



วารสารเกษตร

JOURNAL OF AGRICULTURE

วารสารวิชาการของคณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่

ปีที่ 40 ฉบับที่ 3 กันยายน - ธันวาคม 2567

ความคุ้มค่าเชิงเศรษฐกิจของการเลี้ยงชันโรงในระบบนิเวศที่เหมาะสม	
ทีมา โยธากิติ เอกพันธ์ ไกรจักร กราญจนา ถาอินชุม และ ชามา อินซอน.....	367
ปัจจัยที่มีความสัมพันธ์กับพฤติกรรมการใช้สารเคมีป้องกันและกำจัดศัตรูพืช	
ของเกษตรกรผู้ปลูกผัก ตำบลเหมืองหม้อ อำเภอเมือง จังหวัดแพร่	
กมลสร ล้อมสมมุติ วราภรณ์ ภูักกิตพันธ์ และ ปุณณารัสมิ ไกรสุข.....	377
ปัจจัยส่วนประสมทางการตลาดที่ส่งผลต่อการตัดสินใจซื้อชีวภัณฑ์ (เชื้อจุลินทรีย์)	
ของเกษตรกรผู้ปลูกข้าวในอำเภอเวียงสา จังหวัดน่าน	
ลือสาย พนมพิบูล สนธยา สำเภาทอง และ รพี ดอกไม้เทศ.....	387
อิทธิพลของรูปแบบยีนอินซูลินไลค์โกรธแฟกเตอร์ไบน์ดิงโปรตีน 2	
ต่อลักษณะเนื้อแดงปราศจากไขมันในสุกรลูกผสมระหว่างดুর็อคและเพียเทรน	
สมบัติ ประสงค์สุข, Catherine W. Ernst, Igseo Choi,	
Nancy E. Raney, พรพรรณ วิไลพรณรัตน์, Ronald O. Bates และ ศรเทพ อัมวาสร.....	395
การใช้ข้าวโพดร่วมกับสารประสานเม็ดทดแทนแป้งสาลีในอาหารของกุ้งขาว (<i>Litopenaeus vannamei</i>)	
ต่อสมรรถภาพการเติบโต ภูมิคุ้มกัน และการย่อยได้ของอาหาร	
ยิ่งยศ โสมย์ไพศาลศิลป์ ศรีน้อย ชุมคำ ศุภวิทย์ ไตรวุฒานนท์ และ อรพินท์ จินตสถาพร.....	405
อิทธิพลของระยะเวลาการขนส่งต่อการเพาะเลี้ยงอาหารมีชีวิตกลุ่มแพลงก์ตอนพืชสำหรับการอนุบาลสัตว์น้ำวัยอ่อน	
ชลดา ลือราม รุ่งทิวา คนสันทัด และ วาสนา อารวรรณ์.....	419
การวิเคราะห์พันธุกรรมของยีน <i>OsDFR</i> ที่เกี่ยวข้องกับการสังเคราะห์แอนโทไซยานินในข้าวกำลังเมืองไทย	
ชนิสร์ สุริยา คັນสนีย์ จำจด เพ็ญภา จักรสมศักดิ์ และ ต่อนภา ผุสดี.....	431
ผลของวัสดุปลูกต่อการเจริญเติบโตและผลผลิตของมันฝรั่ง	
สุกัญญา ศรีบัวขาว ปฏิกานต์ สุทธิกุลบุตร ภาณุรัตน์ นาคขันธ์ และ ทิพย์สุดา ตั้งตระกูล.....	445
อิทธิพลของการให้น้ำต่อการเติบโต คุณภาพ และผลผลิตของดาวเรือง	
รัชนิกร แก้วปา ฟ้าไพไลน ไชยวรรณ ชูชาติ สันทรพิทย์ กมล ทิพโชติ และ ณัฐภูมิ ลือศักดิ์.....	457
ผลของการพันกรดแอมิโนทางใบร่วมกับการจัดการปุ๋ยเคมีต่อการเจริญเติบโตและผลผลิตของผักโขม (<i>Amaranthus</i> spp.)	
พงษ์เพชร พงษ์ศิริวาทย์ ธวัชชัย อินทร์บุญช่วย ธรรมธวัช แสงงาม คนธิดา วาทีนพิรุณ	
วิทยา เศรษฐวิทยา และ ชัยสิทธิ์ ทองจุ.....	471
ผลของการปลิดช่อดอกต่อการผลิตมะม่วงพันธุ์น้ำดอกไม้สีทองล่าฤดู	
คณิดา สุกใส ดรุณี นาพรหม พวงเพชร เหมรัตน์ตระกูล และ ฉันทลักษณ์ ดิทยาน.....	485
การตอบสนองต่อการคัดเลือกพันธุ์แบบหมู่ประยุกต์ในประชากรพืชทองประดับผลสีขาวและสีส้ม	
รัฐพร คำผั่น กมล ทิพโชติ ต่อนภา ผุสดี และจุฑามาส คุ่มชัย.....	501
ผลของการกระตุ้นด้วยพลังงานไฟฟ้าและระยะเวลาในการกระตุ้นที่แตกต่างกัน	
ต่อการเจริญของเส้นใยและคุณภาพทางกายภาพของเห็ดหลินจือ	
ชุติมนต์ ไส้เสี้ยว แคทริยา สนธิยา ณัฐมลาภรณ์ ต่ายจันทร์ กวินธิดา สุขใส	
ศุภณัฐ จะสนอง พลกฤษณ์ มณีวรระ ปาริชาติ เทียนจุมพล และ พิมพ์ใจ สีหะนาม.....	513
การผสมข้ามชนิดและการถ่ายทอดลักษณะทางพืชสวนด้วยวิธีการผสมกลับในพริก	
ราชันย์ แสงงาม กมล ทิพโชติ นครินทร์ จ้ออาทิตย์ ต่อนภา ผุสดี และ จุฑามาส คุ่มชัย.....	525
ผลของความร้อนแบบฟลูอิดไดซ์เบดระดับห้องปฏิบัติการต่อการแปรรูปเนื้อมะม่วงพันธุ์และคุณภาพของเมล็ดข้าวเปลือก	
เกวลิน คุณาศักดากุล กัลยา บุญสง่า เกศกนก เขี่ยมสอาด	
วิบูลย์ ช่างเรือ และ เขียวลักษณ์ จันทร์บาง.....	539

คำแนะนำในการเตรียมต้นฉบับ

เรื่องที่ต้องพิมพ์

1. เป็นบทความวิจัย บทความปริทัศน์ หรือบทความวิชาการทางด้านเกษตรศาสตร์ และสาขาที่เกี่ยวข้อง
2. ต้องไม่เคยได้รับตีพิมพ์มาก่อน (ต้นฉบับ หรือส่วนหนึ่งส่วนใดของต้นฉบับ) และต้นฉบับต้องไม่ได้อยู่ระหว่างกระบวนการพิจารณาตีพิมพ์ในวารสารหรือสิ่งตีพิมพ์อื่นใด

การเตรียมต้นฉบับ

1. ภาษา เป็นภาษาไทยหรือภาษาอังกฤษ

ต้นฉบับบทความภาษาอังกฤษโปรดแนบเอกสารรับรองการพิสูจน์อักษรโดยเจ้าของภาษาหรือสถาบันภาษา (Proofreading by Native English Speaker or English Institute)

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) และจัดกึ่งกลางหน้ากระดาษ สำหรับชื่อเรื่องภาษาอังกฤษ กำหนดให้อักษรตัวแรกของคำให้พิมพ์ด้วยอักษรตัวพิมพ์ใหญ่ (capital letter)
- 3) ชื่อผู้เขียนให้พิมพ์ด้วยตัวอักษร Cordia New ขนาด 15 points พิมพ์ตัวหนา และจัดกึ่งกลางหน้ากระดาษ
- 4) ที่อยู่และที่อยู่อิเล็กทรอนิกส์ของผู้เขียนให้พิมพ์ด้วยตัวอักษร 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 สรุปเอกสารอ้างอิง ให้พิมพ์ด้วยตัวอักษร Cordia New ขนาด 16 points พิมพ์ตัวหนา และจัดกึ่งกลางหน้ากระดาษ
- 8) หัวข้อย่อย ให้พิมพ์ตัวหนาและจัดชิดซ้าย
- 9) คำอธิบายตารางและภาพให้พิมพ์ด้วยตัวอักษร Cordia New ขนาด 14 points พิมพ์ตัวหนา โดยคำอธิบายตารางให้พิมพ์เนื้อหาตารางและจัดชิดซ้าย ส่วนคำอธิบายภาพให้พิมพ์ได้ภาพและจัดกึ่งกลางหน้า และคำอธิบายตารางและภาพถ้ามีมากกว่าหนึ่งบรรทัดให้เริ่มต้นพิมพ์บรรทัดถัดมาตรงกับข้อความของบรรทัดแรก
- 10) หากมีชื่อวิทยาศาสตร์ปรากฏในบทความ ให้เขียนตามหลักเกณฑ์การเขียนชื่อวิทยาศาสตร์ ในครั้งแรกที่ปรากฏชื่อนี้ให้สะกดเต็ม เช่น *Meloidogyne incognita* และหลังจากนั้นถ้ามีการระบุชื่อนี้ซ้ำให้ย่อชื่อสกุล โดยเขียนเป็น *M. incognita*
- 11) คำว่า *et al.* และ *P* (P-value) ให้พิมพ์เอน

ข้อแนะนำการใช้ภาษา

- 1) ใช้คำศัพท์ตามพจนานุกรม ฉบับราชบัณฑิตยสถาน และประกาศของราชบัณฑิตยสถาน
- 2) การเขียนชื่อเฉพาะหรือคำแปลจากภาษาต่างประเทศ ควรพิมพ์ภาษาเดิมของชื่อนั้น ๆ ไว้ในวงเล็บในครั้งแรกที่ปรากฏในบทความ โดยพิมพ์เป็นอักษรตัวพิมพ์เล็กทั้งหมด ยกเว้นชื่อเฉพาะให้พิมพ์เฉพาะอักษรตัวแรกเป็นตัวพิมพ์ใหญ่
- 3) ไม่ควรใช้ภาษาต่างประเทศถ้ามีภาษาไทยใช้อยู่แล้ว
- 4) รักษาความสม่ำเสมอในการใช้คำ คำศัพท์ และตัวอย่าง โดยตลอดทั้งบทความ

การเรียงลำดับหัวข้อ ให้เรียงตามลำดับดังนี้

1. ชื่อเรื่อง (Title) ควรสั้น ชัดเจน และต้องสื่อเป้าหมายหลักของการศึกษาวิจัย ระบุชื่อเรื่องทั้งภาษาไทยและภาษาอังกฤษ ต้นฉบับที่เป็นภาษาไทยให้พิมพ์ชื่อเรื่องเป็นภาษาไทยก่อน แล้วตามด้วยชื่อเรื่องภาษาอังกฤษ ต้นฉบับที่เป็นภาษาอังกฤษให้พิมพ์ชื่อเรื่องเป็นภาษาอังกฤษก่อน แล้วตามด้วยชื่อเรื่องภาษาไทย
2. ชื่อผู้เขียน ใช้ชื่อผู้เขียนเต็มและระบุชื่อผู้เขียนทั้งภาษาไทยและภาษาอังกฤษ ใส่เครื่องหมายดอกจัน (*) กำกับไว้ที่ท้ายนามสกุลของผู้เขียนที่ติดต่อ (corresponding author)
3. ที่อยู่ หรือสังกัด ระบุที่อยู่หรือสังกัดทั้งภาษาไทยและภาษาอังกฤษ หากที่อยู่หรือสังกัดมีหลายแห่ง ให้พิมพ์ภาษาไทยของที่อยู่หรือสังกัดแห่งแรกก่อนแล้วตามด้วย

ภาษาอังกฤษ จากนั้นพิมพ์ภาษาไทยของที่อยู่หรือสังกัดแห่งที่สองแล้วตามด้วยภาษาอังกฤษ ผู้เขียนมีหลายคนและมีที่อยู่หรือสังกัดแตกต่างกัน ให้ใช้เลขด้วยยก (superscript) ที่ต่างกัน กำกับไว้ที่ท้ายนามสกุลของผู้เขียนทั้งภาษาไทยและภาษาอังกฤษ ผู้เขียนคนเดียว หรือหลายคนแต่มีที่อยู่หรือสังกัดเดียวกัน ไม่ต้องใช้เลขด้วยยก (superscript) กำกับท้ายนามสกุลของผู้เขียน ผู้เขียนเป็นนักศึกษา ให้ระบุที่อยู่หรือสังกัดตามหลักสูตรของนักศึกษา บรรทัดถัดจากที่อยู่ ให้พิมพ์ที่อยู่อีเมล (email address) ของผู้เขียนที่ติดต่อ (corresponding author)

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

5. เนื้อหา (Text) ประกอบด้วย

- 5.1 คำนำ (Introduction) แสดงความเป็นมาและเหตุผลที่นำไปสู่การศึกษาวิจัย อาจรวมการทบทวนเอกสาร (review of literature) และวัตถุประสงค์ของการศึกษาวิจัยไว้ด้วย

- 5.2 อุปกรณ์และวิธีการ (Materials and Methods) ให้อธิบายละเอียดของวัสดุเครื่องมือ และอุปกรณ์ที่ใช้ ในการทดลอง ตลอดจนวิธีการวิเคราะห์ทางสถิติ และแบบจำลองการศึกษาวิจัยที่ชัดเจนและสมบูรณ์

- 5.3 ผลการทดลองและวิจารณ์ หรือ ผลการศึกษาและวิจารณ์ (Results and Discussion) ให้บรรยายผลการศึกษาวิจัย พร้อมเสนอข้อมูลในรูปแบบตารางหรือภาพประกอบได้ โดยตารางหรือภาพ รวมทั้งคำอธิบายให้จัดทำเป็นภาษาอังกฤษทั้งหมด ถ้ามีตารางหรือภาพในบทความ ให้อ้างตารางหรือภาพนั้นในเนื้อหาด้วยโดยใช้เป็นภาษาอังกฤษ เช่น Table หรือ Figure สำหรับกรณีวิจารณ์ ควรเชื่อมโยงกับผลการศึกษาว่าสอดคล้องกับสมมุติฐาน หรือแตกต่างจากผลงานวิจัยที่มีผู้รายงานไว้ก่อนหรือไม่อย่างไรและด้วยเหตุใด โดยมีพื้นฐานการอ้างอิงที่เชื่อถือได้

- 5.4 สรุป (Conclusion) เป็นการสรุปผลที่ได้รับจากการศึกษาวิจัย อาจมีข้อเสนอแนะ หรือระบุอุปสรรคและแผนงานวิจัยที่จะดำเนินการต่อไป

- 5.5 กิตติกรรมประกาศ (Acknowledgement) อาจมีหรือไม่ก็ได้ 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 ผู้เขียนมี 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. บุศรา ลิมนิรันดร์กุล มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ ผศ.ดร. จีรวรรณ กิจชัยเจริญ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ ศ.ดร. ชนาگانต์ เทโบลต์ พรหมอุทัย มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ รศ.ดร. ต่อนภา ผุสดี มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ ผศ.ดร. ชันท์ลักษณ์ ติยายอน มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ ผศ.ดร. พิมพ์ใจ สีหะนาม มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ ผศ.ดร. เยาวลักษณ์ จันทร่ียง มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ ผศ.ดร. อรุมา เรืองวงษ์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ รศ.ดร. เสาวลักษณ์ แย้มหมื่นอาจ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ ผศ.ดร. มินตรา ศีลอุดม มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ อ.ดร. มนต์วี แสนวงศ์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่	Editorial Board (Academic)	Budsara Limnirankul, Ph.D., Assist. Prof. Chiang Mai University Jirawan Kitchaicharoen, Ph.D., Assist. Prof. Chiang Mai University Chanakan Thebault Prom-u-thai, Ph.D., Prof. Chiang Mai University Tonapa Pusadee, Ph.D., Assoc. Prof. Chiang Mai University Chantalak Tiyyon, Ph.D., Assist. Prof. Chiang Mai University Pimjai Seehanam, Ph.D., Assist. Prof. Chiang Mai University Yaowaluk Chanbang, Ph.D., Assist. Prof. Chiang Mai University On-Uma Ruangwong, Ph.D., Assist. Prof. Chiang Mai University Saowaluck Yammuen-art, Ph.D., Assoc. Prof. Chiang Mai University Mintra Seel-audom, Ph.D., Assist. Prof. Chiang Mai University Montri Sanwangsri, Ph.D. Chiang Mai University

รศ.ดร. พิษญา พูลลาภ
 มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
 รศ.ดร. รุจ ศิริสุนทรลักษณ์
 ข้าราชการเกษียณอายุ
 รศ.ดร. ไสว บุรณพานิชพันธุ์
 ข้าราชการเกษียณอายุ
 ศ. ญานวิทย์ ดร. เมธาวรรณพัฒน์
 มหาวิทยาลัยขอนแก่น
 ศ.ดร. อังศุมาลย์ จันทราปัติย์
 ข้าราชการเกษียณอายุ
 ศ.ดร. สุชีลา เตชะวงศ์เสถียร
 ข้าราชการเกษียณอายุ
 ศ.ดร. ธวัชชัย ศุภดิษฐ์
 สถาบันบัณฑิตพัฒนบริหารศาสตร์
 รศ.ดร. เสวียน เปรมประสิทธิ์
 มหาวิทยาลัยนเรศวร
 รศ.ดร. วีรเทพ พงษ์ประเสริฐ
 ข้าราชการเกษียณอายุ
 รศ.ดร. เพชรรัตน์ ธรรมเบญจพล
 มหาวิทยาลัยขอนแก่น
 รศ. บำเพ็ญ เขียวหวาน
 มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมาธิราช
 ศ.ดร. เกรียงศักดิ์ เม่งอำพัน
 ข้าราชการเกษียณอายุ
 รศ.ดร. ธีรนุช เจริญกิจ
 มหาวิทยาลัยแม่โจ้
 ผศ.ดร. ปฏิภาณ สุทธิกุลบุตร
 มหาวิทยาลัยแม่โจ้
 รศ.ดร. เพ็ญพร เจนการกิจ
 มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
 รศ.ดร. ไชยวรรณ วัฒนจันทร์
 มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์
 ผศ.ดร. เสาวคนธ์ วัฒนจันทร์
 มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์
 กองบรรณาธิการ
 ฝ่ายการจัดการ
 นางสาวศิริลักษณ์ ใจเหล็ก

Pichaya Poonlarp, Ph.D., Assoc. Prof.
 Chiang Mai University
 Ruth Sirisunyaluck, Ph.D., Assoc. Prof.
 Retired government official
 Sawai Buranapanichpan, Ph.D., Assoc. Prof.
 Retired government official
 Metha Wanapat, Ph.D., Prof.
 Khon Kaen University
 Angsumarn Chandrapatya, Ph.D., Prof.
 Khon Kaen University
 Suchila Techawongstien, D.Agr., Prof.
 Retired government official
 Tawadchai Suppadit, Ph.D., Prof.
 National Institute of Development Administration
 Savent Pampasit, Ph.D., Assoc. Prof.
 Naresuan University
 Weerathep Pongprasert, Ph.D., Assoc. Prof.
 Retired government official
 Petcharat Thummabenjapone, Ph.D., Assoc. Prof.
 Khon Kaen University
 Bumpen Keowan, M.S., Assoc. Prof.
 Sukhothai Thammathirat Open University
 Kriangsak Mengumphan, Ph.D., Prof.
 Retired government official
 Theeranuch Jaroenkit, Ph.D., Assoc. Prof.
 Maejo University
 Pathipan Sutigoolabud, Ph.D., Assist. Prof.
 Maejo University
 Penporn Janekarnkij, Ph.D., Assoc. Prof.
 Kasetsart University
 Chaiyawan Wattanachant, Ph.D., Assoc. Prof.
 Prince of Songkla University
 Saowakon Wattanachant, Ph.D., Assist. Prof.
 Prince of Songkla University
 Editorial Board
 (Management)
 Lalitaya Nummisri
 Manop Pearpun
 Sirilak Chailek

บทบรรณาธิการ

สวัสดีท่านผู้อ่านทุกท่าน วารสารเกษตรฉบับนี้เป็นวารสารเกษตรปีที่ 40 ฉบับที่ 3 ประจำเดือน กันยายน - ธันวาคม พ.ศ. 2567 ซึ่งเป็นฉบับสุดท้ายของปีที่ 40 โดยประกอบด้วยบทความทางวิชาการที่มีต้นฉบับเป็นภาษาไทย จำนวน 14 เรื่อง ภาษาอังกฤษ จำนวน 1 เรื่อง ประกอบด้วย สาขาวิชาเศรษฐศาสตร์เกษตร 1 เรื่อง สาขาวิชาส่งเสริมและเผยแพร่การเกษตร 2 เรื่อง สาขาสัตวศาสตร์ 1 เรื่อง สาขาสัตว์น้ำ 2 เรื่อง สาขาพืชไร่ 1 เรื่อง สาขาปฐพีศาสตร์ 3 เรื่อง สาขาพืชสวน 4 เรื่อง และสาขาวิชาภูมิวิทยา 1 เรื่อง

ทางวารสารเกษตร เปิดรับบทความวิชาการทางเกษตร วิทยาศาสตร์เกษตร และสาขาที่เกี่ยวข้อง ผู้ที่สนใจส่งบทความเพื่อตีพิมพ์ในวารสารเกษตร สามารถหาข้อมูลเพิ่มเติมได้จากเว็บไซต์วารสาร <https://li01.tci-thaijo.org/index.php/joacmu/index> หรือสามารถติดต่อมายังกองบรรณาธิการได้ที่ E-mail : agjournal22@gmail.com ขอให้ทุกท่านมีความสุข สุขภาพแข็งแรง ส่งผลงานวิจัยมาตีพิมพ์กันนะคะ และพบกันฉบับต่อไปค่ะ

รองศาสตราจารย์ ดร.ณัฐา โพธารมณ์

บรรณาธิการวารสารเกษตร

ความคุ้มค่าเชิงเศรษฐกิจของการเลี้ยงชันโรงในระบบนิเวศที่เหมาะสม

Economic Worthiness of Stingless Bee Farm in a Good Ecosystem

ทีมา โยธากดี^{1*}, เอกพันธ์ ไกรจักร², กราญจนา ถาอินชุม³ และ ชามา อินซอน⁴
Teeka Yotapakdee^{1*}, Ekaphan Kraichak², Krajana Thainchom³ and Chama Inson⁴

¹มหาวิทยาลัยแม่โจ้-แพร่ เฉลิมพระเกียรติ จ.แพร่ 54140

¹Maejo University, Phrae Campus, Phrae 54140, Thailand

²คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ จตุจักร กรุงเทพฯ 10900

²Faculty of Science, Kasetsart University, Chatuchak, Bangkok 10900, Thailand

³คณะทรัพยากรธรรมชาติ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ จ.สงขลา 90110

³Faculty of Natural Resources, Prince of Songkla University, Songkla 90110, Thailand

⁴คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ จตุจักร กรุงเทพฯ 10900

⁴Faculty of Agriculture, Kasetsart University, Chatuchak, Bangkok 10900, Thailand

*Corresponding author: Email: teekasom@gmail.com, teeka@mju.ac.th

(Received: 4 December 2023; Accepted: 24 May 2024)

Abstract: Stingless bee farming is found in orchard farms, mixed farming systems, rubber plantations, and agroforestry. The purpose of this study was to explore the socioeconomics opportunities and the ecological suitability of stingless bee farming in 9 provinces. Data were collected through purposive sampling of 12 stingless bee farms using questionnaires. The data analysis utilized the cost-benefit analysis (CBA) method, which included present value (PV), net present value (NPV), internal rate of return (IRR), benefit-cost ratio (B/C ratio) and payback period. The results showed that the cost of stingless bee farming over 5 years resulted in an NPV of 163,125.88 THB. The IRR of 24.90 % exceeded the discount rate, and the B/C ratio was 2.11 indicating its investment worthiness. The payback period was 3 years 1 month. Therefore, stingless bee farming could potentially develop into a career in chemical-free areas.

Keywords: Net present value, internal rate of return, benefit-cost ratio, payback period

บทคัดย่อ: การเลี้ยงชันโรงพบในพื้นที่สวนไม้ผล พื้นที่เกษตรผสมผสาน สวนยางพารา และพื้นที่วนเกษตร การศึกษาค้นคว้าครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาโอกาสทางเศรษฐกิจสังคมและระบบนิเวศที่เหมาะสมของการเลี้ยงชันโรง ใน 9 จังหวัด ทำการเก็บข้อมูลโดยใช้แบบสัมภาษณ์แบบเจาะจงในกลุ่มเกษตรกรผู้เลี้ยงชันโรงกลุ่มตัวอย่างจำนวน 12 ราย การวิเคราะห์ข้อมูล ใช้วิธีการวิเคราะห์ต้นทุน-ผลตอบแทน อันประกอบด้วย การวิเคราะห์มูลค่าปัจจุบัน มูลค่าปัจจุบันสุทธิ อัตราผลตอบแทนภายใน อัตราส่วนผลตอบแทนต่อต้นทุน ระยะเวลาคืนทุน ผลการศึกษาพบว่า ต้นทุนการเลี้ยงชันโรง ในระยะเวลาการเลี้ยง 5 ปี ได้มูลค่าปัจจุบันสุทธิของผลตอบแทนเท่ากับ 163,125.88 บาท ได้อัตราผลตอบแทนภายในร้อยละ 24.90 ซึ่งมากกว่าอัตราคิดลด และอัตราส่วนผลตอบแทนต่อต้นทุนเท่ากับ 2.11 แสดงให้เห็นถึงการเลี้ยงชันโรง มีความคุ้มค่าที่จะลงทุน รวมทั้งระยะเวลาคืนทุนของการเลี้ยงชันโรงเท่ากับ 3 ปี 1 เดือน ดังนั้น การเลี้ยงชันโรงสามารถพัฒนาเป็นอาชีพได้อย่างมีศักยภาพในพื้นที่ที่ปลอดภัย

คำสำคัญ: มูลค่าปัจจุบันสุทธิ อัตราผลตอบแทนภายใน อัตราส่วนผลตอบแทนต่อต้นทุน ระยะเวลาคืนทุน

คำนำ

ชันโรงหรือผึ้งจิว (stingless bee) เป็นแมลงสังคมขนาดเล็ก มีพฤติกรรมเก็บน้ำหวานจากดอกไม้ และละอองเกสรของพืชมาใช้เป็นอาหารเช่นเดียวกับผึ้ง จัดอยู่ในวงศ์ Apidae เช่นเดียวกับผึ้ง แต่แตกต่างจากผึ้งที่ชันโรงไม่มีเหล็กใน (Sawatthum, 2013) คุณสมบัติเด่นของชันโรง ได้แก่ ชันโรงไม่มีพฤติกรรมทิ้งรังและไม่ชอบอพยพย้ายรัง มีรศมีการบินไม่ไกลนักมักจะหากินอยู่ใกล้ ๆ กับรัง สามารถผสมเกสรพืชได้อย่างมีประสิทธิภาพมาก ชันโรงมีนิสัยไม่เลือกชอบลงตอมดอกไม้และมักจะเก็บเล็กผสมน้อยไปเรื่อย ๆ มีพฤติกรรมชอบเก็บเกสรจึงทำให้เกิดการผสมเกสรสมบูรณ์ได้เป็นอย่างดี สามารถเก็บน้ำหวานได้จากพรรณไม้ต่าง ๆ ที่อยู่ใกล้ที่มีหากิน มีอายุที่ยืนยาวกว่าแมลงผสมเกสรชนิดอื่น ๆ ชันโรงสามารถนำไปเพาะเลี้ยงและขยายหรือเพิ่มจำนวนรังได้ รวมทั้งการแยกรังยังไม่มีควมสลับซับซ้อนอีกด้วย (The Fifth Operations Coordination Center, 2019) ในปี 2565 เกษตรกรผู้เลี้ยงผึ้งทั่วประเทศ 35,405 คน สร้างผลผลิตน้ำผึ้งที่สร้างมูลค่าทางเศรษฐกิจจำนวนมหาศาล เป็นรายได้หมุนเวียนให้แก่เกษตรกรกว่า 2,000 ล้านบาท ไม่รวมผลผลิตชนิดอื่น ๆ และผลิตภัณฑ์แปรรูป ซึ่งผลผลิตจากผึ้งของไทยที่มีการส่งออกนั้นเป็นผลผลิตที่ได้จากผึ้งพันธุ์ มีปริมาณผลผลิตน้ำผึ้งสูงเป็นอันดับ 2 ของอาเซียน และเป็นอันดับที่ 36 ของโลก (Doaenews, 2022) คุณลักษณะทั่วไปของน้ำผึ้งชันโรง

จะมีรสชาติเปรี้ยวอมหวาน มีสรรพคุณทางยาสูงกว่าน้ำผึ้งปกติถึง 2 เท่า มีคุณค่าทางโภชนาการสูงกว่าน้ำผึ้งทั่วไปหลายเท่า ซึ่งเกิดจากกระบวนการหมักทางธรรมชาติ รสชาติจะต่างตามชนิดสายพันธุ์และชนิดดอกไม้ที่เป็นแหล่งอาหาร (Isaranews, 2023) แม้ปริมาณของน้ำผึ้งชันโรงที่ได้ต่อรังจะน้อยกว่าเมื่อเทียบกับผึ้งชนิดอื่น แต่สามารถผลิตน้ำผึ้งได้คุณภาพสูง โดยการผลิตเป็นการตั้งกล่องรังชันโรงไว้ 2-3 รัง ชันโรงทำงานผสมเกสรได้น้ำผึ้งสูงสุด 1 กก./รัง เมื่อเทียบจำนวนรังกับผึ้งชนิดอื่น ๆ ถ้าเป็นผึ้งโพรงได้น้ำผึ้ง 5-15 กก./รัง ส่วนผึ้งมีมิได้น้ำผึ้ง 0.5-1.5 กก./รัง น้ำผึ้งชันโรงสดราคาที่ตั้งไว้อยู่ที่ 2 บาท/มิลลิลิตร ด้านส่วนน้ำผึ้งชันโรงหมักบ่มข้ามปีราคาจำหน่ายที่ตั้งไว้ 3 บาท/มิลลิลิตร (MGR, 2022) ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Suksard and Srithong (2017) ที่การขายน้ำผึ้งชันโรงส่วนใหญ่บรรจุในขวดเหล้าเก่าขนาด 750 มิลลิลิตร ส่วนใหญ่ผู้เลี้ยงชันโรงเป็นผู้กำหนดราคาน้ำผึ้งชันโรงราคาขาย 350-2,000 บาท (180-750 มิลลิลิตร) และชันผึ้งราคา 2,000 บาท/กก. จะเห็นได้ว่าชันโรงให้น้ำผึ้งที่มีสรรพคุณดีมีประโยชน์ต่อร่างกายของมนุษย์และยังสามารถจำหน่ายได้ราคาดี ราคาน้ำผึ้งชันโรงจำหน่าย 1,500 บาท/กก. (Agrinewsthai.com, 2022) ซึ่งถือว่าเป็นน้ำผึ้งที่ราคาแพงกว่าน้ำผึ้งทั่วไป เนื่องจากน้ำผึ้งชันโรงมีคุณค่าทางโภชนาการสูงกว่า (Saovakhon, 2019) เพราะพฤติกรรมการเก็บอาหารของชันโรงจะเก็บเกสรมากกว่าเก็บน้ำหวานจากพืช ในอัตราร้อยละ 80:20 (Chuttong, 2016)

การเลี้ยงชันโรงเป็นอาชีพทางเลือกหนึ่งที่สามารถสร้างรายได้ให้เกษตรกรที่มีการปลูกพืชไม้ผลพืชไร่ ที่สามารถเลี้ยงชันโรงให้อยู่ร่วมกับพืชเศรษฐกิจนี้ได้ในแปลง เพราะชันโรงเป็นตัวแพร่กระจายเกสรพืช ทำให้ผลผลิตมีปริมาณและคุณภาพเพิ่มขึ้น ในพื้นที่ที่มีการลดการใช้สารเคมีทางการเกษตร (Technologychaoban.com, 2023) ที่สำคัญชันโรงจะอยู่รอดได้ย่อมต้องการสภาพแวดล้อมที่ปลอดจากสารเคมีอันตราย การเลี้ยงชันโรงจึงสามารถตอบโจทย์การเกษตรแบบผสมผสาน และเป็นตัวชี้วัดความเป็นอินทรีย์ได้ ชุมชนหรือพื้นที่ที่มีการเลี้ยงชันโรงจึงกลายดัชนีชี้วัดระบบนิเวศที่เหมาะสมในพื้นที่ เนื่องจากการเลี้ยงชันโรงนั้นต้องอาศัยความหลากหลายทางชีวภาพของพืชอาหารด้วย ดังนั้น งานวิจัยชิ้นนี้จึงมีวัตถุประสงค์ในการศึกษาโอกาสทางเศรษฐกิจชุมชนและระบบนิเวศที่เหมาะสมของการเลี้ยงชันโรง เพื่อแสดงให้เห็นถึงความคุ้มค่าทางเศรษฐกิจในการลงทุนเลี้ยงชันโรง และโอกาสในการเป็นตัวช่วยตัดสินใจด้านการเงินได้อย่างมีประสิทธิภาพ รวมทั้งการบริหารจัดการระบบนิเวศที่เหมาะสมที่ชันโรงสามารถเลี้ยงได้

อุปกรณ์และวิธีการ

กรอบแนวคิดการวิจัย คือ การเลี้ยงชันโรงในพื้นที่ต้องปราศจากการใช้สารเคมีในทุกขั้นตอนของการปลูกพืชในแปลง ทำให้สร้างระบบนิเวศที่เหมาะสม ยังสามารถสร้างโอกาสในการลงทุนเลี้ยงชันโรงได้อย่างมีประสิทธิภาพ

สมมติฐานการศึกษา คือ เกษตรกรที่มองหาโอกาสในการสร้างรายได้ในพื้นที่ปลอดสารเคมี สามารถพิจารณาการเลี้ยงชันโรง เนื่องจากการเลี้ยงดูเลี้ยงง่าย ต้นทุนต่ำและให้ผลตอบแทนที่คุ้มค่า

พื้นที่ศึกษา แบ่งออกเป็น 5 ภาค จำนวน 9 จังหวัด ได้แก่ 1) ภาคเหนือ จ.เชียงใหม่ 2) ภาคกลาง จ.สมุทรสงคราม จ.ราชบุรี 3) ภาคตะวันออก จ.ระยอง จ.จันทบุรี จ.ตราด 4) ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ จ.นครราชสีมา และ 5) ภาคใต้ จ.ชุมพร จ.ตรัง (Table 1)

ประชากรและกลุ่มตัวอย่างที่ใช้ในการศึกษา ประชากรที่ใช้ในการศึกษา คือ กลุ่มเกษตรกรผู้เลี้ยง

ชันโรงในพื้นที่ 9 จังหวัดจำนวน 12 กลุ่ม ซึ่งมีสมาชิกทั้งหมด 450 ราย และทำการเก็บข้อมูลจากกลุ่มตัวอย่างในพื้นที่ศึกษาจำนวน 12 ราย ซึ่งเป็นตัวแทนของแต่ละกลุ่ม (Table 1) โดยมีคุณสมบัติ คือ เกษตรกรที่เป็นสมาชิกของแปลงใหญ่หรือกลุ่มวิสาหกิจ หรือ มีประสบการณ์เลี้ยงชันโรงอย่างน้อย 3 ปีขึ้นไป หรือ มีรูปแบบฟาร์มขนาดกลาง 100 - 500 ไร่ หรือ มีการทำธุรกิจในการแปรรูปและจำหน่ายเป็นผลิตภัณฑ์อื่น ๆ ซึ่งโดยปกติการเลี้ยงชันโรงในกล่องเลี้ยงจะไม่มีมีความแตกต่างกันในแต่ละภาค แต่มีความแตกต่างกันในพืชอาหารที่พบในแต่ละพื้นที่ ที่ส่งผลให้น้ำผึ้งชันโรงมีรสชาติ คุณภาพที่แตกต่างกัน แต่ราคาน้ำผึ้งชันโรงใกล้เคียงกัน ประมาณ 1,000 - 1,500 บาท/กก. ทำให้การเก็บข้อมูลในด้านโอกาสทางธุรกิจจึงไม่มีความแตกต่างกันในบริบทของพื้นที่ ดังนั้นจึงเลือกใช้ตัวแทนของกลุ่มวิสาหกิจชุมชน 1 ราย เพื่อเป็นตัวแทนของสมาชิกกลุ่มที่พบในพื้นที่ศึกษา

เครื่องมือที่ใช้ในการศึกษา การสังเกตการณ์ และเก็บข้อมูลด้วยการสัมภาษณ์เกษตรกร

การเก็บรวบรวมข้อมูล

ข้อมูลปฐมภูมิ (primary data) โดยการใช้แบบสัมภาษณ์ เพื่อเข้าไปเก็บข้อมูลกลุ่มตัวอย่างในพื้นที่จากเกษตรกร ด้านมูลค่าทางเศรษฐกิจ ระบบนิเวศที่เหมาะสมในการเลี้ยงชันโรง และรายได้ที่เกิดจากการขายผลิตภัณฑ์อื่น ๆ

ข้อมูลทุติยภูมิ (secondary data) โดยการเก็บรวบรวมข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับการเลี้ยงชันโรง จากแหล่งที่มีเอกสารทางวิชาการต่าง ๆ เช่น กรมส่งเสริมการเกษตร เป็นต้น

การวิเคราะห์ข้อมูล

1) **ต้นทุน ผลตอบแทน** ประกอบด้วยต้นทุนเงินสด และไม่เป็นเงินสด เพื่อให้เกษตรกรได้พิจารณาตัดสินใจในการลงทุน การวิเคราะห์ต้นทุนและผลตอบแทน (cost-benefit analysis: CBA) อ้างอิงจาก (Mingmaninakin, 2007) ดังสมการที่ 1 โดยการวิเคราะห์ต้นทุนรวม คือ ต้นทุนผันแปร+ต้นทุนคงที่

ต้นทุนผันแปร ได้แก่ ค่าพันธุ์ ค่าแรง และค่าเสียโอกาสของเงินลงทุน

ต้นทุนคงที่ ได้แก่ ค่ารั้ง อุปกรณ์การเลี้ยง และค่าเสียโอกาสของเงินลงทุน

ผลตอบแทน = รายได้ - ต้นทุนรวม (สมการที่ 1)

Table 1. Samples' community enterprise of stingless bee

Community enterprise	Member (person)
Doi Lang stingless bee bank, Chiang Mai province	7
Ban Chang Pian community enterprise, Chiang Mai province	20
Total northern	27
Native honeybee and pollinator center, Ratchaburi province	200
Stingless bee farm, Samut Songkhram province	2
Total central	202
Ban Thap Ma community enterprise of stingless bee, Rayong province	48
Ban Bang Sa Kaeo community enterprise of stingless bee, Chanthaburi province	20
Farmer group of stingless bee, Trad province	42
Ban Tung Tarad large scale farming of stingless bee, Chanthaburi province	20
Total eastern	130
Farmer group of stingless bee, Nakhon Ratchasima province	2
Pakchong Khoa Yai avocado club, Nakhon Ratchasima province	66
Total northeastern	68
Lamae farmer group of stingless bee, Chumphon province	4
Sirichan farm of bee and stingless bee, Trang province	19
Total southern	23
Overall total	450

Note: 1 sample from 1 community enterprise that all 12 samples

2) **มูลค่าปัจจุบัน** (present value: PV) คือ มูลค่า ณ วินาทีของเงินจำนวนหนึ่งที่จะได้รับในอนาคต ซึ่งต้องมีการปรับต้นทุนและผลตอบแทนในแต่ละปีให้อยู่ในรูปมูลค่าปัจจุบัน (Supprasert and Kunsuwan, 2020) โดยใช้อัตราคิดลด (discount rate) เป็นอัตราดอกเบี้ยเงินกู้ของธนาคารเพื่อการเกษตรและสหกรณ์ (ธ.ก.ส.) สำหรับลูกค้ารายคนชั้นดี ได้แก่ เกษตรกรและบุคคล (minimum retail rate: MRR) MRR ร้อยละ 6.975 (BAAC, 2023) โดยในงานชิ้นนี้ประยุกต์ใช้อัตราคิดลดร้อยละ 7 ซึ่งมีค่าใกล้เคียงกับอัตราดอกเบี้ยของ ธ.ก.ส. ดังสมการที่ 2

$$PV = \frac{FV_t}{(1+r)^t} \quad (\text{สมการที่ 2})$$

โดยที่ PV คือ มูลค่าปัจจุบัน (present value)

FV คือ มูลค่าอนาคต (future value)

r = อัตราคิดลด

t = ปีของโครงการคือปี 0, 1, 2, 3, 4, 5

3) **มูลค่าปัจจุบันสุทธิ** (net present value: NPV) คือ ผลรวมของมูลค่าผลตอบแทนสุทธิของโครงการที่ได้รับค่าของเวลาให้เป็นค่าปัจจุบันแล้ว โดยคำนวณจากผลตอบแทนในแต่ละปี (present value benefit: PVB) ลบด้วยต้นทุนการผลิตในแต่ละปี (present value cost: PVC) ผลลัพธ์ใช้พิจารณาสำหรับโครงการที่ควรค่าแก่การลงทุน ต้องมีค่า NPV มีค่ามากกว่า 0 แสดงว่า รายได้มากกว่ารายจ่าย (Jareonvong et al., 2022) ดังสมการที่ 3

Net present value =

$$\sum_{t=0}^n PVB_t - \sum_{t=0}^n PVC_t \quad (\text{สมการที่ 3})$$

โดยที่ B_t = มูลค่าผลตอบแทนในปีที่ t

C_t = มูลค่าของต้นทุนในปีที่ t

r คือ อัตราคิดลด

4) อัตราผลตอบแทนภายใน (internal rate of return: IRR) คือ อัตราผลตอบแทนที่ทำให้มูลค่าปัจจุบันของกระแสเงินสดรับสุทธิเท่ากับมูลค่าปัจจุบันของกระแสเงินสดจ่ายสุทธิ หรือ อัตราผลตอบแทนภายในที่ทำให้มูลค่าปัจจุบันของผลตอบแทนสุทธิมีค่าเท่ากับ 0 (Choowan, 2020) ดังสมการที่ 4

$$\sum_{t=0}^n \frac{(B_t - C_t)}{(1 + IRR)^t} = 0 \quad (\text{สมการที่ 4})$$

โดยที่ B_t = มูลค่าผลตอบแทนในปีที่ t

C_t = มูลค่าของต้นทุนในปีที่ t

r = อัตราคิดลด

t = ปีของโครงการคือปีที่ 0, 1, 2, 3, 4, 5

5) อัตราส่วนผลตอบแทนต่อต้นทุน (benefit-cost ratio: B/C ratio) คือ อัตราส่วนเปรียบเทียบระหว่างมูลค่าปัจจุบันของรายได้ เทียบกับค่าปัจจุบันของรายจ่ายตลอดอายุของโครงการ-หลักเกณฑ์ในการพิจารณาจะเลือกลงทุนในโครงการที่มีอัตราส่วนของผลตอบแทนต่อค่าใช้จ่ายมากกว่า 1 ซึ่งหมายถึง โครงการนั้นมีรายได้มากกว่ารายจ่ายเมื่อคิดลดกลับมาเป็นมูลค่าปัจจุบันด้วยอัตราคิดลดที่เหมาะสม (Chaipiboon, 2016) ดังสมการที่ 5

$$B/C \text{ ratio} = \frac{\sum_{t=0}^n \frac{B_t}{(1+r)^t}}{\sum_{t=0}^n \frac{C_t}{(1+r)^t}} \quad (\text{สมการที่ 5})$$

โดยที่ B_t = มูลค่าผลตอบแทนในปีที่ 0, 1, 2, ..., n

C_t = มูลค่าของต้นทุนในปีที่ 0, 1, 2, 3, 4, 5

r = อัตราคิดลด

t = ปีของโครงการคือปีที่ 0, 1, 2, 3, 4, 5

n = อายุของโครงการ 5 ปี

6) ระยะเวลาคืนทุน (payback period) คือ ระยะเวลาของกระแสเงินสดรับที่คาดว่าจะได้รับในอนาคตเท่ากับเงินลงทุนเริ่มแรกของโครงการพอดี (Pipatanasern, 2006) ดังสมการที่ 6

ระยะเวลาคืนทุน = เงินทุนที่ลงทุนทั้งหมด/ผลประโยชน์สุทธิที่ได้รับรายปี (สมการที่ 6)

ผลการศึกษา

1. ข้อมูลการเลี้ยงชันโรงของกลุ่มวิสาหกิจชุมชน

เกษตรกรผู้เลี้ยงชันโรงในพื้นที่ศึกษาจากการสัมภาษณ์จำนวน 12 คน เป็นตัวแทนของกลุ่ม มีกล่องเลี้ยงชันโรงเฉลี่ย 305 รัง มีประสบการณ์ในการเลี้ยงเฉลี่ย 13.5 ปี มีแรงงานในครัวเรือนที่ใช้ในการเลี้ยงชันโรงเฉลี่ย 2 คน/ครัวเรือน แสดงถึง ความสามารถและประสบการณ์ของครัวเรือนในการเลี้ยงชันโรงด้วยความชำนาญเป็นระยะเวลาหลายปี ใช้แรงงานในครัวเรือนในการเลี้ยงได้อย่างเพียงพอ และการกระจายข้อมูลข่าวสาร การถ่ายทอดความรู้ในการเลี้ยงให้แก่สมาชิกคนอื่น ๆ ในวงกว้างได้ถึง 450 คน ได้เรียนรู้การเลี้ยงในกลุ่มวิสาหกิจหรือกลุ่มเกษตรกร เป็นการช่วยกันแบ่งปัน รวมทั้งส่งเสริมภูมิปัญญาการเลี้ยงให้คงอยู่ รวมถึงบางกลุ่มวิสาหกิจชุมชนได้เป็นแหล่งเรียนรู้ เช่น 1) บ้านสวนชีวจันทร์ ฟาร์มผึ้งและชันโรง อ.ปะเหลียน จ.ตรัง 2) กลุ่มเลี้ยงชันโรง อ.ละแม จ.ชุมพร 3) ธนาคารชันโรงดอยกลาง อ.แม่อาว จ.เชียงใหม่ และ 4) กลุ่มวิสาหกิจชุมชนบ้านช้างเผือก ต.บวักค่าง อ.สันกำแพง จ.เชียงใหม่ ที่สามารถถ่ายทอดให้กับผู้ที่สนใจที่จะเข้ามาเรียนรู้ให้กับประชาชนทั่วไปได้ ลักษณะการเลี้ยงชันโรงที่พบในพื้นที่สวนผลไม้ เช่น ลำไย ลิ้นจี่ เงาะ ะโวคาโด พื้นที่เกษตรผสมผสาน ในสวนยางพารา และพื้นที่วนเกษตรบนพื้นที่สูง ซึ่งการเลือกพื้นที่เลี้ยงต้องตั้งกล่องเลี้ยงอยู่ในที่ร่มเย็น หรือใต้ร่มไม้ มีแหล่งน้ำสะอาด อยู่ใกล้กับแหล่งอาหารของผึ้ง รวมทั้งต้องคอยระวังแมลงศัตรูที่มาทำร้ายรังชันโรงด้วย เช่น แมงมุม จิ้งจก ตุ๊กแก กิ้งก่า จิ้งเหลน มด เป็นต้น

2. ต้นทุน ผลตอบแทน การเลี้ยงชันโรง

ต้นทุนการเลี้ยงชันโรงคิดคำนวณระยะเวลาในการเลี้ยง 5 ปี เนื่องจากกล่องเลี้ยงมีอายุเฉลี่ย 5 ปี เพราะตั้งอยู่กลางแจ้งโดนฝน ลม ทำให้เกิดความเสียหาย บางส่วนที่ต้องมีการซ่อมแซม หรือเปลี่ยนกล่องเลี้ยงใหม่ การเลี้ยงชันโรงมีต้นทุนเริ่มแรก 131,675 บาท ประกอบด้วย ต้นทุนผันแปรรวม 38,333.33 บาท จากค่าพันธุ์กล่องเลี้ยงชันโรง ด้านต้นทุนคงที่รวม 93,342.67 บาท

จาก ค่ากล่องพันธุ์ชันโรง 51,425 บาท ค่าอุปกรณ์การเลี้ยง 41,916.67 บาท รายได้ที่ได้รับพบในปีที่ 1-5 เท่ากับ 20,000, 40,000, 80,000, 100,000 และ 160,000 บาท ตามลำดับ โดยพบรายได้ที่เกิดจากการจำหน่ายน้ำผึ้ง 19,718.75, 39,437.50, 78,875, 98,593.75 และ 157,750 บาท และจากโพรโพลิส (propolis) 281.25, 562.50, 1,125, 1,406.25 และ 2,250 บาท ตามลำดับ เมื่อคำนวณกำไรที่เกิดขึ้น พบว่าปีที่ 1- 5 มีกำไร 16,400 36,400 76,400 96,400 และ 156,400 บาท ตามลำดับ (Table 2)

3. มูลค่าปัจจุบันสุทธิของผลตอบแทน (net present value: NPV)

มูลค่าปัจจุบันสุทธิของผลตอบแทน โดยคำนวณจากผลตอบแทนในแต่ละปี (present value benefit: PVB) ลบด้วยต้นทุนการผลิตในแต่ละปี (present value cost: PVC)

มูลค่าปัจจุบันสุทธิของผลตอบแทน 309,571.48 – 146,445.60 = 163,125.88 บาท (Table 3) แสดงให้เห็นถึง มูลค่าปัจจุบันสุทธิผลตอบแทนของการเลี้ยงชันโรงเท่ากับ 163,125.88 บาท ซึ่งมีมูลค่า

Table 2. Cost and benefit in 5 years

List	Year 0	Year 1	Year 2	Year 3	Year 4	Year 5
Variable cost (THB)						
Stingless bee (THB)	38,333.33					
Household labor in taking care (THB)		3,600.00	3,600.00	3,600.00	3,600.00	3,600.00
Fixed cost (THB)						
Stingless bee box (THB)	51,425.00					
Equipment (THB)	41,916.67					
Total cost (THB)	131,675.00	3,600.00	3,600.00	3,600.00	3,600.00	3,600.00
Honey bee (THB)		19,718.75	39,437.50	78,875.00	98,593.75	157,750.00
Propolis (THB)		281.25	562.50	1,125.00	1,406.25	2,250.00
Income (THB)	0	20,000.00	40,000.00	80,000.00	100,000.00	160,000.00
Profit (THB)	-131,675.00	16,400.00	36,400.00	76,400.00	96,400.00	156,400.00

Table 3. Net present value in 5 years

Year	Total cost (THB)	Present value cost (THB)	Total benefit (THB)	Present value benefit (THB)	Net present value (THB)
0	131,675.00	131,675.00	0	-	-131,675.00
1	3,600.00	3,365.27	20,000.00	18,695.96	15,330.68
2	3,600.00	3,145.85	40,000.00	34,953.88	31,808.03
3	3,600.00	2,940.73	80,000.00	65,349.63	62,408.89
4	3,600.00	2,748.99	100,000.00	76,360.86	73,611.87
5	3,600.00	2,569.75	160,000.00	114,211.15	111,641.40
Total	149,675.00	146,445.60	400,000.00	309,571.48	163,125.88

การเลี้ยงชันโรงเท่ากับ 163,125.88 บาท ซึ่งมีความคุ้มค่าปัจจุบันสุทธิเป็นบวกหรือมากกว่าศูนย์ แสดงว่าการเลี้ยงชันโรงมีความคุ้มค่าที่จะลงทุน

4. อัตราผลตอบแทนภายใน (internal rate of return IRR)

$$IRR = 24.90$$

อัตราผลตอบแทนภายใน มีค่าเท่ากับร้อยละ 24.90 ซึ่งค่า IRR มีค่ามากกว่าอัตราคิดลด แสดงถึงความคุ้มค่าในการลงทุน

5. อัตราส่วนผลตอบแทนต่อต้นทุน (benefit-cost ratio: B/C ratio)

$$B/C \text{ ratio} = \frac{\sum_{t=0}^5 \frac{B_t}{(1+r)^t}}{\sum_{t=0}^5 \frac{C_t}{(1+r)^t}} = \frac{309,571.48}{146,445.60} = 2.11$$

อัตราส่วนผลตอบแทนต่อต้นทุนมีค่าเท่ากับ 2.11 ซึ่งมีค่าอัตราส่วนผลตอบแทนต่อต้นทุนที่มากกว่า 1 แสดงว่าการเลี้ยงชันโรงมีความคุ้มค่าที่จะลงทุน

6. ระยะเวลาคืนทุน (payback period) ระยะเวลาคืนทุนของการเลี้ยงชันโรงเท่ากับ 3 ปี 1 เดือน

วิจารณ์

เกษตรกรผู้เลี้ยงชันโรงส่วนใหญ่มีความสามารถและประสบการณ์ในการเลี้ยง มีการใช้แรงงานในครัวเรือนในการเลี้ยงได้อย่างเพียงพอ มีการรวมกลุ่มเกษตรกรทำให้สามารถกระจายข้อมูลข่าวสาร การถ่ายทอดความรู้ในการเลี้ยงให้แก่สมาชิกคนอื่น ๆ ในวงกว้าง รวมถึงบางกลุ่มวิสาหกิจชุมชนได้เป็นแหล่งเรียนรู้ มีการถ่ายทอดความรู้ให้กับประชาชนทั่วไปได้ ลักษณะการเลี้ยงชันโรงที่พบในพื้นที่สวนผลไม้ เช่น ลำไย ลิ้นจี่ เงาะ อะโวคาโด เป็นต้น พื้นที่เกษตรผสมผสาน สวนยางพารา และพื้นที่วนเกษตรบนพื้นที่สูง ซึ่งการเลือกพื้นที่เลี้ยงชันโรงต้องมีการตั้งกล่องเลี้ยงอยู่ในที่ร่มเย็น หรือใต้ร่มไม้ มีแหล่งน้ำสะอาด สอดคล้องกับ Jareonsook et al. (2022) กล่องเลี้ยงชันโรงควรอยู่ใกล้กับแหล่งอาหาร พบว่าจำนวนฟักอาหารฝัสนั้นมีมากที่สุดในช่วงเดือน ก.พ.-พ.ค. แต่ไม่ยวบเป็นพืชหลักที่เป็นอาหารของผึ้งได้ตลอดทั้งปี (Maksong, 2016)

การระวังแมลงศัตรูที่มาทำร้ายรังชันโรง เช่น แมงมุม จิ้งจก ตุ๊กแก กิ้งก่า จิ้งเหลน มด เป็นต้น ด้านต้นทุนการเลี้ยงชันโรงคิดคำนวณระยะเวลาในการเลี้ยง 5 ปี มูลค่าปัจจุบันสุทธิ (NPV) ของผลตอบแทนเท่ากับ 163,125.88 บาท แสดงให้เห็นถึงการเลี้ยงชันโรงมีความคุ้มค่าที่จะลงทุน และสนับสนุนด้วยอัตราผลตอบแทนภายใน (IRR) มีค่าเท่ากับร้อยละ 24.90 ซึ่งค่า IRR มีค่ามากกว่าอัตราคิดลด และอัตราส่วนผลตอบแทนต่อต้นทุน (B/C ratio) เท่ากับ 2.11 ซึ่งมีค่าอัตราส่วนผลตอบแทนต่อต้นทุนที่มากกว่า 1 รวมทั้งระยะเวลาคืนทุนของการเลี้ยงชันโรงเท่ากับ 3 ปี 1 เดือน สอดคล้องกับ Makboon (2017) ที่พบว่าต้นทุนในการเลี้ยงชันโรงต่ำกว่า 500 บาท/รัง การเก็บผลผลิตของน้ำผึ้งชันโรง สามารถทำได้หลังจากแยกรังชันโรงแล้วอย่างน้อย 1 ปี สามารถเก็บน้ำผึ้งชันโรงได้ 313,600 มิลลิลิตร และชันผึ้งได้ 92 กก. ด้านแรงจูงใจของเกษตรกรในการเลี้ยงชันโรง (Suksard and Srithong, 2017) คือ เพื่อช่วยผสมเกสรพืช การเลี้ยงชันโรงทำให้สุขภาพดี และไม่เสี่ยงต่อการใช้สารเคมี เป็นต้น ข้อมูลด้านการเงินแสดงให้เห็นถึงความคุ้มค่าทางเศรษฐกิจในการลงทุนเลี้ยงชันโรง ซึ่งข้อมูลเหล่านี้สามารถช่วยในการตัดสินใจทางด้านการเงินสำหรับการลงทุนในการทำธุรกิจการเลี้ยงชันโรงเมื่อเทียบกับการทำธุรกิจด้านอื่น ๆ แต่มีเงื่อนไขในการเลือกสถานที่เลี้ยงชันโรง ควรเลือกสถานที่ตั้งที่มีน้ำสะอาดและอาหารธรรมชาติเพียงพอ ที่ตั้งรังชันโรงต้องอยู่ในที่ร่มเย็น หรือใต้ร่มไม้ ไม่มีลมโกรก ควรอยู่ใกล้กับแหล่งอาหาร ได้แก่ สวนผลไม้ สวนดอกไม้ เพื่อให้ออกหาน้ำหวานได้ง่าย และที่สำคัญพื้นที่ต้องปลอดสารเคมีหรือระบบนิเวศที่มีความหลากหลายของพืชอาหาร โดยรอบที่เอื้ออำนวยต่อการเลี้ยงได้

ข้อเสนอแนะ การเลี้ยงชันโรงเป็นอาชีพทางเลือกอีกอาชีพหนึ่งที่สามารถสร้างรายได้ให้เกษตรกร เพราะการเลี้ยงชันโรงนั้นต้องอาศัยความหลากหลายทางชีวภาพของพืชอาหาร ซึ่งสามารถเลี้ยงชันโรงร่วมกับการปลูกพืช ไม้ผล พืชไร่ได้ เพราะชันโรงช่วยผสมเกสรพืช ทำให้ผลผลิตมีปริมาณและคุณภาพเพิ่มขึ้น และมีแนวโน้มการใช้สารเคมีทางการเกษตรลดลง ส่วนน้ำผึ้งจากชันโรงสามารถจำหน่ายได้ในราคา

สูง ก่อให้เกิดรายได้ให้กับเกษตรกร อย่างไรก็ตาม การเลี้ยงชันโรง ต้องมีแหล่งอาหารตลอดทั้งปี หากเป็นสวนที่มีผลไม้ติดดอกครั้งเดียวต่อปี ชันโรงจะขาดอาหาร ซึ่งสามารถแก้ปัญหาด้วยการปลูกไม้ดอกหมุนเวียน เพื่อให้มีแหล่งอาหารแก่ชันโรงต่อเนื่องตลอดปีได้

สรุป

การเลี้ยงชันโรงสามารถทำได้ในพื้นที่ที่ปลอดสารเคมี ซึ่งส่งผลให้ต้องมีการคัดเลือกระบบนิเวศก่อนที่จะมีการนำชันโรงมาเลี้ยง โดยการเลี้ยงชันโรงมีระยะเวลาดำเนินการของการเลี้ยงชันโรงเท่ากับ 3 ปี 1 เดือน ทำให้เป็นอาชีพทางเลือกหนึ่งของเกษตรกรที่มีสวนไม้ผล หรือสวนผสมผสานที่มีแหล่งอาหารได้ตลอดทั้งปี ชันโรงมีความคุ้มค่าในการเลี้ยง และสามารถให้ผลตอบแทนในรูปแบบมูลค่าปัจจุบันสุทธิ (NPV) เท่ากับ 163,125.88 บาท อัตราผลตอบแทนภายใน (IRR) มีค่าเท่ากับร้อยละ 24.90 และอัตราส่วนผลตอบแทนต่อต้นทุน (B/C ratio) เท่ากับ 2.11 ข้อมูลด้านการเงินสามารถช่วยในการตัดสินใจทางการเงินสำหรับการลงทุนในการทำธุรกิจการเลี้ยงชันโรงเมื่อเทียบกับการทำธุรกิจด้านอื่น ๆ

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบพระคุณสำนักงานพัฒนาเศรษฐกิจจากฐานชีวภาพ (องค์การมหาชน) ที่ให้ทุนสนับสนุนในการทำวิจัยชิ้นนี้ ขอขอบคุณวิสาหกิจชุมชนกลุ่มผู้เลี้ยงชันโรงที่ให้ข้อมูลและความร่วมมือในการลงพื้นที่ทำงานเป็นอย่างดี และขอบคุณมหาวิทยาลัยแม่โจ้-แพร่ เฉลิมพระเกียรติ ที่ให้โอกาสในการทำงานวิจัยชิ้นนี้

เอกสารอ้างอิง

Agrinewsthai.com. 2022. Stingless bee, mini bee, high income, honey 1,500 THB. (Online). Available: <https://www.agrinewsthai.com/>

agricultural-technology/14214 (September 11, 2023). (in Thai)

Bank for Agriculture and Agricultural Cooperatives (BAAC). 2023. Loan in August 2023. (Online). Available: https://www.baac.or.th/th/content-rate.php?content_group=9&content_group_sub=2&inside=1 (September 11, 2023). (in Thai)

Chaipiboon, S. 2016. Economic efficiency and paybacks period of longan growing in Chiang Mai province. Journal of Humanities and Social Sciences Mahasarakham University 35(6): 35-49. (in Thai)

Choowan, T. 2020. A study of the economic value of the paperless system in the company P.C. Takashima (Thailand) Co., Ltd. Independent Study. National Institute of Development Administration, Bangkok. 102 p. (in Thai)

Chuttong, B. 2016. Behavior of bee in pollinated strawberry. (Online). Available: https://stri.cmu.ac.th/article_detail.php?id=30 (June 14, 2023). (in Thai)

Doaenews. 2022. Ministry of Agriculture and Cooperatives promote honey bee for healthy and link market to developed local enterprises. (Online). Available: <https://doaenews.doae.go.th/archives/12947> (June 14, 2023). (in Thai)

Isaranews. 2023. Stingless bee can revive the economy in Southern border after covid19. (Online). Available: <https://www.isranews.org/article/south-news/south-slide/122238-stinglessbees.html> (February 20, 2024). (in Thai)

Jareonsook, W., J. Damrongwattana, D. Khaenamkaew and U. Dechochai. 2022. The local wisdom of honey bee in honey come Thai homestay style:

- A case study of agricultural technology service and transfer center, Sa Kaeo sub-district, Tha Sala district, Nakhon Si Thammarat province Thailand. Journal of Education Academic Chiang Rai Rajabhat University 7(1): 1-26. (in Thai)
- Jareonvong, K., S. Suksard, S. Jarusombuti, S. Sriarkarin and C. Chuntachot. 2022. Yield assessment and financial analysis of *Azadirachta indica* A. Juss. var. *siamensis* Valeton in Prachuap Khiri Khan Silvicultural Research Station, Prachuap Khiri Khan province. Journal of Economics and Management Strategy 9(1): 50-65. (in Thai)
- Maksong, S. 2016. Diversity of bee flora at Tipuya, Chalaе, Thong Pha Phum, Kanchanaburi. Thai Science and Technology Journal 24(1): 76-86. (in Thai)
- Makboon, N. 2017. Technology management of stingless beekeeping of farmers in Chanthaburi province. Master of Science (Agricultural Technology), Chanthaburi Rambhai Barni Rajabhat University, Chanthaburi province. 91 p. (in Thai)
- MGR. 2022. Stingless bee honey from food as medicine and can make money. (Online). Available: <https://mgronline.com/smes/detail/9650000091415> (February 20, 2024). (in Thai)
- Mingmaninakin, W. 2007. Microeconomics. 9th ed. Thammasat University Press, Bangkok. 265 p. (in Thai)
- Pipatanasern, A. 2006. Capital budgeting analysis. Journal of Accounting Profession. 2(4): 49-56.
- Saovakhon, V. 2019. Business plan for PEUNG IEW. Independent Study. Bangkok University, Bangkok. 63 p. (in Thai)
- Sawatthum, A. 2013. Amazing stingless bees. Institute of Research and Development. Rajamangala University of Technology Thanyaburi, Bangkok. 36 p. (in Thai)
- Suksard, S. and Srithong, A. 2017. Marketing and financial analysis of stingless beekeeping in Chanthaburi province. Thai J. for. 36(2): 67-76. (in Thai)
- Supprasert, T. and N. Kunsuwan. 2020. The evaluation of cost and economic benefit for agriculture in landslide hazard area: Case study Mae-Phrong watershed, Mae Phul, Lablae district, Uttaradit. Kasetsart Engineering Journal 33(109): 91-106. (in Thai)
- Technologychaoban. 2023. Stingless bee or mini bee, super pollinator. (Online). Available: https://www.technologychaoban.com/agricultural-technology/article_71992 (September 11, 2023). (in Thai)
- The Fifth Operations Coordination Center. 2019. Budo Yi-ngc stingless bee: From natural to community economy and ecosystem. (Online). Available: <https://www.isoc5.net/articles/view/215> (September 11, 2023). (in Thai)

ปัจจัยที่มีความสัมพันธ์กับพฤติกรรมการใช้สารเคมีป้องกันและกำจัดศัตรูพืช ของเกษตรกรผู้ปลูกผัก ตำบลเหมืองหม้อ อำเภอเมือง จังหวัดแพร่

Factors Related to Pesticide Application Behavior of Vegetable Growers in Mueang Mo Subdistrict, Mueang District, Phrae Province

กมลสร ลิ้มสมมุติ* วราภรณ์ ภูวกัดทิพันธ์ และ ปุณญารัตน์ ไกรสุข
Kamonsorn Limsommut, Waraporn Pupakdeepan and Punyarat Kraikusuk

สาขาวิชาเกษตรศาสตร์ คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏอุตรดิตถ์ จ. อุตรดิตถ์ 53000
Division of Agriculture, Faculty of Agriculture, Uttaradit Rajabhat University, Uttaradit 53000, Thailand

*Corresponding author: Email: im179@hotmail.com

(Received: 11 March 2024; Accepted: 4 July 2024)

Abstract: The objectives of this study were to study 1) the behavior of usage pesticide of vegetable growers in Mueang Mo subdistrict, Mueang district, Phrae province and 2) to analyze factors related to the pesticide usage behavior of vegetable growers. A questionnaire was used to collect data from a population of 66 growers who were registered as members of the Vegetable Large Scale Agricultural Promotion System Project Group Mueang Mo subdistrict. Data were analyzed by using percentage, mean, standard deviation and multiple regression analysis. The results found that 51.5 percent of the growers were male, with an average age of 61.2 years, and 56.1 percent completed primary education. They had an average annual income of 87,118.18 baht. Growers had an average of 16.1 years of experience growing vegetables, with 83.3 percent preferring to grow leafy vegetables, 74.2 percent used personal funds, knowledge about the use of pesticide was obtained through self-learning by 37.3 percent with a moderate level of knowledge and understanding about pesticide use. From the analysis of factors related to correctly pesticide use behavior. It was found that knowledge factors before and while using pesticides, and participation of growers with the government were factors that significantly ($P < 0.05$) affects the behavior of growers correctly using pesticides. Therefore, knowledge about the proper use of pesticide should be provided to growers. So that growers can use pesticides more accurately.

Keywords: Farmer's knowledge, pesticide use behavior, vegetable growers

บทคัดย่อ: การศึกษาค้นคว้าครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษา 1) พฤติกรรมการใช้สารเคมีป้องกันและกำจัดศัตรูพืชของเกษตรกรผู้ปลูกผัก ตำบลเหมืองหม้อ อำเภอเมือง จังหวัดแพร่ และ 2) วิเคราะห์ปัจจัยที่มีความสัมพันธ์กับพฤติกรรมที่ถูกต้องในการใช้สารเคมีป้องกันและกำจัดศัตรูพืชของเกษตรกร ในการเก็บข้อมูลผู้วิจัยใช้แบบสอบถามโดยเก็บข้อมูลจากประชากรเกษตรกรผู้ปลูกผักทั้งหมดที่ขึ้นทะเบียนเป็นสมาชิกกลุ่มโครงการระบบส่งเสริมการเกษตรแบบแปลงใหญ่ ผัก ตำบลเหมืองหม้อ จำนวน 66 ราย วิเคราะห์ข้อมูลโดยใช้ ค่าร้อยละ ค่าเฉลี่ย ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน และการวิเคราะห์ถดถอยพหุ ผลการศึกษาพบว่าเกษตรกร ร้อยละ 51.5 เป็นเพศชาย มีอายุเฉลี่ย 61.2 ปี สำเร็จการศึกษาระดับประถมศึกษา ร้อยละ 56.1 มีรายได้เฉลี่ย 87,118.18 บาทต่อปี มีประสบการณ์ปลูกผักเฉลี่ย 16.1 ปี เกษตรกรร้อยละ 83.3 นิยมปลูกผักกินใบ ทำการปลูกโดยใช้เงินทุนของตนเอง ร้อยละ 74.2 เกษตรกรร้อยละ 37.3 ได้รับความรู้เกี่ยวกับการใช้สารเคมีจากการเรียนรู้ด้วยตนเอง โดยมีความรู้ความเข้าใจด้านการใช้สารเคมีอยู่ในระดับปานกลาง จากการวิเคราะห์ปัจจัยที่มีความสัมพันธ์กับพฤติกรรมที่ถูกต้องในการใช้สารเคมี พบว่า ปัจจัยความรู้ก่อนและขณะใช้สารเคมี และการมีส่วนร่วมของเกษตรกรกับหน่วยงานภาครัฐ มีผลต่อพฤติกรรมการใช้สารเคมีอย่างถูกวิธีของเกษตรกร อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) ดังนั้นควรให้ความรู้เกี่ยวกับการใช้สารเคมีแก่เกษตรกร เพื่อเกษตรกรสามารถใช้สารเคมีป้องกันและกำจัดศัตรูพืชได้อย่างถูกต้องมากขึ้น

คำสำคัญ: ความรู้ของเกษตรกร การใช้สารเคมีป้องกันและกำจัดศัตรูพืช เกษตรกรผู้ปลูกผัก

คำนำ

เนื่องจากประเทศไทยมีสภาพภูมิอากาศและภูมิประเทศที่เอื้ออำนวยต่อการทำ “เกษตรกรรม” จึงเป็นอาชีพที่อยู่คู่คนไทยมาอย่างช้านาน (Thongmeethip, 2021) ซึ่งในอดีตเกษตรกรรมมุ่งเน้นการทำเกษตรเพื่อบริโภคภายในครัวเรือนเป็นหลัก แต่เมื่อประชากรในประเทศมีจำนวนเพิ่มขึ้น ประกอบกับมีการส่งเสริมปลูกพืชเศรษฐกิจเพื่อการส่งออก ส่งผลให้ความต้องการผลผลิตทางเกษตรเพิ่มขึ้นตามไปด้วย เพื่อให้ผลผลิตทางเกษตรเพียงพอต่อความต้องการของประเทศ จึงมีการนำเอาวิธีการและเทคโนโลยีต่าง ๆ เข้ามาช่วยในการทำเกษตร โดยเฉพาะอย่างยิ่งการใช้สารเคมีกำจัดศัตรูพืช (Wannok and Haputta, 2023). เพื่อช่วยเพิ่มผลผลิตให้เพียงพอต่อความต้องการ

ประเทศไทยเป็นประเทศเกษตรกรรม ประชาชนส่วนใหญ่ประกอบอาชีพการทำเกษตรเป็นการผลิตเพื่อบริโภคและส่งออก แต่การเกษตรในปัจจุบันมีความแตกต่างจากอดีตเพราะมีการปรับเปลี่ยนวิธีการทำเกษตรที่มีเป้าหมายเพื่อการค้าเป็นสำคัญ จึงทำให้ปริมาณการใช้สารเคมีทางการเกษตรของไทยเพิ่มขึ้น ทั้งนี้ การใช้ในปริมาณที่มากเกินไป

จำเป็น จึงส่งผลกระทบต่อสุขภาพของเกษตรกรและผู้บริโภค โดยเฉพาะปัญหาทางด้านสิ่งแวดล้อม รวมทั้งเป็นปัจจัยที่ทำให้เกิดความเสียหายทางเศรษฐกิจทั้งในระยะสั้นและระยะยาว (Srimuk, 2013) เพราะการใช้สารเคมีกำจัดศัตรูพืชในแต่ละครั้งเกษตรกรมักใช้ในปริมาณที่มากเกินไปจนก่อให้เกิดอันตรายหลายชนิด ซึ่งในการใช้แต่ละครั้งนั้นส่งผลให้ศัตรูพืชเกิดการต้านฤทธิ์หรือดื้อต่อสารเคมีกำจัดศัตรูพืช ทำให้ในครั้งต่อไปเกษตรกรต้องเพิ่มปริมาณสารเคมีกำจัดศัตรูพืช จนกระทั่งสารเคมีกำจัดศัตรูพืชนั้นมีประสิทธิภาพ เกษตรกรจำต้องเปลี่ยนไปใช้สารเคมีกำจัดศัตรูพืชชนิดอื่นที่มีฤทธิ์รุนแรงกว่าเดิม ส่งผลให้เกษตรกรมีความเสี่ยงจากการสัมผัสสารเคมีกำจัดศัตรูพืชมากขึ้น เป็นอันตรายทั้งต่อสุขภาพของเกษตรกรผู้ใช้และผู้บริโภคในระยะยาวจากสารเคมีตกค้างในผลิตภัณฑ์ทางการเกษตร (Ungsoongnern, 2015)

สารเคมีป้องกันและกำจัดศัตรูพืชสามารถเข้าสู่ร่างกายของมนุษย์ได้หลายทาง เช่น ทางปาก ทางผิวหนัง และทางจมูกไม่ถือว่าเป็นการสูดดม การสัมผัสหรือการระเหยของสารกำจัดศัตรูพืช ทำให้ร่างกายได้รับสารเคมีโดยที่ไม่รู้ตัว ซึ่งหากมีวิธีการใช้สารเคมีที่ไม่ถูกต้อง ทำให้สารเคมีมีโอกาสสัมผัสกับร่างกายของผู้ใช้

และเข้าสู่ร่างกายแล้วเกิดพิษได้ การตกค้างของสารเคมีกำจัดศัตรูพืชทั้งในผักและผลไม้สด ยังเป็นปัญหาที่ส่งผลกระทบต่อสุขภาพของประชาชน รวมทั้งผู้บริโภคส่วนใหญ่ไม่มั่นใจและไม่สามารถเข้าถึงผักและผลไม้สดที่มีคุณภาพและความปลอดภัยได้ (Thai Health Promotion Foundation, 2016) ซึ่งการได้บริโภคผักผลไม้ ที่ปลอดภัยจากสารพิษในปริมาณที่เหมาะสมช่วยให้ร่างกายมีสุขภาพดี ไม่เจ็บป่วยง่าย ในทางตรงกันข้าม หากร่างกายขาดสารอาหารจากผัก หรือได้รับไม่เพียงพอหรือบริโภคผักที่มีสารพิษตกค้างในปริมาณมาก ทำให้ระบบต่างๆ ของร่างกายทำงานผิดปกติ ผู้บริโภคอาจเกิดอาการผิดปกติและทำให้ความต้านทานโรคต่าง ๆ ของร่างกายลดลง (Kumpiboon, 2014)

พื้นที่ตำบลเหมืองหม้อ อำเภอเมือง จังหวัดแพร่ ประชาชนมีอาชีพหลักคือ การทำการเกษตรปลูกพืชและเลี้ยงสัตว์ โดยมีพืชหลักคือข้าว ทั้งข้าวนาปี ข้าวนาปรัง และทำสวนผัก แต่การทำนาก็ยังประสบปัญหา ทั้งภัยธรรมชาติเช่น น้ำท่วม ภัยแล้ง และปัญหาความผันผวนของราคาสินค้าเกษตร นับว่าเป็นปัญหาที่ส่งผลกระทบต่อรายได้หลักของเกษตรกร ดังนั้นจึงมีกลุ่มเกษตรกรที่มีแนวคิดก้าวหน้า มีการรวมกลุ่มเกษตรกรผู้ปลูกผัก ที่เป็นสมาชิกกลุ่มโครงการระบบส่งเสริมการเกษตรแบบแปลงใหญ่ผัก ตำบลเหมืองหม้อ อำเภอเมือง จังหวัดแพร่ จำนวน 66 ราย เพื่อประโยชน์ในการต่อรองราคา ซึ่งการปลูกผักของสมาชิกแต่ละรายนั้นอยู่แยกกระจายภายในตำบลเหมืองหม้อ รวมพื้นที่ปลูกผักทั้งสิ้น 60.5 ไร่ เฉลี่ยพื้นที่ปลูกผัก รายละ 0.92 ไร่ สำหรับชนิดผักที่เกษตรกรนิยมปลูกกันมาก คือ สะระแหน่ ผักชี ผักแพรว (ผักไผ่) ซึ่งเป็นผักเครื่องเคียง และ ผักบุ้ง คะน้า กวางตุ้ง ซึ่งเป็นผักตามฤดูกาลอื่น ๆ หมุนเวียนกันไป เป็นต้น โดยการผลิตผักนั้นเกษตรกรมีการใช้สารเคมีป้องกันและกำจัดศัตรูพืช ซึ่งในการใช้สารเคมีป้องกันและกำจัดศัตรูพืช จำเป็นที่เกษตรกรต้องมีความรู้ ความเข้าใจในเรื่องของการใช้สารเคมีดังกล่าวให้ถูกต้องทั้งก่อนใช้ ขณะใช้ และหลังการใช้ เพื่อส่งผลกระทบต่อพฤติกรรมที่ถูกต้องของเกษตรกร และความปลอดภัยของผู้บริโภค โดยเฉพาะในกรณีที่เกษตรกรทำการเกษตรและนำผลผลิตจำหน่ายออกสู่ท้องตลาด ทั้งนี้องค์การ-

บริหารส่วนตำบลเหมืองหม้อ และเกษตรตำบล เล็งเห็นความสำคัญของการส่งเสริมให้เกษตรกรกลุ่มดังกล่าวผลิตผักที่ปลอดภัย และมีคุณภาพ เพื่อสร้างความเชื่อมั่นให้กับผู้บริโภค ตลอดจนการเสริมสร้างความมั่นคงทางรายได้ให้กับเกษตรกรผู้ผลิต และการมีสุขอนามัยที่ดีของเกษตรกร ดังนั้นผู้วิจัยจึงมีความสนใจที่จะศึกษาพฤติกรรมการใช้สารเคมีป้องกันและกำจัดศัตรูพืชของเกษตรกรว่ามีความถูกต้องตามหลักวิชาการหรือไม่และมีปัจจัยอะไรบ้างที่มีความสัมพันธ์กับการใช้สารเคมีที่ถูกวิธีของเกษตรกร เพื่อพัฒนาเกษตรกรให้สามารถใช้สารเคมีป้องกันและกำจัดศัตรูพืชได้อย่างถูกต้องมากยิ่งขึ้น

อุปกรณ์และวิธีการ

ประชากร การเก็บรวบรวมข้อมูล และการประเมินผล

1. ประชากรในการศึกษา คือ เกษตรกรผู้ปลูกผักทั้งหมดที่ขึ้นทะเบียนเป็นสมาชิกกลุ่มโครงการระบบส่งเสริมการเกษตรแบบแปลงใหญ่ผัก ตำบลเหมืองหม้อ อำเภอเมือง จังหวัดแพร่ จำนวน 66 ราย (สำนักงานเกษตรอำเภอเมืองแพร่, 2566)

2. การเก็บรวบรวมข้อมูล สำหรับการวิจัยครั้งนี้ใช้วิธีเก็บข้อมูลแบบเชิงปริมาณ (quantitative) โดยใช้แบบสอบถาม (questionnaire) เป็นเครื่องมือในการเก็บรวบรวม ผู้วิจัยติดต่อประสานงานผ่านองค์การบริหารส่วนตำบลเหมืองหม้อ โดยให้เจ้าหน้าที่ขององค์การบริหารส่วนตำบลเหมืองหม้อนัดหมายเกษตรกรพร้อมกันแล้วผู้วิจัยไปอธิบายวัตถุประสงค์ของการวิจัยและการเก็บข้อมูลแล้วจึงให้เกษตรกรผู้ปลูกผักลงนามยินยอมให้ข้อมูลตามความสมัครใจ จากนั้นให้เกษตรกรทำการตอบแบบสอบถาม ผู้วิจัยและทีมวิจัยตรวจสอบความถูกต้องและความสมบูรณ์ของข้อมูลและนำข้อมูลสู่ขั้นตอนการวิเคราะห์ข้อมูลต่อไป

3. เกณฑ์ในการประเมินผล

ความรู้เกี่ยวกับการใช้สารเคมีป้องกันและกำจัดศัตรูพืช โดยเกณฑ์การประเมินความรู้แบบอิง-เกณฑ์ แบ่งเป็น 3 ระดับ คือ

ระดับความรู้น้อย หมายถึง ค่าคะแนนน้อยกว่าร้อยละ 60.00 (คะแนน 0-17 คะแนน)

ระดับความรู้ปานกลาง หมายถึง คะแนนรวมระหว่างร้อยละ 60.00-79.99 (คะแนน 18-24 คะแนน)

ระดับความรู้มาก หมายถึง คะแนนรวมมากกว่าหรือเท่ากับร้อยละ 80.00 ขึ้นไป (คะแนน 25-30 คะแนน)

การมีส่วนร่วมของเกษตรกรในการลดการใช้สารเคมีในการป้องกันและกำจัดศัตรูพืชร่วมกับหน่วยงานของรัฐ โดยเกณฑ์การประเมินการมีส่วนร่วมของเกษตรกร แบ่งเป็น 3 ระดับคือ

ระดับมาก (คะแนนเฉลี่ยเท่ากับ 4.36 -6 คะแนน)

ระดับปานกลาง (คะแนนเฉลี่ยเท่ากับ 2.68-4.35 คะแนน)

ระดับน้อย (คะแนนเฉลี่ยเท่ากับ 1.00-2.67 คะแนน)

พฤติกรรมการใช้สารเคมีป้องกันและกำจัดศัตรูพืชอย่างถูกวิธี โดยเกณฑ์การประเมินพฤติกรรมแบ่งเป็น 3 ระดับคือ

เหมาะสมมาก (คะแนนเฉลี่ยเท่ากับ 3.68-5 คะแนน)

เหมาะสมปานกลาง (คะแนนเฉลี่ยเท่ากับ 2.34-3.67 คะแนน)

เหมาะสมน้อย (คะแนนเฉลี่ยเท่ากับ 1.00 -2.33 คะแนน)

การวิเคราะห์ข้อมูล

ข้อมูลส่วนบุคคล ความรู้และการมีส่วนร่วมของเกษตรกรในการลดการใช้สารเคมีป้องกันและกำจัดศัตรูพืช ใช้สถิติเชิงพรรณนา (Descriptive statistics) ได้แก่ ค่าเฉลี่ย ค่าร้อยละ ค่าต่ำสุด ค่าสูงสุด และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน สำหรับพฤติกรรมการใช้สารเคมีป้องกันและกำจัดศัตรูพืช จำแนกเป็น พฤติกรรมก่อนการใช้สารเคมี พฤติกรรมขณะใช้สารเคมี พฤติกรรมหลังการใช้สารเคมี และพฤติกรรมลดผลกระทบจากการใช้สารเคมีป้องกันและกำจัดศัตรูพืช สถิติที่ใช้ ได้แก่ ค่าคะแนนเฉลี่ย และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน ส่วนการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยส่วนบุคคล ความรู้ และการมีส่วนร่วมกับหน่วยงานของรัฐกับความถูกต้อง

ในการใช้สารเคมีป้องกันและกำจัดศัตรูพืชของเกษตรกร ใช้การวิเคราะห์ถดถอยพหุ (Multiple regression analysis) ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05

ผลการศึกษาและวิจารณ์

ข้อมูลเบื้องต้นของเกษตรกร

จากการศึกษาพบว่า เกษตรกร ร้อยละ 51.5 เป็นเพศชาย มีอายุเฉลี่ย 61.2 ปี ร้อยละ 56.1 มีระดับการศึกษาสูงสุดคือประถมศึกษา รายได้เฉลี่ย 87,118.18 บาทต่อปี ประสบการณ์ในการประกอบอาชีพปลูกพืชผักเฉลี่ย 16.1 ปี เกษตรกรร้อยละ 83.3 นิยมปลูกผักประเภทรับประทานใบ ส่วนใหญ่ร้อยละ 74.2 ใช้เงินทุนของตนเองในการทำเกษตร ได้รับความรู้เกี่ยวกับการใช้สารเคมีป้องกันและกำจัดศัตรูพืช โดยการเรียนรู้ด้วยตนเอง คิดเป็นร้อยละ 37.3 (Table 1) **ความรู้เกี่ยวกับการใช้สารเคมีป้องกันและกำจัดศัตรูพืช**

การศึกษาความรู้เกี่ยวกับการใช้สารเคมีป้องกันและกำจัดศัตรูพืชของเกษตรกร แบ่งได้เป็น 4 ส่วนคือ ความรู้ก่อนการใช้สารเคมี ขณะใช้สารเคมี หลังการใช้สารเคมี และ ความรู้ด้านลดผลกระทบจากการใช้สารเคมีป้องกันและกำจัดศัตรูพืช พบว่า ความรู้ที่ยังไม่ถูกต้องในระยะก่อนการใช้สารเคมีป้องกันและกำจัดศัตรูพืช คือ การใช้สารเคมีป้องกันและกำจัดศัตรูพืชชนิดที่เคยใช้มาก่อนไม่จำเป็นต้องอ่านฉลากก่อนใช้ ซึ่งเกษตรกรตอบผิดถึงร้อยละ 66.7 ในขณะที่ความรู้ขณะใช้สารเคมีป้องกันและกำจัดศัตรูพืช ในเรื่องของการใช้น้ำสะอาดล้างตาและหยอดยาแก้แพ้ทันทีเมื่อสารเคมีป้องกันและกำจัดศัตรูพืชเข้าตา ซึ่งเกษตรกรตอบผิดถึงร้อยละ 86.4 และความรู้หลังการใช้สารเคมีป้องกันและกำจัดศัตรูพืช ในเรื่องของการนำภาชนะบรรจุสารเคมีป้องกันและกำจัดศัตรูพืชไปใช้ต้องทำการล้างด้วยน้ำหลาย ๆ ครั้ง ซึ่งเกษตรกรตอบผิดถึงร้อยละ 81.8 สำหรับความรู้เกี่ยวกับการลดผลกระทบจากการใช้สารเคมีป้องกันและกำจัดศัตรูพืช พบว่า เกษตรกร ยังมีความรู้ที่ไม่ถูกต้องในเรื่องของ การปล่อยน้ำให้ท่วมแปลงผัก สามารถลดปริมาณเพลี้ยไฟได้ โดย

**ปัจจัยที่มีความสัมพันธ์กับพฤติกรรมการใช้สารเคมีป้องกันและกำจัดศัตรูพืช
ของเกษตรกรผู้ปลูกผัก ตำบลเหมืองหม้อ อำเภอเมือง จังหวัดแพร่**

ตอบผิดถึงร้อยละ 80.3 โดยภาพรวมของระดับความรู้ คิดเป็นร้อยละ 19.7 และมีความรู้ในระดับมาก คิดเป็น
ของเกษตรกร ส่วนใหญ่มีความรู้ในระดับปานกลาง ร้อยละ 9.1ตามลำดับ (Table 2)
คิดเป็นร้อยละ 71.2 รองลงมาคือ มีความรู้ในระดับน้อย

Table 1. Socio-economic background and pesticide application of vegetable growers in Mueang Mo subdistrict, Mueang district, Phrae province N=66

Characteristics	%	$\bar{X}$	SD
1. Gender			
Male	51.5		
Female	48.5		
2. Age (year)		61.2	8.85
3. Education level			
Primary school	56.1		
High school	19.7		
Higher than high school	24.2		
4. Income (Baht/year)		87118.18	52.420
5. Vegetable cultivation experience (year)		16.1	11.4
6. Types of vegetables			
Leafy vegetables	83.3		
Flowering and fruit vegetables	16.7		
7. Source of funds			
Personal funds	74.2		
Bank and cooperative loan	25.8		
8. Sources of information about pesticides use (multiple responses allowed) *			
Government agencies	30.4		
Private agencies	4.9		
Neighbors	23.5		
Family member	3.9		
Self-learning	37.3		

Table 2. Knowledge level on pesticides application of vegetable growers N=66

Knowledge level	Number	Percent
High (25-30)	6	9.1
Moderate (18-24)	47	71.2
Low (0-17)	13	19.7
Total	66	100

Mean=19.6, SD=3.36, min=12, max=28

การมีส่วนร่วมของเกษตรกรกับหน่วยงานของรัฐในการลดการใช้สารเคมีป้องกันและกำจัดศัตรูพืช

จากการศึกษาพบว่า เกษตรกรส่วนใหญ่มีส่วนร่วมกับหน่วยงานของรัฐในการลดการใช้สารเคมีป้องกันและกำจัดศัตรูพืชอยู่ในระดับมาก คิดเป็นร้อยละ 83.3 รองลงมาคือ มีส่วนร่วมกับหน่วยงานของรัฐในระดับปานกลาง (ร้อยละ 12.2) และมีส่วนร่วมในระดับน้อย (ร้อยละ 4.5) การที่เกษตรกรในตำบลเหมืองหม้อจำนวนมาก มีส่วนร่วมกับเกษตรกรกับหน่วยงานของรัฐในการลดการใช้สารเคมีป้องกันและกำจัดศัตรูพืชอยู่ในระดับมาก เนื่องจาก มีความตระหนักในการป้องกันตนเองจากการใช้สารเคมีป้องกันและกำจัดศัตรูพืช มีการรวมกลุ่มกันในระยะเวลายาวนานและการทำเกษตรแบบผักปลอดยาพิษเพื่อสุขภาพ ทำให้เกษตรกรมีความสนใจในการเข้าร่วมทำประชาคมกับหน่วยงานของภาครัฐ การมีส่วนร่วมในการวิเคราะห์ปัญหาเพื่อแก้ไขปัญหาของเกษตรกรในพื้นที่ รวมทั้งการร่วมมือกันทำกิจกรรมต่าง ๆ ร่วมกับภาครัฐ ทำให้เกษตรกรเห็นประโยชน์และประสบผลสำเร็จในการแก้ไขปัญหาทางด้านการเกษตรในพื้นที่ของตนเอง ทำให้เกิดเป็นความร่วมมือระหว่างเกษตรกรและภาครัฐในระดับมาก (Table 3)

โดยมีระดับการมีส่วนร่วมมากที่สุดในเรื่องของการประชุมประชาคม เพื่อเสนอปัญหาและความต้องการการลดการใช้สารเคมีในการป้องกันและกำจัดศัตรูพืชกับหน่วยงานของรัฐ การมีส่วนร่วมวิเคราะห์ปัญหาและความต้องการของกลุ่มเกษตรกรผู้ปลูกผักเพื่อจัดทำโครงการ/กิจกรรมการลดการใช้สารเคมีในการป้องกันและกำจัดศัตรูพืช และการมีส่วนร่วมในการได้รับรู้ข้อมูลข่าวสารและเสนอแนะแนวทางการลดการใช้สารเคมีในการป้องกันและกำจัดศัตรูพืชของหน่วยงานของรัฐ

พฤติกรรมการใช้สารเคมีป้องกันและกำจัดศัตรูพืช

จากการศึกษาพบว่า พฤติกรรมการใช้สารเคมีป้องกันและกำจัดศัตรูพืชของเกษตรกรนั้น ส่วนใหญ่มีพฤติกรรมเหมาะสมมาก คิดเป็นร้อยละ 65.2 เหมาะสมปานกลางร้อยละ 31.8 และมีพฤติกรรมที่ไม่เหมาะสมน้อยคิดเป็นร้อยละ 3.0 เกษตรกรมีพฤติกรรม

ก่อนการใช้สารเคมีป้องกันและกำจัดศัตรูพืช เรื่อง การตรวจสอบอุปกรณ์และเครื่องมือก่อนฉีดพ่นสารเคมีทุกครั้ง โดยมีค่าระดับคะแนนเฉลี่ย 4.19 พฤติกรรมขณะใช้สารเคมีป้องกันและกำจัดศัตรูพืช เรื่อง ไม่สูบบุหรี่หรือรับประทานอาหารขณะพ่นสารเคมี มีค่าระดับคะแนนเฉลี่ย 4.33 และ พฤติกรรมหลังใช้สารเคมีป้องกันและกำจัดศัตรูพืชเรื่อง อาบน้ำทำความสะอาดร่างกายและส่วนที่สัมผัสสารเคมีกำจัดศัตรูพืชก่อนรับประทานอาหาร โดยมีค่าระดับคะแนนเฉลี่ย 4.33

