg/100g DW)	A	1750B	1690	1630A	1910A
	B	1980B	1408	1450AB	1490C
	C	1910B	1406	1450AB	1880AB
	D	2070B	1414	1220C	1740ABC
	E	2740A	1622	1490A	1590BC
	AVER	2090	1508	1447	1724
	F-test	**	ns	*	*
Ca (mg/100g DW)	A	780BC	1178	1390C	1300B
	B	780BC	1342	1310C	1450B
	C	650C	1250	1500BC	1380B
	D	930B	1104	1680B	1330B
	E	1100A	1542	1950A	2030A
	AVER	851	1283	1565	1499
	F-test	**	ns	**	**
B (mg/100g DW)	A	1.73AB	3.77A	1.72	1.89AB
	B	1.68BC	1.72B	1.69	1.44CD
	C	1.87AB	1.67B	1.71	1.70BC
	D	1.52C	1.28B	1.34	1.13D
	E	1.93A	1.81B	2.15	2.19A
	AVER	1.75	2.05	1.72	1.67
	F-test	**	**	ns	**

ตารางผนวกที่ 3 ปริมาณธาตุอาหารบางชนิดในกิ่งพุทรา 3 ขนาด โดยเก็บตัวอย่างกิ่งจากสวนพุทรา
จำนวน 5 สวน ในเดือนมีนาคม 2562 ซึ่งเกษตรกรมีการตัดต้นพุทรา

ขนาดกิ่ง	สวน	N (mg/100g DW)	P (mg/100g DW)	K (mg/100g DW)	Ca (mg/100g DW)	B (mg/100g DW)
small branch (D < 1.5 cm)	A	633.50	207.68	1157.20A	866.67	1.04
	B	594.21	131.14	877.79B	780.00	0.97
	C	666.84	174.03	865.36B	986.67	0.98
	D	744.22	136.07	835.87B	1116.67	0.90
	E	627.55	150.86	1020.60AB	780.00	0.95
F-test		ns	ns	**	ns	ns
middle branch (D = 1.5-3.0 cm)	A	518.12A	119.58A	859.16	933.33	0.94B
	B	416.90C	68.18B	722.55	813.33	1.35A
	C	498.40AB	113.87A	927.46	1006.67	0.83B
	D	469.48ABC	84.64B	1060.96	1150.00	0.71B
	E	422.16C	111.19A	834.32	906.67	0.66B
F-test		*	**	ns	ns	**
main branch (D >3.0 cm)	A	516.72	69.52B	834.32AB	906.67	0.82
	B	600.02	57.77B	666.67B	726.67	0.82
	C	484.47	68.66B	734.97B	800.00	0.59
	D	604.73	63.86B	851.40AB	925.00	0.78
	E	582.56	89.06A	1051.65A	1113.33	1.00
F-test		ns	**	*	ns	ns

ns, * และ ** แสดงถึงไม่พบความแตกต่างทางสถิติ, มีความแตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95 และ 99 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ

ตารางผนวกที่ 4 ปริมาณธาตุอาหารบางชนิดในผลพุทรา 3 ขนาด ของสวนตัวอย่าง 5 สวน โดยเก็บตัวอย่างผลพุทราในช่วงเดือนมกราคม 2562

ธาตุ	ชั้นคุณภาพผล	สวน A	สวน B	สวน C	สวน D	สวน E
N (mg/100g DW)	A	1,404.07	1,093.67	1,213.20	1,169.70	1,279.54
	B	1,229.78	1,169.08	1,331.16	1,174.40	1,278.28
	C	1,211.95	1,219.77	1,168.77	1,153.12	1,344.93
	aver	1,281.93	1,160.84	1,237.71	1,165.74	1,300.92
	F-test	ns	ns	ns	ns	ns
P (mg/100g DW)	A	44.45	27.88	35.10	36.20	52.52
	B	49.41	27.39	36.19	29.04	53.44
	C	51.42	33.45	37.85	39.86	54.54
	aver	48.43	29.57	36.38	35.03	53.50
	F-test	ns	ns	ns	ns	ns
K (mg/100g DW)	A	1,230.77	990.17	1,046.43	1,102.71	1,376.29
	B	1,339.43	966.88	1,056.14	1,048.38	1,418.98
	C	1,331.66	1,048.38	1,087.18	1,094.94	1,298.68
	aver	1,300.62	1,001.81	1,063.25	1,082.01	1,364.65
	F-test	ns	ns	ns	ns	ns
Ca (mg/100g DW)	A	37.06	49.49	53.64	52.26	125.48
	B	45.35	52.26	53.64	50.88	63.31
	C	46.73	52.26	60.55	50.88	56.40
	aver	43.05	51.34	55.94	51.34	81.73
	F-test	ns	ns	ns	ns	ns
B (mg/100g DW)	A	1.35	0.98	0.93	0.78	1.00
	B	1.26	1.14	0.98	0.80	1.12
	C	1.40	1.15	0.94	0.89	1.05
	aver	1.33	1.09	0.95	0.83	1.06
	F-test	ns	ns	ns	ns	ns

ns แสดงถึงไม่พบความแตกต่างทางสถิติ

(การวิเคราะห์ตัวอย่างดินและพืช)

