วารสารเกษตร

JOURNAL OF AGRICULTURE

วารสารวิชาการของคณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่

ปีที่ 38 ฉบับที่ 2 พฤษภาคม-สิงหาคม 2565

การจำแนกชนิด และการวิเคราะห์ความสัมพันธ์เชิงวิวัฒนาการของแมลงวันผลไม้เผ่า Dacini ในประเทศไทย โดยยีน *COX1*
ยุวรินทร์ บุญทบ จารุวัตต์ แต้กุล ชมัยพร บัวมาศ เกศสุดา สนศิริ และ สุนัดดา เชาวลิต................159

ผลของการปรับพีเอชด้วยโซเดียมไบคาร์บอเนตต่อคุณลักษณะของน้ำเวย์ที่ได้จากกระบวนการผลิตมอสซาเรลลาชีสน้ำนมแพะ
ปฐมา แทนนาค ใยไหม ช่วยหนู ธรรมธวัช แสงงาม วันวิสาข์ วัฒนะพันธ์ศักดิ์ ภาวิณี จำปาคำ นริศรา ยิ่งกำแหง และ ศศิธร นาคทอง..175

สภาพการปลูกหม่อนเลี้ยงไหมของเกษตรกรภายใต้โครงการตามพระราชประสงค์ดอนขุนห้วย จังหวัดเพชรบุรี
วัชรา ปิ่นทอง..187

ปัจจัยที่มีผลต่อการปฏิบัติเกษตรดีที่เหมาะสมของเกษตรกรผู้ปลูกสตรอว์เบอร์รีคุณภาพ อำเภอสะเมิง จังหวัดเชียงใหม่
นฤมล คำดี บุศรา ลิ้มนิรันดร์กุล รุจ ศิริสัญลักษณ์ และ พรสิริ สืบพงษ์สังข์.................................201

ปริมาณคลอโรฟิลล์และสถานะของธาตุอาหารในใบทุเรียนและดินที่เจริญเติบโตในระบบวนเกษตร
พจนีย์ แสงมณี วิมลฉัตร สมนิยาม และ พิชัย ใจกล้า...209

ผลของอัตราปุ๋ยต่อการเจริญเติบโตและประสิทธิภาพการใช้น้ำของหอมประดับ
พิสิษฐ์ ชนะสงคราม ชัยอาทิตย์ อิ่นคำ กนกวรรณ ปัญจะมา และ โสระยา ร่วมรังษี........................223

การตรวจสอบโรคแอนแทรกโนสในมะม่วงพันธุ์น้ำดอกไม้สีทองด้วยเนียร์อินฟราเรดสเปกโทรสโกปี
แคทรียา สนธิยา พิมพ์ใจ สีหะนาม ปาริชาติ เทียนจุมพล และ พลกฤษณ์ มณีวระ.......................237

ปริมาณสารต้านอนุมูลอิสระและสารป้องกันแรงดันออสโมติกในใบถั่วเขียวภายใต้สภาพอุณหภูมิสูง
วาสนา สงกลาง ประกิจ สมท่า และ จำเนียร ชมภู..249

ผลของปุ๋ยไนโตรเจนต่อปริมาณสารโพรลีน ผลผลิต องค์ประกอบผลผลิต คุณภาพเมล็ด และการแสดงออกของยีนในข้าวหอมพันธุ์พื้นเมืองไทย
นันท์นพิน ปันธิ ศันสนีย์ จำจด ชนากานต์ เทโบลต์ พรมอุทัย เพ็ญนภา จักรสมศักดิ์ และ ต่อนภา ผุสดี..265

การประเมินผลผลิต องค์ประกอบผลผลิต ค่าความหวาน และความสามารถในการไว้ตอของอ้อยจำนวน 14 พันธุ์ ที่เจริญเติบโตภายใต้สภาพน้ำท่วมขังธรรมชาติในจังหวัดพิษณุโลก
พิชัย บุตรสีภูมิ และ อนุพงศ์ วงค์ตามี...279

การประเมินประชากรลูกผสมระหว่างข้าวก่ำพันธุ์แสง 5 ที่มีสารฟีนอลสูงในเมล็ดกับข้าวพันธุ์สมัยใหม่ปทุมธานี 1
พัทธพล ต้นกิ่ง ชนากานต์ เทโบลต์ พรมอุทัย ต่อนภา ผุสดี และ ศันสนีย์ จำจด...........................293

ผลของการให้ปุ๋ยฟอสฟอรัสทางใบต่อผลผลิตและประสิทธิภาพการดูดใช้ฟอสฟอรัสในข้าวพันธุ์ กข61
สายชล สุขญาณกิจ โสภิดา สุขญาณกิจ ชาลินี คงสุด และ ธนวรรณ พาณิชพัฒน์........................305

ISSN 0857-0841

คำแนะนำในการเตรียมต้นฉบับ

เรื่องที่ตีพิมพ์

1. เป็นบทความวิจัย บทความปริทัศน์ หรือบทความวิชาการ ทางด้านเกษตรศาสตร์และสาขาที่เกี่ยวข้อง

2. ต้องไม่เคยได้รับตีพิมพ์มาก่อน (ต้นฉบับ หรือส่วนหนึ่งส่วนใดของต้นฉบับ) และต้นฉบับต้องไม่ได้อยู่ระหว่างกระบวนการพิจารณาลงตีพิมพ์ในวารสารหรือสิ่งตีพิมพ์อื่นใด

การเตรียมต้นฉบับ

1. **ภาษา** เป็นภาษาไทยหรือภาษาอังกฤษ

2. **การพิมพ์**

1) พิมพ์หน้าเดียวบนกระดาษขนาด A4 พิมพ์แนวตั้ง (portrait orientation) ด้วยโปรแกรมไมโครซอฟต์ เวิร์ด (Microsoft Word for Windows) ตัวอักษรใช้ Cordia New โดยทั่วไปใช้ระยะบรรทัดปกติคือ 1 เท่า หรือ Single กำหนดระยะขอบทั้ง 4 ด้าน 1 นิ้ว (2.5 เซนติเมตร) ความยาวต้นฉบับไม่เกิน 10 - 12 หน้า (รวมเอกสารอ้างอิง)

2) ชื่อเรื่องให้พิมพ์ด้วยตัวอักษร Cordia New ขนาด 18 points พิมพ์ตัวหนา (bold) และจัดกึ่งกลางหน้า กระดาษ สำหรับชื่อเรื่องภาษาอังกฤษ กำหนดให้อักษรตัวแรกของคำให้พิมพ์ด้วยอักษรตัวพิมพ์ใหญ่ (capital letter)

3) ชื่อผู้เขียนให้พิมพ์ด้วยตัวอักษร Cordia New ขนาด 15 points พิมพ์ตัวหนา และจัดกึ่งกลางหน้ากระดาษ

4) ที่อยู่และที่อยู่อีเมลของผู้เขียนให้พิมพ์ด้วยตัวอักษร Cordia New ขนาด 12 points พิมพ์ตัวเอียงธรรมดา (normal italic) และจัดกึ่งกลางหน้ากระดาษ

5) บทคัดย่อทั้งภาษาไทยและภาษาอังกฤษให้พิมพ์ด้วยตัวอักษร Cordia New ขนาด 14 points พิมพ์ตัวธรรมดา (normal) ยกเว้นเฉพาะคำ บทคัดย่อ และ Abstract ให้พิมพ์ตัวหนา และจัดชิดซ้าย

6) เนื้อหาให้พิมพ์ด้วยตัวอักษร Cordia New ขนาด 14 points พิมพ์ตัวธรรมดา (normal)

7) หัวข้อหลัก ได้แก่ คำนำ อุปกรณ์และวิธีการ ผลการทดลองและวิจารณ์ สรุป เอกสารอ้างอิง ให้พิมพ์ด้วยตัวอักษร Cordia New ขนาด 16 points พิมพ์ตัวหนา และจัดกึ่งกลางหน้ากระดาษ

8) หัวข้อย่อย ให้พิมพ์ตัวหนาและจัดชิดซ้าย

9) คำอธิบายตารางและภาพให้พิมพ์ด้วยตัวอักษร Cordia New ขนาด 14 points พิมพ์ตัวหนา โดยคำอธิบายตารางให้พิมพ์เหนือตารางและจัดชิดซ้าย ส่วนคำอธิบายภาพให้พิมพ์ใต้ภาพและจัดกึ่งกลางหน้า และคำอธิบายตารางและภาพถ้ามีมากกว่าหนึ่งบรรทัดให้เริ่มต้นพิมพ์บรรทัดถัดมาตรงกับข้อความของบรรทัดแรก

10) หากมีชื่อวิทยาศาสตร์ปรากฏในบทความ ให้เขียนตามหลักเกณฑ์การเขียนชื่อวิทยาศาสตร์ ในครั้งแรกที่ปรากฏชื่อนี้ให้สะกดเต็ม เช่น *Meloidogyne incognita* และหลังจากนั้นถ้ามีการระบุชื่อนี้อีกให้ย่อชื่อสกุล โดยเขียนเป็น *M. incognita*

11) คำว่า *et al*. และ *P* (*P*-value) ให้พิมพ์เอน

ข้อแนะนำการใช้ภาษา

1) ใช้คำศัพท์ตามพจนานุกรม ฉบับราชบัณฑิตยสถาน และประกาศของราชบัณฑิตยสภา

2) การเขียนชื่อเฉพาะหรือคำแปลจากภาษาต่างประเทศ ควรพิมพ์ภาษาเดิมของชื่อนั้น ๆ ไว้ในวงเล็บในครั้งแรกที่ปรากฏในบทความ โดยพิมพ์เป็นอักษรตัวพิมพ์เล็กทั้งหมด ยกเว้นชื่อเฉพาะให้พิมพ์เฉพาะอักษรตัวแรกเป็นตัวพิมพ์ใหญ่

3) ไม่ควรใช้ภาษาต่างประเทศถ้ามีภาษาไทยใช้อยู่แล้ว

4) รักษาความสม่ำเสมอในการใช้คำ คำศัพท์ และตัวย่อ โดยตลอดทั้งบทความ

การเรียงลำดับหัวข้อ ให้เรียงตามลำดับดังนี้

1. **ชื่อเรื่อง** (Title) ควรสั้น ชัดเจน และต้องสื่อเป้าหมายหลักของการศึกษาวิจัย ระบุชื่อเรื่องทั้งภาษาไทยและภาษาอังกฤษ ต้นฉบับที่เป็นภาษาไทยให้พิมพ์ชื่อเรื่องเป็นภาษาไทยก่อน แล้วตามด้วยชื่อเรื่องภาษาอังกฤษ ต้นฉบับที่เป็นภาษาอังกฤษให้พิมพ์ชื่อเรื่องเป็นภาษาอังกฤษก่อน แล้วตามด้วยชื่อเรื่องภาษาไทย

2. **ชื่อผู้เขียน** ใช้ชื่อผู้เขียนเต็มและระบุชื่อผู้เขียนทั้งภาษาไทยและภาษาอังกฤษ ใส่เครื่องหมายดอกจัน (*) กำกับไว้ที่ท้ายนามสกุลของผู้เขียนที่ให้ติดต่อ (corresponding author)

3. **ที่อยู่ หรือสังกัด** ระบุที่อยู่หรือสังกัดทั้งภาษาไทยและภาษาอังกฤษ หากที่อยู่หรือสังกัดมีหลายแห่ง ให้พิมพ์ภาษาไทยของที่อยู่หรือสังกัดแห่งแรกก่อนแล้วตามด้วยภาษาอังกฤษ จากนั้นพิมพ์ภาษาไทยของที่อยู่หรือสังกัดแห่งที่สองแล้วตามด้วยภาษาอังกฤษ ผู้เขียนมีหลายคนและมีที่อยู่หรือสังกัดแตกต่างกัน ให้ใช้ เลขตัวยก (superscript) ที่ต่างกัน กำกับไว้ท้ายนามสกุลของผู้เขียนทั้งภาษาไทยและภาษาอังกฤษ ผู้เขียนคนเดียว หรือหลายคนแต่มีที่อยู่หรือสังกัดเดียวกัน ไม่ต้องใช้เลขตัวยก (superscript) กำกับท้ายนามสกุลของผู้เขียน ผู้เขียนเป็นนักศึกษา ให้ระบุที่อยู่หรือสังกัดตามหลักสูตรของนักศึกษา บรรทัดถัดจากที่อยู่ ให้พิมพ์ที่อยู่อีเมล์ (email address) ของผู้เขียนที่ให้ติดต่อ (corresponding author)

4. **บทคัดย่อ** (Abstract) ควรเป็นเนื้อหาที่สั้น ชัดเจนและเข้าใจง่าย รวมเหตุผลในการศึกษาวิจัย อุปกรณ์ วิธีการ ตลอดจนผลการศึกษาและสรุป ระบุบทคัดย่อทั้งภาษาไทยและภาษาอังกฤษ ไม่ควรเกิน 250 คำ ต้นฉบับที่เป็นภาษาไทยให้พิมพ์บทคัดย่อภาษาอังกฤษก่อน แล้วตามด้วยบทคัดย่อภาษาไทย ต้นฉบับที่เป็นภาษาอังกฤษให้พิมพ์บทคัดย่อภาษาไทยก่อน แล้วตามด้วยบทคัดย่อภาษาอังกฤษ ระบุคำสำคัญ (keywords) ไว้ท้ายบทคัดย่อแต่ละภาษาด้วย คำสำคัญไม่ควรเกิน 5 คำ

5. **เนื้อหา** (Text) **ประกอบด้วย**

5.1 **คำนำ** (Introduction) แสดงความเป็นมาและเหตุผลที่นำไปสู่การศึกษาวิจัย อาจรวมการตรวจเอกสาร (review of literature) และวัตถุประสงค์ของการศึกษาวิจัยไว้ด้วย

5.2 **อุปกรณ์และวิธีการ** (Materials and Methods) ให้บอกรายละเอียดของวัสดุ เครื่องมือ และอุปกรณ์ที่ใช้ ในการทดลอง ตลอดจนวิธีการวิเคราะห์ทางสถิติ และแบบจำลองการศึกษาวิจัยที่ชัดเจนและสมบูรณ์

5.3 **ผลการทดลองและวิจารณ์ หรือ ผลการศึกษาและวิจารณ์** (Results and Discussion) ให้บรรยายผลการศึกษาวิจัย พร้อมเสนอข้อมูลในรูปแบบตารางหรือภาพประกอบได้ โดยตารางหรือภาพ รวมทั้งคำอธิบายให้จัดทำเป็นภาษาอังกฤษทั้งหมด ถ้ามีตารางหรือภาพในบทความให้อ้างตารางหรือภาพนั้นในเนื้อหาด้วยโดยใช้เป็นภาษาอังกฤษ เช่น Table หรือ Figure สำหรับการวิจารณ์ ควรเชื่อมโยงกับผลการศึกษาว่าสอดคล้องกับสมมุติฐาน หรือแตกต่างไปจากผลงานวิจัยที่มีผู้รายงานไว้ก่อนหรือไม่ อย่างไรและด้วยเหตุใด โดยมีพื้นฐานการอ้างอิงที่เชื่อถือได้

5.4 **สรุป** (Conclusion) เป็นการสรุปผลที่ได้รับจากการศึกษาวิจัย อาจมีข้อเสนอแนะ หรือระบุอุปสรรคและแผนงานวิจัยที่จะดำเนินการต่อไป

5.5 **กิตติกรรมประกาศ** (Acknowledgement) อาจมีหรือไม่มีก็ได้ เป็นการแสดงความขอบคุณแก่ผู้ให้ทุนวิจัย หรือผู้ที่ช่วยเหลือในงานวิจัย แต่ไม่ได้เป็นผู้ร่วมงานวิจัย

5.6 **เอกสารอ้างอิง** (References) ให้เรียงเอกสารตามตัวอักษรอังกฤษ

หลักการอ้างอิงและการเขียนเอกสารอ้างอิง

สืบเนื่องจากวารสารเกษตรมีความประสงค์ที่จะพัฒนาคุณภาพวารสารเพื่อปรับเข้าสู่ฐานข้อมูล ACI (ASEAN Citation Index) ซึ่งมีข้อกำหนดในการจัดทำเอกสารอ้างอิง (reference) โดยต้องจัดทำเป็นภาษาอังกฤษทั้งหมด ทั้งในเนื้อเรื่องและท้ายบทความ โดยหลักการอ้างอิงและการเขียนเอกสารอ้างอิง มีดังนี้

1. **การอ้างอิงในเนื้อเรื่อง** ระบบที่ใช้ในการอ้างอิงคือ ระบบชื่อ และปี (Name-and-year System) ให้ใช้ ชื่อสกุล และปี ค.ศ ดังนี้

1.1 ผู้เขียน มี 1 คน ตัวอย่าง Kubo (2003) รายงานว่า……หรือ……(Kubo, 2003)

1.2 ผู้เขียนมี 2 คน ให้ใช้คำว่า and คั่นกลาง ตัวอย่าง Muthita and Kuanprasert (2004) รายงานว่า……หรือ……(Muthita and Kuanprasert, 2004)

1.3 ผู้เขียนมีมากกว่า 3 คน ให้ใช้ชื่อคนแรกและตามด้วยคำว่า *et al*. ตัวอย่าง Bukhari *et al*. (2011) รายงานว่า……หรือ……(Bukhari *et al*., 2015)

1.4 กรณีมีหลายรายงานอ้างอิงในเรื่องเดียวกัน ให้เรียงลำดับตามตัวอักษรภาษาอังกฤษ และใช้เครื่องหมายอัฒภาค (;) คั่นกลาง ตัวอย่าง (Bukhari *et al*. (2011); Kubo (2003); Muthita and Kuanprasert (2004))

1.5 กรณีผู้แต่งเดียวกัน และปีพิมพ์เดียวกัน ให้เพิ่มตัวอักษร a b c ต่อท้ายปี
ตัวอย่าง Tangtaweewipat *et al*. (2011a)……Tangtaweewipat *et al*. (2011b)……

1.6 กรณีผู้แต่งเดียวกัน แต่ปีพิมพ์ต่างกัน ให้เรียงลำดับตามปีพิมพ์
ตัวอย่าง (Tangtaweewipat *et al*. 2009; Tangtaweewipat *et al*. 2018)

(ดูคำแนะนำการเขียนเอกสารอ้างอิง การส่งต้นฉบับเพื่อตีพิมพ์ และการพิจารณาบทความได้ที่ปกหลังด้านใน)

วารสารเกษตร
JOURNAL OF AGRICULTURE

ผู้จัดพิมพ์	คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่	Publisher	Faculty of Agriculture, Chiang Mai University
กำหนดการพิมพ์	วารสารราย 4 เดือน (3 ฉบับ/ปี) คือ ฉบับที่ 1 มกราคม-เมษายน ฉบับที่ 2 พฤษภาคม-สิงหาคม ฉบับที่ 3 กันยายน-ธันวาคม	Publication	Tri-annually Issue 1 January-April Issue 2 May-August Issue 3 September-December
วัตถุประสงค์	เพื่อเผยแพร่วิทยาการด้านการเกษตร และสาขาที่เกี่ยวข้อง	Objective	To disseminate academic knowledge in agriculture and related fields

ที่ปรึกษา	คณบดีคณะเกษตรศาสตร์ รองคณบดีฝ่ายวิจัยและบริการวิชาการ	Consultants	Dean, Faculty of Agriculture; Associate Dean for Research and Academic Services
บรรณาธิการ	รศ.ดร. ณัฐา โพธาภรณ์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่	Editor	Nuttha Potapohn, Ph.D., Assoc. Prof. Chiang Mai University
รองบรรณาธิการ	ผศ.ดร. ชูชาติ สันธทรัพย์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่	Vice Editor	Choochad Santasup, Ph.D., Assist. Prof. Chiang Mai University
กองบรรณาธิการ ฝ่ายวิชาการ	ผศ.ดร. ต่อนภา ผุสดี มหาวิทยาลัยเชียงใหม่	Editorial Board (Academic)	Tonapa Pusadee, Ph.D., Assist. Prof. Chiang Mai University
	รศ.ดร. รุจ ศิริสัญลักษณ์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่		Ruth Sirisunyaluck, Ph.D., Assoc. Prof. Chiang Mai University
	ผศ.ดร. บุศรา ลิ้มนิรันดร์กุล มหาวิทยาลัยเชียงใหม่		Budsara Limnirankul, Ph.D., Assist. Prof. Chiang Mai University
	รศ.ดร. ชนากานต์ เทโบลต์ พรมอุทัย มหาวิทยาลัยเชียงใหม่		Chanakan Thebault Prom-u-thai, Ph.D., Assoc. Prof. Chiang Mai University
	รศ.ดร. พิชญา พูลลาภ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่		Pichaya Poonlarp, Ph.D., Assoc. Prof. Chiang Mai University
	ผศ.ดร. เยาวลักษณ์ จันทร์บาง มหาวิทยาลัยเชียงใหม่		Yaowaluk Chanbang, Ph.D., Assist. Prof. Chiang Mai University
	ผศ.ดร. อรอุมา เรืองวงษ์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่		On-Uma Ruangwong, Ph.D., Assist. Prof. Chiang Mai University
	ผศ.ดร. ฉันทลักษณ์ ติยายน มหาวิทยาลัยเชียงใหม่		Chantalak Tiyayon, Ph.D., Assist. Prof. Chiang Mai University
	ผศ.ดร. พิมพ์ใจ สีหะนาม มหาวิทยาลัยเชียงใหม่		Pimjai Seehanam, Ph.D., Assist. Prof. Chiang Mai University
	ผศ.ดร. จิรวรรณ กิจชัยเจริญ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่		Jirawan Kitchaicharoen, Ph.D., Assist. Prof. Chiang Mai University
	ผศ.ดร. เสาวลักษณ์ แย้มหมื่นอาจ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่		Saowaluck Yammuen-art, Ph.D., Assist. Prof. Chiang Mai University

	ผศ.ดร. มินตรา ศีลอุดม		Mintra Seel-audom, Ph.D., Assist. Prof.
	มหาวิทยาลัยเชียงใหม่		Chiang Mai University
	รศ.ดร. ไสว บูรณพานิชพันธุ์		Sawai Buranapanichpan, Ph.D., Assoc. Prof.
	ข้าราชการเกษียณอายุ		Retired government official
	ศ.ดร. จรัญ จันทลักขณา		Charan Chantalakhana, Ph.D., Prof.
	ข้าราชการเกษียณอายุ		Retired government official
	ศ. ญาณวิทย์ ดร. เมธา วรรณพัฒน์		Metha Wanapat, Ph.D., Prof.
	มหาวิทยาลัยขอนแก่น		Khon Kaen University
	ศ.ดร. อังศุมาลย์ จันทราปัตย์		Angsumarn Chandrapatya, Ph.D., Prof.
	ข้าราชการเกษียณอายุ		Khon Kaen University
	ศ.ดร. สุชีลา เตชะวงค์เสถียร		Suchila Techawongstien, D.Agr., Prof.
	ข้าราชการเกษียณอายุ		Retired government official
	ศ.ดร. ธวัชชัย ศุภดิษฐ์		Tawadchai Suppadit, Ph.D., Prof.
	สถาบันบัณฑิตพัฒนบริหารศาสตร์		National Institute of Development Administration
	รศ.ดร. เสวียน เปรมประสิทธิ์		Savent Pampasit, Ph.D., Assoc. Prof.
	มหาวิทยาลัยนเรศวร		Naresuan University
	รศ.ดร. วีรเทพ พงษ์ประเสริฐ		Weerathep Pongprasert, Ph.D., Assoc. Prof.
	ข้าราชการเกษียณอายุ		Retired government official
	รศ.ดร. เพชรรัตน์ ธรรมเบญจพล		Petcharat Thummabenjapone, Ph.D., Assoc Prof.
	มหาวิทยาลัยขอนแก่น		Khon Kaen University
	รศ. บำเพ็ญ เขียวหวาน		Bumpen Keowan, M.S., Assoc. Prof.
	มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมธิราช		Sukhothai Thammathirat Open University
	รศ.ดร. เกรียงศักดิ์ เม่งอำพัน		Kriangsak Mengumphan, Ph.D., Assoc. Prof.
	ข้าราชการเกษียณอายุ		Retired government official
	รศ.ดร. ธีรนุช เจริญกิจ		Theeranuch Jaroenkit, Ph.D., Assoc. Prof.
	มหาวิทยาลัยแม่โจ้		Maejo University
	ผศ.ดร. ปฏิภาณ สุทธิกุลบุตร		Pathipan Sutigoolabud, Ph.D., Assist. Prof.
	มหาวิทยาลัยแม่โจ้		Maejo University
	ผศ.ดร. เพ็ญพร เจนการกิจ		Penporn Janekarnkij, Ph.D., Assist. Prof.
	มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์		Kasetsart University
	ผศ.ดร. ไชยวรรณ วัฒนจันทร์		Chaiyawan Wattanachant, Ph.D., Assist. Prof.
	มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์		Prince of Songkla University
	ผศ.ดร. เสาวคนธ์ วัฒนจันทร์		Saowakon Wattanachant, Ph.D., Assist. Prof.
	มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์		Prince of Songkla University
กองบรรณาธิการ	นางลาลิตยา นุ่มมีศรี	Editorial Board	Lalitaya Nummisri
ฝ่ายการจัดการ	นายมานพ เปี้ยพรรณ์	(Management)	Manop Pearpun
	นางสาววันวิสา บุตรอินทร์		Wanvisa Butin

บทบรรณาธิการ

สวัสดีท่านผู้อ่านทุกท่าน วารสารเกษตรฉบับนี้เป็นปีที่ 38 ฉบับที่ 2 ประจำเดือนพฤษภาคม – สิงหาคม 2565 ในฉบับนี้ ประกอบด้วยบทความทางวิชาการที่มีต้นฉบับเป็นภาษาไทยทั้งหมด จำนวน 12 เรื่อง ประกอบด้วย สาขาโรคกีฏวิทยา 1 เรื่อง สาขาผลิตและนวัตกรรมอาหาร 1 เรื่อง สาขาส่งเสริมและเผยแพร่การเกษตร 2 เรื่อง สาขาปฐพีศาสตร์ 1 เรื่อง สาขาพืชสวน 2 เรื่อง และสาขาพืชไร่ 5 เรื่อง

เข้าสู่ฤดูฝนอย่างเป็นทางการแล้ว สถานการณ์โควิด 19 เริ่มส่งสัญญาณดีขึ้นแล้ว ขอให้ทุกท่านดูแลสุขภาพกันด้วยนะคะ และถ้าท่านมีผลงานวิจัยที่ต้องการจะตีพิมพ์เผยแพร่ ขอเชิญส่งบทความวิชาการทางเกษตรวิทยาศาสตร์เกษตร และสาขาที่เกี่ยวข้อง มาร่วมตีพิมพ์กับเรา เพื่อเป็นส่วนหนึ่งในการสร้างผลงานทางวิชาการที่อัดแน่นไปด้วยความรู้ คุณประโยชน์ เพื่อเผยแพร่ให้เกิดความรู้ต่อ ๆ ไป

ผู้ที่สนใจส่งบทความเพื่อตีพิมพ์ในวารสารเกษตร สามารถหาข้อมูลเพิ่มเติมได้จากเว็บไซต์วารสาร https://li01.tci-thaijo.org/index.php/joacmu/index หรือสามารถติดต่อมายังกองบรรณาธิการได้ที่ E-mail : agjournal22@gmail.com ขอให้ทุกท่านรักษาสุขภาพห่างไกลจากโควิด 19 ด้วยนะคะ และพบกันฉบับหน้าค่ะ

รองศาสตราจารย์ ดร.ณัฐา โพธาภรณ์

บรรณาธิการวารสารเกษตร

การจำแนกชนิด และการวิเคราะห์ความสัมพันธ์เชิงวิวัฒนาการของแมลงวันผลไม้เผ่า Dacini ในประเทศไทย โดยยีน *COX1*

Identification and Phylogenetic Analysis of Dacini Fruit Flies in Thailand by *COX1* Gene

ยุวรินทร์ บุญทบ* จารุวัตถ์ แต้กุล ชมัยพร บัวมาศ
เกศสุดา สนศิริ และ สุนัดดา เชาวลิต
Yuvarin Boontop*, Charuwat Taekul, Chamaiporn Buamas,
Kessuda Sonsiri and Sunadda Chaovalit

สำนักวิจัยพัฒนาการอารักขาพืช กรมวิชาการเกษตร กรุงเทพฯ 10900
Plant Protection Research and Development Office, Department of Agriculture, Bangkok 19000, Thailand
**Corresponding author: Email: Yuvarin9320@gmail.com*

(Received: 3 February 2022; Accepted: 9 May 2022)

Abstract: The fruit fly tribe Dacini is not only one of the most species-rich clades within the dipteran family Tephritidae, it is also one of most serious groups of horticultural pests and thus of particular biosecurity/quarantine concern. All Dacini members are notoriously difficult to identify by morphological characters. Molecular approaches, such as DNA 'barcoding' of the cytochrome c oxidase (*COX1*) gene, are commonly proposed to overcome this issue. Fresh materials of Dacini were collected from all regions of Thailand. Sequences were analyzed using a 'barcode' approach. Species were identified using standard nucleotide BLAST from GenBank database. Twenty species of Dacini were confirmed and their sequences were deposited in the GenBank database: *Dacus* (1 species): *Dacus longicornis* Wiedemann; *Bactrocera* (10 species): *Bactrocera albistrigata* de Meijere, *B. carambolae* Drew & Hancock, *B. correcta* (Bezzi), *B. dorsalis* Hendel, *B. latifrons* (Hendel), *B. limbifera* (Bezzi), *B. nigrotibialis* (Perkins), *B. tuberculata* (Bezzi), *B. umbrosa* (Fabricius), *B. zonata* (Saunders); and Z*eugodaucs* (9 species): *Zeugodacus apicalis* (de Meijere), *Z. caudatus* (Fabricius), *Z. cilifer* (Hendel), *Z. cucurbitae* (Coquillett), *Z. diversa* (Coquillett), *Z. hochii* (Zia), *Z. incisus* (Walker), *Z. isolatus* (Hardy), *Z. platamus* (Hardy) and *Z. tau* (Walker). A molecular phylogeny of these 20 species of Dacini was generated using *COX1* gene. Maximum Likelihood and Bayesian analysis were used to investigate patterns of clustering of sequences with those of other pest species of fruit flies. Analyses of sequences gave consistent results. *COX1* gene was proved to be effective in resolving *Zeugodacus* and *Dacus* from *Bactrocera* fruit fly species. The phylogeny showed that *Zeugodacus* clade is more closely related to *Dacus* rather than *Bactrocera*. This result supported raising *Zeugodacus* to the genus level. This study provided basic information on the number of species of fruit flies of the tribe Dacini present in Thailand. *COX1* sequences were demonstrated as an effective tool in identifying

Copyright @ Journal of Agriculture, Faculty of Agriculture, Chiang Mai University. All rights reserved.

partial barcodes. Thus, we recommended that diagnostic and quarantine laboratories used the *COX1* gene for the accurate identification of Dacini species.

Keywords: Dacini fruit fly, identification, DNA barcoding, phylogenetics

บทคัดย่อ: แมลงวันผลไม้เผ่า (tribe) Dacini เป็นเผ่าที่มีจำนวนชนิดมากที่สุดของแมลงวันผลไม้ในวงศ์ Tephritidae ก่อให้เกิดความเสียหายต่อผลผลิตทางการเกษตรอย่างสูงส่งผลต่อความกังวลใจด้านกักกันพืช และความปลอดภัยทางชีวภาพ แมลงวันผลไม้เผ่า Dacini มีรูปร่างลักษณะภายนอกที่ใกล้เคียงกันมากยากต่อการจำแนกชนิด การใช้เทคนิคชีวโมเลกุล โดยการใช้ดีเอ็นเอบาร์โคด (DNA barcode) จากยีน cytochrome c oxidase (*COX1*) นั้น สามารถช่วยแก้ปัญหาเหล่านี้ได้ เก็บตัวอย่างแมลงวันผลไม้จากทุกภูมิภาคของประเทศไทย สกัดและเพิ่มปริมาณดีเอ็นเอบริเวณยีนตำแหน่ง *COX1* และวิเคราะห์ลำดับนิวคลีโอไทด์เปรียบเทียบกับฐานข้อมูล GenBank (standard nucleotide BLAST) พบว่า สามารถยืนยันชนิดและบันทึกในฐานข้อมูล GenBank ได้ 20 ชนิด ได้แก่ แมลงวันผลไม้สกุล *Dacus* (1 ชนิด): *Dacus longicornis* Wiedemann; แมลงวันผลไม้สกุล *Bactrocera* (10 ชนิด)*: Bactrocera albistrigata* de Meijere, *B. carambolae* Drew & Hancock, *B. correcta* (Bezzi), *B. dorsalis* Hendel, *B. latifrons* (Hendel), *B. limbifera* (Bezzi), *B. nigrotibialis,* (Perkins), *B. tuberculata* (Bezzi), *B. umbrosa* (Fabricius), *B. zonata* (Saunders); และแมลงวันผลไม้สกุล *Zeugodaucs* (9 ชนิด): *Zeugodacus apicalis* (de Meijere)*, Z. caudatus* (Fabricius), *Z. cilifer* (Hendel), *Z. cucurbitae* (Coquillett), *Z. diversa* (Coquillett)*, Z. hochii* (Zia), *Z. incisus* (Walker)*, Z. isolatus* (Hardy), *Z. platamus* (Hardy) และ *Z. tau* (Walker) การศึกษาความสัมพันธ์ทางวิวัฒนาการจากลำดับนิวคลีโอไทด์ของตำแหน่งยีน *COX1* จากแมลงวันผลไม้เผ่า Dacini จำนวน 20 ชนิด มาวิเคราะห์ด้วย maximum likelihood และ Bayesian analysis พบว่า แผนภูมิความสัมพันธ์ทางวิวัฒนาการจากทั้งสองวิธีการมีผลที่สอดคล้องกัน ยีน *COX1* แสดงให้เห็นถึงประสิทธิภาพในการแก้ปัญหาของ *Zeugodacus* และ *Dacus* จาก *Bactrocera* โดยความสัมพันธ์ทางวิวัฒนาการแสดงให้เห็นว่า *Zeugodacus* นั้นมีความสัมพันธ์ใกล้ชิดกับ *Dacus* มากกว่า *Bactrocera* ซึ่งผลที่ได้นี้สามารถใช้สนับสนุนในการยกระดับของแมลงวันผลไม้ในสกุล *Zeugodacus* การศึกษานี้ให้ข้อมูลพื้นฐานเกี่ยวกับจำนวนชนิดของแมลงวันผลไม้เผ่า Dacini ในประเทศไทย และลำดับนิวคลีโอไทด์ของยีน *COX1* ได้รับการพิสูจน์ว่ามีประสิทธิภาพในการระบุชนิดของแมลงวันผลไม้เผ่า Dacini แม้ใช้จากบาร์โคดบางส่วน ดังนั้นสามารถนำยีน *COX1* ไปใช้ในห้องปฏิบัติการวินิจฉัยศัตรูพืชและงานด้านกักกันศัตรูพืชเพื่อระบุชนิดของแมลงวันผลไม้เผ่า Dacini ได้อย่างถูกต้อง

คำสำคัญ: แมลงวันผลไม้ Dacini การจำแนกชนิด ดีเอ็นเอบาร์โคด ความสัมพันธ์เชิงวิวัฒนาการ

คำนำ

การจำแนกชนิดของศัตรูพืชให้ถูกต้องเพื่อใช้เป็นหลักฐานทางวิทยาศาสตร์นั้นเป็นพื้นฐานสำคัญของงานวิจัยทางชีววิทยาขั้นพื้นฐานและการประยุกต์ต่าง ๆ เช่น งานด้านกักกันพืช และการเฝ้าระวังศัตรูพืชรุกราน ในปัจจุบันเป็นที่ทราบกันดีว่าวิธีการทางสัณฐานวิทยาแบบดั้งเดิมไม่เพียงพอในการจำแนกศัตรูพืชที่มีลักษณะรูปร่างใกล้เคียงกันมาก ปัจจุบันจึงมีการศึกษาอนุกรมวิธานแบบผสมผสาน (integrative taxonomy) ซึ่งเป็นการนำเทคโนโลยีต่าง ๆ เช่น การศึกษาด้านสัณฐานวิทยา (morphological character) และด้านพันธุกรรม (molecular character) มาร่วมในการศึกษาชนิดของศัตรูพืชที่ยากต่อการจำแนกชนิด เช่น แมลงวันผลไม้ (Boontop, 2016)

แมลงวันผลไม้ (true fruit flies) จัดเป็นแมลงศัตรูพืชที่ก่อให้เกิดความเสียหายเป็นอันดับต้น ๆ ของโลก เนื่องจากเข้าทำลายผัก ผลไม้ได้มากมายหลากหลายชนิด ทำให้ผักผลไม้เน่าเสียก่อนการเก็บเกี่ยว สร้างความเสียหายมากมายต่อการทำการเกษตร แต่แมลงวันผลไม้ในเผ่า (tribe) Dacini นั้นเป็นศัตรูพืชสำคัญในประเทศเขตร้อน และร้อนชื้น สามารถเข้าทำความเสียหายอย่างมากต่อผลผลิตทางการเกษตร จากการสำรวจพบว่า ทั่วโลกมีแมลงวันผลไม้เผ่า Dacini มากกว่า 932 ชนิดที่เป็นศัตรูพืชสำคัญทางเศรษฐกิจ (Doorenweerd *et al*., 2018) และในทวีปเอเชียนั้นพบว่า แมลงวันผลไม้เผ่า Dacini ในสกุล *Dacus* Fabricius สกุล *Bactrocera* Macquart และสกุล *Zeugodacus* Hendel เข้าทำลายผลผลิตทางการเกษตรสร้างความเสียหายในเชิงปริมาณและมูลค่าทางเศรษฐกิจเป็นอย่างมาก (Krosch *et al*., 2012)

ปัจจุบันประเทศไทยมีการศึกษาอนุกรมวิธานตัวอ่อนและตัวเต็มวัยของแมลงวันผลไม้บางชนิด (Boontop *et al*., 2021) แต่พบว่า แมลงวันผลไม้เผ่า Dacini ตัวเต็มวัยนั้นมีความแปรผันของรูปร่างลักษณะภายนอก ทำให้ยากต่อการจำแนกชนิดให้มีความถูกต้องและแม่นยำ (Cameron *et al*., 2010; Schutze *et al*., 2012) การประยุกต์ใช้เทคโนโลยีต่าง ๆ ที่น่าเชื่อถือและเป็นที่ยอมรับในระดับสากลมาร่วมใช้จำแนกชนิดแมลงวันผลไม้นั้นมีความจำเป็นอย่างยิ่ง เนื่องจากเมื่อทราบชนิดที่ถูกต้องของแมลงวันผลไม้ ทำให้ทราบการแพร่กระจายและชนิดพืชอาหารที่ถูกต้อง สามารถนำข้อมูลที่ได้ไปใช้เป็นหลักฐานทางวิทยาศาสตร์ แนวทางในการป้องกัน และควบคุมกำจัดได้อย่างมีประสิทธิภาพ ดังนั้น การศึกษาครั้งนี้จึงเป็นการจำแนกชนิดแมลงวันผลไม้ ด้วยลักษณะสัณฐาน ร่วมกับการใช้เทคนิคทางชีวโมเลกุล ดีเอ็นเอบาร์โคด (DNA barcoding) ซึ่งเป็นวิธีการที่ใช้ลำดับนิวคลีโอไทด์ของดีเอ็นเอบริเวณใดบริเวณหนึ่งหรือหลายบริเวณร่วมกันในการระบุชนิดของสิ่งมีชีวิตได้อย่างรวดเร็ว และยีน Cytochrome c oxidase subunit 1 (*COX1* หรือ CO1) ซึ่งเป็นตำแหน่งของยีนที่มีบริเวณอนุรักษ์ (conserve area) สามารถใช้เป็นมาตรฐานในการระบุชนิดที่ไม่รู้จักบางส่วนของสิ่งมีชีวิต (Armstrong and Ball, 2005; Park *et al*., 2011) และการศึกษาความสัมพันธ์ทางวิวัฒนาการ (phylogenetics analysis) เพื่อนำข้อมูลด้านดีเอ็นเอบาร์โคดจากการศึกษาครั้งนี้มาจัดทำฐานข้อมูลชนิดของแมลงวันผลไม้ที่มีในประเทศไทยให้มีมาตรฐานทัดเทียมสากล สร้างความน่าเชื่อถือในการเจรจาการนำเข้าส่งออกสินค้าเกษตรของไทยได้หลากหลายชนิด

อุปกรณ์และวิธีการ

1. การเก็บรวบรวมตัวอย่างแมลงวันผลไม้เผ่า Dacini

รวบรวมตัวอย่างแมลงวันผลไม้ตัวเต็มวัยจากพื้นที่การเกษตร โดยเก็บตัวอย่างจากพื้นที่ 6 ภูมิภาคของประเทศไทย (ภาคกลาง ภาคตะวันตก ภาคเหนือ ภาคตะวันออก ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ และภาคใต้) เลือกพื้นที่ที่มีการทำการเกษตร เช่น สวนผลไม้ แปลงผักต่าง ๆ รวมทั้งพื้นที่ป่าธรรมชาติ เพื่อเป็นตัวแทนในการเก็บตัวอย่างภูมิภาคละ 5 จังหวัด (Figure 1) ใช้กับดักล่อแมลงวันผลไม้แบบถังเปียก ซึ่งประกอบด้วยสำลีชุบสารล่อ (pheromone) แมลงวันผลไม้ 3 ประเภท ได้แก่ เมทิลยูจีนอล คิวลัวร์ และลาติลัวร์ ผสมสารฆ่าแมลง malathion ในอัตราส่วน 4 : 1 และภายในกับดักบรรจุสารโพรไพลีนไกลคอลเพื่อรักษาสภาพดีเอ็นเอของตัวอย่างแมลงวันผลไม้ ติดกับดัก 5 กับดักต่อสารล่อหนึ่งประเภทต่อหนึ่งพื้นที่ เก็บรวบรวมตัวอย่างระหว่างเดือนตุลาคม พ.ศ. 2561 - กันยายน พ.ศ. 2563 จำแนกชนิดแมลงวันผลไม้จากลักษณะภายนอกภายใต้กล้องจุลทรรศน์ สเตอริโอ Leica รุ่น M 165C (Leica Microsystems Ltd., Switzerland) ร่วมกับแนวทางการวินิจฉัยชนิดแมลงวันผลไม้ของ Drew and Romig, (2013; 2016) นำตัวอย่างแมลงวันผลไม้ดองในแอลกอฮอล์ 95 เปอร์เซ็นต์ และเก็บตัวอย่างไว้ในตู้เก็บรักษาอุณหภูมิ -20 องศาเซลเซียส

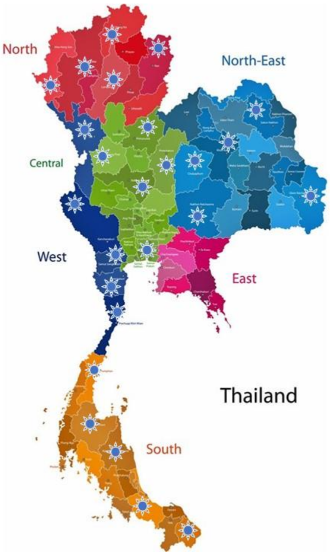


Figure 1. Locations of sampling sites in the six Thai biogeographical regions (North, Central, South, West, Northeast and East) at which fruit flies were collected

2. **การศึกษาดีเอ็นเอบาร์โคด** (DNA barcode) **ของแมลงวันผลไม้เผ่า** Dacini

2.1 สกัดดีเอ็นเอแมลงวันผลไม้เผ่า Dacini นำตัวอย่างแมลงวันผลไม้ที่ทำการจำแนกด้วยลักษณะทางสัณฐานวิทยามาสกัดดีเอ็นเอ ตามกรรมวิธี Boontop (2016) ร่วมกับคำแนะนำของชุดสกัดดีเอ็นเอสำเร็จรูป (ISOLATE II Genomic DNA kit; Bioline, Australia) ที่แนบกับผลิตภัณฑ์บริษัทโดยนำขาด้านขวาจำนวน 3 ข้างของแมลงวันผลไม้ (25 มิลลิกรัม) ใส่ในหลอดทดลองขนาด 1.5 มิลลิลิตร เติม lysis buffer GL ปริมาตร 180 ไมโครลิตร และสารละลาย protinase K ปริมาตร 25 ไมโครลิตร จากนั้นบ่มที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส นาน 16 - 20 ชั่วโมง ทำการย่อยสลายตัวอย่างโดยเขย่าอย่างรวดเร็ว และเติม lysis buffer G3 ปริมาตร 200 ไมโครลิตร บ่มที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส นาน 10 นาที เขย่าอย่างสม่ำเสมอ เติมแอลกอฮอล์บริสุทธิ์ปริมาตร 210 ไมโครลิตร เขย่าให้สารละลายเป็นเนื้อเดียวกัน ดูดสารละลายทั้งหมดใส่ในหลอด ISOLATE II Genomic DNA และตกตะกอนด้วยเครื่องปั่นเหวี่ยงความเร็วสูงที่ 11,000x g นาน 1 นาที ล้างตะกอน โดยการเติม wash buffer GW1 ปริมาตร 500 ไมโครลิตรและตกตะกอนด้วย เครื่องปั่นเหวี่ยงความเร็วสูงที่ 11,000x g นาน 1 นาที ตามด้วย wash buffer GW2 ปริมาตร 500 ไมโครลิตร และตกตะกอนด้วยเครื่องปั่นเหวี่ยงความเร็วสูงที่ 11,000x g นาน 1 นาที ทิ้งของเหลวที่เหลือตกตะกอนดีเอ็นเอให้แห้งด้วยเครื่องปั่นเหวี่ยงความเร็วสูงที่ 11,000x g นาน 1 นาที ย้ายหลอด ISOLATE II Genomic DNA tube มาใส่ในหลอดทดลองขนาด 1.5 ไมโครลิตรละลายดีเอ็นเอโดยการเติม elution buffer G ปริมาตร 50 ไมโครลิตร จากนั้นทำการบ่มที่อุณหภูมิห้อง นาน 5 นาที ตกตะกอนดีเอ็นด้วยเครื่องปั่นเหวี่ยงความเร็วสูง 11,000x g นาน 1 นาที นำดีเอ็นเอที่ได้เก็บในตู้เก็บรักษาอุณหภูมิ -20 องศาเซลเซียส เพื่อใช้ในวิธีการต่อไป

2.2 เพิ่มปริมาณดีเอ็นเอเป้าหมายด้วยเทคนิค polymerase chain reaction (PCR) โดยใช้คู่ไพรเมอร์ universal primer จากยีนบางส่วน (partial) *COX1*: LCO1490 (GGTCAACAAATCATAAAGATATTGG) และ HCO2198 (TAAACTTCAGGGTGACCAAAAAATCA) (Folmer *et al*., 1994) ส่วนผสมของปฏิกิริยา PCR ประกอบด้วยดีเอ็นเอต้นแบบ 1 ไมโครลิตร 10 µM ไพรเมอร์ LCO1490 1 ไมโครลิตร 10 µM ไพรเมอร์

HCO2198 1 ไมโครลิตร สารละลาย GoTaq® 10 ไมโครลิตร ปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นนึ่งฆ่าเชื้อให้ปริมาตรรวม 20 ไมโครลิตรโดยนำปฏิกิริยา PCR ใส่เครื่องเพิ่มปริมาณดีเอ็นเอ โดยกำหนดขั้นตอนและเวลาในปฏิกิริยา PCR cycle ดังนี้ 1) initial-denaturing 94 องศาเซลเซียส นาน 4 นาที 2) denaturing ที่ 94 องศาเซลเซียส 30 วินาที 3) annealing ที่ 50 องศาเซลเซียส 30 วินาที 4) extension ที่ 72 องศาเซลเซียส 30 วินาที (จำนวน 35 รอบ) (โดยในขั้นตอน 2 - 4 ทำซ้ำ จำนวน 35 รอบ) และ 5) final extension ที่ 72 องศาเซลเซียส 5 นาที จำนวน 1 รอบ ตรวจสอบผลิตภัณฑ์พีซีอาร์ (PCR product) ด้วยวิธีเจลอิเล็คโตรโฟรีซีส (gel electrophoresis) ที่อะกาโรสเจลความความเข้มข้น 2 เปอร์เซ็นต์ ผสม RedSafe dye ในสารละลาย 1X TBE buffer แล้วนำมาผ่านสนามไฟฟ้าความต่างศักย์ 100 โวลต์ เป็นเวลา 30 นาที และตรวจสอบแถบดีเอ็นเอภายใต้แสงอัลตราไวโอเล็ต (UV) บันทึกผลด้วยเครื่องถ่ายภาพเจลพร้อมโปรแกรมวิเคราะห์ภาพ ตรวจหาลำดับนิวคลีโอไทด์ โดยส่งตัวอย่างผลิตภัณฑ์พีซีอาร์ที่ได้ไปทำให้บริสุทธิ์ และหาลำดับนิวคลีโอไทด์ด้วยเครื่อง ABI 3730x 1 automated sequencer (Applied Biosystems, Forster City, CA, USA) ABI BigDye terminator chemistry ตามกรรมวิธีของบริษัท Macrogen ประเทศเกาหลีใต้ โดยใช้ไพรเมอร์ LCO1490 และ HCO2198

2.3 นำข้อมูลลำดับนิวคลีโอไทด์จากยีน *COX1* ของแมลงวันผลไม้ที่นำมาศึกษาทั้งหมด ทำการวิเคราะห์ โดยเปรียบเทียบลำดับนิวคลีโอไทด์ (sequence assembly) ด้วยโปรแกรม Bioedit Sequence Alignment Editor Version 7.2.5 (Hall, 1999) และบันทึกข้อมูลลำดับนิวคลีโอไทด์ในรูปแบบไฟล์ FASTA

2.4 เปรียบเทียบกับลำดับนิวคลีโอไทด์ของแมลงวันผลไม้ที่มีการรายงานในฐานข้อมูล GenBank ด้วยการ Blast (https://blast.ncbi.nlm.nih.gov/Blast.cgi?PAGE_TYPE=BlastSearch) เปรียบเทียบเปอร์เซ็นต์ความเหมือน (% identity) เพื่อยืนยันความถูกต้องลำดับนิวคลีโอไทด์ของแมลงวันผลไม้ เก็บบันทึกลำดับนิวคลีโอไทด์ของแมลงวันผลไม้ไว้ในระบบฐานข้อมูลของ GenBank ในรูปแบบ accession number

3. การศึกษาความสัมพันธ์ทางวิวัฒนาการของแมลงวันผลไม้เผ่า Dacini

นำข้อมูลลำดับนิวคลีโอไทด์ของแมลงวันผลไม้จากยีน *COX1* ที่ศึกษาเปรียบเทียบความถูกต้อง กับลำดับ นิวคลีโอไทด์ของแมลงวันผลไม้จากฐานข้อมูล GenBank จากนั้นนำลำดับนิวคลีโอไทด์เข้าสู่ขั้นตอน alignment ด้วยโปรแกรม MEGA X (Kumar *et al*., 2018) ประมวลผลและวิเคราะห์ข้อมูลใช้เกณฑ์มาตรฐาน 2 เกณฑ์ คือ maximum likelihood (ML) และ bayesian inference (BI) และเปรียบเทียบ topology ที่ได้จากทั้ง 2 เกณฑ์มาตรฐาน โดยมีรายละเอียดการวิเคราะห์ดังนี้ เตรียม dataset ของยีนตำแหน่ง *COX1* สำหรับ Maximum Likelihood (ML) โดยเตรียมไฟล์ .phy วิเคราะห์โดยโปรแกรม RAxML v8.1.15 (Stamatakis, 2014) กำหนด model of evolution แบบ GTRGAMMA ซึ่งจำเพาะต่อการวิเคราะห์ลำดับนิวคลีโอไทด์ วิเคราะห์ด้วย rapid bootstrap (command –f a) เริ่มจาก random starting tree และกำหนด maximum likelihood bootstrap จำนวน 1,000 ครั้ง และวิเคราะห์โดย Bayesian inference (BI) เตรียมไฟล์ .nexus ใช้โปรแกรม MrBayes (Ronquist and Huelsenbeck, 2003) ใช้วิธี Markov Chain Monte Carlo (MCMC) ค่าตั้งต้นที่ใช้ในการวิเคราะห์ดังนี้ Mcmcstartingtree = user ngen = 10 000 000 temp = 0.25 nruns = 4 samplefreq = 1000 pintfreq = 1000 nchains = 4 savebrlens = yes stoprules = yes stopval = 0.01; ปรับค่า generation temperature substitution model parameters จำนวน generation และ burnin เพื่อให้ได้ consensus topology ตรวจสอบความเชื่อมั่นของผลวิเคราะห์ด้วย cumulative and compare functions โดย AWTY (Nylander *et al*., 2008)

ผลการทดลองและวิจารณ์

1. การเก็บรวบรวมตัวอย่างแมลงวันผลไม้เผ่า Dacini

การเก็บรวบรวมตัวอย่างแมลงวันผลไม้ด้วยกับดักถังเปียกซึ่งบรรจุสารล่อเมทิลยูจีนอล คิวลัวร์ และลาติลัวร์จาก 6 ภูมิภาค ได้แก่ ภาคกลาง ภาคตะวันตก ภาคเหนือ ภาคตะวันออก ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ

และภาคใต้ของไทยด้วยกับดักแมลงวันผลไม้แบบถังเปียก ทำการตรวจวิเคราะห์ชนิดแมลงวันผลไม้จากลักษณะทางสัณฐานวิทยา ด้วยแนวทางวินิจฉัยของ Drew and Romig (2013; 2016) พบแมลงวันผลไม้เผ่า Dacini สามารถจำแนกได้ 3 สกุล จำนวน 23 ชนิด ได้แก่

1) สกุล *Dacus* จำนวน 3 ชนิด (Figure 2) ได้แก่ *Dacus* (*Callantra*) *formosanus* (Tseng & Chu), *D.* (*Callantra*) *longicornis* Wiedemann และ *D.* (*Callantra*) *sphaeroidalis* (Bezzi)

2) สกุล *Bactrocera* จำนวน 10 ชนิด (Figure 3) ได้แก่ *Bactrocera* (*Bactrocera*) *albistrigata* de Meijere, *B.* (*Bactrocera*) *carambolae* Drew & Hancock, *B.* (*Bactrocera*) *correcta* (Bezzi), *B.* (*Bactrocera*) *dorsalis* Hendel, *B.* (*Bactrocera*) *latifrons* (Hendel), *B.* (*Bactrocera*) *limbifera* (Bezzi), *B.* (*Bactrocera*) *nigrotibialis* (Perkins), *B.* (*Bactrocera*) *tuberculata* (Bezzi), *B.* (*Bactrocera*) *umbrosa* (Fabricius) และ *B.* (*Bactrocera*) *zonata* (Saunders)

3) สกุล *Zeugodacus* จำนวน 10 ชนิด (Figure 4) ได้แก่ *Zeugodacus* (*Asiadacus*) *apicalis* (de Meijere) comb. nov, *Z.* (*Zeugodacus*) *caudatus* (Fabricius), stat. rev., *Z.* (*Parasinodacus*) *cilifer* (Hendel), comb. nov., *Z.* (*Zeugodacus*) *cucurbitae* (Coquillett), stat. rev., *Z.* (*Hemigymnodacus*) *diversus* (Coquillett), *Z.* (*Sinodacus*) *hochii* (Zia), comb. nov., *Z.* (*Parasinodacus*) *incisus* (Walker), comb. nov., *Z.* (*Zeugodacus*) *isolatus* (Hardy), comb. nov., *Z.* (*Zeugodacus*) *platamus* (Hardy) และ *Z.* (*Zeugodacus*) *tau* (Walker), comb. nov.

2. การศึกษาดีเอ็นเอบาร์โคดของแมลงวันผลไม้เผ่า Dacini

จากการสกัดดีเอ็นเอ และเพิ่มปริมาณดีเอ็นเอด้วยเทคนิค PCR โดยใช้ไพรเมอร์ LCO1490/HCO2198 จากยีน *COX1* สามารถเพิ่มปริมาณดีเอ็นเอของแมลงวันผลไม้เผ่า Dacini จำนวน 23 ชนิด ได้แก่

1) สกุล *Dacus* จำนวน 3 ชนิด ได้แก่ *D. formosanus*, *D. longicornis* และ *D. sphaeroidalis*

2) สกุล *Bactrocera* จำนวน 10 ชนิด ได้แก่ *B. albistrigata*, *B. carambolae*, *B. correcta*, *B. dorsalis*, *B. latifrons*, *B. limbifera*, *B. nigrotibialis*, *B. tuberculata*, *B. umbrosa* และ *B. zonata*

3) สกุล *Zeugodacus* จำนวน 10 ชนิด *Z. apicalis*, *Z. caudatus*, *Z. cilifer*, *Z. cucurbitae*, *Z. diversus*, *Z. hochii*, *Z. incisus*, *Z. isolatus*, *Z. platamus* และ *Z. tau*

Figure 2. Fruit flies in genus *Dacus*

(A) *Dacus formosanus*, (B) *D. longicornis*, (C) *D. sphaeroidalis*

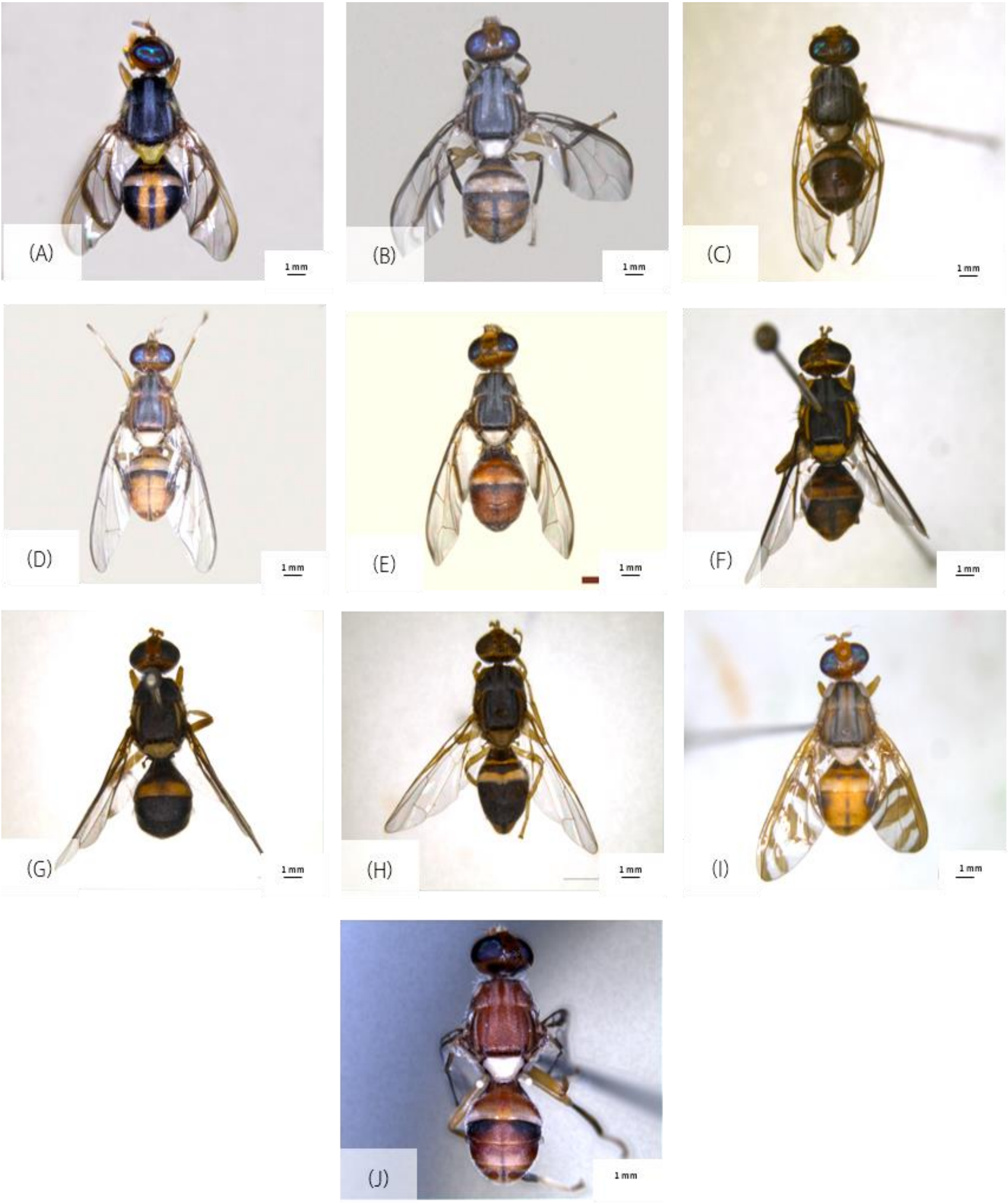


Figure 3. Fruit flies in genus *Bactrocera*

(A) *Bactrocera albistrigata*, (B) *B. carambolae*, (C) *B. correcta,* (D) *B. dorsalis*, (E) *B. latifrons*, (F) *B. limbifera*, (G) *B. nigrotibialis*, (H) *B. tuberculata*, (I) *B. umbrosa*, (J) *B. zonata*

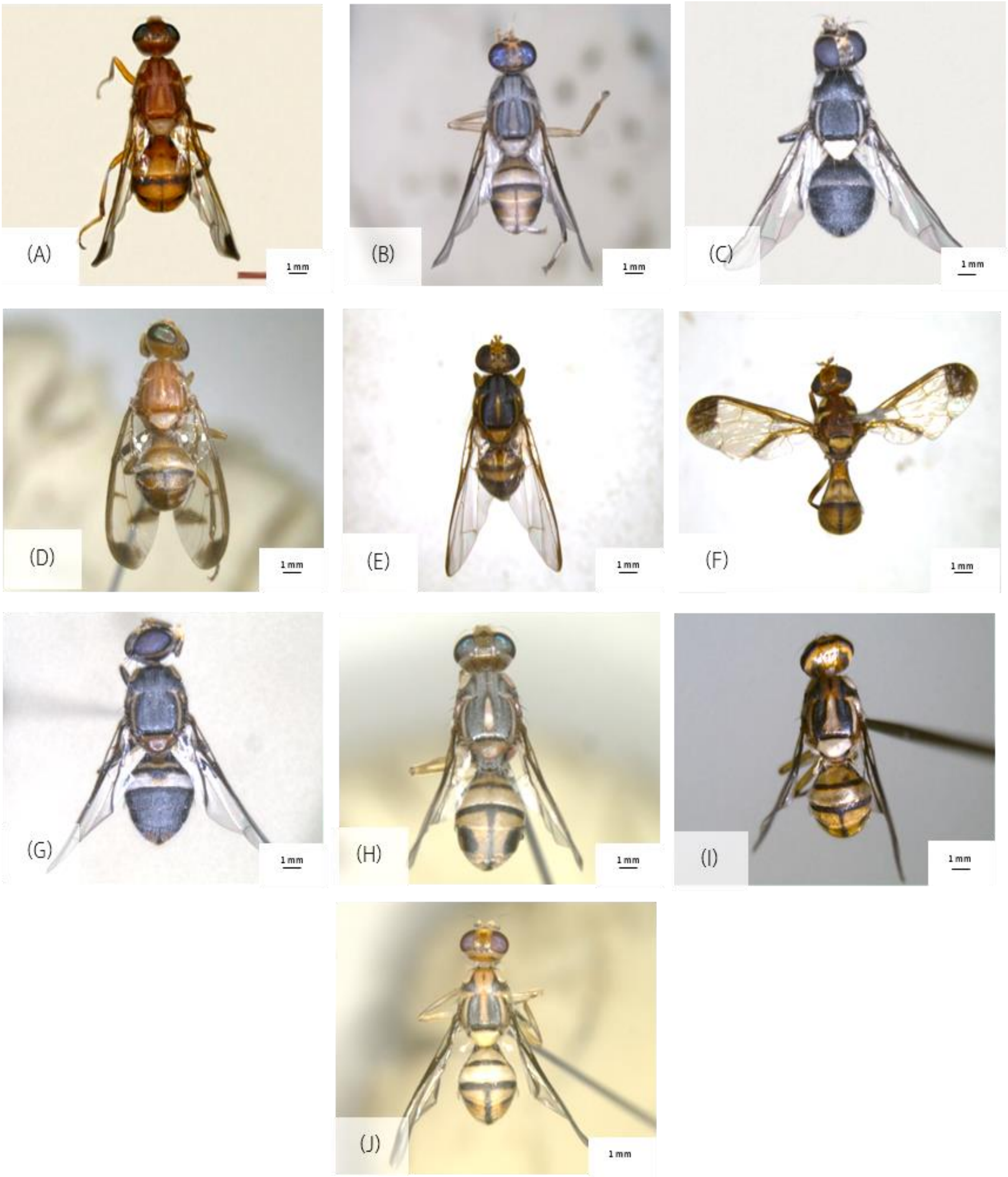


Figure 4. Fruit flies in genus *Zeugodacus*

(A) *Zeugodacus apicalis*, (B) *Z. caudatus*, (C) *Z. cilifer,* (D) *Z. cucurbitae*, (E) *Z. diversus*, (F) *Z. hochii*, (G) *Z. incises*, (H) *Z. isolatus*, (I) *Z. platamus*, (J) *Z. tau*

นำผลิตภัณฑ์พีซีอาร์จากแมลงวันผลไม้เผ่า Dacini ทั้ง 23 ชนิด ตรวจสอบขนาดดีเอ็นเอได้ขนาด 650 - 700 คู่เบส (Figure 5) แต่เมื่อนำไปตรวจวิเคราะห์ลำดับนิวคลีโอไทด์สามารถวิเคราะห์ลำดับนิวคลีโอไทด์ของแมลงวันผลไม้เผ่า Dacini ได้เพียง 20 ชนิด ดังนี้ *D. formosanus*, *B. albistrigata*, *B. carambolae*, *B. correcta*, *B. dorsalis*, *B. latifrons*, *B. limbifera*, *B. nigrotibialis*, *B. tuberculata*, *B. umbrosa*, *B. zonata*, *Z. apicalis*, *Z. caudatus*, *Z. cilifer*, *Z. cucurbitae*, *Z. hochii*, *Z. incisus*, *Z. isolatus*, *Z. platamus* และ *Z. tau*

ทำการเปรียบเทียบลำดับนิวคลีโอไทด์จากการ Blast พบเปอร์เซ็นต์ความเหมือนที่ 99 - 100 เปอร์เซ็นต์ แสดงว่าลำดับนิวคลีโอไทด์ที่ได้จากการเพิ่มปริมาณดีเอ็นเอจากยีน *COX1* นั้นมีความถูกต้อง และทำการบันทึกข้อมูลลำดับนิวคลีโอไทด์ในฐานข้อมูล GenBank ในรูปแบบ accession number (Table1) และจากข้อมูลที่ถูกต้องของลำดับนิวคลีโอไทด์ดังกล่าว แสดงว่าวิธีการสกัดดีเอ็นเอมีความเหมาะสม สามารถนำไปใช้สกัดดีเอ็นเอในตัวอย่างแมลงวันผลไม้ได้อย่างมีประสิทธิภาพ และสามารถใช้วิธีการสกัดดังกล่าวมาศึกษาดีเอ็นเอบาร์โคดได้ แต่สำหรับแมลงวันผลไม้ 3 ชนิด ที่สามารถเพิ่มปริมาณดีเอ็นเอแต่ไม่สามารถวิเคราะห์ลำดับนิวคลีโอไทด์ได้นั้น อาจเกิดจากความแปรผันของสารพันธุกรรมของตัวอย่างทำให้ไม่สามารถวิเคราะห์ลำดับนิวคลีโอไทด์ได้

3. การศึกษาความสัมพันธ์ทางวิวัฒนาการของแมลงวันผลไม้เผ่า Dacini

จากการศึกษาลำดับนิวคลีโอไทด์ของแมลงวันผลไม้เผ่า Dacini และนำมาทำการ alignment ชนิดละ 10 ลำดับนิวคลีโอไทด์ ยกเว้นแมลงวันผลไม้บางชนิดที่มีจำนวนตัวอย่างน้อย เช่น *D. longicornis*, *Z. apicalis* และ *Z. cilifer* ที่ใช้ 5, 5 และ 9 ตัวอย่าง ตามลำดับนั้น (Table 1) ไม่พบความแตกต่างในลำดับนิวคลีโอไทด์เบสในชิ้นส่วนสายพันธุกรรมของ ยีน *COX1* ของแมลงวันผลไม้แต่ละชนิดที่ศึกษา ดังนั้น ในการศึกษาความสัมพันธ์ทางวิวัฒนาการด้วยวิธี phylogenetic reconstruction สามารถใช้ลำดับนิวคลีโอไทด์ของแมลงวันผลไม้ชนิดละจำนวน 1 ตัวอย่าง เพื่อเป็นตัวแทนของแมลงวันผลไม้เผ่า Dacini แต่ละชนิด (จำนวน 20 ชนิด)

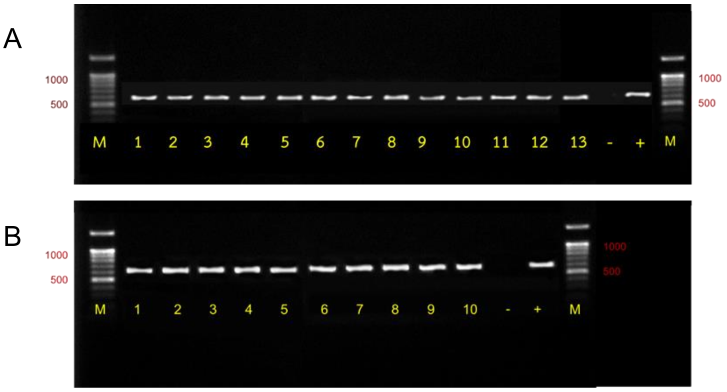


Figure 5. PCR results using the *COX1* (LCO1490/HCO2198) universal primer pair
A: Lane 1 = *Dacus formosanus*, 2 = *D. longicornis*, 3 = *D. sphaeroidalis*, 4 = *Bactrocera albistrigata*, 5 = *B. carambolae*, 6 = *B. correcta*, 7 = *B. dorsalis*, 8 = *B. latifrons*, 9 = *B. limbifera*, 10 = *B. nigrotibialis*, 11 = *B. tuberculata*, 12 = *B. umbrosa*, 13 = *B. zonata*, (-) = negative control (double-distilled water: ddH2O), (+) = positive control (*Zeugodacus cucurbitae*) and M = Marker
B: Lane 1 = *Z. apicalis*, 2 = *Z. caudatus*, 3 = *Z. cilifer*, 4 = *Z. cucurbitae*, 5 = *Z. diversus*, 6 = *Z. hochii*, 7 = *Z. incisus*, 8 = *Z. isolatus*, 9 = *Z. platamus*, 10 = *Z. tau*, (-) = negative control (ddH2O), (+) = positive control (*Z. cucurbitae*) and M = Marker

Table 1. Collection details (scientific name, specimen voucher, accession number and number of specimens) for fruit flies used in this study

No	Scientific name	Accession number	No. of specimens	Voucher specimen
1	*Bactrocera albistrigata*	MW600096 - 15	20	EMBT0401 - EMBT0420
2	*Bactrocera carambolae*	MW052780 - 84, MW093419 - 23	10	EMBT1301 - EMBT1310
3	*Bactrocera correcta*	MW067300 - 09	10	EMBT0601 - EMBT0610
4	*Bactrocera dorsalis*	MW052785 - 89, MW093424 - 28	10	EMBT0701 - EMBT0710
5	*Bactrocera latifrons*	MW136282 - 93	12	EMBT0901 - EMBT 0913
6	*Bactrocera limbifera*	MZ129218 - 19	10	EMBT0901 - EMBT0920
7	*Bactrocera nigrotibialis*	MZ914401 - 10	10	EMBT1001 - EMBT1020
8	*Bactrocera tuberculata*	MW600156 - 75	10	EMBT1101 - EMBT1120
9	*Bactrocera umbrosa*	MW376156 - 73	14	EMBT1201 - EMBT1215
10	*Bactrocera zonata*	MW600176 - 95	10	EMBT1301 - EMBT1320
11	*Dacus formosanus*	N/A		EMBT0101 - EMBT0120
12	*Dacus longicornis*	MW376179 - 83	5	EMBT0201 - EMBT0220
13	*Dacus sphaeroidalis*	N/A		EMBT0301 - EMBT0320
14	*Zeugodacus apicalis*	MW376174 - 77	5	EMBT1401 - EMBT1405
15	*Zeugodacus caudatus*	MW376156 - 73	15	EMBT1501 - EMBT1520
16	*Zeugodacus cilifer*	MW376133 - 41	9	EMBT1601 - EMBT1620
17	*Zeugodacus cucurbitae*	MW045505 - 14, MW052790 - 94	14	EMBT1601.L(SEM) - 1620
18	*Zeugodacus diversus*	N/A		EMBT1801 - EMBT1820
19	*Zeugodacus hochii*	MW600116 - 35	20	EMBT1901 - EMBT1920
20	*Zeugodacus incisus*	MW600136 - 55	10	EMBT2001 - EMBT2020
21	*Zeugodacus isolatus*	MW600196 -215	20	EMBT2101 - EMBT2120
22	*Zeugodacus platamus*	MW600216 - 235	20	EMBT2201 - EMBT2220
23	*Zeugodacus tau*	MW052795 - 99, MW093429 - 33	10	EMBT1901.L(SEM) - 1920

ผลการศึกษาความสัมพันธ์ทางวิวัฒนาการจากลำดับนิวคลีโอไทด์ของแมลงวันผลไม้เผ่า Dacini ที่สำรวจพบในประเทศไทยจำนวน 20 ชนิด และลำดับนิวคลีโอไทด์แมลงวันผลไม้ *Ceratitis capitata* เป็น outgroup (Bartolini *et al*., 2020) พบว่า ข้อมูลความสัมพันธ์ทางวิวัฒนาการที่ได้จากการวิเคราะห์แบบ maximum likelihood และ Bayesian inference มีความสอดคล้องกัน (Figure 6) สามารถสนับสนุนการจำแนก และยืนยันชนิดแมลงวันผลไม้ทั้ง 20 ชนิดได้ ทำให้สามารถยืนยันชนิดเพิ่มเติม จากเดิมที่ Boontop *et al*. (2021) ได้ทำการศึกษาความสัมพันธ์ทางวิวัฒนาการของแมลงวันผลไม้เผ่า Dacini ไว้เพียง 6 ชนิด จากการจัดจำแนกด้วยลักษณะทางสัณฐานวิทยาและการศึกษาข้อมูลลำดับนิวคลีโอไทด์โดยยีน *COX1* ด้วยไพรเมอร์ LCO1490 และ HCO2198 ผลการศึกษาครั้งนี้พบแมลงวันผลไม้ในสกุล *Dacus* นั้นมีความใกล้ชิดกับสกุล *Zeugodacus* และแยกออกจากสกุล *Bactrocera* อย่างชัดเจน โดยผลที่ได้แสดงให้เห็นว่าแมลงวันผลไม้ใน 4 สกุลย่อย ได้แก่ *Asiaducus*, *Parasinodacus*, *Sinodacus* และ *Zeugodacus* นั้นแยกออกจากสกุลย่อย *Bactrocera* อย่างเห็นได้ชัด สอดคล้องกับการศึกษาของ Krosch *et al*. (2012)

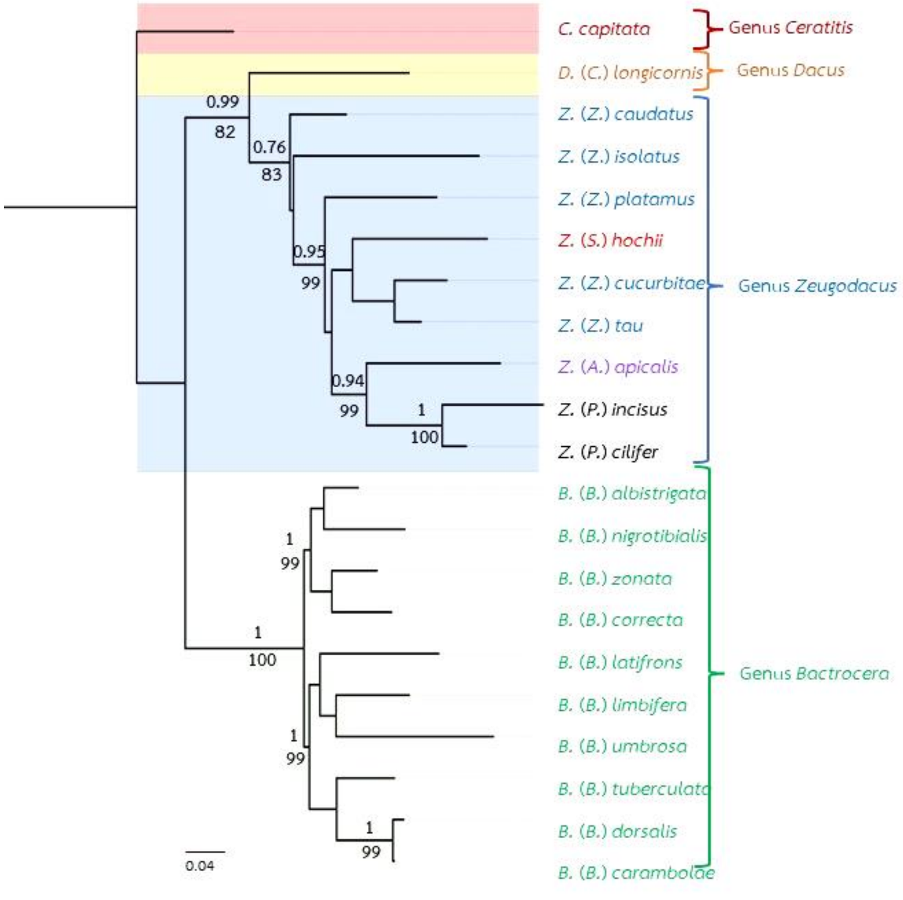


Figure 6. Phylogram obtained in a maximum likelihood search in RAxML of *COX1* gene regions. Bootstrap support values (≥ 70 %) from 1000 replicates above nodes. Posterior probabilities (≥ 0.95) summarised from 1500 converged trees obtained in a Bayesian search are shown below nodes. Particulars genus is given as a particular colours

ที่ทำการศึกษาความสัมพันธ์ทางวิวัฒนาการด้วย Bayesian analysis จากยีน 4 ชนิด ได้แก่ 16S, COI, COII และ white eye genes ของแมลงวันผลไม้เผ่า Dacini พบว่า สกุล *Bactrocera* นั้น แยกจากสกุล *Zeugodacus* อย่างชัดเจน และจากการศึกษาของ Virgilio *et al*. (2015) ซึ่งได้ใช้หลักฐานทางความสัมพันธ์ทางวิวัฒนาด้วย Bayesian analysis จากยีน *COX1* และ 16S การมาสนับสนุนข้อมูลการจัดจำแนกแมลงวันผลไม้ขึ้นมาใหม่ โดยการย้ายแมลงวันผลไม้สกุลย่อย (subgenus) จำนวน 13 สกุลย่อย ในสกุล *Bactrocera* ซึ่งประกอบด้วย *Asiadacus, Austrodacus, Diplodacus, Hemigymnodacus*, comb. nov., *Heminotodacus, Hemiparatridacus, Nesodacus, Niuginidacus, Papuodacus, Paradacus, Parasinodacus*, comb. nov., *Sinodacus* และ *Zeugodacus* ขึ้นมาเป็นสกุลใหม่ ได้แก่ สกุล *Zeugodacus* Hendel (Table 2)

แมลงวันผลไม้ในสกุลย่อย *Parasinodacus* จำนวน 2 ชนิด คือ *Z. cilifer* และ *Z. incisus* นั้น มีความสัมพันธ์ใกล้ชิดกัน และใกล้ชิดกับแมลงวันผลไม้ในสกุล *Asiadacus* ได้แก่ *Z. apicalis* นอกจากนี้ แมลงวันผลไม้ 2 ชนิด ในสกุลย่อย *Zeugodacus* คือ *Z. cucurbitae* และ *Z. tau* นั้นมีความสัมพันธ์ใกล้ชิดกัน และใกล้ชิดกับสกุล *Sinodacus* ได้แก่ *Z. hochii* ซึ่งเมื่อพิจารณาพืชอาหารของแมลงวันผลไม้ทั้งสามชนิด พบว่า แมลงวันผลไม้ทั้งสามชนิดนั้นเข้าทำลายพืชในวงศ์ Cucurbitaceae เช่นเดียวกัน (Allwood *et al*., 1999)

จากความสัมพันธ์ทางวิวัฒนาการของแมลงวันผลไม้ในสกุล *Bactrocera* สามารถสนับสนุนการศึกษาของ Drew and Romig (2013) ซึ่งรายงานชนิดแมลงวันผลไม้ยืนยันว่า *B. albistrigata* และ *B. frauenfeldi* เป็นคนละชนิดกัน เนื่องจากมีขนาดลำตัวที่แตกต่างกัน ซึ่งเป็นการแก้ไขการศึกษาของ Hardy and Adachi (1954) ที่ศึกษาลักษณะสัณฐานวิทยาภายนอกของแมลงวันผลไม้และรายงานว่า *B. albistrigata* และ *B. frauenfeldi* นั้นเป็นชนิดเดียวกัน และเป็นชื่อพ้อง (synonym) ดังนั้น การศึกษาครั้งนี้ใช้ลำดับนิวคลีโอไทด์มาสนับสนุนและยืนยันถึงความแตกต่างของแมลงวันผลไม้ทั้งสองชนิดได้สอดคล้องกับการกระจายที่พบว่า *B. albistrigata* กระจายตัวในประเทศไทย มาเลเซีย และอินโดนีเซีย ในขณะที่ *B. frauenfeldi* นั้น พบกระจายตัวอยู่เฉพาะในปาปัวนิวกีนี หมู่เกาะโซโลมอน และรัฐควีนสแลนด์ของเครือรัฐออสเตรเลียเท่านั้น ซึ่งจะเห็นได้ว่าการแยกความแตกต่างระหว่างชนิดที่มีลักษณะรูปร่างภายนอกใกล้เคียงกันนั้นมีความสำคัญมาก เพราะทำให้ทราบเขตการกระจายที่ถูกต้อง มีความสำคัญต่อการกำหนด area freedom (พื้นที่ทางภูมิศาสตร์ที่ประกาศให้ปลอดศัตรูพืชที่ระบุ) ซึ่งเป็นข้อมูลสำคัญในการประกอบการจัดทำบัญชีรายชื่อศัตรูพืช (pest list) และการวิเคราะห์ความเสี่ยงศัตรูพืช (pest risk analysis) เพื่อใช้ในการเจรจาการนำเข้าและส่งออกผลผลิตทางการเกษตรอีกด้วย

นอกจากนี้ การศึกษาครั้งนี้ยังช่วยยืนยันข้อมูลแมลงวันผลไม้ใน 2 ชนิด ใน สกุล *Bactrocera* ซึ่งมักพบความผิดพลาดจากการจำแนกชนิดแมลงวันผลไม้ *B. nigrotibialis* และ *Z. cilifer* เนื่องจากมีลักษณะทางสัณฐานคล้ายคลึงกันนั้น เมื่อใช้ข้อมูลลำดับนิวคลีโอไทด์มาศึกษาความสัมพันธ์ทางวิวัฒนาการสามารถยืนยันและสนับสนุนได้ว่า *Z. cilifer* นั้นมีลำดับนิวคลีโอไทด์แตกต่างกันอย่างชัดเจนจาก *B. nigrotibialis* นอกจากนี้ ลำดับนิวคลิโอไทด์ที่แตกต่างและผลของการจัดกลุ่มจากการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ทางวิวัฒนาการนั้นสามารถแยกแมลงวันผลไม้ในกลุ่ม *Bactrocera dorsalis* complex ที่มีความซับซ้อน ได้แก่ *B. dorsalis* และ *B. carambolae* ได้อีกด้วย

จากความสัมพันธ์ทางวิวัฒนาการครั้งนี้แสดงให้เห็นว่าาข้อมูลลำดับพันธุกรรม หรือ ดีเอ็นเอบาร์โคดของยีน *COX1* นั้นมีความสอดคล้องกับข้อมูลทางสัณฐานวิทยา ซึ่งพบว่า การศึกษาอนุกรมวิธานแมลงวันผลไม้ของ Boontop *et al*. (2021) พบว่า แมลงวันผลไม้ที่มีความสำคัญทางเศรษฐกิจในประเทศไทยทั้ง 3 สกุล ได้แก่ *Bactrocera, Zeugodaucs* และ *Dacus* นั้นมีลักษณะแตกต่างการอย่างเห็นได้ชัดจากการจัดความสัมพันธ์ทางวิวัฒนาการ

Table 2. Scientific name of Dacini fruit flies in Thailand

	Homotypic synonym	Current name
1	*Bactrocera (Asiaducus) apicalis* de Meijere	*Zeugodacus (Asiadacus) apicalis* (de Meijere), comb. nov.
2	*Bactrocera (Zeugodacus) caudata* (Fabricius)	*Zeugodacus (Zeugodacus) caudatus* (Fabricius), stat. rev.
3	*Bactrocera (Parasinodacus) cilifera* (Hendel)	*Zeugodacus (Parasinodacus) cilifer* (Hendel), comb. nov.
4	*Bactrocera (Zeugodacus) cucurbitae* (Coquillett)	*Zeugodacus (Zeugodacus) cucurbitae* (Coquillett), stat. rev.
5	*Bactrocera (Hemigymnodacus) diversa* (Coquillett)	*Zeugodacus (Hemigymnodacus) diversus* (Coquillett)
6	*Bactrocera (Sinodacus) hochii* (Zia)	*Zeugodacus (Sinodacus) hochii* (Zia), comb. nov.
7	*Bactrocera (Parasinodacus) incisa* (Walker)	*Zeugodacus (Parasinodacus) incisus* (Walker), comb. nov.
8	*Bactrocera (Zeugodacus) isolata* (Hardy)	*Zeugodacus (Zeugodacus) isolatus* (Hardy), comb. nov.
9	*Bactrocera (Zeugodacus) platamus* (Hardy)	*Zeugodacus (Zeugodacus) platamus* (Hardy)
10	*Bactrocera (Zeugodacus) tau* (Walker)	*Zeugodacus (Zeugodacus) tau* (Walker), comb. nov.

สรุป

เก็บรวบรวมตัวอย่างแมลงวันผลไม้ทั้งตัวอ่อนและตัวเต็มวัยจากทุกภูมิภาคของประเทศไทย โดยใช้กับดักแมลงวันผลไม้แบบถังเปียก ร่วมกับสารล่อที่ใช้เมทิลยูจีนอล คิวลัวร์ และลาติลัวร์ และในการจำแนกชนิดด้วยลักษณะทางสัณฐานวิทยาพบแมลงวันผลไม้จำนวน 3 สกุล ได้แก่ *Dacus, Bactrocera* และ *Zeugodacus* ศึกษาดีเอ็นเอบาร์โคดโดยการสกัดและเพิ่มปริมาณดีเอ็นเอจากยีน *COX1* ได้ข้อมูลดีเอ็นเอบาร์โคดของแมลงวันผลไม้เผ่า Dacini จำนวน 20 ชนิด

การศึกษาครั้งนี้ทำให้ทราบข้อมูลดีเอ็นเอบาร์โคดของแมลงวันผลไม้เผ่า Dacini ซึ่งในประเทศไทยมักใช้เพียงลักษณะสัณฐานภายนอกมาเป็นตัวจัดจำแนก ทำได้ยากและต้องอาศัยความชำนาญของนักอนุกรมวิธานซึ่งเป็นสาขาที่ขาดแคลนยิ่งนัก ดังนั้นการศึกษาครั้งนี้ยืนยันว่า *COX1* เป็นยีนที่สามารถใช้ในการศึกษาดีเอ็นเอบาร์โคดของแมลงวันผลไม้เผ่า Dacini ได้เป็นอย่างดี เนื่องจากยีน *COX1* เป็นยีนที่มีบริเวณอนุรักษ์ (conserve area) มีขนาดนิวคลีโอไทด์มีความเหมาะสมคือประมาณ 500 - 800 คู่เบส เพิ่มปริมาณดีเอ็นเอด้วยปฏิกิริยาพีซีอาร์ได้ง่ายและรวดเร็ว ลำดับนิวคลีโอไทด์ของยีน *COX1* ยังสามารถแยกความแตกต่างในสิ่งมีชีวิตที่มีความสัมพันธ์ใกล้ชิดกันมากได้อีกด้วยสามารถจำแนกชนิดของแมลงวันผลไม้เผ่า Dacini ได้อย่างถูกต้องถึง 99 - 100 เปอร์เซ็นต์ และให้ผลที่สอดคล้องกับลักษณะทางสัณฐานวิทยาของแมลงวันผลไม้ นอกจากนี้ในการศึกษาความสัมพันธ์ทางวิวัฒนาการโดยวิธีการ maximum likelihood และ Bayesian analysis นั้นเป็นวิธีการที่เหมาะสมสามารถยืนยันชนิดของแมลงวันผลไม้เผ่า Dacini ได้ โดยพบว่าแมลงวันผลไม้ทั้ง 3 สกุลนั้น แยกออกจากกันได้อย่างชัดเจน แต่หากต้องการศึกษาการแบ่งกลุ่มที่ชัดเจนมากขึ้นจะต้องมีการใช้ข้อมูลดีเอ็นเอบาร์โคดของยีนอื่น ๆ มาใช้ในการศึกษาเพิ่มขึ้น

การศึกษาครั้งนี้จึงเป็นครั้งแรกที่ใช้ข้อมูลดีเอ็นเอบาร์โคดและความสัมพันธ์ทางวิวัฒนาการมาสนับสนุนในการจำแนกและยืนยันชื่อวิทยาศาสตร์ของแมลงวันผลไม้ในประเทศไทยให้มีความถูกต้อง สมบูรณ์ ทันสมัยและเป็นหลักฐานทางวิทยาศาสตร์ที่เป็นที่ยอมรับในระดับสากลมากขึ้น

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณ ดร.ชนินทร ดวงสอาด คุณ ณฐมน แก้วนุ้ย สำนักวิจัยพัฒนาการอารักขาพืช กรมวิชาการเกษตร และ ดร.กตัญญุฑิตา ดำช่วย ภาควิชาพันธุศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัย เกษตรศาสตร์ ผู้ให้ความช่วยเหลือ ทำให้งานวิจัยชิ้นนี้สำเร็จลุล่วงเป็นอย่างดี

เอกสารอ้างอิง

Allwood, A.J., A Chinajariyawong, R.A.I. Drew, E.L. Hamacek, D.L. Hancock, C. Hengsawad, J.C. Jinapin, M. Jirasurat, C.K. Krong, S. Kritsaneepaiboon, C.S.T Leong and S. Vijaysegaran. 1999. Host plant records of fruit flies (Diptera: Tephritidae) in Southeast Asia. Raffles Bulletin of Zoology 47(7): 1-92.

Armstrong, K.F. and S.L. Ball. 2005. DNA barcodes for biosecurity: invasive species identification. Philosophical Transactions of the Royal Society of London B: Biological Sciences 360(1462): 1813-1823.

Bartolini, I., J. Rivera, N. Nolazco and A. Olórtegui. 2020. Towards the implementation of a DNA barcode library for the identification of Peruvian species of *Anastrepha* (Diptera: Tephritidae). PLoS ONE 15(1): e0228136, doi: 10.1371/journal.pone.0228136.

Boontop, Y. 2016. Natural variation and biogeography of the melon fruit fly, *Zeugodacus cucurbitae* (Diptera: Tephritidae), in Southeast-Asia and the West-Pacific. Ph.D. Thesis. Queensland University of Technology, Brisbane, Queensland. 347 p.

Boontop, Y., C. Buamas, K. Sonsiri, J. Duangthisan and S. Kaewsawat. 2021. Toward the identification of Dacini fruit flies (Diptera: Tephtidae) in Thailand using phylogenetic and wing morphometrics analyses. Thai Agricultural Research Journal 39(2): 118-130. (in Thai)

Cameron, E.C., J.A. Sved and A.S. Gilchrist. 2010. Pest fruit fly (Diptera: Tephritidae) in northwestern Australia: one species or two? Bulletin of Entomological Research 100(2): 197-206.

Doorenweerd, C., L. Leblanc, A.L. Norrbom, M.S. Jose and D. Rubinoff. 2018. A global checklist of the 932 fruit fly species in the tribe Dacini (Diptera, Tephritidae). ZooKeys 730: 19-56.

Drew, R.A.I. and M.C. Romig. 2013. Tropical Fruit Flies (Tephritidae: Dacinae) of South-East Asia: Indomalaya to Worth-West Australasia. CABI, Indomalaya to Worth-West Australasia. Wallingford. 664 p.

Drew, R.A.I. and M.C. Romig. 2016. Keys to the Tropical Fruit Flies (Tephritidae: Dacinae) of South-East Asia: Indomalaya to North-West Australasia. CABI, Wallingford. 487 p.

Folmer, O., M. Black, W. Hoeh, R. Lutz and R. Vrijenhoek. 1994. DNA primers for amplification of mitochondrial cytochrome *c* oxidase subunit I from diverse metazoan invertebrates. Molecular Marine Miology and Biotechnology 3(5): 294-299.