พฤติกรรมการใช้สารเคมีป้องกันและกำจัดศัตรูพืชของเกษตรกรผู้ปลูกผัก ตำบลเหมืองหม้อ โดยเฉลี่ยอยู่ในระดับเหมาะสมมากซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของ Buakaew and Panpakdee (2024) ที่พบว่าเกษตรกรผู้ปลูกพืชสมุนไพรในจังหวัดบุรีรัมย์ มีการปฏิบัติที่ดีทางการเกษตร (GAP) ในทุก ๆ ด้าน โดยมีการคำนึงถึงด้านการใช้วัตถุอันตรายทางการเกษตรอยู่ในระดับมากที่สุด ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากกลุ่มเกษตรกรที่ปลูกผัก ตำบลเหมืองหม้อ มีอายุเฉลี่ยค่อนข้างสูง โดยมีอายุเฉลี่ย 61.2 ปี และมีประสบการณ์ในการทำเกษตรมาอย่างยาวนาน โดยเฉลี่ยประมาณ 16 ปี ทำให้มีการสั่งสมความรู้และมีการรับรู้ในเรื่องของการป้องกันและกำจัดศัตรูพืชอย่างถูกวิธีมาเป็นเวลานาน รวมทั้งมีการได้รับข้อมูลข่าวสารในประเด็นดังกล่าว ไม่ว่าจะเป็นการศึกษาด้วยตนเองที่มีมากถึงร้อยละ 37.3 และการได้รับข้อมูลข่าวสารจากทางเจ้าหน้าที่ของรัฐ ทำให้กลุ่มเกษตรกรดังกล่าวมีพฤติกรรมที่เหมาะสมอยู่ระดับมาก อย่างไรก็ตาม พฤติกรรมที่กลุ่มเกษตรกรยังปฏิบัติไม่เหมาะสมคือ พฤติกรรมก่อนการใช้สารเคมีกำจัดศัตรูพืช โดยเกษตรกรยังมีการเลือกใช้สารเคมีตามคำแนะนำของเพื่อนบ้าน ซึ่งอาจไม่สอดคล้องกับสภาพปัญหาในพื้นที่ของตนเอง รวมทั้งพฤติกรรมขณะใช้สารเคมีคือ เกษตรกรยังมีการปฏิบัติตัวไม่ถูกต้องเมื่อเกิดอาการแพ้พิษสารเคมี สำหรับพฤติกรรมหลังการใช้สารเคมีกำจัดศัตรูพืชในประเด็นที่กลุ่มเกษตรกรยังมีพฤติกรรมที่ไม่เหมาะสมคือ การเก็บผลผลิตก่อนระยะเวลาที่กำหนดไว้ในฉลากของสารกำจัดศัตรูพืช (Table 4)

Table 3. Level of participation with the government sectors on reducing pesticides application of vegetable growers N=66

Level of participation	Number	Percent
High (4.36-6.00)	55	83.3
Moderate (2.68-4.35)	8	12.1
Low (1.00-2.67)	3	4.5
Total	66	100

Mean=4.86, SD=0.96, min=1, max=6

Table 4. Level of correctly pesticide application behavior level in vegetable growers N=66

Accuracy pesticide use behavior level	Number	Percent
High (3.68-5)	43	65.2
Moderate (2.34-3.67)	21	31.8
Low (1-2.33)	2	3.0
Total	66	100

Mean=2.62, SD=0.55, min=1, max=5

ปัจจัยที่มีผลต่อพฤติกรรมการใช้สารเคมีป้องกันและกำจัดศัตรูพืชอย่างถูกวิธี

จากการวิเคราะห์หาค่าสหสัมพันธ์เพื่อหาปัจจัยที่มีผลต่อระดับพฤติกรรมการใช้สารเคมีป้องกันและกำจัดศัตรูพืชอย่างถูกวิธีของเกษตรกรผู้ปลูกผัก ตำบลเหมืองหม้อ อำเภอเมือง จังหวัดแพร่ พบว่าค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจเชิงพหุ (multiple coefficient of determination, R^2) มีค่าเท่ากับ 0.481 หมายความว่า ตัวแปรอิสระทั้งหมดร่วมกันอธิบายความผันแปรของตัวแปรตามได้ร้อยละ 48.10 ซึ่งตัวแปรอิสระทั้ง 7 ตัวนั้นมีจำนวน 3 ตัวแปรที่มีความสัมพันธ์เชิงบวกกับตัวแปรตามอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 ได้แก่ ความรู้ก่อนการใช้สารเคมีป้องกันและกำจัดศัตรูพืช ความรู้ขณะใช้สารเคมีป้องกันและกำจัดศัตรูพืช และการมีส่วนร่วมของเกษตรกรกับหน่วยงานของรัฐในการลดการใช้สารเคมีป้องกันและกำจัดศัตรูพืช (Table 5)

จาก Table 5 สามารถอธิบายความสัมพันธ์ของปัจจัยต่าง ๆ กับพฤติกรรมการใช้สารเคมีป้องกัน

และกำจัดศัตรูพืชอย่างถูกวิธีของเกษตรกร ($P < 0.05$) ได้ว่า เกษตรกรที่มีความรู้ก่อนการใช้สารเคมีป้องกันและกำจัดศัตรูพืช ขณะใช้สารเคมีป้องกันและกำจัดศัตรูพืช มาก และการมีส่วนร่วมของเกษตรกรกับหน่วยงานของรัฐมาก มีพฤติกรรมการใช้สารเคมีป้องกันและกำจัดศัตรูพืชที่ถูกต้องมากกว่า เกษตรกรที่มีความรู้ก่อนการใช้สารเคมีป้องกันและกำจัดศัตรูพืชและ ขณะใช้สารเคมีป้องกันและกำจัดศัตรูพืช และการมีส่วนร่วมของเกษตรกรกับหน่วยงานของรัฐ น้อยกว่า ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของ Wannok and Haputta (2023) พบว่า ความรู้เกี่ยวกับการใช้สารเคมีกำจัดศัตรูพืชและความรู้เกี่ยวกับผลกระทบจากการใช้สารเคมีกำจัดศัตรูพืช มีความสัมพันธ์กับพฤติกรรมการใช้สารเคมีกำจัดศัตรูพืชของเกษตรกร โดยเกษตรกรที่มีความรู้เกี่ยวกับสารเคมีกำจัดศัตรูพืชมีพฤติกรรมการใช้สารเคมีกำจัดศัตรูพืชที่ดีกว่าเกษตรกรผู้ไม่มีความรู้ โดยในระยะยาวนอกจากเกษตรกรจะนำข้อมูลความรู้ที่ได้รับมาปรับใช้ในการป้องกันตนเองจากการใช้สารเคมีป้องกันและกำจัด

ศัตรูพืชแล้ว สามารถนำไปสู่การดำเนินงานร่วมกันของสมาชิกในกลุ่มแปลงใหญ่ เพื่อเข้าสู่มาตรฐานการผลิตที่ดีทางการเกษตร (GAP) หรือมาตรฐานอื่นๆ ทำให้ผู้ผลิตและผู้บริโภคมีคุณภาพชีวิตที่ดี เกิดความยั่งยืนต่อไป นอกจากนี้ การมีส่วนร่วมของเกษตรกรกับหน่วยงานของรัฐในการลดการใช้สารเคมีป้องกันและกำจัดศัตรูพืช

ยังมีความสัมพันธ์กับพฤติกรรมการป้องกันการใช้สารเคมีอย่างถูกต้องของเกษตรกร เนื่องจาก การที่เกษตรกรมีส่วนร่วมในการรับรู้ข้อมูลข่าวสาร พร้อมทั้งมีส่วนในการเสนอแนะแนวทางในการลดการใช้สารเคมี ทำให้แนวทางดังกล่าว เป็นที่ยอมรับของเกษตรกร และส่งผลให้เกิดการปฏิบัติที่ถูกต้องอย่างต่อเนื่อง

Table 5. Regression coefficient of independent variables related to the correctly pesticide application behavior of vegetable growers

Variables	Unstandardized coefficients: B	t	Sig.
Constant	30.895	1.575	0.121
1. Age (year)	-0.063	-0.308	0.759
2. Vegetable cultivation experience (year)	0.103	0.641	0.524
3. Knowledge before using pesticide	5.215	3.560	0.001**
4. Knowledge during using pesticide	2.945	2.350	0.022*
5. Knowledge after using pesticide	20834	1.635	0.107
6. Knowledge of pesticide impact	0.564	0.246	0.806
7. Participation with government sectors	0.724	3.007	0.004**
R = 0.693 R ² = 0.481 SEE = 12.630 F = 7.669	sig. of F = 0.000		

* significantly different at $P < 0.05$; ** significantly different at $P < 0.01$

สรุป

จากการศึกษาเรื่อง ปัจจัยที่มีความสัมพันธ์กับพฤติกรรมการใช้สารเคมีป้องกันและกำจัดศัตรูพืชของเกษตรกรผู้ปลูกผัก ตำบลเหมืองหม้อ อำเภอเมือง จังหวัดแพร่ พบว่า ความรู้ก่อนการใช้สารเคมีป้องกันและกำจัดศัตรูพืช ความรู้ขณะใช้สารเคมีป้องกันและกำจัดศัตรูพืช และการมีส่วนร่วมของเกษตรกรกับหน่วยงานของรัฐ มีผลให้เกษตรกรมีพฤติกรรมการใช้สารเคมีที่ถูกต้องเหมาะสม ดังนั้นจึงควรเพิ่มเติมความรู้ให้กับเกษตรกรผู้ปลูกผักในช่วงก่อนและขณะใช้สารเคมีป้องกันและกำจัดศัตรูพืช

ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากเกษตรกรผู้ปลูกผักในพื้นที่ตำบลเหมืองหม้อ มีการได้รับข้อมูลข่าวสารที่เกี่ยวข้องกับการใช้สารเคมีป้องกันและกำจัดศัตรูพืชจากหลายแหล่ง ไม่ว่าจะเป็นการเรียนรู้ด้วยตนเองหรือการได้รับข้อมูลจากเจ้าหน้าที่ของรัฐ ซึ่งอาจเป็นส่วนช่วยเพิ่มเติมความรู้ที่เกษตรกรสามารถนำไปใช้เพื่อส่งผลให้เกิดพฤติกรรมอันเหมาะสมในการใช้สารเคมีป้องกันและกำจัดศัตรูพืชต่อไป นอกจากนี้ ประสิทธิภาพในการทำการเกษตรของเกษตรกรผู้ปลูกผักตำบลเหมืองหม้อ อาจเป็นการเสริมความรู้ให้กับเกษตรกรอย่างต่อเนื่องและเป็นระยะเวลานาน ทำให้เกษตรกรสามารถนำมาปรับใช้เพื่อให้เกิดพฤติกรรมการป้องกันการใช้สารเคมีให้มีความเหมาะสมและปลอดภัยต่อไป

เกษตรกรที่มีส่วนร่วมกับหน่วยงานของรัฐในการลดการใช้สารเคมีป้องกันและกำจัดศัตรูพืช มีความสัมพันธ์กับพฤติกรรมการใช้สารเคมีป้องกันและกำจัดศัตรูพืชอย่างถูกวิธีของเกษตรกร ($P < 0.05$) คือเกษตรกรที่มีส่วนร่วมกับหน่วยงานของรัฐ ในการเข้าร่วมทำประชาคม การเสนอแนะแนวทางในการแก้ไขปัญหาการใช้สารเคมีในพื้นที่ หรือการได้รับข้อมูลข่าวสารต่างๆ จากทางราชการ ทำให้เกษตรกรสามารถนำข้อมูลที่ได้รับดังกล่าวในทุกกระบวนการมาปรับใช้ในการป้องกันตนเองจากการใช้สารเคมีป้องกันและกำจัดศัตรูพืช จึงส่งผลให้มีพฤติกรรมดังกล่าวดีขึ้นด้วย

ข้อเสนอแนะ

จากผลของการศึกษาในครั้งนี้ สามารถเสนอแนะแนวทางเพื่อให้เกษตรกรสามารถใช้สารเคมีป้องกันและกำจัดศัตรูพืชได้อย่างถูกต้องเหมาะสม กล่าวคือ หน่วยงานที่เกี่ยวข้องและเจ้าหน้าที่จากภาครัฐควรให้ข้อมูลข่าวสาร ให้การส่งเสริมสนับสนุนพฤติกรรมที่ถูกต้องในการใช้สารเคมีป้องกันและกำจัดศัตรูพืชแก่เกษตรกร โดยการอบรม ให้ความรู้ ทั้งความรู้เกี่ยวกับผลกระทบของสารเคมีป้องกันและกำจัดศัตรูพืช ความรู้ก่อนใช้ ความรู้ขณะใช้ และความรู้หลังการใช้สารเคมีป้องกันและกำจัดศัตรูพืช เพราะยังเกษตรกรมีความรู้มาก สามารถใช้สารเคมีป้องกันและกำจัดศัตรูพืชได้อย่างถูกต้องและปลอดภัย โดยเฉพาะอย่างยิ่งในประเด็น การเตรียมความพร้อมก่อนการใช้สารเคมีป้องกันและกำจัดศัตรูพืช ในเรื่องของการอ่านฉลาก อ่านวิธีการผสม ให้เข้าใจ หรือประเด็นของการปฐมพยาบาลเบื้องต้น เพื่อให้มีการปฏิบัติที่ถูกต้อง และลดอันตรายจากการใช้สารเคมีป้องกันและกำจัดศัตรูพืชที่อาจเกิดขึ้นกับตัวเกษตรกรเองและผู้บริโภค นอกจากนี้ การส่งเสริมการมีส่วนร่วมของเกษตรกรกับหน่วยงานของรัฐ ยังเป็นปัจจัยสำคัญที่ก่อให้เกิดผลดีต่อการปฏิบัติตนของเกษตรกรให้มีพฤติกรรมการป้องกันตนเองจากการใช้สารเคมีป้องกันและกำจัดศัตรูพืชได้อย่างถูกต้องเพิ่มมากขึ้น จากการได้รับรู้ปัญหาที่เกิดขึ้นและมีส่วนร่วมในการออกแบบการแก้ไขปัญหา ทำให้พฤติกรรมของเกษตรกรในการป้องกันตนเองจากสารเคมีป้องกันและกำจัดศัตรูพืช มีความต่อเนื่องและยั่งยืนต่อไป

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณนายพรมมา คำแปน นายกองค์การบริหารส่วนตำบลเหมืองหม้อ ที่ให้ความอนุเคราะห์สถานที่ในการเก็บรวบรวมข้อมูล ขอขอบคุณเจ้าหน้าที่ขององค์การบริหารส่วนตำบลเหมืองหม้อ ที่อำนวยความสะดวก

สะดวกในการประสานงานต่าง ๆ และขอขอบคุณเกษตรกรผู้ปลูก ที่เป็นสมาชิกกลุ่มโครงการระบบส่งเสริมการเกษตรแบบแปลงใหญ่ผัก ตำบลเหมืองหม้อ อำเภอเมือง จังหวัดแพร่ จำนวน 66 ราย ที่สละเวลาให้ข้อมูลเพื่อใช้ในการวิจัยครั้งนี้

เอกสารอ้างอิง

- Buakaew, P. and C., Panpakdee, 2024. Socio-economic Factors influencing good agricultural practices of herbal farmers in Buriram province. *Journal of Agriculture* 40 (1): 101-112. (in Thai)
- Kumpiboon, M. 2014. Safe food can be a reality consumers must show their power to help producers. (Online). Available: <http://www.thaihealth.or.th/Content-fb/26272> (February 2, 2024). (in Thai)
- Mueang Phrae District Agricultural Office. 2023. Farmer registration report, large plot information. Phrae (in Thai)
- Srimuk, S. 2013. The Impact of the Use of Agricultural Chemicals in Thailand. (Online). Available: https://library.senate.go.th/document/Ext6409/6409657_0002. PDF. (February 2, 2024). (in Thai)
- Thai Health Promotion Foundation. 2016. Eat 400 grams of fruits and vegetables a day to fight disease. I.N.N. News Agency. (Online). Available: <https://www.thaihealth.or.th/?p=258183> (February 2, 2024). (in Thai)
- Thongmeethip, K. 2021. Agricultural development in Thailand in terms of community development and quality of life. *PSDS Journal of Development Studies* 4(1): 132-162. (in Thai)
- Ungsoongnern, S. 2015. Environmental impact from pesticide utilization. *EAU Heritage Journal Science and Technology* 9(1): 50-63. (in Thai)
- Wannok, P., and P. Haputta. 2023. Factors related to pesticide use behavior of cassava farmers in Po Daeng subdistrict, Chonnabot district, Khon Kaen province. *Journal of Agriculture* 39(2): 233-243. (in Thai)
- Worachina, K., N. Maharachpong and P. Abdullakasm, 2022. Factors related to pesticide protective behaviors among rainfed rice farmer in Nakhon Phanom. *Research and Development Health System Journal* 15(3): 252-265. (in Thai)

ปัจจัยส่วนประสมทางการตลาดที่ส่งผลต่อการตัดสินใจซื้อชีวภัณฑ์ (เชื้อจุลินทรีย์) ของเกษตรกรผู้ปลูกข้าวในอำเภอยางสีสุราช จังหวัดน่าน

Marketing Mix Factors Affecting Decisions on Bio-products (Microorganisms) Purchasing of Rice Farmers in Wiang Sa District, Nan Province

ลือสาย พนมพิบูล* สอนทยา สำเภาทอง และ รพี ดอกไม้เทศ

Luesai Panompiboon*, Sonthaya Sampaothong and Rapee Dokmaithes

ภาควิชาส่งเสริมและนิเทศศาสตร์เกษตร คณะเกษตร กำแพงแสน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน จ. นครปฐม 73140
Department of Agricultural Extension and Communication, Faculty of Agriculture at Kamphaeng Saen, Kasetsart University,
Kamphaeng Saen Campus, Nakhon Pathom 73140, Thailand

*Corresponding author: Email: luesai.p@ku.th

(Received: 18 March 2024; Accepted: 23 July 2024)

Abstract: The objectives of this study were to 1) explore some basic socioeconomic data about rice farmers in Wiang Sa District, Nan Province, and 2) identify the marketing mix factors influencing farmers' decisions to purchase bio-products (microorganisms). The sample group for the research consists of 400 rice farmers interested in purchasing bio-products in Wiang Sa District, Nan Province. The employed research tool was a questionnaire. Data were analyzed using descriptive statistics, including frequency, percentage, mean, and standard deviation, as well as inferential statistics using multiple regression analysis, to test hypotheses. The study found that slightly more than half of the farmers were female, with an average age of 58.68 years. Most farmers had completed primary education, with an average annual income of 59,220.07 baht. They had an experience average of 26.84 years in growing rice and an average rice planting area of 5.67 rai. Farmers' overall opinions on the marketing mix factors were at a high level (mean = 3.94). When considering individual aspects, all seven aspects, product, price, place, promotion, people, physical environment, and process were rated at a high level. The study found that three variables, product, physical environment, and place, significantly influenced the decision to purchase bio-products by farmers, at a statistical significance level of $P < 0.01$.

Keywords: Marketing mix, technology acceptance, bio-products

บทคัดย่อ: การศึกษาครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษา 1) ข้อมูลพื้นฐานบางประการทางสังคมและเศรษฐกิจของเกษตรกร ผู้ปลูกข้าวในอำเภอเวียงสา จังหวัดน่าน และ 2) ปัจจัยส่วนประสมทางการตลาดที่ส่งผลต่อการตัดสินใจซื้อชีวภัณฑ์ (เชื้อจุลินทรีย์) ของเกษตรกร กลุ่มตัวอย่างในการวิจัย คือ เกษตรกรผู้ปลูกข้าวที่สนใจซื้อชีวภัณฑ์ ในอำเภอเวียงสา จังหวัดน่าน จำนวน 400 คน ใช้แบบสอบถามเป็นเครื่องมือในการวิจัย วิเคราะห์ข้อมูลโดยใช้สถิติเชิงพรรณนา ได้แก่ ค่าความถี่ ค่าร้อยละ ค่าเฉลี่ย และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน และการวิเคราะห์ข้อมูลด้วยสถิติเชิงอนุมานที่ใช้ทดสอบสมมติฐาน คือ การวิเคราะห์ถดถอยพหุ ผลการศึกษาพบว่า เกษตรกรเกินครึ่งเล็กน้อยเป็นเพศหญิง อายุเฉลี่ย 58.68 ปี จบการศึกษาระดับประถมศึกษา มีรายได้เฉลี่ยต่อปี 59,220.07 บาท มีประสบการณ์ในการทำนาเฉลี่ย 26.84 ปี และมีพื้นที่ในการทำนาเฉลี่ย 5.67 ไร่ โดยเกษตรกรมีความคิดเห็นเกี่ยวกับส่วนประสมทางการตลาดในภาพรวมอยู่ในระดับมาก (ค่าเฉลี่ย 3.94) และเมื่อพิจารณาเป็นรายด้านพบว่าอยู่ในระดับมากทั้ง 7 ด้าน ได้แก่ ด้านผลิตภัณฑ์ ด้านสิ่งแวดล้อม ทางกายภาพ ด้านราคา ด้านช่องทางการจัดจำหน่าย ด้านบุคคล ด้านกระบวนการ และด้านการส่งเสริมการตลาดและการศึกษาครั้งนี้พบว่า ปัจจัยที่ส่งผลต่อการตัดสินใจซื้อชีวภัณฑ์ ของเกษตรกร อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.01$) มี 3 ตัวแปร ได้แก่ ด้านผลิตภัณฑ์ ด้านสิ่งแวดล้อมทางกายภาพ และด้านช่องทางการจัดจำหน่าย

คำสำคัญ: ปัจจัยส่วนประสมทางการตลาด การยอมรับเทคโนโลยี ชีวภัณฑ์

คำนำ

หนึ่งในวิธีการจัดการศัตรูพืชแบบผสมผสาน ได้แก่ การจัดการศัตรูพืชแบบชีววิธี เป็นการนำสิ่งมีชีวิต (ศัตรูธรรมชาติ) ในการควบคุมศัตรูพืช ได้แก่ ตัวห้ำ ตัวเบียน และเชื้อจุลินทรีย์ ซึ่งเชื้อจุลินทรีย์เป็นสารชีวภัณฑ์ที่ช่วยป้องกัน/กำจัดโรคและศัตรูพืช นิยมนำมาใช้ในการควบคุมศัตรูพืช ได้แก่ เชื้อราขาวเวเรีย เชื้อราเมตาไรเซียม เชื้อแบคทีเรียบาซิลลัส ทูริงเอนซิส เชื้อไวรัสเอ็นพีวี และไส้เดือนฝอย ส่วนเชื้อจุลินทรีย์ที่นำมาใช้ในการป้องกันและกำจัดโรคพืช ได้แก่ เชื้อราไตรโคเดอร์มา เชื้อแบคทีเรียบาซิลลัส สับทีลิส (Department of Agricultural Extension, 2021) สำหรับการนำมาใช้ในนาข้าว เช่น การใช้เชื้อราไตรโคเดอร์มาเพื่อควบคุมโรคใบจุดสีน้ำตาล (Department of Agricultural Extension, 2015) เชื้อราเมตาไรเซียมช่วยทำลายเพลี้ยกระโดดสีน้ำตาล (Department of Agricultural Extension, 2022) และการใช้เชื้อแบคทีเรียบาซิลลัส ทูริงเอนซิส ควบคุมหนอนห่อใบข้าว (Tiantad *et al.*, 2017) โดยหน่วยงานภาครัฐ ได้มีการเผยแพร่ความรู้ และส่งเสริมให้เกษตรกรใช้ชีวภัณฑ์เพื่อลดการใช้สารเคมี เนื่องจากหากเกษตรกรใช้สารเคมีมากเกินไป

ความจำเป็นหรือใช้อย่างไม่ถูกต้องก็จะส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมระบบนิเวศ ทำลายแมลงศัตรูธรรมชาติ ศัตรูพืชเกิดความต้านทาน ผลผลิตมีสารตกค้างส่งผลกระทบต่อสุขภาพอนามัยของผู้บริโภคและตัวของเกษตรกรเองด้วย เกษตรกรจึงควรปรับเปลี่ยนวิธีการ เสริมสร้างความรู้ ความเข้าใจตลอดจนนำหลักการจัดการแบบผสมผสานมาใช้ในการควบคุมศัตรูพืช เพื่อลดการใช้สารเคมี ช่วยลดต้นทุนการผลิต ทำให้ได้ผลผลิตที่มีความปลอดภัย ส่งผลดีต่อเกษตรกร ผู้บริโภคและสิ่งแวดล้อม ด้วยข้อจำกัดของเกษตรกรในการผลิตชีวภัณฑ์ เช่น มาตรฐานการผลิต ระยะเวลาในการผลิต ทำให้การเลือกซื้อผลิตภัณฑ์เชื้อจุลินทรีย์จึงถือเป็นทางเลือกให้แก่เกษตรกรได้เป็นอย่างดี ทำให้มีผู้ประกอบการทั้งระดับกลุ่มวิสาหกิจชุมชน ธุรกิจวิสาหกิจขนาดกลางและขนาดย่อม (SMEs) และบริษัทขนาดใหญ่ เข้ามาประกอบธุรกิจในการผลิตสารชีวภัณฑ์ โดยเฉพาะเชื้อจุลินทรีย์ต่าง ๆ จำนวนมาก ประกอบกับนโยบายของรัฐที่ส่งเสริมการลดการใช้สารเคมียังช่วยสนับสนุนให้ธุรกิจนี้สามารถเติบโตได้อย่างต่อเนื่องในตลาดมีผลิตภัณฑ์จากเชื้อจุลินทรีย์ที่หลากหลาย จึงเกิดการแข่งขันเพื่อตอบสนองความต้องการของเกษตรกรให้ได้มากที่สุด จากการศึกษางานวิจัยที่

เกี่ยวข้องกับ Samerjai and Wareewanich (2008) พบว่า ปัจจัยส่วนประสมทางการตลาดถือเป็นหัวใจสำคัญ และเป็นวิธีการทางการตลาดที่ผู้ประกอบการนำมาใช้เพื่อทำให้ได้สินค้าที่ตรงตามความต้องการของเกษตรกร

อำเภอเวียงสา จังหวัดน่าน มีพื้นที่การทำการเกษตรทั้งหมด 334,564 ไร่ ส่วนใหญ่เป็นพืชไร่ ได้แก่ ข้าว ข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ และมันสำปะหลัง จากข้อมูลจากทะเบียนเกษตรกร พบว่า อำเภอเวียงสา เป็นอำเภอที่มีพื้นที่ปลูกข้าวมากที่สุดในจังหวัดน่าน โดยมีเกษตรกรผู้ปลูกข้าวจำนวน 8,095 ครัวเรือน พื้นที่ประมาณ 58,065 ไร่ (Office of Agricultural Economics, 2023) โดยเกษตรกรในพื้นที่ส่วนใหญ่ใช้สารเคมีในการป้องกันและกำจัดศัตรูพืช ยังไม่มีการใช้สารชีวภัณฑ์ กันอย่างแพร่หลายเมื่อเทียบกับการใช้สารเคมี (Governor's Office of Nan Province, 2019) ดังนั้น การศึกษาปัจจัยส่วนประสมทางการตลาดที่ส่งผลต่อการตัดสินใจซื้อชีวภัณฑ์ของเกษตรกรผู้ปลูกข้าวในอำเภอเวียงสา จังหวัดน่าน จะทำให้ได้ข้อมูลสำหรับผู้ประกอบการหรือหน่วยงานที่เกี่ยวข้องสามารถนำข้อมูลมาใช้ในการพัฒนาแผนกลยุทธ์ทางการตลาด เพื่อพัฒนาผลิตภัณฑ์ให้ตรงตามความต้องการของเกษตรกรผู้ปลูกข้าวอำเภอเวียงสา จังหวัดน่าน อีกทั้งยังเป็นการสนับสนุนให้เกษตรกรสามารถผลิตข้าวปลอดภัยได้มากขึ้น เกิดแนวทางการผลิตใหม่ที่จะช่วยให้การทำการเกษตรมีประสิทธิภาพมากขึ้น สามารถช่วยลดต้นทุนการผลิต ทำให้เกษตรกรมีรายได้เพิ่มขึ้น และสร้างชีวิตความเป็นอยู่ที่ดีให้กับเกษตรกรต่อไป

อุปกรณ์และวิธีการ

ประชากรที่ทำการศึกษา คือ เกษตรกรผู้ปลูกข้าวที่สนใจซื้อชีวภัณฑ์ (เชื้อจุลินทรีย์) ที่อาศัยอยู่ในอำเภอเวียงสา จังหวัดน่าน กำหนดขนาดกลุ่มตัวอย่างกรณีไม่ทราบจำนวนประชากร โดยใช้สูตรของ W.G. Cochran (Cochran, 1977) กำหนดสัดส่วนประชากรที่ 50% ระดับความเชื่อมั่น 95% ได้ขนาดกลุ่มตัวอย่าง 385 คน งานวิจัยครั้งนี้จึงเก็บข้อมูลจำนวน 400 คน คัดเลือกกลุ่มตัวอย่างโดยใช้วิธีการสุ่มตัวอย่างแบบกลุ่ม

(cluster random sampling) โดยแบ่งกลุ่มตามพื้นที่ที่เกษตรกรอยู่อาศัย จากนั้นเลือกกลุ่มตัวอย่างแบบโควตา (quota sampling) ดำเนินการเก็บรวบรวมข้อมูลในช่วง เดือนพฤศจิกายน 2566 ถึง เดือนมกราคม 2567 โดยใช้แบบสอบถามเป็นเครื่องมือในการวิจัย ซึ่งผู้วิจัยวัดตัวแปรอิสระ (ส่วนประสมทางการตลาด) ด้วยคำถามจำนวน 39 ข้อ และวัดตัวแปรตาม (กระบวนการตัดสินใจซื้อชีวภัณฑ์ของเกษตรกร) โดยใช้คำถามจำนวน 15 ข้อ แต่ละข้อให้ผู้ตอบแสดงความคิดเห็นตามมาตรวัด 5 ระดับ ของ Likert ว่าเห็นด้วยเพียงใดในการตัดสินใจซื้อชีวภัณฑ์ โดย 5 คะแนน = เห็นด้วยอย่างยิ่ง 4 คะแนน = เห็นด้วย 3 คะแนน = เห็นด้วยปานกลาง 2 คะแนน = ไม่เห็นด้วย และ 1 คะแนน = ไม่เห็นด้วยอย่างยิ่ง (Suwan, 2006) แล้วทำการแปรผลคะแนน โดยแบ่งระดับความคิดเห็นออกเป็น 5 ระดับ ได้แก่ มีความคิดเห็นแบบเห็นด้วยอย่างยิ่งหรือในระดับมากที่สุด (4.21 - 5.00) มีความคิดเห็นแบบเห็นด้วยหรือในระดับมาก (3.41 - 4.20) มีความคิดเห็นแบบเห็นด้วยปานกลาง หรือในระดับปานกลาง (2.61 - 3.40) เกษตรกรมีความคิดเห็นแบบไม่เห็นด้วยหรือในระดับน้อย (1.81 - 2.60) และมีความคิดเห็นแบบไม่เห็นด้วยอย่างยิ่งหรือในระดับน้อยที่สุด (1.00 - 1.80) โดยมีค่าความเชื่อถือได้ของคำถาม ในแต่ละส่วนอยู่ระหว่าง 0.706 - 0.921 สำหรับสถิติที่ใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูล ได้แก่ ความถี่ ร้อยละ ค่าเฉลี่ย ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน และทดสอบสมมติฐาน โดยการวิเคราะห์ถดถอยพหุ (multiple regression analysis) เพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรอิสระและตัวแปรตาม ซึ่งมีสมการพยากรณ์ดังนี้

$$Y = a + b_1X_1 + b_2X_2 + b_3X_3 + \dots + b_7X_7$$

โดยกำหนดให้ Y คือ ตัวแปรตาม (Y = การตัดสินใจซื้อ) a คือ ค่าคงที่ (constant) $b_1 - b_7$ คือ ค่าสัมประสิทธิ์การถดถอยของตัวแปรอิสระตัวที่ 1 ถึงตัวที่ 7, X คือ ตัวแปรอิสระ ได้แก่ ส่วนประสมทางการตลาด ซึ่งประกอบด้วย ด้านผลิตภัณฑ์ (X_1) ด้านราคา (X_2) ด้านช่องทางการจำหน่าย (X_3) ด้านการส่งเสริมการตลาด (X_4) ด้านบุคคล (X_5) ด้านลักษณะทางกายภาพ (X_6) และด้านกระบวนการ (X_7)

ผลการศึกษาและวิจารณ์

ข้อมูลพื้นฐานบางประการของกลุ่มตัวอย่าง

ข้อมูลพื้นฐานบางประการของเกษตรกรที่เป็นกลุ่มตัวอย่างในการวิจัย จำนวน 400 คน พบว่ากลุ่มตัวอย่าง เกินครึ่งเล็กน้อยเป็นเพศหญิง จำนวน 207 คน คิดเป็นร้อยละ 51.75 มีอายุเฉลี่ย 58.68 ปี มีการศึกษาอยู่ในระดับประถมศึกษา (ป.1 - ป.6) จำนวน 226 คน คิดเป็นร้อยละ 56.50 รายได้ของเกษตรกรเฉลี่ยต่อปี 59,220.07 บาท มีประสบการณ์ในการทำนาเฉลี่ย 26.84 ปี และมีพื้นที่ในการทำนาเฉลี่ย 5.67 ไร่ (Table 1)

ข้อมูลการวิเคราะห์ปัจจัยส่วนประสมทางการตลาด

เกษตรกรมีระดับความคิดเห็นที่มีต่อปัจจัยส่วนประสมทางการตลาดที่ส่งผลการตัดสินใจซื้อชีวภัณฑ์ ในภาพรวมอยู่ในระดับมาก (ค่าเฉลี่ย 3.94)

เมื่อพิจารณารายด้าน พบว่า ทั้ง 7 ด้าน มีความคิดเห็นในระดับมาก โดยเรียงลำดับตามค่าเฉลี่ยจากมากไปน้อย ได้แก่ ด้านผลิตภัณฑ์ (ค่าเฉลี่ย 4.06) ด้านสิ่งแวดล้อมทางกายภาพ (ค่าเฉลี่ย 3.97) ด้านราคา (ค่าเฉลี่ย 3.94) ด้านช่องทางการจัดจำหน่าย (ค่าเฉลี่ย 3.94) ด้านบุคคล (ค่าเฉลี่ย 3.94) ด้านกระบวนการ (ค่าเฉลี่ย 3.94) และด้านการส่งเสริมการตลาด (ค่าเฉลี่ย 3.80) โดยมีรายละเอียด ดังนี้

ด้านผลิตภัณฑ์ โดยภาพรวมเกษตรกรมีความคิดเห็นว่ามีอิทธิพลต่อการตัดสินใจซื้อชีวภัณฑ์อยู่ในระดับมาก (ค่าเฉลี่ย 4.06) เมื่อพิจารณารายข้อ พบว่าข้อที่มีค่าเฉลี่ยสูงสุด 3 อันดับแรก ได้แก่ ชีวภัณฑ์มีฉลากชัดเจน มีข้อมูลรายละเอียดเพียงพอ (ค่าเฉลี่ย 4.17) ชีวภัณฑ์มีมาตรฐานรับรองจากองค์กรที่น่าเชื่อถือ (ค่าเฉลี่ย 4.11) ชีวภัณฑ์มีความปลอดภัย (ค่าเฉลี่ย 4.10) ตามลำดับ

Table 1. The demographic data of rice farmers in Wiang Sa district, Nan province

Demographic data	n	%	$\bar{x}$	S.D.
Gender				
Male	193	48.25		
Female	207	51.75		
Education level				
Less than primary school	5	1.25		
Primary school	226	56.50		
Junior high school	48	12.00		
Senior high school/Vocational certificate	74	18.50		
Diploma /High vocational certificate	13	3.25		
Bachelor's degree	34	8.50		
Age (years)			58.68	10.05
Average income (baht/year)			59220.07	56689.92
Rice growing experience (years)			26.84	14.80
Rice planting area (rai)			5.67	2.98

ด้านราคา โดยภาพรวมเกษตรกรมีความ-คิดเห็นว่ามีอิทธิพลต่อการตัดสินใจซื้อชีวภัณฑ์อยู่ในระดับมาก (ค่าเฉลี่ย 3.94) เมื่อพิจารณารายข้อ พบว่า ข้อที่มีค่าเฉลี่ยสูงสุด 3 อันดับแรก ได้แก่ ชีวภัณฑ์ที่มีการแสดงราคาสินค้าอย่างชัดเจนและถูกต้อง (ค่าเฉลี่ย 4.05) ราคาชีวภัณฑ์เหมาะสมกับคุณภาพ (ค่าเฉลี่ย 3.98) ชีวภัณฑ์มีให้เลือกหลายระดับราคา (ค่าเฉลี่ย 3.90) ตามลำดับ

ด้านช่องทางการจัดจำหน่าย โดยภาพรวมเกษตรกรมีความคิดเห็นว่ามีอิทธิพลต่อการตัดสินใจซื้อชีวภัณฑ์อยู่ในระดับมาก (ค่าเฉลี่ย 3.94) เมื่อพิจารณารายข้อ พบว่า ข้อที่มีค่าเฉลี่ยสูงสุด 3 อันดับแรก ได้แก่ การหาซื้อชีวภัณฑ์ได้ง่าย (ค่าเฉลี่ย 4.05) มีช่องทางการชำระเงินที่หลากหลายช่องทาง (ค่าเฉลี่ย 4.02) สถานที่ในการจัดส่งครอบคลุมทุกพื้นที่ (ค่าเฉลี่ย 4.00) ตามลำดับ

ด้านการส่งเสริมการตลาด โดยภาพรวมเกษตรกรมีความคิดเห็นว่ามีอิทธิพลต่อการตัดสินใจซื้อชีวภัณฑ์อยู่ในระดับมาก (ค่าเฉลี่ย 3.80) เมื่อพิจารณารายข้อ พบว่า ข้อที่มีค่าเฉลี่ยสูงสุด 3 อันดับแรก ได้แก่ การแจกตัวอย่างชีวภัณฑ์เพื่อทดลองใช้ (ค่าเฉลี่ย 3.92) การลดราคาส่วนลดพิเศษ (ค่าเฉลี่ย 3.89) การโฆษณาผ่านสื่อต่างๆ เช่น Facebook TikTok (ค่าเฉลี่ย 3.85) ตามลำดับ

ด้านบุคคล โดยภาพรวมเกษตรกรมีความ-คิดเห็นว่ามีอิทธิพลต่อการตัดสินใจซื้อชีวภัณฑ์อยู่ในระดับมาก (ค่าเฉลี่ย 3.94) เมื่อพิจารณารายข้อ พบว่า ข้อที่มีค่าเฉลี่ยสูงสุด 3 อันดับแรก ได้แก่ พนักงานจริงจังต่อผู้บริโภค แนะนำ ชีวภัณฑ์ที่ตรงกับความต้องการของผู้บริโภคจริง ๆ (ค่าเฉลี่ย 3.97) พนักงานให้บริการด้วยความเป็นมิตร มีอัธยาศัยดี และสุภาพ (ค่าเฉลี่ย 3.96) พนักงานให้บริการด้วยความใส่ใจและเข้าใจ (ค่าเฉลี่ย 3.93) ตามลำดับ

ด้านสิ่งแวดล้อมทางกายภาพ โดยภาพรวมเกษตรกรมีความคิดเห็นว่ามีอิทธิพลต่อการตัดสินใจซื้อชีวภัณฑ์อยู่ในระดับมาก (ค่าเฉลี่ย 3.97) เมื่อพิจารณารายข้อ พบว่า ข้อที่มีค่าเฉลี่ยสูงสุด 3 อันดับแรก ได้แก่ การจัดวางชีวภัณฑ์ในร้านเป็นหมวดหมู่ง่ายต่อการเลือกซื้อ (ค่าเฉลี่ย 4.03) สถานที่จำหน่ายชีวภัณฑ์มีความสะดวก (ค่าเฉลี่ย 3.99) มีป้ายชื่อร้านมองเห็นได้ง่าย ดูดี และน่ามอง (ค่าเฉลี่ย 3.98) ตามลำดับ

ด้านกระบวนการ โดยภาพรวมเกษตรกรมีความ-คิดเห็นว่ามีอิทธิพลต่อการตัดสินใจซื้อชีวภัณฑ์อยู่ในระดับมาก (ค่าเฉลี่ย 3.97) เมื่อพิจารณารายข้อ พบว่า ข้อที่มีค่าเฉลี่ยสูงสุด 3 อันดับแรก ได้แก่ ผู้ผลิตสามารถผลิตชีวภัณฑ์ได้เพียงพอต่อความต้องการของผู้บริโภค (ค่าเฉลี่ย 4.00) มีบริการจัดส่ง ชีวภัณฑ์ที่รวดเร็วและเป็นระบบ ป้องกันการเกิดข้อผิดพลาดในการจัดส่ง (ค่าเฉลี่ย 3.96) มีบริการในการติดต่อเพื่อแจ้งข้อมูลหรือแก้ปัญหาให้กับลูกค้าอย่างรวดเร็ว (ค่าเฉลี่ย 3.94) ตามลำดับ (Table 2)

การวิเคราะห์การถดถอยเชิงพหุ

งานวิจัยฉบับนี้ ได้ทำการทดสอบเงื่อนไขของการวิเคราะห์การถดถอยเชิงพหุคุณ พบว่า ตัวแปรอิสระไม่เกิดปัญหาภาวะร่วมเส้นตรงพหุ (multicollinearity) เนื่องจากค่าพิชิตความเผื่อ (tolerance) ของตัวแปรอิสระทุกตัวที่ใช้ในการศึกษาครั้งนี้มีค่ามากกว่า 0.1 และค่า VIF ของตัวแปรอิสระทุกตัวมีค่าน้อยกว่า 5 แสดงว่าตัวแปรอิสระไม่มีความสัมพันธ์กันในระดับที่อาจส่งผลกระทบต่อการใช้วิเคราะห์ความถดถอยพหุคุณด้วยวิธีคัดเลือกแบบขั้นตอน (stepwise selection)

จากการวิเคราะห์ถดถอยพหุ เพื่อหาปัจจัยส่วนประสมทางการตลาดที่ส่งผลต่อการตัดสินใจซื้อชีวภัณฑ์ของเกษตรกรผู้ปลูกข้าวในอำเภอเวียงสา จังหวัดน่าน พบว่า ค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจเชิงพหุ (multiple coefficient of determination, R^2) มีค่าเท่ากับ 0.558 หมายความว่า ตัวแปรอิสระ คือ ส่วนประสมทางการตลาด ซึ่งประกอบด้วย ด้านผลิตภัณฑ์ (X_1) ด้านราคา (X_2) ด้านช่องทางการจำหน่าย (X_3) ด้านการส่งเสริมการตลาด (X_4) ด้านบุคคล (X_5) ด้านลักษณะทางกายภาพ (X_6) และด้านกระบวนการ (X_7) ร่วมกันอธิบายความผันแปรของตัวแปรตาม ได้ร้อยละ 55.80 ซึ่งตัวแปรอิสระทั้ง 7 ตัวแปร มี 3 ตัวแปรที่มีความสัมพันธ์เชิงบวกกับตัวแปรตามอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.01 ได้แก่ ด้านผลิตภัณฑ์ ด้านลักษณะทางกายภาพ และด้านช่องทางการจำหน่าย ตามลำดับ ส่วนตัวแปรอิสระที่ไม่มีความสัมพันธ์อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ได้แก่ ด้านราคา ด้านการส่งเสริมการตลาด ด้านบุคคล และด้านกระบวนการ (Table 3)

Table 2. The mean, standard deviation and ranking of marketing mix factors

Variable	$\bar{x}$	S.D.	Rank
Marketing mix	3.94	0.514	High
Product	4.06	0.502	High
Clear labeling with sufficient detailed information	4.17	0.694	High
Products certified by credible organizations	4.11	0.666	High
Product safety	4.10	0.697	High
Price	3.94	0.603	High
Clear and accurate price display	4.05	0.683	High
Price appropriate to the quality	3.98	0.699	High
Products available at various price levels	3.90	0.719	High
Place	3.94	0.656	High
Easy to purchase products	4.05	0.713	High
Multiple payment options available	4.02	0.716	High
Delivery coverage in all areas	4.00	0.774	High
Promotion	3.80	0.691	High
Distribution of product samples for trial use	3.92	0.850	High
Discounts and special offers	3.89	0.792	High
Advertising through various media such as Facebook and TikTok	3.85	0.872	High
People	3.94	0.620	High
Sellers are sincere to consumers, recommending products that truly meet consumer needs	3.97	0.714	High
Sellers provide friendly, polite, and courteous service	3.96	0.672	High
Sellers offer attentive and understanding service	3.93	0.708	High
Physical Evidence	3.97	0.602	High
Products are organized in the store by categories, making it easy to choose	4.03	0.664	High
The store locations are clean	3.99	0.686	High
The store signage is easily visible, attractive, and appealing	3.98	0.681	High
Process	3.94	0.679	High
Ability of manufacturer to produce products to meet consumer demand	4.00	0.729	High
Fast and systematic delivery service to prevent shipping errors	3.96	0.745	High
Quick customer service for providing information or resolving issues	3.94	0.731	High

Table 3. The marketing mix factors affecting decisions on bio-products purchasing of rice farmers in Wiang Sa district, Nan province (model: stepwise)

Variable	B	S.E.	β	t	P- value	Tolerance	VIF
Constant	0.923	0.149		6.214	0.000		
Product (X_1)	0.386	0.055	0.362	7.083	0.000*	0.426	2.345
Place (X_3)	0.196	0.035	0.240	5.571	0.000*	0.601	1.664
Physical Evidence (X_6)	0.226	0.043	0.254	5.208	0.000*	0.469	2.133
R = 0.747		R ² = 0.558	SEE = 0.357	F = 166.690	sig. of F = 0.000		

* significantly different at $P < 0.01$

สรุปและข้อเสนอแนะ

จากการศึกษาปัจจัยส่วนประสมทางการตลาดที่ส่งผลต่อการตัดสินใจซื้อชีวภัณฑ์ ของเกษตรกรผู้ปลูกข้าวในอำเภอเวียงสา จังหวัดน่าน พบว่า เกษตรกรเกินครึ่งเล็กน้อยเป็นเพศหญิง มีอายุเฉลี่ย 58.68 ปี การศึกษาอยู่ในระดับประถมศึกษา โดยมีรายได้เฉลี่ยต่อปี 59,220.07 บาท มีประสบการณ์ในการทำนาเฉลี่ย 26.84 ปี และมีพื้นที่ในการทำนาเฉลี่ย 5.67 ไร่ เกษตรกรมีความคิดเห็นเกี่ยวกับส่วนประสมทางการตลาดในภาพรวมอยู่ในระดับมาก (ค่าเฉลี่ย 3.94) โดยทั้ง 7 ด้าน มีความคิดเห็นในระดับมาก ได้แก่ ด้านผลิตภัณฑ์ (ค่าเฉลี่ย 4.06) ด้านสิ่งแวดล้อมทางกายภาพ (ค่าเฉลี่ย 3.97) ด้านราคา (ค่าเฉลี่ย 3.94) ด้านช่องทางการจัดจำหน่าย (ค่าเฉลี่ย 3.94) ด้านบุคคล (ค่าเฉลี่ย 3.94) ด้านกระบวนการ (ค่าเฉลี่ย 3.94) และด้านการส่งเสริมการตลาด (ค่าเฉลี่ย 3.80) ตามลำดับ การศึกษาครั้งนี้พบว่า ปัจจัยส่วนประสมทางการตลาดที่ส่งผลต่อการตัดสินใจซื้อชีวภัณฑ์ อย่างมีนัยสำคัญ ($P < 0.01$) ได้แก่ ด้านผลิตภัณฑ์ ด้านลักษณะทางกายภาพ และด้านช่องทางการจำหน่าย ตามลำดับ ผู้ประกอบการหรือหน่วยงานที่เกี่ยวข้องสามารถนำข้อมูลที่ได้จากการศึกษาไปวางแผนกลยุทธ์ทางการตลาด เพื่อให้ผู้บริโภคเกิดความพึงพอใจและมีทางเลือกในการเลือกซื้อผลิตภัณฑ์ชีวภัณฑ์ ซึ่งมีข้อเสนอแนะต่อผู้ประกอบการ คือ ควรมีการพัฒนาผลิตภัณฑ์ชีวภัณฑ์ รวมถึงบริการที่ตอบสนองต่อความต้องการ

ของเกษตรกร โดยเฉพาะในด้านของผลิตภัณฑ์ ด้านลักษณะทางกายภาพ และด้านช่องทางการจำหน่าย ตามลำดับ ด้านผลิตภัณฑ์ เช่น ควรมีข้อมูลฉลากชัดเจนรายละเอียดเพียงพอ สินค้ามีมาตรฐานรับรองจากองค์กรที่น่าเชื่อถือ ผู้ผลิตชีวภัณฑ์จึงควรมีการพัฒนาประสิทธิภาพของชีวภัณฑ์อย่างต่อเนื่อง และให้ความสำคัญกับ ความปลอดภัยของชีวภัณฑ์ ด้านลักษณะทางกายภาพ เช่น สถานที่จัดจำหน่าย มีการจัดวางสินค้าเป็นหมวดหมู่ง่ายต่อการเลือกซื้อ มีความสะอาด มีป้ายบอกรายละเอียดที่ชัดเจน/เข้าใจง่าย และด้านช่องทางการจัดจำหน่าย ควรหาซื้อได้ง่าย มีช่องทางการชำระเงินที่หลากหลายช่องทาง สามารถกระจายสินค้าให้ครอบคลุมทุกจังหวัด เพื่ออำนวยความสะดวกให้แก่เกษตรกร สำหรับเจ้าหน้าที่ส่งเสริมหรือหน่วยงานที่เกี่ยวข้อง หากต้องการส่งเสริมการใช้ผลิตภัณฑ์ชีวภัณฑ์ ควรแนะนำผลิตภัณฑ์ที่มีคุณภาพ แหล่งผลิตเชื่อถือได้ และสามารถหาซื้อได้ง่าย ทำให้เกษตรกรสามารถเข้าถึงผลิตภัณฑ์ ชีวภัณฑ์ สามารถนำมาใช้ ในแปลงได้อย่างเหมาะสม เพื่อช่วยป้องกัน/ควบคุมศัตรูพืชในนาข้าว เกิดการขยายผลไปในทิศทางที่ถูกต้องและมีประสิทธิภาพ

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณเกษตรกร กลุ่มแปลงใหญ่ข้าว อำเภอเวียงสา จังหวัดน่าน และสำนักงานเกษตรอำเภอเวียงสา ที่กรุณาให้ความอนุเคราะห์ข้อมูลในการดำเนินการวิจัย

เอกสารอ้างอิง

- Cochran, W.G. 1977. Sampling Techniques. 3rd ed. John Wiley & Sons, New York. 422 p.
- Department of Agricultural Extension. 2015. *Trichoderma* spp.. (online) . Available: https://esc.doe.go.th/Trichoderma_spp/ (May 31, 2024). (in Thai)
- Department of Agricultural Extension. 2021. Biological Methods for Pest Control in Agriculture. Bureau of Technology Transfer Development Press, Bangkok. 28 p. (in Thai)
- Department of Agricultural Extension. 2022. Microbial Agents (Biopesticide) for Pest Control. Journal of Agricultural Extension 55(305): 6-7. (in Thai)
- Governor's Office of Nan Province. 2019. Nan Provincial Development Plan (2018 - 2022) (online) .Available: <http://www.nan.go.th/upload/1614140619.pdf> (Feb 20, 2024). (in Thai)
- Naporn, S. and U. Boontue. 2022. Factors affecting decision to purchase fertilizers in Sichon district Nakhon Si Thammarat province. Research report. Faculty of Business Administration, Ramkhamhaeng University, Bangkok. 13 p. (in Thai)
- Office of Agricultural Economics. 2023. Paddy rice for 2023. (Online) . Available: <https://farmerone.oae.go.th:5000/> (July 15, 2023). (in Thai)
- Samerjai, C. and T. Wareewanich. 2008. Principle of Marketing. Se-Education public Company Limited, Bangkok. 241 p. (in Thai)
- Suwan, M. 2006. Research Methodology in Social Sciences and Humanities. 2nded. Odeon Store, Bangkok. 179 p. (in Thai)
- Thungsakorn, C. and P. Charutawephonnukoon. 2020. Factors affecting the decision to buy chemical fertilizer of rice farmers in Pathum Thani province. pp.991-1002. In: Proceedings of 15th RSU National Graduate Research Conference. Rangsit University, Pathum Thani. (in Thai)
- Tiantad, I., A. Pongmee and N. Pinsri. 2017. Application *Bacillus thuringiensis* to Control Rice Leafhopper, *Cnaphalocrocis medinalis* Guenee. Research report. Plant Protection Research and Development Office, Bangkok. 7 p. (in Thai)
- Tittayawong, S. and J. Sansook. 2015. Factors influencing the decisions in purchasing agricultural chemical products from agricultural chemicals suppliers of rice farmers in Suphanburi province. Journal of Southern Technology 8(2): 63-70. (in Thai)
- Yamphan, P. 2016. Factors affecting purchase decisions for Doi Kham Food Products Company Limited processed fruits and vegetables. M.B.A. Independent Study. Thammasat University, Bangkok. 94 p. (in Thai)
-

Genotypic Effects of Insulin-like Growth Factor Binding Protein 2 on Fat-free Lean Traits in Crossbred between Duroc and Pietrain Pigs

อิทธิพลของรูปแบบยีนอินซูลินไลค์โกรทแฟกเตอร์ไบน์ดิงโปรตีน 2 ต่อลักษณะเนื้อแดงปราศจากไขมันในสุกรลูกผสมระหว่างดูโรคและเพียเทรน

Sombat Prasongsook¹, Catherine W. Ernst², Igseo Choi³, Nancy E. Raney², Panwadee Sopannarath¹, Ronald O. Bates² and Sornthep Tumwasorn¹
สมบัติ ประสงค์สุข¹, Catherine W. Ernst², Igseo Choi³, Nancy E. Raney², พรรณวดี โสพรรณรัตน์¹, Ronald O. Bates² และ ศรเทพ ธัมวาสร^{1*}

¹Department of Animal Science, Faculty of Agriculture, Kasetsart University, Bangkok 10900, Thailand

¹ภาควิชาสัตวบาล คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ กรุงเทพฯ 10900

²Department of Animal Science, Michigan State University, East Lansing, MI 48824, USA.

³Animal Parasitic Diseases Laboratory, ARS, USDA, Beltsville, MD 20705, USA.

*Corresponding author: Email: sornthep65@gmail.com

(Received: 2 January 2024; Accepted: 30 September 2024)

บทคัดย่อ: อินซูลินไลค์โกรทแฟกเตอร์ไบน์ดิงโปรตีน 2 (ไออีเอฟบีพี 2) นับว่าเป็นยีนที่มีอิทธิพลต่อลักษณะสำคัญทางเศรษฐกิจในสุกร สำหรับการศึกษาครั้งนี้ข้อมูลลักษณะเนื้อแดงปราศจากไขมันที่อายุต่าง ๆ จำนวน 11 ลักษณะถูกเก็บรวบรวมจากสุกรที่มีชีวิตจำนวน 408 ตัว โดยเป็นสุกรลูกผสมดูโรคเจซี่ x เพียเทรนในรุ่น F₂ ลักษณะที่ศึกษาประกอบด้วย ปริมาณเนื้อแดงปราศจากไขมัน เปอร์เซ็นต์เนื้อแดงปราศจากไขมัน ที่อายุ 10, 13, 16, 19 และ 22 สัปดาห์ และอัตราการเพิ่มขึ้นของเนื้อแดงปราศจากไขมันจากอายุ 10 ถึง 22 สัปดาห์ ไออีเอฟบีพี 2 สามารถจำแนกได้เป็น 3 จีโนไทป์ ได้แก่ AA, AB และ BB โดยเทคนิค PCR-RFLP ใช้เอนไซม์ตัดจำเพาะ *MspI* แบบหุ่นทางสถิติที่ใช้เพื่อศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างไออีเอฟบีพี 2 จีโนไทป์และลักษณะเนื้อแดงปราศจากไขมัน ประกอบด้วยอิทธิพลคงที่ของไออีเอฟบีพี 2 จีโนไทป์ และเพศ และอิทธิพลร่วมของกลุ่มการคลอด ครอก คอกขุนภายในกลุ่มการคลอด และค่าคาดเคลื่อนที่เหลือ ผลการศึกษาพบว่าไออีเอฟบีพี 2 จีโนไทป์มีความสัมพันธ์ ($P < 0.05$) กับลักษณะดังกล่าว โดยสุกรที่มีจีโนไทป์ BB มีลักษณะเนื้อแดงปราศจากไขมันที่อายุ 10, 13 และ 16 สัปดาห์ มากกว่าสุกรที่มีจีโนไทป์ AB ไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P > 0.05$) ที่อายุ 19 และ 22 สัปดาห์ นอกจากนี้ยังพบว่าสุกรมีจีโนไทป์ BB มีเปอร์เซ็นต์เนื้อแดงปราศจากไขมันที่อายุ 13, 16, 19 และ 22 สัปดาห์ ตลอดจนอัตราการเพิ่มขึ้นของเนื้อแดงปราศจากไขมันจาก 10 ถึง 22 สัปดาห์ มากกว่า ($P < 0.05$) ผลจากการศึกษานี้แสดงให้เห็นความสัมพันธ์ของไออีเอฟบีพี 2 จีโนไทป์กับลักษณะสมรรถภาพการผลิตในสุกรลูกผสมรุ่น F₂ และควรมีการศึกษาเพิ่มเติมในสุกรพันธุ์อื่นและสุกรฝูงอื่นเพื่อนำไปใช้ประโยชน์

คำสำคัญ: ไออีเอฟบีพี 2 เนื้อแดงปราศจากไขมัน สุกร

Abstract: Insulin-like growth factor binding protein 2 (IGFBP 2) was selected as a candidate gene for economically important traits in pigs. For this study, 11 phenotypic data of fat-free lean at several ages were collected from 408 live- F_2 pigs obtained from Duroc $\times$ Pietrain MSU resource population. The study traits included fat-free lean, fat-free lean percent at ages 10, 13, 16, 19 and 22 weeks as well as fat-free lean gain from 10 to 22 weeks. Three IGFBP 2 genotypes (AA, AB and BB) were determined using *MspI* PCR-RFLP. The statistical model, which included the fixed effects of IGFBP 2 genotypes and sex, as well as the random effects of the farrowing group, litter and finishing pen nested within the farrowing group and residual error, was used to determine potential associations of the IGFBP 2 genotypes with fat-free lean traits. The results indicated a significant effect ($P < 0.05$) of the IGFBP 2 genotypes on these traits. Pigs with the BB genotype had more favorable ($P < 0.05$) fat-free lean at 10, 13 and 16 weeks of age than pigs with the AB genotype, but there was non-significant effect ($P > 0.05$) of the IGFBP 2 genotypes on fat-free lean at 19 and 22 weeks of age. Furthermore, pigs with the BB genotype had most favorable ($P < 0.05$) fat-free lean percent at 13, 16, 19 and 22 weeks of age as well as fat-free lean gain from 10 to 22 weeks. The results of this study indicated associations between the IGFBP 2 genotypes and fat-free lean traits in F_2 crossbred pigs, and the validation of these results in additional breeds and pig populations is warranted.

Keywords: IGFBP 2, fat-free lean, pig

Introduction

The characteristics of the pig positively affect profitability include a high growth rate, a low feed conversion ratio, and leanness of the carcass. Therefore, pig breeding programs have traditionally focused on growth rate and leanness as major objectives in selection (Chen *et al.*, 2002; Hammond and Leitch, 1998; Schinckel and de Lange, 1996). Today's hog market is based on weight and percent lean, thus pig producers who select or purchase pigs that grow faster and have more efficient lean deposition will have higher-value return. However, simultaneous improvement in leanness and growth rate is difficult to achieve because the genetic correlation between the two traits is generally unfavorable (Chen *et al.*, 2002; McPhee *et al.*, 1988). Marker assisted selection (MAS) might be a useful tool to improve selection efficiency for economically important traits in the pigs by

measuring early in their life to accurately predict those traits (Dekkers and Hospital, 2002).

Therefore, MAS would aid in selection by allowing producers to reduce production cost and time. Candidate gene identification is one of the important procedures in the MAS program (Hayes and Goddard, 2003). Therefore, IGFBP 2 has been selected for further investigation into its potential. Insulin-like growth factor binding protein 2 (IGFBP 2) is a growth-associated gene that belongs to the IGF family. The IGFBP consists of six homologous proteins (IGFBP 1 to IGFBP 6) with high binding affinity for IGF-I and IGF-II (Baxter, 2000; Rechler, 1993).

The function of IGFBPs included binding to IGF-I and IGF-II as carriers, protecting the IGFs from proteolysis to prolong their half-life, delivering them to their target tissue, and acting as modulators of IGFs availability and activity (Clemmons, 1998; Cohick, 1998; Hoeflich *et al.*, 1999). The porcine

IGFBP 2 gene contains 27 kb located on Chromosome 15 and contains four exons (Mote and Rothschild, 2006; Song *et al.*, 1996; Wang *et al.*, 2008). Previous studies have considered IGFBP 2 as a candidate gene for growth, carcass and body composition traits in farm animals (Li *et al.*, 2006; Pagan *et al.*, 2001). However, few studies have reported the IGFBP 2 gene in pigs (Mote and Rothschild, 2006; Wang *et al.*, 2007). Therefore, this study is aimed to determine the association of IGFBP 2 gene polymorphisms with production performance in a Duroc × Pietrain F_2 pig population.

Materials and Methods

The Animal protocols were approved by the Michigan State University Institutional Animal Care and Use Committee (AUF#09/03-114-00). The experimental animals were treated and kept in accordance with accepted standards for the humane treatment of animals.

1. Experimental population and management

The population in this study was previously described by Prasongsook *et al.* (2015). In brief, the pig population was closely studied at Michigan State University. The founder population consisted of Duroc sires and Pietrain dams, known as the F_0 generation. The first progeny (F_1) were subsequently intercrossed to produce the second progeny (F_2). F_2 pigs were designated for the experiment in finishing pens. The feed was formulated to meet the nutritional requirements of the National Research Council (NRC, 1988) using commercial corn-soybean diets provided *ad libitum*. Comprehensive information on the development and husbandry management of this population was previously reported by Edwards *et al.* (2008).

2. Phenotypic data collections

Eleven fat-free lean phenotypic traits from 408 live- F_2 pigs were analyzed for this study. Body weight was measured at 10, 13, 16, 19 and 22 weeks of age, and, at the same time, the 10th rib backfat thickness and 10th rib *Longissimus* muscle area were estimated by B-mode ultrasound (Pie Medical 200SLC, Classic Medical Supply, Inc., Tequesta, FL, USA.). Fat-free lean and fat-free lean percent at 10, 13, 16, 19 and 22 weeks of age, and fat-free lean gain from 10 to 22 weeks were calculated from the equation according to the National Pork Producers Council guidelines (National Pork Producer Council [NPPC], 2000). The equations are represented as follows:

Fat-free lean (lbs)

$$= [0.833 \times \text{sex of pig (barrow = 1, gilt = 2)}] \\ - [16.498 \times 10^{\text{th}} \text{ rib backfat thickness, inches}] \\ + [5.425 \times 10^{\text{th}} \text{ rib Longissimus muscle area, inches}^2] \\ + [0.291 \times \text{live weight, lbs}] \\ - [0.534] \quad \text{_____ (1)}$$

Then convert pound of fat-free lean to kilogram of fat-free lean by

Fat-free lean (kg)

$$= 0.454 \times \text{fat-free lean (lbs)} \quad \text{_____ (2)}$$

Fat-free lean percent (%)

$$= \left\{ \frac{\text{fat-free lean (kg)}}{\text{live weight (kg)}} \right\} \times 100 \\ 0.74 \quad \text{_____ (3)}$$

Fat-free lean gain from 10 to 22 wk (g/day)

$$= \frac{[22 \text{ wk fat-free lean (g)} - 10 \text{ wk fat-free lean (g)}]}{\text{days from 10 to 22 wk (day)}} \quad \text{_____ (4)}$$

3. Genotypic data collections

The blood collection and polymerase chain reaction (PCR) procedures followed the method outlined in our previous study (Prasongsook *et al.*, 2015). Briefly, the PCR reaction targeted the IGFBP 2 intron 2 region to amplify a 245 bp fragment of the

porcine IGFBP 2 gene (GenBank Accession No. BV727778). The PCR mixtures and conditions were as previously described (Prasongsook *et al.*, 2015), with an initial denaturation at 94 °C for 1 minute, annealing at 60 °C for 1 minute, and extension at 72 °C for 1 minute over 30 cycles. Finally, the PCR reaction concluded with a final elongation step at 72 °C for 10 minutes. The restriction enzyme digestion of the PCR product was performed using 20 U of the *MspI* restriction enzyme, which recognizes the site CCGG. Digestion was incubated overnight at 37 °C. The digested products were electrophoresed on a 2.0% agarose gel at 95 volts for 1.5 hours in Tris-borate-EDTA (TBE) buffer. The individual PCR-RFLP fragment sizes were visualized using ethidium bromide and band patterns were analyzed under ultraviolet light. According to the results of previous study, the IGFBP 2 genotypes were classified into AA, AB, and BB. The AA genotype showed a 245 bp fragment (no *MspI* site), the BB genotype showed two fragments of 190 bp and 55 bp, and the AB genotype showed a combination of 245 bp, 190 bp, and 55 bp.

4. Allele and genotype frequency analysis

Allele and genotype frequencies of the IGFBP 2 polymorphisms were estimated by the FREQ procedure, and Hardy-Weinberg equilibrium (HWE) was tested by χ^2 of SAS 9.0 (Statistical Analysis System [SAS], 2003).

5. Statistical analysis

A mixed effects model was used to analyze the IGFBP 2 data obtained by using the MIXED procedure of SAS 9.0 (SAS, 2003) to estimate least square means (LSMeans) to compare the study traits between the fixed effects using an F-test followed by a significant t-test for these effects. The statistical analysis model is represented as follows:

$$Y_{ijklmn} = \mu + \text{genotype}_j + \text{sex}_k + \text{farrowing group}_l + \text{litter}_m + \text{finishing pen (farrowing group)}_n + e_{ijklmn}$$

Where; Y_{ijklmn} = observations of the trait measured on animal i within genotype j , sex k , μ = overall mean, genotype_j = the fixed effect of genotype; j , j = AA, AB, BB, sex_k = the fixed effect of sex; k , k = 0 female, k = 1 male, farrowing group_l = the random effect of farrowing group; l , l = 1 to 11 with the mean of 0 and the variance of σ_f^2 , litter_m = the random effect of litter with the mean of 0 and the variance of σ_l^2 , $\text{finishing pen (farrowing group)}_n$ = the random effect of the finishing pen nested within the farrowing group; n , n = 1,2,...,8 modified open front building, n = 9,10,...,34 test station building with the mean of 0 and the variance of σ_p^2 , e_{ijklmn} = the residual effect with the mean of 0 and the variance of σ_e^2

Results and Discussion

Allele and genotype frequency

According to the results of previous study by Prasongsook *et al.* (2015), the genotypic and allelic frequencies of IGFBP 2 are shown in Figure 1 and genotype frequencies were in Hardy-Weinberg equilibrium ($\chi^2 = 0.20$; $P = 0.90$, respectively)

Effect of IGFBP 2 genotypes on fat-free lean

The study of candidate genes is a primary method for determining whether specific genes are related to economically important traits in farm animals (Li *et al.*, 2003). Table 1 presents the LSMeans for production performance traits by IGFBP 2 genotype groups. This study found significant effects ($P < 0.05$) of IGFBP 2 genotypes on fat-free lean at several ages. Estimating fat-free lean using serial live weight and real-time ultrasonic

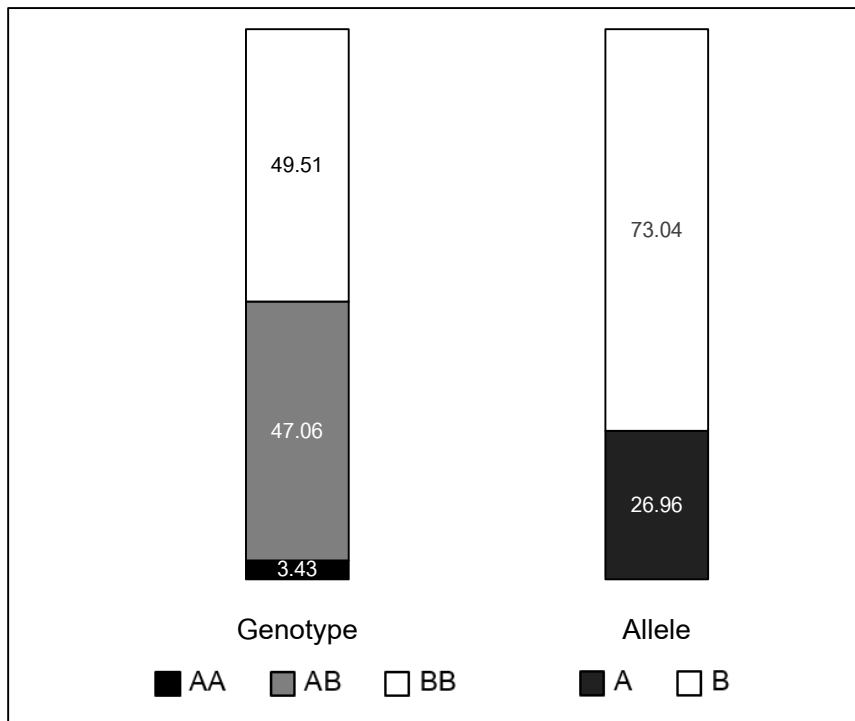


Figure 1. Genotype and allele frequencies of IGFBP 2 in the F_2 pig population, Adapted from Prasongsook *et al.*, (2015)

measurements (NPPC, 2000; Schinckel, 1994) is a simpler and more economical method for predicting protein accretion rates in live pigs for commercial herds (Schinckel *et al.*, 1996).

In the current study, pigs with the BB genotype had greater ($P<0.05$) fat-free lean at 10, 13 and 16 weeks of age than pigs with the AB genotype. However, the fat-free lean did not differ significantly ($P>0.05$) among genotype groups at 19 and 20 weeks of age, which is close to the market age. This indicated that the differences in fat-free lean among IGFBP 2 genotype groups at younger age will not correlate with fat-free lean at the market age. Nonetheless, this information could help the pig producers optimize their feeding and management strategies.

Furthermore, significant effects of the IGFBP 2 genotypes on fat-free lean percent were found ($P<0.05$). Pigs that contained the BB genotype had greater ($P<0.05$) fat-free lean percent at 13, 16, 19 and 22 weeks of age than those pigs with the AA or AB genotypes. Lean tissue growth in the pigs is closely related to feed efficiency and carcass quality (Schinckel, 1994).

Moreover, lean tissue growth gain is closely related to the body protein deposition, which is a primary determinant of dietary amino acid and energy requirements (NRC, 1998; Schinckel *et al.*, 2002). To minimize feeding costs and optimize carcass value, it is thus in the pork producers' interest to optimize the carcass lean content in slaughter pigs. In the current study, fat-

Table 1. Least square means±standard errors for fat-free lean traits of F₂ pigs separated by genotypes

Traits	N	Genotypes			P-value
		AA	AB	BB	
10 wk fat-free lean, kg	408	9.16±0.46 ^{ab}	9.37±0.29 ^b	9.78±0.27 ^a	0.003
13 wk fat-free lean, kg	408	14.93±0.81 ^{ab}	15.28±0.40 ^b	16.00±0.36 ^a	0.010
16 wk fat-free lean, kg	408	23.46±0.94 ^{ab}	23.16±0.40 ^b	23.95±0.33 ^a	0.010
19 wk fat-free lean, kg	408	29.98±1.22	30.04±0.43	30.69±0.32	0.260
22 wk fat-free lean, kg	408	39.18±1.46	38.48±0.48	38.30±0.33	0.790
10 wk fat-free lean percent, %	408	39.04±1.62	37.41±0.58	37.18±0.44	0.590
13 wk fat-free lean percent, %	408	36.96±0.69 ^b	37.63±0.34 ^b	38.30±0.30 ^a	0.030
16 wk fat-free lean percent, %	408	38.28±0.66 ^{ab}	37.98±0.28 ^b	38.61±0.23 ^a	0.030
19 wk fat-free lean percent, %	408	37.03±0.70 ^b	37.68±0.34 ^b	38.19±0.30 ^a	0.030
22 wk fat-free lean percent, %	408	50.67±0.89 ^b	50.64±0.35 ^b	52.00±0.27 ^a	0.030
Fat-free lean gain, g/day	408	342.05±14.82 ^b	352.60±8.06 ^b	369.90±7.38 ^a	0.030

^{a, b} Least square means within the same row with different superscripts differ ($P < 0.05$)

free lean gain ranges from about 342 to 370 g/day, consistent with previous studies that reported a fat-free lean gain varies between 200 to 450 g/day (de Lange *et al.*, 2001; NRC, 1998).

The results indicated that pigs with the BB genotype had a more favorable ($P < 0.05$) fat-free lean gain (369.90 ± 7.38 g/day) compared to pigs with the AA genotype (342.05 ± 14.82 g/day) and pigs with the AB genotype (352.60 ± 8.06 g/day). Specifically, pigs with the BB genotype had a fat-free lean gain that was 27.85 g/day higher than pigs with the AA genotype and 17.30 g/day higher than pigs with the AB genotype.

Conclusion

IGFBP 2 genotype effects were found for fat-free lean at 10, 13 and 16 weeks of age, fat-free lean percent at 13, 16, 19 and 22 weeks of age, and

fat-free lean gain from 10 to 22 weeks of age. However, there was no significant effect of the IGFBP 2 genotypes on fat-free lean at 19 and 22 weeks of age. Pigs with the BB genotype exhibited more desirable fat-free lean at 10, 13 and 16 weeks of age than pigs with the AB genotype. Furthermore, pigs with the BB genotype had the most favorable fat-free lean percent at 13, 16, 19 and 22 weeks of age and the highest fat-free lean gain from 10 to 22 weeks. Additional genetic improvement using MAS and targeting genes with significant effects like those associated with the IGFBP 2 locus, could substantially enhance the efficiency of pig production. To advance these findings, it is essential to evaluate associations between IGFBP 2 polymorphisms and production performance traits across different breeds and pig populations and conduct further functional studies to define the effects of IGFBP 2 at a molecular level.

Acknowledgements

The authors would like to thank the staff of the molecular genetics laboratory, Department of Animal Science, Michigan State University, East Lansing, MI, USA for their technical assistance and for providing phenotypic data. This research was funded by the Thailand Science Research and Innovation (TSRI) under the Royal Golden Jubilee Ph.D. Program.

References

- Baxter, R.C. 2000. Insulin-like growth factor (IGF)-binding proteins: Interactions with IGFs and intrinsic bioactivities. *American Journal of Physiology-Endocrinology and Metabolism* 278(6): E967-E976.
- Chen, P., T.J. Baas, J.W. Mabry, J.C.M. Dekkers and K.J. Koehler. 2002. Genetic parameters and trends for lean growth rate and its components in U.S. Yorkshire, Duroc, Hampshire and Landrace pigs. *Journal of Animal Science* 80(8): 2062-2070.
- Clemmons, D.R. 1998. Role of insulin-like growth factor binding proteins in controlling IGF actions. *Molecular and Cellular Endocrinology* 140(1-2): 19-24.
- Cohick, W.S. 1998. Role of the insulin-like growth factors and their binding proteins in lactation. *Journal of Dairy Science* 81(6): 1769-1777.
- de Lange, C.F.M., B.J. Marty, S. Birkett, P. Morel and B. Szkotnicki. 2001. Application of pig growth models in commercial pork production. *Canadian Journal of Animal Science* 81(1): 1-8.
- Dekkers, J.C.M. and F. Hospital. 2002. The use of molecular genetics in improvement of agricultural populations. *Nature Reviews Genetics* 3(1): 22-32.
- Edwards, D.B., C.W. Ernst, R.J. Tempelman, G.J.M. Rosa, N.E. Raney, M.D. Hoge and R.O. Bates. 2008. Quantitative trait loci mapping in an F2 Duroc × Pietrain resource population: I. Growth traits. *Journal of Animal Science* 86(2): 241-253.
- Hammond, K. and H.W. Leitch. 1998. Genetic resources and the global programme for their management. pp. 405-425. *In*: M.F. Rothschild and A. Ruvinsky (eds). *The Genetics of the Pig*. CAB International, Wallingford.
- Hayes, B. and M.E. Goddard. 2003. Evaluation of marker assisted selection in pig enterprises. *Livestock Production Science* 81(2-3): 197-211.
- Hoeflich, A., M. Wu, S. Mohan, J. Foll, R. Wanke, T. Froehlich, G.J. Arnold, H. Lahm, H.J. Kolb and E. Wolf. 1999. Overexpression of insulin-like growth factor-binding protein-2 in transgenic mice reduces postnatal body weight gain. *Endocrinology* 140(12): 5488-5496.
- Li, H., N. Deeb, H. Zhou, A.D. Mitchell, C.M. Ashwell and S.J. Lamont. 2003. Chicken quantitative trait loci for growth and body composition associated with transforming growth factor- β genes. *Poultry Science* 82(3): 347-356.
- Li, Z.H., H. Li, H. Zhang, S.Z. Wang, Q.G. Wang and Y.X. Wang. 2006. Identification of a single nucleotide polymorphism of the insulin-like growth factor binding protein

- 2 gene and its association with growth and body composition traits in the chicken. *Journal of Animal Science* 84(11): 2902-2906.
- McPhee, C.P., G.A. Rathmell, L.J. Daniels and N.D. Cameron. 1988. Selection in pigs for increased lean growth rate on a time-based feeding scale. *Animal Production* 47(1): 149-156.
- Mote, B.E. and M.F. Rothschild. 2006. SNP detection and linkage mapping for pig genes involved in growth. *Animal Genetics* 37(3): 295-296.
- National Pork Producer Council (NPPC). 2000. Pork Composition & Quality Assessment Procedures. National Pork Producer Council, Des Moines, IA. 50 p.
- National Research Council (NRC). 1998. Nutrient Requirements of Swine. 10th ed. National Academies Press, Washington, DC. 211 p.
- Pagan, M., J. Cowley, N.E. Raney and C.W. Ernst. 2001. Evidence for an association between a *Hind* III PCR-RFLP at the bovine insulin-like growth factor binding protein-2 (IGFBP-2) locus and growth and carcass traits in beef cattle. *Journal of Animal Science* 79 (Suppl.1): 242 (Abstract).
- Prasongsook, S., I.S. Choi, R.O. Bates, N.E. Raney, C.W. Ernst and S. Tumwasorn. 2015. Association of Insulin-like growth factor binding protein 2 genotypes with growth, carcass and meat quality traits in pigs. *Journal of Animal Science and Technology* 57: 31- 41.
- Rechler, M.M. 1993. Insulin-like growth factor binding proteins. *Vitamins and Hormones* 47: 1-114.
- Schinckel, A.P. 1994. Nutrient requirements of modern pig genotypes. pp. 133. *In*: P.C. Garnsworthy and D.J.A. Cole (eds). Recent Advances in Animal Nutrition. Nottingham University Press, Loughborough.
- Schinckel, A.P. and C.F.M. de Lange. 1996. Characterization of growth parameters needed as input for growth models. *Journal of Animal Science* 74(8): 2021-2036.
- Schinckel, A.P., P.V. Preckel and M.E. Einstein. 1996. Prediction of daily protein accretion rates of pigs from estimates of fat-free lean gain between 20 and 120 kilograms live weight. *Journal of Animal Science* 74(3): 498-503.
- Schinckel, A.P., J.W. Smith II, M.D. Tokach, S.S. Dritz, M. Einstein, J.L. Nelssen and R.D. Goodband. 2002. Two on-farm data collection methods to determine dynamics of swine compositional growth and estimates of dietary lysine requirements. *Journal of Animal Science* 80(6): 1419-1432.
- Song, S., C.Y. Lee, M.L. Green, C.S. Chung, R.C.M. Simmen and F.A. Simmen. 1996. The unique endometrial expression and genomic organization of the porcine IGFBP-2 gene. *Molecular and Cellular Endocrinology* 120(2): 193-202.
- Statistical Analysis System (SAS). 2003. SAS/STAT User Manual, Version 9.1. Statistical Analysis Institute, Inc., Cary, NC. 136 p.

Wang, W., Q. Meng, X. Hu, J. Fei, J. Feng, W. Liu
and N. Li. 2008. Chromosome location
and association of haplotypes of insulin-
like growth factor binding protein-2 with
production performance in swine.
Biochemical Genetics 46(7-8): 381-391.

การใช้ข้าวโพดร่วมกับสารประสานเม็ดทดแทนแป้งสาลีในอาหารของกุ้งขาว
(*Litopenaeus vannamei*) ต่อสมรรถภาพการเติบโต ภูมิคุ้มกัน และการย่อยได้ของอาหาร

Use of Corn with Pellet Binder as Replacement for Wheat Flour in Diet of Whiteleg Shrimp
(*Litopenaeus vannamei*) on Growth Performance, Immunity, and Feed Digestibility

ยิ่งยศ โสมยไพศาลศิลป์^{1*} ศรีน้อย ชุ่มคำ² ศุภวิทย์ ไตรวุฒานนท์³ และ อรพินท์ จินตสถาพร¹
Yingyos Sompaisansin^{1*}, Srinoy Chumkam², Supawit Triwutanon³ and Orapint Jintasataporn¹

¹ภาควิชาเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ คณะประมง มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ กรุงเทพฯ 10900

¹Department of Aquaculture, Faculty of Fisheries, Kasetsart University, Bangkok 10900, Thailand

²คณะเทคโนโลยีการเกษตร มหาวิทยาลัยราชภัฏวไลยอลงกรณ์ ในพระบรมราชูปถัมภ์ จ.ปทุมธานี 13180

²Faculty of Agricultural Technology, Valaya Alongkorn Rajabhat University Under the Royal Patronage,
Pathum Thani 13180, Thailand

³คณะสัตวแพทยศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน จ. นครปฐม 73140

³Faculty of Veterinary Medicine, Kasetsart University, Kamphaeng Saen, Nakhon Pathom 73140, Thailand

*Corresponding author: Email: yingyos.so@ku.th, ffishora@ku.ac.th

(Received: 14 March 2024; Accepted: 26 June 2024)

Abstract: This study on the application of corn with a pellet binder for replacement wheat flour was conducted by focusing on the growth performance and immunity of whiteleg shrimp (*Litopenaeus vannamei*). The experimental design was a completely randomized design (CRD) with 3 treatments and 4 replicates, corn replacement for wheat flour at 0% combined with the pellet binder at 0% (T1), corn replacement for wheat flour at 50% combined with the pellet binder at 0% (T2) and corn replacement wheat flour at 50% combined with the pellet binder at 0.4% (T3). The pellet binder used in this trial was lignosulfonate + guar gum. The results showed that shrimp fed T2 with diet had the highest feed conversion ratio (FCR) ($P < 0.05$). The average daily gain (ADG) and specific growth (SGR) were the lowest ($P < 0.01$). Shrimp fed with T3 diet had growth performance in the same range with shrimp fed with T1 diet ($P > 0.05$). In addition, shrimp fed with T2 and shrimp fed with T3 had increased the amount of hemolymph protein ($P < 0.05$) and had increased the amount of superoxide dismutase activity ($P < 0.01$). Shrimp fed with T2 and shrimp fed with T3 trended to have red color after cooked than shrimp fed with diet control T1 ($P = 0.052$). The protein and carbohydrate digestibility (*in vitro* digestibility) were not significantly difference ($P > 0.05$) among these three diets. Therefore, corn combined with pellet binder at 0.4% can be used to replace wheat flour at 50% without affecting the growth performance of whiteleg shrimp.