1. การวัดค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) โดยวิธี pH meter

การวัด pH ในน้ำโดยใช้อัตราส่วน ดินต่อน้ำคือ 1:1 ซึ่งดินที่เตรียมไว้ 20 กรัม ใส่ในขวดแก้วที่มีฝาปิดขนาด 60 มิลลิลิตร เติมน้ำกลั่น 20 มิลลิลิตร แล้วนำไปเขย่าด้วยเครื่องเขย่าเป็นเวลา 30 นาที จากนั้นตั้งทิ้งไว้อีก 30 นาที ใช้เครื่อง pH meter วัดในส่วนด้านบนที่เป็นน้ำใสๆ

2. การวิเคราะห์ค่าการนำไฟฟ้า (Electrical Conductive; EC) โดยวิธี EC meter

การวัดค่า EC ใช้อัตราส่วน ดินต่อน้ำคือ 1:1 ซึ่งดินที่เตรียมไว้ 20 กรัม ใส่ในขวดแก้วที่มีฝาปิดขนาด 60 มิลลิลิตร เติมน้ำกลั่น 20 มิลลิลิตร แล้วนำไปเขย่าด้วยเครื่องเขย่าเป็นเวลา 30 นาที จากนั้นตั้งทิ้งไว้อีก 30 นาที ใช้เครื่องวัดค่า Electrical Conductivity meter แล้ววัดในส่วนด้านบนที่เป็นน้ำ

3. การวิเคราะห์อินทรีย์วัตถุในดิน (OM) โดยวิธี Walkley Black

การเตรียมสารละลาย

1) สารละลายมาตรฐานโพแทสเซียมไดโครเมต ($K_2Cr_2O_7$) 1.0 นอร์มอล (N) โดยละลายโพแทสเซียมไดโครเมต (A.R grad อบที่อุณหภูมิ 105 °C 24 ชั่วโมง) 49.04 กรัมในน้ำกลั่น จากนั้นปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นให้เป็นสารละลาย 1 ลิตรในขวดปรับปริมาตร (ควรใช้ให้หมดใน 1 วัน)

2) สารละลายเฟอร์รัสแอมโมเนียมซัลเฟต ($Fe(NH_4)_2(SO_4)_2 \cdot 6H_2O$; FAS) 0.5 N โดยละลายเฟอร์รัสแอมโมเนียมซัลเฟต 196.1 กรัม ในน้ำกลั่น 500 มิลลิลิตร จากนั้นเติมกรดซัลฟิวริก (H_2SO_4) เข้มข้น 98% ในปริมาณ 20 มิลลิลิตร จากนั้นปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นให้เป็นสารละลาย 1 ลิตร จากนั้นเก็บสารละลายที่ได้ไว้ในขวดสีชา

3) สารละลายออร์โทฟีแนนโทลีน อินดิเคเตอร์ โดยละลายเฟอร์รัสซัลเฟต ($FeSO_4 \cdot 7H_2O$) 0.7 กรัม ในน้ำกลั่น ปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นให้เป็น 100 มิลลิลิตร

วิธีการ

ซึ่งดินที่เตรียมไว้ใส่ขวดรูปชมพู่ขนาด 125 มิลลิลิตร (สามารถลดปริมาณตัวอย่างดินลงได้ถ้าดินมีปริมาณอินทรีย์วัตถุสูงเกินกว่าค่าของ Blank ค่าของ Blank ควรอยู่ระหว่าง 8-10 มิลลิลิตร จากนั้นเติมกรดซัลฟิวริกเข้มข้น 20 มิลลิลิตร โดยใช้ Dispenser เขย่าโดยการวนเบาๆ 1 นาที ตั้งทิ้งไว้ให้สารละลายเย็นเท่าอุณหภูมิห้อง เติมน้ำกลั่น 50 มิลลิลิตร ทิ้งไว้ให้เย็น จากนั้นหยดอินดิเคเตอร์ออร์โทฟีแนนโทลีน 3 หยด แล้วไตเตรทด้วยสารละลายเฟอร์รัสแอมโมเนียมซัลเฟต 0.5 N จนถึงจุด end point สีของสารละลายจะเปลี่ยนจากสีเขียวเป็นสีน้ำตาลแดง จดปริมาณที่สารละลายเฟอร์รัสแอมโมเนียมซัลเฟตลดลง เพื่อใช้ในการคำนวณ โดย Blank ทำเช่นเดียวกัน

วิธีคำนวณ

$$\% \text{ อินทรีย์คาร์บอน (Organic Carbon, O.C.)} = \frac{10 \times (B-S) \times 100 \times 3 \times N}{B \times 77 \times 1000 \times W}$$

$$\% \text{ อินทรีย์วัตถุ (Organic Matter, O.M.)} = \frac{10 \times (B-S) \times 100 \times 100 \times 3 \times 100 \times N}{B \times 77 \times 58 \times 1000 \times W}$$

$$\text{หรือ } \% \text{OM} = \% \text{ O.C.} \times 1.724$$

โดย B = ปริมาณ FAS ที่ใช้ในการไตเตรท Blank (มิลลิลิตร)

S = ปริมาณ FAS ที่ใช้ในการไตเตรทตัวอย่าง (มิลลิลิตร)