Hall, T.A. 1999. BioEdit: a user-friendly biological sequence alignment editor and analysis program for Windows 95/98/NT. Nucleic Acids Symposium Series 41: 95-98.

Hardy, D.E. and M.S. Adachi. 1954. Studies in the fruit flies of the Philippine Islands, Indonesia, and Malaya Part 1. Dacini (Tephritidae-Diptera). Pacific Science 8(2): 147-204.

Krosch, M.N., M.K. Schutze, K.F. Armstrong, G.C. Graham, D.K. Yeates and A.R. Clarke. 2012. A molecular phylogeny for the tribe Dacini (Diptera: Tephritidae): Systematic and biogeographic implications. Molecular Phylogenetics and Evolution 64(3): 513-523.

Kumar, S., G. Stecher, M.K. Li, C. Knyaz and K. Tamura. 2018. MEGA X: Molecular evolutionary genetics analysis across computing platforms. Molecular Biology and Evolution 35(6): 1547-1549.

Nylander, J.A.A., J.C. Wilgenbusch, D.L. Warren and D.L. Swofford. 2008. AWTY (are we there yet?): a system for graphical exploration of MCMC convergence in Bayesian phylogenetics. Bioinformatics 24(4): 581-583.

Park, D.S., R. Foottit, E. Maw and P.D.N. Hebert. 2011. Barcoding bugs: DNA-based identification of the true bugs (Insecta: Hemiptera: Heteroptera). PLoS ONE 6(4): e18749, doi: 10.1371/journal.pone.0018749.

Ronquist, F. and J.P. Huelsenbeck. 2003. MrBayes 3: Bayesian phylogenetic inference under mixed models. Bioinformatics 19(12): 1572-1574.

Schutze, M.K., A. Jessup and A.R. Clarke. 2012. Wing shape as potential discriminator of morphologically similar pest taxa within the *Bactrocera dorsalis* species complex (Diptera: Tephritidae). Bulletin of Entomological Research 102: 103-111.

Stamatakis, A. 2014. RAxML version 8: a tool for phylogenetic analysis and post-analysis of large phylogenies. Bioinformatics 30(19): 1312-1313.

Virgilio, M., K. Jordaens, C. Verwimp, I. M. White and M. De Meyer. 2015. Higher phylogeny of frugivorous flies (Diptera, Tephritidae, Dacini): Localised partition conflicts and a novel generic classification. Molecular Phylogenetics and Evolution 85: 171-179.

ผลของการปรับพีเอชด้วยโซเดียมไบคาร์บอเนตต่อคุณลักษณะของน้ำเวย์ที่ได้จากกระบวนการผลิตมอสซาเรลลาชีสน้ำนมแพะ

Effects of Adjusting pH Using Sodium Bicarbonate on Properties of Whey Produced from Goat Milk Mozzarella Cheese Process

ปฐมา แทนนาค[1*] ใยไหม ช่วยหนู[1] ธรรมธวัช แสงงาม[1] วันวิสาข์ วัฒนะพันธ์ศักดิ์[1]
ภาวิณี จำปาคำ[2] นริศรา ยิ่งกำแหง[2] และ ศศิธร นาคทอง[2]

Pathama Thannark[1*], Yaimai Chuaynoo[1], Thamthawat Seangngam[1], Wanwisa Wattanapunsak[1], Phawinee Jampakam[2], Naritsara Yingkamhaeng[2] and Sasitorn Nakthong[2]

[1] ศูนย์วิจัยและบริการวิชาการ คณะเกษตร กำแพงแสน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน จ. นครปฐม 73140

[1] Research and Academic Service Center, Faculty of Agriculture at Kamphaeng Saen,
Kasetsart University Kamphaeng Saen Campus, Nakhon Pathom 73140, Thailand

[2] โครงการจัดตั้งภาควิชานวัตกรรมอาหารปลอดภัย คณะเกษตร กำแพงแสน
มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน จ. นครปฐม 73140

[2] Department of Agricultural Bio-resources and Food, Faculty of Agriculture at Kamphaeng Saen,
Kasetsart University, Kamphaeng Saen Campus, Nakhon Pathom 73140, Thailand

**Corresponding author: Email: fagrpat@ku.ac.th*

(Received: 14 February 2022; Accepted: 17 May 2022)

Abstract: The process of making mozzarella cheese from 10-kilogram raw goat milk yielded 8.26 percent of cheese, 90.41 percent of acid whey and 0.97 percent of process losses. This process resulted in large amounts of sour taste whey (pH of 4.4 - 4.6), which could not be consumed. This study aimed to make use of by-product whey by adjusting the pH level with sodium bicarbonate to 4.8, 5.0, 5.2, 5.4 and 5.6. A completely randomized design (CRD) was used. The results showed that the fat amount in sodium bicarbonate-adjusted treatments was significantly higher than the control treatment (P < 0.05). However, there was no significant difference found in the amount of protein, lactose and solids (P > 0.05) in each treatment. Sensory evaluation using 9-point hedonic scale by 10 trained panelists for the comparison of control and sodium bicarbonate-adjusted treatments was conducted. The sensory score revealed that there was no significant difference in appearance (color) and texture (consistency) (P > 0.05). On the other hand, the texture (mouthfeel), flavor and overall acceptance score were statistically different and the highest sensory score was rated in the sodium bicarbonate-adjusted treatment at pH level of 5.6 (P < 0.05).

Keywords: Acid whey, by-product, sodium bicarbonate, goat milk

Copyright @ Journal of Agriculture, Faculty of Agriculture, Chiang Mai University. All rights reserved.

บทคัดย่อ: การผลิตมอสซาเรลลาชีสจากน้ำนมแพะดิบ จำนวน 10 กิโลกรัม ผลิตชีสได้ 8.62 เปอร์เซ็นต์ น้ำเวย์ 90.41 เปอร์เซ็นต์ และมีปริมาณการสูญเสียระหว่างกระบวนการผลิต 0.97 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งน้ำเวย์เป็นผลพลอยได้จากกระบวนการผลิตมอสซาเรลลาชีส มีค่า pH ที่ 4.4 - 4.6 มีรสเปรี้ยวไม่สามารถบริโภคได้ การศึกษานี้จึงนำน้ำเวย์มาปรับระดับ pH ด้วยโซเดียมไบคาร์บอเนต 5 กลุ่มการทดลอง ที่ระดับ pH 4.8, 5.0, 5.2, 5.4 และ 5.6 วางแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ (Completely Randomized Design , CRD) โดยศึกษาองค์ประกอบของน้ำเวย์ พบว่า ปริมาณไขมันแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) โดยกลุ่มที่มีการปรับด้วยโซเดียมไบคาร์บอเนตมีปริมาณไขมันสูงกว่ากลุ่มควบคุม แต่ปริมาณโปรตีน น้ำตาลแลกโตส และของแข็งไม่รวมมันเนยไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P > 0.05$) และศึกษาลักษณะทางประสาทสัมผัสของผู้ทดสอบที่ได้รับการฝึกฝน จำนวน 10 คน ด้วยวิธีการทดสอบแบบ 9-Point hedonic scale พบว่า ลักษณะปรากฏ (สี) ลักษณะเนื้อสัมผัส (ความข้น) ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P > 0.05$) แต่ลักษณะเนื้อสัมผัส (ความรู้สึกขณะกลืน) รสชาติ และการยอมรับได้แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) โดยผลการทดสอบน้ำเวย์ที่ปรับด้วยโซเดียมไบคาร์บอเนตที่ระดับ pH 5.6 ได้คะแนนสูงสุดจากผู้ทดสอบ

คำสำคัญ: แอซิดเวย์ ผลพลอยได้ โซเดียมไบคาร์บอเนต น้ำนมแพะ

บทนำ

นมแพะเป็นแหล่งสารอาหารที่สำคัญชนิดหนึ่งจากสัตว์เลี้ยงลูกด้วยนม ปริมาณการผลิตนมแพะเพิ่มขึ้นถึงร้อยละ 30 ภายใน 10 ปี คุณค่าทางโภชนาการและสารอาหารในนมแพะเหมาะที่จะเป็นทางเลือกหนึ่งเพื่อสุขภาพสำหรับผู้บริโภค (Namhong, 2013) ปัจจุบันผู้บริโภคให้ความสนใจและหันมาบริโภคน้ำนมแพะเพิ่มมากขึ้น ส่งผลให้มีการพัฒนาผลิตภัณฑ์จากน้ำนมแพะออกจำหน่ายสู่ท้องตลาดในหลากหลายรูปแบบ เช่น นมแพะพาสเจอร์ไรส์ นมแพะสเตอริไลส์ นมแพะผง และชีส ซึ่งชีสเป็นผลิตภัณฑ์ที่มีความต้องการของตลาดสูง สามารถนำไปประกอบอาหารได้หลายชนิด โดยกระบวนการผลิตชีสจะแตกต่างกันออกไปขึ้นอยู่กับประเภทของชีสนั้น แต่ชีสที่ได้รับความนิยมในการบริโภค คือ ชีสยืด หรือ มอซซาเลลาชีส โดยกระบวนการผลิตมอซซาเลลาชีสจะเป็นการตกตะกอนโปรตีนเคซีนด้วยกรดอะซีติก (acetic acid) เป็นการคัดแยกโปรตีนเคซีนในน้ำนม ส่วนโปรตีนที่เหลือจะเป็นโปรตีนเวย์ 20 เปอร์เซ็นต์ (alpha lactalbumin, beta lactoglobulin, bovine serum albumin, immuoglobulins และ proteose peptone) ซึ่งเวย์ที่เกิดจากกระบวนการผลิตมอสซาเรลล่าชีสเป็นแอซิดเวย์หรือน้ำเวย์เปรี้ยวจะมีความเป็นกรดจากกรดอะซีติกทำให้น้ำเวย์ที่ได้มีรสเปรี้ยวไม่สามารถนำมาบริโภคได้ โดยในเวย์โปรตีนมีองค์ประกอบของน้ำนมอยู่ครบ แต่ปริมาณองค์ประกอบต่าง ๆ ลดลง เช่น ปริมาณไขมัน และโปรตีน เป็นต้น ซึ่งจากกระบวนการผลิตมอสซาเรลลาชีสจากน้ำนมแพะในสัดส่วน 10 : 1 จะมีน้ำเวย์ที่เหลือจากกระบวนการผลิตถึง 9 กิโลกรัมจากการผลิตมอสซาเรลลาชีส 1 กิโลกรัม

โซเดียมไบคาร์บอเนต ($NaHCO_3$) หรือ เบกกิ้งโซดา มีลักษณะเป็นผงผลึกสีขาว ไม่มีกลิ่น มีน้ำหนักโมเลกุล 84.01 โดยจะใช้สำหรับผลิตอาหารประเภทขนมอบ โดยโซเดียมไบคาร์บอเนตได้รับการอนุญาตให้ใช้ในอาหารโดยมีสถานะเป็น GRAS (generally recognized as safe) โดย FDA (food and drug administration) และโซเดียมไบคาร์บอเนตจัดเป็นสารเคมีราคาถูกที่มีขายตามท้องตลาด และมีค่า pH เป็นด่างที่ประมาณ 8.4 (Thongtid, 2012)

Anema (2018) ศึกษาการปรับระดับ pH ในน้ำนมของนมพร่องมันเนยและนมพร่องมันเนยที่เติมเวย์โปรตีน 0.75 เปอร์เซ็นต์ ส่งผลต่อระดับซีรัมโปรตีนและเวย์โปรตีนเมื่อ pH เพิ่มขึ้นจาก pH 6.5 เป็น pH 7.1 และ Muhammad *et al.* (2018) ศึกษาการทำเวย์ให้เป็นกลางด้วยความเข้มข้นที่แตกต่างกันของโซเดียม

ไฮดรอกไซด์และโซเดียมไบคาร์บอเนต พบว่า กลุ่มควบคุมและกลุ่มที่เติม 0.1 N โซเดียมไบคาร์บอเนต พบปริมาณโปรตีนลดลงเล็กน้อยอาจเกิดจากโปรตีนบางส่วนเสียสภาพ และเกิดจากการเสียสภาพของ beta-lactoglobulin แต่ยังไม่มีงานวิจัยการปรับระดับ pH ด้วยโซเดียมไบคาร์บอเนตในน้ำเวย์น้ำนมแพะ

ดังนั้นงานวิจัยนี้เพื่อศึกษาผลการปรับ pH ของน้ำเวย์ที่เหลือจากกระบวนการผลิตมอสซาเรลลาชีส เป็นการใช้ประโยชน์จากผลพลอยได้ (by product) ที่เกิดจากกระบวนการผลิต และเพิ่มมูลค่าให้กับน้ำเวย์

อุปกรณ์และวิธีการ

การเตรียมน้ำเวย์

1. น้ำนมแพะดิบจากกลุ่มสมาชิกเกษตรกรผู้เลี้ยงแพะนมปลอดโรคจากจังหวัดราชบุรี จำนวน 300 กิโลกรัม (จำนวน 2 ซ้ำ ๆ ละ 30 กิโลกรัม 5 กลุ่มการทดลอง) มาผลิตมอสซาเรลลาชีส เพื่อให้ได้น้ำเวย์ ขั้นตอนการผลิตมอสซาแรลล่าชีส คือ นำน้ำนมแพะที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส ใช้เอนไซม์เรนเนทในการตกตะกอนโปรตีนที่ 0.01 เปอร์เซ็นต์ เติมน้ำส้มสายชูความเข้มข้น 5 เปอร์เซ็นต์ (distilled vinegar 5 percent acidity) จำนวน 0.2 เปอร์เซ็นต์ ต่อกิโลกรัมของน้ำนม และเติมโยเกิร์ตรสธรรมชาติ จำนวน 0.1 เปอร์เซ็นต์ ผสมให้เข้ากัน เพิ่มอุณหภูมิน้ำนมให้ได้ 30 องศาเซลเซียส เติมกรดอะซีติก ให้ค่า pH ได้ที่ 4.6 หลังจากนั้น ให้ความร้อนต่อด้วยไฟอ่อนประมาณ 15 นาที แยกน้ำเวย์ออกจากมอสซาเรลลาชีส (Chanakot *et al*., 2020) โดยค่า pH ของน้ำเวย์จะอยู่ที่ 4.6 (จุด isoelectric point) จากนั้นนำน้ำเวย์มาปรับค่า pH ตามกลุ่มการทดลอง และให้ความร้อนระดับพาสเจอร์ไรส์ที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส นาน 5 นาที และนำไปวิเคราะห์ข้อมูล

2. ศึกษาปริมาณมอสซาเรลลาชีสกับน้ำเวย์ที่ได้จากกระบวนการผลิต โดยการชั่งน้ำหนักด้วยเครื่องชั่งดิจิตอล ทศนิยม 2 ตำแหน่ง (Sartorius MC1 model LC4200S, Germany) และศึกษาองค์ประกอบน้ำเวย์ด้วยเครื่องอัตโนมัติ Combi Fossomatic FC Milkoscan FT Plus (Foss Electric, Hillreod, Denmark)

3. ศึกษาปริมาณกรดอะมิโน ด้วยวิธี in-house method TE-CH-372 โดยใช้ Amino Acid Analyzer (Biochem, biochem30^{+}) (Official Journal of the European Journal of Communities, 1998), tryptophan ด้วยวิธี in-house method TE-CH-373 ด้วยเครื่อง HPLC (Agilent, 1100) (Çevikkalp *et al.*, 2016) วิตามิน A ด้วยวิธี in-house method TE-CH-024 992.06. วิตามิน B12 ด้วยวิธี in-house method analytica chimica acta 569 (Chen, 2006) แคลเซียม ด้วยวิธี in-house method TE-CH-134 ด้วยวิธี ICP-OES technique (Poitevin, 2009)

การเตรียมโซเดียมไบคาร์บอเนต

1. การเตรียมโซเดียมไบคาร์บอเนต

การเตรียมโซเดียมไบคาร์บอเนตจากเบกกิ้งโซดา ใช้อัตราส่วน เบกกิ้งโซดา 15 กรัม ต่อ น้ำ 300 กรัม คนละลายให้เข้ากัน วัดค่า pH ของโซเดียมไบคาร์บอเนต ที่ 8.49 ที่อุณหภูมิ 29 องศาเซลเซียส

2. นำน้ำเวย์ที่เหลือจากกระบวนการผลิตมอสซาเรลลาชีสมาแบ่งออกเป็น 5 กลุ่มการทดลอง โดยควบคุมอุณหภูมิให้เท่ากันทุกกลุ่มการทดลอง ได้แก่

2.1 กลุ่มการทดลองปรับค่า pH ที่ 4.8 ด้วยน้ำโซเดียมไบคาร์บอเนตที่อุณหภูมิ 29 องศาเซลเซียส

2.2 กลุ่มการทดลองปรับค่า pH ที่ 5.0 ด้วยน้ำโซเดียมไบคาร์บอเนตที่อุณหภูมิ 29 องศาเซลเซียส

2.3 กลุ่มการทดลองปรับค่า pH ที่ 5.2 ด้วยน้ำโซเดียมไบคาร์บอเนตที่อุณหภูมิ 29 องศาเซลเซียส

2.4 กลุ่มการทดลองปรับค่า pH ที่ 5.4 ด้วยน้ำโซเดียมไบคาร์บอเนตที่อุณหภูมิ 29 องศาเซลเซียส

2.5 กลุ่มการทดลองปรับค่า pH ที่ 5.6 ด้วยน้ำโซเดียมไบคาร์บอเนตที่อุณหภูมิ 29 องศาเซลเซียส

3. การทดสอบลักษณะทางประสาทสัมผัสของน้ำเวย์โดยผู้ตรวจชิมที่ได้รับการฝึกฝนแล้ว จำนวน 10 คน โดยใช้การทดสอบแบบ 9-point hedonic scale ทดสอบลักษณะปรากฏและสี ลักษณะเนื้อสัมผัส รสชาติ และการยอมรับ

การวิเคราะห์และบันทึกข้อมูล

1. การวิเคราะห์และบันทึกข้อมูลน้ำเวย์

1.1 บันทึกปริมาณมอสซาเรลลาชีสกับน้ำเวย์โดยการชั่งน้ำหนักด้วยเครื่องชั่งดิจิตอล ทศนิยม 2 ตำแหน่ง และศึกษาองค์ประกอบน้ำเวย์ด้วยเครื่องอัตโนมัติ Combi Fossomatic FC Milkoscan FT Plus

1.2 วิเคราะห์ และบันทึกข้อมูลองค์ประกอบของน้ำเวย์ที่เหลือจากกระบวนการผลิตมอสซาเรลลาชีส เช่น ไขมัน โปรตีน น้ำตาลแลกโตส ด้วยเครื่องวิเคราะห์เครื่องอัตโนมัติ Combi Fossomatic FC Milkoscan FT Plus pH ด้วยเครื่อง (pH meter) รุ่น C830 และค่าความเป็นกรดตามวิธีของ Nakthong (2012)

1.3 วิเคราะห์ และบันทึกข้อมูลองค์ประกอบของน้ำเวย์ที่ปรับระดับ pH ด้วยโซเดียมไบคาร์บอเนต เช่น ไขมัน โปรตีน น้ำตาลแลกโตส ด้วยเครื่องวิเคราะห์เครื่องอัตโนมัติ Combi Fossomatic FC Milkoscan FT Plus pH ด้วยเครื่อง (pH meter) รุ่น C830 และค่าความเป็นกรดตามวิธีของ Nakthong (2012)

1.4 วิเคราะห์ และบันทึกข้อมูลกรดอะมิโน ด้วยวิธี in-house method TE-CH-372 โดยใช้ Amino Acid Analyzer (Biochem, biochem30^{+}) (Official Journal of the European Journal of Communities, 1998) tryptophan ด้วยวิธี in-house method TE-CH-373 ด้วยเครื่อง HPLC (Agilent, 1100) (Çevikkalp *et al.*, 2016) วิตามิน A ด้วยวิธี in-house method TE-CH-024 992.06. วิตามิน B12 ด้วยวิธี in-house method analytica chimica acta 569 (Chen, 2006) แคลเซียม ด้วยวิธี in-house method TE-CH-134 ด้วยวิธี ICP-OES technique (Poitevin, 2009)

1.5 การทดสอบลักษณะทางประสาทสัมผัสของน้ำเวย์โดยผู้ตรวจชิมที่ได้รับการฝึกฝนแล้ว จำนวน 10 คน โดยใช้การทดสอบแบบ 9-point hedonic scale

การวิเคราะห์ข้อมูล

นำข้อมูลที่ได้ทั้งหมดมาวิเคราะห์ค่าความแปรปรวน (analysis of variance: ANOVA) และวิเคราะห์ความแตกต่างระหว่างทรีทเมนต์ด้วย Duncan's new multiple range test (DMRT) ตามแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ (completely randomized design: CRD) ด้วยโปรแกรมสำเร็จรูป R 2.10.1 (Jompuk, 2012)

ผลการศึกษาและวิจารณ์

ลักษณะทางกายภาพ

ลักษณะทางกายภาพของน้ำเวย์ที่เหลือจากกระบวนการผลิตมอสซาเรลลาชีสสังเกตด้วยตาเปล่า พบว่า น้ำเวย์เป็นของเหลวใสสีเหลืองอ่อนอมเขียวอ่อน (Figure 1)

Figure 1. Acid whey from goat milk mozzarella cheese processing

ปริมาณ

ปริมาณมอสซาเรลลาชีสจากน้ำนมแพะดิบ (Table 1) พบว่า การผลิตชีสจากน้ำนมแพะดิบ จำนวน 10 กิโลกรัม ได้น้ำหนักสุทธิหลังจากกระบวนการผลิตที่ 10.32 กิโลกรัม (จากการเติมโยเกิร์ต จำนวน 100 กรัม น้ำส้มสายชู 200 กรัม และกรดซิตริกประมาณ 20 กรัม) ผลิตมอสซาเรลลาชีสได้น้ำหนัก 890 กรัม น้ำหนักน้ำเวย์ 9.33 กิโลกรัม และปริมาณการสูญเสียระหว่างกระบวนการผลิต 100 กรัม ถ้าคิดเป็นเปอร์เซ็นต์ ปริมาณน้ำนม 10 กิโลกรัม สามารถผลิตมอสซาเรลลาชีสได้ 8.62 เปอร์เซ็นต์ ปริมาณน้ำเวย์ 90.41 เปอร์เซ็นต์ และปริมาณการสูญเสียระหว่างกระบวนการผลิต 0.97 เปอร์เซ็นต์

องค์ประกอบน้ำนมของแอซิดเวย์ (acid whey)

ค่าเฉลี่ยองค์ประกอบน้ำนมของน้ำเวย์ที่เหลือจากกระบวนการผลิตมอสซาเรลลาชีส (Table 2) พบว่า มีปริมาณไขมัน 1.16 เปอร์เซ็นต์ โปรตีน 1.16 เปอร์เซ็นต์ น้ำตาลแลคโตส 4.74 เปอร์เซ็นต์ ของแข็งไม่รวมไขมัน (solid not fat) 6.42 เปอร์เซ็นต์ ของแข็งทั้งหมด (total solids) 7.76 เปอร์เซ็นต์ ค่า pH 4.62 และ ค่าความเป็นกรด 0.65 สอดคล้องกับการทดลองของ Bansal and Bhandari (2016) และ Sarala *et al.* (2012) ได้ศึกษาการพัฒนาเครื่องดื่มเวย์โปรตีนจากมอสซาเรลลาชีสพบว่า เวย์โปรตีนมีปริมาณแลคโตสในน้ำนม (%) 4.5 ± 0.51 โปรตีน (%) 0.9 ± 0.03 ไขมัน (%) 0.5 ± 0.14 ของแข็งทั้งหมด (%) 0.42 ± 0.01 pH 4.2 ที่ 25 องศาเซลเซียส ค่าความเป็นกรด (%) 0.40 ± 0.02 (กรดแลคติก) ซึ่งน้ำเวย์เป็นผลพลอยได้จากการผลิตชีสและคิดเป็น 90 เปอร์เซ็นต์ ของปริมาณน้ำนมที่เข้าสู่กระบวนการผลิต โดยในน้ำเวย์ประกอบด้วยของแข็งทั้งหมดประมาณ 50 เปอร์เซ็นต์ และโปรตีนทั้งหมด 20 เปอร์เซ็นต์ โดยน้ำเวย์มีปริมาณน้ำตาลแลคโตสลดลงของแข็งทั้งหมดเพิ่มขึ้น เนื่องจากการขจัดแร่ธาตุของเคซีนไมเซลล์ที่เหนี่ยวนำโดยการทำให้เป็นกรด (Bansal and Bhandari, 2016)

Table 1. Mozzarella cheese and acid whey from raw goat Milk

Goat milk	Weight	Mozzarella cheese	Acid whey	Lose
10 kg	10.32 kg	890 g	9.33 kg	100 g
	100 %	8.62 %	90.41 %	0.97 %

Table 2. Compositions of acid whey

Component (%)	Acid whey
Fat	1.16
Protein	1.16
Lactose	4.74
Solid not fat	6.42
Total solids	7.76
pH	4.62
Acidity	0.65

ปริมาณกรดอะมิโน

ปริมาณกรดอะมิโนของน้ำเวย์ (Table 3) พบว่า ปริมาณกรดอะมิโนลดลง เมื่อเทียบกับการวิเคราะห์ กรดอะมิโนในน้ำนมแพะดิบของ Rutherfurd *et al*. (2018) พบว่า น้ำนมแพะดิบมีปริมาณกรดอะมิโน (mg/g) histidine 186, isoleucine 317, leucine 610, lysine 520, phenylalanine 330, threonine 335, tryptophan 104, tyrosine 265, valine 480, cysteine 61 และ methionine 165 ซึ่งกระบวนการผลิตมอสซาเรลลาชีสส่งผลให้ปริมาณกรดอะมิโนลดลงแต่ในน้ำเวย์ยังตรวจพบกรดอะมิโนที่ยังเหลืออยู่และเป็นกลุ่มกรดอะมิโนที่มีความจำเป็นต่อร่างกายและต้องได้รับจากอาหารที่รับประทาน เช่น isoleucine, leucine, lysine, phenylalanine, threonine, tryptophan และ valine โดยเฉพาะ isoleucine, leucine และ valine ที่ถูกนำไปเป็นส่วนผสมหลักของอาหารเสริม และมีการแนะนำให้บริโภคกรดอะมิโนกลุ่มนี้ประมาณ 200 มิลลิกรัมต่อน้ำหนักตัว 1 กิโลกรัม ซึ่งในน้ำเวย์มีปริมาณกรดอะมิโนทั้ง 3 ชนิด รวมกันที่ 153.07 มิลลิกรัมต่อ 100 มิลลิลิตร ซึ่งต้องหากรดอะมิโนจากแหล่งอื่นเพิ่มเติมเพื่อรวมกันถึง 2.42 กรัมต่อหนึ่งหน่วยบริโภค (200 มิลลิกรัม) โดยจะครอบคลุมประมาณ 40 เปอร์เซ็นต์ ของปริมาณขั้นต่ำที่แนะนำต่อวัน และ 6 กรัมต่อวัน สำหรับผู้ที่เล่นกีฬา (Martinez Sanz *et al*., 2017)

Table 3. Amino acid profile of acid whey

Amino acid profile	Acid whey (mg/100 ml)
Aspartic acid	77.28
Threonine	49.33
Serine	41.63
Glutamic acid	135.74
Glycine	21.57
Alanine	44.47
Cystine	<40.00
Valine	46.75
Methionine	Not detected
Isoleucine	39.73
Leucine	66.59
Tyrosine	<50.00
Phenylalanine	<50.00
Histidine	Not detected
Hydroxyproline	Not detected
Proline	44.59
Tryptophan	44.46

วิตามิน A วิตามิน B12 และแคลเซียม

ผลการศึกษา พบว่า น้ำเวย์ที่ได้จากกระบวนการผลิตมอสซาเรลลาน้ำนมแพะมีวิตามิน A 16.06 ไมโครกรัมต่อ 100 มิลลิลิตร วิตามิน B 12 (cyanocobalamin) 0.009 มิลลิกรัมต่อ 100 มิลลิลิตร และ calcium (Ca) 70.65 มิลลิกรัมต่อ 100 มิลลิลิตร (Table 4) ซึ่งแคลเซียมในน้ำเวย์ไม่สูญหายจากกระบวนการผลิตมอสซาเรลลาชีส สอดคล้องกับการทดลองของ Garay *et al*., (2021) ที่ศึกษาองค์ประกอบน้ำเวย์ของน้ำนมแพะ พบว่า ปริมาณแคลเซียม calcium (มิลลิกรัมต่อ 100 มิลลิลิตร) 40.49 ± 1.18 มิลลิกรัมต่อ 100 มิลลิลิตร

การปรับน้ำเวย์ด้วยโซเดียมไบคาร์บอเนต

ผลการศึกษาองค์ประกอบน้ำเวย์ที่ปรับด้วยโซเดียมไบคาร์บอเนตที่ระดับ pH 4.8, 5.0, 5.2, 5.4 และ 5.6 มองด้วยตาเปล่าไม่แตกต่างกัน โดยสีของน้ำเวย์ทุกกลุ่มการทดลองเป็นสีขาวขุ่นออกเหลือง (Figure 2) และองค์ประกอบน้ำนม ได้แก่ ปริมาณโปรตีน น้ำตาลแลคโตส และของแข็งไม่รวมมันเนย ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P > 0.05$) แต่ปริมาณไขมัน และของแข็งทั้งหมด แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) (Table 5)โดยปริมาณไขมันของน้ำเวย์ที่ปรับด้วยโซเดียมไบคาร์บอเนตที่ระดับ 4.8 มีปริมาณไขมันสูงสุด เมื่อเปรียบเทียบกับกลุ่มทดลองอื่น ๆ และในกลุ่มการทดลองที่ถูกปรับระดับด้วยโซเดียมไบคาร์บอเนตมีปริมาณไขมันลดลงตามการปรับระดับ pH ที่สูงขึ้น เนื่องจากการปรับระดับด้วยโซเดียมไบคาร์บอเนต เป็นการเพิ่มน้ำเข้าไปในน้ำเวย์ โดยปกติน้ำนมเป็นอาหารที่มีความสมดุลที่เหมาะสมของธาตุอาหาร และจัดเป็นอิมัลชันชนิดน้ำมันในน้ำ (Wanphaisan, 2019) ถึงแม้นำมาผ่านกระบวนการผลิตชีสที่ใช้กรดตกตะกอนโปรตีนทำให้เสียความสมดุลของธาตุอาหาร แต่น้ำเวย์ยังเป็นอิมัลชั่นชนิดน้ำมันในน้ำตามสภาพน้ำนมเดิม และเมื่อมีการเติมน้ำเข้าก็จะไปลดความเข้มข้นของสารอาหารส่งผลให้ปริมาณไขมันและโปรตีนมีปริมาณลดลงเมื่อมีการปรับระดับ pH ที่สูงขึ้น (Rahman *et al*., 2018)

ผลคะแนนการทดสอบลักษณะทางประสาทสัมผัส (Table 6) ของน้ำเวย์ที่ปรับด้วยโซเดียมไบ-คาร์บอเนต พบว่า ลักษณะปรากฏ (สี) และลักษณะเนื้อสัมผัส (ความข้น) ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P > 0.05$) แต่ลักษณะเนื้อสัมผัส (ความรู้สึกขณะกลืน) รสชาติ และการยอมรับได้แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) โดยผลการทดสอบผู้ตรวจชิมให้คะแนนน้ำเวย์ที่ปรับด้วยโซเดียมไบ-คาร์บอเนตที่ระดับ pH 5.6 สูงที่สุด สอดคล้องกับการทดลองของ Sulejmani *et al*. (2021) ได้ศึกษาสมบัติทางวิศวกรรมของอาหารโครงสร้างจุลภาคและคุณสมบัติทางประสาทสัมผัสของแยมนมไขมันต่ำ : จากอินนูลิน ปริมาณซูโครส โซเดียมไบคาร์บอเนตและแคลเซียมคลอไรด์ พบว่า ความสามารถในการ-กระจายตัว ความนุ่ม ความเป็นเนื้อเดียวกันและเรียบเนียนในแยมนมที่มีส่วนผสมของโซเดียมไบคาร์บอเนตซึ่งเป็นผลมาจากการปรับสภาพกรดให้เป็นกลางและผลกระทบต่อความเสถียรทางความร้อนของโปรตีนในกระบวนการผลิตมอสซาเรลลาชีส

Table 4. Vitamin A, vitamin B12 and calcium in acid whey

Parameters	Acid whey
Vitamin A	16.06 µg /100 ml
Vitamin B12 (cyanocobalamin)	0.009 mg /100 ml
Calcium (Ca)	70.65 mg /100 ml

(a)

(b)

(c)

(d)

(e)

Figure 2. Acid whey added with different levels of sodium bicarbonate (a) pH 4.8 (b) pH 5.0 (c) pH 5.2 (d) pH 5.4 and (e) pH 5.6

Table 5. Acid whey added levels of sodium bicarbonate to pH 4.8 - 5.6

pH at 29 °C	Fat	Protein	Lactose	SNF	TS
control	1.16 ± 0.32^{b}	1.16 ± 0.04	4.74 ± 0.01	6.42 ± 0.06	7.76 ± 0.28^{b}
4.8	1.67 ± 0.07^{a}	1.19 ± 0.04	4.69 ± 0.10	6.48 ± 0.16	8.24 ± 0.22^{a}
5.0	1.52 ± 0.06^{ab}	1.17 ± 0.02	4.72 ± 0.03	6.51 ± 0.08	8.10 ± 0.00^{ab}
5.2	1.48 ± 0.10^{ab}	1.19 ± 0.00	4.67 ± 0.11	6.52 ± 0.11	8.03 ± 0.00^{ab}
5.4	1.34 ± 0.04^{ab}	1.16 ± 0.03	4.61 ± 0.00	6.48 ± 0.07	7.82 ± 0.00^{b}
5.6	1.36 ± 0.20^{ab}	1.18 ± 0.01	4.67 ± 0.17	6.59 ± 0.16	7.91 ± 0.03^{ab}
CV (%)	11.81	2.59	2.08	2.83	1.28

Means in the same column followed by different superscripts significantly differ ($P < 0.05$)

Table 6. Sensory of acid whey added levels of sodium bicarbonate to pH 4.8 - 5.6

pH at 29 °C	Appearance	Consistency	Mouthfeel	Flavor	Acceptance
Acid whey (control)	5.83 ± 0.32	4.66 ± 0.04	3.75 ± 0.01^{c}	4.12 ± 0.06^{b}	3.92 ± 0.28^{b}
4.8	5.00 ± 2.08	4.42 ± 1.93	3.58 ± 1.88^{c}	3.41 ± 1.83^{b}	3.25 ± 1.82^{c}
5.0	5.33 ± 1.67	4.83 ± 1.40	$3.91 \pm 1.93b^{c}$	4.25 ± 1.86^{ab}	4.17 ± 1.80^{bc}
5.2	6.33 ± 1.30	5.33 ± 2.15	$5.08 \pm 2.07ab^{c}$	5.50 ± 2.32^{a}	5.16 ± 2.41^{abc}
5.4	5.67 ± 1.69	5.58 ± 2.06	$5.58 \pm 2.50a^{b}$	5.41 ± 2.64^{ab}	5.75 ± 2.49^{ab}
5.6	5.50 ± 1.31	5.91 ± 2.06	6.08 ± 2.43^{a}	6.25 ± 2.49^{a}	6.33 ± 2.53^{a}
CV (%)	29.37	37.20	44.88	45.37	45.28

Means in the same column followed by different superscripts significantly differ ($P < 0.05$)

สรุป

น้ำเวย์มีองค์ประกอบของน้ำนมครบถ้วน ถึงแม้มีปริมาณลดลง เพราะปริมาณองค์ประกอบน้ำนมส่วนใหญ่อยู่ที่มอสซาเรลลาชีส และการปรับ pH ด้วยโซเดียมไบคาร์บอเนตในน้ำเวย์ที่ปริมาณเพิ่มขึ้นส่งผลให้ปริมาณไขมันลดลง แต่การปรับระดับ pH ที่สูงขึ้น ทำให้ผู้ตรวจชิมให้คะแนนการยอมรับได้เพิ่มขึ้น ดังนั้นสามารถนำน้ำเวย์ที่ปรับระดับความเป็นกรดด้วยโซเดียมไบคาร์บอเนตที่ pH 5.6 ไปต่อยอดเป็นผลิตภัณฑ์ เช่น นมเปรี้ยว โยเกิร์ต หรือน้ำเวย์พร้อมดื่มรสชาติต่าง ๆ เพื่อเพิ่มการใช้ประโยชน์ได้ของผลพลอยได้ที่เหลือจากกระบวนการผลิต เพิ่มทางเลือกกลุ่มผลิตภัณฑ์จากน้ำนมแพะ และเป็นการเพิ่มมูลค่าผลิตภัณฑ์ต่อไป

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณทุนสนับสนุนจากโครงการทุนนักวิจัยรุ่นใหม่ สถาบันวิจัยและพัฒนาแห่งมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ (Kasetsart University Research and Development Institute, KURDI) และคณะเกษตร กำแพงแสน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน

เอกสารอ้างอิง

Anema, S.G. 2018. Effect of whey protein addition and pH on the acid gelation of heated skim milk. International Dairy Journal 79: 5-14.

Bansal, N. and B. Bhandari. 2016. Functional milk proteins: Production and utilization - Whey-based ingredients. pp. 67-98. *In*: P.L.H. McSweeney and J.A. O'Mahony (eds.). Advanced Dairy Chemistry. Springer, New York.

Çevikkalp S.A., G.B. Löker, M. Yaman and B. Amoutzopoulos. 2016. A simplified HPLC method for determination of tryptophan in some cereals and legumes. Food Chemistry 193: 26-29.

Chanakot, B., S. Chauchom and S. Nakthong. 2020. Study on optimum rennet enzyme level on mozzarella cheese from cow milk and goat milk. Journal of Agricultural Science and Management 3(2): 81-86. (in Thai)

Garay P.A., F.J. Villalva, N.F. Paz, E.G. de Oliveira, C. Ibarguren, J.C. Alcocer, C.A. Curti and A.N. Ramon. 2021. Formulation of a protein fortified drink based on goat milk whey for athletes. Small Ruminant Research 201: doi: 10.1016/j.smallrumres.2021.106418.

Jompuk, C. 2012. Statistics: Experimental design. and Data Analysis in Plant Research with “R”. 2nd ed. Kasetsart University Press, Bangkok. 350 p. (in Thai)

Martinez Sanz, J.M., A. Norte, E.S. García and I. Sospedra. 2017. Branched chain amino acids and sports nutrition and energy homeostasis. pp. 351-362 *In*: D. Bagchi (ed.). Sustained Energy for Enhanced Human Functions and Activity. Academic Press, London.

Muhammad, A., Y. Durrani, M.S. Hashmi, I.M. Qazi, M. Ayub and S. Saifullah. 2018. Whey neutralization with different concentration of sodium hydroxide and sodium bicarbonate. Sarhad Journal of Agriculture 34(4): 910-916.

Namhong, T. 2013. Goat milk : Alternative for human health benefit. RMUTSB Academic Journal (Humanities and Social Sciences) 1(2): 170-178. (in Thai)

Nakthong, S. 2012. Laboratory Principles of Milk Science. Faculty of Agriculture, Kamphaeng Saen. 1st ed. Faculty of Agriculture, Kasetsart University. Min Service Supply, Bangkok. 135 p. (in Thai)

Official Journal of the European Journal of Communities. 1998. Determination of amino acids. (Online). Available: https://eur-lex.europa.eu/legalcontent/EN/TXT/PDF/?uri=CELEX:31998L0064&from=HU (February 21, 2022).

Poitevin E., M. Nicolas, L. Graveleau, J. Richoz, D. Andrey and F. Monard. 2009. Improvement of AOAC official method 984.27 for the determination of nine nutritional elements in food products by inductively coupled plasma-atomic

emission spectroscopy after microwave digestion: single-laboratory validation and ring trial. Journal of AOAC International 92(5): 1484-1518.

Thongtid, R. 2012. The use of sodium bicarbonate in the production of frozen shrimp. M.S. Thesis. Silpakorn University, Bangkok. 70 p. (in Thai)

Rahman, M.M, N. Islam, H.-U. Rashid and A.K.M. Masum. 2018. Effects of Sodium bicarbonate on milk preservation. Research in Agriculture Livestock and Fisheries 5(1): 75-85.

Rutherfurd, S.M, P.J Moughan, D. Lowry and C.G. Prosser. 2008. Amino acid composition determined using multiple hydrolysis times for three goat milk formulations. International Journal of Food Sciences and Nutrition 59(7-8): 679-690.

Sarala, P., P. Ojha and I. Subedi. 2012. Development of whey protein beverage from mozzarella cheese whey. pp. 123-130. *In*: Proceedings of National Conference on Food Science and Technology (Food Conference-2012), Kathmandu, Nepal.

Sulejmani, E., O.S. Boran, T. Huppertz and A.A. Hayaloglu. 2021. Rheology, microstructure and sensory properties of low-fat milk jam: Influence of inulin type, sucrose content, sodium bicarbonate and calcium chloride. International Dairy Journal 123: 105162, doi: 10.1016/j.idairyj.2021.105162.

Wanphaisan, P. 2019. Mother's milk contains important nutrients for infants. (Online). Available: http://healthydee.moph.go.th/view_article.php?id=484 (March 21, 2022) (in Thai)

สภาพการปลูกหม่อนเลี้ยงไหมของเกษตรกรภายใต้ โครงการตามพระราชประสงค์ ดอนขุนห้วย จังหวัดเพชรบุรี

Sericulture Practices of Farmers Under the Don Khun Huai Royal Initiative Project, Phetchaburi Province

วัชรา ปิ่นทอง*
Watchara Pinthong*

คณะสัตวศาสตร์และเทคโนโลยีการเกษตร มหาวิทยาลัยศิลปากร วิทยาเขตสารสนเทศเพชรบุรี จ. เพชรบุรี 76120
Faculty of Animal Sciences and Agricultural Technology, Silpakorn University,
Phetchaburi Information Technology Campus, Phetchaburi 76120, Thailand
**Corresponding author: Email: pinthong_w@silpakorn.edu*

(Received: 23 August 2021; Accepted: 14 March 2022)

Abstract: This research aims to study on mulberry planting and silkworm rearing pattern of farmers under Don Khun Huai Royal Initiative Project, Phetchaburi province. Data on mulberry cultivation, silkworm rearing, natural dyeing, and weaving from farmers was collected by individual interviewing and focus group discussion. They were analyzed by the content analysis. The results showed that farmers had knowledge of mulberry cultivation and silkworm rearing from personal experiences without systematically transmitted. Moreover, there were problems, including the development needs of farmers that should have received knowledge transfer including 1) aid management to increase fertility and alleviate soil moisture content deficit, especially during dry season, 2) knowledge on using natural products for silk threads to provide a wide range of colors, and 3) authentic fabric pattern as local identity. The results would be applied on education planning for farmers as well as knowledge management for rehabilitation and promotion of mulberry cultivation and silkworm rearing in Don Khun Huai area.

Keywords: Sericulture, community economy, knowledge management, Don Khun Huai, Phetchaburi

Copyright @ Journal of Agriculture, Faculty of Agriculture, Chiang Mai University. All rights reserved.

บทคัดย่อ: การศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษารูปแบบการปลูกหม่อนและเลี้ยงไหมของเกษตรกรในโครงการตามพระราชประสงค์ดอนขุนห้วย จังหวัดเพชรบุรี ดำเนินการเก็บข้อมูลด้านการปลูกหม่อน เลี้ยงไหม การย้อมผ้าด้วยสีธรรมชาติและการทอผ้า จากกลุ่มเกษตรกรโดยวิธีการสัมภาษณ์รายบุคคล การสนทนากลุ่ม และวิเคราะห์ข้อมูลโดยการสังเคราะห์เนื้อหา ผลการศึกษาพบว่า เกษตรกรมีความรู้ในปลูกหม่อนและเลี้ยงไหมที่เกิดจากประสบการณ์ส่วนบุคคลที่ไม่ได้มีการถ่ายทอดอย่างเป็นระบบ นอกจากนี้ พบปัญหารวมทั้งความต้องการพัฒนาของเกษตรกรที่ควรได้รับการถ่ายทอดความรู้ ได้แก่ 1) การจัดการทรัพยากรดินเพื่อเพิ่มอุดมสมบูรณ์และบรรเทาปัญหาการขาดความชื้นของดินโดยเฉพาะในฤดูแล้ง 2) ความรู้เรื่องการใช้ผลิตภัณฑ์ธรรมชาติที่เพื่อการย้อมเส้นไหมเพื่อให้ได้สีที่หลากหลาย และ 3) การสร้างลายผ้าที่เป็นอัตลักษณ์ของพื้นที่ ผลการศึกษาสามารถนามาใช้วางแผนการให้ความรู้แก่เกษตรกรกลุ่มและวางแผนการจัดการความรู้เพื่อเป็นประโยชน์ในการฟื้นฟูและส่งเสริมอาชีพการปลูกหม่อนและเลี้ยงไหมในพื้นที่ดอนขุนห้วยต่อไป

คำสำคัญ: การปลูกหม่อมเลี้ยงไหม เศษฐกิจชุมชน การจัดการความรู้ ดอนขุนห้วย เพชรบุรี

บทนำ

โครงการตามพระราชประสงค์ดอนขุนห้วย จังหวัดเพชรบุรี เป็นโครงการในพระบาทสมเด็จพระบรมชนกาธิเบศร มหาภูมิพลอดุลยเดชมหาราช บรมนาถบพิตร ที่ทรงมีพระราชดำริ ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2514 เพื่อจัดหาที่ดินรกร้างให้ราษฎรเพื่อใช้ในการประกอบอาชีพด้านการเกษตรจำนวนครอบครัวละ 15 ไร่ และให้ส่วนราชการต่าง ๆ ร่วมจัดตั้งโครงการพัฒนาพื้นที่ ด้วยทรงมีพระราชดำริว่าเกษตรกรไม่สามารถพึ่งพาผลผลิตพืชผลทางการเกษตรเพียงอย่างเดียว เนื่องจากความไม่แน่นอนของธรรมชาติรวมทั้งความผันผวนของตลาด การส่งเสริมให้เกษตรกรมีรายได้เสริมเป็นสิ่งที่สำคัญ รวมทั้งให้มีการรวมกลุ่มเพื่อการสร้างอาชีพเพื่อเพิ่มการพึ่งพาตนเองและช่วยเหลือซึ่งกันและกัน (The National Legislative Assembly, 2018) ทำให้ต่อมามีการจัดตั้งสหกรณ์การเกษตรดอนขุนห้วย จำกัด เพื่อการดำเนินธุรกิจด้านต่าง ๆ ในรูปของสินเชื่อเงินฝากและจัดตั้งกลุ่มเกษตรกรหลากหลายด้าน (Thurapaeng, 2012)

สำหรับอาชีพปลูกหม่อนเลี้ยงไหมในโครงการตามพระราชประสงค์ดอนขุนห้วย จังหวัดเพชรบุรี เกิดขึ้นจากพระราชเสาวนีย์ของสมเด็จพระนางเจ้าสิริกิติ์ พระบรมราชินีนาถ พระบรมราชชนนีพันปีหลวง ผ่านโครงการศิลปาชีพที่ได้ดำเนินการส่งเสริมให้เกษตรกรมีการปลูกหม่อนเลี้ยงไหม สอนการผลิตเส้นไหมน้อยเพื่อใช้ในงานปักผ้า ภายหลังมีการพระราชทานกี่ทอผ้าให้ชาวบ้าน และรับกลุ่มเกษตรกรผู้ปลูกหม่อนเลี้ยงไหมบ้านดอนขุนห้วยเข้าเป็นสมาชิกศิลปาชีพ และกองงานศิลปาชีพเป็นผู้รับซื้อเส้นไหมจากบ้านดอนขุนห้วย ต่อมาอาชีพการปลูกหม่อนเลี้ยงไหมบ้านดอนขุนห้วยขาดการสืบทอด การส่งต่อรุ่นต่อรุ่น รวมถึงขาดการส่งเสริมด้านการตลาดและความรู้ทางวิชาการประกอบกับชาวบ้านหันไปประกอบอาชีพเกษตรกรรมเชิงเดี่ยว เช่น การปลูกสัปปะรดที่ให้รายได้สูงกว่า แม้ว่าประเทศไทยมีการส่งเสริมการปลูกหม่อนเลี้ยงไหมทั้งจากภาครัฐ เอกชน รวมทั้งหน่วยงานต่าง ๆ (Wongsorn *et al*., 2015) เพิ่มขึ้นแล้วก็ตาม ทั้งนี้ เพื่อให้อาชีพอาชีพปลูกหม่อนเลี้ยงไหมของเกษตรกรในโครงการตามพระราชประสงค์ดอนขุนห้วย จังหวัดเพชรบุรี มีความมั่นคงและยั่งยืน จึงมีความจำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องมีการถอดบทเรียนด้านการปลูกหม่อนเลี้ยงไหมของเกษตรกรมีการจัดการความรู้ที่เป็นระบบ เพื่อการวางแผนด้านการฟื้นฟูและส่งเสริมอาชีพให้แก่เกษตรกรปัจจุบัน และรองรับเกษตรกรรายใหม่หรือเพื่อให้ความรู้แก่เยาวชนในพื้นที่ (Muangchan, 2005) รวมทั้งผู้สนใจนอกพื้นที่ที่สามารถเข้าถึงข้อมูลที่มีการรวบรวม (knowledge assets) ดังกล่าวนี้ได้

(Panich, 2005) ทั้งนี้ แนวทางการถอดบทเรียนที่ใช้การรวมกลุ่มเพื่อการสนทนาและการแลกเปลี่ยนความรู้ของกลุ่มเกษตรกร ร่วมกับการสัมภาษณ์รายบุคคลเป็นอีกแนวทางหนึ่งที่ทำให้ได้ข้อมูลที่ครอบคลุมมากขึ้นทั้งปริมาณและคุณภาพ โดยการถอดบทเรียนครั้งนี้ เป็นขั้นตอนแรกของกระบวนการเพื่อการจัดการความรู้ตามกรอบแนวคิด ของ Demarest ที่ได้แบ่งกระบวนการจัดการความรู้ออกเป็น 4 ขั้นตอน ได้แก่ 1) การสร้างความรู้ (knowledge construction) รวมทั้งการแสวงหาความรู้จากแหล่งต่าง ๆ ที่กระจัดกระจาย 2) การเก็บรวบรวมความรู้ (knowledge embodiment) ให้เป็นระบบ สะดวกต่อการค้นหาและการใช้งาน 3) การกระจายความรู้เพื่อการนำไปใช้ประโยชน์ (knowledge dissemination) และ 4) การนำความรู้ไปใช้ (knowledge use) (Sittipong and Tarkool, 2015)

ดังนั้น การศึกษาครั้งนี้มีการถอดบทเรียนจากเกษตรกรโดยใช้วิธีการศึกษาที่หลากหลายเพื่อให้ได้ข้อมูลที่ครบถ้วน เพื่อเป้าหมายในการนำไปใช้ในการจัดการความรู้ นำไปใช้ในการฟื้นฟูอาชีพปลูกหม่อนเลี้ยงไหมของเกษตรกร ในโครงการตามพระราชประสงค์ดอนขุนห้วย อำเภอชะอำ จังหวัดเพชรบุรี ให้มีความมั่นคงและยั่งยืนต่อไป

วิธีดำเนินการศึกษา

การวิจัยครั้งนี้เป็นการศึกษารูปแบบการปลูกหม่อนเลี้ยงไหมของกลุ่มเกษตรกรผู้ปลูกหม่อนเลี้ยงไหมในโครงการตามพระราชประสงค์ดอนขุนห้วย จังหวัดเพชรบุรี เพื่อนำเอาความรู้ที่ได้ไปใช้ในการจัดการความรู้ที่เป็นระบบต่อไป โดยดำเนินการวิจัยในตั้งแต่เดือนมกราคม - เดือนพฤษภาคม พ.ศ. 2563

กระบวนทัศน์การศึกษา

1) ศึกษาลักษณะการประกอบอาชีพของเกษตรกร

ศึกษาความสำคัญของอาชีพการปลูกหม่อนเลี้ยงไหมของเกษตรกร ที่สัมพันธ์กับอาชีพอื่น ๆ ของเกษตรกร เพื่อประเมินการวางแผนการดำรงชีวิตของเกษตร (Phuboonbud, 2015) ประเมินความสามารถในการจัดการความรู้ โอกาสในการเข้ารับการถ่ายทอดความรู้ และโอกาสในการพัฒนาตนเองที่เกี่ยวข้องกับอาชีพการปลูกหม่อนและเลี้ยงไหมของเกษตรกร โดยอาศัยข้อมูลจาการสัมภาษณ์เกษตรกร

2) การศึกษาแนวคิด

เป็นการศึกษาแนวคิดเกี่ยวกับการรวมกลุ่ม สิ่งที่คาดหวัง ความต้องการจากการรวมกลุ่ม และความต้องการการพัฒนาของกลุ่มหรือรายบุคคล รวมทั้งแนวคิดในการพึ่งพาตนเองและความเชื่อมโยงกับแนวคิดเศรษฐกิจพอเพียง และการสร้างอาชีพสำรองที่นอกเหนือจากการทำการเกษตร (Newcomb *et al*., 1993; The National Legislative Assembly, 2018)

3) ศึกษาองค์ความรู้ และข้อเสนอแนะปัญหาหรือความต้องการ

ศึกษาความรู้และองค์ความรู้ของเกษตรกรทั้งที่ได้รับการถ่ายทอดจากหน่วยงานภายในและภายนอกพื้นที่ ความรู้ที่ได้รับการสั่งสมจากประสบการณ์ของเกษตรกรที่ทำให้เกษตรสามารถดำเนินกิจกรรมที่ปรับเข้าได้กับสภาวะแวดล้อมของพื้นที่หรือชุมชน (Traimongkolkul *et al*., 2001) เพื่อเป็นองค์ความรู้เฉพาะกลุ่มหรือเฉพาะพื้นที่ ในอนาคตสามารถนำไปส่งเสริมหรือปรับใช้กับเกษตรกรนอกกลุ่มหรือผู้สนใจทั่วไปได้เพราะเมื่อความรู้มีการจัดการอย่างเป็นระบบแล้วเพราะความรู้นั้นสามารถเคลื่อนตัวไปมาในพื้นที่ต่าง ๆ รวมทั้งก่อให้เกิดประโยชน์ได้หากมีการปรับให้เข้ากับแต่ละพื้นที่อย่างเหมาะสม (Olsson, 2000) นอกจากนี้ ยังมีการรับฟังปัญหาของเกษตรกรที่เกี่ยวข้องทั้งโดยตรงและโดยอ้อม (Praepattarapisuth *et al*., 2014) ต่อการพัฒนาอาชีพการปลูกหม่อนเลี้ยงไหม และความต้องการในการพัฒนาของกลุ่มเกษตรกร

4) การเชื่อมโยงงานวิจัย

นำองค์ความรู้ที่ได้จากเกษตรกรและกลุ่มมาวิเคราะห์เพื่อเชื่อมโยงกับงานวิจัยที่สามารถสนับสนุนองค์ความรู้ที่มีอยู่เดิมเพื่อการพัฒนาอาชีพ และนำปัญหาหรือความต้องการของเกษตรมาทำการวิเคราะห์เพื่อมองหาโจทย์หรือองค์ความรู้สามารถนำมาแก้ปัญหา

หรือนำมาสนับสนุนเพื่อการพัฒนาของเกษตรกรและกลุ่มเกษตรกรได้ (Charoensit and Emphandhu, 2018)

พื้นที่วิจัย

โครงการตามพระราชประสงค์ดอนขุนห้วย จังหวัดเพชรบุรี

กลุ่มตัวอย่างที่ทำการศึกษา

ประกอบด้วยเกษตรกรที่เป็นสมาชิกกลุ่มปลูกหม่อนเลี้ยงไหม ในเขตพื้นที่โครงการตามพระราชประสงค์ดอนขุนห้วย จังหวัดเพชรบุรี ที่มีการคัดเลือกแบบเจาะจง จำนวน 10 ครอบครัว

เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

การวิจัยครั้งนี้เป็นการวิจัยเชิงคุณภาพ ประกอบด้วย 1) การศึกษาเอกสาร (document study) 2) การสัมภาษณ์แบบเจาะลึก (in-depth interview) รายครอบครัว เป็นการเก็บรวบรวมข้อมูลโดยผู้วิจัยจะป้อนคำถามตามแนวคำถามที่ได้กำหนดไว้ เพื่อเก็บข้อมูลจากเกษตรกรผู้ให้ข้อมูลที่สำคัญ (key informant) 3) การศึกษาโดยการจัดสนทนากลุ่ม (focus group) เป็นการเก็บรวบรวมข้อมูลโดยนักวิจัยจะป้อนคำให้แก่ที่ประชุมกลุ่มเกษตรกรผู้ให้ข้อมูลสำคัญที่ได้เชิญมาเพื่อให้ที่ประชุมได้ร่วมกันให้ข้อมูล ข้อคิดเห็นและร่วมกันอภิปรายในประเด็นสำคัญ

ขั้นตอนการดำเนินการ

เพื่อให้การวิจัยเป็นไปตามวัตถุประสงค์ที่กำหนด ผู้วิจัยได้กำหนดขั้นตอนในการดำเนินการวิจัยออกเป็น 4 ขั้นตอน

1) การทบทวนวรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง เพื่อกำหนดกรอบแนวคิดในการวิจัย โดยนำมาสร้างเครื่องมือในการวิจัย พร้อมทั้งการตรวจสอบคุณภาพของเครื่องมือการวิจัย แล้วนำมาใช้ศึกษาบริบทของพื้นที่ และเกษตรกรในดอนขุนห้วย ในด้านการประกอบอาชีพของเกษตรกรกลุ่มที่มีการปลูกหม่อนและเลี้ยงไหม เพื่อรวบรวมข้อมูลสำหรับการนำมาใช้ในการวิเคราะห์ร่วมกับข้อมูลที่ได้จากการสัมภาษณ์และสนทนากลุ่ม

2) สร้างแนวคำถามที่ใช้ในการสัมภาษณ์แบบเจาะลึก โดยกำหนดประเด็นจากการศึกษาตามกรอบแนวคิดในการศึกษาในขั้นตอนที่ 1 ซึ่งเป็นคำถามปลายเปิด แล้วจึงนำไปสัมภาษณ์รายครอบครัวจำนวน 10 ครอบครัวที่คัดเลือกจากครอบครัวที่มีการปลูกหม่อนเลี้ยงไหมอย่างต่อเนื่อง ที่อยู่ในกลุ่มภายใต้โครงการตามพระราชประสงค์ดอนขุนห้วย จังหวัดเพชรบุรี

3) จัดการสนทนากลุ่ม โดยประเด็นคำถามที่ใช้ในการสนทนากลุ่มได้กำหนดขึ้นจากกรอบแนวคิดในการศึกษาที่กำหนดไว้ โดยจัดกลุ่มเพื่อสนทนาเกี่ยวกับปัญหา อุปสรรค และความต้องการพัฒนาของกลุ่มเกี่ยวกับ (1) การปลูกหม่อน (2) การเลี้ยงไหม (3) การจัดการย้อมสีเส้นไหมจากผลิตภัณฑ์ธรรมชาติ และการทอผ้า

4) การวิเคราะห์ข้อมูลใช้เทคนิคในการวิเคราะห์ข้อมูลเชิงคุณภาพ โดยนำข้อมูลเชิงประจักษ์จากทุกส่วนมาประมวลและวิเคราะห์ผลร่วมกัน เพื่อสรุปปัญหาอุปสรรคและความต้องการพัฒนาของกลุ่มผู้ปลูกหม่อนและเลี้ยงไหม แล้วนำไปเป็นข้อมูลเพื่อการจัดการความรู้อย่างเป็นระบบและนำไปใช้ประโยชน์ตลอดจนเผยแพร่ในช่องทางต่าง ๆ ต่อไป

การวิเคราะห์ข้อมูล

วิเคราะห์ข้อมูลโดยการวิเคราะห์แบบอุปนัย (analytic induction) โดยนำข้อมูลจากการสัมภาษณ์มาตีความสร้างข้อสรุป ประกอบด้วยขั้นตอน ดังนี้ 1) ถอดเทปข้อมูลที่ได้จากการสัมภาษณ์อย่างละเอียด (transcribing interview) 2) ทำข้อสรุปแต่ละเรื่องของการสัมภาษณ์เพื่อลดขนาดข้อมูล 3) เสนอข้อมูลเพื่อการวิเคราะห์และการนำเสนอ โดยนำข้อสรุปมาเชื่อมโยงกัน และใช้การวิเคราะห์เชิงเนื้อหา (content analysis) โดยคำนึงถึงบริบท (context) หรือสภาพแวดล้อมประกอบของข้อมูลที่นำมาวิเคราะห์

ผลการศึกษาและวิจารณ์

1. บริบทพื้นที่และเกษตรกร

พื้นที่บ้านดอนขุนห้วย อำเภอชะอำ จังหวัดเพชรบุรี เป็นหนึ่งในพื้นที่ที่ได้รับการแก้ปัญหาเรื่องราษฎรเข้าไปบุกเบิกพื้นที่ป่าเป็นที่ทำกิน เปลี่ยนมาเป็นการได้รับการจัดสรรที่ดินในพื้นที่ป่าให้ราษฎรทำกิน โดยมีการควบคุม ตามพระราชดำรัสในพระบาทสมเด็จพระบรมชนกาธิเบศร มหาภูมิพลอดุลยเดชมหาราช บรมนาถบพิตร และเป็นที่มาของแนวพระราชดำริในการจัดสรรที่ดินตามพระราชประสงค์ สำหรับพื้นที่ดอนขุนห้วยเป็นพื้นที่ที่ราษฎรได้มีการประกอบอาชีพและได้รับการรวมกลุ่มเพื่อการประกอบอาชีพ การส่งเสริมการประกอบอาชีพเกษตรกรรมที่ถูกวิธีตามหลักวิชาเกษตรแผนใหม่ ให้มีความเข้าใจในการช่วยเหลือตนเองตามหลักพัฒนาชุมชน เพื่อเพิ่มรายได้ให้แก่คนในชุมชน โดยการรวมกลุ่มประกอบอาชีพในรูปแบบหมู่บ้านสหกรณ์ตั้งแต่ พ.ศ. 2514 ในพื้นที่ 3,990 ไร่ 3 งาน 83 ตารางวา ประกอบด้วยดอนขุนห้วย 1 ตั้งอยู่ที่หมู่ที่ 5 ตำบลดอนขุนห้วย อำเภอชะอำ จังหวัดเพชรบุรี และดอนขุนห้วย 2 ตั้งอยู่ที่ หมู่ที่ 5 และหมู่ที่ 6 ตำบลท่าคอย อำเภอท่ายาง จังหวัดเพชรบุรี โดยการจัดสรรที่ดินให้กับเกษตรกรที่ไม่มีที่ดินทำกินของตนเอง ส่งเสริมการ-ประกอบอาชีพเกษตรกรรมตามหลักวิชาการแผนใหม่ นำเทคโนโลยีใหม่ ๆ มาใช้ในการทำการเกษตร ฟื้นฟูอนุรักษ์ป่าไม้ และมีการจัดตั้งสหกรณ์การเกษตรดอนขุนห้วยจำกัด ดำเนินกิจการในรูปของสินเชื่อเงินฝาก มีการรวมกลุ่มกันของเกษตรกร เช่น กลุ่มเลี้ยงไก่แบบกรงตับ กลุ่มปลูกหม่อนเลี้ยงไหม กลุ่มสมุนไพรแปรรูป กลุ่มแปรรูปสับปะรด กลุ่มเกษตรกรแบบผสมผสาน กลุ่มแปรรูปขนุน กลุ่มปุ๋ยหมักชีวภาพ กลุ่มผู้ทำกระดาษสาจากใบสับปะรด เป็นต้น

ตั้งแต่ ปี พ.ศ. 2518 เกษตรกรหมู่ 5 บ้านดอนขุนห้วย ตำบลดอนขุนห้วย อำเภอชะอำ จังหวัดเพชรบุรี ได้รับการส่งเสริมการปลูกหม่อนเลี้ยงไหม (ไหมพื้นเมือง) หลังจากที่สมเด็จพระนางเจ้าสิริกิติ์ พระบรมราชินีนาถ พระบรมราชชนนีพันปีหลวง เมื่อครั้งได้เสด็จเยี่ยมราษฎรบ้านดอนขุนห้วยและมีพระราชเสาวนีย์ให้ส่งเสริมการปลูกหม่อนเลี้ยงไหม เพื่อเป็นการเพิ่มรายได้ให้กับราษฎร โดยมีการ-จัดหาครูฝึกจากจังหวัดร้อยเอ็ดมาเป็นผู้ฝึกสอนให้กับชาวบ้านในระยะแรกและส่งเสริมให้มีการถ่ายทอดความรู้แก่สมาชิกของกลุ่มรายอื่น ๆ โดยมีการส่งเสริมให้มีการรวมตัวกันเป็นกลุ่มเลี้ยงไหมบ้านดอนขุน-ห้วยตั้งแต่นั้นเป็นต้นมา ทั้งนี้ สมาชิกเลี้ยงไหมพันธุ์พื้นเมือง แล้วนำเส้นไหมส่งให้โครงการศิลปาชีพ โดยสมาชิกส่วนใหญ่เป็นกลุ่มสตรีที่มีอาชีพอื่น ๆ เช่น ทำไร่ และทำงานโรงงาน และมีอาชีพการทอผ้าไหมเป็นอาชีพเสริมในช่วงเย็น แต่สามารถกลับมาเป็นอาชีพหลักในช่วงที่ว่างเว้นจากช่วงการใช้แรงงานในภาคการเกษตร

2. ประเด็นของการศึกษารูปแบบการปลูกหม่อมเลี้ยงไหม

2.1 การปลูกหม่อน

เกษตรกรให้ความเห็นว่าความสำเร็จในการเลี้ยงไหมเพื่อให้ได้เส้นไหมที่มีคุณภาพสูงนั้นขึ้นกับคุณภาพของ ใบหม่อนถึง 80 เปอร์เซ็นต์ ทั้งนี้ใบหม่อนเป็นพืชชนิดเดียวที่หนอนไหมใช้กินเป็นอาหาร จึงจำเป็นต้องปลูกหม่อนให้มีใบที่สมบูรณ์ ซึ่งการจัดการความรู้ด้านการปลูกหม่อนมีตัวแปรที่สำคัญหลายประการที่ส่งผลต่อการเติบโตของต้นหม่อน ดังนี้

1) การเลือกพื้นที่ปลูกมีความสำคัญในการปลูกหม่อน กล่าวคือ ต้องพิจารณาพื้นที่บริเวณข้างเคียงด้วยที่ไม่ควรอยู่ใกล้สวนผักสวนผลไม้ที่มีการใช้สารฆ่าแมลงเป็นจำนวนมาก เนื่องจากสารเคมีที่ฉีดในสวนผักและสวนผลไม้เป็นอันตรายต่อหนอนไหมและทำให้ตัวไหมตายได้ ดังนั้น หากเป็นไปได้ควรเลือกพื้นที่ดอนหรือพื้นที่สูง น้ำไม่ท่วมขัง ดินร่วนซุย ระบายน้ำได้ดี มีความชุ่มชื้นแต่ไม่แฉะจนเกินไป จะทำให้ใบหม่อนเจริญงอกงามมีใบมาก หากปลูกในสภาพดินแฉะ ต้นหม่อนจะไม่ค่อยเจริญเติบโต ถ้าพื้นที่ปลูกหม่อนมีน้ำขังเป็นเวลานานทำให้ใบเหลือง ใบร่วง และอาจตายได้ ถ้าจำเป็นต้องปลูกในพื้นที่ลุ่มต้องยกร่องให้สูง (Figure 1)

2) ฤดูกาลควรปลูกในช่วงฤดูฝนเพราะอัตราการรอดของต้นหม่อนสูง แต่เมื่อต้นหม่อนโตแล้วขั้นตอนการดูแลลดลงเพราะหม่อนเป็นพืชที่ทนกับสภาพอากาศมาก โดยในการปลูกหม่อน 1 รอบหากมีการดูแลรักษาเป็นอย่างดีสามารถใช้ประโยชน์ได้ประมาณ 10 - 15 ปี

3) พันธุ์หม่อนที่นิยมปลูก คือ พันธุ์สกลนคร และ พันธุ์สกลนคร 85 ที่มีผลิตต่อไร่สูงมีความทนทานต่อสภาพอากาศแห้งแล้งออกรากดี ขยายพันธุ์ง่ายมีความทนทานต่อโรครากเน่า

4) อายุของกิ่งหม่อนที่นำมาปลูกควรเลือกกิ่งหม่อนที่มีอายุตั้งแต่ 8 เดือนขึ้นไป โดยสามารถสังเกตจากผิวเปลือกที่มีสีน้ำตาล ลำต้นตรง จึงเหมาะสำหรับการแตกรากและกิ่งก้านได้อย่างรวดเร็วและแข็งแรง ถ้าเลือกกิ่งที่อ่อนเกินไปอาจส่งผลให้อาหารที่สะสมไว้ในกิ่งอาจไม่เพียงพอต่อการงอกของราก และหากกิ่งหม่อนแก่เกินไป ตาของกิ่งอาจฝ่อแล้วส่งผลต่อการแตกกิ่ง ทั้งนี้ ระยะปลูกที่เหมาะสม คือ 80 x 80 เซนติเมตร

5) การบำรุงรักษาที่สำคัญ คือ ต้องดูแลไม่ให้หญ้าหรือวัชพืชปกคลุมดินบริเวณที่ปลูกหม่อนเพราะหญ้าแย่งอาหารทำให้ต้นหม่อนตายได้ง่าย เมื่อมีการตัดใบหม่อนไปเลี้ยงไหมในแต่ละรุ่น ควรทำการไถพรวนระหว่างแถวทุกครั้ง เพื่อให้รากขาด กระตุ้นการสร้างรากใหม่ของต้นหม่อน และเป็นการกำจัดวัชพืชที่มาแย่งอาหารแทนการใช้สารเคมี ในสวนหม่อนไม่ควรฉีดยาฆ่าแมลงเพราะสารเคมีตกค้างที่ใบหม่อน เมื่อนำไปเลี้ยงหนอนไหมทำให้หนอนไหมตายได้ หากมีความจำเป็นต้องฉีดยาควรทิ้งไว้ประมาณ 1 เดือน เพื่อให้สารเคมีสลายไปให้หมดก่อนจึงเก็บใบหม่อนไปเลี้ยงหนอนไหมได้ นอกจากนี้ การตัดแต่งกิ่งหม่อนก็เป็นสิ่งจำเป็นเพราะทำให้ลำต้นแตกยอดให้และต้นไม่สูงเกินไป ทำให้สะดวกต่อการเก็บใบหม่อนและได้ผลผลิตใบสูงกว่าปล่อยให้เจริญเติบโตตามธรรมชาติ การปล่อยให้ต้นหม่อนมีแขนงมากเกินไปทำให้ใบหม่อนเจริญเติบโตไม่ดี เมื่อนำไปเลี้ยงหนอนไหมทำให้หนอนไหมอ่อนแอและเปลือกรังไหมไม่หนา ทั้งนี้ ผลผลิตของใบหม่อนจากการปลูก พื้นที่ปลูกหม่อน 4 - 5 ไร่ สามารถนำใบหม่อนไปใช้เลี้ยงไหมได้ประมาณ 30 กิโลกรัมของรังไหม (รังไหมที่ยังไม่ได้ทำการสาวไหม) ซึ่งเมื่อทำการสาวไหมแล้วได้ผลผลิตเส้นไหมประมาณ 2 กิโลกรัม ขณะที่ตัวไหมขายได้ประมาณกิโลกรัมละ 250 บาท

Figure 1. Mulberry planting area using water supply system and planting soil condition

อย่างไรก็ตาม จากบริบทของพื้นที่ โครงการดอนขุนห้วย หรือโครงการตามพระราชประสงค์ดอน-ขุนห้วย จังหวัดเพชรบุรี เป็นโครงการที่พระบาทสมเด็จพระบรมชนกาธิเบศร มหาภูมิพลอดุลยเดชมหาราช บรมนาถบพิตร ได้ทรงศึกษาปัญหาดินไว้พร้อมกับโครงการหุบกะพง ปัญหาเชิงพื้นที่ของหมู่บ้านดอน-ขุนห้วย คือ พื้นที่เป็นที่สูงและที่ลุ่ม มีความลาดเทน้อย ดินเป็นดินร่วนปนทราย ทำให้สามารถระบายน้ำได้ดี (Salikutty *et al*., 2012) แต่มีบางพื้นที่เป็นที่ลาดเชิงเขา มีปัญหาเรื่องความอุดมสมบูรณ์ต่ำและมีการพังทลายสูง (Gadana *et al*., 2020) แม้ว่าพื้นที่การเกษตรส่วนใหญ่มีระบบน้ำชลประทานก็ตาม แต่ยังพบปัญหาการขาดน้ำ โดยเฉพาะสถานการณ์ความรุนแรงของการขาดน้ำในฤดูแล้ง รวมทั้งปัญหาอุณหภูมิสูงและมีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้นในทุกปี ซึ่งส่วนหนึ่งเป็นผลกระทบจากสภาวะโลกร้อน (Kumari *et al*. (2011); Malhi *et al*. (2021); Singh and Saratchandra (2012)) ส่งกระทบต่อทั้งปริมาณ และฤดูกาล ทำให้เกิดความผันผวนของความสมบูรณ์ของปริมาณน้ำ (Bravo-Cadena *et al*., 2021) โดยเฉพาะน้ำเพื่อการเกษตรทั่วประเทศ รวมทั้งในพื้นที่ดอนขุนห้วยด้วยเช่นกัน นอกจากนี้ อำเภอชะอำเป็นแหล่งท่องเที่ยวสำคัญทำให้การใช้น้ำเพื่ออุปโภคและบริโภคทั้งภาคครัวเรือนที่อยู่อาศัยและการท่องเที่ยวมีปริมาณสูงตลอดทั้งปี ทำให้ปริมาณน้ำที่ได้รับการจัดสรรเพื่อการเกษตรได้รับผลกระทบไปด้วยเช่นเดียวกัน

การปลูกหม่อนเพื่อการเลี้ยงไหมของกลุ่มเกษตรกรสตรีในพื้นที่บ้านดอนขุนห้วยเป็นการปลูกในพื้นที่หลังบ้าน เนื้อที่ปริมาณ 1 - 3 ไร่ ต่อครัวเรือน การให้น้ำเป็นระบบสปริงเกอร์โดยอาศัยน้ำประปาที่มีค่าใช้จ่ายค่อนข้างสูง ประกอบกับพื้นที่เป็นดินทรายการระบายน้ำของดินดี แต่เมื่อเกิดสภาวะขาดน้ำความรุนแรงของความแห้งแล้งก็มีมากด้วยเช่นกัน เพราะแม้ว่าดินร่วนปนทรายหรือดินทรายสามารถอุ้มน้ำได้เร็วแต่กลับมีความสามารถในการเก็บกักน้ำในดินต่ำ (Gil *et al*., 2012) ผลกระทบนี้สามารถพบได้ในแปลงปลูกหม่อนของเกษตรกรในพื้นที่ดอนขุนห้วยเช่นเดียวกัน การขาดน้ำทำให้ปริมาณวัตถุดิบคือใบหม่อน มีปริมาณลดลงไม่เพียงพอต่อการนำมาเลี้ยงไหม รวมทั้งการขาดน้ำและความอุดมสมบูรณ์ดินต่ำทำให้ความสมบูรณ์ของใบหม่อนลดลงเพราะการขาดน้ำ ส่งผลต่อความสามารถในการสังเคราะห์แสงของพืชและกระทบต่อการดูดใช้ธาตุอาหารจากดิน (Bista *et al*., 2018) ซึ่งการที่ปริมาณและคุณภาพของใบหม่อนที่ลดลงนี้ส่งผลกระทบต่อการเจริญเติบโตของหนอนไหมและดักแด้ ทำให้กระทบทั้งปริมาณและคุณภาพของเส้นไหม (Adeduntan, 2015) ทั้งหมดนี้ส่งผลกระทบต่ออาชีพของเกษตรกรโดยตรง โดยเฉพาะการให้ผลผลิตเส้นไหมในฤดูแล้ง

ประเด็นที่ควรมีการส่งเสริมเพื่อเพิ่มศักยภาพการปลูกหม่อน ได้แก่ การให้ความรู้เพื่อการปลูกต้นหม่อนให้ได้คุณภาพและผลผลิตสูง โดยการปรับวิธีการบำรุงดินและการใส่ปุ๋ยเพื่อการรักษาความชุ่มชื้นให้แก่ดิน เพิ่มธาตุอาหารในดินควบคู่ไปกับการอนุรักษ์ทรัพยากรดินในพื้นที่ เช่น การเพิ่มอินทรียวัตถุในดินที่นอกจากช่วยในการปรับปรุงทั้งกายภาพและเคมีของดินที่เป็นการเพิ่มความอุดมสมบูรณ์ให้ดินแล้วยังเพิ่มความสามารถในการอุ้มน้ำของดิน ทำให้สามารถลดปริมาณการใช้น้ำและเพิ่มความยาวนานในการรักษาความชุ่มชื้นให้ดินหลังการให้น้ำด้วย โดยเฉพาะลดปัญหาการขาดน้ำในฤดูแล้ง (Gil *et al*., 2012) และยังเป็นการเพิ่มความหลากหลายของจุลินทรีย์ดินอันเป็นการป้องกันโรคและแมลงตามธรรมชาติและสร้างสมดุลของสิ่งมีชีวิตในดิน (Dignam *et al*., 2018)

2.2 การเลี้ยงไหม

ความรู้เรื่องการปลูกหม่อนเลี้ยงไหมเป็นความรู้ที่เกิดจากประสบการณ์ในการเลี้ยงไหมของเกษตรกรผู้เลี้ยงไหมในตำบลดอนขุนห้วย อำเภอชะอำ จังหวัดเพชรบุรี ผสมผสานกับความรู้จากนักวิชาการของกรมหม่อนไหมเพื่อฟื้นฟูอาชีพ ซึ่งแหล่งที่มาของความรู้เดิมได้มาจากการถ่ายทอดมาจากสมาชิกผู้ปลูกหม่อนเลี้ยงไหมในสมเด็จพระนางเจ้าสิริกิติ์ พระบรมราชินีนาถ พระบรมราชชนนีพันปีหลวง ต่อมาเกษตรในพื้นที่ดอนขุนห้วย มีความรู้เรื่องการปลูกหม่อนเลี้ยงไหมเพิ่มขึ้นจากการได้เข้ารับการอบรมจากหน่วยงานราชการทั้งเรื่องการปลูกหม่อน เลี้ยงไหม และการย้อมเส้นไหมด้วยสีธรรมชาติ

จากการประเมินของเกษตรกร พบว่า ในการเลี้ยงไหมให้มีคุณภาพสูงนั้น ความสำเร็จที่มาจากการจัดการคุณภาพสวนหม่อนคิดเป็น 80 เปอร์เซ็นต์ และอีก 20 เปอร์เซ็นต์ มาจากเทคนิคการเลี้ยงไข่ไหม และการแก้ไขปัญหาเฉพาะหน้าเมื่อเกิดสภาพดินฟ้าอากาศที่ไม่เหมาะสมต่อการเลี้ยงไหมในแต่ละฤดูกาล ทั้งนี้ นอกเหนือจากความรู้ที่ได้รับแนะนำจากหน่วยงานที่เกี่ยวข้องกับการส่งเสริมการปลูกหม่อนและเลี้ยงไหมแล้ว ยังอาศัยประสบการณ์ของเกษตรกรแต่ละรายตั้งแต่การคัดเลือกใบหม่อนเพื่อเลี้ยงหนอนไหม การเลี้ยงดักแด้ไหม เป็นต้น (Figure 2)

ทั้งนี้ การคัดเลือกใบหม่อนเพื่อนำมาเลี้ยงไหมควรเก็บให้เหมาะสมกับแต่ละวัยของหนอนไหมที่เกษตรกรปฏิบัติ มีดังนี้

วัยที่ 1 เก็บใบที่นับจากยอดลงมา ตำแหน่งใบที่ 1 - 3 โดยเด็ดยอดบนสุดที่ใบหม่อนยังไม่คลี่แผ่นใบทิ้งเพราะมีคุณค่าสารอาหารน้อย

วัยที่ 2 เก็บใบที่นับจากยอดลงมา ตำแหน่งใบที่ 4 - 6 โดยใช้กรรไกรตัดกิ่งทั้งกิ่งหรือเด็ดใบก็ได้

วัยที่ 3 เก็บใบที่นับจากยอดลงมา ตำแหน่งใบที่ 7 - 10 หรือช่วงกิ่งที่มีสีเขียวซึ่งจะเป็นช่วงรอยต่อของกิ่งหม่อนระหว่างสีเขียวกับสีน้ำตาล

วัยที่ 4 - 5 ใช้ใบที่เหลือได้ทั้งหมด ยกเว้นยอดอ่อนไม่ควรนำมาเลี้ยงไหม

ปัจจัยสำคัญที่ส่งผลให้การเลี้ยงไหมได้ผลผลิตสูง ประกอบด้วย

1) โรงเลี้ยงไหม การสร้างโรงเลี้ยงไหมต้องมีลักษณะโปร่ง ไม่ทึบ อากาศสามารถถ่ายเทได้ดีและ

Figure 2. Silkworm rearing of farmers in Don Khun Huai, Phetchaburi Province

ควรสร้างตามแนวการขึ้นของดวงอาทิตย์ หรือตามแนวตะวันออกไปตะวันตกเพื่อให้แสงแดดส่องไปตามแนวของโรงเลี้ยงไหมไม่ส่องเข้าไปในตัวโรงเรือน เนื่องจากหากสร้างโรงเลี้ยงไหมขวางแสงแดดทำให้หนอนไหมถูกแสงแดดโดยตรงและเดินหนีแสงแดดมากองอยู่รวมกัน ทำให้หนอนไหมไม่กระจายตัวส่งผลต่อการกินใบหม่อน ทำให้หนอนไหมเจริญเติบโตไม่สม่ำเสมอ รังไหมไม่ได้มาตรฐานและส่งผลให้ได้ราคาลดลง ทั้งนี้บริเวณโรงเลี้ยงไหมควรปลูกไม้ยืนต้นรอบ ๆ เพื่อลดความร้อนจากแสงแดด หรือการใช้ตาข่ายพรางแสงแต่ให้มีการระบายอากาศที่เพียงพอ

2) การทำความสะอาดโรงเลี้ยงไหมก่อนนำหนอนไหมเข้าไปเลี้ยงเป็นสิ่งสำคัญ ทำให้หนอนไหมไม่ติดเชื้อโรคได้ง่าย และมีอัตราการรอดสูง โดยโรคของหนอนไหมส่วนใหญ่เกิดจากเชื้อไวรัสและแบคทีเรีย ผู้เลี้ยงสามารถใช้คลอรีนหรือฟอร์มาลีนในการทำความสะอาดโรงเลี้ยงไหมเพื่อฆ่าเชื้อโรคได้ นอกจากนี้ในช่วงการเลี้ยงไหมต้องมีการทำความสะอาดมูลไหมตลอด เพราะมีเศษเหลือของใบหม่อนที่ใช้เลี้ยงไหมที่ทำให้เกิดความชื้นและหมักหมมเป็นสาเหตุของการเกิดเชื้อโรคและทำให้หนอนไหมเป็นโรคได้ ปัญหาของโรงเลี้ยงไหมนอกจากการไม่ติดเชื้อแล้วยังพบปัญหาอื่น เช่น การรบกวนของมด เป็นต้น ทำให้การทำความสะอาดโรงเลี้ยงไหมเป็นประเด็นที่ต้องใส่ใจและดูแล

3) พันธุ์ไหม การใช้ไหมพันธุ์ดีมีคุณภาพทำให้ได้ผลผลิตที่มีคุณภาพด้วย พันธุ์ไหมที่ผู้เลี้ยงไหมนิยมใช้เลี้ยง คือ พันธุ์จุล 6 เป็นพันธุ์ที่มีความแข็งแรงและทนทานต่อการเปลี่ยนแปลงของสภาพอากาศได้ดี

สำหรับการเลี้ยงไหมนอกจากการพยายามให้ความรู้ในเรื่องการปรับสภาพแวดล้อมภายนอกให้เหมาะสมกับการเพาะเลี้ยงแล้ว ในปัจจุบันมีความพยายามในการปรับปรุงหนอนไหมให้ทนทานต่ออุณหภูมิสูงหรือสภาพความชื้นต่ำ(Wongsorn *et al.*, 2015) ซึ่งเป็นประเด็นที่น่าสนใจในการนามาถ่ายทอดความรู้ให้แก่กลุ่มเกษตรกรเพื่อเป็นอีกทางเลือกหนึ่งของการเลือกใช้พันธุ์หนอนไหม

2.3 การจัดการย้อมสีเส้นไหมจากผลิตภัณฑ์ธรรมชาติและการทอผ้า

ในกระบวนการได้มาของสีย้อมนั้น เกษตรกรได้มีความรู้ในการย้อมโดยใช้การย้อมแบบร้อน คือจากการนำเส้นไหมต้มในสีย้อม ทำการต้มแช่ไว้ประมาณ 30 นาที จากนั้นทำให้เส้นใยกระจายตัวนำไปผึ่งให้แห้ง ซึ่งเป็นวิธีที่ง่ายกว่าการย้อมแบบเย็น การทำสีธรรมชาตินั้น มีทั้งเป็นแบบผงและแบบน้ำเข้มข้น โดยพืชวัตถุทำสีที่สามารถหาได้ในชุมชน คือ สีแดง-แดงออกชมพูจากครั่งและกระเจี๊ยบ สีน้ำตาลแดงจากเปลือกไม้แดง สีเหลืองแก่นขนุน สีเหลืองเข้มจากเพกา สีเขียวจากกะเพรา และสีน้ำเงินจากดอกอัญชันและคราม (Figure 3)

สำหรับลายผ้าที่เป็นหลายของกลุ่มมี 2 - 3 ลาย แต่ปัจจุบันไม่ได้ทำการทอแล้ว เช่น ลายข้าวหลามตัด เป็นต้น โดยสมาชิกของกลุ่มเลี้ยงไหมพันธุ์พื้นเมืองและนำเส้นไหมส่งให้โครงการศิลปาชีพเพื่อผลิตเป็นผ้าไหมเป็นหลัก นอกจากนี้ ยังมีการทอผ้าไหมเพื่อส่งขายตามความต้องการของลูกค้าโดยตรง ทั้งนี้ สมาชิกของกลุ่มอาจอยู่ในขั้นตอนใดขั้นตอนหนึ่งของการผลิต เช่น กลุ่มสาวไหม กลุ่มทอผ้า ซึ่งเมื่อจำหน่ายผลิตภัณฑ์ได้มีการนำเงินดังกล่าวเข้ากองกลางเพื่อการบริหารจัดการต่อไป กลุ่มเกษตรกรได้ผลตอบแทนจากขายเส้นไหมเส้นใน ประมาณ 1,800 บาทต่อกิโลกรัม และขายเส้นไหมเส้นนอก (จากรังไหมเปลือกนอก) ประมาณ 800 บาทต่อกิโลกรัม รวมเป็นเงิน 2,600 บาท ในระยะเวลาการทำงานประมาณ 1 เดือน

จากการส่งเสริมของสำนักพัฒนาและถ่ายทอดเทคโนโลยีหม่อนไหม ร่วมกับมูลนิธิศิลปาชีพและศูนย์หม่อนไหมเฉลิมพระเกียรติฯ กาญจนบุรี มีจัดฝึกอบรมเกษตรกร หลักสูตรฟื้นฟูการทอผ้าไหมเกษตรกรให้กับเกษตรกรสมาชิกกลุ่มทอผ้าไหมของโครงการตามพระราชประสงค์ดอนขุนห้วย จังหวัดเพชรบุรี ณ ตำบลดอนขุนห้วย อำเภอชะอำ จังหวัดเพชรบุรี โดยได้สร้างอัตลักษณ์ของลายผ้าคือลายสับปะรด (หรือลายข้าวหลามตัด) ซึ่งเป็นพืชที่นิยมปลูกของตำบลดอนขุนห้วย อำเภอชะอำ จังหวัดเพชรบุรี

Figure 3. Dyeing silk from natural products

จากนั้นมีการตรวจมาตรฐานการผลิตผ้าไหมเพื่อขอใบรับรองเครื่องหมายรับรองมาตรฐานผลิตภัณฑ์ผ้าไหมไทย ชนิด Thai Silk Blend ขอรับตรานกยูงพระราชทาน (นกยูงสีเขียว) และในปัจจุบันมีโครงการหม่อนไหมในสมเด็จพระนางเจ้าฯ พระบรมราชินีนาถ อำเภอหัวหิน ได้เข้ามาให้ความรู้เช่นกัน

สำหรับสีย้อมที่ได้มาจากผลิตภัณฑ์ธรรมชาติ อาจเป็นอีกประเด็นที่สามารถนำไปถ่ายทอดให้แก่เกษตรกรได้ เนื่องจากปัจจุบันความต้องการของกลุ่มผู้บริโภคต่าง ๆ จำเป็นต้องได้รับการวิเคราะห์ เพราะทั้งการเลือกใช้สีและลายผ้าเป็นปัจจัยสำคัญทางการตลาดสำหรับผ้าทอจากไหมธรรมชาติเช่นกัน (Yang *et al*., 2009) จากรายงานของ Malasri (2019) สีธรรมชาติที่สามารถนำมาย้อมได้มาจากวัตถุดิบที่หาได้ในท้องถิ่น ทั้งจากพืชและจากสัตว์ สีธรรมชาติที่ได้จากพืชได้มาจากส่วนต่าง ๆ มีหลากหลายที่เกษตรกรสามารถนำไปปรับใช้ได้ เช่น ราก แก่น เปลือก ต้นดอก ผล เมล็ด และใบ เป็นต้น ตัวอย่างเช่น สีแดง ได้จาก เมล็ดคำแสด แก่นฝาง เปลือกสมอ เปลือกสะเดา ดอกมะลิวัลย์ แก่นกะหล่ำ แก่นประดู่ รากยอป่า ดอกกระเจี๊ยบ เปลือกส้มเสี้ยว สีเหลือง ได้จาก หัวขมิ้นชัน ขมิ้นอ้อย หัวไพร แก่นไม้พุด ดอกกรรณิการ์ รากฝาง ใบมะขาม ผลดิบ มะตูม ดอกผกากรอง ดอกคำฝอย ดอกดาวเรือง เปลือก-ปะโหด แก่นเข ใบเสนียด แก่นแค แก่นฝรั่ง ใบขี้เหล็ก แก่นขนุน ต้นสะตือ ใบเทียนกิ่ง สีน้ำเงิน ได้จาก ใบบวบ ใบหูกวาง เปลือกเพกา เปลือกต้นมะริด เปลือกสมอ เปลือกกระหูด ใบเลี่ยน เปลือกสมอภิเภก ใบตะขบ ดอกอัญชัน ต้นครามและสีม่วง ได้จาก ผลลูกหว้า เปลือกผลมังคุด ผลหม่อน สีเขียว ได้จาก เปลือกต้นเพกา เปลือกสมอ ใบเตย ใบกระเพรา เป็นต้น

นอกจากนี้ ในปัจจุบันยังมีการกล่าวถึงประเด็นของการใช้สารที่คงทนและมีคุณสมบัติในการต้านทานต่อเชื้อจุลินทรีย์สำหรับเส้นไหมด้วยเช่นกัน ซึ่งประเด็นเหล่านี้สามารถนำมาใช้ในการถ่ายทอดความรู้ให้แก่เกษตรกรได้ (Ganesan and Karthik, 2017) เพื่อสร้างมูลค่าเพิ่มให้ผลิตภัณฑ์

อย่างไรก็ตาม ปัญหาสำคัญของกลุ่มผู้ปลูกเลี้ยงหม่อนไหมคือ ทางกลุ่มยังไม่สามารถสร้างอัตลักษณ์ของสินค้าของกลุ่มได้ สินค้าที่ผลิตได้จึงยังไม่เป็นที่รู้จักและยอมรับจากบุคคลภายนอก แม้ทางกลุ่มมีจุดเด่นที่สำคัญคือ มีการเลี้ยงไหมเองเพาะปลูกหม่อนเองในพื้นที่ และมีการนำภูมิปัญญาท้องถิ่น คือการใช้สีจากธรรมชาติในการย้อมผ้าซึ่งเป็นเสน่ห์ที่โดดเด่นสำหรับผ้าไหมไทยก็ตาม ด้วยเหตุนี้ประเด็นที่ควรมีการส่งเสริมคือ การสร้างอัตลักษณ์ผ้าทอดอนขุนห้วย ได้แก่ การให้ความรู้ในการพัฒนารูปแบบผ้าทอทั้งลายและการเลือกใช้สีให้ตรงกับความต้องการของตลาด หรือกลุ่มผู้บริโภค เพื่อสร้างกลุ่มผู้บริโภครายใหม่

สรุป

ผลการศึกษาพบว่า เกษตรกรมีความรู้และมีการจัดการในบางปัจจัยที่กระทบต่อคุณภาพของการปลูกหม่อนและเลี้ยงไหมที่เกิดจากทั้งประสบการณ์ส่วนบุคคลและที่ได้รับการถ่ายทอดมาจากหน่วยงานภายนอก แต่ไม่ได้มีการถ่ายทอดความรู้อย่างเป็นระบบทั้งภายในกลุ่มเกษตรกรและนอกกลุ่ม นอกจากนี้จากการวิเคราะห์ยังพบปัญหาที่เกี่ยวข้องกับปัจจัยการผลิตที่น่าเป็นประเด็นที่นำไปพิจารณาเพื่อการถ่ายทอดความรู้ให้แก่เกษตรกรรวมทั้งที่เป็นความต้องการพัฒนาของเกษตรกรเอง ได้แก่ 1) การจัดการทรัพยากรดินเพื่อเพิ่มอุดมสมบูรณ์และบรรเทาปัญหาการขาดความชื้นของดินโดยเฉพาะในฤดูแล้ง 2) ความรู้เรื่องการใช้ผลิตภัณฑ์ธรรมชาติที่หลากหลายเพื่อการย้อมเส้นไหมเพื่อให้ได้สีที่หลากหลายขึ้น และ 3) การสร้างลายผ้าที่เป็นอัตลักษณ์ของพื้นที่ ทั้งนี้ ผลการศึกษานอกจากสามารถนำมาใช้วางแผนการให้ความรู้แก่เกษตรกรกลุ่มดังกล่าวแล้วยังสามารถนำมาจัดการความรู้เพื่อเป็นประโยชน์ในการฟื้นฟูและส่งเสริมอาชีพการปลูกหม่อนและเลี้ยงไหมในพื้นที่ดอนขุนห้วยต่อไป

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณกลุ่มสตรีผู้ปลูกหม่อนเลี้ยงไหมในโครงการตามพระราชประสงค์ดอนขุนห้วย อำเภอชะอำ จังหวัดเพชรบุรี ในการให้ข้อมูลเพื่อการถอดบทเรียนในครั้งนี้

เอกสารอ้างอิง

Adeduntan, S.A. 2015. Influence of different varieties of mulberry leaves (*Morus alba*) on growth and cocoon performance of biovoltine strain of silkworm (*Bombyx mori*). International Journal of Biological and Chemical Sciences 9(2): 751-757.