Keywords: Corn, wheat flour, pellet binder, whiteleg shrimp

บทคัดย่อ: การศึกษาการใช้ข้าวโพดร่วมกับสารประสานเม็ดทดแทนแป้งสาลีในอาหารต่อสมรรถภาพการเติบโตและภูมิคุ้มกันของกุ้งขาว (*Litopenaeus vannamei*) วางแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ (CRD) จำนวน 3 กลุ่มทดลองๆ ละ 4 ซ้ำ คือ อาหารสูตรควบคุมข้าวโพดทดแทนแป้งสาลีที่ระดับ 0% ร่วมกับสารประสานเม็ดที่ระดับ 0% (T1) อาหารสูตรข้าวโพดทดแทนแป้งสาลีที่ระดับ 50% ร่วมกับสารประสานเม็ดที่ระดับ 0% (T2) และอาหารสูตรข้าวโพดทดแทนแป้งสาลีที่ระดับ 50% ร่วมกับสารประสานเม็ดที่ระดับ 0.4% (T3) ซึ่งสารประสานเม็ดที่ใช้ คือ สารลิกโนซัลโฟเนตผสมกับกากมัน ผลการศึกษาพบว่า กลุ่มที่ใช้อาหาร T2 มีอัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นน้ำหนัก (FCR) เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) และมีอัตราการเติบโตเฉลี่ยต่อวัน (ADG) อัตราการเติบโตจำเพาะ (SGR) ลดน้อยลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.01$) แต่กลุ่มที่ใช้อาหาร T3 นั้น สมรรถภาพการเติบโตมีความแตกต่างอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ($P > 0.05$) กับอาหารสูตรควบคุม T1 นอกจากนี้พบว่า กลุ่มที่ใช้อาหาร T2 และกลุ่มที่ใช้อาหาร T3 มีปริมาณโปรตีนในน้ำเลือดเพิ่มมากขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) และปริมาณซูเปอร์ออกไซด์ดิสมิวเตสเพิ่มมากขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.01$) สีกุ้งขาวในกลุ่มที่ใช้อาหาร T2 และกลุ่มที่ใช้อาหาร T3 มีแนวโน้มสีแดงกว่ากลุ่มที่ได้รับอาหารสูตรควบคุม T1 ($P = 0.052$) และค่าการย่อยได้ของโปรตีนและคาร์โบไฮเดรตในหอยปฏิบัติการของอาหารทั้ง 3 สูตรมีความแตกต่างอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ($P > 0.05$) ดังนั้นสามารถใช้ข้าวโพดทดแทนแป้งสาลีที่ระดับ 50% ร่วมกับสารประสานเม็ดที่ระดับ 0.4% ได้ โดยไม่ส่งผลกระทบต่อสมรรถภาพการเติบโตของกุ้งขาว

คำสำคัญ: ข้าวโพด แป้งสาลี สารประสานเม็ด กุ้งขาว

คำนำ

กุ้งขาว (*Litopenaeus vannamei*) เป็นสัตว์น้ำที่มีความสำคัญของประเทศ สามารถพัฒนาการเลี้ยงแบบมีความหนาแน่นสูง โดยเลี้ยงได้ในความเค็มในช่วงกว้างตั้งแต่ 3-35 พีพีที เติบโตเร็วและให้ผลผลิตสูงแต่ต้นทุนในการเลี้ยงกุ้งสูง โดยอาหารกุ้งเป็นต้นทุนหลักในการเลี้ยง (Farmanfarmaian *et al.*, 1982) อีกทั้งอาหารกุ้งเป็นปัจจัยที่สำคัญต่ออัตราการเติบโต การต้านทานโรค อัตราการรอดชีวิต และส่งผลกระทบต่อสภาวะแวดล้อมในการเลี้ยง (Obaldo *et al.*, 2002) ดังนั้นเกษตรกรผู้เลี้ยงกุ้งจึงให้ความสำคัญมากกับคุณภาพของอาหารที่นำมาใช้เลี้ยงกุ้ง ซึ่งองค์ประกอบหลักของอาหารกุ้งมีคาร์โบไฮเดรตที่เป็น 1 ใน 3 ของสารอาหารหลักที่จำเป็นสำหรับสัตว์น้ำ โดยทำหน้าที่สำคัญ 2 อย่าง คือ (1) เป็นตัวประสานยึดองค์ประกอบของเม็ดอาหาร ควบคุมคุณลักษณะทางกายภาพของเม็ดอาหาร (Hemre and Deng, 2015) ได้แก่ ความคงตัวของเม็ดอาหารในน้ำ ความหนาแน่น เป็นต้น (2) เป็น

แหล่งพลังงานที่ราคาถูกกว่าการใช้ไขมัน หรือโปรตีน โดยแหล่งคาร์โบไฮเดรตที่แตกต่างกันนั้น จะมีคุณสมบัติทางเคมีและกายภาพที่ต่างกัน เช่น อัตราส่วนระหว่างอะไมโลสและอะไมโลเพกติน ความสามารถในการเจลาติไนเซชัน เป็นต้น คุณสมบัติเหล่านี้อาจจะส่งผลต่อคุณค่าทางโภชนาการและการเติบโตของสัตว์น้ำได้ (Romano and Kumar, 2019)

วัตถุดิบหลักที่นิยมใช้เป็นแหล่งของคาร์โบไฮเดรตในอาหารกุ้งคือแป้งสาลี ซึ่งมีคุณสมบัติเฉพาะที่ต่างจากแป้งอื่น คือ แป้งสาลีมีโปรตีนกลูเตนิน (glutenin) และไกลอะดิน (gliadin) ซึ่งเมื่อละลายน้ำโปรตีนทั้ง 2 ชนิดสร้างพันธะไดซัลไฟด์ (disulfide bond) และรวมตัวกันเป็นกลูเตน (gluten) ที่มีลักษณะเหนียวและมีความยืดหยุ่นสูง มีคุณสมบัติเป็นสารประสานเม็ดที่ดี (Apper-Bossard *et al.*, 2013) แต่ข้าวสาลีต้องนำเข้าจากต่างประเทศทำให้ต้นทุนอาหารเพิ่มขึ้นจากค่าขนส่งนำเข้าและจัดเก็บ หากสามารถใช้ข้าวโพดที่มีการเพาะปลูกในภูมิภาค มาใช้เป็นแหล่งคาร์โบไฮเดรตในอาหารกุ้งทดแทนแป้งสาลีช่วยลดต้นทุนในอุตสาหกรรมการผลิต

กุ้งได้ และยังเป็นประโยชน์ให้กับเกษตรกรผู้เพาะปลูกข้าวโพด โรงงานผู้ผลิตอาหารกุ้ง และเกษตรกรผู้เลี้ยงกุ้ง ข้าวโพดไม่มีสารต้านโภชนา (Novriadi *et al.*, 2023) และเป็นแหล่งของโปรตีนและกรดอะมิโน (Novriadi *et al.*, 2022) แม้จะขาดไลซีน (Nascimento *et al.*, 2020) แต่สามารถปรับสมดุลกรดอะมิโนในอาหารให้เหมาะสมได้ Alkoei *et al.* (2024) รายงานว่าสามารถใช้ข้าวโพดทดแทนแป้งสาลีได้ที่ระดับ 33%-66% ในอาหารปลาเรนโบว์เทราท์ โดยไม่มีผลกระทบต่อลักษณะทางกายภาพของอาหารและประสิทธิภาพการเจริญเติบโต ในขณะที่รายงานการศึกษาของ Niu *et al.* (2012) พบว่า กุ้งที่เลี้ยงด้วยอาหารซึ่งใช้แป้งสาลีที่ระดับ 20% มีประสิทธิภาพการเจริญเติบโตที่ดีกว่ากุ้งที่เลี้ยงด้วยอาหารซึ่งใช้แป้งข้าวโพดที่ระดับ 20% อย่างไรก็ตามพบการศึกษาการใช้ข้าวโพดในสูตรอาหารปลาและสัตว์น้ำอื่น ๆ มากกว่าในอาหารกุ้ง (Tiamiyu and Solomon, 2012) เพราะว่าแป้งในข้าวโพดมีปริมาณอะไมโลสและอะไมโลเพกทินใกล้เคียงกับแป้งสาลี (Swinkles, 1985) แต่ขนาดเม็ดแป้งใหญ่กว่าแป้งสาลี และมีคุณสมบัติในการพองตัวมากกว่าแป้งสาลี ซึ่งเมื่อผ่านการขึ้นรูปเม็ดอาหารที่ถูกควบคุมจำกัดปริมาณของน้ำทำให้เกิดการเจลาติไนซ์ของแป้งเปลี่ยนให้มีคุณสมบัติในการเป็นสารประสานเม็ดน้อย (Lund and Lorenz, 1984) การใช้ข้าวโพดทดแทนแป้งสาลีในอาหารสัตว์น้ำจึงอาจมีปัญหาด้านลักษณะทางกายภาพของอาหาร (Alkoei *et al.*, 2024) โดยเฉพาะความคงทนในน้ำ ซึ่งเป็นสิ่งสำคัญในการผลิตอาหารสัตว์น้ำโดยเฉพาะอาหารกุ้ง (Farmanfarmaian *et al.*, 1982) เพราะกุ้งกินอาหารช้าและกินอาหารอย่างต่อเนื่อง (Jussila and Evans, 1998; Obaldo *et al.*, 2002) อีกทั้งข้าวโพดมีแป้งแข็งซึ่งดูดน้ำเข้า ส่งผลต่อการย่อยในระบบทางเดินอาหารและการใช้ประโยชน์ของสารอาหาร การใช้ข้าวโพดมาทดแทนแป้งสาลีในอาหารกุ้งจึงจำเป็นต้องคำนึงถึงการสูญเสียสารอาหารจากการละลายน้ำ การย่อยได้ของอาหารและผลต่อสมรรถภาพการเติบโตของกุ้งด้วย แม้ข้าวโพดมีข้อจำกัดแต่หากจำเป็นข้าวโพดก็ยังใช้ทดแทนข้าวสาลีได้ในระดับหนึ่ง และสามารถเพิ่มปริมาณการใช้ด้วยการใช้ร่วมกับเอนไซม์ไซลาลเนส

และเบต้ากลูคาเนสโดยการประยุกต์จากการศึกษาของ Macedo *et al.* (2023) และ Nascimento *et al.* (2023) เป็นต้น โดยการศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลของการใช้ข้าวโพดร่วมกับสารประสานเม็ดทดแทนแป้งสาลีในอาหารต่อสมรรถภาพการเติบโตและภูมิคุ้มกันของกุ้งขาว โดยสารประสานเม็ดที่นำมาใช้คือ ลิกโนซัลโฟเนต (lignosulfonate) ซึ่งเป็นผลพลอยได้จากการผลิตกระดาษ มีรายงานการใช้ลิกโนซัลโฟเนตที่ระดับ 1% - 3% มีประสิทธิภาพในการเป็นสารยึดเกาะในอาหารสัตว์ปีก (Saleh *et al.*, 2021) และสามารถเพิ่มประสิทธิภาพการเติบโตของไก่เนื้อและการย่อยได้ของสารอาหาร (Corey *et al.*, 2014) และการใช้ลิกโนซัลโฟเนต 5% ในปลาเทราท์ (Bampidis *et al.*, 2020) ไม่พบความแตกต่างที่มีนัยสำคัญของประสิทธิภาพการเจริญเติบโต และภูมิคุ้มกัน

อุปกรณ์และวิธีการ

สัตว์ทดลอง

ลูกกุ้งขาวขนาด 1.27 ± 0.04 กรัม จำนวน 120 ตัว จากฟาร์มเอกชนในจังหวัดสมุทรสงคราม ประเทศไทย โดยการใช้สัตว์ทดลองผ่านการรับรองอนุมัติให้ดำเนินการเลี้ยงและใช้สัตว์ทดลองเพื่องานทางวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ เลขที่ ACKU61-FIS-040 ตามโครงการประเมินประสิทธิภาพสารเสริมอาหารสัตว์น้ำและสิ่งแวดล้อม

แผนการทดลอง

วางแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ (CRD) จำนวน 3 กลุ่มทดลอง ๆ ละ 4 ซ้ำ ดังนี้ กลุ่มที่ 1 ใช้อาหารสูตรข้าวโพดทดแทนแป้งสาลี 0% ร่วมกับสารประสานเม็ด 0% (T1) กลุ่มที่ 2 ใช้อาหารสูตรข้าวโพดทดแทนแป้งสาลี 50% ร่วมกับสารประสานเม็ด 0% (T2) และ กลุ่มที่ 3 ใช้อาหารสูตรข้าวโพดทดแทนแป้งสาลี 50% ร่วมกับสารประสานเม็ด 0.4% (T3)

อาหารทดลอง

เตรียมอาหาร 3 สูตร โดยใช้วัตถุดิบดังแสดงใน Table 1 นำไปบดจนมีขนาด 150 - 250 ไมครอน ทำการชั่งวัตถุดิบผสมแล้วขึ้นรูปอาหารที่มีขนาดความยาว 2-3 มิลลิเมตร เส้นผ่านศูนย์กลาง 1.4 มิลลิเมตร โดยการเติมน้ำ 25 มิลลิลิตร ลงในส่วนผสมอาหารผงแห้ง 100 กรัม แล้วอัดเม็ดผ่านการเครื่องอัดเม็ดแบบสกรู หนึ่งด้วยไอน้ำ 45 นาที และอบแห้งที่อุณหภูมิ 90 องศา

เซลเซียส 30 นาที จากนั้นทำให้เย็นลงและเก็บในถุงพลาสติกเพื่อใช้ทดลอง แล้วสับตัวอย่างไปวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมี ได้แก่ ความชื้น โปรตีน ไขมัน เยื่อใย เถ้า ตามวิธีของ AOAC (2000) คำนวณคาร์โบไฮเดรต (nitrogen free extract, NFE) และพลังงานที่ย่อยได้ (digestible energy, DE) ตามวิธีของ National Research Council (1993)

Table 1. Feed ingredient composition and nutritional value of experimental diets

Parameter	T1	T2	T3
Ingredients (%)			
Wheat flour	20	10	10
Corn grain	0	10	10
Pellet binder ¹	0	0	0.4
Fish meal	16	16	16
Soybean meal ²	43.5	44.5	44.5
Fish oil	1.5	1.5	1.5
Lecithin	1.5	1.5	1.5
Vitamins and minerals	12.8	12.8	12.8
Rice husk as filler ²	4.7	3.7	3.3
Total	100	100	100
Feed cost ³ (THB/kg)	27.27	26.99	27.17
Proximate of nutritional value (%)			
Moisture	9.07	8.40	10.90
Crude protein	40.84	40.97	39.67
Crude fat	5.84	5.64	5.98
Fiber	4.50	4.27	4.14
Ash	10.61	10.58	10.35
NFE ⁴	29.15	30.14	28.96
GE ⁵ (kcal/kg)	4,052.74	4,081.88	3,992.16
DE ⁶ (kcal/kg)	2,631.19	2,644.29	2,596.83

¹lignosulfonate 95% + guar gum 5% (Kembind Dry; Kemin Industries, USA), ²Adjust nutrition to be same

³Ingredients price (THB/kg): wheat flour, 16.25; corn grain, 12.10; pellet binder, 45.00; fish meal 38.50; soybean meal, 16.00; fish oil, 41.70; lecithin, 37.20; vitamins and minerals, 75.10; rice husk, 2.25

⁴NFE = 100 – (%protein + %fat + %fiber + %ash + %moisture)

⁵GE, gross energy = (%Crude protein x 5.64) + (%Crude fat x 9.44) + (%NFE x 4.11)

⁶DE, digestible energy = (%protein x 3.5) + (%fat x 8.1) + (%NFE x 2.5)

สภาวะการทดลอง

เลี้ยงกุ้งขาวขนาด 1.27 ± 0.04 กรัมในตู้กระจก ขนาด 100 ลิตรที่มีน้ำ 80 ลิตร จำนวนกุ้ง 10 ตัวต่อตู้ ชุดการทดลองละ 4 ตู้ ควบคุมความเค็มน้ำ 12-15 พีพีที แอมโมเนียน้อยกว่า 1 มิลลิกรัม/ลิตร ออกซิเจนละลายน้ำมากกว่า 5 มิลลิกรัม/ลิตร พีเอช 7.6-7.9 อัตราไหล่มากกว่า 120 มิลลิกรัม/ลิตร เปลี่ยนถ่ายน้ำ 20 เปอร์เซ็นต์ ทุก 2 วัน ให้อาหารที่อัตรา 10 เปอร์เซ็นต์ต่อน้ำหนักกุ้ง แล้วปรับลดอาหารลง 2 เปอร์เซ็นต์ทุก 2 สัปดาห์ โดยแบ่งให้อาหารเป็น 3 มื้อต่อวัน ด้วยอาหารสูตรข้าวโพดทดแทนแป้งสาลีร่วมกับสารประสานเม็ดเป็นเวลา 8 สัปดาห์

การเก็บรวบรวมข้อมูล

การศึกษาลักษณะทางกายภาพ

ดัชนีการในการละลายน้ำ (water solubility index) ตามวิธีการของ Machado *et al.* (1998) โดยนำตัวอย่าง 25 กรัม ไปเขย่าที่ความเร็ว 200 รอบต่อนาทีเป็นเวลา 30 นาที แล้วนำไปอบที่อุณหภูมิ 135 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง ซึ่งน้ำหนักเพื่อคำนวณค่าดัชนีการในการละลายน้ำ

ดัชนีการในการละลายน้ำ = $100 - [(น้ำหนักของตัวอย่างหลังอบ \times F \times 100) / น้ำหนักของตัวอย่างเริ่มต้น]$

โดย $F = [100 + (ความชื้นของตัวอย่างเริ่มต้น - ความชื้นของตัวอย่างหลังอบ)] / 100$

ความคงตัวของเม็ดอาหารกุ้งในน้ำ (water stability) ตามวิธี มอก.1198 (Thai Industrial Standards Institute, 1993) โดยอบตัวอย่างที่อุณหภูมิ 65 ± 2 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง แล้วชั่ง 5 กรัม แช่น้ำลึก 15 เซนติเมตร เป็นเวลา 2 ชั่วโมง จากนั้นนำไปอบที่อุณหภูมิ 65 ± 2 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง แล้วชั่งหาน้ำหนักที่เหลืออยู่ เพื่อหาค่าความคงตัวของเม็ดอาหารในน้ำ

ความคงตัวของเม็ดอาหารกุ้งในน้ำ = $(น้ำหนักของตัวอย่างที่เหลือ / น้ำหนักของตัวอย่างเริ่มต้น) \times 100$

การศึกษาการเติบโตของกุ้งขาว

อัตราการเติบโตเฉลี่ยต่อวัน (average daily gain; ADG, g/shrimp) = $\text{น้ำหนักตัวที่เพิ่มขึ้น} / \text{จำนวนวันที่เลี้ยง}$

การเติบโตจำเพาะ (specific growth rate; SGR, %/day) = $100 \times (\ln \text{น้ำหนักเฉลี่ยเมื่อสิ้นสุดการทดลอง} - \ln \text{น้ำหนักเฉลี่ยเมื่อเริ่มต้น}) / \text{จำนวนวันที่เลี้ยง}$

อัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นน้ำหนัก (feed conversion ratio; FCR) = $\text{ปริมาณอาหารที่ใช้ทั้งหมด} / \text{น้ำหนักตัวที่เพิ่มทั้งหมด โดยคำนวณเป็นรายวัน}$

อัตราการรอดตาย (survival rate; SR, %) = $(\text{จำนวนกุ้งที่เหลือรอดเมื่อสิ้นสุดการทดลอง} / \text{จำนวนกุ้งเริ่มต้นการทดลอง}) \times 100$

การศึกษาภูมิคุ้มกันและสีกึ่งตมสุก

วิเคราะห์ปริมาณเม็ดเลือดรวมทั้งหมด (total hemocyte count) โดยวิธีการของ Supamattaya *et al.* (2000) โดยนำเลือดกุ้งผสมกับ trypan blue จากนั้นนำไปส่องใต้กล้องจุลทรรศน์เพื่อนับจำนวนเม็ดเลือด

วิเคราะห์ปริมาณโปรตีนในน้ำเลือด (hemolymph protein) ตามวิธีการของ Supamattaya *et al.* (2000) โดยนำเลือดกุ้งผสมกับสารละลายทองแดงสำหรับวิเคราะห์ บมไนที่มีดแล้วเติม Folin บมไนที่มีดอีกครั้ง แล้วนำไปวัดค่าดูดกลืนแสงที่ 640 นาโนเมตร และเปรียบเทียบกับ standard curve ของ bovine serum albumin

วิเคราะห์กิจกรรมของเอนไซม์ฟีนอลออกซิเดส (phenoloxidase activity) โดยวิธีการดัดแปลงจาก Smith and Söderhäll (1991) นำตัวอย่างเลือดกุ้ง ผสมกับ L-DOPA และ Heper บมไนที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส แล้วนำไปวัดค่าดูดกลืนแสงที่ 490 นาโนเมตร

วิเคราะห์กิจกรรมของไลโซไซม์ (lysozyme activity) ตามวิธีการของ Ellis (1990) โดยผสมน้ำเลือดกับสารละลายเชื้อ *Micrococcus lysodeikticus* (Sigma-Aldrich, St. Louis, MO, USA) ใน sodium phosphate buffer, pH 6.24 ตรวจจบการเกิดปฏิกิริยาโดยวัดค่าดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 450 นาโนเมตร

ที่เวลา 1 นาที และ 6 นาที คำนวณหน่วยของ lysozyme activity โดยหนึ่งหน่วยจะทำให้ค่าดูดกลืนแสงเปลี่ยนแปลง 0.001 ต่อนาทีต่อมิลลิกรัมโปรตีน

วิเคราะห์กิจกรรมของเอนไซม์ซูเปอร์ออกไซด์ ดิสมิวเตส (SOD) ตามวิธีการของ Ukeda *et al.* (1999) โดยใช้ SOD Assay Kit#19160-1KTF (Sigma-Aldrich, Buchs, Switzerland)

วิเคราะห์ปริมาณกลูตาไธโอน โดย Glutathione Assay Kit (CS0260; Sigma-Aldrich, Buchs, Switzerland)

วิเคราะห์สีกึ่งต้มสุก โดยสุ่มกึ่งมาชุดทดลองชุดละ 8 ตัว นำไปต้มในน้ำอุณหภูมิ 100 °C นาน 1 นาที ตามวิธีการของ Parisenti *et al.* (2011) แล้วนำมาเปรียบเทียบกับสีด้วยพัดสี (SalmoFan No.)

การศึกษาการย่อยได้ของอาหารในห้องปฏิบัติการ (in vitro digestibility)

ศึกษาการย่อยได้ของโปรตีนและคาร์โบไฮเดรตของอาหารกุ้งตามวิธีการของ Hahor *et al.* (2022)

1. สกัดเอนไซม์จากกุ้งขาว 12 ตัว ที่มีน้ำหนักกึ่งเฉลี่ย 8-10 กรัม/ตัว โดยเก็บรวบรวมระบบย่อยอาหารของกุ้งส่วนของตับและลำไส้รวมกัน แล้วปั่นละเอียดให้เป็นเนื้อเดียวกัน ผสมกับสารละลาย Tris-HCL 50 mM pH 7.4 ผสมให้เข้ากันโดยใช้ micro-homogenizer (THP-220, OMNI International, USA) และทำการเหวี่ยงแยกให้ตกตะกอน จากนั้นนำส่วนที่ใสไว้ทำการทดลองศึกษาการย่อยได้ในหลอดทดลอง โดยใช้เซรัมอัลบูมินเป็นสารละลายโปรตีนมาตรฐาน วัดความเข้มข้นโปรตีนทั้งหมดของสารสกัดเอนไซม์วิเคราะห์ตามวิธีการของ Lowry *et al.* (1951)

2. นำอาหารกุ้งที่ใช้ในการทดลองมาศึกษาการย่อยได้ในหลอดทดลอง โดยชั่งน้ำหนักตัวอย่างบด แล้วเติม phosphate buffer pH 8.0 เติมน้ำปฏิกิริยาเพื่อควบคุมจุลินทรีย์ แบ่งสารละลายเป็น 2 ส่วน ส่วนที่ไม่มีการเติมเอนไซม์จากกุ้งและส่วนที่เหลือนำมาเติมเอนไซม์ที่สกัดได้จากทางเดินอาหารกุ้ง นำไปบ่ม 16 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิห้อง 25 องศาเซลเซียส จากนั้นนำไปปั่นเหวี่ยงแล้วเก็บส่วนใสมาประเมินการย่อยได้ของโปรตีนและคาร์โบไฮเดรต (Hahor *et al.*, 2022)

3. การศึกษาประสิทธิภาพการย่อยได้ของโปรตีนของอาหารกุ้งในหลอดทดลองโดยวิเคราะห์ปริมาณกรดอะมิโนที่ถูกย่อยและปลดปล่อยจากอาหารโดยวิธี ninhydrin assay (Eid and Matty, 1989) วัดค่าการดูดกลืนแสงที่ 507 นาโนเมตร คำนวณประสิทธิภาพในการย่อยได้ในหลอดทดลองของโปรตีน

4. การศึกษาประสิทธิภาพการย่อยได้ของโปรตีน โดยวิเคราะห์ปริมาณโปรตีนที่ถูกย่อยและละลายน้ำ (soluble protein; peptide) โดยวิธี biuret test (Plummer, 1988) วัดค่าการดูดกลืนแสงที่ 540 นาโนเมตร คำนวณความเข้มข้นของโปรตีนที่ละลายน้ำโดยใช้ โดยใช้เซรัมอัลบูมินเป็นสารละลายมาตรฐาน

5. การศึกษาประสิทธิภาพการย่อยได้ของคาร์โบไฮเดรตของอาหารกุ้งในหลอดทดลอง โดยวิเคราะห์ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ด้วย 3,5- dinitrosalicylic acid (DNS) ตามวิธีการของ Bedford and Classen (1993) และ Miller (1959) โดยนำสารละลายทั้ง 3 ส่วนที่ปั่นเหวี่ยงแล้ว มาทำปฏิกิริยากับสารละลาย DNS จากนั้นบ่มที่อุณหภูมิห้อง 25 องศาเซลเซียส หยุดปฏิกิริยาที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส แล้วทำให้เย็นลงด้วยน้ำเย็นจัดและนำไปวัดค่าการดูดกลืนแสง

การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ

นำข้อมูลทั้งหมดวิเคราะห์ความแปรปรวนตามแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ เปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยระหว่างทรีทเมนต์ด้วยวิธีการของ Duncan's new multiple range test (DMRT) ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05

ผลการทดลองและวิจารณ์

คุณลักษณะทางกายภาพของอาหารกุ้งขาวที่ใช้ข้าวโพดทดแทนแป้งสาลี (Table 2) พบว่า มีแนวโน้มค่าดัชนีในการละลายน้ำเพิ่มขึ้น ($P=0.066$) และมีแนวโน้มค่าความคงตัวของเม็ดอาหารกุ้งในน้ำลดลง ($P=0.077$) เนื่องจากแป้งข้าวโพดมีส่วนประกอบทั้งแป้งอ่อน และแป้งแข็งที่ดูดน้ำเข้ามาในโมเลกุลช้า ทำให้การเจลาติไนซ์ของแป้งเปลี่ยนให้มีคุณสมบัติใน

Table 2. Physical properties of shrimp feed pellets composed of corn replacing wheat flour

Item	T1	T2	T3	SEM	P-value
Water solubility index (%)	19.97±0.50	25.00±1.12	22.57±3.36	0.94	0.066
Water stability (%)	82.77±0.15	81.97±0.35	82.40±0.46	0.15	0.077

Mean with different superscripts in the same row are significantly different ($P < 0.05$), SEM = standard error of means

การเป็นสารประสานเม็ดได้น้อย (Lund and Lorenz, 1984) กว่าแป้งสาลี แต่เมื่อเติมสารประสานเม็ดเพิ่มลงไปแล้วความคงตัวในน้ำและค่าดัชนีในการละลายน้ำมีแนวโน้มดีขึ้น (Farmanfarmaian *et al.*, 1982) โดยมีความแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ($P > 0.05$) กับกลุ่มควบคุม

ผลการเติบโตของกุ้งขาว (Table 3) พบว่ากลุ่มที่เลี้ยงด้วยอาหารสูตรข้าวโพดทดแทนแป้งสาลี 50% โดยไม่มีสารประสานเม็ด (T2) มีอัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นน้ำหนักมากกว่ากลุ่มที่เลี้ยงด้วยอาหารสูตรใช้ข้าวโพดทดแทนแป้งสาลี 0% (T1) และกลุ่มที่เลี้ยงด้วยอาหารสูตรข้าวโพดทดแทนแป้งสาลี 50% ร่วมกับสารประสานเม็ด 0.4% (T3) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) เนื่องจากในแป้งสาลีมีโปรตีนกลูเตนิน (glutenin) และไกลอะดิน (gliadin) ที่รวมตัวกันเป็นกลูเตน (gluten) มีลักษณะเหนียวและมีความยืดหยุ่นสูง (Apper-Bossard *et al.*, 2013) ทำให้อาหารสูตรที่มีปริมาณแป้งสาลีต่อข้าวโพดมากกว่ามีความคงตัวของเม็ดอาหารกึ่งในน้ำมากกว่าและดัชนีในการละลายน้ำน้อยกว่าดัง Table 2 ซึ่งความคงตัวของเม็ดอาหารกึ่งในน้ำเป็นคุณสมบัติสำคัญของอาหารกึ่ง (Farmanfarmaian *et al.*, 1982) เนื่องจากกุ้งกินอาหารช้าและกินอาหารอย่างต่อเนื่อง (Jussila and Evans, 1998; Obaldo *et al.*, 2002) ในกรณีที่ความคงตัวของเม็ดอาหารกึ่งในน้ำไม่ดีเมื่ออาหารเม็ดจมน้ำเกิดการแตกกระจายของเม็ดอาหารและละลายไปกับน้ำส่วนหนึ่ง ทำให้เกิดการสูญเสียของอาหารและเป็นสาเหตุของน้ำเน่าเสีย (Ali *et al.*, 2005) แต่เมื่อเพิ่มสารประสานเม็ด 0.4% ส่งผลให้ความคงตัวของเม็ดอาหารกึ่งในน้ำเพิ่มขึ้นและดัชนีในการละลายน้ำลดลง โดยสารประสานเม็ดช่วยให้อาหารจับตัวกันแน่นขึ้นในการอัดเม็ดอาหาร ทำให้ระยะเวลา

คงตัวของเม็ดอาหารในน้ำได้นานขึ้น ลดการการสูญเสียของอาหารที่ละลายไปกับน้ำ สอดคล้องกับผลการเติบโตของกุ้งขาวกลุ่มที่เลี้ยงด้วยอาหาร T1 และกลุ่มที่เลี้ยงด้วยอาหาร T3 ซึ่งมีอัตราการเติบโตเฉลี่ยต่อวัน (ADG) และการเติบโตจำเพาะ (SGR) มากกว่ากลุ่มที่เลี้ยงด้วยอาหาร T2 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.01$) สารประสานเม็ดรักษาความสมบูรณ์ทางกายภาพของเม็ดอาหารให้มีการสลายตัวและถูกชะล้างสารอาหารขณะอยู่ในน้ำน้อยที่สุดจนกว่ากุ้งจะได้อกิน (Obaldo *et al.*, 2002) ทำให้กุ้งได้รับโภชนาการมากขึ้นจึงส่งผลให้มีการเติบโตดีขึ้น ใกล้เคียงกับกุ้งกลุ่มที่ได้รับอาหารจากแป้งสาลี ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาการใช้ข้าวโพดในอาหารกุ้งและการใช้ข้าวโพดอาหารสัตว์น้ำอื่น ๆ ของผู้วิจัยหลายท่าน (Niu *et al.*, 2012; Wang *et al.*, 2016)

การศึกษาภูมิคุ้มกันของกุ้งขาวที่ได้รับอาหารทดลองทั้ง 3 กลุ่ม (Table 4) พบว่า กุ้งที่ได้รับอาหารใช้ข้าวโพดทดแทนแป้งสาลีที่ระดับ 50% (T2) และข้าวโพดทดแทนแป้งสาลีที่ระดับ 50% ร่วมกับสารประสานเม็ด 0.4% (T3) มีปริมาณโปรตีนในน้ำเลือดเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) แสดงถึงความสามารถในการย่อยและดูดซึมสารอาหารโดยเฉพาะโปรตีนมีประสิทธิภาพดี ปริมาณซูเปอร์ออกไซด์ดิสมิวเตสเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.01$) ซึ่งเอนไซม์ซูเปอร์ออกไซด์ดิสมิวเตสทำหน้าที่ต้านอนุมูลอิสระโดยเร่งปฏิกิริยาเปลี่ยนอนุมูลซูเปอร์ออกไซด์แอนไอออนให้เป็นไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ (Nimse and Pal, 2015) เนื่องจากการที่อาหารมีค่าความคงทนของอาหารในน้ำดีสูญเสียสารอาหารในน้ำน้อย กุ้งกินอาหารได้มาก สารอาหารที่ได้รับจึงส่งผลต่อการสร้างสารในระบบภูมิคุ้มกัน ทำให้กุ้งแข็งแรงมีสุขภาพดี ภูมิคุ้มกันโรคดี

Table 3. Growth performance of whiteleg shrimp fed with experimental diets

Growth performance	T1	T2	T3	SEM	P-value
Initial weight (g/shrimp)	1.26±0.03	1.27±0.04	1.28±0.06	0.01	0.820
Final weight (g/shrimp)	9.60±0.23 ^a	8.40±0.32 ^b	9.46±0.08 ^a	0.17	<0.001
Weight gain (g/shrimp)	8.34±0.21 ^a	7.13±0.32 ^b	8.19±0.06 ^a	0.17	<0.001
Average daily gain (g/shrimp/day)	0.15±0.00 ^a	0.13±0.01 ^b	0.15±0.00 ^a	0.00	<0.001
Specific growth rate (%/day)	3.63±0.01 ^a	3.38±0.08 ^b	3.58±0.07 ^a	0.04	0.001
Survival rate (%)	92.50±9.57	92.50±5.00	85.00±5.77	2.13	0.274
Feed conversion ratio	1.30±0.11 ^b	1.51±0.07 ^a	1.43±0.09 ^{ab}	0.04	0.029
Protein efficiency ratio	1.90±0.16 ^a	1.62±0.07 ^b	1.76±0.11 ^{ab}	0.05	0.024

Mean with different superscripts in the same row are significantly different ($P<0.05$), SEM = standard error of means

Table 4. Immune parameters of whiteleg shrimp fed with experimental diets

Parameter	T1	T2	T3	SEM	P-value
Total haemocyte count ($\times 10^5$ cell/ml)	33.00±1.41	34.75±1.50	35.25±3.86	0.72	0.450
Hemolymph protein (g/dL)	4.42±0.19 ^b	5.03±0.15 ^a	5.28±0.39 ^a	0.13	0.004
Phenoloxidase activity (unit/min/mg protein)	70.86±6.71	68.33±4.07	71.04±5.84	1.52	0.757
Lysozyme activity (unit/ml)	310.00±107.08	166.67±28.67	251.67±79.93	27.19	0.083
Superoxide dismutase activity (unit/ml)	10.90±0.56 ^b	13.62±0.81 ^a	14.27±0.92 ^a	0.48	<0.001
Glutathione (nMole/ml)	31.91±1.29 ^a	31.18±0.59 ^{ab}	30.22±0.05 ^b	0.30	0.049
Color (SalmoFan No.)	21.38±0.52	22.75±0.71	21.75±1.67	0.24	0.052

Mean with different superscripts in the same row are significantly different ($P<0.05$), SEM = standard error of means

(Kantho *et al.*, 2008; Lessard and Brisson, 1987) อีกทั้งในข้าวโพดมีสารต้านอนุมูลอิสระในกลุ่มแคโรทีนอยด์ (carotenoids) ได้แก่ ซีแซนทีน (zeaxanthin) ลูทีน (lutein) คริปโตแซนทีน (cryptoxanthin) และเบต้าแคโรทีน (beta carotene) ซึ่งส่งเสริมภูมิคุ้มกันโรคในสัตว์น้ำหลายชนิด เช่น ปลาคู้ (*Piaractus mesopotamicus*) กุ้งกุลาดำ (*Penaeus monodon*) และกุ้งขาว (*Penaeus vannamei*) เป็นต้น (Rossi *et al.*, 2020; Song *et al.*,

2024; Wang *et al.*, 2021) จึงทำให้พบปริมาณซูเปอร์ออกไซด์ดีสมิวเตสและปริมาณโปรตีนในน้ำเลือดของกุ้งที่ได้รับอาหาร T2 และ T3 มากกว่ากุ้งที่ได้รับอาหาร T1 และทำให้กุ้งในกลุ่มที่ได้รับอาหาร T2 และ T3 มีแนวโน้มของสีกุ้งเข้มสุด (Table 4) เข้มกว่ากุ้งที่ได้รับอาหาร T1 เล็กน้อย ($P=0.052$) ทั้งนี้การศึกษาระบบภูมิคุ้มกันของกุ้งขาวครั้งนี้เป็นการศึกษาในสภาวะปกติทั่วไปที่ไม่มีการเหนี่ยวนำความเครียด และการเกิดโรค

การศึกษาค่าการย่อยได้ของโปรตีนและคาร์โบไฮเดรตของอาหารกุ้งในห้องปฏิบัติการ (Table 5) พบว่า อาหารทั้ง 3 สูตรคืออาหารสูตรข้าวโพดทดแทนแป้งสาลี 0% ร่วมกับสารประสานเม็ด 0% (T1), อาหารสูตรข้าวโพดทดแทนแป้งสาลี 50% ร่วมกับสารประสานเม็ด 0% (T2) และอาหารสูตรข้าวโพดทดแทนแป้งสาลี 50% ร่วมกับสารประสานเม็ด 0.4% (T3) มีค่าการย่อยได้ของโปรตีนและคาร์โบไฮเดรตในห้องปฏิบัติการไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($P > 0.05$) โดยมีแนวโน้มการย่อยได้ของกรดอะมิโนในอาหารที่ใช้ข้าวโพดทดแทนแป้งสาลี 50% ร่วมกับสารประสานเม็ด 0.4% มีค่าการย่อยได้สูงกว่ากลุ่มอื่นๆ ($P = 0.068$) นอกจากนี้อาหารในกลุ่มควบคุม (T1) และกลุ่มที่ใช้ข้าวโพดทดแทนแป้งสาลี 50% ร่วมกับสารประสานเม็ด 0.4% มีแนวโน้มการย่อยได้ของเฮมิเซลลูโลส ($P = 0.055$) และคาร์โบไฮเดรตโดยรวมสูงกว่ากลุ่มใช้ข้าวโพดทดแทนแป้งสาลี 50% โดยไม่เติมสารประสานเม็ด ($P = 0.060$) แสดงว่าการใช้สารประสานเม็ดมีผลให้อาหารมีการย่อยได้ดีขึ้นเนื่องจากในสารประสานเม็ดมีแร่ธาตุแคลเซียมและแร่ธาตุอื่นๆ จำนวนหนึ่งจึงอาจมีผลต่อการเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาการทำงานของเอนไซม์ในทางเดินอาหารที่ใช้ในการย่อยโปรตีนและเยื่อใย (Maugle *et al.*, 1982;

Silva *et al.*, 2016) นอกจากนี้จากผลการศึกษาโดยรวมแล้ว พบว่า การย่อยได้ของโปรตีนและคาร์โบไฮเดรตของข้าวสาลี และข้าวโพด ในกุ้งขาวไม่แตกต่างกันมากนัก ยกเว้น การย่อยได้ของเฮมิเซลลูโลสในข้าวโพดที่มีข้อมูลเชิงตัวเลขต่ำกว่าการย่อยได้ของเฮมิเซลลูโลสในข้าวสาลีค่อนข้างมาก แสดงว่าประเด็นเรื่องการเติบโตเป็นผลจากลักษณะทางกายภาพของอาหารที่ใช้ข้าวโพดมีการละลายน้ำสูง กุ้งได้รับสารอาหารน้อยลงจึงส่งต่อการเติบโตช้า แต่เมื่อมีการเสริมสารประสานเม็ดค่าการละลายน้ำของเม็ดอาหารลดลง และการย่อยของอาหารดีขึ้น จึงมีผลให้การเติบโตดีขึ้น

การใช้ข้าวโพดทดแทนแป้งสาลีทำให้ต้นทุนราคาอาหารกุ้งมีแนวโน้มลดลง แต่หากพิจารณาเรื่องอัตราการเจริญเติบโต อาจมีต้นทุนในการผลิตกุ้งที่สูงขึ้นเนื่องจากกุ้งโตช้า อัตราการรอดต่ำ ดังนั้นแม้ว่าสามารถทำสูตรอาหารที่ได้ต้นทุนราคาต่ำ แต่ถ้าสูตรอาหารไม่ส่งผลให้กุ้งมีการเจริญเติบโตที่ดีก็ไม่ได้ทำให้ต้นทุนการผลิตกุ้งลดลงเสมอไป ซึ่งจากการศึกษานี้พบว่าเมื่อมีการใส่สารประสานเม็ดลงในสูตรอาหารพบว่ากุ้งมีการเจริญเติบโตดีขึ้น และได้ผลผลิตกุ้งมากขึ้น เนื่องจากคุณภาพทางกายภาพอาหารดีขึ้น โดยความคงตัวของเม็ดอาหารกุ้งในน้ำมากขึ้น ค่าดัชนีในการละลายน้ำลดลง

Table 5. *In vitro* digestibility of shrimp diet composed of corn replacing wheat flour

Digestibility	T1	T2	T3	SEM	<i>P</i> -value
Amino acid (g/100g)	3.79±0.17	3.61±0.26	4.14±0.24	0.10	0.068
Soluble protein (g/100g)	20.25±1.83	21.58±0.61	22.30±1.25	0.49	0.236
Sugar and starch (g/100g)	3.54±0.05	3.54±0.06	3.56±0.03	0.01	0.713
Hemicellulose (g/100g)	8.37±0.37	5.73±1.01	9.01±2.10	0.64	0.055
Cellulose (g/100g)	2.00±0.08	2.04±0.04	2.07±0.05	0.02	0.328
Mannan (g/100g)	1.70±0.08	1.74±0.02	1.78±0.07	0.02	0.342
Carbohydrate digestibility (g/100g)	15.61±0.18	13.05±1.13	16.43±2.17	0.65	0.060
Protein digestibility (g/100g)	24.04±1.97	25.19±0.44	26.43±1.49	0.54	0.207

SEM = standard error of means

สรุป

อาหารเม็ดสำหรับกุ้งขาวสามารถใช้ข้าวโพดทดแทนแป้งสาลีที่ระดับ 50% (คิดเป็นสัดส่วน 10% ในสูตรอาหาร) ร่วมกับการใช้สารประสานเม็ด (ลิกโนซัลโฟเนตผสมกับกัวกัม) ที่ระดับ 0.4% ในอาหาร โดยไม่ส่งผลกระทบต่อค่าการย่อยได้ของอาหาร ($P > 0.05$) และไม่ส่งผลกระทบต่อผลผลิตต่อสมรรถภาพการเติบโตและภูมิคุ้มกันของกุ้งขาว

เอกสารอ้างอิง

- Ali, S.A., C. Gopal, J.V. Ramana and A.R. Nazer. 2005. Effect of different sources of starch and guar gum on aqua stability of shrimp feed pellets. *Indian Journal of Fisheries* 52(3): 301-305.
- Alkoei, A.S., S.M.A. Jalali, S.A.H. Jalali and F. Kheiri. 2024. Effects of dietary corn and protein levels on physical properties of extruded feed pellets and growth performance of rainbow trout, *Oncorhynchus mykiss*. *Journal of the World Aquaculture Society* 55(1): 125-148.
- AOAC. 2000. Animal feed. pp. 1-54. *In*: W. Horwitz (ed.). *Official Methods of Analysis of AOAC International*. 17th ed. Association of Official Analytical Chemists (AOAC) International, Gaithersburg, Maryland.
- Apper-Bossard, E., A. Feneuil, A. Wagner and F. Respondek. 2013. Use of vital wheat gluten in aquaculture feeds. *Aquatic Biosystems* 9: 21, doi: 10.1186/2046-9063-9-21
- Bampidis, V., G. Azimonti, M. de Lourdes Bastos, H. Christensen, B. Dusemund, M. Kouba, M.K. Durjava, M. Lopez-Alonso, S.L. Puente, F. Marcon, B. Mayo, A. Pechova, M. Petkova, F. Ramos, Y. Sanz, R.E. Villa, R. Woutersen, G. Aquilina, G. Bories, J. Gropp, C. Nebbia, A. Finizio, A. Focks, I. Teodorovic, M.L. Innocenti and J. Tarres-Call. 2020. Safety of lignosulphonate for all animal species. *EFSA Journal* 18(2): e06000, doi: 10.2903/j.efsa.2020.6000.
- Bedford, M.R. and H.L. Classen. 1993. An *in vitro* assay for prediction of broiler intestinal viscosity and growth when fed rye-based diets in the presence of exogenous enzymes. *Poultry Science* 72(1): 137-143.
- Corey, A.M., K.G.S. Wamsley, T.S. Winowski and J.S. Moritz. 2014. Effects of calcium lignosulfonate, mixer-added fat, and feed form on feed manufacture and broiler performance. *Journal of Applied Poultry Research* 23(3): 418-428.
- Eid, A.E. and A.J. Matty. 1989. A simple *in vitro* method for measuring protein digestibility. *Aquaculture* 79(1-4): 111-119.
- Ellis, A.E. 1990. Lysozyme assays. pp. 101-103. *In*: J.S. Stolen, T.C. Fletcher, D.P. Anderson, B.S. Roberson and W.B. Van Muiswinkel (eds.). *Techniques in Fish Immunology*. SOS Publications, Fair Haven.
- Farmanfarmaian, A., T. Lauterio and M. Ibe. 1982. Improvement of the stability of commercial feed pellets for the giant shrimp (*Macrobrachium rosenbergii*). *Aquaculture* 27(1): 29-41.
- Hahor, W., K. Thongprajukaew, N. Nuntapong, S. Saekhow, K. Rungruangsak-Torrissen, T. Dumrongritamatt and A. Phonchai. 2022. Partial pretreatment of ingredient mixture effectively improved feed chemical composition, physicochemical properties and *in vitro* digestibility. *Animal Feed*

- Science and Technology 285: 115216, doi: 10.1016/j.anifeedsci.2022.115216.
- Hemre, G.-I. and D.-F. Deng. 2015. Carbohydrates. pp. 95-110. In: C.-S. Lee, C. Lim, D. M. Gatlin III and C.D. Webster (eds.). Dietary Nutrients, Additives and Fish Health. John Wiley and Sons, Hoboken, New Jersey.
- Jussila, J. and L.H. Evans. 1998. Growth and condition of marron *Cherax tenuimanus* fed pelleted diets of different stability. Aquaculture Nutrition 4(3): 143-149.
- Kanto, U., S. Juttupornpong and W. Jintanavich. 2008. Cassava feed formula for pigs, poultry, cattle, dairy cattle and fish. Animal Nutrition Research and Development Center of Kasetsart University, Nakhon Pathom. 56 p. (in Thai)
- Lessard, M. and G.J. Brisson. 1987. Effect of a *Lactobacillus* fermentation product on growth, immune response and fecal enzyme activity in weaned pigs. Canadian Journal of Animal Science 67(2): 509-516.
- Lowry, O.H., N.J. Rosebrough, A.L. Farr and R.J. Randall. 1951. Protein measurement with the Folin phenol reagent. Journal of Biological Chemistry 193(1): 265-275.
- Lund, D. and K.J. Lorenz. 1984. Influence of time, temperature, moisture, ingredients, and processing conditions on starch gelatinization. C R C Critical Reviews in Food Science and Nutrition 20(4): 249-273.
- Macedo, E.S., A.V. Urbich, J.S.T. Nakamura, T.P. da Cruz, P.A.P. Panaczewicz, B. Wernick, V.R.B. Furuya, L.E. Pezzato, D.M. Gatlin Iii and W.M. Furuya. 2023. Effect of xylanase and β -glucanase on growth performance, activity of digestive enzymes, digestibility, and microbiome diversity of juvenile Nile tilapia fed soybean meal and/or sorghum distillers dried grains with solubles-based diets. Aquaculture 565: 739134, doi: 10.1016/j.aquaculture.2022.739134.
- Machado, M.F., F.A.R. Oliveira, V. Gekas and R.P. Singh. 1998. Kinetics of moisture uptake and soluble-solids loss by puffed breakfast cereals immersed in water. International Journal of Food Science & Technology 33(3): 225-237.
- Maugle, P.D., O. Deshimaru, T. Katayama and K.L. Simpson. 1982. Characteristics of amylase and protease of the shrimp *Penaeus japonicus*. Bulletin of the Japanese Society of Scientific Fisheries 48(12): 1753-1757.
- Miller, G.L. 1959. Use of dinitrosalicylic acid reagent for determination of reducing sugar. Analytical chemistry 31(3): 426-428.
- Nascimento, A.A., E.S. de Macedo, G.S. Gonçalves, T.P. da Cruz, B. Wernick, V.R.B. Furuya and W.M. Furuya. 2023. Xylanase and β -glucanase in tandem improve performance, digestive enzymes activity and digestibility in juvenile Nile tilapia fed corn distillers' dried grains with solubles-added diet. Animal Feed Science and Technology 306: 115816, doi: 10.1016/j.anifeedsci.2023.115816.
- Nascimento, T.M.T., H. Buzollo, L.C.G. de Sandre, L.M. Neira, E.G. Abimorad and D.J. Carneiro. 2020. Apparent digestibility coefficients for amino acids of feed ingredients in tambaqui (*Colossoma macropomum*) diets. Revista Brasileira de Zootecnia 49: e20190032.

- National Research Council. 1993. Nutrient Requirements of Fish. National Academies Press, Washington, DC. 114 p.
- Nimse, S.B. and D. Pal. 2015. Free radicals, natural antioxidants, and their reaction mechanisms. RSC Advances 5(35): 27986-28006.
- Niu, J., H.-Z. Lin, S.-G. Jiang, X. Chen, K.-C. Wu, L.-X. Tian and Y.-J. Liu. 2012. Effect of seven carbohydrate sources on juvenile *Penaeus monodon* growth performance, nutrient utilization efficiency and hepatopancreas enzyme activities of 6-phosphogluconate dehydrogenase, hexokinase and amylase. Animal Feed Science and Technology 174(1-2): 86-95.
- Novriadi, R., E. Suwendi and R. Tan. 2022. The use of corn distiller's dried grains with solubles as a protein source in practical diets for Pacific white leg shrimp *Litopenaeus vannamei*. Aquaculture Reports 25: 101209, doi: 10.1016/j.aqrep.2022.101209.
- Novriadi, R., I. Istiqomah, A. Isnansetyo, D. Balk, M. Jolly-Breithaupt and S. Davies. 2023. Corn fermented protein in production diets for pacific white legged shrimp *Litopenaeus vannamei*: Improved growth performance, health status and resistance to infection. Aquaculture Reports 30: 101571, doi: 10.1016/j.aqrep.2023.101571.
- Obaldo, L.G., S. Divakaran and A.G. Tacon. 2002. Method for determining the physical stability of shrimp feeds in water. Aquaculture Research 33(5): 369-377.
- Parisenti, J., L.H. Beirao, V.L.C.G. Tramonte, F. Ourique, C.C. da Silveira Brito and C.C. Moreira. 2011. Preference ranking of colour in raw and cooked shrimps. International Journal of Food Science & Technology 46(12): 2558-2561.
- Plummer, D.T. 1988. An Introduction to Practical Biochemistry. 3rd ed. Tata McGraw Hill Publishing Co. Ltd., New Delhi. 292 p.
- Romano, N. and V. Kumar. 2019. Starch gelatinization on the physical characteristics of aquafeeds and subsequent implications to the productivity in farmed aquatic animals. Aquaculture 11(4): 1271-1284.
- Rossi, L.T., A.R. Sharpen, J.A. Zimmermann, C.R. Olivero, M.V. Zbrun, L.S. Frizzo, M.L. Signorini, C. Bacchetta, R.E. Cian, J. Cazenave, L.P. Soto and S.R. Drago. 2020. Intestinal microbiota modulation in juvenile Pacu (*Piaractus mesopotamicus*) by supplementation with *Pyropia columbina* and β -carotene. Aquaculture International 28(3): 1001-1016.
- Saleh, A.A., A.M. Elnagar, Y.Z. Eid, T.A. Ebeid and K.A. Amber. 2021. Effect of feeding wheat middlings and calcium lignosulfonate as pellet binders on pellet quality growth performance and lipid peroxidation in broiler chickens. Veterinary Medicine and Science 7(1): 194-203.
- Silva, B.C., H. Nolasco-Soria, F. Magallon-Barajas, R. Civera-Cerecedo, R. Casillas-Hernandez and W. Seiffert. 2016. Improved digestion and initial performance of whiteleg shrimp using organic salt supplements. Aquaculture Nutrition 22(5): 997-1005.
- Smith, V.J. and K. Soderhall. 1991. A comparison of phenoloxidase activity in the blood of marine invertebrates. Developmental & Comparative Immunology 15(4): 251-261.

- Song, G., Y. Zhao, J. Lu, Z. Liu, J. Quan and L. Zhu. 2024. Effects of astaxanthin on growth performance, gut structure, and intestinal microorganisms of *Penaeus vannamei* under microcystin-LR stress. *Animals* 14(1): 58, doi: 10.3390/ani14010058.
- Supamattaya, K., J. Raungsri, S. Kiriratnikom and N. Suanyuk. 2000. Immune system in black tiger shrimp, *Penaeus monodon* Fabricius: VI. Effect of diseases on immuno-physiological function and blood components in black tiger shrimp (*Penaeus monodon* Fabricius). *Songklanakarin Journal of Science and Technology* 22(Suppl.): 615-621. (in Thai)
- Swinkels, J.J.M. 1985. Composition and properties of commercial native starches. *Starch* 37(1): 1-5.
- Thai Industrial Standards Institute (TISI). 1993. Thailand Industrial Standard for Prawn Feed (TIS 1198). Thai Industrial Standards Institute, Bangkok. 16 p. (in Thai)
- Tiamiyu, L.O. and S.G. Solomon. 2012. Effects of different grain starches as feed binders for on-farm aqua-feeds. *Global Journal of Pure and Applied Sciences* 18(1&2): 19-23.
- Ukeda, H., D. Kawana, S. Maeda and M. Sawamura. 1999. Spectrophotometric assay for superoxide dismutase based on the reduction of highly water-soluble tetrazolium salts by xanthine-xanthine oxidase. *Bioscience, Biotechnology and Biochemistry* 63(3): 485-488.
- Wang, W., M. Liu, S. Fawzy, Y. Xue, M. Wu, X. Huang, G. Yi and Q. Lin. 2021. Effects of dietary *Phaffia rhodozyma* astaxanthin on growth performance, carotenoid analysis, biochemical and immune-physiological parameters, intestinal microbiota, and disease resistance in *Penaeus monodon*. *Frontiers in Microbiology* 12: 762689, doi: 10.3389/fmicb.2021.762689.
- Wang, X., E. Li, C. Xu, J.G. Qin, S. Wang, X. Chen, Y. Cai, K. Chen, L. Gan, N. Yu, Z.-Y. Du and L. Chen. 2016. Growth, body composition, ammonia tolerance and hepatopancreas histology of white shrimp *Litopenaeus vannamei* fed diets containing different carbohydrate sources at low salinity. *Aquaculture Research* 47(6): 1932-1943.
-

อิทธิพลของระยะเวลาการขนส่งต่อการเพาะเลี้ยงอาหารมีชีวิตกลุ่มแพลงก์ตอนพืช สำหรับการอนุบาลสัตว์น้ำวัยอ่อน

Influence of Transportation Period on Cultivation of Live Feed Phytoplankton for Nursery of Aquatic Animal Larvae

ชลดา ลีอราม^{*} รุ่งทิwa คนสันทัด และ วาสนา อากรรัตน์
Chonlada Leearam^{*}, Rungtiwa Konsantad and Wasana Arkronrat

สถานีวิจัยประมงคลองวาฬ คณะประมง มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ จ.ประจวบคีรีขันธ์ 77000

Klongwan Fisheries Research Station, Faculty of Fisheries, Kasetsart University, Prachuap Khiri Khan 77000, Thailand

^{*}Corresponding author: E-mail: Cld.leearam.77180@gmail.com

(Received: 5 July 2024; Accepted: 30 September 2024)

Abstract: Study of the influence of transportation period on cultivation of live feed phytoplankton 4 species such as *Chaetoceros calcitrans*, *Thalassiosira weissflogii*, *Chlorella* spp., and *Tetraselmis suecica* for nursery of aquatic larvae. Five experiments with four replicates: Phytoplankton inoculum that had been stored for 0(Control), 1(T1), 3(T2), 5(T3), and 7(T4) days. Key growth parameters, including cell density, specific growth rate (μ), and doubling time (D), were monitored and compared, cultivation period for 7 days to study (1) Effect of transportation time on growth performance of phytoplankton. It was found that transportation storage duration did not affect the growth performance of the four plankton species ($P>0.05$). (2) Durability of phytoplankton during transportation. It was found that the specific growth rate of *C. calcitrans* was the highest, while *T. suecica* was the lowest ($P<0.05$). Transportation storage duration of 0-3 days, *T. suecica* had a doubling time than *C. calcitrans*, but not significantly different from other plankton. However, the purpose of large-scale phytoplankton cultivation should be considered to develop or increase the production potential of phytoplankton used in aquatic larval nurseries.

Keywords: Live feed, phytoplankton, transportation duration, inoculum quality

บทคัดย่อ: การศึกษาอิทธิพลของระยะเวลาการขนส่งต่อการเพาะเลี้ยงอาหารมีชีวิตกลุ่มแพลงก์ตอนพืช 4 ชนิด ได้แก่ *Chaetoceros calcitrans*, *Thalassiosira weissflogii*, *Chlorella* spp. และ *Tetraselmis suecica* สำหรับการอนุบาลสัตว์น้ำวัยอ่อน การทดลองถูกแบ่งออกเป็น 5 ชุดการทดลอง ชุดละ 4 ซ้ำ คือ หัวเชื้อแพลงก์ตอนพืชที่เก็บรักษาตามระยะเวลาการขนส่งมาแล้ว 0 (Control), 1 (T1), 3 (T2), 5 (T3) และ 7 (T4) วัน มาเพาะขยายพันธุ์ ตรวจสอบและเปรียบเทียบพารามิเตอร์การเจริญเติบโตที่สำคัญ ได้แก่ ความหนาแน่นของเซลล์ อัตราการเจริญเติบโตจำเพาะ (μ) และระยะเวลาเพิ่มจำนวนเป็นสองเท่า (D) ที่ระยะเวลาการเลี้ยง 7 วัน เพื่อศึกษา (1) ผลของระยะเวลาการขนส่งต่อประสิทธิภาพการเจริญเติบโตของแพลงก์ตอนพืช พบว่า ระยะเวลาการขนส่งไม่ส่งผลต่อประสิทธิภาพการเจริญเติบโตของแพลงก์ตอนทั้ง 4 ชนิด ($P>0.05$) และ (2) ความทนทานของแพลงก์ตอนพืชตามระยะเวลาการขนส่ง พบว่า ในชุดการทดลอง *C. calcitrans* มีค่าอัตราการเจริญเติบโตจำเพาะ สูงที่สุดในขณะที่ *T. suecica* มีค่าต่ำที่สุด ($P<0.05$) และที่ระยะเวลาการขนส่งที่ 0-3 วัน *T. suecica* ใช้ระยะเวลาเพิ่มจำนวนเป็นสองเท่ามากกว่า *C. calcitrans* แต่ไม่ต่างต่างกับแพลงก์ตอนชนิดอื่น อย่างไรก็ตาม ควรคำนึงถึงวัตถุประสงค์ของการนำแพลงก์ตอนพืชไปเพาะขยายแบบปริมาณมาก ทั้งนี้เพื่อการพัฒนาหรือเพื่อเพิ่มศักยภาพการผลิตแพลงก์ตอนพืชที่ใช้ในการอนุบาลสัตว์น้ำวัยอ่อนต่อไป

คำสำคัญ: อาหารมีชีวิต แพลงก์ตอนพืช ระยะเวลาการขนส่ง คุณภาพหัวเชื้อ

คำนำ

อาหารมีชีวิต (แพลงก์ตอนพืช) มีบทบาทสำคัญในการสนับสนุนอุตสาหกรรมเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ เนื่องจากมีขนาดเล็กตั้งแต่ 5 ถึง 25 ไมครอน ทั้งนี้เพื่อการปรับปรุงพันธุ์ การผลิตสัตว์น้ำ หรือการทำฟาร์มสัตว์น้ำ การเติมแพลงก์ตอนพืชระหว่างการเลี้ยงสัตว์น้ำในระบบโรงเพาะฟัก จะช่วยเพิ่มการเจริญเติบโต การอยู่รอด การพรางตัว ลดความเครียด และเป็นอาหารที่ดีของลูกปลาในช่วง 2-3 วันแรกหลังจากฟักเป็นตัว (Gutierrez *et al.*, 2023) แพลงก์ตอนพืชกลุ่มสีเขียว กลุ่มไดอะตอม และกลุ่มแฟลกเจลเลตมักถูกใช้เป็นอาหารมีชีวิตที่สำคัญสำหรับสัตว์น้ำวัยอ่อนไม่ว่าจะเป็นลูกกุ้ง ลูกปู ลูกปลา หรือแม้แต่หอยสองฝา แพลงก์ตอนพืชที่นิยมนำมาใช้เป็นอาหาร ได้แก่ *Nannochloropsis*, *Chlorella*, *Tetraselmis*, *Chaetoceros*, *Thalassiosira*, และ *Isochrysis* เนื่องจากย่อยง่ายและมีขนาดที่เหมาะสม มีคุณค่าทางอาหารสูงที่สุดไปด้วยกรดไขมันไม่อิ่มตัว (polyunsaturated fatty acid, PUFA) เช่น EPA, ARA สามารถให้กับสัตว์น้ำโดยตรง หรือให้เป็นอาหารของแพลงก์ตอนสัตว์ และนำแพลงก์ตอนสัตว์มาเป็นอาหารแก่ลูกสัตว์น้ำอีกต่อหนึ่ง (Arkronrat *et al.* (2016); Arkronrat and Oniam (2019); Hemtanon

et al. (2012); Tapaneeaworawong *et al.* (2017); Taufik *et al.* (2016)) เป็นที่ทราบกันดีว่า ความสำเร็จของการผลิตแพลงก์ตอนพืชขึ้นขึ้นอยู่หลายปัจจัย โดยส่วนใหญ่เป็นปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการเจริญเติบโต เช่น อุณหภูมิ ความเค็ม แสง สารอาหาร และ pH (Borowitzka (2016); Ramlee *et al.* (2021))

ปัจจุบัน แพลงก์ตอนพืชสำหรับการอนุบาลสัตว์น้ำวัยอ่อนมีการคัดแยกหัวเชื้อสายพันธุ์บริสุทธิ์เพื่อจำหน่ายหรือแจกจ่ายจากห้องปฏิบัติการของหน่วยงานภาครัฐ ภาคเอกชน หรือจากฟาร์มการค้าให้กับเกษตรกร โดยนำหัวเชื้อเหล่านี้มาเพาะขยายและเพิ่มจำนวนเซลล์สำหรับใช้ให้มีปริมาณมาก จากกรณีของเกษตรกรผู้เลี้ยงกุ้งที่มีการซื้อโคโรนาโรสสดมาเพาะขยายเพื่อเป็นอาหารอนุบาลลูกกุ้งในระยะซูลี (zoea) มักประสบปัญหาเรื่องการเพาะขยายไม่ขึ้นเนื่องจากคุณภาพที่ไม่แน่นอนของหัวเชื้อที่เป็นผลมาจากระยะเวลาการขนส่งในรูปของเซลล์สดที่มีคุณภาพไม่คงที่และเก็บได้ไม่นาน (Kumar *et al.* (2023); Oostlander *et al.* (2020); Wongwilairat *et al.* (2016)) ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อ (1) ศึกษาอิทธิพลของระยะเวลาการขนส่งต่อประสิทธิภาพการเจริญเติบโตของแพลงก์ตอนพืช และ (2) ศึกษาความทนทานของแพลงก์ตอนพืชระหว่างสายพันธุ์ตามระยะเวลาการ

ขนส่งภายใต้สภาวะที่มีการควบคุมแบบเดียวกัน จากแพลงก์ตอนพืชเชิงพาณิชย์ 4 ชนิด ได้แก่ *Chaetoceros calcitrans* (CC), *Thalassiosira weissflogii* (Th), *Chlorella* spp. (Ch) และ *Tetraselmis suecica* (Te) มีการตรวจสอบและเปรียบเทียบพารามิเตอร์การเจริญเติบโตเพื่อเป็นข้อมูลที่สำคัญต่อการพัฒนาหรือเพิ่มศักยภาพการผลิตแพลงก์ตอนพืชที่ใช้ในการอนุบาลสัตว์น้ำวัยอ่อนต่อไป

อุปกรณ์และวิธีการ

การวางแผนการทดลอง

วางแผนการทดลองแบบสุ่มตลอด (completely randomized design; CRD) โดยแบ่งการทดลองออกเป็น 2 การทดลอง คือ (1) ศึกษาอิทธิพลของระยะเวลาการขนส่งต่อประสิทธิภาพการเจริญเติบโตของแพลงก์ตอนพืชแต่ละชนิด และ (2) ศึกษาความทนทานของแพลงก์ตอนพืชระหว่างสายพันธุ์ตามระยะเวลาการขนส่งภายใต้สภาวะที่มีการควบคุมแบบเดียวกัน ตรวจสอบและเปรียบเทียบพารามิเตอร์การเจริญเติบโตที่สำคัญ ได้แก่ ความหนาแน่นของเซลล์ อัตราการเจริญเติบโตจำเพาะ (specific growth rate; μ) และระยะเวลาเพิ่มจำนวนเป็นสองเท่า (doubling time; D) ของแพลงก์ตอนพืชกลุ่มไดอะตอม ได้แก่ *Chaetoceros calcitrans* (CC) และ *Thalassiosira weissflogii* (Th) และแพลงก์ตอนพืชกลุ่มสีเขียว ได้แก่ *Chlorella* spp. (Ch) และ *Tetraselmis suecica* (Te) ที่ระยะเวลาการเลี้ยง 7 วัน โดยแพลงก์ตอนพืชแต่ละชนิดถูกแบ่งออกเป็น 5 ชุด การทดลอง ชุดการทดลองละ 4 ขั้ว คือ หัวเชื้อแพลงก์ตอนพืชที่เก็บรักษาตามระยะเวลาการขนส่งมาแล้ว 0 (หัวเชื้อ CC, Th, Ch และ Te ที่ไม่ได้ผ่านการบรรจุในกล่องโฟม; Control), 1 (T1), 3 (T2), 5 (T3) และ 7 (T4) วัน ตามลำดับ

การเตรียมบรรจุหัวเชื้อแพลงก์ตอนพืช

ทำการศึกษาแพลงก์ตอนพืชกลุ่มไดอะตอม ได้แก่ *C. calcitrans* (CC) และ *T. weissflogii* (Th) และแพลงก์ตอนพืชกลุ่มสีเขียว ได้แก่ *Chlorella* spp. (Ch) และ *T. suecica* (Te) ที่ได้รับมาจากศูนย์วิจัยและ

พัฒนาการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำชายฝั่งประจวบคีรีขันธ์ กรมประมง มาเพาะขยายที่ระดับความเค็มน้ำ 28 ppt ภายในห้องปฏิบัติการเพาะเลี้ยงแพลงก์ตอนพืชของสถานีวิจัยประมงคลองวาฬ เพื่อทำเป็นหัวเชื้อ (stock culture) ใช้ในการศึกษา สุ่มตรวจนับปริมาณความหนาแน่นของเซลล์แพลงก์ตอนพืชแต่ละชนิด โดยใช้ Haemocytometer นับด้วย hand counter ภายใต้กล้องจุลทรรศน์ เพื่อกำหนดความหนาแน่นเซลล์เริ่มต้นเท่ากับ 1×10^6 เซลล์ต่อมิลลิลิตร แล้วบรรจุหัวเชื้อแพลงก์ตอนพืชปริมาตร 1 ลิตร ในถุงพลาสติกใสชั้น 2 ชั้น ขนาด 14×22 นิ้ว แล้วมัดถุงด้วยยาง กำหนดให้มีการใส่ขวดน้ำแข็งปริมาตรน้ำ 600 มิลลิลิตร จำนวน 2 ขวด ต่อแพลงก์ตอนพืช 4 ถุง ลงในกล่องโฟม ขนาด $15 \times 11.5 \times 13.5$ นิ้ว พร้อมด้วยเทอร์มอมิเตอร์ชนิดปรอท 1 อัน และปิดผลึกกล่องโฟมด้วยเทปกาว เก็บกล่องโฟมที่บรรจุหัวเชื้อแพลงก์ตอนพืชตามจำนวนวันที่ใช้ในการขนส่ง คือ ที่ระยะเวลา 1, 3, 5 และ 7 วัน ที่อุณหภูมิห้อง (Figure 1a)

การเตรียมน้ำและภาชนะเพาะเลี้ยง

ดำเนินการล้างทำความสะอาดอุปกรณ์ให้อากาศ (สายให้อากาศ และหัวทราย) และถังทดลอง (ถังพลาสติกสีขาว) ขนาด 10 ลิตร จำนวน 20 ถัง พร้อมตากให้แห้ง แล้วล้างทำความสะอาดถังพลาสติกขนาด 200 ลิตร สำหรับเตรียมน้ำทะเลความเค็ม 30 ppt ผ่านถุงกรองขนาด 5 ไมครอน ลงในถังพลาสติกปริมาตร 200 ลิตร ใส่เชื้อด้วยคลอรีนผง 65 เปอร์เซ็นต์ ระดับความเข้มข้น 5 ppm พร้อมทั้งให้อากาศ รอกจนคลอรีนสลายหมดและมีตรวจสอบคลอรีนโดยใช้โพแทสเซียมไอโอไดด์ (KI) จากนั้นปิดอากาศพักให้น้ำตกตะกอนและดูดตะกอนออก

วิธีการดำเนินการทดลอง

เก็บตัวอย่างแพลงก์ตอนพืชกลุ่มไดอะตอม ได้แก่ *C. calcitrans* (CC) และ *T. weissflogii* (Th) และแพลงก์ตอนพืชกลุ่มสีเขียว *Chlorella* spp. (Ch) และ *T. suecica* (Te) เพื่อหาเซลล์เริ่มต้นก่อนบรรจุลงในกล่องโฟมระยะเวลา 0 (หัวเชื้อ CC, Th, Ch และ Te ที่ไม่ได้ผ่านการบรรจุในกล่องโฟม; Control), 1 (T1), 3 (T2), 5 (T3) และ 7 (T4) วัน ตามลำดับ โดยไม่มีการ

เคลื่อนย้ายภายใต้อุณหภูมิห้อง เมื่อครบกำหนดจึงนำแพลงก์ตอนพืชจากกล่องโฟมในแต่ละกลุ่มการทดลองมาเพาะขยายแบบปริมาณมาก เป็นการเลี้ยงแบบกลางแจ้ง ใช้แสงธรรมชาติ ในถังทดลองปริมาตร 10 ลิตร (Figure 1b) ด้วยอาหารสูตรดัดแปลงมาจาก Sato and Serikawa (1978) สำหรับแพลงก์ตอนพืชกลุ่มไดอะตอม และใช้อาหารสูตรดัดแปลงมาจาก Wongrat (2000) สำหรับแพลงก์ตอนพืชกลุ่มสีเขียว โดยใช้สารละลายแต่ละส่วนในอัตราส่วน 1 มิลลิลิตรต่อน้ำเลี้ยง 1 ลิตร และใส่หัวเชื้อแพลงก์ตอนพืช 1 มิลลิลิตรต่อน้ำเลี้ยง 25 มิลลิลิตร ระหว่างการทดลองสุ่มตรวจนับปริมาณความหนาแน่นของเซลล์แพลงก์ตอนพืช โดยใช้ Haemocytometer นับด้วย hand counter ภายใต้กล้องจุลทรรศน์ทุก 12 ชั่วโมง เป็นเวลา 7 วัน เพื่อศึกษาการเพิ่มจำนวนสูงสุด อัตราการเจริญเติบโตจำเพาะ (μ) ของแพลงก์ตอนพืชในแต่ละชุดการทดลอง ตามสมการ (1)

$$\mu = \frac{\ln N_2 - \ln N_1}{t_2 - t_1} \quad (1)$$

Where; N_2 and N_1 are the number of cells (N) at the start (t_2) and end (t_1), respectively, of the logarithmic growth phase (Leearam *et al.*, 2024)

นำค่าอัตราการเจริญเติบโตจำเพาะ (μ) ที่ได้มาคำนวณระยะเวลาการแบ่งเซลล์เป็นสองเท่า (D) ซึ่งเป็นระยะเวลาที่เซลล์สาหร่ายใช้ในการแบ่งเซลล์ออกเป็นสองเซลล์มีหน่วยเป็นวัน และสามารถคำนวณได้ตามสมการ (2)

$$D = \frac{\ln 2}{\mu} \quad (2)$$

Where; $\ln 2 = 0.693$ and specific growth rate (μ) (Leearam *et al.*, 2024)

การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ

วิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติโดยการวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) และเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยอัตราการเจริญเติบโตจำเพาะ และ ระยะเวลาเพิ่มจำนวนเป็นสองเท่า เพื่อหาความแตกต่างของข้อมูลในแต่ละชุดการทดลองด้วยวิธี Duncan's multiple range test (DMRT) ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ โดยวิเคราะห์และประมวลผลด้วยโปรแกรมสำเร็จรูป IBM SPSS statistics for windows (version 24.0; IBM Corp., Armonk, NY, USA)

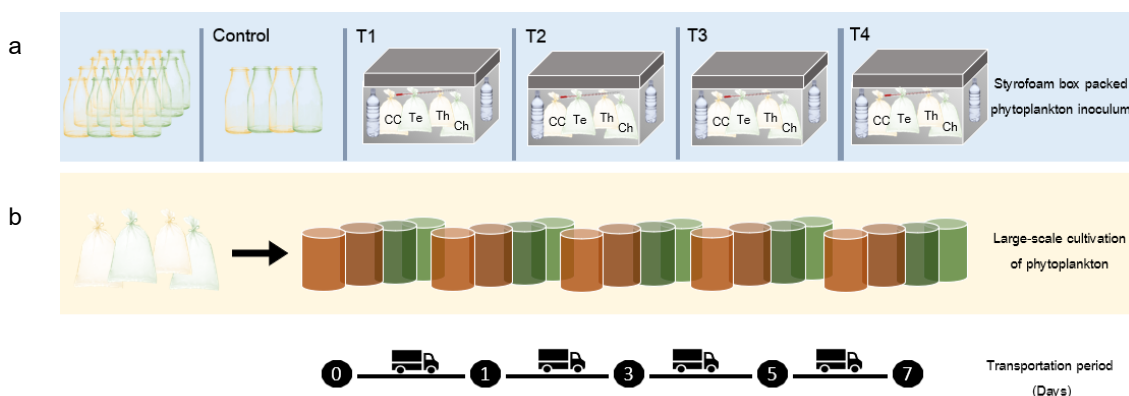


Figure 1. An overview of the experimental workflow implemented in this study. (a) Packaging of phytoplankton inoculum in Styrofoam box (b) Large-scale cultivation of phytoplankton after

ผลการศึกษาและวิจารณ์

การศึกษาอิทธิพลของระยะเวลาการขนส่งต่อประสิทธิภาพการเจริญเติบโตของแพลงก์ตอนพืชแต่ละชนิด

หัวเชื้อแพลงก์ตอนพืชกลุ่มไดอะตอม ได้แก่ *C. calcitrans* (CC) และ *T. weissflogii* (Th) และกลุ่มสีเขียว ได้แก่ *Chlorella* spp. (Ch) และ *T. suecica* (Te) จากห้องปฏิบัติการ แพลงก์ตอนพืชแต่ละชนิดมีความหนาแน่นเซลล์เริ่มต้น เท่ากับ 1×10^6 เซลล์ต่อมิลลิลิตร มีอุณหภูมิเริ่มต้นเฉลี่ย เท่ากับ 26.6 ± 0.38 องศาเซลเซียส ก่อนบรรจุในกล่องโฟมที่มีขวดน้ำแข็งตามระยะเวลาการขนส่ง 1(T1), 3(T2), 5(T3) และ 7(T4) วัน เมื่อครบกำหนดการเก็บรักษาหัวเชื้อ พบว่า CC, Th, Ch และ Te มีอุณหภูมิเฉลี่ยหลังเปิดกล่องบรรจุ เท่ากับ 25.8 ± 1.63 , 26.4 ± 1.72 , 26.4 ± 1.72 , 26.3 ± 1.02 องศาเซลเซียส ตามลำดับ มาเพาะขยายอีกครั้ง

อัตราการเจริญเติบโตของ CC มีความหนาแน่นเซลล์เริ่มต้น เท่ากับ $0.20 \pm 0.02 \times 10^5$ เซลล์ต่อมิลลิลิตร จะเข้าสู่ระยะ exponential phase ในวันที่ 5 ของการเลี้ยงในทุกชุดการทดลอง ตามระยะเวลาการขนส่งที่ 0 (Control), 1 (T1), 3 (T2), 5 (T3) และ 7 (T4) วัน มีปริมาณความหนาแน่นเซลล์เฉลี่ย เท่ากับ $16.56 \pm 6.54 \times 10^5$, $13.41 \pm 3.60 \times 10^5$, $10.41 \pm 5.13 \times 10^5$, $9.44 \pm 2.56 \times 10^5$ และ $12.29 \pm 4.85 \times 10^5$ เซลล์ต่อมิลลิลิตร ตามลำดับ (Figure 2a)

อัตราการเจริญเติบโตของ Th มีความหนาแน่นเซลล์เริ่มต้น เท่ากับ $1.05 \pm 0.53 \times 10^5$ เซลล์ต่อมิลลิลิตร จะเข้าสู่ระยะ exponential phase ในวันที่ 4 ของการเลี้ยงในทุกชุดการทดลอง ตามระยะเวลาการขนส่งที่ 0 (Control), 1 (T1), 3 (T2), 5 (T3) และ 7 (T4) วัน มีปริมาณความหนาแน่นเซลล์เฉลี่ย เท่ากับ $20.37 \pm 5.18 \times 10^5$, $13.57 \pm 3.91 \times 10^5$, $17.66 \pm 5.78 \times 10^5$, $14.11 \pm 4.47 \times 10^5$ และ $15.59 \pm 5.86 \times 10^5$ เซลล์ต่อมิลลิลิตร ตามลำดับ (Figure 2b)

อัตราการเจริญเติบโตของ Ch มีความหนาแน่นเซลล์เริ่มต้น เท่ากับ $3.41 \pm 0.85 \times 10^5$ เซลล์ต่อมิลลิลิตร มาเพาะขยายแบบปริมาณมากกลางแจ้ง ใน

ชุดการทดลอง Control จะเข้าสู่ระยะ exponential phase ในวันที่ 7 ของการเลี้ยง มีปริมาณความหนาแน่นเซลล์เฉลี่ย เท่ากับ $37.18 \pm 30.27 \times 10^5$ เซลล์ต่อมิลลิลิตร ส่วนการเก็บระยะเวลาขนส่งที่ 1 (T1) วัน เข้าสู่ระยะ exponential phase ในวันที่ 4 ของการเลี้ยง มีปริมาณความหนาแน่นเซลล์เฉลี่ย เท่ากับ $31.28 \pm 19.28 \times 10^5$ เซลล์ต่อมิลลิลิตร และการเก็บตามระยะเวลาการขนส่งที่ 3 (T2), 5 (T3) และ 7 (T4) วัน จะเข้าสู่ระยะ exponential phase ในวันที่ 2 ของการเลี้ยง มีปริมาณความหนาแน่นเซลล์เฉลี่ย เท่ากับ $23.50 \pm 14.51 \times 10^5$, $28.26 \pm 19.68 \times 10^5$ และ $29.97 \pm 12.66 \times 10^5$ เซลล์ต่อมิลลิลิตร ตามลำดับ (Figure 2c)

อัตราการเจริญเติบโตของ Te มีความหนาแน่นเซลล์เริ่มต้น เท่ากับ $0.33 \pm 0.03 \times 10^5$ เซลล์ต่อมิลลิลิตร ในชุดควบคุม เข้าสู่ระยะ exponential phase ในวันที่ 6 ของการเลี้ยงปริมาณความหนาแน่นเซลล์เฉลี่ย เท่ากับ $5.40 \pm 2.00 \times 10^5$ เซลล์ต่อมิลลิลิตร ส่วนการเก็บรักษาตามระยะเวลาการขนส่งที่ 1 (T1), 3 (T2), 5 (T3) และ 7(T4) วัน ในแต่ละชุดการทดลองมีการเข้าสู่ระยะ exponential phase ในวันที่ 7 ของการเลี้ยง มีปริมาณความหนาแน่นเซลล์เฉลี่ย เท่ากับ $6.14 \pm 0.97 \times 10^5$, $4.73 \pm 1.50 \times 10^5$, $5.22 \pm 1.60 \times 10^5$ และ $4.83 \pm 2.77 \times 10^5$ เซลล์ต่อมิลลิลิตร ตามลำดับ (Figure 2d)

นอกจากนี้ความหนาแน่นเซลล์สูงสุด (max.CD) อัตราการเจริญเติบโตจำเพาะ (μ) และระยะเวลาที่ใช้ในการแบ่งเซลล์เป็นสองเท่า (D) ของ CC, Th, Ch และ Te ในแต่ละชุดการทดลองไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($P > 0.05$) (Table 1) ซึ่ง แสดงให้เห็นว่า แพลงก์ตอนทั้ง 4 ชนิดนี้มีอัตราการเจริญเติบโตและการเพิ่มจำนวนเซลล์ที่ใกล้เคียงกันภายใต้เงื่อนไขการทดลองนี้

การศึกษาความทนทานของแพลงก์ตอนพืชระหว่างชนิดตามระยะเวลาการขนส่ง

จากการเพาะขยายพันธุ์แพลงก์ตอนทั้ง 4 ชนิด โดยที่ไม่ได้ผ่านการเก็บรักษาตามระยะเวลาการขนส่งในกล่องโฟม (0 วัน) พบว่า *C. calcitrans* (CC) มีอัตราการเจริญเติบโตจำเพาะ (μ) เท่ากับ 0.93 ± 0.12 เซลล์ต่อวัน สูงกว่า *T. weissflogii* (Th), *Chlorella* spp. (Ch) และ *T. suecica* (Te) เท่ากับ 0.63 ± 0.12 , 0.62 ± 0.22 และ

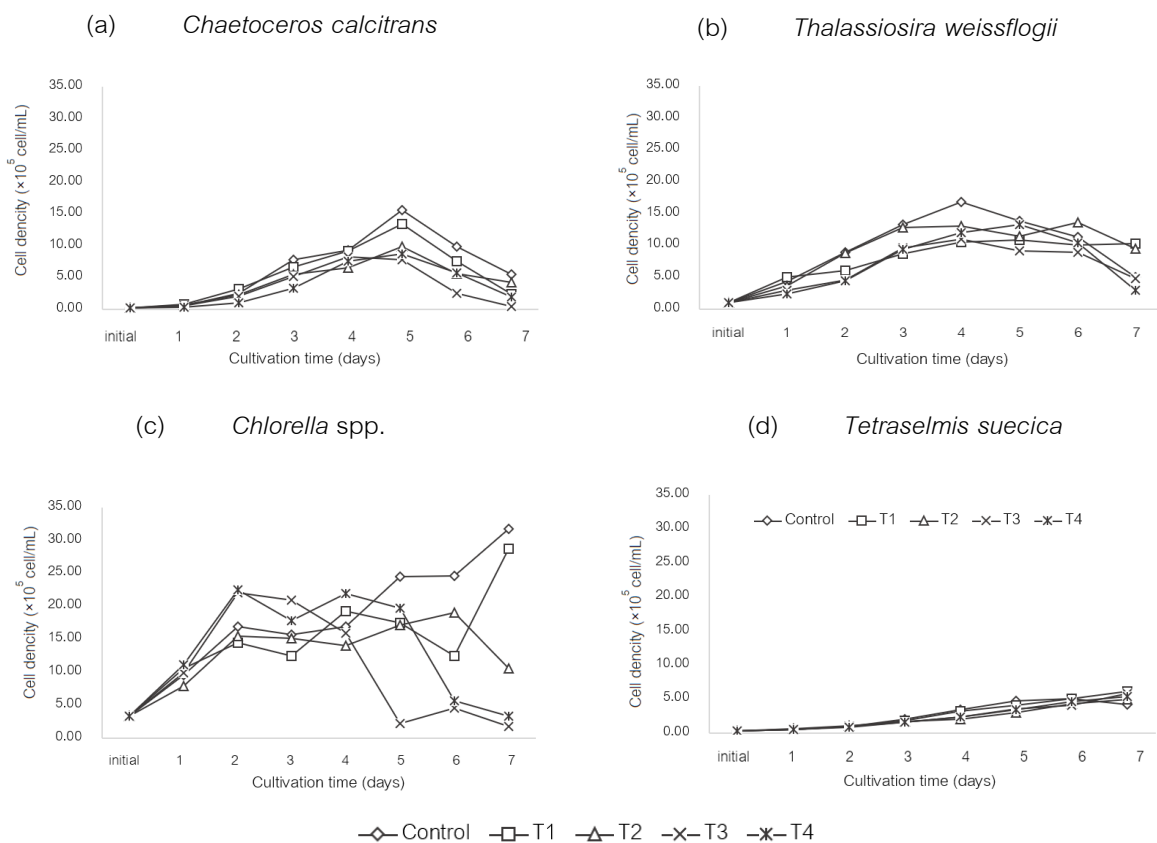


Figure 2. Cell densities of *C. calcitrans* (CC), *T. weissflogii* (Th), *Chlorella* spp. (Ch) and *T. suecica* (Te) re-cultures ability after stored for 0 (Control), 1 (T1), 3 (T2), 5 (T3), and 7 (T4) days.

0.49 $\pm$ 0.06 เซลล์ต่อวัน ตามลำดับ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) เมื่อเก็บรักษาตามระยะเวลาการขนส่งที่ 1 และ 3 วัน CC มี μ เท่ากับ 0.83 $\pm$ 0.05 และ 0.95 $\pm$ 0.25 เซลล์ต่อวัน ตามลำดับ) สูงกว่า Te (มี μ เท่ากับ 0.47 $\pm$ 0.07 และ 0.40 $\pm$ 0.01 เซลล์ต่อวัน ตามลำดับ) ($P < 0.05$) ในขณะเดียวกัน Th (มี μ เท่ากับ 0.53 $\pm$ 0.14 และ 0.66 $\pm$ 0.24 เซลล์ต่อวัน ตามลำดับ) และ Ch (มี μ เท่ากับ 0.78 $\pm$ 0.23 และ 0.68 $\pm$ 0.22 เซลล์ต่อวัน ตามลำดับ) ไม่แตกต่างกับ CC และ Te แต่ถ้าเก็บรักษาที่ระยะเวลาการขนส่งที่ 5 วันแพลงก์ตอนพืช CC, Th, Ch และ Te มี μ เท่ากับ 0.85 $\pm$ 0.12, 0.64 $\pm$ 0.22, 0.60 $\pm$ 0.37, และ 0.43 $\pm$ 0.26 เซลล์ต่อวัน ตามลำดับ ซึ่งไม่แตกต่างกัน ($P > 0.05$) และจากการเก็บรักษาตาม

ระยะเวลาการขนส่งนานที่สุด 7 วัน ทำให้แพลงก์ตอนพืชชนิด Te มี μ เท่ากับ 0.39 $\pm$ 0.14 เซลล์ต่อวัน น้อยที่สุด แต่ไม่แตกต่างกับ Th ($P > 0.05$) (Figure 3) นอกจากนี้การเพาะขยายพันธุ์แพลงก์ตอนทั้ง 4 ชนิด หลังจากเก็บรักษาตามระยะเวลาการขนส่งที่ 0 1 และ 3 วัน พบว่า CC มีระยะเวลาที่ใช้ในการแบ่งเซลล์เป็นสองเท่า (D) เท่ากับ 0.75 $\pm$ 0.09, 0.83 $\pm$ 0.05, และ 0.76 $\pm$ 0.20 วัน ตามลำดับ ดีกว่า Te (มี D เท่ากับ 1.41 $\pm$ 0.19, 1.49 $\pm$ 0.22, และ 1.72 $\pm$ 0.07 วันตามลำดับ) ซึ่งไม่แตกต่างกับ Th และ Ch และเมื่อเก็บรักษาตามระยะเวลาการขนส่งที่ 5 และ 7 วัน พบว่า แพลงก์ตอนทั้ง 4 ชนิด มีค่า D ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P > 0.05$) (Figure 4)

Table 1. Maximum cell density (max.CD; $\times 10^5$ cells/mL) specific growth rate (μ ; cells/day) and doubling time (D; day) of phytoplankton re-cultures ability after stored for 0, 1, 3, 5, and 7 days. (n = 4)

Phytoplankton	Re-cultures ability after stored (days)				
	0	1	3	5	7
<i>Chaetoceros calcitrans</i>					
max.CD	16.56 $\pm$ 6.54	13.41 $\pm$ 3.60	10.41 $\pm$ 5.13	9.44 $\pm$ 2.56	12.29 $\pm$ 4.85
μ	0.93 $\pm$ 0.12	0.83 $\pm$ 0.05	0.95 $\pm$ 0.25	0.85 $\pm$ 0.12	0.83 $\pm$ 0.21
D	0.75 $\pm$ 0.09	0.83 $\pm$ 0.05	0.76 $\pm$ 0.20	0.81 $\pm$ 0.10	0.86 $\pm$ 0.20
<i>Thalassiosira weissflogii</i>					
max.CD	20.37 $\pm$ 5.18	13.57 $\pm$ 3.91	17.66 $\pm$ 5.78	14.11 $\pm$ 4.47	15.59 $\pm$ 5.86
μ	0.63 $\pm$ 0.12	0.53 $\pm$ 0.14	0.66 $\pm$ 0.24	0.64 $\pm$ 0.22	0.57 $\pm$ 0.17
D	1.12 $\pm$ 0.21	1.38 $\pm$ 0.39	1.16 $\pm$ 0.41	1.17 $\pm$ 0.40	1.29 $\pm$ 0.40
<i>Chlorella</i> spp.					
max.CD	37.18 $\pm$ 30.27	31.28 $\pm$ 19.28	23.50 $\pm$ 14.51	28.26 $\pm$ 19.68	29.97 $\pm$ 12.66
μ	0.62 $\pm$ 0.22	0.78 $\pm$ 0.23	0.68 $\pm$ 0.22	0.60 $\pm$ 0.37	0.71 $\pm$ 0.20
D	1.21 $\pm$ 0.37	0.95 $\pm$ 0.30	1.11 $\pm$ 0.39	3.46 $\pm$ 5.14	1.04 $\pm$ 0.31
<i>Tetraselmis suecica</i>					
max.CD	5.40 $\pm$ 2.00	6.14 $\pm$ 0.97	4.73 $\pm$ 1.50	5.22 $\pm$ 1.60	4.83 $\pm$ 2.77
μ	0.49 $\pm$ 0.06	0.47 $\pm$ 0.07	0.40 $\pm$ 0.01	0.43 $\pm$ 0.02	0.39 $\pm$ 0.14
D	1.41 $\pm$ 0.19	1.49 $\pm$ 0.22	1.72 $\pm$ 0.07	1.58 $\pm$ 0.09	2.02 $\pm$ 1.02

No letter indicates no significant difference, where $P>0.05$

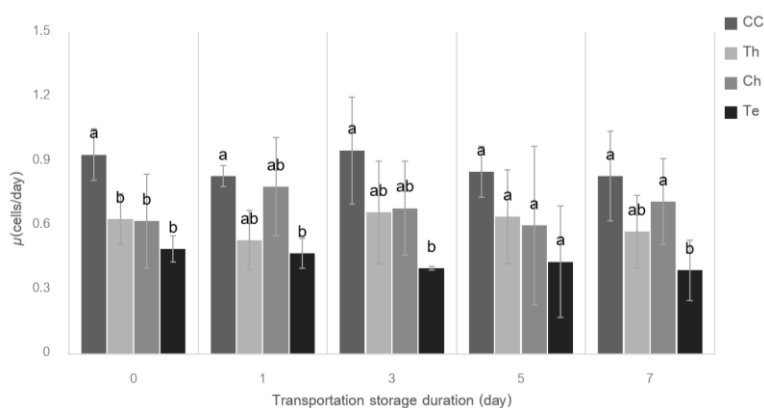


Figure 3. Specific growth rate (μ ; cells/day) of phytoplankton (CC, Th, Ch, and Te) re-cultures ability after stored for 0, 1, 3, 5, and 7 days. (n = 4) Lowercase letters indicate significant differences in specific growth rates of phytoplankton species at different transportation duration storage ($P<0.05$) (same letter or no letter indicates no significant difference, where $P>0.05$).

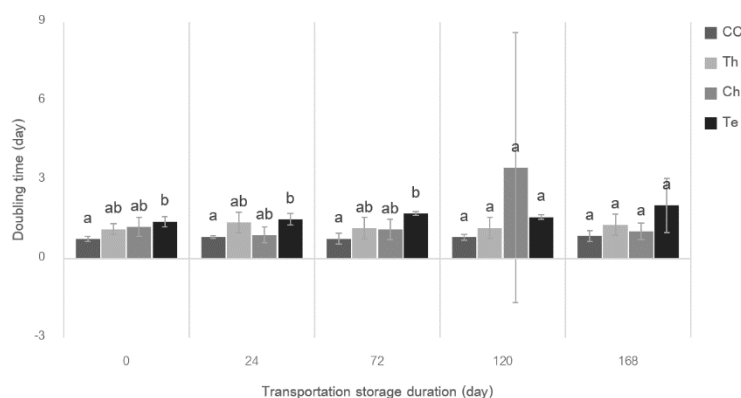


Figure 4. Doubling time (D ; day) (b) of phytoplankton (CC, Th, Ch, and Te) re-cultures ability after stored for 0, 1, 3, 5, and 7 days. ($n = 4$) Lowercase letters indicate significant differences in the doubling time of phytoplankton species at different transportation duration storage ($P < 0.05$) (same letter or no letter indicates no significant difference, where $P > 0.05$).