W = น้ำหนักดินที่ใช้ (กรัม)

N = ความเข้มข้นของ โพแทสเซียมไดโครเมต (ในกรณีที่ความเข้มข้นไม่ใช่ 1.0 N)

4. การวิเคราะห์ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ในดิน (Available Phosphorus) โดยวิธี Bray II

การเตรียมสารละลาย

1) น้ำยาสกัด Bray II (0.03 N NH_4F , 0.1 N HCL) ละลายแอมโมเนียมฟลูออไรด์ (NH_4F) 1.11 กรัม ในน้ำกลั่น 500 มิลลิลิตร เติมกรดไฮโดรคลอริกเข้มข้น (conc. HCL) 8.6 มิลลิลิตร แล้วปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นให้ได้ปริมาตร 1 ลิตร และปรับ pH ให้อยู่ระหว่าง 1.5-1.6

2) Stock solution (Reagent A : Sulfuric-molybdate-tartrate solution) ละลายแอมโมเนียมโมลิบเดต ($[(\text{NH}_4)_6\text{Mo}_7\text{O}_{24} \cdot 4\text{H}_2\text{O}]$) 12 กรัม เติมน้ำกลั่น 200 มิลลิลิตร คนให้ละลาย และละลายแอนติโมนีโพแทสเซียมตาร์เตรท ($\text{KSbO}_3 \cdot \text{C}_4\text{H}_4\text{O}_6$) 0.29 กรัม ใส่ในขวดปรับปริมาตรขนาด 2 ลิตร จากนั้นค่อยๆเติมกรดซัลฟิวริกเข้มข้นจนครบ 148 มิลลิลิตร ทิ้งไว้ให้เย็นแล้วปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นให้ได้ 2 ลิตร เก็บสารละลายไว้ในขวดสีชา

3) น้ำยา develop สี (Working solution, Reagent B) กรดแอสคอร์บิก (Ascorbic acid) 2.64 กรัม ในน้ำกลั่น 500 มิลลิลิตร จากนั้นเติม Reagent A 500 มิลลิลิตร (สารละลายเก็บไว้ได้ไม่เกิน 1 วัน)

4) สารละลายมาตรฐานฟอสฟอรัสความเข้มข้น 0, 2, 4, 6, 8 และ 10 ppm จาก standard phosphorus solution ความเข้มข้น 1000 ppm

วิธีการ

ชั่งตัวอย่างดิน 2.5 กรัม ใส่ขวดรูปชมพู่ (Erlenmeyer Flask) ขนาด 125 มิลลิลิตร เติมน้ำยาสกัด Bray II 25 มิลลิลิตร แล้วเขย่า 1 นาที กรองทันทีด้วยกระดาษกรองเบอร์ 5 ขนาด 110 มิลลิเมตร บีบเอาสารที่กรองได้ 5 มิลลิลิตร ใส่ในหลอดแก้วขนาด 50 มิลลิลิตร เติม Reagent B 10 มิลลิลิตร แล้วเติมน้ำกลั่น 10 มิลลิลิตร เขย่าให้เข้ากัน ตั้งทิ้งไว้ 30 นาที จะได้สารละลายสีน้ำเงิน นำไปอ่านค่าความเข้มข้น (Concentration) ด้วยเครื่อง Spectrophotometer ที่ความยาวคลื่น 882 นาโนเมตร (ทำ Blank และชุดของสารละลายมาตรฐาน เช่นเดียวกัน)

$$P \text{ (mg/kg)} = \frac{\text{ค่าที่อ่านได้เมื่อเทียบกับ STD.} \times \text{ปริมาตรสุดท้าย} \times \text{ปริมาตรตอนสกัด (มิลลิกรัม/กิโลกรัม)}}{\text{ปริมาตรตัวอย่าง} \times \text{น้ำหนักดิน}}$$

5. การวิเคราะห์ โพแทสเซียม และแคลเซียมที่เป็นประโยชน์ในดิน (Available Potassium and Calcium)

การเตรียมสารละลาย

1) สารละลายแอมโมเนียมอะซิเตท (NH_4OAc) 1 N pH 7.0 ละลาย NH_4OAc ปริมาณ 385.4 กรัม ในน้ำกลั่น 4 ลิตร แล้วปรับ pH ของสารละลายด้วย NH_4OH หรือ Glacial acetic acid ให้ได้ pH เท่ากับ 7.0 จากนั้นปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นให้ได้ปริมาตร 5 ลิตร

2) สารละลายมาตรฐานโพแทสเซียม และแคลเซียม

- สารละลายมาตรฐานโพแทสเซียมเข้มข้น 0, 2, 4, 6, 8 และ 10 ppm จาก standard potassium solution ความเข้มข้น 1000 ppm

- สารละลายมาตรฐานแคลเซียมเข้มข้น 0, 2, 4, 6, 8 และ 10 ppm จาก standard calcium solution ความเข้มข้น 1000 ppm