Bista, D R., S.A. Heckathorn, D.M. Jayawardena, S. Mishra and J.K. Boldt. 2018. Effects of drought on nutrient uptake and the levels of nutrient-uptake proteins in roots of drought-sensitive and –tolerant grasses. Plants 7(2): 28, doi: 10.3390/plants7020028.

Bravo-Cadena, J., N.P. Pavon, P. Balvanera, G. Sanchez-Rojas and R. Razo-Zarate. 2021. Water availability-demand balance under climates change scenarios in an overpopulated region of Mexico. International Journal of Environment Research and Public Health 18(4): 1846, doi: 10.3390/ijerph18041846.

Charoensit, J. and D. Emphandhu. 2018. Analyzing research gap on community based tourism in Thailand. Damrong Journal 17(1): 175-204.

Dignam, B.E.A., M. O'Callaghan, L.M. Condron, G.A. Kowalchuk, J.D. Van Nostrand, J. Zhou and S.A. Wakelin. 2018. Effect of land use and soil organic matter quality on the structure and function of microbial communities in pastoral soils: Implications for disease suppression. PLoS ONE 13(5): e0196581, doi: 10.1371/journal.pone.0196581.

Gadana, D.B., P.D. Sharma and D.T. Selfeko. 2020. Effect of soil management practices and slope on soil fertility of cultivated lands in Mawula watershed, Loma district, Southern Ethiopia. Advances in Agriculture 2020: Article ID 8866230, doi: 10.1155/2020/8866230.

Ganesan, P. and T. Karthik. 2017. Analysis of colour strength, colour fastness and antimicrobial properties of silk fabric dyed with natural dye from red prickly pear fruit. The Journal of The Texile Institute 108(7): 1173-1179.

Gil, P.M., C. Bonomelli, B. Schaffer, R. Ferreyra and C. Gentina. 2012. Effect of soil water-to-air ratio on biomass and mineral nutrition of avocado trees. Journal of Soil Science and Plant Nutrition 12(3): 609-630.

Kumari, S.S., S.V. Subbrarao, S. Mirsa and U.S. Murty. 2011. Screening strains of the mulberry silkworm, *Bombyx mori*, for thermotolerance. Journal of Insect Science 11(1): 116, doi:10.1673/031.011.11601.

Malasri, K. 2019. Developing community potential for natural dyeing silk and production of natural dyes, Sa-ard municipal district communities, amphur Nam-pong, Khon Kaen province. pp. 489-499. *In*: Proceeding of the 2nd Nation Conference on Humanities and Social Science, Songkhla Rajabhat University, Songkhla. (in Thai)

Malhi, G.S., M. Kaur and P. Kaushik. 2021. Impact of climate change on agriculture and its mitigation strategies: A review. Sustainability 13(3): 1318, doi: 10.3390/su13031318.

Muangchan, W. 2005. Knowledge Management in Educational Institutions. Educational Administrator Development Institute, Ministry of Education, Nakhon Pathom. 97 p. (in Thai)

Newcomb, L.H., J.D. McCracken and J.R. Warmbrod. 1993. Methods of Teaching Agriculture. 2nd ed. Interstate Publishers, Inc., Danville, IL, 360 p.

Olsson, O. 2000. Perspectives on knowledge and growth (online). Available: http://www.lib.umi.com/dissertationa/fullcit/f1000225 (August 18, 2021).

Panich, V. 2005. Knowledge Management: Pragmatist Edition. Institute for the Promotion of Knowledge Management for Society, Bangkok. 270 p. (in Thai)

Phuboonbud, T. 2015. The management of developing supplementary occupation by having Wat as a center towards sustainable community: a case study of Ban Tume community, Thumbol Nai Maeung, Amphur Maeung, Khon Kaen province. Humanities and Social Science 32(2): 169-182. (in Thai)

Praepattarapisuth, L., W. Prapin and S. Chodpan. 2014. Satisfaction of agricultural information service in Phra Nakhon Si Ayutthaya. Kasetsart Journal of Social Sciences 35(1): 283-298. (in Thai)

Salikutty, J., K.V. Peter and M. Divakaran. 2012. Curry leaf. pp. 260-274. *In*: K.V. Peter (ed.). Handbook of Herbs and Species (Volume 1). 2nd ed. Woodhead Publishing Limited, Cambridge.

Singh, R.N. and B. Saratchandra, B. 2012. Eri Culture. APH Publishing, New Delhi. 221 p.

Sittipong, R. and C. Tarkool. 2015. Knowledge management of agriculturist who plant the *Morus alba* L. and feed silk worm in Tombon Hindad, Pangsilatong district, Kamphaeng Phet. The Golden Teak: Humanity and Social Science Journal 21(3): 97-106. (in Thai)

The National Legislative Assembly. 2018. The Wisdom of the Monarch: A World Leader in Sustainable Development: Laws Supporitng Royal Initiated Projects of His Majesty King Bhumibol Adulyadej. Amarin Printing & Publishing Public Company Limited, Bangkok. 348 p.

Thurapaeng, C. 2012. Development of community enterprises network plan for increasing in distribution channel for the royal projects at Don Khun Huai, Phetchaburi province. Area Based Development Research Journal 4(4): 54-63. (in Thai)

Traimongkolkul, P., P. Tanpichai and S. Srisuantang. 2001. From indigenous technology to modern technology in rice farming: a reflection on farmers' adaptations in the central plain. Kasetsart Journal of Social Sciences 22(1): 1-13. (in Thai)

Wongsorn, D., S. Sirimungkararat and W. Saksirirat. 2015. Improvement of eri silkworm (*Samia ricini* D.) tolerance to high temperature and low humidity conditions by discontinuous regime. Songklanakarin Journal of Science and Technology 37(4): 401-408.

Yang, Y., B. Sarmandakh, J. Cho and E. Yi. 2009. Analysis of color library for silk fabrics using commercial natural dye powder - focusing on hue/tone characteristics. Journal of the Korean Society of Clothing and Textiles 33(5): 804-816.

ปัจจัยที่มีผลต่อการปฏิบัติเกษตรดีที่เหมาะสมของเกษตรกร ผู้ปลูกสตรอว์เบอร์รีคุณภาพ อำเภอสะเมิง จังหวัดเชียงใหม่

Factors Affecting Good Agricultural Practices of Quality Strawberry Farmers, Samoeng District, Chiang Mai Province

นฤมล คำดี[1] บุศรา ลิ้มนิรันดร์กุล[1*] รุจ ศิริสัญลักษณ์[1] และ พรสิริ สืบพงษ์สังข์[2]
Naruemon Khumdee[1], Budsara Limnirankul[1*], Ruth Sirisunyaluck[1] and Pornsiri Suebpongsung[2]

[1]สาขาวิชาส่งเสริมการเกษตรและพัฒนาชนบท ภาควิชาพัฒนาเศรษฐกิจการเกษตร
คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ จ. เชียงใหม่ 50200
[1]Division of Agricultural Extension and Rural Development, Department of Agricultural Economy and Development,
Faculty of Agriculture, Chiang Mai University, Chiang Mai 50200, Thailand
[2]สาขาวิชาเศรษฐศาสตร์การเกษตรและธุรกิจเกษตร ภาควิชาพัฒนาเศรษฐกิจการเกษตร
คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ จ. เชียงใหม่ 50200
[2]Division of Agricultural Economy and Agricultural Business, Department of Agricultural Economy and Development,
Faculty of Agriculture, Chiang Mai University, Chiang Mai 50200, Thailand
**Corresponding author: Email: budsara.l@cmu.ac.th*

(Received: 18 October 2021; Accepted: 2 February 2022)

Abstract: The objectives of this research were to study physical, economic, and social characteristics of quality strawberry production under good agricultural practices and analyze the factors affecting good agricultural practices of quality strawberry farmers in Samoeng district, Chiang Mai province. The sample of this research was strawberry farmers in Samoeng district, Chiang Mai province of 241 cases from a simple random sampling method. The interview schedules and focus group discussion were used to collect data between January and July 2021. Descriptive statistics such as percentage, mean, maximum, minimum, and standard deviation were applied for data analysis, and multiple regression analysis were used for analyzing the relationship between the independent variables and dependent variables. The results revealed that most of the farmers were male, average age of 43.47 years, and finished primary school, the average strawberry cultivation experience was 11.84 years, the average strawberry planting area was 2.82 rai, and the average net income was 126,019.71 baht per year. Farmers had perception about good agricultural practices at a moderate level and had a good attitude about good agricultural practices. The result of the hypothesis testing found that factors affecting good agricultural practices of quality strawberry correlated with positive statistically significant ($P < 0.01$) were the attitude towards GAP (Sig. = 0.000) and contact with an officer about GAP (Sig. = 0.006).

Keywords: Farmer's practices, strawberry cultivation, GAP

Copyright @ Journal of Agriculture, Faculty of Agriculture, Chiang Mai University. All rights reserved.

บทคัดย่อ: การวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาลักษณะบางประการด้านกายภาพ เศรษฐกิจ และสังคมในการผลิตสตรอว์เบอร์รีคุณภาพภายใต้ระบบเกษตรดีที่เหมาะสม และวิเคราะห์ปัจจัยที่มีผลต่อการปฏิบัติเกษตรดีที่เหมาะสมในการผลิตสตรอว์เบอร์รีคุณภาพของเกษตรกร กลุ่มตัวอย่างที่ศึกษา คือ เกษตรกรผู้ปลูกสตรอว์เบอร์รีใน อำเภอสะเมิง จังหวัดเชียงใหม่ จำนวน 241 รายจากวิธีการสุ่มตัวอย่างแบบอย่างง่าย โดยใช้แบบสัมภาษณ์และการสนทนากลุ่มในการเก็บข้อมูลระหว่างเดือนมกราคม - กรกฎาคม พ.ศ. 2564 การวิเคราะห์ข้อมูลใช้สถิติค่าร้อยละ ค่าเฉลี่ย ค่าสูงสุด ค่าต่ำสุด ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน และวิเคราะห์ถดถอยพหุ ผลการศึกษาพบว่า กลุ่มตัวอย่างส่วนใหญ่เป็นเพศชาย มีอายุเฉลี่ย 43.47 ปี การศึกษาอยู่ในระดับประถมศึกษา มีประสบการณ์ในการปลูกสตรอว์เบอร์รีเฉลี่ย 11.84 ปี ขนาดพื้นที่ปลูกสตรอว์เบอร์รีเฉลี่ย 2.82 ไร่ รายได้สุทธิเฉลี่ย 126,019.71 บาทต่อปี เกษตรกรมีความรู้ความเข้าใจเกี่ยวกับระบบเกษตรดีที่เหมาะสมอยู่ในระดับปานกลาง และมีทัศนคติที่ดีต่อระบบเกษตรดีที่เหมาะสม จากการทดสอบสมมติฐาน พบว่า ปัจจัยที่มีความสัมพันธ์เชิงบวกกับการปฏิบัติเกษตรดีที่เหมาะสมในการผลิตสตรอว์เบอร์รีคุณภาพอย่างมีนัยสำคัญ ($P < 0.01$) ได้แก่ ทัศนคติที่มีต่อระบบเกษตรดีที่เหมาะสม (Sig. = 0.000) และการติดต่อกับเจ้าหน้าที่เกี่ยวกับระบบเกษตรดีที่เหมาะสม (Sig. = 0.006)

คำสำคัญ: การปฏิบัติของเกษตรกร การปลูกสตรอว์เบอร์รี ระบบเกษตรดีที่เหมาะสม

คำนำ

สตรอว์เบอร์รีจัดเป็นไม้ผลเศรษฐกิจชนิดหนึ่งที่มีการปลูกอย่างแพร่หลายมากที่สุดในโลก มีการนำผลผลิตมาใช้สำหรับบริโภคผลสด และใช้ในการแปรรูปเชิงอุตสาหกรรม ปัจจุบันผลผลิตสตรอว์เบอร์รีจึงมีปริมาณเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว เนื่องจากมีการใช้ระบบปลูกแบบดูแลอย่างใกล้ชิด และมีการปรับปรุงพันธุ์ใหม่ที่ให้ผลผลิตยาวนานขึ้น รวมถึงมีการทดลองวิจัย เพื่อหาวิธีการต่าง ๆ ที่ทำให้การปลูกสตรอว์เบอร์รีนั้นง่ายและได้คุณภาพมากขึ้น (Pipattanawong *et al*., 2011) ในหลายพื้นที่ของประเทศไทยได้มีการส่งเสริมการปลูกสตรอว์เบอร์รีมากขึ้นอย่างต่อเนื่อง ทั้งทางภาคเหนือ ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ และในพื้นที่สูงของภาคกลาง เนื่องจากเป็นพืชที่มีโอกาสทางด้านเศรษฐกิจ โดยเฉพาะพื้นที่บนภูเขาหรือพื้นที่ที่มีศักยภาพเกษตรกรก็หันมาปลูกสตรอว์เบอร์รีมากขึ้น ควบคู่กับการขายผลผลิตและการท่องเที่ยวเชิงเกษตร ในปี พ.ศ. 2560 พื้นที่การผลิตสตรอว์เบอร์รีส่วนใหญ่อยู่ในจังหวัดเชียงใหม่ จำนวน 5,835 ไร่ ได้แก่ อำเภอสะเมิงและอำเภอกัลยาณิวัฒนา เป็นต้น เนื่องจากมีอากาศเย็นเกือบทั้งปี (Chiang Mai Provincial Agricultural Extension Office, 2018) แต่ในขณะเดียวกันพื้นที่ส่วนใหญ่ที่ทำการปลูกสตรอว์เบอร์รีในปัจจุบัน มีการใช้สารป้องกันกำจัดโรค แมลงและศัตรูพืช รวมไปถึงการใช้ปุ๋ยเคมีเข้ามาเกี่ยวข้องในกระบวนการผลิตหลายขั้นตอน ซึ่งอาจทำให้มีสารเคมีตกค้างในดินและผลผลิต นอกจากนี้ในช่วงหลายปีที่ผ่านมายังเผชิญปัญหาด้านความแปรปรวนของสภาพอากาศ ก่อให้เกิดการแพร่ระบาดของโรคและแมลงศัตรูพืชเพิ่มขึ้น ทำให้เกษตรกรตัดสินใจใช้สารป้องกันกำจัดศัตรูพืชในปริมาณสูงกว่าที่กำหนดไว้ข้างฉลาก (Nathewet, 2018) ซึ่งตั้งแต่ปี พ.ศ. 2547 คณะทำงานด้านสิ่งแวดล้อม (environmental working group; EWG) ได้มีการจัดอันดับให้สตรอว์เบอร์รีเป็นผลไม้ที่มีการปนเปื้อนสารเคมีมากที่สุด โดยเกือบ 70 เปอร์เซ็นต์ ที่นำไปทดสอบนั้นพบสารปนเปื้อนปะปนอยู่บนผล (Scutti, 2018) ก่อให้เกิดอันตรายแก่เกษตรกร ผู้บริโภค และสิ่งแวดล้อม ทำให้ขาดความสมดุลในพื้นที่ มีต้นทุนการผลิตเพิ่มขึ้นและผลผลิตไม่ได้มาตรฐาน ส่งผลให้ราคาต่ำไม่คุ้มค่าแก่การลงทุน จากผลกระทบดังกล่าว ทำให้เกษตรกรหลายพื้นที่เปลี่ยนอาชีพไปในหลากหลายรูปแบบ ส่วนเกษตรกรที่ยังปลูกสตรอว์เบอร์รีต่อนั้น ต้องมีการปรับเปลี่ยนวิธีการผลิตให้ดีขึ้น เพื่อปรับตัวให้อยู่รอด

อย่างไรก็ตาม การส่งเสริมพืชอาหารปลอดภัยในจังหวัดเชียงใหม่ได้มีตั้งแต่ปี พ.ศ. 2547 (Chiang Mai

Provincial Public Health Office, 2011) กระแสรักสุขภาพ และสนใจสิ่งแวดล้อมของผู้บริโภค ทำให้สวนสตรอว์เบอร์รีในหลายพื้นที่มีการปรับเปลี่ยนหันมาผลิตสตรอว์เบอร์รีคุณภาพที่มีความปลอดภัยได้มาตรฐานรับรองตามระบบ GAP และสอดคล้องกับความต้องการของตลาดมากขึ้น ในการผลิตสตรอว์เบอร์รีคุณภาพนั้น นอกจากช่วยลดการใช้สารเคมีที่ส่งผลกระทบต่อเกษตรกร ผู้บริโภค และสิ่งแวดล้อมแล้ว ยังสามารถลดต้นทุนการผลิต ช่วยสร้างรายได้เพิ่มให้แก่เกษตรกรและเป็นการเพิ่มมูลค่าให้ผลผลิต รวมถึงมีส่วนร่วมในการสร้างสิ่งแวดล้อมที่ดี ยิ่งไปกว่านั้นยังเป็นการสร้างโอกาสในการขยายตลาดทั้งในและต่างประเทศ (Department of Agricultural Extension, 2019) ซึ่งเริ่มมีการเปลี่ยนแปลงมาตั้งแต่ปี พ.ศ. 2547 จากนโยบายของภาครัฐ เพื่อให้ได้ผลผลิตที่มีคุณภาพดีตรงตามมาตรฐานที่กำหนด และได้ผลผลิตสูงคุ้มค่ากับการลงทุน ซึ่งการผลิตสตรอว์เบอร์รีคุณภาพในงานวิจัยนี้ ใช้มาตรฐานเกษตรดีที่เหมาะสม GAP มาเป็นเกณฑ์ในการกำหนดมาตรฐานคุณภาพของสตรอว์เบอร์รี

การผลิตสตรอว์เบอร์รีของเกษตรกรใน อำเภอสะเมิง จังหวัดเชียงใหม่ ยังคงสร้างงานสร้างรายได้ให้กับเกษตรกรในพื้นที่อย่างต่อเนื่อง อำเภอสะเมิง ถือว่าเป็นแหล่งผลิตสตรอว์เบอร์รีที่ใหญ่และสำคัญอีกแห่งหนึ่งของประเทศไทย ในปี พ.ศ. 2559/2560 และปี พ.ศ. 2560/2561 มีพื้นที่ปลูก 3,965 และ 3,623 ไร่ ตามลำดับ สถานการณ์การปลูกสตรอว์เบอร์รีในอำเภอสะเมิง ปี พ.ศ. 2562/2563 มีพื้นที่ปลูกสตรอว์เบอร์รีจำนวน 3,530 ไร่ มีเกษตรกรผู้ปลูก จำนวน 604 ราย ผลผลิตที่เก็บเกี่ยวได้ ประมาณ 7,400 ตัน มูลค่าประมาณ 544.7 ล้านบาทต่อปี (Chiang Mai Provincial Agricultural Extension Office, 2020) ซึ่งมีเกษตรกรที่ผ่านมาตรฐานและได้รับใบรับรองระบบเกษตรดีที่เหมาะสมเพียง 99 ราย ซึ่งคิดเป็นร้อยละ 16.39 ของเกษตรกรผู้ปลูกสตรอว์เบอร์รีทั้งหมด (Office of Agricultural Research and Development Region 1, 2020) อย่างไรก็ตาม มีการส่งเสริมให้เกษตรกรปลูกสตรอว์เบอร์รีตามมาตรฐานความปลอดภัยอย่างต่อเนื่อง เพื่อสร้างความมั่นใจให้กับผู้บริโภคในการซื้อไปรับประทาน และป้องกันปัญหาสารเคมีตกค้างในระยะยาว นอกจากนี้ยังมีการจัดตั้งศูนย์การเรียนรู้ในชุมชน เพื่อเป็นแหล่งเรียนรู้ในการผลิตสตรอว์-เบอร์รีคุณภาพให้แก่เกษตรกรอีกด้วย ทั้งนี้ เกษตรกรส่วนใหญ่ยังมีข้อจำกัดที่ทำให้ไม่สามารถปฏิบัติตามมาตรฐานเกษตรดีที่เหมาะสม (GAP) ได้อย่างครบถ้วน เช่น การบันทึกข้อมูลการปฏิบัติงานทุกขั้นตอน และการใช้สารเคมีภายใต้ที่คู่มือกำหนด เป็นต้น

ซึ่งปัจจุบันปี พ.ศ. 2564 พบว่า แม้จะมีการส่งเสริมให้เกษตรกรปลูกสตรอว์เบอร์รีคุณภาพโดยใช้ระบบการจัดการคุณภาพของเกษตรดีที่เหมาะสม (GAP) ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2547 แล้วก็ตาม (Highland Research and Development Institute, 2004) แต่ยังมีเกษตรกรร้อยละ 83.61 ที่ยังคงปฏิบัติตามแบบวิธีเดิม เพราะไม่ต้องการเพิ่มขั้นตอนการปฏิบัติงาน ส่งผลให้เกษตรกรจำนวนมากยังคงปฏิบัติตามได้ไม่สำเร็จ การศึกษาถึงปัจจัยที่มีผลต่อการปฏิบัติเกษตรดีที่เหมาะสมในการผลิตสตรอว์เบอร์รีคุณภาพของเกษตรกร อำเภอสะเมิง จังหวัดเชียงใหม่ จะเป็นประโยชน์ต่อหน่วยงานที่เกี่ยวข้อง เพื่อนำผลการศึกษานี้ไปใช้เป็นแนวทางในการส่งเสริมให้เกษตรกรรายอื่นให้สามารถผลิตสตรอว์เบอร์รีคุณภาพได้ง่ายขึ้น

วิธีการศึกษา

การวิจัยครั้งนี้ได้เก็บรวบรวมข้อมูลระหว่างเดือนมกราคม - กรกฎาคม พ.ศ. 2564 กลุ่มตัวอย่างคือ เกษตรกรผู้ปลูกสตรอว์เบอร์รีใน อำเภอสะเมิง จังหวัดเชียงใหม่ จำนวน 241 ราย ซึ่งผู้วิจัยได้กำหนดขนาดของกลุ่มตัวอย่างโดยใช้สูตรของ Taro Yamane (Yamane, 1973) ความคาดเคลื่อนที่ยอมรับได้ที่ระดับ 0.05 จากจำนวนประชากรทั้งหมด 604 ราย และใช้วิธีการสุ่มตัวอย่างแบบอย่างง่าย (simple random sampling) ในการเก็บรวบรวมข้อมูล เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย คือ การสนทนากลุ่มกับกลุ่มตัวอย่างเกษตรกรที่เป็นผู้นำชุมชนจำนวน 10 ราย (focus group discussion) และการใช้แบบสัมภาษณ์ สำหรับคำถามในด้านความรู้ความเข้าใจในการผลิตสตรอว์-

เบอร์รีคุณภาพตามระบบ GAP ประกอบด้วยคำถามจำนวน 20 ข้อ แต่ละข้อให้เลือกคำตอบถูกหรือผิด คำตอบถูกต้องจะได้ 1 คะแนน ตอบไม่ถูกต้องได้ 0 คะแนน แล้วนำค่าคะแนนที่ได้มาทำการแบ่งระดับความรู้ความเข้าใจออกเป็น 3 ระดับ ได้แก่ มีความรู้ความเข้าใจน้อย (ค่าเฉลี่ย 0.00 - 6.66 คะแนน) มีความรู้ความเข้าใจปานกลาง (ค่าเฉลี่ย 6.67 - 13.33 คะแนน) และมีความรู้ความเข้าใจมาก (ค่าเฉลี่ย 13.34 - 20.00 คะแนน) คำถามส่วนนี้มีค่าความเชื่อถือได้ 0.731 ส่วนด้านการปฏิบัติในการปลูกสตรอว์เบอร์รีคุณภาพตามระบบ GAP ผู้วิจัยกำหนดระดับการปฏิบัติ 3 ระดับ คือ ปฏิบัติทุกครั้ง = 2 คะแนน ปฏิบัติบางครั้ง = 1 คะแนน และไม่ได้ปฏิบัติ = 0 คะแนน แล้วนำค่าคะแนนที่ได้มาทำการแบ่งระดับการปฏิบัติออกเป็น 3 ระดับ ได้แก่ มีการปฏิบัติตามน้อย (ค่าเฉลี่ย 0.00 - 0.66 คะแนน) มีการปฏิบัติตามปานกลาง (ค่าเฉลี่ย 0.67 - 1.33 คะแนน) และมีการปฏิบัติตามมาก (ค่าเฉลี่ย 1.34 - 2.00 คะแนน) จากวิธีปฏิบัติทั้งหมด 20 ข้อ คำถามส่วนนี้มีค่าความเชื่อถือได้ 0.726 ส่วนคำถามเกี่ยวกับด้านทัศนคติที่มีต่อระบบ GAP กำหนดระดับทัศนคติตามมาตรวัด 5 ระดับของลิเกิร์ท (Likert's scale) คือ เห็นด้วยอย่างยิ่ง = 5 คะแนน เห็นด้วย = 4 คะแนน ไม่แน่ใจ = 3 คะแนน ไม่เห็นด้วย = 2 คะแนน และไม่เห็นด้วยอย่างยิ่ง = 1 คะแนน แล้วนำค่าคะแนนที่ได้มาจัดเป็นช่วงคะแนนเพื่อแบ่งระดับให้เข้าใจง่ายขึ้น โดยแบ่งระดับทัศนคติออกเป็น 3 ระดับ ได้แก่ มีทัศนคติที่ไม่เห็นด้วย (ค่าเฉลี่ย 1.00 - 2.33 คะแนน) มีทัศนคติในระดับปานกลาง (ค่าเฉลี่ย 2.34 - 3.66 คะแนน) และมีทัศนคติที่ดี (ค่าเฉลี่ย 3.67 - 5.00 คะแนน) โดยมีค่าความเชื่อถือได้ของคำถามส่วนนี้ เท่ากับ 0.760 รวมถึงด้านปัญหา อุปสรรค และข้อเสนอแนะของเกษตรกรผู้ปลูกสตรอว์เบอร์รี โดยผู้วิจัยนำข้อมูลที่เก็บรวบรวมได้มาวิเคราะห์โดยใช้สถิติเชิงพรรณนา คือ ค่าร้อยละ ค่าเฉลี่ย ค่าสูงสุด ค่าต่ำสุด และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน และใช้สถิติเชิงอนุมาน คือ การวิเคราะห์การถดถอยพหุ (multiple regression analysis) เพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรอิสระหลายตัวกับตัวแปรตาม (การปฏิบัติเกษตรดีที่เหมาะสมในการผลิตสตรอว์เบอร์รีคุณภาพ) ผู้วิจัยได้กำหนดแบบจำลองปัจจัยที่มีผลต่อการปฏิบัติเกษตรดีที่เหมาะสมของเกษตรกรผู้ปลูกสตรอว์เบอร์รีคุณภาพ อำเภอสะเมิง จังหวัดเชียงใหม่ ดังนี้

$$Y = a + b_1x_1 + b_2x_2 + b_3x_3 + b_4x_4 + b_5x_5 + b_6x_6 + b_7x_7 + b_8x_8 + b_9x_9 + b_{10}x_{10} + b_{11}x_{11}$$

เมื่อ Y = Good agricultural practices of quality strawberry (score)

a = Constant

$b_{1\text{-}11}$ = The correlation coefficient of the independent variables 1 to 11

x_1 = Gender (1 = male, 0 = female)

x_2 = Age (year)

x_3 = Education level (year)

x_4 = Experience in strawberry production (year)

x_5 = Perception of GAP for strawberry (score)

x_6 = Attitude towards GAP for strawberry (mean)

x_7 = Planting area (rai)

x_8 = Net income (baht/year)

x_9 = Market (number)

x_{10} = Group membership (number)

x_{11} = Contact with officer about GAP (times/year)

ผลการศึกษาและวิจารณ์

ลักษณะทางกายภาพ เศรษฐกิจ และสังคม ภายใต้ระบบเกษตรดีที่เหมาะสมสำหรับสตรอว์เบอร์รี

เกษตรกรส่วนใหญ่เป็นเพศชาย มีอายุเฉลี่ย 43.47 ปี มีการศึกษาอยู่ในระดับประถมศึกษา มีประสบการณ์ในการปลูกสตรอว์เบอร์รีเฉลี่ย 11.84 ปี ขนาดพื้นที่ปลูกสตรอว์เบอร์รีเฉลี่ย 2.82 ไร่ รายได้สุทธิจากการขายสตรอว์เบอร์รีในปี พ.ศ. 2563

เฉลี่ย 126,019.71 บาทต่อปี โดยจำนวนร้อยละ 94.2 จำหน่ายผลผลิตโดยผ่านพ่อค้าคนกลางเป็นหลัก ซึ่งเกษตรกรยังมีการรวมกลุ่มเฉลี่ย 1.13 กลุ่ม ส่วนใหญ่ได้รับข้อมูลข่าวสารเกี่ยวกับระบบเกษตรดีที่เหมาะสมสำหรับสตรอว์เบอร์รีผ่านทางเจ้าหน้าที่เกษตร มีการติดต่อกับเจ้าหน้าที่เกี่ยวกับระบบเกษตรดีที่เหมาะสมสำหรับสตรอว์เบอร์รีในปี พ.ศ. 2563 เฉลี่ย 0.42 ครั้งต่อปี เกษตรกรส่วนใหญ่มีความรู้ความเข้าใจเกี่ยวกับระบบเกษตรดีที่เหมาะสมในระดับปานกลาง และมีทัศนคติที่ดีต่อระบบเกษตรดีที่เหมาะสม (Table 1)

ความรู้ความเข้าใจเกี่ยวกับระบบการจัดการคุณภาพของเกษตรดีที่เหมาะสม สำหรับสตรอว์เบอร์รีมีคะแนนเฉลี่ย 13.1 คะแนน จากคะแนนเต็ม 20 คะแนน เกษตรกรร้อยละ 58.9 มีความรู้ความเข้าใจอยู่ในระดับปานกลาง เนื่องจากเกษตรกรส่วนใหญ่ ยังไม่ได้ให้ความสำคัญกับการปลูกแบบระบบ GAP อย่างจริงจัง บางรายที่เคยผ่านอบรมมาแล้วแต่ไม่ได้ปฏิบัติอย่างต่อเนื่อง ทำให้ลืมข้อปฏิบัติที่ถูกต้องไป เกษตรกรจึงมีความรู้ความเข้าใจในระดับปานกลาง ทั้งนี้ประเด็นความรู้ความเข้าใจที่เกษตรกรตอบผิดมากกว่าร้อยละ 50.0 ได้แก่ 1) ระบบเกษตรดีที่เหมาะสม (GAP) คือการทำเกษตรโดยใช้สารเคมีให้น้อยที่สุด 2) ต้องจัดเก็บสารเคมีในภาชนะปิดมิดชิดและมีป้ายชัดเจน เก็บรวมกันได้ 3) เมื่อซื้อปัจจัยการผลิตที่สำคัญ ได้แก่ พันธุ์ ปุ๋ย และสารเคมี ไม่ต้องจัดทำบันทึก สามารถนำไปใช้ได้เลย และ 4) การเก็บรักษาแบบบันทึกการปฏิบัติงานและเอกสารสำคัญที่เกี่ยวข้องกับการปฏิบัติงานอย่างน้อย 2 ปีของการผลิตติดต่อกัน เพื่อให้สามารถตรวจสอบย้อนหลังได้

การศึกษาทัศนคติที่มีต่อระบบการจัดการคุณภาพของเกษตรดีที่เหมาะสมสำหรับสตรอว์เบอร์รี พบว่า เกษตรกรร้อยละ 86.7 มีทัศนคติที่ดีต่อระบบเกษตรดีที่เหมาะสม เพราะเกษตรกรเห็นว่าสามารถปลูกแบบระบบ GAP ได้ หากมีการให้คำแนะนำ ช่วยเป็นที่ปรึกษาและมีการติดตามผลอย่างสม่ำเสมอ ถึงแม้ว่าจะมีการเพิ่มขั้นตอนการทำงานบ้าง แต่ก็ช่วยลดค่าใช้จ่ายเรื่องปุ๋ยและสารเคมีได้มากและเพิ่มความปลอดภัยต่อตนเองและผู้บริโภคอีกด้วย โดยมีค่าเฉลี่ยระหว่าง 3.67 - 5.00 คะแนน ซึ่งถือเป็น

Table 1. Physical, economic and social characteristics of quality strawberry production under GAP in Samoeng district, Chiang Mai province

Variables	Mean	S.D.
1. Gender (1 = male, 0 = female)	0.78	0.42
2. Age (year)	43.47	9.32
3. Education level (year)	7.51	4.55
4. Experience in strawberry production (year)	11.84	6.90
5. Perception of GAP for strawberry (score)	13.10	2.34
6. Attitude towards GAP for strawberry (mean)	49.56	5.09
7. Planting area (rai)	2.82	1.81
8. Net income (baht/year)	126,019.71	323,562.99
9. Market (number)	1.29	0.58
10. Group membership (number)	1.13	0.34
11. Contact with officer about GAP (times/year)	0.42	1.50

แนวทางที่ดีในการส่งเสริมให้เกษตรกรยอมรับและนำไปปฏิบัติ ส่วนประเด็นที่เกษตรกรบางรายยังไม่เห็นด้วย ได้แก่ 1) การใช้สารเคมีตามรายละเอียดในคู่มือ GAP สำหรับสตรอว์เบอร์รี เป็นสิ่งที่เพียงพอแล้ว 2) การจัดเก็บสารเคมีทางการเกษตรในภาชนะปิดมิดชิด และแยกเก็บเป็นหมวดหมู่ และ 3) ราคาสตรอว์-เบอร์รีที่ขายได้จากการผลิตตามระบบ GAP ดีกว่าสตรอว์เบอร์รีที่ปลูกโดยวิธีเดิม

ปัจจัยที่มีผลต่อการปฏิบัติเกษตรดีที่เหมาะสมในการผลิตสตรอว์เบอร์รีคุณภาพ

จากการวิเคราะห์ถดถอยพหุ เพื่อหาปัจจัยที่มีผลต่อการปฏิบัติเกษตรดีที่เหมาะสมในการผลิตสตรอว์เบอร์รีคุณภาพของเกษตรกร อำเภอสะเมิง จังหวัดเชียงใหม่ พบว่า ค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจเชิงพหุ (multiple coefficient of determination, R^2) มีค่าเท่ากับ 0.268 หมายความว่า ตัวแปรอิสระทั้งหมดร่วมกันอธิบายความผันแปรของตัวแปรตามได้ร้อยละ 26.80 ซึ่งตัวแปรอิสระทั้ง 11 ตัวแปรนั้น มีจำนวน 2 ตัวแปรที่มีความสัมพันธ์เชิงบวกกับตัวแปรตามอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.01 ได้แก่ ทัศนคติที่มีต่อระบบเกษตรดีที่เหมาะสมและการติดต่อกับเจ้าหน้าที่เกี่ยวกับระบบเกษตรดีที่เหมาะสม (Table 2)

จากตารางข้างต้นสามารถอธิบายความสัมพันธ์ของปัจจัยดังกล่าวได้ว่า เกษตรกรที่มีทัศนคติที่ดีต่อระบบเกษตรดีที่เหมาะสม และมีการติดต่อกับเจ้าหน้าที่เกี่ยวกับระบบเกษตรดีที่เหมาะสมมาก มีการปฏิบัติเกษตรดีที่เหมาะสมในการผลิตสตรอว์เบอร์รีคุณภาพมากกว่าเกษตรกรที่มีทัศนคติที่ไม่เหมาะสมต่อระบบเกษตรดีที่เหมาะสม และไม่มีการติดต่อกับเจ้าหน้าที่เกี่ยวกับระบบเกษตรดีที่เหมาะสม เกษตรกรที่มีทัศนคติที่ดีต่อระบบเกษตรดีที่เหมาะสม มีแนวโน้มในการยอมรับและนำไปปฏิบัติตามมากกว่า ซึ่งสอดคล้องกับ

Table 2. Regression coefficient of independent variables related to GAP

Variables	Unstandardized coefficients : B	t	Sig.
Constant	5.435	1.523	0.129
1. Gender (X_1)	0.878	1.220	0.224
2. Age (X_2)	0.036	0.900	0.369
3. Education level (X_3)	0.139	1.760	0.080
4. Experience in strawberry production (X_4)	0.052	1.066	0.287
5. Perception of GAP for strawberry (X_5)	0.043	0.340	0.734
6. Attitude towards GAP for strawberry (X_6)	0.365	6.484	0.000**
7. Planting area (X_7)	0.349	1.945	0.053
8. Net income (X_8)	1.447	0.146	0.884
9. Market (X_9)	-0.910	-1.912	0.057
10. Group membership (X_{10})	1.251	1.384	0.168
11. Contact with officer about GAP (X_{11})	0.567	2.779	0.006**
R = 0.518 R^2 = 0.268 SEE= 4.258 F = 7.621 sig. of F = 0.000			

** significantly different at $P < 0.01$

Bunyanit and Sirisunyaluck (2019) ที่กล่าวไว้ว่า ทัศนคติต่อระบบการจัดการคุณภาพเกษตรดีที่เหมาะสมสำหรับข้าวของเกษตรกรที่เข้าร่วมโครงการมีผลเชิงบวกต่อการได้รับการรับรองตามระบบเกษตรดีที่เหมาะสม อาจเป็นเพราะว่าเกษตรกรที่มีทัศนคติที่ดีจะสนใจเรียนรู้สิ่งที่ตนเองชอบ ทำให้มีแนวโน้มที่จะนำความรู้ที่มีไปประยุกต์และนำไปปฏิบัติใช้จริง นอกจากนี้เกษตรกรที่มีการติดต่อกับเจ้าหน้าที่เกี่ยวกับระบบเกษตรดีที่เหมาะสม มีโอกาสนำข้อมูลที่ได้ไปปฏิบัติมากกว่า เนื่องจากเกิดการพูดคุยแลกเปลี่ยนความคิดระหว่างกัน ทำให้เกษตรกรทราบถึงวิธีการปฏิบัติที่ถูกต้อง สอดคล้องกับ Janthong and Sakkatat (2016) ที่กล่าวไว้ว่า การติดต่อกับเจ้าหน้าที่ของรัฐและเอกชน มีความสัมพันธ์กับการยอมรับตามหลักเกษตรดีที่เหมาะสม เพราะว่าเกษตรกรที่มีการติดต่อกับเจ้าหน้าที่มากก็จะได้รับคำแนะนำและข้อคิดเห็นใหม่ ๆ เพิ่มมากขึ้นตามไปด้วย ซึ่งแสดงว่าการที่เกษตรกรมีทัศนคติที่ดีและมีการติดต่อกับเจ้าหน้าที่เกี่ยวกับระบบเกษตรดีที่เหมาะสม มีอิทธิพลต่อการปฏิบัติเกษตรดีที่เหมาะสม

ปัญหาและข้อเสนอแนะในการผลิตสตรอว์เบอร์รีคุณภาพของเกษตรกร อำเภอสะเมิง จังหวัดเชียงใหม่ พบว่า ปัญหาที่เกษตรกรพบมากที่สุด คือ ด้านการปลูกสตรอว์เบอร์รี (ร้อยละ 89.6) เนื่องจากพบโรคและแมลงรบกวนจำนวนมาก จึงทำให้ต้องมีการใช้สารเคมีในการช่วยจำกัด นอกจากนี้ยังมีปัญหาด้านสภาพอากาศ ขาดแคลนน้ำ ดินเสื่อม และผลผลิตน้อย ปัญหารองลงมา คือ ด้านการตลาด (ร้อยละ 69.7) ด้านเงินทุน (ร้อยละ 46.1) ด้านการผลิตสตรอว์เบอร์รีคุณภาพ ตามระบบ GAP (ร้อยละ 35.3) และด้านอื่น ๆ เช่น พื้นที่ปลูกจำกัด แรงงานไม่เพียงพอ สถานการณ์ covid-19 ส่งผลให้ราคาตกต่ำ เป็นต้น (ร้อยละ 10.8) ข้อเสนอแนะจากเกษตรกรด้านการปรับราคาของผลผลิตสตรอว์เบอร์รีให้สูงขึ้น รวมถึงต้องการให้เจ้าหน้าที่พัฒนาการส่งเสริมให้ความรู้เกี่ยวกับระบบเกษตรดีที่เหมาะสมสำหรับสตรอว์เบอร์รีอย่างสม่ำเสมอต่อเนื่อง โดยเน้นด้านการผลิต และมีตลาดรองรับการปลูกแบบระบบเกษตรดีที่เหมาะสมอย่างกว้างขวาง เพื่อให้เกษตรกรมีรายได้เพิ่มขึ้นจากระบบเดิม

สรุปและข้อเสนอแนะ

จากการศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการปฏิบัติเกษตรดีที่เหมาะสมของเกษตรกรผู้ปลูกสตรอว์เบอร์รีคุณภาพ อำเภอสะเมิง จังหวัดเชียงใหม่ พบว่า ทัศนคติที่มีต่อระบบเกษตรดีที่เหมาะสม และการติดต่อกับเจ้าหน้าที่เกี่ยวกับระบบเกษตรดีที่เหมาะสม มีความสัมพันธ์เชิงบวกกับการปฏิบัติเกษตรดีที่เหมาะสม โดยเกษตรกรกลุ่มตัวอย่างส่วนใหญ่มีทัศนคติที่ดีต่อระบบเกษตรดีที่เหมาะสมและมีการติดต่อกับเจ้าหน้าที่เกี่ยวกับระบบเกษตรดีที่เหมาะสม ซึ่งถือว่าเป็นแนวทางที่ดีในการส่งเสริมการปลูกสตรอว์เบอร์รีคุณภาพแบบระบบเกษตรดีที่เหมาะสม อย่างไรก็ตาม พบว่า เกษตรกรนั้นยังมีความรู้ความเข้าใจเกี่ยวกับระบบเกษตรดีที่เหมาะสมไม่เพียงพอ และราคาของผลผลิตระบบเกษตรดีที่เหมาะสมไม่เป็นไปตามที่หวัง ทั้งนี้ ประเด็นที่เกษตรกรยังคงมีความรู้ความเข้าใจและปฏิบัติน้อย ได้แก่ การใช้และการจัดเก็บสารเคมีอย่างถูกต้องและเหมาะสม การจดบันทึกขั้นตอนต่าง ๆ ในการปฏิบัติงาน การเก็บรักษาแบบบันทึกอย่างต่อเนื่อง 3 ปี เพื่อตรวจสอบย้อนหลัง เป็นต้น โดยประเด็นที่กล่าวมาข้างต้นนี้ เกษตรกรมีความคิดเห็นว่าการปฏิบัติตามขั้นตอนนั้น มีความยุ่งยาก ซับซ้อน เพิ่มขั้นตอน และไม่เห็นประโยชน์ที่ชัดเจน เนื่องจากราคาของผลผลิตที่ได้จากระบบเกษตรดีที่เหมาะสมนั้นเท่ากันกับการผลิตสตรอว์เบอร์รีแบบทั่วไป รวมถึงไม่ทราบแหล่งตลาดรองรับ จึงส่งจำหน่ายให้กับพ่อค้าคนกลางเป็นหลัก ส่งผลให้ได้ราคาค่อนข้างต่ำ และมีรายได้น้อยตามไปด้วย ซึ่งมีข้อเสนอแนะต่อหน่วยงานที่เกี่ยวข้องต่าง ๆ ในพื้นที่ คือ เจ้าหน้าที่เกษตรควรส่งเสริมหรือให้คำปรึกษาเกี่ยวกับเกษตรดีที่เหมาะสมสำหรับสตรอว์เบอร์รีอย่างต่อเนื่อง และคอยติดตามผลสม่ำเสมอ เพื่อกระตุ้นให้เกษตรกรดำเนินการได้ตามเป้าหมายที่วางไว้ และสามารถปรับเปลี่ยนมาใช้ระบบเกษตรดีที่เหมาะสมได้ในระยะยาว

เอกสารอ้างอิง

Bunyanit, A. and R. Sirisunyaluck. 2019. Factors influencing obtaining good agricultural practice certification of rice growers in Phrao district, Chiang Mai Province. Khon Kaen Agricultural Journal 47 (Suppl. 1): 167-172. (in Thai)

Chiang Mai Provincial Agricultural Extension Office. 2018. Economic fruit planting area in 2017. Chiang Mai Provincial Agricultural Extension Office, Chiang Mai. 21 p. (in Thai)

Chiang Mai Provincial Agricultural Extension Office. 2020. Crop statistics. Chiang Mai Provincial Agricultural Extension Office, Chiang Mai. 2 p. (in Thai)

Chiang Mai Provincial Public Health Office. 2011. Chiang Mai food safety roadmap. Final report. Chiang Mai Public Health Office, Chiang Mai. 71 p. (in Thai)

Department of Agricultural Extension. 2019. Safe production and consumption of vegetables. Recommendation Document 3. Department of Agricultural Extension, Bangkok. 37 p. (in Thai)

Highland Research and Development Institute. 2004. Good agricultural practice. (Online). Available: https://web2012.hrdi.or.th/knowledge/detail/1534/Good-agricultural-practice/ (July 12, 2012).

Janthong, N. and P. Sakkatat. 2016. Good agricultural practices adoption of mango's farmer at Samko District, Angthong Province. Journal of Agriculture 32(1): 19-27. (in Thai)

Nathewet, P. 2018. Project to upgrade and increase the value of strawberry production. (Online). Available: https://erp.mju.ac.th/projectDetailPublic.aspx?pid=12957 (April 21, 2020). (in Thai)

Office of Agricultural Research and Development Region 1. 2020. Farmers registered with GAP strawberry. Office of Agricultural Research and Development Region 1, Chiang Mai. 1-6 p. (in Thai)

Pipattanawong, N., H. Akagi, W. Tacha, B. Thongyeun and S. Tiwong. 2011. Strawberry cv. Praratchatan 80. Kasetsart Extension Journal 56(1): 22-28. (in Thai)

Scutti, S. 2018. Strawberries again top 2018's 'Dirty Dozen' fruits and veggies. (Online). Available: https://edition.cnn.com/2018/04/10/health/2018-dirty-dozen-fruits-and-veggies-ewg/index.html?sr=fbCNN0410182018-dirty-dozen-fruits-and-veggies-ewg1056AMStoryGal (April 10, 2018).

Yamane, T. 1973. Statistics: An Introductory Analysis. 3rd ed. Harper and Row, New York. 1130 p.

ปริมาณคลอโรฟิลล์และสถานะของธาตุอาหาร
ในใบทุเรียนและดินที่เจริญเติบโตในระบบวนเกษตร

Chlorophyll Content and Nutrient Status in Durian Leaves and Soil Growing Under Agroforestry System

พจนีย์ แสงมณี* วิมลฉัตร สมนิยาม และ พิชัย ใจกล้า

Podjanee Sangmanee*, Vimolchat Somniyam and Phichai Chaikla

สาขาวิชาเกษตรศาสตร์ คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏอุตรดิตถ์ จ. อุตรดิตถ์ 53000

Division of Agriculture, Faculty of Agriculture, Uttaradit Rajabhat University, Uttaradit 53000, Thailand

**Corresponding author: Email: psangmanee191@gmail.com*

(Received: 5 October 2021; Accepted: 22 April 2022)

Abstract: Nutrient management is very important for growing quality durian on sloping land in the agroforestry system of Uttaradit province. The objectives of this work were to determine chlorophyll content, and evaluate nutrient status in soils and leaves during the first and second stages of leaf flushing that link to photosynthesis and nutrient management. Soils and leaves of seven orchards differing in nutrient management were collected. Soil properties such as pH, organic matter, available phosphorus, exchangeable potassium, calcium and magnesium were analyzed. Furthermore, greenness values, chlorophyll content and nutrients including nitrogen, phosphorus, potassium, calcium and magnesium of leaves were analyzed. Medium and correlation between 2 variables were determined. The results showed that chlorophyll contents were observed higher in the first leaf stage. Greenness correlated with total chlorophyll (r = 0.52***) but not for nitrogen. Soil pH was below 5.5 and organic matter was over 2 percent. All available forms of nutrients such as phosphorus, potassium, calcium and magnesium were mostly below the standard range. Negative interaction between exchangeable potassium and exchangeable calcium (R^2 = 0.36**) and exchangeable magnesium (R^2 = 0.38**) were observed. Meanwhile, the nutrient status of index leaves was varied. Only nitrogen contents were in the standard range. Phosphorus, potassium and magnesium contents were above standard ranges but calcium was the opposite. Negative interaction between potassium and calcium (R^2 = 0.91**) as well as potassium and magnesium (R^2 = 0.94**) were clearly noticeable. Nevertheless, magnesium was 3-6 times over the standard range. Briefly, magnesium was more needed over the standard range for photosynthesis. Calcium applied for soil pH adjustment is essential for durian growing under agroforestry.

Keywords: Durian, chlorophyll, index leaf, nutrient survey, interaction

Copyright @ Journal of Agriculture, Faculty of Agriculture, Chiang Mai University. All rights reserved.

บทคัดย่อ: การจัดการธาตุอาหารมีความสำคัญมากต่อการเพาะปลูกทุเรียนให้มีคุณภาพบนพื้นที่ลาดชันในระบบวนเกษตรของจังหวัดอุตรดิตถ์ วัตถุประสงค์ของการศึกษานี้คือการหาปริมาณคลอโรฟิลล์และประเมินสถานะธาตุอาหารพืชในดินและใบระหว่างช่วงการเจริญเติบโตของใบรุ่นที่ 1 และ 2 ที่เชื่อมโยงถึงการสังเคราะห์แสงและการจัดการธาตุอาหาร ดำเนินการศึกษาโดยเก็บตัวอย่างดินและใบทุเรียนจากสวนทุเรียน จำนวน 7 สวนที่มีการให้ธาตุอาหารแตกต่างกัน เพื่อวิเคราะห์สมบัติดิน ได้แก่ ความเป็นกรด-ด่าง (pH) อินทรียวัตถุ ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ โพแทสเซียม แคลเซียม และแมกนีเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ และเก็บตัวอย่างใบมาวัดค่าความเขียว วิเคราะห์หาปริมาณคลอโรฟิลล์ วิเคราะห์ธาตุอาหาร ได้แก่ ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส โพแทสเซียม แคลเซียม และแมกนีเซียม นำข้อมูลมาหาค่ามัธยฐานและศึกษาความสัมพันธ์ระหว่าง 2 ตัวแปร ผลการศึกษาพบว่าปริมาณคลอโรฟิลล์สูงมากในใบดัชนีรุ่นที่ 1 ความเขียวของใบมีความสัมพันธ์กับปริมาณคลอโรฟิลล์รวม (r = 0.52***) แต่ไม่มีความสัมพันธ์กับปริมาณไนโตรเจน ส่วนสมบัติดินในสวนทุเรียนพบว่า ส่วนใหญ่มีค่า pH ต่ำกว่า 5.5 มีอินทรียวัตถุมากกว่า 2 เปอร์เซ็นต์ พบปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์และโพแทสเซียม แคลเซียม และแมกนีเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ส่วนใหญ่มีปริมาณต่ำกว่าค่ามาตรฐาน พบปฏิสัมพันธ์ทางลบระหว่างโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้กับแคลเซียม (R^2 = 0.36**) และแมกนีเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ (R^2 = 0.38**) ระดับของธาตุอาหารในใบดัชนีขึ้นอยู่กับชนิดของธาตุอาหาร เฉพาะไนโตรเจนอยู่ในช่วงของค่ามาตรฐาน ฟอสฟอรัส โพแทสเซียม และแมกนีเซียมมีค่ามัธยฐานสูงกว่าค่ามาตรฐานอย่างชัดเจน ขณะที่แคลเซียมต่ำกว่าค่ามาตรฐาน พบปฏิสัมพันธ์ทางลบระหว่างโพแทสเซียมกับแคลเซียม (R^2 = 0.91**) และโพแทสเซียมกับแมกนีเซียม (R^2 = 0.94**) อย่างชัดเจน แต่แมกนีเซียมเกินค่ามาตรฐาน 3-6 เท่า แสดงให้เห็นว่าทุเรียนต้องการแมกนีเซียมที่สูงกว่าค่ามาตรฐานเพื่อใช้ในการสังเคราะห์แสง และการปรับค่า pH ด้วยการใส่แคลเซียมทางดินยังคงมีความจำเป็นอย่างมากต่อการเพาะปลูกทุเรียนในระบบวนเกษตร

คำสำคัญ: ทุเรียน คลอโรฟิลล์ ใบดัชนี การสำรวจธาตุอาหาร ปฏิสัมพันธ์

บทนำ

การเพาะปลูกทุเรียนภายใต้ระบบวนเกษตรในเขตภาคเหนือพบได้ที่ในพื้นที่ของจังหวัดอุตรดิตถ์ ลักษณะพื้นที่เพาะปลูกเป็นภูเขาและมีความลาดชัน ทุเรียนเป็นพืชที่มีชั้นเรือนยอดระดับกลางที่เจริญเติบโตภายใต้ร่มเงาของไม้ป่าเดิม (Sangmanee *et al*., 2011) ดินที่ปลูกทุเรียนเกิดจากหินที่ผุพังอยู่กับที่หรือจากการสลายตัวของดินดานเชิงเขา ส่วนใหญ่เป็นดินลึกไม่เกิน 60 เซนติเมตรจากผิวดิน ในพื้นที่ 10 ไร่ มีต้นทุเรียนอยู่ประมาณ 5 - 50 ต้น ที่มีอายุตั้งแต่ 5 - 30 ปี เนื่องจากต้นทุเรียนเจริญเติบโตปะปนกับต้นไม้ชนิดอื่น ดังนั้น การจัดการดินและอัตราการใส่ปุ๋ยของแต่ละสวนเป็นแบบรายต้น โดยพิจารณาตามอายุของต้นและปริมาณผลผลิตทุเรียนที่ได้รับในปีที่ผ่านมา (Sangmanee, 2019) พันธุ์ทุเรียนที่มีชื่อเสียง ได้แก่ หลงลับแลและหลินลับแล ซึ่งเป็นพันธุ์ทุเรียนที่ได้รับการขึ้นทะเบียนเป็นสินค้าสิ่งบ่งชี้ทางภูมิศาสตร์ นอกจากนี้ยังมีพันธุ์หมอนทองและพันธุ์พื้นเมือง โดยปลูกมากที่สุดในพื้นที่อำเภอลับแล รองลงมาคืออำเภอเมืองและอำเภอท่าปลา ในฤดูกาลเพาะปลูกปี 2562 จังหวัดอุตรดิตถ์มีพื้นที่เพาะปลูกทุเรียน 41,143 ไร่ มีผลผลิตรวม 39,022.75 ตัน คิดเป็นมูลค่า 2,793.41 บาท (Uttaradit Provincial Office, 2019)

การจัดการธาตุอาหารพืชสำหรับไม้ผลใช้หลักการเปรียบเทียบความเข้มข้นของตัวอย่างกับค่ามาตรฐาน กล่าวคือ พิจารณาความเข้มข้นของธาตุอาหารในใบดัชนี (index leaf) เป็นตัวแทนเพื่อประเมินสถานะของธาตุอาหารของแต่ละสวน ส่วนผลจากการวิเคราะห์ดินใช้เป็นแนวทางในการปรับปรุงดินเพื่อให้ธาตุอาหารอยู่ในรูปที่เป็นประโยชน์ (Poovarodom *et al*., 2001) การศึกษาด้านการจัดการธาตุอาหารมีหลายวิธีการ ได้แก่ สำรวจปริมาณธาตุอาหาร (nutrient survey) เช่น ศึกษาการดูดใช้ธาตุแมกนีเซียมของ

ยางพาราและหาปริมาณธาตุดังกล่าวที่มีอยู่ในดินในพื้นที่เพาะปลูกยางพาราในภาคใต้ เพื่อทบทวนการจัดทำคำแนะนำอัตราการให้ธาตุอาหารพืช (Pongthai *et al.*, 2017) นอกจากนี้ ยังมีการศึกษาปฏิสัมพันธ์ (interaction) ของธาตุอาหารพืชที่ส่งผลต่อปริมาณผลผลิตของพืชเศรษฐกิจหลายชนิด เช่น ชาน้ำมัน (Khunthong *et al.* 2020) ยางพารา (Bueraheng *et al.*, 2016; Kongmak *et al.*, 2017) เป็นต้น สำหรับวิธีการพิจารณาอาการขาดธาตุอาหารพืชด้วยสายตา และการหาปริมาณคลอโรฟิลล์ซึ่งเป็นวิธีการทางอ้อม (indirect method) เพื่อเชื่อมโยงถึงปริมาณธาตุอาหารมีผลต่อการสังเคราะห์แสง ได้แก่ ธาตุไนโตรเจนและแมกนีเซียม มีการศึกษาในไม้ผลหลายชนิด เช่น ส้มโอ (Jaroonchon *et al.*, 2010) เงาะและลองกอง (Chanaweerawan and Sdoodee, 2002) เป็นต้น รวมไปถึงใช้เป็นแนวทางในการจัดการแปลงเพื่อให้ได้รับแสงในระหว่างการผลิใบ เช่น ลิ้นจี่พันธุ์ Shasi เป็นลิ้นจี่พันธุ์เบาที่พบปริมาณคลอโรฟิลล์สูงที่สุดในใบชุดที่ 1 หากได้รับแสงไม่เพียงพอทำให้มีผลต่อช่วงเวลาการเกิดช่อดอก (Kumari *et al.*, 2008)

การจัดการธาตุอาหารในระยะที่มีการเจริญเติบโตทางใบมีความสำคัญต่อการออกดอกของทุเรียน ภายหลังจากการผลิใบอ่อนมาแล้ว 1 - 2 รุ่น มีการสังเคราะห์แสงเพื่อการสะสมอาหารในรูปของสารประกอบคาร์โบไฮเดรตที่เพียงพอ โดยใบทั้งสองรุ่นเป็นใบหลักในการสร้างและสะสมอาหาร (Phattaralerphong *et al.*, 2015) ใบทุเรียนที่มีอายุมากขึ้นมีปริมาณธาตุอาหารหลักลดลงในขณะที่มีการสะสมแคลเซียม แมกนีเซียม เหล็กและแมงกานีสเพิ่มขึ้น ใบดัชนีของทุเรียนถูกกำหนดให้เป็นใบตำแหน่งที่ 2 และ 3 ของใบรุ่นที่ 1 ซึ่งมีอายุ 5 - 7 เดือน นับจากการผลิยอด เนื่องจากความเข้มข้นของธาตุอาหารในใบที่ตำแหน่งดังกล่าวมีความแปรปรวนน้อยเมื่อเทียบกับตำแหน่งอื่น (Poovarodom *et al.*, 2001) อย่างไรก็ตาม ยังไม่มีรายงานการศึกษาถึงปริมาณคลอโรฟิลล์ในใบทุเรียนเพื่อให้เข้าใจถึงกระบวนการทางสรีรวิทยา รวมไปถึงการสำรวจปริมาณธาตุอาหารในดินและใบทุเรียนที่เจริญเติบโตในระบบวนเกษตรของจังหวัดอุตรดิตถ์ ดังนั้น การวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณคลอโรฟิลล์กับค่าความเขียว และไนโตรเจนในใบดัชนีของทุเรียน สถานะของธาตุอาหารในดินและใบดัชนี เพื่อเป็นแนวทางการให้คำแนะนำการจัดการธาตุอาหารพืชสำหรับการเพาะปลูกทุเรียนภายใต้ระบบวนเกษตรของจังหวัดอุตรดิตถ์

อุปกรณ์และวิธีการ

ดำเนินการศึกษาในพื้นที่เพาะปลูกทุเรียนในอำเภอลับแลและอำเภอเมือง จังหวัดอุตรดิตถ์ โดยเลือกสวนที่ปลูกทุเรียนพันธุ์หมอนทอง หลงลับแล และพันธุ์พื้นเมืองที่มีอายุต้นทุเรียน 10 - 30 ปี จำนวน 7 สวน รวมทั้งหมด 34 ต้น แบ่งเป็นพันธุ์หมอนทอง 12 ต้น หลงลับแล 11 ต้น และพันธุ์พื้นเมือง 11 ต้น การจัดการดินและธาตุอาหารของแต่ละสวนมีความแตกต่างกัน ดังนี้ สวนที่ 1) ไม่มีการจัดการสวน ปล่อยให้ทุเรียนเจริญเติบโตตามธรรมชาติแล้วรอเก็บผลผลิต สวนที่ 2) ไม่เคยใช้วัสดุปูน ใส่เฉพาะปุ๋ยเคมีที่ให้ธาตุอาหารหลัก มีการพ่นธาตุอาหารรองและจุลธาตุอย่างสม่ำเสมอ สวนที่ 3) ไม่เคยใช้วัสดุปูน มีการใส่ปุ๋ยอินทรีย์และปุ๋ยเคมี ไม่มีการพ่นธาตุอาหารทางใบ สวนที่ 4) มีการใส่โดโลไมต์, ปุ๋ยอินทรีย์และปุ๋ยเคมีที่ให้ธาตุอาหารหลักเป็นบางครั้ง สวนที่ 5) เคยใส่โดโลไมต์ในช่วง 5 ปีที่ผ่านมา มีการใส่ปุ๋ยอินทรีย์ และปุ๋ยเคมีที่ให้ธาตุอาหารหลัก มีการพ่นธาตุอาหารรองและจุลธาตุอย่างสม่ำเสมอ สวนที่ 6) มีการใส่โดโลไมต์, ใส่ปุ๋ยอินทรีย์และปุ๋ยเคมีที่ให้ธาตุอาหารหลัก มีการพ่นธาตุอาหารรองและจุลธาตุอย่างสม่ำเสมอ สวนที่ 7) ใส่ถ่านชีวภาพและยิปซัมสังเคราะห์เป็นสารปรับปรุงดิน ใส่ปุ๋ยอินทรีย์และปุ๋ยเคมีที่ให้ธาตุอาหารหลัก มีการพ่นธาตุอาหารรองและจุลธาตุอย่างสม่ำเสมอ

การเก็บตัวอย่าง

เก็บตัวอย่างดินใต้ทรงพุ่มเป็นรายต้นที่ระดับความลึก 0 - 20, 20 - 40 และ 40 - 60 เซนติเมตร เพื่อวิเคราะห์สมบัติทางเคมี ได้แก่ ความเป็นกรด-ด่าง (pH)

(ดิน : น้ำ 1 : 1) อินทรียวัตถุ (Walkley-Black) ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ (Bray II) โพแทสเซียม แคลเซียม และแมกนีเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ (1M NH_4OAc pH 7) (Therajindakajorn, 2009) ตัวอย่างดินมีลักษณะเป็นสีส้มอิฐ จัดอยู่ในกลุ่มชุดดินที่ 62 หรือพื้นที่ลาดชันเชิงซ้อน ความลาดชันเกิน 35 เปอร์เซ็นต์

เก็บตัวอย่างใบทุเรียนจากทุเรียนต้นเดียวกับที่เก็บตัวอย่างดิน ในช่วงเดือนเมษายนถึงเดือนพฤษภาคม พ.ศ. 2560 ซึ่งเป็นระยะที่ทุเรียนออกดอก โดยเก็บใบทุเรียนรุ่นที่ 1 และ 2 ตำแหน่งที่ 1 - 4 จากทั้ง 4 ทิศ ได้แก่ ทิศเหนือ ทิศใต้ ทิศตะวันออก และทิศตะวันตก บริเวณกิ่งล่างหรือความสูงที่ระดับมือเอื้อมถึง แล้วเลือกเฉพาะใบที่สมบูรณ์ ไม่มีการเข้าทำลายของศัตรูพืช จำนวน 514 ใบ วัดค่าความเขียวในภาคสนาม โดยใช้เครื่องคลอโรฟิลล์มิเตอร์ (SPAD) ยี่ห้อ Konica รุ่น SPAD-502 พลัส วัดค่าความเขียวกระจายทั่วใบทุเรียนแต่ละใบจำนวน 6 จุดเพื่อหาค่าเฉลี่ย จากนั้นเก็บตัวอย่างใส่ถุงพลาสติกแล้วบรรจุในกล่องโฟมที่มีเจลเย็น (ice pad) ที่ห่อหุ้มด้วยผ้าเพื่อรักษาสภาพของตัวอย่าง

การวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมี

การประเมินผลเบื้องต้นไม่พบความแตกต่างระหว่างค่าความเขียวที่วัดได้ในใบทุเรียนแต่ละพันธุ์และอายุของต้น จึงนำค่าเฉลี่ยความเขียวที่วัดได้มาเรียงลำดับตั้งแต่ค่าน้อยไปมาก เนื่องจากการเตรียมตัวอย่างมีวิธีการที่แตกต่างกัน จึงสุ่มใบทุเรียนที่เรียงลำดับค่าความเขียวออกเป็น 3 กลุ่ม โดยวิเคราะห์หาปริมาณคลอโรฟิลล์ จำนวน 128 ใบ และนำใบดัชนีมาวิเคราะห์หาไนโตรเจน จำนวน 96 ใบ, ฟอสฟอรัส โพแทสเซียม แคลเซียม และแมกนีเซียม ใช้ตัวอย่างใบกลุ่มเดียวกันจำนวน 44 ใบ

การวิเคราะห์หาปริมาณคลอโรฟิลล์ โดยสกัดด้วยอะซิโตนความเข้มข้น 80 เปอร์เซ็นต์ และทำการวัดค่าการดูดกลืนคลื่นแสงด้วยเครื่อง spectrophotometer ที่ความยาวคลื่น 663 และ 645 นาโนเมตร โดยคำนวณหาปริมาณคลอโรฟิลล์เอ คลอโรฟิลล์บี และคลอโรฟิลล์รวมตามวิธีการของ Witham *et al.* (1971)

การวิเคราะห์หาปริมาณธาตุอาหารในใบทุเรียน เตรียมตัวอย่างโดยล้างทำความสะอาดใบก่อนที่จะนำไปอบที่อุณหภูมิ 65 องศาเซลเซียส จากนั้นจึงบดและย่อยด้วยกรดซัลฟูริก ก่อนที่จะนำไปวิเคราะห์หาปริมาณไนโตรเจน (Kjeldahl distillation) ฟอสฟอรัส (vanadomolybdate method) โพแทสเซียม แคลเซียม และแมกนีเซียม (atomic absorption spectrophotometer) (Suwanwong, 2001)

การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ

นำข้อมูลค่าความเขียว ปริมาณคลอโรฟิลล์เอ คลอโรฟิลล์บี คลอโรฟิลล์รวม อัตราส่วนระหว่างคลอโรฟิลล์เอ/บี และปริมาณธาตุอาหารในใบพืชมาทดสอบการกระจายแบบปกติ (normality test) และตัดข้อมูลค่าผิดปกติ (outlier) ออก จากนั้นนำข้อมูลปริมาณคลอโรฟิลล์มาหาค่ามัธยฐาน และวัดตำแหน่งของข้อมูลและแสดงผลแบบ box and whisker plot ศึกษาความสัมพันธ์ระหว่าง 2 ตัวแปร ได้แก่ ค่าความเขียวกับปริมาณไนโตรเจน และค่าความเขียวกับปริมาณคลอโรฟิลล์ และความสัมพันธ์ระหว่างธาตุอาหาร โดยใช้โปรแกรม Microsoft Excel และ SPSS Statistics version 17.0

ผลการศึกษาและวิจารณ์

ปริมาณคลอโรฟิลล์ในใบทุเรียน

ปริมาณคลอโรฟิลล์แต่ละชนิดมีความแตกต่างกันตามชนิด รุ่นใบ และตำแหน่งใบ โดยพบว่าคลอโรฟิลล์เอมีความเข้มข้นสูงกว่าคลอโรฟิลล์บีอย่างชัดเจนในใบทั้งสองรุ่นและทุกตำแหน่งใบ เมื่อพิจารณารุ่นของใบทุเรียน พบว่า ใบทุเรียนรุ่นที่ 1 ในทุกตำแหน่งใบมีค่ามัธยฐานของปริมาณคลอโรฟิลล์เอและคลอโรฟิลล์บีสูงกว่าใบรุ่นที่ 2 โดยค่ามัธยฐานของคลอโรฟิลล์เอของใบรุ่นที่ 1 ในตำแหน่งที่ 1, 2 และ 3 มีค่า 0.29, 0.31 และ 0.33 มิลลิกรัมต่อกรัม ส่วนในใบรุ่นที่ 2 ตำแหน่งที่ 1, 2 และ 3 มีค่า 0.21, 0.16 และ 0.19 มิลลิกรัมต่อกรัม ตามลำดับ สำหรับค่ามัธยฐานของคลอโรฟิลล์บีในใบรุ่นที่ 1 ในตำแหน่งที่ 1, 2 และ 3

มีค่า 0.15, 0.13 และ 0.17 มิลลิกรัมต่อกรัม ส่วนในใบรุ่นที่ 2 ตำแหน่งที่ 1, 2 และ 3 มีค่าเท่ากันคือ 0.11 มิลลิกรัมต่อกรัม (Figure 1a,b) และตำแหน่งใบที่ 2 และ 3 ในรุ่นใบที่ 1 พบความเข้มข้นของคลอโรฟิลล์เอและบีเป็นช่วงกว้างกว่าตำแหน่งอื่น คือ 0.07 - 0.86 และ 0.09 - 0.98 มิลลิกรัมต่อกรัม ตามลำดับ (Figure 1a,b)

สำหรับปริมาณคลอโรฟิลล์ทั้งหมดเป็นผลมาจากความเข้มข้นของคลอโรฟิลล์เอ ที่ยังคงพบความเข้มข้นของปริมาณคลอโรฟิลล์ทั้งหมดในใบรุ่นที่ 1 มีค่าสูงกว่าใบรุ่นที่ 2 (Figure 1c) สำหรับอัตราส่วนระหว่างคลอโรฟิลล์เอต่อบี พบว่า ใบทุเรียนทั้งสองรุ่นและทุกตำแหน่งใบมีค่ามัธยฐานมากกว่า 1 (Figure 1d)

ความเข้มข้นของคลอโรฟิลล์ในแต่ละรุ่นและตำแหน่งใบมีความแตกต่างกันได้ในไม้ผลแต่ละชนิดหรือแต่พันธุ์ นอกจากนี้ ยังบอกถึงอัตราการสังเคราะห์แสงได้ (Kumari *et al*., 2018) จากข้อมูลจะเห็นได้ว่าใบรุ่นที่ 1 มีอัตราการสังเคราะห์แสงสูงกว่าเมื่อเทียบกับใบรุ่นที่ 2 สำหรับใบรุ่นที่ 1 ตำแหน่งใบที่ 2 และ 3 ซึ่งเป็นตำแหน่งของใบดัชนี พบว่า ความเข้มข้นของคลอโรฟิลล์เอ คลอโรฟิลล์บี และคลอโรฟิลล์รวมมีช่วงความเข้มข้นที่กว้างกว่าที่ตำแหน่งใบอื่น ผลการศึกษาสอดคล้องกับการศึกษาของ Phattaralerphong *et al*. (2015) ที่พบว่า ใบทุเรียนพันธุ์หมอนทองที่มีอายุ 55 - 60 วัน มีปริมาณคลอโรฟิลล์เอ คลอโรฟิลล์บี และคลอโรฟิลล์รวมที่มากกว่าใบที่มีอายุ 35 - 45 วัน การศึกษานี้แสดงให้เห็นว่าตำแหน่งใบดัชนีก็เป็นตำแหน่งที่พบปริมาณคลอโรฟิลล์เข้มข้นสูงกว่าตำแหน่งอื่นและพบปริมาณคลอโรฟิลล์เป็นช่วงกว้าง ขณะเดียวกันใบดัชนีเป็นตำแหน่งใบที่พบปริมาณธาตุอาหารที่ใกล้เคียงกันหรือมีความคงที่มากกว่าตำแหน่งอื่น (Poovarodom *et al*., 2001)

สัดส่วนระหว่างคลอโรฟิลล์เอต่อบีของใบทุเรียนที่มีค่ามากกว่า 1 แสดงให้เห็นว่าความเข้มแสงที่ส่องมายังใบทุเรียนเพียงพอสำหรับเจริญเติบโตในระบบวนเกษตรที่มีร่มเงาของไม้ยืนต้น มีความเข้มแสงมากกว่า 680 นาโนเมตร โดยมีคลอโรฟิลล์เอทำหน้าที่หลักในกระบวนการสังเคราะห์แสง (Beneragama and Goto, 2010)

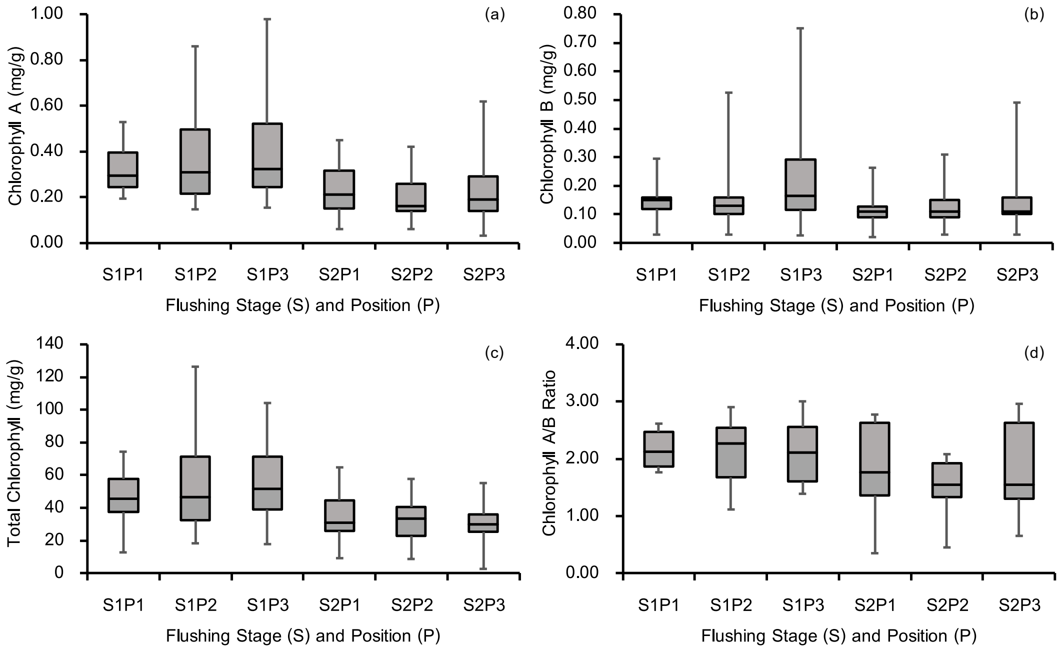


Figure 1. Total chlorophyll, chlorophyll a, chlorophyll b and chlorophyll *a*/b ratio of durian leaves in different flushing stages and leaf positions

ความสัมพันธ์ระหว่างความเขียว ไนโตรเจน และปริมาณคลอโรฟิลล์

จากผลการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างความเขียวและปริมาณไนโตรเจนในใบดัชนี พบว่าปริมาณไนโตรเจนไม่มีความสัมพันธ์กับค่าความเขียวของใบทุเรียน (Figure 2a) แต่ค่าความเขียวมีสหสัมพันธ์ทางบวกกับปริมาณคลอโรฟิลล์รวมอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ (r = 0.52***) และมีความสัมพันธ์เป็นสมการเส้นตรง (Figure 2b) แสดงให้เห็นว่าความเขียวของใบสัมพันธ์ปริมาณคลอโรฟิลล์รวม แต่ไม่สามารถใช้ความเขียวทำนายปริมาณไนโตรเจนในใบดัชนีได้

เครื่องคลอโรฟิลล์มิเตอร์ เป็นเครื่องที่วัดค่าดูดกลืนแสงของใบไม้โดยที่ความยาวคลื่น 650 นาโนเมตร เป็นความยาวคลื่นที่คลอโรฟิลล์ดูดกลืนช่วงแสงส่วนที่ความยาวคลื่น 940 นาโนเมตรเป็นช่วงคลื่นที่คลอโรฟิลล์ไม่ดูดกลืนแสง จากนั้นค่าดังกล่าวถูกนำมาคิดเป็นสัดส่วนก่อนที่แปลงเป็นสัญญานไฟฟ้า และแสดงผลในเชิงปริมาณในหน่วย SPAD ดังนั้นความเขียวแปรผันตรงกับปริมาณคลอโรฟิลล์ โดยปกติไนโตรเจนเป็นองค์ประกอบสำคัญของคลอโรฟิลล์และเอนไซม์ที่จำเป็นสำหรับการสังเคราะห์แสง และเป็นองค์ประกอบในคลอโรฟิลล์เอและคลอโรฟิลล์บี 6.3 และ 6.2 เปอร์เซ็นต์ (Chou *et al.*, 2020) การเปลี่ยนรูปจากไนโตรเจนเป็นคลอโรฟิลล์ในระหว่างกระบวนการสังเคราะห์แสง ขึ้นอยู่กับแสงและไนโตรเจนที่พืชได้รับ ค่าความเขียวของใบสามารถผันแปรไปตามปริมาณแสง เนื่องจากการเคลื่อนที่ของคลอโรพลาสต์ที่ขึ้นกับแสง (light - dependent chloroplast movement) และมีการให้ธาตุไนโตรเจนต่ำ แต่หากพืชได้รับแสงและไนโตรเจนอย่างเพียงพอ ไนโตรเจนเปลี่ยนเป็นคลอโรฟิลล์อย่างเต็มที่และทำให้คลอโรพลาสต์ขยายขนาดเต็มพื้นที่ว่างของเซลล์จนเคลื่อนที่ไม่ได้ ทำให้เมื่อวัดค่าความเขียวจึงไม่ผันแปรตามปริมาณไนโตรเจนที่เพิ่มขึ้นหรือลดลง (Xiong *et al.* 2015) ค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (R^2) ที่เกิดจากความการนำค่าความเขียวมาทำนายปริมาณไนโตรเจนในใบขึ้นอยู่กับชนิดของพืชทดลอง เช่น ลองกอง (R^2 = 0.82**) เงาะ (R^2 = 0.79) ส้มโอ (R^2 = 0.16***) (Chanaweerawan and Sdoodee, 2002; Jaroonchon *et al.*, 2010) นอกจากนี้ ค่าความเขียวยังขึ้นกับปริมาณไนโตรเจนที่พืชดูดใช้ เช่น การศึกษาของ Brunetto *et al.* (2012) ที่ศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเขียวกับไนโตรเจนในช่วงระยะออกดอกและช่วงที่ผลผลิตองุ่นกำลังเปลี่ยนสี พบว่า ในปีแรกของการศึกษาต้นองุ่นตอบสนองต่อการใส่ปุ๋ยไนโตรเจนเป็นอย่างดี ในขณะที่ปีที่สองมีฝนตกชุกจนเกิดการชะล้างไนโตรเจนต้นองุ่นจึงไม่ได้รับไนโตรเจนเท่าที่ควร ทำให้พบความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเขียวกับปริมาณไนโตรเจนเฉพาะในปีแรกเท่านั้น ในการศึกษานี้ พบว่าในระยะที่ทุเรียนออกดอกซึ่งเป็นช่วงที่เกษตรกรทุกสวนงดการใช้ปุ๋ยไนโตรเจน ขณะที่ใบดัชนีทุเรียนมีปริมาณไนโตรเจนใกล้เคียงกับค่ามาตรฐานและได้รับแสงเพียงพอต่อการเจริญเติบโต อาจเป็นไปได้ว่าช่วงเวลาดังกล่าวต้นทุเรียนมีการดูดใช้ไนโตรเจนน้อยมาก จึงทำให้ไม่พบความสัมพันธ์ระหว่างความเขียวกับปริมาณไนโตรเจนในใบดัชนี

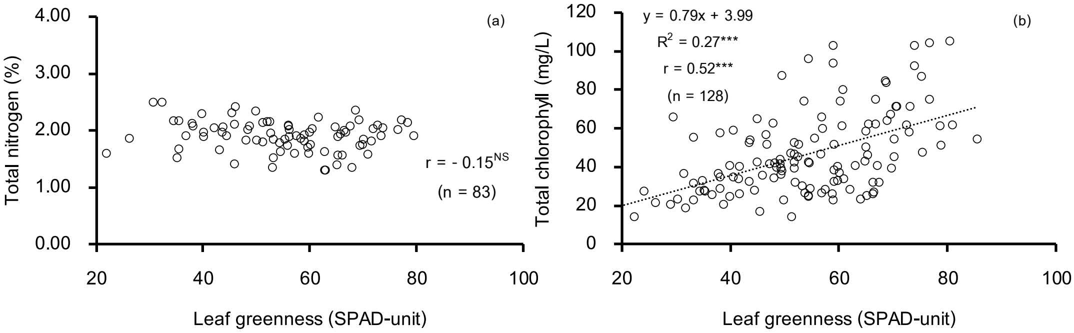


Figure 2. Relationship between leaf greenness and total nitrogen (a) and leaf greenness and total chlorophyll (b)

ปริมาณธาตุอาหารในดิน

เมื่อพิจารณาคุณสมบัติดินของแต่ละสวนเปรียบเทียบกับค่ามาตรฐานของดินที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของพืช (Santasup, 2009) พบว่า ค่า pH ส่วนใหญ่ยังมีค่าต่ำกว่า 5.5 ในทุกระดับความลึก ยกเว้นสวนที่ 1 ซึ่งเป็นสวนที่ปล่อยตามธรรมชาติ ไม่มีการจัดการ (Figure 3a) สำหรับปริมาณอินทรียวัตถุของทุกสวนพบว่า ดินที่ระดับความลึก 0 - 20 เซนติเมตร มีปริมาณอินทรียวัตถุเกิน 2 เปอร์เซ็นต์ และลดลงเมื่อระดับความลึกเพิ่มขึ้น (Figure 3b) ปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ที่ระดับความลึก 0 - 20 เซนติเมตร มีความแตกต่างกันอย่างชัดเจนในแต่ละสวนเฉพาะสวนที่มีการใส่ปุ๋ยทางดินเป็นประจำ เช่นสวนที่ 5, 6 และ 7 พบปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์เกินค่ามาตรฐาน ขณะที่ระดับความลึก 20 - 40 และ 40 - 60 เซนติเมตรของทุกสวนพบว่าปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ลดลงอย่างชัดเจน (Figure 3c) สำหรับปริมาณโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ พบเฉพาะในดินชั้นบนที่ระดับความลึก 0 - 20 เซนติเมตร และส่วนใหญ่อยู่ในระดับต่ำกว่าค่ามาตรฐาน (Figure 3d) สำหรับปริมาณแคลเซียมและแมกนีเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ของทุกสวนและทุกระดับความลึกมีลักษณะคล้ายกันคือ ต่ำกว่าค่ามาตรฐาน (Figure 3e, f)

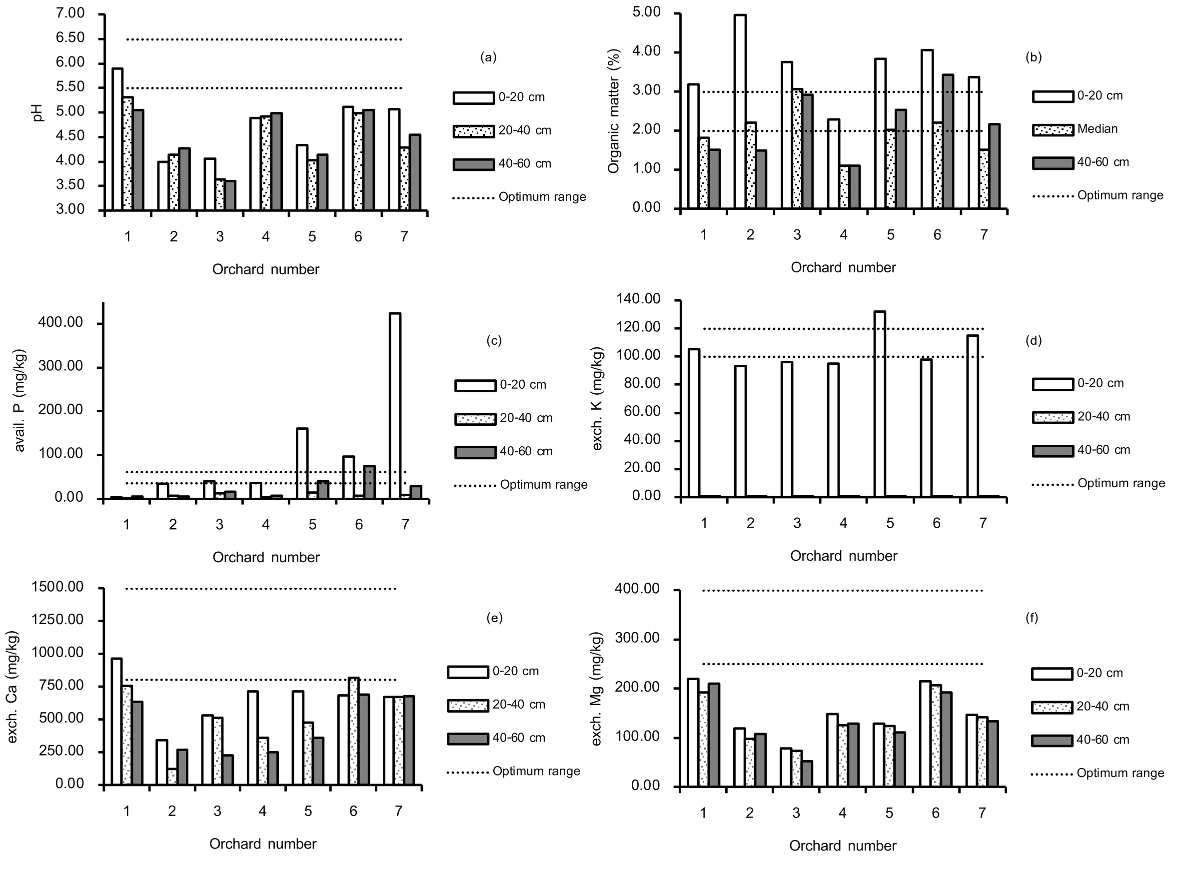


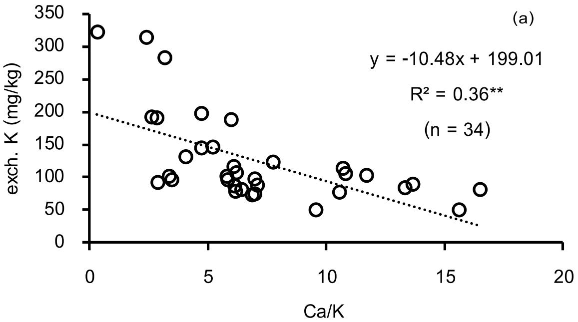
Figure 3. Soil properties of different orchard (a) pH, (b) organic matter, (c) available P, (d) exchangeable K, (e) exchangeable Ca, (f) exchangeable Mg

เมื่อพิจารณาสัดส่วนความสัมพันธ์ของโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้กับธาตุแคลเซียมและแมกนีเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ในดินระดับความลึก 0 - 20 เซนติเมตร พบว่า ความสัมพันธ์ระหว่างธาตุโพแทสเซียมและแคลเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ (Figure 4a) และความสัมพันธ์ระหว่างธาตุโพแทสเซียมและแมกนีเซียมที่แลกเปลี่ยนได้แปรผกผันซึ่งกันและกัน (Figure 4b) แสดงให้เห็นว่ามีปฏิสัมพันธ์เชิงลบเกิดขึ้นในดินชั้นบนระหว่างธาตุอาหารดังกล่าว

ค่า pH และอินทรียวัตถุในดินของสวนทุเรียนวนเกษตรจังหวัดอุตรดิตถ์มีรูปแบบคล้ายกัน คือ ดินมีค่า pH ต่ำกว่า 5.5 และมีอินทรียวัตถุมากกว่า 2 เปอร์เซ็นต์ (Boonyanuphap *et al*., 2021; Sangmanee *et al*., 2011) กรณีไม่มีการใส่วัสดุปูน เช่นสวนที่ปล่อยตามธรรมชาติส่วนมากปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ต่ำเพราะถูกตรึงอยู่ในดิน ค่าฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์และโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ ขึ้นอยู่กับการตกค้างของปุ๋ยในดินชั้นบน ขณะที่แคลเซียมและแมกนีเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ขึ้นอยู่กับการใส่วัสดุปูนเป็นหลัก ค่า pH ยังมีอิทธิพลต่อสถานะของธาตุอาหารในดิน เช่น สวนที่ 1 ไม่มีการจัดการ การรบกวนดินมีน้อยกว่า ความเป็นกรดของดินเกิดจากการย่อยสลายของอินทรียวัตถุในระบบเป็นหลักและมีการชะล้างหน้าดินตามธรรมชาติ ขณะที่สวนที่ 2 และ 3 ไม่มีการใส่วัสดุปูนและมีการใส่ทั้งปุ๋ยอินทรีย์และปุ๋ยเคมี ความเป็นกรดในดินจึงเกิดจากหลายสาเหตุ เช่น การย่อยสลายของอินทรีวัตถุ ผลตกค้างของปุ๋ยเคมี และการดูดใช้ธาตุอาหารประจุบวกของพืช pH แคลเซียมและแมกนีเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ต่ำกว่าสวนอื่นอย่างชัดเจน สำหรับสวนที่ 5 และ 6 แม้มีการใส่โดโลไมต์ แต่ไม่ได้ใส่เป็นประจำและใส่ในอัตราที่ต่ำกว่าความต้องการปูน ดังนั้น ค่า pH จึงไม่ต่างจากสวนอื่น แต่พบค่าแคลเซียมและแมกนีเซียมเพิ่มขึ้นตามค่า pH เช่นสวนที่ 6 กรณีของสวนที่ 7 จะเห็นได้ว่าเมื่อมีการปรับปรุงดินด้วยถ่านชีวภาพ และยิปซัมสังเคราะห์ค่า pH ยังไม่เพิ่มขึ้นจนถึงระดับที่เหมาะสม แต่ปริมาณแคลเซียมที่แลกเปลี่ยนได้มีค่าใกล้เคียงกันทุกระดับความลึก เนื่องจาก ยิปซัมสังเคราะห์ไม่ได้มีคุณสมบัติในการปรับค่า pH โดยตรงแต่เป็นแหล่งของแคลเซียม ซึ่งโดยปกติเมื่อได้รับความชื้นมีการปลดปล่อยแคลเซียมอย่างรวดเร็วภายใน 7 วันแรกหลังจากใส่ (Sangmanee, 2021) ขณะที่ถ่านชีวภาพเป็นวัสดุที่มีรูพรุนจำนวนมากทำให้แคลเซียมเคลื่อนที่ลงไปสู่ดินในระดับที่ลึกขึ้นได้ (Barnes *et al*., 2014; Libutti *et al*., 2019)

ปริมาณธาตุอาหารในใบดัชนี

เนื่องจากไม่พบความแตกต่างของธาตุอาหารในใบดัชนีในแต่ละสวน และเมื่อพิจารณาปริมาณธาตุอาหารในดินและใบดัชนีแบบรายต้นพบว่า ไม่มีความสอดคล้องกัน กล่าวคือ ดินมีปริมาณธาตุอาหารต่ำกว่าค่ามาตรฐานแต่กลับพบว่า ใบดัชนีมีปริมาณธาตุอาหารสูงกว่าค่ามาตรฐาน ดังนั้น ในการรายงานปริมาณธาตุอาหารในใบดัชนีจึงเป็นการรายงานในภาพรวมถึงสถานะของธาตุอาหารพืชโดยเปรียบเทียบกับช่วงของค่ามาตรฐานของธาตุอาหารที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของทุเรียนพันธุ์หมอนทอง