ความสำเร็จของการผลิตสัตว์น้ำวัยอ่อนในโรงเพาะฟักขึ้นอยู่กับสุขภาพสัตว์น้ำที่ปราศจากโรคและความพร้อมของอาหารมีชีวิต แพลงก์ตอนพืชที่นิยมเลี้ยงมีอยู่ด้วยกันหลายชนิด แต่ละชนิดมีบทบาทสำคัญอย่างมากต่อการอนุบาลลูกสัตว์น้ำวัยอ่อน เช่น *Chlorella* sp., *Isochrysis* sp., *Chaetoceros* spp. และ *Thalassiosira* spp. เป็นต้น (Arkronrat and Oniam (2012); Wongrat (1999)) คุณภาพของแพลงก์ตอนพืชเป็นสิ่งสำคัญโดยเฉพาะระยะเวลาที่เหมาะสมต่อการเก็บเกี่ยวหรือนำไปขยายต่อเพื่อนำไปอนุบาลลูกสัตว์น้ำวัยอ่อนต่อไป ประสิทธิภาพของการเพาะเลี้ยงแพลงก์ตอนพืชแบบหมวนนั้นขึ้นอยู่กับความเข้มข้นของเซลล์เริ่มต้นเพื่อให้ได้ผลผลิตดีขึ้น (Leearam *et al.* (2024); Sani *et al.* (2021)) การศึกษาก่อนหน้านี้มีการศึกษาเกี่ยวกับการเก็บรักษาคุณภาพหัวเชื้อที่มีปริมาณมากเกินความต้องการด้วยวิธีและกระบวนการต่าง ๆ ที่เหมาะสมเพื่อให้มีความใกล้เคียงกับอาหารสด เช่น การเก็บรักษาโดยใช้อุณหภูมิต่ำ การแช่แข็ง และการทำให้แห้ง เป็นต้น (Harith *et al.* (2010); Pankaew *et al.* (2011); Pimolrat *et al.* (2017); Pimolrat *et al.* (2023)) ในขณะเดียวกัน การเก็บรักษาหัวเชื้อแพลงก์ตอนพืชในกล่องโฟม โดยปราศจากแสง และสารอาหาร

ทำให้ในระยะแรกของการเพาะขยายแพลงก์ตอนพืช จะไม่มีการแบ่งเซลล์หรือการเจริญเติบโต เนื่องจากแพลงก์ตอนพืชแต่ละชนิดมีความทนทานต่อปัจจัยแวดล้อมหรือมีการปรับตัวเพื่อให้เข้ากับสภาพแวดล้อมใหม่ที่แตกต่างกัน โดยอุณหภูมิที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของแพลงก์ตอนพืชส่วนใหญ่ อยู่ในช่วง 20 ถึง 30 องศาเซลเซียส (Jalal *et al.* (2013); Singh *et al.* (2015); Liammai (2018)) จากการศึกษาผลระยะเวลากการขนส่งต่อประสิทธิภาพการเจริญเติบโตของแพลงก์ตอนพืช CC, Th, Ch และ Te ที่ระยะเวลา 0, 1, 3, 5 และ 7 วัน นั้นสามารถทำได้โดยไม่ส่งผลกระทบต่อทางลบในการเพาะขยายต่อ กล่าวคือ เกษตรกรในพื้นที่ห่างไกลสามารถเพาะขยายแพลงก์ตอนพืชทั้ง 2 กลุ่มได้ ถึงแม้หากเกิดความล่าช้าจากการขนส่งมากที่สุดที่ 7 วัน ระยะเวลากการขนส่งไม่ได้ส่งผลกระทบต่อประสิทธิภาพการเจริญเติบโตของแพลงก์ตอนพืชสามารถเพาะขยายได้เป็นปกติเพื่อนำมาอนุบาลสัตว์น้ำวัยอ่อน และจากการศึกษาความทนทานของแพลงก์ตอนพืชระหว่างชนิดตามระยะเวลากการขนส่ง พบว่าแพลงก์ตอนพืช CC มีอัตราการเจริญเติบโตจำเพาะ (μ) สูงที่สุด โดยที่แพลงก์ตอนพืช Th ไม่ได้แตกต่างกับ CC ตามระยะเวลากการเก็บรักษาเพื่อการขนส่งที่เพิ่มขึ้น

สนับสนุนคำกล่าวของ Vona *et al.* (2016) กล่าวว่า ลักษณะทางชีววิทยาของแพลงก์ตอนกลุ่มไดอะตอมมีเปลือก diatom frustules เป็นผนังเซลล์ที่ประกอบด้วยซิลิกา ปรับตัวได้เร็ว ส่วนแพลงก์ตอนกลุ่มสีเขียว Ch ที่มีลักษณะผนังเซลล์หนา (Weber *et al.*, 2016) จึงมีความทนทานต่อการเก็บรักษาในสภาวะไม่มีแสง (กล่องโฟม) ได้ ในขณะเดียวกัน Te มีความสามารถในการปรับตัวได้น้อยที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับแพลงก์ตอนพืชชนิดอื่น เนื่องจากโครงสร้างเซลล์ของ Te มีลักษณะเป็นเส้นสาย (flagellate) ความสามารถในการปรับตัวจึงช้ากว่าแพลงก์ตอนกลุ่มอื่น สอดคล้องกับการศึกษาของ Leearam *et al.* (2024) จากการศึกษาครั้งนี้ พบว่า Te มีค่า μ เท่ากับ 0.39-0.49 เซลล์ต่อวัน และค่า D เท่ากับ 1.41-2.02 วัน โดย Te มี D มากกว่า CC ตามระยะเวลาการขนส่งที่ 0 1 และ 3 วัน แต่ไม่แตกต่างกับ Th และ Ch แต่เมื่อเก็บรักษาตามระยะเวลาการขนส่งที่ 5 และ 7 วัน พบว่า แพลงก์ตอนพืชทั้ง 4 ชนิดมีค่า D ไม่แตกต่างกัน สอดคล้องกับการทดลองของ Fakhri *et al.* (2015) ที่รายงานว่าค่า μ และค่า D ของ Te มีค่าอยู่ในช่วง 0.41-0.44 เซลล์ต่อวัน และ 1.24-1.56 วัน ตามลำดับ

สรุป

การเก็บรักษาหัวเชื้อแพลงก์ตอนพืชกลุ่มไดอะตอม ได้แก่ *C. calcitrans* (CC) และ *T. weissflogii* (Th) และกลุ่มสีเขียว ได้แก่ *Chlorella* spp. (Ch) และ *T. suecica* (Te) ในกล่องโฟมตามระยะเวลาการขนส่งไม่ส่งผลกระทบต่อประสิทธิภาพการเจริญเติบโตของแพลงก์ตอนแต่ละชนิด ดังนั้น หากเกิดความล่าช้าจากการขนส่งมากที่สุดที่ 7 วัน ยังสามารถเพาะขยายแพลงก์ตอนพืชทั้ง 2 กลุ่มได้ นอกจากนี้ความทนทานของแพลงก์ตอนพืชระหว่างชนิดตามระยะเวลาการขนส่ง เมื่อมีการตรวจสอบและเปรียบเทียบพารามิเตอร์การเจริญเติบโตที่สำคัญ พบว่า CC มีอัตราการเจริญเติบโตจำเพาะ (μ) สูงกว่า Te และ Te ใช้ระยะเวลาในการเพิ่มจำนวนเป็นสองเท่า (D) นานกว่า CC ในช่วง 0-3 วันตามระยะเวลาขนส่ง โดยที่แพลงก์ตอนพืช Th และ Ch มี μ และ D

ไม่แตกต่างกับ CC และ Te ตามระยะเวลาการเก็บรักษาเพื่อการขนส่งที่เพิ่มขึ้น อย่างไรก็ตาม แม้ผลการทดลองจะแสดงว่าแพลงก์ตอนพืชทั้ง 4 ชนิดสามารถทนต่อระยะเวลาการขนส่งได้ดี แต่ควรพิจารณาถึงวัตถุประสงค์และความต้องการเฉพาะของเกษตรกรในพื้นที่ห่างไกล เพื่อการพัฒนาและเพิ่มศักยภาพการผลิตอาหารมีชีวิตที่ใช้ในการอนุบาลสัตว์น้ำวัยอ่อน ควรมีการวางแผนการขนส่งและการเก็บรักษาที่เหมาะสมเพื่อรักษาคุณภาพและประสิทธิภาพสูงสุดต่อไป

เอกสารอ้างอิง

- Arkronrat, W. and V. Oniam. 2012. Effects of light color on microalgae production (*Isochrysis* sp., *Thalassiosira* spp., *Chlorella* sp. and *Tetraselmis* spp.) in laboratory. pp. 574-581. In: Proceedings of 50th Kasetsart University Annual Conference: Fisheries. Kasetsart University, Bangkok. (in Thai)
- Arkronrat, W. and V. Oniam. 2019. Growth performance and production cost of laboratory-scale marine microalgae culture using a light emitting diode. Songklanakarin Journal of Science and Technology 41(5): 1093-1100.
- Arkronrat, W., P. Deemark and V. Oniam. 2016. Growth performance and proximate composition of mixed cultures of marine microalgae (*Nannochloropsis* sp. & *Tetraselmis* sp.) with monocultures. Songklanakarin Journal of Science and Technology 38(1): 1-5.
- Borowitzka, M.A. 2016. Algal physiology and large-scale outdoor cultures of microalgae. pp. 601-652 In: M.A. Borowitzka, J. Beardall and J.A. Raven (eds.). The Physiology of Microalgae, Springer, Cham

- Fakhri, M., N.B. Arifin, B. Budianto, A. Yuniarti and A.M. Hariati. 2015. Effect of salinity and photoperiod on growth of microalgae *Nannochloropsis* sp. and *Tetraselmis* sp. Nature Environment and Pollution Technology 14(3): 563-566.
- Gutierrez, R.C., M.P. Rutaquio, F.A. Aya and M.R.R. Romana-Eguia. 2023. Culture of Natural Food for Farmed Freshwater Fish and Prawn Larvae. Aquaculture Extension Manual No. 71. Southeast Asian Fisheries Development Center, Aquaculture Department, Iloilo. 34 p.
- Harith, Z.T., F.M. Yosoff, M. Shariff and A.B. Ariff. 2010. Effect of different separation techniques and storage temperature on the viability of marine microalgae, *Chaetoceros-calci-trans*, during storage. Biotechnology 9(3): 387-391.
- Hemtanon, P., S. Chumworathayi, K. Koolkaew and M. Tamtin. 2012. Nursing of Blue Swimming Crab Larvae (*Portunus pelagicus* Linnaeus, 1758) with Zooplankton Enriched *Chaetoceros gracilis* and *Nannochloropsis* sp. with Various Ratios. Technical Document. Coastal Fisheries Research and Development Center, Nakomsrithammarat. 16 p. (in Thai)
- Jalal, K.C.A., A.A. Shamsuddin, M.F. Rahman, N.Z. Nurzatul and M. Rozihan. 2013. Growth and total carotenoid, chlorophyll a and chlorophyll b of tropical microalgae (*Isochrysis* sp.) in laboratory cultured conditions. Journal of Biological Sciences 13(1): 10-17.
- Kumar, A.N., S. Sridhar, K.R. Jayappriyan and R. Raja. 2023. Applications of microalgae in aquaculture feed. pp. 421-433. In: E. Jacob-Lopes, M.I. Queiroz, M.M. Maroneze, and L.Q. Zepka (eds.) Handbook of Food and Feed from Microalgae. Academic Press, London.
- Leearam, C., R. Konsantad and W. Arkronrat. 2024. Effects of transportation period on change in *Isochrysis* aff. *galbana* (T-Iso) inoculum quality. pp. 164-170. In: Proceedings of the 62nd Kasetsart University Annual Conference: Fisheries. Kasetsart University, Bangkok. (in Thai)
- Liammai, S. 2018. Enrichment technique of rotifers with *Isochrysis* aff. *galbana* clone T- Iso supplemented with nitrate under optimal salinity and light intensity. M.S. Thesis, Kasetsart University Bangkok. 88 p.
- Oostlander, P.C., J. van Houcke, R.H. Wijffels and M.J. Barbosa. 2020. Microalgae production cost in aquaculture hatcheries. Aquaculture 52510.1016/j.aquaculture. 2020.735310.
- Pankaew, A., S. Powtongsook, W. Klaypradit, and J. Salaenoi. 2011. Study on storage duration of *Thalassiosira* sp. for shrimp larviculture. Khon Kaen Agriculture Journal 39(4): 369-378.
- Pimolrat, P., P. Sriyasak, S. Direkbusarakom, S. Wuthisuthimethavee, and P. Chotipuntu. 2017. Effects of cold storage duration on survival rate, growth, and biochemical compositions of diatom *Chaetoceros gracilis*. Khon Kean Science Journal 45(4): 782-792. (in Thai)
- Pimolrat, P., P. Pimonrat, S. Suwanpakdee, P. Sriyasak. 2023. Effect of culture media on the growth and water quality during culture of *Nannochloropsis* sp. pp. 131-139. In: Proceedings of the 2nd National Conference on Natural Resources and

- Health Science: Faculty of Natural Resource, Rajamangala University of Technology Isan Sakonnakhon Campus, Sakonnakhon. (in Thai)
- Ramlee, A., N.W. Rasdi, M.E.A. Wahid and M. Jusoh. 2021. Microalgae and the factors involved in successful propagation for mass production. *Journal of Sustainability Science and Management* 16(3): 21-42.
- Sani, E.R.A., W.T.L. Yong, G.J.W.L. Chin and M. Misson. 2021. Growth and lipid production of *Isochrysis galbana* in an upscale cultivation system. *Transactions on Science and Technology* 8(2): 203-209.
- Sato, T. and M. Serikawa. 1987. Mass culture of marine diatom, *Nitzschia cloctinum*. *Bulletin of the Plankton Society of Japan* 15(1): 13-16.
- Singh, S. and P. Singh. 2015. Effect of temperature and light on the growth of algae species: A review. *Renewable and Sustainable Energy Review* 50(1): 431-44.
- Tapaneeyaworawong, P., N. Peungla-aw, P. Chumtong, M. Kutako and S. Powtongsook. 2017. Growth of a small-sized diatom *Amphora coffeaeformis* BUUC1601 isolated from estuary, Chanthaburi province, under batch and continuous cultivation. *Khon Kaen Agriculture Journal* 45 (suppl.1): 133-139. (in Thai)
- Taufik, M., Z. Bachok, M.N. Azra and M. Ikhwanuddin. 2016. Effects of various microalgae on fatty acid composition and survival rate of the blue swimming crab *Portunus pelagicus* larvae. *Indian Journal of Geo Marine Sciences* 45(11): 1512-1521
- Vona, D., L. Urbano, M.A. Bonifacio, E.D. Giglio, S. Cometa, M. Mattioli-Belmonte, F. Palumbo, R. Ragni, S.R. Cicco and G.M. Farinola. 2016. Data from two different culture conditions of *Thalassiosira weissflogii* diatom and from cleaning procedures for obtaining monodisperse nanostructured biosilica. *Data in Brief* 8: 312-319.
- Weber, S., P.M. Grande, L.M. Blank and H. Klose. 2022. Insights into cell wall disintegration of *Chlorella vulgaris*. *PLoS One* 17(1): doi.10.1371/journal.pone.0262500.
- Wongrat, L. 1999. *Phytoplankton*. Kasetsart University Pres, Bangkok. 851 p. (in Thai)
- Wongrat, L. 2000. *Plankton*. Kasetsart University Pres, Bangkok. 366 p. (in Thai)
- Wongwilairat, K., V. Vuthiphandchai, S. Powtongsook and B. Pratoomchat. 2016. Precipitation and preservation of concentrated *Chaetoceros* (*Chaetoceros gracilis*). *Khon Kaen Agriculture Journal* 44(2): 201-208. (in Thai)
-

การวิเคราะห์พันธุกรรมของยีน *OsDFR* ที่เกี่ยวข้องกับการสังเคราะห์แอนโทไซยานิน ในข้าวดำพื้นเมืองไทย

Genetic Analysis of Genes *OsDFR* Associated to Anthocyanin Biosynthesis in Thai Purple Rice Landraces

ชนิสร์ สุริยา¹ ศันสนีย์ จำจด^{1,2} เพ็ญภา จักรสมศักดิ์^{1,2} และ ต่อนภา ผุสดี^{1,2*}
Chanisorn Suriya¹, Sansanee Jamjod^{1,2} Pennapa Jaksomsak^{1,2} and Tonapha Pusadee^{1,2*}

¹ภาควิชาพืชศาสตร์และปฐพีศาสตร์ คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ จ.เชียงใหม่ 50200

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

²ศูนย์วิจัยข้าวล้านนา มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ จ.เชียงใหม่ 50200

²Lanna Rice Research Center, Chiang Mai University, Chiang Mai 50200, Thailand

*Corresponding author. Email: tonapha.p@cmu.ac.th

(Received: 13 December 2023; Accepted: 19 April 2024)

Abstract: Khao Kum (purple rice) contains an important active ingredient, anthocyanin. However, purple rice landrace gives lower yield compared to modern varieties. Therefore, breeding programs to increase yield and grain quality including the utilization of other parts of purple rice landrace besides consumption offers an alternative to boost income for farmers. The purpose of this study was to investigate the relationship between the expression of *DFR* gene and anthocyanin content in purple rice landrace, in the leaves at 45 days after transplantation and in brown rice grains, across nine purple rice landrace varieties which were selected by plant morphology: group 1 purple shoot and leaves: Kum Doi Saket, Kum Phayao, Kum Wiang Sa and K4 and group 2 green shoot and leaves: Hom Nin, Kum Hom-CMU, Kum Jao-CMU, Leum Pua, and BL3, including with the two check varieties of white rice, Pathum Thani 1 and Khao Dawk Mali 105. Three replications of a completely randomized design (CRD) were conducted in the pot experiment. The *DFR* gene exhibited the highest expression in Kum Doi Saket and Kum Wiang Sa. It was observed that K4 had the highest anthocyanin content in leaves at 45 days after transplanting. The anthocyanin content in brown rice was the highest in K4 and Kum Doi Saket. A negative correlation was observed between the expression levels of the *DFR* gene and anthocyanin content in leaves, and between the grain anthocyanin content and yield and between the anthocyanin content in brown rice and yield. The data obtained from this study revealed that measuring the expression level of the *OsDFR* gene alone is not effective enough to be used as a molecular marker for selecting purple rice varieties with high grain anthocyanin. However, it can still provide important fundamental information and the development of appropriate molecular markers for selecting suitable and efficient rice varieties in the future.

Keywords: Anthocyanin biosynthesis, gene expression of *DFR*, anthocyanin content, purple rice landrace

บทคัดย่อ: ข้าวก่ำมีสารแอนโทไซยานินเป็นสารสำคัญ แต่พันธุ์ข้าวก่ำให้ผลผลิตต่ำกว่าพันธุ์ข้าวที่ปรับปรุงสมัยใหม่ ดังนั้นการปรับปรุงพันธุ์ข้าวเพื่อเพิ่มผลผลิตและคุณภาพของเมล็ดข้าว รวมถึงการใช้ประโยชน์จากส่วนต่าง ๆ ของข้าว กำนอกจากการบริโภค เป็นทางเลือกหนึ่งที่สามารถเพิ่มรายได้ให้แก่เกษตรกร งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างการแสดงออกของยีน *OsDFR* และปริมาณแอนโทไซยานินในใบข้าวอายุ 45 วันหลังย้ายปลูก และในเมล็ดข้าวกล้อง โดยการจำแนกข้าวก่ำที่ใช้ในงานวิจัยเป็น 2 กลุ่ม คือ กลุ่มที่ 1 ข้าวก่ำที่มีใบและลำต้นสีม่วง ได้แก่ ก่ำดอยสะเก็ด ก่ำพะเยา ก่ำเวียงสา และ K4 กลุ่มที่ 2 ข้าวก่ำที่มีใบและลำต้นสีเขียว ได้แก่ หอมนิล ก่ำหอม มข. ก่ำเจ้า มข. ข้าวเหนียวดำลิ้มผัว และ BL3 โดยมีข้าวขาวพันธุ์ ปทุมธานี 1 และข้าวดอกมะลิ 105 เป็นพันธุ์เปรียบเทียบกับวางแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ จำนวน 3 ซ้ำ ผลการทดลองพบว่า ระดับการแสดงออกของยีน *OsDFR* มีความแตกต่างกันภายในข้าวก่ำที่มีลักษณะใบและลำต้นสีม่วง โดยก่ำดอยสะเก็ด และก่ำเวียงสา มีการแสดงออกของยีน *OsDFR* มากที่สุด แต่ไม่พบการแสดงออกของยีน *OsDFR* ในข้าวก่ำกลุ่มที่มีใบและลำต้นสีเขียว พันธุ์ K4 มีปริมาณแอนโทไซยานินที่พบในใบมากที่สุดในขณะที่ K4 และก่ำดอยสะเก็ด มีปริมาณแอนโทไซยานินในเมล็ดข้าวกล้องมากที่สุด สำหรับระดับการแสดงออกของยีน *OsDFR* ในใบที่อายุ 45 วันหลังย้ายปลูกพบว่ามีความสัมพันธ์เชิงลบระหว่างระดับการแสดงออกของยีน *OsDFR* กับปริมาณแอนโทไซยานินในใบที่อายุ 45 วันหลังย้ายปลูก และระหว่างผลผลิตเมล็ดต่อปริมาณแอนโทไซยานินในเมล็ดข้าวกล้อง ซึ่งข้อมูลที่ได้จากการศึกษาค้นคว้าพบว่าการวัดระดับการแสดงออกของยีน *OsDFR* เพียงอย่างเดียวยังไม่มีความเพียงพอต่อการนำเครื่องหมายโมเลกุลมาใช้ในการคัดเลือกพันธุ์ข้าวก่ำที่มีแอนโทไซยานินสูง แต่สามารถใช้เป็นข้อมูลพื้นฐานที่สำคัญในการศึกษาเพื่อพัฒนาเครื่องหมายโมเลกุลที่เหมาะสมต่อการคัดเลือกพันธุ์ข้าวก่ำที่มีปริมาณแอนโทไซยานินและผลผลิตสูงต่อไปในอนาคต

คำสำคัญ: กระบวนการสังเคราะห์แอนโทไซยานิน การแสดงออกของยีน *OsDFR* ปริมาณแอนโทไซยานิน ข้าวก่ำพื้นเมือง

คำนำ

ข้าวก่ำ (purple rice) เป็นชื่อตามภาษาพื้นเมืองทางภาคเหนือของประเทศไทยสำหรับเรียกข้าวที่มีเมล็ดเป็นสีม่วงดำ หรือสีแดงก่ำ สีของข้าวก่ำเกิดจากการสะสมแอนโทไซยานินในเซลล์บริเวณเนื้อเยื่อต่าง ๆ เช่น ใบ ลำต้น กาบใบ หรือเยื่อหุ้มเมล็ด จนเกิดเป็นสีม่วงดำหรือแดงตามที่ปรากฏ โดยมีความแตกต่างกันออกไปในแต่ละสายพันธุ์ (Huttayanun *et al.*, 2016) การสังเคราะห์แอนโทไซยานินถูกควบคุมโดยยีนควบคุม (regulatory genes) โดยการสังเคราะห์แอนโทไซยานินเริ่มหลังจากกระบวนการสังเคราะห์ phenylalanine เสร็จสิ้นลง ได้เป็นสารประกอบ p-coumaroyl-CoA ผ่านการทำงานของยีนโครงสร้าง (structural genes) ซึ่งประกอบด้วยยีนหลายชนิด ได้แก่ *OsCHS*, *OsCHI*, *OsF3H*, *OsF3'H*, *OsDFR*, *OsANS* และ *OsUFGT*

โดยในข้าวก่ำยีน *OsDFR* หรือ *Rd* เป็นยีนที่ควบคุมการแสดงออกในขั้นตอนท้ายของกระบวนการสังเคราะห์แอนโทไซยานิน (late biosynthesis genes) มีความสำคัญในด้านการสังเคราะห์ dihydroflavonols ด้วยเอนไซม์ dihydroflavonol 4-reductase ได้เป็น leucoanthocyanins สำหรับใช้เป็นสารตั้งต้นในการสังเคราะห์แอนโทไซยานินหรือโปรแอนโทไซยานิน (Figure 1) โดยจากการศึกษาของ Zheng *et al.* (2019) พบว่า ยีน *OsDFR* มีความสัมพันธ์ต่อปริมาณของแอนโทไซยานินที่ได้ในขั้นตอนสุดท้ายของกระบวนการสังเคราะห์แอนโทไซยานิน และจากการศึกษาในพืชชนิดอื่น เช่น ในมันเทศสีม่วงพบว่าการเพิ่มขึ้นหรือลดลงของระดับการแสดงออกของยีนที่เกี่ยวข้องกับเอนไซม์ dihydroflavonol 4-reductase มีความสัมพันธ์กับปริมาณของแอนโทไซยานินที่พบ กล่าวคือเมื่อการแสดงออกของยีนที่เกี่ยวข้องกับเอนไซม์ dihydroflavonol 4-reductase ใน

มันเทศสีม่วงลดลง จะส่งผลให้ปริมาณแอนโทไซยานินที่พบในส่วนของใบอ่อน ลำต้น และรากส่วนที่สะสมอาหารลดลง ในขณะที่การแสดงออกของยีน *DFR* ที่เพิ่มขึ้นส่งผลให้ปริมาณแอนโทไซยานินที่พบในส่วนของใบอ่อน ลำต้น และรากส่วนที่สะสมอาหารของมันเทศสีม่วงมีปริมาณเพิ่มขึ้นตามไปด้วย (Wang *et al.*, 2013)

การศึกษาเกี่ยวกับระดับการแสดงออกของยีน *OsDFR* ในใบพบว่าส่งผลต่อปริมาณแอนโทไซยานินที่พบทั้งในใบ และในเมล็ด ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณแอนโทไซยานินที่พบในใบและในเมล็ด และพบว่าปริมาณแอนโทไซยานินในใบส่งผลต่อปริมาณแอนโทไซยานินในเมล็ด รวมถึงการส่งผลของแอนโทไซยานินที่สะสมในใบและเมล็ดต่อผลผลิตของข้าว จึงเป็นส่วนสำคัญในการทำความเข้าใจเกี่ยวกับยีนที่มีส่วนเกี่ยวข้องกับการสร้างแอนโทไซยานินในข้าวก่ำพื้นเมืองของไทย นอกจากนี้การประเมินความแตกต่างของปริมาณแอนโทไซยานินในพันธุ์ข้าวก่ำพื้นเมืองมีส่วนช่วยในการพัฒนาพันธุ์เพื่อการใช้ประโยชน์ในรูปแบบต่างๆ ให้เพิ่มมากขึ้น โดยในประเทศไทยข้าวก่ำมี

การเพาะปลูกบริเวณภาคตะวันออกเฉียงเหนือ และภาคเหนือเป็นส่วนมาก ส่งผลให้มีการพบความหลากหลายทางพันธุกรรมในพื้นที่ดังกล่าวสูง (Fongfon *et al.*, 2021; Pusadee *et al.*, 2019) การใช้ประโยชน์ของข้าวก่ำได้มีการเปลี่ยนแปลงไปตามข้อมูลแต่ละยุคสมัย นอกเหนือจากการเพาะปลูกเพื่อผลผลิตสำหรับการใช้ประโยชน์ในครัวเรือนเช่นในอดีต แม้ว่าข้าวก่ำพื้นเมืองจะมีคุณสมบัติในด้านความสามารถในการปรับตัวเข้ากับสภาพแวดล้อม ทนทานต่อโรค และแมลง แต่มีข้อด้อยคือให้ผลผลิตที่ต่ำจึงไม่นิยมปลูกกันแพร่หลาย (Pusadee *et al.*, 2014) แต่เนื่องจากปัจจุบันผู้บริโภคตระหนักถึงความสำคัญเกี่ยวกับอาหารเพื่อสุขภาพกันเป็นจำนวนมาก ในการหาทางเลือกเพื่อการบริโภคในชีวิตประจำวันที่เป็นประโยชน์ต่อสุขภาพได้รับความสนใจเพิ่มมากขึ้น ข้าวก่ำที่มีคุณค่าทางโภชนาการสูง และมีคุณสมบัติในการป้องกันการเกิดโรคต่าง ๆ จึงเป็นหนึ่งในตัวเลือกที่ได้รับความสนใจ ส่งผลให้ความต้องการในการบริโภครวมถึงการใช้สินค้าแปรรูปผลิตภัณฑ์จากข้าวก่ำเพิ่มมากขึ้น (Fongfon *et al.*, 2019)

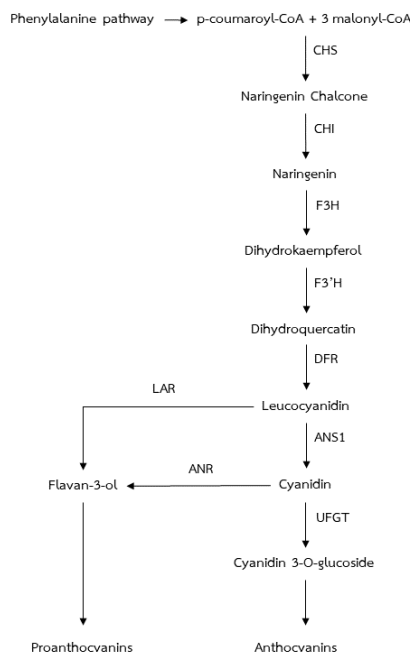


Figure 1. Anthocyanin biosynthesis pathway edited from Zhu *et al.* (2017)

การประยุกต์ใช้เครื่องหมายโมเลกุลเข้ามามีส่วนในกระบวนการปรับปรุงพันธุ์ข้าวเก่าพื้นเมืองเพื่อเพิ่มผลผลิตและปริมาณแอนโทไซยานิน เนื่องจากสามารถช่วยลดระยะเวลาที่ใช้ในขั้นตอนการคัดเลือกพันธุ์ที่มีลักษณะต่าง ๆ ในการตอบสนองต่อความต้องการของผู้บริโภค รวมถึงเป็นการส่งเสริมการใช้ประโยชน์จากข้าวเก่าเพิ่มเติมนอกเหนือจากการใช้บริโภคโดยตรง เช่น การใช้ประโยชน์จากการสกัดสารเพื่อพัฒนาเป็นผลิตภัณฑ์เครื่องสำอาง และผลิตภัณฑ์เพื่อสุขภาพอื่น ๆ ซึ่งเป็นการเพิ่มรายได้ให้แก่เกษตรกรรวมถึงเป็นการอนุรักษ์และพัฒนาสายพันธุ์ข้าวเก่าพื้นเมืองต่อไป การศึกษาครั้งนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาการแสดงออกของยีน *OsDFR* ซึ่งเป็นยีนที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการสังเคราะห์แอนโทไซยานินในข้าวเก่า ตรวจสอบชนิดของอัลลีลของยีนที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการสังเคราะห์แอนโทไซยานินในข้าวเก่า และเพื่อประเมินปริมาณแอนโทไซยานินที่พบในใบและในเมล็ดข้าวกล้องในข้าวเก่าพื้นเมืองของไทย

อุปกรณ์และวิธีการ

การเตรียมพันธุ์ข้าวและการปลูกข้าว

พันธุ์ข้าวเก่าที่ใช้ในงานวิจัยประกอบด้วย พันธุ์ข้าวเก่า 9 พันธุ์ แบ่งออกเป็น 2 กลุ่มตามลักษณะของสีใบ และลำต้น กลุ่มของลำต้นและใบสีม่วง ได้แก่ ก่ำตอย สะเกิด ก่ำพะเยา ก่ำเวียงสา K4 และกลุ่มของลำต้นและใบสีเขียว ได้แก่ หอมนิล ก่ำหอม มข. ก่ำเจ้า มข. ข้าวเหนียวดำลิ้มผัว และ BL3 โดยใช้ข้าวขาว 2 พันธุ์ ได้แก่ ปทุมธานี 1 และข้าวดอกมะลิ 105 เป็นพันธุ์เปรียบเทียบ โดยเพาะพันธุ์ข้าวที่ทำการศึกษาก่อนจำนวนตัวอย่างละ 100 เมล็ด เมื่อต้นกล้าอายุครบ 7 วัน คัดเลือกต้นที่มีลักษณะแข็งแรงและสมบูรณ์ จำนวน 10 ต้น ย้ายปลูกในกระถางพลาสติกบรรจุดินแบบขังน้ำที่มีเส้นผ่าศูนย์กลาง 30 เซนติเมตร ลึก 27 เซนติเมตร โดยปลูก 1 ต้น ต่อหลุม จำนวน 5 ต้นต่อกระถาง พันธุ์ละ 2 กระถาง ระยะต้นกล้าใส่ปุ๋ยสูตร 15-15-15 อัตรา 20 กิโลกรัมต่อไร่ เมื่อข้าวถึงระยะแตกกอใส่ปุ๋ยสูตร 46-0-0 อัตรา 10 กิโลกรัมต่อไร่ และในระยะก้านิด

ช่อดอกใส่ปุ๋ยสูตร 46-0-0 อัตรา 10 กิโลกรัมต่อไร่ (Division of Rice Research and Development, 2016) เก็บข้อมูลผลผลิต และองค์ประกอบผลผลิตที่ระยะเก็บเกี่ยว โดยบันทึกข้อมูลจำนวนหน่อต่อต้น จำนวนรวงต่อต้น จำนวนดอกต่อรวง เปอร์เซ็นต์การเต็มเต็มเมล็ด และน้ำหนัก 1000 เมล็ด

การวิเคราะห์พันธุกรรมที่เกี่ยวข้องกับการสร้างแอนโทไซยานิน

เก็บตัวอย่างใบข้าวใบที่สองรองจากใบแรก จากต้นข้าวอายุ 45 วันหลังย้ายลงปลูก (ระยะแตกกอ) พันธุ์ละ 2 ซ้ำ เพื่อวิเคราะห์พันธุกรรมที่เกี่ยวข้องกับการสังเคราะห์แอนโทไซยานิน

การสกัดอาร์เอ็นเอ (RNA extraction)

นำตัวอย่างใบข้าวมาบดด้วยไนโตรเจนเหลว (liquid nitrogen) สกัดอาร์เอ็นเอด้วย TriZOL RNA extraction reagent (Invitrogen, Carlsbad, CA, USA) และ phenol: chloroform: isoamyl alcohol (25:24:1 v/v) ล้างตะกอนอาร์เอ็นเอด้วย 75% ethanol จำนวน 2 ครั้ง ละลายตะกอน RNA ด้วย TE-buffer จากนั้นนำไปตรวจสอบคุณภาพ RNA ด้วยเครื่อง nanodrop spectrophotometer (Phasri *et al.*, 2016)

การสังเคราะห์ complementary DNA (cDNA)

วิเคราะห์การแสดงออกของยีนโดยนำ RNA มาสังเคราะห์เป็น cDNA โดยอาศัยปฏิกิริยา reverse transcription (RT) ด้วย Revert Aid First Stand cDNA Synthesis Kit (Thermo Scientific, Waltham, MA, USA) ซึ่งส่วนผสมในปฏิกิริยาประกอบด้วย อาร์เอ็นเอ 1 ไมโครกรัม, 5X RT buffer 10 ไมโครลิตร, Oligo (dT) 18 1 ไมโครลิตร, 10 mM dNTP 1 ไมโครลิตร, RiboSafe RNase Inhibitor 1 ไมโครลิตร, Tetro Reverse Transcriptase (200u/ไมโครลิตร) 1 ไมโครลิตร, DEPC-water 6 ไมโครลิตร หลังจากนั้นนำไปบ่มที่อุณหภูมิ 42 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 60 นาที และ 70 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 5 นาที เมื่อปฏิกิริยาเสร็จสิ้นให้นำไปเก็บในตู้เย็นอุณหภูมิ -20 องศาเซลเซียส

การประเมินการแสดงออกของยีนด้วยเทคนิค semi-quantitative RT-PCR analysis

นำ cDNA ที่ได้มาประเมินการแสดงออกของยีนด้วยเทคนิค semi-quantitative RT-PCR โดยอาศัย

เทคนิค polymerase chain reaction (PCR) ใช้ primer ที่เฉพาะเจาะจงกับยีนที่เกี่ยวข้อง (Table 1) (Sakulsingharoj *et al.*, 2014)

การวิเคราะห์ผลการแสดงออกของยีน

วิเคราะห์การแสดงออกของยีนโดยใช้โปรแกรม ImageJ เวอร์ชัน 1.50i (Wayne Rasband National Institutes of Health, USA) โดยเปรียบเทียบความหนาแน่น (Intensity area) ของแถบ cDNA ระหว่างยีน *OsDFR* และ *Actin1* โดยใช้สูตรดังนี้

$$\text{Relative intensity of gene expression} =$$

$$\frac{\text{Intensity of target gene}}{\text{Intensity of actin gene}}$$

Intensity of target gene คือ ความหนาแน่นของแถบดีเอ็นเอของยีนที่ศึกษา

Intensity of actin gene คือ ความหนาแน่นของแถบดีเอ็นเอของยีน *Actin*

การวิเคราะห์แอนโทไซยานิน

ใช้ตัวอย่างพันธุ์ข้าวชุดเดียวกับที่ใช้ในการวิเคราะห์ระดับการแสดงออกของยีน *OsDFR* โดยวิเคราะห์ปริมาณแอนโทไซยานินที่พบในใบที่อายุ 45 วัน

หลังย้ายปลูกและปริมาณแอนโทไซยานินที่พบในเมล็ดข้าวกล้องหลังการเก็บเกี่ยวด้วยวิธีการ pH-differential (Lee *et al.*, 2005)

สุ่มเก็บตัวอย่างจากใบข้าวที่อายุ 45 วันหลังย้ายปลูก นำมาบดละเอียดด้วยไนโตรเจนเหลวก่อนนำไปอบแห้งด้วยเครื่อง freeze-dry 48 ชั่วโมง และสุ่มตัวอย่างเมล็ดข้าวกล้องที่ได้จากการเก็บเกี่ยวพันธุ์ข้าวที่ทำการศึกษานำมาแกะเปลือกออกก่อนนำไปอบด้วยเครื่อง freeze-dry เป็นเวลา 48 ชั่วโมง นำตัวอย่าง 0.25-0.3 กรัมสกัดด้วยเมธานอล pH 1.0 ปริมาตร 24 มิลลิลิตรเขย่าด้วยเครื่องเขย่าสาร (orbital shaker) เป็นเวลา 1 ชั่วโมง ปั่นเหวี่ยงด้วยความเร็ว 4,000 รอบต่อนาทีนาน 5 นาที กรองสารสกัดส่วนใส (supernatant) ผ่านกระดาษกรองเบอร์ 1 ปรับปริมาตรด้วยเอทานอล pH 1.0 ให้ได้ 25 มิลลิลิตรเขย่าให้เข้ากันแบ่งละลายใสออกเป็นสองส่วน ส่วนละ 2 มิลลิลิตร ส่วนแรกเติม KCl pH 1.0 และส่วนที่สองเติม $\text{CH}_3\text{CO}_2\text{Na} \cdot 3\text{H}_2\text{O}$ pH 4.5 ปรับปริมาตรให้ได้ 25 มิลลิลิตร นำไปอ่านค่าการดูดกลืนแสงด้วยเครื่อง spectrophotometer โดยเทคนิค pH-differential ซึ่งอาศัยหลักการการเปลี่ยนโครงสร้าง

Table 1. The primer used for study of 10 gene expression

Genes	Forward Sequence (5' → 3')	Reward Sequence (5' → 3')	Successfully Amplification in all 11 rice varieties*
<i>OsDFR</i>	CGG-GTT-CAG-GTT-CAG-GTA-CA	TGA-AAC-CGG-AGG-GAG-TAA-C	+
<i>OsANS1</i>	GAA-GAG-GGA-GTG-GGA-GGA-CT	CAG-AAG-ACG-ACC-CAG-GAG-AG	-
<i>OsCHS1</i>	CGG-ACT-GGA-ACT-CCA-TCT-TC	TAA-AAG-ATG-ACG-TGT-GGC-GTA	-
<i>OsF3'H</i>	CCG-CTA-CAG-TAC-CAG-CCT-TC	TGC-CAC-CAT-TTC-TAG-AGT-TCC	-
<i>OsC1</i>	CGG-GTT-CTT-CTT-CCA-CGA-C	CCC-GCA-ACT-GCA-CTT-AAA-AT	-
<i>OsCHI</i>	TCC-ATC-CTC-TTC-ACC-CAC-TC	TGT-CAA-ACA-CGA-GGG-CAG-TA	-
<i>OsB1</i>	GGA-TGG-TCT-CCT-TGG-ACT-GA	GGG-TGG-CAG-ATT-CAT-CAC-TT	-
<i>OsF3H</i>	GAG-CAA-TGG-GAG-GTT-CAA-GA	CTT-CGA-TTT-TCG-ACG-GAA-GA	-
<i>OsB2</i>	GTG-GCA-ATA-ACG-ACG-ACT-CC	CGT-ACG-GTG-TTG-ACG-AGG-TA	-
<i>Actin1</i>	GAC-TCT-GGT-GAT-GGT-GTC-AGC	GGC-TGG-AAG-AGG-ACC-TCA-GG	+

* Only 1 genes in the anthocyanin biosynthesis pathway and *Actin* were successfully amplification and consistency in all 11 rice varieties in this study

ของแอนโทไซยานินที่เปลี่ยนแปลงไปตามค่า pH และวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่นสูงสุด (520 นาโนเมตร) ที่ pH 1.0 และ 4.5 นำมาหักลบเพื่อกำจัดการดูดกลืนแสงจากสารอื่นที่ไม่ใช่แอนโทไซยานิน และวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 700 นาโนเมตรเพื่อหักลบค่าความขุ่นที่อาจจะเกิดขึ้นเพื่อให้ได้ค่าที่ถูกต้องแม่นยำก่อนนำไปหาปริมาณแอนโทไซยานิน โดยใช้สูตรดังนี้

$$\text{MAP} = \frac{A \times \text{MW} \times \text{DF} \times 1000}{\epsilon \times 1}$$

MAP คือ Monomeric anthocyanin pigment

A คือ ค่าการดูดกลืนแสงที่อ่านได้ หาได้จาก (ค่าการดูดกลืนที่ความยาวคลื่น 520 นาโนเมตรของตัวอย่างที่ใส่สารละลายบัฟเฟอร์ pH 1.0 – ค่าการดูดกลืนที่ความยาวคลื่น 700 นาโนเมตรของตัวอย่างที่ใส่สารละลายบัฟเฟอร์ pH 1.0) - (ค่าการดูดกลืนที่ความยาวคลื่น 520 นาโนเมตรของตัวอย่างที่ใส่สารละลายบัฟเฟอร์ pH 4.5 - ค่าการดูดกลืนที่ความยาวคลื่น 700 นาโนเมตรของตัวอย่างที่ใส่สารละลายบัฟเฟอร์ pH 4.5)

MW คือ มวลโมเลกุลของแอนโทไซยานิน (molecular weight) มีค่าเท่ากับ 449.2

DF คือ อัตราเจือจาง (dilution factor) มีค่าเท่ากับ 12.5

ϵ คือ การดูดกลืนแสงต่อโมลาร์ (molar absorptivity) มีค่าเท่ากับ 26900

นำปริมาณแอนโทไซยานินที่ได้มาคำนวณหาปริมาณแอนโทไซยานิน (มิลลิกรัม) ที่พบต่อน้ำหนักใบ 100 กรัม โดยใช้สูตร

ปริมาณแอนโทไซยานิน (มิลลิกรัม) ต่อน้ำหนักใบ 100 กรัม =

$$\frac{\text{MAP} \times \text{ปริมาณสารสกัด}}{\text{น้ำหนักตัวอย่าง (กรัม)} \times 10}$$

การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ

วิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติของข้อมูล (analysis of variance, ANOVA) โดยใช้ Statistix version 8 (analysis software) และเปรียบเทียบความแตกต่างของแต่ละกรรมวิธีทดลองโดยหาค่า LSD (least significant difference) ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% และนำข้อมูลที่ได้มาวิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้นระหว่างตัวแปร (linear regression)

ผลการศึกษาและวิจารณ์

การแสดงออกของยีน *OsDFR*

พบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.01$) ภายในกลุ่มข้าวเก่าที่มีลักษณะใบและลำต้นสีม่วง โดยพบว่าพันธุ์ข้าวเก่าที่มีลักษณะใบ และลำต้นสีม่วงที่มีการแสดงออกของยีน *OsDFR* สูงที่สุดคือ ก่ำดอยสะเก็ด และก่ำเวียงสา รองลงมาคือก่ำพะเยา ส่วน K4 มีระดับการแสดงออกของยีน *OsDFR* น้อยที่สุด และไม่พบการแสดงออกของยีนในกลุ่มข้าวเก่าที่มีลักษณะใบและลำต้นสีเขียว รวมถึงพันธุ์เปรียบเทียบ (Figure 2)

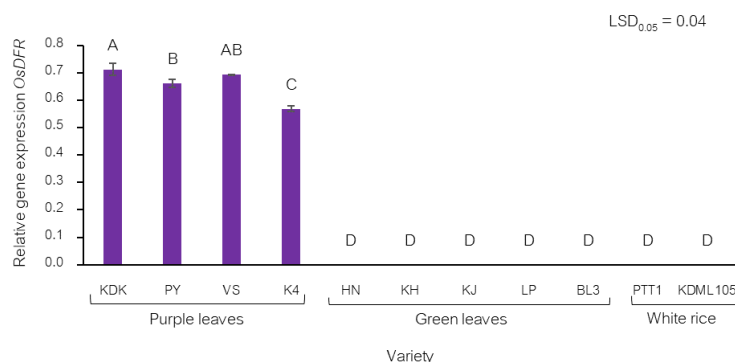


Figure 2. Relative intensity of gene *OsDFR* expression in 11 rice varieties at 45 days after transplanting

ปริมาณแอนโทไซยานินในใบที่อายุ 45 วันหลังย้ายปลูก

ปริมาณแอนโทไซยานินที่พบในใบที่อายุ 45 วันหลังย้ายปลูกในข้าวเก่าทั้ง 9 พันธุ์มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.001$) ภายในกลุ่มข้าวเก่าที่มีลักษณะใบและลำต้นสีม่วง (Figure 3) โดยปริมาณแอนโทไซยานินที่พบอยู่ระหว่าง 73.2 –

232.9 มิลลิกรัม/ 100 กรัมน้ำหนักแห้ง มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 154.1 มิลลิกรัม/ 100 กรัมน้ำหนักแห้ง ข้าวเก่าที่มีปริมาณแอนโทไซยานินที่พบใบในมากที่สุดคือ K4 รองลงมาคือ ก่ำดอยสะเก็ด และก่ำพะเยา ส่วนก่ำเวียงสามมีปริมาณแอนโทไซยานินที่พบใบในน้อยที่สุด และไม่พบแอนโทไซยานินในใบในกลุ่มข้าวเก่าที่มีลักษณะใบและลำต้นสีเขียว รวมถึงพันธุ์เปรียบเทียบ (Figure 4)

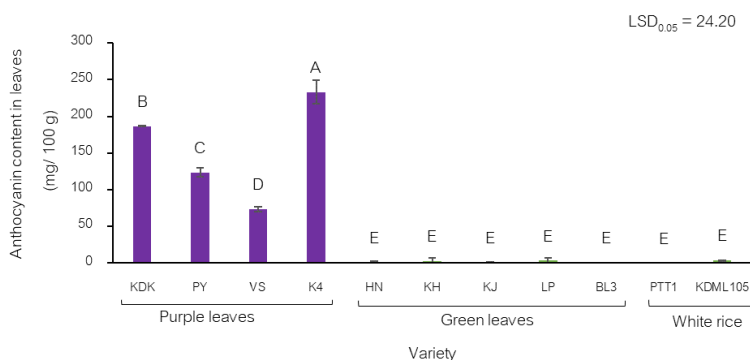


Figure 3. Anthocyanin content in rice leaves at 45 days after transplanting in 11 rice varieties.

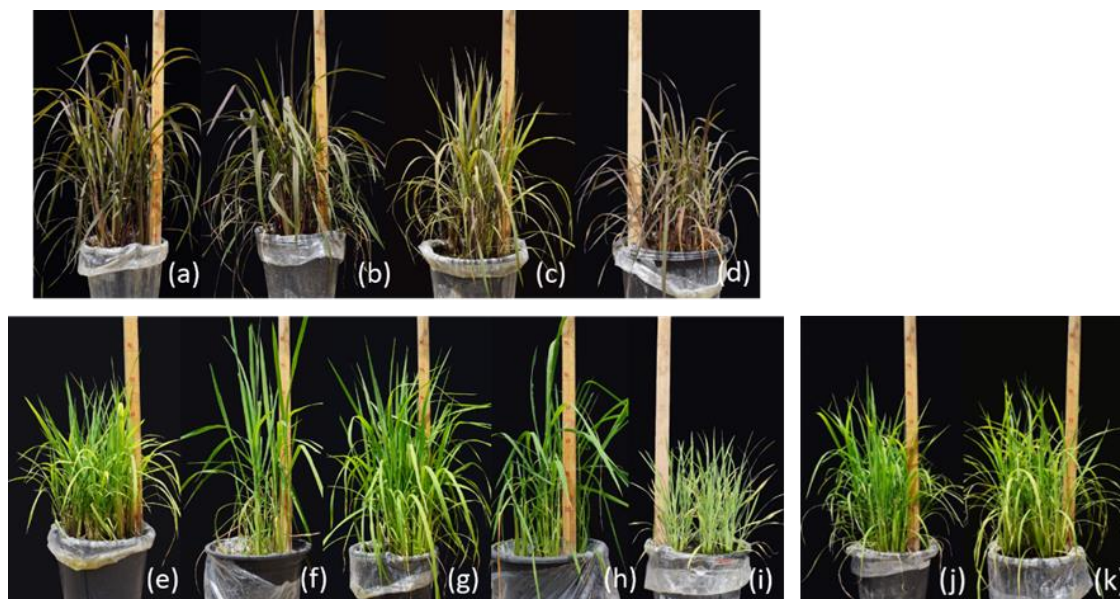


Figure 4. Characteristics of 11 rice varieties at 45 days after transplanting (a) Kum Doi Saket (b) Kum Phayao (c) Kum Wiang Sa (d) K4 (e) Hom Nin (f) Kum Hom-CMU (g) Kum Jao-CMU (h) Leum Pua (i) BL3 (j) Pathum Thani 1 and (k) Khao Dawk Mali 105

ปริมาณแอนโทไซยานินในเมล็ดข้าวกล้อง

พบความแตกต่างของปริมาณแอนโทไซยานินในเมล็ดข้าวกล้องแต่ละพันธุ์อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.01$) โดยปริมาณแอนโทไซยานินที่พบอยู่ระหว่าง 4.2-89.1 มิลลิกรัม/ 100 กรัมน้ำหนักแห้ง มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 48.1 มิลลิกรัม/ 100 กรัมน้ำหนักแห้ง ในกลุ่มของข้าวเก่าที่มีใบและลำต้นสีม่วงมีปริมาณแอนโทไซยานินที่พบในเมล็ดข้าวกล้องอยู่ระหว่าง 4.19-89.13 มิลลิกรัม/ 100 กรัมน้ำหนักแห้ง โดยพบว่าพันธุ์ข้าวเก่าในกลุ่มที่มีใบและลำต้นสีม่วงที่มีปริมาณแอนโทไซยานินที่พบในเมล็ดข้าวกล้องมากที่สุดคือ K4 และกาดอยสะเกิด รองลงมาคือก่าพะเยา ส่วนก่าเงิงสามมีปริมาณแอนโทไซยานินที่พบในเมล็ดข้าวกล้องน้อยที่สุดในกลุ่มของข้าวเก่าที่มีใบและลำต้นสีเขียวมีปริมาณแอนโทไซยานินที่พบในเมล็ดข้าวกล้องอยู่ระหว่าง 41.25-62.21 มิลลิกรัม/ 100 กรัมน้ำหนักแห้ง และไม่พบแอนโทไซยานินในเมล็ดข้าวกล้องพันธุ์เปรียบเทียบกับ (Figure 5)

ผลผลิต และองค์ประกอบผลผลิต

จากการวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติของผลผลิต และองค์ประกอบผลผลิตของพันธุ์ข้าวเก่า 9 พันธุ์ และพันธุ์เปรียบเทียบกับ (Table 3) พบว่ามีความแตกต่างระหว่างพันธุ์ที่ศึกษา โดยมีจำนวนหน่อต่อต้นระหว่าง 4-11 หน่อต่อต้น มีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 6 หน่อต่อต้น ในข้าวเก่ากลุ่มที่มีใบและลำต้นสีม่วงมีจำนวนหน่อต่อต้นอยู่ระหว่าง 5-7 หน่อต่อต้น ข้าวเก่ากลุ่มที่มีใบและลำต้นสีเขียวมีจำนวนหน่อต่อต้นอยู่ระหว่าง 4-8 หน่อต่อต้น และพันธุ์เปรียบเทียบกับมีจำนวนหน่อต่อต้นอยู่ระหว่าง

8 - 11 หน่อต่อต้น ตามลำดับ จำนวนรวงต่อต้นมีค่าระหว่าง 3-7 รวงต่อต้น โดยในข้าวเก่ากลุ่มที่มีใบและลำต้นสีม่วงมีจำนวนรวงต่อต้นอยู่ระหว่าง 4-7 รวงต่อต้น ข้าวเก่ากลุ่มที่มีใบและลำต้นสีม่วงมีจำนวนรวงต่อต้นอยู่ระหว่าง 3-7 รวงต่อต้น ขณะที่พันธุ์เปรียบเทียบกับมีจำนวนรวงต่อต้นอยู่ระหว่าง 7-10 รวงต่อต้น ตามลำดับ จำนวนดอกต่อรวงมีค่าอยู่ระหว่าง 80-171 ดอกต่อรวง มีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 134 ดอกต่อรวง โดยในข้าวเก่ากลุ่มที่มีใบและลำต้นสีม่วงมีจำนวนดอกต่อรวงอยู่ระหว่าง 120-162 ดอกต่อรวง ข้าวเก่ากลุ่มที่มีใบและลำต้นสีเขียวมีจำนวนดอกต่อรวงอยู่ระหว่าง 80-171 ดอกต่อรวง และพันธุ์เปรียบเทียบกับมีจำนวนดอกต่อรวงไม่แตกต่างกันคือ 149 และ 130 ดอกต่อรวงตามลำดับ เปอร์เซ็นต์เมล็ดดีมีค่าอยู่ระหว่าง 62.0-92.4 เปอร์เซ็นต์ มีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ระหว่าง 86.5 เปอร์เซ็นต์ โดยในข้าวเก่ากลุ่มที่มีใบและลำต้นสีม่วงมีเปอร์เซ็นต์เมล็ดดีอยู่ระหว่าง 81.32-92.37 เปอร์เซ็นต์ ข้าวเก่ากลุ่มที่มีใบและลำต้นสีเขียวมีเปอร์เซ็นต์เมล็ดดีอยู่ระหว่าง 62.00-91.82 เปอร์เซ็นต์ และพันธุ์เปรียบเทียบกับมีจำนวนรวงไม่แตกต่างกันคือ 92.0 และ 89.9 ตามลำดับ น้ำหนัก 1000 เมล็ดมีค่าอยู่ระหว่าง 20.6-39.2 กรัม มีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 28.4 กรัม ในข้าวเก่ากลุ่มที่มีใบและลำต้นสีม่วงมีน้ำหนัก 1000 เมล็ดอยู่ระหว่าง 20.6-31.9 กรัม ข้าวเก่ากลุ่มที่มีใบและลำต้นสีเขียวมีน้ำหนัก 1000 เมล็ดอยู่ระหว่าง 21.0-39.2 กรัม และพันธุ์เปรียบเทียบกับมีน้ำหนัก 1000 เมล็ดไม่แตกต่างกันคือ 28.0 และ 27.0 กรัม ตามลำดับ

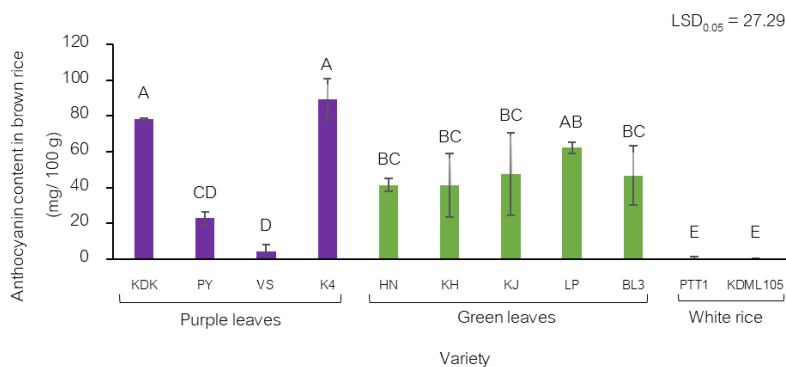


Figure 5. Anthocyanin content in brown rice after harvesting in 11 rice varieties

Table 3. Analysis of variances yield components in 9 purple rice and 2 white rice varieties

Varieties	Groups	Tillers/ plant	No. panicles/ plant	No. spikelets/ panicle	Filled grains (%)	1000 grain weight (g)	Yield (g/plant)
Kum Doi Saket	Purple leaves	5cde	4cd	162ab	88.2ab	31.2c	19.0bcde
Kum Phayao	Purple leaves	7bc	7bc	133abc	92.4a	31.9c	25.6b
Kum Wiang Sa	Purple leaves	5cde	4cd	150abc	84.1bc	29.5d	15.8bcdef
K4	Purple leaves	5cde	5bcd	120c	81.3c	20.6h	8.7ef
Hom Nin	Green leaves	7bc	7bc	120c	91.8a	23.5g	17.5bcdef
Kum Hom-CMU	Green leaves	4e	3d	139abc	90.8a	34.2b	13.6def
Kum Jao-CMU	Green leaves	7bcd	6bc	171a	90.7a	26.2f	24.9bc
Leum Pua	Green leaves	4de	4cd	80d	62.0d	39.2a	7.5f
BL3	Green leaves	8ab	6bc	124bc	88.2ab	21.0h	14.4cdef
Pathum Thani 1	White rice	11a	10a	149abc	92.0a	28.0e	38.7a
Khao Dawk Mali 105	White rice	8ab	7ab	130bc	89.9a	27.0ef	23.0bcd
<i>P</i> -value		**	*	*	***	***	**
LSD _{0.05}		2.7	2.8	39.2	5.1	1.3	10.9
CV (%)		18.3	20.9	13.2	2.7	2.1	26.0

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

ผลผลิตต่อต้นอยู่ระหว่าง 7.5-38.7 กรัมต่อต้น มีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 19.0 กรัมต่อต้น ในกลุ่มของข้าวกำลังที่มีใบและลำต้นสีม่วงมีผลผลิตอยู่ระหว่าง 8.7-25.6 กรัมต่อต้น กลุ่มของข้าวกำลังที่มีใบและลำต้นสีเขียวมีผลผลิตอยู่ระหว่าง 7.5-24.9 กรัมต่อต้น ในพันธุ์เปรียบเทียบปทุมธานี 1 มีผลผลิตสูงกว่าข้าวดอกมะลิ 105 โดยปทุมธานี 1 มีผลผลิตเท่ากับ 38.7 กรัมต่อต้น ส่วนข้าวดอกมะลิ 105 มีผลผลิตเท่ากับ 23.0 กรัมต่อต้น

ความสัมพันธ์ระหว่างการแสดงออกของยีน *OsDFR* และปริมาณแอนโทไซยานินที่พบในใบข้าวกำลัง 9 พันธุ์

พบมีความสัมพันธ์ในเชิงลบ ($r = -0.53$) ระหว่างการแสดงออกของยีน *OsDFR* กับปริมาณแอนโทไซยานินที่พบในข้าวกำลัง 4 พันธุ์ที่มีลักษณะลำต้นและใบเป็นสีม่วงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.01$) (Figure 6) และไม่มีการแสดงออกของยีน *OsDFR* รวมถึงไม่พบปริมาณแอนโทไซยานินในข้าวกำลังอีก

5 พันธุ์รวมถึงในข้าวขาวที่ใช้เป็นพันธุ์เปรียบเทียบที่มีลักษณะใบและลำต้นเป็นสีเขียว

ความสัมพันธ์ระหว่างผลผลิตและปริมาณแอนโทไซยานินที่พบในข้าวกำลัง 9 พันธุ์

พบว่าข้าวกำลัง 4 พันธุ์จาก 9 พันธุ์ที่มีลักษณะของลำต้นและใบมีสีม่วงมีความสัมพันธ์ต่อผลผลิตต่อต้นในเชิงลบ ($r = -0.40$) โดยปริมาณแอนโทไซยานินที่เพิ่มขึ้นส่งผลให้ผลผลิตต่อต้นลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) (Figure 7a)

จากการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างผลผลิตต่อต้นและปริมาณแอนโทไซยานินที่พบในเมล็ดข้าวกล้องหลังการเก็บเกี่ยวในข้าวกำลัง 9 พันธุ์ความสัมพันธ์ในเชิงลบ ($r = -0.52$) โดยพบว่าพันธุ์ข้าวที่มีปริมาณแอนโทไซยานินสูงจะให้ผลผลิตที่น้อยลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.001$) (Figure 7b)

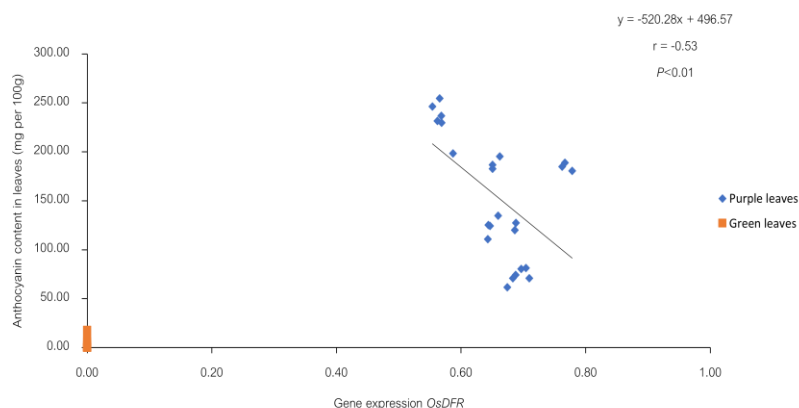


Figure 6. Relationship between anthocyanin content in leaves at 45 days after transplanting and relative gene expression of *OsDFR* in 4 purple leaves and 5 green leaves varieties

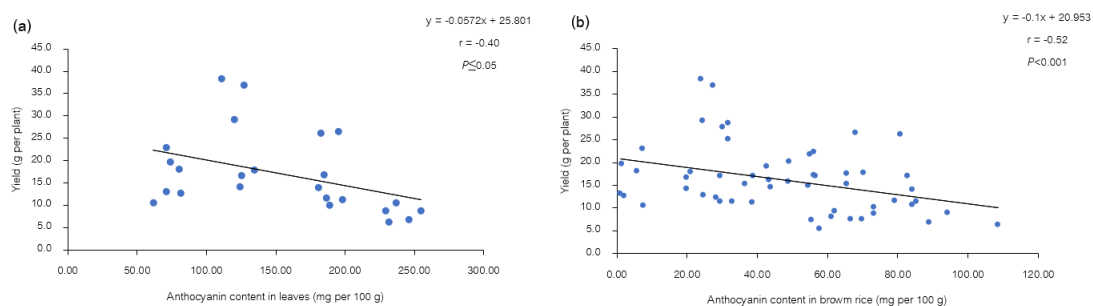


Figure 7. Relationship between yield per plant and anthocyanin content in leaves at 45 days after transplanting in 4 purple leaves (a) and relationship between yield per plant and anthocyanin content in brown rice after harvesting in 9 purple rice varieties (b)

จากการศึกษาพบว่ายีน *OsDFR* เกี่ยวข้องกับการสังเคราะห์แอนโทไซยานินโดยการพบการแสดงออกของยีน *OsDFR* ในใบข้าวบ่งบอกถึงการสังเคราะห์และสะสมแอนโทไซยานิน ซึ่งปริมาณแอนโทไซยานินที่พบมีปริมาณแตกต่างกันออกไปตามพันธุ์ข้าวแต่ละพันธุ์ที่ทำการศึกษ และในพันธุ์ข้าวกลุ่มที่มีใบและลำต้นสีเขียวไม่พบการแสดงออกของยีน *OsDFR* แต่พบว่าปริมาณแอนโทไซยานินในเมล็ด แสดงให้เห็นว่ากลไกการทำงานของยีนที่เกี่ยวข้องกับสังเคราะห์แอนโทไซยานินในเมล็ดน่าจะเป็นอิสระกับกลไกการทำงานของยีนที่เกี่ยวข้องกับสังเคราะห์แอนโทไซยานินในใบหรือลำต้น

(Xia *et al.*, 2021) แต่อย่างไรก็ตามการศึกษาทำความเข้าใจเกี่ยวกับความสัมพันธ์การแสดงออกของยีน *OsDFR* ซึ่งเป็นยีนที่สำคัญในขั้นตอนส่วนท้ายของกระบวนการสังเคราะห์แอนโทไซยานินและปริมาณแอนโทไซยานินที่พบในใบข้าวเก่าพื้นเมืองของไทยยังไม่ได้มีการศึกษาอย่างกว้างขวาง โดยการทำความเข้าใจถึงความสัมพันธ์การแสดงออกของยีน *OsDFR* และปริมาณแอนโทไซยานินที่พบในใบข้าวเก่านั้นสามารถใช้เป็นข้อมูลพื้นฐานที่สำคัญในการศึกษาเพื่อพัฒนาเครื่องหมายโมเลกุลที่เหมาะสมต่อการคัดเลือกพันธุ์ข้าวเก่าที่มีปริมาณแอนโทไซยานินสูงเหมาะกับการใช้

ประโยชน์ในด้านอื่น ๆ ต่อไปในอนาคตนอกเหนือจากการใช้ประโยชน์โดยการบริโภคเพียงรูปแบบเดียว โดยจากผลการศึกษาในระดับการส่งออกของยีน *OsDFR* พบความสัมพันธ์เชิงลบกับปริมาณแอนโทไซยานินในใบที่อายุ 45 วัน อาจเนื่องจากยีน *OsDFR* อยู่ในขั้นตอนการเปลี่ยน dihydroquercetin ไปเป็น leucocyanidin เพื่อสังเคราะห์โปรแอนโทไซยานิน หรือแอนโทไซยานิน ในขั้นตอนต่อไป leucocyanidin มีโอกาสที่จะถูกเปลี่ยนเป็นโปรแอนโทไซยานินจากการทำงานของยีน *OsLAR* หรือโอกาสที่จะถูกเปลี่ยนเป็นแอนโทไซยานิน โดยผ่าน cyanidin จากการทำงานของยีน *OsANS* หรือในขั้นตอนจาก cyanidin มีโอกาสที่จะถูกเปลี่ยนเป็นโปรแอนโทไซยานินจากการทำงานของยีน *OsANR* (Figure 1) ได้เช่นเดียวกัน (Furukawa *et al.*, 2007) ดังนั้นการศึกษาระดับการส่งออกของยีน *OsDFR* เพียงอย่างเดียวจึงยังอาจจะไม่สามารถสรุปได้ว่าการเพิ่มการแสดงออกของ *DFR* จะส่งผลต่อปริมาณแอนโทไซยานินที่ได้ในขั้นตอนสุดท้ายได้โดยตรง จึงควรมีการศึกษายีน *OsDFR* ร่วมกับยีนอื่นในกระบวนการสังเคราะห์แอนโทไซยานิน เช่น *OsANS*, *OsLAR* หรือ *OsANR* จะช่วยให้เข้าใจเกี่ยวกับความสัมพันธ์ของยีนที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการสังเคราะห์แอนโทไซยานิน และปริมาณแอนโทไซยานินที่พบได้มากยิ่งขึ้น

จากการศึกษาผลผลิตและองค์ประกอบผลผลิตของข้าวท่า 9 พันธุ์และข้าวขาวพันธุ์เปรียบเทียบ 2 พันธุ์ พบว่าผลผลิตและองค์ประกอบผลผลิตมีความแตกต่างกันออกไปตามแต่ละพันธุ์ โดยในกลุ่มข้าวท่าที่ทำการศึกษา มีผลผลิตและองค์ประกอบผลผลิตต่ำกว่าข้าวขาวที่ใช้เป็นพันธุ์เปรียบเทียบ และพบว่าข้าวท่าที่มีการสะสมแอนโทไซยานินในใบจะให้ผลผลิตน้อยลง การลดลงของผลผลิตในข้าวท่าดังกล่าวอาจเกี่ยวข้องกับปัจจัยจำกัดของปริมาณคลอโรฟิลล์ที่พบในใบที่ส่งผลกระทบต่อผลผลิตที่ได้ เนื่องจากข้าวเป็นพืชที่ตอบสนองอย่างรวดเร็วต่อการลดลงของคลอโรฟิลล์เมื่อเกิดการเปลี่ยนแปลงของปริมาณคลอโรฟิลล์ อันเนื่องมาจากการเพิ่มขึ้นของแอนโทไซยานินในใบในระยะแตกกอที่เริ่มมีการปรากฏของสีม่วงในใบข้าวท่า

จึงส่งผลทำให้ความสามารถในการสังเคราะห์แสงลดลง ซึ่งสัมพันธ์ต่อช่วงการเติมเต็มเมล็ดส่งผลให้ผลผลิตของข้าวท่าลดลง (Danpreedanan *et al.*, 2023; Khan *et al.*, 2020) เช่นเดียวกันพบว่าปริมาณแอนโทไซยานินที่เพิ่มขึ้นในเมล็ดส่งผลให้ผลผลิตต่อต้นลดลง เช่นเดียวกัน อาจเนื่องจากการดึงเอาน้ำตาลที่สะสมไปใช้เป็นพลังงานในกระบวนการสังเคราะห์แอนโทไซยานินในเมล็ดทำให้น้ำหนักของเมล็ดข้าวท่าลดลง อีกทั้งปริมาณคลอโรฟิลล์ในเปลือกของข้าวท่าที่ลดลงก็อาจส่งผลกระทบต่อเติมเต็มเมล็ดของข้าวท่าด้วยเช่นกัน (Danpreedanan *et al.*, 2023; Rahman *et al.*, 2016; Yamuangmorn *et al.*, 2022)

นอกจากนี้จากการศึกษาปริมาณแอนโทไซยานินที่พบในพันธุ์ข้าวท่าพื้นเมืองทั้งในส่วนของใบและเมล็ดพบว่าปริมาณแอนโทไซยานินในใบของข้าวท่ากลุ่มที่มีใบและลำต้นสีม่วงมีความแตกต่างกัน เช่นเดียวกับปริมาณแอนโทไซยานินที่พบในเมล็ด ข้าวกลึงของข้าวท่า ซึ่งความแตกต่างของปริมาณแอนโทไซยานินดังกล่าวมีผลต่อรูปแบบการใช้ประโยชน์จากข้าวท่าพื้นเมืองซึ่งการนำเอาข้าวท่าพื้นเมืองที่มีแอนโทไซยานินสูงไปใช้ประโยชน์ เป็นการส่งเสริมการพัฒนาสายพันธุ์ข้าวท่าพื้นเมืองให้เหมาะแก่การใช้ประโยชน์มากขึ้น จากความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณแอนโทไซยานิน และยีน *OsDFR* สามารถใช้ยีนดังกล่าวในการช่วยคัดเลือกเป็นการเบื้องต้นสำหรับการคัดเลือกพันธุ์ข้าวท่าที่มีลักษณะใบและลำต้นสีม่วงตรงตามความต้องการในการปรับปรุงพันธุ์ได้ โดยในอนาคตอาจมีการศึกษาร่วมกับยีนอื่นในกระบวนการสังเคราะห์แอนโทไซยานินในข้าวท่าพื้นเมืองไทยซึ่งผลที่ได้จากการศึกษาจะเป็นการช่วยร่นระยะเวลาในการคัดเลือกลักษณะที่ต้องการในการปรับปรุงพันธุ์ อีกทั้งเพื่อเป็นทางเลือกในการใช้ประโยชน์เพิ่มเติมจากส่วนของใบและลำต้นของข้าวทานอกเหนือจากส่วนของเมล็ดที่มีการใช้ประโยชน์อยู่แล้ว รวมถึงเป็นทางเลือกในการจัดการส่วนของใบและลำต้นของข้าวท่าอันเป็นส่วนเหลือจากกระบวนการเก็บเกี่ยว ลดปริมาณตอซังที่เกษตรกรต้องจัดการหลังการเพาะปลูกลงได้

สรุป

ระดับการแสดงออกของยีน *OsDFR* ที่พบในใบที่อายุ 45 วันหลังย้ายปลูกมีความแตกต่างกันภายในกลุ่มของข้าวเก่าที่มีใบและลำต้นสีม่วงโดยก่อดอยสะเกิดและก่าวีเียงสามีระดับการแสดงออกของยีน *OsDFR* มากที่สุด นอกจากนี้ยังพบว่าระดับการแสดงออกของยีน *OsDFR* ต่อปริมาณแอนโทไซยานินที่พบในกลุ่มของข้าวเก่าที่มีใบและลำต้นสีม่วงมีความสัมพันธ์เชิงลบ แต่ไม่พบความสัมพันธ์ระหว่างระดับการแสดงออกของยีน *OsDFR* ที่พบในใบที่อายุ 45 วันหลังย้ายปลูกต่อปริมาณแอนโทไซยานินที่พบในเมล็ดข้าวกล้องของข้าวเก่าทั้ง 9 พันธุ์ โดยจากการศึกษาปริมาณแอนโทไซยานินที่พบในใบที่อายุ 45 วันหลังย้ายปลูกและในเมล็ดข้าวกล้องพบว่าปริมาณแอนโทไซยานินที่พบในใบที่อายุ 45 วันหลังย้ายปลูกในกลุ่มของข้าวเก่าที่มีลักษณะใบและลำต้นสีม่วง พันธุ์ K4 มีปริมาณแอนโทไซยานินสูงที่สุด ส่วนปริมาณแอนโทไซยานินที่พบในเมล็ดข้าวกล้องของข้าวเก่าทั้ง 9 พันธุ์ K4 และก่อดอยสะเกิดมีปริมาณแอนโทไซยานินสูงที่สุด และนอกจากนี้จากการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างผลผลิตต่อปริมาณแอนโทไซยานินที่พบในใบพบว่ามีความสัมพันธ์เชิงลบเช่นเดียวกับความสัมพันธ์ระหว่างผลผลิตต่อปริมาณแอนโทไซยานินที่พบในเมล็ดข้าวกล้อง จากการศึกษาดังกล่าวสามารถใช้เป็นข้อมูลพื้นฐานที่สำคัญต่อการศึกษาและพัฒนาค้นหาเครื่องหมายโมเลกุลที่เหมาะสมและมีประสิทธิภาพในการคัดเลือกพันธุ์ข้าวเก่าที่มีปริมาณแอนโทไซยานินสูง และนอกจากนี้ยังควรมีการศึกษาเพิ่มเติมเกี่ยวกับยีนที่เกี่ยวข้องกับการสังเคราะห์แอนโทไซยานินเพื่อความแม่นยำในการคัดเลือกพันธุ์ในการปรับปรุงพันธุ์ข้าวเก่าพื้นเมืองให้เหมาะสมต่อการใช้ประโยชน์ต่อไป

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณโครงการทุนวิจัยบัณฑิตศึกษาด้านการเกษตรและอุตสาหกรรมเกษตรจากสำนักงานพัฒนาการวิจัยการเกษตร (องค์การมหาชน)

ประจำปีงบประมาณ 2564 สัญญาเลขที่ GSCMU (HRD6405069)/01/2564 และบัณฑิตวิทยาลัยมหาวิทยาลัยเชียงใหม่

เอกสารอ้างอิง

- Danpreedanan, N., S. Yamuangmom, S. Jamjod, C. Prom-u-thai and T. Pusadee. 2023. Genotypic variation of purple rice in response to shading in yield, anthocyanin content, and gene expression. *Plants* 12(13): 2582. doi: 10390/plants12132582.
- Division of Rice Research and Development. 2016. Khao' Jow Hawm Phisanulok 1. (Online). Available: <https://newwebs2.ricethailand.go.th/webmain/rkb3/title-index.php-file=content.php&id=022.htm> (July 5, 2021). (in Thai)
- Fongfon, S., T. Pusadee, C. T. Prom-u-thai and S. Jamjod. 2019. Classification of morphological, agronomic and special grain quality characters among highland purple rice landraces from northern Thailand. *Khon Kaen Agriculture Journal* 47(6): 1139-1150. (in Thai)
- Fongfon, S., T. Pusadee, C. T. Prom-u-thai, B. Rerkasem and S. Jamjod. 2021. Diversity of purple rice (*Oryza sativa* L.) landraces in northern Thailand. *Agronomy* 11(10): 2029. doi: 10.3390/agronomy11102029.
- Furukawa, T., M. Maekawa, T. Oki, I. Suda, S. Iida, H. Shimada, I. Takamure and K. Kadowaki. 2007. The *Rc* and *Rd* genes are involved in proanthocyanidin synthesis in rice pericarp. *The Plant Journal* 49(1): 91-102.
- Huttayanun, T., C. Prom-u-thai, and S. Jamjod. 2016. Selection for photoperiod insensitive

- advanced lines and high grain anthocyanin of purple glutinous rice. *Journal of Agriculture* 33(1): 81-90. (in Thai)
- Khan, A., S. Jalil, H. Cao, Y. Tsago, M. Sunusi, Z. Chen, C. Shi and X. Jin. 2020. The purple leaf (*p/6*) mutation regulates leaf color by altering the anthocyanin and chlorophyll contents in rice. *Plants* 9 (11): 1477. doi: 10.3390/plants9111477.
- Lee, J., R. W. Durst and R. D. Wrolstad. 2005. Determination of total monomeric anthocyanin pigment content of fruit juices, beverages, natural colorants and wine by pH differential method: collaborative study. *Journal of AOAC international* 88(5): 1269-1278. doi: 10.1093/jaoac/88.5.1269.
- Phasri, W., K. Panjama, T. Ohyama and P. Hongpakdee. 2016. Quality and quantity of extracted RNA from soybean young leaf by the use of TRIzol[®] reagent test kit. *Khon Kaen Agriculture Journal* 44 (1): 193-198. (in Thai)
- Pusadee, T., A. Wongtamee, B. Rerkasem, K.M. Olsen and S. Jamjod. 2019. Farmers drive genetic diversity of Thai purple rice (*Oryza sativa* L.) landraces. *Economic Botany* 73: 76-85.
- Pusadee, T., P. Oupkaew, B. Rerkasem, S. Jamjod and B.A. Schaal. 2014. Natural and human-mediated selection in a landrace of Thai rice (*Oryza sativa*). *Annals of Applied Biology* 165(2): 280-292.
- Rahman, M. M., K. E. Lee and S.G. Kang. 2016. Allelic gene interaction and anthocyanin biosynthesis of purple pericarp trait for yield improvement in black rice. *Journal of Life Science* 26(6): 727-736.
- Sakulsingharoj, C., P. Inta, R. Sukkasem, S. Pongjaroenkit, S. Chowpongpan and V. Sangtong. 2014. Overexpression of OsB2 gene in transgenic rice up-regulated expression of structural genes in anthocyanin biosynthesis pathway. *Thai Journal of Genetic* 7(3): 173-182. doi: 10.14456/tjg.2014.24.
- Wang, H., W. Fan, H. Li, J. Yang, J. Huang and P. Zhang. 2013. Functional characterization of dihydroflavonol-4-reductase in anthocyanin biosynthesis of purple sweet potato underlies the direct evidence of anthocyanins function against abiotic stresses. *PLoS ONE* 8(11): 278484. doi: 10.1371/journal.pone.0078484.
- Xia, D., H. Zhou, Y. Wang, P. Li, P. Fu, B. Wu and Y. He, 2021. How rice organs are colored: The genetic basis of anthocyanin biosynthesis in rice. *The Crop Journal* 9(3): 598-608.
- Yamuangmorn, S., S. Jumrus, S. Jamjod, K. Sringarm, C. Arjin and C. Prom-u-thai. 2022. Responses of purple rice variety to light intensities and soil zinc application on plant growth, yield and bioactive compounds synthesis. *Journal of Cereal Science* 106, doi: 10.1016/j.jcs.2022.103495.
- Zheng, J., H. Wu, H. Zhu, C. Huang, C. Liu, Y. Chang, Z. Kong, Z. Zhou, G. Wang, Y. Lin and H. Chen. 2019. Determining factors, regulation system, and domestication of anthocyanin biosynthesis in rice leaves. *New Phytologist* 223(2): 705-721.
- Zhu, Q., S. Yu, D. Zeng, H. Liu, H. Wang, Z. Yang, X. Xie, R. Shen, J. Tan, H. Li, X. Zhao, Q. Zhang, Y. Chen, J. Guo, L. Chen and

Y.-G. Liu. 2017. Development of “purple endosperm rice” by engineering anthocyanin biosynthesis in the endosperm with a high- efficiency transgene stacking system. *Molecular Plant* 10(7): 918–929.

ผลของวัสดุปลูกต่อการเจริญเติบโตและผลผลิตของมันฝรั่ง

Effects of Growing Media on Growth and Development, and Yield of Potato (*Solanum tuberosum* L.)

สุกัญญา ศรีบัวขาว^{1*} ปฏิภาณ สุทธิกุลบุตร¹ ผานิตย์ นาขยัน¹ และ ทิพย์สุดา ตั้งตระกูล²

Sukanya Sribuakhao^{1*}, Pathipan Sutigoolabud¹, Phanit Nakayan¹ and Tipsuda Tangtragoon²

¹คณะผลิตกรรมการเกษตร มหาวิทยาลัยแม่โจ้ จ. เชียงใหม่ 50290

¹Faculty of Agricultural Production, Maejo University, Chiang Mai 50290, Thailand

²คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยแม่โจ้ จ. เชียงใหม่ 50290

²Faculty of Science, Maejo University, Chiang Mai 50290, Thailand

*Corresponding author E-mail: sukanyasri341@gmail.com

(Received: 30 May 2023; Accepted: 27 June 2024)

Abstract: This study was conducted on seed potato production in growing media to select suitable growing media for potato seed production. The experiment used completely randomized design (CRD) with 9 treatments and 0 replications of with growing media such as 1) coconut coir dust, 2) coconut coir dust + rice husk (1:1), 3) coconut coir dust + rice husk charcoal (3:1), 4) coconut coir dust + sand (1:1), 5) sand, 6) sand + rice husk (1:1), 7) sand + rice husk charcoal (3:1), 8) coconut coir dust + rice husk + sand + rice husk charcoal (1:1:1:1) and 9) rice husk. The experiment measured the physical and chemical properties of the growing media before and after harvesting. The results showed that all growing media were suitable for seed potato production. However, different growing media resulted in significantly different potato seed growth and seed yield at a 95 percent confidence level. The most suitable growing media for growing seed potatoes was coconut coir dust + rice husk (1:1), followed by coconut.

Keywords: Potato, growing media, growth, yield

บทคัดย่อ: การศึกษาการผลิตหัวพันธุ์มันฝรั่งในวัสดุปลูกมีวัตถุประสงค์เพื่อคัดเลือกวัสดุปลูกที่เหมาะสมสำหรับการผลิตหัวพันธุ์มันฝรั่ง วางแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ (CRD) ประกอบด้วย วัสดุปลูก 9 ชนิด ๆ ละ 10 ซ้ำ ได้แก่ 1) ขุยมะพร้าว, 2) ขุยมะพร้าว+แกลบดิบ (1:1), 3) ขุยมะพร้าว+แกลบดำ (3:1), 4) ขุยมะพร้าว+ทราย (1:1), 5) ทราย, 6) ทราย+แกลบดิบ (1:1), 7) ทราย+แกลบดำ (3:1), 8) ขุยมะพร้าว+แกลบดิบ+แกลบดำ+ทราย (1:1:1:1) และ 9) แกลบดิบ ทำการเก็บบันทึกข้อมูล สมบัติทางกายภาพและเคมีของวัสดุปลูกก่อนและหลังการปลูก การเจริญเติบโต และผลผลิตของมันฝรั่ง ผลการทดลอง พบว่า วัสดุปลูกทุกชนิดที่นำมาทดสอบมีสมบัติทางกายภาพและเคมีเหมาะสมในการใช้เพื่อผลิตหัวพันธุ์มันฝรั่งได้ อย่างไรก็ตามเมื่อนำมาผลิตหัวพันธุ์มันฝรั่ง พบว่า การใช้วัสดุปลูกที่แตกต่างกันทำให้การเจริญเติบโต และผลผลิตหัวพันธุ์มันฝรั่งแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซนต์ โดยวัสดุปลูกที่มีความเหมาะสมต่อการปลูกเพื่อผลิตหัวพันธุ์มันฝรั่งมากที่สุด คือ ขุยมะพร้าวผสมแกลบดิบ ในอัตราส่วน 1:1 รองลงมาคือ ขุยมะพร้าว ให้ผลในด้านการเจริญเติบโต และจำนวนหัวพันธุ์ของมันฝรั่งมากที่สุด

คำสำคัญ: มันฝรั่ง วัสดุปลูก การเจริญเติบโต ผลผลิต

คำนำ

มันฝรั่งมีถิ่นกำเนิดแถบที่ราบสูงของเทือกเขาแอนดีสในอเมริกาใต้ ประเทศเปรู มีการนำมันฝรั่งมาปลูกและบริโภคเป็นเวลานาน มันฝรั่งเป็นพืชที่อยู่ในวงศ์ Solanaceae มีชื่อสามัญว่า potato หรือ Iris potato ชื่อทางวิทยาศาสตร์ว่า *Solanum tuberosum* L. เป็นพืชล้มลุกที่มีหัวใต้ดิน (tuber) เป็นส่วนของลำต้นสะสมอาหาร และช่วงความยาวแสงที่มันฝรั่งต้องการอยู่ที่ 12-13 ชั่วโมง มีความสำคัญในด้านอุตสาหกรรมที่ให้ผลตอบแทนสูงแก่เกษตรกรผู้ปลูกเมื่อเปรียบเทียบกับพืชเศรษฐกิจชนิดอื่น เนื่องจากเป็นพืชที่ให้ผลผลิตสูง มีช่วงอายุการปลูกสั้นและมีอุตสาหกรรมแปรรูปรองรับ ปัจจุบันประเทศไทยเป็นผู้ผลิตมันฝรั่งทอดกรอบอันดับหนึ่งของภูมิภาคเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ และมีแนวโน้มความต้องการมันฝรั่งเพิ่มขึ้นตามการขยายตัวของ การบริโภค ซึ่งผู้ประกอบการต้องการแปรรูปมันฝรั่งแผ่นทอดกรอบ (potato chip) ปีละประมาณ 170,000 ตัน (Bureau of agriculture commodities promotion and management, 2014) ทำให้พื้นที่เพาะปลูกมันฝรั่งขยายตัวอย่างต่อเนื่อง จากการคาดการณ์ของสำนักงานเศรษฐกิจการเกษตรในปี.ศ. 2564 มันฝรั่งมีพื้นที่ปลูก 41,601 ไร่ ปริมาณผลผลิต 127,932 ตัน คิดเป็น 3.08 ตันต่อไร่ (Office of Agricultural Economics, 2022) ซึ่งผลผลิตที่ได้นั้นยังไม่เพียงพอต่อความต้องการภายใน

ประเทศ จึงมีการนำเข้ามันฝรั่งเพื่อแปรรูป และประเทศไทยเป็นผู้นำเข้ามันฝรั่งอันดับ 12 ของโลก สำหรับการผลิิตมันฝรั่งในประเทศไทยนั้น แหล่งผลิตสำคัญอยู่ที่จังหวัดเชียงใหม่ ลำพูน และตาก ปัจจุบันพื้นที่ปลูกได้ขยายไปยังจังหวัดอื่น ๆ เช่น จังหวัดเชียงราย พะเยา ลำปาง และบางพื้นที่ในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ เช่น จังหวัดหนองคาย สกลนคร และเลย โดยพื้นที่ปลูกร้อยละ 95 อยู่ในภาคเหนือและพื้นที่ปลูกอีกร้อยละ 5 อยู่ในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ (Jarinthorn *et al.*, 2008 ; Office of Agricultural Economics, 2022)

จากการขยายตัวอย่างรวดเร็วของอุตสาหกรรมแปรรูปมันฝรั่งในประเทศไทยโดยเฉพาะมันฝรั่งทอดกรอบ ทำให้เกษตรกรมีความต้องการหัวพันธุ์มันฝรั่งเพื่อปลูกและนำผลผลิตไปขึ้นเข้าสู่โรงงานแปรรูป ปัญหาและความเสี่ยงที่ส่งผลกระทบต่อการผลิตมันฝรั่ง คือ มันฝรั่งจำเป็นต้องใช้หัวพันธุ์ในการปลูกเท่านั้น และหัวพันธุ์มันฝรั่งที่ใช้ปลูกในประเทศไทยส่วนใหญ่นำเข้าจากต่างประเทศ เนื่องจากหัวพันธุ์ในประเทศยังผลิตได้ไม่เพียงพอต่อความต้องการของเกษตรกร หัวพันธุ์ที่เกษตรกรเป็นผู้ผลิต และเก็บไว้ใช้เองไม่มีคุณภาพ มีการติดโรค ทำให้ได้ผลผลิตต่อไร่ต่ำ ด้วยเหตุนี้จึงได้มีการนำเข้าหัวพันธุ์จากต่างประเทศเพื่อจำหน่ายให้กับเกษตรกร โดยมีการนำเข้าหัวพันธุ์มันฝรั่งประมาณปีละ 15,000 - 18,000 ตัน นอกจากนี้ยังมีปัญหาด้านทุนการผลิตหัวพันธุ์มันฝรั่งสูง เนื่องจากค่าแรงและค่าหัว

พันธุ์ที่นำเข้าจากต่างประเทศมีราคาแพง (Office of Agricultural Economics, 2022) ในการผลิตมันฝรั่ง หัวพันธุ์หลัก (pre-basic seed) หรือ G_0 ซึ่งเป็นหัวพันธุ์ปลอดโรคที่มีขนาดเล็ก มีเส้นผ่าศูนย์กลาง 2 - 6 เซนติเมตร โดยทั่วไปได้จำนวน 2 - 3 หัวต่อต้น ส่งผลทำให้ต้นทุนการผลิตสูงถึง 6 บาทต่อหัว เมื่อนำหัวพันธุ์ G_0 ปลูกต่อเพื่อเป็นมันฝรั่งหัวพันธุ์ขยาย (basic seed) หรือ G_1 ในแปลงปลูกสภาพไร่ (Meekhayai, 2018) ทำให้หัวพันธุ์มีโอกาสสะสมของโรคพืชและแมลงศัตรูพืช ส่งผลให้พืชเจริญเติบโตช้า นอกจากนี้การปลูกพืชทางดินยังต้องปลูกตามฤดูกาลปลูกเพื่อให้ได้ผลผลิตสูงสุด ไม่สามารถให้ผลผลิตสม่ำเสมอได้ เนื่องจากการควบคุมธาตุอาหารและการควบคุมปัจจัยทางสิ่งแวดล้อมต่าง ๆ ไม่ทั่วถึง ดังนั้นจึงสนใจศึกษาการปลูกมันฝรั่งเพื่อเป็นหัวพันธุ์โดยใช้วัสดุปลูกแทนดิน ซึ่งวัสดุปลูกที่ใช้เป็นอินทรีย์วัตถุชนิดต่าง ๆ เช่น แกลบดิบ แกลบดำ ขุยมะพร้าว และทรายหยาบ เพื่อใช้ปลูกพืชทดแทนดิน และวัสดุเหล่านี้มีสมบัติเฉพาะตัวที่เหมาะสมแตกต่างกันไป ช่วยในการยึดลำต้น การอุ้มน้ำ การถ่ายเทอากาศ และสามารถทำให้รากซอนไชได้ง่าย

อุปกรณ์และวิธีการ

แผนการทดลองและสิ่งทดลอง

การศึกษาดังกล่าวในครั้งนี้ได้ดำเนินการปลูกมันฝรั่งในโรงเรือนพลาสติกกันแมลงของสาขาปฐพีศาสตร์ คณะผลิตกรรมการเกษตร มหาวิทยาลัยแม่โจ้ ในพื้นที่ตำบลหนองหาร อำเภอสันทราย จังหวัดเชียงใหม่ ระหว่างเดือนกันยายน ปี 2564 ถึง เดือนเมษายน ปี 2565 โดยใช้มันฝรั่งพันธุ์แอตแลนติก ที่ผ่านการบ่มหัวพันธุ์มันฝรั่งจนมีหน่อออกออกมาประมาณ 1-3 เซนติเมตร จากนั้นนำไปปลูกโดยใช้หัวพันธุ์ทั้งหัวต่อหนึ่งถุงปลูก ให้ความลึกของหัวมันฝรั่งอยู่ระหว่างกลางของถุงปลูก มีการให้น้ำและปุ๋ยทางน้ำชนิดปุ๋ยเกล็ดทุกสัปดาห์ปริมาณ 500 มิลลิลิตรต่อต้น ทั้งหมด 15 สัปดาห์ โดยใช้ปุ๋ยตลอดฤดูกาลต่อถุงปลูกต่อหนึ่งหัวพันธุ์ทั้งหมด ดังนี้ ไนโตรเจน 3.07 กรัม, ฟอสฟอรัส 2.22 กรัม, โพแทสเซียม 6.13 กรัม, แคลเซียม 1.96 กรัม, แมกนีเซียม 0.87 กรัม,

กำมะถัน 1.35 กรัม และธาตุอาหารเสริม ประกอบด้วย เหล็ก ทองแดง สังกะสี โบรอน และแมงกานีส 0.05 - 0.1 กรัม (Sutigoolabud et al., 2010) วางแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ (completely randomized design) ประกอบด้วย วัสดุปลูก 4 ชนิด ได้แก่ ขุยมะพร้าว (coconut coir dust) แกลบดิบ (rice husk) แกลบดำ (rice husk charcoal) และทรายหยาบ (sand) จากนั้นทำการผสมวัสดุปลูกโดยปริมาตรทั้งหมด 9 กรรมวิธี ๆ ละ 10 ซ้ำ โดยแต่ละกรรมวิธีการทดลองมีชื่อเต็มและชื่อย่อ ดังนี้ T1 = ขุยมะพร้าว หรือ CC, T2 = ขุยมะพร้าว+ แกลบดิบ (1:1) หรือ CC + RH (1:1), T3 = ขุยมะพร้าว+ แกลบดำ (3:1) หรือ CC + HC (3:1), T4 = ขุยมะพร้าว+ ทรายหยาบ (1:1) หรือ CC + S (1:1), T5 = ทรายหยาบ หรือ S, T6 = ทรายหยาบ+แกลบดิบ (1:1) หรือ S + RH (1:1), T7 = ทรายหยาบ+แกลบดำ (3:1) หรือ S + HC (3:1), T8 = ขุยมะพร้าว+แกลบดิบ+ทรายหยาบ+แกลบดำ (1:1:1:1) หรือ CC + RH + S + HC (1:1:1:1) และ T9 = แกลบดิบ หรือ RH ซึ่งวัสดุปลูกแต่ละชนิดบรรจุลงในถุงปลูกสีดำขนาด 5x12 นิ้ว ปริมาตร 4 ลิตร

การวิเคราะห์ตัวอย่างวัสดุปลูก

ทำการเก็บตัวอย่างวัสดุปลูกทั้งหมด 9 กรรมวิธี ๆ ละ 10 ซ้ำ จากนั้นทำการวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพและเคมีบางประการก่อนและหลังการทดลองของวัสดุปลูก ประกอบด้วย ความหนาแน่นรวม (bulk density), การอุ้มน้ำ (water holding capacity), ความพรุน (porosity) และความเป็นกรด-ด่าง (pH) อัตราส่วนวัสดุปลูกต่อน้ำกลั่น 1:10 วัดค่าด้วยเครื่อง pH meter (Sutigoolabud, 2017)

การบันทึกข้อมูล

ทำการเก็บข้อมูลการทดลอง 2 ส่วน คือ 1) การเจริญเติบโตของมันฝรั่ง ประกอบด้วย เปอร์เซ็นต์การงอก จำนวนต้นโดยนับจำนวนต้นที่งอกหลังจากปลูกมันฝรั่งได้ 10 วัน และทำการวัดความสูงโดยใช้สายวัดหลังจากปลูกได้ 15 วัน หลังจากนั้นบันทึกข้อมูลทุกสัปดาห์จนถึงสัปดาห์สุดท้ายก่อนการเก็บเกี่ยวผลผลิต และ 2) การเก็บข้อมูลผลผลิตของมันฝรั่ง ได้แก่ จำนวนหัวจำนวนหัวในแต่ละกรรมวิธี โดยคัดเลือกหัวที่ได้คุณภาพเพื่อนับจำนวน และคัดเลือกหัวที่ไม่ได้

คุณภาพเป็นโรคหรือหัวเขียวแยกออก น้ำหนักหัว ด้วยการชั่งน้ำหนักสดของหัวมันฝรั่งที่มีเส้นผ่านศูนย์กลาง 2-8 เซนติเมตร และผลตอบแทนทางเศรษฐกิจโดยการคำนวณอัตราส่วนระหว่างผลตอบแทนต่อต้นทุนตลอดการทดลอง

การวิเคราะห์ผลการทดลอง

วิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติ (ANOVA) ของข้อมูลที่เกิดขึ้นด้วยโปรแกรม Sirichai Statistics 2014 (version 7.0) และเปรียบเทียบด้วยวิธี least significant difference (LSD)

ผลการศึกษาและวิจารณ์

การวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพและเคมีบางประการก่อนและหลังปลูก

สมบัติทางกายภาพของวัสดุปลูก (Table 1) พบว่า ความหนาแน่นรวมของวัสดุปลูกอยู่ระหว่าง 0.29-1.68 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร ซึ่งความหนาแน่นรวม

ของวัสดุปลูกที่เหมาะสมอยู่ในช่วง 0.64-1.20 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตรหลังรดน้ำ (Ong-Art, 2019) ดังนั้นกรรมวิธีที่ 2 และ 9 มีค่าความหนาแน่นรวมน้อยกว่า 0.64 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร กรรมวิธีที่ 5, 6, 7 และ 8 มีค่าความหนาแน่นรวมมากกว่า 1.20 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร ซึ่งไม่เหมาะสมต่อการปลูกมันฝรั่ง แต่เมื่อนำมาปลูกมันฝรั่งแล้ว ทำให้เจริญเติบโตและผลิตหัวพันธุ์มันฝรั่งได้ การนำวัสดุต่าง ๆ มาเป็นส่วนผสมของวัสดุปลูกควรคำนึงถึงการไม่อัดตัวแน่นเมื่อเปียกน้ำส่งผลให้พืชมีการเจริญเติบโตที่ดี ด้านการอุ้มน้ำของวัสดุปลูก พบว่า วัสดุปลูกมีเปอร์เซ็นต์การอุ้มน้ำที่สามารถใช้ในการปลูกพืชได้ และวัสดุปลูกควรมีคุณสมบัติกักเก็บความชื้นได้ดีที่ 25-40 เปอร์เซ็นต์ โดยปริมาตรใกล้เคียงกับ Supinrach and Supinrach (2018) รายงานว่า วัสดุปลูกที่ดีควรมีอัตราส่วนของน้ำและอากาศประมาณ 50 ต่อ 50 ไม่มีการอัดตัวแน่นหรือยุบตัวเมื่อเปียกน้ำ หากเมื่อใช้ไปนาน ๆ รากพืชสามารถแพร่กระจายได้ทั่วทุกส่วนของวัสดุปลูก โดยเปอร์เซ็นต์การอุ้มน้ำของวัสดุ

Table 1. Physical properties of growing media before and after planting of seed potato production

Treatment	Bulk density (g/cm ³)		Water holding capacity (% w/w)		Porosity (%)		pH	
	before	after	before	after	before	after	before	after
T1. CC	0.18 ^d	0.75 ^d	342 ^c	383 ^a	86.1 ^d	55.9 ^{cd}	7.40 ^{cd}	6.49 ^{bc}
T2. CC + RH (1:1)	0.11 ^d	0.42 ^e	358 ^b	230 ^c	91.3 ^b	67.2 ^b	6.95 ^e	6.54 ^b
T3. CC + HC (3:1)	0.20 ^d	0.69 ^d	387 ^a	340 ^b	86.7 ^c	61.7 ^{bc}	7.50 ^{bc}	6.56 ^b
T4. CC + S = (1:1)	0.90 ^b	1.12 ^c	79.2 ^e	56.8 ^f	61.1 ^g	53.8 ^d	7.57 ^{ab}	6.90 ^a
T5. S	1.18 ^a	1.68 ^a	28.1 ^h	25.1 ^h	51.6 ⁱ	33.7 ^f	6.99 ^e	6.72 ^{ab}
T6. S + RH (1:1)	0.58 ^c	1.27 ^{bc}	72.4 ^f	79.4 ^e	75.1 ^f	45.5 ^e	6.63 ^g	6.75 ^{ab}
T7. S + HC (3:1)	1.00 ^b	1.49 ^{ab}	38.1 ^g	29.7 ^g	60.7 ^h	40.0 ^{ef}	7.31 ^d	6.86 ^a
T8. CC + RH + S + HC (1:1:1:1)	0.50 ^c	1.29 ^{bc}	93.4 ^d	108 ^d	77.6 ^e	44.2 ^e	7.70 ^a	6.54 ^b
T9. RH	0.08 ^d	0.29 ^e	7.10 ⁱ	9.86 ⁱ	92.6 ^a	78.3 ^a	6.35 ^g	6.56 ^c
LSD	*	*	*	*	*	*	*	*
C.V. (%)	17.9	9.79	0.03	0.07	0.13	5.16	1.47	1.75

The means of each parameter followed by same letter within a column are not significantly different according to Duncan Multiple Range Test 5% (P>0.05)