วิธีการ

ชั่งดิน 2.5 กรัม ใส่ในขวดรูปชมพู่ (Erlenmeyer Flask) ขนาด 125 มิลลิลิตร แล้วเติม 1 N NH_4OAc pH 7.0 25 มิลลิลิตร เขย่าด้วยเครื่องเขย่า 30 นาที จากนั้นกรองดินและเก็บสารละลายที่กรองได้ไปวิเคราะห์ K และ Ca ด้วยเครื่อง Flame photometer โดยเปรียบเทียบกับค่ามาตรฐาน

$$K \text{ หรือ } Ca = \frac{\text{ค่าที่อ่านได้เมื่อเทียบกับ STD.} \times \text{ปริมาตรสุดท้าย} \times \text{ปริมาตรตอนสกัด (มิลลิกรัม/กิโลกรัม)}}{\text{ปริมาตรตัวอย่าง} \times \text{น้ำหนักดิน}}$$

6. การวิเคราะห์ โบรอนที่เป็นประโยชน์ต่อพืช (Available Boron)

การเตรียมสารละลาย

1) สารละลาย azomethine-H : ชั่ง azomethine-H 0.5 กรัม และ ascorbic acid 1.0 กรัม ในปิកเกอร์หรือขวดพลาสติก ละลายด้วยน้ำกลั่น 10 มิลลิลิตร นำไปอุ่นให้ละลาย แล้วปรับปริมาตรให้เป็น 100 มิลลิลิตรด้วยน้ำกลั่น

2) สารละลาย EDTA : ละลาย EDTA 9.3 กรัม ปรับปริมาตรให้เป็น 1 ลิตร แล้วเติม Brij-35 ปริมาณ 1 มิลลิลิตร และเขย่าให้เข้ากัน

3) สารละลาย Buffer : ชั่งแอมโมเนียม อะซิเตท (NH_4OAc) 250 กรัม ใส่ปิกเกอร์ (beaker) หรือขวดพลาสติกขนาด 1000 มิลลิลิตร เติมน้ำกลั่น 500 มิลลิลิตร ปรับ pH ให้ได้ค่า 5.5 ด้วย Glacial acetic acid แล้วเติม Brij-35 ปริมาณ 0.5 มิลลิลิตร แล้วเขย่าให้เข้ากัน

4) สารละลายมาตรฐานโบรอน : เตรียมสารละลายความเข้มข้น 0, 0.1, 0.2, 0.3, 0.4 และ 0.5 ppm จาก standard boron solution ความเข้มข้น 1000 ppm

วิธีการ

ชั่งดิน 25 กรัม ใส่ในกระป๋องอะลูมิเนียม แล้วเติม Charcoal 0.4 กรัม เติมน้ำกลั่น 50 มิลลิลิตร จากนั้นนำไปชั่งน้ำหนักและบันทึกค่าไว้ แล้วนำไปต้มให้เดือดด้วยเครื่อง Hot plate หลังจากเดือด จับเวลา 5 นาที แล้วยกลง ทิ้งไว้ให้เย็นแล้วนำไปปรับน้ำหนักให้เท่ากับค่าเริ่มต้นด้วยน้ำกลั่น แล้วนำไปกรองด้วยกระดาษกรองเบอร์ 5 ขนาด 100 มิลลิลิตร นำตัวอย่างที่ได้ไปวิเคราะห์ภายใน 24 ชั่วโมง วิเคราะห์ตัวอย่างโดยปิเปตสารละลายตัวอย่าง 5 มิลลิลิตร เติม Buffer Solution 2 มิลลิลิตร เขย่าให้เข้ากัน แล้วตั้งทิ้งไว้ 1 ชั่วโมง จากนั้นนำไปวัดค่าด้วยเครื่อง Spectrophotometer ที่ความยาวคลื่น 430 นาโนเมตร

$$B = \frac{\text{ค่าที่อ่านได้เมื่อเทียบกับ STD.} \times \text{ปริมาตรสุดท้าย} \times \text{ปริมาตรตอนสกัด (มิลลิกรัม/กิโลกรัม)}}{\text{ปริมาตรตัวอย่าง} \times \text{น้ำหนักดิน}}$$

การวิเคราะห์ปริมาณธาตุอาหารในตัวอย่างพืช

1. การเตรียมตัวอย่างพืช

นำตัวอย่างใบที่เก็บมา ล้างทำความสะอาด ผึ่งให้แห้ง แล้วนำไปอบด้วยตู้อบลมร้อน (Hot air oven) ที่อุณหภูมิ 65 องศาเซลเซียส จนกระทั่งตัวอย่างแห้ง (2-3 วัน) จากนั้นนำตัวอย่างไปบดให้ละเอียด และเก็บตัวอย่างไว้ในถุงกันความชื้น

2. การย่อยตัวอย่างพืช (Digestion)