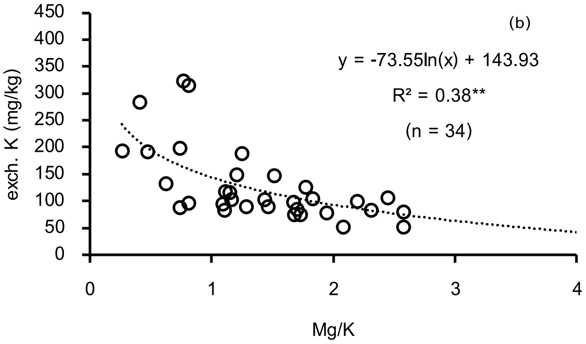


Figure 4. Correlation between Ca/K ratio and exchangeable K (a) and Mg/K ration and exchangeable K (b)

(Poovarodom *et al*., 2001) (Table 1) จากการพิจารณาพบว่า ปริมาณธาตุอาหารอยู่ในระดับต่ำ ปานกลางและสูงกว่าค่ามาตรฐานขึ้นอยู่กับชนิดของธาตุอาหาร เช่น ปริมาณไนโตรเจนในใบดัชนีมีค่ามัธยฐาน 1.96 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งใกล้เคียงกับค่ามาตรฐาน ส่วนปริมาณฟอสฟอรัสและโพแทสเซียมส่วนใหญ่มีค่ามัธยฐานสูงกว่าค่ามาตรฐานอย่างชัดเจน โดยฟอสฟอรัสมีค่ามัธยฐาน 0.60 และ 3.53 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ (Table 1) ขณะที่ค่ามาตรฐานของฟอสฟอรัสและโพแทสเซียมอยู่ในช่วง 0.15 - 0.25 และ 1.50 - 2.50 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ (Table 1) ส่วนธาตุอาหารรองได้แก่ แคลเซียมและแมกนีเซียม พบว่า มีความแตกต่างกัน กล่าวคือ แคลเซียมมีค่ามัธยฐาน 0.90 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งต่ำกว่าค่ามาตรฐานที่อยู่ในช่วง 1.7 - 2.5 เปอร์เซ็นต์ ในขณะที่แมกนีเซียม มีค่ามัธยฐาน 1.5 เปอร์เซ็นต์ สูงกว่าค่ามาตรฐาน 0.25 - 0.50 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งถือว่าเป็นค่าที่สูงกว่าค่ามาตรฐานประมาณ 3 - 6 เท่า (Table 1)

โพแทสเซียมที่พบในใบปริมาณที่สูงมากกว่าค่ามาตรฐานส่งผลทำให้เกิดปฏิสัมพันธ์ทางลบกับแคลเซียมและแมกนีเซียม เมื่อนำค่าความเข้มข้นของธาตุดังกล่าวมาหาความสัมพันธ์ระหว่างสัดส่วนความสัมพันธ์ของโพแทสเซียมกับแคลเซียม และโพแทสเซียมกับแมกนีเซียม จึงพบว่า เกิดสภาวะอันตรกิริยาเชิงลบระหว่างธาตุดังกล่าวในใบ ด้วยค่า R^2 เท่ากับ 0.91 และ 0.94 ตามลำดับ (Figure 5) จะเห็นได้ว่าเกิดปฏิสัมพันธ์ระหว่างธาตุโพแทสเซียมกับแคลเซียมและแมกนีเซียมซึ่งสอดคล้องกับข้อค้นพบที่เกิดขึ้นได้โดยทั่วไปเกี่ยวกับปฏิสัมพันธ์ของโพแทสเซียม (Osotsapar, 2017) แต่งานวิจัยนี้พบว่า ขณะที่เกิดปฏิสัมพันธ์ทางลบระหว่างโพแทสเซียมกับแมกนีเซียมกลับพบว่า แมกนีเซียมในใบดัชนีมีค่าสูงกว่าค่ามาตรฐานเป็นอย่างมาก ในขณะที่แคลเซียมกลับพบในปริมาณที่ต่ำกว่าค่ามาตรฐาน ดังนั้น ผลการศึกษานี้สรุปได้ว่า การเกิดปฏิสัมพันธ์ทางลบระหว่างธาตุดังกล่าวอาจขึ้นอยู่กับพัฒนาการของพืชและประสิทธิภาพการดูดใช้ธาตุอาหาร เช่น แคลเซียมจัดเป็นธาตุที่เคลื่อนที่ได้ยากในพืช (immobile element) ภายหลังจากการดูดธาตุแคลเซียมผ่านเข้าทางรากขนอ่อนแล้ว แคลเซียมเคลื่อนที่เข้าสู่ท่อน้ำ และดูดซึมเข้าไปในส่วนต่าง ๆ ของพืชโดยเฉพาะเนื้อเยื่อแก่ ความสามารถในการเคลื่อนที่ของแคลเซียมขึ้นอยู่กับการคายระเหยของพืชด้วย (Ernani *et al*., 2008) ขณะที่แมกนีเซียมเคลื่อนย้ายทางท่ออาหารแล้วกระจายไปยังแหล่งรับได้ง่าย และโพแทสเซียมเป็นธาตุที่พืชสามารถดูดใช้ได้อย่างไม่จำกัด (luxury consumption) (Osotsapar, 2017) ข้อค้นพบเกี่ยวกับปริมาณแมกนีเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ในดินต่ำแต่พบแมกนีเซียมในใบสูงกว่าค่ามาตรฐานแต่ทุเรียนยังเจริญเติบโตได้ดี สนับสนุนผลการศึกษาของ Kongmak *et al*. (2017) ที่กล่าวว่าพืชอาจต้องการแมกนีเซียมที่สูงกว่าค่ามาตรฐาน ซึ่งในช่วงที่ศึกษาเป็นช่วงที่ใบรุ่นที่ 1 มีปริมาณคลอโรฟิลล์ที่สูงมาก จึงอาจมีการลำเลียงแมกนีเซียมไปที่ใบเป็นจำนวนมากเพื่อใช้ในการสังเคราะห์แสง

Table 1. Status of nitrogen, phosphorus, potassium, calcium and magnesium in index leaves and standard ranges of these nutrients

Nutrients	Index leaves				Standard
	Median	Ranges	Upper quatile (Q1)	Lower quatile (Q3)	Leaves*
Nitrogen (%)	1.96	1.29 - 2.74	1.71	2.09	2.00 - 2.40
Phosphorus (%)	0.60	0.08 - 1.55	0.39	0.86	0.15 - 0.25
Potassium (%)	3.53	2.00 - 4.80	3.08	3.80	1.50 - 2.50
Calcium (%)	0.90	0.15 - 2.27	0.62	1.31	1.70 - 2.50
Magnesium (%)	1.50	0.02 - 2.13	0.82	1.82	0.25 - 0.50

*Poovarodom *et al*. (2001)

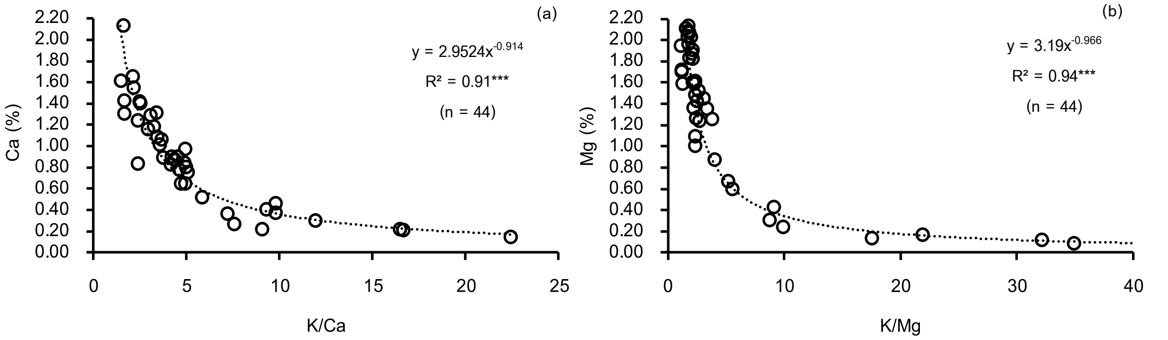


Figure 5. Correlation between K/Mg ratio and total magnesium (a) and Ca/Mg ration and total magnesium of index leaves (b)

ปกติค่า pH เป็นสมบัติดินที่ควบคุมการดูดใช้ธาตุอาหารพืช เมื่อดินได้รับการปรับค่า pH ให้อยู่ในช่วงที่เหมาะสม การดูดใช้ธาตุอาหารพืชเพิ่มขึ้น เช่น การใส่โดโลไมต์เพื่อปรับค่า pH สำหรับดินที่ปลูกอินทผลัมภายใต้การทดลองในกระถาง พบว่า เมื่อใส่โดโลไมต์จนทำให้ค่า pH เพิ่มขึ้นจาก 4.33 จนอยู่ในช่วง 5.72 - 6.74 พบว่า ในใบดัชนีมีปริมาณธาตุอาหาร ได้แก่ ฟอสฟอรัส และแมกนีเซียมเพิ่มขึ้นอย่างชัดเจน (Damrongrak and Wet-o-sot, 2020) แต่การศึกษานี้แสดงให้เห็นว่า การดูดใช้ธาตุอาหารพืชในสวนทุเรียนระบบวนเกษตรมีความซับซ้อนกว่าและขึ้นอยู่กับหลายปัจจัย ดังนั้น ปริมาณธาตุอาหารในใบดัชนีนอกจากขึ้นอยู่กับการดูดใช้ธาตุอาหารพืชจากดินแล้ว ยังขึ้นอยู่กับการได้รับธาตุอาหารพืชทางใบ รวมไปถึงการลำเลียงธาตุอาหารไปใช้ในแต่ละช่วงพัฒนาการของพืช เป็นต้น

แนวทางการจัดการธาตุอาหารพืชของสวนทุเรียนระบบวนเกษตรของจังหวัดอุตรดิตถ์ซึ่งเป็นสวนทุเรียนระบบวนเกษตรที่ปลูกบนภูเขาและมีการจัดการระบบน้ำอย่างจำกัด ทุเรียนผลิใบจำนวน 3 รุ่น ในช่วงเดือนกรกฎาคม สิงหาคม และตุลาคม ซึ่งการผลิใบรุ่นที่ 1 ตรงกับช่วงที่เก็บผลผลิต ในขณะที่รุ่นที่ 2 และผลผลิตรุ่นที่ 3 กำลังเจริญเติบโต โดยปกติหากไม่มีการจัดการด้านธาตุอาหารจะทำให้ผลทุเรียนร่วงอันมีสาเหตุจากสัดส่วนระหว่างคาร์บอนต่อไนโตรเจนที่ลดลง นอกจากนี้ ยังพบการระบาดของแมลง เช่น เพลี้ยจักจั่นฝอย เพลี้ยไก่แจ้ และเพลี้ยไฟ เข้าทำลายใบอ่อนรุ่นที่ 1 ดังนั้น เกษตรกรควรให้ความสำคัญและบำรุงใบรุ่นที่ 1 ให้สมบูรณ์ยาวนาน เนื่องจากมีอัตราการสังเคราะห์แสงและสะสมอาหารที่มากกว่าใบรุ่นที่ 2

จากผลการศึกษาสถานะของธาตุแคลเซียมทั้งในดินและในใบ พบว่า อยู่ในระดับต่ำกว่าค่ามาตรฐาน แคลเซียมมีความจำเป็นมากสำหรับการเพาะปลูกทุเรียนในระบบวนเกษตรของจังหวัดอุตรดิตถ์ ในทางปฏิบัติจึงควรให้แหล่งแคลเซียมทางดิน เช่น วัสดุปูน หรือปุ๋ยที่มีฤทธิ์ตกค้างเป็นด่าง เช่น ปุ๋ยเกรด 15 - 0 - 0 เป็นต้น ส่วนสถานะของแมกนีเซียมในดินต่ำกว่าค่ามาตรฐาน ขณะที่ใบเกินค่ามาตรฐาน อาจพิจารณาให้ทางดิน เช่น โดโลไมต์ เพื่อให้ปริมาณแมกนีเซียมในดินเพิ่มขึ้นถึงช่วงของค่ามาตรฐานและให้ทางใบในช่วงที่เกิดการผลิใบรุ่นที่ 1 ซึ่งเป็นช่วงที่ใบต้องการแมกนีเซียมไปสังเคราะห์เป็นคลอโรฟิลล์

สรุป

การศึกษาปริมาณคลอโรฟิลล์ ปริมาณธาตุอาหารในดินและใบทุเรียนที่เจริญเติบโตในรุ่นที่ 1 และ 2 พบปริมาณคลอโรฟิลล์เอ คลอโรฟิลล์บี และคลอโรฟิลล์รวมในใบดัชนีรุ่นที่ 1 มากกว่าใบรุ่นที่ 2 ความเขียวของใบสัมพันธ์กับปริมาณคลอโรฟิลล์รวม (r = 0.52***) แต่ไม่มีความสัมพันธ์กับปริมาณไนโตรเจน ส่วนสมบัติดินในสวนทุเรียนพบว่า มีค่า pH ต่ำกว่า 5.5 มีอินทรียวัตถุมากกว่า 2 เปอร์เซ็นต์ ส่วนปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์และโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยน

ได้มีปริมาณต่ำกว่าค่ามาตรฐาน ขณะที่แคลเซียมและแมกนีเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ต่ำกว่ามาตรฐาน พบอันตรกิริยาทางลบระหว่างโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้กับแคลเซียม (R^2 = 0.36**) และแมกนีเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ (R^2 = 0.38**) สถานะของธาตุอาหารในใบดัชนีขึ้นอยู่กับชนิดของธาตุอาหาร เฉพาะไนโตรเจนอยู่ในช่วงของค่ามาตรฐาน ฟอสฟอรัส โพแทสเซียม และแมกนีเซียมมีค่ามัธยฐานสูงกว่าค่ามาตรฐานอย่างชัดเจน ขณะที่แคลเซียมมีปริมาณต่ำกว่าค่ามาตรฐาน เกิดอันตรกิริยาทางลบระหว่างโพแทสเซียมกับแคลเซียมและแมกนีเซียมอย่างชัดเจนเช่นเดียวกับที่พบในดิน ช่วงที่ใบรุ่นที่ 1 เจริญเติบโตพบปริมาณแมกนีเซียมเกินค่ามาตรฐานในใบดัชนี 3 - 6 เท่า เนื่องจากทุเรียนมีการลำเลียงแมกนีเซียมไปที่ใบเพื่อใช้ในการสังเคราะห์แสง ขณะที่การเพิ่มค่า pH ในดินและแคลเซียมยังมีความจำเป็นอย่างมากต่อการเพาะปลูกทุเรียนในระบบวนเกษตร ในทางปฏิบัติจึงควรให้แหล่งแคลเซียมและแมกนีเซียมทางดิน เช่น โดโลไมต์หรือปุ๋ยที่มีฤทธิ์ตกค้างเป็นด่าง

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ดำเนินการภายใต้โครงการวิจัยเพื่อพัฒนานวัตกรรมการผลิตทุเรียนหลงลับแลและหลินลับแล ในระบบวนเกษตรเพื่อความมั่นคงทางด้านเกษตรและอาหารของจังหวัดอุตรดิตถ์ โดยการสนับสนุนงบประมาณจากสำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย ประจำปีงบประมาณ 2561

เอกสารอ้างอิง

Barnes, R.T., M.E., Gallagher, C.A., Masiello, Z. Liu and B. Dugan. 2014. Biochar-induced changes in soil hydraulic conductivity and dissolved nutrient fluxes constrained by laboratory experiments. PLoS ONE 9(9): e108340, doi: 10.1371/journal.pone.0108340.

Beneragama, C.K. and K. Goto. 2010. Chlorophyll *a:b* ratio increases under low-light in ‘shade-tolerant’ *Euglena gracilis*. Tropical Agricultural Research 22(1): 12-25.

Boonyanuphap, J., K. Maosew, P. Moolthasit and T. Suthampaeng. 2021. Comparison of soil properties between native durian-based agroforestry and commercial growing durian-based mixed orchard on upstream areas. pp. 206-224. *In*: Proceedings of the 17th Naresuan University Annual Conference, Phitsanulok. (in Thai)

Brunetto, G., G. Trentin, C.A. Ceretta, E. Girotto, F. Lorensini, A. Miotto, G.Z.M Moser and G.W. de Melo. 2012. Use of the SPAD-502 in estimating nitrogen content in leaves and grape yield in grapevines in soils with different texture. American Journal of Plant Sciences 3: 1546-1561, doi: 10.4236/ajps.2012.311187.

Bueraheng, H., J. Onthong and K. Khawmee. 2016. Interaction between excess aluminum and manganese in rubber saplings clone RRIM 600. Songklanakarin Journal of Plant Science 3(2): 19-27. (in Thai)

Chanaweerawan, S. and S. Sdoodee. 2002. Using SPAD-502 to evaluate the total chlorophyll and nitrogen status in leaves of longkong (*Aglaia dookkoo* Griff.) and rambutan (*Nephelium lappaseum* L.). Songklanakarin Journal of Science and Technology 24(1): 9-14. (in Thai)

Chou, S., B. Chen, J. Chen, M. Wang, S. Wang, H. Croft and Q. Sho. 2020. Estimation of leaf photosynthetic capacity from the photochemical reflectance index and leaf pigments. Ecological Indicators 110(3): 105867, doi: 10.1016/j.ecolind.2019.105867.

Coste, S., C. Baraloto, C. Leroy, É. Marcon, A. Renaud, A.D. Richardson, J.-C. Roggy, H. Schimann, J. Uddling and B. Hérault. 2010. Assessing foliar chlorophyll contents with the SPAD-502 chlorophyll meter: a calibration test with thirteen tree species of tropical rainforest in French Guiana. Annals of Forest Science 67: 607, doi: 10.1051/forest/2010020.

Damrongrak, I. and S. Wet-o-sot. 2020. Effect of pH adjustment of acid soil by dolomite on growth of date palm, chemical properties of soil and plant nutrient concentration in leaf. Songklanakarin Journal of Plant Science 7(2): 176-183. (in Thai)

Ernani, P.R., J. Dias, C.V.T do Amarante, D.C Ribeiro and D.A. Rogeri. 2008. Preharvest calcium sprays were not always needed to improve quality of 'gala' apples in Brazil. Revista Brasileira de Fruticultura 30(4): 892-896.

Jaroonchon, N., K. Krisanapook and L. Phavaphutanon. 2010. Correlation between pummelo leaf nitrogen concentrations determined by combustion method and Kjeldahl method and their relationship with SPAD values form portable chlorophyll meter. Kasetsart Journal (Natural Science) 44(5): 800-807.

Khunthong, S., N. Prakongkep, M. Meetam, N. Surak, W. Suaysom, C. Kerdchana, C. Karapakdee, P. Chomun, C. Suaysom and T. Upanisakorn. 2020. Interaction between manganese with other plant nutrients in tea-oil camellia (*Camellia oleifera* Abel.) plantation soils, Ban Pang Mahan, Chiang Rai province. Songklanakarin Journal of Plant Science 7(3): 218-234. (in Thai)

Kongmak, P., K. Khawmee and J. Onthong. 2017. Status and K/Mg ratio in soil and leaves of rubber trees grown in lowland and upland areas. Songklanakarin Journal of Plant Science 4(4): 66-72. (in Thai)

Kumari, N., S. Nahakpam and R. Rani. 2018. Changing pattern of chlorophyll content and carotenoid in different flushes of five litchi varieties. Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry SP1: 719-722.

Libutti. A., A.R.B. Cammerino, M. Francavilla and M. Monteleone. 2019. Soil amendment with biochar affects water drainage and nutrient losses by leaching: Experimental evidence under field-grown conditions. Agronomy 9(11): 758; doi: 10.3390/agronomy9110758.

Osotsapar, Y. 2017. Utilization of Foliar Fertilizer and Plant Stimulants. Kasetsart University Press, Bangkok. 348 p. (in Thai)

Phattaralerphong, J., P. Kasemsap, D. Satakhun, D. Chura and O. Duangngam. 2015. Single leaf photosynthetic light response of durian (*Durio zibethinus* Murray) cv. ‘Monthong’. pp. 274-279. *In*: Proceedings of the 14th National Horticultural Congress, Bangkok. (in Thai)

Pongthai, T., J. Onthong and K. Khawmee. 2017. Effect of magnesium on nutrient concentration and growth of rubber tree sapling. Journal of Agricultural Research and Extension 34(1): 1-12. (in Thai)

Poovarodom, S., N. Tawinteung, S. Maireing, P. Kesayom and J. Prasittikhet. 2001. Plant analysis as a means of diagnosting nutritional status and fertilizer recommendations for durian. Final report. Thailand Research Fund (TRF), Bangkok. 196 p. (in Thai)

Sangmanee, P. 2019. Establishing the controlling system of quality and standard of geographical indication products: Uttaradit Long-Laplae durian and Uttaradit Lin-Laplae durian. Final report. Department of Intellectual Property, Bangkok. 387 p. (in Thai)

Sangmanee, P. 2021. Characteristics of biochar derived from cashew nut shell and potential for acid soil amelioration. Journal of Agriculture 37(1): 39-49. (in Thai)

Sangmanee, P., A. Bhromsiri and H. Tamura. 2011. Plant nutrition status of soil in durian and longkong orchards under agroforestry system in Uttaradit province. Journal of Agriculture 27(2): 197-208. (in Thai)

Santasup, C. 2009. Soil and fertilizer managements for Kluai Khai cultivation. pp. 69-78. *In*: J. Visitpanich (ed.). Handbook of Quality Kluai Khai Production. Nopburee Press, Chaing Mai. (in Thai)

Suwanwong, S. 2001. Plant Nutrient Analysis. Kasetsart University Press, Bangkok. 141 p. (in Thai)

Therajindakajorn, P. 2009. Handbook of Soil Chemical Analysis. Department of Plant Science and Agricultural Resources, Faculty of Agriculture, Khon Kaen University, Khon Kaen. 169 p. (in Thai)

Uttaradit Provincial Office. 2019. Developing plan of Uttaradit province during 2018-2022 (Revision version). (Online). Available: https://www2.uttaradit.go.th/files/com_news_devpro/2020-09_6cb809ed8d4fb8b.pdf. (September 26, 2021). (in Thai)

Witham, F.H., D.F. Blaydes and R.M. Devlin. 1971. Experiments in Plant Physiology. Van Nostrand Reinhold, New York. 245 p.

Xiong, D., J. Chen, T. Yu, W. Gao, X. Ling, Y. Li, S. Peng and J. Huang. 2015. SPAD-based leaf nitrogen estimation is impacted by environmental factors and crop leaf characteristics. Scientific Repeport 5: 13389, doi: 10.1038/srep13389.

ผลของอัตราปุ๋ยต่อการเจริญเติบโตและประสิทธิภาพการใช้น้ำของหอมประดับ

Effects of Fertilizer Rates on Growth and Development, and Water Use Efficiency of Ornamental Allium

พิสิษฐ์ ชนะสงคราม[1] ชัยอาทิตย์ อิ่นคำ[2] กนกวรรณ ปัญจะมา[1] และ โสระยา ร่วมรังษี[1*]

Pisit Chanasongkram[1], Chaiartiid Inkham[2], Kanokwan Panjama[1] and Soraya Ruamrungsri[1*]

[1]ภาควิชาพืชศาสตร์และปฐพีศาสตร์ คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ จ. เชียงใหม่ 50200

[1]Department of Plant and Soil Sciences, Faculty of Agriculture, Chiang Mai University, Chiang Mai 50200, Thailand

[2]สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ จ. เชียงใหม่ 50200

[2]Science and Technology Research Institute, Chiang Mai University, Chiang Mai 50200, Thailand

**Corresponding author: Email: sorayaruamrung@gmail.com*

(Received: 9 September 2021; Accepted: 9 May 2022)

Abstract: Ornamental allium is a beautiful large-inflorescence flower bulb. It is popular to be utilized as cut flower and landscape plant. However, reports on fertilizer application and water use of this plant were rather limited. Therefore, this research aimed to study the fertilizer rates affecting water use efficiency and growth of the plant. The experimental design applied was a completely randomized design with 3 treatments, i.e., treatment 1) no fertilizer while treatment 2) and 3) were fertilizer applications of 15-15-15 (Total N-P_2O_5-K_2O) at the rates of 2.5 and 5 grams per plant per month, respectively. Data was collected in 2 phases, i.e., phase 1) from planting to flower senescence and phase 2) from flower senescence to bulb harvest. Plant growth (plant height, leaf number and flower quality) and water use efficiency (crop evapotranspiration and crop coefficient) were recorded. The result showed that plant growth in terms of plant height and leaf number by the plant receiving different fertilizer rates were not significantly different. However, inflorescence circumference and umbel diameter were the highest, being 41.11 cm and 14.01 cm respectively, when the plants were supplied with 2.5 g of fertilizer (T2) in phase 1, with no significant difference from T3 (5 g/plant/month). Water use efficiency was not significantly different among treatments in phase 1. In the meantime, crop coefficient and transpiration rate per leaf area of the plants receiving 2.5 g of fertilizer (T2) were at the highest with the figures of 2.49- and 0.53-ml/cm/day, respectively. In phase 2, crop evapotranspiration and crop coefficient showed no significant difference among treatments. The highest transpiration rate per leaves area unit (1.83 ml/cm/day) was found in the plants given with 5 g of fertilizer (T3) per plant per month.

Keywords: Ornamental allium, water use, fertilizer rate, plant height, flower quality

Copyright @ Journal of Agriculture, Faculty of Agriculture, Chiang Mai University. All rights reserved.

บทคัดย่อ: หอมประดับเป็นไม้ดอกประเภทหัวที่มีความสวยงาม มีช่อดอกขนาดใหญ่นิยมใช้เป็นไม้ตัดดอก และปลูกประดับแปลง อย่างไรก็ตามรายงานการวิจัยเกี่ยวกับการใช้น้ำ และการให้ปุ๋ยของพืชชนิดนี้มีจำกัดมาก ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาอัตราปุ๋ยต่อประสิทธิภาพการใช้น้ำและการเจริญเติบโต โดยวางแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ จำนวน 3 กรรมวิธี ได้แก่ กรรมวิธีที่ 1) ไม่ให้ปุ๋ย, กรรมวิธีที่ 2 และ 3) ให้ปุ๋ยเม็ดเกรด 15-15-15 (Total N-P_2O_5-K_2O) อัตรา 2.5 และ 5 กรัมต่อต้นต่อเดือน ตามลำดับ เก็บข้อมูล 2 ระยะ ได้แก่ ระยะที่ 1 ตั้งแต่ปลูกถึงดอกเหี่ยว และระยะที่ 2 ดอกเหี่ยวถึงระยะเก็บเกี่ยวหัวพันธุ์ โดยทำการบันทึกข้อมูลการเจริญเติบโตของพืช (ความสูงต้น จำนวนใบ และคุณภาพดอก) และข้อมูลประสิทธิภาพการใช้น้ำของพืช (ปริมาณการใช้น้ำ และค่าสัมประสิทธิ์การใช้น้ำของพืช) ผลการทดลองพบว่า การให้ปุ๋ยอัตราต่างกันทำให้ความสูงต้น และจำนวนใบของหอมประดับไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ในขณะที่เส้นรอบวงช่อดอก และเส้นผ่านศูนย์กลางช่อดอกในกรรมวิธีที่ได้รับปุ๋ย 2.5 กรัมต่อต้นต่อเดือน (T2) มีค่ามากที่สุดคือ 41.11 และ 14.01 เซนติเมตร ตามลำดับ ซึ่งไม่แตกต่างจากกรรมวิธีที่ให้ปุ๋ย 5 กรัมต่อต้นต่อเดือน นอกจากนี้ยังพบว่า ประสิทธิภาพการใช้น้ำ ในระยะที่ 1 ไม่แตกต่างกันในแต่ละกรรมวิธีทดลอง ส่วนค่าสัมประสิทธิ์การใช้น้ำของพืช และอัตราการคายน้ำ ในกรรมวิธีที่ได้รับปุ๋ย 2.5 กรัมต่อต้นต่อเดือน (T2) มีค่ามากที่สุดที่ 2.49 และ 0.53 มิลลิลิตรต่อตารางเซนติเมตรต่อวัน ตามลำดับ ในระยะที่ 2 พบว่า ปริมาณการใช้น้ำ ปริมาณสัมประสิทธิ์การใช้น้ำ และปริมาณประสิทธิภาพการใช้น้ำของพืชไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ในขณะที่ปริมาณอัตราการคายน้ำต่อหน่วยพื้นที่ใบ ในกรรมวิธีที่ 3 มีค่ามากที่สุด 1.83 มิลลิลิตรต่อตารางเซนติเมตรต่อวัน

คำสำคัญ: หอมประดับ การใช้น้ำ อัตราปุ๋ย ความสูงต้น คุณภาพดอก

บทนำ

หอมประดับ หรือ ornamental onion จัดอยู่ในวงศ์ Liliaceae กระจายอยู่ทั่วไปบริเวณซีกโลกเหนือ มีจำนวนชนิดมากถึง 500 ชนิด หลากหลายสายพันธุ์ มีกลิ่นที่แตกต่างกันขึ้นกับสายพันธุ์ หอมประดับนิยมใช้เป็นไม้ตัดดอกโดยชนิดที่ได้รับความนิยม ได้แก่ *Allium aflatunense, A. christophii, A. sphaerocephalon* และ *A. triquetrum* เป็นต้น หอมประดับเป็นพืชที่ปลูกง่าย ดอกสวยงาม ลำต้นยาว และค่อนข้างต้านทานโรคและแมลง (Armitage, 1993) ส่วนใหญ่มีลำต้นใต้ดินแบบบัลบ์ (bulbs) อย่างไรก็ตามมีเพียงไม่กี่ชนิดที่เป็นลำต้นใต้ดินแบบไรโซม เช่น *A. schoenoprasum* ใบมีลักษณะยาวแผ่นใบบาง มีสีเขียวตลอดฤดู ดอกเป็นช่อกลมใหญ่ เช่น แบบซี่ร่ม (umbel) หรือที่เรียกว่า pom - pom สีมีหลากหลายขึ้นอยู่กับสายพันธุ์ ได้แก่ สีขาว เหลือง และม่วง เป็นต้น (Iannotti, 2020) มีก้านช่อดอกยาวและแข็งแรงจึงเหมาะสมสำหรับเป็นไม้ตัดดอก หอมประดับสามารถเจริญเติบโตได้ดีในช่วงแสงแดดจัด ดินร่วนระบายน้ำได้ดี มีความเป็นกรดเล็กน้อยอยู่ในช่วง pH 5.5 - 6.5 สภาพแวดล้อมเหล่านี้มีความคล้ายคลึงกับประเทศไทย จึงน่าจะสามารถปลูกหอมประดับเพื่อเป็นธุรกิจไม้ตัดดอกช่วยเสริมรายได้ให้กับเกษตรกรได้

หอมประดับเป็นพืชที่ต้องมีการจัดการธาตุอาหาร และน้ำเช่นเดียวกับพืชอื่น การให้ปุ๋ยกับพืชมีผลต่อการเจริญเติบโตและผลผลิต เนื่องจากมีธาตุอาหารหลักและธาตุอาหารรองที่จำเป็นต่อการเจริญเติบโต หากให้ในปริมาณที่เหมาะสมจะทำให้พืชเจริญเติบโตอย่างเต็มประสิทธิภาพ สำหรับไม้หัว ธาตุอาหารมีความสำคัญเพื่อใช้ในการเจริญเติบโต และการสะสมไว้ใช้ในยามจำเป็นในช่วงที่อยู่ในระยะพักตัว หรือในการงอก และการเจริญเติบโตในฤดูถัดไป (Ruamrungsri, 2015)

การจัดการน้ำเพื่อการปลูกพืชเป็นปัจจัยสำคัญ ประการหนึ่งซึ่งควรมีการให้น้ำอย่างเพียงพอต่อความต้องการของพืช และเหมาะสมกับระยะการเจริญเติบโต การจัดการน้ำของพืชแต่ละชนิดมีความสำคัญและแตกต่างกันออกไป ขึ้นอยู่กับองค์ประกอบหลายอย่าง เช่น ชนิดและอายุพืช ลักษณะ

ภูมิประเทศและวิธีการให้น้ำเป็นต้น (Vuthijumnong, 1986) เนื่องจากน้ำเป็นปัจจัยที่สำคัญต่อการเจริญ-เติบโตของพืช ในการดูดแร่ธาตุที่เป็นอาหารเข้าสู่พืช นอกจากนี้น้ำยังใช้เพื่อการสังเคราะห์แสง และการหายใจแม้ว่าพืชจะได้รับปัจจัยอื่น ๆ อย่างเพียงพอ แต่ถ้าปริมาณน้ำไม่เพียงพอหรือเหมาะสมกับความต้องการของพืช พืชก็จะเจริญเติบโตได้อย่างจำกัด และมีผลกระทบต่อพืช (Foypikul, 2003) การใช้น้ำของพืช หรือ consumptive use ประกอบไปด้วยปริมาณน้ำที่พืชคายออกมาทางใบ (transpiration) ซึ่งเป็นปริมาณน้ำที่พืชดูดไปจากดิน เพื่อนำไปใช้ในการสร้างเซลล์และเนื้อเยื่อ แล้วคายออกทางใบสู่บรรยากาศในรูปของไอน้ำทางรูเปิดปากใบ รวมกับปริมาณที่น้ำระเหยจากผิวดินรอบ ๆ ต้นพืช (evaporation) มีความสัมพันธ์กับการคายระเหยน้ำ (evapotranspiration) ซึ่งหมายถึง การระเหยของน้ำจากผิวน้ำ และผิวดิน มีหน่วยเป็นความลึกของน้ำที่ระเหยต่อหน่วยเวลา หรือปริมาตรของน้ำต่อหน่วยเวลาหรือหน่วยพื้นที่ เช่น มิลลิเมตรต่อวัน ดังนั้นปริมาณการใช้น้ำของพืช หรือการคายระเหยน้ำของพืช (crop evapotranspiration; ET) จึงหมายถึงปริมาณน้ำที่พืชต้องการใช้จริง ๆ รวมถึงปริมาณน้ำที่สูญเสียไปจากแปลงปลูก โดยขบวนการคายน้ำของพืชและการระเหย (Tungsomboun, 2006)

จากการศึกษาผลของปุ๋ยอินทรีย์ต่อประสิทธิภาพการใช้น้ำในต้นแพร์ โดยเปรียบเทียบร่วมกับการให้ปุ๋ยชนิดต่าง ๆ กัน ได้แก่ ปุ๋ยเคมี ปุ๋ยกากถั่วเหลือง ปุ๋ยมูลแกะ ปุ๋ยหมัก และไม่ให้ปุ๋ย พบว่าประสิทธิภาพการใช้น้ำในต้นแพร์เพิ่มขึ้นเป็นอย่างมากเมื่อมีการให้ปุ๋ยกากถั่วเหลือง โดยมีค่าประสิทธิภาพการใช้น้ำเฉลี่ย 1.33 เปอร์เซ็นต์ รองลงมาคือ ปุ๋ยมูลแกะ ปุ๋ยหมัก และปุ๋ยเคมี มีค่าอยู่ที่ 0.96, 0.61 และ 0.44 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับเมื่อเทียบกับไม่ให้ปุ๋ย (Ye *et al.*, 2020) Yu *et al.*, (2016) ได้ทำการศึกษาผลของการให้ปุ๋ยต่อลักษณะการใช้น้ำของมันฝรั่งที่ปลูกยกร่องแบบสันเขา และการคลุมแปลงด้วยพลาสติกในเขตพื้นที่รับน้ำฝน (rain-fed area) โดยให้ปุ๋ยต่างกัน ได้แก่ การใส่ปุ๋ยเคมีแบบดั้งเดิม (F) การใส่ปุ๋ยไนโตรเจนลดลง 25 เปอร์เซ็นต์ พร้อมกับตัดแต่งในระยะออกดอก (DF) และการใส่ปุ๋ยไนโตรเจนลดลง 50 เปอร์เซ็นต์ พร้อมกับการใช้ปุ๋ยอินทรีย์ทดแทน (OF) พบว่า การให้ปุ๋ยแบบ OF และ DF ส่งผลให้มีค่าการใช้น้ำเพิ่มมากขึ้น มีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 20.7 และ 14.4 เปอร์เซ็นต์ ในปี พ.ศ. 2556 และ 16.3 และ 6.3 เปอร์เซ็นต์ ในปี พ.ศ. 2557 เมื่อเทียบกับการให้ปุ๋ยแบบ F อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ นอกจากนี้ Sivakumar and Salaam (1999) ยังได้มีการศึกษาผลของอายุ และการให้ปุ๋ยต่อประสิทธิภาพการใช้น้ำของลูกเดือย พบว่า การให้ปุ๋ยไนโตรเจน และโพแทสเซียมที่ปริมาณ 45 และ 30 กิโลกรัมต่อเฮกตาร์ ส่งผลทำให้ประสิทธิภาพการใช้น้ำของลูกเดือยมีค่าสูงขึ้นในแต่ละปี เมื่อเทียบกับการไม่ให้ปุ๋ยในลูกเดือย

เนื่องจากหอมประดับเป็นพืชชนิดใหม่ที่น่าสนใจนำมาปลูกเลี้ยงในประเทศไทย ดังนั้นการทดลองนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลของอัตราปุ๋ยในระดับต่างกันต่อการเจริญเติบโต และประสิทธิภาพการใช้น้ำของหอมประดับ

อุปกรณ์และวิธีการ

คัดเลือกหัวพันธุ์หอมประดับ (ขนาดเส้นรอบวงเฉลี่ย 20 เซนติเมตร และน้ำหนักหัวเฉลี่ย 103 กรัม) นำมาปลูกในกระถางขนาด 6 นิ้ว ใช้พีทมอสเป็นวัสดุปลูกยี่ห้อคลาสแมน ประเทศเยอรมัน จากนั้นนำไปกระตุ้นให้เกิดการสร้างราก โดยการนำหัวพันธุ์ไปเก็บรักษาไว้ที่ห้องเย็นอุณหภูมิ 9 องศาเซลเซียส นาน 2 เดือนก่อนนำมาปลูกในโรงเรือน evaporative cooling อุณหภูมิเฉลี่ย 25 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 80 เปอร์เซ็นต์ ความเข้มแสง 2,735 $\mu mol/m^2/s^2$ ให้น้ำแก่พืชทุกวันโดยการรดน้ำให้แก่พืชบริเวณวัสดุปลูกและรอจนน้ำหยุดไหลออกจากกระถาง ซึ่งเป็นระดับความชื้นสูงสุดที่วัสดุปลูกสามารถอุ้มไว้ได้ (maximum water holding capacity: MWHC) พร้อมกับทำการให้ปุ๋ยที่ระดับแตกต่างกัน 3 กรรมวิธีด้วยกัน ได้แก่

กรรมวิธีที่ 1 ไม่ให้ปุ๋ย

กรรมวิธีที่ 2 ให้ปุ๋ยเม็ดเกรด 15-15-15 อัตรา 2.5 กรัมต่อกระถาง เดือนละ 1 ครั้ง

กรรมวิธีที่ 3 ให้ปุ๋ยเม็ดเกรด 15-15-15 อัตรา 5 กรัมต่อกระถาง เดือนละ 1 ครั้ง

วางแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ (completely randomized design) จำนวน 3 กรรมวิธี กรรมวิธีละ 20 ซ้ำ (ต้น) สุ่มพืชในระยะการเจริญเติบโตต่างกัน 2 ระยะคือ ระยะที่ 1 ระยะการเจริญเติบโตตั้งแต่ปลูกถึงดอกเหี่ยว (108 วัน)และ ระยะที่ 2 ระยะดอกเหี่ยวถึงพักตัว (14 วัน) (Figure 1) วิเคราะห์ประสิทธิภาพการใช้น้ำทั้งสองช่วงระยะการเจริญเติบโต ดังนี้

1. **อัตราการคายระเหยน้ำ** โดยวิธีการชั่งน้ำหนักพืชและกระถาง (potted plant weighing method) ตามวิธีของ Pereira and Kozlowski (1976) จากสมการ

การคายระเหยน้ำแต่ละวัน = m1-m2

เมื่อ m1 = น้ำหนักของกระถางปลูกพืชหลังรดน้ำ, m2 = น้ำหนักของกระถางปลูกพืชในวันต่อมาก่อนรดน้ำ

2. **ปริมาณการใช้น้ำของพืช (crop evapotranspiration, ETc)** คำนวณจากสมการ

$$\text{ปริมาณการใช้น้ำของพืช (ETc)(มิลลิลิตร)} = \frac{\text{การใช้น้ำของพืชในแต่ละวัน (มิลลิลิตร)}}{\text{พื้นที่ใต้ทรงพุ่ม} \times 1{,}000}$$

กำหนดพื้นที่ใต้ทรงพุ่มของขนาดกระถาง 6 นิ้ว มีรัศมีเท่ากับ 0.0762 เมตร คำนวณพื้นที่ใต้ทรงพุ่มจาก สูตร ¶r^2 จะได้พื้นที่ใต้ทรงพุ่มเท่ากับ 0.0182 ตารางเมตร

3. **อัตราการคายน้ำต่อหน่วยพื้นที่ใบ (transpiration rate per leaves area unit)** จากสมการ

$$\text{อัตราการคายน้ำ (มิลลิลิตร/ตารางเซนติเมตร/วัน)} = \frac{\text{ปริมาณน้ำที่ใช้ทั้งหมด}}{\text{จำนวนวันแต่ละช่วง} \times \text{พื้นที่ใบเฉลี่ย}}$$

ปริมาณน้ำที่ใช้ทั้งหมด = ผลรวมของน้ำที่ใช้ในแต่ละวันตลอดระยะการเจริญเติบโต

จำนวนวันแต่ละช่วง = จำนวนวันในแต่ละช่วงระยะการเจริญเติบโต

พื้นที่ใบเฉลี่ย = (พื้นที่ใบเริ่มต้น + พื้นที่ใบเมื่อสิ้นสุดช่วงระยะการเจริญเติบโต) / 2

4. **ประสิทธิภาพการใช้น้ำ (water use efficiency, WUE)** อัตราส่วนระหว่างน้ำหนักแห้งทั้งหมด (total dry matter) หรือผลผลิตทางเศรษฐกิจ (economic yield) ต่อปริมาณน้ำที่พืชใช้ (water use) (Tuner, 1986) จากสมการ

$$\text{WUE (มิลลิกรัมน้ำหนักแห้ง/มิลลิลิตร)} = \frac{\text{น้ำหนักแห้งทั้งหมดที่เพิ่มขึ้น}}{\text{ปริมาณน้ำที่ใช้ตลอดระยะการ}}$$

โดย น้ำหนักแห้งทั้งหมดที่เพิ่มขึ้น เป็นผลต่างระหว่างน้ำหนักแห้งสุดท้าย และน้ำหนักแห้งเริ่มต้นของพืชในช่วงที่ศึกษา (Medrano *et al*., 2015)

5. **สัมประสิทธิ์การใช้น้ำของพืช (crop coefficient, Kc)** จากสมการ

$$Kc = ETc / (Kp \times Epan)$$

เมื่อ Kc = สัมประสิทธิ์การใช้น้ำตามช่วงการเจริญเติบโตของพืช

ETc = ปริมาณน้ำที่พืชใช้ในแต่ละวัน (มิลลิลิตร)

Kp = สัมประสิทธิ์ถาดวัดการระเหยสำหรับถาดวัดแบบ เอ ประเทศไทยมีค่าเท่ากับ 0.85 (Boonyatharokul, 1983)

Epan = ปริมาณการระเหยน้ำจากถาดวัดการระเหย (ค่าจากสถานีตรวจอากาศ)

บันทึกข้อมูลการเจริญเติบโตได้แก่ ความสูงต้น โดยวัดจากโคนต้นถึงปลายยอดเมื่อรวบใบขึ้น (เซนติเมตร) จำนวนใบต่อต้น (ใบ) คุณภาพดอกได้แก่ ความยาวก้านช่อดอก (เซนติเมตร) เส้นผ่าศูนย์กลางช่อดอก (เซนติเมตร) เส้นรอบวงช่อดอก (เซนติเมตร)

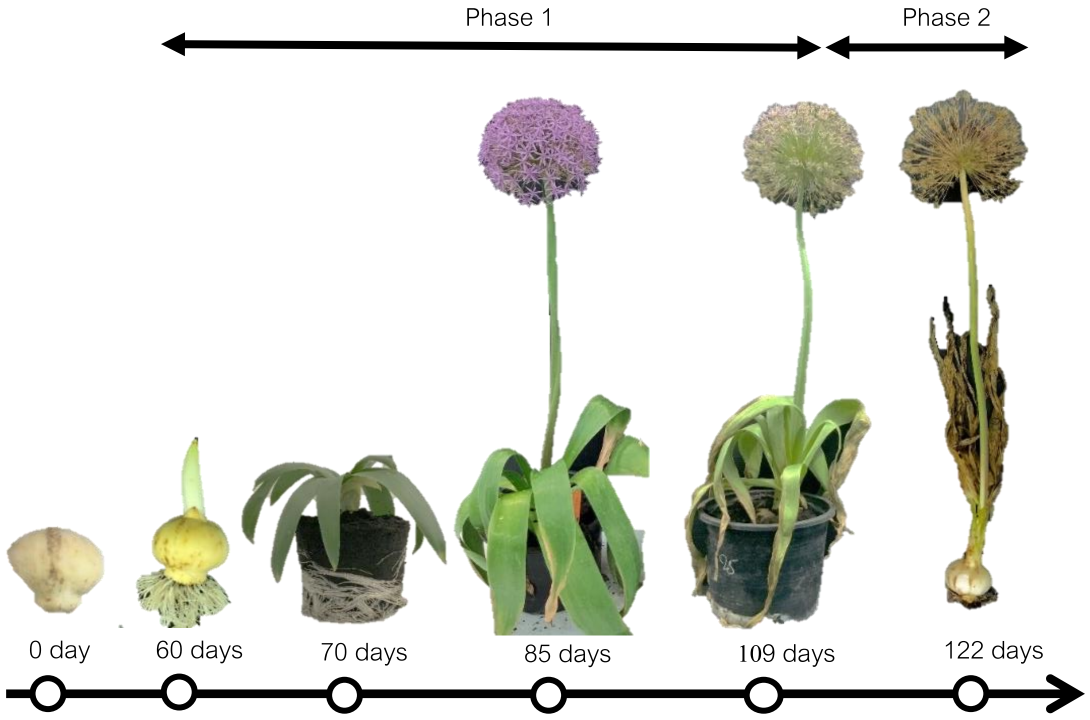


Figure 1. Growth cycle of ornamental onion from planting to bulb harvest

วิเคราะห์ข้อมูลผลการทดลอง โดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูปทางสถิติ Statistix Analytical Software (SXW Tallahassee, FL) เพื่อวิเคราะห์ค่าความแปรปรวน และเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยระหว่างกรรมวิธี โดยวิธี least significant difference ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์

ผลการทดลองและวิจารณ์

1. การเจริญเติบโตของพืช

1.1 ความสูงและจำนวนใบ

เมื่อพืชได้รับอัตราปุ๋ยที่แตกต่างกันทั้งสามกรรมวิธี เป็นระยะเวลานาน 2 เดือนหลังการชักนำการออกราก ผลการทดลองพบว่า ความสูงของหอมประดับ ทั้งสามกรรมวิธีไม่แตกต่างกันโดยมีค่าความสูงของต้นเมื่อเวลา 85 และ 109 วันหลังชักนำรากอยู่ระหว่าง 30.60 - 35.55 เซนติเมตร (Table 1) ด้านจำนวนใบของหอมประดับในแต่ละกรรมวิธีไม่แตกต่างทางสถิติ โดยมีค่าอยู่ระหว่าง 9.10 - 10 ใบต่อต้น และในเดือนที่สองหลังย้ายปลูก (109 วัน)พบว่า จำนวนใบไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติเช่นเดียวกันโดยมีจำนวนใบอยู่ที่ 9.10 - 9.90 ใบต่อต้นตามลำดับ (Table 1) เนื่องจากหอมประดับมีอาหารสะสมในหัวเพียงพอต่อความต้องการจึงส่งผลให้การเจริญเติบโตดำเนินไปได้อย่างสมบูรณ์ โดยหากพืชมีธาตุอาหารเพียงพอต่อความต้องการพืชนั้นอาจไม่แสดงอาการผิดปกติให้เห็น (Foypikul, 2003) ซึ่งสอดคล้องกับการทดลองผลของไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียมต่อการเจริญเติบโตของแกลดิโอลัสว่าปฏิสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยด้านปุ๋ย และปัจจัยด้านความเข้มข้นที่ต่างกันส่งผลให้ความสูง และจำนวนใบไม่แตกต่างกันทางสถิติ (Ruamrungsri *et al*., 2009)

1.2 คุณภาพดอก

หลังจากปลูกหอมประดับนาน 70 วัน พืชเริ่มมีการแทงช่อดอก และดอกย่อยเริ่มบานหลังปลูกนาน 81 วัน (Figure 2)

Table 1. Plant height and number of leaves per plant after supplied with different fertilizer rates at 85 and 109 days after planting

Treatments	Plant height (cm)		Leaves number (leaves)	
	85 days after planting	109 days after planting	85 days after planting	109 days after planting
1) No fertilizer	30.60	31.55	9.70	9.90
2) 2.5 grams fertilizer supply	35.35	33.65	9.10	9.10
3) 5 grams fertilizer supply	35.55	33.05	10.00	9.80
CV (%)	17.27	8.76	14.03	16.46
$LSD_{0.05}$	ns	ns	ns	ns

ns = non significant

Figure 2. Flower quality of ornamental onion at the flower blooming phases, no fertilizer (T1), fertilizer application by 15-15-15 (N-P-K) at rate of 2.5 grams per plant per month (T2) and 5 grams per plant per month (T3)

จากการทดลองพบว่า คุณภาพดอกได้แก่ ความยาวช่อดอก ความยาวก้านดอก จำนวนวันออกดอก และเปอร์เซ็นต์การออกดอกในแต่ละกรรมวิธีไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ แต่พบว่า ขนาดเส้นรอบวงช่อดอก และเส้นผ่านศูนย์กลางช่อดอกมีความแตกต่างกันทางสถิติหลังได้รับปุ๋ยในอัตราที่แตกต่างกัน โดยพบว่า การไม่ได้รับปุ๋ยเลยพืชมีขนาดเส้นรอบวงช่อดอกน้อยกว่า ค่าเฉลี่ย 39.60 เซนติเมตร การได้รับปุ๋ยอัตรา 2.5 และ 5 กรัมค่าเฉลี่ย 41.11 และ 42.08 เซนติเมตร (Table 2) สำหรับเส้นผ่านศูนย์กลางช่อดอกพบว่า กรรมวิธีที่ 3 มีค่าเฉลี่ยมากที่สุด 14.17 เซนติเมตร ไม่แตกต่างทางสถิติกับกรรมวิธีที่ 2 ซึ่งมีค่าเฉลี่ย 14.01 เซนติเมตร ซึ่งการให้ปุ๋ยทั้งสองอัตราทำให้พืชมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางดอกมากกว่าการไม่ให้ปุ๋ยอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (Table 2) ทั้งนี้เนื่องจากหลังจากหอมประดับมีการเจริญเติบโตส่วนของดอกจะเป็นแหล่งรับอาหาร หรือ strong sink ของต้น ดังนั้นการให้ปุ๋ยที่เหมาะสมจะช่วยส่งเสริมทำให้ดอกมีขนาดใหญ่ เนื่องจากการได้รับธาตุอาหารจำเป็นมากเพียงพอเพื่อใช้ในการพัฒนาของเซลล์ ไม่ว่าจะเป็น การแบ่งเซลล์ หรือขยายขนาด (Osotsapar *et al.*, 2011) ส่งผลให้หอมประดับสามารถเกิดกิจกรรมดังกล่าวอย่างเต็มที่ ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ El-Naggar and El-Nasharty (2009) พบว่า อัตราปุ๋ยที่ 5 กรัมและ 2 กรัมต่อต้นช่วยเพิ่มความยาวก้านดอกและจำนวนดอกต่อต้นว่านสี่ทิศสายพันธุ์ Apple Blossom มีค่ามากกว่าการไม่ให้ปุ๋ย

2. ผลของอัตราปุ๋ยต่อประสิทธิภาพการใช้น้ำ

2.1 ปริมาณการใช้น้ำ (crop evapotranspiration, ETc)

หลังจากการปลูกหอมประดับนาน 2 เดือน โดยมีการให้ปุ๋ยในอัตราที่แตกต่างกัน 3 ระดับ พบว่า ปริมาณการใช้น้ำของพืชมีความแตกต่างกัน ผลของการทดลองพบว่า ในช่วงระยะตั้งแต่ปลูกถึงดอกเหี่ยว (phase 1) การให้ปุ๋ยอัตรา 2.5 กรัมต่อต้น ทำให้พืชมีปริมาณการใช้น้ำมากกว่ากรรมวิธีอื่นโดยมีปริมาณการใช้น้ำเฉลี่ย 6.54 มิลลิลิตรต่อวัน รองลงมาคือ

Table 2. Inflorescence quality of ornamental onion affected by different fertilizer rates treatment at flowering phase (105 days after planting)

Treatments	Inflorescence quality					
	Inflorescence length (cm)	Stalk length (cm)	Umbel circumference (cm)	Umbel diameter (cm)	Day to flowering (days)	Percentage of inflorescence (%)
1) No fertilizer	50.91	43.41	39.60 b	12.99 b	70.94	99.94
2) 2.5 grams fertilizer supply	51.25	42.91	41.11 ab	14.01 a	70.52	100.00
3) 5 grams fertilizer supply	52.23	44.18	42.08 a	14.17 a	69.58	100.00
CV (%)	4.26	5.17	4.26	4.75	5.74	0.14
$LSD_{0.05}$	ns	ns	*	*	ns	ns

ns = non significant, * = means with different superscripts differ significantly ($P < 0.05$)

กรรมวิธีไม่ให้ปุ๋ย และกรรมวิธีให้ปุ๋ยอัตรา 5 กรัมต่อต้น ซึ่งมีค่าเฉลี่ย 6.39 และ 6.06 มิลลิลิตรต่อวัน ตามลำดับ (Figure 3) ในระยะดอกเหี่ยวถึงพักตัว (phase 2) กรรมวิธีที่ให้ปุ๋ยอัตรา 5 กรัมต่อต้นมีปริมาณการใช้น้ำมากที่สุดเฉลี่ย 4.45 มิลลิลิตร รองลงมาคือ กรรมวิธีให้ปุ๋ยอัตรา 2.5 กรัมต่อต้นและไม่ให้ปุ๋ยมีค่าเฉลี่ย 4.16 และ 4.06 มิลลิลิตรต่อวัน ตามลำดับ (Figure 3) ทั้งนี้เนื่องจากในช่วงระยะแรกพืชมีการเจริญเติบโตอย่างรวดเร็ว มีการนำอาหารสะสมจากฤดูก่อนมาใช้ในการเติบโต ส่งผลให้ในระยะแรกมีการใช้น้ำ เพื่อให้เกิดกระบวนการเมแทบอลิซึมต่าง ๆ ในสร้างใบ สร้างดอก นอกจากนี้น้ำยังเป็นส่วนสำคัญในกระบวนการสังเคราะห์แสงเพื่อผลิตอาหารแก่พืชอีกด้วย และในส่วนระยะที่สองพบว่า หลังจากดอกเหี่ยวถึงพักตัวในแต่ละกรรมวิธีจะมีการใช้น้ำที่ลดลง เนื่องจากพืชเริ่มมีการเสื่อมสภาพ ทำให้มีลดการใช้น้ำ นอกจากนี้ในช่วงปลายของการเจริญเติบโตในระยะที่ 2 นี้ อวัยวะเหนือดินเริ่มมีการแห้งตาย เนื่องจากพืชเข้าสู่ระยะพักตัว (Ruamrungsri, 2015) จึงทำให้พืชมีการคายน้ำลดลง ส่งผลให้พืชปริมาณการใช้น้ำที่ลดลงเช่นกัน อัตราปุ๋ยที่แตกต่างกันมีผลต่อปริมาณการใช้น้ำที่แตกต่างกัน ทั้งนี้เนื่องจากการปุ๋ยเข้าไปช่วยส่งเสริมการเจริญเติบโตของพืช ส่งผลให้พืชมีการพัฒนาขยายขนาด ทำให้ใบพืชมีขนาดใหญ่ (Techapinyawat, 1992) ส่งผลให้มีการใช้น้ำในปริมาณที่มาก กล่าวคือการใช้น้ำมากขึ้นตามการเจริญเติบโตของพืชทางต้นและจำนวนใบเพิ่มขึ้น (Poruksa *et al*., 2002) เมื่อเทียบกับระยะดอกเหี่ยวถึงพักตัว ที่พืชมีการเสื่อมสภาพของใบ ส่งผลให้มีปริมาณการใช้น้ำที่ลดลง Cooper *et al*. (1987) รายงานว่า ในข้าวบาร์เลย์มีการใช้น้ำที่ไม่แตกต่างกันไม่ว่าจะให้ปุ๋ย หรือไม่ก็ตาม เมื่อผ่านไประยะหนึ่งพบว่า กรรมวิธีที่ให้ปุ๋ยมีการใช้น้ำที่มากกว่ากรรมวิธีไม่ให้ปุ๋ยแต่ก็ไม่แตกต่างกันทางสถิติ

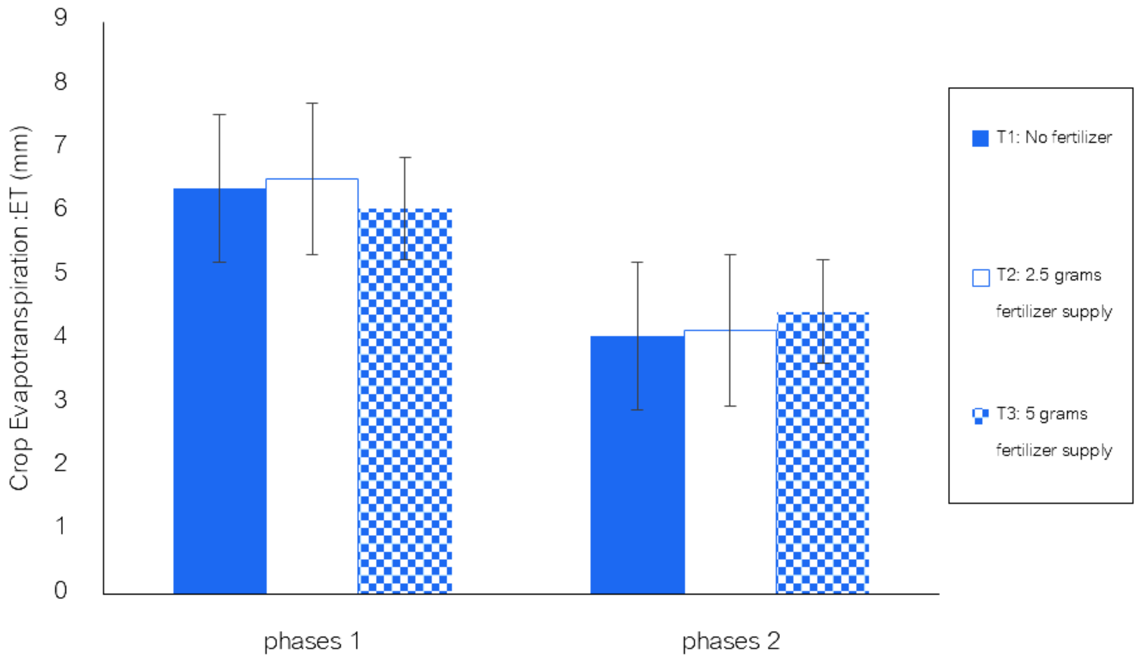


Figure 3. Crop evapotranspiration (ETc) of ornamental onion at 2 phases after supplied with different fertilizer rates

2.2 อัตราการคายน้ำต่อหน่วยพื้นที่ใบ (transpiration rate per leaves area unit)

อัตราการคายน้ำต่อหน่วยพื้นที่ใบ ในระยะตั้งแต่ปลูกถึงดอกเหี่ยว (phase 1) มีค่าน้อยกว่าในระยะที่สอง และยังพบว่า กรรมวิธีที่ให้ปุ๋ยอัตรา 2.5 กรัมต่อต้น มีค่าเฉลี่ยสูงสุด 0.53 มิลลิลิตรต่อตารางเซนติเมตรต่อวัน รองลงมาคือกรรมวิธีไม่ให้ปุ๋ยและกรรมวิธีให้ปุ๋ยอัตรา 5 กรัมต่อต้นซึ่งมีค่าเฉลี่ย 0.46 และ 0.46 มิลลิลิตรต่อตารางเซนติเมตรต่อวัน ตามลำดับซึ่งมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ต่อมาในระยะดอกเหี่ยวถึงพักตัว (phase 2) พบว่าอัตราการคายน้ำต่อหน่วยพื้นที่ใบในกรรมวิธีที่ให้ปุ๋ยอัตรา 5 กรัมต่อต้น มีค่าเฉลี่ยมากที่สุด 1.83 มิลลิลิตรต่อตารางเซนติเมตรต่อวัน และรองลงมากรรมวิธีให้ปุ๋ย 2.5 กรัมต่อ และไม่ให้ปุ๋ยมีค่าเฉลี่ย 1.22 และ 0.98 มิลลิลิตรต่อตารางเซนติเมตรต่อวัน ตามลำดับ (Figure 4) เนื่องจากในระยะที่สองพืชเริ่มหยุดการเจริญเติบโต ใบมีการเสื่อมสภาพ เพื่อเตรียมเข้าสู่ระยะพักตัว ส่งผลให้คิวติเคิลที่เคลือบอยู่บริเวณผิวใบซึ่งเป็นโครงสร้างที่ช่วยป้องกันสูญเสียน้ำเสื่อมสภาพไปด้วย (Pantatan, 2000) ทำให้พืชมีการคายน้ำมากกว่าระยะแรก ทั้งนี้ใบของพืชในสกุล *Allium* ทั้งด้านบนและด้านล่างของใบมีลักษณะเหมือนกัน ประกอบด้วยปากใบ เซลล์คุม และขนใบ (Yousaf *et al.*, 2008) ในส่วนอัตราปุ๋ยที่ระดับแตกต่างกันมีผลต่ออัตราการคายน้ำอาจเนื่องจากในปุ๋ยมีธาตุอาหารที่จำเป็นในกระบวนการทางสรีวิทยา และบทบาทในด้านการเจริญเติบโตของพืช (Ruamrungsri, 2015) ส่งเสริมพืชมีการพัฒนาใบที่สมบูรณ์ (Techapinyawat, 1992) ทำให้พืชมีการควบคุมการคายน้ำอย่างมีประสิทธิภาพ ทำให้มีการคายน้ำที่น้อยกว่า ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Fanga *et al.* (2018) รายงานในต้นบัควีท (buckwheat) ว่าปริมาณของปุ๋ยไนโตรเจนที่มากขึ้นช่วยส่งเสริมการเจริญเติบโตของพืช แต่ทำให้มีอัตราการคายน้ำของต้นบัควีทลดลง

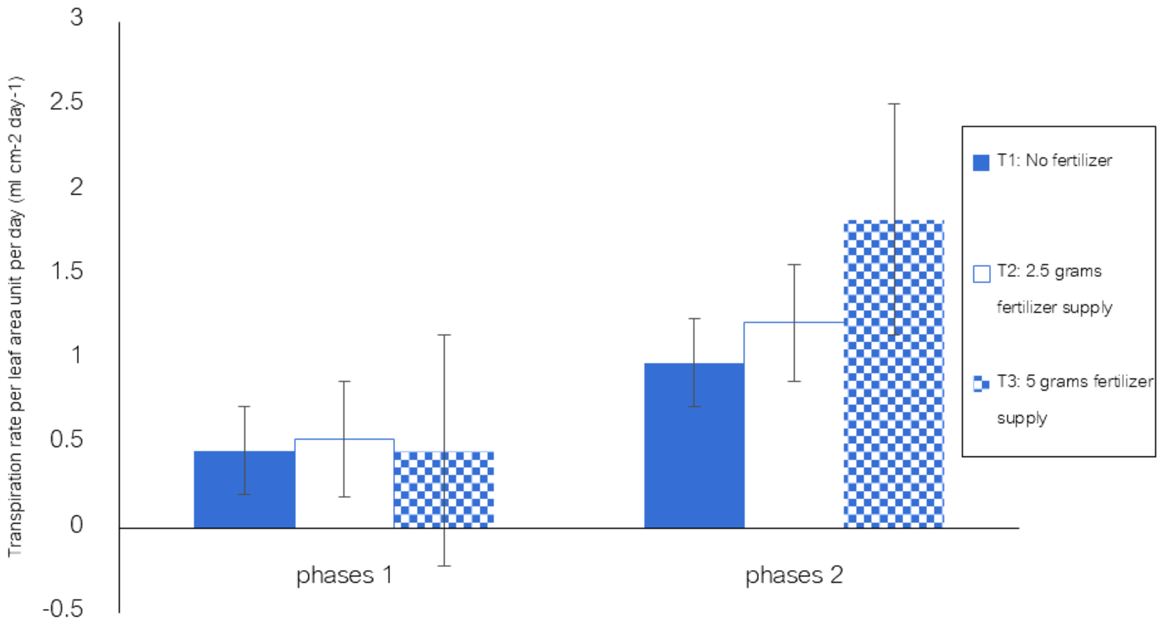


Figure 4. Transpiration rate per leaves area unit per day of ornamental onion at 2 phases after supplied with different fertilizer rates. means with the same letter within column are not significant different at *P*<0.05 by least significant difference

2.3 ประสิทธิภาพการใช้น้ำ (water use efficiency, WUE)

เมื่อปลูกหอมประดับนาน 2 เดือนร่วมกับการให้ปุ๋ยในอัตราที่แตกต่างกัน 3 ระดับ พบว่าประสิทธิภาพการใช้น้ำของหอมประดับทั้งในระยะปลูกถึงดอกเหี่ยว (phase 1) และระยะดอกเหี่ยวถึงพักตัว (phase 2) ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติในทุกกรรมวิธี โดยในระยะที่หนึ่ง กรรมวิธีที่ให้ปุ๋ย 5 กรัมต่อต้นมีค่าเฉลี่ยมากที่สุด 0.00029 มิลลิกรัมน้ำหนักแห้งต่อมิลลิลิตร รองลงมาคือการให้ปุ๋ยอัตรา 2.5 กรัมต่อต้น และการให้ปุ๋ย พืชที่ค่าประสิทธิภาพการใช้น้ำมีค่าเฉลี่ย 0.00026 และ 0.00025 มิลลิกรัมน้ำหนักแห้งต่อมิลลิลิตร ตามลำดับ (Figure 5) ส่วนในระยะที่สองกรรมวิธีไม่ให้ปุ๋ยมีค่าเฉลี่ย -0.0086 มิลลิกรัมน้ำหนักแห้งต่อมิลลิลิตร รองลงมาคือกรรมวิธีที่ให้ปุ๋ย 2.5 และ 5 กรัมต่อต้นมีค่าเฉลี่ย -0.0096 และ -0.0101 มิลลิกรัมน้ำหนักแห้งต่อมิลลิลิตร (Figure 5) การที่ค่าเฉลี่ยในระยะที่สองมีค่าติดลบเนื่องจากน้ำหนักแห้งปลายช่วงมีค่าน้อยกว่าต้นช่วง เพราะหัวใหม่ที่เกิดขึ้นมีขนาดเล็กกว่าเดิม

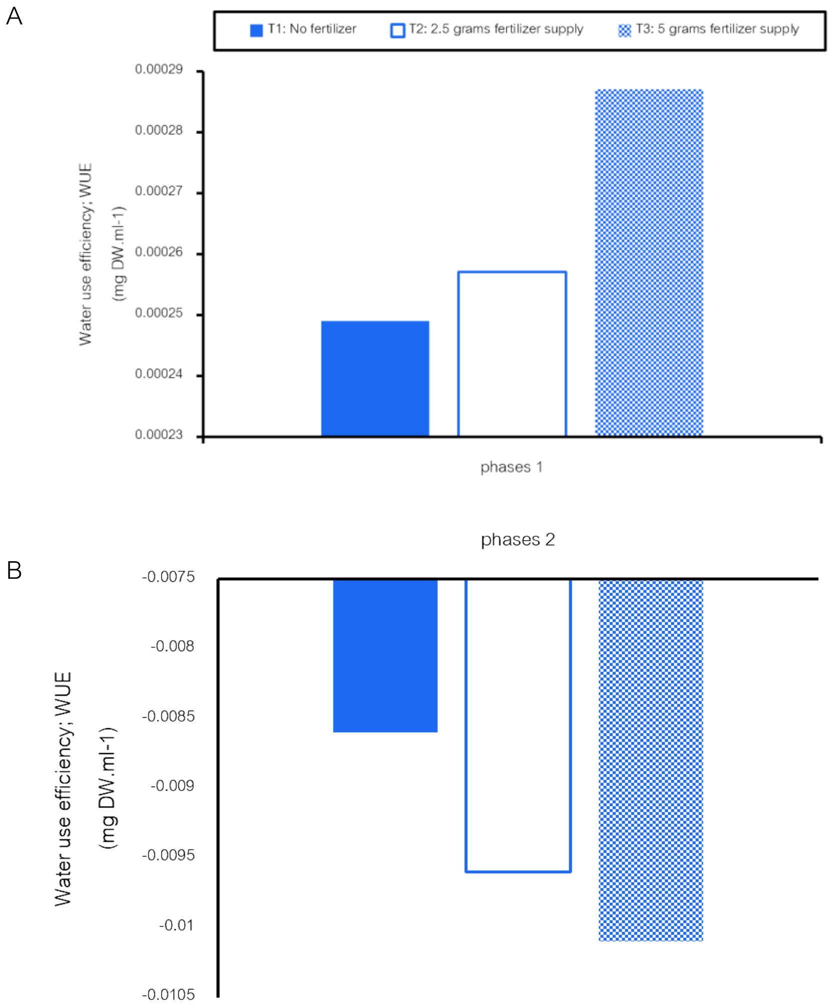


Figure 5. Water use efficiency (WUE) of ornamental onion at phase 2 after supplied with different fertilizer rates

2.4 สัมประสิทธิ์การใช้น้ำของพืช (crop coefficient, Kc)

สัมประสิทธิ์การใช้น้ำของหอมประดับหลังจากปลูกนาน 2 เดือน ซึ่งเป็นการดำเนินการในช่วงฤดูร้อน (มีนาคม-เมษายน) ในโรงเรือน evaporative cooling system มีอุณหภูมิเฉลี่ย 27.47 องศาเซลเซียส ความชื้นเฉลี่ย 72.75 เปอร์เซ็นต์ และความเข้มแสงอยู่เฉลี่ย 5,533.71 $\mu mol/m^2/s^2$ ในโรงเรือนมีอุณหภูมิค่อนข้างคงที่ตลอดการทดลอง ดังนั้น ความแตกต่างที่เกิดขึ้นจึงนับว่าเป็นผลเนื่องจากอิทธิพลของการให้ปุ๋ยเป็นหลัก โดยมีการให้ปุ๋ยอัตราที่แตกต่างกัน 3 ระดับ พบว่า ในระยะปลูกถึงดอกเหี่ยว (phase 1) มีค่าเฉลี่ยแตกต่างกันทางสถิติโดยกรรมวิธีที่ให้ปุ๋ย 2.5 กรัมต่อต้น มีค่าเฉลี่ยสูงสุด 2.49 รองลงมาคือกรรมวิธีไม่ให้ปุ๋ย และกรรมวิธีที่ให้ปุ๋ย 5 กรัมต่อต้นมีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 2.30 และ 1.98 แต่ในส่วนระยะดอกเหี่ยวถึงพักตัว (phase 2) มีค่าไม่แตกต่างกันทางสถิติในทุกกรรมวิธี (Figure 6) โดยในกรรมวิธีที่ให้ปุ๋ย 2.5 กรัมต่อต้นมีค่าเฉลี่ยมากที่สุด 2.22 รองลงมาคือกรรมวิธีที่ไม่ให้ปุ๋ย และกรรมวิธีที่ให้ปุ๋ย 5 กรัมต่อต้น มีค่าเฉลี่ย 2.01 และ 1.78 ตามลำดับ เนื่องจากในระยะที่หนึ่งเป็นช่วงที่มีการเจริญเติบโตมาก พืชมีการใช้น้ำมากเพื่อใช้ในขบวนการเมทาโบลิซึมภายในพืช โดยหากพืชได้รับปุ๋ยเพียงพอ จะช่วยส่งเสริมการเจริญเติบโตมากยิ่งขึ้น ส่วนในระยะที่สองค่าสัมประสิทธิ์การใช้น้ำไม่แตกต่างกัน เนื่องจากหลังในระยะที่สองพืชมีการเจริญเติบโตลดลง และเริ่มเข้าสู่ระยะพักตัว ใบมีอาการเริ่มแห้งเหี่ยวส่งผลต่อการนำน้ำเข้าสู่พืช เพราะเมื่อใบเริ่มเสื่อมสภาพ ทำให้หอมประดับมีพื้นที่ใบน้อยส่งผลให้การดูดน้ำสู่ส่วนเหนือดินลดลง (Osotsapar *et al*., 2011) สอดคล้องกับการทดลองให้ปุ๋ยไนโตรเจน และการให้น้ำต่อผลผลิตของหัวหอมใหญ่โดยพบว่า กรรมวิธีที่ให้ปุ๋ยไนโตรเจน (แอมโมเนีย 33 เปอร์เซ็นต์) ส่งผลให้สัมประสิทธิ์การใช้น้ำมีค่าเฉลี่ยแตกต่างจากทุกกรรมวิธีในช่วงแรกของการเจริญเติบโต และพบว่า สัมประสิทธิ์การใช้น้ำลดลงในช่วงช่วงเก็บเกี่ยว (El-Akram, 2012)

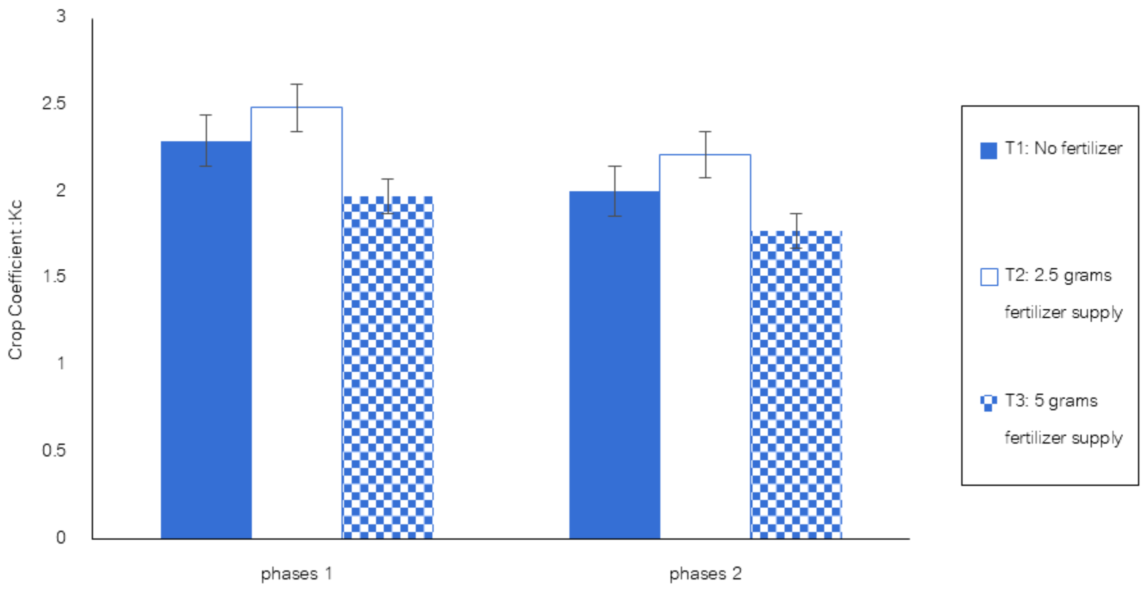


Figure 6. Crop coefficient (Kc) of ornamental onion at phase 2, after supplied with different fertilizer rates. ns = non-significant, means with the same letter within column are not significant different at P<0.05 by least significant difference

สรุป

จากผลการทดลองอัตราปุ๋ยต่อประสิทธิภาพการใช้น้ำในหอมประดับพบว่า อัตราปุ๋ยไม่มีผลต่อความสูงต้น และจำนวนใบต่อต้น แต่อัตราปุ๋ย 2.5 กรัมต่อต้นทำให้เส้นรอบวง และเส้นผ่านศูนย์กลางช่อดอกมากกว่าการไม่ได้รับปุ๋ย แต่ไม่แตกต่างจากการให้ปุ๋ยอัตรา 5 กรัมต่อต้น ในด้านการใช้น้ำของพืชพบว่า กรรมวิธีที่ให้ปุ๋ยอัตรา 2.5 กรัมต่อต้น ส่งเสริมประสิทธิภาพการใช้น้ำ ได้แก่ ปริมาณการใช้น้ำ อัตราการคายน้ำต่อหน่วยพื้นที่ใบ ประสิทธิภาพการใช้น้ำ และสัมประสิทธิ์การใช้น้ำ มีค่ามากกว่าทุกกรรมวิธี การใช้น้ำในระยะตั้งแต่ปลูกถึงดอกเหี่ยวมีค่ามากกว่าระยะดอกเหี่ยวถึงพักตัว

กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้วิจัย ขอขอบคุณศูนย์เลิศพัฒนพฤกษ์ บริษัทพีทีทีแอลเอ็นจี จำกัด สนับสนุนทุนวิจัย และศูนย์บริการการพัฒนาขยายพันธุ์ไม้ดอกไม้ผลบ้านไร่อันเนื่องมาจากพระราชดำริ ที่ให้การอนุเคราะห์สถานที่ในการทำวิจัย

เอกสารอ้างอิง

Armitage, A. M. 1993. Specialty Cut Flowers: The Production of Annuals, Perennials, Bulbs, and Woody Plants for Fresh and Dried Cut Flowers. Timber Press, Portland. 371 p.

Boonyatharokul, W. 1983. Principles of Irrigation. Department of Irrigation Engineering, Faculty of Engineering, Kasetsart University, Bangkok. 273 p. (in Thai)

Cooper, P.J.M., P.J. Gregory, J.D.H. Keatinge and S.C. Brown. 1987. Effects of fertilizer, variety and location on barley production under rainfed conditions in Northern Syria 2. Soil water dynamics and crop water use. Field Crops Research 16(1): 67-84.

El-Akram, M.F.I. 2012. Effect of different forms of N-fertilizer and water regime on onion production and some crop - water relations. Journal of Soil Sciences and Agricultural Engineering 3(4): 443-456.

El-Naggar, A.H. and A.B. El-Nasharty. 2009. Effect of growing media and mineral fertilization on growth, flowering, bulbs productivity and chemical constituents of *Hippeastrum vittatum*, Herb. American-Eurasian Journal of Agricultural and Environmental Sciences 6(3): 360-371.

Fanga, X., Y. Li, J. Nie, C. Wang, K. Huang, Y. Zhang, Y. Zhang, H. She, X. Liu, R. Ruan and X. Yuan, Z. Yi. 2018. Effects of nitrogen fertilizer and planting density on the leaf photosynthetic characteristics, agronomic traits and grain yield in common buckwheat (*Fagopyrum esculentum* M.). Field Crops Research 219: 160-168.

Foypikul, W. 2003. Techniques for Soli, Fertilizer and Water Use. Faculty of Science and Technology, Surindra Rajabhat University, Surin. 406 p. (in Thai)

Medrano, H., M. Tomás, S. Martorell, J. Flexas, E. Hernández, J. Rosselló, A. Pou, J.-M. Escalona and J. Bota. 2015. From leaf to whole-plant water use efficiency (WUE) in complex canopies: Limitations of leaf WUE as a selection target. The Crop Journal 3(3): 220-228.

Iannotti, M. 2020. How to grow and care for Allium (ornamental onion). (Online). Available: https://www.thespruce.com/how-to-grow-

alliums-ornamental-onions-1402878. (September 1, 2020).

Osotsapar, Y., A. Wongmaneeroj and C. Hongprayoon. 2011. Fertilizer for Sustainable Agriculture. Department of Soil Science, Faculty of Agriculture at Kamphaeng Saen, Kasetsart University, Kamphaeng Saen Campus, Nakorn Pathom. 519 p. (in Thai)

Pantatan, U. 2000. Effect of Trimming on Postharvest Quality and Consumer's Opinion of Water Convolvulus (*Ipomoea aquatica*). Department of Soil Science, Kasetsart University, Bangkok. 18 p. (in Thai)

Pereira, J.S., and T.T. Kozlowski. 1976. Leaf anatomy and water relations of *Eucalyptus camaldulensis* and *E*. globulus seedlings. Canadian Journal of Botany 54(24): 2868-2880.

Poruksa, R., S. Punthachot and S. Changieraja. 2002. A study of water use of *Curcuma alismatifolia* gagnep. Journal of Agriculture 18(1): 18-23. (in Thai)

Ruamrungsri, S. 2015. Physiology of Flowers Bulbs. Chiang Mai University Press, Chiang Mai. 276 p. (in Thai)

Ruamrungsri, S., H. Kidsadawanich, R. Kijkar, P. Kansan and T. Phornsawatchai. 2009. Effects of nitrogen, phosphorus and potassium on growth and development of *Gladiolus hybrida.* Journal of Agriculture 25(1): 31-39. (in Thai)

Sivakumar, M.V.K. and S.A. Salaam. 1999. Effect of year and fertilizer on water-use efficiency of pearl millet (*Pennisetum glaucum*) in Niger. Journal of Agricultural science 132(2): 139-148.

Techapinyawat, S. 1992. Plant Physiology. Department of Botany. Faculty of Science, Kasetsart University, Bangkok. 213 p. (in Thai)

Tuner, N.C. 1986. Crop water deficits: A decade of progress. Advances in Agronomy 39: 1-51.

Tungsomboun, T. 2006. Water Use in Plant. Irrigation Water Management Division. Bureau of Water Management and Hydrology, Royal Irrigation Department, Bangkok. 44 p. (in Thai)

Vuthijumnong, K. 1986. Soil Management and Water Use. Faculty of Agricultural Production. Maejo University, Chiang Mai. 289 p. (in Thai)

Ye, S., T. Liu, and Y. Niu. 2020. Effects of organic fertilizer on water use, photosynthetic characteristics, and fruit quality of pear jujube in northern Shaanxi. Open Chemistry 18(1): 537-545.

Yousaf, Z., Z.K. Shinware, R. Asghar and A. Parveen. 2008. Leaf epidermal anatomy of selected Allium species, family Alliaceae from Pakistan. Pakistan Journal of Botany 40(1): 77-90.

Yu, X.F., X.C. Zhang, H.L. Wang, Y.F. Ma, H.Z. Hou and Y.J. Fang. 2016. Effects of fertilizer application on water consumption characteristics and yield of potato cultured under ridge-furrow and whole filed plastic mulching in rain-fed area. Chinese Journal of Applied Ecology 27(3): 883-890.

การตรวจสอบโรคแอนแทรกโนสในมะม่วงพันธุ์น้ำดอกไม้สีทอง ด้วยเนียร์อินฟราเรดสเปกโทรสโกปี

Detection of Anthracnose Disease in 'Namdokmai Sithong' Mango Using Near Infrared Spectroscopy

แคทรียา สนธิยา[1] พิมพ์ใจ สีหะนาม[1,2,3*] ปาริชาติ เทียนจุมพล[2,3] และ พลกฤษณ์ มณีวระ[2,3]

Katthareeya Sonthiya[1], Pimjai Seehanam[1,2,3*], Parichat Theanjumpol[2,3] and Phonkrit Maniwara[2,3]

[1] ภาควิชาพืชศาสตร์และปฐพีศาสตร์ คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ จ. เชียงใหม่ 50200

[1] Department of Plant and Soil Sciences, Faculty of Agriculture, Chiang Mai University, Chiang Mai 50200, Thailand

[2] ศูนย์นวัตกรรมเทคโนโลยีหลังการเก็บเกี่ยว กระทรวงการอุดมศึกษา วิทยาศาสตร์ วิจัยและนวัตกรรม กรุงเทพฯ 10400

[2] Postharvest Technology Innovation Center, Ministry of Higher Education, Science, Research and Innovation, Bangkok 10400, Thailand

[3] ศูนย์วิจัยเทคโนโลยีหลังการเก็บเกี่ยว คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ จ. เชียงใหม่ 50200

[3] Postharvest Technology Research Center, Faculty of Agriculture, Chiang Mai University, Chiang Mai 50200, Thailand

**Corresponding author: Email: pimjai193@gmail.com*

(Received: 1 December 2021; Accepted: 25 April 2022)

Abstract: The aim of this research was to detect anthracnose disease in 'Namdokmai Sithong' mango fruit using near infrared spectroscopy (NIRS). Inoculation using 20 µL of 10^6 spores/mL *Colletotrichum gloeosporioides* spore suspension was done onto mango fruit's peel (one cheek; accounted as infected) while another cheek was left intact (accounted as control). The inoculation was conducted using 102 mango fruits prior to incubating the samples in moist chambers (100 % relative humidity). The chambers were thereafter stored at 28 °C for 24 h before acquiring NIR spectra from both fruit cheeks using FT-NIR apparatus. The spectra were divided into training and testing sets (each set consisted of 102 spectra: 51 intact and 51 infected) before performing a partial least squares discriminant analysis (PLS-DA). The results indicated that spectra preprocessed by standard normal variate (SNV) method could discriminate anthracnose-infected against intact mango fruit with an overall classification accuracy of 95.1 %. Wavelengths of 1152, 1725, and 1880 nm were important to the classification model. In summary, NIRS with PLS-DA could be a possible tool for detecting anthracnose disease in mango.

Keywords: Nondestructive detection, fungi, discriminant analysis

Copyright @ Journal of Agriculture, Faculty of Agriculture, Chiang Mai University. All rights reserved.