ปลูกในด้านการทดลองอยู่ระหว่าง 9.86-383 เปอร์เซ็นต์ โดยน้ำหนักแห้ง และด้านความพรุน ซึ่งเป็นสัดส่วนของ ปริมาตรช่องว่างในวัสดุปลูกต่อปริมาตรรวมทั้งหมด ของวัสดุปลูก พบว่า วัสดุปลูกก่อนการทดลองมากกว่า หลังการทดลอง เนื่องจากวัสดุปลูกแต่ละชนิดมีการระคายน้ำและช่องว่างอากาศที่แตกต่างกัน เมื่อมีการรดน้ำและให้ปุ๋ยทางน้ำทำให้ความหนาแน่นรวมของวัสดุปลูกเพิ่มมากขึ้น เนื่องจากการอัดตัวของวัสดุปลูกเมื่อเปียกน้ำ ส่งผลให้ความพรุนของวัสดุปลูกลดน้อยลง Jaenicke (1999) รายงานว่า วัสดุปลูกที่มีความเหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของพืชควรที่สัดส่วนของช่องว่างรวม 50 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร แบ่งเป็นช่องว่างอากาศและน้ำอย่างละ 25 เปอร์เซ็นต์ หากวัสดุปลูกมีช่องว่างอากาศต่ำเกินไป จะส่งผลให้พืชหยุดการสร้างรากใหม่ ดังนั้น กรรมวิธีที่ 5, 6 และ 7 มีความพรุนหลังการทดลองน้อยกว่า 50 เปอร์เซ็นต์ จึงไม่เหมาะสมต่อการปลูกมันฝรั่ง Chittawanij *et al.* (2020) ได้ศึกษาวัสดุปลูกสำหรับการปลูกผักสลัด Red Oak พบว่า ดิน+กาบมะพร้าว+ขุยมะพร้าว (6:2:2) เป็นวัสดุปลูกที่มีความพรุนไม่อัดตัวแน่นเมื่อเปียกน้ำ มีสมบัติทางกายภาพดีกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับวัสดุปลูกชนิดอื่น ซึ่งเป็นแนวทางในการนำวัสดุปลูกชนิดขุยมะพร้าวมาเป็นการทดลอง และผสมร่วมกับวัสดุปลูกชนิดอื่น

หากสังเกตกรรมวิธีที่มีทรายหยาบเป็นองค์ประกอบ (T 4-8) มีความหนาแน่นรวมของวัสดุปลูกเพิ่มมากขึ้นเล็กน้อย และเมื่อนำทรายหยาบมาผสมกับวัสดุปลูกชนิดอื่นส่งผลให้วัสดุปลูกมีความหนาแน่นรวมเพิ่มขึ้น การอุ้มน้ำเพิ่มขึ้น และความพรุนลดลง แตกต่างจากแกลบดิบ (T9) มีความหนาแน่นรวมของวัสดุปลูกน้อย (0.29 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร) และเมื่อนำแกลบดิบมาผสมกับวัสดุปลูกชนิดอื่น ส่งผลให้ความหนาแน่นรวมของวัสดุปลูกลดลง การอุ้มน้ำและความพรุนเพิ่มมากขึ้น เช่นเดียวกับ Aboud and Abd-Alrahman (2020) ศึกษาสมบัติทางกายภาพของวัสดุปลูกชนิดทราย และทรายผสมแกลบดิบ (1:1) พบว่า ทรายผสมกับแกลบดิบมีหนาแน่นลดลง ความพรุนและการอุ้มน้ำเพิ่มขึ้น

การวิเคราะห์ความเป็นกรด-ด่าง (pH) ของวัสดุปลูกก่อนและหลังการทดลอง พบว่า ก่อนปลูกอยู่ที่ 6.35 - 7.70 และหลังปลูกอยู่ที่ 6.49 - 6.90 มีความเหมาะสมต่อการปลูกมันฝรั่ง (Table 1) Inthasan (2020) กล่าวว่า ความเป็นกรด-ด่าง มีผลต่อความเป็นประโยชน์ของธาตุอาหารพืช ค่าที่เหมาะสมควรอยู่ในช่วง 6 - 7 จากการทดลอง พบว่า แกลบดิบมีค่าพีเอชเป็นกรดอ่อน เมื่อนำแกลบดิบมาผสมกับวัสดุปลูกชนิดอื่น ส่งผลให้วัสดุปลูกชนิดนั้นมีความเป็นกรด-ด่างลดลงตามไปด้วย แต่ในทางกลับกันเมื่อนำแกลบดิบผสมกับวัสดุปลูกชนิดอื่น ทำให้ค่าความเป็นกรด-ด่างของวัสดุปลูกเพิ่มมากขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับรายงานของ Buachum and Towattana (2015) พบว่า การเติมแกลบดิบลงในอัตราส่วนที่เพิ่มขึ้น ทำให้ความเป็นกรด-ด่างเพิ่มขึ้น เนื่องจากแกลบดิบมีสภาพเป็นด่าง Kannark *et al.* (1997) ได้ทดลองการใช้ดินผสมแกลบดิบในอัตราส่วน 1:1 และ 1:2 พบว่า ค่าความเป็นกรด-ด่างจาก 7.40 เป็น 7.50 ตามลำดับ ซึ่งเป็นค่าที่สูงจากเดิม เนื่องจากแกลบดิบเกิดจากการเผาไหม้เปลี่ยนเป็นถ่านแกลบ มีคาร์บอนเป็นส่วนประกอบ ทำให้มีค่าเป็นด่าง และเป็นวัสดุที่อุ้มน้ำได้สูง ช่วยลดการสูญเสียธาตุอาหารที่เคลื่อนย้ายไปกับน้ำได้ (Chanthai, 2012)

การเจริญเติบโต

การงอกของหัวมันฝรั่ง: หลังปลูกมันฝรั่ง 10 วัน พบว่า ทุกกรรมวิธีใช้เวลาในการงอกประมาณหนึ่งสัปดาห์ กรรมวิธีที่ 1-8 มีเปอร์เซ็นต์การงอก 100 เปอร์เซ็นต์ ชี้ให้เห็นว่าวัสดุปลูกเหมาะสมต่อการเพาะปลูกและขยายผลผลิตมันฝรั่งได้ เป็นไปตามการทดลองของ Chumpookam *et al.* (2016) ศึกษาผลของการงอกของเมล็ดมันฝรั่งพันธุ์ เวียดนาม GQ2 ในวัสดุปลูกที่แตกต่างกันทั้ง 7 ชนิด พบว่า วัสดุปลูกมีผลต่อการงอกของเมล็ดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยการเพาะเมล็ดในวัสดุ แกลบดิบ+ทรายหยาบ+ขุยมะพร้าว (1:1:1) มีการงอกสูงที่สุด คือ 93.33 เปอร์เซ็นต์ เนื่องจากแกลบดิบมีสมบัติอุ้มน้ำและการระบายน้ำได้ดี ทรายหยาบมีการระบายน้ำและถ่ายเทอากาศได้ดี และขุยมะพร้าวมีอนุภาคขนาดใหญ่ ทำให้วัสดุปลูก

มีความโปร่งและมีช่องว่างมากกว่าวัสดุปลูกชนิดอื่น วัสดุปลูกที่มีส่วนผสมของแกลบดำและขุยมะพร้าวผสมสามารถดูดซับธาตุอาหารไว้ได้ดี ยกเว้นแกลบดิบ (T9) มีเปอร์เซ็นต์การงอกเพียง 30 เปอร์เซ็นต์ (Table 2) ไม่เหมาะสมต่อการนำไปใช้เป็นวัสดุสำหรับปลูกมันฝรั่ง และยังใช้เวลาในการงอกนานกว่ากรรมวิธีอื่น โดยใช้เวลา 15 วัน ทั้งนี้เนื่องจากแกลบดิบมีความพรุนสูงและมีความสามารถในการอุ้มน้ำต่ำ ไม่สามารถกักเก็บน้ำและปุ๋ยได้ ทำให้มีความชื้นไม่เพียงพอต่อการงอกของหัวมันฝรั่ง เมื่อพิจารณาสมบัติทางกายภาพ (Table 1) พบว่า การใช้แกลบดิบ (T9) ชนิดเดียวมีผลต่อการงอกของมันฝรั่ง (30 เปอร์เซ็นต์) เนื่องจาก แกลบดิบมีความพรุนสูงความหนาแน่นและการอุ้มน้ำต่ำ และมีความพรุนสูง ทำให้มีช่องว่างของวัสดุปลูกเต็มไปด้วยอากาศ ไม่สามารถกักเก็บน้ำไว้เพื่อรักษาความชื้นให้มีปริมาณเพียงพอสำหรับการงอกของหัวพันธุ์ได้ อย่างไรก็ตาม แกลบดิบสามารถใช้เป็นวัสดุหรือผสมร่วมกับวัสดุปลูกชนิดอื่นได้ดี คือ ทำให้วัสดุปลูกผสมมีความหนาแน่นลดลง มีความพรุนเพิ่มมากขึ้น เพิ่มช่องว่างอากาศให้พืชได้ และน้ำหนักเบาง่ายต่อการนำมาใช้

จำนวนต้นของมันฝรั่ง: อยู่ระหว่าง 1.40-6.00 ต้นต่อถุงปลูก กรรมวิธีที่มีจำนวนต้นต่อถุงปลูกมากที่สุด คือ ขุยมะพร้าว+แกลบดิบ (1:1) (T2) 6.00 ต้นต่อถุงปลูก และกรรมวิธีที่มีจำนวนต้นน้อยที่สุด คือ แกลบดิบ (T9) 1.40 ต้นต่อถุงปลูก มีความแตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ การเก็บข้อมูลด้านจำนวนต้นของมันฝรั่ง (Table 2) พบว่า แกลบดิบ (T9) เพียงชนิดเดียวให้จำนวนต้นของมันฝรั่ง 1.40 ต้นต่อถุงปลูกเท่านั้น ซึ่งไม่เหมาะสมต่อการปลูกมันฝรั่ง แต่เมื่อนำแกลบดิบมาผสมกับวัสดุปลูกชนิดอื่น เช่น ผสมขุยมะพร้าว+แกลบดิบ (1:1) (T2) กลับทำให้ต้นมันฝรั่งมีการงอกมากขึ้นและมีจำนวนต้นมันฝรั่งมากที่สุด คือ 6.00 ต้นต่อถุงปลูก ในขณะที่ขุยมะพร้าวชนิดเดียว (T1) มีจำนวนต้นของมันฝรั่ง 3.50 ต้นต่อถุงปลูก เพราะขุยมะพร้าวเป็นผงเมื่อรดน้ำเป็นเวลานานเกิดการอัดตัวเป็นก้อนอาจมีช่องว่างลดลง ทำให้ต้นมันฝรั่งงอกได้น้อย ส่วนแกลบดิบมีการอุ้มน้ำน้อย ทำให้ต้นมันฝรั่งงอกและเหี่ยวตายได้ เนื่องจากไม่

สามารถเก็บน้ำและธาตุอาหารไว้เลี้ยงต้นมันฝรั่งได้ ซึ่งสอดคล้องกับ Chindachia *et al.* (2005) ศึกษาการใช้แกลบดิบผสมกับวัสดุต่างชนิด โดยศึกษาวัสดุปลูกที่เหมาะสมสำหรับการปลูกมะเขือเทศเชอร์รี่โดยไม่ใช้ดินพบว่า การผสมวัสดุปลูกชนิดแกลบกับวัสดุชนิดอื่น คือ ขุยมะพร้าว+ทรายหยาบ+แกลบดิบ (1:1:1) ทำให้ต้นมะเขือเทศเชอร์รี่มีความสูงมากที่สุด

ความสูงต้นมันฝรั่ง: ผลการศึกษา พบว่า ความสูงเฉลี่ยของมันฝรั่งอยู่ระหว่าง 27.4 - 42.0 เซนติเมตร ซึ่งมีความแตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ โดยกรรมวิธีที่มีความสูงมากที่สุด คือ ขุยมะพร้าว(T1) 42.0 เซนติเมตร และแกลบดิบ (T9) มีความสูงน้อยที่สุด 27.4 เซนติเมตร ทั้งนี้เนื่องจากขุยมะพร้าวมีความพรุนค่อนข้างสูงและอุ้มน้ำได้ดี ต่างจากแกลบดิบที่มีความพรุนสูงเช่นเดียวกับขุยมะพร้าวแต่มีการอุ้มน้ำต่ำ ทำให้ไม่สามารถเก็บความชื้นไว้ได้อย่างเพียงพอเพื่อใช้ในการเจริญเติบโตของต้นมันฝรั่ง สอดคล้องกับ Chiota *et al.* (2015) ได้ศึกษาผลของวัสดุปลูกต่อการเกิดและการเจริญเติบโตของมันฝรั่ง 2 ชนิด เปรียบเทียบกับดินพบว่า การปลูกในวัสดุปลูกทำให้มันฝรั่งมีจำนวนต้นและความสูงมากกว่าในดินซึ่งวัสดุปลูก ประกอบด้วย ขุยมะพร้าว เปลือกสน และขี้เถ้า

ข้อมูลการเจริญเติบโตของมันฝรั่ง ชี้ให้เห็นว่า วัสดุปลูกชนิด ขุยมะพร้าว ทรายหยาบ และแกลบดำ มีผลต่อการเจริญเติบโตของมันฝรั่ง อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (Table 2) ซึ่งขุยมะพร้าวและทรายหยาบสามารถใช้เป็นวัสดุชนิดเดียวหรือนำไปผสมกับวัสดุชนิดอื่นเพื่อใช้เป็นวัสดุปลูกได้ ในขณะที่แกลบดำสามารถนำมาผสมกับวัสดุปลูกชนิดอื่น ทำให้พืชมีการเจริญเติบโตที่ดีขึ้นได้ สอดคล้องกับการศึกษาของ Hamdani *et al.* (2019) ที่พบว่าดินผสมที่เตรียมจาก ดิน+ปุ๋ยหมัก+แกลบดำ (2:1:1) พบว่า ทำให้ความสูงของมันฝรั่งมากกว่าต่อการทดลองอื่น เช่นเดียวกับ Nurbaity *et al.* (2019) ที่พบว่าดินผสมที่เตรียมจาก ดิน+ปุ๋ยหมัก+ขุยมะพร้าว (2:1:1) ทำให้ต้นมันฝรั่งสูงที่สุด Sutari *et al.* (2018) พบว่า การทดลองที่ผสมดิน+ปุ๋ยหมัก+ขุยมะพร้าว+แกลบดำ (1:1:1:1) มีความสูง พื้นที่ใบ น้ำหนักแห้ง และสัดส่วนลำต้นและรากของมันฝรั่งมากที่สุด และการศึกษาของ Kijpakdeekul and Jirakiattikul (2002)

Table 2. Germination, number of stem and plant height of seed potato production

Treatment	Germination (%)	Number of stem/bag	Plant height (cm)
T1. CC	100 ^a	3.50 ^c	42.0 ^a
T2. CC + RH (1:1)	100 ^a	6.00 ^a	38.7 ^{abc}
T3. CC + HC (3:1)	100 ^a	4.30 ^{bc}	35.3 ^c
T4. CC + S = (1:1)	100 ^a	3.60 ^{bc}	40.9 ^a
T5. S	100 ^a	3.50 ^c	38.2 ^{abc}
T6. S + RH (1:1)	100 ^a	3.40 ^c	38.7 ^{ab}
T7. S + HC (3:1)	100 ^a	3.70 ^{bc}	36.5 ^{bc}
T8. CC + RH + S + HC (1:1:1:1)	100 ^a	4.70 ^b	38.5 ^{ab}
T9. RH	30 ^b	1.40 ^d	27.4 ^d
LSD	*	*	*
C.V. (%)	18.1	31.8	11.0

The means of each parameter followed by same letter within a column are not significantly different according to Duncan Multiple Range Test 5% ($P>0.05$)

พบว่า คำนวณที่ปลูกในวัสดุปลูกที่เป็นทรายหยาบผสมแกลบดำ และทรายหยาบผสมขุยมะพร้าวมีการเจริญเติบโตและให้ผลผลิตดีที่สุด

ผลผลิต

ผลของการใช้วัสดุปลูกที่ต่างกันต่อผลผลิตมันฝรั่งแสดงไว้ใน Table 3 ผลการศึกษา พบว่าการใช้ขุยมะพร้าว+แกลบดิบ (1:1) (T2) จะทำให้ได้จำนวนหัวมากที่สุด 16.3 หัว/ถุงปลูก แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับทุกกรรมวิธี ทั้งนี้อาจเนื่องจากขุยมะพร้าวมีคุณสมบัติอุ้มน้ำได้ดี สามารถเก็บความชื้นและปุ๋ยทางน้ำได้ และเมื่อนำแกลบดิบมาผสมกับขุยมะพร้าวสามารถเพิ่มช่องว่างสำหรับการเกิดหัวของมันฝรั่งได้ ด้านน้ำหนักหัวมันฝรั่ง พบว่า มันฝรั่งที่ปลูกในขุยมะพร้าว (T1) มีน้ำหนักหัวมากที่สุด 371 กรัม/ถุงปลูก ซึ่งแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญกับทุกกรรมวิธี เพราะขุยมะพร้าวมีความพรุนสูงทำให้การเกิดหัวที่มีขนาดใหญ่ แต่กลับมีจำนวนหัวที่น้อย และมีน้ำหนักมากที่สุด

การปลูกมันฝรั่งในสภาพไร่หรือปลูกในดินระยะปลูก 85x20 เซนติเมตร (ระยะปลูกระหว่างต้น 20 เซนติเมตร ระหว่างแถว 85 เซนติเมตร) ใช้หัวพันธุ์มันฝรั่ง 11,000 หัว/ไร่ ดังนั้น เมื่อนำมาคำนวณเป็นจำนวนหัวต่อไร่ พบว่า ขุยมะพร้าว+แกลบดิบ (1:1) จะให้

จำนวนหัวมันฝรั่งมากที่สุดอยู่ที่ 179,300 หัวต่อไร่ หากพิจารณาวัสดุปลูกประเภทขุยมะพร้าวชนิดเดียวหรือขุยมะพร้าวผสมกับวัสดุปลูกชนิดอื่นสามารถทำให้เกิดจำนวนหัวและน้ำหนักหัวของมันฝรั่งมากกว่าตัวอื่น เนื่องจากขุยมะพร้าวเป็นวัสดุปลูกที่มีความหนาแน่นเพียงพอให้ต้นพืชสามารถทรงตัวอยู่ได้ มีความร่วนซุยถ่ายเทอากาศและระบายน้ำได้ดี เหมาะสำหรับการปลูกพืช (Supinrach and Supinrach, 2018) วัสดุปลูกที่เป็นขุยมะพร้าวหรือผสมกับขุยมะพร้าวมีขนาดของหัวอยู่ที่ 2 - 4 เซนติเมตร ซึ่งสามารถผลิตหัวมันฝรั่งได้มาก แตกต่างจากวัสดุปลูกชนิดทราย (T4) (Figure 1e) และทรายผสมแกลบดำ (T7) (Figure 1g) ทำให้ขนาดของหัวมันฝรั่งใหญ่กว่ากรรมวิธีอื่น ขนาดของหัวมันฝรั่งเฉลี่ยอยู่ที่ 5-7 เซนติเมตร ทำให้มีจำนวนหัวเฉลี่ย 5.10-5.40 หัวต่อถุงปลูก ซึ่งมีความแตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อ 95 เปอร์เซ็นต์ เห็นได้ว่าวัสดุปลูกชนิดทรายสามารถทำให้เปอร์เซ็นต์การงอก จำนวนต้น และความสูงของมันฝรั่งอยู่ในระดับเหมาะสมต่อการเพาะปลูกได้ (Table 3) แต่เมื่อปลูกในระยะเวลานานขึ้น พบว่า ทรายมีผลทำให้จำนวนหัวมันฝรั่งลดลง อาจเนื่องมาจาก มีการรดน้ำและให้ปุ๋ยตลอดฤดูกาลปลูกทำให้ทรายเกิดการอัดตัวแน่นมากขึ้น ส่งผล

Table 3. Number of tuber and weight of tuber in seed potato production

Treatment	Number of tuber/ bag	Weight of tuber/ bag (g)	Number of tuber (11,000 seed/rai)
T1. CC	12.3 ^b	371 ^a	135,300
T2. CC + RH (1:1)	16.3 ^a	235 ^{bc}	179,300
T3. CC + HC (3:1)	11.2 ^b	257 ^{bc}	123,200
T4. CC + S = (1:1)	7.80 ^c	293 ^{ab}	85,800
T5. S	5.40 ^c	184 ^c	59,400
T6. S + RH (1:1)	7.00 ^c	278 ^b	77,000
T7. S + HC (3:1)	5.10 ^c	185 ^c	56,100
T8. CC + RH + S + HC (1:1:1:1)	10.6 ^b	277 ^b	116,600
T9. RH	1.00 ^d	12.7 ^d	11,000
LSD	*	*	
C.V. (%)	33.6	38.9	

The means of each parameter followed by same letter within a column are not significantly different according to Duncan Multiple Range Test 5%

ให้มีความหนาแน่นรวมมากขึ้น ความพรุนลดลง รากหรือไหลของมันฝรั่งไม่สามารถใช้ช่องว่างอากาศเพื่อหายใจ (Table 1) ทำให้การเกิดหัวน้อยลงและมีขนาดใหญ่กว่าตำรับการทดลองอื่น เกิดการสร้างอาหารได้น้อยลง และกักเก็บความชื้นมากเกินไปทำให้หัวมันฝรั่งเกิดการเน่าเสียได้ สอดคล้องกับ Chumpookam *et al.* (2016) พบว่า วัสดุปลูกที่มีส่วนของ ถ่านแกลบ+ทรายหยาบ+ขุยมะพร้าว (1:1:1) มีความชื้นที่มากเกินไป เกิดการอัดตัวแน่นขึ้น มีการระบายน้ำและระบายอากาศได้น้อย จึงมีผลทำให้ต้นกล้ามีลิวเออร์รีพันธุ์เวียดนาม GQ2 บริเวณโคนต้นเกิดอาการเน่าและตายในที่สุด

ผลตอบแทนทางเศรษฐกิจ

การคาดการณ์ผลตอบแทนทางเศรษฐกิจจากการศึกษาการผลิตหัวพันธุ์มันฝรั่ง เพื่อคัดเลือกวัสดุปลูกที่เหมาะสมสำหรับการผลิตหัวพันธุ์มันฝรั่งทั้งหมด 9 กรรมวิธี พบว่า ขนาดของหัวพันธุ์ที่นำมาใช้เพาะปลูกมันฝรั่งต้องมีเส้นผ่านศูนย์กลาง 2-8 เซนติเมตร เมื่อนำผลผลิตด้านจำนวนหัวของมันฝรั่งที่สามารถนำมาใช้เป็นหัวพันธุ์ได้นั้น พบว่า ขุยมะพร้าว+แกลบดิบ (1:1) (T2) มีจำนวนหัวมันฝรั่งมากที่สุด เท่ากับ 16.3 หัวต่อถุงปลูก

โดยทั่วไปการปลูกมันฝรั่ง 1 ไร่ ใช้หัวพันธุ์มันฝรั่ง 11,000 หัว ซึ่งหมายถึงใช้ถุงปลูก 11,000 ถุงเช่นกัน โดยราคาหัวพันธุ์มันฝรั่ง 1 หัว มีต้นทุนการผลิตที่ 6 บาทต่อหัว (Office of Agricultural Economics, 2022) ถุงปลูกราคาถุงละ 1 บาท ปุ๋ยราคา 4,581 บาท ค่าแรงงาน 50,000 บาท ต้นทุนต่างกันที่ราคาวัสดุปลูก หากนำมาปลูก 1 ไร่ ใช้หัวพันธุ์และถุงปลูก 11,000 หัว/ถุง มีราคาการนำเข้าหัวพันธุ์ประมาณ 66,000 บาท ดังนั้น เมื่อนำมาคำนวณเป็นจำนวนหัวต่อไร่ พบว่า ขุยมะพร้าว+แกลบดิบ (1:1) (T2) ให้จำนวนหัวมันฝรั่งมากที่สุดอยู่ที่ 179,300 หัวต่อไร่ และเมื่อนำมาคำนวณผลตอบแทนต่อต้นทุน (B/C Ratio) หรือ BCR ต้องมีค่ามากกว่าหรือเท่ากับหนึ่ง จึงมีความคุ้มค่า พบว่า มันฝรั่งที่ปลูกในวัสดุปลูกชนิด ขุยมะพร้าว+แกลบดิบ (1:1) ให้ผลตอบแทนมากที่สุด คือ 6.38 เท่า ทำให้มีรายได้สุทธิมากที่สุด (Table 4)



T1 = CC

(a)



T2 = CC + RH (1:1)

(b)



T3 = CC + HC (3:1)

(c)



T4 = CC + S (1:1)

(d)



T5 = S

(e)



T6 = S + RH (1:1)

(f)



T7 = S + HC (3:1)

(g)



T8 = CC + RH + S + HC (1:1:1:1)

(h)



T9 = RH

(g)

Figure 1. Formation of seed potato

Table 4. Economic return of seed potato production

Treatment	Production cost and economic retune (baht/rai)								
	Seed ^{1/}	Bag ^{2/}	Fertilizer ^{3/}	Growing media ^{4/}	Wage ^{5/}	Income	Production cost	Profit	BCR
T1. CC	66,000	11,000	4,581	8,983	50,000	811,800	140,564	671,236	4.78
T2. CC + RH (1:1)	66,000	11,000	4,581	14,263	50,000	1,075,800	145,844	929,956	6.38
T3. CC + HC (3:1)	66,000	11,000	4,581	18,883	50,000	739,200	150,464	588,736	3.91
T4. CC + S = (1:1)	66,000	11,000	4,581	10,817	50,000	514,800	142,398	372,402	2.62
T5. S	66,000	11,000	4,581	3,667	50,000	356,400	135,248	221,152	1.64
T6. S + RH (1:1)	66,000	11,000	4,581	7,113	50,000	462,000	138,694	323,306	2.33
T7. S + HC (3:1)	66,000	11,000	4,581	10,817	50,000	336,600	142,398	194,202	1.36
T8. CC + RH + S + HC (1:1:1:1)	66,000	11,000	4,581	8,278	50,000	699,600	139,859	559,741	4.00
T9. RH	66,000	11,000	4,581	10,560	50,000	66,000	142,141	-76,141	-0.54

Production cost^{1/} = Department of Agriculture

^{2/}, ^{3/}, ^{4/} = Maejo Agriculture Shop

^{5/} = Pepsi-Cola (Thai) Trading Co.

Data searched on January 23, 2023.

สรุป

การศึกษากาการผลิตหัวพันธุ์มันฝรั่ง เพื่อคัดเลือกวัสดุปลูกที่เหมาะสมสำหรับการผลิตหัวพันธุ์มันฝรั่งทั้งหมด 9 กรรมวิธี พบว่า วัสดุปลูกทุกตัวรับการทดลองสามารถนำมาผลิตหัวพันธุ์มันฝรั่งได้ ยกเว้นการใช้แกลบดิบโดยไม่ผสมกับวัสดุปลูกอื่น วัสดุปลูกที่มีความเหมาะสมต่อการผลิตหัวพันธุ์มันฝรั่งมากที่สุด คือ ขุยมะพร้าว+แกลบดิบ (1:1) รองลงมาคือ ขุยมะพร้าว ให้ผลในด้านการเจริญเติบโต และจำนวนหัวพันธุ์ของมันฝรั่งมากที่สุด

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณจิตติวิทยาลัย์ มหาวิทยาลัยแม่โจ้ ที่ได้มอบทุนการศึกษาศิษย์ก้นกุฎี เพื่อช่วยเหลือนค่าเล่าเรียน และขอบคุณบิดามารดาที่เป็นกำลังใจให้ตลอดมา

เอกสารอ้างอิง

- Aboud, F.S. and H.A. Abd-Alrahman. 2021. Effects of foliar spray with some growth stimulants on potato plants under different growing media. Bio-Pesticides and Biological Control, 657-668. 5th International Conference on Biotechnology Applications in Agriculture (ICBAA), Benha University, 8 April 2021, Egypt.
- Bureau of agriculture commodities promotion and management. 2014. Office of Agricultural Economics, Bangkok. 5 p. (in Thai)
- Buachum, S. and P. Towattana. 2015. The utilization of aquatic weeds and agricultural residues for composting and planting material in Pakphanang river basin, Nakhon Si Thammarat. pp. 546-557. In: Proceeding of 6th National and International Academic Conference and Research Presentations. Prince of Songkhla University, Songkhla. (in Thai)
- Chanthai, S. 2012. Effects of water application frequency, fertigation and organic soil amendments on tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill.) production under drip irrigation. M.S. Thesis. Suranaree University of Technology, Nakhon Ratchasima. 70 p. (in Thai)
- Chindachia, R., A. Kumlung, J. Verasan and T. Thongket. 2005. Study on the suitable soilless media for cherry tomato (*Lycopersicon esculentum* cv. CH 154). pp. 530-540 In: Proceedings of 43rd Kasetsart University Annual Conference: Plants. Kasetsart University, Bangkok. (in Thai)
- Chiota, W.M., P. Mabiza., P. Chaibva and T. Gama. 2015. Evaluating the effects of non-soil media on emergence and growth of potato (*Solanum tuberosum* L.). International Journal of Biosciences; Vol. 7, No. 3; p. 24-30, 2015.
- Chittawanij, A., P. Pornsuriya and T. Yemor. 2020. Mixed medias for growing Red Oak lettuce. Khon Kaen Agriculture Journal 48(Suppl. 1): 1093-1100. (in Thai)
- Chumpookam, J., S. Takaew and N. Chanchula. 2016. Effect of growing media on the germination, survival and seedling growth of 'Vietnam GQ2' mulberry. Thai Journal of Science and Technology 5(3): 283-295 (in Thai)
- Hamdani, J.S., Sumadi, Kusumiyati., W. Sutari and M. Kristaina. 2020. The response of potato to differences in the watering intervals and composition of the growing media in the medium plains. International journal of sciences and research; Vol.9, p.121-125, 2020.

- Inthasan, J. 2020. Soil Fertility. 2nd ed. Faculty of Agricultural Production. Maejo University, Chiang Mai. 321 p. (in Thai)
- Jaenicke, H. 1999. Good Tree Nursery Practices: Practical Guidelines for Research Nurseries. International Centre for Research in Agroforestry, Nairobi. 93 p.
- Jarinthorn, S., O. Wongmetha, A. Puekpong, M. Hunthevee, W. Panuampai, C. Promma, C. Kanoeithip, W. Udomdee, S. Rattanaburi and K. Saeyang. 2008. Potato variety development. Chiang Mai Royal Agricultural Research Center, Chiang Mai. 49 p. (in Thai)
- Kannark, P., S. Saiwa and B. Ponoy. 1997. Effects of sowing and seed covering media on the germination of *Amoora polystachya* seeds. pp. 100-107. In: Proceedings of 35th Kasetsart University Annual Conference. Kasetsart University, Bangkok. (in Thai)
- Kijpakdeekul, S. and Y. Jirakiattikul. 2002. Effects of substrates on growth and yield of Chinese kale in substrate culture. Thai Science and Technology Journal 10(2): 47-53. (in Thai)
- Meckhayai, T. 2018. Risk management of potato production in San Sai district, Chiang Mai province. Journal of Liberal Arts Maejo University 6(2): 17-31. (in Thai)
- Nurbaity, A., J.S. Hamdani and R.P. Rahaya. 2019. Effect of arbuscular mycorrhizal fungi and different composition of growing medium on growth and production of potato seed cultivars Medians in Inceptisols Jatinangor. International seminar and congress of Indonesian soil science society 2019 393: 012052, doi: 10.1088/1755-1315/393/1/012052.
- Office of Agricultural Economics. 2022. Agricultural Statistics of Thailand 2021. Office of Agricultural Economics, Bangkok. 237 p. (in Thai)
- Ong-Art, S. 2019. Effects of media and melon cultivars on growth and yield. M.S. Thesis. Kasetsart University, Bangkok. 92 p. (in Thai)
- Supinrach, S. and I. Supinrach. 2018. Effect of substrate media on growth performance of leaf lettuce. Agricultural Science Journal 49(Suppl. 1): 47-52. (in Thai)
- Sutari, W., Sumadi, A. Nuraini and J.S. Hamdani. 2018. Growing media compositions and watering intervals on seed production of potatoes G2 grown at medium altitude. Asian J. Crop Sci., 10 (4): 190-197, 2018.
- Sutigoolabud, P. 2017. Soil and Plant Analysis. 6th ed. Faculty of Agricultural Production. Maejo University, Chiang Mai. 76 p. (in Thai)
- Sutigoolabud, P., S. Ongpasert., N. Puranapong and V. Poompipat. 2010. Management of plant nutritions in potato base cropping system in paddy fields. Research reports. Faculty of Agricultural Production, Maejo University, Chiang Mai. 123 p. (in Thai)

อิทธิพลของการให้น้ำต่อการเติบโต คุณภาพ และผลผลิตของดาวเรือง

Influences of Irrigation Regimes on Growth, Quality and Yield of Marigold

รัชนิกร แก้วปา ฟาไพลิน ไชยวรรณ ชูชาติ สันทรทรัพย์ กมล ทิพโชติ และ ณัฐวุฒิ ลือศักดิ์

Ratchaneegorn Kaewpa, Fapailin Chaiwan*, Choochad Santasup, Kamon Thippachote and Nattawut Luesak

ภาควิชาพืชศาสตร์และปฐพีศาสตร์ คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ จ. เชียงใหม่ 50200

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

*Corresponding author: Email: fapailin.c@cmu.ac.th

(Received: 17 August 2023; Accepted: 27 September 2024)

Abstract: The study of the Influence of different irrigation regimes on the growth, quality, and yield of marigolds aimed to determine the appropriate irrigation rate and the efficiency of water use of marigolds. The experiment utilized a randomized complete block design with four treatments: daily irrigation at 10.62 mm/day (farmer's conventional practice), daily irrigation based on evapotranspiration (ET_c), and irrigation at 30% and 50% of available water capacity (AWC) depletion. The growth, quantity, and quality of marigold flowers were collected. The results showed that plant growth in terms of plant height, canopy size, and fresh and dry weight of flowers by the plant receiving different irrigation rates were significantly different. Daily irrigation according to the plant evapotranspiration rate gave mean plant height, canopy size, and maximum diameter of 64.13, 55.03, and 6.89 cm., respectively. Fresh and dry flower weights were 13.01 and 1.83 g/flowers, respectively. Water use efficiency was 3.41 kg/m³ while and irrigation at 50% of available water capacity (AWC) gave the lowest fresh and dry flower weight values 7.45 and 1.18 g/flowers, respectively. When considering quantity and quality yield, it was found that the yield and quality of marigolds from the four treatments were significantly different. Therefore, daily irrigation at the rate of evapotranspiration (ET_c) was the most effective method for saving water and ensuring the optimal quantity and quality of marigold yield.

Keywords: Marigolds, irrigation, growth, yield, flower quality

บทคัดย่อ: การศึกษาอิทธิพลของวิธีการให้น้ำที่แตกต่างกันต่อการเติบโต คุณภาพ และผลผลิตของดาวเรือง มีวัตถุประสงค์เพื่อประเมินอัตราการให้น้ำที่เหมาะสม และประสิทธิภาพการใช้น้ำของดาวเรือง โดยวางแผนการทดลองแบบสุ่มในบล็อกสมบูรณ์ 4 กรรมวิธี ได้แก่ ให้น้ำทุกวันตามเกษตรกรรมปฏิบัติ (10.62 มิลลิเมตรต่อวัน) ให้น้ำทุกวันตามอัตราการคายระเหยของพืช และให้น้ำเมื่อปริมาณน้ำใช้ประโยชน์ได้ในดินลดลง 30 และ 50 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ทำการบันทึกข้อมูลการเติบโต ปริมาณและคุณภาพดอกดาวเรือง ผลการทดลองพบว่า การให้น้ำในกรรมวิธีที่ต่างกัน ส่งผลให้ความสูง ขนาดทรงพุ่ม น้ำหนักสด และน้ำหนักแห้งของดอก แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ พบว่า การให้น้ำทุกวันตามอัตราการคายระเหยของพืชให้ค่าเฉลี่ยความสูงต้น ขนาดทรงพุ่ม และเส้นผ่านศูนย์กลางสูงสุดเท่ากับ 64.13 55.03 และ 6.89 เซนติเมตร ตามลำดับ ค่าน้ำหนักสดและน้ำหนักแห้ง เท่ากับ 13.01 และ 1.83 กรัมต่อดอก ตามลำดับ ประสิทธิภาพการใช้น้ำ เท่ากับ 3.41 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ในขณะที่การให้น้ำเมื่อปริมาณน้ำใช้ประโยชน์ได้ในดินลดลง 50 เปอร์เซ็นต์ ให้ค่าน้ำหนักสดและน้ำหนักแห้งต่ำที่สุด เท่ากับ 7.45 และ 1.18 กรัมต่อดอก ตามลำดับ เมื่อพิจารณาด้านปริมาณ และคุณภาพผลผลิตของดอกดาวเรือง พบว่า ทั้ง 4 กรรมวิธีให้ผลผลิตแตกต่างกัน ดังนั้น การให้น้ำทุกวันตามอัตราการคายระเหยของพืช เป็นการให้น้ำที่ประหยัดที่สุด และมีความเหมาะสมในการปลูกดาวเรืองทั้งปริมาณและคุณภาพผลผลิต

คำสำคัญ: ดาวเรือง การให้น้ำ การเจริญเติบโต ผลผลิต คุณภาพดอก

คำนำ

ดาวเรือง มีชื่อภาษาท้องถิ่นทางภาคเหนือว่า “ดอกคำปู้จู้” มีชื่อวิทยาศาสตร์ว่า *Tagetes erecta* L. อยู่ในวงศ์ Compositae ดาวเรืองที่ปลูกเป็นไม้ตัดดอก เป็น American marigold หรือ African marigold เป็นไม้ดอกที่ปลูกง่าย และโตเร็ว ไม่ค่อยมีโรค และแมลงรบกวน (Ketsa, 1988) เป็นพืชล้มลุก ลำต้นตั้งตรง แตกกิ่งเป็นพุ่มสูงประมาณ 25 - 60 เซนติเมตร ความชื้นสัมพัทธ์อยู่ระหว่าง 50-80 เปอร์เซ็นต์ อุณหภูมิที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตและการออกดอกอยู่ในช่วง 15.6-18.5 องศาเซลเซียส ค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) 6.2-7.5 พบว่า สภาพวันยาวทำให้มี การเจริญเติบโตทาง ลำต้นมาก ดอกบานช้าลงขณะที่ ถ้าอยู่ในสภาพวันสั้น ช่วยกระตุ้นการออกดอกได้เร็วขึ้น (Palasri, 1996) ดาวเรืองสามารถเจริญเติบโตได้ดีและปลูกได้ทุกสภาพพื้นที่ ปลูกได้ตลอดฤดูกาล มีอายุการเก็บเกี่ยวสั้นประมาณ 60-70 วัน (Department of Agricultural Extension, 2013) ปัจจุบันการปลูกดาวเรืองนอกจากปลูกเพื่อตัดดอกขายแล้ว ยังสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้หลากหลายรูปแบบ เช่น ประดับตกแต่งสถานที่ ประดับจานอาหาร และอุตสาหกรรมสกัดสีเวชภัณฑ์

ดอกดาวเรืองมีประสิทธิภาพในการเป็นสารต้านอนุมูลอิสระ และนำมาใช้เป็นยาสมุนไพรในการรักษาโรคได้ (Manikandan *et al.*, 2016) โดย Chew *et al.* (1996) รายงานว่า สารสกัดจากดอกดาวเรืองมีฤทธิ์ในการป้องกันการเกิดโรคมะเร็ง ยับยั้งการเกิดปฏิกิริยา autooxidation ในเซลล์ไขมัน นอกจากนี้ภายในรากดาวเรืองยังมีสารแอลฟาเทอร์เทียนิล (α -terthienyl) ซึ่งเป็นสารที่สามารถควบคุมปริมาณไนโตรเจนในดิน (Promthong, 1998)

ปี พ.ศ. 2562 ประเทศไทยมีพื้นที่ปลูกไม้ดอกไม้ประดับทั่วประเทศประมาณ 67,203 ไร่ มีปริมาณการส่งออก 27.51 พันตัน คิดเป็นมูลค่า 513 ล้านบาท และปริมาณการนำเข้า 2.62 พันตัน คิดเป็นมูลค่า 171 ล้านบาท (Suwanmek and Puengwikrai, 2019) โดยเป็นพื้นที่ปลูกดาวเรืองของประเทศไทยทั้งหมด 2,815 ไร่ เนื้อที่เก็บเกี่ยวผลผลิต 3,887.50 ไร่ และผลผลิตที่เก็บเกี่ยวได้ 3.1 ล้านกิโลกรัม (Kittithanawat, 2020) จากข้อมูลการส่งออกพบว่า ปริมาณผลผลิตของไม้ดอกไม้ประดับสูงสุด 3 อันดับแรก คือ มะลิ ดาวเรือง และปทุมมา ซึ่งมีมูลค่าผลผลิตเท่ากับ 288,152 595.52 และ 1.44 ล้านบาท ตามลำดับ (Office of Agricultural Economics, 2019) โดยพื้นที่การปลูกดาวเรืองอยู่ในภาคตะวันตก ภาคกลาง

และภาคเหนือ ผลผลิตเฉลี่ย 250,000-350,000 ดอกต่อไร่ ต้นทุนในการผลิตดาวเรือง เฉลี่ย 30,000-40,000 บาทต่อไร่ต่อฤดู และผลตอบแทน รายได้เฉลี่ย 160,000-200,000 บาทต่อไร่ต่อฤดูปลูก (Bureau of Agricultural Commodities Promotion and Management, 2021)

ปัจจุบันปัญหาภัยแล้งเกิดขึ้นในประเทศไทยเป็นประจำทุกปี โดยเฉพาะบริเวณภาคเหนือ ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ภาคกลาง และภาคตะวันออก ภัยแล้งส่งผลกระทบต่อเกษตรกรและแหล่งน้ำ ส่งผลให้พืชขาดน้ำ ชะงักการเจริญเติบโต ผลผลิตที่ได้มีคุณภาพต่ำ ทำให้การจัดการน้ำเป็นปัจจัยสำคัญในการแก้ไขปัญหาภัยแล้ง ชนิดของพืช พืชชนิดต่าง ๆ ต้องการน้ำในปริมาณที่ต่างกัน (Singto, 2021) การใช้น้ำของพืช เป็นปริมาณน้ำทั้งหมดที่สูญเสียจากพื้นที่เพาะปลูกสู่บรรยากาศในรูปของไอน้ำ ประกอบด้วย การคายน้ำ (transportation) และการระเหย (evaporation) วิธีการให้น้ำแก่พืชครั้งละน้อย ๆ แต่ให้บ่อยครั้งจะมีการสูญเสียน้ำโดยการระเหยมาก แต่ถ้าให้น้อยครั้งจะช่วยลดการระเหยได้มากเพราะดินมีความเปียกน้อย และซึมลงไปเก็บไว้ในดินได้ลึกกว่า (Boonyatharokul, 1983) ดังนั้น การให้น้ำแก่พืชอย่างมีประสิทธิภาพต้องพิจารณาถึงปริมาณน้ำที่ต้องให้ในแต่ละครั้ง โดยพิจารณาจากความลึกของรากพืช ปริมาณความจุความชื้นที่เป็นประโยชน์ ปริมาณพื้นที่เพาะปลูกความถี่ในการให้น้ำ วิธีการให้น้ำแบบต่าง ๆ โดย Vijayakumar *et al.* (2020) รายงานว่า ประสิทธิภาพการใช้น้ำ (WUE) ของดาวเรืองภายใต้สภาวะความชื้น 2 ระดับ โดยใช้วิธีการควบคุมความชื้นแบบ gravimetric ที่ 100 และ 70 เปอร์เซ็นต์ FC ผลการศึกษาพบว่า ความชื้น 100 เปอร์เซ็นต์ FC ดอกดาวเรืองมีลักษณะทางสัณฐานวิทยา การเจริญเติบโตในด้านความสูง ความกว้าง เส้นผ่าศูนย์กลางเฉลี่ย จำนวนกิ่ง จำนวนใบต่อต้น คุณภาพและผลผลิตโดยรวมดีกว่าที่ความชื้น 70 เปอร์เซ็นต์ FC อย่างมีนัยสำคัญ ดังนั้นประสิทธิภาพการใช้น้ำ (WUE) ที่ความชื้น 100 เปอร์เซ็นต์ FC จึงมีค่าต่ำกว่าความชื้น 70 เปอร์เซ็นต์ FC แม้ว่าผลผลิตมากกว่า เนื่องจากพืชที่ปลูกภายใต้ความชื้น 100 เปอร์เซ็นต์ FC มีการใช้ประโยชน์จากน้ำได้ไม่ดีเท่าพืชที่ปลูกภายใต้ 70 เปอร์เซ็นต์ FC Sujitha

et al. (2020) ศึกษาการประมาณค่าสัมประสิทธิ์พืชสำหรับดอกดาวเรืองในโรงเรือนที่มีการให้น้ำแบบหยดพบว่า ค่าสัมประสิทธิ์พืช (Kc) สำหรับดาวเรือง มีค่าแตกต่างกันไปในแต่ละระยะการเจริญเติบโต โดยมีค่า 0.37 ในระยะเริ่มต้น (14 วันหลังย้ายปลูก) มีค่า 0.8 ในระยะกลาง (35 วันหลังย้ายปลูก) และมีค่า 0.47 ในระยะสุดท้าย (60 วันหลังย้ายปลูก) เหมาะสำหรับเกษตรกรในการวางแผนการให้น้ำแก่ดาวเรือง โดยสามารถให้น้ำแก่ดาวเรืองในระยะเริ่มต้นน้อยกว่าในระยะกลางและระยะสุดท้าย เพื่อให้ดาวเรืองได้รับน้ำอย่างเพียงพอและเหมาะสม ทำให้ดาวเรืองมีค่าการใช้น้ำ (ETc) และสัมประสิทธิ์การใช้น้ำลดลง การเติบโตที่ลดลงทำให้ประสิทธิภาพการใช้น้ำลดลงด้วย Matchamek and Puchai (2009) ศึกษาอิทธิพลของการขาดน้ำที่มีต่อผลผลิตของดาวเรืองในดินร่วนปนทราย พบว่า ตลอดช่วงการเพาะปลูก กรณีปลูกในดินร่วนปนทรายมีปริมาณความต้องการใช้น้ำรวม 1,117.01 มิลลิเมตร (เฉลี่ย 14.89 มิลลิเมตรต่อวัน) ส่วนกรณีปลูกใน ดินเหนียวมีปริมาณความต้องการใช้น้ำ 1,153.34 มิลลิเมตร (เฉลี่ย 15.38 มิลลิเมตรต่อวัน) Poruksa *et al.* (2002) ได้ทำการทดลองปลูกปทุมมาจากการศึกษาการใช้น้ำของพืช (lysimeter) พบว่าปทุมมา ตลอดฤดูปลูกพืชมีการใช้น้ำรวม 54.2 ลิตรต่อกอ มีการเจริญเติบโตทางด้านความสูง จำนวนต้น จำนวนใบ มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นไปในทิศทางเดียวกัน Weiss (1983) ศึกษาการใช้น้ำตลอดฤดูปลูกของงามีการใช้น้ำทั้งหมด 360-376 มิลลิเมตร ระยะตั้งแต่เริ่มออกจนถึงเริ่มออกดอกพืชต้องการน้ำ 35 เปอร์เซ็นต์ของปริมาณทั้งหมด ระยะออกดอกจนถึงระยะเจริญเติบโตเต็มที่ที่ต้องการน้ำ 45% และระยะฝักเริ่มแก่จนถึงเก็บเกี่ยวต้องการน้ำไม่เกิน 20 เปอร์เซ็นต์ของปริมาณน้ำทั้งหมด ในส่วนของเบญจมาศพบว่า เมื่อมีการใช้น้ำเพิ่มขึ้นการเจริญเติบโตทางลำต้น และคุณภาพของดอกมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามปริมาณน้ำที่ให้ แต่ถ้าให้น้ำเกินความต้องการของพืชทำให้การเจริญเติบโตทางลำต้นและคุณภาพของดอกลดลง (Prakunhungsit *et al.*, 2001) ผลผลิตไม่มีคุณภาพ เกิดการสูญเสียน้ำที่เป็นประโยชน์ของพืชมากขึ้น (Wuttichamnong, 1986) ดังนั้นการให้น้ำที่เหมาะสม การให้น้ำที่เพียงพอในช่วงเวลาที่เหมาะสม สามารถช่วย

เพิ่มผลผลิตและคุณภาพของพืชได้ถึงร้อยละ 49 (Zhu et al., 2004)

ในการผลิตดาวเรืองช่วงฤดูหนาว มักประสบปัญหาการขาดน้ำ การให้น้ำอย่างมีประสิทธิภาพจึงเป็นสิ่งสำคัญอย่างยิ่งสำหรับการเกษตร โดยเฉพาะในสภาพแวดล้อมที่แห้งแล้ง การให้น้ำมากเกินไปจนความจำเป็นอาจนำไปสู่การสูญเสีย การชะล้างพังทลายของดิน และการแพร่กระจายของโรค ในขณะที่การให้น้ำที่ไม่เพียงพอส่งผลต่อผลผลิตและคุณภาพดอก (Thongpae, 2015) ดังนั้น การทดลองนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาอัตราการให้น้ำที่เหมาะสมต่อการเติบโต คุณภาพ และผลผลิตของดาวเรือง และประเมินประสิทธิภาพการใช้น้ำของดาวเรืองในระดับการให้น้ำที่แตกต่างกัน

อุปกรณ์และวิธีการ

การศึกษานี้ดำเนินการทดลองปลูกดาวเรืองพันธุ์ 'มหาโชคพรีเมียม ดีฟโกลด์ เอเค 271' ในช่วงเดือนพฤศจิกายน พ.ศ. 2564 ถึงเดือนกุมภาพันธ์ พ.ศ. 2565 ณ ศูนย์วิจัยสาริตและฝึกอบรมการเกษตรแม่เหียะ คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ (ละติจูด: 18 องศา 45 ลิปดา 53 พิลิปดา เหนือ และลองจิจูด: 98 องศา 55 ลิปดา 50 พิลิปดา ตะวันออก) มีพื้นที่สูงจากระดับทะเลปานกลาง ประมาณ 345 เมตร ซึ่งมีอุณหภูมิสูงสุดและอุณหภูมิต่ำสุดเฉลี่ยในช่วงเวลานั้น เท่ากับ 28.78-32.56 และ 12.30-13.11 องศาเซลเซียส ตามลำดับ มีความชื้นสัมพัทธ์ 73-74 เปอร์เซ็นต์ และปริมาณน้ำฝนสะสม 93.6 มิลลิเมตร (Department of Meteorology, 2021) ลักษณะดินของพื้นที่แปลงทดลองเป็นดินร่วนปนทราย มีสัดส่วนร้อยละของอนุภาคทราย (sand) ทรายแป้ง (silt) และดินเหนียว (clay) เท่ากับ 61.30, 22.70 และ 16.00 ตามลำดับ ค่าความหนาแน่นรวมของดิน (bulk density) เท่ากับ 1.20 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร ค่าความจุความชื้นสนาม (field capacity, FC) และค่าความชื้นที่จุดเหี่ยวถาวร (permanent wilting point, PWP) มีค่าเท่ากับ 23 และ 14 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร ตามลำดับสมบัติทางเคมีของดิน มีค่าความเป็นกรด-ด่าง (soil pH) อัตราส่วนดินต่อน้ำ 1:2 โดยวิธี pH meter (Rhoades, 1982)

เท่ากับ 5.50 มีค่าการนำไฟฟ้า (electrical conductivity) (Siwasil, 1984) เท่ากับ 17.45 ไมโครซีเมนส์ต่อเซนติเมตร ปริมาณอินทรีย์วัตถุในดิน (organic matter, OM) เท่ากับ 1.59 เปอร์เซ็นต์ (Nelson and Sommers, 1980) ปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ (available P) (Bray and Kurtz, 1945) และปริมาณโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ (exchangeable K) สกัดด้วย NH_4OAc 1 M pH 7 (Helmke and Sparks, 1996) เท่ากับ 28.84 และ 148.21 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ตามลำดับ

เตรียมแปลงปลูกขนาด 1.0×4.5 เมตร จำนวน 16 แปลง แล้วย้ายกล้าดาวเรืองที่มีอายุ 14 วัน ปลูกในแปลงจำนวน 2 แถว ๆ ละ 15 ต้น (ระยะห่างระหว่างแถว 30 เซนติเมตร ระยะห่างระหว่างต้น 30 เซนติเมตร) การจัดการปุ๋ย มีการใส่ปุ๋ยทั้งหมด 2 ครั้ง ครั้งแรกใส่ปุ๋ยที่ระยะเด็ดยอด (17 หลังย้ายปลูก) ใส่ปุ๋ยยูเรีย (46-0-0) ผสมปุ๋ยเกรด 15-15-15 (อัตราส่วน 1:1 โดยน้ำหนัก) ในอัตรา 16 กิโลกรัมต่อไร่ และครั้งที่สองในระยะตุ่มดอก (33 หลังย้ายปลูก) ใส่ปุ๋ยเกรด 15-15-15 อัตรา 8 กิโลกรัมต่อไร่ และมีการจัดการดูแลวัชพืชตามความจำเป็น (กำจัดวัชพืชด้วยมือ)

วางแผนการทดลองแบบสุ่มในบล็อกสมบูรณ์ (randomized complete block design, RCBD) จำนวน 4 ซ้ำ ประกอบด้วยกรรมวิธีการจัดการน้ำที่แตกต่างกันทั้งหมด 4 กรรมวิธี ได้แก่ กรรมวิธีที่ 1) ให้น้ำตามเกษตรกรรมปฏิบัติ ให้น้ำ ทุกวัน ๆ ละ 2 ครั้ง โดยแบ่งการให้น้ำเป็น 2 ช่วงเวลา คือ เวลาเช้า (7.00 น.) และเวลาเย็น (17.00 น.) ในอัตรารวม 10.62 มิลลิเมตร กรรมวิธีที่ 2) ให้น้ำทุกวันตามข้อมูลอัตราการคายระเหยของพืช ในเดือนธันวาคม ปี พ.ศ. 2564 ให้น้ำในอัตรา 2.17 มิลลิเมตรต่อวัน ในเดือนมกราคม ปี พ.ศ. 2565 ให้น้ำในอัตรา 2.34 มิลลิเมตรต่อวัน ในเดือนกุมภาพันธ์ ปี พ.ศ. 2565 ให้น้ำในอัตรา 1.85 มิลลิเมตรต่อวัน กรรมวิธีที่ 3) ให้น้ำเมื่อปริมาณน้ำใช้ประโยชน์ได้ในดินลดลง 30 เปอร์เซ็นต์ โดยในเดือนธันวาคม ปี พ.ศ. 2564 มีรอบการให้น้ำทุก 3 วันต่อครั้ง ให้น้ำในอัตรา 6.51 มิลลิเมตรต่อครั้ง (เทียบเท่ากับการให้น้ำครั้งละ 29 นาที) ในเดือนมกราคม ปี พ.ศ. 2565 มีรอบการให้น้ำทุก 2 วันต่อครั้ง ให้น้ำในอัตรา 4.68 มิลลิเมตรต่อครั้ง (เทียบเท่ากับการให้น้ำครั้งละ 21 นาที) ในเดือน

กุมภาพันธ์ ปี พ.ศ. 2565 มีรอบการให้น้ำทุก 3 วันต่อครั้ง ให้น้ำในอัตรา 5.55 มิลลิเมตรต่อครั้ง (เทียบเท่ากับการให้น้ำครั้งละ 25 นาที) และกรรมวิธีที่ 4) ให้น้ำเมื่อปริมาณน้ำใช้เป็นประโยชน์ได้ในดินลดลง 50 เปอร์เซ็นต์ โดยในเดือนธันวาคม ปี พ.ศ. 2564 มีรอบการให้น้ำทุก 4 วันต่อครั้ง ให้น้ำในอัตรา 8.68 มิลลิเมตรต่อครั้ง (เทียบเท่ากับการให้น้ำครั้งละ 39 นาที) ในเดือนมกราคม ปี พ.ศ. 2565 มีรอบการให้น้ำทุก 4 วันต่อครั้ง ให้น้ำในอัตรา 9.36 มิลลิเมตรต่อครั้ง (เทียบเท่ากับการให้น้ำครั้งละ 42 นาที) ในเดือนกุมภาพันธ์ ปี พ.ศ. 2565 มีรอบการให้น้ำทุก 5 วันต่อครั้ง ให้น้ำในอัตรา 9.25 มิลลิเมตรต่อครั้ง (เทียบเท่ากับการให้น้ำครั้งละ 42 นาที) การจัดการน้ำทุกกรรมวิธี ให้น้ำด้วยระบบน้ำหยด (drip irrigation) โดยใช้ท่อพ่นน้ำหยดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 16 มิลลิเมตร ระยะห่างของหัวจ่ายน้ำ 30 เซนติเมตร และมีในอัตราการไหลของน้ำเฉลี่ย 2 ลิตรต่อชั่วโมง ที่แรงดัน 1 บาร์

การประเมินอัตราการคายระเหยน้ำของดาวเรือง ดำเนินการโดยรวบรวมข้อมูลอัตราการคายระเหยน้ำของพืชเฉลี่ยรายวัน 3 ปี (Department of Meteorology, 2021) และค่าสัมประสิทธิ์การใช้น้ำของพืช ที่ช่วงระยะการเจริญเติบโตของดาวเรือง โดยใช้วิธี Penman-Monteith (Department of Irrigation, 2019) ทั้งนี้ การทดลองได้ประมาณค่าการคายระเหยของดาวเรือง หรือค่าการใช้น้ำสูงสุดของพืช (maximum crop evapotranspiration) โดยการนำปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับพืชมาพิจารณาทั้งชนิดของพืช และช่วงการเจริญเติบโตในระยะต่างๆ การใช้น้ำของพืชสามารถคำนวณได้โดยทำการปรับค่า การใช้น้ำของพืชอ้างอิง (ET_o) ด้วยสัมประสิทธิ์การใช้น้ำของพืชที่ช่วงระยะการเจริญเติบโตต่างๆ ดังสมการที่ 1 (Allen *et al.*, 1998)

$$ET_c = K_c \times ET_o \quad \text{สมการที่ 1}$$

เมื่อ ET_c = ปริมาณการใช้น้ำของพืช (มิลลิเมตรต่อวัน)

K_c = สัมประสิทธิ์การใช้น้ำของพืช

ET_o = ปริมาณการคายระเหยของพืชอ้างอิง (มิลลิเมตรต่อวัน)

การประเมินปริมาณน้ำใช้เป็นประโยชน์ได้ในดิน คำนวณจากผลต่างระหว่างค่าความจุความชื้นสนามกับจุดเหี่ยวถาวร ดังสมการที่ 2 (Reginato and van Bavel, 1962)

$$AWC = FC - PWP \quad \text{สมการที่ 2}$$

เมื่อ AWC = ความจุน้ำใช้เป็นประโยชน์ได้ (เปอร์เซ็นต์)

FC = ความจุความชื้นสนาม (เปอร์เซ็นต์)

PWP = จุดเหี่ยวถาวร (เปอร์เซ็นต์)

ประสิทธิภาพการใช้น้ำ (water used efficiency, WUE) ซึ่งเป็นองค์ประกอบสำคัญของการปรับตัวให้เข้ากับความเครียดของน้ำ คำนวณจากอัตราส่วนระหว่างมวลชีวภาพทั้งหมด (total biomass) ต่อปริมาณน้ำที่พืชใช้ (water use) ดังสมการที่ 3 (Liang *et al.*, 2006)

$$WUE \text{ (กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร)} =$$

$$\frac{\text{มวลชีวภาพทั้งหมด}}{\text{ปริมาณการใช้น้ำทั้งหมดในการเจริญเติบโตตลอดฤดูกาลผลิต}}$$

$$\text{ปริมาณการใช้น้ำทั้งหมดในการเจริญเติบโตตลอดฤดูกาลผลิต} \quad \text{สมการที่ 3}$$

บันทึกข้อมูลการเติบโตของดาวเรือง ได้แก่ การวัดความสูง (เซนติเมตร) และขนาดทรงพุ่ม (เซนติเมตร) ทุกสัปดาห์เป็นระยะเวลา 8 สัปดาห์หลังย้ายปลูก ที่ระยะเก็บเกี่ยว (40-90 วันหลังย้ายปลูก) บันทึกข้อมูลผลผลิต ได้แก่ จำนวนดอก น้ำหนักสดและน้ำหนักแห้ง ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางดอก และปริมาณผลผลิตรวมของดอกดาวเรือง

ผลการศึกษาและวิจารณ์

การเติบโต

ความสูง และขนาดทรงพุ่ม

จากผลการทดลองพบว่า วิธีการให้น้ำที่แตกต่างกันส่งผลกระทบท่อ ความสูง และขนาดทรงพุ่มของดาวเรือง อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ (Table 1) โดยที่ระยะ 63 วัน หลังย้ายปลูกต้นดาวเรืองมีความสูงและขนาดทรงพุ่มเฉลี่ยอยู่ระหว่าง 59.79-64.13 และ 52.68-55.20 เซนติเมตร การให้น้ำทุกวันตามอัตราการคายระเหยของพืชตามกรรมวิธีที่ 2 ทำให้ดาวเรืองมีความสูง เท่ากับ 64.13 เซนติเมตร รองลงมาได้แก่ การให้น้ำในกรรมวิธีที่ 3 4 และ 1 เท่ากับ 59.79 60.29 และ 62.54 เซนติเมตร ตามลำดับ อย่างไรก็ตามความสูงของดอกดาวเรืองในกรรมวิธีที่ 2 สูงกว่ากรรมวิธีที่ 3 และ 4 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ แต่ไม่

Table 1. Plant height and canopy width per plant after being supplied with different irrigation treatments at 35 42 49 56 and 63 days after transplanting

Treatment	Plant height (cm)					Canopy width (cm)				
	35 DAT	42 DAT	49 DAT	56 DAT	63 DAT	35 DAT	42 DAT	49 DAT	56 DAT	63 DAT
Control	41.40b	52.35ab	60.64a	61.20ab	62.54ab	34.78ab	40.30ab	47.30ab	51.55ab	54.68
ETc	43.71a	54.71a	60.68a	61.84a	64.13a	35.61a	42.15a	47.60a	52.48a	55.03
AWC30%	39.89b	50.70b	57.64b	58.18c	59.79b	33.94b	39.30bc	45.70ab	51.16ab	55.20
AWC50%	41.23b	50.24b	57.14b	58.59bc	60.29b	33.55b	38.05c	44.88b	49.83b	52.68
CV(%)	10.23	12.10	10.71	11.10	12.06	9.72	11.94	12.04	11.49	12.99
LSD _{0.05}	*	*	*	*	*	*	*	*	*	ns

DAT = day after transplanting

* Means in each column, followed by different lowercase letters, indicate significant differences based on LSD at P < 0.05

ns = non-significant difference

แตกต่างกันกับกรรมวิธีที่ 1 และนอกจากนั้นยังพบว่าการให้น้ำที่แตกต่างกันไม่ทำให้ขนาดทรงพุ่มของดาวเรืองแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยกรรมวิธีที่ 3 ทำให้ดาวเรืองมีขนาดทรงพุ่ม เท่ากับ 55.20 เซนติเมตร รองลงมา ได้แก่ การให้น้ำในกรรมวิธีที่ 2 1 และ 4 เท่ากับ 55.03 54.68 และ 52.68 เซนติเมตร ตามลำดับ จากข้อมูลแสดงให้เห็นว่าการให้น้ำตามกรรมวิธีที่ 2 ซึ่งเป็นการให้น้ำทุกวันตามค่าการคายระเหยน้ำของพืช ช่วยส่งเสริมการเติบโตของดาวเรืองได้ดีกว่าการให้น้ำตามกรรมวิธีอื่น ๆ ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของ Poruksa *et al.* (2002) ที่พบว่า เมื่อให้น้ำตามความต้องการของพืช พืชสามารถเติบโตได้ดี มีเปอร์เซ็นต์การออกดอก คุณภาพและปริมาณผลผลิตมีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้น และช่วยลดการใช้น้ำได้ 10-20 เปอร์เซ็นต์ เช่นเดียวกับการศึกษาของ Singh *et al.* (2021) ที่ศึกษาผลกระทบของระดับการให้น้ำต่อการเจริญเติบโตและการผลิติดอกของดาวเรือง โดยทดลองให้น้ำดาวเรือง 5 ระดับ ที่ 60, 70, 80, 90 และ 100 เปอร์เซ็นต์ของค่า ETc ตามลำดับ พบว่า ความสูงของต้นเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญเมื่อเพิ่มปริมาณการให้น้ำทั้งในฤดูร้อนและฤดูฝน โดยในฤดูร้อน ความสูงของต้นสูงสุด (68.37

เซนติเมตร) เมื่อให้น้ำที่ระดับ 100 เปอร์เซ็นต์ ETc และในฤดูฝนก็มีแนวโน้มการตอบสนองเช่นเดียวกันกับฤดูร้อน ในขณะที่การศึกษากการให้น้ำของต้นเสจ (sage; *Salvia officinalis* L.) ของ Rioba (2015) ตลอดช่วงระยะการเติบโต พบว่า ความถี่การให้น้ำสูง (รดน้ำทุกวัน) หรือความถี่ในการให้น้ำต่ำ (รดน้ำเมื่อหน้าดินแห้ง) ทำให้น้ำหนักสดและน้ำหนักแห้งของใบลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ สอดคล้องกับการทดลองของ Bakht *et al.* (2010) ที่ศึกษาผลกระทบของระบบการให้น้ำที่มีต่อสรีรวิทยาและผลผลิตของทานตะวันลูกผสม 2 พันธุ์ (Parsum-1 และ SF-187) โดยทำการทดลองให้น้ำ 4 แบบ ได้แก่ 1) ไม่รดน้ำ 2) รดน้ำระยะติดดอก 3) รดน้ำระยะติดดอกและออกดอก และ 4) รดน้ำระยะติดดอกออกดอก และติดเมล็ด ซึ่งพบว่า รูปแบบการให้น้ำส่งผลต่อสรีรวิทยาและผลผลิตของทานตะวันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยทานตะวันที่มีการให้น้ำ 3 ระยะ (ติดดอกออกดอก และติดเมล็ด) มีดัชนีพื้นที่ใบ อัตราการสังเคราะห์แสง การคายน้ำ และผลผลิตสูงสุด เท่ากับ 2,680 กิโลกรัมต่อไร่ เมื่อพิจารณาผลการศึกษานี้ เป็นที่น่าสังเกตว่า การให้น้ำตามกรรมวิธีที่ 2 ซึ่งเป็นการให้น้ำทุกวันตามค่าการคายระเหยน้ำของพืช ทำให้การเติบโตด้านความ-

สูงของดาวเรืองมากกว่าในกรรมวิธีที่ 3 และ 4 ทั้งที่มีปริมาณการให้น้ำใกล้เคียงกัน ทั้งนี้อาจเนื่องจากผลของความถี่ในการให้น้ำที่เหมาะสม ทำให้ได้ปริมาณและคุณภาพผลผลิตของดอกดาวเรืองที่ดี เช่นเดียวกับการทดลองของ Katsoulas *et al.*, 2006 ที่ทำการศึกษาความถี่ในการให้น้ำต่อคุณภาพและผลผลิตของดอกกุหลาบ โดยมีการกำหนดการให้น้ำตามค่าการคายระเหยน้ำของพืช ที่ความถี่การให้น้ำสูง (ให้น้ำที่ 0.2 มิลลิเมตร) และการให้น้ำที่ความถี่ต่ำ (ให้น้ำที่ 0.4 มิลลิเมตร) ผลการศึกษาพบว่า ความถี่ในการให้น้ำมีอิทธิพลต่อน้ำหนักสดและแห้งของส่วนเหนือดินของกุหลาบ โดยการให้น้ำที่ความถี่สูง ให้ผลผลิตน้ำหนักสดและน้ำหนักแห้งของส่วนเหนือดินสูงกว่าการให้น้ำที่มีความถี่ต่ำ 33 เปอร์เซ็นต์ ในขณะที่ Armitage and Kowalski (1983) ได้ทำการทดลองโดยการให้น้ำพืชพิทูเนียในความถี่ที่แตกต่างกันในระหว่างการปลูกในโรงเรือน และทำการเปรียบเทียบคุณภาพของดอกพิทูเนียหลังการเก็บเกี่ยวในด้านต่าง ๆ เช่น อายุการใช้งานของดอก ความยาวของก้านดอก และลักษณะทางกายภาพอื่น ๆ ผลการวิจัยพบว่า ความถี่ในการให้น้ำมีผลต่อคุณภาพของดอกพิทูเนียหลังการเก็บเกี่ยว โดยการให้น้ำในความถี่ที่เหมาะสมช่วยยืดอายุการใช้งานของดอก เพิ่มความยาวของก้านดอก และรักษาลักษณะทางกายภาพของดอกให้สมบูรณ์ พืชที่ได้รับน้ำในปริมาณสูงมีน้ำหนักแห้งและความยาวลำต้นมากกว่าพืชที่ได้รับน้ำในปริมาณอื่น ๆ การให้น้ำในปริมาณที่เหมาะสมและความถี่ที่เหมาะสมช่วยเพิ่มคุณภาพของดอกหลังการเก็บเกี่ยวและตอบสนองความต้องการของตลาดได้ดียิ่งขึ้น ส่วนกรรมวิธีที่ 3 และ 4 ถึงแม้จะมีปริมาณการให้น้ำทั้งหมดที่ใกล้เคียงกับกรรมวิธีที่ 2 แต่มีความถี่ในการให้น้ำต่ำกว่า จึงอาจทำให้พืชเกิดความเครียดเนื่องจากขาดน้ำในระหว่างการให้น้ำในรอบถัดไป ส่งผลกระทบต่อกระบวนการทางสรีรวิทยาต่าง ๆ และผลผลิตลดลงได้ (Kramer, 1969) ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของ Buriro *et al.* (2015) ที่พบว่า ความเครียดจากการขาดน้ำ และจำนวนครั้งการให้น้ำส่งผลต่อการเติบโต (ความสูง ลำต้น ใบ) และผลผลิต (จำนวนเมล็ดต่อหัว น้ำหนักเมล็ด ผลผลิตต่อไร่) ของทานตะวันอย่างชัดเจน

ปริมาณและคุณภาพของดอกดาวเรือง

การให้น้ำที่แตกต่างกันทั้ง 4 กรรมวิธี (Table 2) ส่งผลต่อปริมาณและคุณภาพของดอกดาวเรือง อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยปริมาณผลผลิตรวมของดอกดาวเรือง เฉลี่ยอยู่ระหว่าง 615.25-1,046.23 กิโลกรัมต่อไร่ การให้น้ำดาวเรืองทุกวันตามค่าอัตราการคายระเหย (กรรมวิธีที่ 2) ทำให้ดาวเรืองมีปริมาณผลผลิตรวมสูงที่สุด เท่ากับ 1,046.23 กิโลกรัมต่อไร่ ซึ่งสูงกว่าการให้น้ำในกรรมวิธีที่ 1 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ อย่างไรก็ตาม ไม่พบความแตกต่างของปริมาณผลผลิตรวมดอกดาวเรืองที่ได้จากกรรมวิธีที่ 2 3 และ 4 สำหรับน้ำหนักสดและน้ำหนักแห้งเฉลี่ยของดอกดาวเรือง พบว่า การให้น้ำตาม กรรมวิธีที่ 2 (ให้น้ำทุกวันตามอัตราการคายระเหย) ทำให้ดอกดาวเรืองมีน้ำหนักสดเฉลี่ยสูงสุดที่ 13.01 กรัมต่อดอก ซึ่งสูงกว่าการให้น้ำตามกรรมวิธีที่ 3 1 และ 4 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ให้น้ำหนักสดเฉลี่ย เท่ากับ 12.54 11.81 และ 7.45 กรัมต่อดอก ตามลำดับ เมื่อพิจารณาน้ำหนักแห้งเฉลี่ยของดอกพบว่า การตอบสนองของน้ำหนักแห้ง เป็นไปในลักษณะเช่นเดียวกับน้ำหนักสด โดยการให้น้ำทุกวันตามค่าอัตราการคายระเหย ทำให้ดอกดาวเรืองมีน้ำหนักแห้งสูงสุดที่ 1.83 กรัมต่อดอก ซึ่งสูงกว่าการให้น้ำตามกรรมวิธีที่ 1 3 และ 4 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ให้น้ำหนักแห้งเฉลี่ย เท่ากับ 1.75 1.74 และ 1.18 กรัมต่อดอก ตามลำดับ เมื่อพิจารณาเส้นผ่าศูนย์กลางดอกดาวเรืองและจำนวนดอกเฉลี่ยต่อดันพบว่า การให้น้ำทุกวันตามอัตราการคายระเหย (กรรมวิธีที่ 2) ทำให้ดาวเรืองมีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางดอกสูงสุด เท่ากับ 6.89 เซนติเมตร อย่างไรก็ตาม ไม่พบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ระหว่างกรรมวิธีที่ 3 และ 4 ที่มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางดอกเท่ากับ 6.85 และ 6.76 เซนติเมตร ตามลำดับ ในขณะที่การให้น้ำทุกวันตามที่เกษตรกรนิยมปฏิบัติ (กรรมวิธีที่ 1) มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางเฉลี่ยของดอกดาวเรืองต่ำที่สุดที่ 6.75 เซนติเมตร แต่ก็ไม่แตกต่างจากกรรมวิธีที่ 4 (ให้น้ำเมื่อความชื้นเป็นประโยชน์ได้ในดินลดลง 50 เปอร์เซ็นต์) (Figure 1) สำหรับจำนวนดอกเฉลี่ยต่อดัน เป็นไปในลักษณะเช่นเดียวกับขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางเฉลี่ย โดยการให้น้ำทุกวันตามค่าอัตราการคายระเหย ทำให้ดอก

Table 2. Effects of different irrigation regimes on fresh weight, dry weight, diameter, bloom flowers, and yield in marigolds

Treatment	Fresh weight (g/ flowers)	Dry weight (g/ flowers)	Diameter (cm)	Number of flowers (number/plant)	Total Yield (kg/rai)
Control	11.81 c	1.75 b	6.75 b	27.50 b	855.52 b
ETc	13.01 a	1.83 a	6.89 a	32.16 a	1046.23 a
AWC30%	12.54 b	1.74 b	6.85 ab	31.81 ab	983.95 b
AWC50%	7.45 d	1.18 c	6.76 ab	29.33 ab	615.25 c
CV(%)	2.37	1.67	1.24	11.71	1.67
LSD _{0.05}	*	*	*	*	*

DAT = day after transplanting

* Means in each column, followed by different lowercase letters, indicate significant differences based on LSD at $P < 0.05$

ns = non-significant difference



Figure 1. Flower quality of marigolds at the flower blooming phased, receiving different irrigation regimes
Treatment 1 = Control, Treatment 2 = ETc, Treatment 3 = AWC30% and Treatment 4 = AWC50%

ดาวเรืองมีจำนวนดอกสูงสุดที่ 32.16 ดอกต่อต้น ในขณะที่การให้น้ำตามกรรมวิธีที่ 3 4 และ 1 ให้จำนวนดอกเฉลี่ยเท่ากับ 31.81 29.33 และ 27.50 ดอกต่อต้นตามลำดับ

ผลการศึกษาแสดงให้เห็นว่า การให้น้ำมากเกินไป ความต้องการของพืช (กรรมวิธีที่ 1) ทำให้ดอกดาวเรืองมีขนาดเล็ก และคุณภาพของดอกลดลง ทั้งนี้อาจเป็นไปได้ว่าการให้น้ำมากเกินไปทำให้ช่องว่างของดินเต็มไปด้วยน้ำ

ดินขาดอากาศ ส่งผลกระทบต่อให้อัตราการหายใจของราก และการดูดธาตุอาหารหลัก (ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียม) ของพืชลดลง (Kramer and Boyer, 1995) ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของ (Prakunhungsit *et al.*, 2001) ที่พบเช่นเดียวกันว่า การให้น้ำเกินความต้องการของพืชทำให้คุณภาพของดอกลดลง และเกิดการสูญเสียน้ำที่เป็นประโยชน์ของพืชมากขึ้น (Wuttichamnong, 1986)

สำหรับมาตรฐานการซื้อขายดอกดาวเรืองในท้องตลาดโดยทั่วไป ราคาของดอกดาวเรืองแบ่งเกรดตามขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของดอก เกรด A ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 10 เซนติเมตร ราคาขายดอกดาวเรืองเท่ากับ 1 บาทต่อดอก เกรด B ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 8-9 เซนติเมตร ราคาขายดอกดาวเรืองเท่ากับ 0.6 บาทต่อดอก เกรด C ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 6-7 เซนติเมตร ราคาขายดอกดาวเรืองเท่ากับ 0.5 บาทต่อดอก และเกรด D ราคาขายดอกดาวเรืองเท่ากับ 0.3-0.25 บาทต่อดอก (Office of Agricultural Economics, 2019) เมื่อพิจารณาคุณภาพและมาตรฐานของดอกดาวเรืองที่ให้น้ำทั้ง 4 กรรมวิธี พบว่า ดอกดาวเรืองมีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของดอกเฉลี่ยอยู่ระหว่าง 6.75 - 6.89 เซนติเมตร ซึ่งอยู่ในระดับเกรด C ตามมาตรฐานการซื้อขายดอกดาวเรือง อย่างไรก็ตามขนาดดังกล่าว เป็นขนาดที่ตลาดมีต้องการสูง และเป็นที่ยอมรับโดยทั่วไป

ประสิทธิภาพการใช้น้ำ

ปริมาณการให้น้ำในการผลิตดาวเรือง (Table 3) พบว่า การให้ตามกรรมวิธีที่ 1 ให้น้ำตามเกษตรกรนิยมปฏิบัติ ให้น้ำทุกวัน ๆ ละ 2 ครั้ง โดยแบ่งการให้น้ำเป็น 2 ช่วงเวลา คือ เวลาเช้า (7.00 น.) และเวลาเย็น (17.00 น.) ในอัตรารวม 10.62 มิลลิเมตร ใช้น้ำสูงสุดที่ 1,529.28 ลูกบาศก์เมตรต่อไร่ต่อฤดูการผลิต ซึ่งมากกว่า กรรมวิธี 2-4 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ อย่างไรก็ตามไม่พบความ-

แตกต่างของปริมาณน้ำที่ใช้ระหว่างการให้น้ำตามกรรมวิธีที่ 2 - 4 ที่ให้น้ำอยู่ในช่วง 304.91 - 306.82 ลูกบาศก์เมตรต่อไร่ต่อฤดูการผลิต

เมื่อพิจารณาประสิทธิภาพการให้น้ำ ซึ่งประเมินได้จากปริมาณผลผลิตทั้งหมด (Table 2) ต่อปริมาณน้ำที่ใช้ทั้งหมด (สมการที่ 3) พบว่า ค่าประสิทธิภาพการให้น้ำเฉลี่ยอยู่ระหว่าง 0.56-3.41 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร อย่างไรก็ตาม การให้น้ำที่แตกต่างกันทั้ง 4 กรรมวิธี ส่งผลให้ประสิทธิภาพการให้น้ำของดาวเรืองแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยกรรมวิธีที่ 2 การให้น้ำทุกวันตามอัตราการคายระเหย มีค่าประสิทธิภาพการให้น้ำสูงสุดเท่ากับ 3.41 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร แต่ไม่แตกต่างจากการให้น้ำในกรรมวิธีที่ 3 และ 4 ที่มีประสิทธิภาพการให้น้ำเท่ากับ 3.21 และ 2.02 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ตามลำดับ ในขณะที่การให้น้ำตามกรรมวิธีที่ 1 มีประสิทธิภาพการให้น้ำต่ำที่สุดเท่ากับ 0.56 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ผลการศึกษาในครั้งนี้แสดงให้เห็นว่า เกษตรกรใช้น้ำในการผลิตดาวเรืองมากเกินความจำเป็น ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบกับ การให้น้ำตามกรรมวิธีที่ 2-4 ซึ่งให้น้ำโดยประเมินจากค่าอัตราการคายระเหยของดอกดาวเรือง (กรรมวิธีที่ 2) ร่วมกับสมบัติในการอุ้มน้ำของดิน (กรรมวิธีที่ 3 และ 4) มีประสิทธิภาพการให้น้ำสูงกว่ากรรมวิธีที่ 1 ซึ่งทำให้ประหยัดการให้น้ำได้ถึงร้อยละ 80 อย่างไรก็ตาม Massoud *et al.* (2014) ศึกษาผลของ

Table 3. Water use efficiency of marigolds under water application

Treatment	Total water application (m ³ /rai/crop)	WUE (kg/m ³)
Control	1529.28 a	0.56 b
ETc	306.58 b	3.41 a
AWC30%	306.82 b	3.02 a
AWC50%	304.91 b	2.06 a
CV(%)	16.7	17.3
LSD _{0.05}	*	*

* Means in each column, followed by different lowercase letters, indicate significant differences based on LSD at P < 0.05

ความต้องการน้ำต่อการเจริญเติบโตและผลผลิตของดาวเรือง (*Calendula officinales* L.) โดยทดลองให้น้ำที่แตกต่างกัน 2,738 5,476 และ 8,214 ลูกบาศก์เมตรต่อเฮกตาร์ตามลำดับ พบว่า การให้น้ำที่ 8,214 ลูกบาศก์เมตรต่อเฮกตาร์ ทำให้การเจริญเติบโตของดาวเรืองและผลผลิตสูงสุด สูงกว่าการให้น้ำที่ 2,738 ลูกบาศก์เมตรต่อเฮกตาร์ อย่างไรก็ตามประสิทธิภาพการใช้น้ำ (WUE) สูงที่สุดเมื่อให้น้ำที่ 2,738 ลูกบาศก์เมตรต่อเฮกตาร์ Tsirogiannis *et al.*, 2010 ศึกษาผลกระทบของการจัดการระบบการให้น้ำที่แตกต่างกันต่อปริมาณและคุณภาพของดอกเยอบีรา พบว่า การให้น้ำที่มีประสิทธิภาพส่งผลให้ได้ผลผลิตดอกเยอบีราที่สูงขึ้นโดยปัจจัยสำคัญที่ส่งผลต่อผลผลิต ได้แก่ ปริมาณน้ำที่ให้ ความถี่ในการให้น้ำ และช่วงเวลาในการให้น้ำที่เหมาะสมกับความต้องการของพืชในแต่ละระยะการเจริญเติบโต นอกจากปริมาณแล้ว คุณภาพของดอกเยอบีรา ได้แก่ ขนาดของดอก สี สัน ความทนทาน และอายุการใช้งานของดอก ซึ่งการให้น้ำที่เหมาะสมจะช่วยให้ได้ดอกที่มีคุณภาพดีและมีอายุการใช้งานที่ยาวนานขึ้น

สรุป

การศึกษานี้มีวัตถุประสงค์ของการให้น้ำต่อการเติบโต คุณภาพ และผลผลิตของดาวเรือง ที่ปลูกในช่วงเดือนพฤศจิกายน พ.ศ. 2564 ถึงเดือนกุมภาพันธ์ พ.ศ. 2565 พบว่า การให้น้ำดาวเรืองตามค่าอัตราการคายระเหยของดาวเรือง (ETc) ช่วยส่งเสริมการเติบโต โดยมีความสูงขนาดทรงพุ่ม และเส้นผ่าศูนย์กลางดอกมากที่สุดเท่ากับ 64.13 55.03 และ 6.89 เซนติเมตร ตามลำดับ และมีประสิทธิภาพการให้น้ำสูงสุด เท่ากับ 3.41 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร อย่างไรก็ตาม การให้น้ำทุกกรรมวิธีส่งผลให้ปริมาณ และคุณภาพผลผลิตของดอกดาวเรืองแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ดังนั้น ในการผลิตดาวเรืองเพื่อให้ได้ทั้งปริมาณและคุณภาพ ตลอดจนการใช้น้ำในกระบวนการผลิตอย่างมีประสิทธิภาพ ควรให้น้ำตามค่าอัตราการคายระเหยของดาวเรือง

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณภาควิชาพืชศาสตร์และปฐพีศาสตร์ คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ และศูนย์วิจัยสาริตและฝึกอบรมการเกษตรแม่เหียะ คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ ที่สนับสนุนการดำเนินงานวิจัย ตลอดจนการเอื้อเฟื้อวัสดุอุปกรณ์ และสถานที่ทำงานวิจัย

เอกสารอ้างอิง

- Allen, R.G., L.S. Pereira, D. Raes and M. Smith. 1998. Crop Evapotranspiration: Guidelines for Computing Crop Water Requirements. Irrigation and Drainage Paper No. 56. FAO, Rome. 300 p.
- Armitage, A.M. and T. Kowalski. 1983. Effect of irrigation frequency during greenhouse production on the postproduction quality of *Petunia hybrida* Vilm. Journal of the American Society for Horticultural Science 108(1): 118-121.
- Aydinsakir, K., I.H. Tuzel and D. Buyuktas. 2011. The effects of different irrigation levels on flowering and flower quality of carnation (*Dianthus Caryophyllus* L.) irrigated by drip irrigation. African Journal of Biotechnology 10(66): 14826-14835.
- Bakht, J., M. Shafi, M. Yousaf, R. Raziuddin and M.A. Khan. 2010. Effect of irrigation on physiology and yield of sunflower hybrids. Pakistan Journal of Botany 42(2): 1317-1326.
- Boonyatharokul, W. 1983. Irrigation Principles. Faculty of Engineering, Kasetsart University, Bangkok. 274 p. (in Thai)
- Bray, R.H. and L.T. Kurtz. 1945. Determination of total organic and available forms of

- phosphorus in soils. Soil Science 59(1): 39-45.
- Bureau of Agricultural Commodities Promotion and Management. 2021. Marigolds. (Online). Available: <http://www.agriman.doae.go.th/home/news/2565/41marigold.pdf> (February 6, 2022). (in Thai)
- Buriro, M., A.S. Sanjrani, Q.I. Chachar, N.A. Chachar, S.D. Chachar, B. Buriro, A.W. Gandahi and T. Mangan. 2015. Effect of water stress on growth and yield of sunflower. Journal of Agricultural Technology 11(7): 1547-1563.
- Chawla, S.L. 2006. Effect of irrigation regimes and mulching on flowers of African marigold (*Tagetes erecta* L.) cv. 'Double Mix'. South Indian Horticulture 44(1-2): 102-103.
- Chew, B.P., M.W. Wong and T.S. Wong. 1996. Effects of lutein from marigold extract on immunity and growth of mammary tumors in mice. Anticancer Research 16: 3689-3694.
- Department of Agricultural Extension. 2013. Knowledge Increases Production Efficiency to Become Smart Officer Ornamental Plant. The Agricultural Co-operative Federation of Thailand, Ltd., Bangkok. 146 p. (in Thai)
- Department of Irrigation. 2019. Crop coefficients (Kc) of 40 crops. (Online). Available: http://water.rid.go.th/hwm/cropwater/CWRdata/Kc/kc_th.pdf (March 28, 2024). (in Thai)
- Department of Meteorology. 2021. Monthly weather data for the past 30 years of Chiang Mai. (Online). Available: https://www.tmd.go.th/province_weather_stat.php?StationNumber=48327 (November 6, 2021). (in Thai)
- Goksoy, A.T., A.O. Demir, Z.M. Turan and N. Dagustu. 2004. Responses of sunflower (*Helianthus annuus* L.) to full and limited irrigation at different growth stages. Field Crops Research 87(2-3): 167-178.
- Helmke, P.A. and D.L. Sparks. 1996. Lithium, sodium, potassium, rubidium, and cesium. pp. 551-574. In: D.L. Sparks, A.L. Page, P.A. Helmke, R.H. Loeppert, P.N. Soltanpour, M.A. Tabatabai, C.T. Johnson and M.E. Sumner. (eds.). Methods of Soil Analysis, Part 3: Chemical Methods. Soil Science Society of America Book Series No. 5. Soil Science Society of America, Inc. and American Society of Agronomy, Inc., Madison.
- Katsoulas, N., C. Kittas, G. Dimokas and C.h. Lykas. 2006. Effect of irrigation frequency on rose flower production and quality. Biosystems Engineering 93(2): 237-244.
- Ketsa, S. 1988. Postharvest Technology of Cut Flowers. Faculty of Agriculture, Kasetsart University, Bangkok. 291 p. (in Thai)
- Kittithanawat, S. 2020. The situation and direction of ornamental flower in Thailand in 2020. (Online). Available: <http://www.agriman.doae.go.th/home/news/2565/41marigold.pdf> (February 6, 2022). (in Thai)
- Kramer, P.J. 1969. Plant and Soil Water Relationship. McGraw-Hill Company, New York. 390 p.
- Kramer, P.J. and J.S. Boye. 1995. Water Relations of Plants and Soils. Academic Press, San Diego. 495 p.
- Liang, Z., J. Yang, H. Shao and R. Han. 2006. Investigation on water consumption characteristics and water use efficiency of poplar under soil water deficits on the Loess Plateau. Colloids and Surfaces B: Biointerfaces 53(1): 23-28.

- Manikandan, R., A.V. Anand, S. Kumar and Pushpa. 2016. Phytochemical and *in vitro* antidiabetic activity of *Psidium guajava* leaves. Pharmacognosy Journal 8(4): 392-394.
- Massoud, H.Y.A., M.N. Sharef El-Deen, R.M.M. Yousef and M.S. Megahed. 2014. Effect of water requirement and organic fertilization on growth and yield of marigold (*Calendula officinales* L.) plant under sandy soil conditions. Journal of Plant Production 5(11): 1849-1865.
- Matchamek, T. and S. Puchai. 2009. Deficit Irrigation Effects on Marigold Yield. B.E. Project in Irrigation Engineering. Faculty of Engineering, Kasetsart University, Bangkok. 68 p. (in Thai)
- Nelson, D.W. and L.E. Sommers. 1980. Total nitrogen analysis of soil and plant tissue. Journal of AOAC International 63(4): 770-778.
- Office of Agricultural Economics. 2019. Agriculture production information (orchids). (Online). Available: https://www.technologychao.com/bullet-news-today/article_72343 (December 10, 2022). (in Thai)
- Palasri, K. 1996. Effect of planting date and spacing on seed yield and seed quality of marigolds. M.S. Thesis. Kasetsart University, Bangkok. 67 p. (in Thai)
- Poruksa, R., S. Punthachot and S. Changjeraja. 2002. A study of use of *Curcuma alismatifolia* Gagnep. Journal of Agriculture 18(1): 18-23. (in Thai)
- Prakunhungsit, S., P. Bunpen, S. Tonwiboonsak, W. Kongkaew, S. Kaewlummyai and S. Charoenying. 2001. A study on consumptive use of chrysanthemum (*Chrysanthemum morifolium* L.). Khon Kaen Agriculture Journal 29(2): 91-95. (in Thai)
- Promthong, W. 1998. Popular Flowers of Compositae Family. Matichon Publishing House, Bangkok. 115 p. (in Thai)
- Reginato, R.J. and C.H.M. van Bavel. 1962. Pressure cell for soil cores. Soil Science Society of America Journal 26(1): 1-3.
- Rhoades, J.D. 1982. Soluble salts. pp. 167-179. In: A.L. Page, R.H. Miller and D.R. Keeney (eds.). Method of Soil Analysis, Part 2: Chemical and Microbiological Properties. 2nd ed. American Society of Agronomy, Inc., and Soil Science Society of America, Inc., Madison.
- Rioba, N.B. 2015. Effects of Nitrogen, Phosphorus and Watering Regimes on growth, leaf yield and essential oils of sage (*Salvia officinalis* L.). Ph.D. Dissertation. Egerton University, Egerton-Njoro. 170 p.
- Singh, G., P. Singh and R. Sharda. 2021. Effect of irrigation levels and mulching on growth and flower production in African marigold (*Tagetes erecta* L.). Journal of Agricultural Research 58(4): 693-697.
- Singto, A. 2021. Recurrent Drought in Northern Thailand. Office of Natural Calamity and Agricultural Risk Prevention, Bangkok. 170 p. (in Thai)
- Siwasil, N. 1984. A Handbook of Soil, Plant and Fertilizer Analysis. Faculty of Agriculture, Chiang Mai University, Chiang Mai. 138 p. (in Thai)
- Sujitha, E., S. Kumarasamy and G. Thiyagarajan. 2020. Estimation of crop coefficient for marigold (*Tagetes erecta* L.) under drip irrigated greenhouse. Applied and Natural Science Journal 12(2): 128-132.
- Suwanmek, P. and P. Puengwikrai. 2019. Ornamental plant situation. (Online).

-
- Available: <http://www.agriman.doae.go.th/home/news/2563/75-76.pdf> (February 6, 2022). (in Thai)
- Techapinyawat, S. 2001. Plant Physiology, 3rd ed. Kasetsart University, Bangkok. 237 p. (in Thai)
- Thongpae, S. 2015. Fundamental knowledge of soil-fertilizer-water for growing plants. Kasetsart Extension Journal 60(3): 82-96. (in Thai)
- Tsirogiannis, I., N. Katsoulas and C. Kittas. 2010. Effect of irrigation scheduling on gerbera flower yield and quality. HortScience 45(2): 265-270.
- Vijayakumar, S., R.H. Laxman, S.A. Nair and A.K. Nair. 2020. Effect of different moisture regimes on the yield, quality and water use efficiency of chrysanthemum var. marigold. Current Microbiology and Applied Sciences International Journal 9(4): 3138-3151.
- Weiss, E. A. 1983. Oilseed Crop. Longman Group, New York. 389 p.
- Wutticamnong, K. 1986. Soil and Water Mangement. Faculty of Agricultural Production, Maejo Institute of Agricultural Technology, Chiang Mai. 289 p. (in Thai)
- Zhu, H., M.C. Lamb, C.L. Butts and P.D. Blankenship. 2004. Improving peanut yield and grade with surface drip irrigation in undulating fields. American Society of Agricultural and Biological Engineers 20(1): 17-23.
-

ผลของการพ่นกรดแอมิโนทางใบร่วมกับการจัดการปุ๋ยเคมีต่อการเจริญเติบโตและผลผลิตของผักโขม (*Amaranthus* spp.)