2.1 การย่อยเพื่อวิเคราะห์ ไนโตรเจน และฟอสฟอรัส

ย่อยตัวอย่างโดยใช้ กรดซัลฟิวริก (H_2SO_4 acid digestion) : ชั่งตัวอย่างพืชที่เตรียมไว้ 0.30 กรัม ใส่ลงในหลอดแก้วสำหรับย่อยตัวอย่างขนาด 75 มิลลิลิตร เติมสารเร่งปฏิกิริยา (Catalyst) ($\text{Na}_2\text{SO}_4 + \text{Se}$ อัตราส่วน 10 : 1) 0.3 กรัม เติมกรดซัลฟิวริกเข้มข้น 98% (conc. H_2SO_4 98%) ปริมาตร 5 มิลลิลิตร จากนั้นวางหลอดตัวอย่างไว้ในเครื่องย่อย (Digestion block) ค่อยๆปรับอุณหภูมิให้สูงขึ้นจนถึง 380 องศาเซลเซียส รอตัวอย่างย่อยเสร็จ จนได้สารละลายใส ไม่มีสี แล้วยกออกมาทิ้งไว้ให้เย็น ปรับปริมาตรเป็น 50 มิลลิลิตร ด้วยน้ำกลั่น แล้วเก็บไว้ในขวดเพื่อรอการวิเคราะห์ (โดยขั้นตอนตั้งแต่การเติมกรดจนถึงปรับปริมาตรสารทำในตู้ดูดควัน (Fume hood)) และทำ Bank เช่นเดียวกับการทำตัวอย่าง

2.2 การย่อยเพื่อวิเคราะห์ โพแทสเซียม และแคลเซียม

ย่อยตัวอย่างโดยใช้กรดผสม ($\text{H}_2\text{SO}_4\text{-HNO}_3\text{-HClO}_4$ acid mixture digestion) : ชั่งตัวอย่างพืช 0.30 กรัม ใส่ในหลอดทดลองสำหรับย่อยตัวอย่าง แล้วเติมกรดผสมที่เตรียมไว้ 5 มิลลิลิตร วางหลอดทดลองในเครื่องย่อยตัวอย่าง ค่อยๆปรับอุณหภูมิขึ้นจนถึง 200 องศาเซลเซียส รอจนได้ตัวอย่างใส ไม่มีสี

นำออกมาตั้งทิ้งไว้ให้เย็น แล้วปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นให้ได้ 50 มิลลิลิตร เก็บไว้ในขวดเพื่อรอวิเคราะห์ต่อไป โดยทำ Bank คู่ไปกับตัวอย่าง (โดยขั้นตอนตั้งแต่การเติมกรดจนถึงปรับปริมาตรสารทำในตู้ดูดควัน)

2.3 การเผาเพื่อวิเคราะห์โบรอน

การเผาตัวอย่างพืชให้เป็นเถ้าสีเทาด้วยเครื่อง Muffle furnace : ชั่งตัวอย่าง 1 กรัม ใส่ในถ้วย กระเบื้องทนไฟ (crucible) สำหรับเผา เติม แคลเซียมไฮดรอกไซด์ (Ca(OH)_2) 0.3 กรัม คนให้เข้ากัน ปิดฝาถ้วยแล้วนำไปเผาในเครื่อง Muffle furnace ใช้อุณหภูมิเครื่องที่ 530 องศาเซลเซียส ใช้เวลา 1 ชั่วโมง 30 นาที (นับจากที่เครื่องอุณหภูมิ 530 องศา) ปิดเครื่อง รอให้ตัวอย่างเย็น นำตัวอย่างออกมาละลายด้วย 0.72 N H_2SO_4 ปริมาตร 10 มิลลิลิตร นำไปกรองด้วย กระดาษกรองเบอร์ 1 ขนาด 100 มิลลิลิตร รองด้วยขวดพลาสติกขนาด 60 มิลลิลิตร ค่อยล้างตัวอย่างในถ้วยอีกครั้งด้วย 0.36 N H_2SO_4 ปริมาตร 10 มิลลิลิตร เทตัวอย่างที่ได้ลงกระดาษกรอง และนำตัวอย่างที่ได้ไปวิเคราะห์ทันที โดยทำ Bank คู่ไปกับตัวอย่าง

3. การวิเคราะห์ปริมาณธาตุอาหารในพืช

3.1 การวิเคราะห์ปริมาณไนโตรเจนในพืช โดยวิธี Colorimetry

การเตรียมสารเคมี

1) สารละลาย A : ละลายฟีนอล 20 กรัม และโซเดียมไนโตรพอสเฟต 0.1 กรัม ในน้ำกลั่น และปรับปริมาตรให้ได้ 2000 มิลลิลิตร แล้วเก็บไว้ในขวดสีชา

2) สารละลาย B : ละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 10 กรัม และโซเดียมไฮโปคลอไรด์ 16.8 มิลลิลิตร ในน้ำกลั่น แล้วปรับปริมาตรให้ได้ 2000 มิลลิลิตร ด้วยน้ำกลั่น เก็บสารละลายไว้ในขวดสีชา

3) สารละลายมาตรฐานไนโตรเจน ความเข้มข้น 1000 ppm : ละลายแอมโมเนียมคลอไรด์ 0.3189 กรัม ในน้ำกลั่น และปรับปริมาตรให้เป็น 1 ลิตร แล้วเตรียมสารละลายมาตรฐานไนโตรเจน ความเข้มข้น 0, 50, 100, 150 และ 200 ppm ปริมาตร 50 มิลลิลิตร (เก็บไว้ในตู้เย็น)