บทคัดย่อ: งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อตรวจหาโรคแอนแทรกโนสในมะม่วงพันธุ์น้ำดอกไม้สีทองโดยใช้เนียร์อินฟราเรดสเปกโทรสโกปี โดยปลูกเชื้อรา *Colletotrichum gloeosporioides* ด้วยสปอร์แขวนลอยความเข้มข้น 10^6 สปอร์ต่อมิลลิลิตร ปริมาตร 20 ไมโครลิตร ลงบนผิวด้านหนึ่งของมะม่วง กำหนดให้เป็นด้านที่เกิดโรคแอนแทรกโนส สำหรับอีกด้านหนึ่งกำหนดให้เป็นชุดควบคุม (ไม่ปลูกเชื้อรา) ในการทดลองใช้มะม่วงทั้งหมด 102 ผล หลังจากนั้นบรรจุผลมะม่วงในกล่องที่มีความชื้นสัมพัทธ์ 100 เปอร์เซ็นต์ แล้วเก็บรักษาในตู้ควบคุมอุณหภูมิ 28 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง ก่อนนำมาวัดสเปกตรัมมะม่วงทั้งสองด้านด้วยเครื่อง FT-NIR แบ่งสเปกตรัมเป็นชุดสร้างสมการและชุดทดสอบสมการ (ชุดละ 102 สเปกตรัม ได้แก่ ชุดควบคุม (ด้านที่ไม่ปลูกเชื้อรา) 51 สเปกตรัม และด้านที่ได้รับการปลูกเชื้อรา 51 สเปกตรัม) วิเคราะห์สเปกตรัมด้วยวิธี partial least squares discriminant analysis (PLS-DA) ผลการทดลองพบว่า สเปกตรัมที่ปรับแต่งด้วยวิธี standard normal variate (SNV) สามารถแยกมะม่วงที่ได้รับการปลูกเชื้อราก่อโรคแอนแทรกโนสและมะม่วงชุดควบคุมได้ โดยมีความแม่นยำที่ 95.1 เปอร์เซ็นต์ และความยาวคลื่นที่สำคัญในการจำแนกประเภท คือ 1152, 1725 และ 1880 นาโนเมตร ดังนั้น การใช้ NIRS ร่วมกับการสร้างแบบจำลองวิเคราะห์แยกด้วยวิธี PLS-DA จึงมีความเป็นไปได้ที่จะนำมาใช้ตรวจสอบโรคแอนแทรกโนสในผลมะม่วง

คำสำคัญ: การตรวจสอบโดยไม่ทำลาย เชื้อรา การวิเคราะห์จำแนกประเภท

คำนำ

มะม่วง (*Mangifera indica* L.) เป็นไม้ผลเขตร้อนที่มีความสำคัญทางเศรษฐกิจของโลก พื้นที่การผลิตหลักของมะม่วง คือ ทวีปเอเชีย ซึ่งประเทศไทยเป็นหนึ่งในประเทศที่ผลิตมะม่วงในเชิงอุตสาหกรรมระดับโลก (Tharanathan *et al*., 2006) ในปี พ.ศ. 2562 ประเทศไทยส่งออกมะม่วงสดสูงเป็นอันดับ 1 ในเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ และเป็นอันดับ 7 ของโลก คิดเป็นมูลค่า 1,770 ล้านบาท โดยตลาดส่งออกหลัก ได้แก่ มาเลเซีย เวียดนาม ลาว จีน และฮ่องกง (Ministry of Commerce, 2020)

มะม่วงเป็นไม้ผลในกลุ่ม climacteric fruit ซึ่งสามารถสุกต่อหลังจากการเก็บเกี่ยว และเกิดการเน่าเสียง่าย (perishable) ในระหว่างกระบวนการสุกเนื่องมาจากการเข้าทำลายของเชื้อจุลินทรีย์ ส่งผลกระทบต่อความเสียหายในอุตสาหกรรมส่งออกมะม่วงเป็นอย่างมาก (Jenny *et al*., 2019; Jongsri *et al*., 2017) อีกทั้งประเทศไทยมีสภาพอากาศที่ร้อนชื้น ซึ่งเป็นสภาพแวดล้อมที่เหมาะสมในการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ที่เป็นเชื้อสาเหตุของโรคต่าง ๆ โดยเฉพาะอย่างยิ่งโรคแอนแทรกโนส เชื้อราที่เป็นสาเหตุของโรคแอนแทรกโนสอยู่ในสกุล *Colletotrichum* มีพืชอาศัยหลายชนิด ทั้งพืชวงศ์ถั่ว หญ้า ผัก ไม้ผล และไม้ประดับ โดยโรคแอนแทรกโนสที่พบในมะม่วงเป็นผลมาจากการเข้าทำลายของเชื้อรา *Colletotrichum gloeosporioides* สามารถพบอาการของโรคแอนแทรกโนสได้ที่บริเวณใบ กิ่ง ก้านใบ ลำต้น ดอก และผล บนผลอ่อนมักปรากฏจุดแผลสีน้ำตาลเข้มขนาดเล็กหลายจุด และขยายตัวมาติดกัน ทำให้เกิดแผลกว้างและมีสีน้ำตาลเข้มหรือสีดำ อีกทั้งเมื่อแผลขยายขนาดปกคลุมผิวส่วนใหญ่ของผล เชื้อราอาจเข้าทำลายเนื้อผลทำให้เนื้อผลมีลักษณะช้ำ เละ และยุบตัวลง (Jenny *et al*., 2019; Nelson, 2008) ทั้งนี้ในการเข้าทำลายของเชื้อระยะแรก เชื้อราสามารถพักตัวภายในผลิตผล (latent infection) จึงไม่สามารถมองเห็นอาการของโรคได้ จนกระทั่งผลมะม่วงสุกแก่จึงแสดงอาการของโรคแอนแทรกโนสให้เห็นชัดเจน (Nelson, 2008) ดังนั้น ถ้าหากสามารถประเมินคุณภาพของผลผลิตก่อนการส่งออก โดยเฉพาะการตรวจพบเชื้อสาเหตุของโรคแอนแทรกโนสในระยะแรก ๆ จะเป็นประโยชน์อย่างยิ่งในการบริหารจัดการหลังการเก็บเกี่ยวเพื่อลดความเสียหายในอุตสาหกรรมส่งออกมะม่วง

ปัจจุบันเทคนิคด้านเนียร์อินฟราเรดสเปกโทรสโกปี (near infrared spectroscopy: NIRS) ได้ถูกนำมาใช้อย่างแพร่หลายในการประเมินคุณภาพโดยไม่ทำลายผลผลิต โดยใช้คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าช่วงความยาวคลื่น 800 - 2500 นาโนเมตร สามารถแบ่งความยาวคลื่น

ออกเป็น 2 ช่วง ได้แก่ ช่วงคลื่นสั้นระหว่าง 800 - 1100 นาโนเมตร และช่วงคลื่นยาวระหว่าง 1100 - 2500 นาโนเมตร เทคนิค NIRS อาศัยหลักการสั่น (vibration) ของพันธะภายในโมเลกุลของอินทรีย์สารในผลิตผล หากการสั่นของพันธะ O-H, C-H และ N-H ที่ทำให้เกิดพลังงานตรงกับพลังงานของคลื่นแสง NIR ที่ถูกฉายไปบนตัวอย่างผลิตผลจะเกิดการดูดกลืน (absorption) พลังงานของคลื่นแสง NIR ที่ความยาวคลื่นต่าง ๆ จากนั้นสามารถนำค่าการดูดกลืนพลังงานของคลื่นแสงไปหาความสัมพันธ์กับข้อมูลเชิงปริมาณหรือข้อมูลเชิงคุณภาพต่อไปได้ด้วยเคโมเมทริกซ์ (chemometrics) (Boonyakiat, 2020; Osborne *et al.*, 1993) มีรายงานว่าเทคนิค NIRS ถูกนำไปประยุกต์ใช้ในการตรวจสอบคุณภาพของผลมะม่วงหลายด้าน เช่น การตรวจสอบอาการสะท้านหนาวในมะม่วง (Suwapanich and Theanjumpol, 2011) การตรวจสอบไข่และหนอนแมลงวันผลไม้ในมะม่วงส่งออก (Thanapase *et al.*, 2008) และการตรวจสอบความเสียหายทางกลของผลมะม่วง (Velez Rivera *et al.*, 2014) เป็นต้น นอกจากนี้ยังมีการใช้เทคโนโลยี NIRS ในการตรวจสอบการเกิดโรคและการเข้าทำลายของจุลินทรีย์ในผลิตผลบางชนิด เช่น การตรวจหาการปนเปื้อนของเชื้อ *Aspergillus flavus* ในเมล็ดข้าว (Klaithin, 2012) การจัดกลุ่มและคัดแยกผลอินทผลัมที่มีการเข้าทำลายของเชื้อรา (Teena *et al.*, 2014) เป็นต้น มากไปกว่านั้นยังมีรายงานการใช้เทคนิค NIRS ในการตรวจสอบอาการของโรคแอนแทรกโนสในผลมะม่วง โดยการปลูกเชื้อราด้วยวิธีการที่ทำให้เกิดบาดแผล Wongsheree *et al.* (2010) และ Chaiareekitwat (2012) ซึ่งพบว่า NIRS สามารถตรวจสอบเชื้อรา *C. gloeosporioides* ด้วยเทคนิค PLS-DA ได้ที่ระดับความแม่นยำ 89 และ 90.9 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ งานวิจัยของ Wongsheree *et al.* (2010) และ Chaiareekitwat (2012) ได้ชักนำให้เกิดโรคแอนแทรกโนสโดยการทำให้เกิดบาดแผลที่บริเวณผิวของผลมะม่วงร่วมกับการปลูกเชื้อรา ดังนั้น งานวิจัยนี้จึงสนใจศึกษาความเป็นไปได้ของการประยุกต์ใช้เทคโนโลยี NIRS ในการตรวจสอบโรคแอนแทรกโนสในผลมะม่วงพันธุ์น้ำดอกไม้สีทอง ซึ่งเป็นการตรวจสอบเชื้อรา *C. gloeosporioides* ที่ปลูกลงบนผิวของผลมะม่วงโดยตรงและไม่ทำให้เกิดบาดแผลที่ผิวผลเพื่อให้ใกล้เคียงกับวิธีการเข้าทำลายของเชื้อราในธรรมชาติ

อุปกรณ์และวิธีการ

การเตรียมตัวอย่าง

เก็บเกี่ยวมะม่วงพันธุ์น้ำดอกไม้สีทองระยะสุกแก่ทางการค้า (100 - 105 วันหลังดอกบาน) คัดเลือกผลขนาดสม่ำเสมอ น้ำหนัก 350 - 400 กรัม ไม่มีตำหนิจากการเข้าทำลายของโรคและแมลง จำนวน 102 ผล จากพื้นที่เพาะปลูกมะม่วงพันธุ์น้ำดอกไม้สีทองของเกษตรกร ตำบลวังทับไทร อำเภอสากเหล็ก จังหวัดพิจิตร ทำความสะอาดผลมะม่วงโดยการล้างด้วยน้ำกลั่น จากนั้นผึ่งให้ผลแห้งที่อุณหภูมิห้อง แล้วกำหนดตำแหน่งบริเวณกึ่งกลางผลเส้นผ่านศูนย์กลางขนาด 2 เซนติเมตร สำหรับวัดสเปกตรัม ซึ่งระบุตำแหน่งบนผิวผลมะม่วงทั้ง 2 ด้าน ด้านละ 1 ตำแหน่ง โดยด้านแรกสำหรับชุดควบคุม (ไม่ปลูกเชื้อรา) อีกด้านหนึ่งสำหรับปลูกเชื้อรา *C. gloeosporioides* ด้วยสปอร์แขวนลอย (spore suspension) ความเข้มข้น 10^6 สปอร์ต่อมิลลิลิตร ปริมาตร 20 ไมโครลิตร โดยหยดลงบนผิวของผลมะม่วงโดยตรงเพื่อกระตุ้นการเกิดโรคแอนแทรกโนส (ไม่ทำบาดแผลที่บริเวณของผิวผลมะม่วง) บรรจุผลมะม่วงในกล่องแบบปิดที่มีความชื้นสัมพัทธ์ 100 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งภายในกล่องบรรจุทิชชูและสำลีเปียกน้ำเพื่อรักษาระดับความชื้น แล้วเก็บรักษาผลมะม่วงในตู้ควบคุมอุณหภูมิ (28 องศาเซลเซียส) นาน 24 ชั่วโมง

การบันทึกสเปกตรัมและสร้างแบบจำลอง

วัดสเปกตรัมตัวอย่างมะม่วงด้านชุดควบคุม (ไม่ปลูกเชื้อรา) และด้านที่ได้รับการปลูกเชื้อรา *C. gloeosporioides* ด้วยเครื่อง FT - NIR spectrometer (รุ่น multi - purpose analyzer (MPA) บริษัท BRUKER OPTIK GmbH ประเทศเยอรมนี) ในช่วงความยาวคลื่นยาวระหว่าง 1100 - 2500 นาโนเมตร ด้วยหัววัดใยแก้วนำแสง (fiber optic probe) ในระบบการวัดแบบ interactance นำสเปกตรัมดั้งเดิม (original spectra)

ที่ได้มาปรับแต่ง (transform) โดยวิธีทางคณิตศาสตร์ ด้วยวิธี standard normal variate (SNV), multiplicative scatter correction (MSC) และอนุพันธ์อันดับหนึ่ง (first derivative) แบ่งตัวอย่างมะม่วงออกเป็น 2 กลุ่ม คือ 1) กลุ่มสร้างสมการเทียบมาตรฐาน (calibration set) จำนวน 51 ผล (102 สเปกตรัม) ประกอบด้วย สเปกตรัมมะม่วงชุดควบคุม (ไม่ปลูกเชื้อรา) จำนวน 51 สเปกตรัม และสเปกตรัมมะม่วงด้านที่ได้รับการปลูกเชื้อราจำนวน 51 สเปกตรัม และ 2) กลุ่มทดสอบสมการ (validation set หรือ prediction set) จำนวน 51 ผล (102 สเปกตรัม) ประกอบด้วยสเปกตรัมมะม่วงชุดควบคุม (ไม่ปลูกเชื้อรา) จำนวน 51 สเปกตรัม และสเปกตรัมมะม่วงด้านที่ได้รับการปลูกเชื้อราจำนวน 51 สเปกตรัม จากนั้นวิเคราะห์สเปกตรัมด้วยโปรแกรม The Unscrambler (version 9.7 บริษัท CAMO Software AS ประเทศนอร์เวย์) ด้วยวิธี principle component analysis (PCA) และ partial least square discriminant analysis (PLS-DA) ซึ่งวิธี PLS-DA กำหนดให้กลุ่ม “0” คือ มะม่วงด้านที่ไม่ปลูกเชื้อรา (ชุดควบคุม) และกลุ่ม “1” คือ มะม่วงด้านที่ได้รับการปลูกเชื้อรา *C. Gloeosporioides*

ผลการศึกษาและวิจารณ์

ลักษณะ NIR สเปกตรัม

ค่าการดูดกลืนพลังงานของคลื่นแสง NIR ในช่วงความยาวคลื่นยาวระหว่าง 1100 - 2500 นาโนเมตร ของมะม่วงพันธุ์น้ำดอกไม้สีทองจำนวน 204 สเปกตรัม แบ่งเป็นมะม่วงชุดควบคุม (ไม่ปลูกเชื้อรา) จำนวน 102 สเปกตรัม และมะม่วงด้านที่ได้รับการปลูกเชื้อรา จำนวน 102 สเปกตรัม โดย Figure 1A, 1B, 1C และ 1D คือ สเปกตรัมดั้งเดิม (original spectra) สเปกตรัมที่ปรับแต่งด้วยวิธี SNV, MSC และอนุพันธ์อันดับหนึ่ง ตามลำดับ ซึ่งการปรับแต่งสเปกตรัมด้วยวิธีต่าง ๆ ทำให้การกระจายตัวของสเปกตรัมแคบลง สเปกตรัมเรียบและอยู่ในตำแหน่งที่ใกล้เคียงกันมากกว่าสเปกตรัมดั้งเดิม อีกทั้งการปรับแต่งด้วยวิธี SNV และวิธี MSC สามารถลดความแปรปรวนและความคลาดเคลื่อนระหว่างตัวอย่างได้ เนื่องจากวิธีดังกล่าวช่วยลดการกระเจิงของแสง (light scattering) ที่อาจเกิดจากการวัดสเปกตรัมของตัวอย่างที่เป็นของแข็ง เช่น กรณีของมะม่วง เป็นต้น (Kittiwachana, 2020)

สเปกตรัมเฉลี่ยของสเปกตรัมดั้งเดิม (Figure 2A) สเปกตรัมที่ปรับแต่งด้วยวิธี SNV (Figure 2B) และวิธี MSC (Figure 2C) เกิด peak การดูดกลืนแสงชัดเจนที่ความยาวคลื่น 1450 และ 1950 นาโนเมตร ส่วนสเปกตรัมเฉลี่ยที่ปรับแต่งด้วยวิธีอนุพันธ์อันดับหนึ่ง ความยาวคลื่นที่ 1380 และ 1880 นาโนเมตร เป็น peak ที่ชัดเจนที่สุด (Figure 2D) โดยความยาวคลื่นที่ 1380, 1450, 1880 และ 1950 นาโนเมตร คือค่าการดูดกลืนพลังงานของคลื่นแสงที่สัมพันธ์กับพันธะ O - H ในโมเลกุลของน้ำ อีกทั้งยังพบว่า ที่ความยาวคลื่น 1450 และ 1950 นาโนเมตร เป็น peak ที่ชัดเจนที่สุดของน้ำ (Toth *et al.*, 1976; Williams and Norris, 2001) ซึ่งน้ำเป็นองค์ประกอบหลักของเนื้อมะม่วง (Tharanathan *et al.*, 2006)

การวิเคราะห์องค์ประกอบหลัก

การวิเคราะห์องค์ประกอบหลัก หรือ principle component analysis (PCA) เป็นเทคนิคการจำแนกข้อมูลโดยอาศัยหลักความเหมือนหรือความแตกต่างกันของข้อมูล สามารถลดจำนวนข้อมูล (ตัวแปรอิสระ) หรือรวมข้อมูลที่สัมพันธ์กันไว้ในองค์ประกอบเดียวกัน (Smith, 2002) จากการทดลอง พบว่า การใช้เพียง PC1 และ PC2 สามารถแสดงความแปรปรวนของข้อมูลสเปกตรัมดั้งเดิม สเปกตรัมที่ผ่านการปรับแต่งด้วยวิธี SNV, MSC และอนุพันธ์อันดับหนึ่งได้เท่ากับ 98, 88, 88 และ 64 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ (Figure 3A, 3B, 3C และ 3D ตามลำดับ) และผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าสเปกตรัมดั้งเดิมยังไม่สามารถจำแนกมะม่วงชุดควบคุม (ไม่ปลูกเชื้อรา) และมะม่วงที่ได้รับการปลูกเชื้อรา *C. gloeosporioides* ได้ เนื่องจากการวิเคราะห์องค์ประกอบหลักของสเปกตรัมดั้งเดิม (Figure 3A) เกิดการซ้อนทับกัน (overlap) ของข้อมูลสเปกตรัมมากที่สุด ทั้งนี้ อาจเป็นผลจากความคลาดเคลื่อนของหลายปัจจัย เช่น การกระเจิงของแสง ความไม่สม่ำเสมอของตัวอย่าง และปัจจัยสภาพแวดล้อม ได้แก่ ความชื้น อุณหภูมิ

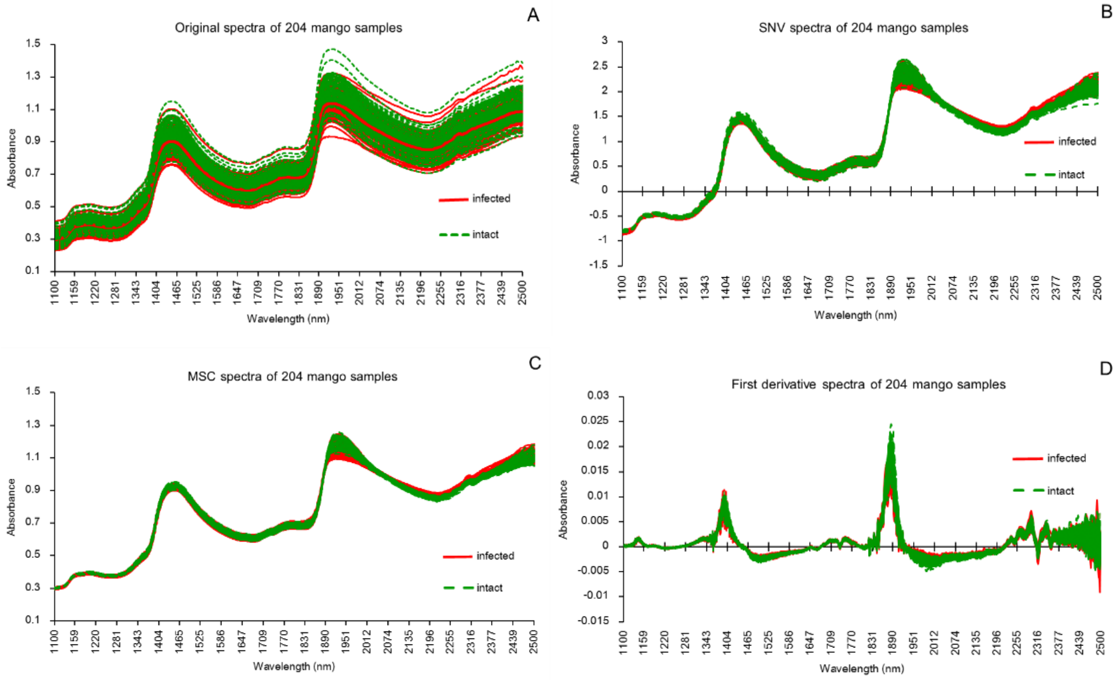


Figure 1. All NIR spectral data of (A) original spectra, (B) SNV spectra, (C) MSC spectra, and (D) first derivative spectra obtained from 102 *Colletotrichum gloeosporioides*-infected areas and 102 intact area

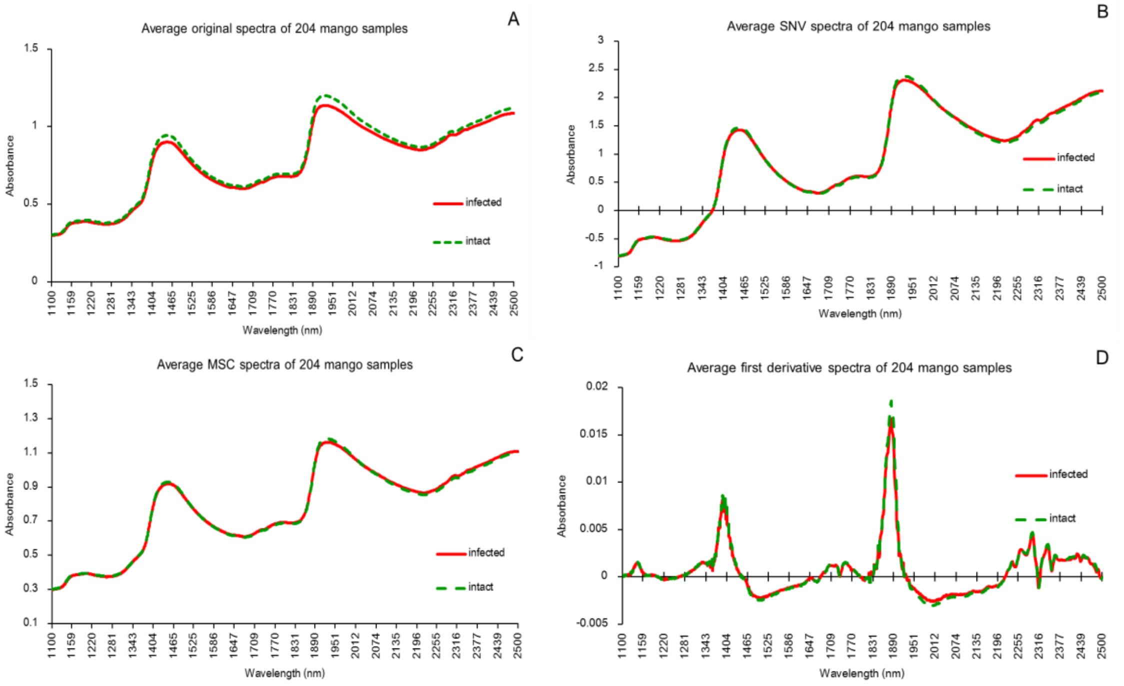


Figure 2. Average NIR spectral data of (A) original spectra, (B) SNV spectra, (C) MSC spectra, and (D) first derivative spectra obtained from 102 *Colletotrichum gloeosporioides*-infected areas and 102 intact areas

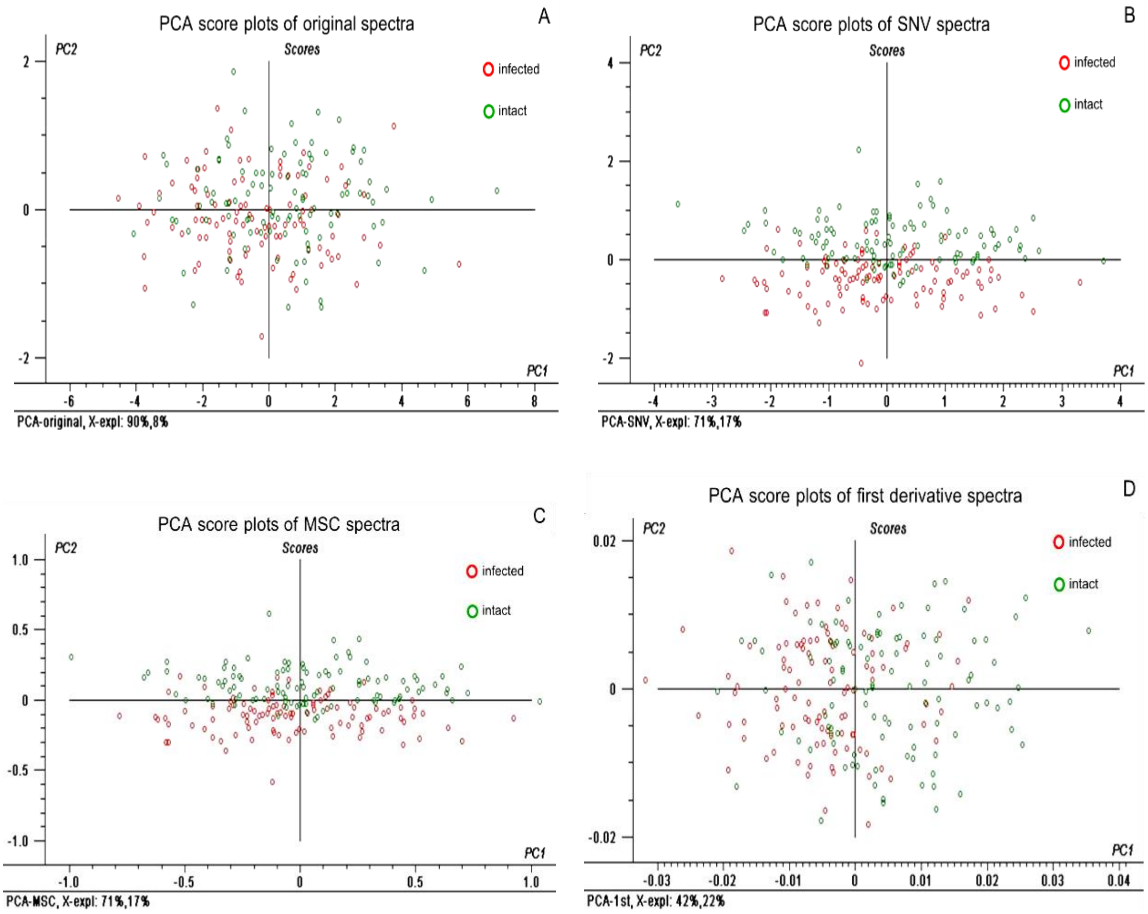


Figure 3. PCA score plots of (A) original spectra, (B) SNV spectra, (C) MSC spectra, and (D) first derivative spectra obtained from 102 *Colletotrichum gloeosporioides*-infected areas and 102 intact areas

และแสง ในขณะวัด (Thanapase *et al*., 2012) สำหรับสเปกตรัมที่ผ่านการปรับแต่งด้วยวิธีต่าง ๆ นั้น ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบหลัก พบว่า เกิดการซ้อนทับกันเพียงเล็กน้อย เนื่องจากการปรับแต่งสเปกตรัมสามารถลดความคลาดเคลื่อนจากปัจจัยต่าง ๆ ลงได้ อย่างไรก็ตามการวิเคราะห์องค์ประกอบหลักยังไม่สามารถแยกสเปกตรัมระหว่างมะม่วงชุดควบคุม (ไม่ปลูกเชื้อรา) และมะม่วงที่ได้รับการปลูกเชื้อรา *C. gloeosporioides* ออกจากกันได้ ดังนั้น จึงจำเป็นต้องวิเคราะห์จำแนกสเปกตรัมด้วยวิธีกำลังสองน้อยที่สุดบางส่วน หรือ partial least square discriminant analysis (PLS-DA)

การสร้างสมการเทียบมาตรฐาน

การสร้างสมการเทียบมาตรฐานด้วยวิธี partial least squares (PLS) regression เป็นวิธีการวิเคราะห์ข้อมูลในเชิงปริมาณ อีกทั้งขั้นตอนในการสร้างแบบจำลองด้วยวิธี partial least squares discriminant analysis (PLS-DA) ต้องผ่านกระบวนการสร้างสมการเทียบมาตรฐานด้วยวิธี PLS regression ก่อน เนื่องจากเทคนิค PLS-DA เป็นวิธีการที่ประยุกต์จากเทคนิค PLS regression (Kittiwachana, 2020) ทั้งนี้ การเลือกใช้โมเดลจากเทคนิค PLS regression ยังมีผลต่อความแม่นยำในการตรวจสอบคุณภาพของเทคนิค PLS-DA ด้วย

ผลการสร้างสมการเทียบมาตรฐานด้วยวิธี PLS regression พบว่า ค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (coefficient of determination, R^2) ของชุดสร้างสมการ (calibration set) อยู่ในช่วง 0.79 - 0.85 โดยสเปกตรัมที่ปรับแต่งด้วยวิธี SNV และวิธี MSC มีค่า R^2 สูงที่สุด คือ 0.8521 (Table 1) นอกจากนี้ยังมีค่า root mean square error of calibration (RMSEC) ต่ำที่สุด คือ 0.1923 เปอร์เซ็นต์ (Table 1) เมื่อนำสมการที่ได้ไปตรวจสอบกับข้อมูลชุดทดสอบสมการ (prediction set) พบว่า สเปกตรัมที่ปรับแต่งด้วยวิธี SNV มีค่า R^2 มากที่สุด และค่าความผิดพลาดมาตรฐานในการทำนายของตัวอย่างในชุดทดสอบสมการ (standard error of prediction, SEP) และค่า root mean square error of prediction (RMSEP) ต่ำที่สุด เท่ากับ 0.6693, 0.2874 และ 0.2889 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ (Table 1) โดยสมการที่ดีควรมีค่า R^2 เข้าใกล้หรือเท่ากับ 1 ร่วมกับการมีค่า SEC และ SEP ต่ำ อีกทั้ง SEC และ SEP ควรมีค่าแตกต่างกันน้อย รวมทั้งผลการทำนายควรให้ค่า RMSEP ต่ำ เนื่องจากค่า RMSEP ที่ต่ำสามารถบ่งชี้ว่าสมการเทียบมาตรฐานนั้นไม่เกิดปรากฏการณ์ over fitting และ under fitting (Shao and He, 2007)

การสร้างแบบจำลอง

ผลการสร้างแบบจำลองด้วยวิธี partial least squares discriminant analysis (PLS-DA) เพื่อตรวจสอบโรคแอนแทรกโนสในผลมะม่วงพันธุ์น้ำดอกไม้สีทอง พบว่า การสร้างแบบจำลองด้วยวิธี PLS-DA สามารถจำแนกมะม่วงที่ปลูกเชื้อรา *C. gloeosporioides* ออกจากมะม่วงที่ไม่ได้รับการปลูกเชื้อราได้ ซึ่งสเปกตรัมดั้งเดิมและสเปกตรัมที่ปรับแต่งด้วยวิธี standard normal variate (SNV) มีค่าความแม่นยำในการตรวจสอบมากที่สุด โดยชุดสร้างสมการ (calibration set) มีค่าความแม่นยำในการตรวจสอบเท่ากับ 98.04 เปอร์เซ็นต์ (Table 2) กล่าวคือ มะม่วงกลุ่มที่ได้รับการปลูกเชื้อราก่อโรคแอนแทรกโนส มีค่า response ใกล้เคียงกับค่าที่กำหนด (ค่าที่กำหนด คือ 1) 49 ผล จากทั้งหมด 51 ผล และมะม่วงที่ไม่ได้รับการปลูกเชื้อรา *C. gloeosporioides* มีค่า response ใกล้เคียงกับค่าที่กำหนดทุกผล (ค่าที่กำหนด คือ 0) (Table 2) กรณีของชุดทดสอบสมการ (prediction set) สเปกตรัมดั้งเดิมของมะม่วงที่ได้รับการปลูกเชื้อราและไม่ได้รับการปลูกเชื้อรามีค่า response ใกล้เคียงกับค่าที่กำหนด 48 และ 49 ผล ตามลำดับ แต่สเปกตรัมที่ปรับแต่งด้วยวิธี SNV ที่ค่า

Table 1. Calibration and prediction statistics of PLS regression for anthracnose evaluation in mango

Preprocessing method	Calibration set (n = 102)			Prediction set (n = 102)		
	R^2	SEC	RMSEC	R^2	SEP	RMSEP
None (original data)	0.8132	0.2172	0.2191	0.6274	0.3044	0.3067
SNV	0.8521	0.1933	0.1923	0.6693	0.2874	0.2889
MSC	0.8521	0.1932	0.1923	0.6414	0.2981	0.3009
First derivative	0.7928	0.2283	0.2276	0.5155	0.3484	0.3498

Remarks: SNV: standard normal variate; MSC: multiplicative scatter correction; n: number of samples; R^2: coefficient of determination; SEC: standard error of calibration; SEP: standard error of prediction; RMSEC: root mean square error of calibration; RMSEP: root mean square error of prediction

response ใกล้เคียงค่าที่กำหนด 47 ผล และ 50 ผล ตามลำดับ (ค่าที่กำหนด คือ 0 และ 1 ตามลำดับ) (Table 2) โดยสเปกตรัมดั้งเดิมและสเปกตรัมที่ปรับแต่งด้วยวิธี SNV สามารถแยกมะม่วงที่ได้รับการปลูกเชื้อราก่อโรคแอนแทรกโนสและมะม่วงชุดควบคุม (ไม่ปลูกเชื้อรา) ได้ที่ระดับความแม่นยำเท่ากับ 95.1 เปอร์เซ็นต์ (Table 2) โดยหลักการในการจำแนกกลุ่มของมะม่วงด้วยวิธีทางเคโมเมทริกซ์ เป็นวิธี PLS-DA เช่นเดียวกันกับการทดลองของ Wongsheree *et al.* (2010) และ Chaiareekitwat (2012) อย่างไรก็ตามจากการทดลองในครั้งนี้สามารถตรวจสอบเชื้อรา *C. gloeosporioides* ด้วยเทคนิค PLS-DA ได้ที่ระดับความแม่นยำ 95.1 เปอร์เซ็นต์ ขณะที่การทดลองของ Wongsheree *et al.* (2010) และ Chaiareekitwat (2012) สามารถตรวจสอบเชื้อรา *C. gloeosporioides* ด้วยเทคนิค PLS-DA ที่ความแม่นยำ 89 และ 90.9 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ทั้งนี้ค่า residual predictive deviation (RPD) ของสเปกตรัมที่ปรับแต่งด้วยวิธี SNV มีค่ามากกว่าสเปกตรัมดั้งเดิมเล็กน้อย คือ 1.7484 และ 1.6506 ตามลำดับ (Table 2) ซึ่งการที่จะนำแบบจำลองไปประยุกต์ใช้ในการทำนายผลิตผลได้นั้น ค่า RPD ควรมีค่ามากกว่า 3 (Gaitán-Jurado *et al.*, 2008) ดังนั้น ถ้าหากต้องการเพิ่มประสิทธิภาพในการทำนายให้สูงขึ้น จำเป็นต้องเพิ่มจำนวนตัวอย่างให้มากขึ้น เพื่อให้แบบจำลองทำนายค่าได้แม่นยำ (robust) และมีค่า SEP ลดลง (Seehanam *et al.*, 2016)

Table 2. Discrimination results of anthracnose infected and intact mango by partial least squares discriminant analysis (PLS-DA)

Preprocess method	Confusion matrix	Calibration set (n=102)		Prediction set (n=102)	
		Infected (predicted)	Intact (predicted)	Infected (predicted)	Intact (predicted)
None (original data)	Infected (actual)	49	2	48	3
	Intact (actual)	0	51	2	49
	accuracy (%)	98.04		95.10	
	RPD	-		1.6506	
SNV	Infected (actual)	49	2	47	4
	Intact (actual)	0	51	1	50
	accuracy (%)	98.04		95.10	
	RPD	-		1.7484	
MSC	Infected (actual)	48	3	46	5
	Intact (actual)	0	51	1	50
	accuracy (%)	97.06		94.12	
	RPD	-		1.6850	
First derivative	Infected (actual)	50	1	47	4
	Intact (actual)	2	49	6	45
	accuracy (%)	97.06		90.20	
	RPD	-		1.4421	

Remarks: SNV: standard normal variate; MSC: multiplicative scatter correction; n: number of samples; RPD: residual predictive deviation

สัมประสิทธิ์การถดถอย

เมื่อพิจารณาค่าสัมประสิทธิ์การถดถอยของสมการเทียบมาตรฐาน (regression coefficients) ของสเปกตรัมที่ปรับแต่งด้วยวิธี SNV พบว่า ความยาวคลื่นที่สำคัญใน PLS regression สำหรับการจำแนกประเภท คือ 1152, 1725, 1880 และ 1900 - 2100 นาโนเมตร (Figure 4) โดยความยาวคลื่นที่ 1152 นาโนเมตร คือ second overtone ของ C-H (CH_3) และความยาวคลื่นที่ 1725 นาโนเมตร คือ first overtone ของ C-H (CH_2) ในโมเลกุลของคาร์โบไฮเดรต (Osborne *et al*., 1993) โดยความยาวคลื่นทั้ง 2 ตำแหน่ง อาจเกี่ยวข้องกับโครงสร้างของไคตินซึ่งเป็นส่วนประกอบสำคัญของผนังเซลล์ของเชื้อรา (Rinaudo, 2006) สำหรับความยาวคลื่นที่ 1880 นาโนเมตร คือ combination และ first overtone ของ O-H ในโมเลกุลของน้ำ (Fernández-Espinosa, 2016) ซึ่งเชื้อราเข้าทำลายเฉพาะบริเวณผิวของผลมะม่วงเท่านั้น (Jenny *et al*., 2019) ทำให้เกิดการสูญเสียน้ำของเซลล์รอบบริเวณที่ปลูกเชื้อรา สำหรับช่วงความคลื่นระหว่าง 1900 - 2100 นาโนเมตร พบว่า สัมพันธ์กับการสั่นสะเทือนของพันธะ N - H ซึ่งอาจเกี่ยวข้องกับโครงสร้างของสารประกอบเมลานิน ซึ่งเมลานินถูกสร้างขึ้นโดยเชื้อราก่อโรคแอนแทรกโนส ในระหว่างการก่อตัวของ appressoria ของเชื้อราสกุล *Colletotrichum* (Kubo *et al*., 1985)

สรุป

ผลการศึกษาการตรวจสอบโรคแอนแทรกโนสในมะม่วงพันธุ์น้ำดอกไม้สีทองด้วยเนียร์อินฟราเรดสเปกโทรสโกปี พบว่า เนียร์อินฟราเรดสเปกโทรสโกปีร่วมกับการสร้างแบบจำลองด้วยวิธี partial least squares discriminant analysis (PLS-DA) สามารถจำแนกมะม่วงที่ไม่ปลูกเชื้อราและมะม่วงที่ได้รับการปลูกเชื้อรา *C. Gloeosporioides* ได้ที่ความแม่นยำ 95.1 เปอร์เซ็นต์ และความยาวคลื่นที่สำคัญซึ่งสามารถบ่งบอกอาการของโรคแอนแทรกโนส คือ 1152, 1725 และ 1880 นาโนเมตร ดังนั้น จึงมีความเป็นไปได้ในการประยุกต์ใช้เนียร์-อินฟราเรดสเปกโทรสโกปีตรวจสอบโรคแอนแทรกโนสในผลมะม่วงพันธุ์น้ำดอกไม้สีทอง เพื่อลดการสูญเสียระหว่างการส่งออกมะม่วงต่อไป

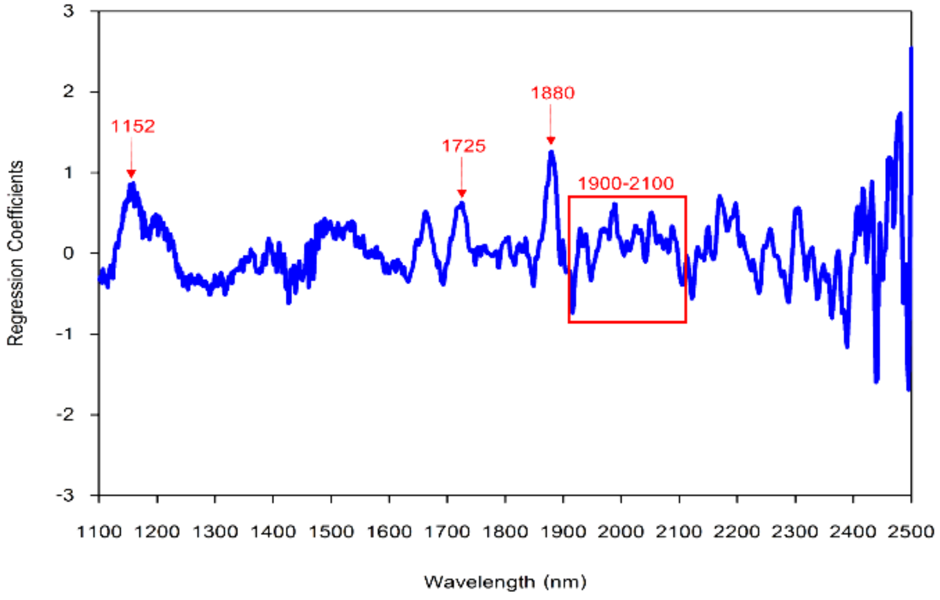


Figure 4. Regression coefficient plots of partial least squares (PLS) regression using NIR spectra preprocessed by SNV for developing discriminant model

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณศูนย์นวัตกรรมเทคโนโลยีหลังการเก็บเกี่ยว กระทรวงการอุดมศึกษา วิทยาศาสตร์ วิจัย และนวัตกรรม ที่สนับสนุนทุนวิจัย ขอขอบคุณศูนย์วิจัยเทคโนโลยีหลังการเก็บเกี่ยว และสาขาวิชาพืชสวน ภาควิชาพืชศาสตร์และปฐพีศาสตร์ คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ ที่สนับสนุนวัสดุอุปกรณ์ เครื่องมือวิทยาศาสตร์ และสถานที่ในการทำวิจัย และขอขอบคุณบัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ ที่สนับสนุนทุนผู้ช่วยสอนและผู้ช่วยวิจัย

เอกสารอ้างอิง

Boonyakiat, D. 2020. Evaluation of product quality by non-destructive with NIR spectroscopy. pp. 1-12. *In*: D. Boonyakiat and P. Theanjumpol (eds.). Using NIR Spectroscopy to Evaluate the Quality of Agricultural Produce. Postharvest Technology Innovation Center, Bangkok. (in Thai)

Chaiareekitwat, S. 2012. Application of NIR spectroscopy and hyperspectral imaging for classification of anthracnose on mango. M.S. Thesis. Silpakorn University, Nakhon Pathom. 105 p. (in Thai)

Fernández-Espinosa, A.J. 2016. Combining PLS regression with portable NIR spectroscopy to on-line monitor quality parameters in intact olives for determining optimal harvesting time. Talanta 148: 216-228.

Gaitán-Jurado, A.J., V. Ortiz-Somovilla, F. España-España, J. Pérez-Aparicio and E.J. de Pedro-Sanz. 2008. Quantitative analysis of pork dry-cured sausages to quality control by NIR spectroscopy. Meat Science 78(4): 391-399.

Jenny, F., N. Sultana, M.M. Islam, M.M. Khandaker and M.A.B. Bhuiyan. 2019. A review on anthracnose of mango caused *Colletrotrichum gloeosporioides*. Bangladesh Journal of Plant Pathology 35(1&2): 65-74.

Jongsri, P., P. Rojsitthisak, T. Wangsomboondee and K. Seraypheap. 2017. Influence of chitosan coating combined with spermidine on anthracnose disease and qualities of 'Nam Dok Mai' mango after harvest. Scientia Horticulturae 224: 180-187.

Kittiwachana, S. 2020. Chemometrics for NIR spectroscopy. pp. 48-100. *In*: D. Boonyakiat and P. Theanjumpol (eds.). Using NIR Spectroscopy to Evaluate the Quality of Agricultural Produce. Postharvest Technology Innovation Center, Bangkok. (in Thai)

Klaithin, R. 2012. Detection of *Aspergillus flavus* contamination in milled rice cv. Khao Dawk Mali 105 using near infrared spectroscopy. M.S. Thesis. Chiang Mai University, Chiang Mai. 95 p. (in Thai)

Kubo, Y., K. Suzuki, I. Furusawa and M. Yamamoto. 1985. Melanin biosynthesis as a prerequisite for penetration by appressoria of *Colletotrichum lagenarium*: site of inhibition by melanin-inhibiting fungicides and their action on appressoria. Pesticide Biochemistry and Physiology 23(1): 47-55.

Ministry of Commerce. 2020. Export market for important products of fresh mango. (Online) Available: http://www.ops3.moc.go.th (November 10, 2021) (in Thai)

Nelson, S.C. 2008. Mango anthracnose (*Colletrotrichum gloeosporioides*). Plant Disease, PD-48. College of Tropical

Agriculture and Human Resources (CTAHR), University of Hawaii, Honolulu. 9 p.

Osborne, B.G., T. Fearn and P.H. Hindle. 1993. Practice NIR Spectrometer with Applications in Food and Beverage Analysis. 2nd ed. Longman Scientific and Technical, Harlow. 217 p.

Rinaudo, M. 2006. Chitin and chitosan: properties and applications. Progress in Polymer Science 31(7): 603-632.

Seehanam, P., P. Maniwara, K. Nakano and D. Boonyakiat. 2016. Evaluation of total soluble solids in passion fruit by near infrared spectroscopy. Songklanakarin Journal of Plant Science 3(Suppl. I): 94-101. (in Thai)

Shao, Y. and Y. He. 2007. Nondestructive measurement of the internal quality of bayberry juice using Vis/NIR spectroscopy. Journal of Food Engineering 79(3): 1015-1019.

Smith, L.I. 2002. A tutorial on principal components analysis. Technical report. Department of Computer Science, University of Otago, Otago, Dunedin. 26 p.

Suwapanich, R. and P. Theanjumpol. 2011. Detection of chilling injury in mango fruits by near infrared spectroscopy. Agricultural Science Journal 42(1)(Suppl.): 59-62. (in Thai)

Teena, M.A., A. Manickavasagan, L. Ravikanth and D.S. Jayas. 2014. Near infrared (NIR) hyperspectral imaging to classify fungal infected date fruits. Journal of Stored Products Research 59: 306-313.

Thanapase, W., S. Kasemsumran, S. Saranwong and S. Kasano. 2008. Nondestructive detection of fruit fly egg and larvae in exported mangoes by near infrared spectroscopy. Agricultural Science Journal 39(3)(Suppl.): 54-57. (in Thai)

Thanapase, W., S. Kasemsumran, S. Pathaveerat, A. Terdwongworakul, P. Ritthiruangdej, T. Suwonsichon and R. Rittiron. 2012. Near-Infrared Technology and Applications in Industries. Kasetsart Agricultural and Agro-Industrial Product Improvement Institute, Bangkok. 270 p. (in Thai)

Tharanathan, R.N., H.M. Yashoda and T.N. Prabha. 2006. Mango (*Mangifera indica* L.), “The King of Fruits” - an overview. Food Reviews International 22(2): 95-123.

Toth, L.M., J.T. Bell, D.W. Fuller, S.R. Buxton, H.A. Friedman and M.R. Billings. 1976. Chemistry off the KALC process. The CO_2-I_2-CH_3I-H_2O System. Oak Ridge National Laboratory, Oak Ridge, Tennessee. 27 p.

Velez Rivera, N., J. Gomez-Sanchis, J. Chanona-Perez, J. Jose Carrasco, M. Millan-Giraldo, D. Lorente, S. Cubero and J. Blasco. 2014. Early detection of mechanical damage in mango using NIR hyperspectral images and machine learning. Biosystems Engineering 122: 91-98.

Williams, P. and K. Norris. 2001. Near-Infrared Technology in the Agriculture and Food Industries. 2nd ed. American Association of Cereal Chemists, Inc., St. Paul, Minnesota. 296 p.

Wongsheree, T., R. Rittiron, P. Jitareerat, C. Wongs-Aree and T. Phiasai. 2010. Near infrared spectroscopic analysis for latent infection of *Colletrotrichum gloeosporioides*, a

causal agent of anthracnose disease in mature-green mango fruit. pp. 341-343. *In*: Proceedings of GMSTEC 2010: International Conference for a Sustainable Greater Mekong Subregion. Bangkok. (in Thai)

ปริมาณสารต้านอนุมูลอิสระและสารป้องกันแรงดันออสโมติก ในใบถั่วเขียวภายใต้สภาพอุณหภูมิสูง

Antioxidant and Osmoprotectant Contents in Mungbean Leaves Under High Temperature Condition

วาสนา สงกลาง ประกิจ สมท่า และ จำเนียร ชมภู*

Wassana Songklang, Prakit Somta and Jamnian Chompoo*

ภาควิชาพืชไร่นา คณะเกษตร กำแพงแสน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน จ. นครปฐม 73140

Department of Agronomy, Faculty of Agriculture at Kamphaeng Saen, Kasetsart University,

Kamphaeng Saen Campus, Nakhon Pathom 73140, Thailand

**Corresponding author: Email: agrjnc@ku.ac.th*

(Received: 1 December 2021; Accepted: 1 April 2022)

Abstract: Heat stress is a major abiotic stress causing yield of seed crops. The objectives of this study were to evaluate heat stress tolerance and investigate biochemical changes of antioxidants (total phenolics, total flavonoids) and osmoprotectants (proline and glycine betaine) in 13 mungbean accessions grown under heat stress in a greenhouse. The results revealed that yield reduction in accessions JP231223, JP31324, and JP78930 was less affected by heat stress, as compared to other accessions. Under heat stress, JP231223, JP31324, and JP78930 showed an increase in total phenolics and glycine betaine. JP31324 and JP78930 also expressed a high level of total flavonoids and proline. Moreover, JP231223, JP31324 and JP78930 inhibited lipid peroxidation, resulting in a decrease in the accumulation of malondialdehyde, a biomarker of oxidative stress. Altogether, these results suggested that the increase in antioxidants and osmoprotectants are associated with heat tolerance in the mungbean accessions JP231223, JP31324 and JP78930.

Keywords: Heat tolerance, flavonoid, phenolics, glycine betaine, proline

Copyright @ Journal of Agriculture, Faculty of Agriculture, Chiang Mai University. All rights reserved.

บทคัดย่อ: ความเครียดจากความร้อนเป็นความเครียดทางกายภาพที่สำคัญ ส่งผลกระทบทำให้ผลผลิตเมล็ดของพืชปลูกลดลง งานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อประเมินความทนทานต่ออุณหภูมิสูงของถั่วเขียว จำนวน 13 สายพันธุ์ และตรวจสอบการเปลี่ยนแปลงทางชีวเคมีในถั่วเขียวที่อยู่ภายใต้สภาพอุณหภูมิสูงในโรงเรือนร้อน ประกอบด้วยสารต้านอนุมูลอิสระ (ฟีนอลิกรวม และ ฟลาโวนอยด์รวม) และสารป้องกันแรงดันออสโมติก (ไกลซีนเบตาอีน และโพรลีน) ผลการทดลองพบว่า ถั่วเขียวสายพันธุ์ JP231223, JP31324 และ JP78930 มีผลผลิตลดลงเล็กน้อยเมื่ออยู่ในสภาพเครียดจากอุณหภูมิสูง โดยถั่วเขียวที่ทนทานต่ออุณหภูมิสูงทั้ง 3 สายพันธุ์นี้มีการสังเคราะห์สารฟีนอลิกรวมและไกลซีนเบตาอีน เพิ่มขึ้น ในขณะที่สายพันธุ์ JP31324 และ JP78930 มีปริมาณของสารฟลาโวนอยด์รวมและโพรลีนเพิ่มขึ้นอีกด้วย นอกจากนี้ยังพบว่า ถั่วเขียวสายพันธุ์ JP231223, JP31324 และ JP78930 มีการยับยั้งปฏิกิริยา lipid peroxidation โดยมีการสะสมของสาร malondialdehyde ซึ่งเป็นผลิตภัณฑ์จากปฏิกิริยา lipid peroxidation ลดลง ซึ่งการเพิ่มขึ้นของสารต้านอนุมูลอิสระและสารป้องกันแรงดันออสโมติกนี้อาจมีความสัมพันธ์กับความทนทานต่ออุณหภูมิสูงของถั่วเขียวสายพันธุ์ JP231223, JP31324 และ JP78930

คำสำคัญ: ทนร้อน ฟลาโวนอยด์ ฟีนอลิก ไกลซีนเบตาอีน โพรลีน

คำนำ

อุณหภูมิอากาศที่สูงขึ้นอย่างต่อเนื่องนับว่าเป็นสภาวะเครียดที่เป็นอันตรายที่สุด โดยมีรายงานว่าอุณหภูมิของอากาศทั่วโลกคาดว่าจะเพิ่มขึ้น 0.2 องศาเซลเซียสต่อทศวรรษ ส่งผลให้ในปี พ.ศ. 2643 (ค.ศ. 2100) อุณหภูมิโลกสูงขึ้นจากปัจจุบัน 1.8 - 4.0 องศาเซลเซียส (Intergovernmental Panel on Climate Change, 2007) ความเครียดจากความร้อนหรืออุณหภูมิสูง (heat stress) เป็นปัญหาสำคัญของภาคเกษตรทั่วโลก เนื่องจากส่งผลกระทบในการจำกัดการเจริญเติบโตและพัฒนาการของพืช (Wahid *et al*., 2007) สามารถทำลายโครงสร้าง และกระบวนการเมแทบอลิซึมของพืช (Vierling, 1991) การปรับปรุงพันธุ์พืชให้สามารถทนทานต่อสภาวะอุณหภูมิสูงจึงเป็นเป้าหมายที่สำคัญของนักวิจัยเพื่อเกษตรกร จากการศึกษากลไกการหลีกเลี่ยงหรือปรับตัวของพืชจากอุณหภูมิสูง พบว่า พืชมีการขนส่งอิเล็กตรอน มีการสร้างโปรตีน มีการสร้างสารป้องกันแรงดันออสโมติก มีการสร้างสารต้านอนุมูลอิสระ และปัจจัยอื่น ๆ ที่เกี่ยวข้องกับการส่งสัญญาณเพื่อให้พืชเปลี่ยนแปลงกระบวนการทางสรีรวิทยาและชีวเคมีภายในพืช (Hasanuzzaman *et al*., 2013) อนุมูลอิสระ (reactive oxygen species; ROS) เป็นกลไกหนึ่งที่เกิดขึ้นเมื่อพืชอยู่ในสภาวะเครียดจากความร้อน เป็นต้นเหตุในการทำลายเยื่อหุ้มเซลล์ (cell membrane) และกระบวนการเมแทบอลิซึมของพืช (Suzuki and Mittler, 2006) พืชที่ทนทานต่อความร้อนสามารถป้องกันผลกระทบที่ก่อให้เกิดความเสียหายจาก ROS ได้ด้วยการสังเคราะห์เอนไซม์ในการต้านอนุมูลอิสระ (enzymatic antioxidants) สารต้านอนุมูลอิสระ (non-enzymatic antioxidants) และกระบวนการ detoxification (Apel and Hirt, 2004) นอกจากนี้ยังพบว่า พืชมีการสะสมสารป้องกันแรงดันออสโมติก (osmoprotectants) และสร้างโปรตีนตอบสนองต่ออุณหภูมิสูง (heat shock protein) (Bita and Gerats, 2013)

ถั่วเขียว (*Vigna radiata* (L.) Wilczek เป็นพืชที่มีความสำคัญของประเทศไทย ผลผลิตส่วนใหญ่ใช้สำหรับการบริโภคโดยตรงและแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์ได้หลากหลายชนิด เช่น ถั่วงอก วุ้นเส้น แป้งถั่วเขียว ถั่วซีก และขนมชนิดต่าง ๆ (Heuzé *et al*., 2015) นอกจากนี้เมล็ดถั่วเขียวผิวมันนั้นมีคุณค่าทางโภชนาการสูง โดยเฉพาะอย่างยิ่งแป้งและโปรตีนประมาณ 58 เปอร์เซ็นต์ และ 24 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ (Kumar and Pandey, 2020) ซึ่งช่วงอุณหภูมิที่เหมาะสมสำหรับการเจริญเติบโตของถั่วเขียว อยู่ระหว่าง 27 - 32 องศาเซลเซียส เมล็ดสามารถงอกได้ที่อุณหภูมิต่ำสุด 15 องศาเซลเซียส ถั่วเขียวเป็นพืชที่ไวแสง ถ้าช่วงวันสั้น

จะออกดอกเร็วในขณะที่ช่วงวันยาวจะออกดอกช้า อย่างไรก็ตามถั่วเขียวต่างพันธุ์กันมีการตอบสนองต่อช่วงแสงที่ต่างกัน โดยที่อุณหภูมิสูงมากกว่า 37 องศาเซลเซียส มีผลกระทบต่อการพัฒนาการระบบสืบพันธุ์ของถั่วเขียวและถั่วพุ่ม ผลผลิตลดลงอย่างกะทันหันสาเหตุจากละอองเกสรเพศผู้ (pollen) ของพืชเป็นหมัน (Khattak *et* al., 2006; Zinn *et al*., 2010) นอกจากนี้ ความเครียดจากอุณหภูมิสูงสามารถทำลายองค์ประกอบของเมล็ดพืช เช่น น้ำตาล แป้ง โปรตีน และกรดไขมัน ในพืชตระกูลถั่วที่เป็นอาหารส่วนใหญ่ เมื่ออุณหภูมิของดินและอากาศเพิ่มขึ้น ส่งผลเสียต่อปริมาณโปรตีนในเมล็ดและคุณภาพเมล็ด โดยพบว่า ปริมาณน้ำมันในเมล็ดเพิ่มขึ้นใน 20 และ 37 เปอร์เซ็นต์ ในเมล็ดของถั่วลิสงและถั่วเหลือง ตามลำดับ (Bhandari *et al*., 2016) และยังพบว่า ปริมาณของกรดไขมันโอเลอิกเพิ่มขึ้นส่วนกรดไลโนเลอิกลดลงในเมล็ดของพืชตะกูลถั่ว (Farooq *et al*., 2018) ในทางกลับกันพบว่า ปริมาณโปรตีนในมล็ดถั่วลดลงเมื่อได้รับความเครียดจากอุณหภูมิสูง (Sarkar *et al*., 2021) นอกจากนี้ยังมีรายงานว่า ปริมาณ N, P และน้ำตาลที่ละลายน้ำได้ (soluble sugar) ในเมล็ดถั่วลดลง เมื่อได้รับอุณหภูมิสูง 40/31 องศาเซลเซียส (เวลากลางวัน/กลางคืน) (Sehgal *et al*., 2018) ดังนั้น การทดลองนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อคัดเลือกสายพันธุ์ถั่วเขียวทนทานต่อสภาวะอุณหภูมิสูง ด้วยการประเมินองค์ประกอบผลผลิตและผลผลิต และศึกษากลไกทางชีวเคมีในใบของถั่วเขียวแต่ละสายพันธุ์ที่อยู่ภายใต้สภาวะอุณหภูมิสูง ได้แก่ ปริมาณสารต้านอนุมูลอิสระ ปฏิกิริยาต้านอนุมูลอิสระ และการเกิดปฏิกิริยา lipid peroxidation ซึ่งผลการทดลองที่ได้สามารถนำไปใช้ประโยชน์ สำหรับการพัฒนาพันธุ์พืชถั่วเขียวให้ต้านทานต่อสภาพแวดล้อมที่ไม่เหมาะสมได้

อุปกรณ์และวิธีการ

วางแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ภายในบล็อก (randomized completely block design, RCBD) จำนวน 3 ซ้ำ โดยปลูกถั่วเขียว จำนวน 13 สายพันธุ์ ได้แก่ JP212360 (ประเทศไนจีเรีย), JP226698 (ประเทศลาว), JP229233 (ประเทศอินโดนีเซีย), JP231216 (ประเทศไทย), JP231223 (ประเทศอินเดีย), JP240344 (ประเทศอินเดีย), JP240383 (ประเทศปากีสถาน), JP240384 (ประเทศปากีสถาน), JP31324 (ประเทศอัฟกานิสถาน), JP73287 (ประเทศตุรกี), JP78930 (ประเทศทาจิกิสถาน), JP85557 (ประเทศเนปาล), JP99049 (ประเทศไต้หวัน) และพันธุ์การค้า 2 พันธุ์ ได้แก่ ชัยนาท 84 (ประเทศไทย) และกำแพงแสน 2 (KPS2; ประเทศไทย) ลงในกระถางพลาสติกสีดำ ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 10 นิ้ว สูง 7.5 นิ้ว ในวันที่ 29 มีนาคม พ.ศ. 2564 เมื่อถั่วอายุ 10 วัน หรือมีใบจริงประมาณ 4 - 5 ใบ นำถั่วเขียวสายพันธุ์/พันธุ์เดียวกันแบ่งไปวางไว้ในโรงเรือนร้อน และภายนอกโรงเรือนร้อน (ชุดควบคุม) (Figure 1) ตลอดการทดลอง ใส่ปุ๋ยครั้งที่ 1 เมื่อถั่วอายุ 15-20 วัน โดยใส่ปุ๋ยเกรด 46-0-0 ปริมาณ 5 กรัม ต่อกระถาง หลังจากนั้นเมื่อถั่วอายุ 30 วัน ใส่ปุ๋ยครั้งที่ 2 โดยใส่ปุ๋ยเกรด 8 - 24 - 24 ปริมาณ 5 กรัมต่อกระถาง รดน้ำตามสภาพดินในกระถาง นอกจากนี้ยังมีการดูแลรักษาด้วยการพ่นสารกำจัดแมลงและโรคศัตรูถั่วตามการแพร่ระบาด

Figure 1. Experimental pots designed inside (A) and outside (B) a greenhouse

บันทึกข้อมูลอุณหภูมิภายในและภายนอกโรงเรือนร้อนด้วย data logger (WatchDog 1250 Micro Station รุ่น 3682WD1) ซึ่งอุณหภูมิในระยะที่ถั่วเขียวออกดอก หรืออายุ 35 - 60 วันหลังปลูก นอกโรงเรือน-ร้อน (ชุดควบคุม) มีอุณหภูมิสูง อยู่ในช่วง 34.1 - 39.0 องศาเซลเซียส อุณหภูมิต่ำ อยู่ในช่วง 23.5 - 27.4 องศาเซลเซียส ส่วนอุณหภูมิในโรงเรือนร้อนสูงสุดอยู่ในช่วง 41.4 - 48.8 องศาเซลเซียส อุณหภูมิต่ำอยู่ในช่วง 24.1 - 27.1 องศาเซลเซียส (Figure 2)

ผลของสภาวะอุณหภูมิสูงต่อองค์ประกอบผลผลิตและผลผลิตของถั่วเขียว

เก็บข้อมูลองค์ประกอบของผลผลิตถั่วเขียว ได้แก่ จำนวนเมล็ดต่อฝัก จำนวนฝักต่อต้น และน้ำหนักเมล็ดต่อต้น โดยเก็บข้อมูลจากฝักถั่วเขียวที่มีการติดฝักฝักที่ 1 ถึงฝักที่ 10 และเก็บข้อมูลผลผลิตเมล็ดต่อต้น (มีหน่วยเป็นกรัมต่อต้น)

วิเคราะห์ปริมาณสารต้านอนุมูลอิสระ

การเก็บตัวอย่าง: เก็บตัวอย่างใบของถั่วเขียวแต่ละสายพันธุ์ในระยะออกดอก 50 เปอร์เซ็นต์ โดยเก็บจากบริเวณ 4 ตำแหน่งทุกทิศจากทรงพุ่มของต้น แล้วตัดให้เป็นชิ้นเล็ก ๆ นำตัวอย่างสดของใบ 1 กรัม แช่ในตัวทำละลายเมทานอล ความเข้มข้น 80 เปอร์เซ็นต์ เขย่าตลอดเวลาด้วยความเร็ว 1,000 รอบต่อนาที เป็นเวลา 24 ชั่วโมง หลังจากนั้นกรองสารละลายด้วยกระดาษกรอง Whatman เบอร์ 1 ได้เป็นสารสกัดด้วยเมทานอลจากใบของถั่วเขียว เพื่อนำไปวิเคราะห์ปริมาณสารต้านอนุมูลอิสระ

วิเคราะห์ปริมาณของสารฟลาโวนอยด์รวม (total flavonoids): นำสารสกัดด้วยเมทานอลจากใบของถั่วเขียวแต่ละพันธุ์ ปริมาตร 100 ไมโครลิตร ใส่ลงในสารละลาย aluminium chloride (ความเข้มข้น 7.5 เปอร์เซ็นต์) ปริมาตร 100 ไมโครลิตร บ่มไว้ที่อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 15 นาที นำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงด้วยเครื่อง spectrophotometer ที่ความยาวคลื่น 510 นาโนเมตร (Djeridane *et al*., 2006) เปรียบเทียบปริมาณ flavonoids กับกราฟมาตรฐานของ สมมูลรูทิน (rutin equivalent, RUE) เมื่อ Y = 0.0081X + 0.2525 และ R^2 = 0.989 มีหน่วยเป็นมิลลิกรัมสมมูลของรูทินต่อตัวอย่างแห้ง 1 กรัม (mg RUE/ g sample)

วิเคราะห์ปริมาณของสารฟีนอลิกรวม (total phenolics): นำสารสกัดด้วยเมทานอลจากใบของถั่วเขียวแต่ละพันธุ์ ปริมาตร 20 ไมโครลิตร ใส่ลงในน้ำปริมาตร 20 ไมโครลิตร หลังจากนั้นเติม Folin-Ciocalteau reagent (อัตราส่วน 1 : 1; reagent : water) ปริมาตร 50 ไมโครลิตร น้ำกลั่น ปริมาตร 50 ไมโครลิตร และสารละลาย sodium carbonate (ความเข้มข้น 20 เปอร์เซ็นต์) เขย่าสารละลายให้เข้ากัน นำไปบ่มไว้ในที่มืด อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 30 นาที นำไปวัดค่า

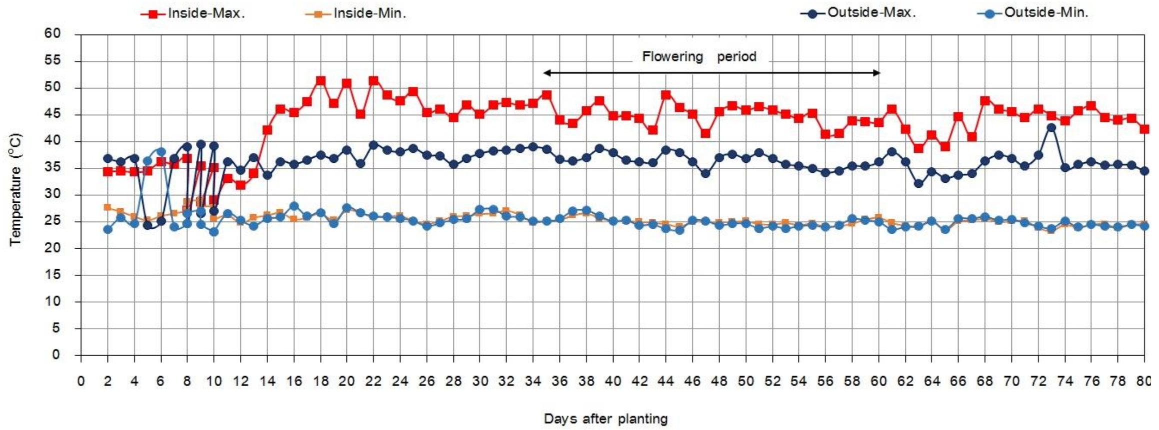


Figure 2. Distribution of maximum and minimum temperatures inside and outside a greenhouse of each day

การดูดกลืนแสงด้วยเครื่อง spectrophotometer ที่ความยาวคลื่น 725 นาโนเมตร (Kähkönen *et al*., 1999) เปรียบเทียบปริมาณสารฟีนอลิกกับกราฟมาตรฐานของสมมูลกรดแกลลิก (gallic acid equivalent, GAE) เมื่อ Y = 0.0038X + 0.0495 และ R^2 = 0.995 มีหน่วยเป็นมิลลิกรัมสมมูลของกรดแกลลิกต่อตัวอย่างแห้ง 1 กรัม (mg GAE/g sample)

วิเคราะห์ปริมาณสารป้องกันแรงดันออสโมติก

วิเคราะห์ปริมาณโพรลีน (proline) ตามวิธีของ Bates *et al*. (1973) นำใบถั่วเขียวมา 0.5 กรัม บดละเอียดในสารละลาย sulfosalicycllic acid (ความเข้มข้น 3 เปอร์เซ็นต์) ปริมาตร 10 มิลลิลิตร หลังจากนั้นนำไปปั่นเหวี่ยงที่ความเร็วรอบ 10,000 รอบต่อนาที เป็นเวลา 5 นาที ดูดสารละลายส่วนใสปริมาตร 2 มิลลิลิตร ใส่ลงในทดลองที่มีสารผสมของสาร acid-ninhydrin ปริมาตร 2 มิลลิลิตร และสาร glacial acetic acid ปริมาตร 2 มิลลิลิตร บ่มสารผสมไว้ water bath อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง นำหลอดทดลองออก เติม toluene ปริมาตร 4 มิลลิลิตร ผสมสารละลายให้เข้ากัน ตั้งไว้ในที่มืด (อุณหภูมิห้อง) เป็นเวลา 30 นาที ดูดสารละลายใสนำไปวัดค่าดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 520 นาโนเมตร ด้วยเครื่อง spectrophotometer คำนวณปริมาณโพรลีนด้วยการเปรียบเทียบกับกราฟมาตรฐานของสารโพรลีน เมื่อ Y = 0.0053X + 0.0881 และ R^2 = 0.984 มีหน่วยเป็นมิลลิกรัมของโพรลีนต่อตัวอย่างแห้ง 1 กรัม (mg proline/g sample)

วิเคราะห์ปริมาณสารไกลซีนเบตาอีน (glycine betaine) ตามวิธีของ Grieve and Grattan (1983) นำใบถั่วเขียวมาบดละเอียดในสาร toluene (ความเข้มข้น 0.05 เปอร์เซ็นต์) หลังจากนั้นนำไปปั่นเหวี่ยงที่ความเร็วรอบ 10,000 รอบต่อนาที เป็นเวลา 5 นาที ดูดสารละลายส่วนใส ปริมาตร 0.5 มิลลิลิตร ใส่ลงในสารผสม HCl (ความเข้มข้น 2 โมลาร์) ปริมาตร 1 มิลลิลิตร และสารละลาย potassium tri-iodide ปริมาตร 0.1 มิลลิลิตร นำสารผสมไปบ่มไว้ที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 90 นาที จากนั้นเติมน้ำกลั่นแช่เย็น ปริมาตร 2 มิลลิลิตร และสารละลาย 1,2-dichoroethane ปริมาตร 10 มิลลิลิตร เขย่าให้เข้ากัน ดูดสารละลายใสส่วนบน วัดค่าดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 365 นาโนเมตร ด้วยเครื่อง spectrophotometer คำนวณปริมาณสารไกลซีนเบตาอีน (glcince betaine, GB) ด้วยการเปรียบเทียบกับกราฟมาตรฐานของสารไกลซีนเบตาอีน เมื่อ Y = 0.0091X + 0.0053 และ R^2 = 0.998 มีหน่วยเป็นมิลลิกรัมของไกลซีนเบตาอีนต่อตัวอย่างแห้ง 1 กรัม (mg GB/g sample)

วิเคราะห์การเกิดปฏิกิริยา lipid peroxidation

ทดสอบการเกิดปฏิกิริยา lipid peroxidation ตามวิธีของ De Azevedo Neto *et al*. (2006) บดตัวอย่างใบถั่วเขียว ลงในสารผสม thiobarbituric acid (ความเข้มข้น 0.5 เปอร์เซ็นต์) และ trichloroacetic acid (ความเข้มข้น 20 เปอร์เซ็นต์ ในสารละลาย DMSO ความเข้มข้น 10 เปอร์เซ็นต์ นำสารผสมวางไว้ที่อุณหภูมิ 95 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที หลังจากนั้นหยุดปฏิกิริยาด้วยการวางในที่เย็น ที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส นำสารผสมปั่นเหวี่ยงด้วยความเร็ว 3,000 กรัม นาน 10 นาที ดูดสารละลายใส นำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 532 นาโนเมตร ด้วยเครื่อง spectrophotometer คำนวณปฏิกิริยาที่เกิดขึ้น ด้วยการเปรียบเทียบกับกราฟมาตรฐานของสารมาลอนไดดีไฮด์ (malondialdehyde, MDA) เมื่อ Y = 0.0035X + 0.0030 และ R^2 = 0.999 มีหน่วยเป็นมิลลิกรัมของมาลอนไดอัลดีไฮด์ต่อตัวอย่างแห้ง 1 กรัม (mg MDA/g sample)

คำนวณการเปลี่ยนแปลงของพารามิเตอร์ต่าง ๆ ของถั่วเขียวสายพันธุ์/พันธุ์เดียวกันที่อยู่ในสภาวะอุณหภูมิสูงเปรียบเทียบกับสภาวะปกติ (ชุดควบคุม) จากสูตรดังนี้

เปอร์เซ็นต์ของชุดควบคุม (% of control) = [(Treatment – Control)/ Control] x 100

เมื่อ Control คือ ข้อมูลของถั่วเขียวที่อยู่นอกโรงเรือนร้อน (Out) และ Treatment คือ ข้อมูลของถั่วเขียวที่อยู่ในโรงเรือนร้อน (In) โดยที่ ผลเป็นลบ (-) แสดงว่า ถั่วเขียวพันธุ์นั้นมีการเจริญเติบโตและ

สร้างผลผลิตลดลงเมื่อเจริญเติบโตในสภาพอุณหภูมิสูง ผลเป็นบวก (+) แสดงว่า ถั่วเขียวพันธุ์นั้นมีการเจริญเติบโตและสร้างผลผลิตเพิ่มขึ้นเมื่อเจริญเติบโตในสภาพอุณหภูมิสูง

วิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ

วิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ โดยมีการวางแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ภายในบล็อก (randomized completely block design, RCBD) จำนวน 5 ซ้ำ ด้วยโปรแกรม SPSS วิเคราะห์ความแตกต่างของค่าเฉลี่ยด้วยวิธีของ Duncan's new multiple range test (DMRT) ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ ($P < 0.05$) และวิเคราะห์ค่าสหสัมพันธ์ (R) แบบเพียร์สัน (Person product moment correlation)

ผลการศึกษา

จากการบันทึกข้อมูลองค์ประกอบผลผลิตและผลผลิตเมล็ดของถั่วเขียวเปรียบเทียบกันระหว่างถั่วเขียวที่อยู่ในสภาพอุณหภูมิสูงกับถั่วเขียวสายพันธุ์/พันธุ์เดียวกันที่อยู่ในสภาพอุณหภูมิปกติ (ชุดควบคุม) (Table 1) พบว่า ถั่วเขียวทุกสายพันธุ์/พันธุ์มีจำนวนเมล็ดต่อฝักลดลง โดยที่สายพันธุ์ JP78930 และ JP231223 มีการลดลงของจำนวนเมล็ดต่อฝักน้อยที่สุด เท่ากับ 3.93 และ 4.42 เปอร์เซ็นต์ของชุดควบคุม รองลงมาคือ สายพันธุ์ JP31324 เท่ากับ 10.32 เปอร์เซ็นต์ของชุดควบคุม แตกต่างกันทางสถิติ ($P < 0.05$) เมื่อเปรียบเทียบกับถั่วเขียวสายพันธุ์อื่นและพันธุ์การค้า สำหรับข้อมูลจำนวนฝักต่อต้น พบว่า ถั่วเขียวส่วนใหญ่มีจำนวนฝักต่อต้นลดลงเมื่ออยู่ในสภาพอุณหภูมิสูง ยกเว้น สายพันธุ์ JP231223, JP229233, JP31324 และ JP78930 ที่พบมีจำนวนฝักต่อต้นเพิ่มขึ้น เท่ากับ 3.50, 1.58, 1.48 และ 0.50 เปอร์เซ็นต์ของชุดควบคุม ตามลำดับ ส่วนข้อมูลผลผลิตเมล็ดต่อต้นนั้น พบว่า ถั่วเขียวทุกสายพันธุ์/พันธุ์มีผลผลิตเมล็ดต่อต้นลดลงเมื่ออยู่ในสภาพอุณหภูมิสูง โดยที่สายพันธุ์ JP231223 มีการลดลงของจำนวนเมล็ดต่อฝักน้อยที่สุด เท่ากับ 5.78 เปอร์เซ็นต์ของชุดควบคุม รองลงมาคือ JP78930 และ JP31324 มีผลผลิตเมล็ดต่อต้นลดลง 8.76 และ 12.30 เปอร์เซ็นต์ของชุดควบคุม ตามลำดับ (Table 1)

ปริมาณสารต้านอนุมูลอิสระในใบของถั่วเขียว (Table 2) พบว่า ถั่วเขียวสายพันธุ์ JP78930, JP231223, JP31324, JP229233 และ JP85557 มีการสังเคราะห์สารต้านอนุมูลอิสระกลุ่มฟีนอลิกเพิ่มขึ้นเมื่ออยู่ในสภาพอุณหภูมิสูงเปรียบเทียบกับชุดควบคุม โดยที่มีปริมาณของสารฟีนอลิกรวม เท่ากับ 57.75, 56.42, 51.40, 24.91 และ 4.78 เปอร์เซ็นต์ของชุดควบคุม ตามลำดับ ส่วนปริมาณของสารต้านอนุมูลอิสระกลุ่มฟลาโวนอยด์นั้น พบว่า ถั่วเขียวสายพันธุ์ JP226698, JP31324 และ JP78930 มีการสังเคราะห์สารต้านอนุมูลอิสระกลุ่มนี้เพิ่มขึ้น เท่ากับ 104.72, 47.70 และ 6.41 เปอร์เซ็นต์ของชุดควบคุม ในขณะที่สายพันธุ์/พันธุ์อื่น ๆ มีปริมาณของสารกลุ่มนี้ลดลงเมื่ออยู่ในสภาพอุณหภูมิสูง (Table 2) สำหรับปริมาณของสารป้องกันแรงดันออสโมติก โพรลีนและไกลซีน-เบตาอีน (Table 3) พบว่า ถั่วเขียวทุกสายพันธุ์/พันธุ์มีการสังเคราะห์สาร proline ลดลง ยกเว้น สายพันธุ์ JP78930 และ JP31324 ที่สามารถสังเคราะห์สารป้องกันแรงดันออสโมติกชนิดนี้เพิ่มขึ้นเมื่ออยู่ในสภาพอุณหภูมิสูง เท่ากับ 16.23 และ 0.78 เปอร์เซ็นต์ของชุดควบคุม ตามลำดับ ในขณะที่สายพันธุ์ JP78930, JP231223, JP31324, JP212360, JP85557, JP231216, JP73287, JP99049, JP240383, JP229233 และ JP240384 สามารถสังเคราะห์สาร glycine betaine เพิ่มขึ้นเมื่ออยู่ในสภาพอุณหภูมิสูง เท่ากับ 15.13, 10.90, 7.19, 6.61, 5.03, 4.83, 3.68, 2.70, 1.34, 0.55 และ 0.24 เปอร์เซ็นต์ของชุดควบคุม ตามลำดับ

Table 1. Yield components of mungbean under high temperature (In) compared with normal condition (Out)

Accession no.		No. seeds/pod		No. pods/plant		Seed yield (gram/plant)	
			% of control		% of control		% of control
JP212360	In	6.76 ± 0.59[1]	-24.04 fg[2]	12.87 ± 1.62	-22.75 c	4.19 ± 0.66	-50.39 c
	Out	8.90 ± 0.20		16.66 ± 3.15		8.45 ± 1.11	
JP226698	In	7.92 ± 0.07	-20.94 def	12.66 ± 2.06	-65.78 h	8.91 ± 0.86	-74.58 k
	Out	10.02 ± 0.25		37.00 ± 4.25		35.05 ± 5.12	
JP229233	In	6.14 ± 0.21	-19.42 cde	12.86 ± 2.11	1.58 a	5.37 ± 1.01	-23.75 c
	Out	7.62 ± 0.19		12.66 ± 1.05		7.05 ± 1.72	
JP231216	In	7.87 ± 0.12	-16.31 bc	10.66 ± 1.89	-58.99 g	8.07 ± 2.01	-70.19 j
	Out	9.40 ± 1.01		26.00 ± 2.10		27.07 ± 3.02	
JP231223	In	9.35 ± 0.07	-4.42 a	22.77 ± 4.26	3.50 a	10.80 ± 2.11	-5.78 a
	Out	9.78 ± 0.40		22.00 ± 4.21		11.46 ± 2.76	
JP240344	In	6.17 ± 0.24	-29.71 h	9.29 ± 1.08	-73.35 i	4.83 ± 0.68	-81.64 l
	Out	8.78 ± 0.56		34.86 ± 3.33		26.30 ± 5.61	
JP240383	In	8.58 ± 0.31	-18.28 b-e	18.11 ± 2.61	-48.27 f	10.02 ± 1.28	-59.43 h
	Out	10.50 ± 0.78		35.00 ± 4.56		24.69 ± 4.16	
JP240384	In	8.11 ± 0.72	-17.57 bcd	21.45 ± 4.56	-15.34 b	8.28 ± 2.60	-35.57 e
	Out	9.84 ± 0.25		25.33 ± 1.98		12.85 ± 2.01	
JP31324	In	7.65 ± 1.02	-10.32 b	12.67 ± 0.98	1.48 a	5.98 ± 0.56	-12.30 b
	Out	8.53 ± 0.85		13.00 ± 1.89		6.82 ± 1.16	
JP73287	In	7.16 ± 0.51	-19.56 cde	16.96 ± 1.66	-16.60 b	9.92 ± 1.86	-30.81 d
	Out	8.53 ± 0.85		20.33 ± 2.87		14.34 ± 2.32	
JP78930	In	8.93 ± 2.05	-3.98 a	16.43 ± 3.26	0.50 a	7.05 ± 0.86	-8.76 ab
	Out	9.30 ± 0.56		16.35 ± 3.01		7.72 ± 1.46	
JP85557	In	6.76 ± 1.56	-23.98 fg	15.64 ± 1.65	-41.36 e	10.88 ± 3.12	-53.01 fg
	Out	8.89 ± 0.17		26.67 ± 2.36		23.16 ± 5.02	
JP99049	In	7.34 ± 1.14	-27.09 gh	11.56 ± 1.59	-67.90 h	8.86 ± 1.99	-76.29 k
	Out	10.07 ± 0.71		36.00 ± 3.50		37.38 ± 2.61	
CN84	In	7.27 ± 0.31	-22.27 ef	12.99 ± 2.08	-33.42 d	8.00 ± 0.76	-66.23 i
	Out	9.35 ± 0.07		19.51 ± 2.16		23.68 ± 4.61	
KPS2	In	7.56 ± 0.78	-22.48 ef	14.19 ± 1.06	-40.89 e	11.35 ± 1.87	-54.45 g
	Out	8.54 ± 0.35		24.00 ± 4.20		24.90 ± 6.21	

[1] The data represent the mean ± standard deviation of three replications

[2] Values followed by the same letters within each column are not significantly different according to DMRT at $P < 0.05$

Table 2. Antioxidant (total phenolics and flavonoids) contents of mungbean under high temperature (In) compared with normal condition (Out)

Accession no.	Total phenolics (mg GAE/g DW)			Total flavonoids (mg RUE/g DW)		
	In	Out	% of control	In	Out	% of control
JP212360	0.59 ± 0.02[1]	19.83 ± 3.42	-97.02 j[2]	13.03 ± 1.26	15.08 ± 0.82	-13.61 e
JP226698	1.26 ± 0.56	12.55 ± 2.93	-89.97 i	13.27 ± 2.86	6.48 ± 2.11	104.72 a
JP229233	7.52 ± 1.01	6.02 ± 1.21	24.91 e	10.32 ± 2.86	18.60 ± 2.66	-44.53 i
JP231216	1.01 ± 0.12	28.66 ± 4.02	-96.49 j	18.11 ± 3.08	38.44 ± 4.62	-52.87 jk
JP231223	24.06±3.17	15.38 ± 2.76	56.42 a	9.77 ± 1.96	15.66 ± 1.86	-37.59 h
JP240344	4.84 ± 1.21	13.22 ± 2.31	-63.38 g	12.47 ± 2.66	22.66 ± 3.92	-44.96 i
JP240383	10.75 ± 2.01	14.37 ± 3.21	-25.18 e	12.07 ± 0.96	19.06 ± 2.61	-36.65 h
JP240384	4.01 ± 0.11	17.98 ± 3.61	-77.70 h	17.43 ± 3.12	28.78 ± 4.22	-39.42 h
JP31324	7.16 ± 2.11	4.72 ± 1.29	51.40 b	21.97 ± 1.66	14.87 ± 3.39	47.70 b
JP73287	1.19 ± 0.21	7.13 ± 2.09	-110.75 k	11.25 ± 1.02	12.01 ± 2.72	-6.34 d
JP78930	15.80 ± 2.12	10.02 ± 1.62	57.75 a	13.93 ± 0.86	13.09 ± 1.72	6.41 c
JP85557	9.57 ± 1.31	9.13 ± 0.89	4.78 d	18.83 ± 3.02	23.52 ± 3.86	-19.97 f
JP99049	1.74 ± 0.98	17.20 ± 1.24	-89.87 i	10.99 ± 1.08	15.58 ± 3.19	-29.49 g
CN84	3.42 ± 0.12	8.40 ± 1.86	-58.30 f	5.07 ± 0.62	11.56 ± 0.99	-56.12 k
KPS2	1.44 ± 0.11	6.18 ± 2.02	-76.70 h	17.01 ± 2.82	34.22 ± 4.66	-50.31 j

[1] The data represent the mean ± standard deviation of three replications

[2] Values followed by the same letters within each column are not significantly different according to DMRT at $P < 0.05$

Table 3. Osmoprotectant (proline and glycine betaine) contents of mungbean under high temperature (In) compared with normal condition (Out)

Accession no.	Proline (mg/g DW)			Glycine betaine (mg/g DW)		
	In	Out	% of control	In	Out	% of control
JP212360	5.64 ± 062[1]	5.76 ± 1.49	-2.06 b[2]	23.34 ± 1.95	21.89 ± 3.98	6.61 cd
JP226698	5.19 ± 1.02	6.37 ± 1.82	-18.54 f	19.17 ± 3.62	19.97 ± 4.03	- 4.00 i
JP229233	4.04 ± 1.50	5.17 ± 2.10	-21.84 g	23.35 ± 5.01	23.22 ± 2.73	0.55 fgh
JP231216	5.90 ± 1.32	7.48 ± 1.21	-20.91 fg	22.83 ± 4.16	21.78 ± 3.51	4.83 cde
JP231223	5.65 ± 1.86	6.28 ± 0.98	-10.09 cd	22.87 ± 3.79	20.62 ± 3.42	10.90 b
JP240344	3.79 ± 1.22	423 ± 1.96	-10.45 cd	21.74 ± 3.68	22.23 ± 4.66	-2.19 hi
JP240383	6.01 ± 2.01	7.49 ± 0.56	-19.76 fg	21.78 ± 3.62	21.49 ± 2.12	1.34 e-h
JP240384	5.85 ± 1.86	6.79 ± 0.76	-13.81 e	21.32 ± 2.68	21.27 ± 6.16	0.24 fgh
JP31324	5.15 ± 1.32	5.11 ± 1.46	0.78 b	23.83 ± 3.66	22.23 ± 3.26	7.19 c
JP73287	4.42 ± 1.08	4.82 ± 1.02	-8.30 c	22.59 ± 4.16	21.79 ± 0.59	3.68 c-f
JP78930	5.66 ± 0.76	4.87 ± 1.36	16.23 a	25.48 ± 1.48	22.13 ± 2.66	15.13 a
JP85557	5.25 ± 1.72	6.13 ± 1.31	-14.36 e	23.14 ± 2.92	22.03 ± 3.14	5.03 cde
JP99049	4.36 ± 0.88	6.46 ± 2.16	-32.50 h	21.37 ± 2.36	20.81 ± 3.83	2.70 d-g
CN84	4.47 ± 0.52	5.07 ± 0.66	-11.81 de	22.22 ± 2.23	22.54 ± 2.63	-1.43 hi
KPS2	5.29 ± 1.45	5.41 ± 0.13	-2.23 b	22.26 ± 3.12	22.43 ± 3.11	-0.79 ghi

[1] The data represent the mean ± standard deviation of three replications

[2] Values followed by the same letters within each column are not significantly different according to DMRT at $P < 0.05$

การวิเคราะห์ปริมาณสาร malondialdehyde ซึ่งเป็นสารผลิตภัณฑ์สุดท้ายที่ได้จากการกระบวน lipid peroxidation ที่โครงสร้างไขมันในพืชถูกอนุมูลอิสระทำลาย หากปริมาณของสาร malondialdehyde มีการสะสมในเซลล์พืชมากบ่งชี้ถึงการมีภาวะ oxidative stress เกิดขึ้น และชักนำให้เกิดปฏิกิริยา lipid oxidation ขึ้น ผลการทดลองพบว่า ถั่วเขียวบางสายพันธุ์/พันธุ์เกิดปฏิกิริยา lipid peroxidation ในเซลล์ที่ใบเพิ่มขึ้น (Table 4) ได้แก่ สายพันธุ์ JP99049, JP226698, JP231216, JP240383 และพันธุ์การค้า CN84 และ KPS2 ในทางกลับกัน สายพันธุ์ JP229223, JP240344, JP 231223, JP240384, JP85557, JP31324, JP73287, JP78930 และ JP212360 มีการเกิดปฏิกิริยา lipid peroxidation ในเซลล์บริเวณใบของถั่วเขียวเมื่ออยู่ในสภาพอุณหภูมิสูงน้อยกว่าในสภาพปกติ นอกจากนี้ยังพบว่า ถั่วเขียวสายพันธุ์ JP229223, JP231223, JP85557, JP31324 และ JP78930 มีการสังเคราะห์สารฟีนอลิกรวมและสารไกลซีนเบตาอีนเพิ่มขึ้น เมื่ออยู่ในสภาพอุณหภูมิสูง จึงส่งผลให้สามารถยับยั้งการเกิดปฏิกิริยา lipid peroxidation ภายในใบของถั่วเขียวได้

เมื่อพิจารณาความสัมพันธ์ระหว่างองค์ประกอบผลผลิตกับปริมาณสารต้านอนุมูลอิสระและสารป้องกันแรงดันออสโมติก (Table 5) พบว่า จำนวนเมล็ดต่อฝักและจำนวนฝักต่อต้นมีความสัมพันธ์ทางบวกกับผลผลิตของถั่วเขียว มีค่า R เท่ากับ 0.547 และ 0.913 ตามลำดับ นั่นคือ เมื่อจำนวนเมล็ดต่อฝักและจำนวนฝักต่อต้นเพิ่มขึ้น ส่งผลให้ผลผลิตของถั่วเขียวเพิ่มขึ้น โดยที่องค์ประกอบผลผลิตและผลผลิตที่เพิ่มขึ้นมีความสัมพันธ์กับปริมาณของสารฟีนอลิกที่เพิ่มขึ้น

Table 4. The accumulation of malodialdehyde (MDA) in leaves of mungbean under high temperature (In) compared with normal condition (Out)

Accession no.		MDA (mg/g DW)	% of control	Accession no.		MDA (mg/g DW)	% of control
JP212360	In	29.85 ± 12.52[1]	-32.96 h[2]	JP31324	In	50.82 ± 6.90	-13.44 ef
	Out	44.53 ± 13.25			Out	58.71 ± 12.06	
JP226698	In	51.87 ± 9.42	7.59 c	JP73287	In	31.06 ± 7.49	-60.28 j
	Out	48.21 ± 8.10			Out	78.20 ± 10.22	
JP229233	In	48.89±7.82	-41.68 i	JP78930	In	37.61 ± 3.35	-15.18 f
	Out	83.83 ± 15.66			Out	44.34 ± 4.77	
JP231216	In	56.63 ± 8.41	6.90 c	JP85557	In	40.68 ± 8.01	-24.47 g
	Out	52.98 ± 0.74			Out	53.86 ± 16.62	
JP231223	In	50.29 ± 8.02	-15.35 f	JP99049	In	53.38 ± 3.10	11.44 b
	Out	59.41 ± 3.32			Out	47.90 ± 1.13	
JP240344	In	35.95 ± 7.61	-11.86 e	CN84	In	49.43 ± 12.52	3.68 d
	Out	40.79 ± 4.08			Out	47.67 ± 4.27	
JP240383	In	63.58 ± 5.05	16.60 a	KPS2	In	52.57 ± 9.83	10.29 b
	Out	5454 ± 3.70			Out	47.67 ± 1.10	
JP240384	In	41.60 ± 3.02	-35.11 h				
	Out	64.56 ± 4.45					

[1] The data represent the mean ± standard deviation of three replications.