Effects of Foliar Amino Acid Sprays Combined with Fertilizer Management on Growth and Development, and Yield of Amaranth (*Amaranthus* spp.)

พงษ์เพชร พงษ์ศิวิภาัย^{1*} ธวัชชัย อินทร์บุญช่วย¹ ธรรมธวัช แสงงาม² ดนชิดา วาทินพุฒิพร³
วิทยา เศรษฐวิทยา⁴ และ ชัยสิทธิ์ ทองจุ¹
Pongpet Pongsivapai^{1*}, Tawatchai Inboonchuay¹, Thamtawat Saengngam², Donchida Wathinutthiporn³ Wittaya Setthawittaya⁴ and Chaisit Thongjoo¹

¹ภาควิชาปฐพีวิทยา คณะเกษตร กำแพงแสน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน จ. นครปฐม 73140

¹Department of Soil Science, Faculty of Agriculture at Kamphaeng Saen, Kasetsart University, Kamphaeng Saen Campus, Nakhon Pathom 73140, Thailand

²ศูนย์วิจัย และบริการวิชาการ คณะเกษตร กำแพงแสน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน จ. นครปฐม 73140

²Research and Academic Service Center, Faculty of Agriculture at Kamphaeng Saen, Kasetsart University, Kamphaeng Saen Campus, Nakhon Pathom 73140, Thailand

³ภาควิชาส่งเสริมและนิเทศศาสตร์เกษตร คณะเกษตร กำแพงแสน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน จ. นครปฐม 73140

³Department of Agricultural Extension and Communication, Faculty of Agriculture at Kamphaeng Saen, Kasetsart University, Kamphaeng Saen Campus, Nakhon Pathom 73140, Thailand

⁴ศูนย์วิจัยและพัฒนาพืชผักเขตร้อน ภาควิชาพืชสวน คณะเกษตร กำแพงแสน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน จ. นครปฐม 73140

⁴Tropical Vegetable Research Center, Department of Horticulture, Faculty of Agriculture at Kamphaeng Saen, Kasetsart University, Kamphaeng Saen Campus, Nakhon Pathom 73140, Thailand

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

(Received: 19 August 2024; Accepted: 23 September 2024)

Abstract: Amino acids (AMN) are a type of biostimulants which can promote plant growth, enhance resistance to both biotic and abiotic stress and potentially reduce the need of chemical fertilizer (CF) for crop production. This study aimed to investigate the effects of foliar AMN application combined with CF management on growth and yield of amaranth (*Amaranthus* spp.). This experiment established in greenhouse and arranged in completely randomized design (CRD) with 5 replications and 4 treatments as follows: 1) control, no CF and AMN application (T1), 2) applied CF at the recommended rate, CF100% (T2), 3) applied 75% of the recommended CF combined with foliar spray of AMN type 1 (T3) and 4) applied 75% of the recommended CF combined with foliar spray of AMN type 2 (T4). The results revealed that foliar with AMN significantly influenced on growth of amaranth including plant height, stem diameter, leaf width,

leaf length and leaf number) at 4 weeks after transplanted (WAT). T3 treatment showed the highest value and was not significantly different with T2 and T4, while leaf greenness (SPAD) showed the significant differences among treatments at 2, 3 and 4 WAT. Moreover, applied CF and foliar with AMN affected on yield parameters (dry and fresh above ground biomass and leaf area) and concentration of nutrients in above ground biomass of plant (total nitrogen, phosphorus and potassium) in the similar way, that T3 treatment gave the highest value and not significant differences with T2 and T4, but showed the significant differences with T1. Overall, it was found that spraying amino acids combined with fertilizer management influenced growth and yield of amaranth, which can reduce the use of chemical fertilizers by up to 25%.

Keywords: Foliar spray, amino acid, growth, yield, amaranth

บทคัดย่อ: กรดอะมิโน เป็นสารเร่งเชิงชีวภาพชนิดหนึ่ง ซึ่งสามารถเร่งการเจริญเติบโตของพืช ด้านทานต่อสภาพความเครียดที่เกิดจากสิ่งมีชีวิต และสิ่งไม่มีชีวิต และอาจรวมถึงการลดใช้ปุ๋ยเคมีในการเพาะปลูก ดังนั้นการศึกษานี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลของการพ่นกรดอะมิโนร่วมกับการจัดการปุ๋ยเคมีต่อการเจริญเติบโตและผลผลิตของผักโขม โดยทำการทดลองในโรงเรือน วางแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ จำนวน 5 ซ้ำ ประกอบด้วย 4 ตำรับการทดลอง ดังนี้ 1) ตำรับควบคุม (ไม่ใส่ปุ๋ยเคมีและพ่นกรดอะมิโน, T1) 2) ใส่ปุ๋ยเคมีตามอัตราแนะนำ 100 เปอร์เซ็นต์ (T2) 3) ใส่ปุ๋ยเคมี 75 เปอร์เซ็นต์ ร่วมกับพ่น กรดอะมิโน สูตร 1 (T3) และ 4) ใส่ปุ๋ยเคมี 75 เปอร์เซ็นต์ ร่วมกับพ่นกรดอะมิโน สูตร 2 (T4) ผลการทดลองพบว่า การพ่นกรดอะมิโนส่งผลต่อการเจริญเติบโตของผักโขมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (ความสูง ขนาดลำต้น ความกว้างใบ ความยาวใบ และจำนวนใบ) ที่อายุ 4 สัปดาห์หลังย้ายปลูก โดย T3 ให้ค่ามากที่สุด ไม่แตกต่างกับ T2 และ T4 ในขณะที่ส่งผลให้ความยาวใบแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติตั้งแต่ที่อายุ 2, 3 และ 4 สัปดาห์หลังย้ายปลูก นอกจากนี้การพ่นกรดอะมิโนร่วมกับการจัดการปุ๋ยเคมียังส่งผลต่อผลผลิต (น้ำหนักแห้ง น้ำหนักสดส่วนเหนือดิน และพื้นที่ใบ) และความเข้มข้นธาตุอาหารในส่วนเหนือดินของพืช (N, P และ K ทั้งหมด) ให้ผลสอดคล้องกัน คือ T3 มีค่ามากที่สุด ไม่แตกต่างทางสถิติกับ T2 และ T4 แต่มีความแตกต่างทางสถิติกับ T1 โดยภาพรวม พบว่า การพ่นกรดอะมิโนร่วมกับการจัดการปุ๋ยมีผลต่อการเจริญเติบโต และผลผลิตของผักโขม และยังสามารถลดการใช้ปุ๋ยเคมีได้ถึง 25 เปอร์เซ็นต์

คำสำคัญ: พ่นทางใบ กรดอะมิโน การเจริญเติบโต ผลผลิต ผักโขม

คำนำ

กรดอะมิโน (amino acid; AMN) คือ สารประกอบอินทรีย์ซึ่งมีหมู่ฟังก์ชันทำหน้าที่ 2 แบบ คือ หมู่อะมิโน (amino group) และหมู่คาร์บอกซิลิก (carboxylic group) มีมากกว่า 250 ชนิด ที่ทำหน้าที่ต่าง ๆ ในพืช ไม่ว่าจะเป็นการช่วยให้รากพืชดูดธาตุอาหารได้มากขึ้น ทนต่ออุณหภูมิที่สูง หรือต่ำเกินไป ทนต่อความเค็ม ทนต่อการขาดน้ำ ฯลฯ (Osotsapar, 2014) ดังนั้น กรดอะมิโนจึงถือเป็นสารเร่งเชิงชีวภาพ (biostimulants)

สำหรับพืช ชนิดหนึ่ง นอกเหนือจากสารสกัดจากวัชพืชทะเล กรดฮิวมิก ไคโตซาน ฯลฯ ซึ่งคำนียามของสารเร่งเชิงชีวภาพโดยภาพรวม หมายถึงสารใด ๆ ก็ตาม ที่ไม่ใช่สารปรับปรุงดิน ปุ๋ย หรือสารกำจัดศัตรูพืช ที่ใส่ให้พืช ไม่ว่าจะเป็นทางดิน ทางใบ หรือคลุกเมล็ด แล้วสามารถปรับปรุงกระบวนการทางสรีระของพืช ทำให้พืชสามารถเจริญเติบโต หรือทนต่อสภาพความเครียดมากขึ้น (du Jardin, 2015; Osotsapar, 2014) นอกจากนี้ยังมีความคุ้มค่าในการใช้เนื่องจากใช้ในปริมาณที่น้อย แต่ให้ผลผลิตหรือผลตอบแทนที่มาก (du Jardin, 2015;

Popko *et al.*, 2018) กรดอะมิโนที่ถูกนำมาใช้เป็นสารเร่งเชิงชีวภาพไม่ได้มีเพียงแค่นิดใดชนิดหนึ่งที่บริสุทธิ์ หากแต่ประกอบไปด้วยกรดอะมิโนหลากหลายชนิด ขึ้นอยู่กับวัตถุดิบซึ่งเป็นที่มาของโปรตีนที่ถูกย่อยด้วยปฏิกิริยาแยกสลายด้วยน้ำ (hydrolysis) (Osotsapar, 2014) ดังนั้น การใช้ประโยชน์ของกรดอะมิโนจึงสามารถนำมาใช้กับพืชได้ในหลายกรณี ทั้งนี้ ขึ้นอยู่กับว่าชนิดของกรดอะมิโนที่สกัดมาได้ ซึ่งในหลาย ๆ ประเทศในยุโรป ได้มีการนำกรดอะมิโนมาใช้ทางการเกษตรกันอย่างแพร่หลายและพบว่ามีผลในด้านของการส่งเสริมการดูดธาตุอาหารและเพิ่มประสิทธิภาพการใช้ประโยชน์ธาตุอาหารทั้งธาตุหลักและจุลธาตุ (Maini, 2006) ทำปฏิกิริยาคีเลชันกับไอออนของโลหะได้คือเลตอันเป็นรูปที่เซลล์พืชดูดไปใช้ประโยชน์ได้ง่ายทั้งทางรากและเซลล์ใบ (Jie *et al.*, 2008) เพิ่มคุณค่าทางโภชนาการของผลผลิต (Curie *et al.*, 2009) เพิ่มกิจกรรมของจุลินทรีย์ในดิน (Garcia-Martinez *et al.*, 2010) นอกจากนี้ ยังพบว่า สามารถลดการใช้ปุ๋ยเคมีในการเพาะปลูกพืชบางชนิดได้อีกด้วย (Maini, 2006; Popko *et al.*, 2018) โดยภาพรวมจึงถือได้ว่าการใช้กรดอะมิโนอาจจะเป็นทางเลือกใหม่ให้กับเกษตรกรในการทำเกษตรยุคใหม่ ที่มุ่งเน้นการลดสารเคมี เพื่อการทำเกษตรแบบยั่งยืน

ปุ๋ยเคมี (chemical fertilizer; CF) เป็นอีกหนึ่งปัจจัยที่สำคัญในการเพาะปลูก เพื่อให้พืชได้เจริญเติบโต และสามารถให้ผลผลิตได้อย่างสมบูรณ์ และเพียงพอต่อความต้องการของตลาดทั้งในด้านปริมาณและคุณภาพ อย่างไรก็ตามปุ๋ยเคมีเป็นปัจจัยการผลิตอย่างหนึ่งที่มีราคาสูง ดังนั้น จึงควรมีการจัดการเพื่อให้ใช้ประโยชน์จากปุ๋ยเคมีได้มากที่สุด และใช้ต้นทุนน้อยที่สุด โดยเฉพาะอย่างยิ่ง จากปัญหาวิกฤตทางด้านเศรษฐกิจต่าง ๆ ทำให้ราคาปุ๋ยเคมีในตลาดโลกเริ่มสูงขึ้น ตั้งแต่ประมาณเดือนตุลาคม พ.ศ. 2564 เนื่องจากประเทศจีนจำกัดการส่งออกเพื่อความมั่นคงทางอาหาร (Office of Agricultural Economics, 2022) และจากสถานการณ์สงครามระหว่างประเทศรัสเซียและประเทศยูเครน รวมถึงประเทศรัสเซียได้มีการจำกัดการส่งออกปุ๋ยเคมี (Chojnacka *et al.*, 2023) ทำให้ราคาวัตถุดิบในการผลิตปุ๋ยเคมีอย่างน้ำมันดิบและก๊าซธรรมชาติพุ่ง

สูงขึ้นอย่างมากส่งผลให้ราคาปุ๋ยเคมีสูงตาม รวมถึงผู้นำเข้าเร่งนำเข้า ทำให้ราคาปุ๋ยในตลาดโลกยิ่งเพิ่มสูงขึ้นอีก (Office of Agricultural Economics, 2022) ประเทศไทยเป็นประเทศที่นำเข้าปุ๋ยเคมีเกือบทั้งหมด โดยเฉลี่ยนำเข้าปีละมากกว่า 5 ล้านตัน เป็นมูลค่ามากกว่า 1,800 ล้านดอลลาร์สหรัฐฯ โดยปี พ.ศ. 2563 ประเทศไทยมีการนำเข้าปุ๋ยเคมีประมาณ 5.1 ล้านตัน ราคาต้นทุนละประมาณ 9,000 บาท แต่ในปี พ.ศ. 2564 ประเทศไทยนำเข้าปุ๋ยเคมีประมาณ 5.5 ล้านตัน ราคาประมาณ 13,000 บาทต่อตัน โดยเฉพาะราคาแม่ปุ๋ยซึ่งเพิ่มจากปี พ.ศ. 2563 ถึงประมาณ 50 เปอร์เซ็นต์ (Office of Agricultural Economics, 2022) จึงมีความจำเป็นต้องหาธาตุอาหารจากแหล่งที่มาอื่น ๆ เพื่อทดแทนแหล่งที่มาของธาตุอาหารจากปุ๋ยเคมี (Chojnacka *et al.*, 2023) นอกจากนี้การใช้ปุ๋ยเคมีในการผลิตพืชผักของเกษตรกรไทยยังมีข้อจำกัดโดยเฉพาะในเรื่องของการใช้ปุ๋ยอย่างมีประสิทธิภาพโดยเฉพาะในการปลูกผัก ซึ่งเป็นพืชอายุสั้น จึงมีการใช้ปุ๋ยเคมีอย่างต่อเนื่อง ขึ้นอยู่กับรอบการผลิต ซึ่งในบางพื้นที่มีการปลูกอย่างต่อเนื่อง หรือบางพื้นที่มีการปลูกพืชหมุนเวียน ดังนั้นการใช้ปุ๋ยเคมีจึงมีความแตกต่างกัน ขึ้นอยู่กับชนิดผักที่ปลูก และความถี่ในการใช้ที่ดิน ส่งผลให้อาจประสบปัญหาเช่น ดินขาดความอุดมสมบูรณ์เพราะใส่ปุ๋ยไม่เพียงพอ หรือมีธาตุอาหารบางธาตุสะสมเยอะเกินไปเนื่องจากการใส่ปุ๋ยอย่างต่อเนื่องจนเกิดการตรึงธาตุอาหารอื่น (Department of Agriculture, 2005)

จากสถานการณ์ที่ปุ๋ยเคมีมีราคาที่สูงขึ้นในตลาด กรดอะมิโนจึงมีแนวโน้มที่จะเป็นทางเลือกหนึ่งในการลดการใช้ปุ๋ยเคมีของเกษตรกรไทย เนื่องจากการศึกษาการใช้กรดอะมิโนอย่างแพร่หลายในต่างประเทศ ไม่ว่าจะเป็นเพื่อการปลูกพืชภายใต้สภาวะเครียด หรือเพื่อลดการใช้ปุ๋ยเคมี (Osotsapar, 2014) โดยมีการทดลองกับพืชผักหลายชนิด เช่น ผักกาดหอม (Noroozlo *et al.*, 2019b) กระหล่ำปลี (Haghighi *et al.*, 2022) แตงกวา มะเขือเทศ ถั่วแขก (Souri *et al.*, 2017) และ ผักโขม (Ramesh *et al.*, 2020) แต่การศึกษาในประเทศไทยที่มีความแตกต่างทางด้านสภาพแวดล้อมต่าง ๆ เช่น ความหลากหลายทางชีวภาพ อุณหภูมิ

ศัตรูพืช ฯลฯ ยังคงค่อนข้างมีจำกัด ดังนั้นการทดลองนี้จึงจัดทำขึ้นโดยมีจุดประสงค์เพื่อศึกษาผลของการพ่นกรดอะมิโนทางใบร่วมกับการจัดการปุ๋ยเคมีต่อการเจริญเติบโตและผลผลิตของพืช โดยพืชที่นำมาทดสอบในการทดลองนี้คือผักโขม ซึ่งเป็นพืชที่องค์การอาหารและเกษตรแห่งสหประชาชาติ (FAO) ให้ความสำคัญเป็นอย่างมาก (Li and Siddique, 2018) อีกทั้งยังเป็นพืชนิยมบริโภคของผู้คนโดยเฉพาะในทวีปยุโรป เนื่องจากมีคุณค่าทางโภชนาการสูง ส่วนในประเทศไทยมีผู้นิยมปลูกมากขึ้นเพื่อใช้ในการค้าขายและรับประทานไม่ว่าจะเป็นใบ หรือต้นอ่อน แต่ในการเพาะปลูกเพื่อให้ได้การเจริญเติบโตและผลผลิตที่ดียังขาดการศึกษาที่เพียงพอ (Benjawan *et al.*, 2019) โดยเบื้องต้นผักโขมเป็นพืชที่เจริญเติบโตได้ดีในทุกพื้นที่ของประเทศไทย ปลูกง่าย มีความทนทานต่อโรคและแมลง และมีคุณค่าทางโภชนาการสูง (Benjawan *et al.*, 2019; Puangmanee *et al.*, 2014) ดังนั้นการใช้กรดอะมิโนกับพืชที่มีการเจริญเติบโตที่ดีอยู่แล้วแม้กระทั่งในสภาพธรรมชาติเช่น ผักโขม จะแสดงให้เห็นถึงประสิทธิภาพของกรดอะมิโนในเชิงสารเร่งเชิงชีวภาพ นอกจากนี้ยังอาจส่งผลดีต่อเกษตรกรผู้ปลูกผักโขมในการลดต้นทุนการผลิตจากปุ๋ยเคมี ผักโขมจึงมีความเหมาะสมต่อการนำมาศึกษาถึงผลของการใช้กรดอะมิโนร่วมกับการจัดการปุ๋ยเคมีที่มีต่อการเจริญเติบโตและผลผลิตของผักโขมในสภาพโรงเรือนเพื่อประเมินศักยภาพและความเป็นไปได้ก่อนนำไปทดสอบในระดับไร่นา และส่งเสริมให้เกษตรกรผู้สนใจต่อไป

อุปกรณ์และวิธีการ

การทดลองนี้วางแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ (completely randomized design; CRD) โดยทำการทดลองในโรงเรือนของศูนย์วิจัยพืชผักเขตร้อน (Tropical Vegetation Research Center; TVRC) ภาควิชาพืชสวน คณะเกษตร กำแพงแสนมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน จังหวัดนครปฐม ประกอบไปด้วย 4 ตำรับการทดลอง จำนวน 5 ซ้ำ ๆ ละ 1 กระถาง โดยมีรายละเอียดแต่ละตำรับการทดลองดัง Table 1

วิธีการปลูก และการดูแลรักษา: ทำการเพาะเมล็ดผักโขมในฟืทมอส โดยผักโขมที่ใช้ในการทดลองนี้คือ ผักโขมจีน หรือ green amaranth (*Amaranthus dubius* L.) หลังจากต้นกล้ามีอายุได้ 7 วัน จึงทำการย้ายมาปลูกในกระถางขนาด 12 นิ้ว โดยปลูกลงในดินร่วนจากชุดดินกำแพงแสน; Ks (fine-silty, mixed, semiactive, isohyperthermic Typic Haplustalfs) (Land Development Department, 2023) น้ำหนักดิน 15 กิโลกรัมต่อกระถาง ซึ่งมีสมบัติดินดัง Table 2 ทำการรดน้ำโดยใช้น้ำประปา ปริมาณ 200 มิลลิลิตรต่อกระถาง ทุกวันในเวลาเช้า การใส่ปุ๋ยเคมี ใช้ปุ๋ยเคมีสูตร 15-15-15 สำหรับตำรับการทดลองที่มีการใส่ปุ๋ยเคมีตามอัตราต่าง ๆ ดัง Table 1 โดยใส่ทุก 5 วันหลังทำการย้ายปลูก จำนวน 4 ครั้ง การพ่นกรดอะมิโนที่นำมาใช้ประกอบด้วยผลิตภัณฑ์กรดอะมิโน 2 ชนิด ที่ผลิตจากวัตถุดิบที่ต่างกัน (บริษัท เกษตรสมิทธิ์ จำกัด) ซึ่งมีสมบัติแตกต่างกัน ในด้านธาตุอาหารดังที่แสดงใน

Table 1. The details of each treatment

Treatment	Description	CF (15-15-15) rate (g/time)	Symbol
T1	Control (no CF and AMN application)	0.000	Control
T2	Applied CF 100%	1.500	CF100
T3	Applied CF 75% with foliar AMN1	1.125	CF75+AMN1
T4	Applied CF 75% with foliar AMN2	1.125	CF75+AMN2

CF = Chemical fertilizer

AMN = Amino acid

Table 2. Some of soil properties before amaranth cultivation

Parameters	Values	Interpretation
pH (soil:water = 1:1)	6.90	Neutral
Electrical conductivity; EC _e (dS/m)	0.53	Non-saline
Organic matter (%) ^{1/}	1.62	Medium
Available P (mg/kg) ^{2/}	56.22	Very high
Exchangeable K (mg/kg) ^{3/}	109.91	High

^{1/} = Walkley and Black method (Walkley and Black, 1934)

^{2/} = Bray II method (Bray and Kurtz, 1945)

^{3/} = Extracted with NH₄OAc pH 7.0 (Pratt, 1965)

กระถาง ทุกวันในเวลาเช้า การใส่ปุ๋ยเคมี ใช้ปุ๋ยเคมีสูตร 15-15-15 สำหรับดำรับทดลองที่มีการใส่ปุ๋ยเคมีตามอัตราต่าง ๆ ดัง Table 1 โดยใส่ทุก 5 วันหลังทำการย้ายปลูก จำนวน 4 ครั้ง การพ่นกรดอะมิโนที่นำมาใช้ประกอบด้วยผลิตภัณฑ์กรดอะมิโน 2 ชนิด ที่ผลิตจากวัตถุดิบที่ต่างกัน (บริษัท เกษตรสมิทธิ์ จำกัด) ซึ่งมีสมบัติแตกต่างกัน ในด้านธาตุอาหารดังที่แสดงใน Table 3 โดยใช้อัตราส่วน กรดอะมิโน:น้ำประปา เท่ากับ 20 มิลลิลิตร : 20 ลิตร ตามคำแนะนำของผลิตภัณฑ์ โดยทำการพ่นในอัตรา 10 มิลลิลิตรต่อ 1 ต้น (หรือจนกระทั่งกรดอะมิโนสัมผัสกับผิวสัมผัสของใบทั้งหมด) พร้อมกับการใส่ปุ๋ยเคมี (พ่นทุก 5 วันหลังทำการย้ายปลูก จำนวน 4 ครั้ง)

การเก็บบันทึกข้อมูล: ประกอบด้วยข้อมูล การเจริญเติบโต ผลผลิต และองค์ประกอบผลผลิต โดยเก็บข้อมูลการเจริญเติบโตทุก ๆ 7 วัน (1 สัปดาห์) เป็นระยะเวลา 4 สัปดาห์ ประกอบไปด้วย ความสูง ขนาดลำต้น ความเขียวใบ (leaf greenness ในหน่วยของ SPAD) ด้วยเครื่อง chlorophyll meter (Minolta Co.,Ltd, JAPAN, SPAD-502 model) ความยาว ความกว้าง และจำนวนใบ ในขณะที่ข้อมูลผลผลิต และองค์ประกอบผลผลิต เก็บเมื่อทำการเก็บเกี่ยว (4 สัปดาห์หลังปลูก) ประกอบด้วยน้ำหนักสดและน้ำหนักแห้งของส่วนเหนือดิน พื้นที่ใบด้วยวิธี leaf weight method (Phrprasert, 2007) ความเข้มข้นของ N, P

และ K ทั้งหมดที่สะสมในพืชส่วนเหนือดิน (Attanandana and Chanchareonsook, 1999)

การวิเคราะห์ทางสถิติ: วิเคราะห์ความแปรปรวน (analysis of variance: ANOVA) ของผลการเจริญเติบโต ผลผลิตและองค์ประกอบผลผลิตตามแผนการทดลองที่กำหนดและเปรียบเทียบความแตกต่างค่าเฉลี่ยด้วยวิธี Duncan's multiple range test (DMRT) ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ นอกจากนี้ การวิเคราะห์องค์ประกอบหลัก (principal component analysis: PCA) มีการนำมาใช้เพื่อศึกษาความแตกต่างระหว่างแต่ละดำรับการทดลอง โดยวิเคราะห์องค์ประกอบหลักจากความสัมพันธ์ระหว่างการเจริญเติบโต ผลผลิต และองค์ประกอบผลผลิตต่างๆ โดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูป Rstudio ดำเนินการวิเคราะห์ทางสถิติทั้งหมด

Table 3. Some of chemical properties of amino acids applied in this experiment

Parameters	AMN1	AMN2
pH 1:2	6.18	5.83
Electrical conductivity 1:10 (dS/m)	76.14	82.67
Na (%)	0.004	0.083
Organic matter (%)	10.56	10.26
Total N (%)	8.68	7.83
Total P ₂ O ₅ (%)	0.03	0.02
Total K ₂ O (%)	2.95	3.49
Total Ca (%)	1.94	1.05
Total Mg (%)	0.84	0.65
Total S (%)	0.01	0.01
Total Fe (mg/kg)	149.65	157.44
Total Mn (mg/kg)	136.54	124.86
Total Cu (mg/kg)	46.24	40.35
Total Zn (mg/kg)	57.37	849.42

ผลการศึกษาและวิจารณ์

การเจริญเติบโตของผักโขม

ผลการทดลอง พบว่าการพ่นกรดอะมิโนทางใบร่วมกับการจัดการปุ๋ยเคมีส่งผลต่อการเจริญเติบโตทั้งในด้านความสูงต้น ขนาดลำต้น จำนวนใบ ความกว้างและความยาวใบของผักโขมในแต่ละตำบลทดลอง อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติเฉพาะที่เวลา 4 สัปดาห์หลังปลูก (Figure 1) ในขณะที่ระยะเวลา 1, 2 และ 3 สัปดาห์หลังปลูก ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ยกเว้นความเขียวใบ (SPAD) ซึ่งมีความแตกต่างทางสถิติตั้งแต่อายุ 2, 3 และ 4 สัปดาห์หลังปลูก โดยภาพรวม การเจริญเติบโตทั้งหมดของผักโขม (ความสูงต้น ขนาดลำต้น จำนวนใบ ความเขียวใบ ความกว้างและความยาวใบ) ของ T3 มีค่ามากที่สุด และไม่แตกต่างทางสถิติกับ T4 และ T2 แต่มีความแตกต่างทางสถิติกับ T1 ผลการทดลองชี้ให้เห็นว่า ในเบื้องต้น ถึงแม้ผักโขมจะเป็นพืชที่เจริญเติบโตได้ง่าย แต่เมื่อมีการจัดการปุ๋ยทั้ง 100 และ 75 เปอร์เซ็นต์ส่งผลให้การเจริญเติบโตดีกว่าการไม่ใส่ปุ๋ยเคมี และสามารถบ่งบอกได้ว่าดิน

อาจมีธาตุอาหารไม่เพียงพอต่อการเจริญเติบโตของพืช นอกจากนี้การพ่นกรดอะมิโนร่วมกับการใช้ปุ๋ยเคมี 75 เปอร์เซ็นต์ (T3 และ T4) ให้ผลการเจริญเติบโตไม่ต่างจากการให้ปุ๋ยเคมี 100 เปอร์เซ็นต์ (T2) ซึ่งเห็นผลชัดเจนในระยะเก็บเกี่ยว (4 สัปดาห์หลังปลูก) ในขณะที่ช่วงเวลาก่อนหน้านั้น (1-3 สัปดาห์หลังปลูก) การเจริญเติบโตของผักโขม (ยกเว้นความเขียว) ของแต่ละตำบลทดลองไม่มีความแตกต่างทางสถิติถึงแม้จะมีต่อการทดลองที่ไม่มีการใส่ปุ๋ยและพ่น AMN ก็ตาม เนื่องจากว่าดินที่นำมาปลูกเป็นชุดดินกำแพงแสนซึ่งมีความอุดมสมบูรณ์สูง (Land Development Department, 2023) ซึ่งสอดคล้องกับผลวิเคราะห์ดินก่อนปลูก (Table 2) ประกอบกับผักโขมเป็นพืชชนิดที่เจริญเติบโตได้ง่ายทนต่อโรคและแมลง (Benjawan *et al.*, 2019; Puangmanee *et al.*, 2014) จึงทำให้ช่วงระยะเวลา 1-3 สัปดาห์หลังปลูก มีผลการเจริญเติบโตที่ไม่แตกต่างกัน อย่างไรก็ตามความเขียวเป็นค่าที่บ่งบอกถึงผลกระทบจากการขาดธาตุอาหารต่อการเจริญเติบโตของผักโขมได้ชัดเจนที่สุด เนื่องจากไม่มีการพ่น AMN และไม่ใส่ปุ๋ยเคมี จึงทำให้ความเขียวของ T1 มีความแตกต่างทางสถิติกับ T2,

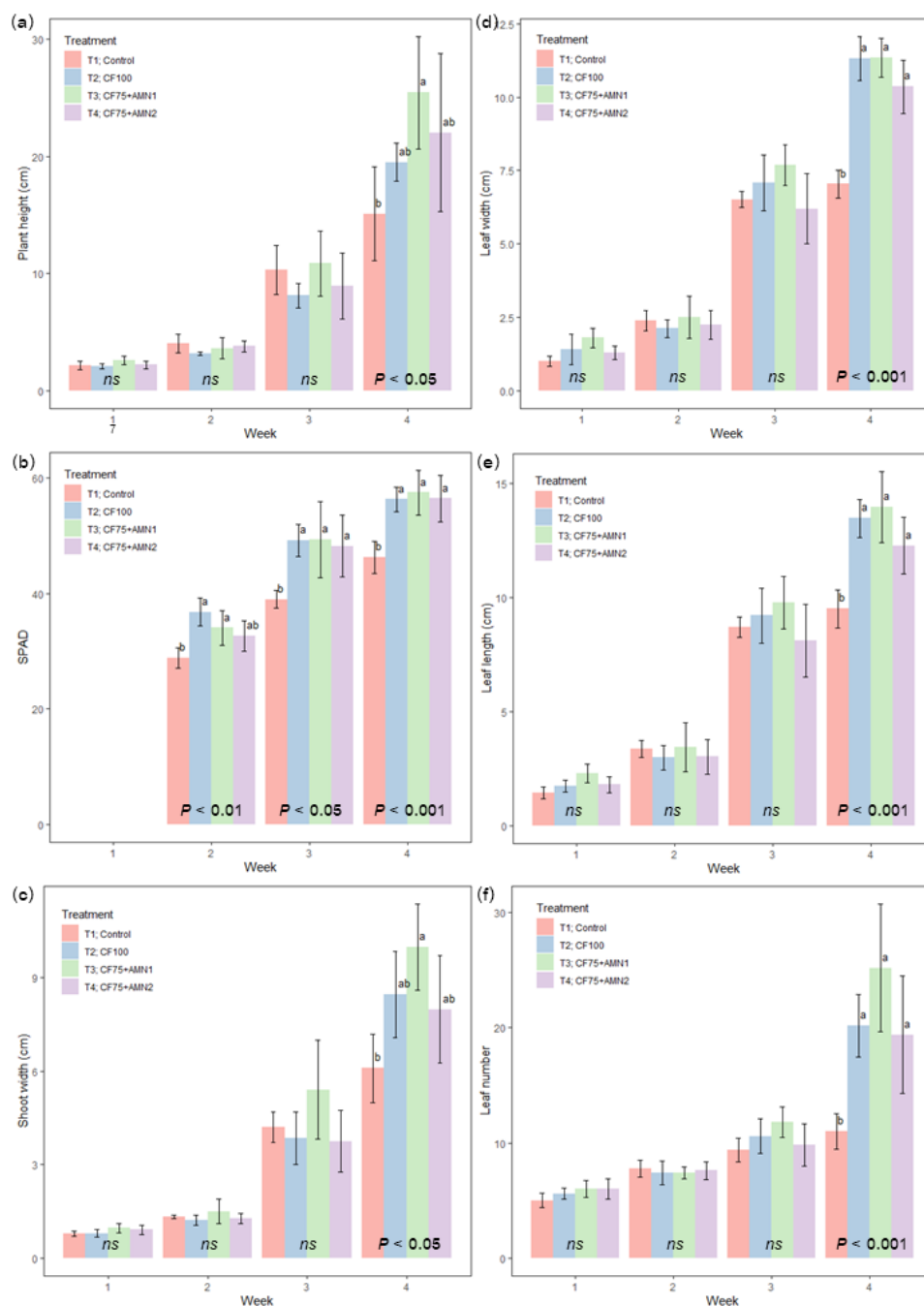


Figure 1. Growth data of amaranth of all treatments, including plant height (a), SPAD (b), shoot width (c), leaf width (d), leaf length (e) and leaf number (f). Different letters above the bar chart indicate statistically significant differences according to DMRT within each week, while "ns" indicates not significant ($P > 0.05$). The error bars indicate standard deviation (SD) of the mean

T3 และ T4 ในทุกช่วงอายุ ในขณะที่ความเขียวของ T3 และ T4 ไม่แตกต่างกับ T2 จึงบ่งชี้ได้ว่าการพ่นกรดอะมิโนมีผลต่อการเจริญเติบโตของผักโขมในเชิงของสารเร่งเชิงชีวภาพถึงแม้ว่าจะมีการลดการใช้ปุ๋ยเคมีลงถึง 25 เปอร์เซ็นต์ โดย AMN1 และ AMN2 มี N เป็นองค์ประกอบมากถึง 8.68 เปอร์เซ็นต์ และ 7.83 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ (Table 3) สอดคล้องกับรายงานของ Osotsapar (2014) ซึ่ง N ที่ทำหน้าที่เสริมสร้างการเจริญเติบโตทั้งด้านลำต้นและใบ รวมถึงสร้างคลอโรฟิลล์ (Department of Soil Science, 1998; Sun *et al.*, 2023; Ullah *et al.*, 2018; Zeng *et al.*, 2020) นอกจากนี้ ยังมีรายงานว่ากรดอะมิโนส่งผลทางสรีรวิทยาของพืชทั้งโดยตรงและโดยอ้อม (Awad *et al.*, 2007) พบว่า มะเขือเทศที่ได้รับการพ่นกรดอะมิโนมีความสูงแตกต่างกันทางสถิติเมื่อเทียบกับกลุ่มควบคุม (Phayungtham *et al.*, 2012) เนื่องจากมีการดออะมิโนบางชนิดเช่น กรดกลูตามิก และไทโรซีน ที่มีผลต่อการเจริญเติบโตของพืช (Popko *et al.*, 2018) และมีการดออะมิโนบางชนิดเช่น ไกลซีน ไกลซีน อะลานีน ซีรีน ที่มีผลต่อการสังเคราะห์คลอโรฟิลล์ (Popko *et al.*, 2018) ซึ่งส่งผลต่อค่าความเขียวของใบ ดังนั้นการพ่นกรดอะมิโนจึงมีส่วนช่วยให้การเจริญเติบโตของพืชไม่ต่างกับตำรับที่ใส่ปุ๋ยเคมี 100 เปอร์เซ็นต์ ถึงแม้จะได้รับปุ๋ยเคมีเพียงแค่ 75 เปอร์เซ็นต์ ก็ตาม

ผลผลิต และองค์ประกอบผลผลิตของผักโขม

โดยภาพรวมพบว่า การพ่นกรดอะมิโนทางใบร่วมกับการจัดการปุ๋ยเคมีส่งผลให้มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติของผลผลิตและองค์ประกอบของผลผลิตในแต่ละตำรับทดลอง (Figure 2) ซึ่ง T3 ส่งผลให้น้ำหนักสดมวลชีวภาพส่วนเหนือดิน น้ำหนักแห้งมวลชีวภาพส่วนเหนือดิน และพื้นที่ใบมีค่ามากที่สุด ซึ่งไม่มีความแตกต่างทางสถิติกับ T2 และ T4 แต่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับ T1 ซึ่งผลที่ได้สอดคล้องกับการเจริญเติบโตของผักโขม (Figure 1) ตามที่วิจารณ์ไว้ก่อนหน้านี้ กล่าวคือตำรับการทดลองที่มีการพ่นกรดอะมิโน (T3 และ T4) ให้ผลผลิต และคุณภาพผลผลิตไม่แตกต่างกับตำรับทดลองที่ได้ปุ๋ยเคมี 100 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งสืบเนื่องจากการที่กรดอะมิโนมีส่วนช่วยในเรื่องของการเจริญเติบโต ดังนั้นเมื่อพืชมีการเจริญเติบโตที่ดี ย่อมส่งผลให้มีความสัมพันธ์เชิงบวกกับผลผลิต สอดคล้องกับรายงานของ Sarutayophat (2012) ที่พบความสัมพันธ์ระหว่างการเจริญเติบโต และผลผลิตของถั่วเหลือง เนื่องจากพืชสามารถดูดน้ำและธาตุอาหาร และการสังเคราะห์แสงเพื่อนำไปพัฒนาองค์ประกอบของเซลล์พืชต่าง ๆ ได้มากขึ้น (Department of Soil Science, 1998; Maquieira-López *et al.*, 2019) จึงส่งผลให้มีผลผลิตและองค์ประกอบผลผลิตที่ดีขึ้นไปด้วย มีข้อสังเกตว่า ถึงแม้ว่าตำรับทดลองที่มีการพ่น

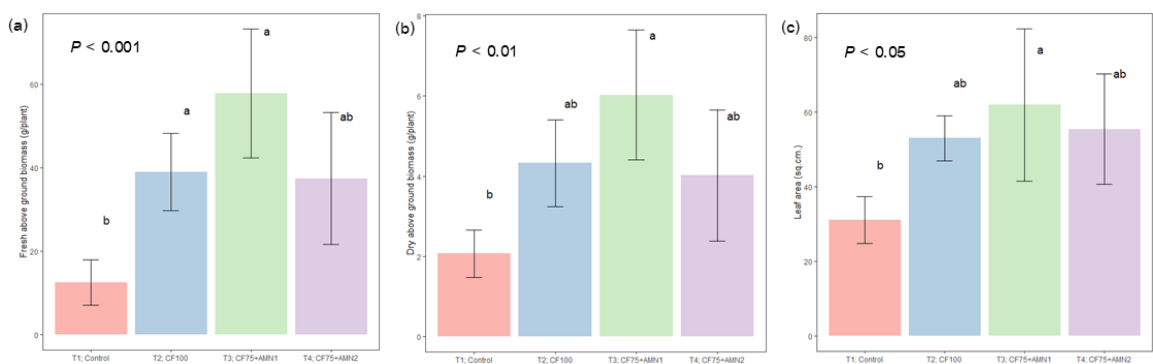


Figure 2. Yield and yield components data of amaranth of all treatments, including fresh above ground biomass (a), dry above ground biomass (b) and leaf area (c) Different letters above the bar chart indicate statistically significant differences according to DMRT. The error bars indicate standard deviation (SD) of the mean

กรดอะมิโนและได้รับ N ในปริมาณน้อยกว่า ต่ำกว่าที่ได้รับ N จากการใช้ปุ๋ยเคมี 100 เปอร์เซ็นต์ แต่ผลผลิตและองค์ประกอบผลผลิตไม่มีความแตกต่างทางสถิติ ทั้งนี้อาจมีความเป็นไปได้จาก 2 ด้านดังนี้ 1) ปริมาณปุ๋ย 100 เปอร์เซ็นต์นั้นอาจมากเกินไปต่อความต้องการของพืชแล้ว เนื่องจากข้อมูลผลผลิตของผักโขมที่ได้รับปุ๋ยเคมี 100 และ 75 เปอร์เซ็นต์มีความใกล้เคียงกับรายงานโดย Benjawan *et al.* (2019) ดังนั้น การได้รับปุ๋ยเคมี 75 เปอร์เซ็นต์จึงอาจเพียงพอต่อความต้องการของพืช และในการทดลองนี้ไม่สามารถแยกอิทธิพลของกรดอะมิโนได้อย่างชัดเจนเนื่องจากไม่มีผลการใส่ปุ๋ย 75 เปอร์เซ็นต์โดยไม่มีการพ่นกรดอะมิโน และ 2) ผลจากการส่งเสริมของกรดอะมิโน เนื่องจากว่ากรดอะมิโนที่พืชได้รับ เป็นกรดอะมิโนสำเร็จรูปซึ่งพืชสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้เลย โดยไม่จำเป็นต้องสังเคราะห์จาก N ในรูปอนินทรีย์เป็นอินทรีย์ ทำให้พืชสามารถประหยัดพลังงานในการสังเคราะห์ (Osotsapar, 2014; Popko *et al.*, 2018) จึงคาดว่าจะเป็นสาเหตุให้ผักโขมที่ปลูกในสภาพแวดล้อมเดียวกัน แต่ได้รับธาตุอาหารในรูปที่เป็นประโยชน์น้อยกว่าเนื่องจากได้รับปุ๋ยเคมีในอัตราไม่เท่ากัน กลับให้ผลผลิตไม่แตกต่างกัน โดยตัวบ่งชี้ที่บ่งชี้การลดปุ๋ยเคมีลง 25 เปอร์เซ็นต์ ทำให้พืชอาจได้รับธาตุอาหารในรูปที่เป็นประโยชน์น้อยกว่าโดยเฉพาะ T3

ซึ่งมีแนวโน้มให้ผลผลิตสูงที่สุดเนื่องจากมีความเข้มข้นของ N สูงกว่าสูตรที่ 2 (Table 3)

ความเข้มข้นของธาตุอาหารที่สะสมในผักโขม

การพ่นกรดอะมิโนทางใบร่วมกับการจัดการปุ๋ยเคมีส่งผลให้มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติของความเข้มข้นธาตุอาหารหลัก (N, P และ K) ที่สะสมในส่วนเหนือดินของพืช (Figure 3) และผลของธาตุอาหาร หลักทั้ง 3 ธาตุ มีลักษณะใกล้เคียงกัน คือ T3 มีค่าความเข้มข้นของ N, P และ K ในส่วนเหนือดินของพืชสูงที่สุด และไม่มีความแตกต่างทางสถิติกับ T2 และ T4 ในขณะที่ T1 มีความเข้มข้นของธาตุอาหารหลักน้อยกว่าตัวรับการทดลองอื่นๆ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยภาพรวมพบว่า ความเข้มข้นของธาตุอาหารหลักในส่วนเหนือดินของพืช สอดคล้องกับผลการเจริญเติบโต และผลผลิต ซึ่ง T3 มีค่ามากที่สุด และไม่มี ความแตกต่างทางสถิติกับ T2 และ T4 เช่นกัน แต่เมื่อเทียบกับค่าความเขียว พบว่ามีผลใกล้เคียงกันมากกว่าค่าอื่น ๆ โดยเฉพาะช่วงเวลา 3 และ 4 สัปดาห์หลังปลูก (Figure 1b) จากที่กล่าวไว้ก่อนหน้านี้ ว่ากรดอะมิโนมี N เป็นส่วนประกอบหลักทำหน้าที่ในการสร้างการเจริญเติบโตของพืช และผลิตคลอโรฟิลล์ (Department of Soil Science, 1998; Ullah *et al.*, 2018; Xeng *et al.*, 2020; Sun *et al.*, 2023) จึงทำให้ส่งผลต่อความเขียว

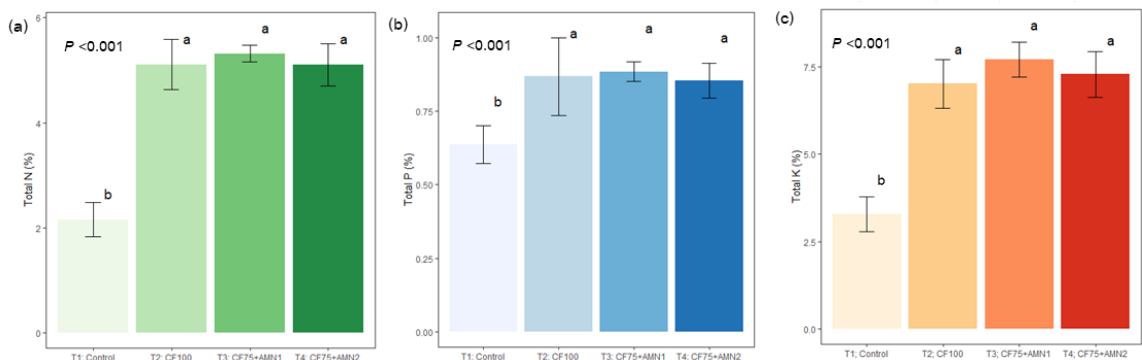


Figure 3. The concentration of primary nutrients in above ground biomass of amaranth of all treatments, including total N (a), total P (b) and total K (c). Different letters above the bar chart indicate statistically significant differences according to DMRT. The error bars indicate standard deviation (SD) of the mean

และอาจทำให้มีความเข้มข้นของ N ในส่วนเหนือดินของพืชมากขึ้นไปด้วย อย่างไรก็ตาม พบว่าไม่ใช้แค่ความเข้มข้นของ N ในส่วนเหนือดินของพืชมากเพียงธาตุเดียวแต่ตัวรับทดลองที่ได้รับปุ๋ยเคมีเพียงแค่ 75 เปอร์เซ็นต์ก็มีความเข้มข้นของ P และ K ทั้งหมดไม่แตกต่างกับตัวรับการทดลองที่ได้รับปุ๋ยเคมี 100 เปอร์เซ็นต์ เนื่องจากในกรดอะมิโนทั้ง 2 ชนิดมี P และ K เป็นองค์ประกอบเช่นกัน ถึงแม้ว่าจะมีน้อยกว่า N ก็ตาม (Table 3) ซึ่งเป็นลักษณะเดียวกับกรดอะมิโนที่รายงานโดย Popko *et al.* (2018) ซึ่งมี P และ K น้อยกว่า N ดังนั้นการพ่นกรดอะมิโนทั้ง 2 ชนิดจึงทำให้พืชได้รับ P และ K ด้วย นอกจากนี้การที่มีธาตุอาหารหลักสะสมอยู่ที่พืชอาจจะไม่ได้รับมาจากธาตุอาหารหลักที่เป็นองค์ประกอบของกรดอะมิโนที่ทำการพ่นและปุ๋ยเคมีที่ให้ทางดินเพียงอย่างเดียวแต่กรดอะมิโนอาจจะช่วยในเรื่องของการส่งเสริมการดูดธาตุอาหารของพืช ทำให้พืชได้สามารถดูดธาตุอาหารทางดินไปใช้ได้มากขึ้นดังที่มีการรายงานโดย Maini (2006) รวมถึงส่งเสริมทางสรีรวิทยาของรากพืช (Osotsapar, 2014) นอกจากนี้ ความเข้มข้นธาตุอาหารในพืช อาจส่งผลต่อคุณภาพผลผลิตในด้านของคุณค่าทางโภชนาการ สอดคล้องกับรายงานที่พบว่าการพ่นกรดอะมิโนสามารถส่งเสริมคุณค่าทางโภชนาการของผักกาดหอม (Al-Karaki and Othman, 2023) โหระพา (Noroozlo *et al.*, 2019a) และปวยเล้ง (Shafeek *et al.*, 2020)

ความสัมพันธ์ระหว่างการเจริญเติบโต ผลผลิต องค์ประกอบผลผลิต และความเข้มข้นของธาตุอาหารในส่วนเหนือดินของผักโขม

ผลการวิเคราะห์โดย principal component analysis (PCA) เพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างองค์ประกอบต่าง ๆ พบว่าโดยรวมทั้ง PC1 และ PC2 สามารถอธิบายข้อมูลทั้งหมดได้มากถึง 89.4 เปอร์เซ็นต์ โดยแบ่งเป็น 77.0 และ 12.4 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ (Figure 4) โดยพบว่า ข้อมูลการเจริญเติบโตส่วนใหญ่มีความสัมพันธ์กันมากโดยเฉพาะ ความยาวใบ ขนาดลำต้น มวลสด และมวลแห้งส่วนเหนือดิน ความสูงต้น จำนวนใบ พื้นที่ใบ แต่ไม่มีความสัมพันธ์กับความเข้มข้นของธาตุอาหารในส่วนเหนือดินของพืช โดยความเข้มข้นของธาตุอาหารในส่วนเหนือดินของพืชมีความสัมพันธ์อย่างมากกับความกว้างใบ และความเขียวใบ ซึ่งโดยภาพรวม ถือว่าการพ่นกรดอะมิโนร่วมกับการใช้ปุ๋ย 75 เปอร์เซ็นต์ หรือ ไม่พ่นกรดอะมิโน (ปุ๋ย 100 เปอร์เซ็นต์) ไม่ส่งผลให้การเจริญเติบโต ผลผลิต และองค์ประกอบผลผลิตของผักโขมแตกต่างกัน และสอดคล้องกับการวิเคราะห์ความแปรปรวนตามดังที่ก่อนหน้านี้ โดยพบว่าการกระจายตัวของข้อมูล T2, T3 และ T4 อยู่บริเวณใกล้เคียงกัน

จากการทดลองนี้ พบว่าการใช้กรดอะมิโนในเชิงของสารเร่งเชิงชีวภาพ มีแนวโน้มกระตุ้นการเจริญเติบโตของพืชที่นำมาทดลองได้ แต่ยังมีข้อจำกัดก็คือ การทดลองนี้ ไม่มีผลการใส่ปุ๋ย 75 เปอร์เซ็นต์โดย

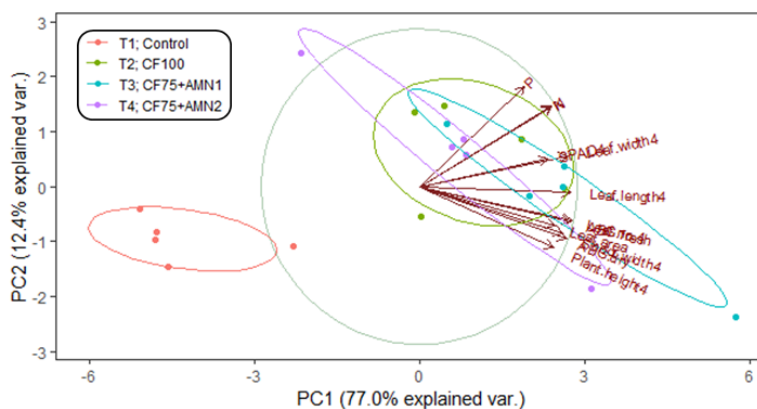


Figure 4. Principal component analysis among growth, yield, yield components and concentration of primary nutrients in above ground biomass of amaranth among various treatments

ไม่มีการพ่นกรดอะมิโน จึงทำให้ไม่สามารถแยกอิทธิพลของกรดอะมิโนได้อย่างชัดเจน จึงควรมีการทดสอบเพิ่มเติมเพื่อยืนยันอิทธิพลของกรดอะมิโนเป็นหลัก และการทดลองนี้ทำในสภาพโรงเรือน จึงทำให้ยังไม่ได้รับอิทธิพลของความเครียดในสภาพแปลงทดลองจริงไม่ว่าจะมาจากทั้งปัจจัยทางสิ่งมีชีวิต หรือปัจจัยทางธรรมชาติ ดังนั้น จึงควรมีการศึกษาในสภาพแปลงต่อไป นอกจากนี้ควรมีการทำการทดลองในพืชชนิดอื่น ๆ เนื่องจากในการทดลองนี้ทำการทดลองกับผักโขมซึ่งเป็นพืชชนิดรับประทานใบ ผลการทดลองพบว่า AMN1 ร่วมกับการลดปุ๋ย 25 เปอร์เซ็นต์ (T3) มีแนวโน้มให้ผลผลิตดีกว่า AMN2 ร่วมกับการลดปุ๋ย 25 เปอร์เซ็นต์ (T4) เนื่องจาก AMN1 มีองค์ประกอบของ N สูงกว่า AMN2 (Table 3) จึงอาจมีความเหมาะสมต่อพืชชนิดที่เน้นการเจริญเติบโตทางต้นและใบ ในขณะที่ AMN2 มี Zn สูงกว่า AMN1 อย่างเห็นได้ชัดเจน (Table 3) ดังนั้นเมื่อนำไปทดสอบกับพืชรับประทานผล AMN2 อาจให้ผลผลิตดีกว่าก็ได้เนื่องจากมีจุลธาตุสูงกว่าซึ่งส่งผลต่อผล และองค์ประกอบผลผลิต ดังนั้นจึงควรมีการศึกษาในพืชชนิดอื่นด้วย เพื่อเพิ่มความหลากหลายในการนำไปใช้ และควรศึกษาถึงอัตรา ความเข้มข้นที่เหมาะสมต่อการนำไปใช้ให้เกิดประโยชน์สูงสุด รวมถึงทดสอบความสามารถในการทดแทนปุ๋ยเคมีในอัตราอื่น ๆ พร้อมทั้งศึกษาผลตอบแทนทางเศรษฐกิจควบคู่ไปด้วย เพื่อดูแนวโน้มที่จะนำมาใช้งานจริงเพื่อเป็นทางเลือกในการลดการใช้ปุ๋ยเคมี ลดต้นทุนการผลิตหรืออาจมีค่าใช้จ่ายเพิ่มเติมในเรื่องของราคากรดอะมิโนที่ซื้อมาใช้เพิ่มเติม รวมถึงค่าแรงที่เพิ่มขึ้นในการพ่นกรดอะมิโน ซึ่งต้นทุนและรายจ่ายอาจแปรเปลี่ยนไปตามปัจจัยต่าง ๆ เช่น ชนิดพืชที่ปลูก ชนิดปุ๋ยที่ใช้ อัตราปุ๋ยที่ใช้ ขนาดพื้นที่ปลูก คุณภาพผลผลิต ฯลฯ จึงจะเป็นประโยชน์และเป็นแนวทางในการเพิ่มรายได้ให้กับเกษตรกรไทยในอนาคต

สรุป

จากผลการทดลองการพ่นกรดอะมิโนทางใบร่วมกับการจัดการปุ๋ยเคมี พบว่าส่งผลต่อการเจริญเติบโต

และผลผลิตของผักโขมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยพบว่าการพ่นกรดอะมิโนทั้ง 2 ชนิด ร่วมกับการใช้ปุ๋ยเคมีเพียง 75 เปอร์เซ็นต์ ให้ผลการเจริญเติบโต ผลผลิตองค์ประกอบผลผลิต ความเข้มข้นธาตุอาหารหลักในส่วนเหนือดินของพืช ไม่มีความแตกต่างทางสถิติกับการทดลองที่ใช้ปุ๋ยเคมีเพียงอย่างเดียว (100 เปอร์เซ็นต์) ในขณะที่ดำรับควบคุมให้ผลการเจริญเติบโต ผลผลิตองค์ประกอบผลผลิต และความเข้มข้นธาตุอาหารต่ำที่สุด จึงสามารถสรุปได้ว่าการพ่นกรดอะมิโนร่วมกับการจัดการปุ๋ยมีผลต่อการเจริญเติบโต และผลผลิตของผักโขม และยังสามารถลดการใช้ปุ๋ยเคมีไปได้ถึง 25 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งเป็นประโยชน์แก่เกษตรกรในแง่ของทางเลือกในการลดต้นทุนการผลิตที่เกิดจากการใช้ปุ๋ยเคมี นอกจากนี้ ยังควรมีการศึกษาเพิ่มเติมในสภาพพื้นที่แปลงทดลอง พืชชนิดอื่น ๆ อัตราความเข้มข้นที่เหมาะสม ผลตอบแทนทางเศรษฐกิจเพื่อที่จะสามารถใช้ประโยชน์จากกรดอะมิโนในการปลูกพืชได้อย่างคุ้มค่า และครอบคลุมถึงชนิดพืชอื่น ๆ และได้ผลตอบแทนทางเศรษฐกิจที่ดีมากขึ้น

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณนายอักรชัย โสมกุล และเจ้าหน้าที่จากศูนย์วิจัยและพัฒนาพืชผักเขตร้อน ที่ช่วยอนุเคราะห์สถานที่ อุปกรณ์ แรงงาน รวมถึงทรัพยากรต่าง ๆ เพื่อช่วยให้การทดลองนี้ผ่านไปได้ด้วยดี รวมถึงบุคลากรของทางภาควิชาปฐพีวิทยาที่ช่วยอำนวยความสะดวกในการวิเคราะห์ทางเคมี เจ้าหน้าที่ผู้ช่วยดูแลโรงเรือนทุกท่านที่ช่วยดูแลผักโขมตลอดจนการทดลองเสร็จสมบูรณ์

เอกสารอ้างอิง

Al-Karaki, G.N. and Y. Othman. 2023. Effect of foliar application of amino acid biostimulants on growth, macronutrient, total phenol contents and antioxidant activity of soilless grown lettuce cultivars. South African Journal of Botany 154: 225-231, doi: 10.1016/j.sajb.2023.01.034.

- Attanandana, T. and J. Chanchareonsook.1999. Practice and handbook of soil and plant laboratory analysis. Department of Soil Science, Faculty of Agriculture, Kasetsart University, Bangkok. 108 p. (in Thai)
- Awad, El-M.M., A.M. Abd El-Hameed and Z.S. El-Shall, 2007. Effect of glycine, lysine and nitrogen fertilizer rates on growth, yield and chemical composition of potato. *Journal of Agricultural Science Mansoura University* 32(10): 8541-8551.
- Benjawan, L., S. Promdang, S. Sukkhaeng and U. Doung-ngern. 2019. Growth characteristics, protein, fiber and chlorophyll contents of eight amaranth cultivars. *Agricultural Science and Management Journal* 2(3): 84-93. (in Thai)
- Bray, R.H. and L.T. Kurtz. 1945. Determination of total organic and available forms of phosphorus in soil. *Soil Science* 59(1): 39-46.
- Chojnacka, K., D. Skrzypczak, D. Szopa, G. Izydorczyk, K. Moustakas and A. Witek-Krowiak. 2023. Management of biological sewage sludge: Fertilizer nitrogen recovery as the solution to fertilizer crisis. *Journal of Environmental Management* 326 (Part A): 116602, doi: 10.1016/j.jenvman.2022.116602.
- Curie, C., G. Cassin, D. Couch, F. Divol, K. Higuchi, M. Le Jean, J. Misson, A. Schikora, P. Czernic and S. Mari. 2009. Metal movement within the plant: contribution of nicotianamine and yellow stripe 1-like transporters. *Annals of Botany* 103(1): 1-11.
- Department of Agriculture. 2005. The recommendations of fertilizers application for economic plants. Department of Agriculture, Bangkok. 121 p. (in Thai)
- Department of Soil Science. 1998. Basic of Soil Science. Kasetsart University Press, Bangkok. 547 p. (in Thai)
- du Jardin, P. 2015. Plant biostimulants: Definition, concept, main categories and regulation. *Scientia Horticulturae* 196: 3-14.
- García-Martínez, A.M., A. Díaz, M. Tejada, J. Bautista, B. Rodríguez, C. Santa María, E. Revilla and J. Parrado. 2010. Enzymatic production of an organic soil biostimulant from wheat-condensed distiller solubles: Effects on soil biochemistry and biodiversity. *Process Biochemistry* 45(7): 1127-1133.
- Haghighi, M., A.B. Sadeghabad and R. Abolghasemi. 2022. Effect of exogenous amino acids application on the biochemical, antioxidant, and nutritional value of some leafy cabbage cultivars. *Scientific Reports* 12: 17720, doi: 10.1038/s41598-022-21273-6.
- Jie, M., W. Raza, Y.C. Xu and Q.R. Shen. 2008. Preparation and optimization of amino acid chelated micronutrient fertilizer by hydrolyzation of chicken waste feathers and the effects on growth of rice. *Journal of Plant Nutrition* 31(3): 571-582.
- Land Development Department. 2023. Kamphaeng Saen Series: Ks. (Online). Available: http://oss101.idd.go.th/web_thaisoils/pf_desc/central/Ks.htm (January 10, 2023). (in Thai)
- Li, X. and K.H.M. Siddique. 2018. Future Smart Food: Rediscovering hidden treasures of neglected and underutilized species for zero hunger in Asia, FAO of the United Nations, Bangkok. 242 p.

- Maini, P. 2006. The experience of the first biostimulant, based on amino acids and peptides: A short retrospective review on the laboratory researches and the practical results. *Fertilitas Agrorum* 1: 29-43.
- Maqueira-López, L.A., R. Morejón-Rivera, O. Roján-Herrera and W. Torres-de-la-Noval. 2019. Relationship between growth traits and yield formation in Indica-type rice crop. *Agronomía Mesoamericana* 30(1): 79-100.
- Noroozlo, Y.A., M.K. Sourı and M. Delshad. 2019a. Effects of foliar application of glycine and glutamine amino acids on growth and quality of sweet basil. *Advances in Horticultural Science* 33(4): 495-501.
- Noroozlo, Y.A., M.K. Sourı and M. Delshad. 2019b. Stimulation effects of foliar applied glycine and glutamine amino acids on lettuce growth. *Open Agriculture* 4: 164-172.
- Office of Agricultural Economics. 2022. Quantity and value of imported chemical fertilizers. (Online). Available: <https://www.oae.go.th/view/1/%E0%B8%9B%E0%B8%B1%E0%B8%88%E0%B8%88%E0%B8%B1%E0%B8%A2%E0%B8%81%E0%B8%B2%E0%B8%A3%E0%B8%9C%E0%B8%A5%E0%B8%B4%E0%B8%95/TH-TH> (December 17, 2022). (in Thai)
- Osotsapar, Y. 2014. The application of biostimulants to promote plant growth. *Journal of Soil and Fertilizer* 36(1-4): 27-54. (in Thai)
- Phayungtham, A., W. Kaewpradit and B. Siri. 2012. Influences of amino acid chelate foliar fertilizer on growth and seed quality of hybrid tomato seeds. *Khon Kaen Agriculture Journal* 40: 167-178. (in Thai)
- Phraprasert, P. 2007. *Plant Physiology*. Odeonstore Publisher, Bangkok. 174 p. (in Thai)
- Popko, M., I. Michalak, R. Wilk, M. Gramza, K. Chojnacka and H. Górecki. 2018. Effect of the new plant growth biostimulants based on amino acids on yield and grain quality of winter wheat. *Molecules* 23(2): 470, doi: 10.3390/molecules23020470.
- Pratt, P.E. 1965. Potassium. pp. 1022-1030. *In*: C.A. Black (ed.). *Method of Soil Analysis. Part II. Chemical and Microbiological Properties*. American Society of Agronomy Inc., Soil Science Society of America Inc., Madison, WI.
- Puangmanee, J., K. Utasuk, T. Panyasai and C. Tiyaon. 2014. The study of amaranth seedling production. *Khon Kaen Agriculture Journal* 42(Suppl. 4): 840-845. (in Thai)
- Ramesh, T., S. Rathika, A. Murugan, R.R. Soniya, K.K. Mohanta and B. Prabharani. 2020. Foliar spray of fish amino acid as liquid organic manure on the growth and yield of *Amaranthus*. *Chemical Science Review and Letters* 9(34): 511-515.
- Sarutayophat, T. 2012. Correlation and path coefficient analysis for yield and its components in vegetable soybean. *Songklanakarin Journal of Science and Technology* 34(3): 273-277.
- Shafeek M.R., A.R. Mahmoud, Y.I. Helmy, N.M. Omar and H.M.A. Khater. 2020. Effect of nitrogen fertilization and foliar application of amino acid on growth, yield and nutritional value of spinach plants. *Current Science International* 9(4): 641-648.
- Sourı, M.K., F.Y. Sooraki and M. Moghadamyar. 2017. Growth and quality of cucumber, tomato, and green bean under foliar and soil applications of an aminochelate fertilizer. *Horticulture, Environment, and Biotechnology* 58(6): 530-536.

- Sun, J., W. Li, C. Li, W. Chang, S. Zhang, Y. Zeng, C. Zeng and M. Peng. 2020. Effect of different rates of nitrogen fertilization on crop yield, soil properties and leaf physiological attributes in banana under subtropical regions of China. *Frontier in Plant Science* 11: 613760, doi: 10.3389/fpls.2020.613760.
- Ullah, I., N. Ali, S. Durrani, M.A. Shabaz, A. Hafeez, H. Ameer, M. Ishfaq, M.R. Fayyaz, A. Rehman and A. Waheed. 2018. Effect of different nitrogen levels on growth, yield and yield contributing attributes of wheat. *International Journal of Scientific & Engineering Research* 9(9): 595-602.
- Walkley, A. and I.A. Black. 1947. Chromic acid titration method for determination of soil organic matter. *Soil Science* 37(1): 29-38.
- Zeng, X., K. Zhu, J. Lu, Y. Jiang, L. Yang, Y. Xing and Y. Li. 2020. Long-term effects of different nitrogen levels on growth, yield, and quality in sugarcane. *Agronomy* 10(3): 353, doi: 10.3390/agronomy10030353.
-

ผลของการปลิดช่อดอกต่อการผลิตมะม่วงพันธุ์น้ำดอกไม้สีทองล่าฤดู

Effects of Inflorescence Removal on Delayed Harvesting of 'Namdokmai Sithong' Mango Fruit Production

คณิตา สุกใส ดรุณี นภาพรหม พวงเพชร เหมรัตน์ตระกูล และ จันทลักษณ์ ตียายน*
Kanita Suksai, Daruni Naphrom, Phuangphet Hemrattrakul and Chantalak Tiyyayon*

สาขาวิชาพืชสวน ภาควิชาพืชศาสตร์และปฐพีศาสตร์ คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ จ. เชียงใหม่ 50200
Division of Horticulture, Department of Plant and Soil Sciences, Faculty of Agriculture, Chiang Mai University,
Chiang Mai. 50200, Thailand

*Corresponding author: Email: chantalak.t@cmu.ac.th

(Received: 1 February 2024; Accepted: 25 June 2024)

Abstract: 'Namdokmai Sithong' mango is an important commercial fruit in Thailand. Delayed harvest mango can get high prices. The objective of this experiment was to study effects of inflorescence removal on delayed harvesting of 'Namdokmai Sithong' mango production. The experimental design was randomized complete block design (RCBD) with 3 treatments, i.e. 1) inflorescence not removed (control) 2) removal of inflorescence at 50% bloom, and 3) removal of inflorescence at 100% bloom. There were five blocks (rows). Changes of shoots, new inflorescence, inflorescence size, fruit set, fruit weight, peel color, flesh color, fruit firmness, total soluble solids (TSS), titratable acidity (TA), vitamin C, carotenoid content, and total phenolic compound were recorded. The results showed that during the 2nd - 4th week after experiment, mango trees with removed inflorescence started developing new inflorescences. At the 6th week after inflorescence removal, mango trees which inflorescence were removed at 50 and 100% bloom showed 52.5% and 33.0% new inflorescences, respectively. Fruit set until fruit bagging stage were 3.1% and 3.3% of studied shoot, respectively, which were less than in control plants (48.5%). Mango fruits from plants with removed inflorescence could be harvested 3 weeks after control plant. Moreover, fruits from plants with removed inflorescences were larger than those in the control treatment. These results indicate that inflorescence removal resulted in very low new set of yield. However, it can be used to develop the methods for delayed harvest mango production to reduce market competition with on season fruit.

Keywords: Late harvesting, inflorescence removal, production, fruit quality

บทคัดย่อ: มะม่วงน้ำดอกไม้สีทองจัดเป็นไม้ผลที่มีความสำคัญทางเศรษฐกิจ ซึ่งผลผลิตมะม่วงล่าฤดูมีราคาสูง การศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลของการปลิดช่อดอกต่อการผลิตมะม่วงพันธุ์น้ำดอกไม้สีทองล่าฤดู วางแผนการทดลองแบบสุ่มในบล็อกสมบูรณ์ ประกอบด้วย 3 กรรมวิธี กรรมวิธีละ 5 บล็อก (แถว) ได้แก่ 1) ไม่ปลิดช่อดอก (กรรมวิธีควบคุม) 2) ปลิดช่อดอกทั้งหมดบนต้นระยะดอกบาน 50 เปอร์เซ็นต์ 3) ปลิดช่อดอกทั้งหมดบนต้นระยะดอกบาน 100 เปอร์เซ็นต์ บันทึกข้อมูลการเปลี่ยนแปลงของยอด การเกิดช่อดอกใหม่ ขนาดช่อดอก การติดผล น้ำหนักผล สีเปลือกและสีเนื้อผล ความแน่นเนื้อ ปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายน้ำได้ ปริมาณกรดทั้งหมดที่ไทเทรตได้ และปริมาณวิตามินซี ปริมาณแคโรทีนอยด์ และปริมาณสารประกอบฟีนอลทั้งหมด พบว่า หลังจากปลิดช่อดอก 2-4 สัปดาห์ เริ่มมีการแตกตาออกใหม่ หลังจากปลิดช่อดอก 6 สัปดาห์ ต้นมะม่วงที่ปลิดช่อดอกในระยะดอกบาน 50 และ 100 เปอร์เซ็นต์ มีช่อดอกใหม่ 52.5 และ 33.0 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ยอดมะม่วงมีการติดผลถึงระยะห่อผล 3.1 และ 3.3 เปอร์เซ็นต์ของยอดที่ศึกษา ตามลำดับ ซึ่งน้อยกว่าต้นในกรรมวิธีควบคุมที่ติดผล 48.5 เปอร์เซ็นต์ ต้นที่ได้รับการปลิดช่อดอกเริ่มเก็บเกี่ยวผลผลิตหลังต้นที่ไม่ได้รับการปลิดช่อดอกประมาณ 3 สัปดาห์ นอกจากนี้ผลจากกรรมวิธีที่ปลิดช่อดอกในระยะดอกบาน 50 และ 100 เปอร์เซ็นต์ มีขนาดใหญ่กว่าผลจากต้นในกรรมวิธีควบคุม จากการทดลองพบว่า การปลิดช่อดอกทำให้ผลผลิตชุดใหม่ต่ำมาก อย่างไรก็ตาม เกษตรกรสามารถใช้การปลิดช่อดอกไปพัฒนาวิธีการผลิตมะม่วงล่าฤดูเพื่อลดการแข่งขันทางการตลาดในฤดูกาลได้

คำสำคัญ: มั่นฝรั่ง วัสดุปลูก การเจริญเติบโต ผลผลิต

คำนำ

มะม่วงเป็นไม้ผลเศรษฐกิจที่มีความสำคัญทั้งการบริโภคภายในประเทศและส่งออกต่างประเทศ ปลูกได้ง่าย และปลูกได้ทุกภาคของประเทศไทย มะม่วงเป็นไม้ผลที่มีการผลิตมากที่สุดเป็นอันดับ 2 ของโลกในกลุ่มไม้ผลเขตร้อนและเป็นอันดับ 5 ของโลกในกลุ่มผลไม้ทั่วไป (Bally et al., 2009) นอกจากนี้ มะม่วงยังนับเป็นหนึ่งในไม้ผลหลักของประเทศไทย ในปี พ.ศ. 2564 มีพื้นที่การปลูกมะม่วงทั่วประเทศ 913,901 ไร่ 200,932 ครัวเรือน (Department of Agricultural Extension, 2022) ซึ่งสามารถสร้างรายได้เข้าสู่ประเทศเป็นมูลค่าสูง ทั้งการผลิตเพื่อส่งออกและการค้าภายในประเทศ โดยเฉพาะมะม่วงพันธุ์น้ำดอกไม้ พบว่า ในปี พ.ศ. 2564 ประเทศไทยมีปริมาณการส่งออกมะม่วงสด 113,806 ตัน มูลค่า 2,934 ล้านบาท และสำหรับไตรมาสแรกของปี พ.ศ. 2565 (มกราคม-มีนาคม) ไทยส่งออกมะม่วงสดเป็นปริมาณ 30,433 ตัน มูลค่า 765 ล้านบาท (Office of the Permanent Secretary Ministry of Commerce, 2022)

ปัจจุบันมีเกษตรกรที่ทำสวนมะม่วงเป็นอาชีพจำนวนมาก และมีการรวมตัวกันของกลุ่มเกษตรกรเพื่อแก้ปัญหาด้านการผลิตและการตลาดของตนเพื่อให้ผลผลิตมะม่วงมีคุณภาพดีและขายได้ราคาที่ต้องการ โดยการผลิตมะม่วงนอกฤดูเป็นอีกช่องทางหนึ่งที่เกษตรกรพยายามทำเพื่อให้ได้ราคาของผลผลิตที่สูงกว่าในฤดูกาล และยังสามารถแก้ไขปัญหาการล้นตลาดของผลผลิตมะม่วงได้อีกด้วย ซึ่งฤดูกาลเก็บเกี่ยวหลักของมะม่วงในประเทศไทยอยู่ในระหว่างเดือนเมษายนถึงพฤษภาคม แต่ปัจจุบันสามารถผลิตมะม่วงออกสู่ตลาดได้ตลอดทั้งปี โดยเฉพาะพันธุ์น้ำดอกไม้สีทองซึ่งเป็นไปตามความต้องการของตลาดทั้งในประเทศและต่างประเทศ โดยมะม่วงนอกฤดูแบบหลังฤดูและมะม่วงล่าฤดูนั้นมีราคาสูง มะม่วงล่าฤดู หมายถึงมะม่วงที่สามารถเก็บเกี่ยวและนำออกจำหน่ายสู่ผู้บริโภคได้ในตอนปลายสุดของฤดูกาลตามปกติระหว่างเดือนมิถุนายนถึงเดือนกรกฎาคม ซึ่งเป็นช่วงเวลาที่ผลผลิตส่วนใหญ่ของประเทศหมดไปจากตลาดแล้ว (Radanachalee and Utumpan, 2010) เกษตรกรจึงได้หาแนวทางในการผลิตมะม่วงล่าฤดู

ที่หลากหลายวิธี เช่น การเลื่อนเวลาตัดแต่งกิ่ง การพ่นสารยับยั้งการเจริญเติบโต การห่อผล และวิธีหนึ่งที่ถูกนำมาใช้ คือ การทำลายช่อดอกที่ออกในฤดูกาลปกติเพื่อให้ต้นสร้างช่อดอกชุดใหม่ที่ล่าออกไป โดยมีรายงานว่า การปลิดช่อดอกมะม่วงพันธุ์ Kensington Pride สามารถเลื่อนการออกดอกชุดใหม่ได้ 5 - 6 สัปดาห์ (Issarakraisila and Considine, 1991) ดังนั้นการวิจัยนี้จึงมุ่งศึกษาผลของการปลิดช่อดอกต่อการผลิตมะม่วงพันธุ์น้ำดอกไม้สีทองล่าฤดูเพื่อเป็นแนวทางในการพัฒนาการผลิตมะม่วงล่าฤดูต่อไป

อุปกรณ์และวิธีการ

การศึกษาค้นคว้าผลของการปลิดช่อดอกต่อการผลิตมะม่วงพันธุ์น้ำดอกไม้สีทองล่าฤดู ทำการทดลองผิวดินต้นมะม่วงอายุประมาณ 7 ปี ความกว้างทรงพุ่ม 4-5 เมตร ความสูงประมาณ 3 เมตร วางแผนการทดลองแบบสุ่มในบล็อกสมบูรณ์ (randomized complete block design: RCBD) ประกอบด้วย 3 กรรมวิธี ได้แก่ กรรมวิธีที่ 1 ไม่ปลิดช่อดอก (กรรมวิธีควบคุม) กรรมวิธีที่ 2 ปลิดช่อดอกหมดทั้งต้นในระยะดอกบาน 50 เปอร์เซ็นต์ (26 มกราคม 2563) และ กรรมวิธีที่ 3 ปลิดช่อดอกหมดทั้งต้นในระยะดอกบาน 100 เปอร์เซ็นต์ (10 กุมภาพันธ์ 2563) กรรมวิธีละ 5 บล็อก (แถว) โดยใช้มือปลิดช่อดอกที่โคนช่อทั้งต้นเมื่อต้นอยู่ในระยะดอกบาน 50 และ 100 เปอร์เซ็นต์ ติดตามการเปลี่ยนแปลงของยอดต้นละ 40 ยอด กระจายทั้งสี่ทิศ ทิศละ 10 ยอด

การบันทึกผลการทดลอง ประกอบด้วย การเปลี่ยนแปลงของยอด ทุก 2 สัปดาห์ โดยแบ่งเป็น 14 ระยะ ได้แก่ 0) ระยะที่ยังไม่มีการเปลี่ยนแปลงของตายอด 1) ระยะที่มีตายอดเจริญขึ้นมาจนเห็นได้ชัด 2) ระยะแตกตา (กรณีตาใบ) และระยะเดียวไก่ (กรณีตาดอก) 3) ระยะแทงช่อดอก 4) ระยะก้างปลา 5) ระยะดอกเริ่มบานบริเวณโคนช่อ 6) ระยะดอกบาน 50 เปอร์เซ็นต์ 7) ระยะดอกบาน 100 เปอร์เซ็นต์ 8) ระยะติดผลอ่อน 9) ระยะที่ดอกบานหมดช่อแล้วแต่ไม่ติดผล 10) ระยะที่สามารถห่อผลได้ 11) ระยะแตกใบอ่อน 12) ระยะใบเพสลาด และ 13) ระยะใบชุดใหม่แก่

บันทึกข้อมูลการเกิดช่อดอกใหม่ ขนาดช่อดอกใหม่ การติดผล เวลาเก็บผลผลิต และวิเคราะห์คุณภาพผลผลิต ได้แก่ 1) น้ำหนักผล 2) สีเปลือกและเนื้อผลเมื่อสุกด้วยเครื่องโครมามิเตอร์ (Chroma meter รุ่น CR-400 ยี่ห้อ Konica Minolta ประเทศญี่ปุ่น) 3) ความแน่นเนื้อของผลเมื่อสุกด้วยเครื่องวัดความแน่นเนื้อ (fruit penetrometer 0-1 kg. รุ่น FT 02 ยี่ห้อ Wagner Instruments ประเทศสหรัฐอเมริกา) 4) ปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายน้ำได้ (total soluble solids: TSS) ด้วยเครื่องวัดปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายน้ำได้แบบดิจิทัล (digital refractometer รุ่น PAL-1 ยี่ห้อ Atago ประเทศญี่ปุ่น) 5) ปริมาณกรดทั้งหมดที่ไทเทรตได้ (titratable acidity: TA) ดำเนินการตามวิธีการของ AOAC (2000) 6) ปริมาณวิตามินซี โดยวิธี indophenol ดำเนินการตามวิธีการของ Ranganna (1986) 7) ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดด้วยวิธี Folin-Ciocalteu ตามวิธีการของ Romainum *et al.* (2018) และ 8) ปริมาณแคโรทีนอยด์ทั้งหมดโดยวิธี spectrophotometric method ตามวิธีการของ Romainum *et al.* (2018) จากนั้นเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยแต่ละกรรมวิธีโดยวิธี least significant difference (LSD) ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์

ผลการศึกษาและวิจารณ์

การเปลี่ยนแปลงของยอด

ในวันที่เริ่มการทดลอง ช่อดอกส่วนใหญ่ของต้นมะม่วงในทุกกรรมวิธีอยู่ในระยะดอกบาน 50 เปอร์เซ็นต์ มีช่อดอกจำนวนเล็กน้อยที่กำลังเริ่มบานและบาน 100 เปอร์เซ็นต์แล้ว ต้นมะม่วงในกรรมวิธีปลิดช่อดอกในระยะดอกบาน 50 เปอร์เซ็นต์ จึงได้รับการปลิดช่อดอกในวันนี้ (26 มกราคม 2563) (Figure 1)

หลังจากปลิดช่อดอกต้นมะม่วงพันธุ์น้ำดอกไม้สีทองในระยะดอกบาน 50 เปอร์เซ็นต์ เป็นเวลา 2 สัปดาห์พบว่า ยอดของต้นมะม่วงในกรรมวิธีที่ไม่ปลิดช่อดอกมากกว่า 80 เปอร์เซ็นต์ มีการติดผลอ่อนแล้ว ต้นในกรรมวิธีที่ปลิดช่อดอกในระยะดอกบาน 50 เปอร์เซ็นต์มียอด 70 เปอร์เซ็นต์ ที่ยังไม่เปลี่ยนแปลง และยอดอีก

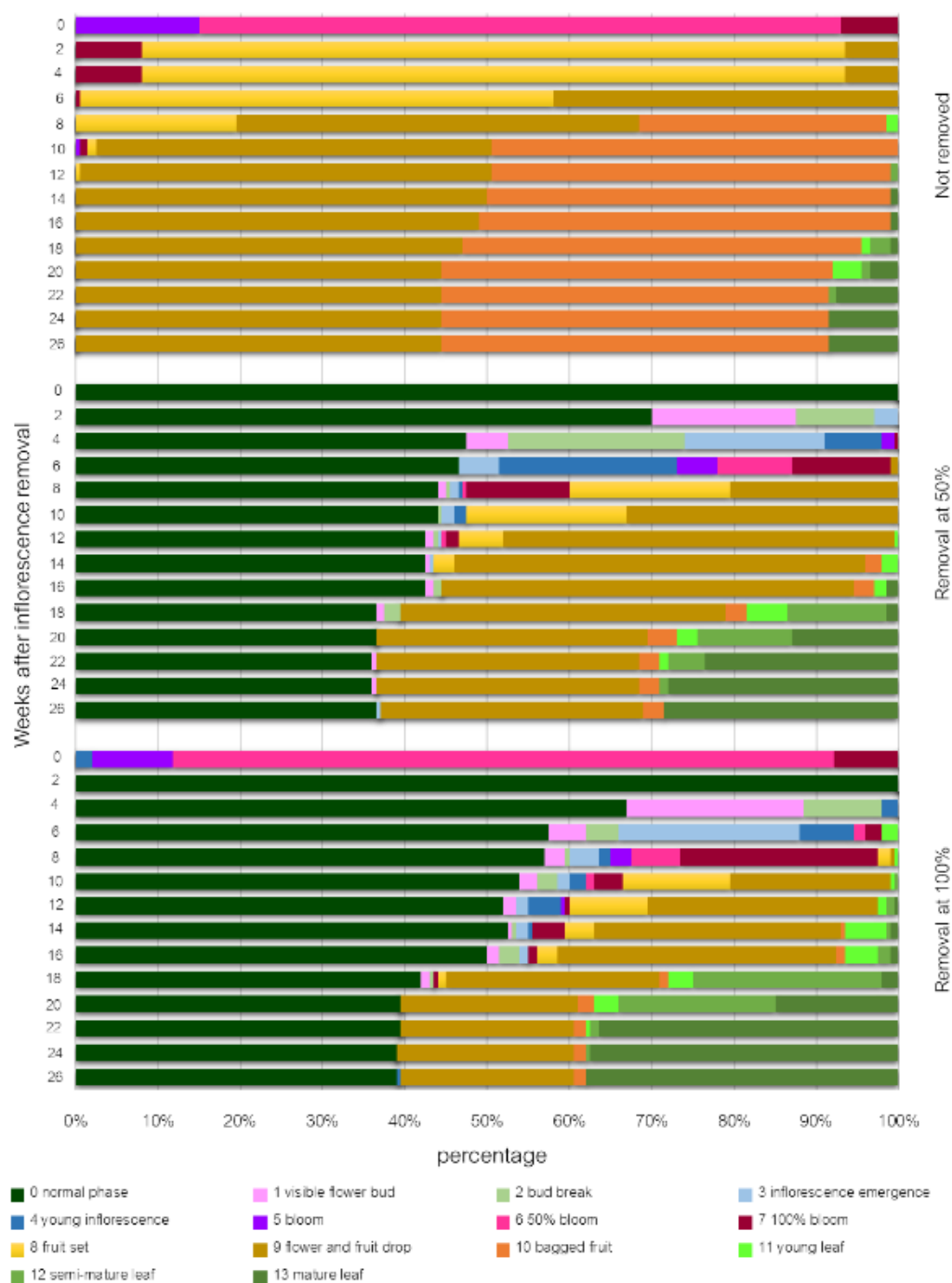


Figure 1. Growth and development stages of 'Namdokmai Sithong' mango twenty-six weeks after the removal of inflorescences (n = 40)

30 เปอร์เซ็นต์ อยู่ในระยะที่เห็นตาได้ชัด ระยะแตกตาหรือระยะเดียวไก่ และระยะแทงช่อดอก ขณะที่ต้นในกรรมวิธีที่ปลิดช่อดอกในระยะดอกบาน 100 เปอร์เซ็นต์ ได้รับการปลิดช่อดอกในสัปดาห์นี้ (10 กุมภาพันธ์ 2563) (Figure 1)

หลังจากปลิดช่อดอกที่ระยะดอกบาน 50 เปอร์เซ็นต์ เป็นเวลา 4 สัปดาห์ พบว่า ต้นในกรรมวิธีควบคุมมีการร่วงของผลอ่อนประมาณ 40 เปอร์เซ็นต์ ซึ่ง Sukhvibul (2013) รายงานว่ามะม่วงมีการร่วงของผลตลอดระยะการพัฒนาดอก โดยพบมากที่สุดในช่วง 1 - 4 สัปดาห์แรกหลังติดผล ซึ่งการร่วงของผลมะม่วงเกิดได้จากหลายสาเหตุ เช่น ได้รับธาตุอาหารไม่เพียงพอ ขาดน้ำ ปฏิสนธิไม่สมบูรณ์ โรคและแมลงเข้าทำลาย และสภาพภูมิอากาศไม่เหมาะสม เช่น ลมพายุ แห้งแล้ง หรือมีลูกเห็บตก เป็นต้น ต้นมะม่วงในกรรมวิธีที่ปลิดช่อดอกในระยะดอกบาน 50 เปอร์เซ็นต์ มียอดใหม่ประมาณ 50 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งอยู่ในระยะเห็นตาได้ชัด (อาจเป็นตาดอกหรือตาใบ) ระยะแตกตาหรือระยะเดียวไก่ ระยะก้างปลา และมีช่อดอกที่เริ่มบานบริเวณโคนช่อ โดยบาน 50 เปอร์เซ็นต์ของช่อ และบาน 100 เปอร์เซ็นต์ของช่อ ต้นในกรรมวิธีที่ปลิดช่อดอกในระยะดอกบาน 100 เปอร์เซ็นต์นั้น ได้รับการปลิดช่อดอกครบ 2 สัปดาห์ ในสัปดาห์นี้ มียอดประมาณ 30 เปอร์เซ็นต์ ที่อยู่ในระยะเห็นตาได้ชัด และระยะแตกตาหรือระยะเดียวไก่ โดยเกือบ 70 เปอร์เซ็นต์ของยอดที่ได้รับการปลิดยังไม่มีการเปลี่ยนแปลง

หลังจากเริ่มปลิดช่อดอกมะม่วงเป็นเวลา 6 สัปดาห์ พบว่า ผลมะม่วงในกรรมวิธีควบคุมเริ่มเข้าสู่ระยะที่สามารถห่อผลได้ และเข้าสู่ระยะที่สามารถห่อผลได้เพิ่มมากขึ้นในสัปดาห์ที่ 8 หลังเริ่มปลิดช่อดอก ต้นมะม่วงในกรรมวิธีที่ปลิดช่อดอกในระยะดอกบาน 50 เปอร์เซ็นต์ มีช่อดอกเข้าสู่ระยะดอกบาน 100 เปอร์เซ็นต์ มีการติดผลอ่อน และมีการร่วงของผลอ่อน เนื่องจากปัจจัยด้านสภาพแวดล้อมที่มีอุณหภูมิสูงจึงทำให้ผลแห้งส่งผลให้การติดผลลดลง โดยติดผลอ่อนในช่วงปลายเดือนมีนาคมถึงต้นเดือนเมษายน Radanachalee (2013a) ให้ข้อมูลว่าช่อดอกที่ได้รับการปรับเปลี่ยนให้ออกล่าถูดแล้วดอกบานในเดือนเมษายนมีโอกาสได้รับ

ความเสียหายจากอุณหภูมิสูงหรือพายุฝนต้นฤดู ส่งผลให้การติดผลต่ำลงได้ ในสัปดาห์นี้ ต้นในกรรมวิธีที่ปลิดช่อดอกในระยะดอกบาน 100 เปอร์เซ็นต์ ได้รับการปลิดช่อดอกครบ 4 สัปดาห์ มียอดที่แทงช่อดอกประมาณ 20 เปอร์เซ็นต์ของยอดที่ศึกษา และยอดประมาณ 50 เปอร์เซ็นต์ยังไม่มีการเปลี่ยนแปลง และในสัปดาห์ที่ 6 หลังการปลิดช่อดอก มีช่อดอกบาน 100 เปอร์เซ็นต์ ประมาณ 20 เปอร์เซ็นต์ของยอดที่ศึกษา

หลังจากเริ่มปลิดช่อดอกเป็นเวลา 10 สัปดาห์ พบว่า ต้นมะม่วงในกรรมวิธีที่ไม่ปลิดช่อดอกไม่มีการเปลี่ยนแปลงมากนัก หลังจากนั้น สัปดาห์ที่ 12 - 24 มียอดที่เก็บเกี่ยวผลไปแล้ว ทำให้มียอดที่อยู่ในระยะไม่มีการเปลี่ยนแปลง คือ เป็นใบแก่เพิ่มมากขึ้น และมียอดจำนวนเล็กน้อยเพียงประมาณ 10 เปอร์เซ็นต์ ที่แตกใบชุดใหม่ ต้นมะม่วงในกรรมวิธีที่ปลิดช่อดอกที่ระยะดอกบาน 50 เปอร์เซ็นต์ มีการร่วงของดอกมากขึ้นรวมเกือบ 50 เปอร์เซ็นต์ของยอดที่ศึกษา และมียอดเพียงเล็กน้อยเท่านั้นที่อยู่ในระยะติดผลอ่อนและระยะห่อผล เนื่องจากในเดือนเมษายนอากาศร้อนอบอ้าว และอากาศร้อนถึงร้อนจัด สอดคล้องกับ Rajatiya *et al.* (2018) ที่รายงานว่าการออกดอก ติดผล และการร่วงของดอกและผล ถูกควบคุมโดยสภาพอากาศ พบว่าเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นส่งผลให้ควมมีชีวิตของเรณู อัตราการผสมเกสร การออกดอก และการติดผลลดลง ดังในรัฐ Gujarat ประเทศอินเดีย พบว่า ในปี พ.ศ. 2551-2552 ผลผลิตมะม่วงลดลงอย่างมาก เนื่องจากอุณหภูมิเพิ่มขึ้นจาก พ.ศ. 2550 2 องศาเซลเซียส เป็น 33 - 36 องศาเซลเซียส โดยพบว่า การออกดอกของมะม่วงในเขต Saurashtra ลดลง 65-70 เปอร์เซ็นต์ และในเขต South Gujarat ลดลง 85-90 เปอร์เซ็นต์

Singh *et al.* (2005) รายงานว่า อุณหภูมิสูงและลมที่รุนแรงส่งผลกระทบในทางลบต่อการผสมเกสร การติดผล และการจัดการหลังการเก็บเกี่ยวของมะม่วง อุณหภูมิสูงในระหว่างการออกดอกไปจนถึงระยะการติดผลอ่อนส่งผลให้เกิด embryo abortion ได้ (Nuñez-Eliséa and Davenport, 1983) การติดผลในช่วงที่อุณหภูมิสูง ผลมักร่วงและไม่สามารถเจริญไปจนถึงระยะเก็บเกี่ยวผลผลิตได้ เมื่อเปรียบเทียบกับผลที่

ติดผลในช่วงที่อุณหภูมิต่ำกว่า (Kanlayanarat and Supatarapan, 1979) ซึ่งอุณหภูมิที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของมะม่วงอยู่ระหว่าง 20 - 34 องศาเซลเซียส อุณหภูมิที่เหมาะสมต่อการออกดอกอยู่ระหว่าง 15 - 20 องศาเซลเซียส ต่อเนื่องกัน 2 สัปดาห์ เพื่อกระตุ้นการสร้างตาดอก หากอุณหภูมิสูงมาก อาจส่งผลให้เกิดอาการใบไหม้ การคายน้ำสูง ช่อดอกแห้ง และติดผลน้อย (Department of Agricultural Extension, 2008) อีกทั้งการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิยังสามารถส่งผลต่อการเกิดอาการผิดปกติทางสรีรวิทยา การผสมเกสร และชีวลักษณะ (phenology) (Hoakip *et al.*, 2020) ส่วนในกรรมวิธีที่ปลิดช่อดอกที่ระยะดอกบาน 100 เปอร์เซ็นต์ ยังมียอดที่ดอกบาน 100 เปอร์เซ็นต์ และยอดที่ติดผลอ่อน สัปดาห์ที่ 12-18 หลังเริ่มการทดลอง ยอดยังคงมีการแทงช่อดอกใหม่และดอกบานในจำนวนที่น้อยมาก ตั้งแต่สัปดาห์ที่ 14 หลังเริ่มการทดลอง มียอดที่แตกใบชุดใหม่เพิ่มขึ้นจนเป็น 35 เปอร์เซ็นต์ ในสัปดาห์ที่ 24 หลังเริ่มการทดลอง ขณะที่ต้นมะม่วงในกรรมวิธีควบคุมมีการติดผลและให้ผลผลิตที่สูงกว่าต้นที่ได้รับการปลิดช่อดอกอย่างมีนัยสำคัญ