การเตรียมสารละลายสำหรับสร้างกราฟมาตรฐาน

ปิเปตสารละลายมาตรฐานความเข้มข้น 0, 50, 100, 150 และ 200 ppm ปริมาตร 20 ไมโครลิตร ลงในหลอดทดลองขนาด 15 มิลลิลิตร ในหลอดที่ 1, 2, 3, 4 และ 5 จากนั้น ปิเปตสารละลาย A ปริมาตร 2.5 มิลลิลิตร ลงในหลอดทดลองทั้ง 5 นำไปเขย่า แล้วเติมสารละลาย B 2.5 มิลลิลิตร ลงแต่ละหลอด แล้วนำไปเขย่า ทิ้งไว้ 20 นาที นำไปวัดด้วยเครื่อง Spectrophotometer ที่ความยาวคลื่น 625 นาโนเมตร (โดยทำ Bank เช่นเดียวกับ สารละลายมาตรฐานความเข้มข้น 0 ppm) นำค่าที่ได้มาสร้างกราฟมาตรฐานไนโตรเจน

วิธีวิเคราะห์

ปิเปตตัวอย่างพืชที่เตรียมไว้ลงในหลอดทดลองขนาด 15 มิลลิลิตร ปริมาตร 20 ไมโครลิตร แล้วเติมสารละลาย A ปริมาตร 2.5 มิลลิลิตร นำไปเขย่าให้สารละลายเข้ากัน เติมสารละลาย B ปริมาตร 2.5 มิลลิลิตร แล้วนำไปเขย่า ตั้งทิ้งไว้ 20 นาที แล้วนำไปวัด ด้วยเครื่อง Spectrophotometer ที่ความยาวคลื่น 625 นาโนเมตร นำค่าที่ได้ไปคำนวณกับกราฟมาตรฐาน

การคำนวณ

$$N (\%) = \frac{\text{ความเข้มข้นจากกราฟมาตรฐาน (ppm)} \times \text{ปริมาตรสุดท้าย (50 ml)} \times 10^{-4}}{\text{น้ำหนักตัวอย่างพืช (0.3 g)}}$$

3.2 การวิเคราะห์ปริมาณฟอสฟอรัสในพืช โดยวิธี Colorimetry

การเตรียมสารเคมี

1) สารละลาย วานาเดต (Vanadate Reagent): ชั่ง แอมโมเนียมวานาเดต (NH_4VO_3) 1 กรัม ในน้ำเดือด 500 มิลลิลิตร ทิ้งไว้ให้เย็น นำไปเติมกรดเปอร์คลอริก (HClO_4 conc. 70%) ในตู้ดูดควัน ปริมาตร 160 มิลลิลิตร ปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นให้เป็น 2000 มิลลิลิตร

2) สารละลาย โมลิบเดต (Molybdate Reagent) : ละลาย แอมโมเนียมโมลิบเดต $[(\text{NH}_4)_2\text{MoO}_4]$ 25 กรัม ในน้ำกลั่น แล้วปรับปริมาตรให้เป็น 2000 มิลลิลิตร

3) สารละลายมาตรฐานฟอสฟอรัสความเข้มข้น 100 ppm : จาก standard phosphorus solution ความเข้มข้น 1000 ppm แล้วเตรียมสารละลายมาตรฐาน ความเข้มข้น 0, 2, 4, 6, 8 และ 10 ปริมาตร 200 มิลลิลิตร (เก็บไว้ในตู้เย็น)

การเตรียมสารละลายสำหรับสร้างกราฟมาตรฐาน

ปิเปตสารละลายมาตรฐาน ความเข้มข้น 0, 2, 4, 6, 8 และ 10 ppm ปริมาตร 5 มิลลิลิตร ลงในหลอดทดลองที่ 1, 2, 3, 4 และ 5 เติมสารละลายวานาเดต 5 มิลลิลิตร นำไปเขย่าให้เข้ากัน จากนั้นเติมสารละลายโมลิบเดต 5 มิลลิลิตร เขย่าให้เข้ากัน ทิ้งไว้ 30 นาที แล้วนำไปวัดค่า

วิธีวิเคราะห์

ปิเปตสารละลายตัวอย่างพืช ปริมาตร 5 มิลลิลิตร เติมสารละลายวานาเดต ปริมาตร 5 มิลลิลิตร นำไปเขย่า แล้วเติมสารละลาย โมลิบเดต 5 มิลลิลิตร นำไปเขย่าอีกครั้งแล้วตั้งทิ้งไว้ 30 นาที (Bank ทำเช่นเดียวกัน) นำไปวัดด้วยเครื่อง Spectrophotometer ที่ความยาวคลื่น 420 นาโนเมตร จากนั้นนำไปคำนวณกับค่ามาตรฐานจากกราฟ

การคำนวณ

$$P (\%) = \frac{\text{ความเข้มข้นจากกราฟมาตรฐาน (ppm)} \times \text{ปริมาตรสุดท้าย (50 ml)} \times 10^{-4}}{\text{น้ำหนักตัวอย่างพืช (0.3 g)}}$$

3.3 การวิเคราะห์ โพแทสเซียมและแคลเซียมในพืช โดยวิธี Flame emission spectrophotometry

การเตรียมสารเคมี

1) สารละลายมาตรฐานโพแทสเซียมเข้มข้น 0, 2, 4, 6, 8 และ 10 ppm จาก standard potassium solution ความเข้มข้น 1000 ppm