[2] Values followed by the same letters within each column are not significantly different according to DMRT at $P < 0.05$

Table 5. Correlation coefficients between yield components and antioxidants (phenolics and flavonoids) and osmoprotectants (glycine betaine and proline) and MDA content

	Seeds/pod	Pod/plant	Seed w.	Yield	Phenolics	Flavonoids	Proline	GB
Pods/pl	0.332**							
Seed w.	-0.277**	-0.147						
Yields	0547**	0.913**	0.045					
Phe	0.266**	0.419**	0.062	0.506**				
Fla	0.209*	0.017	-0.073	0.052	0.131			
Pro	0.287**	0.400	-0.249**	0.094	0.018	-0.061		
GB	-0.300	-0.168*	-0.076	0.119	0.217**	-0.136	-0.105	
MDA	-0.112	-0.293**	-0.100	-0.316**	0.182*	-0.161	-0.146	-0.120

* Significance level at $P < 0.05$ and ** significance level at $P < 0.01$

นอกจากนี้ยังพบว่า ปริมาณฟลาโวนอยด์และโพรลีนที่เพิ่มขึ้นมีความสัมพันธ์กับจำนวนเมล็ดต่อฝักที่เพิ่มขึ้น มีค่า R เท่ากับ 0.209 และ 0.287 ตามลำดับ ในทางกลับกันผลผลิตของถั่วเขียวมีความสัมพันธ์เชิงลบกับปริมาณของ MDA มีค่า R เท่ากับ -0.316 นั่นคือ ปฏิกิริยา lipid peroxidation ที่เกิดขึ้นทำให้เกิดการสะสมของสาร MDA มากขึ้น ส่งผลกระทบทำให้ผลผลิตของถั่วเขียวลดลง

วิจารณ์

จากรายงานความเครียดจากอุณหภูมิสูงทำให้ใบพืชเหี่ยวแห้ง ใบม้วน ใบเหลือง ความสูงและมวลชีวภาพของพืชลดลง (Siddiqui *et al*., 2015) พืชที่ได้รับอุณหภูมิรุนแรงมักจะลดการเจริญเติบโตของยอด ราก และจำนวนราก (Xu *et al*., 2000) นอกจากนี้ความเครียดจากอุณหภูมิสูงส่งผลให้เกิดการสูญเสียน้ำจากเซลล์ ขนาดเซลล์ (Liu and Huang, 2000) และการยืดยาวของปล้องลดลง ส่งผลให้พืชตาย (Reddy *et al*., 2003) นอกจากนี้ยังพบรายงานว่า ความเครียดจากความความร้อนส่งผลกระทบอย่างรุนแรงทำให้พืชตระกูลถั่วมีอับละอองเกสรลดลง กิจกรรมของเอนไซม์ RuBisco ผิดปกติ ปริมาณคลอโรฟิลล์ลดลงและส่งผลให้กระบวนการสังเคราะห์แสงในระบบ PSII ถูกรบกวน โดยที่ถั่วแต่ละชนิดมีช่วงอุณหภูมิวิกฤติ (กลางวัน/กลางคืน) แตกต่างกัน ตัวอย่างเช่น ถั่วลิสง (38/22 องศาเซลเซียส) ถั่วลูกไก่ (35/16 องศาเซลเซียส) ถั่วแระ (45/40 องศาเซลเซียส) ถั่วพุ่ม (36/27 องศาเซลเซียส) ถั่วเหลือง (38/30 องศาเซลเซียส) ถั่วแขก (32/27 องศาเซลเซียส) ถั่วเขียว (>40/25 องศาเซลเซียส) และถั่วเขียวผิวดำ 35/27 องศาเซลเซียส (Djanajuiraman *et al*., 2013; Farooq *et al*., 2017) โดยที่โรงเรือนร้อนในการทดลองนี้มีอุณหภูมิ 41 - 48.8 องศาเซลเซียส จากผลการศึกษาการตอบสนองของถั่วเขียวภายใต้สภาพอุณหภูมิสูงในโรงเรือนร้อน พบว่า สายพันธุ์ JP231223, JP31324 และ JP78930 มีองค์ประกอบผลผลิตและผลผลิตลดลงน้อยที่สุด โดยที่ถั่วเขียวทั้ง 3 สายพันธุ์นี้มีการสังเคราะห์สารต้านอนุมูลอิสระ-ฟีนอลิกรวมเพิ่มขึ้น ซึ่งจากผลการวิเคราะห์ค่าสหสัมพันธ์ระหว่างผลผลิตกับปริมาณสารต้านอนุมูลอิสระฟีนอลิกรวม พบว่า มีความสัมพันธ์ในเชิงบวกต่อกัน สอดคล้องกับรายงานของ Mohi-Ud-Din *et al*. (2021) พบว่า พืชสามารถทนทานต่อสภาพอุณหภูมิสูงได้ด้วยการสังเคราะห์สารต้านอนุมูลอิสระ ตัวอย่างเช่น ascorbic acid, carotenoids, tocopherols,

isoprenoids, flavonoids, phenolic acids ลดความเป็นพิษหรือกำจัด ROS (Asthir, 2015) เนื่องจากสภาพอุณหภูมิสูงทำให้เกิดอนุมูลอิสระจากปฏิกิริยา oxidation ของออกซิเจน (reactive oxygen species; ROS) เช่น singlet oxygen ($^1O_2$), superoxide anion radical ($O2^{\bullet -}$), hydroxyl radical ($^{\bullet}OH$) และ hydrogen peroxide (H_2O_2) ชักนำให้เกิดการรั่วไหลของไอออน (ion leakage) ในเซลล์พืชที่บริเวณเยื่อหุ้มเซลล์และรงควัตถุ เกิดการสะสมของสาร malondialdehyde ซึ่งเป็นสารผลิตภัณฑ์จากกระบวนการ lipid peroxidation ส่วน Cai *et al*. (2020) พบว่า ข้าวทนร้อนพันธุ์ SDWG005 มีการแสดงออกของ DEGs gene ที่เกี่ยวข้องกับการสังเคราะห์ lignin และ flavonoids ซึ่งมีบทบาทสำคัญในการทำให้ข้าวพันธุ์นี้สามารถทนทานต่อความร้อนในช่วงการแบ่งเซลล์แบบ meiosis นอกจากนี้ Wang *et al*. (2019) ยังรายงานว่า *Festuca trachyphylla* พันธุ์ Reliat IV ที่ทนทานต่อความร้อนอุณหภูมิกลางวัน/กลางคืน ประมาณ 38/33 องศาเซลเซียส มีปริมาณของสาร phenolic acids ได้แก่ salicylic acid, homovanillic acid, caffeic acid และ ferulic acid เพิ่มขึ้น เมื่ออยู่ภายใต้อุณหภูมิสูงระยะเวลาสั้น 7 ชั่วโมง แต่เมื่อระยะเวลานานขึ้นเป็น 22 วัน ภายใต้สภาพอุณหภูมิสูง พบชนิดของสารประกอบ phenolic acid มากขึ้น ได้แก่ 3,4-dyhydroxybenzoic acid, 4-hydroxybenzoic acid, coumaric acid, gallic acid, cinnamic acid, benzoic acid และ vanillic acid โดยที่ปริมาณสาร homovanillic acid และ caffeic acid เพิ่มขึ้น 118 และ 117 เปอร์เซ็นต์ เมื่อเปรียบเทียบกับเมื่ออยู่ภายใต้สภาพอุณหภูมิสูงระยะสั้น สำหรับอีกกลไกภายในพืชที่ช่วยให้พืชทนทานต่อสภาพเครียดจากความร้อนในการทดลองนี้ได้นั้น พบว่า ถั่วเขียวทั้ง 3 สายพันธุ์ ได้แก่ JP231223, JP31324 และ JP78930 มีการสังเคราะห์สารไกลซีน-เบทาอีนเพิ่มขึ้น นอกจากนี้ยังพบว่า สายพันธุ์ JP31324 และ JP78930 มีการสังเคราะห์สารโพรลีนเพิ่มขึ้นอีกด้วย ซึ่งเป็นไปในทิศทางเดียวกับรายงานของ Hemantaranjan *et al*. (2014) ซึ่งพบว่า การสะสมสารป้องกันแรงดันออสโมติก เช่น โพรลีน ไกลซีนเบทาอีน และทรีฮาโลส เป็นกลไกการปรับตัวของพืชที่ต้านทานความเครียดต่าง ๆ จากสิ่งแวดล้อมที่ไม่เหมาะสม รวมถึงทนทานต่อความร้อน (Rasheed *et al*., 2011) โพรลีนและไกลซีนเบทาอีนช่วยลดการสังเคราะห์ H_2O_2 ป้องกันเนื้อเยื่อถูกทำลาย โดยที่ Kaushal *et al*. (2011) พบว่า ถั่ว chickpea ที่อยู่ในสภาพอุณหภูมิสูง (กลางวัน/กลางคืน) 45/40 องศาเซลเซียส มีการสังเคราะห์สารโพรลีนเพิ่มขึ้น ทำให้เซลล์ได้รับความเสียหายจากอนุมูลอิสระน้อยลง และสามารถทนทานและเจริญเติบโตอยู่ในสภาพดังกล่าวได้ Sharma *et al*. (2019) ศึกษาการตอบสนองของข้าวพันธุ์ N22 ที่ทนทานความร้อน และพันธุ์ IR8 ที่ไม่ทนต่อความร้อนในสภาพอุณหภูมิสูง 36.0 องศาเซลเซียส พบว่า ข้าวพันธุ์ N22 ปริมาณสาร ascorbate และ proline สูงกว่าพันธุ์ IR8 เท่ากับ 78.5 และ 81.8 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ โดยที่ข้าวพันธุ์ N22 ยังมีกิจกรรมของเอนไซม์ต้านอนุมูลอิสระ superoxide dismutase, catalase และ ascorbate peroxidase มากกว่าพันธุ์ IR8 เท่ากับ 35.7, 88.8 และ 84.1 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ นอกจากนี้ Wang *et al*. (2010) ยังพบว่า ข้าวสาลีที่ทนทานต่อสภาพแห้งแล้งและอุณหภูมิสูง มีการสะสมของสารไกลซีนเบทาอีนบริเวณใบเพิ่มมากขึ้น ซึ่งสารนี้สามารถช่วยป้องกันผลกระทบของอนุมูลอิสระในการขัดขวางกระบวนการสังเคราะห์แสง ส่วน Allakhverdiev *et al*. (2007) ได้ทดสอบการตอบ-สนองของเชื้อแบคทีเรีย *Synechococcus* sp. PCC 7942 ที่มียีน *cod A* ซึ่งเป็นยีนควบคุมการสังเคราะห์สาร glycine betaine ในสภาพอุณหภูมิสูงช่วงประมาณ 46 - 54 และ 51 - 58 องศาเซลเซียส ด้วยการศึกษากระบวนถ่ายทอดอิเล็กตรอนในกระบวนการสังเคราะห์แสง II พบว่า สารไกลซีนเบทาอีนช่วยป้องกันความเสียหายของโปรตีน D1 จากอนุมูลอิสระที่เกิดการกระตุ้นจากความร้อนและช่วยซ่อมแซมส่วนที่ถูกทำลาย ทำให้เชื้อแบคทีเรียนี้สามารถสังเคราะห์แสงได้ ส่วน Rasheed *et al*. (2011) ได้ศึกษาบทบาทของสารโพรลีนและสารไกลซีนเบทาอีนบริเวณตาของหน่ออ้อยที่อยู่ในสภาพอุณหภูมิสูง 42 องศาเซลเซียส นาน 5 ชั่วโมง ด้วยการแช่หน่ออ้อยในสารละลายโพรลีน และไกลซีน-เบทาอีน พบว่า อนุมูลอิสระ H_2O_2 ที่บริเวณตาใบลดลง

โดยพบการสะสมของ soluble sugar และสารป้องกันแรงดันเพิ่มขึ้น นอกจากนี้ยังพบว่า สารโพรลีนมีบทบาทในการป้องกันความเสียหายของเซลล์จาก H_2O_2 ได้ดีกว่าสารไกลซีนเบทาอีน

สรุป

ถั่วเขียวสายพันธุ์ JP231223, JP31324 และ JP78930 มีผลผลิตลดลงเล็กน้อยเมื่ออยู่ในสภาพเครียดจากอุณหภูมิสูง โดยที่ถั่วเขียวที่ทนทานต่ออุณหภูมิสูงทั้ง 3 สายพันธุ์นี้ มีการสังเคราะห์สารฟีนอลิกทั้งหมดและไกลซีนเบตาอีนเพิ่มขึ้น ในขณะที่ถั่วเขียวสายพันธุ์ JP31324 และ JP78930 มีการสังเคราะห์สารฟลาโวนอยด์ทั้งหมด และโพรลีนเพิ่มขึ้นอีกด้วย ซึ่งการเพิ่มขึ้นของสารต้านอนุมูลอิสระและสารป้องกันแรงดันออสโมติกนี้อาจสัมพันธ์กับความทนทานต่ออุณหภูมิสูง ดังนั้น การทราบถึงกลไกทางชีวเคมีเบื้องต้นของถั่วเขียวทนทานต่ออุณหภูมิสูง จึงอาจใช้เป็นข้อมูลพื้นฐานประกอบการตัดสินใจในการคัดเลือกพันธุ์พืชเพื่อการปรับปรุงพันธุ์ต่อไปได้

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับการสนับสนุนจาก สำนักงานสภานโยบายการอุดมศึกษา วิทยาศาสตร์ วิจัยและนวัตกรรมแห่งชาติ (สอวช.) ผ่านหน่วยบริหารและจัดการทุนด้านการพัฒนากำลังคน และทุนด้านการพัฒนาสถาบันอุดมศึกษา การวิจัยและการสร้างนวัตกรรม (บพค.) (สัญญาเลขที่ 5826)

เอกสารอ้างอิง

Allakhverdiev, S.I., D.A. Los, P. Mohanty, Y. Nishiyama and N. Murata. 2007. Glycinebetaine alleviates the inhibitory effect of moderate heat stress on the repair of photosystem II during photoinhibition. Biochimica et Biophysica Acta 1767(12): 1363-1371.

Apel, K. and H. Hirt. 2004. Reactive oxygen species: metabolism, oxidative stress, and signal transduction. Annual Review of Plant Biology 55: 373-399.

Asthir, B. 2015. Mechanisms of heat tolerance in crop plants. Biologia Plantarum 59(4): 620-628.

Bates, L.S., R.P. Waldren and I.D. Teare. 1973. Rapid determination of free proline for water-stress studies. Plant and Soil 39(1): 205-207.

Bhandari, K., K.H.M. Siddique, N.C. Turner, J. Kaur, S. Singh, S.K. Agrawal and H. Nayyar. 2016. Heat stress at reproductive stage disrupts leaf carbohydrate metabolism, impairs reproductive function, and severely reduces seed yield in lentil. Journal of Crop Improvement 30(2): 118-151.

Bita, C.E. and T. Gerats. 2013. Plant tolerance to high temperature in a changing environment: scientific fundamentals and production of heat stress-tolerant crops. Frontiers in Plant Science 4: 273, doi: 10.3389/fpls.2013.00273.

Cai, Z., F. He, X. Feng, T. Liang, H. Wang, S. Ding and X. Tian. 2020. Transcriptomic analysis reveals important roles of lignin and flavonoid biosynthetic pathways in rice thermotolerance during reproductive stage. Frontiers in Genetics 11: 562937, doi: 10.3389/fgene.2020.562937.

De Azevedo Neto, A.D., J.T. Prisco, J. Enéas-Filho, C.E.B. de Abreu and E. Gomes-Filho. 2006. Effect of salt stress on antioxidative enzymes and lipid peroxidation in leaves and roots of salt-tolerant and salt-sensitive maize genotypes. Environmental and Experimental Botany 56(1): 87-94.

Djanaguiraman, M., P.V.V. Prasad, D.L. Boyle and W.T. Schapaugh. 2013. Soybean pollen anatomy, viability and pod set under high temperature stress. Journal of Agronomy and Crop Science 199(3): 171-177.

Djeridane, A., M. Yousfi, B. Nadjemi, D. Boutassouna, P. Stocker and N. Vidal. 2006. Antioxidant activity of some Algerian medicinal plants extracts containing phenolic compounds. Food Chemistry 97(4): 654-660.

Farooq, M., F. Nadeem, N. Gogoi, A. Ullah, S.S. Alghamdi, H. Nayyar and K.H.M. Siddique. 2017. Heat stress in grain legumes during reproductive and grain-filling phases. Crop and Pasture Science 68(1): 985-1005.

Farooq, M., M. Hussain, M. Usman, S. Farooq, S.S. Alghamdi and K.H.M. Siddique. 2018. Impact of abiotic stresses on grain composition and quality in food legumes. Journal of Agricultural and Food Chemistry 66(34): 8887-8897.

Grieve, C.M. and S.R. Grattan. 1983. Rapid assay for determination of water soluble quaternary ammonium compounds. Plant and Soil 70: 303-307.

Hasanuzzaman, M., K. Nahar, M.M. Alam, R. Roychowdhury and M. Fujita. 2013. Physiological, biochemical, and molecular mechanisms of heat stress tolerance in plants. International Journal of Molecular Sciences 14(5): 9643-9684.

Heuzé, V., G. Tran, D. Bastianelli and F. Lebas. 2015. Mung bean (*Vigna radiata*). (Online). Available: https://www.feedipedia.org/node/235 (November 10, 2021).

Hemantaranjan, A., A.N. Bhanu, M.N. Singh, D.K. Yadav, P.K. Patel, R. Singh and D. Katiyar. 2014. Heat stress responses and thermotolerance. Advances in Plants and Agriculture Research 1(3): 62-70.

Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). 2007. Summary for policymakers. pp 1-18. *In*: S. Solomon, D. Qin, M. Manning, Z. Chen, M. Marquis, K.B. Averyt, M. Tignor and H.L. Miller (eds.). Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press, Cambridge.

Kähkönen, M.P., A.I. Hopia, H.J. Vuorela, J.P. Rauha, K. Pihlaja, T.S. Kujala and M. Heinonen. 1999. Antioxidant activity of plant extracts containing phenolic compounds. Journal of Agricultural and Food Chemistry 47(10): 3954-3962

Kaushal, N., K. Gupta, K. Bhandhari, S. Kumar, P. Thakur and H. Nayyar. 2011. Proline induces heat tolerance in chickpea (*Cicer arietinum* L.) plants by protecting vital enzymes of carbon and antioxidative metabolism. Physiology and Molecular Biology of Plants 17(3): 203-213.

Khattak, G.S.S., I. Saeed and T. Muhammad. 2006. Breeding for heat tolerance in mungbean (*Vigna radiata* (L.) Wilczek). Pakistan Journal of Botany 38(5): 1539-1550.

Kumar, S. and G. Pandey. 2020. Biofortification of pulses and legumes to enhance nutrition. Heliyon 6(3): e03682, doi: 10.1016/j.heliyon.2020.e03682.

Liu, X. and B. Huang. 2000. Heat stress injury in relation to membrane lipid peroxidation in creeping bentgress. Crop Science 40(2): 503-510.

Mohi-Ud-Din, M., N. Siddiqui, M. Rohman, S.V.K. Jagadish, J.U. Ahmed, M.M. Hassan, A. Hossain and T. Islam. 2021. Physiological and biochemical dissection reveals a trade-off between antioxidant capacity and heat tolerance in bread wheat (*Triticum aestivum* L.). Antioxidants 10(3): 351, doi: 10.3390/antiox10030351.

Rasheed, R., A. Wahid, M. Farooq, I. Hussain and S.M.A. Basra. 2011. Role of proline and glycinebetaine pretreatments in improving heat tolerance of sprouting sugarcane (*Saccharum* sp.) buds. Plant Growth Regulation 65(1): 35-45.

Reddy, T.Y., V.R. Reddy and V. Anbumozhi. 2003. Physiological responses of groundnut (*Arachis hypogea* L.) to drought stress and its amelioration: a critical review. Plant Growth Regulation 41: 75-88.

Sarkar, S., M. Khatun, F.M. Era, A.K.M.M. Islam, Md. P. Anwar, S. Danish, R. Datta and A.K.M.A. Islam. 2021. Abiotic stress: alteration of composition and grain quality in food legumes. Agronomy 11: 2238, doi: 10.3390/agronomy11112238.

Sehgal, A., K. Sita, K.H.M. Siddique, R. Kumar, S. Bhogireddy, R.K. Varshney, B. HanumanthRao, R.M. Nair, P.V. Vara Prasad and H. Nayyar. 2018. Drought or/and heat-stress effects on seed filling in food crops; impacts on functional biochemistry, seed yields, and nutritional quality. Frontiers in Plant Science 27: 9, doi: 10.3389/fpls.2018.01705.eCollection2018.

Siddiqui, M.H., M.Y. Al-Khaishany, M.A. Al-Qutami, M.H. Al-Whaibi, A. Grover, H.M. Ali and M.S. Al-Wahibi. 2015. Morphological and physiological characterization of different genotypes of faba bean under heat stress. Saudi Journal of Biological Science 22(5): 656-663.

Sharma, K.P., N. Sharma and R. Kaur. 2019. Variation in antioxidant response in rice (*Oryza sativa* L.) genotypes differing in sensitivity to heat stress. International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences 8(7): 1518-1529.

Suzuki, N. and R. Mittler. 2006. Reactive oxygen species and temperature stresses: a delicate balance between signaling and destruction. Physiologia Plantarum 126(1): 45-51.

Vierling, E. 1991. The roles of heat shock proteins in plants. Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology 42: 579-620.

Wahid, A., S. Gelani, M. Ashraf and M.R. Foolad. 2007. Heat tolerance in plants: an overview. Environmental and Experimental Botany 61(3): 199-223.

Wang, G.P., X.Y. Zhang, F. Li, Y. Luo and W. Wang. 2010. Erratum to: overaccumulation of glycine betaine enhances tolerance to drought and heat stress in wheat leaves in the protection of photosynthesis. Photosynthetica 48(1): 117-126.

Wang, J., B. Yuan and B. Huang. 2019. Differential heat-induced changes in phenolic acids associated with genotypic variations in heat tolerance for hard fescue. Crop Science 59(2): 667-674.

Xu, W., P.K. Subudhi, O.R. Crasta, D.T. Rosenow, J.E. Mullet and H.T. Nguyen. 2000. Molecular mapping of QTLs conferring stay-green in grain sorghum (*Sorghum bicolor* L. Moench). Genome 43(3): 461-469.

Zinn, K.E., M. Tunc-Ozdemir and J.F. Harper. 2010. Temperature stress and plant sexual reproduction: uncovering the weakest links. Journal of Experimental Botany 61(7): 1959-1968.

ผลของปุ๋ยไนโตรเจนต่อปริมาณสารโพรลีน ผลผลิต องค์ประกอบผลผลิต คุณภาพเมล็ด และการแสดงออกของยีนในข้าวหอมพันธุ์พื้นเมืองไทย

Effects of Nitrogen Fertilizer on Proline Content, Yield, Yield Components, Grain Quality, and Gene Expression in Thai Fragrant Rice Landrace

นันท์นพิน ปันธิ[1] ศันสนีย์ จำจด[1,2] ชนากานต์ เทโบลต์ พรมอุทัย[1,2]
เพ็ญนภา จักรสมศักดิ์[3] และ ต่อนภา ผุสดี[1,2*]
Nunnaphin Punti[1], Sansanee Jamjod[1,2], Chanakan Thebault Prom-u-thai[1,2],
Pennapa Jaksomsak[3] and Tonapha Pusadee[1,2*]

[1]ภาควิชาพืชศาสตร์และปฐพีศาสตร์ คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ จ. เชียงใหม่ 50200
[1]Department of Plant and Soil Sciences, Faculty of Agriculture, Chiang Mai University, Chiang Mai 50200, Thailand
[2]ศูนย์วิจัยข้าวล้านนา มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ จ. เชียงใหม่ 50200
[2]Lanna Rice Research Center, Chiang Mai University, Chiang Mai 50200, Thailand
[3]สาขาวิชาเกษตรเคมี คณะผลิตกรรมการเกษตร มหาวิทยาลัยแม่โจ้ จ. เชียงใหม่ 50290
[3]Program in Agricultural Chemistry, Faculty of Agricultural Production, Maejo University, Chiang Mai 50290, Thailand
**Corresponding author: Email: tonapha.p@cmu.ac.th*

(Received: 10 November 2021; Accepted: 7 February 2022)

Abstract: Fragrant rice landraces are genetically diverse, have a high ability to adapt to local environments and some varieties are fragrant rice. Aroma is an important characteristic of grain quality and is due to 2-acetyl-1-pyrroline (2AP) which is derived from proline. Factors such as the environment, cultivation method, and post-harvest management can affect the aroma of fragrant rice. Therefore, the objective of this research was to evaluate effects of nitrogen (N) application rate on proline contents in leaves at three growth stages (tillering, booting, and flowering), yield, yield components, seed quality and expression of *badh2* and *TPI* genes in Thai fragrant rice landraces, Buer Ner Moo 4 (BNM4). The pot experiments were conducted in a completely randomized design (CRD) with 6 N fertilizer rate (30, 60, 90, 120, 150, and 180 kgN/rai) and 3 replications. Urea was used as source of N fertilizer. The results demonstrated that application N fertilizer at booting led to the highest proline content at the rate of 180 kgN/rai (2.41 μmol/g fresh weight) compared to application of N fertilizer at the other growth stages. Furthermore, increasing the rate of N fertilizer increased the yield and yield components of rice. A sensory test for aroma revealed that BNM4 supplied with 60 kgN/rai had the highest aroma, while at 150 kgN/rai is non fragrant. The increase in N fertilizer supply did not affect the softness of rice grain as determined by the alkali test. The expression of *badh2* and *TPI* genes from the samples at the 5 days after the anthesis, the highest at 30 and 120 kgN/rai, respectively. This data could be

Copyright @ Journal of Agriculture, Faculty of Agriculture, Chiang Mai University. All rights reserved.

useful for cultivation management for enhancing the aroma and productivity of the fragrant rice landraces in the future.

Keywords: Buer Ner Moo 4, nitrogen fertilizer rate, grain quality, fragrant rice

บทคัดย่อ: ข้าวพันธุ์พื้นเมืองมีความหลากหลายทางพันธุกรรมสูง สามารถปรับตัวให้เข้ากับสภาพแวดล้อมตามท้องถิ่นได้ดี บางสายพันธุ์มีกลิ่นหอม ซึ่งเป็นหนึ่งในลักษณะคุณภาพเมล็ดที่สำคัญต่อการบริโภค โดยความหอมเกิดจากสาร 2-acetyl-1-pyrroline ซึ่งมีสารตั้งต้นจากโพรลีน ที่สร้างขึ้นจากการได้รับผลกระทบจากปัจจัยด้านสภาพแวดล้อม วิธีการเพาะปลูก และการจัดการหลังการเก็บเกี่ยวก็มีผลต่อความหอมในข้าวหอม งานวิจัยมีวัตถุประสงค์เพื่อประเมินผลของอัตราการใส่ปุ๋ยไนโตรเจนต่อปริมาณสารโพรลีนในใบที่สามระยะการเจริญเติบโต (ระยะแตกกอ ระยะตั้งท้อง และระยะออกดอก) ต่อผลผลิต องค์ประกอบผลผลิต คุณภาพเมล็ด และการแสดงออกของยีน *badh2* และยีน *TPI* ในข้าวหอมพันธุ์พื้นเมืองพันธุ์บือเนอมู 4 วางแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ จำนวน 3 ซ้ำ ปลูกทดลองในกระถาง ใส่ปุ๋ยไนโตรเจน 6 ระดับ ได้แก่ 30, 60, 90, 120, 150 และ 180 กิโลกรัมไนโตรเจนต่อไร่ โดยใส่ปุ๋ยไนโตรเจนในรูปแบบยูเรีย จากผลการทดลองพบว่า ที่ระยะตั้งท้องการใส่ปุ๋ยไนโตรเจนที่อัตรา 180 กิโลกรัมไนโตรเจนต่อไร่ มีปริมาณสารโพรลีนสูงสุดเท่ากับ 2.41 ไมโครโมลต่อกรัม เมื่อเทียบจากระยะการเจริญเติบโตอื่น นอกจากนี้ยังพบว่า เมื่อใช้ปุ๋ยไนโตรเจนในอัตราเพิ่มขึ้นส่งผลให้ผลผลิต และองค์ประกอบผลผลิตของข้าวเพิ่มขึ้น ขณะที่ทดสอบความหอมโดยวิธีดมกลิ่น พบว่า ที่ระดับปุ๋ย 60 กิโลกรัมไนโตรเจนต่อไร่ ข้าวพันธุ์บือเนอมู 4 ให้กลิ่นหอมมากสุด และที่ระดับปุ๋ย 150 กิโลกรัมไนโตรเจนต่อไร่ ไม่มีกลิ่นหอม ส่วนการทดสอบความอ่อนนุ่มของเมล็ดข้าวโดยวิธีการสลายตัวในด่าง พบว่า การเพิ่มระดับปุ๋ยไนโตรเจนไม่มีผลต่อความอ่อนนุ่มของข้าว และการแสดงออกของยีนที่เกี่ยวข้องกับลักษณะความหอม *badh2* และยีน *TPI* ในส่วนของดอกที่ระยะ 5 วันหลังดอกบาน 50 เปอร์เซ็นต์ สูงสุดที่ระดับปุ๋ยไนโตรเจน 30 และ 120 กิโลกรัมไนโตรเจนต่อไร่ ตามลำดับ จากผลที่ได้สามารถนำไปประยุกต์เพื่อเพิ่มความหอมและผลผลิตของข้าวหอมพื้นเมืองให้ดีขึ้นในอนาคต

คำสำคัญ: บือเนอมู 4 ระดับปุ๋ยไนโตรเจน คุณภาพเมล็ด ข้าวหอม

คำนำ

ข้าวที่มีกลิ่นหอมเป็นกลุ่มข้าวที่ได้รับความนิยม ด้วยคุณสมบัติของความนุ่มและกลิ่นหอม ทำให้มีความต้องการในการบริโภคที่เพิ่มมากขึ้นและส่งเสริมการขยายตัวของตลาดข้าวหอม โดยข้าวหอมที่ประเทศไทยนิยมส่งออก ได้แก่ ข้าวพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 และข้าวพันธุ์ปทุมธานี 1 อย่างไรก็ตาม พบว่า ข้าวหอมบางสายพันธุ์มีผลผลิตต่ำ เนื่องจากไม่ทนทานโรคและแมลง ขณะที่กลุ่มข้าวพันธุ์พื้นเมือง เป็นกลุ่มพืชที่มีลักษณะทางพันธุกรรมที่เป็นเอกลักษณ์ มีความสามารถในการปรับตัวให้เข้ากับสภาพแวดล้อมท้องถิ่นได้ดี (Frankel *et al.*, 1995) ทนทานต่อการเข้าทำลายโรคและแมลง และมีความหลากหลายทางพันธุกรรมสูงทั้งภายในประชากรและระหว่างประชากร ซึ่งบางกลุ่มของประชากรข้าวพื้นเมืองเป็นกลุ่มข้าวที่มีกลิ่นหอม จากการศึกษาของ Chan-in *et al.* (2019) พบว่า ข้าวหอมพื้นเมืองไทยพื้นที่สูง มีค่าความหลากหลายภายในประชากรต่ำ แต่มีค่าความแตกต่างระหว่างประชากรสูง และยังพบว่า ข้าวหอมพื้นเมืองพื้นที่สูงพันธุ์บือเนอมู 4 มีปริมาณสาร 2AP สูงใกล้เคียงกับข้าวพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 ซึ่งเป็นพันธุ์ข้าวหอมที่นิยมปลูกในประเทศไทยปัจจุบัน

กลิ่นหอมของข้าวหอมเป็นหนึ่งในลักษณะคุณภาพเมล็ดที่ถูกควบคุมด้วยพันธุกรรม จากงานวิจัยก่อนหน้า พบว่า กลิ่นหอมของข้าวหอมเกิดจากสาร

หอมระเหยหลายชนิดรวมกัน แต่สารประกอบหลักที่ให้กลิ่นหอม คือ 2-acetyl-1-pyrroline (2AP) ซึ่งเป็นสารชนิดเดียวกันกับที่พบในใบเตย สามารถพบสาร 2AP ได้ทุกส่วนของต้นข้าว ยกเว้นราก (Buttery *et al.*, 1983) สาร 2AP เกิดขึ้นในวิถีการสังเคราะห์ polyamine มีสารตั้งต้นคือกรดอะมิโนโพรลีน (proline) และมียีนด้อย *badh2* ควบคุมลักษณะความหอม ตั้งอยู่บนโครโมโซมคู่ที่ 8 โดยเปลี่ยนสาร GABald ไปเป็น 2AP ทำให้ข้าวมีกลิ่นหอม แต่ในกรณียีนเด่น *BADH2* ทำหน้าที่เปลี่ยนสาร GABald ไปเป็นสาร GABA ส่งผลให้ข้าวไม่มีกลิ่นหอม (Yoshihashi *et al.*, 2002) และยังมีการรายงานเกี่ยวกับยีนความหอมของข้าวอีกหลายชนิด เช่น ยีน *TPI* ที่มีส่วนเกี่ยวข้องกับสารเมทิลไกลออกซาล (methylglyoxal, MG) ซึ่งเป็นสารตั้งต้นของสาร 2AP ในข้าวหอมและสิ่งมีชีวิตอื่น ๆ ได้จากการผ่านกระบวนการไกลโคไลซิส โดย MG มีปริมาณเพิ่มขึ้นเมื่อต้นข้าวอยู่ในภาวะเครียด และการเพิ่มขึ้นของ MG มีผลทำให้ 2AP เพิ่มขึ้น (Wakte *et al.*, 2017)

นอกจากปัจจัยทางด้านพันธุกรรมแล้ว ยังมีปัจจัยจากสภาพแวดล้อม การจัดการต่าง ๆ เช่น การให้ปุ๋ย (Yang *et al.*, 2012) การให้น้ำ (Li *et al.*, 2021) ตลอดจนถึงวิธีการจัดการหลังการเก็บเกี่ยว ที่มีผลต่อความหอมของข้าว จากรายงานของ Itani *et al.* (2004) ที่ศึกษาเกี่ยวกับความแปรปรวนที่เกิดขึ้นกับคุณภาพด้านความหอมของข้าว พบว่า ปริมาณของสารหอม 2AP แปรผันไปตามสภาพแวดล้อมระหว่างฤดูปลูก เช่นเดียวกับ Tejakum *et al.* (2019) ที่ศึกษาอิทธิพลของพื้นที่ปลูกต่อผลผลิต คุณภาพเมล็ด และความหอมของข้าวพื้นเมืองพันธุ์บือเนอมูในสองพื้นที่ปลูกที่มีระดับความสูงเหนือระดับน้ำทะเลต่างกัน พบว่า การปลูกในแปลงทดลองที่ลุ่มให้ผลผลิตมากกว่าปลูกในพื้นที่สูง แต่การปลูกในแปลงทดลองพื้นที่สูงข้าวมีกลิ่นหอมมากกว่าปลูกในพื้นที่ลุ่ม นอกจากนี้ จากการศึกษาของ Zhong and Tang (2014) พบว่า เมื่อใส่ปริมาณปุ๋ยไนโตรเจนเพิ่มขึ้น มีผลให้สาร 2AP ในเมล็ดเพิ่มขึ้น ทำให้ความเข้มข้นของสารโพรลีนในใบและเมล็ดเพิ่มขึ้น และการใส่ปริมาณไนโตรเจนในอัตราที่แตกต่างกันมีผลต่อผลผลิตข้าว

ไนโตรเจนเป็นหนึ่งในธาตุอาหารหลักและส่วนประกอบที่สำคัญของกรดอะมิโน โปรตีน กรดนิวคลีอิก และเอนไซม์สำคัญในส่วนต่าง ๆ ของเซลล์พืชที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการเมแทบอลิซึมภายในพืช ซึ่งเป็นกระบวนการที่มีบทบาทสำคัญเกี่ยวข้องกับการเจริญเติบโตของพืช (Teh *et al.*, 2016) ทั้งในระยะการเจริญเติบโตทางราก ลำต้น ใบ (vegetative growth) และการเจริญเติบโตทางการสืบพันธุ์ (reproductive growth) (Slocum, 1991) นอกจากนี้ ไนโตรเจนยังมีส่วนเกี่ยวข้องกับความหอมของข้าวหอมในด้านการสะสมโพรลีนและสาร 2AP ในข้าวอีกด้วย (Yoshihashi *et al.*, 2002) จากรายงาน Monggoot *et al.* (2014) พบว่าข้าวขาวดอกมะลิ 105 ที่ได้รับไนโตรเจนมากทำให้ปริมาณสาร 2AP ในเมล็ดน้อย ในขณะที่การศึกษาของ Mo *et al.* (2018) กลับพบว่าการใส่ไนโตรเจนเพิ่มขึ้นทำให้การสะสมของโพรลีนในใบและเมล็ดเพิ่มขึ้น มีผลทำให้ปริมาณ 2AP ในเมล็ดเพิ่มขึ้น ส่งผลให้กลิ่นหอมในเมล็ดข้าวมากขึ้น ดังนั้น งานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อประเมินผลของการใส่ปุ๋ยไนโตรเจนต่อปริมาณสารโพรลีน ผลผลิต องค์ประกอบผลผลิต คุณภาพเมล็ด รวมทั้งการแสดงออกของยีนที่ควบคุมลักษณะความหอมในข้าวหอมพื้นเมืองไทย เพื่อนำไปสู่วิธีการจัดการการใช้ไนโตรเจนได้อย่างเหมาะสม ซึ่งอาจช่วยพัฒนาคุณสมบัติความหอมของข้าวหอมให้ดียิ่งขึ้น

อุปกรณ์และวิธีการ

แผนการทดลองและการปลูกข้าว

งานวิจัยนี้ทดลองที่สาขาวิชาพืชไร่ ศูนย์วิจัยสาธิตและฝึกอบรมการเกษตรแม่เหียะ คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ ในช่วงฤดูฝนตั้งแต่เดือนกรกฎาคม - ธันวาคม พ.ศ. 2561 วางแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ (CRD) จำนวน 3 ซ้ำ ประกอบด้วยการใส่ปุ๋ยไนโตรเจนในรูปของยูเรีย (46 - 0 - 0) จำนวน 6 ระดับ ได้แก่ 30, 60, 90, 120, 150 และ 180 กิโลกรัมไนโตรเจนต่อไร่ โดยแบ่งใส่ปุ๋ยในอัตราที่เท่ากัน จำนวน 3 ครั้ง คือ

ระยะแตกกอ (15 วันหลังย้ายปลูก) ระยะตั้งท้อง (45 วันหลังย้ายปลูก) และระยะออกดอก (70 วันหลังย้ายปลูก) ใส่ปุ๋ยทริปเปิลซุปเปอร์ฟอสเฟต (0 - 46 - 0) และปุ๋ยโพแทสเซียมซัลเฟส (0 - 0 - 60) ในอัตรา 50 และ 100 กิโลกรัมต่อไร่ ตามลำดับ ก่อนย้ายกล้าปลูก 1 วัน ส่วนข้าวหอมพันธุ์พื้นเมืองไทยที่ใช้ในการทดลอง คือ ข้าวพันธุ์บือเนอมู 4 (BNM4) โดยปลูกในกระถางที่มีเส้นผ่าศูนย์กลาง 30 เซนติเมตร ความสูง 28 เซนติเมตร บรรจุดิน 13 กิโลกรัม เท่ากันทุกกระถาง ดินที่ใช้ปลูกมีลักษณะเป็นดินร่วนปนทราย (sandy loam) โดยปลูกย้ายกล้าข้าวจำนวน 5 ต้นต่อกระถาง

วิเคราะห์ปริมาณสารโพรลีน

เตรียมตัวอย่างใบข้าวหลังใส่ปุ๋ยไนโตรเจน 7 วัน โดยเก็บจากใบข้าวอ่อนสุดที่แผ่ขยายใบเต็มที่ (youngest emerged blade, YEB) จำนวน 1 ใบ ทำเครื่องหมายกำกับต้นที่เก็บตัวอย่าง ตัวอย่างละ 1 ต้นต่อกระถาง เพื่อวิเคราะห์ปริมาณสารโพรลีนใน 3 ระยะ ได้แก่ ระยะแตกกอ ระยะตั้งท้อง และระยะออกดอก วิธีการดัดแปลงมาจากการทดลองของ Bates *et al.* (1973) โดยนำตัวอย่างใบข้าวมาบดด้วยไนโตรเจนเหลวให้เป็นผงละเอียดน้ำหนัก 0.5 กรัม เติมสารละลายซัลโฟซาลิไซลิกแอซิค ความเข้มข้น 3 เปอร์เซ็นต์ 4 มิลลิกรัม เขย่าให้เข้ากันแล้วนำไปต้มในน้ำเดือด 10 นาที นำออกมาแช่น้ำเย็นก่อนนำไปปั่นเหวี่ยงที่ความเร็ว 6,000 รอบต่อนาที เป็นเวลา 10 นาที ดูดสารละลายใสชั้นบน 2 มิลลิกรัม เติมสารละลายผสมนินไฮดรินแอซิค (ninydrin 2.5 กรัม + glacial acetic acid 60 มิลลิกรัม + 6M phosphoric acid 40 มิลลิกรัม) 2 มิลลิกรัม และกรดอะซิติก 2 มิลลิกรัม นำไปต้มในน้ำเดือดที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง และนำออกมาหยุดปฏิกิริยาด้วยการแช่น้ำแข็ง ตั้งทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้อง 5 นาที และเติมโทลูอีน 4 มิลลิกรัม เขย่าให้สารเข้ากันแล้วตั้งทิ้งไว้ให้แยกชั้น ดูดสารละลายใสชั้นบนไปวัดค่าดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 520 นาโนเมตร ด้วยเครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ (spectrophotometer) โดยใช้โทลูอีนเป็นตัวเปรียบเทียบ (blank) กับกราฟมาตรฐาน (standard curve) ของสารโพรลีน

วิเคราะห์ผลผลิตและองค์ประกอบผลผลิต

เก็บเกี่ยวผลผลิตและบันทึกองค์ประกอบผลผลิตในระยะสุกแก่ แต่ละตัวอย่างบันทึกข้อมูลความสูงต้นโดยวัดจากพื้นดินถึงปลายใบยอดหรือปลายใบธง จำนวนรวงต่อต้น โดยวัดทุกต้น จากนั้นสุ่มเก็บตัวอย่าง 2 รวง นำมานับจำนวนเมล็ดดีต่อรวง คำนวณเปอร์เซ็นต์เมล็ดดี และชั่งน้ำหนัก 100 เมล็ด เก็บเกี่ยวผลผลิตแยกส่วนเมล็ดกับฟางออกจากกัน โดยนำส่วนฟางไปอบที่อุณหภูมิ 75 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 72 ชั่วโมง จากนั้นนำฟางมาชั่งน้ำหนักแห้ง และบันทึกข้อมูล ส่วนของเมล็ดที่ได้นำไปตากแดด ชั่งน้ำหนักเมล็ด บันทึกความชื้นเพื่อคำนวณผลผลิตเมล็ดที่ความชื้น 14 เปอร์เซ็นต์ ก่อนนำไปเก็บในตู้ควบคุมอุณหภูมิที่ -20 องศาเซลเซียส เพื่อรอการทดสอบความหอม

ตรวจสอบความหอมของเมล็ดข้าว

ทดสอบความหอมเบื้องต้นด้วยการดมกลิ่น (ดัดแปลงจากวิธีการของ Sood and Siddiq, 1978) โดยสุ่มเมล็ดข้าวที่ระยะสุกแก่ทางสรีรวิทยาจากแต่ละซ้ำ ซ้ำละ 10 เมล็ด รวมทั้งสิ้น 30 เมล็ด นำมาแกะเปลือกเป็นข้าวกล้องใส่ในหลอดทดลอง ขนาด 1.5 มิลลิกรัม เติมสารละลายโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ (KOH) 1.7 เปอร์เซ็นต์ 850 ไมโครลิตร ปิดฝาแช่ทิ้งไว้ 10 นาที นำไปให้ผู้ทดสอบจำนวน 20 คน ดมกลิ่นและบันทึกข้อมูล โดยมีเกณฑ์การให้ระดับความหอมดังนี้ ไม่มีกลิ่นหอม = 0 คะแนน กลิ่นหอมอ่อนหรือหอมน้อย = 1 คะแนน และมีกลิ่นหอมมากดมแล้วขึ้นจมูกมีกลิ่นหอมคล้ายใบเตย = 2 คะแนน

ทดสอบความอ่อนนุ่มของเมล็ดข้าว

ทดสอบความอ่อนนุ่มของเมล็ดข้าวด้วยวิธีการสลายตัวในด่าง (alkali test) (ดัดแปลงจากวิธีการของ Little *et al.* 1958) โดยนำเมล็ดจากแต่ละซ้ำ ซ้ำละ 10 เมล็ด รวมทั้งสิ้น 30 เมล็ด แกะเปลือกเป็นข้าวกล้องและหักเมล็ด ใส่ลงในจานหลุมพลาสติก (microwell plate) หลุมละ 1 เมล็ด เติมสารละลายโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ ความเข้มข้น 1.7 เปอร์เซ็นต์

350 ไมโครลิตรต่อหลุม ตั้งทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลานาน 23 ชั่วโมง จากนั้นประเมินระดับของการสลายตัวในด่าง โดยแบ่งระดับการสลายตัวของเมล็ดเป็น 7 ระดับ (Table 1)

วิเคราะห์การแสดงออกของยีน

การสกัด RNA และการสังเคราะห์ complementary DNA (cDNA)

เก็บตัวอย่างดอกข้าวจำนวน 7 - 10 ดอกที่ระยะ 5 วันหลังดอกบาน 50 เปอร์เซ็นต์ มาบดด้วยไนโตรเจนเหลวให้ละเอียดเพื่อนำไปสกัดอาร์เอ็นเอ (RNA) ด้วย NucleoZOL จากนั้นนำ RNA ที่สกัดได้ไปวิเคราะห์ปริมาณและคุณภาพความเข้มข้นด้วยเครื่อง nanodrop spectrophotometer นำ RNA ที่สกัดได้มากำจัดดีเอ็นเอที่ปนเปื้อนด้วย DNase I, RNase-free (1 U/ไมโครลิตร) (Thermo Scientific) ที่ 20 ไมโครลิตร ประกอบด้วย RNA 1 ไมโครกรัม, 10x reaction buffer 2 ไมโครลิตร, DNase1 1 ไมโครลิตร และ DEPC-treated water 9 - 15 ไมโครลิตร จากนั้นนำไปบ่มที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส 30 นาที แล้วเติม 50 mM EDTA 1 ไมโครลิตร บ่มที่อุณหภูมิ 65 องศาเซลเซียส 10 นาที แล้วสังเคราะห์ cDNA จาก RNA 40 ไมโครลิตร โดยวิธีการทำปฏิกิริยา reverse-transcription polymerase chain reaction (RT-PCR) ด้วย RevertAid First Strand cDNA Synthesis Kit (Thermo Scientific) โดยทำในหลอด microtube ขนาด 0.2 มิลลิกรัม ประกอบด้วย RNA (treated-DNase I) 1 ไมโครกรัม, Primer Oligo (dT) 1 ไมโครลิตร, 5x RT buffer 4 ไมโครลิตร, RiboLock RNase Inhibitor (20 U/ไมโครลิตร) 1 ไมโครลิตร, 10mM dNTP mix 2 ไมโครลิตร, RevertAid RT (200 U/ไมโครลิตร) 1 U/ไมโครลิตร และ DEPC-treated water 1 U/ไมโครลิตร จากนั้นนำไปบ่มที่อุณหภูมิ 42 องศาเซลเซียส 60 นาที และ 70 องศาเซลเซียส 5 นาที เมื่อปฏิกิริยาเสร็จสิ้นแล้วนำไปแช่ที่ตู้ -20 องศาเซลเซียส ทันที และตรวจสอบการแสดงออกของยีนด้วย 1.5 เปอร์เซ็นต์ agarose gel electrophoresis

การประเมินการแสดงออกของยีนด้วยเทคนิค Semi-quantitative RT-PCR

นำ cDNA ที่ได้มาประเมินการแสดงออกของยีนด้วยเทคนิค semi-quantitative RT-PCR โดยใช้เทคนิค polymerase chain reaction (PCR) ในการเพิ่ม ปริมาณ ใช้ primer ที่เฉพาะเจาะจงกับยีน *badh2* และ *TPI* (Table 2) และตรวจสอบการแสดงออกของยีนด้วย 1.5 เปอร์เซ็นต์ agarose gel electrophoresis และวิเคราะห์ข้อมูลการแสดงออกของยีนด้วยโปรแกรม ImageJ เวอร์ชัน 1.50i (Wayne Rasband National Institutes of Health, USA) โดยวัดค่าความเข้ม (intensity) ของแถบดีเอ็นเอ ซึ่งจะเปรียบเทียบการแสดงออกของยีนที่ศึกษากับ actin (housekeeping gene) เพื่อหาค่า relative intensity เปรียบเทียบความแตกต่างค่าเฉลี่ยโดยใช้ค่า least significant difference (LSD) ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์

Table 1. The criterion used to determine scores of alkali test

Score*	Morphological changes of rice grain	Gelatinization temperature
1	Grain not affected	High (>75 °C)
2	Grain swollen	
3	Grain swollen and collar incomplete and narrow	
4	Grain swollen and collar incomplete and wide	Medium (70 - 74 °C)
5	Grain split or segmented and collar complete and wide	
6	Grain dispersed and merging with collar	Low (< 69 °C)
7	Grain completely dispersed and intermingled	

*Score 1 - 3 = grain quality is hard texture, score 4 - 5 = grain quality is intermediate texture, score 6 - 7 = grain quality is soft texture

Table 2. Primers used for study gene expression of 3 genes

Genes	Forward sequence	Reverse sequence
actin	5’-GACTATGGTGATGGTGTCAGC-3’	5’-GGCTGGAAGAGGACCTCAGG-3’
badh2	5’-TGTGCTAAACATAGTGACTGG-3’	5’-CTTAACCATAGGAGCAGCT-3’
TPI	5’-ATCAGATGAACTGAAAGTGCCGTT-3’	5’-GACTACGAAAACAAGTAATCAT-3’

การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ

วิเคราะห์ความแปรปรวนของข้อมูลโดยวิธี analysis of variance (ANOVA) และเปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างค่าเฉลี่ยโดยหาค่า LSD ด้วยโปรแกรมสำเร็จรูปทางสถิติ (Statistic version 8.0) ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ ($P < 0.05$)

ผลการศึกษา

ปริมาณสารโพรลีนในใบข้าว

อัตราปุ๋ยไนโตรเจนและระยะการเจริญเติบโตของข้าวมีปฏิสัมพันธ์ร่วมกันต่อปริมาณสารโพรลีนในใบข้าว BNM4 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) (Figure 1) โดยพบว่า การใส่ปุ๋ยไนโตรเจนเพิ่มขึ้นจาก 30 ถึง 180 กิโลกรัมไนโตรเจนต่อไร่ ไม่มีผลต่อปริมาณสารโพรลีนในใบข้าวที่ระยะแตกกอ โดยมีค่าเฉลี่ยของปริมาณโพรลีนเท่ากับ 0.13 ไมโครโมลต่อกรัมของน้ำหนักสด และระยะออกดอก มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.63 ไมโครโมลต่อกรัมของน้ำหนักสด ขณะที่ระยะตั้งท้องพบว่า การใส่ปุ๋ยไนโตรเจนจาก 30, 60, 90 และ 120 กิโลกรัมไนโตรเจนต่อไร่ ไม่มีผลต่อปริมาณสารโพรลีนในใบข้าว โดยมีค่าเท่ากับ 0.34, 0.40, 0.71 และ 0.88 ไมโครโมลต่อกรัมของน้ำหนักสด ตามลำดับ แต่เมื่อเพิ่มการใส่ปุ๋ยไนโตรเจนที่อัตรา 150 และ 180 กิโลกรัมไนโตรเจนต่อไร่ ทำให้ปริมาณสารโพรลีนในใบเพิ่มขึ้น และมีค่ามากที่สุดเมื่อใส่ไนโตรเจนอัตรา 180 กิโลกรัมไนโตรเจนต่อไร่ เท่ากับ 2.41 ไมโครโมลต่อกรัมของน้ำหนักสด

ผลผลิตและองค์ประกอบผลผลิต

จากผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติ ผลผลิต และองค์ประกอบผลผลิตของข้าวพันธุ์ BNM4 พบอิทธิพลของระดับปุ๋ยในทุกลักษณะที่ศึกษา โดยรายละเอียดของแต่ละลักษณะที่ศึกษามีดังต่อไปนี้ (Table 3)

น้ำหนักเมล็ดต่อต้นของ BNM4 ไม่แตกต่างกันเมื่อเพิ่มอัตราปุ๋ยไนโตรเจนจาก 30 เป็น 60 กิโลกรัมไนโตรเจนต่อไร่ มีค่าเท่ากับ 3.2 กรัมต่อต้น แต่เมื่อเพิ่มอัตราปุ๋ยไนโตรเจนเป็น 90 ถึง 180 กิโลกรัมไนโตรเจนต่อไร่ ผลผลิตที่ได้เพิ่มขึ้นโดยเฉลี่ยเป็น 3.5 กรัมต่อต้น น้ำหนักแห้งฟางเพิ่มขึ้นตามอัตราปุ๋ยไนโตรเจนและมีปริมาณสูงสุดที่อัตราปุ๋ยไนโตรเจน 180 กิโลกรัมไนโตรเจนต่อไร่ เท่ากับ 19.7 กรัมต่อกระถาง ส่วนความสูงต้นไม่แตกต่างกันที่อัตราปุ๋ยไนโตรเจน 30 และ 60 กิโลกรัมไนโตรเจนต่อไร่ มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 103.4 เซนติเมตร แต่เมื่อเพิ่มปุ๋ยไนโตรเจนเป็น 90 ถึง 180 กิโลกรัมไนโตรเจนต่อไร่ ความสูงต้นเพิ่มขึ้นมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 124.6 เซนติเมตร จำนวนรวงต่อต้นเพิ่มขึ้นตามอัตราปุ๋ยไนโตรเจนและที่ระดับปุ๋ย 150 และ 180 กิโลกรัมไนโตรเจนต่อไร่ มีจำนวนรวงต่อต้นเฉลี่ยสูงสุดเท่ากับ 4 รวง จำนวนเมล็ดดีต่อรวงมีค่าเพิ่มขึ้นตามอัตราปุ๋ยไนโตรเจนที่เพิ่มขึ้นและมีจำนวนเมล็ดดีต่อรวงเฉลี่ยสูงสุดที่ 120 ถึง 180 กิโลกรัมไนโตรเจนต่อไร่ เท่ากับ 119 เมล็ด เช่นเดียวกับ เปอร์เซ็นต์เมล็ดดีของ BNM4 ที่เพิ่มขึ้นตามอัตราปุ๋ยไนโตรเจนที่เพิ่มขึ้นและที่ระดับ 120 ถึง 180 กิโลกรัมไนโตรเจนต่อไร่ มีเปอร์เซ็นต์เมล็ดดีเฉลี่ยสูงสุดเท่ากับ 91.6 เปอร์เซ็นต์ ส่วนน้ำหนัก 100 เมล็ดของ BNM4 ไม่ต่างกันเมื่อใส่ปุ๋ยไนโตรเจน

ที่ระดับ 30, 60 และ 120 กิโลกรัมไนโตรเจนต่อไร่ มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 3.8 กรัม แต่เมื่อใส่ปุ๋ยไนโตรเจนเป็น 90, 150 และ 180 กิโลกรัมไนโตรเจนต่อไร่ น้ำหนัก 100 เมล็ดเพิ่มขึ้นสูงสุดเฉลี่ยเท่ากับ 4.4 กรัม

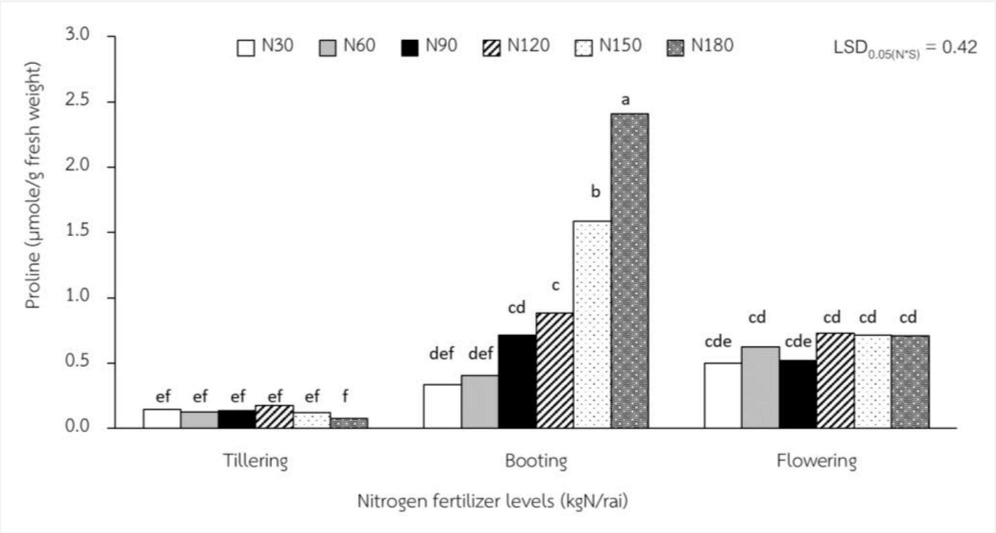


Figure 1. Effects of N rates on proline in rice variety Buer Ner Moo 4. The values are means of three replications. The different letters indicate significant differences by $LSD_{0.05}$. (N = nitrogen rate, S = growth stages, N*S = interaction effects between nitrogen rate and growth stages)

Table 3. Analysis of variances on the effects of yield and yield components on 6 N fertilizer rates in rice variety Buer Ner Moo 4

N rate (kgN/rai)	Grain yield (g/plant)	Straw dry weight (g/plant)	Plant height (cm)	No. of panicles/ plant	No. of spikelets/ panicle	Filled grain (%)	100 grain weight (g)
30	3.2c	7.8e	103.4b	2.7d	74.8c	69.0c	3.8b
60	3.2c	8.8de	103.4b	3.0cd	78.9c	73.4c	3.9b
90	3.5ab	11.3cd	120.3a	3.0cd	102.6b	84.2b	4.4a
120	3.3bc	13.1bc	118.9ab	3.7bc	108.4ab	89.4ab	4.0b
150	3.5ab	15.3bc	126.5a	4.0ab	120.3ab	92.3a	4.4a
180	3.6a	19.7a	132.6a	4.7ab	129.6a	93.3a	4.4a
F-test	**	***	**	***	***	***	**
CV (%)	3.5	13.7	7.8	14.8	11.7	5.2	3.9

** and *** indicate the significant at $P < 0.01$ and 0.001, respectively, while ns is not significant. Means in the same column followed by different letters indicate significant differences at $P < 0.05$

ความหอมของข้าว

จากการทดสอบความหอมของเมล็ดข้าว โดยวิธีการดมกลิ่น จากผู้ร่วมทดสอบจำนวน 20 คน (Table 4) พบว่า อัตราปุ๋ยไนโตรเจนที่ 30 กิโลกรัมไนโตรเจนต่อไร่ ทำให้เมล็ดข้าวมีกลิ่นหอมอ่อน และที่ 60 กิโลกรัมไนโตรเจนต่อไร่ มีกลิ่นหอมมากถึงหอมอ่อน แต่เมื่อเพิ่มอัตราปุ๋ยไนโตรเจนเป็น 90 ถึง 180 กิโลกรัมไนโตรเจนต่อไร่ กลิ่นหอมของเมล็ดข้าวที่ได้กลับมีกลิ่นหอมลดลงจนไม่มีกลิ่น

ความอ่อนนุ่มของเมล็ดข้าว

จากการทดสอบความอ่อนนุ่มของเมล็ดข้าวโดยวิธีการสลายตัวในด่าง (Table 4) พบว่า การใส่อัตราปุ๋ยไนโตรเจนในข้าวพันธุ์ BNM4 มีค่าเฉลี่ยการสลายตัวในด่างอยู่ระหว่าง 4.2 - 4.5 ซึ่งเป็นช่วงอุณหภูมิแป้งสุกปานกลาง

การแสดงออกของยีน

การแสดงออกของยีน *badh2* ในข้าว BNM4 มีความแตกต่างกันทางสถิติภายใต้การจัดการปุ๋ยไนโตรเจนที่แตกต่างกัน (Figure 2a) โดยพบว่า การแสดงออกของยีน *badh2* มีค่ามากที่สุด เมื่อให้ปุ๋ยไนโตรเจนที่อัตรา 30 กิโลกรัมไนโตรเจนต่อไร่ มีค่าเท่ากับ 2.14 รองลงมาได้แก่ที่ 60, 120, 180 และ150 กิโลกรัมไนโตรเจนต่อไร่ มีค่าเท่ากับ 1.60, 1.37, 0.98 และ 0.87 ตามลำดับ เมื่อให้ปุ๋ยไนโตรเจนที่อัตรา 90 กิโลกรัมไนโตรเจนต่อไร่ พบว่า มีการแสดงออกของยีน *badh2* น้อยที่สุด เท่ากับ 0.40 ส่วนการแสดงออกของยีน *TPI* (Figure 2b) พบว่า การให้ปุ๋ยไนโตรเจนที่ 120 กิโลกรัมไนโตรเจนต่อไร่ มีค่าการแสดงออกของยีนมากที่สุดเท่ากับ 2.67 ส่วนการให้ปุ๋ยไนโตรเจน 150 และ 180 กิโลกรัมไนโตรเจนต่อไร่ มีการแสดงออกของยีน *TPI* น้อยที่สุด โดยมีค่าเท่ากันคือเท่ากับ 1.40

วิจารณ์

จากการทดลอง พบว่า ปริมาณสารโพรลีนในใบมีค่ามากที่สุดที่ระยะตั้งท้องและมีค่าเพิ่มขึ้นตามอัตราการให้ปุ๋ยไนโตรเจนที่เพิ่มขึ้น โดยมีค่ามากที่สุดที่อัตราปุ๋ยไนโตรเจน 180 กิโลกรัมไนโตรเจนต่อไร่ ซึ่งสารโพรลีนเป็นสารตั้งต้นของ 2AP สอดคล้องกับ Hinge *et al.* (2016) ที่พบว่าปริมาณสาร 2AP เพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องตั้งแต่ระยะต้นกล้าจนถึงระยะตั้งท้อง โดยมีปริมาณสาร 2AP มากที่ระยะตั้งท้อง เป็นไปได้ว่าระยะตั้งท้องเป็นช่วงที่เริ่มกระบวนการสังเคราะห์และสะสมสารที่สำคัญต่อการเจริญเติบโตของต้นข้าว โดยการใส่ปุ๋ยไนโตรเจนและน้ำช่วงระหว่างระยะการเจริญเติบโตและการพัฒนาของข้าวหอมเป็นช่วงที่มีความสำคัญมาก (Ren *et al.*, 2017) จากการศึกษาที่ผ่านมามีรายงานว่า โพรลีนมีบทบาทสำคัญในการพัฒนาระบบสืบพันธุ์โดยเฉพาะอย่างยิ่งในช่วงระหว่างการพัฒนาดอกและยังทำหน้าที่เป็นแหล่งพลังงานในละอองเกสร (Lehmann *et al.*, 2010) นอกจากนี้ มีรายงานว่าไนโตรเจนมีผลต่อการสะสมของสารโพรลีนและสาร 2AP ในข้าว โดย Yang *et al.* (2012) ศึกษาความสัมพันธ์ของความหอมกับปริมาณไนโตรเจนในดิน พบว่า โพรลีนมีค่าสูงในเมล็ดข้าวหอมที่ปลูกในแปลงนาที่มีไนโตรเจนสูง โดยยิ่งค่าโพรลีนสูงมีส่วนช่วยในการสะสมกลิ่นหอมในเมล็ดให้มากขึ้น เนื่องจากโพรลีนเป็นแหล่งไนโตรเจนของสารหอมในข้าวหอม (Yoshihashi *et al.*, 2004) จากการศึกษาของ Zhong and Tang (2014) พบว่า ปริมาณของโพรลีนในใบและเมล็ดเพิ่มขึ้นจากการเพิ่มขึ้นของปริมาณไนโตรเจน และค่าโพรลีนที่สูงขึ้นสามารถช่วยให้มีการสะสมกลิ่นหอมในเมล็ดมากขึ้น ดังนั้น การใส่ปุ๋ยไนโตรเจนเพิ่มขึ้นจึงทำให้ปริมาณสารโพรลีนในใบที่เพิ่มขึ้นด้วย แต่อย่างไรก็ตาม บทบาทของสารโพรลีนนอกจากเป็นสารตั้งต้นที่ทำให้เกี่ยวข้องความหอมแล้วยังมีความเกี่ยวข้องกับการปรับตัวของพืชเมื่อพืชเกิดความเครียดก็มีผลทำให้ปริมาณสาร 2AP เพิ่มขึ้นได้ (Lutts *et al.*, 1996) สอดคล้องกับงานของ Gay *et al.* (2010) ที่กล่าวถึง

Table 4. Sensory and alkali test on 6 N fertilizer rates in rice variety Buer Ner Moo 4

N rate (kgN/rai)	Sensory test*	Alkali test	
		Spreading value	Gelatinization temperature
30	Moderate fragrant	4.2	Medium
60	Moderate fragrant to high fragrant	4.2	Medium
90	Non fragrant to moderate fragrant	4.3	Medium
120	Non fragrant to moderate fragrant	4.4	Medium
150	Non fragrant	4.3	Medium
180	Non fragrant to moderate fragrant	4.5	Medium

*Sensory test from 20 testers

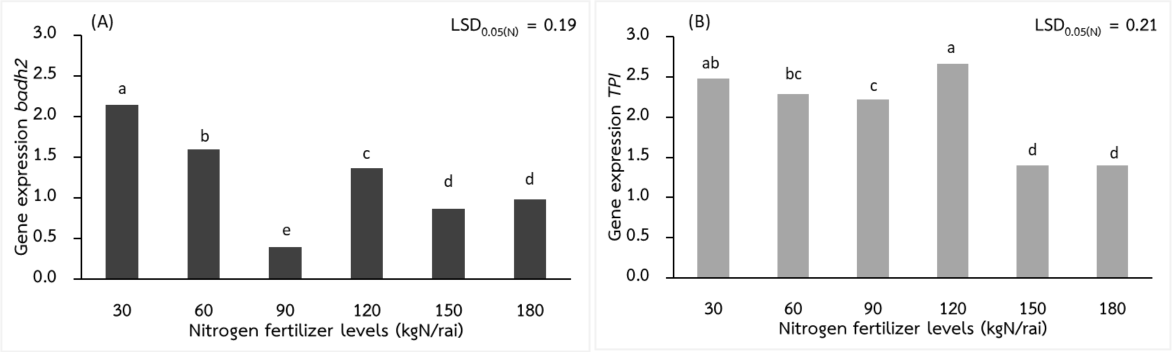


Figure 2. Effects of N rates on genes expression of *badh2* (A) and *TPI* (B) in rice variety Buer Ner Moo 4. The different letters indicate significant differences by $LSD_{0.05}$. (N = nitrogen rate)

คุณภาพของเมล็ดข้าวว่าความหอมสามารถแปรผันตามปัจจัยสภาพแวดล้อมและวิธีการจัดการดูแล โดยความเค็มมีผลในทางบวกต่อค่า 2AP โดยความเครียดจากความเค็มระยะก่อนออกดอก มีผลทำให้ปริมาณสาร 2AP เพิ่มขึ้น และผลการตอบสนองต่อการใช้ปุ๋ยไนโตรเจนต่อความเข้มข้น 2AP ในเมล็ดยังขึ้นอยู่กับพันธุ์ข้าวที่ใช้ด้วย (Kongpun and Thebault Prom-u-thai, 2021) ผลผลิตและองค์ประกอบผลผลิต พบว่าปริมาณผลผลิตที่ได้มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามอัตราปุ๋ยไนโตรเจนที่ใส่เพิ่มขึ้น ทั้งนี้อาจเนื่องจากปุ๋ยไนโตรเจนมีผลต่อการเพิ่มความสูง จำนวนรวงต่อต้น จำนวนเมล็ดดีต่อรวง เปอร์เซ็นต์เมล็ดดี น้ำหนัก 100 เมล็ด และน้ำหนักแห้งฟางของข้าว จากผลดังกล่าวแสดงให้เห็นว่าไนโตรเจนมีบทบาทสำคัญต่อการเจริญเติบโตทางลำต้นและใบ และระยะสืบพันธุ์ในข้าว (Guindo *et al.*, 1992) สอดคล้องกับ Tayefe *et al.* (2014) ที่พบว่า การใส่ปุ๋ยไนโตรเจนช่วยเพิ่มผลผลิตและองค์ประกอบผลผลิตของข้าวอย่างมีนัยสำคัญ ซึ่งเป็นไปในทางเดียวกับการศึกษาของ Channoei *et al.* (2020) พบว่า การใส่ปุ๋ยไนโตรเจนอัตราที่สูงขึ้นไม่ทำให้ความเข้มข้นของไนโตรเจนในเนื้อเยื่อข้าวส่วนต่าง ๆ เพิ่มขึ้น แต่ส่งผลให้ข้าวมีน้ำหนักแห้งของราก ลำต้น ใบ และรวงมากขึ้น แสดงให้เห็นว่าความเข้มข้นของไนโตรเจนในเนื้อเยื่อของข้าวไม่มีความสัมพันธ์กับผลผลิตของข้าว

ความหอมของเมล็ด พบว่า การใส่ปุ๋ยไนโตรเจนในอัตราเพิ่มขึ้นมีผลทำให้กลิ่นหอมของเมล็ดข้าวลดลง แต่จากการศึกษาของ Thonglem (2014) รายงานว่าการจัดการไนโตรเจนและแคลเซียมไม่มีผลต่อปริมาณสารหอม 2AP ในเมล็ดข้าวหอม และ Prachayavirojana (2014) พบว่า การจัดการปุ๋ยไนโตรเจนและการใช้สารโพแทสเซียมไอโอไดด์ ไม่มีผลต่อปริมาณสารหอม 2AP ของข้าวหอม จากผลที่ได้ก่อนหน้า พบว่า ปริมาณของสารโพรลีนในใบเพิ่มขึ้นตามระดับปุ๋ยไนโตรเจนที่เพิ่มขึ้น แต่ความหอมในเมล็ดที่ประเมินด้วยวิธีการดมกลิ่นกลับมีความหอมลดลง คาดว่าสาเหตุอาจเกิดจากในช่วงเวลาที่ทำการเก็บเกี่ยวผลผลิตมีอุณหภูมิสูง จึงทำให้ความหอมของข้าวลดลง (Itani *et al*., 2004) หรือเกิดจากความคลาดเคลื่อนของคะแนนความหอมจากผู้ร่วมทดสอบที่มีประสาทสัมผัสในการดมกลิ่นแตกต่างกัน

จากการทดสอบการสลายตัวของเมล็ดข้าวในด่าง ซึ่งเป็นการตรวจสอบลักษณะด้านคุณภาพความอ่อนนุ่มของเมล็ดข้าวที่มีความสัมพันธ์กับอุณหภูมิแป้งสุก โดยข้าวที่มีอุณหภูมิแป้งสุกต่ำมีความอ่อนนุ่มมากกว่าข้าวที่มีอุณหภูมิแป้งสุกสูง (Kuntawong *et al*., 2015) ผลการทดลองนี้ พบว่า การจัดการปุ๋ยไนโตรเจนไม่มีผลต่อความอ่อนนุ่มของเมล็ดข้าว โดยข้าวพันธุ์บือเนอมู 4 เป็นข้าวที่มีความอ่อนนุ่มปานกลาง สอดคล้องกับ Tejakum *et al*. (2019) ที่รายงานว่าคุณภาพข้าวหุงสุกของข้าวหอมพื้นเมืองพันธุ์บือเนอมู เป็นข้าวที่มีความอ่อนนุ่มในระดับปานกลาง ซึ่งมีความอ่อนนุ่มของเมล็ดข้าวน้อยกว่าข้าวพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 สอดคล้องกับการศึกษาของ Tayefe *et al*. (2014) พบว่า การใช้ปุ๋ยไนโตรเจนในปริมาณที่ต่างกันไม่มีผลต่ออุณหภูมิแป้งสุก ซึ่งแตกต่างจาก Huang *et al*. (2020) ที่ศึกษาผลของปุ๋ยไนโตรเจนต่อคุณภาพในการบริโภคและการหุงต้มของข้าวญี่ปุ่นพันธุ์ Nanjing 9108 และ Huaidao 5 พบว่า คุณภาพด้านการบริโภคของข้าวทั้งสองพันธุ์ลดลงอย่างมีนัยสำคัญภายใต้การใส่ปุ๋ยไนโตรเจนที่มากเกินไป เป็นผลจากความเหนียว (stickiness) ที่ลดลงและการเสื่อมสภาพ (retrogradation) ของข้าวหุงสุก ซึ่งอาจเป็นผลจากปริมาณโปรตีนที่เพิ่มขึ้น และโครงสร้างของอะไมโลเพคติน (amylopectin) ที่เปลี่ยนแปลงไป นอกจากนี้ การสังเคราะห์อะไมโลเพคตินยังได้รับอิทธิพลมาจากปุ๋ยไนโตรเจนและลักษณะพันธุกรรมของพันธุ์ข้าวอีกด้วย

จากการประเมินผลการแสดงออกของยีนที่ระยะ 5 วันหลังดอกบาน 50 เปอร์เซ็นต์ มีการแสดงออกของยีน *badh2* และยีน *TPI* สูงสุดเมื่อใส่ปุ๋ยไนโตรเจนที่ระดับ 30 และ 120 กิโลกรัมไนโตรเจนต่อไร่ ตามลำดับ จากรายงานที่ผ่านมาพบว่า สารโพรลีนมีบทบาทสำคัญช่วงระยะออกดอก (Lehmann *et al*., 2010) สอดคล้องกับ Hinge *et al*. (2016) ที่พบว่า การแสดงออกยีน *badh2* มีความสัมพันธ์เชิงลบกับการสะสมสาร 2AP ในข้าวหอม และการแสดงออกของยีน *TPI* มีปริมาณน้อยในช่วงระยะออกดอกถึงระยะแป้งอ่อน นอกจากนี้ยังพบว่า ปริมาณสารโพรลีนมีปริมาณเพิ่มขึ้นเมื่อถึงระยะออกดอกและลดลงในระยะเติมเต็มเมล็ด จากการศึกษาของ Mo *et al*. (2016) พบว่า โพรลีนอาจถูกแปลงเป็นสาร 2AP ในเยื่อหุ้มลำต้นและใบก่อนถูกลำเลียงไปยังรวงหรือเมล็ดพืชซึ่งมีกลไกเดียวกัน และโพรลีนที่เหลือจากกระบวนการเมตาบอลิซึมเบื้องต้นอาจถูกนำไปสังเคราะห์เป็น 2AP ดังนั้น แม้มีปริมาณสารโพรลีนมากแต่ปริมาณสาร 2AP ที่ได้อาจมีปริมาณน้อยในช่อดอก (Hinge *et al*., 2016) นอกจากนี้ ยังมีปัจจัยที่ส่งเสริมการดูดซึมไนโตรเจน การลำเลียงสาร และการสะสมของไนโตรเจนในเนื้อเยื่อพืช อาจเป็นตัวแปรในการเพิ่มความเข้มข้นสาร 2AP ในเมล็ดของข้าวหอมอีกด้วย (Kongpun and Prom-u-thai, 2021) ดังนั้นจึงต้องพิจารณาอัตราการใช้ปุ๋ยและการจัดการให้เหมาะสมกับพันธุ์ข้าวชนิดนั้น ๆ ด้วย

สรุป

จากการศึกษาอิทธิพลของปุ๋ยไนโตรเจนที่มีผลต่อปริมาณสารโพรลีน ผลผลิต องค์ประกอบผลผลิต และคุณภาพเมล็ดในข้าวหอมพื้นเมืองพันธุ์บือเนอมู 4 พบว่า การจัดการปุ๋ยไนโตรเจนในอัตราที่ต่างกันมีผล

ทำให้ปริมาณสารโพรลีนในส่วนของใบในแต่ละระยะการเจริญเติบโตแตกต่างกันและมีค่าสูงที่ระยะตั้งท้อง ขณะที่ผลผลิตและองค์ประกอบผลผลิตนั้น พบว่ามีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามอัตราปุ๋ยไนโตรเจนที่สูงขึ้น ส่วนคุณภาพเมล็ด จากการทดสอบความหอม พบว่าการใส่ปุ๋ยไนโตรเจนที่ระดับ 60 กิโลกรัมไนโตรเจนต่อไร่ ให้กลิ่นหอมมากสุด และจากการทดสอบความอ่อนนุ่มของเมล็ดข้าวพบว่า การใส่ปุ๋ยไนโตรเจนเพิ่มขึ้นไม่ส่งผลต่อความอ่อนนุ่มของเมล็ดข้าว สำหรับการประเมินผลการแสดงออกของยีน *badh2* และยีน *TPI* พบว่า มีการแสดงออกของยีนสูงสุดเมื่อใส่ปุ๋ยไนโตรเจนที่ระดับ 30 และ 120 กิโลกรัมไนโตรเจนต่อไร่ ตามลำดับ ข้อมูลที่ได้จากการศึกษานี้อาจเป็นแนวทางการจัดการปุ๋ยไนโตรเจนให้เหมาะสม เพื่อประสิทธิภาพสูงสุดของการใช้ปุ๋ยไนโตรเจนในการเพิ่มผลผลิต และคุณภาพเมล็ดของข้าวหอมพื้นเมืองไทยให้ดีขึ้นในอนาคต แต่อย่างไรก็ตามก็ควรมีการทดลองที่คล้ายคลึงกันเพิ่มเติมอีกเพื่อยืนยันผลการตอบสนองต่อปุ๋ยไนโตรเจนในข้าวหอมพันธุ์พื้นเมืองไทย

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณงบประมาณในการวิจัยจากโครงการ Nutrient management, next generation sequencing technology and breeding for improving grain yield and nutritional quality in Thai local fragrant rice สนับสนุนโดย The Royal Society, United Kingdom และสำนักงานคณะกรรมการการอุดมศึกษา

เอกสารอ้างอิง

Bates, L.S., R.P Waldren and I.D. Teare. 1973. Rapid determination of free proline for water-stress studies. Plant and Soil 39(1): 205-207.

Buttery, R.G., L.C. Ling, B.O. Juliano and J.G. Turnbaugh. 1983. Cooked rice aroma and 2-acetyl-1-pyrroline. Journal of Agricultural and Food Chemistry 31(4): 823-826.

Channoei, T., S. Khempet, A. Shutsrirung, Y. Chromkaew and S. Jongkaewwattana. 2020. Nitrogen use efficiency and partitioning in relation to growth and yield of rice cv. Khao Dawk Mali 105 and cv. Homnil. Journal of Agriculture 36(1): 113-121. (in Thai)

Chan-in, P., S. Jamjod, N. Yimyam and T. Pusadee. 2019. Diversity of *BADH2* alleles and microsatellite molecules in highland fragrant rice landraces. Journal of Agriculture 35(1): 23-35. (in Thai)

Frankel, O.H., A.H.D. Brown and J.J. Burdon. 1995. The Conservation of Plant Biodiversity. Cambridge University Press, Cambridge. 316 p.

Gay, F., I. Maraval, S. Roques, Z. Günata, R. Boulanger, A. Audebert and C. Mestres. 2010. Effect of salinity on yield and 2-acetyl-1-pyrroline content in the grains of three fragrant rice cultivars (*Oryza sativa* L.) in Camargue (France). Field Crops Research 117(1): 154-160.

Guindo, D., B.R. Wells, C.E. Wilson and R.J. Norman. 1992. Seasonal accumulation and partitioning of nitrogen-15 in rice. Soil Science Society of America Journal 56(5): 1521-1527.

Hinge, V.R., H.B. Patil and A.B. Nadaf. 2016. Aroma volatile analyses and 2AP characterization at various developmental stages in Basmati and Non-Basmati scented rice (*Oryza sativa* L.) cultivars. Rice 9: 38, doi:10.1186/s12284-016-0113-6.

Huang, S.J., C.F. Zhao, Z. Zhu, L.H. Zhou, Q.H. Zheng and C.L. Wang. 2020. Characterization of eating quality and starch properties of two *Wx* alleles

japonica rice cultivars under different nitrogen treatments. Journal of Integrative Agriculture 19(4): 988-998.

Itani, T., M. Tamaki, Y. Hayata, T. Fushimi and K. Hashizume. 2004. Variation of 2-acetyl-1-pyrroline concentration in aromatic rice grains collected in the same region in Japan and factors affecting its concentration. Plant Production Science 7(2): 178-183.

Kongpun, A. and C. Thebault Prom-u-thai. 2021. Effects of nitrogen fertilizer on grain yield and fragrant contents in two Thai rice varieties. OnLine Journal of Biological Sciences 21(3): 206-212.

Kuntawong, W., S. Jamjod, N. Yimyam and C. Thebault Prom-u-thai. 2015. Genotypic variation of cooking qualities in local rice varieties from Chiang Mai, Chiang Rai and Mae Hong Son Provinces. Khon Kaen Agriculture Journal 43(4): 687-698. (in Thai)

Lehmann, S., D. Funck, L. Szabados and D. Rentsch. 2010. Proline metabolism and transport in plant development. Amino Acids 39(4): 949-962.

Li, Y., Z. Mo, Y. Li, J. Nie, L. Kong, U. Ashraf, S. Pan, M. Duan, H. Tian and X. Tang. 2021. Additional nitrogen application under different water regimes at tillering stage enhanced rice yield and 2-acetyl-1-pyrroline (2AP) content in fragrant rice. Journal of Plant Growth Regulation, doi: 10.1007/s00344-021-10351-0.

Little, R.R., G.B. Hilder and E.H. Dawson. 1958. Differential effect of dilute alkali on 25 varieties of milled white rice. Cereal Chemistry 35(2): 111-126.

Lutts, S., J.M. Kinet and J. Bouharmont. 1996. Effects of various salts and of mannitol on ion and proline accumulation in relation to osmotic adjustment in rice (*Oryza sativa* L.) callus cultures. Journal of Plant Physiology 149(1-2): 186-195.

Mo, Z., U. Ashraf, Y. Tang, W. Li, S. Pan, M. Duan, H. Tian and X. Tang. 2018. Nitrogen application at the booting stage affects 2-acetyl-1-pyrroline, proline, and total nitrogen contents in aromatic rice. Chilean Journal of Agricultural Research 78(2): 165-172.

Mo, Z., J. Huang, D. Xiao, U. Ashraf, M. Duan, S. Pan, H. Tian, L. Xiao, K. Zhong and X. Tang. 2016. Supplementation of 2-AP, Zn and La improves 2-acetyl-1-pyrroline concentrations in detached aromatic rice panicles *in vitro*. PLoS One 11(2): e0149523, doi: 10.1371/journal.pone.0149523.

Monggoot, S., P. Sookwong, S. Mahatheeranont and S. Meechoui. 2014. Influence of single nutrient element on 2-acetyl-1-pyrroline contents in Thai fragrant rice (*Oryza sativa* L.) cv. Khao Dawk Mali 105 grown under soilless conditions. pp. 642-647. *In*: Proceedings of the 26th Annual Meeting of the Thai Society for Biotechnology and International Conference. Mae Fah Luang University, Chiang Rai.

Prachayavirojana, K. 2014. Relationship among growth, yield and grain quality of aromatic rice cv. KDML105 and RD15 under nitrogen and potassium iodide management. M.S. Thesis. Chiang Mai University, Chiang Mai. 78 p. (in Thai)

Ren, Y., U. Ashraf, L.X. He, Z.W. Mo, F. Wang, X.C. Wan, H. Kong, X.L. Ran and X.R. Tang. 2017. Irrigation and nitrogen management practices affect grain yield and 2-acetyl-1-pyrroline content in aromatic rice. Applied Ecology and Environmental Research 15(4): 1447-1460.

Slocum, R.D. 1991. Polyamine biosynthesis in plants. pp. 23-40. *In*: R.D. Slocum and H.E. Flores (eds.). Biochemistry and Physiology of Polyamines in Plants. CRC Press, Boca Raton.

Sood, B.C. and E.A. Siddiq. 1978. A rapid technique for scent determination in rice. Indian Journal of Genetics and Plant Breeding 38(2): 268-275.

Tayefe, M., A. Gerayzade, E. Amiri and A.N. Zade. 2014. Effect of nitrogen on rice yield, yield components and quality parameters. African Journal of Biotechnology 13(1): 91-105.

Teh, C.Y., N.A. Shaharuddin, C.L. Ho and M. Mahmood. 2016. Exogenous proline significantly affects the plant growth and nitrogen assimilation enzymes activities in rice (*Oryza sativa*) under salt stress. Acta Physiologiae Plantarum 38: 151, doi: 10.1007/s11738-016-2163-1.

Tejakum, P., S. Khumto, S. Jamjod, N. Yimyam and T. Pusadee. 2019. Yield, grain quality and fragrance of a highland fragrant rice landrace variety, Bue Ner Moo. Khon Kaen Agriculture Journal 47(2): 317-326. (in Thai)

Thonglem, P. 2014. Effects of nitrogen and calcium management on milling quality and 2-acetyl-1-pyrroline concentration in rice cv. KDML105 and RD15. M.S. Thesis. Chiang Mai University, Chiang Mai. 102 p. (in Thai)

Wakte, K., R. Zanan, V. Hinge, K. Khandagale, A. Nadaf and R. Henry. 2017. Thirty-three years of 2-acetyl-1-pyrroline, a principal basmati aroma compound in scented rice (*Oryza sativa* L.): a status review. Journal of the Science of Food and Agriculture 97(2): 384-395.

Yang, S., Y. Zou, Y. Liang, B. Xia, S. Liu, M. Ibrahim, D. Li, Y. Li, L. Chen, Y. Zeng, L. Liu, Y. Chen, P. Li and J. Zhu. 2012. Role of soil total nitrogen in aroma synthesis of traditional regional aromatic rice in China. Field Crops Research 125: 151-160.

Yoshihashi, T., T.T.H. Nguyen and H. Inatomi. 2002. Precursors of 2-acetyl-1-pyrroline, a potent flavor compound of an aromatic rice variety. Journal of Agricultural and Food Chemistry 50(7): 2001-2004.

Yoshihashi, T, T.T.H. Nguyen and N. Kabaki. 2004. Area dependency of 2-acetyl-1-pyrroline content in an aromatic rice variety, Khao Dawk Mali 105. Japan Agricultural Research Quarterly 38(2): 105-109.

Zhong, Q. and X. Tang. 2014. Effect of nitrogen application on aroma of aromatic rice and their mechanism. Guangdong Agricultural Sciences 41(4): 85-87.

การประเมินผลผลิต องค์ประกอบผลผลิต ค่าความหวาน และ ความสามารถในการไว้ตอของอ้อยจำนวน 14 พันธุ์ ที่เจริญเติบโต ภายใต้สภาพน้ำท่วมขังธรรมชาติในจังหวัดพิษณุโลก

Evaluating Yield, Yield Components, Commercial Cane Sugar, and Ratooning Ability of 14 Sugarcane Varieties Grown Under Natural Water-logged Condition in Phitsanulok Province

พิชัย บุตรสีภูมิ และ อนุพงศ์ วงค์ตามี*

Pichai Boodseephum and Anupong Wongtamee*

ภาควิชาวิทยาศาสตร์การเกษตร คณะเกษตรศาสตร์ ทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยนเรศวร จ. พิษณุโลก 65000

Department of Agricultural Sciences, Faculty of Agriculture, Natural Resources and Environment,

Naresuan University, Phitsanulok 65000, Thailand

**Corresponding author: Email: anupongw@nu.ac.th*

(Received: 18 November 2021; Accepted: 27 January 2022)

Abstract: Flooding stress affects to yield, yield components and ratooning ability of sugarcane. The objective of this study is to evaluate yield, yield components and ratooning ability of 14 sugarcane varieties in plant cane and the first ratoon stage. The experiment was arranged in a randomized complete block design (RCBD) with four replications. Each sugarcane variety was cultivated in a 1.65 x 10 m subplot size with four rows. The results showed that KPS 07-17-83, KK07-599 and KPS 07-21-4 varieties had yield and yield components higher than KK3 and LK92-11, the standard check varieties in natural flooding of plant cane by 29 and 9 %, respectively and the first ratoon cycles by 23 and 7 %, respectively. In addition, the yield and yield components of KPS 07-17-83 and KK07-599 were the highest in crop cycles. Therefore, KPS 07-17-83, KK07-599 and KPS 07-21-4 should be encouraged or used as an alternative variety for the local farmers who suffered from natural flooding in sugarcane fields in Phitsanulok.

Keywords: Sugarcane, yield, yield component, ratoon ability, flooding

Copyright @ Journal of Agriculture, Faculty of Agriculture, Chiang Mai University. All rights reserved.