ขนาดของช่อดอก

ความกว้างช่อดอกเดิมของต้นในกรรมวิธีควบคุม ต้นที่จะปลิดช่อดอกที่ระยะดอกบาน 50 เปอร์เซ็นต์ และต้นที่จะปลิดช่อดอกที่ระยะดอกบาน

ขนาดของช่อดอก

ความกว้างช่อดอกเดิมของต้นในกรรมวิธีควบคุม ต้นที่จะปลิดช่อดอกที่ระยะดอกบาน 50 เปอร์เซ็นต์ และต้นที่จะปลิดช่อดอกที่ระยะดอกบาน 100 เปอร์เซ็นต์ มีค่า 17.81, 18.13 และ 16.88 เซนติเมตรตามลำดับ ซึ่งไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ความกว้างของช่อดอกใหม่หลังการปลิดของต้นที่ปลิดช่อดอกที่ระยะดอกบาน 50 เปอร์เซ็นต์ และ 100 เปอร์เซ็นต์ มีค่าเท่ากับ 20.91 และ 21.15 เซนติเมตรตามลำดับ ช่อดอกเดิมของต้นที่จะได้รับการปลิดช่อดอกที่ระยะดอกบาน 100 เปอร์เซ็นต์ มีความยาว 36.63 เซนติเมตร ซึ่งไม่แตกต่างกับต้นในกรรมวิธีควบคุมที่มีความยาวของช่อดอกเดิม 35.40 เซนติเมตร แต่ยาวกว่าช่อดอกของต้นที่จะได้รับการปลิดช่อดอกที่ระยะดอกบาน 50 เปอร์เซ็นต์ ที่มีความยาว 31.12 เซนติเมตร อย่างไรก็ตาม ช่อดอกใหม่ที่เกิดหลังการปลิดช่อดอก 50 และ 100 เปอร์เซ็นต์ มีความยาว 21.12 และ 22.59 เซนติเมตร ตามลำดับ ซึ่งไม่แตกต่างกันทางสถิติ (Table 1)

จำนวนดอกก่อนการปลิดช่อดอก

ช่อดอกเดิมของต้นมะม่วงที่จะปลิดช่อดอกที่ระยะดอกบาน 50 เปอร์เซ็นต์ มีดอกเพศผู้ 321.3 ดอก น้อยกว่าดอกเพศผู้ของต้นที่จะปลิดช่อดอกที่ระยะดอกบาน 100 เปอร์เซ็นต์ ที่มี 1,088.2 ดอก จำนวนดอกตูม

Table 1. Size of inflorescence and new inflorescence formed after removing inflorescences at different developmental stages

Treatments	Width (cm)		Length ¹ (cm)	
	Before	After	Before	After
Inflorescence not removed (control)	17.81	-	35.40 ab	-
Removal of inflorescence at 50% bloom	18.13	20.91	31.12 b	21.12
Removal of inflorescence at 100% bloom	16.88	21.15	36.63 a	22.59
C.V. (%)	12.28	47.99	9.46	5.25

¹ Means followed by different letters within the same column are significantly different at $P < 0.05$

ก่อนการปลิดช่อดอกมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($P<0.05$) โดยจำนวนดอกตูมของต้นที่จะปลิดช่อดอกที่ระยะดอกบาน 50 เปอร์เซ็นต์ มีดอกตูม 983.2 ดอก ซึ่งมากกว่าช่อดอกของต้นที่จะปลิดช่อดอกที่ระยะดอกบาน 100 เปอร์เซ็นต์ ที่มีดอกตูม 150.5 ดอก ส่วนจำนวนดอกสมบูรณ์เพศและจำนวนดอกต่อช่อไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($P<0.05$) โดยช่อดอกของต้นที่จะปลิดช่อดอกที่ระยะดอกบาน 50 และ 100 เปอร์เซ็นต์ มีดอกสมบูรณ์เพศ 249.6 และ 261.7 ดอก ตามลำดับ และมีจำนวนดอกต่อช่อ 1,554.1 และ 1,500.4 ดอก ตามลำดับ สัดส่วนดอกเพศผู้ต่อดอกสมบูรณ์เพศเท่ากับ 1.3:1 และ 4.2:1 ตามลำดับ (Table 2) ซึ่งจากสัดส่วนเพศดอกนี้แสดงให้เห็นว่าดอกสมบูรณ์เพศส่วนใหญ่บานในช่วงแรกของการบานของดอกในช่อ และเมื่อผ่านระยะที่ดอกบาน 50 เปอร์เซ็นต์ของช่อไปแล้ว ดอกที่บานส่วนใหญ่เป็นดอกเพศผู้

การเกิดช่อดอกใหม่

ต้นมะม่วงที่ได้รับการปลิดช่อดอกที่ระยะดอกบาน 50 เปอร์เซ็นต์ มีการเกิดช่อดอกใหม่ 52.5 เปอร์เซ็นต์ของยอดที่ศึกษา มากกว่าต้นในกรรมวิธีที่ปลิดช่อดอกที่ระยะดอกบาน 100 เปอร์เซ็นต์ ที่เกิดช่อดอกใหม่ 33.0 เปอร์เซ็นต์ (Table 3) โดยมีการแทงช่อดอกใหม่หลังการปลิดช่อดอกเดิมสองสัปดาห์ และมีการเกิดช่อดอกใหม่ไปจนถึงสัปดาห์ที่ 14 หลังการปลิดช่อดอก (Figure 1)

จำนวนดอกและสัดส่วนเพศดอกของช่อดอกใหม่ของต้นในกรรมวิธีที่ได้รับการปลิดช่อดอกที่ระยะดอกบาน 50 และ 100 เปอร์เซ็นต์ มีดอกเพศผู้ 2.3 และ 3.3 ดอก ตามลำดับ มีดอกสมบูรณ์เพศ 30.3 และ 35.3 ดอก ตามลำดับ มีดอกตูม 44.7 และ 53.1 ดอก ตามลำดับ และมีจำนวนดอกต่อช่อ 77.2 และ 91.7 ดอก ตามลำดับ ซึ่งไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ

Table 2. Flower number of 'Namdokmai Sithong' mango before inflorescences removal

Treatments	Male flower ¹	Complete flower	Bud Flower ¹	Total flower	Male flower: complete flower
Inflorescence removal at 50% bloom	321.3 b	249.6	983.2 a	1,554.1	1.3:1
Inflorescence removal at 100% bloom	1,088.2 a	261.7	150.5 b	1,500.4	4.2:1
C.V. (%)	19.91	23.56	34.90	22.85	

¹ Means followed by different letters within the same column are significantly different at $P<0.05$

Table 3. Percentage of new inflorescence formed on 'Namdokmai Sithong' mango after removing inflorescences at different developmental stages

Treatments	New inflorescence (%) ¹
Inflorescence removal at 50% bloom	52.5 a
Inflorescence removal at 100% bloom	33.0 b
C.V. (%)	4.52

¹ Means followed by different letters within the same column are significantly different at $P<0.05$

($P<0.05$) และมีสัดส่วนดอกเพศผู้ต่อดอกสมบูรณ์เพศ 0.08:1 และ 0.09:1 ตามลำดับ (Table 4) ซึ่งจำนวนดอกของช่อดอกชุดใหม่นั้นน้อยมากเมื่อเทียบกับช่อดอกชุดเดิมหรือช่อดอกในฤดู โดยมีรายงานว่า มะม่วงน้ำดอกไม้ไม่มีดอกสมบูรณ์เพศเฉลี่ย 274.75 ± 87.50 ดอกต่อช่อ และมีจำนวนดอกเพศผู้เฉลี่ย $1,044.56 \pm 298.62$ ดอกต่อช่อ (Phuangchik, 2000) นอกจากนี้ผลการทดลองยังพบว่าช่อดอกชุดใหม่หลังการปลดช่อดอกเดิมมีจำนวนดอกเพศผู้น้อยกว่าดอกสมบูรณ์เพศ ซึ่ง Feungchan (1996) กล่าวว่า มีสาเหตุหลายประการที่ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงเพศดอกได้ เช่น อุณหภูมิ ช่วงแสง และธาตุอาหาร โดยระดับอุณหภูมิมีผลต่อสัดส่วนเพศดอก คือ ถ้าต้นมะม่วงออกดอกในช่วงอากาศหนาวเย็นแล้วตามด้วยอุณหภูมิที่สูงขึ้นหลังจากผ่านช่วงหนาวเย็นไปได้ระยะหนึ่ง มะม่วงจะพัฒนาเป็นดอกสมบูรณ์เพศค่อนข้างสูงกว่าปกติ

การติดผลและการเก็บเกี่ยวผลผลิต

ต้นมะม่วงในกรรมวิธีควบคุมมีการติดผล 86 เปอร์เซ็นต์ของยอดที่ศึกษา ต้นที่ได้รับการปลดช่อดอกที่ระยะดอกบาน 50 เปอร์เซ็นต์ มีการติดผล 30 เปอร์เซ็นต์ของยอดที่ศึกษา และต้นที่ได้รับการปลดช่อดอกที่ระยะดอกบาน 100 เปอร์เซ็นต์ มีการติดผล 17 เปอร์เซ็นต์ของยอดที่ศึกษา ซึ่งต้นในกรรมวิธีควบคุมมีการติดผลมากกว่าต้นที่ได้รับการปลดช่อดอกที่ระยะดอกบาน 50 เปอร์เซ็นต์ และ 100 เปอร์เซ็นต์ อย่างมีนัยสำคัญ โดยต้นในกรรมวิธีควบคุมมีผลที่เก็บเกี่ยวได้ 48.5 เปอร์เซ็นต์ของยอดที่ศึกษา ซึ่งสูงกว่าอย่างมีนัยสำคัญ ($P<0.05$) เมื่อเปรียบเทียบกับต้นที่ได้รับการปลดช่อดอกที่ระยะดอกบาน 50 และ 100 เปอร์เซ็นต์ ที่เก็บเกี่ยวผลผลิตได้เพียง 3.1 และ 3.3 เปอร์เซ็นต์ของยอดที่ศึกษา ตามลำดับ (Table 5)

Table 4. Flower number of new inflorescences of 'Namdokmai Sithong' mango after removing inflorescences at different developmental stages

Treatments	Male flower	Complete flower	Bud flower	Total	Male flower: Complete flower
Inflorescence removal at 50% bloom	2.3	30.3	44.7	77.2	0.08:1
Inflorescence removal at 100% bloom	3.3	35.3	53.1	91.7	0.09:1
C.V. (%)	45.53	41.39	53.75	43.42	

Table 5. Percentage of fruit set and harvested fruit of 'Namdokmai Sithong' mango after removing inflorescences at different developmental stages

Treatments	Fruit set (%) ¹	Harvested fruits (%) ¹
Inflorescence not removed (control)	86 a	48.5 a
Inflorescence removal at 50% bloom	30 b	3.1 b
Inflorescence removal at 100% bloom	17 b	3.3 b
C.V. (%)	17.23	35.92

¹ Means followed by different letters within the same column are significantly different at $P<0.05$

ต้นมะม่วงในกรรมวิธีควบคุมเก็บเกี่ยวผลผลิตได้ตั้งแต่วันที่ 4 เมษายน ถึง 11 กรกฎาคม 2564 โดยผลผลิตส่วนใหญ่เก็บเกี่ยวได้ในช่วงครึ่งเดือนแรกของเดือนพฤษภาคม ต้นที่ได้รับการปลิดช่อดอกในระยะดอกบาน 50 เปอร์เซ็นต์ เก็บเกี่ยวผลผลิตได้ตั้งแต่วันที่ 30 พฤษภาคม ถึง 25 กรกฎาคม 2564 และต้นที่ได้รับการปลิดช่อดอกในระยะดอกบาน 100 เปอร์เซ็นต์ เก็บเกี่ยวผลผลิตได้ตั้งแต่วันที่ 13 มิถุนายน ถึง 25 กรกฎาคม 2564 (Figure 2) ซึ่งต้นที่ได้รับการปลิดช่อดอก 50 เปอร์เซ็นต์ เริ่มเก็บเกี่ยวผลผลิตได้ช้ากว่าต้นในกรรมวิธีควบคุมเก็บสองเดือน และต้นที่ได้รับการปลิดช่อดอก 100 เปอร์เซ็นต์ เริ่มเก็บเกี่ยวผลผลิตได้ช้ากว่าต้นในกรรมวิธีควบคุมประมาณสามเดือน โดยต้นที่ได้รับการปลิดช่อดอกทั้งสองกรรมวิธีสามารถเก็บเกี่ยวผลผลิตครั้งสุดท้ายได้ในช่วงปลายเดือนกรกฎาคม ซึ่งเป็นเวลาที่มะม่วงในตลาดมีจำนวนน้อยมากและมีราคาสูง สอดคล้องกับ Radanachaless (2013a) ที่ได้กล่าวว่าการเก็บเกี่ยวผลผลิตของมะม่วงล่าฤดูเริ่มตั้งแต่เดือนมิถุนายนไปจนถึงเดือนกรกฎาคม และมีรายงานของ Issarakraisaila and Considine (1991) ที่กล่าวว่ายอดของมะม่วงที่ได้รับการปลิดช่อดอกเกิดช่อดอกชุดใหม่ที่บริเวณตาข้างและเกิด anthesis ช้ากว่าเดิม 5 ถึง 6 สัปดาห์

คุณภาพผล

การปลิดช่อดอกมะม่วงพันธุ์น้ำดอกไม้สีทองในระยะที่แตกต่างกันส่งผลต่อคุณภาพของผลผลิตมะม่วง โดยผลการทดลองแสดงให้เห็นว่า ผลมะม่วงจากต้นที่ได้รับการปลิดช่อดอกในระยะดอกบาน 50 เปอร์เซ็นต์มีน้ำหนักผล 511.81 กรัม ซึ่งมากกว่าน้ำหนักผลของมะม่วงในกรรมวิธีควบคุมที่มีน้ำหนัก 393.73 กรัม แต่ไม่แตกต่างจากต้นที่ปลิดช่อดอกในระยะดอกบาน 100 เปอร์เซ็นต์ ที่มีน้ำหนักผล 453.39 กรัม (Table 6) เนื่องจากต้นที่ได้รับการปลิดช่อดอกมีการหลุดร่วงของผลมาก เมื่อมีจำนวนผลต่อช่อลดลงทำให้ผลเติบโตโดยไม่ต้องมีการแข่งขันกับผลอื่น ๆ ส่งผลให้ได้ผลที่รูปทรงตรงตามพันธุ์ ง่ายต่อการดูแลรักษา และการพ่นสารเคมีมีประสิทธิภาพมากขึ้น (Radanachaless, 2013b) จึงส่งผลให้ผลมะม่วงมีน้ำหนักมากและขนาดผลใหญ่ขึ้น โดยผลมะม่วงในกรรมวิธีที่มีการปลิดช่อดอกมีความกว้าง 8.03 ถึง 8.05 เซนติเมตร ความยาว 15.49 ถึง 16.00 เซนติเมตรหนา 7.24 ถึง 7.34 เซนติเมตร ซึ่งมีขนาดใหญ่กว่าผลมะม่วงในกรรมวิธีควบคุมที่มีความกว้าง 7.47 เซนติเมตรยาว 14.49 เซนติเมตร และหนา 6.77 เซนติเมตร (Table 6)

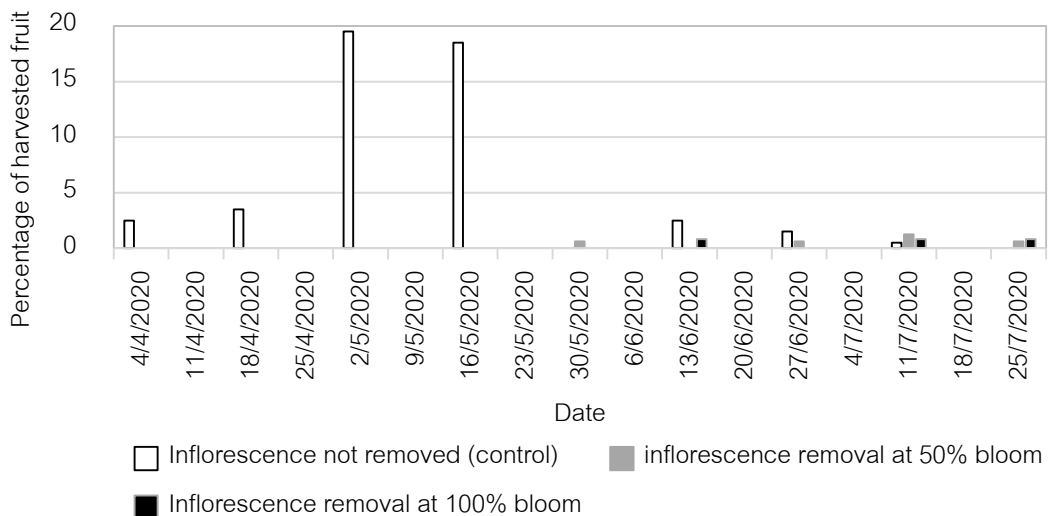


Figure 2. Percentage of harvested fruit of 'Namdokmai Sithong' mango after removing inflorescences at different developmental stages

Table 6. Fruit weight and size of 'Namdokmai Sithong' mango after removing inflorescences at different developmental stages

Treatments	Fruit weight ¹ (g)	Fruit size ¹ (cm)		
		Width	Length	Thickness
Inflorescence not removed (control)	393.73 b	7.47 b	14.49 b	6.77 b
Inflorescence removal at 50% bloom	511.81 a	8.05 a	16.00 a	7.34 a
Inflorescence removal at 100% bloom	453.39 ab	8.03 a	15.49 a	7.24 a
C.V. (%)	16.01	1.60	1.54	4.01

¹ Means followed by different letters within the same column are significantly different at $P < 0.05$

กรณีของสีเปลือก ผลการทดลองพบว่า ผลจากต้นในกรรมวิธีควบคุม ต้นที่ปลิดช่อดอกที่ระยะดอกบาน 50 เปอร์เซ็นต์ และต้นที่ปลิดช่อดอกที่ระยะดอกบาน 100 เปอร์เซ็นต์ มีค่าความสว่าง (L^*) เท่ากับ 70.44, 69.82 และ 71.43 ตามลำดับ ค่าความเข้มสี (chroma: C^*) เท่ากับ 43.11, 41.35 และ 39.90 ตามลำดับ ซึ่งไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ส่วนค่ามุมสี (hue angle: h°) พบว่า ผลมะม่วงจากต้นที่ปลิดช่อดอกที่ระยะดอกบาน 50 เปอร์เซ็นต์ มีค่ามุมสี เท่ากับ 77.29 ซึ่งสูงกว่าค่ามุมสีของผลจากต้นในกรรมวิธีควบคุมที่มีค่า 74.94 แต่ไม่แตกต่างกับผลจากต้นที่ปลิดช่อดอกที่ระยะดอกบาน 100 เปอร์เซ็นต์ ในขณะที่ค่าความสว่าง (L^*) ของสีเนื้อมะม่วงมีความแตกต่างกันเล็กน้อย โดยต้นที่ปลิดช่อดอกที่ระยะดอกบาน 100 เปอร์เซ็นต์ มีค่าความสว่างของเนื้อเท่ากับ 52.19 ซึ่งสูงกว่าค่าความสว่างของเนื้อมะม่วงจากต้นในกรรมวิธีควบคุมซึ่งมีค่าเท่ากับ 49.27 แต่ไม่แตกต่างกับเนื้อมะม่วงจากต้นที่ปลิดช่อดอกที่ระยะดอกบาน 50 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งมีค่าเท่ากับ 51.78 ส่วนค่า C^* และ h° ของเนื้อมะม่วงทุกกรรมวิธีไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ (Table 7) เมื่อพิจารณาว่า C^* ร่วมกับค่า h° มีแนวโน้มว่าเปลือกของมะม่วงที่ปลิดช่อดอกที่ระยะดอกบาน 50 และ 100 เปอร์เซ็นต์ มีสีเหลืองเข้มกว่าชุดควบคุม ในกรณีของสีเนื้อไม่มีความแตกต่างกัน

ความแน่นเนื้อของผลเมื่อสุกและปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายน้ำได้ของผลมะม่วงจากทุกกรรมวิธีไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($P < 0.05$) โดยผลมะม่วงในทุกกรรมวิธีมีความแน่นเนื้อ 329.24 ถึง 360.27 กรัม

ต่อตารางเซนติเมตร สำหรับปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายน้ำได้มีค่า 21.34 ถึง 21.85 เปอร์เซ็นต์ (Table 8) ซึ่งเป็นไปตามเกณฑ์ที่ผู้ส่งออกกำหนดคืออย่างต่ำ 17 เปอร์เซ็นต์ (Radanachaless and Tiayon, 2010) ในขณะที่ปริมาณกรดทั้งหมดที่ไทเทรตได้ของผลมะม่วงจากต้นที่ปลิดช่อดอกที่ระยะดอกบาน 100 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งมีค่า 0.24 เปอร์เซ็นต์ นั้นสูงกว่าปริมาณกรดทั้งหมดที่ไทเทรตได้ของผลมะม่วงจากต้นในกรรมวิธีควบคุมที่มีค่า 0.18 เปอร์เซ็นต์ เมื่อปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายน้ำได้ไม่ต่างกัน แต่ปริมาณกรดทั้งหมดที่ไทเทรตได้ของเนื้อมะม่วงในกรรมวิธีที่ปลิดช่อดอกที่ระยะดอกบาน 100 เปอร์เซ็นต์ สูงกว่าเนื้อมะม่วงในกรรมวิธีควบคุม จึงทำให้อัตราส่วน TSS/TA ของเนื้อมะม่วงในกรรมวิธีที่ปลิดช่อดอกที่ระยะดอกบาน 100 เปอร์เซ็นต์ มีค่าต่ำกว่าของกรรมวิธีควบคุม (89.90 และ 120.58 ตามลำดับ) (Table 8)

อุณหภูมิระหว่างการพัฒนาผลมีผลต่อปริมาณกรดอินทรีย์ในผลไม้ ซึ่งงานวิจัยของ Kim *et al.* (2021) พบว่า ส้ม Shiranuhi Mandarin ที่ปลูกในโรงเรือนพลาสติกที่อุณหภูมิปกติ (atmospheric temperature) มีกรดอินทรีย์สูงกว่าส้มที่ปลูกที่อุณหภูมิบรรยากาศในเวลากลางวัน และ 4 องศาเซลเซียสในเวลากลางคืน นอกจากนี้ กรดแต่ละชนิดมีการตอบสนองต่ออุณหภูมิต่างกัน ดังรายงานของ Wang and Camp (2000) ที่พบว่า เมื่ออุณหภูมิกลางวัน/กลางคืนสูงขึ้น ปริมาณกรดมาลิกในผลสตรอว์เบอร์รี่เพิ่มขึ้น ในขณะที่กรดซิตริกและกรดเอลลาจิกลดลง และ Richardson *et al.* (2004)

Table 7. Peel and flesh color of 'Namdokmai Sithong' mango fruits after removing inflorescences at different developmental stages

Treatments	Peel color ¹			Flesh color ¹		
	L*	C*	h°	L*	C*	h°
Inflorescence not removed (control)	70.44	43.11	74.94 b	49.27 b	49.11	80.18
Inflorescence removal at 50% bloom	69.82	41.35	77.29 a	51.78 ab	49.94	80.97
Inflorescence removal at 100% bloom	71.43	39.90	76.16 ab	52.19 a	52.17	79.60
C.V. (%)	3.45	8.33	2.07	4.12	7.48	2.16

¹ Means followed by different letters within the same column are significantly different at $P<0.05$

รายงานว่าคุณหมุ่ในช่วงการพัฒนากล่องผลต่อปริมาณกรดทั้งหมดที่ไทเทรตได้ โดยผลกวีฟรุติที่ได้รับคุณหมุ่สูงขึ้นช่วงการพัฒนากล่องมีปริมาณกรดมาลิกเพิ่มขึ้น ในการศึกษาี้ ผลมะม่วงจากต้นที่ได้รับการปลิดช่อดอกที่ระยะดอกบาน 100 เปอร์เซ็นต์ มีการพัฒนาผลในช่วงปลายเดือนมีนาคมถึงเดือนมิถุนายนซึ่งมีคุณหมุ่เฉลี่ยสูงกว่าช่วงปลายเดือนมกราคมถึงต้นเดือนพฤษภาคม ที่ผลจากต้นในกรรมวิธีควบคุมอยู่ในระยะพัฒนาผล (Figure 3) จึงอาจเป็นสาเหตุให้ปริมาณกรดทั้งหมดที่ไทเทรตได้ของผลจากต้นที่ปลิดช่อดอกในระยะดอกบาน 100 เปอร์เซ็นต์ มีปริมาณกรดทั้งหมดที่ไทเทรตได้สูงกว่าผลจากต้นในกรรมวิธีควบคุม

ความแน่นเนื้อของผลเมื่อสุกและปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายน้ำได้ของผลมะม่วงจากทุกกรรมวิธีไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($P<0.05$) โดยผลมะม่วงในทุกกรรมวิธีมีความแน่นเนื้อ 329.24 ถึง 360.27 กรัมต่อตารางเซนติเมตร สำหรับปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายน้ำได้มีค่า 21.34 ถึง 21.85 เปอร์เซ็นต์ (Table 8) ซึ่งเป็นไปตามเกณฑ์ที่ผู้ส่งออกกำหนดคืออย่างต่ำ 17 เปอร์เซ็นต์ (Radanachalee and Tiayon, 2010) ในขณะที่ปริมาณกรดทั้งหมดที่ไทเทรตได้ของผลมะม่วงจากต้นที่ปลิดช่อดอกที่ระยะดอกบาน 100 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งมีค่า 0.24 เปอร์เซ็นต์ นั้นสูงกว่าปริมาณกรดทั้งหมดที่ไทเทรตได้ของผลมะม่วงจากต้นในกรรมวิธีควบคุมที่มีค่า 0.18 เปอร์เซ็นต์ เมื่อปริมาณของแข็งทั้งหมดที่

ละลายน้ำได้ไม่ต่างกัน แต่ปริมาณกรดทั้งหมดที่ไทเทรตได้ของเนื้อมะม่วงในกรรมวิธีที่ปลิดช่อดอกที่ระยะดอกบาน 100 เปอร์เซ็นต์ สูงกว่าเนื้อมะม่วงในกรรมวิธีควบคุม จึงทำให้อัตราส่วน TSS/TA ของเนื้อมะม่วงในกรรมวิธีที่ปลิดช่อดอกที่ระยะดอกบาน 100 เปอร์เซ็นต์ มีค่าต่ำกว่าของกรรมวิธีควบคุม (89.90 และ 120.58 ตามลำดับ) (Table 8)

คุณหมุ่ระหว่างการพัฒนาผลมีผลต่อปริมาณกรดอินทรีย์ในผลไม้ ซึ่งงานวิจัยของ Kim *et al.* (2021) พบว่า ส้ม Shiranuhi Mandarin ที่ปลูกในโรงเรือนพลาสติกที่คุณหมุ่ปกติ (atmospheric temperature) มีกรดอินทรีย์สูงกว่าส้มที่ปลูกที่คุณหมุ่บรยากาศในเวลากลางวัน และ 4 องศาเซลเซียสในเวลากลางคืน นอกจากนี้ กรดแต่ละชนิดมีการตอบสนองต่อคุณหมุ่ต่างกัน ดังรายงานของ Wang and Camp (2000) ที่พบว่า เมื่อคุณหมุ่กลางวัน/กลางคืนสูงขึ้น ปริมาณกรดมาลิกในผลสตรอว์เบอร์รี่เพิ่มขึ้น ในขณะที่กรดซิตริกและกรดเอลลาจิกลดลง และ Richardson *et al.* (2004) รายงานว่าคุณหมุ่ในช่วงการพัฒนากล่องผลต่อปริมาณกรดทั้งหมดที่ไทเทรตได้ โดยผลกวีฟรุติที่ได้รับคุณหมุ่สูงขึ้นช่วงการพัฒนากล่องมีปริมาณกรดมาลิกในผลสตรอว์เบอร์รี่เพิ่มขึ้น ในขณะที่กรดซิตริกและกรดเอลลาจิกลดลง และ Richardson *et al.* (2004) รายงานว่าคุณหมุ่ในช่วงการพัฒนากล่องผลต่อปริมาณกรดทั้งหมดที่ไทเทรตได้ โดยผลกวีฟรุติที่ได้รับคุณหมุ่สูงขึ้นช่วงการพัฒนากล่องมีปริมาณกรดมาลิกเพิ่มขึ้น ในการศึกษาี้ ผลมะม่วงจากต้นที่ได้รับการปลิดช่อดอกที่ระยะดอกบาน 100 เปอร์เซ็นต์ มีการพัฒนาผลในช่วงปลายเดือนมีนาคมถึงเดือนมิถุนายนซึ่งมีคุณหมุ่เฉลี่ยสูงกว่าช่วงปลายเดือนมกราคมถึงต้น

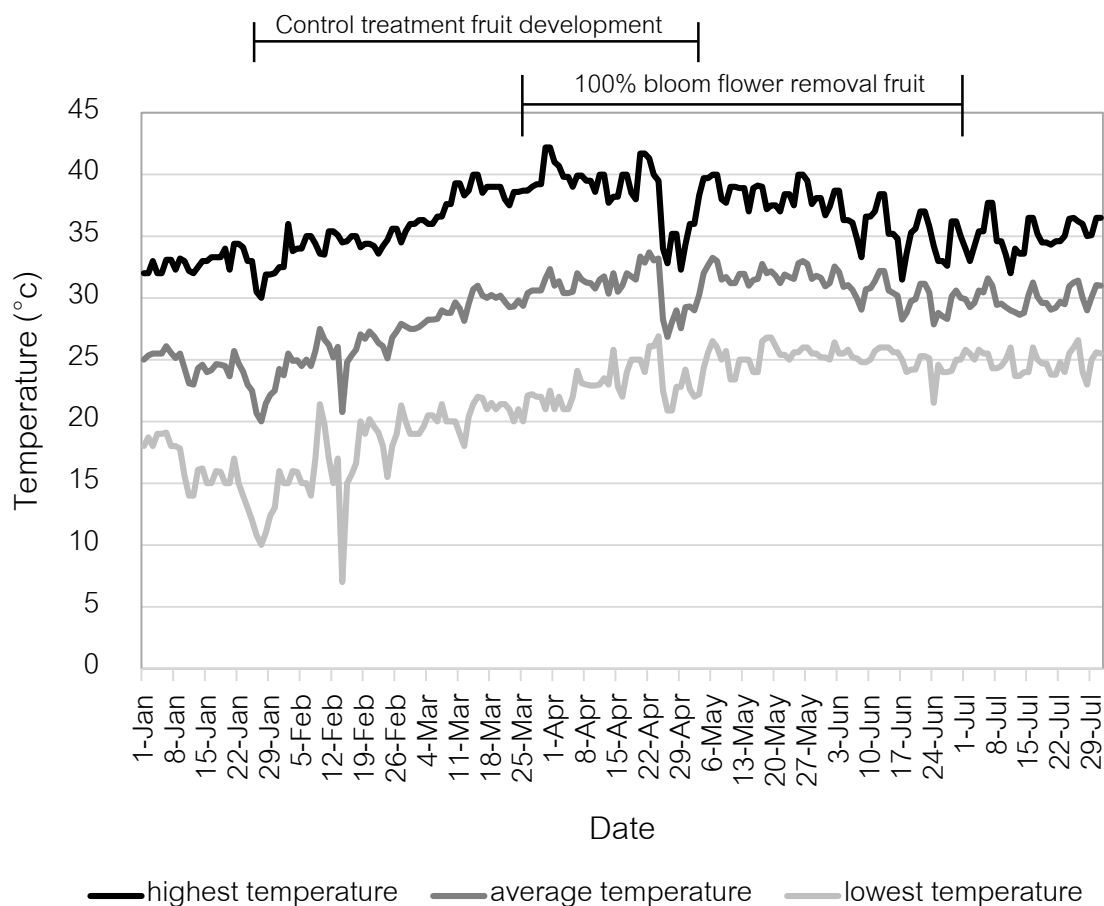


Figure 3. Average temperature in Chiang Mai from January to July 2020 and time of mango fruit development (temperature data from Weather Spark, 2020)

Table 8. Fruit firmness, total soluble solids, titratable acidity, and TSS/TA ratio of 'Namdokmai Sithong' mango fruits after removing inflorescences at different developmental stages

Treatments	Fruit firmness (g/cm ²)	Total soluble solids (%)	Titratable acidity ¹ (%)	TSS/TA ratio ¹
Inflorescence not removed (control)	329.24	21.60	0.18 b	120.58 a
Inflorescence removal at 50% bloom	344.17	21.85	0.19 ab	117.82 a
Inflorescence removal at 100% bloom	360.27	21.34	0.24 a	89.90 b
C.V. (%)	10.88	3.55	18.11	16.19

¹ Means followed by different letters within the same column are significantly different at $P < 0.05$

เดือนพฤษภาคม ที่ผลจากต้นในกรรมวิธีควบคุมอยู่ในระยะพัฒนาผล (Figure 3) จึงอาจเป็นสาเหตุให้ปริมาณกรดทั้งหมดที่ไทเทรตได้ของผลจากต้นที่ปลิดช่อดอกในระยะดอกบาน 100 เปอร์เซ็นต์ มีปริมาณกรดทั้งหมดที่ไทเทรตได้สูงกว่าผลจากต้นในกรรมวิธีควบคุม

เนื้อผลมะม่วงจากต้นในกรรมวิธีควบคุม ต้นที่ปลิดช่อดอกที่ระยะดอกบาน 50 เปอร์เซ็นต์ และต้นที่ปลิดช่อดอกที่ระยะดอกบาน 100 เปอร์เซ็นต์ มีปริมาณวิตามินซี ปริมาณแคโรทีนอยด์ และปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดไม่แตกต่างกันทางสถิติ โดยผลมะม่วงมีปริมาณวิตามินซี 0.40 ถึง 0.50 มิลลิกรัมต่อ 100 กรัมน้ำหนักสด ปริมาณแคโรทีนอยด์ 210.33 ถึง 277.06 ไมโครกรัมต่อ 100 กรัมน้ำหนักแห้ง และปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด 435.89 ถึง 487.82 มิลลิกรัมกรดแกลลิกต่อ 100 กรัมน้ำหนักแห้ง (Table 9)

เมื่อเปรียบเทียบราคาผลผลิตมะม่วงกลุ่มน้ำดอกไม้ภายในประเทศ ปี พ.ศ. 2563 พบว่า ผลผลิตมะม่วงในฤดูกาล ซึ่งเก็บเกี่ยวระหว่างเดือนเมษายนถึงเดือนมิถุนายน มีราคา กิโลกรัมละ 20-60 บาท ในขณะที่ผลผลิตมะม่วงล่าฤดูซึ่งเก็บเกี่ยวช่วงปลายเดือนมิถุนายนถึงเดือนกรกฎาคมราคา กิโลกรัมละ 75-105 บาท (Ministry of Commerce, 2020) ซึ่งในช่วงล่าฤดูเกษตรกรผู้ปลูกมะม่วงน้ำดอกไม้สีทองในจังหวัดเชียงใหม่เคยจำหน่ายในราคาสูงถึง กิโลกรัมละ 150 บาท แม้ว่ามะม่วงล่าฤดูจะขายได้ราคาสูงแต่หากผลผลิตมีปริมาณน้อยเช่นในการทดลองนี้อาจไม่คุ้มค่าที่จะผลิตเมื่อเทียบกับรายได้ที่จะได้รับจากมะม่วงในฤดู

Table 9. Vitamin C, carotenoid content, and total phenolic compounds of 'Namdokmai Sithong' mango fruits after removing inflorescences at different developmental stages

Treatments	Vitamin C (mg/100 g fresh weight)	Carotenoid content (µg/100 g dry weight)	Total phenolics (mg gallic acid/ 100 g dry weight)
Inflorescence not removed (control)	0.40	222.76	435.89
Inflorescence removal at 50% bloom	0.50	210.33	487.82
Inflorescence removal at 100% bloom	0.45	277.06	453.02
C.V. (%)	24.69	36.29	12.83

สรุป

การปลิดช่อดอกมะม่วงที่ระยะดอกบาน 50 และ 100 เปอร์เซ็นต์ ทำให้ช่อดอกชุดใหม่มีจำนวนดอกต่อช่อน้อยลงมากกว่าสิบเท่า และติดผลน้อยกว่าช่อดอกของต้นในกรรมวิธีควบคุมที่ออกดอกตามฤดูกาลหลายเท่าตัว การปลิดช่อดอกเพื่อให้ต้นมะม่วงแทงช่อดอกชุดใหม่สามารถเลื่อนเวลาการเก็บเกี่ยวผลผลิตครั้งแรกออกไปได้ 2 - 3 เดือน และให้ผลผลิตในช่วงเดือนมิถุนายนถึงเดือนกรกฎาคม ซึ่งเป็นช่วงของผลผลิตล่าฤดู แต่ผลผลิตที่ได้น้อยมากเมื่อเทียบกับผลผลิตที่เก็บเกี่ยวได้จากต้นในกรรมวิธีควบคุมที่ไม่ปลิดช่อดอกซึ่งเป็นผลผลิตในฤดูกาล การปลิดช่อดอกนี้สามารถนำไปต่อยอดในการศึกษาวิธีการทำให้ช่อดอกชุดใหม่มีการติดผลเพิ่มขึ้นและทำให้ผลจากช่อดอกชุดใหม่สามารถพัฒนาจนถึงระยะเก็บเกี่ยวเพื่อการผลิตมะม่วงล่าฤดูได้

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบพระคุณ คุณอาทิตย์ เกษมศรี สวนดุชนี อำเภอมะแม่ง จังหวัดเชียงใหม่ ที่ให้ความอนุเคราะห์สถานที่และต้นมะม่วงที่ใช้ในการทดลอง ขอขอบคุณห้องปฏิบัติการสรีรวิทยาพืชสวนและห้องปฏิบัติการหลังการเก็บเกี่ยวพืชสวน สาขาวิชาพืชสวน ภาควิชาพืชศาสตร์และปฐพีศาสตร์ ห้องปฏิบัติการกลาง คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ ที่สนับสนุนเครื่องมือที่ใช้ในงานวิจัยนี้

เอกสารอ้างอิง

AOAC. 2000. Official Methods of Analysis of AOAC International. 17th ed. AOAC international, Gaithersburg, Maryland. 2200 p.

Bally, I.S.E., P. LU and P.R. Johnson. 2009. Mango breeding. pp. 51-82. In S.M. Jain and P.M. Priyadarshan (eds.). Breeding Plantation

Tree Crops: Tropical Species. Springer, New York.

Department of Agricultural Extension. 2008. Mango. (Online). Available: <http://www.agriman.doae.go.th/home>

/t.n/t.n1/3fruit_Requirement/02_009-crope-Mango.pdf (August 20, 2022). (in Thai)

Department of Agricultural Extension. 2022. Mango export. (Online). Available: <https://production.doae.go.th/> (August 14, 2022). (in Thai)

Feungchan, K. 1996. Mango production technology. (Online). Available: http://impep.oae.go.th/service/export.php?S_YEAR=2562549 (June 5, 2021). (in Thai)

Hoakip, S.W., K. Shankar and J. Lalrinnggheta. 2020. Climate change and its impact on fruit crops. Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry 9(1): 435-438.

Issarakraisila, M. and J.A. Considine. 1991. Studies on induction of secondary Inflorescences by deblossoming to delay flowering in mango trees. Acta Horticulturae 291: 198-206.

Kanlayanarat, S. and S. Supatarapan. 1979. Studies on sex ratio, fruit setting and fruit drop of mango variety Nam Dok Mai (off-season type) in every month throughout the year. p.37 In: 17th Kasetsart University Conference, Plant Division, Bangkok. 94 p. (in Thai)

Kim, M., S.B. Kang, S.K. Yum, S.S. Kim, J. Joa and Y. Park. 2021. Influence of excessively high temperatures on the fruit growth and physicochemical properties of Shiranuhi mandarin in plastic-film greenhouse cultivation. Plants 10(8): 1525, doi: 10.3390/plants10081525.

- Ministry of Commerce. 2020. Ministry of commerce's public data: Agricultural price information. (Online). Available: https://data.moc.go.th/OpenData/GISProductPrice?product_id=P14013&from_date=2020-06-01&to_date=2020-07-31&task=search (June 28, 2024). (in Thai)
- Núñez-Eliséa, R. and T.L. Davenport. 1983. Abscission and ethylene production in mango (*Mangifera indica* L.) fruit cv. Tommy Atkins. Proceedings of the Florida State Horticultural Society 96: 185-188.
- Office of the Permanent Secretary Ministry of Commerce. 2022. 'Namdokmai' mango export. (Online). Available: <http://www.2.ops3.moc.go.th/> (August 14, 2022). (in Thai)
- Phuangchik, K. 2000. The fruit set of mango (*Mangifera indica* L.). Thai Science and Technology Journal 8(1): 44-50. (in Thai)
- Radanachalee, T. 2013a. Delayed harvest production. pp. 345-355. In: T. Radanachalee, W. Kumpoun and T. Jaroenkit (eds.). Mango: Production and Postharvest Technology. Postharvest Technology Innovation Center, Chiang Mai. (in Thai)
- Radanachalee, T. 2013b. Fruit thinning. pp. 193-202. In: T. Radanachalee, W. Kumpoun and T. Jaroenkit (eds.). Mango: Production and Postharvest Technology. Postharvest Technology Innovation Center, Chiang Mai. (in Thai)
- Radanachalee, T. and C. Tiyaon. 2010. Good Agricultural Practice (GAP) for Mango. 3rd ed. Multiple Cropping Center Faculty of Agriculture Chiang Mai University, Chiang Mai. 105 p. (in Thai)
- Radanachalee, T. and R. Utumpan. 2010. Developing Thai Mangoes to become Global mangoes. Faculty of Agriculture Chiang Mai University, Chiang Mai. 148 p. (in Thai)
- Rajatiya, J., D.K. Varu, P. Gohil, M. Solanki, F. Halepotara, M. Gohil, P. Mishra and R. Solanki. 2018. Climate change: Impact, mitigation and adaptation in fruit crops. International Journal of Pure and Applied Bioscience 6(1): 1161-1169.
- Ranganna, S. 1986. Handbook of Analysis and Quality Control for Fruit and Vegetable Products. 2nd ed. McGraw-Hill Publishing Co., Ltd., New Delhi. 1112 p.
- Richardson, A.C., K.B. Marsh, H.L. Boldingh, A.H. Pickering, S.M. Bulley, N.J. Frearson, A.R. Ferguson, S.E. Thimber, K.M. Bolitho and E.A. Macrae. 2004. High growing temperatures reduce fruit carbohydrate and vitamin C in kiwifruit. Plant, Cell and Environment 27(4): 423-435.
- Rumainum, I.M., K. Worarad, V. Srilaong and K. Yamane. 2018. Fruit quality and antioxidant capacity of six Thai mango cultivars. Agriculture and Natural Resources 52(2): 208-214.
- Singh, Z., A.U. Malik and T.L. Davenport. 2005. Fruit drop in mango. Horticultural Reviews 31: 111-153.
- Sukhvibul, N. 2013. Fruit set. pp. 25-28. In: T. Radanachalee, W. Kumpoun and T. Jaroenkit (eds.). Mango: Production and Postharvest Technology. Postharvest Technology Innovation Center, Chiang Mai. (in Thai)
- Wang, S.Y. and M.J. Camp. 2000. Temperatures after bloom affect plant growth and quality of strawberry. Scientia Horticulturae 85(3): 183-199.

Weather Spark. 2020. Weather condition in the past
2020 in Chiang Mai. (Online). Available:
<https://th.weatherspark.com/h/y/112821/2020/สภาพอากาศในอดีตระหว่างปี-พ.ศ.-2563-ใน-เชียงใหม่-ไทย#Figures-Summar>
(June 21, 2024). (in Thai)

การตอบสนองต่อการคัดเลือกพันธุ์แบบหมู่ประยุกต์ในประชากรฟักทองประดับ ผลสีขาวและสีส้ม

Response to Modified Mass Selection in White and Orange Fruit Skin Ornamental Pumpkin (*Cucurbita pepo* L.) Populations

รัฐพร คำฝั้น กมล ทิพโชติ ต่อนภา พุสดี และจุฑามาส คุ่มชัย*
Rattapohn Khamfun, Kamon Thippachote, Tonapha Pusadee and Jutamas Kumchai*

ภาควิชาพืชศาสตร์และปฐพีศาสตร์ คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ จ. เชียงใหม่ 50200

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

* Corresponding author: Email: tkkumm6@gmail.com

(Received: 18 December 2023; Accepted: 19 April 2024)

Abstract: Two populations of white and orange skin ornamental pumpkins (*Cucurbita pepo* L.) were collected from a farmer's field in Northern Thailand and then subjected to modified mass selection in three cycles, with the objective of increasing the number of fruits per plant and frequency of skin color in both populations. Progenies seed of base population (M_0) and three improved populations (M_1 , M_2 and M_3) were evaluated in separated experiments at the Agricultural Innovation Research, Integration, Demonstration, and Training Center, Faculty of Agriculture, Chiang Mai University, from November 2020 to January 2021. The experimental design followed a randomized complete block design. The results revealed that after undergoing three selection cycles (M_3), the white and orange fruit skin populations showed an increase in the number of fruits per plant compared to the initial population (M_0). The white fruit population exhibited an increase of 1.7 fruits per plant per selection cycle, resulting in a response rate of 88.6%. Similarly, the orange fruit population demonstrated an increase of 1.7 fruits per plant per selection cycle, with a response rate of 97.9%. Furthermore, the frequency of white fruit skin in the third selected cycle of the white fruit population increased by 33.3%, while the frequency of orange fruit skin in the selected orange fruit population increased by 27.0%. The two populations showed the similar trends of the correlation coefficient. This study highlights that mass selection can effectively enhance the number of fruit per plant and the frequency of white and orange fruit skin in ornamental pumpkin populations. The improved populations can serve as valuable genetic resources for future breeding endeavors.

Keywords: *Cucurbita pepo*, population improvement, response to selection, open-pollinated variety

บทคัดย่อ: ประชากร 2 กลุ่มของฟักทองประดับผลสีขาวและสีส้ม (*Cucurbita pepo* L.) ถูกเก็บจากไร่เกษตรกรในภาคเหนือของประเทศไทย แล้วนำมาคัดเลือกแบบหมู่ประยุกต์ จำนวน 3 รอบ โดยมีจุดประสงค์เพื่อเพิ่มจำนวนผลต่อต้นและความถี่ของสีผิวของทั้ง 2 ประชากร นำเมล็ดของประชากรเริ่มต้น (M_0) และ ประชากรที่ผ่านการคัดเลือก (M_1 , M_2 และ M_3) ของทั้ง 2 ประชากร ปลูกประเมินในการทดลองที่แยกกัน ณ ศูนย์วิจัย นวัตกรรม การสาธิตและฝึกอบรม วนวัฒนกรรมเกษตร คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ ในช่วงเดือนพฤศจิกายน 2563 - มกราคม 2564 โดยวางแผนการทดลองแบบสุ่มในบล็อกสมบูรณ์ ผลการศึกษาพบว่า ประชากรทั้ง 2 กลุ่มสีผิวที่ผ่านการคัดเลือก 3 รอบ (M_3) มีจำนวนผลต่อต้นเพิ่มขึ้นจากประชากรเริ่มต้น (M_0) โดยในประชากรกลุ่มผลสีขาวมีอัตราเพิ่มขึ้น 1.7 ผลต่อต้นต่อการคัดเลือก การตอบสนองร้อยละ 88.6 และในประชากรกลุ่มผลสีส้มมีอัตราเพิ่มขึ้น 1.7 ผลต่อต้นต่อการคัดเลือก การตอบสนองร้อยละ 97.9 นอกจากนี้ความถี่ของผลสีขาวในประชากรกลุ่มผลสีขาวที่ผ่านการคัดเลือก 3 รอบ เพิ่มขึ้นร้อยละ 33.3 และในประชากรกลุ่มผลสีส้มมีความถี่ของผลสีส้มเพิ่มขึ้นร้อยละ 27.0 ค่าสหสัมพันธ์ของลักษณะทางพืชสวนที่มีค่าบวกและมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ในประชากรกลุ่มผลสีขาว และสีส้มพบว่าแสดงออกคล้ายกัน จากการศึกษาครั้งนี้ชี้ให้เห็นว่า การคัดเลือกพันธุ์แบบหมู่ประยุกต์สามารถเพิ่มจำนวนผลต่อต้นและความถี่ของผลสีขาวและส้มในประชากรฟักทองประดับได้ ซึ่งประชากรที่ผ่านการปรับปรุงนี้สามารถใช้เป็นแหล่งพันธุกรรมสำหรับสกัดสายพันธุ์ต่อไปได้

คำสำคัญ: ฟักทองประดับ การปรับปรุงประชากร ความก้าวหน้าของการคัดเลือก พันธุ์ผสมเปิด

บทนำ

ฟักทองประดับ (ornamental pumpkin) เป็นพืชในกลุ่มฟักทอง จัดอยู่ในวงศ์แตง (Cucurbitaceae) ชื่อวิทยาศาสตร์ *Cucurbita pepo* L. มีถิ่นกำเนิดในทวีปอเมริกา โดยทั่วไปผลมีหลายสี ได้แก่ สีส้ม สีขาว สีเหลือง สีครีม และสีต่าง นอกจากนี้รูปร่างและขนาดผลมีความหลากหลายเช่นกัน (Bratsch, 2009; Hazra et al., 2007) ฟักทองประดับถูกนำไปใช้ประโยชน์ในด้านความเชื่อและศาสนา โดยชาวจีนนิยมใช้ผลสีขาว คู่กับผลสีส้มที่มีรูปร่างผลคล้ายงูนำมาบูชาเทพเจ้า ในช่วงเทศกาลตรุษจีนและสารทจีน โดยมีความเชื่อว่าผลสีขาวหมายถึงเงินและผลสีส้มหมายถึงทอง จึงเป็นสิริมงคลแก่ครอบครัว และสามารถตั้งบูชาไว้ได้นานเกือบ 3 เดือน เนื่องจากผลที่แก่จัดมีเปลือกและขั้วแข็ง นอกจากนี้ยังสามารถใช้ประโยชน์ในด้านการปลูกเพื่อประดับตกแต่งสถานที่ และนำมาประกอบอาหารได้ (Sriubon, 2023)

ประเทศไทยมีสภาพภูมิอากาศเหมาะสมสำหรับการผลิตพืชวงศ์แตง โดยเฉพาะฟักทองประดับ ซึ่งจังหวัดเชียงใหม่เป็นจังหวัดที่มีพื้นที่การผลิตมากที่สุด

ประมาณ 80 ไร่ (Sriubon, 2023) แต่มักพบปัญหาในการผลิต คือ การขาดแคลนเมล็ดพันธุ์ฟักทองประดับพันธุ์ดี และเกษตรกรนิยมคัดเลือกและเก็บเมล็ดพันธุ์ไว้ใช้เองตามวิธีการที่ปฏิบัติสืบต่อกันมา เนื่องจากฟักทองประดับมีการแสดงเพศดอกแยกเพศเมียและเพศผู้อยู่ภายในต้นเดียวกัน (monoecious) จึงเป็นพืชผสมข้ามตามธรรมชาติ ซึ่งหากมีการผสมเปิดหรือผสมข้ามจะเกิดการกระจายตัวทางพันธุกรรม (segregation) ส่งผลให้มียีนที่ควบคุมลักษณะต่าง ๆ อยู่ในสภาพที่ไม่คงตัว (heterozygous) (Robinson, 2000; Samphantharak, 2003) ดังนั้น การที่เกษตรกรเก็บเมล็ดพันธุ์ไว้ใช้เองโดยไม่มีการควบคุมการผสมเกสร ส่งผลให้เมล็ดที่เก็บในแต่ละรุ่นการผลิตมีสีผิวไม่สม่ำเสมอ ก่อให้เกิดการสูญเสียมูลค่าทางเศรษฐกิจในแต่ละรอบการผลิตประมาณ 10 - 20 เปอร์เซ็นต์

การคัดเลือกพันธุ์แบบหมู่ประยุกต์เป็นวิธีการที่ดัดแปลงมาจากการคัดเลือกหมู่ (mass selection) ซึ่งแตกต่างกับวิธีการคัดเลือกแบบหมู่ประยุกต์ เนื่องจากมีการคัดเลือกต้นพ่อพันธุ์ที่มีลักษณะตามวัตถุประสงค์ที่ต้องการ สำหรับใช้ในการผสมข้ามแต่ละรอบ โดยเก็บเรณูจากหลายต้นแล้วนำไปรวมกัน เพื่อใช้ผสมเฉพาะใน

กลุ่มต้นที่คัดเลือก ซึ่งเป็นการคัดเลือกทั้งต้นพ่อและต้นแม่ควบคู่กัน ในขณะที่วิธีการคัดเลือกหมู่ไม่มีขั้นตอนการคัดเลือกต้นพ่อก่อนการผสมเกสร สามารถคัดเลือกได้แต่ต้นแม่เท่านั้น ทำให้มีลักษณะที่ไม่ต้องการติดมาด้วย ดังนั้นการคัดเลือกแบบหมู่ประยุกต์จึงทำให้มีโอกาสสะสมลักษณะดีที่ต้องการและสามารถคัดลักษณะที่ไม่ต้องการทั้งได้ในทุกรอบการคัดเลือกอย่างมีประสิทธิภาพมากกว่าการคัดเลือกแบบหมู่ นอกจากนี้ยังเป็นวิธีการที่ประหยัด สะดวก และทำได้ง่าย (Yong *et al.*, 2020) จากงานวิจัยของ Intavaree *et al.* (2014) พบว่า การคัดเลือกพันธุ์แบบหมู่ประยุกต์จำนวน 3 รอบ สามารถเพิ่มระดับความต้านทานต่อโรคใบหงิกเหลืองในประชากรแตงกวาได้ นอกจากนี้ในงานวิจัยของ Hussanun *et al.* (2012) พบว่า การคัดเลือกพันธุ์แบบหมู่ประยุกต์จำนวน 4 รอบ สามารถเพิ่มปริมาณสารแอนโทไซยานินในเมล็ดในระยะรับประทานผักสดของประชากรข้าวโพดข้าวเหนียวสีม่วงได้ และงานวิจัยของ Ketthaisong *et al.* (2009) พบว่า การคัดเลือกพันธุ์แบบหมู่ประยุกต์จำนวน 4 รอบ สามารถเพิ่มลักษณะผักกอกจำนวนผักต่อต้น จำนวนผักดีต่อไร่ ในข้าวโพดเทียนขอนแก่นคอมโพสิตได้

ในการศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อประเมินการตอบสนองต่อการคัดเลือกในการเพิ่มผลผลิตและความถี่สีผล ในประชากรฟักทองระดับกลุ่มผลสีขาวและสีส้มที่ผ่านการคัดเลือกแบบหมู่ประยุกต์จำนวน 3 รอบ เพื่อเป็นประโยชน์ในการพัฒนาปรับปรุงสายพันธุ์ให้เหมาะสมกับพื้นที่ และมีคุณสมบัติตรงตามความต้องการของตลาด

อุปกรณ์และวิธีการ

การรวบรวมประชากรพื้นฐาน

รวบรวมฟักทองระดับพันธุ์ผสมเปิดจาก 5 แหล่ง ได้แก่ เกษตรกรจำนวน 4 ราย ในพื้นที่อำเภอดอยหล่อ จังหวัดเชียงใหม่ และอำเภอป่าซาง จังหวัดลำพูน และพันธุ์ผสมเปิดจากคณะเกษตรศาสตร์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ โดยคัดเลือกฟักทองระดับผล

สีขาวและสีส้ม ต้นที่คัดเลือกให้ผลผลิต 2 ผลต่อต้นขึ้นไป รูปทรงและขนาดตรงตามความต้องการของตลาด เพื่อใช้เป็นเชื้อพันธุ์กรรมของประชากรเริ่มต้น (M_0) ซึ่งจะได้ประชากรพื้นฐาน 2 กลุ่ม ได้แก่ กลุ่มผลสีขาวและกลุ่มผลสีส้ม

การปรับปรุงประชากรโดยวิธีการคัดเลือกแบบหมู่ประยุกต์

นำประชากรเริ่มต้น (M_0) มาทำการคัดเลือกแบบหมู่ประยุกต์ ซึ่งแต่ละรอบคัดเลือกประชากรจำนวน 10 - 20 ต้น จากรุ่น M_0 ทั้งหมด 100 - 200 ต้น รอบการคัดเลือกแบ่งเป็น 3 ระยะ ได้แก่ 1) ระยะการเจริญเติบโตทางด้านลำต้น (การคัดเลือกระยะก่อนการผสมเกสร) โดยคัดเลือกต้นที่แข็งแรงสมบูรณ์ ไม่แสดงอาการของโรคจากไวรัส และไม่แสดงอาการผิดปกติจากการเข้าทำลายของแมลง จากนั้นทำเครื่องหมายบนต้นที่คัดเลือกไว้ เมื่อถึงระยะผสมเกสรหรือประมาณ 25 วันหลังปลูก รวบรวมเรณูจากต้นที่คัดเลือก นำมาผสมกับดอกเพศเมียภายในกลุ่มต้นที่คัดเลือกไว้เท่านั้น 2) ระยะการพัฒนาของผล ในประชากรกลุ่มผลสีขาวคัดเลือกต้นที่ให้ผลสีขาว และในประชากรกลุ่มผลสีส้มคัดเลือกต้นที่ให้ผลสีส้ม ซึ่งให้ผลผลิต 3 ผลต่อต้นขึ้นไป รูปทรงตรงตามความต้องการของตลาด ได้แก่ รูปทรงแบน (flattened) และเส้นผ่านศูนย์กลางผลขนาด 7 - 10 เซนติเมตร ต้นแข็งแรงสมบูรณ์ ไม่แสดงอาการของโรคที่เกิดจากไวรัส และไม่แสดงอาการผิดปกติจากการเข้าทำลายของแมลง 3) ระยะผลแก่คัดเลือกต้นที่ให้ผลสมบูรณ์ ผลไม่มีสีต่างเขียวจากการเข้าทำลายของไวรัส และรูปทรงไม่ผิดปกติเนื่องจากการเข้าทำลายของแมลง เมื่อคัดเลือกระยะสุดท้ายแล้วเก็บผลจากต้นที่คัดเลือกลำมาสดเมล็ดพันธุ์เพื่อใช้เป็นประชากรที่ผ่านการคัดเลือกรอบที่หนึ่ง (M_1) โดยในการคัดเลือกรอบต่อไปทำเช่นเดียวกับวิธีการคัดเลือกในรอบ M_1 โดยปลูกคัดเลือกจนถึง M_3 ได้ประชากรเริ่มต้นจนถึงประชากรที่ผ่านการคัดเลือกทั้งหมด 8 ประชากร (M_0 , M_1 , M_2 และ M_3) ประกอบด้วยประชากรกลุ่มผลสีขาว 4 ประชากร และกลุ่มผลสีส้ม 4 ประชากร (Figure 1)

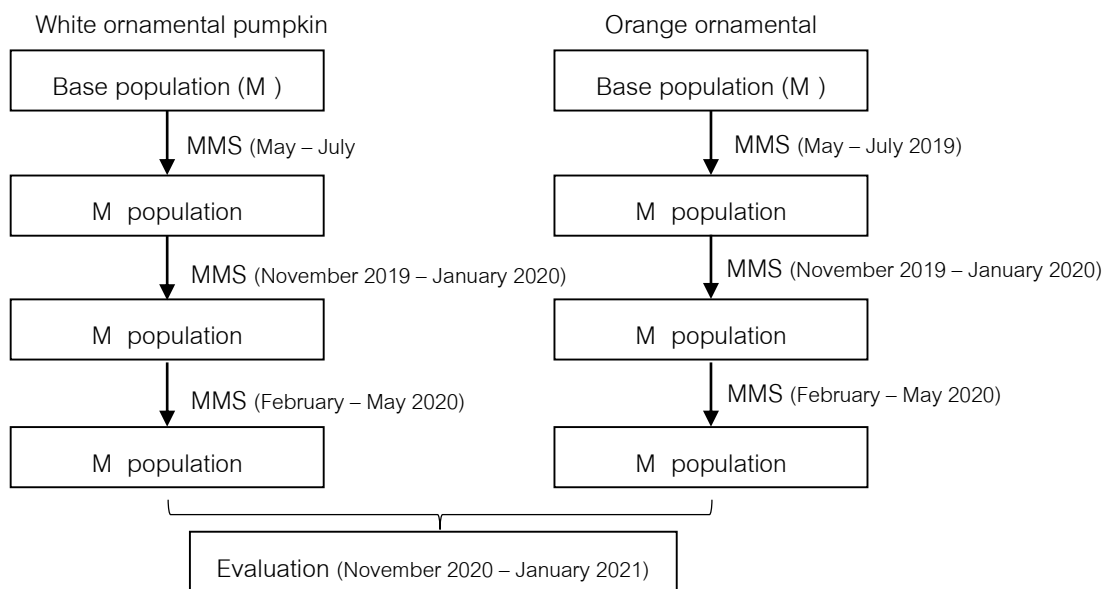


Figure 1. Schematic representation of MMS- modified mass selection

การทดสอบเปรียบเทียบประชากร

ปลูกทดสอบพักทองประดับทั้งหมด 2 การทดลอง รวม 8 ประชากร ในเดือนพฤศจิกายน 2563 ถึง มกราคม 2564 ณ ศูนย์วิจัย บุรณการ สาริต และ ผักอบรมนวัตกรรมการเกษตร คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ วางแผนการทดลองแบบสุ่มในบล็อกผสมบูรณ์ (randomized complete block design; RCBD) จำนวน 4 ซ้ำ มีประชากรกลุ่มผลสีขาวรุ่น M_0 , M_1 , M_2 และ M_3 รวมทั้งสิ้น 4 กรรมวิธี และประชากรกลุ่มผลสีส้มรุ่น M_0 , M_1 , M_2 และ M_3 รวมทั้งสิ้น 4 กรรมวิธี ปลูกซ้ำละ 30 ต้น ระยะปลูกระหว่างแถว 75 เซนติเมตร และระหว่างต้น 50 เซนติเมตร เก็บเกี่ยวผลผลิตในระยะ 30 วันหลังการผสมเกสร โดยประเมินองค์ประกอบของผลผลิต ได้แก่ อายุออกดอกเพศผู้และเพศเมียนับจากวันเพาะเมล็ด จำนวนดอกเพศผู้และเพศเมียต่อต้น จำนวนผลต่อต้น น้ำหนักผล การติดผล (คำนวณจาก (จำนวนผลต่อต้น $\times$ 100) / จำนวนดอกเพศเมียต่อต้น) เส้นผ่านศูนย์กลางของผล และสีผล วิเคราะห์ความแปรปรวนของลักษณะที่ทำการศึกษ ตามแผนการทดลองแบบ RCBD ทำการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยด้วยวิธี LSD ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ ประเมิน

ความก้าวหน้าในการคัดเลือกพันธุ์ โดยใช้การวิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้นอย่างง่าย (simple linear regression) คำนวณหาความชัน (Slope; b) ทดสอบค่า b แตกต่างกับศูนย์โดยใช้ t-test และวัดระดับความสัมพันธ์ระหว่างลักษณะต่าง ๆ โดยใช้สหสัมพันธ์อย่างง่าย (simple correlation) ของค่าเฉลี่ยต่อแปลง (plot mean) (Gomez and Gomez, 1984)

สูตรคำนวณหาค่าความชัน

$$b = \frac{\sum XiYi - \frac{(\sum Xi)(\sum Yi)}{n}}{\sum Xi^2 - \frac{(\sum Xi)^2}{n}}$$

เมื่อ b คือ ความชัน

X_i คือ ค่าของตัวแปรต้น

Y_i คือ ค่าของตัวแปรตาม

n คือ จำนวนข้อมูลในกลุ่มตัวอย่าง

ผลการศึกษาและวิจารณ์

การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ย

จากการทดลองพบว่า ประชากรพักทองประดับในกลุ่มผลสีขาวทั้ง 4 รุ่น มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ

ทางสถิติในลักษณะอายุออกดอกเพศผู้และเพศเมีย โดยในรุ่น M_0 มีอายุออกดอกน้อยที่สุด เฉลี่ย 42.4 และ 44.6 วันหลังเพาะเมล็ด ตามลำดับ จำนวนผลต่อต้นมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยพบว่าในประชากรรุ่น M_3 มีจำนวนผลต่อต้นสูงที่สุด เฉลี่ย 2.3 ผล ส่วนจำนวนดอกเพศผู้และดอกเพศเมียต่อต้น และขนาดผล ไม่แตกต่างกันทางสถิติ (Table 1) สำหรับประชากรฟักทองระดับกลุ่มผลสีส้มทั้ง 4 รุ่น มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติในลักษณะจำนวนผลต่อต้น โดยในประชากรรุ่น M_3 มีจำนวนผลต่อต้นสูงที่สุด เฉลี่ย 2.9 ผล (Table 2)

การตอบสนองต่อการคัดเลือกพันธุ์

จากการทดลองพบว่าประชากรฟักทองระดับที่ผ่านการคัดเลือกแบบหมุนประยุกต์จำนวน 3 รอบ ทั้งในกลุ่มผลสีขาวและสีส้มมีความก้าวหน้าและตอบสนอง

ต่อการคัดเลือกในลักษณะจำนวนผลต่อต้น โดยในกลุ่มผลสีขาวเพิ่มขึ้นจาก 1.2 ผล ของประชากรรุ่น M_0 เป็น 2.3 ผลในประชากรรุ่น M_3 ซึ่งมีความก้าวหน้าเพิ่มขึ้น 1.7 ผลต่อต้นต่อรอบ การตอบสนองร้อยละ 88.6 (Table 1) และกลุ่มผลสีส้มเพิ่มขึ้นจาก 1.4 ผลของประชากรรุ่น M_0 เป็น 2.9 ผลในประชากรรุ่น M_3 ซึ่งมีความก้าวหน้าเพิ่มขึ้น 1.7 ผลต่อต้นต่อรอบ การตอบสนองร้อยละ 97.9 (Table 2) สอดคล้องกับงานทดลองของ Wessel-Beaver (2005) ซึ่งรายงานว่าการปรับปรุงพันธุ์ฟักทองโดยใช้วิธีการคัดเลือกหมุนจำนวน 3 รอบ ได้ฟักทองพันธุ์ Soler ที่ให้ผลผลิตต่อต้นสูง และให้ลักษณะอื่น ๆ ดี เช่น ความหนาเนื้อ เส้นใยอาหาร เป็นต้น นอกจากนี้จากงานทดลองของ Abd El-Hadi *et al.* (2015), El-Shoura and Abed (2018) และ Singh *et al.* (2019) พบว่าค่าอัตราพันธุกรรมของลักษณะจำนวนผล

Table 1. Average values of yield and its components progenies of the original population and the three cycled selections in the white ornamental pumpkin

Cycles	Days to 1 st flower (day)		Number of flowers per plant (flower)		Number of fruits per plant (fruit)	Fruit weight (g)	Fruit diameter (cm)
	Male	Female	Male	Female			
M_0	42.4 c	44.6 b	18.2	6.8	1.2 b	301.5	9.0
M_1	47.2 a	49.7 a	17.9	7.1	1.5 b	330.6	9.3
M_2	44.7 b	48.9 a	18.6	6.4	1.6 b	363.6	9.7
M_3	46.6 ab	49.5 a	17.9	7.1	2.3 a	338.9	9.4
Mean	45.2	48.2	18.2	6.8	1.7	333.6	9.3
F-test	*	*	ns	ns	*	ns	ns
C.V. (%)	2.9	5.0	4.9	12.9	21.2	22.6	7.4
b-value ¹	0.2 ^{ns}	0.1 ^{ns}	-0.4 ^{ns}	0.0 ^{ns}	1.7*	0.0 ^{ns}	0.5 ^{ns}
Increase (%)	9.7	11.0	-1.6	4.3	88.6	12.4	4.2

., Means with common letter within the same column are not significant by LSD at $P \leq 0.05$ (ns = non-significant, * = significant)

The Increasing (%) is calculated from ((Population improvement - Base population) / Base population) x 100

¹ The b-value signifies a deviation from zero (ns = non-significant, * = significant)

Table 2. Average values of yield and its components progenies of the original population and the three cycled selections in the orange ornamental pumpkin

Cycles	Days to 1 st flower (day)		Number of flowers per plant (flower)		Number of fruits per plant (fruit)	Fruit weight (g)	Fruit diameter (cm)
	Male	Female	Male	Female			
M ₀	41.9	43.4	18.3	6.7	1.4 c	186.5	7.4
M ₁	42.3	45.1	17.4	7.6	1.9 b	181.5	7.4
M ₂	41.4	43.9	18.0	7.0	2.2 b	206.5	7.9
M ₃	41.5	43.6	17.5	7.5	2.9 a	198.6	7.5
Mean	41.8	44.0	17.2	7.2	2.1	193.3	7.6
F-test	ns	ns	ns	ns	*	ns	ns
C.V. (%)	2.2	2.8	2.6	6.3	11.1	18.2	5.6
b-value ¹	-0.47 ^{ns}	-0.0 ^{ns}	-0.4 ^{ns}	0.7 ^{ns}	1.7*	0.0 ^{ns}	0.4 ^{ns}
Increase (%)	-1.0	0.5	-4.2	11.4	97.9	6.5	1.9

., Means with common letter within the same column are not significant by LSD at $P \leq 0.05$ (ns = non-significant, * = significant)

The Increasing (%) is calculated from ((Population improvement - Base population) / Base population) x 100

¹ The b-value signifies a deviation from zero (ns = non-significant, * = significant)

ต่อต้านในฟักทองกลุ่ม *C. pepo* มีค่าสูง 75.2, 94.84 และ 90.0 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ดังนั้นในการคัดเลือกพันธุ์แบบหมุนจึงมีโอกาสดูเพิ่มจำนวนผลต่อต้านเนื่องจากมีอัตราการถ่ายทอดไปยังรุ่นต่อไปสูง และการคัดเลือกพันธุ์แบบหมุนประยุกต์เป็นวิธีที่สามารถคัดเลือกลักษณะที่มีลักษณะดี และนำมาผสมในแต่ละรอบการคัดเลือก (Yong *et al.*, 2020) ดังนั้นจึงเป็นการเพิ่มประสิทธิภาพการคัดเลือก และช่วยเพิ่มปริมาณผลผลิตของฟักทองประดับได้ ส่วนอายุออกดอก จำนวนดอกเพศผู้ต่อต้าน จำนวนดอกเพศเมียต่อต้าน และขนาดผลไม่ตอบสนองต่อการคัดเลือก

การคัดเลือกแบบหมุนประยุกต์จำนวน 3 รอบ ส่งผลให้ค่าเฉลี่ยของผลสีขาวยและผลสีส้มเพิ่มขึ้นในทุกรอบการคัดเลือก โดยในประชากรกลุ่มผลสีขาวยมีค่าเฉลี่ยของผลสีขาวยเพิ่มขึ้นจากประชากรรุ่น M₀ จากร้อยละ 62.8 เป็นร้อยละ 83.8 ในประชากรรุ่น M₃ ซึ่งเพิ่มขึ้นคิดเป็นร้อยละ 33.3 ในขณะที่การกระจายตัวของสีผลอื่น ๆ มีความถี่ลดลง (Figure 2 และ Figure

4A) ส่วนประชากรกลุ่มผลสีส้มมีความถี่ของผลสีส้มเพิ่มขึ้นจากประชากรรุ่น M₀ จากร้อยละ 70.7 เป็นร้อยละ 89.8 ในประชากรรุ่น M₃ เพิ่มขึ้นคิดเป็นร้อยละ 27.0 ในขณะที่การกระจายตัวของสีผลอื่น ๆ มีความถี่ลดลง (Figure 3 และ Figure 4B) เนื่องจากสีผลฟักทองประดับมีลักษณะพันธุกรรมที่ควบคุมการแสดงออกของสีผลมากกว่า 1 ตำแหน่ง โดยแต่ละตำแหน่งมีอิทธิพลต่อกัน (epistasis) (Globerson, 1969) สีผลในแต่ละประชากรจึงมีโอกาสกระจายตัวเป็นสีผลต่าง ๆ ได้ ซึ่งการคัดเลือกลักษณะต่อต้านในฟักทอง เพาะปลูกคัดเลือกไว้เพียงต้นที่มีผลสีขาวหรือส้มเท่านั้น จึงมีผลทำให้สีที่ต้องการเพิ่มสูงขึ้น และสัดส่วนของสีที่ไม่ต้องการลดลง

สหสัมพันธ์ระหว่างลักษณะ

จากการวิเคราะห์สหสัมพันธ์ในประชากรกลุ่มผลสีขาวย พบว่าจำนวนผลต่อต้านมีความสัมพันธ์ทางบวกกับลักษณะจำนวนดอกเพศเมียต่อต้าน (0.24**) และการติดผล (0.79**) ซึ่งลักษณะที่มีความสัมพันธ์กับจำนวนผลต่อต้านนั้นมีค่าค่อนข้างต่ำ (Table 3) ส่วนใน

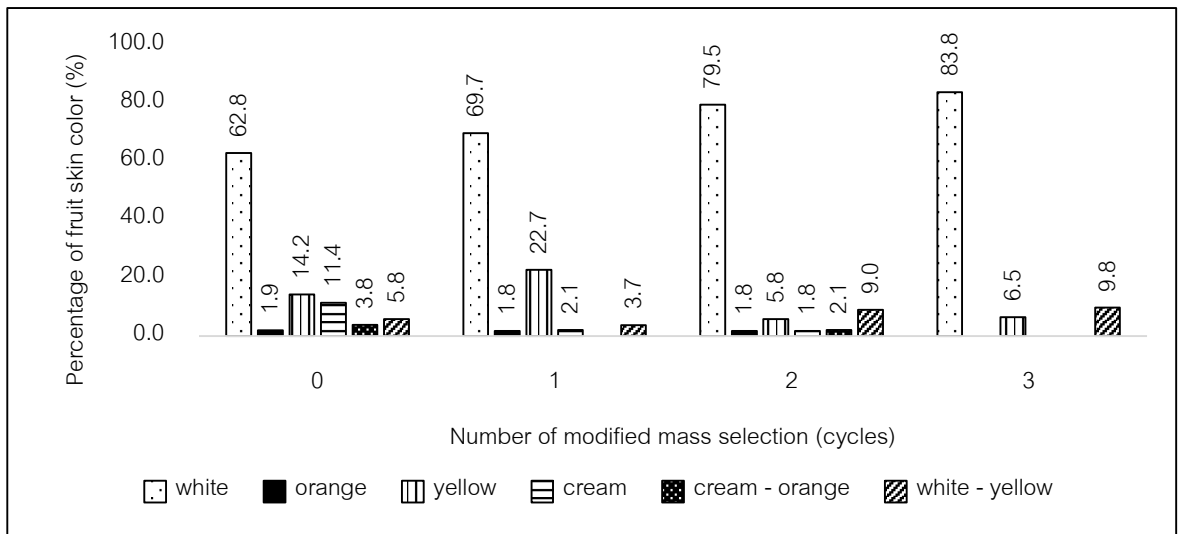


Figure 2. Assessment of three cycles modified mass selection of white skin in ornamental pumpkin population

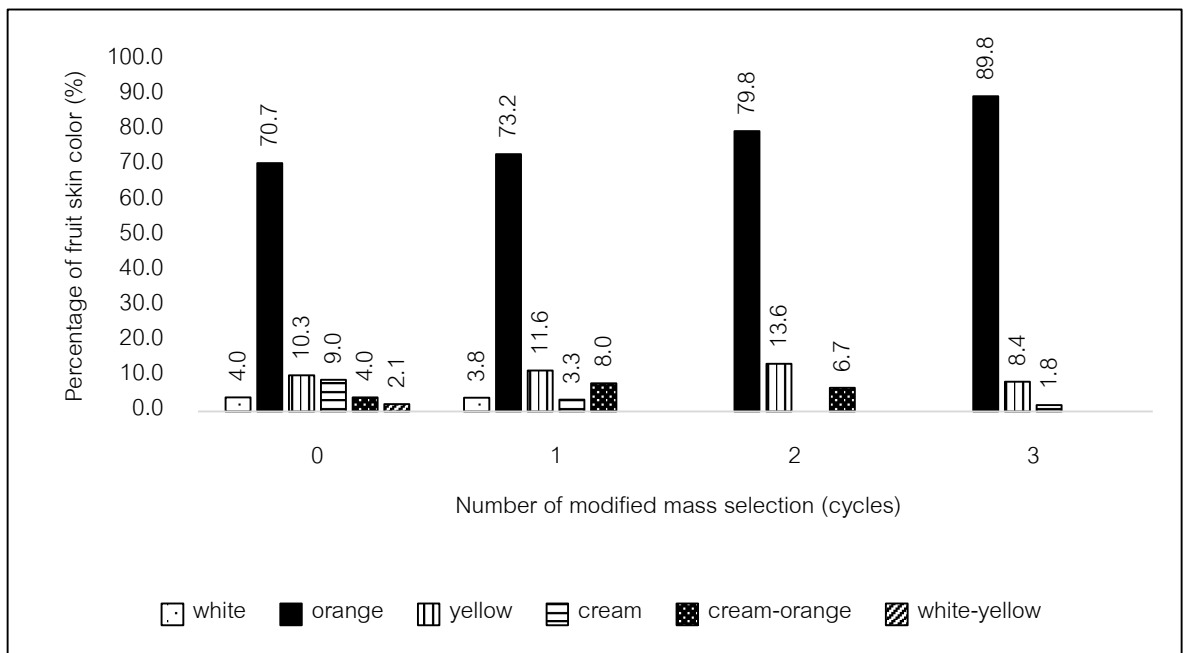


Figure 3. Assessment of three cycles modified mass selection of orange skin in ornamental pumpkin population

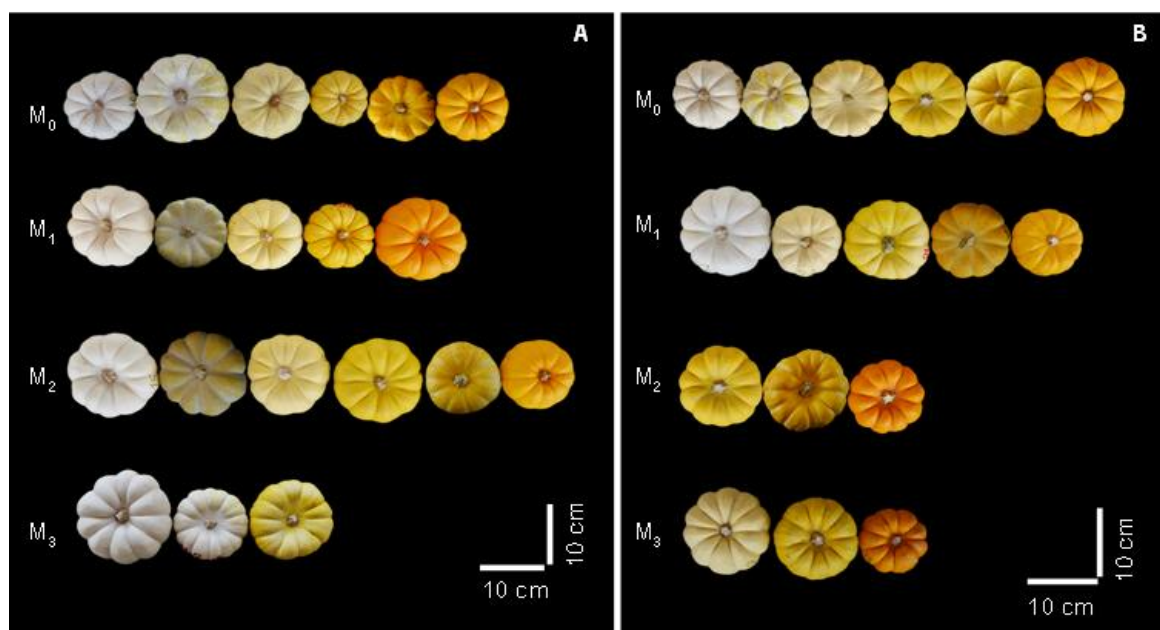


Figure 4. Fruit skin color segregation specifically in the white (A) and orange (B) ornamental pumpkin populations, comparing the original population with the outcomes across three cycles utilizing the modified mass selection

ประชากรกลุ่มผลสีส้ม พบว่า จำนวนผลต่อต้น มีความสัมพันธ์ทางบวกกับลักษณะจำนวนดอกเพศเมีย ต่อต้น (0.45^{**}) และการติดผล (0.64^{**}) (Table 4) เนื่องจากสัดส่วนดอกเพศเมียต่อต้นที่สูงจะเพิ่มโอกาสให้มีการติดผลสูงขึ้น และจากงานทดลองของ Wien *et al.* (2004) พบว่า การพัฒนาและออกดอกเพศเมียที่ช้า ในพืชของ *C. pepo* และ *C. maxima* ส่งผลให้จำนวนผลต่อต้นลดลง อย่างไรก็ตาม ลักษณะที่กล่าวมานั้นพบว่า ความสัมพันธ์ด้านจำนวนผลต่อต้นนั้นมีความค่อนข้างต่ำ นอกจากนี้ยังพบว่าลักษณะจำนวนผลต่อต้นไม่มีความสัมพันธ์กับอายุออกดอกเพศเมีย และขนาดผล โดยลักษณะที่มีค่าสหสัมพันธ์ต่ำหรือไม่มีสหสัมพันธ์ ($r=0$) นั้น แสดงว่าลักษณะที่ทำการศึกษามีความสัมพันธ์กันน้อย หรือไม่มีความสัมพันธ์กัน (Gomez and Gomez, 1984) ดังนั้นควรคัดเลือกลักษณะจำนวนผลต่อต้นโดยตรง ซึ่งจะเป็นวิธีที่มีประสิทธิภาพกว่าการคัดเลือกทางอ้อม เช่น เมื่อคัดเลือก

ลักษณะจำนวนผลต่อต้นในประชากรกลุ่มผลสีขาว ทางอ้อมผ่านลักษณะอายุออกดอกเพศเมียหรือจำนวนดอกเพศเมียต่อต้น ซึ่งเป็นลักษณะที่มีความสัมพันธ์กับจำนวนผลต่อต้นอยู่ในระดับต่ำ (ร้อยละ 26 และ 24 ตามลำดับ) จะส่งผลให้การคัดเลือกมีประสิทธิภาพต่ำกว่าการคัดเลือกลักษณะจำนวนผลต่อต้นโดยตรง (Table 3)

Table 3. Correlation coefficients of horticultural characteristics of the original population and the three cycled populations of the white ornamental pumpkin

Trait	1	2	3	4	5	6	7	8
2	0.60**							
3	-0.08	0.17**						
4	0.08	-0.17**	-1.00**					
5	-0.06	-0.17**	0.28**	-0.28**				
6	-0.07	-0.26**	-0.24**	0.24**	0.79**			
7	-0.04	0.03	0.13	-0.13	-0.07	-0.13		
8	-0.11	-0.03	0.10	-0.10	-0.05	-0.09	0.95**	
9	-0.10	-0.01	0.08	-0.08	-0.04	-0.05	0.81**	0.75**

ns, * and ** non-significant, significant at the 0.05 and 0.01 level of significance, respectively

1 = Days to male flower flowering 2 = Days to female flower flowering 3 = Number of male flowers per plant

4 = Number of female flowers per plant 5 = Fruit set 6 = Number of fruits per plant

7 = Fruit weight 8 = Fruit width 9 = Fruit length

Table 4. Correlation coefficients of horticultural characteristics of the original population and the three cycled populations of the orange ornamental pumpkin

Trait	1	2	3	4	5	6	7	8
2	0.34**							
3	-0.00	-0.17**						
4	0.00	0.17**	-1.00**					
5	-0.18**	-0.30**	0.26**	-0.26**				
6	-0.14*	-0.10	-0.45**	0.45*	0.64**			
7	0.03	-0.06	-0.14	0.14	-0.18**	-0.10		
8	0.00	-0.09	-0.14*	0.14*	-0.19**	-0.10	0.90**	
9	0.08	-0.08	-0.08	0.08	-0.07	-0.03	0.84**	0.80**

ns, * and ** non-significant, significant at the 0.05 and 0.01 level of significance, respectively

1 = Days to male flower flowering 2 = Days to female flower flowering 3 = Number of male flowers per plant

4 = Number of female flowers per plant 5 = Fruit set 6 = Number of fruits per plant

7 = Fruit weight 8 = Fruit width 9 = Fruit length

สรุป

การศึกษากการตอบสนองต่อการคัดเลือกพันธุ์แบบหมู่ประยุกต์ในประชากรฟักทองประดับจำนวน 3 รอบ สามารถเพิ่มจำนวนผลต่อต้นทั้งในประชากรกลุ่มผลสีขาวและสีส้ม โดยในประชากรกลุ่มผลสีขาวมีอัตราการเพิ่มขึ้น 1.7 ผลต่อต้นต่อรอบการคัดเลือก การตอบสนองร้อยละ 88.6 และในประชากรกลุ่มผลสีขาวมีอัตราการเพิ่มขึ้น 1.7 ผลต่อต้นต่อรอบการคัดเลือก การตอบสนองร้อยละ 97.9 นอกจากนี้ความถี่ของผลสีขาวในประชากรกลุ่มผลสีขาวที่ผ่านการคัดเลือก 3 รอบ เพิ่มขึ้นร้อยละ 33.3 และในประชากรกลุ่มผลสีส้มมีความถี่ของผลสีส้มเพิ่มขึ้นร้อยละ 27.0 และพบว่าลักษณะจำนวนผลต่อต้นมีสหสัมพันธ์ในทางบวกกับลักษณะจำนวนดอกเพศเมียต่อต้น และการติดผล ค่าสหสัมพันธ์ของลักษณะทางพืชสวนที่มีค่าบวกและมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ในประชากรกลุ่มผลสีขาว และสีส้มพบว่าแสดงออกคล้ายกันจากการศึกษานี้ชี้ให้เห็นว่าวิธีการคัดเลือกแบบหมู่ประยุกต์ สามารถนำมาใช้คัดเลือกและปรับปรุงพันธุ์เพื่อเพิ่มจำนวนผลต่อต้น และความถี่ของผลสีขาวและผลสีส้มในประชากรฟักทองประดับได้ ซึ่งประชากรที่ผ่านการปรับปรุงนี้สามารถใช้เป็นแหล่งพันธุกรรมเพื่อสกัดสายพันธุ์แท้ต่อไปได้

เอกสารอ้างอิง

- Abd El-Hadi, A.H., K.A. Zaied and M.S. Albrifcany. 2015. Heterosis and gene action studies of some yield and yield component traits in squash. *Journal of Agricultural Chemistry and Biotechnology* 6(5): 127-136.
- Bratsch, T. 2009. Specialty crop profile: Pumpkins. Virginia Cooperative Extension, Blackburg, Virginia. 8 p.
- El-Shoura, A.M. and M.Y. Abed. 2018. Heterosis and combining ability for development of squash hybrids (*Cucurbita pepo* L.). *Journal of Plant Production* 9(12): 1181-1187.
- Globerson, D. 1969. The inheritance of white fruit and stem color in summer squash *Cucurbita pepo* L. *Euphytica* 18(2): 249-255.
- Gomez, K.A. and A.A. Gomez. 1984. *Statistical Procedures for Agricultural Research*. 2nd ed. John Wiley & Sons, New York. 680 p.
- Hazra, P., A.K. Mandal, A.K. Dutta and H.H. Ram. 2007. Breeding pumpkin (*Cucurbita moschata* Duch. ex Poir.) for fruit yield and other characters. *International Journal of Plant Breeding* 1(1): 51-64.
- Hussanun, S., K. Lertrat and B. Suriharn. 2012. Response to four cycles of modified mass selection to increase total anthocyanin content in kernels of purple waxy corn populations. *Khon Kaen Agriculture Journal* 40(Suppl.4): 65-71. (in Thai)
- Intavaree, N., K. Lertrat and B. Suriharn. 2014. Responses to three cycles of modified mass selection for resistance to yellow leaf curl in a cucumber population. *Khon Kaen Agriculture Journal* 42(4) : 473- 480. (in Thai)
- Ketthaisong, D., K. Lertrat and B. Suriharn. 2009. Modified mass selection for prolificacy in small ear waxy corn Khon Kaen composite population. *Khon Kaen Agriculture Journal* 37(Suppl.): 33-36. (in Thai)
- Robinson, R.W. 2000. Rationale and methods for producing hybrid cucurbit seed. *Journal of New Seeds* 1(3-4): 1-47.
- Samphantharak, K. 2003. *Plant Breeding: Basics, Methods, and Concepts*. Department of Agronomy, Faculty of Agriculture, Kasetsart University, Bangkok. 237 p. (in Thai)

- Singh, M.K., V.B. Singh, G.C. Yadav and P. Kumar. 2019. Studies on variability, heritability (narrow sense) and genetic advance analysis for growth, yield and quality traits in pumpkin (*Cucurbita moschata* Duch. ex. Poir). Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry 8(3): 3621-3624.
- Sriubon, C. 2023. Ornamental pumpkins sell well during the Chinese New Year festival. (Online). Available: https://chiangmai.doae.go.th/doilo/?page_id=289 (August 23, 2023).
- Wessel-Beaver, L. 2005. Release of "Soler" tropical pumpkin. The Journal of Agriculture of the University of Puerto Rico 89(3-4): 263-266.
- Wien, H.C., S.C. Stapleton, D.N. Maynard, C. McClurg, and D. Riggs. 2004. Flowering, sex expression, and fruiting of pumpkin (*Cucurbita* sp.) cultivars under various temperatures in greenhouse and distant field trials. HortScience 39(2): 239-242.
- Yong, H., J. Tang, X. Zhao, F. Zhang, Z. Yang, Y. Li, M. Li, D. Zhang, Z. Hao, J. Weng, J. Han, B. Peng and X. Li. 2020. Effect of five modified mass selection cycles on combining ability in two Chinese maize populations. Euphytica 216: 57, doi: 10.1007/s10681-202-02591-0.
-

ผลของการกระตุ้นด้วยพลังงานไฟฟ้าและระยะเวลาในการกระตุ้นที่แตกต่างกัน ต่อการเจริญของเส้นใยและคุณภาพทางกายภาพของเห็ดหลินจือ

Effects of Electrical Energy Stimulation with Different Stimulation Time on Mycelium Growth and Physical Quality of Reishi Mushroom (*Ganoderma lucidum*)

ชุติมันต์ ใสเสี้ยว¹ แคทเธีย สอนธิยา¹ ณัฐณลาภณ์ ต่ายจันทร์¹ กวินธิดา สุขใส¹
ศุภณัฐ จะสนอง¹ พลกฤษณ์ มณีวระ^{2,3} ปาริชาติ เทียนจุมพล^{2,3} และ พิมพีใจ สีหะนาม^{1,2,3*}
Chootimun Saiseaw¹, Katthareeya Sonthiya¹, Natchalaphat Taichan¹, Kawinthida Suksai¹,
Supanut Jasanong¹, Phonkrit Maniwara^{2,3}, Parichat Theanjumpol^{2,3} and Pimjai Seehanam^{1,2,3*}

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 กองส่งเสริมและประสานเพื่อประโยชน์ทางวิทยาศาสตร์ วิจัยและนวัตกรรม

สำนักงานปลัดกระทรวง กระทรวงการอุดมศึกษา วิทยาศาสตร์ วิจัยและนวัตกรรม 10400

² Postharvest Technology Innovation Center, Science, Research and Innovation Promotion and Utilization Division,
Office of the Ministry of Higher Education, Science, Research and Innovation 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: 11 March 2024; Accepted: 4 September 2024)

Abstract: Effects of electrical stimulation of mycelium at various stimulation times on mycelium growth and physical quality of Reishi mushroom (*Ganoderma lucidum*) were studied. The results demonstrated that electrical stimulation at 100 kV caused the mycelium of Reishi mushrooms to grow faster on PDA than stimulation at 25 kV. When Reishi mushroom mycelium was treated with 100 kV electrical stimulation, prior to cultivating on millet seed medium, it grew vertically and horizontally faster than other treatments. Furthermore, it showed that the mycelium of Reishi mushroom treated with 50 kV electrical stimulation developed better on sawdust media than other treatments. When the mushrooms reached commercial maturity, Reishi mushroom stalk length grew from mycelium stimulated with 100 kV electrical energy was longer than stimulated with 25 kV electrical energy. Regarding the period of electrical stimulation, it was discovered that electrical stimulation for 30 seconds resulted in the best development of Reishi mushroom mycelium on PDA media. When the mycelium was applied to sorghum seed media, it showed that the length of electrical stimulation had no effect on mycelium growth, both vertical and horizontal. Furthermore, Reishi mushroom mycelium that had been electrically stimulated for 10 seconds grew more efficiently on sawdust than other treatments. However, the electrical energy level and period of electrically stimulating,

the mycelium had no influence on the basidiocarp width, length, thickness, diameter of stalk, fresh weight, and dry weight of the Reishi mushroom.