2) สารละลายมาตรฐานแคลเซียมเข้มข้น 0, 2, 4, 6, 8 และ 10 ppm จาก standard calcium solution ความเข้มข้น 1000 ppm

การเตรียมสารละลายสำหรับสร้างกราฟมาตรฐาน

นำสารละลายมาตรฐาน ความเข้มข้น 0, 2, 4, 6, 8 และ 10 ppm ที่เตรียมไว้มาวัดค่าความเปล่งแสงด้วยเครื่อง Flame photometer นำค่าที่อ่านได้ไปสร้างกราฟมาตรฐาน

วิธีวิเคราะห์

นำตัวอย่างพืชที่เตรียมไว้ในขวด มาวัดด้วยเครื่อง Flame photometer โดยปรับให้เป็นธาตุ K หรือ Ca ตามที่วัด โดยค่าที่วัดได้ต้องไม่เกิน ค่าของสารละลายมาตรฐานความเข้มข้นสูงสุด หากเกินทำการ dilution แล้วนำค่าที่เครื่องอ่านได้ไปคำนวณกับกราฟมาตรฐาน

การคำนวณ

$$\text{K หรือ Ca (\%)} = \frac{\text{ความเข้มข้นจากกราฟมาตรฐาน (ppm)} \times \text{ปริมาตรสุดท้าย (50 ml)} \times 10^{-4}}{\text{น้ำหนักตัวอย่างพืช (0.3 g)}}$$

3.4 การวิเคราะห์ปริมาณโบรอนในพืช โดยวิธี Colorimetry

การเตรียมสารเคมี

1) สารละลาย EDTA : ชั่ง Disodium ethylene diamine tetraacetate ($\text{Na}_2\text{H}_2\text{C}_{10}\text{H}_{12}\text{N}_2\text{O}_8 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) 37.2 กรัม ละลายในน้ำกลั่น แล้วปรับปริมาตรให้เป็น 1000 มิลลิลิตร

2) Ammonium acetate buffur solution : ละลาย แอมโมเนียมอะซิเตท (NH_4OAc) 250 กรัม ในน้ำกลั่น 250 มิลลิลิตร ปรับปริมาตรให้เป็น 500 มิลลิลิตร ปรับ pH ของสารละลายให้ได้ค่า 5.5 ด้วย Gacial acetic acid

3) สารละลาย azomethine-H : ละลาย azomethine-H ($\text{C}_{17}\text{H}_{12}\text{NNaO}_8\text{S}_2$) 0.45 กรัม ด้วยน้ำอุ่น ทิ้งไว้ให้เย็นแล้วปรับปริมาตร 50 มิลลิลิตร (สารเก็บไว้ได้ไม่เกิน 24 ชั่วโมง)

4) สารละลายมาตรฐานโบรอนความเข้มข้น 10 ppm จาก standard boron solution ความเข้มข้น 1000 ppm

การเตรียมสารละลายสำหรับสร้างกราฟมาตรฐาน

แล้วเตรียมสารละลายมาตรฐาน 0, 0.25, 0.50, 0.75 และ 1.00 ppm จากสารละลายมาตรฐานโบรอนความเข้มข้น 10 ppm ปริมาตร 0, 0.2, 0.4, 0.6 และ 0.8 มิลลิลิตร ตามลำดับ ใส่ในหลอดทดลองพลาสติก เติมน้ำกลั่นในแต่ละหลอดให้มีปริมาตร 3 มิลลิลิตร เติม สารละลาย EDTA 2 มิลลิลิตร แล้วเติม Ammonium acetate buffur solution 2 มิลลิลิตร และเติม สารละลาย azomethine-H 1 มิลลิลิตร นำไปเขย่าให้เข้ากัน ทิ้งไว้ 2 ชั่วโมง แล้วนำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงด้วยเครื่อง Spectrophotometer ที่ความยาวคลื่น 430 นาโนเมตร นำค่าที่ได้ไปสร้างกราฟมาตรฐาน

วิธีวิเคราะห์

ปิเปตสารละลายตัวอย่างพืช ปริมาตร 3 มิลลิลิตร ใส่ในหลอดทดลองพลาสติก แล้วเติมสารละลาย EDTA 2 มิลลิลิตร แล้วเติม Ammonium acetate buffur solution 2 มิลลิลิตร และเติม สารละลาย azomethine-H 1 มิลลิลิตร นำไปเขย่าให้เข้ากัน ทิ้งไว้ 2 ชั่วโมง แล้วนำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงด้วย เครื่อง Spectrophotometer ที่ความยาวคลื่น 430 นาโนเมตร นำค่าที่ได้ไปคำนวณกับค่ากราฟมาตรฐาน (ทำ Bank เช่นเดียวกับตัวอย่าง)

การคำนวณ

$$\text{ปริมาณโบรอนในตัวอย่างพืช (mg/kg)} = \frac{C \times V_f \times V_d}{W \times V_a}$$

C = ความเข้มข้นของโบรอนจากกราฟมาตรฐาน (ppm)

V_f = ปริมาตรสุดท้าย (8 มิลลิลิตร)

V_d = ปริมาตรสารละลายตัวอย่างพืชที่ได้จากการย่อย (20 มิลลิลิตร)