บทคัดย่อ: ในสภาวะเครียดจากน้ำท่วมขังส่งกระทบต่อผลผลิต องค์ประกอบผลผลิต และความสามารถในการไว้ตอของต้นอ้อย การศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อประเมินผลผลิต องค์ประกอบผลผลิต และความสามารถในการไว้ตอของอ้อยจำนวน 14 พันธุ์ ในฤดูอ้อยปลูกและอ้อยตอ 1 วางแผนการทดลองแบบ RCBD จำนวน 4 ซ้ำ ปลูกอ้อยแต่ละพันธุ์ในแปลงย่อยที่มีขนาด 1.65 x 10 เมตร จำนวน 4 แถว พบว่า อ้อยพันธุ์ KPS 07-17-83, KK07-599 และ KPS 07-21-4 ให้ผลผลิตอ้อย และผลผลิตน้ำตาลสูงกว่าอ้อยพันธุ์เปรียบเทียบมาตรฐาน KK3 และ LK92-11 ในสภาวะน้ำท่วมขังธรรมชาติของฤดูอ้อยปลูก (29 และ 9 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ) และอ้อยตอ 1 (23 และ 7 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ) นอกจากนี้พันธุ์ KPS 07-17-83 และ KK07-599 มีศักยภาพที่ให้องค์ประกอบผลผลิตทุกลักษณะสูงที่สุดในทั้งสองฤดูปลูก ดังนั้น อ้อยพันธุ์ KPS 07-17-83, KK07-599 และ KPS 07-21-4 ควรได้รับการส่งเสริม หรือใช้เป็นพันธุ์ทางเลือกให้เกษตรกรในท้องถิ่นที่ประสบปัญหาน้ำท่วมขังธรรมชาติในแปลงปลูกอ้อยในจังหวัดพิษณุโลกได้เลือกปลูกต่อไป

คำสำคัญ: อ้อย ผลผลิต องค์ประกอบผลผลิต ความสามารถในการไว้ตอ น้ำท่วมขัง

คำนำ

ปัจจุบันมีความต้องการผลผลิตอ้อยเพิ่มมากขึ้นในทุก ๆ ปี เพื่อนำไปใช้เป็นวัตถุดิบในอุตสาหกรรมต่อเนื่องที่หลากหลาย นอกจากแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์น้ำตาลแล้ว ยังมีบทบาทสำคัญในอุตสาหกรรมอื่น ๆ เช่น อาหารและเครื่องดื่ม ยาและเครื่องสำอาง พลังงานทดแทน หรือเสริมความแข็งแรงในสิ่งก่อสร้างต่าง ๆ เป็นต้น (Office of the Cane and Sugar Board, 2020) ทำให้จำเป็นอย่างยิ่งในการเพิ่มปริมาณผลผลิตอ้อยเพื่อนำเข้าสู่อุตสาหกรรมเหล่านั้นด้วยวิธีต่าง ๆ ได้แก่ การเพิ่มพื้นที่การผลิตอ้อย โดยเฉพาะการผลิตอ้อยในสภาพพื้นที่ที่ไม่เหมาะสม เช่น ในพื้นที่ลุ่มที่น้ำท่วมขัง เป็นต้น หรือแม้แต่การพัฒนาพันธุ์อ้อยเพื่อให้มีผลผลิตที่สูงขึ้น นอกจากนี้การเปลี่ยนแปลงของสภาพอากาศในปัจจุบัน ส่งผลให้เกิดสภาพแวดล้อมที่ไม่เหมาะสมสำหรับการเจริญเติบโตของอ้อย โดยเฉพาะเกิดสภาวะแล้งหรือน้ำท่วมขังในพื้นที่เกษตรกรรม ซึ่งเป็นผลกระทบที่สำคัญและส่งผลโดยตรงต่อผลผลิตอ้อยที่ลดลง (Gomathi *et al.*, 2015; Zho and Li, 2015) ในสภาวการณ์ที่เร่งด่วนสามารถแก้ไขปัญหาเฉพาะหน้าได้โดยการนำพันธุ์อ้อยที่มีศักยภาพให้ผลผลิตสูง และถูกคัดเลือกในสภาพแวดล้อมที่ใกล้เคียงมาปลูกทดสอบสำหรับคัดเลือกพันธุ์อ้อยที่เหมาะสม สามารถปรับตัวและให้ผลผลิตสูงในสภาพแวดล้อมดังกล่าว เพื่อส่งเสริมให้เกษตรกรในท้องถิ่นปลูกต่อไป

จังหวัดพิษณุโลกมีพื้นที่ที่เหมาะสมสำหรับการปลูกอ้อยกระจายในพื้นที่ที่ลักษณะแตกต่างกัน เช่น ที่ดอน ที่ราบ และที่ลุ่ม ประมาณ 136,845 ไร่ หรือ 1.24 เปอร์เซ็นต์ ของพื้นที่ปลูกอ้อยทั้งประเทศ (Office of the Cane and Sugar Board, 2020) ประกอบกับนโยบายของสำนักงานเกษตรจังหวัดพิษณุโลก ที่ได้มีแผนส่งเสริมการปลูกพืชเศรษฐกิจของจังหวัด ซึ่งหนึ่งในนั้นคืออ้อยโรงงาน เนื่องจาก เป็นที่ตั้งของโรงงานน้ำตาลพิษณุโลก และสอดคล้องกับแผนการขยายพื้นที่ปลูกอ้อยของโรงงานน้ำตาลพิษณุโลก โดยเฉพาะพื้นที่เป้าหมายแรก คือพื้นที่รอบโรงงานน้ำตาลฯ ในรัศมี 50 กิโลเมตร อย่างไรก็ตาม ในพื้นที่ดังกล่าวส่วนใหญ่มีลักษณะเป็นที่ราบและที่ลุ่ม เมื่อถึงฤดูฝนพบปริมาณน้ำฝนสะสมตั้งแต่เดือนกรกฎาคม-ตุลาคม ปี 2559 - 2563 เฉลี่ยเท่ากับ 883 มิลลิเมตร (National Statistical Office, 2020) ส่งผลทำให้ช่วงเวลาดังกล่าวของแต่ละปีเกิดน้ำท่วมขังในแปลงอ้อยประมาณ 15-25 วัน

ในสภาวะเครียดจากน้ำท่วมขังส่งผลกระทบต่อการเจริญเติบโตของต้นอ้อย เช่น ต้นอ้อยหยุดชะงักการยืดตัวและการขยายขนาดของปล้องอ้อย เกิดลักษณะใบเหลืองซีดซึ่งส่งผลกระทบต่อกระบวนการสังเคราะห์แสง การพัฒนารากลดลง และทำให้ต้นอ้อยมีปริมาณรากน้อยและระบบรากตื้น เป็นสาเหตุทำให้ประสิทธิภาพการไว้ตอลดลง และส่งผลให้ต้นอ้อยไม่ทนทานต่อสภาวะแล้ง (Gomathi and Chandran, 2009; Gomathi *et al.*, 2015; Jaiphong *et al.*, 2016; Tetsushi

and Karim, 2007) นอกจากนี้ยังส่งผลต่อการสร้างผลผลิต เช่น ความยาวลำ จำนวนลำ และการสะสมน้ำตาล เป็นต้น (Gomathi *et al.,* 2015; Joseph *et al.,* 2011; Taiz and Zeiger, 2002)

ในสภาวะน้ำท่วมขังส่งผลต่อการสร้างผลผลิตและองค์ประกอบผลผลิตอ้อยที่แตกต่างกัน ทั้งนี้ ขึ้นกับปัจจัยต่าง ๆ เช่น พันธุ์อ้อย ระดับความรุนแรง ลักษณะของสภาพแวดล้อม และช่วงอายุการเจริญเติบโตของต้นอ้อย (Gomathi *et al.,* 2015; Tetsushi and Karim, 2007) อย่างไรก็ตาม ศักยภาพของพันธุ์อ้อยต่าง ๆ สามารถปรับตัวและให้ผลผลิตภายใต้สภาวะน้ำท่วมขังได้แตกต่างกัน ดังนั้น พันธุ์อ้อยที่สามารถทนทานต่อสภาพน้ำขัง จำเป็นต้องมีลักษณะต่าง ๆ ขององค์ประกอบผลผลิตที่ดี เพื่อส่งเสริมการสร้างผลผลิตภายใต้สภาวะน้ำท่วมขังได้ (Unigarro Muñoz *et al.,* 2013)

อย่างไรก็ตามข้อมูลปัจจุบันยังขาดองค์ความรู้ที่เกี่ยวข้องกับพันธุ์อ้อยที่สามารถปรับตัว และให้ผลผลิตภายใต้สภาวะน้ำท่วมขังธรรมชาติ ในสภาพแวดล้อมพื้นที่ปลูกอ้อยของจังหวัดพิษณุโลกหรือใกล้เคียง ดังนั้นในการศึกษานี้ จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อประเมินผลผลิต องค์ประกอบผลผลิต และความสามารถในการไว้ตอของพันธุ์อ้อยจำนวน 14 พันธุ์ ที่เจริญเติบโตภายใต้สภาพน้ำท่วมขังธรรมชาติในจังหวัดพิษณุโลก เพื่อเป็นการเพิ่มทางเลือกพันธุ์อ้อยที่มีศักยภาพการสร้างองค์ประกอบผลผลิตและผลผลิตอ้อยที่สูง ประกอบกับความสามารถในการไว้ตอที่ดี แก่เกษตรกรที่จำเป็นต้องปลูกอ้อยในพื้นที่ที่เกิดน้ำท่วมขังต่อไป

อุปกรณ์และวิธีการ

พันธุ์อ้อย สถานที่ทำการศึกษา และคุณสมบัติดิน

รวบรวมพันธุ์อ้อยดีเด่นที่มีศักยภาพให้ผลผลิตสูง จำนวน 12 สายพันธุ์ และพันธุ์เปรียบเทียบมาตรฐานจำนวน 2 พันธุ์ ได้แก่ พันธุ์ขอนแก่น 3 (KK3) และแอลเค 92-11 (LK92-11) ซึ่งเป็นพันธุ์อ้อยที่เกษตรกรในพื้นที่นิยมปลูกอย่างแพร่หลาย จากแหล่งปรับปรุงพันธุ์ 4 แหล่ง ได้แก่ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ (KU) กำแพงแสน มหาวิทยาลัยขอนแก่น (KKU) ศูนย์วิจัยพืชไร่ขอนแก่น (KKFCRC) และสำนักงานคณะกรรมการอ้อยและน้ำตาลทราย (OCSB) รายละเอียดดัง Table 1

ดำเนินการศึกษาในฤดูปลูกอ้อยปี 2561/62 ถึง 2562/63 ณ แปลงปลูกอ้อยของเกษตรกร ตำบลบ่อทอง อำเภอบางระกำ จังหวัดพิษณุโลก พิกัด 16° 38’52”N 100°09’33”E ระดับความสูงของพื้นที่ 39.8 เมตรเหนือระดับน้ำทะเล ซึ่งแปลงปลูกอ้อยดังกล่าวมีประวัติน้ำท่วมขังในฤดูฝนเป็นประจำเกือบทุกปี เนื่องจากเป็นพื้นที่รับน้ำของจังหวัดพิษณุโลก

ก่อนการเตรียมดินปลูกอ้อยได้สุ่มเก็บตัวอย่างดินจำนวน 15 จุด ที่ 2 ระดับความลึก คือ 0 - 15 และ 15 - 30 เซนติเมตรจากระดับผิวดิน เพื่อประเมินสมบัติทางกายภาพและเคมีของดิน (Arpornrat and Jakrarat, 2012) โดยลักษณะทางกายภาพของดินในพื้นที่ศึกษาเบื้องต้น จำแนกอยู่ในกลุ่มชุดดินที่ 4 มีเนื้อดินบนและล่างจำแนกในกลุ่มดินเหนียวปนทราย สมบัติทางเคมีของดิน ปฏิกิริยาดินมีค่าเป็นกรดปานกลาง

Table 1. Fourteen sugarcane varieties from four sources of Thailand and two standard check varieties (Khon Kaen 3 (KK3) and LK92-11)

Source of variety	No. of varieties	Varieties
KU	4	KPS 07-17-83, KPS 07-21-4, TBy30-0464 and TBy30-0484
KKU	4	KKU99-01, KKU99-02, KKU99-03 and KKU99-06
KKFCRC	2	KK07-250 and KK07-599
OCSB	2	CSB07-184 and CSB07-199
KKFCRC	1	KK3; Standard check variety
OCSB	1	LK92-11; Standard check variety

ค่าการนำไฟฟ้าต่ำ แสดงว่าดินไม่เค็ม มีปริมาณอินทรียวัตถุในดินค่อนข้างต่ำ ปริมาณเปอร์เซ็นต์ไนโตรเจนทั้งหมด และปริมาณฟอสฟอรัสในรูปที่เป็นประโยชน์ต่อพืช มีค่าต่ำมาก แต่มีปริมาณโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ในระดับปานกลาง (Table 2)

การวางแผนการทดลอง การปลูก และการดูแลอ้อย

วางแผนการทดลองแบบ RCBD จำนวน 4 ซ้ำ การเตรียมดิน การปลูก และการดูแลรักษา โดยอ้างอิงตามวิธีของเกษตรกรในท้องถิ่น ดังนี้

ในอ้อยปลูก ก่อนเตรียมดินทำการปรับระดับผิวดินให้สม่ำเสมอทั่วทั้งแปลง เตรียมดินโดยทำการไถด้วยจานไถ 3 6 และ 24 จาน ตามลำดับ ดำเนินการปลูกอ้อยในเดือนธันวาคม พ.ศ. 2561 โดยอ้อยแต่ละพันธุ์ปลูกอ้อยแบบแถวเดี่ยวด้วยรถปลูก จำนวน 4 แถว ในแปลงย่อยที่มีขนาด 1.65 x 10 เมตร ท่อนพันธุ์ที่ใช้ปลูกมีอายุใกล้เคียงกัน มีขนาดลำสม่ำเสมอ มีตาสมบูรณ์ ไม่มีโรคและแมลงเข้าทำลาย ขณะลำเลียงลำอ้อยลงปลูกได้พ่นสารเคมีป้องกันการเข้าทำลายของเชื้อราลงในท่อนพันธุ์ พร้อมฝังปุ๋ยเคมีสูตร 10 - 20 - 10 ในอัตรา 30 กิโลกรัมต่อไร่ ก่อนกลบดิน หลังปลูก 2 วัน พ่นสารเคมีควบคุมวัชพืชก่อนงอก เมื่อต้นอ้อยอายุประมาณ 3 เดือนหลังปลูก ฝังปุ๋ยครั้งที่ 2 สูตร 21 - 3 - 27 ในอัตรา 30 กิโลกรัมต่อไร่ พร้อมกำจัดวัชพืชที่พบระหว่างแถวอ้อย เมื่อต้นอ้อยอายุประมาณ 12 เดือน ประเมินองค์ประกอบผลผลิต และเก็บเกี่ยวผลผลิตเพื่อประเมินผลผลิตอ้อย เมื่อเดือนธันวาคม พ.ศ. 2562

ในอ้อยตอ เมื่ออ้อยตออายุประมาณ 1 เดือนหลังตัด ทำการบำรุงตอ โดยการฝังปุ๋ยเคมีสูตร 10 - 20 - 10 ในอัตรา 30 กิโลกรัมต่อไร่ พร้อมกำจัดวัชพืชระหว่างแถวอ้อยด้วยสารเคมีกำจัดวัชพืชหลังงอก และเมื่อต้นอ้อยอายุประมาณ 3 เดือนหลังตัด ฝังปุ๋ยครั้งที่ 2 สูตร 21-3-27 ในอัตรา 30 กิโลกรัมต่อไร่ พร้อมกำจัดวัชพืชระหว่างแถวอ้อย เมื่ออ้อยอายุประมาณ 12 เดือน ประเมินองค์ประกอบผลผลิต และเก็บเกี่ยวผลผลิตเพื่อประเมินผลผลิตอ้อย เมื่อเดือนธันวาคม พ.ศ. 2563

Table 2. Soil physical and chemical properties at sugarcane's fields in two soil depth ranges (0-15 and 16-30 cm) during two crop cycles; plant cane (PC) and first ratoon (FR) stage

Soil texture[1]	Soil depth 0-15 cm	Soil depth 16-13 cm	Mean ± SE
% Sand	40.09	39.85	39.97 ± 0.12
% Silt	5.49	4.99	5.24 ± 0.25
% Clay	54.42	55.16	54.79 ± 0.37
Texture class	Sandy clay	Sandy clay	
pH	5.66	5.87	5.77 ± 0.11
EC (dS/m, soil:water 1:5)	0.060	0.064	0.062 ± 0.002
CEC (cmol/kg)	15.78	15.36	15.57 ± 0.21
OM (%)	0.97	0.94	0.96 ± 0.02
Total N (%)	0.047	0.059	0.053 ± 0.01
Avail P (mg/kg)	0.31	0.24	0.275 ± 0.04
Exc. K (mg/kg)	88.78	84.67	86.73 ± 2.06
Soil density (mg/m^{-3})	2.04	2.74	2.39 ± 0.35

[1]pH, Soil pH; EC, electrical conductivity; CEC, cation exchange capacity; OM, soil organic matter; Total N, total nitrogen; Avail P, available phosphorus; Exc. K, exchangeable potassium

SE, standard error of mean

การให้น้ำอ้อยในแต่ละฤดูปลูกให้น้ำแบบตามร่องจำนวน 3 ครั้ง ดังนี้ (1) หลังปลูกเสร็จและหลังตัดอ้อยทันที (2) เมื่ออ้อยปลูกอายุประมาณ 1 เดือนหลังปลูก และหลังตัด และ (3) เมื่ออ้อยปลูกอายุประมาณ 3 เดือนหลังปลูก และหลังตัด นอกจากนี้ได้เฝ้าระวังการระบาดและการเข้าทำลายของโรคและแมลงศัตรูอ้อยที่สำคัญในระหว่างการศึกษาพร้อมดำเนินการป้องกันและกำจัดตามความจำเป็น

การประเมินและบันทึกข้อมูล

บันทึกข้อมูลสภาพอากาศตลอดช่วงระยะเวลาการศึกษาจากสถานีตรวจวัด ณ ตำบลบ่อทอง อำเภอบางระกำ จังหวัดพิษณุโลก ได้แก่ อุณหภูมิต่ำสุด - สูงสุด ปริมาณน้ำฝน และเปอร์เซ็นต์ความชื้นสัมพัทธ์ บันทึกช่วงเวลาที่มีน้ำท่วมขังในแปลงอ้อย (วัน) และระดับน้ำท่วมขังรายวัน (เซนติเมตร) ประเมินและบันทึกองค์ประกอบผลผลิตและผลผลิตของอ้อย โดยสุ่มจำนวน 20 ต้น จาก 2 แถวกลางในแต่ละซ้ำของแต่ละพันธุ์ เพื่อวัดความยาวลำ (เซนติเมตร) ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางลำ (มิลลิเมตร) ชั่งน้ำหนักลำเดี่ยว (กิโลกรัม) นับจำนวนลำที่เก็บเกี่ยวได้ วิเคราะห์ค่าความหวานของอ้อย (%CCS) ที่อายุ 12 เดือน แล้วนำมาคำนวณหาปริมาณผลผลิตอ้อย (ตันต่อไร่) และผลผลิตน้ำตาล (ตัน CCS/ไร่) อ้างอิงจาก Thongviang *et al.* (2014)

ความสามารถในการไว้ตอของอ้อย (%RA) = (อ้อยตอ 1 x 100)/อ้อยปลูก (Milligan *et al.*, 1996)

การวิเคราะห์ข้อมูล

วิเคราะห์ความแปรปรวนของลักษณะที่ศึกษาตามแผนการทดลองแบบ RCBD และเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยแบบ least significant difference (LSD) ที่ระดับความเชื่อมั่น 0.05

ผลการทดลองและวิจารณ์

สภาพอากาศและน้ำท่วมขัง

สภาพอากาศและการท่วมขังของน้ำระหว่างฤดูอ้อยปลูกจนถึงฤดูอ้อยตอ 1 อธิบายใน Table 3 พบว่า ตลอดฤดูอ้อยปลูกจนถึงฤดูอ้อยตอ 1 (1 - 732 วันหลังปลูก) มีอุณหภูมิอากาศต่ำสุด - สูงสุด ระหว่างฤดูอ้อยปลูก และในฤดูอ้อยตอ 1 มีค่าใกล้เคียงกัน (23.8 - 33.2 องศาเซลเซียส ในฤดูอ้อยปลูก และ 23.1 - 32.4 องศาเซลเซียส ในฤดูอ้อยตอ 1) สำหรับปริมาณน้ำฝนสะสม (Rf) ในตลอดฤดูอ้อยปลูกต่ำกว่าในฤดูอ้อยตอ 1 ประมาณ 65 เปอร์เซ็นต์ และความชื้นสัมพัทธ์ (H) ในฤดูอ้อยปลูกต่ำกว่าในฤดูอ้อยตอ 1 ประมาณ 3.6 เปอร์เซ็นต์ เมื่อพิจารณาในช่วงน้ำท่วมขัง พบว่า ในฤดูอ้อยปลูกมีน้ำท่วมขังนานกว่าในฤดูอ้อยตอ 1 ประมาณ 11 วัน มีปริมาณน้ำฝนสะสมน้อยกว่าประมาณ 76 เปอร์เซ็นต์ และพบระดับน้ำท่วมขังสูงสุดต่ำกว่าประมาณ 15.4 เซนติเมตร ในช่วงเวลาที่น้ำท่วมขังในแปลงอ้อยทั้ง 2 ฤดูกาลผลิตอ้อยตรงกับช่วงเวลาที่ต้นอ้อยมีพัฒนาการของลำอ้อย

Table 3. Meteorological conditions including, total rainfall (Rf), maximum of temperature (Max T), minimum of temperature (Min T), relative humidity (H), days of flooding (DF) and the highest depth of flood (HD) at sugarcane's fields during two crop cycles; plant cane (PC) and first ratoon (FR) cycles (1-732 days after planting (dap))

Meteorological	Throughout two crop cycles (1-732 dap)				During waterlogging		
conditions	Max T (°C)	Min T (°C)	H (%)	Rf (mm)	DF (dap)	Rf (mm)	HD (cm)
PC (2018-19)	23.8	33.2	75.32	1,002.9	26 (273-299)	815.1	45.2
FR (2019-20)	23.1	32.4	78.91	1,246.2	37 (651-678)	1,067.5	60.6
Mean ± SE[1]	23.3 ± 0.7	32.4 ± 0.7	77.8 ± 1.7	1,274.6 ± 271.7	31.5 ± 5.5		29.2 ± 8.7

[1]SE, standard error of mean

ทั้งในด้านการเพิ่มความสูง (ยืดปล้อง) การขยายขนาดลำ และการสะสมน้ำตาลในลำอ้อย ผลกระทบจากน้ำท่วมขังดังกล่าวอาจส่งผลกระทบต่อการเจริญเติบโตและการสะสมน้ำตาล ซึ่งเป็นผลมาจากกระบวนการทางสรีรวิทยาต่าง ๆ เช่น กระบวนการสังเคราะห์แสง การหายใจ เป็นต้น (Gomathi *et al.*, 2015; Joseph *et al.*, 2011; Taiz and Zeiger, 2002)

ผลผลิตอ้อย ผลผลิตน้ำตาล และค่าความหวานของอ้อยภายใต้สภาพน้ำท่วมขัง

จากข้อมูลผลผลิตอ้อย ผลผลิตน้ำตาล และค่า CCS ในฤดูอ้อยปลูกสูงกว่าฤดูอ้อยตอ 1 ภายใต้สภาพน้ำท่วมขัง 18, 23 และ 8 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ (Table 4) ในพันธุ์ KPS 07-17-83, KK07-599, KK3 และ KPS 07-21-4 มีศักยภาพในการให้ผลผลิตสูงกว่าพันธุ์อื่น ๆ ทั้งในฤดูอ้อยปลูก และฤดูอ้อยตอ 1 ประมาณ 64 และ 71 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ จึงส่งผลให้มีความสามารถในการไว้ตอของลักษณะดังกล่าวสูงด้วย (สูงกว่าค่าเฉลี่ยพันธุ์อื่น ๆ 5 เปอร์เซ็นต์) นอกจากนี้ พันธุ์ดังกล่าวยังให้ผลผลิตน้ำตาลสูงกว่าพันธุ์อื่น ๆ ในทิศทางเดียวกันกับผลผลิตอ้อย ทั้งในฤดูอ้อยปลูก และฤดูอ้อยตอ 1 ประมาณ 47 และ 57 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ และมีความสามารถในการไว้ตอสูงกว่าค่าเฉลี่ยพันธุ์อื่น ๆ ประมาณ 8 เปอร์เซ็นต์ (Table 4 และ Figure 1)

โดยทั่วแล้วเมื่อต้นอ้อยอยู่ภายใต้สภาพน้ำท่วมขังส่งผลต่อผลผลิตอ้อยโดยตรง (Palachai *et al.*, 2019) หลังจากน้ำลด ดินอยู่ในสภาพที่ขาดออกซิเจน ส่งผลต่อการหายใจแบบใช้ออกซิเจน และการสังเคราะห์แสง (Drew, 1997; Gomathi *et al.*, 2015; Taiz and Zeiger, 2002) นอกจากนี้ยังส่งผลให้ใบอ้อยแสดงอาการเหลืองในช่วงน้ำท่วมขังที่ต้นอ้อยไม่สามารถใช้ออกซิเจนได้ (Malik and Tomer, 2003) ในสภาพน้ำท่วมขังเป็นเวลานานส่งผลให้ผลผลิตอ้อยลดลงเมื่อเปรียบเทียบกับในสภาพไม่ท่วมขัง โดยผลผลิตอ้อยลดลงอย่างมีนัยสำคัญแม้ผ่านการท่วมขังมาแล้ว 1 สัปดาห์ (Islam *et al.*, 2011a) พันธุ์อ้อยที่ทนทานต่อสภาพน้ำท่วมขังให้ผลผลิตอ้อยสูงกว่าพันธุ์อื่น ๆ เมื่ออยู่ภายใต้สภาพน้ำท่วมขังเช่นเดียวกัน (Islam *et al.*, 2011b) นอกจากนี้ ระยะการเจริญเติบโตของอ้อยยังสัมพันธ์กับการตอบสนองของผลผลิตและส่วนประกอบผลผลิตภายใต้สภาวะน้ำขัง (Gomathi and Chandran, 2009) นอกจากนี้ พันธุ์อ้อยที่ทนทานต่อสภาพน้ำท่วมขังสามารถรักษาผลผลิตน้ำตาลและค่า CCS ให้มีค่าสูงระหว่างน้ำท่วมขังนาน 120 วัน (Islam *et al.*, 2011a; Islam *et al.*, 2011b) นอกจากนี้ในสภาพน้ำท่วมขังยังส่งผลให้ต้นอ้อยสะสมซูโครสลดลงอย่างมาก เนื่องจากมีการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยว (Gomathi and Chandran, 2013) และส่งผลให้มีสัดส่วนของเยื่อใย (%fiber) และในส่วนอื่น ๆ ที่ไม่ใช่น้ำตาลสูงขึ้น (Malik and Tomer, 2003)

องค์ประกอบผลผลิตอ้อยภายใต้สภาพน้ำท่วมขัง

ในทุกลักษณะขององค์ประกอบผลผลิตอ้อยพบความแตกต่างทางสถิติระหว่างพันธุ์อ้อยที่ระดับความเชื่อมั่น 99.9 เปอร์เซ็นต์ ทั้งในฤดูอ้อยปลูกและอ้อยตอ 1 (Table 5) ในพันธุ์ KPS 07-17-83 และ KK07-599 มีศักยภาพที่ให้ลักษณะต่าง ๆ ที่ประกอบกันเป็นองค์ประกอบผลผลิตอ้อยสูงกว่าค่าเฉลี่ยของพันธุ์อื่น ๆ ทั้งในฤดูอ้อยปลูกและอ้อยตอ 1 ได้แก่ ความยาวลำสูงกว่า 21 และ 26 เปอร์เซ็นต์ ในฤดูอ้อยปลูกและอ้อยตอ 1 ตามลำดับ ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางลำสูงกว่า 8 และ 12 เปอร์เซ็นต์ ในฤดูอ้อยปลูกและอ้อยตอ 1 ตามลำดับ น้ำหนักลำเดี่ยว สูงกว่า 52 และ 59 เปอร์เซ็นต์ ในฤดูอ้อยปลูกและอ้อยตอ 1 ตามลำดับ และจำนวนลำที่เก็บเกี่ยวได้สูงกว่า 90 เปอร์เซ็นต์ ทั้งในฤดูอ้อยปลูกและอ้อยตอ 1 นอกจากนี้ พันธุ์ดังกล่าวยังให้ความสามารถในการไว้ตอของทั้ง 4 ลักษณะสูงกว่า 90 เปอร์เซ็นต์ อย่างไรก็ตามความสามารถในการไว้ตอของลักษณะขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางลำและจำนวนลำที่เก็บเกี่ยวได้ของพันธุ์อ้อยทุกพันธุ์มีค่าสูงกว่า 90 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งอาจสามารถชดเชยปริมาณผลผลิตอ้อยที่สูญเสียไปโดยลักษณะอื่น ๆ จากสภาพน้ำท่วมขังได้ นอกจากนี้ในทุกลักษณะขององค์ประกอบผลผลิตอ้อยมีความสัมพันธ์เชิงบวกกับผลผลิตอ้อย (Figure 2)

Table 4. The performance and ratooning ability (%RA) of 14 sugarcane varieties for cane yield (CY), sugar yield (SY) and commercial cane sugar (%CCS) in the plant cane (PC), 1st ratoon (FR) and average of 2 crops (AC) under water logging condition in lowland flooding areas

Variety	CY (ton/rai)				SY (ton CCS/rai)				CCS (%)			
	PC	FR	AC	RA (%)	PC	FR	AC	RA (%)	PC	FR	AC	RA (%)
KPS 07-17-83	27.5 A	25.2 A	26.3 A	91.6	3.7 AB	3.3 A	3.5 A	88.8	13.5 F	13.0 EF	13.2 F	97.0
KPS 07-21-4	23.7 AB	20.7 B	22.2 B	87.3	3.2 BC	2.6 B	2.9 B	81.6	13.7 F	12.8 EF	13.2 F	93.5
CSB07-184	13.0 DE	8.7 FG	10.8 EF	66.4	1.9 F	1.1 EF	1.5 EF	61.0	14.4 E	13.2 E	13.8 EF	91.8
CSB07-199	12.4 DE	7.8 G	10.1 F	62.8	1.8 F	1.1 F	1.5 F	59.5	14.8 DE	14.0 D	14.4 DE	94.7
TBy30-0464	13.7 DE	12.3 DE	13.0 DE	89.7	2.2 DEF	1.6 DE	1.9 DE	73.2	16.1 B	13.1 EF	14.6 CD	81.6
TBy30-0484	11.8 E	10.9 EFG	11.3 EF	93.0	1.9 EF	1.6 DE	1.7 EF	83.8	16.1 B	14.5 CD	15.3 B	90.1
KK07-250	14.8 CDE	11.4 EF	13.1 DE	77.2	2.5 DEF	1.9 CD	2.2 CD	76.7	16.6 AB	16.5 A	16.6 A	99.4
KK07-599	26.9 A	23.0 AB	25.0 AB	85.6	4.1 A	3.2 A	3.7 A	79.4	15.1 CD	14.0 D	14.6 CD	92.8
KKU99-01	18.9 BC	16.0 C	17.5 C	84.9	2.7 CD	2.0 CD	2.4 C	73.2	14.4 E	12.5 F	13.4 F	86.2
KKU99-02	15.7 CDE	15.0 CD	15.4 CD	95.8	2.4 DEF	2.2 BC	2.3 CD	92.7	15.1 CD	14.6 CD	14.8 BCD	96.8
KKU99-03	17.1 CD	14.1 CDE	15.6 CD	82.2	2.6 CD	2.1 C	2.4 C	78.4	15.4 CD	14.7 C	15.1 BCD	95.3
KKU99-06	17.0 CD	14.2 CDE	15.6 CD	83.7	2.6 CD	2.1 C	2.4 C	80.8	15.5 C	14.9 C	15.2 BC	96.5
KK3	24.2 A	22.0 AB	23.1 B	90.8	4.1 A	3.4 A	3.8 A	83.4	17.1 A	15.7 B	16.4 A	91.9
LK92-11	16.0 CDE	15.3 CD	15.7 CD	95.7	2.6 CDE	2.2 BC	2.4 C	85.4	16.4 B	14.6 CD	15.5 B	89.2
Mean	18.0	15.5	16.8	85.8	2.7	2.2	2.5	79.6	15.3	14.2	14.7	92.6
F-test (0.05)	***	***	***	ns	***	***	***	ns	***	***	***	ns
LSD. (0.05)	4.94	3.25	2.91		0.72	0.49	0.43		0.61	0.67	0.70	

ns = non-significantly difference at $P<0.05$. *** = significantly difference at $P<0.001$. Means within a column with different letters are significantly different ($P<0.05$)

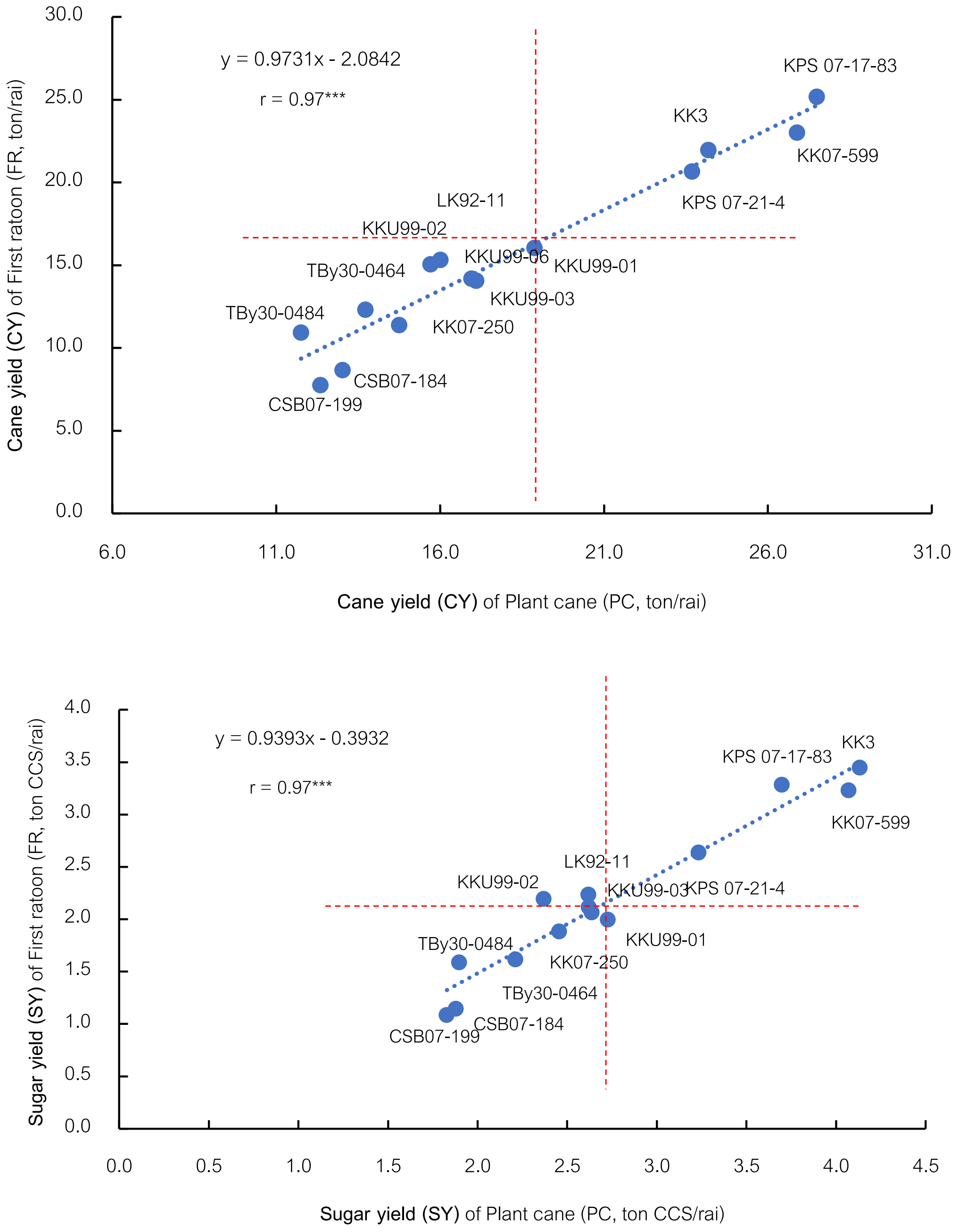


Figure 1. Correlations between cane yield (CY) in the plant cane (PC) and 1st ratoon (FR) and sugar yield (SY) in the plant cane (PC) and 1st ratoon (FR) of 14 sugarcane varieties under the waterlogging condition in lowland flooding areas, two red dash lines are the average values

*** = significant at *P<0.001*

Table 5. The performance and ratooning ability (%RA) of 14 sugarcane varieties for yield components including: stalk length (SL), stalk diameter (SD), single stalk weight (SW), and number of millable canes (MC), in the plant cane (PC), 1st ratoon (FR) and average of 2 crops (AC) under water logging condition in lowland flooding areas

Variety	SL (cm)				SD (mm)			
	PC	FR	AC	RA (%)	PC	FR	AC	RA (%)
KPS 07-17-83	330.4 A	297.8 A	314.1 A	90.1	32.4 A	31.2 AB	31.8 A	96.4 A-E
KPS 07-21-4	293.0 BC	257.1 B	275.0 BCD	87.7	32.5 A	30.3 A-D	31.4 AB	93.2 DEF
CSB07-184	269.8 DE	253.1 B	261.4 D	93.8	25.9 E	25.5 G	25.7 I	98.6 ABC
CSB07-199	202.6 G	194.2 D	198.4 F	95.9	28.7 CD	28.5 C-F	28.6 FGH	99.4 AB
TBy30-0464	223.8 F	196.3 D	210.0 F	87.7	32.1 A	30.5 ABC	31.3 ABC	94.8 A-E
TBy30-0484	207.6 FG	192.7 D	200.1 F	92.8	27.7 DE	26.9 FG	27.3 H	96.9 A-D
KK07-250	259.7 E	222.5 C	241.1 E	85.7	27.6 DE	27.3 EFG	27.5 GH	98.6 ABC
KK07-599	308.3 B	299.7 A	304.0 A	97.2	32.1 A	32.0 A	32.1 A	99.6 A
KKU99-01	291.9 BC	253.7 B	272.8 CD	86.9	31.9 A	28.0 EF	30.0 CDE	87.9 F
KKU99-02	289.6 BCD	249.9 B	269.8 CD	86.3	29.6 BC	27.8 EF	28.7 EFG	94.1 B-E
KKU99-03	296.8 B	263.3 B	280.0 BC	88.7	30.9 AB	28.3 DEF	29.6 DEF	91.6 DEF
KKU99-06	304.7 B	273.0 B	288.9 B	89.6	30.7 AB	28.0 EF	29.4 DEF	91.2 EF
KK3	273.4 CDE	262.7 B	268.0 CD	96.1	31.4 AB	29.3 B-E	30.3 BCD	93.5 CDE
LK92-11	261.1 E	225.3 C	243.2 E	86.3	28.1 CD	27.9 EF	28.0 GH	99.0 AB
Mean	272.3	245.8	259.0	90.3	30.1	28.7	29.4	95.2
F-test (0.05)	***	***	***	ns	***	***	***	***
LSD. (0.05)	20.3	23.9	15.9		1.8	2.0	1.3497	5.3521

ns = non-significantly difference at *P*<0.05. *** = significantly difference at *P*<0.001. Means within a column with different letters are significantly different (*P*<0.05)

Table 5. Continued

Varieties	SW (kg)								MC							
	PC		FR		AC		RA (%)		PC		FR		AC		RA (%)	
KPS 07-17-83	2.90	A	2.74	A	2.8	A	94.5	ABC	9,496	ABC	9,207	AB	9,351	A	97.0	
KPS 07-21-4	2.48	B	2.25	C	2.4	B	90.5	B-E	9,550	ABC	9,207	AB	9,378	A	96.4	
CSB07-184	1.56	FGH	1.07	HI	1.3	F	68.8	G	8,379	EFG	8,090	CDE	8,234	C	96.6	
CSB07-199	1.47	GH	0.97	I	1.2	F	66.2	G	8,433	DEF	8,000	CDE	8,216	C	94.9	
TBy30-0464	1.84	EF	1.70	DE	1.8	DE	92.4	B-E	7,459	G	7,243	E	7,351	D	97.1	
TBy30-0484	1.34	H	1.28	GH	1.3	F	95.5	AB	8,775	B-E	8,541	A-D	8,658	BC	97.3	
KK07-250	1.75	FG	1.41	FG	1.6	E	80.3	F	8,433	DEF	8,108	CDE	8,270	C	96.2	
KK07-599	2.87	A	2.58	AB	2.7	A	89.7	B-E	9,369	A-D	8,937	ABC	9,153	AB	95.4	
KKU99-01	2.17	CD	1.91	D	2.0	C	88.2	CDE	8,721	B-E	8,397	BCD	8,559	BC	96.3	
KKU99-02	1.81	EF	1.80	DE	1.8	DE	99.7	A	8,703	CDE	8,360	BCD	8,532	BC	96.1	
KKU99-03	2.06	DE	1.80	DE	1.9	CD	87.3	E	8,324	EFG	7,838	DE	8,081	C	94.2	
KKU99-06	2.24	BCD	1.96	D	2.1	C	87.7	DE	7,586	FG	7,243	E	7,414	D	95.5	
KK3	2.45	BC	2.30	BC	2.4	B	93.9	A-D	9,874	A	9,550	A	9,712	A	96.7	
LK92-11	1.66	FG	1.65	EF	1.7	E	99.4	A	9,676	AB	9,316	AB	9,496	A	96.3	
Mean	2.04		1.81		1.9		88.9		8,770		8,431		8,600		96.1	
F-test (0.05)	***		***		***		***		***		***		***		ns	
LSD. (0.05)	0.30		0.26		0.20		6.27		968		1,024		645.81			

ns = non-significantly difference at *P*<0.05. *** = significantly difference at *P*<0.001. Means within a column with different letters are significantly different (*P*<0.05)

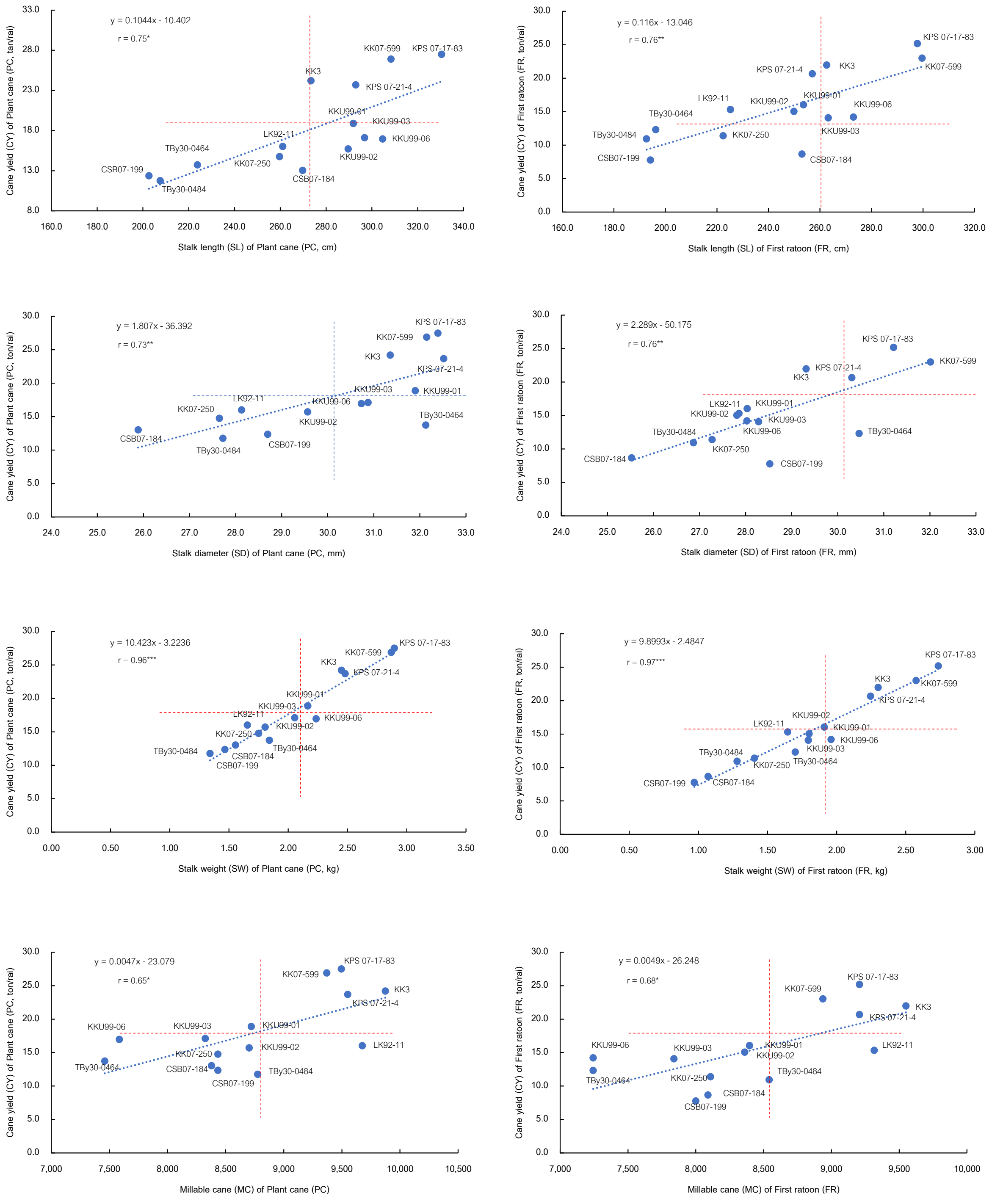


Figure 2. Correlations between stalk length (SL), stalk diameter (SD), single stalk weight (SW) and number of millable canes (MC) in the plant cane (PC) and 1st ratoon (FR) of 14 sugarcane varieties under waterlogging condition in lowland flooding areas, two red dash lines are the average values

*, **, *** = significant at $P<0.05$, 0.01 and 0.001, respectively

ซึ่งบ่งชี้ว่าทุกลักษณะดังกล่าวที่อยู่ภายใต้สภาวะน้ำท่วมขังส่งผลต่อปริมาณผลผลิตอ้อยที่ได้รับ สอดคล้องกับการศึกษาของ Ahmed *et al.* (2010) รายงานว่าผลผลิตอ้อยมีความสัมพันธ์เชิงบวกกับองค์ประกอบผลผลิตอ้อย ได้แก่ จำนวนลำที่เก็บเกี่ยวได้ ความสูงลำที่เก็บเกี่ยวได้ จำนวนปล้องต่อลำ และน้ำหนักลำเดี่ยว นอกจากนี้ Tyagi and Lai (2007) ได้รายสอดคล้องกันว่าน้ำหนักลำที่เก็บเกี่ยวได้มีความสัมพันธ์โดยตรงกับปริมาณผลผลิตอ้อย เนื่องจาก ผลผลิตอ้อยมีความสัมพันธ์เชิงบวกและมีความสัมพันธ์อย่างมีนัยสำคัญอย่างมากกับน้ำหนักลำเดี่ยว ความยาวลำ และจำนวนลำที่เก็บเกี่ยวได้ (Chaudhary and Joshi, 2005) นอกจากนี้ จากผลการศึกษาพบว่า พันธุ์อ้อยส่วนใหญ่ มีจำนวนลำที่เก็บเกี่ยวได้สูง แม้อยู่ภายใต้สภาวะที่มีน้ำท่วมขังทั้งในฤดูอ้อยปลูกและอ้อยตอ 1 ซึ่งอาจเป็นเพราะพันธุ์เหล่านั้นมีสัดส่วนการงอกสูงทั้งสองฤดู ประกอบกับช่วงเวลาการท่วมขังของน้ำในแปลงอ้อยอยู่ในช่วงที่ต้นอ้อยมีอายุประมาณ 9 เดือน ซึ่งต้นอ้อยได้มีการพัฒนาลำในด้านความสูงและขนาดลำอย่างมากแล้ว

สรุป

ในสภาวะน้ำท่วมขังธรรมชาติของฤดูอ้อยปลูกและอ้อยตอ 1 อ้อยพันธุ์ KPS 07-17-83, KK07-599 และ KPS 07-21-4 ให้ผลผลิตอ้อย ผลผลิตน้ำตาล และความสามารถในการไว้ตอของทั้งสองลักษณะสูงเทียบเท่าและสูงกว่าอ้อยพันธุ์ KK3 และ LK92-11 ซึ่งเป็นพันธุ์เปรียบเทียบมาตรฐาน นอกจากนี้ พันธุ์ KPS 07-17-83 และ KK07-599 มีศักยภาพที่ให้องค์ประกอบผลผลิตทุกลักษณะสูงที่สุด ในทั้งสองฤดูปลูก ดังนั้น อ้อยพันธุ์ KPS 07-17-83, KK07-599 และ KPS 07-21-4 น่าจะเหมาะสำหรับเป็นพันธุ์ส่งเสริมหรือเป็นพันธุ์ทางเลือกให้เกษตรกรในท้องถิ่นที่ประสบปัญหาน้ำท่วมขังธรรมชาติในแปลงปลูกอ้อยในจังหวัดพิษณุโลกได้เลือกปลูกต่อไป

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบพระคุณสำนักงานการวิจัยแห่งชาติ (วช.) สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย (สกว.) ที่ให้การสนับสนุนทุนสนับสนุนการวิจัยแบบมุ่งเป้า: อ้อย ประจำปีงบประมาณ 2560 รหัสโครงการ RDG60T0181 และประจำปีงบประมาณ 2562 รหัสโครงการ RDG62T0097 สำหรับงบประมาณในการทำวิจัย ขอขอบคุณบริษัท ธาอัส จำกัด สนับสนุนในส่วนของพื้นที่และอุปกรณ์ในการทำการวิจัย

เอกสารอ้างอิง

Ahmed, A.O., A. Obeid and B. Dafallah. 2010. The influence of characters association on behavior of sugarcane genotypes (*Saccharum* spp.) for cane yield and juice quality. World Journal of Agricultural Sciences 6(2): 207-211.

Arpornrat, P. and U. Jakrarat. 2012. Crop rotation planting in sugarcane field for soil improvement and increasing cane yield in the Northeast. Khon Kaen Agriculture Journal 40(Suppl. 3): 163-170. (in Thai)

Chaudhary, R.R. and B.K. Joshi. 2005. Correlation and path coefficient analyses in sugarcane. Nepal Agriculture Research Journal 6: 24-27.

Drew, M.C. 1997. Oxygen deficiency and root metabolism: Injury and acclimation under hypoxia and anoxia. Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology 48: 223-250.

Gomathi, R. and K. Chandran. 2009. Effect of water logging on growth and yield of sugarcane clones. Sugarcane Breeding Institute (SBI-ICAR) Quarterly News Letter 29(4): 1-2.

Gomathi, R. and K. Chandran. 2013. Juice quality as influenced by water-logging stress in sugarcane. pp. 411-412. *In*: Proceedings of National Conference of Plant Physiology 2013 on "Current Trends in Plant Biology Research". Directorate of Groundnut Research, Junagadh, Gujarat.

Gomathi, R., P.N.G. Rao, K. Chandran and A. Selvi. 2015. Adaptive responses of sugarcane to waterlogging stress: An overview. Sugar Tech 17(4): 325-338.

Islam, M.S., M.A.S. Miah, M.K. Begum, M.R. Alam and M.S. Arefin. 2011a. Growth, yield and juice quality of some selected sugarcane clones under water-logging condition. World Journal of Agricultural Sciences 7(4): 504-509.

Islam, M.S., M.A.S. Miah, M.K. Begum, M.R. Alam and M.S. Arefin. 2011b. Biochemical studies of juice quality and yield performance of some promising sugarcane clones under water-logging stress condition. Journal of Agroforestry and Environment 5(1): 87-90.

Jaiphong, T., J. Tominaga, K. Watanabe, M. Nakabaru, H. Takaragawa, R. Suwa, M. Ueno and Y. Kawamitsu. 2016. Effects of duration and combination of drought and flood conditions on leaf photosynthesis, growth and sugar content in sugarcane. Plant Production Science 19(3): 427-437.

Joseph, R., S. Reed, T. Ayala-Silva and B. Glaz. 2011. The effects of natural and induced short-term floods on four sugarcane accessions. International Sugar Journal 113: 207-213.

Malik, S.S. and B.S. Tomer. 2003. Sugarcane varietal performance under high water-logging conditions. Indian Sugar 53(8): 585-588

Milligan, S.B., K.A. Gravois and F.A. Martin. 1996. Inheritance of sugarcane ratooning ability and relationship of younger crop traits to older crop traits. Crop Science 36(1): 45-50.

National Statistical Office. 2020. Rainfall statistics at the meteorological station in 2016-2020 in Phisanulok (Online). Available: http://service.nso.go.th/nso/web/statseries/statseries27.html. (December 14, 2020). (in Thai)

Office of the Cane and Sugar Board. 2020. Report of sugarcane production in Thailand in 2019-20. (Online). Available: http://www.ocsb.go.th/upload/journal/fileupload/923-1854.pdf. (August 14, 2020). (in Thai)

Palachai, C., P. Songsri and N. Jongrungklang. 2019. Comparison of yield components of sugarcane varieties grown under natural short- and long-term water-logged conditions in Thailand. SABRAO Journal of Breeding and Genetics 51(1): 80-92.

Taiz, L. and E. Zeiger. 2002. Plant Physiology. 3rd ed. Sinauer, Sunderland.

Tetsushi, H. and M.A. Karim. 2007. Flooding tolerance of sugarcane in relation to growth, physiology and root structure. South Pacific Studies 28(1): 9-22.

Thongviang, V., T. Buphasorn, D. Somrak, P. Phasook, S. Chaluthong, W. Sensai, P. Kokkan, S. Roobsom, O. Yatabe and K. Niimi. 2014. Comparative study of new U-thong sugarcane varieties and locally cultivated varieties in Kumphawapi district, Udon Thani province. Khon Kaen Agricultue Journal 42(2): 231-238. (in Thai)

Tyagi, A.P. and P. Lai. 2007. Correlation and path coefficient analysis in sugarcane. South Pacific Journal of Natural Science 1: 1-10.

Unigarro Munos, C.A., J.I. Victoria Kafure and O.E. Checa Coral. 2013. Evaluation of aerenchyma radical area in sugar cane (*saccharum* spp.) as feature of tolerance to hypoxia. Acta Agronomica 62(3): 223-231.

Zhao, D. and Y.-R. Li. 2015. Climate change and sugarcane production: Potential impact and mitigation strategies. International Journal of Agronomy, Article ID 547386, doi: 10.1155/2015/547386.

การประเมินประชากรลูกผสมระหว่างข้าวก่ำพันธุ์แสง 5 ที่มีสารฟีนอลสูงในเมล็ด กับข้าวพันธุ์สมัยใหม่ปทุมธานี 1

Evaluation of Progeny Populations Between Purple Rice with High Grain Phenol cv. Saeng 5 and Modern Variety cv. Pathum Thani 1

พัทธพล ต้นกิ่ง[1] ชนากานต์ เทโบลต์ พรมอุทัย[1,2] ต่อนภา ผุสดี[1,2] และ ศันสนีย์ จำจด[1,2*]

Pattapon Tonking[1], Chanakan Thebault Prom-u-thai[1,2], Tonapha Pusadee[1,2] and Sansanee Jamjod[1,2*]

[1]*ภาควิชาพืชศาสตร์และปฐพีศาสตร์ คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ จ. เชียงใหม่ 50200*

[1]*Department of Plant and Soil Sciences, Faculty of Agriculture, Chiang Mai University, Chiang Mai 50200, Thailand*

[2]*ศูนย์วิจัยข้าวล้านนา มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ จ. เชียงใหม่ 50200*

[2]*Lanna Rice Research Center, Chiang Mai University, Chiang Mai 50200, Thailand*

**Corresponding author: Email: sansanee.cm@gmail.com*

(Received: 1 November 2021; Accepted: 9 February 2022)

Abstract: Khao Saeng 5 (KS5) is a “Khao Kam” with purple kernel and contained high phenol content in rice grain. It is traditional improved variety by pure line selection method from purple rice landraces in the highlands of northern Thailand. Phenolic compounds are considered as essential substances found in purple rice with antioxidant properties help to reduce the risk of various major chronic diseases. However, KS5 is a landrace rice variety with lower yielding than the modern varieties. Therefore, to improve KS5 with higher yields, the hybridization was conducted between KS5 and the modern white rice variety Pathum Thani 1. This study aimed to evaluate the agronomical characteristics of first- and second-generation hybrids and select plants with high phenol content from the second - generation population. The results showed that almost agronomical characteristics of F1 plants grown in wet season 2017 was ranged between KS5 and PTT1, excepted plant height had exceeded their parents, while the percent of filled grain was lower than their parents. In dry season 2018, the 129 F2 plants with purple pericarp were selected from 280 F2 plants. Almost all the selected purple pericarp F2 plants had the range of almost agronomical characters wider than their parents, except the percentage of filled grain was lower than female parent KS5. Grain yield was varied between 6.2 - 56.5 g/plant and skewed to KS5. Phenol content showed a continuous distribution ranging from 28 to 272 mg gallic acid equivalent/100 g. There was no relationship between grain yield and phenol content. The eight F2 plants with the highest grain phenol ranging from 199.7 - 272.3 mg gallic acid equivalent/100 g and grain yield ranging from 7.6 - 34.2 g/plant were selected. These F2 plant could be used as the genetic sources for subsequence selection to improve high grain quality purple rice.

Keywords: Purple rice, black glutinous rice, rice landraces, phenol, evaluation

Copyright @ Journal of Agriculture, Faculty of Agriculture, Chiang Mai University. All rights reserved.

บทคัดย่อ: ข้าวก่ำพันธุ์แสง 5 เป็นข้าวที่มีเยื่อหุ้มเมล็ดสีม่วงดำและมีปริมาณสารฟีนอลในเมล็ดสูงซึ่งได้คัดเลือกสายพันธุ์บริสุทธิ์มาจากพันธุ์พื้นเมืองท้องถิ่นบนพื้นที่สูงในภาคเหนือของประเทศไทย โดยสารประกอบฟีนอลถือเป็นสารสำคัญที่พบมากในข้าวก่ำซึ่งมีคุณสมบัติต้านอนุมูลอิสระและลดความเสี่ยงจากการเกิดโรคเรื้อรังสำคัญต่าง ๆ อย่างไรก็ตาม ข้าวพันธุ์แสง 5 เป็นข้าวพันธุ์พื้นเมืองที่มีผลผลิตต่ำเมื่อเทียบกับข้าวพันธุ์ปรับปรุงสมัยใหม่ ดังนั้น เพื่อปรับปรุงพันธุ์ข้าวแสง 5 ให้มีผลผลิตสูงขึ้นจึงได้ผสมพันธุ์กับข้าวขาวพันธุ์ปรับปรุงสมัยใหม่พันธุ์ปทุมธานี 1 การศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อประเมินลักษณะทางพืชไร่ของลูกผสมชั่วที่ 1 และชั่วที่ 2 และเพื่อคัดเลือกต้นที่มีเยื่อหุ้มเมล็ดสีดำที่มีปริมาณสารฟีนอลสูงจากประชากรลูกผสมชั่วที่ 2 โดยปลูกลูกผสมชั่วที่ 1 ในฤดูนาปี พ.ศ. 2560 ผลการทดลองพบว่า ลูกผสมชั่วแรกมีลักษณะทางพืชไร่ส่วนใหญ่และผลผลิตต่อต้นอยู่ระหว่างพ่อแม่ ยกเว้นลักษณะความสูงที่มากกว่าพันธุ์พ่อแม่ส่วนเปอร์เซ็นต์การติดเมล็ดน้อยกว่าพันธุ์พ่อแม่ ปลูกประชากรชั่วที่ 2 จำนวน 280 ต้น คัดเลือกต้นที่มีเยื่อหุ้มเมล็ดสีดำได้ 129 ต้น นำไปประเมินลักษณะทางพืชไร่ พบว่า ลักษณะทางพืชไร่กระจายตัวนอกเหนือขอบเขตของพ่อแม่ ลูกผสมส่วนใหญ่ติดเมล็ดน้อยกว่าพ่อแม่ มีค่าผลผลิตอยู่ระหว่าง 6.2 - 56.5 กรัมต่อต้น ส่วนใหญ่ค่อนไปทางพันธุ์แม่ วิเคราะห์สารฟีนอลในเมล็ดพบว่า มีการกระจายตัวแบบต่อเนื่องตั้งแต่ 28 ถึง 272 มิลลิกรัม กรดแกลลิกสมมูลต่อ 100 กรัม ไม่พบความสัมพันธ์ระหว่างผลผลิตกับปริมาณฟีนอลในเมล็ดข้าว คัดเลือกลูกผสมที่มีค่าปริมาณฟีนอลสูงสุด 8 ต้น มีค่าระหว่าง 199.7 - 272.3 มิลลิกรัม กรดแกลลิกสมมูลต่อ100 กรัม ฅมีผลผลิตระหว่าง 7.6 - 34.2 กรัมต่อต้น ซึ่งแสดงให้เห็นว่าต้นที่คัดเลือกสามารถใช้เป็นฐานพันธุกรรมในการคัดเลือกในรุ่นต่อไปได้

คำสำคัญ: ข้าวก่ำ ข้าวเหนียวดำ พันธุ์พื้นเมือง ฟีนอล การประเมิน

คำนำ

ประเทศไทยเป็นศูนย์รวมความหลากหลายของพันธุ์ข้าวที่สำคัญแห่งหนึ่งของโลก โดยเฉพาะในเขตภาคเหนือตอนบนของประเทศไทย โดยข้าวก่ำ (purple rice) หรือข้าวเหนียวดำ (black glutinous rice) เป็นข้าวพันธุ์พื้นเมืองที่นิยมปลูกทางภาคเหนือและภาคตะวันออกเฉียงเหนือของประเทศไทย มีลักษณะต่างจากข้าวทั่วไป คือ มีการปรากฏของสีม่วงของส่วนต่าง ๆ ได้แก่ แผ่นใบ กาบใบ กลีบดอก เปลือกเมล็ด และเยื่อหุ้มเมล็ด โดยคุณค่าทางอาหารของข้าวก่ำประกอบด้วย โปรตีน ฟอสฟอรัส ไขมัน แคลเซียม และโพแทสเซียม (Kaladee *et al*., 2000) สารสีม่วงที่พบเกิดจากการสะสมของสารแอนโทไซยานิน (anthocyanin) เป็นสารในกลุ่มฟลาโวนอยด์ (flavonoid) เช่นเดียวกับสารประกอบฟีนอลิคหรือสารประกอบฟีนอล (phenol) ที่พบในปริมาณที่สูงในข้าวก่ำ ซึ่งฟีนอลสามารถละลายน้ำได้ดี มีคุณสมบัติเป็นสารต้านอนุมูลอิสระ (antioxidant) (Pham, 2016) ช่วยป้องกันโรคมะเร็ง โรคหลอดเลือดหัวใจ โรคเบาหวาน โรคกระดูกพรุน รวมถึงโรคตับจากแอลกอฮอล์ (Xiao *et al*., 2020) จากคุณสมบัติชีวภาพทางการแพทย์ที่โดดเด่นในข้าวก่ำพันธุ์พื้นเมือง ข้าวก่ำจึงได้รับความนิยมมากขึ้นในยุคปัจจุบันที่ผู้บริโภคหันมาใส่ใจเรื่องสุขภาพมากขึ้น ข้าวก่ำยังเป็นวัตถุดิบคุณภาพสูงที่เหมาะสำหรับผู้ประกอบการร้านอาหารสุขภาพและผลิตภัณฑ์อาหารสุขภาพหลากหลายชนิด ตลอดจนการสกัดเอาสารสำคัญพิเศษในข้าวก่ำเพื่อการผลิตเครื่องสำอางและการใช้ประโยชน์ทางการแพทย์ที่กำลังเป็นกลุ่มสินค้าที่มีการเติบโตอย่างต่อเนื่องในยุคปัจจุบัน ดังนั้น เพื่อสอดรับกับความต้องการของผู้บริโภค ภาคการผลิตโดยเฉพาะการคัดเลือกสายพันธุ์ที่มีศักยภาพสูงมีบทบาทสำคัญต่อการกำหนดปริมาณและคุณภาพของข้าวก่ำคุณภาพสูง ดังนั้น การสร้างฐานพันธุกรรมข้าวพื้นเมือง จึงเป็นแนวทางหนึ่งที่นำไปสู่การได้มาซึ่งพันธุกรรมดีตรงกับความต้องการของผู้บริโภค ในขณะเดียวกันการปรับปรุงพันธุ์ข้าวสามารถสร้างความหลากหลายให้กับผลผลิตของข้าว และผลิตภัณฑ์จากข้าวที่มีมูลค่าสูงทางเศรษฐกิจของประเทศไทยต่อไป

ข้าวพันธุ์พื้นเมืองบ่งบอกความหลายทางชีวภาพของไทย รายงานของกลุ่มวิจัยทรัพยากรพันธุกรรมและธาตุอาหารพืช มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ ได้สำรวจและเก็บรวบรวมพันธุ์ข้าวท้องถิ่นจากที่สูงตามแหล่งต่าง ๆ ใน 3 จังหวัดภาคเหนือ คือ เชียงใหม่ เชียงราย และแม่ฮ่องสอน ระหว่างปี พ.ศ. 2556 ถึง 2558 โดยในปีแรกสามารถคัดเลือกมาได้ไม่น้อยกว่า 100 เชื้อพันธุ์ จากนั้นนำมาวิเคราะห์ ประเมินและจำแนกคุณภาพพิเศษในเมล็ดข้าวที่มีคุณค่าทางโภชนาการต่อผู้บริโภค เทียบกับสายพันธุ์ตรวจสอบนิยมบริโภคทั่วไป คัดเลือกได้ประชากรข้าวเหนียวดำพื้นเมืองที่เป็นข้าวไร่มีปริมาณสารฟีนอลสูงโดยวิธีการคัดเลือกพันธุ์บริสุทธิ์ (Jamjod *et al.*, 2015) จากนั้น นำมาปลูกประเมินลักษณะทางสัณฐานและการเจริญเติบโต รวมทั้งประเมินปริมาณสารฟีนอลเปรียบเทียบกับพันธุ์มาตรฐาน 5 พันธุ์ ได้แก่ ก่ำดอยสะเก็ด ก่ำหอม มช. ขาวดอกมะลิ 105 กข6 และซิวแม่จัน ผลการศึกษา พบว่า มีความสม่ำเสมอของสายพันธุ์และไม่พบการกระจายตัวในลักษณะทางสัณฐานและการเจริญเติบโต และสามารถคัดเลือกสายพันธุ์ที่มีค่าปริมาณฟีนอลสูง คือ พันธุ์แสง 5 มช. (Khao Saeng 5; KS5) ซึ่งมีปริมาณฟีนอลในเมล็ดข้าวกล้องสูง 655.4 กรัม กรดแกลลิกสมมูล ต่อกิโลกรัม (Plant Varieties Protection Office, 2020) อย่างไรก็ตาม แม้ว่าข้าวแสง 5 มช. ที่คัดเลือกได้มีปริมาณสารฟีนอลในเมล็ดสูง แต่เนื่องด้วยลักษณะที่ถูกควบคุมทางพันธุกรรมที่เป็นข้าวเหนียวพื้นเมือง ชนิดข้าวไร่ให้ผลผลิตเมล็ดต่ำ ส่งผลให้ข้าวพันธุ์แสง 5 มช. มีข้อจำกัดสำหรับการเพาะปลูกเพื่อการบริโภคและการใช้ประโยชน์เชิงพาณิชย์ในระยะยาว ดังนั้น เพื่อปรับปรุงพันธุ์ข้าวให้มีเมล็ดสีดำ มีสารฟีนอลสูง และมีศักยภาพในการให้ผลผลิตสูงกว่าพันธุ์แม่ดั้งเดิม จึงได้ผสมพันธุ์ระหว่างข้าวพันธุ์แสง 5 มช.ที่มีค่าฟีนอลสูงกับข้าวขาวพันธุ์ปรับปรุงสมัยใหม่พันธุ์ปทุมธานี 1 โดยการทดลองในครั้งนี้ได้ปลูกลูกผสมโดยมีวัตถุประสงค์เพื่อประเมินลักษณะของลูกผสมชั่วที่ 1 และ 2 และใช้เป็นฐานพันธุกรรมในการคัดเลือกพันธุ์ข้าวสำหรับการปรับปรุงข้าวก่ำให้ตรงตามความต้องการต่อไป

อุปกรณ์และวิธีการ

พันธุกรรม

ใช้ข้าวพันธุ์แสง 5 ที่มีปริมาณฟีนอลสูง เป็นข้าวพันธุ์พื้นเมืองจากพื้นที่สูง แป้งในเมล็ดเป็นชนิดข้าวเหนียว มีเยื่อหุ้มเมล็ดสีดำเป็นพันธุ์แม่ และใช้พันธุ์ปทุมธานี 1 (Pathum Thani 1; PTT1) ซึ่งเป็นพันธุ์ปรับปรุงสมัยใหม่ ชนิดข้าวเจ้า มีเยื่อหุ้มเมล็ดสีขาว มีศักยภาพให้ผลผลิตสูง เป็นพันธุ์พ่อ สร้างเมล็ดลูกผสมชั่วที่ 1 เริ่มจากเพาะเมล็ดพันธุ์-พ่อแม่ในจานเพาะ (Petri-dish) เมื่อต้นกล้าอายุประมาณ 15 วัน ย้ายปลูกในกระถางสูง 30 เซนติเมตร เส้นผ่าศูนย์กลาง 28 เซนติเมตร ที่บรรจุดินเต็มกระถาง ปลูกข้าว1 ต้นต่อหลุม กระถางละ 5 ต้น จำนวนสายพันธุ์ละ 3 กระถาง ปลูกในสภาพน้ำขัง โดยจัดช่วงระยะห่างของเวลาในการปลูกข้าวทุก ๆ 10 วัน จำนวนทั้งหมด 3 ครั้ง เพื่อให้ข้าวมีระยะออกดอกที่ใกล้เคียงกัน เมื่อถึงระยะออกดอกกำจัดเกสรตัวผู้ ของข้าวพันธุ์แม่ KS5 และนำเกสรตัวผู้จากพันธุ์พ่อ PTT1 มาผสมกับพันธุ์แม่ เมื่อถึงระยะสุกแก่เก็บเมล็ดลูกผสมจากต้นแม่ KS5 ไว้ที่ห้องเย็นอุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส

การประเมินลูกผสมชั่วที่ 1

ปลูกข้าวลูกผสมชั่วที่ 1 (F1) พันธุ์แม่ KS5 และพันธุ์พ่อ PTT1 ในฤดูนาปี ระหว่างเดือนกรกฎาคม-ตุลาคม พ.ศ. 2560 ที่โรงเรือนทดลองสาขาวิชาพืชไร่ คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ วางแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ (completely randomized design; CRD) จำนวน 3 ซ้ำ โดยเพาะเมล็ดข้าว ในจานเพาะ เมื่อต้นกล้าอายุประมาณ 15 วัน ย้ายลงปลูกในกระถางพลาสติกบรรจุดินที่มีขนาดเส้นผ่า-ศูนย์กลาง 17 เซนติเมตร ความสูง 14 เซนติเมตร กระถางละ 1 ต้น โดยปลูก F1 และพันธุ์พ่อแม่ พันธุ์ละ 10 กระถาง เมื่อต้นกล้าอายุครบ 20 วันหลังย้ายปลูก ใส่ปุ๋ยเกรด 15-15-15 อัตรา 25 กิโลกรัมต่อไร่ (0.35 กรัมต่อกระถาง) และเมื่อต้นข้าวอายุครบ 60 วันหลังปลูก ใส่ปุ๋ยเกรด 46-0-0 อัตรา 10 กิโลกรัมต่อไร่

(0.14 กรัมต่อกระถาง) เมื่อถึงระยะออกดอกบันทึกวันดอกบาน เมื่อถึงระยะสุกแก่บันทึกลักษณะทางพืชไร่ ได้แก่ ความสูง จำนวนหน่อต่อต้น ประเมินองค์ประกอบผลผลิตได้แก่ จำนวนรวงต่อต้น ความยาวรวง จำนวนระแง้ จำนวนช่อดอกต่อรวง เปอร์เซ็นต์เมล็ดดี และผลผลิตต่อต้น จากนั้นเก็บเมล็ดจากต้น F1 ใช้เป็นตัวแทนประชากร F2 ปลูกในชั่วต่อไป

การประเมินลูกผสมชั่วที่ 2

ปลูกลูกผสมชั่วที่ 2 (F2) และพันธุ์พ่อแม่ในฤดูนาปรัง ระหว่างเดือนกุมภาพันธ์ - กรกฎาคม พ.ศ. 2561 ที่แปลงทดลองสาขาวิชาพืชไร่ คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ เพาะเมล็ด F2 และพันธุ์พ่อแม่ ในกระบะที่บรรจุดินขนาดกว้าง 30 เซนติเมตร ยาว 45 เซนติเมตร เมื่อต้นกล้าอายุครบ 15 วัน ย้ายปลูกด้วยวิธีปักดำที่ระยะปลูก 25 x 25 เซนติเมตร ปลูก F2 จำนวน 280 ต้น ปลูกพันธุ์พ่อแม่พันธุ์ละ 50 ต้น บันทึกลักษณะทางพืชไร่เช่นเดียวกับชั่วที่ 1 แต่ละต้นสุ่มเมล็ดจำนวน 5 เมล็ด เพื่อประเมินสีเยื่อหุ้มเมล็ด จากนั้นคัดเลือกเฉพาะต้น F2 ที่มีเยื่อหุ้มเมล็ดสีดำและดำบางส่วนจำนวน 129 ต้น และพันธุ์พ่อแม่ พันธุ์ละ 5 ต้น (Figure 1) เพื่อทดสอบชนิดแป้งของเมล็ดด้วยสารละลายไอโอดีน 1 เปอร์เซ็นต์ (potassium iodide, KI) (Chang and Bardenas, 1965) โดยสุ่มตัวอย่างต้นละ 5 เมล็ดแกะเปลือกออกด้วยมือ โดยเมล็ดข้าวกล้องที่ย้อมติดสีแดงหรือน้ำตาล แสดงว่า มีชนิดแป้งแบบข้าวเหนียว ส่วนที่เมล็ดย้อมติดสีน้ำเงินแสดงว่ามีชนิดแป้งแบบข้าวเจ้า และวิเคราะห์ปริมาณสารฟีนอลโดยดัดแปลงตามวิธีของ Folin and Ciocalteu (1927) นำตัวอย่างข้าวกล้องปริมาณ 2.5 กรัม ไปบดให้ละเอียดเป็นแป้งแล้วชั่งน้ำหนักตัวอย่าง 0.5 กรัมใส่ใน centrifuge tube ขนาดความจุ 50 มิลลิกรัม สกัดฟีนอลด้วยสารละลายเมทานอล (methanol) เข้มข้น 50 เปอร์เซ็นต์ จำนวน 10 มิลลิกรัม เขย่าเป็นเวลา 1 ชั่วโมง หลังจากนั้นนำไปปั่นเหวี่ยงที่ความเร็ว 4,000 รอบต่อนาที เป็นเวลา 10 นาที แล้วดูดสารละลายเหนือตะกอน (supernatant) ใส่ใน centrifuge tube หลอดใหม่ขนาดความจุ 50 มิลลิกรัม สกัดฟีนอลซ้ำอีก 2 รอบ จากนั้นดูดสารสกัด 1 มิลลิกรัม ใส่ใน centrifuge tube ขนาดความจุ 15 มิลลิกรัม เติมสารละลาย Folin Ciocalteu reagent จำนวน 0.5 มิลลิกรัม เติมสารละลาย Na_2CO_3 เข้มข้น 20 เปอร์เซ็นต์ จำนวน 1.5 มิลลิกรัม และเติม deionized water จำนวน 7 มิลลิกรัม จากนั้นตั้งทิ้งไว้ 30 นาที วัดความเข้มของสารละลาย ด้วยเครื่อง spectrophotometer ที่ความยาวคลื่นแสง 760 นาโนเมตร โดยใช้สารละลายเข้มข้นมาตรฐานของกรดแกลลิก (Gallic acid) ที่ระดับ 0, 25, 50, 75, 100, 125, 200 ไมโครกรัมต่อมิลลิกรัม ในการสร้างกราฟมาตรฐานเพื่อหาปริมาณความเข้มข้นของกรดแกลลิกในสารละลายตัวอย่าง

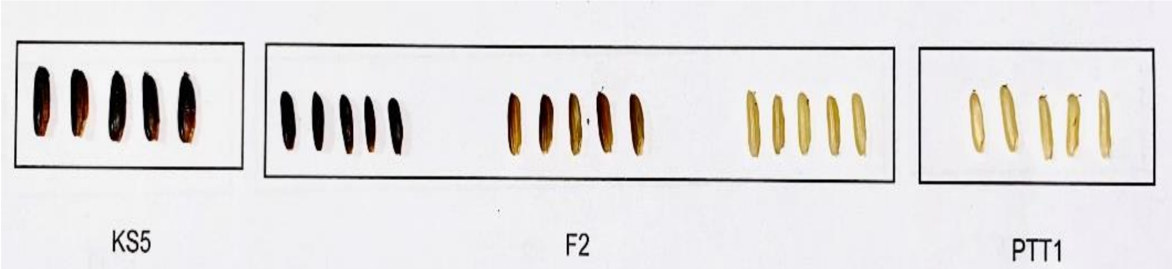


Figure 1. The black pericarp color of female parent Khao Saeng 5 (KS5), variation of pericarp color of F2 plants e.g., black, partial black and white and white pericarp color of male parent Pathum Thani 1 (PTT1)

การวิเคราะห์ข้อมูล

วิเคราะห์ข้อมูลในการประเมินลูกผสม F1 ด้วยวิธี analysis of variance (ANOVA) และเปรียบเทียบค่าความแตกต่างของค่าเฉลี่ยทางสถิติโดยใช้ least significant difference (LSD) ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ ส่วนลูกผสม F2 วิเคราะห์ช่วงของการกระจายตัว (range) ค่าเฉลี่ย (mean) ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (standard deviation) และหาความสัมพันธ์ระหว่างผลผลิตและปริมาณฟีนอลโดยใช้วิธีการวิเคราะห์สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (correlation coefficient)

ผลการศึกษาและวิจารณ์

ลูกผสมชั่วที่ 1

ลูกผสมชั่วแรกมีลักษณะทางพืชไร่แตกต่างจากพันธุ์พ่อแม่เกือบทุกลักษณะยกเว้นจำนวนหน่อต่อต้น จำนวนรวงต่อต้น และจำนวนระแง้ต่อรวง มีอายุออกดอกเร็วกว่า และต้นสูงกว่าพ่อแม่ โดยออกดอกที่ 83 วัน และต้นสูง 95 เซนติเมตร ขณะที่พ่อแม่ออกดอกระหว่าง 88 - 90 วัน และมีความสูงต้นระหว่าง 74 - 80 เซนติเมตร มีความยาวรวงอยู่ในช่วงระหว่างพ่อแม่ ติดเมล็ดเพียง 57 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งน้อยกว่าพ่อแม่ มีจำนวนช่อดอกต่อรวงและให้ผลผลิตน้อยกว่าพันธุ์พ่อและไม่แตกต่างจากพันธุ์แม่ (Table 1)

การประเมินลูกผสมชั่วที่ 2

ลักษณะทางพืชไร่

อายุออกดอก พบว่า ข้าวพันธุ์พ่อ PTT1 และพันธุ์แม่ KS5 มีอายุออกดอกเฉลี่ย เท่ากับ 118 และ 91 วัน นับจากวันเพาะเมล็ด ตามลำดับ ประชากร F2 มีอายุออกดอกกระจายตัวในช่วงกว้างตั้งแต่ 66 - 140 วัน มีค่าเฉลี่ยอายุออกดอก 91 วัน โดยส่วนใหญ่ออกดอกใกล้เคียงพันธุ์แม่ (Figure 2A) ลักษณะความสูง พบว่าพันธุ์พ่อและพันธุ์แม่มีค่าเฉลี่ยความสูงใกล้เคียงกันเท่ากับ 72.4 และ 73.6 เซนติเมตร ตามลำดับ ส่วนประชากร F2 มีการกระจายตัวของลักษณะความสูง

Table 1. Comparison of agronomic traits among F1 population, female parent Khao Saeng 5 (KS5) and male parent Pathum Thani 1 (PTT1)

Traits	P1 (KS5)	P2 (PTT1)	F1	F-test	$LSD_{0.05}$
Days to flowering	88 b	90 a	83 c	***	0.7
Plant height (cm)	80 b	74 b	95 a	***	6.5
Tillers per plant	4	5	4	ns	
Panicles per plant	4	5	4	ns	
Panicles length (cm)	22 c	28 a	24 b	**	2.3
Branches per panicle	7	8	7	ns	
Spikelets per panicle	69 b	119 a	89 b	**	21.0
Filled grain (%)	82 a	82 a	57 b	**	13.6
Grain yield per plant (g)	4.0 b	9.1 a	5.8 b	*	3.0

*, ** and *** indicated significantly difference at $P < 0.05$, $P < 0.01$ and $P < 0.001$, respectively. ns indicated non-significantly difference at $P < 0.05$

นอกเหนือจากขอบเขตของพันธุ์พ่อและแม่ โดยมีค่าความสูงกระจายตัวอยู่ระหว่าง 49 - 118 เซนติเมตร (Figure 2B) ส่วนความยาวรวง พบว่า พันธุ์พ่อ PTT1 มีค่าเฉลี่ยของความยาวรวงมากกว่าพันธุ์แม่ KS5 มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 28 และ 23 เซนติเมตร ตามลำดับ ในประชากร F2 พบการกระจายตัวเป็นแบบต่อเนื่องนอกเหนือจากขอบเขตพันธุ์พ่อและแม่ โดยมีความยาวรวงกระจายตัวตั้งแต่ 17 - 33 เซนติเมตร (Figure 2C) สำหรับลักษณะจำนวนช่อดอกต่อรวง พบว่า จำนวนช่อดอกต่อรวงของพันธุ์พ่อ PTT1 และพันธุ์แม่ KS5 มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 135 และ 61 ช่อดอก ตามลำดับ ส่วนประชากร F2 มีค่าอยู่ระหว่างพันธุ์พ่อและแม่ โดยมีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 99 ช่อดอกต่อรวง (Figure 2D) ด้านเปอร์เซ็นต์การติดเมล็ด พบว่า พันธุ์พ่อ PTT1 และพันธุ์แม่ KS5 ติดเมล็ดระหว่าง 80 - 100 เปอร์เซ็นต์ ส่วนในลูกผสม F2 มีการกระจายตัวของเปอร์เซ็นต์การติดเมล็ดเป็นแบบต่อเนื่อง มีค่าระหว่าง 10 ไปจนถึง 100 เปอร์เซ็นต์ มีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 54.7 เปอร์เซ็นต์ โดยต้น F2 ส่วนใหญ่กระจายตัวติดเมล็ดน้อยกว่าพ่อแม่ (Figure 2E) และลักษณะผลผลิต พบว่า พันธุ์พ่อ PTT1 มีค่าเฉลี่ยผลผลิตเท่ากับ 39.1 กรัม มากกว่าพันธุ์แม่ KS5 ซึ่งมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 14.0 กรัม ส่วนประชากร F2 พบการกระจายตัวของน้ำหนักเมล็ดต่อต้นในช่วงระหว่าง 6.2 - 56.5 กรัมต่อต้น โดยมีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 16.4 กรัม โดยต้น F2 ส่วนใหญ่มีผลผลิตต่ำค่อนไปทางพันธุ์แม่ (Figure 2F)

การผสมระหว่างข้าวแสง 5 (พันธุ์แม่) กับปทุมธานี 1 (พันธุ์พ่อ) เป็นการผสมระหว่างข้าวไร่และข้าวนา โดยที่พันธุ์พ่อแม่มีความแตกต่างกันทางพันธุกรรมอย่างมาก ส่งผลให้เกิดปัญหาในลูกผสม เช่น ผสมไม่ติด ลูกผสมอ่อนแอ ไปจนถึงลูกผสมเป็นหมัน แต่อย่างไรก็ตาม ในการศึกษาครั้งนี้ พบว่า สามารถผสมติด และให้ลูกผสมที่มีการเจริญเป็นปกติได้แต่ลูกผสม F1 มีเปอร์เซ็นต์การติดเมล็ดน้อยกว่าพ่อแม่ ส่งผลให้ผลผลิตน้อยตามไปด้วย สอดคล้องกับงานทดลอง Khodruankeaw *et al.* (2020) ที่ได้ผสมพันธุ์ระหว่างข้าวไร่พันธุ์ข้าวก่ำหอม มช. กับข้าวนาพันธุ์ปทุมธานี 1 ที่ลูกผสม F1 สามารถให้ผลผลิตได้ แต่ลูกผสม F1 มีการติดเมล็ดน้อยและสามารถเจริญเติบโตเป็นปกติได้ใน F2 ซึ่งตรงกันข้ามกับ Jaksomsak (2007) ที่ได้ผสมข้าวไร่พันธุ์ก่ำหอม มช. กับข้าวพันธุ์ชัยนาท 1 พบว่า ลูกผสม F1 มีเปอร์เซ็นต์การติดเมล็ดน้อยมาก แต่ลูกผสม F2 ไม่สามารถติดเมล็ดได้ เนื่องจากเป็นหมันทั้งหมด แสดงว่าการผสมพันธุ์ระหว่างข้าวไร่กับข้าวนามีโอกาสที่จะเกิดปัญหาความเข้ากันได้ทางพันธุกรรมระหว่างพันธุ์พ่อแม่ และหากผสมติดเมล็ดได้ลูกแล้วส่วนใหญ่ให้ผลผลิตต่ำ การคัดเลือกในช่วงที่มีการกระจายตัวจึงควรใช้ประชากรขนาดใหญ่เพื่อเพิ่มโอกาสในการพบต้นที่มีผลผลิตสูงและมีลักษณะอื่นที่ต้องการ

ชนิดแป้ง

ประเมินชนิดแป้งด้วยสารละลายไอโอดีน พบว่า ประชากร F2 มีการกระจายตัวของชนิดแป้งในเมล็ดเป็น 3 แบบ คือข้าวเจ้าทุกเมล็ด ข้าวเหนียวทุกเมล็ด และข้าวเจ้าปนกับข้าวเหนียวภายในต้นเดียวกัน โดยชนิดข้าวเจ้าปนข้าวเหนียวพบมากที่สุดถึง 41.1 เปอร์เซ็นต์ รองลงมาคือชนิดข้าวเจ้า 34.9 เปอร์เซ็นต์ และน้อยที่สุดคือข้าวเหนียว 24 เปอร์เซ็นต์ (Table 2)

ปริมาณสารฟีนอลในเมล็ด

พันธุ์พ่อ PTT1 มีค่าปริมาณสารฟีนอลระหว่าง 50.1 - 77.2 มิลลิกรัม กรดแกลลิกสมมูลต่อ 100 กรัม เฉลี่ยเท่ากับ 60.2 มิลลิกรัม กรดแกลลิกสมมูลต่อ 100 กรัม พันธุ์แม่ KS5 มีค่าฟีนอลในเมล็ดระหว่าง 198.7 - 289.0 มิลลิกรัม กรดแกลลิกสมมูลต่อ 100 กรัม เฉลี่ยเท่ากับ 242.2 มิลลิกรัม กรดแกลลิกสมมูลต่อ 100 กรัม โดยมีปริมาณสารฟีนอลสูงกว่าพันธุ์พ่อประมาณ 4 เท่า ส่วนประชากรลูกผสม F2 พบการกระจายตัวกว้าง และมีค่าการกระจายตัวตั้งแต่ 28 - 272 มิลลิกรัม กรดแกลลิกสมมูลต่อ 100 กรัม มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 96.8 มิลลิกรัม กรดแกลลิกสมมูลต่อ 100 กรัม (Figure 3)

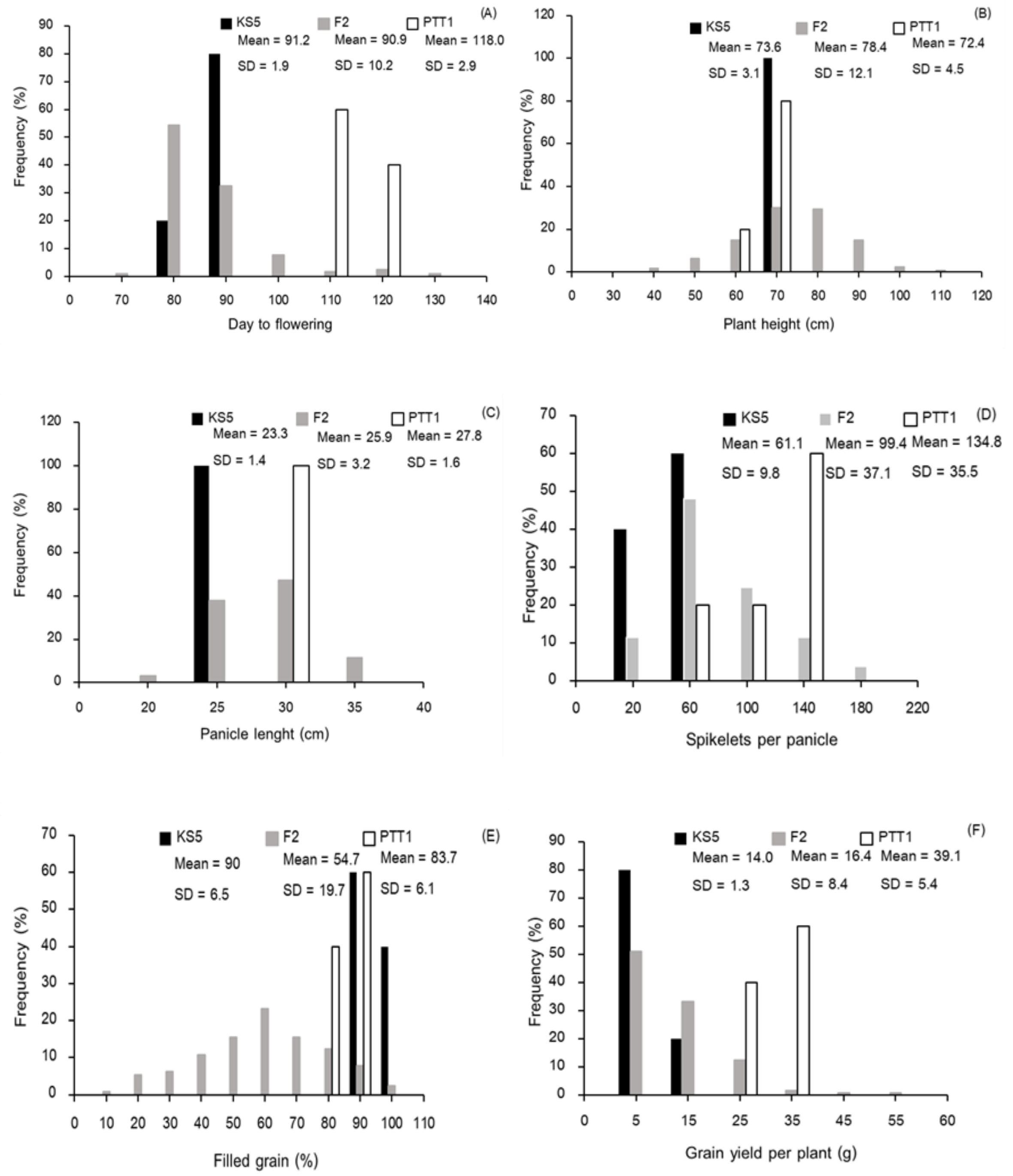


Figure 2. Distribution of days to flowering (A), plant height (B), panicle length (C), spikelets per spike (D), percent filled grain (E) and grain yield per plant (F) of F2 population. (The black, white and gray bars represented value of female parent Khao Saeng 5 (KS5), male parent Pathum Thani 1 (PTT1) and F2 population, respectively)

Table 2. Distribution of starch type of endosperm within F2 population from between male parent Pathum Thani 1 (PTT1) and female parent Khao Saeng 5 (KS5)

Family	Endosperm type	Number of plants	%
Family 2	Non-glutinous	45	34.9
	Glutinous	31	24.0
	Non-glutinous and glutinous	53	41.1
	Total	129	100
KS 5	Glutinous	5	100
PTT 1	Non-glutinous	5	100

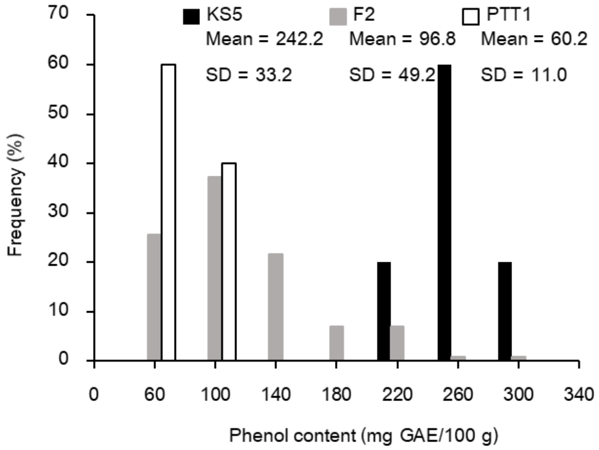


Figure 3. Distribution of phenol content of F2 population and Pathum Thani 1 (PTT1) and Khao Saeng 5 (KS5) parents grown in wet season 2018 in the experiment at Faculty of Agriculture, Chiang Mai University

การกระจายตัวของปริมาณฟีนอลในประชากรลูกผสม F2 มีการกระจายตัวแบบต่อเนื่อง (continuous distribution) ซึ่งกระจายตัวค่อนไปในทิศทางของปริมาณฟีนอลต่ำ และพบประชากร F2 ที่มีปริมาณฟีนอลสูงใกล้เคียงพันธุ์แม่ในสัดส่วนน้อย ซึ่งต้นที่มีปริมาณฟีนอลสูง มีในสัดส่วนน้อยมาก จึงคาดว่ามีการถ่ายทอดทางพันธุกรรมแบบปริมาณ ถูกควบคุมด้วยยีนจำนวนมากคู่ ต้นที่มีปริมาณฟีนอลในเมล็ดที่สูงส่วนใหญ่มีเยื่อหุ้มเมล็ดสีดำเข้ม ในขณะที่ต้นทีมีเยื่อหุ้มเมล็ดสีดำบางส่วนมีค่าน้อยมากซึ่งแทบไม่พบสารฟีนอลอยู่เลย ซึ่งให้ผลสอดคล้องกับการศึกษาของ Rungwattanapong (2011) พบความแตกต่างของปริมาณสารประกอบฟีนอลิคในเมล็ดข้าวกล้องของข้าวเหนียวก่ำตั้งแต่ 250.57 - 1085.81 มิลลิกรัม กรดแกลลิกสมมูลต่อ 100 กรัม เช่นเดียวกันกับ (Goffman and Bergman 2004; Min *et al*., 2012) พบความแปรปรวนของปริมาณฟีนอลที่แตกต่างกันระหว่างพันธุ์ข้าว โดยข้าวที่มีเมล็ดสีแตกต่างกันจะมีความแปรปรวนของปริมาณฟีนอลที่แตกต่างกัน ซึ่งพบปริมาณฟีนอลในข้าวก่ำและข้าวแดงมากกว่าข้าวขาว การกระจายตัวของลักษณะสีเยื่อหุ้มเมล็ดที่ปรากฏนั้น โดย Somboon *et al*. (2017) ได้ศึกษาสีเยื่อหุ้มเมล็ดในลูกผสมระหว่างข้าวเหนียวดำจากที่สูงกับข้าวพันธุ์ปทุมธานี 1 โดยพบว่า สีเยื่อหุ้มเมล็ดถูกควบคุมด้วยยีนจำนวน 2 คู่ และมีการแสดงออกแบบข่มข้ามคู่ (recessive epistasis)

การกระจายตัวระหว่างผลผลิตและปริมาณฟีนอลในเมล็ด

การสร้างกราฟการกระจายตัวระหว่างปริมาณผลผลิตต่อต้นและปริมาณฟีนอลในเมล็ด ไม่พบความสัมพันธ์ระหว่างสองลักษณะ (r = -0.0635; ns) (Figure 4) พบต้นที่มีปริมาณฟีนอลในเมล็ดสูงกว่าค่าเฉลี่ยทั้งหมด 48 ต้น มีปริมาณฟีนอลระหว่าง 101.5 - 272.3 มิลลิกรัม กรดแกลลิกสมมูลต่อ 100 กรัม และผลผลิตระหว่าง 6.2 - 56.5 กรัมต่อต้น และต้นที่มีปริมาณฟีนอลสูงสุดเท่ากับ 272.3 มิลลิกรัม กรดแกลลิกสมมูลต่อ 100 กรัม แต่ให้ผลผลิตอยู่ที่ 9.9 กรัมต่อต้น

เมื่อพิจารณาการกระจายตัวระหว่างผลผลิตกับปริมาณฟีนอลในเมล็ด ไม่พบความสัมพันธ์กันของทั้งสองลักษณะ สอดคล้องกับงานของ Khempet and Jongkaewwattana (2012) ที่ประเมินลักษณะทางพืชไร่กับปริมาณฟีนอลของข้าวก่ำพันธุ์พื้นเมือง 24 พันธุ์และไม่พบความสัมพันธ์ผลผลิตกับปริมาณฟีนอล ซึ่งการไม่มีความสัมพันธ์กันระหว่างผลผลิตกับปริมาณฟีนอลนั้น แสดงให้เห็นว่าปริมาณฟีนอลไม่เกี่ยวข้องกับการสร้างผลผลิตของข้าวลูกผสม อาจเป็นสิ่งที่ดีในการปรับปรุงพันธุ์ข้าวลูกผสมให้มีปริมาณฟีนอลสูง โดยไม่มีการสูญเสียผลผลิต อย่างไรก็ตาม เนื่องจากปริมาณฟีนอลในเมล็ดของประชากรลูกผสม F2 ที่ศึกษาในการทดลองนี้ มีช่วงการกระจายตัวกว้าง ส่วนใหญ่มีค่าปริมาณฟีนอลน้อยไปในทิศทางของพันธุ์ปทุมธานี 1 แต่ยังสามารถคัดเลือกต้นที่มีปริมาณฟีนอลในเมล็ดอยู่ในช่วงของพันธุ์แม่ได้จำนวน 8 ต้น (family) ปริมาณฟีนอลในเมล็ดของต้นลูกผสมที่คัดเลือกนั้นมีค่าอยู่ระหว่าง 199.7 - 272.3 มิลลิกรัม กรดแกลลิกสมมูลต่อ 100 กรัม สูงกว่าปริมาณฟีนอลในเมล็ดที่พบในพันธุ์ข้าวปทุมธานี 3 - 4 เท่า มีค่าผลผลิตอยู่ระหว่าง 7.6 - 34.2 กรัมต่อต้น ส่วนชนิดแป้งนั้นเป็นทั้งชนิดข้าวเหนียวและข้าวเจ้า (Table 3) การผสมพันธุ์ระหว่างข้าวไร่กับข้าวนาพบว่าลูกผสมทั้งชั่วแรกและชั่วที่สองส่วนใหญ่ให้ผลผลิตต่ำซึ่งเกิดจากการมีเปอร์เซ็นต์ติดเมล็ดต่ำ (Table 1, Figure 2E) อย่างไรก็ตาม พบบางต้นกระจายตัวให้ผลผลิตสูงและปริมาณฟีนอลสูงด้วย จากทั้ง 8 ต้นที่คัดเลือก พบว่า ต้นคัดเลือกที่ 3 มีค่าผลผลิตสูงสุดเท่ากับ 34.2. กรัมต่อต้น ไม่แตกต่างจากพันธุ์พ่อ ที่เหลือมีค่าผลผลิตใกล้เคียงหรือน้อยกว่าพันธุ์แม่ ในชั่วถัดไปวางแผนในการปลูกลูกผสมให้กระจายตัวเพื่อให้มีโอกาสคัดเลือกต้นที่มีปริมาณสารฟีนอลและผลผลิตสูงได้

Table 3. Agronomic traits, starch type and phenol content of 8 selected F2 plants with black pericarp, female Khao Saeng 5 (KS5) and male Pathum Thani 1 (PTT1) parents

Selection	F2 family	Days to flowering (days)	Plant height (cm)	Tillers per plant	Panicles per plant	Panicle length (cm)	Spikelets per panicle	Filled grain (%)	Grain yield per plant (g)	Phenol Content (mg GAE/100 g)	Starch type	Pericarp color
1	2	82	96	6	6	32.5	91	47.3	9.9	272.3	Both type	Black
2	39	90	79	10	10	21	71	62.0	7.7	250.4	Non-glutinous	Black
3	28	106	94	10	10	25.8	139	79.1	34.2	217.0	Non-glutinous	Black
4	1	82	81	8	8	26	112	33.9	10.7	216.2	Glutinous	Black
5	35	87	97	5	5	24.6	88	43.2	7.6	211.9	Glutinous	Black
6	121	84	88	11	11	29.5	121	57.9	12.6	206.1	Non-glutinous	Black
7	123	92	87	6	6	25.4	80	23.8	12.6	201.2	Glutinous	Black
8	62	87	92	9	9	26.4	95	28.4	14.2	199.7	Both type	Black
Parent	P1 (KS5)	91 (1.9)	74 (3.1)	7 (1.1)	6 (0.5)	23 (1.4)	61 (9.8)	90 (6.5)	14.0 (1.3)	242.3 (33.2)	Glutinous	Black
	P2 (PTT1)	118 (2.9)	72 (4.5)	17 (4.9)	17 (4.9)	28 (1.6)	135 (35.5)	84 (6.1)	39.1 (5.4)	60.2 (11.0)	Non-glutinous	White

The value in parenthesis represented standard deviation (sd)

สรุป

จากการศึกษาในคู่ผสมระหว่าง ข้าวเหนียวดำ ที่เป็นข้าวไร่พันธุ์พื้นเมือง ปริมาณฟีนอลในเมล็ดสูง (แสง 5) ที่ใช้เป็นพันธุ์แม่ กับข้าวนาสวน ที่เป็นข้าวเจ้าขาว ไม่ไวต่อช่วงแสง ผลผลิตสูง มีปริมาณฟีนอลในเมล็ดต่ำ (ปทุมธานี 1) ที่ใช้เป็นพันธุ์พ่อ ประเมินในชั่วที่ 1 และ 2 พบว่าลูกผสม F1 มีลักษณะทางพืชไร่ มีค่าอยู่ระหว่างพ่อแม่ ยกเว้นลักษณะความสูงและเปอร์เซ็นต์เมล็ดดี มีต้นสูงกว่าพ่อแม่แต่ติดเมล็ดน้อยกว่า ในลูกผสม F2 ลักษณะสัณฐานเมล็ดพบการกระจายตัวของชนิดแป้ง 3 ชนิด คือข้าวเจ้า ข้าวเหนียว ข้าวเจ้าและข้าวเหนียวภายในต้นเดียวกัน โดยส่วนใหญ่พบการกระจายตัวแบบชนิดข้าวเจ้าและข้าวเหนียวภายในต้นเดียวกันมากที่สุด ลักษณะทางพืชไร่ เช่น ลักษณะความสูงต้น ความยาวรวง จำนวนช่อดอกต่อรวง เปอร์เซ็นต์ เมล็ดดี และผลผลิต พบการกระจายตัวแบบต่อเนื่อง (continuous distribution) อยู่นอกเหนือขอบเขตของพ่อแม่ (transgressive segregation) โดยผลผลิตมีค่าอยู่ระหว่าง 6.2 - 56.5 กรัมต่อต้น ส่วนใหญ่มีค่าผลผลิตต่ำไปทางพันธุ์แม่ โดยพันธุ์แม่มีผลผลิตอยู่ที่ 14 กรัม และพันธุ์พ่อมีผลผลิตอยู่ที่ 39.1 กรัม ส่วนปริมาณฟีนอลมีความเข้มข้นอยู่ระหว่าง 28 - 272 มิลลิกรัม กรดแกลลิกสมมูลต่อ 100 กรัม โดยส่วนใหญ่มีค่าปริมาณฟีนอลค่อนข้างต่ำไปในทางพันธุ์พ่อ และไม่พบความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณฟีนอลในเมล็ดกับผลผลิตในลูกผสม F2 อย่างไรก็ตาม สามารถคัดเลือกลูกผสม F2 ที่มีปริมาณฟีนอลสูงใกล้เคียงพันธุ์แม่ได้ 8 ต้น มีค่าอยู่ระหว่าง 199.7 - 272.3 มิลลิกรัม กรดแกลลิกสมมูลต่อ 100 กรัม สามารถใช้เป็นฐานพันธุกรรมเพื่อพัฒนา และคัดเลือกข้าวสายพันธุ์คุณภาพพิเศษพันธุ์ใหม่ต่อไป

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับทุนสนับสนุนจากสำนักงานพัฒนาการวิจัยการเกษตรองค์การมหาชน (สวก.)