W = น้ำหนักตัวอย่างพืช (1 กรัม)

V_a = ปริมาตรสารละลายตัวอย่างที่ได้จากการวิเคราะห์ (3 มิลลิลิตร)

ตารางผนวกที่ 5 เปรียบเทียบวัตถุประสงค์ กิจกรรมที่วางแผนไว้ และกิจกรรมที่ได้ดำเนินการ และผลที่ได้รับตลอดโครงการ

วัตถุประสงค์/กิจกรรมที่วางแผนไว้	กิจกรรมที่ได้ดำเนินการ/ผลที่ได้รับตลอดโครงการ
<u>วัตถุประสงค์</u> เพื่อให้ทราบปริมาณธาตุอาหารที่ติดไปกับผลผลิต ใบ และลำต้นและกิ่งของพุทรา เพื่อพัฒนาระบบการจัดการธาตุอาหารสำหรับการผลิตพุทราบ้านโนน <u>กิจกรรมที่วางแผนไว้</u> 1. ศึกษาปริมาณธาตุอาหารที่ติดไปกับใบ 2. ศึกษาปริมาณธาตุอาหารที่ติดไปกับลำต้นและกิ่ง 3. ศึกษาปริมาณธาตุอาหารที่ติดไปกับผลผลิต โดยการศึกษาใช้สวนพุทราที่มีผลผลิตคุณภาพดี และมีใบรับรองสวนตามการเกษตรที่ดีและเหมาะสม (GAP) จำนวน 3-5 สวน	<u>กิจกรรมที่ได้ดำเนินการ</u> ได้ดำเนินการศึกษาปริมาณธาตุอาหารในใบ กิ่งและผลผลิต ในช่วงรอบการผลิตปี 2561/2562 (ธันวาคม 2561 ถึงมีนาคม 2562) ในแปลงเกษตรกรจำนวน 5 ราย โดยการดำเนินงานแบ่งออกเป็น 3 ส่วนงานที่สำคัญ คือ 1. ทำการศึกษาข้อมูลพื้นฐานของการให้ผลผลิตแต่ละสวน 2. ทำการศึกษาคุณสมบัติดินพื้นฐานของแต่ละสวน 3. ทำการประเมินปริมาณธาตุอาหารในใบ กิ่ง และผล ของพุทรา <u>ผลที่ได้รับตลอดโครงการ</u> 1. ทราบศักยภาพของการผลิตพุทราบ้านโนน ต้นพุทรา 1 ต้น ให้ผลผลิตได้ประมาณ 140 กิโลกรัม 2. ได้ข้อมูลธาตุอาหารในส่วนต่างๆ ของพุทรา ซึ่งสามารถนำไปใช้ประเมินปริมาณธาตุอาหารที่ควรให้แก่พุทราอย่างเหมาะสมตามความต้องการของพุทรา โดยใช้แนวคิดปริมาณธาตุอาหารที่ติดไปกับผลผลิตและชิ้นส่วนที่นำออกจากแปลงปลูก (crop removal)
<u>วัตถุประสงค์</u> เพื่อให้ทราบอัตราการคายน้ำของพุทราบ้านโนน เพื่อใช้พัฒนาแบบจำลองความต้องการน้ำของพุทรา <u>กิจกรรมที่วางแผนไว้</u>	<u>กิจกรรมที่ได้ดำเนินการ</u> 1. ทำการติดตั้ง หัวตรวจวัดอัตราการคายน้ำของพืช แห่งวัดความชื้นดิน และ data logger เก็บข้อมูลอากาศขนาดเล็ก จำนวน 3 สวน ใน 2 รอบปีการผลิต คือ รอบปีการผลิตที่ 1 (2561/2562) ในช่วงมกราคม – มีนาคม 2562

วัตถุประสงค์/กิจกรรมที่วางแผนไว้	กิจกรรมที่ได้ดำเนินการ/ผลที่ได้รับตลอดโครงการ
- ติดตั้งเครื่องมือหัวตรวจวัดอัตราการคายน้ำของพืช แห่งวัดความชื้นดิน และ data logger เก็บข้อมูลอากาศขนาดเล็ก <u>จำนวนอย่างน้อย 2 ส่วน</u> - นำข้อมูลที่ได้มาพัฒนาแบบจำลองการคายน้ำรายวันของพุทรา	และรอบปีการผลิตที่ 2 ในช่วงกรกฎาคม 2562 – กุมภาพันธ์ 2563 - พัฒนาแบบจำลองความต้องการน้ำรายวันของพุทรา <u>ผลที่ได้รับตลอดโครงการ</u> - ทราบว่าพุทรมีอัตราการคายน้ำในช่วงดินมีความชื้นสูงประมาณ 10-20 ลิตร/ต้น/วัน - แบบจำลองที่พัฒนาขึ้นสามารถประเมินความต้องการน้ำรายวันของต้นพุทราได้ 1 ส่วน แต่ยังคงการพัฒนาแบบจำลองให้มีความแม่นยำมากขึ้น และควรมีการทดสอบการให้น้ำตามค่าที่ได้จากแบบจำลองในแปลงพุทราของเกษตรกรในระยะต่อไป