เอกสารอ้างอิง

Chang, T.T and E.A. Bardenas. 1965. The Morphology and Varietal Characteristics of the Rice Plant. Technical Bulletin 4. The International Rice Research Institute, Laguna.

Folin, O. and V. Ciocalteu. 1927. On tyrosine and tryptophane determinations in proteins. The Journal of Biological Chemistry 73(2): 627-650.

Goffman, F.D. and C.J. Bergman. 2004. Rice kernel phenolic content and its relationship with antiradical efficiency. Journal of the Science of Food and Agriculture 84(10): 1235-1240.

Jaksomsak, P. 2007. Genetic control of iron content in rice grain. M.S. Thesis. Chiang Mai University, Chiang Mai. 93 p. (in Thai)

Jamjod, S., C. Thebault Prom-u-thai, N. Yimyam and S. Lordkaew. 2015. Collection, evaluation and characterization for special quality in Thai rice varieties from Chiang Mai, Chiang Rai and Mae Hong Son provinces. Final report. Lanna Rice Research Center, Chiang Mai University, Chiang Mai. 71 p. (in Thai)

Kaladee, D., P. Pongpiachan and S. Jamjod. 2000. Genetics, breeding and agriculture nutritional immunity of purple rice (*Oryza sativa* L.). Final report Science and Technology Research Institute. Chiang Mai University. Chiang Mai. 74 p. (in Thai)

Khempet, S. and S. Jongkaewwattana. 2012. Comparison of Agronomic Characteristics and Total Phenolic Content of Native Purple Glutinous Rice. Chiang Mai University Journal of Natural Sciences

(Special Issue on Agricultural & Natural Resources) 11(1): 359-369.

Khodruankeaw, T., C. Thebault Prom-u-thai, T. Pusadee and S. Jamjod. 2020. Evaluation of progeny population between upland rice KumHomMorChor and photoperiod insensitive rice varieties. Khon Kaen Agriculture Journal 48(3): 535-546. (in Thai)

Min, B., L. Gu, A.M. Mc Clung, C.J. Bergman and M.H. Chen. 2012. Free and bound total phenolic concentrations, antioxidant capacities, and profiles of proanthocyanidins and anthocyanins in whole grain rice (*Oryza sativa* L.) of different bran colours. Food Chemistry 133(3): 715-722.

Pham, V.H. 2016. Phenolic compounds of cereals and their antioxidant capacity. Critical Reviews in Food Science and Nutrition 56(1): 25-35.

Plant Varieties Protection Office. 2020. Advertisement of a request for the certificate of a new plant variety registration according to the Plant Varieties Protection Act, B.E. 1975. (Online). Available: https://www.doa.go.th/pvp/wp-content/uploads/2020/11/AnnoDOA_Public233.pdf (August 5, 2021). (in Thai)

Rungwattanapong, T. 2011. Relationship between anthocyanin total phenolic content and antioxidant activities of local purple glutinous rice. M.S. Thesis. Chiang Mai University, Chiang Mai. 83 p. (in Thai)

Somboon, P., C. Thebault Prom-u-thai, T. Pusadee and S. Jamjod. 2017. Gene segregation for anthocyanin contents in F2 population between purple glutinous rice from highland and Pathum Thani 1 grown at lowland and highland locations. Journal of Agriculture 33(3): 323-332. (in Thai)

Xiao, J, C. Wu, Y. He, M. Guo, Z. Peng, Y. Liu, L. Liu, L. Dong, Z. Guo, R. Zhang and M. Zhang. 2020. Rice bran phenolic extract confers protective effects against alcoholic liver disease in mice by alleviating mitochondrial dysfunction via the PGC-1α-TFAM pathway mediated by microRNA-494-3p. Journal of Agricultural and Food Chemistry 68(44):12284-12294.

ผลของการให้ปุ๋ยฟอสฟอรัสทางใบต่อผลผลิตและประสิทธิภาพการดูดใช้ฟอสฟอรัสในข้าวพันธุ์ กข61

Effects of Foliar Phosphorus Fertilizer on Yield and Phosphorus Use Efficiency in Rice RD61 Variety

สายชล สุขญาณกิจ[1*] โสภิดา สุขญาณกิจ[1] ชาลินี คงสุด[2] และ ธนวรรณ พาณิชพัฒน์[3]
Saychol Sukyankij[1*], Sopida Sukyankij[1], Chalinee Khongsud[2] and Thanawan Panich-pat[3]

[1]คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏพระนครศรีอยุธยา จ. พระนครศรีอยุธยา 13000
[1]Faculty of Science and Technology, Phranakhon Si Ayutthaya Rajabhat University, Phranakhon Si Ayutthaya 13000, Thailand
[2]ศูนย์ปฏิบัติการวิจัยและเรือนปลูกพืชทดลอง คณะเกษตร กำแพงแสน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน จ. นครปฐม 73140
[2]Central Laboratory and Greenhouse Complex, Faculty of Agriculture at Kamphaeng Saen, Kasetsart University, Kamphaeng Saen Campus, Nakhon Pathom 73140, Thailand
[3]ภาควิชาวิทยาศาสตร์ คณะศิลปศาสตร์และวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน จ. นครปฐม 73140
[3]Department of Science, Faculty of Liberal Arts and Science, Kasetsart University, Kamphaeng Saen Campus, Nakhon Pathom 73140, Thailand
**Corresponding author: Email: saychol.agri@gmail.com*

(Received: 27 October 2021; Accepted: 2 February 2022)

Abstract: Foliar fertilizer application is one of the methods to increase fertilizer use efficiency in plant. The objective of this research was to evaluate the rate of basal phosphorus (P) fertilizer combined with foliar P fertilizer application for improving yield and P use efficiency (PUE) in rice. The variety RD61 was planted in the Ayutthaya soil series, Phranakhon Si Ayutthaya province. The experimental design was carried out in randomized complete block design (RCBD) with 3 replications and 11 treatments. The results showed that the basal P fertilizer at the rate 0.5 times of site-specific fertilizer management (SSF) combined with foliar P fertilizer application at 1.28 kg P_2O_5/rai ($P_{0.5SSF}$ + $FP_{1.28}$) provided the highest grain yield (1,185 kg/rai) which was not significantly different from the P fertilizer application according to the farmers practices (P_{FMP}) (10 kg P_2O_5/rai) and also gave the highest total P uptake in rice (10.17 kg P/rai). The basal fertilizer application of $P_{0.5SSF}$ was linear correlation between grain yield (R^2 = 0.89*) and total P uptake in grain (R^2 = 0.95**) with the concentration of foliar P fertilizer application higher than $P_{0.25SSF}$. It was found that the foliar P fertilizer application at various rates had higher P use efficiency than basal P fertilizer application. The application of basal P fertilizer at 0.5 times of SSF combined with foliar P fertilizer at 1.28 kg P_2O_5/rai is suggested as a suitable method to increase yield and P use efficiency of rice RD61 variety planted in Phranakhon Si Ayutthaya province.

Keywords: Phosphorus, foliar fertilizer, P use efficiency, rice RD61 variety

Copyright @ Journal of Agriculture, Faculty of Agriculture, Chiang Mai University. All rights reserved.

บทคัดย่อ: การให้ปุ๋ยทางใบเป็นวิธีการหนึ่งในการเพิ่มประสิทธิภาพการใช้ปุ๋ยของพืช โดยงานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อประเมินการให้ปุ๋ยฟอสฟอรัสทางดินร่วมกับการพ่นปุ๋ยฟอสฟอรัสทางใบที่สามารถส่งเสริมการสร้างผลผลิตและประสิทธิภาพการดูดใช้ฟอสฟอรัสในข้าวพันธุ์ กข61 ที่ปลูกในชุดดินอยุธยา จังหวัดพระนครศรีอยุธยา วางแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ภายในบล็อก (RCBD) จำนวน 3 ซ้ำ 11 ตำรับทดลอง ผลการทดลองพบว่า การให้ปุ๋ยฟอสฟอรัสอัตรา 0.5 เท่าของค่าวิเคราะห์ดินร่วมกับการพ่นปุ๋ยฟอสฟอรัสทางใบอัตรา 1.28 กิโลกรัม P_2O_5/ไร่ ให้ผลผลิตเมล็ดสูงสุด (1,185 กิโลกรัมต่อไร่) ซึ่งไม่แตกต่างทางสถิติกับการให้ปุ๋ยฟอสฟอรัสตามวิธีการของเกษตรกร (10 กิโลกรัม P_2O_5/ไร่) และกรรมวิธีดังกล่าวยังให้ค่าการดูดใช้ฟอสฟอรัสรวมในข้าวสูงที่สุดด้วย (10.17 กิโลกรัม P/ไร่) การให้ปุ๋ยฟอสฟอรัสทางดินอัตรา 0.5 เท่าของค่าวิเคราะห์ดินให้ค่าสหสัมพันธ์เชิงเส้นระหว่างผลผลิตเมล็ด (R^2= 0.89*) และปริมาณการดูดใช้ฟอสฟอรัสในเมล็ด (R^2= 0.95**) กับอัตราการพ่นปุ๋ยฟอสฟอรัสทางใบสูงกว่าการให้ปุ๋ยฟอสฟอรัสทางดินอัตรา 0.25 เท่าของค่าวิเคราะห์ดิน ด้านประสิทธิภาพการดูดใช้ฟอสฟอรัสในข้าวนั้น การพ่นปุ๋ยฟอสฟอรัสทางใบในอัตราต่าง ๆ ส่งผลให้ข้าวพันธุ์ กข61 มีประสิทธิภาพการดูดใช้ฟอสฟอรัสสูงกว่าการให้ปุ๋ยฟอสฟอรัสทางดิน ดังนั้นการให้ปุ๋ยฟอสฟอรัสอัตรา 0.5 เท่าของค่าวิเคราะห์ดินร่วมกับการพ่นปุ๋ยฟอสฟอรัสทางใบอัตรา 1.28 กิโลกรัม P_2O_5/ไร่ เป็นวิธีการที่เหมาะสมในการเพิ่มผลผลิตและช่วยปรับปรุงประสิทธิภาพการใช้ปุ๋ยฟอสฟอรัสในข้าวพันธุ์ กข61 ที่ปลูกในพื้นที่จังหวัดพระนครศรีอยุธยา

คำสำคัญ: ฟอสฟอรัส การให้ปุ๋ยทางใบ ประสิทธิภาพการดูดใช้ฟอสฟอรัส ข้าวพันธุ์ กข61

คำนำ

ข้าวพันธุ์ กข 61 ได้รับความนิยมในการปลูกในพื้นที่นาชลประทานของจังหวัดพระนครศรีอยุธยา เนื่องจากเป็นสายพันธุ์ที่มีระยะเวลาตั้งแต่ปลูกจนถึงเก็บเกี่ยวสั้นกว่าข้าวพันธุ์อื่น ๆ สามารถต้านทานเพลี้ยกระโดดสีน้ำตาลและโรคใบไหม้ได้ดี (Division of Rice Research and Development, 2021) ลักษณะต้นค่อนข้างเตี้ยโดยมีความสูงเฉลี่ยประมาณ 80 เซนติเมตร ทำให้สามารถเก็บเกี่ยวได้ง่ายไม่ค่อยประสบปัญหาการหักล้มของข้าวเมื่อถึงระยะเก็บเกี่ยว นอกจากนี้ข้าวพันธุ์ กข 61 ยังเป็นสายพันธุ์ข้าวที่ให้ผลผลิตสูง โดยจากการสอบถามเกษตรกรผู้ปลูกข้าวสายพันธุ์นี้ในพื้นที่จังหวัดพระนครศรีอยุธยาพบว่า เกษตรกรบางรายสามารถปลูกและได้ผลผลิตสูงถึง 1,000 กิโลกรัมต่อไร่ และด้วยเป็นสายพันธุ์ข้าวที่มีระยะเวลาปลูกจนถึงเก็บเกี่ยวสั้นจึงเหมาะสมที่จะปลูกในพื้นที่ที่มีน้ำท่วมเป็นประจำ (Division of Rice Research and Development, 2021) เช่น ในพื้นที่จังหวัดพระนครศรีอยุธยา โดยพื้นที่จังหวัดพระนคร-ศรีอยุธยานั้น เป็นพื้นที่ในเขตดินเปรี้ยวจัดในกลุ่มดินเปรี้ยวเทียม (post-active acid sulfate soil) ที่สำคัญของประเทศไทย ลักษณะสำคัญของดินในกลุ่มนี้คือเป็นดินเหนียวจัด ซึ่งส่วนใหญ่ประกอบด้วยดินเหนียวในกลุ่ม 2 : 1 ดินอาจมีพีเอชสูงกว่า 4 แต่ยังมีแร่จาโรไซต์ซึ่งเป็นแร่ก่อกรดอยู่ในหน้าตัดดิน ดังนั้น ดินจึงอาจแสดงความเป็นกรดเพิ่มขึ้นหากช่วงหน้าแล้งในพื้นที่เกิดระแหงที่ลึกพอให้อากาศผ่านลงไปทำปฏิกิริยากับแร่ไพไรต์แล้วเกิดเป็นแร่จาโรไซต์ ซึ่งทำให้ความเป็นกรดเพิ่มขึ้นและจำกัดความเป็นประโยชน์ของธาตุอาหาร เช่น ไนโตรเจนและฟอสฟอรัสในดิน (Attanandana, 2007; Sukyankij *et al*., 2021) โดยเฉพาะฟอสฟอรัสเป็นธาตุอาหารที่มีความสำคัญต่อสิ่งมีชีวิตทั้งพืชและสัตว์ ในพืชนั้นฟอสฟอรัสมีบทบาทเกี่ยวกับเมแทบอลิซึมของเซลล์อย่างกว้างขวาง เนื่องจากเป็นธาตุที่เป็นองค์ประกอบของกรดนิวคลีอิกซึ่งเกี่ยวข้องกับการสังเคราะห์โปรตีน เป็นองค์ประกอบของฟอสโฟลิพิดในเยื่อหุ้มเซลล์ และเป็นองค์ประกอบของ ATP ซึ่งเป็นสารประกอบที่มีบทบาทในกระบวนการทางชีวเคมีในเซลล์พืช (Bumphenyoo and Ruamrungsri, 2003; Osotsapar, 2015) และสืบเนื่องจากฟอสฟอรัสเป็นธาตุที่มีความว่องไวในการทำปฏิกิริยาโดยเฉพาะกับ

ธาตุเหล็กและอะลูมินัมในดินเปรี้ยวจัด (Pierzynski *et al*., 2005) ดังนั้น ข้าวที่ปลูกในพื้นที่ดินเปรี้ยวจัดทั้งดินในกลุ่ม active sulfate soil และ post-active sulfate soil เช่น ดินในพื้นที่จังหวัดพระนครศรีอยุธยา จึงมักถูกจำกัดความเป็นประโยชน์ของฟอสฟอรัส หรือแม้กระทั่งการใส่ปุ๋ยเคมีฟอสฟอรัสลงไปก็เกิดการทำปฏิกิริยากับเหล็ก หรืออะลูมินัมที่ละลายออกมาและกลายเป็นสารประกอบต่าง ๆ เช่น Ca-P, Fe-P หรือ Al-P (Girma *et al*., 2007; Penn and Camberato, 2019) ทำให้พืชดูดฟอสฟอรัสไปใช้ได้ไม่เต็มที่ ทั้งนี้ Roberts and Johnston (2015) รายงานว่า เมื่อใส่ปุ๋ยฟอสฟอรัสลงดินเกิดการเปลี่ยนรูปของฟอสฟอรัสซึ่งสามารถจำแนกได้เป็น 4 กลุ่ม และมีปริมาณน้อยกว่า 25 เปอร์เซ็นต์ของปุ๋ยฟอสฟอรัสที่ใส่ที่ถูกเปลี่ยนไปอยู่ในรูปที่พืชใช้ประโยชน์ได้ทันที ในข้าวฟอสฟอรัสมีบทบาทสำคัญเกี่ยวกับการส่งเสริมการแตกกอ การพัฒนาของรากการออกดอกและการสุกแก่ การขาดฟอสฟอรัสในข้าวมีผลให้การแตกกอลดลง ช่อดอก และเมล็ดลดลงขณะที่ใบอ่อนยังคงเจริญต่อไปได้แต่ใบแก่เปลี่ยนเป็นสีน้ำตาลและตายลง (Dobermann and Fairhurst, 2000) ดังนั้น การให้ปุ๋ยฟอสฟอรัสจึงเป็นปัจจัยสำคัญต่อการเจริญและพัฒนาของข้าว ด้านการตอบสนองของข้าวต่อปุ๋ยฟอสฟอรัสนั้นมีความผันแปรไปขึ้นกับปัจจัยต่าง ๆ เช่น สมบัติทั้งทางเคมีและกายภาพของดิน สายพันธุ์ข้าว รวมถึงระบบการจัดการในการเพาะปลูก (Fageria *et al*., 1988; Jiang *et al*., 2021) โดยเฉพาะสมบัติดินเบื้องต้นนั้นมีผลอย่างมากในส่วนของการตอบสนองของข้าวต่อปุ๋ยฟอสฟอรัสที่ใส่ การพิจารณาปรับปรุงประสิทธิภาพการใช้ปุ๋ยฟอสฟอรัสในข้าวนั้นทำได้โดยการจัดการดินและระบบการปลูกพืช การจัดการด้านสภาพแวดล้อมการเพาะปลูกรวมทั้งแหล่งของปุ๋ยฟอสฟอรัสที่ใช้ (Bationo and Kumar, 2002) และประเมินประสิทธิภาพการใช้ปุ๋ยฟอสฟอรัสจากค่าประสิทธิภาพการดูดใช้ฟอสฟอรัสในพืช (phosphorus-use efficiency, PUE) โดยค่าดังกล่าวเป็นสัดส่วนของความเข้มข้นของฟอสฟอรัสในพืชที่เพิ่มขึ้นต่อปริมาณปุ๋ยฟอสฟอรัสที่ใช้ไป (Girma *et al*., 2007; Mosali *et al*., 2006) มีรายงานการให้ปุ๋ยฟอสฟอรัสทางใบช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการดูดใช้ฟอสฟอรัสในพืชได้ดีกว่าการให้ทางดินเพียงอย่างเดียว (Girma *et al*., 2007; Mosali *et al*., 2006) โดย Girma *et al*. (2007) รายงานว่า การให้ปุ๋ยฟอสฟอรัสทางใบให้ค่าประสิทธิภาพการดูดใช้ฟอสฟอรัสในพืชสูงกว่าการให้ทางดิน และการพ่นปุ๋ยฟอสฟอรัสในอัตราความเข้มข้นต่ำให้ค่าประสิทธิภาพการดูดใช้ฟอสฟอรัสในพืชสูงกว่าการพ่นในอัตราความเข้มข้นสูง นอกจากนี้ช่วงระยะการเจริญเติบโตของพืชก็มีผลต่อประสิทธิภาพการดูดใช้ธาตุอาหารเช่นกัน โดย Mosali *et al*. (2006) ศึกษาการให้ปุ๋ยฟอสฟอรัสทางใบในข้าวสาลีพบว่า การพ่นปุ๋ยฟอสฟอรัสทางใบในข้าวสาลีที่ระยะดอกบานเต็มที่ช่วยให้ข้าวสาลีมีประสิทธิภาพการดูดใช้ฟอสฟอรัสสูงกว่าการพ่นที่ระยะเจริญทางลำต้นหรือที่ระยะเริ่มติดดอก โดยปุ๋ยฟอสฟอรัสที่นิยมนำมาใช้เป็นปุ๋ยทางใบนั้นมีหลายชนิดและหนึ่งในนั้นคือปุ๋ยโมโนโพแทสเซียมฟอสเฟต (KH_2PO_4) (0-52-34) ซึ่งเป็นปุ๋ยที่นำมาใช้ในการทดลองครั้งนี้ เนื่องจากปุ๋ยฟอสฟอรัสชนิดนี้เป็นปุ๋ยสูตรเข้มข้นสมบัติทางกายภาพดี และสารประกอบฟอสเฟตในปุ๋ยแตกตัวได้ง่าย จึงเหมาะสมสำหรับใช้เป็นปุ๋ยทางใบ (Osotsapar *et al*., 2013) ดังนั้น การพิจารณาให้ปุ๋ยฟอสฟอรัสทางใบเพิ่มเติมจากการให้ปุ๋ยโดยวิธีหว่านปกติอาจเป็นการปรับปรุงประสิทธิภาพการใช้ปุ๋ยฟอสฟอรัสในข้าวที่ปลูกในดินเปรี้ยวจัด รวมทั้งช่วยเพิ่มผลผลิตข้าวที่ปลูกในพื้นที่ จึงเป็นที่มาของงานวิจัยนี้ โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อเปรียบเทียบอัตราการให้ปุ๋ยฟอสฟอรัสทางใบที่แตกต่างกันร่วมกับการให้ปุ๋ยทางดินต่อผลผลิต และประสิทธิภาพการดูดใช้ฟอสฟอรัสในข้าวที่ปลูกในดินพื้นที่จังหวัดพระนครศรีอยุธยา

อุปกรณ์และวิธีการ

การวางแผนการทดลอง

จัดทำแปลงทดลองสำหรับปลูกข้าวในเดือนพฤศจิกายน พ.ศ. 2563 โดยใช้แปลงนาเกษตรกรในตำบลกระแชง อำเภอบางไทร จังหวัดพระนครศรีอยุธยา

ซึ่งจัดอยู่ในชุดดินอยุธยา (very-fine, mixed, active, acid, isohyperthermic, Vertic Endoaquepts) (Division of Soil Survey and Soil Resource Research, 2019) เก็บตัวอย่างดินในแปลงก่อนทดลองที่ระดับความลึก 0 - 30 เซนติเมตร (Apg horizon) เพื่อวิเคราะห์สมบัติดินขั้นพื้นฐาน ประกอบด้วย เนื้อดิน (Gee and Bauder, 1986) พีเอชดิน (Thomas, 1996) ค่าการนำไฟฟ้าขณะดินอิ่มตัวด้วยน้ำ (Rhoades, 1996) อินทรียวัตถุ (Walkley and Black, 1934) ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ (Bray and Kurzt, 1945) โพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ (Thomas, 1982) (Table 1) โดยพบว่า ดินที่ใช้ทดลองมีเนื้อดินเป็นดินเหนียว ปฏิกิริยาดินเป็นกรดจัด (pH 5.0) ปริมาณอินทรียวัตถุและโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้อยู่ในระดับสูงมาก (49.5 กรัมต่อกิโลกรัม และ 148.2 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ตามลำดับ) ปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์อยู่ในระดับค่อนข้างสูง (18.6 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม) (FAO Project Staff and Land Classification Division, 1973) วางแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ภายในบล็อก (randomized complete block design, RCBD) จำนวน 3 ซ้ำ 11 ตำรับทดลอง รายละเอียดตำรับทดลองแสดงใน Table 2 สร้างแปลงทดลองขนาด 12 ตารางเมตร (3 x 4 เมตร) ใช้ข้าวพันธุ์ กข61 เป็นพืชทดลอง ปลูกข้าวโดยวิธีหว่านอัตราเมล็ด 20 กิโลกรัมต่อไร่ ในส่วนของการใช้ปุ๋ยทางดินจะใช้ปุ๋ยไนโตรเจนในรูปของยูเรีย (46 - 0 - 0) และปุ๋ยฟอสฟอรัสในรูปไดแอมโมเนียมฟอสเฟต (18 - 46 - 0) โดยปุ๋ยฟอสฟอรัสใส่ในอัตรา 0.25, 0.5 และ 1 เท่าตามค่าวิเคราะห์ดิน (เทียบเท่า 0.75, 1.5 และ 3 กิโลกรัม P_2O_5/ไร่) และอัตราตามวิธีเกษตรกรในพื้นที่ (10 กิโลกรัม P_2O_5/ไร่) โดยใส่เมื่อข้าวมีอายุได้ 21 วันหลังหว่าน ส่วนปุ๋ยไนโตรเจนใส่ในอัตรา 1 เท่าตามค่าวิเคราะห์ดิน โดยใส่ในทุกตำรับทดลองซึ่งแบ่งใส่ 2 ครั้ง ใส่ครั้งแรกพร้อมกับปุ๋ยฟอสฟอรัสและใส่อีกครั้งเมื่อข้าวอายุได้ 50 วันหลังหว่าน โดยทั้งปุ๋ยไนโตรเจน ฟอสฟอรัสและโพแทสเซียมที่ใช้ในการทดลองคำนวณการใส่โดยใช้โปรแกรม SimRice2000_V110 ซึ่งได้อัตราการใส่ปุ๋ยเท่ากับ 2 - 3 - 0 กิโลกรัม N-P_2O_5-K_2O/ไร่ ส่วนการให้ปุ๋ยฟอสฟอรัสทางใบใช้ในรูปโมโนโพแทสเซียมฟอสเฟต (KH_2PO_4) ความสามารถในการละลายได้ 99.9 เปอร์เซ็นต์ และปรับระดับของโพแทสเซียมในแต่ละตำรับทดลองให้เท่ากันด้วยโพแทสเซียมคลอไรด์ (KCl) โดยใช้วิธีพ่นทางใบเช่นกัน ในการพ่นปุ๋ยฟอสฟอรัสทางใบนั้นแบ่งพ่น ดังนี้ ตำรับทดลองที่พ่นปุ๋ยฟอสฟอรัสอัตรา 0.64 และ 1.28 กิโลกรัมต่อไร่ แบ่งพ่น 3 ครั้ง คือที่ระยะกล้า (21 วันหลังหว่าน) ระยะแตกกอสูงสุด (50 วันหลังหว่าน) และระยะติดเมล็ด (65 วันหลังหว่าน) ในอัตรา 50, 25 และ 25 เปอร์เซ็นต์ (เทียบเท่าปุ๋ยน้ำหนัก 2.40, 1.20 และ 1.20 กรัมต่อแปลงทดลอง สำหรับตำรับที่พ่นปุ๋ยฟอสฟอรัสอัตรา 0.64 กิโลกรัมต่อไร่ และ 4.80, 2.40 และ 2.40 กรัมต่อแปลงทดลอง สำหรับตำรับที่พ่นปุ๋ยฟอสฟอรัสอัตรา 1.28 กิโลกรัมต่อไร่) ของปริมาณฟอสฟอรัสที่กำหนดในตำรับทดลอง ตามลำดับ ตำรับทดลองที่พ่นปุ๋ยฟอสฟอรัสอัตรา 0.32 กิโลกรัมต่อไร่ แบ่งพ่น 2 ครั้ง คือที่ระยะแตกกอสูงสุดและระยะติดเมล็ดในอัตราครั้งละ 50 เปอร์เซ็นต์ (เทียบเท่าครั้งละ 1.20 กรัมต่อแปลงทดลอง) และตำรับที่พ่นปุ๋ยฟอสฟอรัสอัตรา 0.16 กิโลกรัมต่อไร่ พ่นเพียงครั้งเดียว คือที่ระยะแตกกอสูงสุด (เทียบเท่า 1.20 กรัมต่อแปลงทดลอง) ด้านรายละเอียดในการพ่นนั้นผสมปุ๋ยโมโนโพแทสเซียมฟอสเฟต (KH_2PO_4) ในอัตราตามที่อธิบายข้างต้นในน้ำ 250 มิลลิลิตร ใส่สารจับใบ 1 มิลลิลิตร นำสารละลายที่ได้ใส่กระบอกฉีด (foggy) แล้วฉีดพ่นให้ทั่วแปลงทดลอง

การวิเคราะห์พืชและคำนวณประสิทธิภาพการดูดใช้ฟอสฟอรัส

วิเคราะห์ความเข้มข้นของฟอสฟอรัสในส่วนเมล็ดและตอซังโดยย่อยสลายตัวอย่างพืชด้วยกรดผสม (acid mixture: HNO_3-$HClO_4$ ในอัตรา 10 : 3 (- v/v)) ตามวิธีการของ Pequerul *et al.* (1993) จากนั้นนำสารละลายที่ได้ไปหาปริมาณฟอสฟอรัสโดยวิธีเทียบสี (vanadomolybdate yellow color method) ด้วยเครื่อง spectrophotometer ที่ความยาวคลื่น 440 นาโนเมตร (Murphy and Riley, 1962) คำนวณค่าการดูดสะสมฟอสฟอรัส (phosphorus uptake, PU) ตามวิธีการของ

Table 1. Properties of soil used in the experiment

Texture	Soil pH (1_{soil} : 1_{water})	EC_e (dS/m)	Organic matter (g/kg)	Available P (mg/kg)	Exchangeable K (mg/kg)
Clay	5.0 (SA)[1]	0.9 (VL)[1]	49.5 (H)[1]	18.6 (MH)[1]	148.2 (H)[1]

[1] Interpretation according to FAO Project Staff and Land Classification Division (1973): SA= strongly acid; VL= very low; MH= moderately high; H= high

Table 2. Treatment details of phosphorus fertilizer in basal and foliar application in comparison with the control treatment

Treatments	Symbols	Describes
1	C	Control (no P fertilizer)
2	P_{FMP}	Basal of P fertilizer according to the rate of FMP[1] (10 kg P_2O_5/rai)
3	P_{SSF}	Basal of P fertilizer according to the rate of SSF[2] (3 kg P_2O_5/rai)
4	$P_{0.25SSF}+FP_{0.16}$	Basal of P fertilizer according to 0.25 times of SSF[2] + foliar P at 0.16 kg P_2O_5/rai
5	$P_{0.25SSF}+FP_{0.32}$	Basal of P fertilizer according to 0.25 times of SSF[2] + foliar P at 0.32 kg P_2O_5/rai
6	$P_{0.25SSF}+FP_{0.64}$	Basal of P fertilizer according to 0.25 times of SSF[2] + foliar P at 0.64 kg P_2O_5/rai
7	$P_{0.25SSF}+FP_{1.28}$	Basal of P fertilizer according to 0.25 times of SSF[2] + foliar P at 1.28 kg P_2O_5/rai
8	$P_{0.5SSF}+FP_{0.16}$	Basal of P fertilizer according to 0.5 times of SSF[2] + foliar P at 0.16 kg P_2O_5/rai
9	$P_{0.5SSF}+FP_{0.32}$	Basal of P fertilizer according to 0.5 times of SSF[2] + foliar P at 0.32 kg P_2O_5/rai
10	$P_{0.5SSF}+FP_{0.64}$	Basal of P fertilizer according to 0.5 times of SSF[2] + foliar P at 0.64 kg P_2O_5/rai
11	$P_{0.5SSF}+FP_{1.28}$	Basal of P fertilizer according to 0.5 times of SSF[2] + foliar P at 1.28 kg P_2O_5/rai

[1] FMP= farmer practices; 2 SSF=site specific fertilizer management

Akinrinde and Gaizer (2006) และประสิทธิภาพการดูดใช้ฟอสฟอรัส (phosphorus-use efficiency, PUE) โดยดัดแปลงจากวิธีการของ Fageria *et al*. (2014) และ Girma *et al*. (2007) ดังสมการที่ 1 และ 2 ตามลำดับ

$$PU = \text{Total P (g/kg)} \times \text{DM (kg/rai)} \quad (1)$$

$$PUE = \frac{\text{GPU treatment (kg/rai)} - \text{GPU control (kg/rai)}}{\text{P rate (kg/rai)}} \times 100 \quad (2)$$

เมื่อ PU = การดูดสะสมฟอสฟอรัส (กิโลกรัมต่อไร่), Total P = ความเข้มข้นของฟอสฟอรัสในพืช (กรัมต่อกิโลกรัม), DM = น้ำหนักแห้งพืช (กิโลกรัมต่อไร่), PUE = ประสิทธิภาพการดูดใช้ฟอสฟอรัส (เปอร์เซ็นต์), GPU treatment = การดูดสะสมฟอสฟอรัสในเมล็ดของตำรับที่มีการใส่ปุ๋ยฟอสฟอรัส (กิโลกรัมต่อไร่), GPU control = การดูดสะสมฟอสฟอรัสในเมล็ดของตำรับที่ไม่ใส่ปุ๋ยฟอสฟอรัส (กิโลกรัมต่อไร่) และ P rate = ปริมาณปุ๋ยฟอสฟอรัสที่ใส่ (กิโลกรัมต่อไร่)

การเก็บข้อมูล

ที่ระยะเก็บเกี่ยว (96 วันหลังหว่าน) วัดความสูงต้นข้าว นับจำนวนต้นต่อกอ และสุ่มเลือกรวงข้าวจากแต่ละตำรับทดลองเพื่อนำมานับจำนวนเมล็ดต่อรวง หลังจากนั้นใช้เคียวตัดต้นข้าวในพื้นที่ 1 ตารางเมตร โดยตัดให้สูงจากพื้นประมาณ 5 เซนติเมตร ตัวอย่างข้าวที่ได้นำมานวดโดยใช้แรงงานคนเพื่อแยกส่วนเมล็ดและตอซังออกจากกัน จากนั้นบันทึกน้ำหนัก และแบ่งตัวอย่างจากทั้ง 2 ส่วนไปอบที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส จนตัวอย่างพืชแห้งสนิท (Attanandana and Chanchareonsook, 1999) แล้วบันทึกน้ำหนักอีกครั้ง นำค่าที่บันทึกได้มาคำนวณค่าน้ำหนักแห้งตอซัง น้ำหนักเมล็ดที่ความชื้น 14 เปอร์เซ็นต์ น้ำหนัก 100 เมล็ด และค่าเปอร์เซ็นต์เมล็ดดี ตามลำดับ ทั้งตัวอย่างเมล็ดและตอซังที่อบจนแห้งแล้วนำไปบดจนละเอียด เพื่อนำไปหาค่าความเข้มข้นและประสิทธิภาพการดูดใช้ฟอสฟอรัสในข้าวต่อไป

การวิเคราะห์ทางสถิติ

วิเคราะห์ความแปรปรวนของข้อมูลและเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยในแต่ละตำรับทดลองโดยวิธี Duncan’s new multiple range test (DMRT) ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ และหาความสัมพันธ์ของผลผลิตเมล็ด ความเข้มข้น และการดูดใช้ฟอสฟอรัสในเมล็ดกับอัตราการพ่นฟอสฟอรัสเป็นปุ๋ยทางใบโดยวิธี partial correlation analysis

ผลการศึกษาและวิจารณ์

การเจริญเติบโต ผลผลิต และองค์ประกอบของผลผลิต

การใส่ปุ๋ยฟอสฟอรัสทางดินร่วมกับการพ่นปุ๋ยฟอสฟอรัสทางใบในอัตราที่แตกต่างกันส่งผลให้จำนวนต้นต่อกอ ความยาวรวง และจำนวนเมล็ดต่อรวงของข้าวพันธุ์ กข61 มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) โดยตำรับทดลองที่มีการให้ปุ๋ยฟอสฟอรัสตามวิธีเกษตรกร (10 กิโลกรัม P_2O_5/ไร่) (P_{FMP}) ให้จำนวนต้นต่อกอ ความยาวรวง และจำนวนเมล็ดต่อรวงสูงที่สุด (3.00 ต้นต่อกอ, 20.5 ซม. และ 79.3 เมล็ดต่อรวง ตามลำดับ) ซึ่งไม่แตกต่างทางสถิติกับกับตำรับที่ให้ปุ๋ยฟอสฟอรัสอัตรา 0.5 เท่าของค่าวิเคราะห์ดินร่วมกับการพ่นปุ๋ยฟอสฟอรัสทางใบอัตรา 1.28 กิโลกรัม P_2O_5/ไร่ ($P_{0.5SSF}$+$FP_{1.28}$) ขณะที่ค่าความสูง น้ำหนัก 100 เมล็ด และเปอร์เซ็นต์เมล็ดดีพบว่าไม่มีความแตกต่างทางสถิติระหว่างตำรับทดลอง ($P \geq 0.05$) โดยมีค่าพิสัยอยู่ระหว่าง 68.6 - 79.6 เซนติเมตร, 3.48 - 3.75 กรัม และ 90.3 - 97.0 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ (Table 3)

น้ำหนักผลผลิตเมล็ดและตอซังแสดงใน Figure 1 พบว่า การให้ปุ๋ยฟอสฟอรัสทางดินร่วมกับการพ่นปุ๋ยฟอสฟอรัสทางใบให้ผลผลิตเมล็ดที่ความชื้น 14 เปอร์เซ็นต์ และน้ำหนักแห้งตอซังแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) โดยการให้ปุ๋ยฟอสฟอรัสตามวิธีของเกษตรกร (P_{FMP}) ให้ค่าน้ำหนักแห้งตอซังสูงที่สุด (1,319 กิโลกรัมต่อไร่) ซึ่งไม่มีความแตกต่างทางสถิติกับตำรับทดลอง P_{SSF}, $P_{0.25SSF}$+ $FP_{0.16}$, $P_{0.25SSF}$+ $FP_{0.64}$, $P_{0.25SSF}$+ $FP_{1.28}$, $P_{0.5SSF}$+$FP_{0.16}$ และ $P_{0.5SSF}$+$FP_{1.28}$ ในขณะที่น้ำหนักผลผลิตเมล็ดที่ความชื้น 14 เปอร์เซ็นต์นั้น พบว่าการให้ปุ๋ยฟอสฟอรัสอัตรา 0.5 เท่าของค่าวิเคราะห์ดินร่วมกับการพ่นปุ๋ยฟอสฟอรัสทางใบอัตรา 1.28 กิโลกรัม P_2O_5/ไร่ ($P_{0.5SSF}$+$FP_{1.28}$) ให้ค่าน้ำหนักผลผลิตเมล็ดที่ความชื้น 14 เปอร์เซ็นต์สูงที่สุด (1,185 กิโลกรัมต่อไร่) ทั้งนี้ผลผลิตที่ได้ไม่มีความแตกต่างทางสถิติกับตำรับทดลอง P_{FMP} โดย Dobermann and Fairhurst (2000) รายงานว่าฟอสฟอรัสมีบทบาทสำคัญในการส่งเสริมการแตกกอของข้าวอีกทั้งยังช่วยส่งเสริมการพัฒนาของรากในระยะเริ่มแรกของการเจริญเติบโต หากพืชได้รับฟอสฟอรัสไม่เพียงพอ ส่งผลให้การแตกกอ จำนวนต้นต่อกอ รวมถึงจำนวนรวงต่อกอลดลง ซึ่งส่งผลถึงน้ำหนักแห้งตอซังและผลผลิตเมล็ดต่อไร่ที่ลดลงด้วย จาก Figure 1 จะเห็นได้ว่าการไม่ใส่ปุ๋ยฟอสฟอรัสส่งผลให้น้ำหนักแห้งตอซังมีค่าน้อยที่สุด ซึ่งให้ผลไปในทิศทางเดียวกันกับน้ำหนักผลผลิตเมล็ดที่ความชื้น 14 เปอร์เซ็นต์ ขณะที่การให้ปุ๋ยฟอสฟอรัสอัตรา 0.5 เท่าของค่าวิเคราะห์ดินร่วมกับ

Table 3. Effect of P fertilizer application on growth and yield components of rice variety RD61

Treatments	Height (cm)[1]	Plant/Tiller (No/tiller)[1]	Panicle length (cm)[1]	Seed/Panicle (No/panicle)[1]	100 grain wt (g)[1]	Fertile grain (%)[1]
Control	69.6	1.33^{c}	17.6^{b}	48.3^{c}	3.72	94.7
P_{FMP}	79.6	3.00^{a}	20.5^{a}	71.3^{a}	3.73	90.3
P_{SSF}	68.6	2.00^{bc}	17.3^{b}	60.0^{bc}	3.48	93.6
$P_{0.25SSF}+FP_{0.16}$	74.6	1.67^{bc}	17.4^{b}	55.3^{bc}	3.60	92.6
$P_{0.25SSF}+FP_{0.32}$	72.6	2.33^{bc}	18.5^{ab}	61.6^{bc}	3.70	94.4
$P_{0.25SSF}+FP_{0.64}$	74.0	2.00^{bc}	17.3^{b}	54.6^{bc}	3.63	94.0
$P_{0.25SSF}+FP_{1.28}$	75.6	2.33^{bc}	18.6^{ab}	65.6^{ab}	3.75	95.2
$P_{0.5SSF}+FP_{0.16}$	73.0	1.67^{bc}	17.6^{b}	56.3^{bc}	3.65	97.0
$P_{0.5SSF}+FP_{0.32}$	68.6	2.00^{bc}	18.6^{ab}	51.0^{bc}	3.72	95.0
$P_{0.5SSF}+FP_{0.64}$	70.6	2.67^{ab}	18.6^{ab}	59.3^{bc}	3.52	96.1
$P_{0.5SSF}+FP_{1.28}$	74.0	2.67^{ab}	19.8^{a}	65.0^{abc}	3.67	94.3
F-test	ns	*	*	*	ns	ns
CV (%)	6.07	24.81	5.88	14.38	3.64	1.18

[1] Means within the same column followed by the same letters indicate no significantly different among treatments using by DMRT,
* significant difference at 0.05 probability levels, [ns] not significant

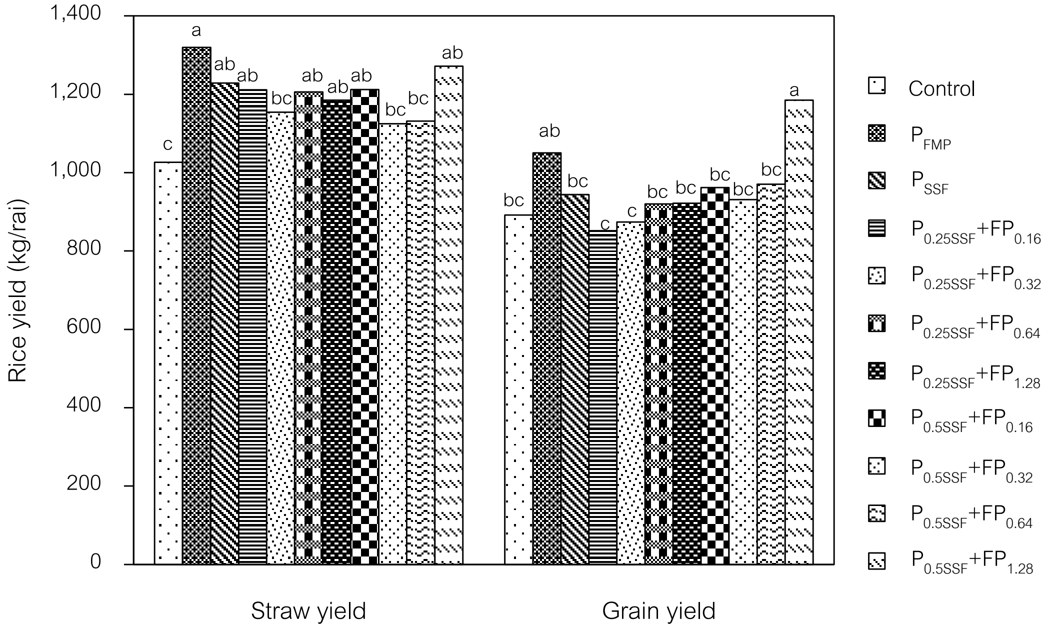


Figure 1. Straw and grain yield of rice variety RD61 when applied with different P fertilizer at different rates. The lowercase letters above the bar indicated significant differences among treatments by using DMRT at $P<0.05$

การพ่น ปุ๋ยฟอสฟอรัสอัตรา 1.28 กิโลกรัม P_2O_5/ไร่ ให้ปริมาณผลผลิตเมล็ดสูงที่สุด ทั้งนี้อาจเป็นผลมาจากการพ่นปุ๋ยฟอสฟอรัสทางใบมีส่วนช่วยให้ข้าวมีการติดดอกและสามารถพัฒนาเป็นเมล็ดได้สมบูรณ์ยิ่งขึ้น ดังจะเห็นได้ว่าจำนวนเมล็ด/รวงของข้าวที่ใส่ปุ๋ยตามวิธีการดังกล่าวให้ค่าจำนวนเมล็ดต่อรวง (65 เมล็ดต่อรวง) ซึ่งไม่แตกต่างทางสถิติกับการให้ปุ๋ยฟอสฟอรัสตามวิธีการของเกษตรกรที่ให้จำนวนเมล็ดต่อรวงสูงที่สุด (71.3 เมล็ดต่อรวง) โดยผลการวิจัยสอดคล้องกับรายงานของ Zambrosi (2019) ซึ่งศึกษาการให้ปุ๋ยฟอสฟอรัสทางใบในรูปของ KH_2PO_4 และ KH_2PO_3 ในประเทศบราซิล พบว่า การพ่นปุ๋ยฟอสฟอรัสในรูป KH_2PO_4 มีแนวโน้มให้ผลผลิตเมล็ดข้าวสาลีเพิ่มขึ้น โดยการพ่นในอัตรา 4 กิโลกรัมต่อเฮกตาร์ ซึ่งเป็นอัตราสูงสุดที่ใช้ในการทดลองให้ผลผลิตเมล็ดข้าวสาลีเพิ่มขึ้นประมาณ 22 เปอร์เซ็นต์ เมื่อเทียบกับการไม่พ่นปุ๋ยฟอสฟอรัส และในทางตรงข้ามการพ่นปุ๋ยฟอสฟอรัสในรูป KH_2PO_3 กลับมีแนวโน้มให้ผลผลิตข้าวสาลีลดลง และเมื่อพิจารณาจากต้นทุนราคาปุ๋ยนาที่ให้ธาตุฟอสฟอรัสและเป็นที่นิยมใช้ของเกษตรกรซึ่งมีการขายตามท้องตลาดในปัจจุบัน (ปุ๋ย 16 - 20 - 0) พบว่า ปุ๋ยฟอสฟอรัสจำนวน 10 กิโลกรัม P_2O_5/ไร่ มีต้นทุนราคาประมาณ 860 บาท ขณะที่ปุ๋ยเกร็ดโมโนโพแทสเซียมฟอสเฟต (0 - 52 - 34) มีราคาเฉลี่ยต่อกิโลกรัมประมาณ 108 บาท จากข้อมูลนี้ชี้ให้เห็นถึงข้อได้เปรียบของการปรับเปลี่ยนจากการใช้ปุ๋ยตามวิธีปกติของเกษตรกรมาเป็นการใช้ปุ๋ยตามค่าวิเคราะห์ดินร่วมกับปุ๋ยทางใบซึ่งจะช่วยให้เกษตรกรสามารถลดต้นทุนการผลิตในส่วนของค่าปุ๋ยเคมีลงได้

ความเข้มข้นและการดูดใช้ฟอสฟอรัส

ความเข้มข้นของฟอสฟอรัสในข้าวพิจารณาจากในส่วนเมล็ดและตอซัง ขณะที่การดูดใช้ฟอสฟอรัสนั้นพิจารณาจากส่วนเมล็ด ตอซัง และผลรวมของการดูดใช้ทั้งหมด (Table 4) การให้ปุ๋ยฟอสฟอรัสทางดินและการพ่นปุ๋ยฟอสฟอรัสทางใบในอัตราที่แตกต่างกันส่งผลให้ความเข้มข้นของฟอสฟอรัสในตอซังข้าวมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ ($P \leq 0.01$) เช่นเดียวกันกับค่าการดูดใช้ฟอสฟอรัสในข้าวทั้งส่วนเมล็ด ตอซัง และผลรวมของการดูดใช้ทั้งหมดที่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญยิ่งเช่นกัน ($P \leq 0.01$) การให้ปุ๋ยฟอสฟอรัสอัตรา 0.5 เท่าของค่าวิเคราะห์ดินร่วมกับการพ่นปุ๋ยฟอสฟอรัสทางใบอัตรา 0.64 กิโลกรัม P_2O_5/ไร่ ($P_{0.5SSF}+FP_{0.64}$) ให้ค่าความเข้มข้นของฟอสฟอรัสในส่วนตอซังสูงที่สุด (3.54 กรัมต่อกิโลกรัม) ซึ่งไม่แตกต่างทางสถิติกับตำรับทดลอง $P_{0.25SSF}+FP_{1.28}$, $P_{0.5SSF}+FP_{0.32}$ และ $P_{0.5SSF}+FP_{1.28}$ ในส่วนของค่าการดูดใช้ฟอสฟอรัสในเมล็ด ตอซัง และผลรวมของการดูดใช้ทั้งหมดนั้น ตำรับทดลองที่ให้ปุ๋ยฟอสฟอรัสอัตรา 0.5 เท่าของค่าวิเคราะห์ดินร่วมกับการพ่นปุ๋ยฟอสฟอรัสทางใบอัตรา 1.28 กิโลกรัม P_2O_5/ไร่ ($P_{0.5SSF}+FP_{1.28}$) ให้ค่าการดูดใช้ฟอสฟอรัสในเมล็ด ตอซัง และผลรวมของการดูดใช้ทั้งหมดสูงที่สุด (3.56, 6.61 และ 10.17 กิโลกรัม P/ไร่ ตามลำดับ) Osotsapar (2015) รายงานว่า พืชโดยทั่วไปจะมีความเข้มข้นของฟอสฟอรัสในเนื้อเยื่อระหว่าง 3 - 5 กรัมต่อกิโลกรัม สอดคล้องกับผลการทดลองที่ได้ (ค่าพิสัยของความเข้มข้นฟอสฟอรัสในเมล็ดและตอซังอยู่ระหว่าง 2.30-5.19 กรัมต่อกิโลกรัม) ทั้งนี้จะเห็นได้ว่าการให้ปุ๋ยฟอสฟอรัสทางดินในอัตรา 0.25 หรือ 0.5 เท่าของค่าวิเคราะห์ดิน ร่วมกับการพ่นปุ๋ยฟอสฟอรัสทางใบในอัตรา 0.64 - 1.28 กิโลกรัม P_2O_5/ไร่ ให้ผลรวมของการดูดใช้ฟอสฟอรัสทั้งหมดไม่แตกต่างจากการใช้ปุ๋ยฟอสฟอรัสตามวิธีของเกษตรกร (10 กิโลกรัม P_2O_5/ไร่) ซึ่งชี้ให้เห็นถึงประสิทธิภาพของการให้ปุ๋ยฟอสฟอรัสทางใบซึ่งมีปริมาณการใช้ที่น้อยกว่าแต่ให้ผลด้านปริมาณการดูดใช้ธาตุอาหารไม่ต่างจากการใช้ปุ๋ยในอัตราสูงตามแบบวิธีดั้งเดิมของเกษตรกร ซึ่งสอดคล้องกับ Zambrosi (2019) ที่พบว่า การให้ปุ๋ยฟอสฟอรัสทางใบในรูปของปุ๋ย KH_2PO_4 ส่งผลให้ปริมาณการดูดใช้ฟอสฟอรัสในส่วนเหนือดินของข้าวสาลีเพิ่มสูงขึ้นตามอัตราการใช้ ขณะที่ Sherchand and Paulsen (1985) ศึกษาการตอบสนองของข้าวสาลีต่อปุ๋ยฟอสฟอรัสทางใบภายใต้สภาวะอุณหภูมิสูงในรัฐแคนซัส ประเทศ

สหรัฐอเมริกา พบว่า การให้ปุ๋ยฟอสฟอรัสทางใบในอัตรา 1 กิโลกรัม KH_2PO_4/เฮกตาร์ ทำให้ข้าวสาลีมีปริมาณผลผลิตและการดูดใช้ฟอสฟอรัสโดยรวมทั้งหมดสูงกว่าการพ่นที่อัตรา 2 หรือ 4 กิโลกรัม KH_2PO_4/เฮกตาร์ ทั้งนี้ เป็นผลมาจากการพ่นปุ๋ย KH_2PO_4 ในอัตราสูงชักนำให้เกิดโรคราน้ำค้างในข้าวสาลี จึงเป็นเหตุผลให้ผลผลิตในตำรับที่มีการพ่นปุ๋ยฟอสฟอรัสอัตราสูงมีค่าลดลง ดังนั้น ในการให้ปุ๋ยทางใบนอกจากต้องพิจารณาถึงปริมาณของปุ๋ยที่ใช้แล้ว ยังจำเป็นต้องพิจารณาถึงสภาพแวดล้อมขณะพ่นด้วย โดยควรหลีกเลี่ยงการพ่นในสภาวะที่อากาศมีค่าความชื้นสัมพัทธ์สูง เพื่อหลีกเลี่ยงการชักนำให้เกิดการเข้าทำลายของเชื้อสาเหตุโรคพืชต่าง ๆ

ความสัมพันธ์ระหว่างการพ่นฟอสฟอรัสและผลผลิตข้าว

ความสัมพันธ์ระหว่างผลผลิต ความเข้มข้นของฟอสฟอรัสและการดูดใช้ฟอสฟอรัสในเมล็ดกับการพ่นปุ๋ยฟอสฟอรัสอัตราต่าง ๆ แสดงใน Figure 2 โดยพบว่า การให้ปุ๋ยฟอสฟอรัสทางดินอัตรา 0.25 เท่าของค่าวิเคราะห์ดินร่วมกับการพ่นปุ๋ยฟอสฟอรัสอัตราต่าง ๆ ให้ความสัมพันธ์เชิงเส้นระหว่างความ-เข้มข้นฟอสฟอรัสและการดูดใช้ฟอสฟอรัสในเมล็ดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) ขณะที่การให้ปุ๋ยฟอสฟอรัสทางดินอัตรา 0.5 เท่าของค่าวิเคราะห์ดินร่วมกับการพ่นปุ๋ยฟอสฟอรัสนั้นให้ค่าความสัมพันธ์เชิงเส้นกับการดูดใช้ฟอสฟอรัสในเมล็ดอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ ($P \leq 0.01$) และมีความสัมพันธ์

Table 4. Effect of P fertilizer application on P concentration and total P uptake in different parts of rice variety RD61

Treatments	Phosphorus concentration (g/kg)[1]		Total phosphorus uptake (kg/rai)[1]		
	Straw	Grain	Straw	Grain	Total
Control	2.46^{b}	4.05	1.92^{bc}	4.14^{c}	6.07^{c}
P_{FMP}	2.44^{b}	4.83	2.25^{b}	6.37^{a}	8.63^{ab}
P_{SSF}	2.30^{b}	4.48	1.91^{bc}	5.49^{b}	7.40^{b}
$P_{0.25SSF}+FP_{0.16}$	2.35^{b}	4.43	1.76^{c}	5.37^{b}	7.13^{b}
$P_{0.25SSF}+FP_{0.32}$	2.33^{b}	4.94	1.79^{c}	5.67^{b}	7.46^{b}
$P_{0.25SSF}+FP_{0.64}$	2.53^{b}	5.00	2.05^{bc}	6.02^{ab}	8.07^{ab}
$P_{0.25SSF}+FP_{1.28}$	3.13^{ab}	4.78	2.57^{b}	5.65^{b}	8.22^{ab}
$P_{0.5SSF}+FP_{0.16}$	2.32^{b}	3.86	1.98^{bc}	4.65^{bc}	6.63^{c}
$P_{0.5SSF}+FP_{0.32}$	3.02^{ab}	4.39	2.44^{b}	4.90^{bc}	7.34^{b}
$P_{0.5SSF}+FP_{0.64}$	3.54^{a}	4.40	3.01^{ab}	4.98^{bc}	7.99^{ab}
$P_{0.5SSF}+FP_{1.28}$	3.45^{a}	5.19	3.56^{a}	6.61^{a}	10.17^{a}
F-test	**	ns	**	**	**
CV (%)	16.42	12.60	19.36	11.88	7.78

[1] Means within the same column followed by the same letters indicate no significantly different among treatments using by DMRT, ** significant difference at 0.01 probability levels, [ns] not significant

เชิงเส้นกับผลผลิตเมล็ดที่ความชื้น 14 เปอร์เซ็นต์อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) โดยให้ค่าสหสัมพันธ์ (R^2) ความเข้มข้นและการดูดใช้ฟอสฟอรัสในเมล็ดข้าวที่ปลูกในดินที่ใส่ปุ๋ยฟอสฟอรัสอัตรา 0.25 เท่าของค่าวิเคราะห์ดินเท่ากับ 0.82* และ 0.84* (Figure 2A, 2C) ส่วนในดินที่ใส่ปุ๋ยฟอสฟอรัสอัตรา 0.5 เท่าของค่าวิเคราะห์ดินให้ค่าสหสัมพันธ์ (R^2) เท่ากับ 0.89* และ 0.95** ในผลผลิตเมล็ดที่ความชื้น 14 เปอร์เซ็นต์และการดูดใช้ฟอสฟอรัสในเมล็ดตามลำดับ (Figure 2D, 2F)

การให้ปุ๋ยฟอสฟอรัสทางดินอัตรา 0.5 เท่าของค่าวิเคราะห์ดินช่วยส่งเสริมประสิทธิภาพการให้ปุ๋ยฟอสฟอรัสทางใบในส่วนของผลผลิตข้าว กข61 ได้ดีกว่าการให้ปุ๋ยฟอสฟอรัสทางดินอัตรา 0.25 เท่าของค่าวิเคราะห์ดินดังจะเห็นได้จากค่าสหสัมพันธ์ระหว่างผลผลิตและอัตราการให้ปุ๋ยฟอสฟอรัสทางใบ (Figure 2A, 2D) นอกจากนี้การให้ปุ๋ยฟอสฟอรัสทางดินอัตรา 0.5 เท่าของค่าวิเคราะห์ดินร่วมกับการพ่นปุ๋ยฟอสฟอรัสทางใบยังให้ค่าสหสัมพันธ์ระหว่างการดูดใช้ฟอสฟอรัสในเมล็ดกับการพ่นปุ๋ยฟอสฟอรัสทางใบสูงกว่าการให้ปุ๋ยฟอสฟอรัสทางดินอัตรา 0.25 เท่าของค่าวิเคราะห์ดินด้วย (Figure 2C, 2F) ฟอสฟอรัสเป็นธาตุที่มีความสำคัญต่อการเจริญเติบโตทั้งในระยะการเจริญทางลำต้นและระยะสืบพันธุ์ในพืช การขาดฟอสฟอรัสในข้าวในช่วงระยะสืบพันธุ์ (reproductive stage) มีผลต่อการติดดอกและพัฒนาของเมล็ด (Dobermann and Fairhurst, 2000) จากผลการทดลองจะเห็นได้ว่าการให้ปุ๋ยฟอสฟอรัสทางใบในอัตราเพิ่มขึ้นมีผลให้ผลผลิตข้าวที่ปลูกเพิ่มสูงขึ้นด้วย และเมื่อพิจารณาจากอัตราปุ๋ยฟอสฟอรัสที่ใส่ทางดินทั้งอัตรา 0.25 และ 0.5 เท่าของค่าวิเคราะห์ดิน พบว่าการให้ปุ๋ยฟอสฟอรัสทางดินอัตรา 0.5 เท่าของค่าวิเคราะห์ดินให้ผลผลิต (Figure 1) และค่าสหสัมพันธ์ระหว่างผลผลิตและการพ่นปุ๋ยฟอสฟอรัสทางใบสูงกว่าการให้ปุ๋ยฟอสฟอรัสทางดินอัตรา 0.25 เท่าของค่าวิเคราะห์ดิน (Figure 3A, 3D) ทั้งนี้ เป็นผล

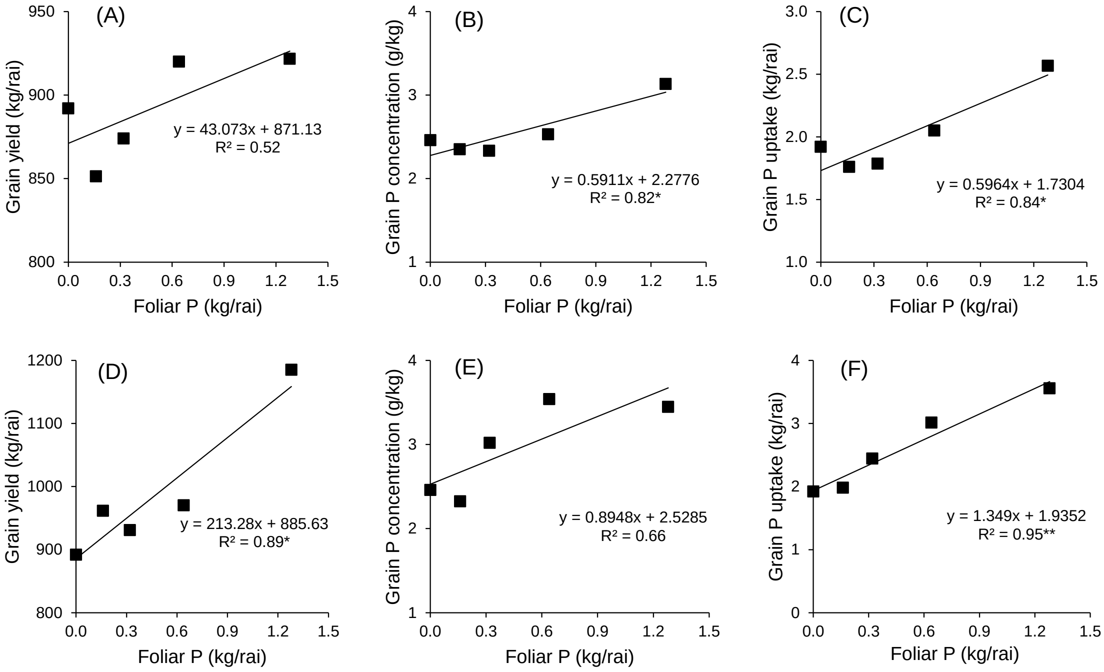


Figure 2. Relationships of grain yield, grain P concentration, grain P uptake and foliar P different rates applied in rice variety RD61 applied with two levels of soil P fertilizer at 21 days after sowing (A-C and D-F were applied with P fertilizer at 0.25 and 0.5 time of SSF, respectively)

มาจาก 1) จากเกณฑ์การประเมินของ FAO Project Staff and Land Classification Division (1973) ระบุว่าปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ในดินที่ใช้ทดลองเท่ากับ 18.6 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม อยู่ในระดับค่อนข้างสูง แต่จากรายงานของ Dobermann and Fairhurst (2000) ระบุว่าปริมาณฟอสฟอรัสที่สกัดด้วยน้ำยาสกัด Bray II ในดินกรด (acid soil) ที่มีค่าระหว่าง <12 - 20 มิลลิกรัม P/กิโลกรัม ถือว่ามีความเสี่ยงต่อข้าวที่ปลูกแสดงอาการขาดฟอสฟอรัสได้ ทั้งนี้เป็นผลมาจากดินที่มีสภาพเป็นกรด เช่น ดินที่ใช้ในการทดลองครั้งนี้ ส่งเสริมให้ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ในดินทำปฏิกิริยากับเหล็ก หรืออะลูมินัมที่ละลายออกมาและกลายเป็นสารประกอบต่าง ๆ เช่น Fe-P หรือ Al-P (Girma *et al.*, 2007; Penn and Camberato, 2019) เป็นผลให้ความเป็นประโยชน์ของฟอสฟอรัสต่อข้าวที่ปลูกมีค่าลดลง และ 2) ข้าวที่ปลูกมีความต้องการฟอสฟอรัสสูงถึงแม้มีการพ่นทางใบเพิ่มเติมก็ยังไม่เพียงพอกับความต้องการ ดังนั้นการใส่ปุ๋ยฟอสฟอรัสทางดินในอัตราที่สูงขึ้นจึงทำให้ข้าวมีการตอบสนองต่อปุ๋ยทั้งในแง่ของผลิตที่เพิ่มขึ้นและการสะสมของฟอสฟอรัสในเนื้อเยื่อส่วนต่าง ๆ ที่เพิ่มขึ้น

ประสิทธิภาพการดูดใช้ฟอสฟอรัสในข้าว

อัตราการให้ปุ๋ยฟอสฟอรัสทางดินและการพ่นปุ๋ยฟอสฟอรัสทางใบที่แตกต่างกันส่งผลให้ประสิทธิภาพการดูดใช้ฟอสฟอรัสในข้าว กข61 มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) โดยการให้ปุ๋ยฟอสฟอรัสอัตรา 0.5 เท่าของค่าวิเคราะห์ดินร่วมกับการพ่นปุ๋ยฟอสฟอรัสทางใบอัตรา 1.28 กิโลกรัม P_2O_5/ไร่ ($P_{0.5SSF}$+$FP_{1.28}$) ให้ค่าประสิทธิภาพการดูดใช้ฟอสฟอรัสสูงที่สุด (71.5 เปอร์เซ็นต์) ขณะตำรับที่ให้ปุ๋ยตามวิธีเกษตรกร (P_{FMP}) ให้ค่าประสิทธิภาพการดูดใช้ฟอสฟอรัสต่ำที่สุด (6.8 เปอร์เซ็นต์) และเมื่อพิจารณาในภาพรวมจะเห็นได้ว่าทุกตำรับทดลองที่มีการพ่นปุ๋ยฟอสฟอรัสทางใบให้ค่าประสิทธิภาพการดูดใช้ฟอสฟอรัสสูงกว่าตำรับที่มีการให้ปุ๋ยฟอสฟอรัสทางดิน (ตำรับทดลอง P_{FMP} และ P_{SSF}) ซึ่งสอดคล้องกับรายงานของ Girma *et al.* (2007) ที่กล่าวว่าการให้ปุ๋ยฟอสฟอรัสทางใบนั้นช่วยให้พืชมีประสิทธิภาพการใช้ฟอสฟอรัสมากกว่าการใส่ทางดิน เนื่องจากฟอสเฟตไอออนในปุ๋ยที่ใช้เป็นปุ๋ยทางใบ เช่น ปุ๋ยโมโนโพแทสเซียมฟอสเฟตนั้นสามารถละลายและถูกดูดซับผ่าน stomata ในแผ่นใบได้ง่ายจึงทำให้ข้าวสามารถดูดและเคลื่อนย้ายฟอสฟอรัส

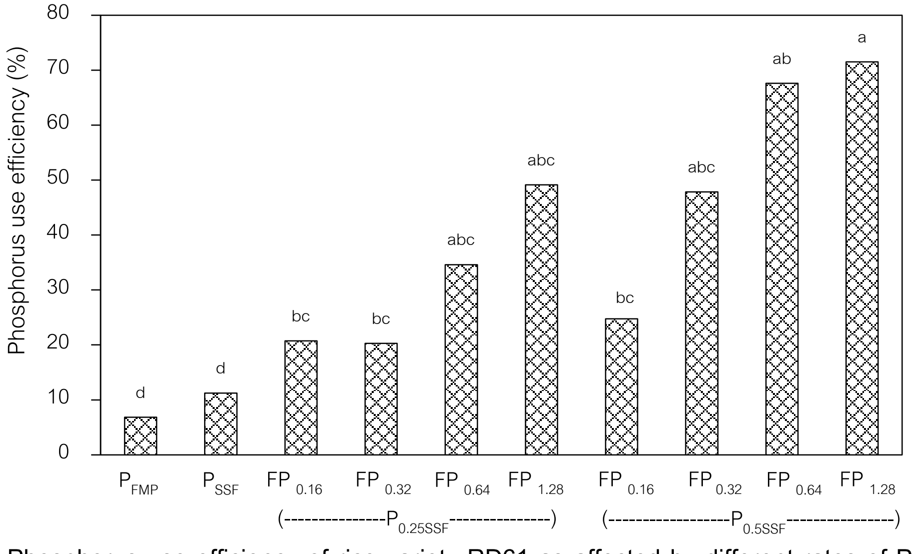


Figure 3. Phosphorus use efficiency of rice variety RD61 as affected by different rates of P fertilizer. The different lowercase letters above the bars indicated significant differences among treatments by using DMRT at $P < 0.05$

ไปสู่ส่วนต่าง ๆ ได้รวดเร็วกว่าการให้ปุ๋ยทางดิน ขณะที่ Mosali *et al*. (2006) รายงานว่าการให้ปุ๋ยฟอสฟอรัสในช่วงที่พืชเริ่มมีดอกจนถึงติดดอกสมบูรณ์ช่วยปรับปรุงประสิทธิภาพการใช้ฟอสฟอรัสในพืชได้มากกว่า 10 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งอาจกล่าวได้ว่าช่วงเวลาที่เหมาะสมในการให้ปุ๋ยฟอสฟอรัสทางใบคือภายหลังจากพืชออกดอกแล้วจนถึงระยะติดดอกสมบูรณ์ ขณะที่ช่วงการเจริญเติบโตทางลำต้นนั้นควรใช้ปุ๋ยฟอสฟอรัสและไนโตรเจนควบคู่กัน (Mosali *et al*., 2006)

สรุป

ข้าว กข61 ที่ปลูกในพื้นที่จังหวัดพระนครศรีอยุธยามีการตอบสนองด้านการเจริญเติบโตและองค์ประกอบผลผลิตต่อการให้ปุ๋ยฟอสฟอรัสในอัตรา 0.5 เท่าของค่าวิเคราะห์ดินร่วมกับการพ่นปุ๋ยฟอสฟอรัสทางใบอัตรา 1.28 กิโลกรัม P_2O_5/ไร่ (รวมเป็นปริมาณฟอสฟอรัสเท่ากับ 2.78 กิโลกรัม P_2O_5/ไร่) ไม่แตกต่างกับการให้ปุ๋ยฟอสฟอรัสตามวิธีของเกษตรกร (10 กิโลกรัม P_2O_5/ไร่) ในส่วนของผลผลิตเมล็ดที่ความชื้น 14 เปอร์เซ็นต์นั้น กรรมวิธีการให้ปุ๋ยฟอสฟอรัสในอัตรา 0.5 เท่าของค่าวิเคราะห์ดินร่วมกับการพ่นปุ๋ยฟอสฟอรัสทางใบอัตรา 1.28 กิโลกรัม P_2O_5/ไร่ ให้ผลผลิตสูงสุดของการทดลอง ขณะที่การดูดใช้ฟอสฟอรัสในข้าว กข61 พบว่า การให้ปุ๋ยฟอสฟอรัสอัตรา 0.25 และ 0.5 เท่าของค่าวิเคราะห์ดินร่วมกับการพ่นปุ๋ยฟอสฟอรัสทางใบอัตรา 0.64 - 1.28 กิโลกรัม P_2O_5/ไร่ ให้ค่าการดูดใช้ฟอสฟอรัสรวมไม่แตกต่างจากการให้ปุ๋ยฟอสฟอรัสตามวิธีเกษตรกร เมื่อวิเคราะห์สหสัมพันธ์ระหว่างการพ่นปุ๋ยฟอสฟอรัสกับผลผลิตรวมทั้งความเข้มข้นและการดูดใช้ฟอสฟอรัสในเมล็ด พบว่า การพ่นปุ๋ยฟอสฟอรัสทางใบในอัตราเพิ่มขึ้นส่งผลให้ข้าว กข61 มีผลผลิตเมล็ดและค่าการดูดใช้ฟอสฟอรัสในเมล็ดเพิ่มขึ้นโดยเฉพาะในดินที่มีการใส่ปุ๋ยฟอสฟอรัสทางดินในอัตรา 0.5 เท่าของค่าวิเคราะห์ดิน ในส่วนของประสิทธิภาพการดูดใช้ฟอสฟอรัสในข้าวนั้น การพ่นปุ๋ยฟอสฟอรัสทางใบอัตรา 0.16 - 1.28 กิโลกรัม P_2O_5/ไร่ ส่งผลให้ข้าวพันธุ์ กข61 มีประสิทธิภาพการดูดใช้ฟอสฟอรัสสูงกว่าการให้ปุ๋ยฟอสฟอรัสทางดิน ดังนั้น การปรับเปลี่ยนวิธีการใช้ปุ๋ยของเกษตรกรจากเดิมที่มีการใช้ปุ๋ยฟอสฟอรัสในอัตราสูง (10 กิโลกรัม P_2O_5/ไร่) มาเป็นการใช้ปุ๋ยฟอสฟอรัสอัตรา 0.5 เท่าของค่าวิเคราะห์ดินร่วมกับการพ่นปุ๋ยฟอสฟอรัสทางใบอัตรา 1.28 กิโลกรัม P_2O_5/ไร่ อาจเป็นวิธีการหนึ่งในการลดต้นทุนการผลิตในส่วนของค่าปุ๋ยเคมีของเกษตรกรลงได้

เอกสารอ้างอิง

Akinrinde, E.A. and T. Gaizer. 2006. Differences in the performance and phosphorus-use efficiency of some tropical rice (*Oryza sativa* L.) varieties. Pakistan Journal of Nutrition 5(3): 206-211.

Attanandana, T. 2007. Paddy Soil Science. Department of Soil Science, Faculty of Agriculture, Kasetsart University, Bangkok. 359 p. (in Thai)

Attanandana, T. and J. Chanchareonsook. 1999. Manual of Soil and Plant Analysis. Department of Soil Science, Faculty of Agriculture, Kasetsart University, Bangkok. 108 p. (in Thai)

Bationo, A. and K.A. Kumar. 2002. Phosphorus use efficiency as related to sources of P fertilizers, rainfall, soil, crop management, and genotypes in the West African semi-arid tropics. pp. 145-154. *In*: J.J. Adu-Gyamfi (ed.). Food Security in Nutrient-Stressed Environments: Exploiting Plants' Genetic Capabilities. Springer, Dordrecht.

Bray, R.H. and L.T. Kurtz. 1945. Determination of total, organic, and available forms of phosphorus in soils. Soil Science 59(1): 39-46.

Bumphenyoo, W. and S. Ruamrungsri. 2003. Deficiency of mineral nutrients in *Globba* ssp. Journal of Agriculture 19(2): 116-124. (in Thai)

Division of Rice Research and Development. 2021. Rice RD61 variety. (Online). Available: http://library.ricethai-land.go.thimages/stories/brochure/september2017/rd61.pdf (January 3, 2021). (in Thai)

Division of Soil Survey and Soil Resource Research. 2019. Soil map of Phranakhon Si Ayutthaya province. (Online). Available: http://oss101.ldd.go.th/web_thaisoilinf/central/Ayutthaya/ay_map/ay_series/ay_series58.html (July 7, 2019). (in Thai)

Dobermann, A. and T. Fairhurst. 2000. Rice: Nutrient Disorders and Nutrient Management. Oxford Graphic Printers, Singapore. 191 p.

Fageria, N.K., O.P. de Morais, A.B. dos Santos and M.J. Vasconcelos. 2014. Phosphorus use efficiency in upland rice genotypes under field conditions. Journal of Plant Nutrition 37(5): 633-642.

Fageria, N.K., O.P. Morais, V.C. Baligar and R.J. Wright. 1988. Response of rice cultivars to phosphorus supply on an oxisol. Fertilizer Research 16: 195-206.

FAO Project Staff and Land Classification Division. 1973. Soil Interpretation Handbook for Thailand. Land Classification Division, Department of Land Development, Bangkok. 169 p.

Gee, G.W. and J.W. Bauder. 1986. Particle-size analysis. pp. 383-411. *In*: A. Klute (ed.). Methods of Soil Analysis Part 1: Physical and Mineralogical Methods. Soil Science Society of America, Inc., Madison, Wisconsin.

Girma, K., K.L. Martin, K.W. Freeman, J. Mosali, R.K. Teal, W.R. Raun, S.M. Moges and D.B. Arnall. 2007. Determination of optimum rate and growth stage for foliar applied phosphorus in corn. Communications in Soil Science and Plant Analysis 38(9-10): 1137-1154.

Jiang, B.S., J.L. Shen, M.H. Sun, Y.J. Hu, W.Q. Jiang, J. Wang, Y. Li and J.S. Wu. 2021. Soil phosphorus availability and rice phosphorus uptake in paddy fields under various agronomic practices. Pedosphere 31(1): 103-115.

Mosali, J., K. Desta, R.K. Teal, K.W. Freeman, K.L. Martin, J.W. Lawles and W.R. Raun. 2006. Effect of foliar application of phosphorus on winter wheat grain yield, phosphorus uptake, and use efficiency. Journal of Plant Nutrition 29(2): 2147-2163.

Murphy, J. and J.P. Riley. 1962. A modified single solution method for determination of phosphate in natural waters. Analytica Chimica Acta 27: 31-36.

Osotsapar, Y. 2015. Plant Nutrition. Kasetsart University Press, Bangkok. 548 p. (in Thai)

Osotsapar, Y., A. Wongmaneeroj and C. Hongprayoon. 2013. Fertilizer for Sustainable Agriculture. Kasetsart University Press, Bangkok. 519 p. (in Thai)

Penn, C.J. and J.J. Camberato. 2019. A critical review on soil chemical processes that control how soil pH affects phosphorus availability to plants. Agriculture 9(6): 120, doi: 10.3390/agriculture9060120.

Pequerul, A., C. Perez, P. Madero, J. Val and E. Monge. 1993. A rapid wet digestion method for plant analysis. pp. 3-6. *In*: M.A.C. Fragoso and M.L. van Beusichem

(eds.). Optimization of Plant Nutrition. Springer Science+Business Media, Dordrecht.

Pierzynski, G.M., R.W. McDowell, and J.T. Sims. 2005. Chemistry, cycling and potential movement of inorganic phosphorus in soil. pp. 53-86. *In*: J.T. Sims and A.N. Sharpley (eds.). Phosphorus: Agriculture and the Environment. American Society of Agronomy, Crop Science Society of America, Soil Science Society of America. Inc. Madison, Wisconsin.

Rhoades, J.D. 1996. Salinity: Electrical conductivity and total dissolved solids. pp. 417-435. *In*: D.L. Sparks, A.L. Page, P.A. Helmke, R.H. Loeppert, P.N. Soltanpour, M.A. Tabatabai, C.T. Johnston and M.E. Sumner (eds.). Methods of Soil Analysis Part 3: Chemical Methods. Soil Science Society of America, Inc., Madison, Wisconsin.

Roberts, T.L. and A.E. Johnston. 2015. Phosphorus use efficiency and management in agriculture. Resources, Conservation and Recycling 105: 275-281.

Thomas, G.W. 1982. Exchangeable cations. pp. 159-165. *In*: A.L. Page, R.H. Miller and D.R. Keeney (eds.). Methods of Soil Analysis Part 2: Chemical and Microbiological Properties. Soil Science Society of America, Inc. Madison, Wisconsin.

Thomas, G.W. 1996. Soil pH and soil acidity. pp. 475-490. *In*: D.L. Sparks, A.L. Page, P.A. Helmke, R.H. Loeppert, P.N. Soltanpour, M.A. Tabatabai, C.T. Johnston and M.E. Sumner (eds.). Methods of Soil Analysis Part 3: Chemical Methods. Soil Science Society of America, Inc., Madison, Wisconsin.

Sherchand, K. and G.M. Paulsen. 1985. Response of wheat to foliar phosphorus treatments under field and high temperature regimes. Journal of Plant Nutrition 8(12): 1171-1181.

Sukyankij, S., S. Sawatdikarn, S. Samithiarporn and T. Panich-pat. 2021. Effects of lime material and waterlogging period on availability of phosphorus and yield of Hom Pathum rice in soils of Phranakhon Si Ayutthaya province. Khon Kaen Agriculture Journal 49(4): 842-855. (in Thai)

Walkley, A. and I.A. Black. 1934. An examination of degtjareff methods for determining soil organic matter, and a proposed for modification of the chromic acid titration method. Soil Science 37(1): 29-38.

Zambrosi, F.C.B. 2019. Foliar phosphorus applications in the forms of phosphate and phosphite have contrasting effects on wheat performance under field conditions. Journal of Crop Science and Biotechnology 22(5): 395-401.

คำแนะนำในการเตรียมต้นฉบับ (ต่อ)

1.7 กรณีอ้างอิงเป็นภาษาอื่น เช่น ภาษาไทย ต้องแปลงเป็นภาษาอังกฤษ และเปลี่ยนปี พ.ศ. เป็น ปี ค.ศ.

1.8 กรณีเป็นหน่วยงาน ได้แก่ หน่วยงานราชการ สมาคม สถาบัน สำนักงาน ฯลฯ ให้ใช้ชื่อหน่วยงานเต็มในการอ้างอิงทั้งบทความ ตัวอย่าง (Department of Agricultural Extension, 1995).....

1.9 กรณีมีผู้แต่งที่มีทั้งบุคคลและเป็นหน่วยงาน ให้ใส่ชื่อผู้แต่งตามด้วยหน่วยงานและใช้ (;) คั่นระหว่างชื่อผู้แต่งและหน่วยงาน

2. การเขียนเอกสารอ้างอิง มีรูปแบบการเขียนมีดังนี้

วารสาร (Journals) อ้างอิงวารสารที่มีความทันสมัยและเป็นปัจจุบันมากที่สุด

ชื่อผู้เขียน. ปีที่พิมพ์. ชื่อเรื่อง. ชื่อวารสาร (เขียนเต็ม) ปีที่(ฉบับที่): เลขหน้าเริ่มต้น-เลขหน้าที่สิ้นสุด.

TH: Muthita, W. and N. Kuanprasert. 2004. Cytogenetics and flower color inheritance of fuchsias. Journal of Agriculture 20(1): 10-18. (in Thai)

EN: Barcenas, N.M., T.R. Unruh and L.G. Neven. 2005. DNA diagnostics to identify internal feeders (Lepidoptera: Tortricidae) of pome fruits of quarantine importance. Journal of Economic Entomology 98(2): 299-306.

ในกรณีที่เป็นวารสารออนไลน์ ไม่สามารถระบุเลขหน้าเริ่มต้นและเลขหน้าสิ้นสุดได้ ให้ระบุ doi แทน

EN: Bukhari, T., W. Takken and C.J.M. Koenraadt. 2011. Development of *Metarhizium anisopliae* and *Beauveria bassiana* formulations for control of malaria mosquito larvae. Parasites & Vectors 4: 23, doi: 10.1186/1756-3305-4-23.

หนังสือ และตำรา (Books & Textbooks)

ชื่อผู้เขียน. ปีที่พิมพ์. ชื่อหนังสือ. สำนักพิมพ์, เมืองที่พิมพ์. จำนวนหน้าทั้งหมด.

TH: Ek-amnuay, P. 2016. Diseases and Pests of Economic Importance. 5th ed. Amarin Printing and Publishing PCL, Bangkok. 704 p. (in Thai)

EN: Gullan, P.J. and P.S. Cranston. 2005. The Insects: An Outline of Entomology. 3rd ed. Blackwell Publishing, Malden. 505 p.

เรื่องย่อยในตำราหรือหนังสือที่มีผู้เขียนแยกเรื่องเขียน และมีบรรณาธิการ

ชื่อผู้เขียน. ปีที่พิมพ์. ชื่อเรื่องย่อย. หน้า เลขหน้าเริ่มต้น-เลขหน้าที่สิ้นสุด. *ใน*: ชื่อบรรณาธิการ (บก.). ชื่อหนังสือ. สำนักพิมพ์, เมืองที่พิมพ์.

TH: Krairiksh, S. and W. Namruangsri. 1997. Integrated pest control of mango. pp. 137-144. *In*: K. Jumroenma (ed.). Integrated Pest Control. The Agricultural Cooperative Federation of Thailand, Ltd., Bangkok. (in Thai)

EN: Kubo, T. 2003. Molecular analysis of the honeybee sociality. pp. 3-20. *In*: T. Kikuchi, N. Azuma and S. Higashi (eds.). Gene, Behaviors and Evolution of Social Insects. Hokkaido University Press, Sapporo.

รายงานการประชุม สัมมนา (Reports and Proceedings)

ชื่อผู้เขียน. ปีที่พิมพ์. ชื่อเรื่องย่อย. หน้า เลขหน้าเริ่มต้น-เลขหน้าที่สิ้นสุด. *ใน*: รายงานการประชุม สัมมนา. สถานที่จัดประชุม.

TH: Tantarawongsa, P. and D. Ketrot. 2017. Diuron residue in soils under pineapple cultivation. pp. 17-24. *In*: Proceedings of 55th Kasetsart University Annual Conference: Plants, Animals, Veterinary Medicine, Fisheries, Agricultural Extension and Home Economics, Bangkok. (in Thai)

EN: Feigenbaum, S., A. Bar-Tal and D.L. Sparks. 1990. Dynamics of soil potassium in multicationic systems. pp. 145-161. *In*: Proceedings of the 22nd Colloquium of the International Potash Institute, Bern.

วิทยานิพนธ์ (Thesis)

ชื่อผู้เขียน. ปีที่พิมพ์. ชื่อเรื่อง. ระดับวิทยานิพนธ์. สถาบันการศึกษา, เมืองที่พิมพ์. จำนวนหน้าทั้งหมด.

TH: Maneepong, A. 2004. Effects of ozone treatments on postharvest quality and pesticide residue of Mandarin cv. Sai Nam Pung. M.S. Thesis. Chiang Mai University, Chiang Mai. 100 p. (in Thai)

EN: Liquido, N.J. 1982. Population ecology of *Cyrtorhinus lividipennis* Reuter (Heteroptera: Miridae). Ph.D. Dissertation. University of Hawaii, Honolulu. 175 p.

เอกสารวิชาการอื่น ๆ

ชื่อผู้เขียน หรือหน่วยงาน. ปีที่พิมพ์. ชื่อเรื่องหรือชื่อหนังสือ. ประเภทของเอกสาร. สถาบันหรือหน่วยงานที่จัดพิมพ์, เมืองที่พิมพ์. จำนวนหน้าทั้งหมด.

TH: Shutsrirung, A., C. Santasup and K. Kunasakdakul. 2010. Screening of bio-organic inputs for high quality tea production. Final Report. The Thailand Research Fund, Bangkok. 109 p. (in Thai)

EN: Siriphontangmun, S., U. Nounart, S. Roumchaiapikun and S. Srijuntra. 2016. Insect Pests of Vegetable, Mushroom and Cut Flower. Technical Document. Plant Protection Research and Development Office, Department of Agriculture, Bangkok. 74 p. (in Thai)

สื่ออิเล็กทรอนิกส์

ชื่อผู้เขียน. ปีที่พิมพ์. ชื่อเรื่อง. (ระบบออนไลน์). แหล่งข้อมูล: ที่อยู่ของไฟล์หรือเว็บไซต์ (URL) (เดือน วันที่, ปีที่ สืบค้นข้อมูล).

(ในกรณีที่ไม่มีข้อมูลปีที่ตีพิมพ์ ให้ระบุเป็นปีที่เข้าไปสืบค้นข้อมูล)

TH: Department of Agricultural Extension. 2005. Hydroponics. (Online). Available: http://www.doae.go.th/ proster/nondin/htm (April 21, 2005). (in Thai)

EN: Marja, L.L. 2000. How Mycostop® acts in the control of fungal plant diseases. (Online). Available: http://www.shkagro.com/otros/efecto_fungicida.pdf (April 1, 2016).

การส่งต้นฉบับเพื่อตีพิมพ์

โปรดตรวจสอบบทความต้นฉบับให้เป็นไปตามคำแนะนำในการเตรียมต้นฉบับ พร้อมแนบแบบฟอร์มนำส่งบทความเพื่อพิจารณาตีพิมพ์ในวารสารเกษตร (https://li01.tci-thaijo.org/ index.php/joacmu/information/authors) โดยนำส่งบทความผ่านทาง online เท่านั้น ที่ https:// li01.tci-thaijo.org/index.php/joacmu/index

การพิจารณาบทความ

1) ต้นฉบับที่ไม่ปฏิบัติตามคำแนะนำในการเตรียมต้นฉบับของวารสารเกษตร จะไม่ได้รับการพิจารณา

2) ทุกบทความที่ได้รับการตีพิมพ์ในวารสารเกษตร ต้องผ่านการประเมินจากผู้ทรงคุณวุฒิ ไม่น้อยกว่า 3 ท่าน

3) กองบรรณาธิการขอสงวนสิทธิ์ในการตรวจและแก้ไขบทความทุกเรื่องที่เสนอเพื่อการตีพิมพ์ในวารสารเกษตร (The Editorial Board claims a right to review and correct all articles submitted for publishing in Journal of Agriculture)

4) หากบทความใดขาดการติดต่อเกิน 6 เดือน กองบรรณาธิการจะดำเนินการลบบทความดังกล่าวออกจากระบบ ThaiJo 2.0 เพื่อให้การจัดทำวารสารเกษตรเป็นไปด้วยความเรียบร้อยและมีคุณภาพ

สำนักงานและการติดต่อสอบถาม (Office and Inquiries)

กองบรรณาธิการวารสารเกษตร
งานบริหารงานวิจัยและวิเทศสัมพันธ์ คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ จ. เชียงใหม่ 50200 โทร. 0 5394 4089-92 ต่อ 12 โทรสาร 0 5394 4089-92 ต่อ 12
Editorial Board, Journal of Agriculture
Division of Research and International Affairs, Faculty of Agriculture, Chiang Mai University, Chiang Mai 50200, Thailand Tel: 0 5394 4089-92 ext. 12
Fax: 0 5394 4089-92 ext. 12 Email: agjournal22@gmail.com

(ดูตัวอย่างต้นฉบับที่เป็นทั้งภาษาไทยและภาษาอังกฤษที่ https://drive.google.com/file/d/1AK1gabPWQgw2ErSRUaTiKMrjFdtKdsFC/view)

JOURNAL OF AGRICULTURE

A Technical Journal of Faculty of Agriculture, Chiang Mai University

Volume 38, Issue 2 May - August 2022

Identification and Phylogenetic Analysis of Dacini Fruit Flies in Thailand by *COX1* Gene
Yuvarin Boontop Charuwat Taekul Chamaiporn Buamas Kessuda Sonsiri and Sunadda Chaovalit....159

Effects of Adjusting pH Using Sodium Bicarbonate on Properties of Whey Produced from Goat Milk Mozzarella Cheese Process
Pathama Thannark Yaimai Chuaynoo Thamthawat Seangngam Wanwisa Wattanapunsak Phawinee Jampakam Naritsara Yingkamhaeng and Sasitorn Nakthong....175

Sericulture Practices of Farmers Under the Don Khun Huai Royal Initiative Project, Phetchaburi Province
Watchara Pinthong....187

Factors Affecting Good Agricultural Practices of Quality Strawberry Farmers, Samoeng District, Chiang Mai Province
Naruemon Khumdee Budsara Limnirankul Ruth Sirisunyaluck and Pornsiri Suebpongsung........201

Chlorophyll Content and Nutrient Status in Durian Leaves and Soil Growing Under Agroforestry System
Podjanee Sangmanee Vimolchat Somniyam and Phichai Chaikla....209

Effects of Fertilizer Rates on Growth and Development, and Water Use Efficiency of Ornamental Allium
Pisit Chanasongkram Chaiartiid Inkham Kanokwan Panjama and Soraya Ruamrungsri...........223

Detection of Anthracnose Disease in 'Namdokmai Sithong' Mango Using Near Infrared Spectroscopy
Katthareeya Sonthiya Pimjai Seehanam Parichat Theanjumpol and Phonkrit Maniwara...........237

Antioxidant and Osmoprotectant Contents in Mungbean Leaves Under High Temperature Condition
Wassana Songklang, Prakit Somta and Jamnian Chompoo....249

Effects of Nitrogen Fertilizer on Proline Content, Yield, Yield Components, Grain Quality, and Gene Expression in Thai Fragrant Rice Landrace
Nunnaphin Punti Sansanee Jamjod Chanakan Thebault Prom-u-thai Pennapa Jaksomsak and Tonapha Pusadee....265

Evaluating Yield, Yield Components, Commercial Cane Sugar, and Ratooning Ability of 14 Sugarcane Varieties Grown Under Natural Water-logged Condition in Phitsanulok Province
Pichai Boodseephum and Anupong Wongtamee....279

Evaluation of Progeny Populations Between Purple Rice with High Grain Phenol cv. Saeng 5 and Modern Variety cv. Pathum Thani 1
Pattapon Tonking Chanakan Thebault Prom-u-thai Tonapha Pusadee and Sansanee Jamjod....293

Effects of Foliar Phosphorus Fertilizer on Yield and Phosphorus Use Efficiency in Rice RD61 Variety
Saychol Sukyankij Sopida Sukyankij Chalinee Khongsud and Thanawan Panich-pat...........305

ISSN 0857-0841