Keywords: Reishi mushroom, high-voltage methods, electrical stimulation, mushroom cultivation, mycelium growth

บทคัดย่อ: งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลของการกระตุ้นเส้นใยด้วยพลังงานไฟฟ้าและระยะเวลาในการกระตุ้นที่แตกต่างกันต่อการเจริญของเส้นใยและคุณภาพทางกายภาพของเห็ดหลินจือ พบว่า การกระตุ้นด้วยไฟฟ้า 100 kV ส่งผลให้เส้นใยเห็ดหลินจือเจริญบนอาหารวุ้นดีกว่าการกระตุ้นด้วยไฟฟ้า 25 kV เมื่อเลี้ยงเชื้อที่ผ่านการกระตุ้นด้วยไฟฟ้า 100 kV ในอาหารเมล็ดข้าวฟ่างมีแนวโน้มส่งผลให้เส้นใยเห็ดหลินจือเจริญทั้งแนวตั้งและแนวนอนเร็วกว่ากรรมวิธีอื่น และยังพบว่าเส้นใยเห็ดหลินจือที่ผ่านการกระตุ้นด้วยไฟฟ้า 50 kV เจริญบนวัสดุเพาะเชื้อได้ดีกว่ากรรมวิธีอื่น เมื่อดอกเห็ดเจริญถึงระยะแก่ทางการค้า พบว่า เห็ดหลินจือซึ่งเจริญจากเส้นใยที่ผ่านการกระตุ้นด้วยพลังงานไฟฟ้า 100 kV มีความยาวก้านดอกมากกว่าเห็ดหลินจือซึ่งเจริญจากเส้นใยที่ผ่านการกระตุ้นด้วยไฟฟ้า 25 kV สำหรับปัจจัยระยะเวลาในการกระตุ้นด้วยไฟฟ้า พบว่า การกระตุ้นด้วยไฟฟ้าเป็นเวลา 30 วินาที ส่งผลให้เส้นใยเห็ดหลินจือเจริญบนอาหารวุ้นดีที่สุด แต่ระยะเวลาในการกระตุ้นด้วยไฟฟ้าไม่มีผลต่อการเจริญของเส้นใยในอาหารเมล็ดข้าวฟ่างทั้งในแนวตั้งและแนวนอน นอกจากนี้ยังพบว่าเส้นใยเห็ดหลินจือที่ผ่านการกระตุ้นด้วยไฟฟ้าเป็นระยะเวลา 10 วินาที มีแนวโน้มเจริญบนวัสดุเพาะเชื้อได้ดีกว่ากรรมวิธีอื่น ทั้งนี้ปัจจัยระดับพลังงานไฟฟ้าและระยะเวลาในการกระตุ้นเส้นใยด้วยไฟฟ้าไม่มีผลต่อความกว้างดอก ความยาวดอก ความขนาดดอก เส้นผ่านศูนย์กลางของก้านดอก น้ำหนักสดของดอก และน้ำหนักแห้งของดอกเห็ดหลินจือ

คำสำคัญ: เห็ดหลินจือ วิธีการใช้ไฟฟ้าแรงสูง การกระตุ้นด้วยไฟฟ้า การเพาะเห็ด การเจริญของเส้นใย

คำนำ

เห็ดหลินจือ มีประวัติการใช้ประโยชน์มาอย่างยาวนาน ในด้านการส่งเสริมสุขภาพและการมีอายุยืนยาวในประเทศจีน ญี่ปุ่น และประเทศอื่น ๆ ในเอเชีย และยังเป็นเห็ดที่ได้รับการยอมรับว่าเป็นเห็ดสมุนไพรมานานกว่า 2,000 ปี (Wachtel-Galor *et al.*, 2011) ประเทศจีนเป็นประเทศที่มีการผลิตและส่งออกเห็ดหลินจือมากที่สุดในโลก ผลผลิตคิดเป็นประมาณ 75 เปอร์เซ็นต์ของโลก อีกทั้งความต้องการเห็ดหลินจือยังคงเพิ่มขึ้น 18-30 เปอร์เซ็นต์ ของทุกปี (Wang *et al.*, 2023) เห็ดหลินจือมีสรรพคุณทางยาสูงจนเป็นที่ยอมรับในด้านเป็นยาอายุวัฒนะ มีรายงานการศึกษาศาสตร์เคมีที่พบในเห็ดชนิดนี้ประมาณ 400 ชนิด ซึ่งเป็นสารในกลุ่มพอลิแซ็กคาไรด์ (polysaccharides) ไตรเทอร์พีน

(triterpenes) สเตียรอยด์ (steroids) และโปรตีน ที่มีสมบัติทางยาหลายประการ เช่น ต้านเชื้อแบคทีเรีย ต้านมะเร็ง ต้านไวรัส ต้านการอักเสบ ช่วยกำจัดอนุมูลอิสระ ช่วยในการนอนหลับ บำรุงตับ และกระตุ้นภูมิคุ้มกัน (Hapuarachchi *et al.*, 2016)

พลาสมา (plasma) เป็นสถานะที่ 4 ของสสาร เกิดจากการที่ก๊าซอยู่ในสภาวะที่ไม่สมดุลเนื่องจากถูกกระตุ้นด้วยสนามไฟฟ้าหรือได้รับพลังงานจากความร้อน ซึ่งทำให้อะตอมหรือโมเลกุลของก๊าซแตกตัวเป็นสถานะพลาสมา ประกอบด้วยอนุภาคต่าง ๆ เช่น reactive oxygen species (ROS), reactive nitrogen species (RNS) ไอออน และอนุมูลอิสระ ตัวอย่างของพลาสมาในธรรมชาติ ได้แก่ ดวงอาทิตย์ ซึ่งมีพลังงานความร้อนสูง ต่อมาได้กลายเป็นต้นแบบของ thermal plasma ขณะที่ออโรรา (aurora) ถูกใช้เป็นต้นแบบของ

cold plasma ปัจจุบันสามารถประยุกต์ใช้เทคโนโลยีพลาสมาได้หลากหลายด้าน เช่น การใช้ cold plasma เพื่อควบคุมการเจริญของจุลินทรีย์ในอาหารรวมถึงผลผลิตทางการเกษตร อีกทั้งยังเกี่ยวข้องกับการกำจัดสารพิษตกค้างในอาหาร (Misra *et al.*, 2019) สำหรับ high voltage discharge เป็นวิธีการหนึ่งที่ใช้สร้างพลาสมาในรูปแบบไฟฟ้า ซึ่งผลที่เกิดขึ้นหลังจากเกิดการ spark คือ สนามแม่เหล็กแรงสูง อนุภาคลิอิสระต่าง ๆ และไอซอน (Sun *et al.*, 2000) ทั้งนี้มีรายงานการใช้ high-voltage electrical ในการกระตุ้นการพัฒนาของเส้นใยเห็ดหลายชนิด เช่น การกระตุ้นเส้นใยเห็ดโคนญี่ปุ่น (*Tricholoma matsutake*) ด้วยกระแสไฟฟ้าในพื้นที่ป่าสนสามารถเพิ่มผลผลิตเห็ดมากขึ้น 2 เท่า และยังสามารถให้เห็ดมีขนาดและน้ำหนักเพิ่มมากขึ้นอย่างมีนัยสำคัญเมื่อเปรียบเทียบกับเห็ดที่ไม่ผ่านการกระตุ้นด้วยกระแสไฟฟ้า (Islam and Ohga, 2012) นอกจากนี้ยังมีรายงานว่าเห็ดหอมที่เลี้ยงเชื้อบนวัสดุขี้เลื่อยหรือท่อนไม้เมื่อได้รับการกระตุ้นโดยใช้กระแสไฟฟ้าแรงสูงส่งผลให้ผลผลิตสูงขึ้น (Ohga *et al.*, 2001; Takaki *et al.*, 2009) ซึ่งให้ผลไปในแนวทางเดียวกันกับการศึกษาในเห็ดอีกหลายชนิด เช่น *Pleurotus jp takizawa* (Yoshida *et al.*, 2015), *Pholiota nameko*, *Lentinula edodes* และ *Hypholoma lateritium* (Takaki *et al.*, 2018) งานวิจัยนี้จึงสนใจศึกษาผลของการกระตุ้นเส้นใยด้วยพลังงานไฟฟ้าและระยะเวลาในการกระตุ้นที่แตกต่างกันต่อการเจริญของเส้นใยและคุณภาพทางกายภาพของเห็ดหลินจือ

อุปกรณ์และวิธีการ

1. การวางแผนการทดลอง

วางแผนการทดลองแบบปัจจัยร่วมในสุ่มสมบูรณ์ (factorial in completely randomized design (factorial in CRD)) ประกอบด้วย 2 ปัจจัย ได้แก่ ปัจจัยที่ 1 คือ ระดับพลังงานไฟฟ้า มี 3 ระดับ (25, 50 และ 100 kV) ปัจจัยที่ 2 คือ ระยะเวลาที่ได้รับการกระตุ้นด้วยไฟฟ้า มี 3 ระดับ (10, 20 และ 30 วินาที) เปรียบเทียบ

กับชุดควบคุม คือ ไม่ผ่านการกระตุ้นด้วยไฟฟ้า โดยการกระตุ้นเส้นใยของเห็ด ประกอบด้วย 10 กรรมวิธี ดังนี้
กรรมวิธีที่ 1 กระตุ้นไฟฟ้า 25kV เป็นเวลา 10 วินาที
กรรมวิธีที่ 2 กระตุ้นไฟฟ้า 25kV เป็นเวลา 20 วินาที
กรรมวิธีที่ 3 กระตุ้นไฟฟ้า 25kV เป็นเวลา 30 วินาที
กรรมวิธีที่ 4 กระตุ้นไฟฟ้า 50kV เป็นเวลา 10 วินาที
กรรมวิธีที่ 5 กระตุ้นไฟฟ้า 50kV เป็นเวลา 20 วินาที
กรรมวิธีที่ 6 กระตุ้นไฟฟ้า 50kV เป็นเวลา 30 วินาที
กรรมวิธีที่ 7 กระตุ้นไฟฟ้า 100kV เป็นเวลา 10 วินาที
กรรมวิธีที่ 8 กระตุ้นไฟฟ้า 100kV เป็นเวลา 20 วินาที
กรรมวิธีที่ 9 กระตุ้นไฟฟ้า 100kV เป็นเวลา 30 วินาที
กรรมวิธีที่ 10 ไม่กระตุ้นไฟฟ้า (ชุดควบคุม)

2. การเตรียมตัวอย่างและการวัดการเจริญของเส้นใยเห็ดหลินจือบนอาหาร PDA

เส้นใยเห็ดหลินจือ (*G. lucidum*) สายพันธุ์ G2 จากโครงการศึกษาวิจัยและพัฒนาเกษตรกรรมบนพื้นที่สูงของมูลนิธิชัยพัฒนา ตำบลงปองน้ำร้อน อำเภอฝาง จังหวัดเชียงใหม่ ซึ่งเลี้ยงเส้นใยในอาหาร potato dextrose agar (PDA) นำมาเพิ่มปริมาณเชื้อโดยการถ่ายเชื้อ (subculture) ลงบนอาหาร PDA ในจานอาหารเลี้ยงเชื้อ แล้วให้เส้นใยเจริญที่อุณหภูมิห้อง (27-29 องศาเซลเซียส) จนกระทั่งมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 5 เซนติเมตร (Figure 1A) จากนั้นกระตุ้นเส้นใยด้วยกระแสไฟฟ้าตามกรรมวิธีต่าง ๆ ข้างต้น โดยใช้เครื่อง high voltage spark discharge (RAIZO, type Electric Stimulation Device, Model GM100, Japan) แต่ละกรรมวิธีประกอบด้วย 10 ซ้ำ บันทึกการเจริญของเส้นใย โดยกำหนดเส้นตรง 4 เส้น ลากตัดผ่านกันบนฝาของจานอาหารเลี้ยงเชื้อ ซึ่งลากผ่านจุดศูนย์กลางของเส้นใย จากนั้นวัดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเส้นใย 4 จุด/จานอาหารเลี้ยงเชื้อ ด้วยเวอร์เนียร์คาลิเปอร์ (รุ่น CD-6" บริษัท Mitutoyo Corporation ประเทศญี่ปุ่น) ทุกวัน จนกระทั่งเส้นใยเต็มจานอาหารเลี้ยงเชื้อ แล้วคำนวณหักลบจากเส้นผ่านศูนย์กลางเริ่มต้น จากนั้นนำมาหาค่าเฉลี่ยแล้วเปรียบเทียบกับเส้นใยของเห็ดที่ไม่ผ่านการกระตุ้นด้วยไฟฟ้า (ชุดควบคุม)

3. การเตรียมตัวอย่างและการวัดการเจริญของเส้นใยเห็ดหลินจือบนอาหารเมล็ดข้าวฟ่าง

ล้างเมล็ดข้าวฟ่างด้วยน้ำสะอาด จากนั้นนำไปต้มประมาณ 20 นาที หลังน้ำเดือด ซึ่งสังเกตเห็นเมล็ดข้าวฟ่างเริ่มปริแตก กรองเอาเฉพาะส่วนของเมล็ดข้าวฟ่างแล้วบรรจุลงในขวดแก้วขนาด 320 มิลลิลิตร ปริมาตร 2 ใน 3 ส่วนของขวด ปิดปากขวดด้วยก้านสำลี แล้วปิดทับด้วยกระดาษอีกหนึ่งชั้น จากนั้นนำไปนึ่งฆ่าเชื้อด้วยหม้อนึ่งความดัน (autoclave) ที่ความดัน 15 ปอนด์/ตารางนิ้ว อุณหภูมิ 121 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 40 นาที พักไว้จนเย็นที่อุณหภูมิห้อง (27-29 องศาเซลเซียส) จากนั้นนำชิ้นไม้เส้นใยเห็ดที่เจริญเติบโตบนอาหาร PDA กรรมวิธีต่าง ๆ วางลงบนอาหารเมล็ดข้าวฟ่างที่เตรียมไว้ โดยวางชิ้นไม้ติดติดด้านข้างขวด ผึ่งตรงข้ามกันสองด้าน (Figure 1B) แต่ละกรรมวิธีประกอบด้วย 10 ซ้ำ ให้เส้นใยเจริญที่อุณหภูมิห้อง แล้วบันทึกขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของเส้นใยทุก 2 วัน จนกระทั่งเส้นใยเจริญเต็มอาหารเมล็ดข้าวฟ่าง โดยบันทึกเส้นผ่านศูนย์กลาง 2 แนว คือ แนวตั้งและแนวราบด้วยสายวัด ความยาว 150 เซนติเมตร

4. การเตรียมตัวอย่างและการวัดการเจริญของเส้นใยบนวัสดุเพาะเชื้อเลี้ยง

เตรียมวัสดุเพาะเชื้อเลี้ยง มีส่วนประกอบดังนี้ เชื้อเลี้ยงไม่ยารพารา 100 กิโลกรัม รำละเอียด 7 กิโลกรัม ปูนขาว 1 กิโลกรัม ยิปซัม 1 กิโลกรัม กากน้ำตาล 500 กรัม และดีเกลือ 200 กรัม คลุกเคล้าส่วนผสมให้เข้ากัน

จากนั้นปรับความชื้นของวัสดุเพาะด้วยน้ำที่ปราศจากคลอรีนเพื่อให้วัสดุเพาะมีความชื้นประมาณ 60-70 เปอร์เซ็นต์ แล้วบรรจุวัสดุเพาะในถุงพลาสติกสำหรับเพาะเห็ด น้ำหนัก 800 กรัม/ถุง ใส่คอถุงและปิดฝาจนนำวัสดุเพาะไปนึ่งฆ่าเชื้อด้วยหม้อนึ่งแบบลูกทุ่ง ที่อุณหภูมิประมาณ 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 4 ชั่วโมง หลังน้ำเดือด แล้วพักวัสดุเพาะจนกระทั่งเย็นลงที่อุณหภูมิห้อง (27-29 องศาเซลเซียส) จากนั้นใส่หัวเชื้อเมล็ดข้าวฟ่างตามกรรมวิธีต่าง ๆ ลงในวัสดุเพาะประมาณ 10-15 เมล็ด/ถุง แต่ละกรรมวิธีประกอบด้วย 20 ซ้ำ โดยให้เส้นใยเจริญที่สภาพอุณหภูมิห้อง บันทึกการเจริญของเส้นใยทุก 3 วัน จนกระทั่งเส้นใยเจริญเต็มวัสดุเพาะ (Figure 2) แล้วย้ายก้อนวัสดุเพาะที่เส้นใยเจริญเต็มไปเปิดดอกในโรงเรือนเพาะเห็ด

5. การบันทึกคุณภาพทางกายภาพดอกเห็ดหลินจือ

เก็บเกี่ยวเห็ดหลินจือรุ่นแรกที่ระยะแก่ทางการค้า อายุ 45 วันหลังจากเปิดดอก หรือดอกเห็ดเจริญเติบโตเต็มที่คือมีการสร้างสปอร์ปกคลุมทั่วหมวกดอก หรือสปอร์เปลี่ยนเป็นสีน้ำตาลแดงคล้ายสนิม จากนั้นนำมาบันทึกคุณภาพทางกายภาพ ได้แก่ ความกว้างของดอก ความยาวของดอก เส้นผ่านศูนย์กลางและความยาวของก้านดอก ด้วยเวอร์เนียคาลิเปอร์ สำหรับการบันทึกน้ำหนักสดและน้ำหนักแห้งของดอกเห็ดหลินจือ ใช้เครื่องชั่งดิจิทัลทศนิยม 2 ตำแหน่ง (รุ่น ES-1200HA บริษัท เซ็ปเปอร์ อินสตรูเมนต์ จำกัด ประเทศจีน) วิเคราะห์น้ำหนักแห้ง โดยนำเห็ดสดที่ผ่านการชั่งน้ำหนัก

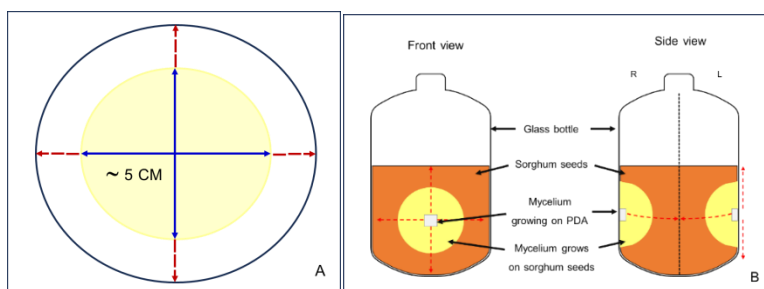


Figure 1. Characteristics of Reishi mushroom mycelium growing on PDA medium before electrical stimulation (A), and Reishi mushroom mycelium growing on sorghum seed medium (B)

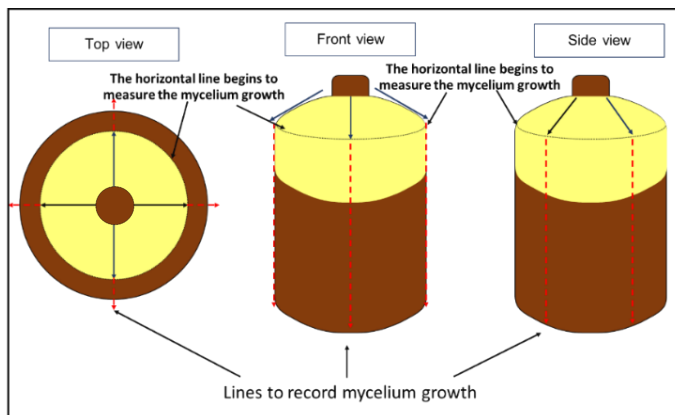


Figure 2. Characteristics of the growth of Reishi mushroom mycelium and determination of the measurement point for mycelial growth on the culture medium

เริ่มต้นแล้วไปอบที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 72 ชั่วโมง หรือจนกระทั่งน้ำหนักคงที่ จากนั้นนำมาชั่งน้ำหนักหลังอบ และคำนวณค่าเปอร์เซ็นต์น้ำหนักแห้ง

6. การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ

วิเคราะห์ปฏิสัมพันธ์ร่วมระหว่างระดับพลังงานไฟฟ้าและระยะเวลาในการกระตุ้นด้วยพลังงานไฟฟ้าด้วย univariate general linear model แล้ววิเคราะห์ความแปรปรวนด้วยวิธีการ analysis of variance (ANOVA) ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ($P \leq 0.05$)

ผลการศึกษาและวิจารณ์

1. การเจริญของเส้นใยเห็ดหลินจือบนอาหาร PDA

หลังจากเส้นใยของเห็ดหลินจือที่เจริญบนอาหารสูตร PDA ผ่านการกระตุ้นด้วยพลังงานไฟฟ้าที่ระดับพลังงาน (25, 50 และ 100kV) และระยะเวลา (10, 20 และ 30 วินาที) แตกต่างกัน โดยใช้เครื่อง high voltage spark discharge (RAIZO, type Electric Stimulation Device, Model GM100, Japan) หลังกระตุ้นเป็นเวลา 2 วัน พบว่า เส้นใยของเห็ดหลินจือที่ได้รับการกระตุ้นด้วยระดับพลังงานไฟฟ้า 100 kV มีการเจริญไม่แตกต่างจากเส้นใยของเห็ดหลินจือที่ผ่านการกระตุ้นด้วยระดับพลังงานไฟฟ้า 50 kV แต่มีการเจริญมากกว่าเส้นใยของเห็ดหลินจือที่ผ่านการกระตุ้น

ด้วยระดับพลังงานไฟฟ้า 25 kV สำหรับผลของระยะเวลาการกระตุ้นด้วยพลังงานไฟฟ้า พบว่า หลังจากการกระตุ้น 2 วัน ส่งผลให้เส้นใยเห็ดหลินจือที่ได้รับการกระตุ้นด้วยพลังงานไฟฟ้าเป็นเวลา 30 วินาที มีการเจริญดีกว่าเส้นใยของเห็ดหลินจือที่ได้รับการกระตุ้นด้วยพลังงานไฟฟ้าเป็นเวลา 10 และ 20 วินาที นอกจากนี้ผลการทดลองยังแสดงให้เห็นว่าหลังจากได้รับการกระตุ้นด้วยพลังงานไฟฟ้า 2 วัน ปัจจัยด้านระดับพลังงานไฟฟ้าและระยะเวลาในการกระตุ้นด้วยไฟฟ้ามีอิทธิพลร่วมกันต่อการเจริญของเส้นใยเห็ดหลินจือ อย่างไรก็ตามเส้นใยที่ผ่านการกระตุ้นด้วยพลังงานไฟฟ้า 50 และ 100 kV เป็นเวลา 30 วินาที มีการเจริญเติบโตไม่แตกต่างจากชุดควบคุม (Table 1) Guo *et al.* (2024) ศึกษาการกระตุ้นเส้นใยของเห็ด *Pleurotus ostreatus* ด้วยวิธี radio frequency low vacuum cold plasma (RF-LVCP) ที่ระดับกำลังไฟฟ้า 80-160 W เป็นเวลา 20 วินาที ความดัน 140 Pa พบว่า เส้นใยที่เลี้ยงในอาหารเหลวเป็นเวลา 6 วัน หลังจากถูกกระตุ้นด้วยกำลังไฟฟ้า 120 W มีมวลของเส้นใยมากที่สุด คือ 0.376 กรัม/อาหารเหลวปริมาตร 100 มิลลิลิตร ซึ่งมากกว่าชุดควบคุม 13.583 เปอร์เซ็นต์ นอกจากนี้ มีรายงานการศึกษาในเห็ด tiger's milk mushroom ซึ่งเลี้ยงบนอาหาร PDA แล้วกระตุ้นด้วยไฟฟ้าจากแหล่งที่แตกต่างกัน คือ direct current injection (d.c. supply, Van de Graff generator), electric field (in the form of voltage)

(d.v. supply), corona discharge through single needle (Van de Graff generator) และ corona discharge through multiple needles (Van de Graff generator) โดยกระตุ้นเส้นใยหลังจากเจริญบนอาหารเลี้ยงเชื้อเป็นเวลา 5 วัน ผลการศึกษาพบว่า การกระตุ้นด้วย corona discharge through multiple needles (Van de Graff generator) ระดับ 5 kV อย่างต่อเนื่อง 5 ชั่วโมง ส่งผลให้การเจริญของเส้นใยเห็ด tiger's milk mushroom ดีที่สุด โดยมีอัตราการเจริญเพิ่มขึ้น 10% ภายใน 8 วัน ในขณะที่การกระตุ้นด้วยวิธีอื่นเส้นใยมีการตอบสนองแตกต่างออกไป โดยการกระตุ้นด้วย direct current injection ที่ระดับกระแสไฟฟ้า 0.03-0.06 A เป็นเวลา 1 นาที ทำการกระตุ้น 2 ครั้ง เวลาห่างกัน 5 ชั่วโมง กระตุ้นที่กระแสไฟฟ้า 0.07-0.09 A

เป็นเวลา 1 นาที ทำการกระตุ้น 6 ครั้ง เวลาห่างกัน 1 นาที และ กระตุ้นที่กระแสไฟฟ้า 0.4-0.9 A เป็นเวลา 1 นาที ทำการกระตุ้น 2 ครั้ง เวลาห่างกัน 5 ชั่วโมง มีอัตราการเจริญของเส้นใยไม่แตกต่างจากชุดควบคุม นอกจากนี้ยังพบว่า การใช้กระแสไฟฟ้า 1.1-1.3 A ทำการกระตุ้น 1 ครั้ง เป็นเวลา 5 ชั่วโมง ทำให้เส้นใยมีอัตราการเจริญน้อยกว่าชุดควบคุมถึง 24.5 เปอร์เซ็นต์ใน 8 วันแรก และ 55.3 เปอร์เซ็นต์ ในวันที่ 16 (Jamil *et al.*, 2020) ซึ่งแสดงให้เห็นว่าวิธีการกระตุ้นที่แตกต่างกันส่งผลต่อการตอบสนองของเส้นใยเห็ด นอกจากนี้พลังงานที่ใช้ในการกระตุ้น และระยะเวลาที่ได้รับการกระตุ้นอาจส่งผลต่อการเจริญเติบโตและการพัฒนาของดอกเห็ดต่างกัน

Figure 1. Characteristics of Reishi mushroom mycelium growing on PDA medium before electrical stimulation (A), and Reishi mushroom mycelium growing on sorghum seed medium (B)

Treatment	Diameter of mushroom mycelium (mm)	
	1 day after stimulation ¹	2 days after stimulation ¹
Factor 1: Electrical power level (kilovolts)		
25 kV	17.94±2.40 ^a	19.12±3.27 ^b
50 kV	16.90±2.45 ^b	19.77±2.94 ^{ab}
100 kV	17.26±2.01 ^{ab}	20.58±2.87 ^a
Factor 2: Electrical stimulation time (seconds)		
10 s	16.69±2.01 ^b	19.22±2.88 ^b
20 s	17.33±2.31 ^{ab}	19.55±3.15 ^b
30 s	18.08±2.45 ^a	20.70±3.04 ^a
Control	18.96±2.54	20.73±4.45
Factor 1	*	*
Factor 2	*	*
Factor 1x2	ns	*

¹ Means within the same column followed by different letters show significantly different between treatments by LSD test at $P \leq 0.05$

* = Significant, ns = Not significant

2. การเจริญของเส้นใยเห็ดหลินจือบนอาหารเมล็ดข้าวฟ่าง

2.1 การเจริญของเส้นใยในแนวตั้ง ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่า หลังจากการกระตุ้นเส้นใยด้วยระดับพลังงานไฟฟ้า 25, 50 และ 100 kV ในอาหาร PDA แล้วต่อเชื้อให้เส้นใยเจริญบนอาหารเมล็ดข้าวฟ่าง มีการเจริญของเส้นใยไม่แตกต่างจากชุดควบคุม อย่างไรก็ตาม พบว่า ในช่วงวันที่ 4 ถึงวันที่ 8 หลังจากการต่อเชื้อ การกระตุ้นด้วยระดับพลังงานไฟฟ้า 100 และ 50 kV มีแนวโน้มส่งผลให้เส้นใยของเห็ดหลินจือเจริญในแนวตั้งบนอาหารเมล็ดข้าวฟ่างได้ดีกว่าการกระตุ้นด้วยระดับพลังงานไฟฟ้า 25 kV ซึ่งมีการเจริญช้ากว่าและใกล้เคียงกับการเจริญของเส้นใยเห็ดชุดควบคุม ทั้งนี้เส้นใยของเห็ดทุกกรรมวิธีเจริญเต็มอาหารเมล็ดข้าวฟ่างในวันที่ 9 หลังจากต่อเชื้อเห็ด (Figure 3A) กรณีการกระตุ้นเส้นใยเห็ดด้วยพลังงานไฟฟ้าที่ระดับต่าง ๆ

(25, 50 และ 100 kV) เป็นระยะเวลา 10, 20 และ 30 วินาที การเจริญในแนวตั้งของเส้นใยเห็ดหลินจือบนอาหารเมล็ดข้าวฟ่างมีค่าใกล้เคียงกันและไม่แตกต่างกับชุดควบคุม (Figure 3B)

2.2 การเจริญของเส้นใยในแนวระนาบ ในช่วงวันที่ 4, 5 และ 6 หลังจากการต่อเชื้อ ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่า เส้นใยของเห็ดหลินจือที่ได้รับการกระตุ้นด้วยระดับพลังงานไฟฟ้า 100 kV มีการเจริญในแนวระนาบบนอาหารเมล็ดข้าวฟ่างดีกว่าเส้นใยของเห็ดหลินจือที่ได้รับการกระตุ้นด้วยระดับพลังงานไฟฟ้า 50 และ 25 kV รวมทั้งชุดควบคุมด้วย (Figure 4A) อย่างไรก็ตามระยะเวลาในการกระตุ้นด้วยพลังงานไฟฟ้าที่แตกต่างกันไม่มีผลต่อการเจริญในแนวระนาบของเส้นใยเห็ดหลินจือบนอาหารเมล็ดข้าวฟ่าง (Figure 4B)

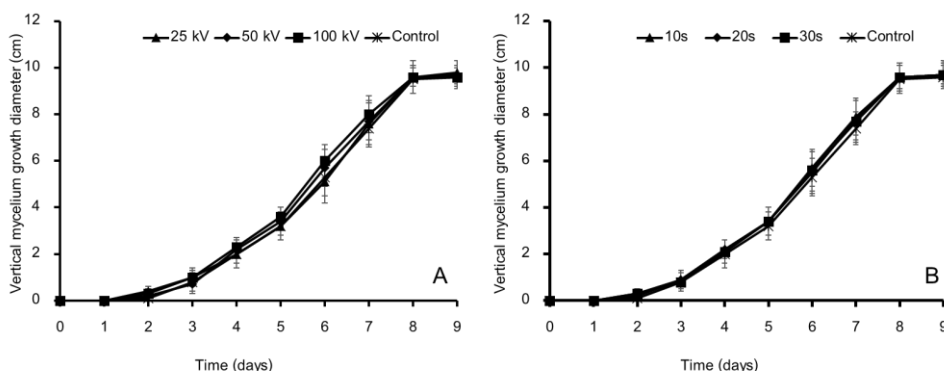


Figure 3. The factors affected the vertical growth of Reishi mushroom mycelium on sorghum seeds: (A) level of electrical energy and (B) time

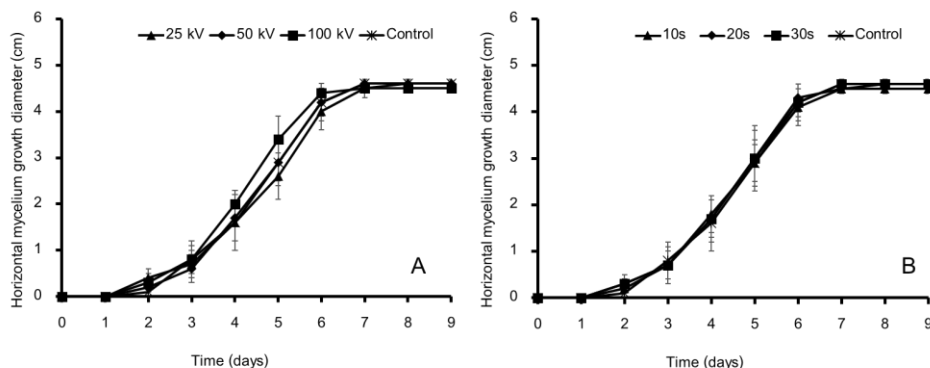


Figure 4. The factors affected the horizontal growth of Reishi mushroom mycelium on sorghum seeds: (A) level of electrical energy and (B) time

จากผลการทดลองในครั้งนี้มีความสอดคล้องกับการศึกษาการกระตุ้นการเจริญของเห็ดป่า *Ophiocordyceps sinensis* โดยการเลี้ยงเส้นใยบนอาหารเมล็ดข้าวและถั่วอะซูกิ (adzuki bean) จากนั้นให้อยู่ในสนามไฟฟ้า +0.1 kV/cm, +0.2 kV/cm และ -0.1 kV/cm ผลการศึกษาแสดงให้เห็นว่าเส้นใยของเห็ดที่เลี้ยงบนข้าวและอยู่ในสนามไฟฟ้า -0.1 kV/cm มีการเจริญได้ดีที่สุด รองลงมาคือเส้นใยของเห็ดที่เลี้ยงบนถั่วอะซูกิและอยู่ในสนามไฟฟ้า -0.1 kV/cm ซึ่งทั้งสองกรรมวิธีเจริญได้ดีกว่าเส้นใยของเห็ดชุดควบคุม อย่างไรก็ตามเส้นใยของเห็ดที่เลี้ยงบนข้าวและถั่วอะซูกิแล้วให้อยู่ในสนามไฟฟ้า +0.1 kV/cm และ +0.2 kV/cm มีการเจริญของเส้นใยไม่แตกต่างจากชุดควบคุมจากการศึกษาในระดับเซลล์แสดงให้เห็นว่าสนามแม่เหล็กไฟฟ้าที่เป็นลบส่งผลให้เกิดรูขนาดเล็กระดับนาโนเมตร ขึ้นในเยื่อหุ้มเซลล์ ซึ่งเป็นช่องทางที่สารชีวโมเลกุลต่าง ๆ สามารถเข้าไปในเซลล์ของเส้นใยเห็ดได้ง่ายขึ้น สารต่าง ๆ ดังกล่าวอาจประกอบด้วยสารอาหาร ธาตุหลัก ธาตุรอง สารประกอบอินทรีย์ที่เกี่ยวข้องกับการส่งเสริมการเจริญเติบโต รวมทั้งน้ำ ซึ่งอาจส่งผลให้เส้นใยของเห็ดเจริญได้ดีกว่าชุดควบคุม (Gamage and Ohga, 2018)

3. การเจริญของเส้นใยบนวัสดุเพาะเชื้อ

ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่า เส้นใยของเห็ดหลินจือที่ผ่านการกระตุ้นด้วยระดับพลังงานไฟฟ้า 50 kV

มีการเจริญบนวัสดุเพาะเชื้อได้ดีกว่ากรรมวิธีอื่น ๆ ตั้งแต่วันที่ 6 ถึงวันที่ 27 หลังจากต่อเชื้อ รองลงมาคือเส้นใยของเห็ดหลินจือที่ผ่านการกระตุ้นด้วยระดับพลังงานไฟฟ้า 25 kV สำหรับเส้นใยของเห็ดหลินจือที่ผ่านการกระตุ้นด้วยระดับพลังงานไฟฟ้า 100 kV มีการเจริญใกล้เคียงกับชุดควบคุมในช่วง 15 วันแรก หลังจากการต่อเชื้อ แต่หลังจากนั้นเส้นใยของเห็ดหลินจือที่ผ่านการกระตุ้นด้วยระดับพลังงานไฟฟ้า 100 kV มีการเจริญช้ากว่ากรรมวิธีอื่น ๆ อย่างไรก็ตามเส้นใยของเห็ดหลินจือทุกกรรมวิธีทดลองสามารถเจริญเต็มวัสดุเพาะและพร้อมสำหรับการเปิดดอกหลังจากต่อเชื้อ 45 วัน (Figure 5A) สำหรับปัจจัยระยะเวลาในการ

กระตุ้นด้วยพลังงานไฟฟ้า แสดงให้เห็นว่า เส้นใยของเห็ดที่ผ่านการกระตุ้นด้วยพลังงานไฟฟ้าเป็นระยะเวลา 10 วินาที มีแนวโน้มเจริญบนวัสดุเพาะดีกว่ากรรมวิธีอื่น รองลงมาคือกระตุ้นด้วยพลังงานไฟฟ้าเป็นระยะเวลา 30 วินาที และชุดควบคุม ตามลำดับ ขณะที่เส้นใยของเห็ดหลินจือที่ผ่านการกระตุ้นด้วยพลังงานไฟฟ้าเป็นระยะเวลา 20 วินาที มีการเจริญบนวัสดุเพาะเชื้อช้ากว่ากรรมวิธีอื่น อย่างไรก็ตามการเจริญของเส้นใยเห็ดหลินจือทุกกรรมวิธีมีค่าใกล้เคียงกันตั้งแต่วันที่ 36 หลังการต่อเชื้อ และทุกกรรมวิธีมีการเจริญเต็มที่ในวันที่ 45 หลังการต่อเชื้อ (Figure 5B)

4. คุณภาพทางกายภาพของดอกเห็ดหลินจือ

ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่า ปัจจัยการกระตุ้นเส้นใยเห็ดหลินจือด้วยระดับพลังงานไฟฟ้า 25, 50 และ 100 kV ไม่มีผลต่อความกว้างของดอก ความยาวของดอก ความหนาของดอก ความหนาของก้านดอก น้ำหนักสดของดอก และน้ำหนักแห้งของดอก อย่างไรก็ตามผลการทดลองพบว่าความยาวก้านของดอกเห็ดหลินจือที่เจริญจากเส้นใยซึ่งผ่านการกระตุ้นด้วยระดับพลังงานไฟฟ้า 100 kV มีค่ามากกว่าความยาวก้านของดอกเห็ดหลินจือที่เจริญจากเส้นใยซึ่งผ่านการกระตุ้นด้วยระดับพลังงานไฟฟ้า 25 kV สำหรับเห็ดหลินจือที่เจริญจากเส้นใยซึ่งผ่านการกระตุ้นด้วยระดับพลังงานไฟฟ้า 50 และ 25 kV มีความยาวก้านดอกใกล้เคียงกับชุดควบคุม (Table 2) กรณีปัจจัยระยะเวลาในการกระตุ้นด้วยพลังงานไฟฟ้า พบว่า ความกว้างของดอก ความยาวของดอก ความหนาของดอก ความหนาของก้านดอก น้ำหนักสดของดอก และน้ำหนักแห้งของดอกเห็ดหลินจือซึ่งเจริญจากเส้นใยที่ผ่านการกระตุ้นด้วยพลังงานไฟฟ้าเป็นเวลา 10, 20 และ 30 วินาที มีค่าไม่แตกต่างกันทางสถิติ แต่ความยาวก้านดอกที่กระตุ้นเส้นใยด้วยพลังงานไฟฟ้าเป็นระยะเวลา 20 และ 30 วินาที มีค่ามากกว่าความยาวก้านดอกที่เส้นใยได้รับการกระตุ้นด้วยพลังงานไฟฟ้าเป็นเวลา 10 วินาที (Table 2) และจากรายงานการศึกษาของ Takaki *et al.* (2014) ได้ทำการกระตุ้นการเจริญเติบโตของเห็ด *Lyophyllum decastes* ที่เลี้ยงเส้นใยบนอาหารเชื้อและกระตุ้นการเจริญเติบโตของเห็ด *Lentinula edodes*,

Pholiota nameko และ *Naematoloma sublateralitum* ที่เลี้ยงเส้นใยบนท่อนไม้ โดยใช้พลังงานไฟฟ้า 50-130 kV พบว่า การกระตุ้นด้วยพลังงานไฟฟ้าส่งผลให้ผลผลิตเห็ดสูงขึ้น 1.3-2.0 เท่า เมื่อเปรียบเทียบกับชุดควบคุม ซึ่งไม่สอดคล้องกับการทดลองในครั้งนี้ที่คุณภาพทางกายภาพและน้ำหนักของเห็ดหลินจือทุกกรรมวิธีไม่แตกต่างกัน ทั้งนี้อาจเป็นเพราะการกระตุ้นเส้นใยตั้งแต่

ระยะที่เจริญบนอาหาร PDA อาจเป็นวิธีการที่ยังไม่เหมาะสมและ/หรืออาจรวมไปถึงระดับพลังงานไฟฟ้าและระยะเวลาที่ใช้ในการกระตุ้นอาจยังไม่เหมาะสมต่อการเจริญของเส้นใยเห็ดหลินจือบนอาหารชนิดต่าง ๆ จนกระทั่งพัฒนาไปเป็นดอกเห็ด ดังนั้นในอนาคตจึงควรศึกษาการกระตุ้นเส้นใยของเห็ดหลินจือในระยะที่เจริญบนวัสดุชนิดอื่นต่อไป

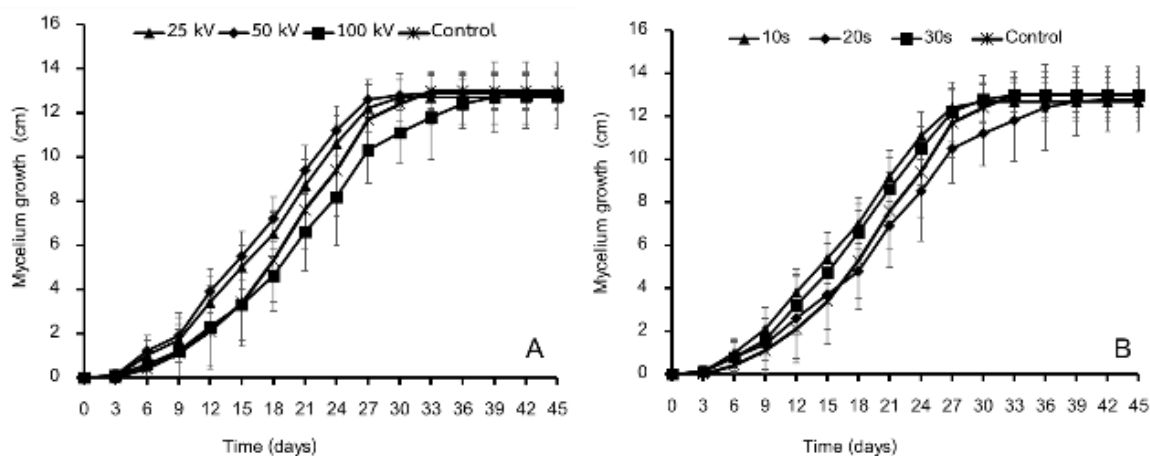


Figure 5. The factors affected the growth of Reishi mushroom mycelium on sawdust substrate cultivation: (A) levels of electrical energy and (B) time

Table 2. The quality of the Reishi mushrooms whose mycelium were stimulated with different electrical energy levels and stimulation times

Treatment	Physical quality of Reishi mushroom						
	Basidiocarp width (mm)	Basidiocarp length (mm)	Basidiocarp thickness (mm)	Stalk length (mm) ¹	Stalk diameter (mm)	Basidiocarp fresh weight (g)	Basidiocarp dry weight (g)
Factor 1: Electrical power level (kilovolts)							
25 kV	47.82±9.50	73.09±16.94	13.16±2.21	26.48±5.72 ^{ab}	14.52±3.55	19.87±6.87	4.31±1.40
50 kV	44.66±10.54	74.25±18.20	12.43±2.48	25.39±7.14 ^b	13.47±3.80	19.66±7.43	4.20±1.59
100 kV	49.77±14.53	77.82±19.40	12.38±2.65	28.32±7.87 ^a	14.33±3.86	20.65±7.30	4.61±1.48
Factor 2: Electrical stimulation time (seconds)							
10 s	46.37±10.73	73.91±19.70	12.98±2.36	24.12±6.36 ^b	13.70±4.05	19.54±7.68	4.11±1.58
20 s	44.89±8.73	74.86±17.29	12.40±2.40	28.00±7.15 ^a	14.35±3.16	19.24±6.84	4.39±1.46
30 s	50.60±14.56	76.28±17.61	12.55±2.63	28.09±6.94 ^a	14.22±3.96	19.54±7.68	4.11±1.58
Control	51.48±15.81	73.74±18.28	12.37±1.43	25.49±5.48	14.00±3.53	19.55±7.48	4.35±1.60
Factor 1	ns	ns	ns	*	ns	ns	ns
Factor 2	ns	ns	ns	*	ns	ns	ns
Factor 1x2	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns

¹ Means within the same column followed by different letters show significantly different between treatments by LSD test at $P \leq 0.05$

* = Significant, ns = Not significant

สรุป

การกระตุ้นเส้นใยของเห็ดหลินจือที่เจริญบนอาหาร PDA ด้วยระดับพลังงานไฟฟ้า 25, 50 และ 100 kV ที่ระยะเวลา 10, 20 และ 30 วินาที ก่อนเลี้ยงเชื้อบนอาหารเมล็ดข้าวฟ่าง จากนั้นเลี้ยงเชื้อบนวัสดุเพาะเชื้อเดี่ยว ไม่มีผลต่อคุณภาพทางกายภาพ น้ำหนักสด และน้ำหนักแห้งของดอกเห็ดหลินจือ

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณศูนย์วิจัยเทคโนโลยีหลังการเก็บเกี่ยว และสาขาวิชาพืชสวน ภาควิชาพืชศาสตร์และปฐพีศาสตร์ คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ ที่สนับสนุนอุปกรณ์เครื่องมือต่าง ๆ และสถานที่สำหรับการทำวิจัย ขอขอบคุณมหาวิทยาลัยเชียงใหม่ ที่สนับสนุนทุนงานวิจัยผู้ช่วยสอน/ผู้ช่วยวิจัย และขอขอบคุณการสนับสนุนทุนวิจัยบัณฑิตศึกษาด้านการเกษตรและอุตสาหกรรมเกษตรจาก สำนักงานพัฒนาการวิจัยการเกษตร (องค์การมหาชน) ประจำปีงบประมาณ 2564

เอกสารอ้างอิง

Gamage, S. and S. Ohga. 2018. Effects of different electric field on mycelial growth of isolated strain of wild *Ophiocordyceps sinensis*. Journal of the Faculty of Agriculture, Kyushu University 63(2): 223-229.

Guo, Y., Y. Wang, X. Xu, D. Niu, Q. Qing, L. Wang and J. Zhu. 2024. Effects of cold plasma pretreatment on the synthesis of polysaccharide from *Pleurotus ostreatus*. Applied Biochemistry and Biotechnology 196: 1977-1991.

Hapuarachchi, K.K., T.C. Wen, R. Jeewon, X.L. Wu and J.C. Kang. 2016. *Ganoderma lucidum* -

are the beneficial medical properties substantiated? Mycosphere 7(6): 687-715.

Islam, F. and S. Ohga. 2012. The response of fruit body formation on *Tricholoma matsutake* in situ condition by applying electric pulse stimulator. International Scholarly Research Notices Agronomy 2012: 462724, doi: 10.5402/2012/462724.

Jamil, N.A.M., C. Gomes, Z. Kadir and A. Gomes. 2020. Impact of electrical stimulation on the growth of mycelium of *Lignosus rhinoceros* (Cooke) Ryvarden. Electromagnetic Biology and Medicine 39(4): 356-363.

Misra, N.N., B. Yadav, M.S. Roopesh and C. Jo. 2019. Cold plasma for effective fungal and mycotoxin control in foods: Mechanisms, inactivation effects, and applications. Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety 18(1): 106-120.

Ohga, S., S. Iida, C.D. Koo and N.S. Cho. 2001. Effect of electric impulse on fruit body production on *Lentinula edodes* in the sawdust-based substrate. Mushroom Science and Biotechnology 9(1): 7-12.

Sun, B., M. Sato and J.S. Clements. 2000. Oxidative processes occurring when pulsed high voltage discharges degrade phenol in aqueous solution. Environmental Science and Technology 34(3): 509-513.

Takaki, K., N. Yamazaki, S. Mukaigawa, T. Fujiwara, H. Kofujita, K. Takahashi, M. Narimatsu and K. Nagane. 2009. Fruit body formation of basidiomycete by pulse voltage stimulations. Frontier of Applied Plasma Technology 2: 61-64.

Takaki, K., K. Yoshida, T. Saito, T. Kusaka, R. Yamaguchi, K. Takahashi and Y. Sakamoto.

2014. Effect of electrical stimulation on fruit body formation in cultivating mushrooms. *Microorganisms* 2(1): 58-72.
- Takaki, K., K. Takahashi and Y. Sakamoto. 2018. High-voltage methods for mushroom fruit-body developments. pp. 95-113. *In*: M.A. El-Esawi (ed.). *Physical Methods for Stimulation of Plant and Mushroom Development*. IntechOpen Limited, London.
- Wachtel-Galor, S., J. Yuen, J.A. Buswell and I.F.F. Benzie. 2011. *Ganoderma lucidum* (Lingzhi or Reishi): A medicinal mushroom. pp. 173-197. *In*: I.F.F. Benzie and S. Wachtel-Galor (eds.). 2nd ed. *Herbal Medicine: Biomolecular and Clinical Aspects*. CRC Press/Taylor & Francis, Boca Raton, Florida.
- Wang, T., X. Li, C. Zhang and J. Xu. 2023. Transcriptome analysis of *Ganoderma lingzhi* (Agaricomycetes) response to *Trichoderma hengshanicum* infection. *Frontiers in Microbiology* 14: 1131599, doi: 10.3389/fmicb.2023.1131599.
- Yoshida, K., K. Takaki and S. Nagane. 2015. Effects of electrical stimulation by high voltage pulse generator on yield of *Pleurotus jp takizawa* in sawdust-bed cultivation. *IEEJ Transactions on Fundamentals and Materials* 135(6): 353-354.
-

การผสมข้ามชนิดและการถ่ายทอดลักษณะทางพืชสวนด้วย วิธีการผสมกลับในพริก

Interspecific Hybridization and Inheritance of Horticultural Characteristics by Backcross Method in Chilis

ราชนันท์ แสงงาม กมล ทิพโชติ นครินทร์ จี้อาติตย์ ต่อนภา ผุสดี และ จุฑามาส คุ่มชัย*

Rachan Seang-ngam, Kamon Thippachote, Nakarin Jeeatid, Tonapha Pusadee and Jutamas Kumchai*

¹ภาควิชาพืชศาสตร์และปฐพีศาสตร์ คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ จ.เชียงใหม่ 50200

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

*Corresponding author: email: jutamas.k@cmu.ac.th

(Received: 16 May 2024; Accepted: 12 June 2024)

Abstract: This study involved growing and selecting 44 chilis varieties. The chilis were classified into three types: *Capsicum annuum*, *C. chinense* and *C. frutescens*. Cross-breedings among these three types were performed using reciprocal crossing and backcrossing. The resulting interspecific hybrids and backcross progenies were grown and evaluated. The result showed that, significant differences were observed in plant height, canopy width, fruit size, and average fruit weight per plant. Overall, the first filial interspecific hybrid group, CA1449-6-10-1 × 35-5-3-1, exhibited superior characteristics compared to other hybrids and parental lines in terms of fruit length, fruit width, fruit stalk length, average fruit weight and number of fruits per 100 grams. Significant differences were found among parents, interspecific hybrids and backcross progeny for these traits, which showed segregation influenced by both parents. However, notable hybrids for further breeding included 35-5-3-1 × F-3-8-2, 35-5-3-1 × PJ07-2, 35-5-3-1 × PJ05-2, 35-5-3-3 × J-10-3-2 and 35-5-3-2 × CA1449-6-10-2. The *C. frutescens* variety (35-5-3-1) was suitable for interspecific crossing with *C. annuum*. Backcrossing to *C. annuum* also increased fruit weight per plant, while backcrossing to *C. frutescens* decreased fruit weight per plant and average fruit weight.

Keywords: Reciprocal crossing, cross-breeding, hybrid, backcrossing

บทคัดย่อ: การศึกษาครั้งนี้ปลูกและคัดเลือกพริกจำนวน 44 พันธุ์ สามารถจำแนกพริกได้ 3 ชนิด ได้แก่ *Capsicum annum*, *Capsicum chinense* และ *Capsicum frutescens* แล้วนำมาผสมข้ามชนิดแบบสลับพ่อแม่ และผสมกลับเมื่อได้ลูกผสมข้ามชนิด และลูกผสมกลับนำมาปลูกประเมินผลผลิต ผลการปลูกประเมินลูกผสมข้ามชนิด และลูกผสมกลับ พบว่าความสูงต้น ความกว้างทรงพุ่ม ขนาดผล และน้ำหนักผลต่อต้นเฉลี่ยแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ในภาพรวมกลุ่มลูกผสมชั่วที่ 1 พันธุ์ CA1449-6-10 × 35-5-3-1 มีลักษณะที่เหนือกว่าลูกผสมอื่นและพันธุ์พ่อแม่ ด้านความยาวผล ความกว้างผล ความยาวก้านผล น้ำหนักผลเฉลี่ย และจำนวนผลต่อ 100 กรัม ทั้งนี้ พ่อแม่ ลูกผสมข้ามชนิด และลูกผสมกลับ มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยลักษณะที่ศึกษามีการกระจายตัวจากอิทธิพลของทั้งพ่อและแม่ อย่างไรก็ตามลูกผสมที่นำส่งเกิดสำหรับการผสมพันธุ์ ได้แก่ 35-5-3-1 × F-3-8-2, 35-5-3-1 × PJ07-2, 35-5-3-1 × PJ05-2, 35-5-3-3 × J-10-3-2 และ 35-5-3-1 × CA1449-6-10-2 โดย *C. frutescens* (35-5-3-1) เป็นพันธุ์ที่เหมาะสมสำหรับการผสมข้ามพันธุ์กับ *C. annum* นอกจากนี้ การผสมกลับด้วย *C. annum* ส่งผลให้น้ำหนักผลต่อต้นเพิ่มขึ้น ในขณะที่การผสมกลับด้วย *C. frutescens* ส่งผลให้น้ำหนักผลต่อต้นและน้ำหนักผลเฉลี่ยลดลง

คำสำคัญ: การผสมข้าม การผสมสลับพ่อแม่ ลูกผสม การผสมกลับ

คำนำ

พริกมีแหล่งกำเนิดในเขตร้อนของทวีปอเมริกา ได้แก่ อเมริกาใต้ และอเมริกากลาง หรือเรียกว่า นิวเวิลด์ ทรอปิกส์ (New World tropics) (Heiser and Pickersgill, 1969; Van Zonneveld *et al.*, 2015) ชนิดของพริกที่ปลูกแพร่หลายมากที่สุดมีเพียง 5 ชนิด ได้แก่ *C. annum* L., *C. chinense* Jacquin, *C. frutescens* L., *C. baccatum* L. และ *C. pubescens* Ruiz & Pavon (Bosland, 1994; Pickersgill, 1997; Sikora and Nowaczyk, 2014; Barchenger *et al.*, 2019) พริกที่ปลูกแพร่หลายในประเทศไทย ได้แก่ พริกขี้หนูผลใหญ่ พริกขี้หนูผลเล็ก พริกหวานหรือพริกยักษ์ พริกหยวก และพริกใหญ่ พริกเป็นพืชผสมตัวเอง แต่สามารถเกิดการผสมข้ามได้ 2-90 % (Pickersgill, 1997) การผสมพันธุ์ข้ามชนิด (interspecific cross) ในพริกเกิดได้เสมอ และพริกทุกชนิดสามารถผสมพันธุ์กันได้ แต่มีความยากง่ายต่างกัน (Pickersgill, 1971, 1980, 1992) ซึ่งการผสมข้ามมีวัตถุประสงค์เพื่อต้องการเพิ่มผลผลิต และลักษณะที่ดีต่าง ๆ ให้เกิดขึ้นในลูกผสม ความสำเร็จในการผสมข้ามชนิดมีหลายปัจจัย เช่น สภาพแวดล้อม จำนวนดอก และเวลาการออกดอกของพริก (Zhu *et al.*, 2019) พริกชนิด *C. annum* มีจำนวนดอก 1 ดอกต่อข้อ ในขณะที่พริก

ชนิด *C. chinense* มีหลายดอกต่อข้อ และพบว่า พันธุ์ลูกผสม มี 2 ดอกต่อข้อ (Subramanya, 1983; Villalon *et al.*, 1986) จากการกระจายของยีนในลูกผสมชั่วที่ 2 ที่ 3 และลูกผสมกลับ พบว่า มียีนหลายยีนควบคุมการมี 2 ดอกต่อข้อ โดยจำนวนดอกต่อข้อที่มากถูกควบคุมด้วยยีนเด่น เมื่อนำมาผสมกลับพบการกระจายตัวของลูกผสมกลับชั่วที่ 2 สัดส่วน 45:9:10 ซึ่งแสดงว่ามี 3 ยีนโมเดล ที่เกี่ยวข้อง (Shuh and Fontenot, 1990) นอกจากนี้ยังมีรายงานว่า จำนวนดอกต่อข้อของพริกมี ยีนอย่างน้อย 5 ยีน ที่ควบคุม และการมีหลายดอกต่อข้อ ซึ่งมีตำแหน่งมากถึง 26 ตำแหน่ง บนโครโมโซม (Tanksley and Iglesias-Olivas, 1984; Kim *et al.*, 2022) การผสมข้ามชนิดของ *C. annum* × *C. chinense* เป็นการขยายฐานพันธุกรรม (Denli *et al.*, 2022) การผสมข้ามชนิดของ *C. annum* × *C. chinense* ลูกผสมที่ได้มักจะมีต้นกล้าแคระแกร็น (Hazarika *et al.*, 2023) ในทางกลับกันเมื่อใช้ *C. chinense* เป็นแม่พันธุ์ ลูกผสมที่ได้กลับมีการเจริญเติบโตปกติ (Kumar *et al.*, 1987) นอกจากนี้ยังพบว่า การผสมข้ามชนิดของ *C. chinense* และ *C. frutescens* บางคู่ประสบความสำเร็จ (Hazarika *et al.*, 2023) โดยมีพันธุ์การค้าที่มาจากการผสมข้ามชนิดนี้ ได้แก่ พริกแคโรไลนาเรปเปอร์ (carolina reaper) และ

พริกงาไวเปอร์ (naga viper) ซึ่งมีความเผ็ดที่สุดในโลก คือ มีความเผ็ด 879,953 ถึง 1,001,304 Scoville units (Bosland and Baral, 2007)

นักปรับปรุงพันธุ์หลายท่านใช้เทคนิคการปรับปรุงพันธุ์พริกโดยวิธีผสมข้ามชนิด ตามด้วยวิธีการผสมกลับ (backcross breeding) เนื่องจากต้องการคงพันธุกรรมดีจากต้นพ่อพันธุ์หรือแม่พันธุ์ โดยการปรับปรุงพันธุ์ด้วยวิธีการผสมกลับเป็นเทคนิคที่ใช้เพื่อย้ายลักษณะที่ต้องการจากพันธุ์ให้ (donor parent) ไปยังพันธุ์รับ (recurrent parent) เพื่อประโยชน์ด้านการเพิ่มความต้านทานต่อโรคและแมลง การเพิ่มคุณภาพผลผลิต และการปรับปรุงลักษณะเฉพาะของพันธุ์พืชเพื่อให้เหมาะสมกับสภาพแวดล้อมที่แตกต่างกัน เทคนิคนี้ใช้ได้ทั้งในพืชผสมข้าม (cross-pollinated plants) และพืชผสมตัวเอง (self-pollinated plants) มีขั้นตอนหลัก คือ การผสมข้ามระหว่างลูกผสม F_1 กลับไปยังพันธุ์พ่อแม่อย่างต่อเนื่อง เพื่อรักษาลักษณะที่ต้องการจากพันธุ์รับ ขณะเดียวกันสามารถลดลักษณะที่ไม่ต้องการจากพันธุ์ให้ออกไป (Lamichhane and Thapa, 2022) จากรายของ Pandit *et al.* (2021) ศึกษาการปรับปรุงพันธุ์ข้าวเพื่อให้ทนต่อสภาพน้ำท่วมโดยการย้ายยีน Sub1 ที่ช่วยเพิ่มความทนทานต่อสภาพน้ำท่วมจากพันธุ์ให้ไปยังพันธุ์ข้าวที่เป็นพันธุ์รับ ทำให้ได้ลูกผสมที่มีลักษณะเช่นเดียวกับพันธุ์รับเกือบทั้งหมด ยกเว้นลักษณะที่ได้รับการปรับปรุงจากพันธุ์ให้ ซึ่งในกรณีนี้คือความทนทานต่อสภาพน้ำท่วม นอกจากนี้การพัฒนาพันธุ์พริก *C. annuum* ให้มีสารแคปไซซินอยด์ (capsinoid) สูง โดยวิธีการผสมกลับ ซึ่งพันธุ์ให้ (donor parent) มาจาก *C. chinense* (Jeong *et al.*, 2015) การศึกษาครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อผสมพันธุ์พริกข้ามชนิดระหว่าง *C. annuum*, *C. chinense* และ *C. frutescens* และทำการผสมกลับระหว่างลูกผสมชั่วที่ 1 และ 2 กับ *C. annuum* เพื่อเพิ่มลักษณะที่ดีทางพืชสวน

อุปกรณ์และวิธีการ

งานวิจัยนี้แบ่งออกเป็น 3 ขั้นตอนการดำเนินงาน ได้แก่ 1) การปลูกประเมินเพื่อคัดเลือกพ่อแม่พันธุ์

2) การสร้างลูกผสม และลูกผสมกลับ และ 3) การปลูกประเมินลูกผสมและลูกผสมกลับ โดยมีขั้นตอนการดำเนินงาน ดังนี้

ขั้นตอนที่ 1 รวบรวมพันธุ์พริกจากแหล่งต่าง ๆ ได้แก่ จากกรมวิชาการเกษตร จากแปลงเกษตรกร และจากการพัฒนาสายพันธุ์ของสาขาวิชาพืชสวน คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ จำนวน 44 พันธุ์ นำมาปลูกประเมิน จำแนกชนิด และคัดเลือกพันธุ์เพื่อนำมาใช้เป็นสายพันธุ์พ่อแม่สำหรับการสร้างลูกผสมและผสมกลับ ในช่วงเดือนเมษายน - กันยายน พ.ศ. 2562 ณ แปลงทดลองสาขาวิชาพืชสวน ศูนย์วิจัยบูรณาการ สาธิตและฝึกอบรมนวัตกรรมเกษตร คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ โดยประเมินพันธุ์ในภาพรวม ด้านการทนทานต่อโรคและสภาพแวดล้อม ให้ผลผลิตสูง บันทึกข้อมูลการงอกของเมล็ด สัณฐานวิทยาของดอกและเมล็ด การติดผล และจัดจำแนกชนิดพริก ซึ่งผลการทดลองในขั้นตอนนี้ไม่ได้วิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ

ขั้นตอนที่ 2 เมื่อคัดเลือกพันธุ์พริกจากขั้นตอนที่ 1 ได้ตามวัตถุประสงค์แล้ว นำเมล็ดมาปลูกเพื่อสร้างลูกผสมชั่วที่ 1 โดยทำการผสมข้ามแบบสลับ (reciprocal cross) ระหว่าง *C. annuum*, *C. chinense* และ *C. frutescens* แล้วนำเมล็ดลูกผสมชั่วที่ 1 (F_1) มาปลูกเพื่อผสมกลับครั้งที่ 1 เมื่อได้เมล็ดลูกผสมกลับครั้งที่ 1 นำมาปลูกเพื่อผสมกลับครั้งที่ 2

ขั้นตอนที่ 3 นำเมล็ดลูกผสมชั่วที่ 1 (F_1) เมล็ดลูกผสมกลับครั้งที่ 1 ของลูกผสมชั่วที่ 1 (BC_1F_1) เมล็ดลูกผสมกลับครั้งที่ 2 ของลูกผสมชั่วที่ 1 (BC_2F_1) และเมล็ดพ่อแม่พันธุ์ จำนวน 35 พันธุ์ มาปลูกประเมินโดยวางแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ในบล็อก (randomized complete block design; RCBD) จำนวน 3 ซ้ำ ย้ายเมล็ดที่งอกลงในถาดหลุม เมื่อดันกล้ามีอายุ 30 วัน ย้ายปลูกลงแปลงขนาดกว้าง 1.5 เมตร ยาว 3 เมตร ปลูกซ้ำละ 10 ต้น ระยะห่างระหว่างต้น 50 เซนติเมตร และระยะห่างระหว่างแถว 70 เซนติเมตร ระหว่างเดือนพฤศจิกายน พ.ศ. 2564 - เมษายน พ.ศ. 2565 บันทึกข้อมูลลักษณะทางพืชสวน ได้แก่ ความสูง ต้น ความกว้างทรงพุ่ม น้ำหนักผลต่อต้น ความกว้างผล

ความยาวผล ความยาวก้านผล จำนวนดอกต่อต้น น้ำหนักเฉลี่ยต่อผล และจำนวนผลเฉลี่ยต่อ 100 กรัม วิเคราะห์ผลทางสถิติ และเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยโดยวิธี LSD ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

ผลการศึกษา

การศึกษาค้นคว้าครั้งนี้สามารถคัดเลือกพันธุ์พริกที่มีลักษณะทางพืชสวนที่ดีได้ 10 พันธุ์ได้แก่ PJ05, PJ07, CA1449-6-10, J-10-3, F-3-8, Bhut Jolokia, JD01, 35-5-3, MHS-17 และ M1116 โดยจำแนกได้พริก 3 ชนิด ได้แก่ *C. annuum* จำนวน 5 พันธุ์ คือ PJ05, PJ07, CA1449-6-10, J-10-3 และ F-3-8 *C. chinense* จำนวน 2 พันธุ์ คือ Bhut Jolokia และ JD01 และ *C. frutescens* จำนวน 3 พันธุ์ คือ 35-5-3, MHS-17 และ M1116 การติดดอกต่อข้อของพริกแต่ละชนิดแตกต่างกัน *C. annuum* มี 1 ดอกต่อข้อ (Figure 1A) *C. chinense* มี 4-6 ดอกต่อข้อ (Figure 1B) *C. frutescens* มี 2 ดอกต่อข้อ (Figure 1C) ทั้งนี้ลักษณะสัณฐานวิทยาการผสมข้ามชนิดของพริกทั้ง 3 ชนิด และการประเมินลักษณะทางพืชสวน สามารถอธิบายได้ ดังนี้

1. ลักษณะสัณฐานวิทยา

พริก *C. annuum*

พันธุ์พริกกลุ่มนี้ ประกอบด้วย พันธุ์ PJ05, PJ07, CA1449-6-10, J-10-3 และ F-3-8 ดอกเดี่ยว มีจำนวน 1 ดอกต่อข้อ กลีบดอกสีขาว ไม่มีจุดสีบนกลีบดอก อับเรณูมีสีฟ้า-ม่วง ลักษณะการติดดอกแบบห้อยลง ติดผลมีลักษณะชี้ลง เมล็ดเรียบ และมีสีน้ำตาล ผลมีหลายเมล็ด เป็นผลเดี่ยวต่อข้อ ผลโค้งลงหรือผลตั้ง (Figure 1A) น้ำหนักผลผลิตต่อต้นมีค่าเฉลี่ยระหว่าง 184.8-483.5 กรัม น้ำหนักผลพริกเฉลี่ย 3.2-10.7 กรัม และมีผลพริกจำนวน 9-32 ผลต่อน้ำหนัก 100 กรัม ขนาดผลมีความยาวเฉลี่ยระหว่าง 5.5-11.7 เซนติเมตร ความกว้างผล 1-2 เซนติเมตร (Table 2, 3 และ 4)

พริก *C. chinense*

พันธุ์พริกกลุ่มนี้ได้แก่ พันธุ์ Bhut Jolokia และ JD01 เป็นไม้พุ่มขนาดเล็ก ความสูงของต้นมีค่าเฉลี่ย 67.8 เซนติเมตร ความกว้างทรงพุ่มมีค่าเฉลี่ย 62.9

เซนติเมตร ดอกขนาดเล็ก กลีบดอกสีเขียวอ่อน ไม่มีจุดสีบนกลีบดอก สีของอับเรณูมีสีม่วง การติดดอกมีลักษณะแบบห้อยลง ก้านดอกชี้ขึ้น มีจำนวน 1-5 ดอกต่อข้อ ติดผลแบบชี้ลง (Figure 1B) น้ำหนักผลผลิตต่อต้นมีค่าเฉลี่ย 118.5 กรัม น้ำหนักผลพริกหนึ่งผลมีค่าเฉลี่ย 3.3 กรัม และผลพริกจำนวน 30 ผลต่อน้ำหนัก 100 กรัม ขนาดผลมีค่าความยาวเฉลี่ย 3.8 เซนติเมตร ความกว้างผลมีค่าเฉลี่ย 2.2 เซนติเมตร และความยาวก้านผลมีค่าเฉลี่ย 2.6 เซนติเมตร (Table 2, 3 และ 4)

พริก *C. frutescens*

พันธุ์พริกกลุ่มนี้ ประกอบด้วย พันธุ์ 35-5-3, MSH-17 และ M1116 ความสูงของต้นมีค่าเฉลี่ยระหว่าง 61.6-98.9 เซนติเมตร ความกว้างทรงพุ่มมีค่าเฉลี่ยระหว่าง 50.0-75.4 เซนติเมตร กลีบดอกเป็นสีขาว และสีเขียวอ่อน ไม่มีจุดสีบนกลีบดอก สีของอับเรณูมีสีม่วงอ่อน ม่วง ม่วงเข้ม และสีเขียว มีจำนวน 1-2 ดอกต่อข้อ การติดผลมีลักษณะทั้งชี้ลงและชี้ขึ้น (Figure 1C) ผลมีความยาวเฉลี่ยระหว่าง 6.0-7.0 เซนติเมตร ความกว้างผลมีค่าเฉลี่ยระหว่าง 0.7-1.5 เซนติเมตร น้ำหนักผลผลิตต่อต้น 65.2-337.2 กรัม น้ำหนักผลพริกเฉลี่ย 1.3-3.0 กรัม และผลพริกจำนวน 50-78 ผลต่อน้ำหนัก 100 กรัม (Table 2, 3 และ 4)

2. การผสมข้ามชนิด

การผสมข้ามชนิดระหว่าง *C. annuum*, *C. chinense* และ *C. frutescens* และการผสมกลับ เมื่อทำการผสมข้ามชนิดระหว่าง *C. frutescens*, *C. annuum* และ *C. chinense* พบว่า ดอกพริกที่ผสมข้ามชนิดระหว่าง *C. frutescens* x *C. annuum* ติดผล 10 คู่ผสม การผสมข้ามชนิดระหว่าง *C. frutescens* x *C. chinense* ติดผล 4 คู่ผสม *C. annuum* x *C. chinense* ติดผล 3 คู่ผสม BC₁F₁, 4 คู่ผสม และ BC₂F₁, 3 คู่ผสม (Table 1)

3. การประเมินลักษณะทางพืชสวนของลูกผสมชั่วที่ 1 (F₁) ลูกผสมกลับครั้งที่ 1 ของลูกผสมชั่วที่ 1 (BC₁F₁) ลูกผสมกลับครั้งที่ 2 ของลูกผสมชั่วที่ 1 (BC₂F₁) และพ่อแม่พันธุ์

เมื่อประเมินลักษณะทางพืชสวนของลูกผสม F₁, BC₁F₁, BC₂F₁ และพ่อแม่พันธุ์ พบว่า พันธุ์ที่ทดสอบมีความสูงของต้น และความกว้างทรงพุ่ม น้ำหนักผลต่อต้น

Table 1. Interspecific hybridization and backcrossing of *C. annuum*, *C. chinense* and *C. frutescens*

Cross breeding	F ₁	1 st backcross of F ₁	2 nd backcross of F ₁
<i>C. frutescens</i> × <i>C. annuum</i>	Fruit set 10 pairs		
<i>C. frutescens</i> × <i>C. chinense</i>	Fruit set 4 pairs		
<i>C. annuum</i> × <i>C. chinense</i>	Fruit set 3 pairs		
BC ₁ F ₁		Fruit set 4 pairs	
BC ₂ F ₁			Fruit set 3 pairs

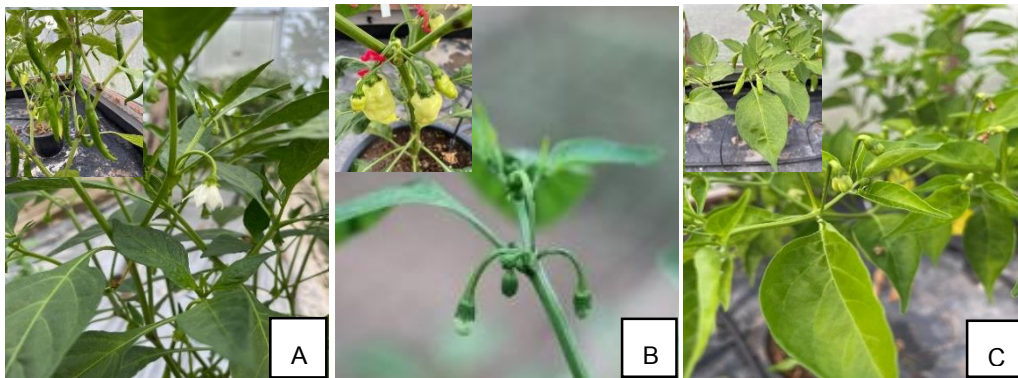


Figure 1. The number of flowers per node and fruit setting characteristics of *Capsicum* species, *C. annuum* (A), *C. chinense* (B) and *C. frutescens* (C)

ความกว้างของผล ความยาวของผล ความยาวของก้านผล น้ำหนักผลเฉลี่ย และจำนวนผลพริกต่อน้ำหนัก 100 กรัม ที่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (Table 2, 3 และ 4) พันธุ์ 35-5-3-2 × CA1449-6-10-2 มีความสูงของต้นไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับลูกผสม F₁ ส่วนใหญ่ ส่วนพ่อแม่พันธุ์ BC₁F₁ และ BC₂F₁ พันธุ์ PJ05-2 × MHS-17-1 มีความกว้างทรงพุ่มมากกว่าและแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับกลุ่ม F₁ ส่วนใหญ่ พ่อแม่พันธุ์ และ BC₂F₁ แต่ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับ BC₁F₁ ส่วนใหญ่ ทางด้านพันธุ์ M1116-2 × PJ07-1 มีน้ำหนักผลผลิตต่อต้นสูงที่สุดและแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ กับลูกผสม พ่อแม่พันธุ์เกือบทั้งหมด BC₁F₁ และ BC₂F₁ ทั้งหมด พันธุ์ CA1449-6-10-1 × 35-5-3-1 มีความกว้างของผลมาก

ที่สุด และแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติเมื่อเปรียบเทียบกับพันธุ์อื่น ๆ ในกลุ่มลูกผสม พ่อแม่พันธุ์เกือบทั้งหมด BC₁F₁ และ BC₂F₁ ทั้งหมด พันธุ์ PJ07-1 × Bhut Jolokia-1 มีความยาวของผลมากที่สุด และแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับลูกผสม พ่อแม่พันธุ์ BC₁F₁ เกือบทั้งหมด และ BC₂F₁ ทั้งหมด พันธุ์ 35-5-3-2 × Bhut Jolokia-1 มีความยาวของก้านผลมากที่สุด และแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับ F₁ พ่อแม่พันธุ์ BC₁F₁ และ BC₂F₁ เกือบทั้งหมด พันธุ์ F-3-8-2 × Bhut Jolokia-2 มีน้ำหนักผลเฉลี่ยมากที่สุด และแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับกลุ่มลูกผสม BC₁F₁ และ BC₂F₁ พันธุ์ 35-5-3-1 × Bhut Jolokia-3 มีจำนวนผลต่อน้ำหนัก 100 กรัม มากที่สุด และแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับกลุ่มลูกผสม ส่วนใหญ่

Table 2. Height of plant, width of its canopy and yield of chilis

Variety	Type	Plant height (cm)		Canopy width (cm)		Fruit weight per plant (g)	
Inbred line							
PJ05 (<i>C. annuum</i>)	Inbred line	81.80	bc	70.44	d-i	411.70	a-f
PJ07 (<i>C. annuum</i>)	Inbred line	63.90	d-h	56.45	h-j	332.20	b-h
CA1449-6-10 (<i>C. annuum</i>)	Inbred line	71.00	b-h	78.44	b-g	483.50	ab
J-10-3 (<i>C. annuum</i>)	Inbred line	80.60	bc	78.44	b-g	184.80	f-j
F-3-8 (<i>C. annuum</i>)	Inbred line	81.10	bc	72.56	c-i	197.70	d-j
Bhut Jolokia (<i>C. chinense</i>)	Inbred line	67.80	c-h	62.89	g-j	118.50	h-j
JD01 (<i>C. chinense</i>)	Inbred line	61.60	gh	50.67	j	65.20	j
35-5-3 (<i>C. frutescens</i>)	Inbred line	67.80	c-h	69.33	f-i	143.40	g-j
MHS-17 (<i>C. frutescens</i>)	Inbred line	98.90	a	75.44	b-g	337.20	b-h
M1116 (<i>C. frutescens</i>)	Inbred line	75.70	b-g	62.22	g-j	207.90	c-j
Hybrid							
F-3-8-2 × Bhut Jolokia-2	F ₁	73.40	b-h	78.22	b-g	362.10	b-g
PJ07-1 × Bhut Jolokia-1	F ₁	58.30	h	55.89	ij	307.30	b-i
PJ05-2 × MHS-17-1	F ₁	77.90	b-f	99.11	a	287.60	b-j
F-3-8-1 × Bhut Jolokia-2	F ₁	72.80	b-h	71.34	c-i	160.20	g-j
F3-8-3 × MHS-17-2	F ₁	79.30	b-d	93.00	ab	320.90	b-i
PJ05-9-2 × MHS-17-1	F ₁	72.10	b-h	77.22	b-g	292.10	b-j
J-10-3-1 × MHS-17-2	F ₁	70.60	b-h	84.89	a-f	295.10	b-j
C1449-6-10-1 × 35-5-3-1	F ₁	76.30	b-g	84.89	a-f	487.80	ab
M1116-2 × PJ07-1	F ₁	76.90	b-g	79.00	b-g	626.10	a
35-5-3-1 × PJ05-2	F ₁	77.80	b-f	86.33	a-f	434.00	a-d
35-5-3-2 × CA1449-6-10-2	F ₁	82.40	bc	89.56	a-c	444.20	a-c
35-5-3-3 × J-10-3-2	F ₁	79.10	b-d	74.67	b-g	241.60	c-j
35-5-3-1 × PJ07-2	F ₁	78.00	b-f	72.78	c-i	258.30	b-j
35-5-3-1 × F-3-8-2	F ₁	77.70	b-f	81.67	a-f	368.00	b-g
M1116-1 × PJ05-2	F ₁	80.80	bc	76.22	b-g	438.50	a-c
35-5-3-1 × Bhut Jolokia-3	F ₁	70.00	b-h	79.33	b-g	176.00	f-j
JD01 × Bhut Jolokia-2	F ₁	62.60	f-h	70.11	d-i	85.50	ij
35-5-3-2 × Bhut Jolokia-1	F ₁	74.60	b-g	85.89	a-f	365.60	b-g
BC							
(F-3-8-2-1 × Bhut Jolokia-2-1) × F-3-8-2-1-1	BC ₁ F ₁	79.00	b-d	69.89	f-i	251.40	b-j
(F-3-8-3-1 × MHS-17-2-1) × F-3-8-3-1-2	BC ₁ F ₁	84.30	b	88.67	a-d	248.90	b-j
(J-10-3-1-2 × MHS -17-2-2) × J-10-3-1-2-1	BC ₁ F ₁	79.30	b-d	86.89	a-f	354.70	b-h
(CA1449-6-19-1-2 × 35-5-3-1-3) × CA1449-6-19-1-2-1	BC ₁ F ₁	78.60	b-d	86.11	a-f	248.10	b-j
((F-3-8-3-1 × MHS -17-2-1) × F-3-8-3-1-2) × F-3-8-3-1-2-1	BC ₂ F ₁	79.10	b-d	80.33	b-g	166.80	g-j
((J-10-3-1-2 × MHS-17-2-2) × J-10-3-1-2-1) × J-10-3-1-2-1-2	BC ₂ F ₁	71.60	b-h	76.22	b-g	224.20	c-j
((CA1449-6-19-1-2 × 35-5-3-1-3) × CA1449-6-19-1-2-1) × CA1449-6-19-1-2-1-1	BC ₂ F ₁	68.00	c-h	73.89	c-h	185.80	f-j
Mean		75.20		76.54		289.30	
F-test		*		*		*	
C.V. (%)		10.41		12.01		41.37	

Means with common letter within the same column are not significant by LSD test ($P \leq 0.05$)

Table 3. Width and length of fruit and length of fruit stem of chilis

Variety	Type	Fruit width (cm)		Fruit length (cm)		Stalk length of fruit (mm)	
Inbred line							
PJ05 (<i>C. annuum</i>)	Inbred line	1.70	c-f	7.00	h-n	40.50	c-h
PJ07 (<i>C. annuum</i>)	Inbred line	2.00	b	11.80	a	46.80	b
CA1449-6-10 (<i>C. annuum</i>)	Inbred line	1.30	g-j	10.80	ab	43.00	b-f
J-10-3 (<i>C. annuum</i>)	Inbred line	1.00	l-p	5.50	p	35.80	h-n
F-3-8 (<i>C. annuum</i>)	Inbred line	1.90	bc	10.10	b-d	33.30	k-n
Bhut Jolokia (<i>C. chinense</i>)	Inbred line	2.30	a	3.8 0	q	25.60	o
JD01 (<i>C. chinense</i>)	Inbred line	0.70	q-s	6.10	op	31.90	mn
35-5-3 (<i>C. frutescens</i>)	Inbred line	1.10	j-o	7.10	j-o	40.10	c-j
MHS-17 (<i>C. frutescens</i>)	Inbred line	1.50	d-h	6.90	k-o	58.00	a
M1116 (<i>C. frutescens</i>)	Inbred line	0.80	p-r	6.30	n-p	32.90	l-n
Hybrid							
F-3-8-2 × Bhut Jolokia-2	F ₁	1.30	i-m	8.50	f-j	39.00	c-l
PJ07-1 × Bhut Jolokia-1	F ₁	1.10	k-p	10.60	a-c	32.60	mn
PJ05-2 × MHS-17-1	F ₁	1.00	m-p	7.50	h-o	33.80	j-n
F-3-8-1 × Bhut Jolokia-2	F ₁	1.60	d-g	6.40	n-p	32.70	l-n
F3-8-3 × MHS-17-2	F ₁	1.30	h-k	8.20	f-l	47.40	b
PJ05-9-2 × MHS-17-1	F ₁	1.50	f-i	8.20	f-l	40.50	c-h
J-10-3-1 × MHS-17-2	F ₁	0.70	q-s	7.30	i-o	32.90	l-n
C1449-6-10-1 × 35-5-3-1	F ₁	1.80	cd	8.70	d-i	39.70	c-j
M1116-2 × PJ07-1	F ₁	1.10	j-o	7.60	h-n	42.30	b-g
35-5-3-1 × PJ05-2	F ₁	1.21	j-n	7.90	g-m	36.90	f-m
35-5-3-2 × CA1449-6-10-2	F ₁	1.20	j-n	9.40	c-f	34.20	i-n
35-5-3-3 × J-10-3-2	F ₁	0.90	o-q	6.80	l-p	29.50	no
35-5-3-1 × PJ07-2	F ₁	1.10	j-o	9.20	c-g	36.40	g-m
35-5-3-1 × F-3-8-2	F ₁	0.90	n-p	7.00	j-o	39.50	c-k
M1116-1 × PJ05-2	F ₁	1.30	h-l	8.00	f-l	40.40	c-i
35-5-3-1 × Bhut Jolokia-3	F ₁	1.10	k-p	4.10	q	37.70	d-m
JD01 × Bhut Jolokia-2	F ₁	0.80	p-r	3.30	q	35.60	h-n
35-5-3-2 × Bhut Jolokia-1	F ₁	1.40	g-j	8.80	d-h	44.90	bc
BC							
(F-3-8-2-1 × Bhut Jolokia-2-1) × F-3-8-2-1-1	BC ₁ F ₁	1.10	k-p	10.10	b-d	38.10	d-m
(F-3-8-3-1 × MHS-17-2-1) × F-3-8-3-1-2	BC ₁ F ₁	0.60	rs	8.10	f-l	34.10	i-n
(J-10-3-1-2 × MHS -17-2-2) × J-10-3-1-2-1	BC ₁ F ₁	0.90	p-r	8.10	f-l	36.00	h-m
(CA1449-6-19-1-2 × 35-5-3-1-3) × CA1449-6-19-1-2-1	BC ₁ F ₁	1.40	g-j	8.30	f-k	43.50	b-d
((F-3-8-3-1 × MHS -17-2-1) × F-3-8-3-1-2) × F-3-8-3-1-2-1	BC ₂ F ₁	0.70	q-s	7.70	h-n	33.40	k-n
((J-10-3-1-2 × MHS-17-2-2) × J-10-3-1-2-1) × J-10-3-1-2-1-2	BC ₂ F ₁	0.60	s	7.20	j-o	32.30	mn
((CA1449-6-19-1-2 × 35-5-3-1-3) × CA1449-6-19-1-2-1) × CA1449-6-19-1-2-1-1	BC ₂ F ₁	0.90	p-r	6.50	m-p	33.00	l-n
Mean		12.0		7.7		37.6	
F-test		*		*		*	
C.V. (%)		11.31		9.74		8.52	

Means with common letter within the same column are not significant by LSD test ($P \leq 0.05$)

Table 4. Average weight of fruit and number of fruit of chilis per 100 grams

Variety	Type	Average fruit weight (g)		Number of fruits per 100 grams	
Inbred line					
PJ05 (<i>C. annuum</i>)	Inbred line	8.80	b	11	uv
PJ07 (<i>C. annuum</i>)	Inbred line	7.80	bc	13	s-v
CA1449-6-10 (<i>C. annuum</i>)	Inbred line	8.00	bc	13	t-v
J-10-3 (<i>C. annuum</i>)	Inbred line	3.20	j-n	32	j-m
F-3-8 (<i>C. annuum</i>)	Inbred line	10.70	a	9	v
Bhut Jolokia (<i>C. chinense</i>)	Inbred line	3.30	i-m	30	j-n
JD01 (<i>C. chinense</i>)	Inbred line	2.00	l-q	50	fg
35-5-3 (<i>C. frutescens</i>)	Inbred line	1.30	q	76	a
MHS-17 (<i>C. frutescens</i>)	Inbred line	3.00	k-o	33	i-m
M1116 (<i>C. frutescens</i>)	Inbred line	2.40	l-q	42	g-i
Hybrid					
F-3-8-2 × Bhut Jolokia-2	F ₁	8.80	b	12	uv
PJ07-1 × Bhut Jolokia-1	F ₁	7.10	cd	14	s-v
PJ05-2 × MHS-17-1	F ₁	3.50	i-l	28	k-o
F-3-8-1 × Bhut Jolokia-2	F ₁	2.80	k-p	37	h-k
F3-8-3 × MHS-17-2	F ₁	3.70	h-l	32	j-m
PJ05-9-2 × MHS-17-1	F ₁	3.60	h-l	28	l-o
J-10-3-1 × MHS-17-2	F ₁	2.30	l-q	43	gh
C1449-6-10-1 × 35-5-3-1	F ₁	4.10	g-k	25	m-r
M1116-2 × PJ07-1	F ₁	5.90	df	17	q-v
35-5-3-1 × PJ05-2	F ₁	3.80	h-l	27	m-p
35-5-3-2 × CA1449-6-10-2	F ₁	5.00	f-h	20	o-u
35-5-3-3 × J-10-3-2	F ₁	3.00	k-o	34	i-m
35-5-3-1 × PJ07-2	F ₁	4.70	f-i	22	n-t
35-5-3-1 × F-3-8-2	F ₁	4.50	f-j	22	n-s
M1116-1 × PJ05-2	F ₁	5.40	fg	18	p-v
35-5-3-1 × Bhut Jolokia-3	F ₁	1.50	pq	68	b
JD01 × Bhut Jolokia-2	F ₁	1.50	pq	65	bc
35-5-3-2 × Bhut Jolokia-1	F ₁	2.70	k-q	37	h-l
BC					
(F-3-8-2-1 × Bhut Jolokia-2-1) × F-3-8-2-1-1	BC ₁ F ₁	6.70	cd	16	r-v
(F-3-8-3-1 × MHS-17-2-1) × F-3-8-3-1-2	BC ₁ F ₁	2.30	l-q	43	gh
(J-10-3-1-2 × MHS-17-2-2) × J-10-3-1-2-1	BC ₁ F ₁	2.60	l-q	39	h-j
(CA1449-6-19-1-2 × 35-5-3-1-3) × CA1449-6-19-1-2-1	BC ₁ F ₁	1.90	n-q	53	df
((F-3-8-3-1 × MHS-17-2-1) × F-3-8-3-1-2) × F-3-8-3-1-2-1	BC ₂ F ₁	1.70	o-q	59	cd
((J-10-3-1-2 × MHS-17-2-2) × J-10-3-1-2-1) × J-10-3-1-2-1-2	BC ₂ F ₁	1.80	n-q	56	df
((CA1449-6-19-1-2 × 35-5-3-1-3) × CA1449-6-19-1-2-1) × CA1449-6-19-1-2-1-1	BC ₂ F ₁	3.70	h-l	26	m-q
Mean		4.20		33	
F-test		*		*	
C.V. (%)		17.73		14.71	

Means with common letter within the same column are not significant by LSD test ($P \leq 0.05$)

BC₁F₁ และ BC₂F₁ ลูกผสมพริกขี้หนูที่ 1 ระหว่าง *C. annuum* × *C. chinense* พบว่า *C. chinense* ไม่พัฒนาน้ำหนักผลต่อต้น และน้ำหนักผลเฉลี่ยของ *C. annuum* การผสมข้ามชนิดระหว่าง *C. chinense* × *C. frutescens* พบว่า *C. chinense* พัฒนาน้ำหนักผลต่อต้น ของ *C. frutescens* คู่ผสม 35-5-3-1 × Bhut Jolokia-3 และ คู่ผสม JD01-1 × Bhut Jolokia-2 (Figure 2-3) ลูกผสมพริกขี้หนูที่ 1 ระหว่าง *C. annuum* × *C. frutescens* ติดเมล็ดได้ง่ายกว่า *C. annuum* × *C. chinense* และ *C. chinense* × *C. frutescens* การผสมข้ามชนิดทำให้

น้ำหนักผลต่อต้นสูงกว่าพ่อและแม่ แต่น้ำหนักผลเฉลี่ยน้อยกว่าพ่อและแม่ การผสมข้ามชนิดที่ดี ได้แก่ 35-5-3-1 × F-3-8-2 ลักษณะต้นและผลของคู่ผสม (Figure 4) 35-5-3-1 × PJ07-2 ลักษณะต้นและผลของคู่ผสม (Figure 5) 35-5-3-1 × PJ05-2, 35-5-3-3 × J-10-3-2 และ 35-5-3-2 × CA1449-6-10-2 ดังนั้น พริกพันธุ์ 35-5-3-1 เป็นพันธุ์ที่ดีที่สุดในกลุ่มที่ควรใช้ในการผสมพันธุ์กับพริก *C. annuum* เนื่องจากเมื่อใช้เป็นแม่พันธุ์ ให้ลูกผสมที่มีความสูงของต้นสูงที่สุด และเมื่อใช้เป็นพ่อพันธุ์ พบว่า มีความกว้างของผลมากที่สุด

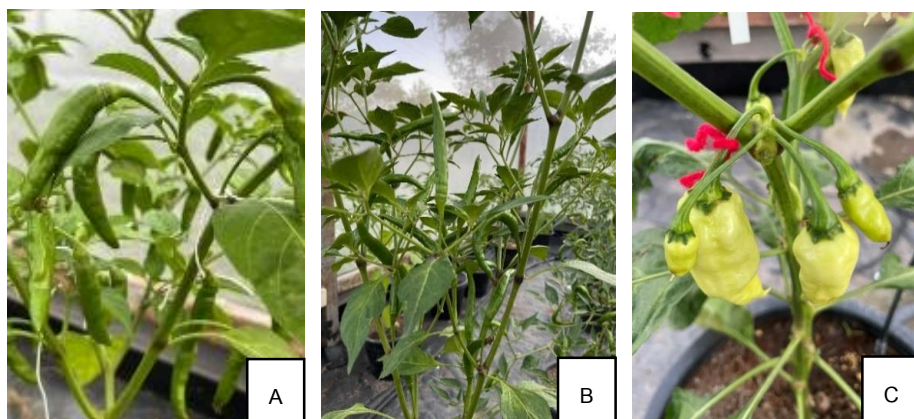


Figure 2. The fruit characteristics of the F₁ hybrid generation [35-5-3-1 × Bhut Jolokia-3 (A)] from the parent varieties, *Capsicum frutescens* [35-5-3-1 (B)] and *C. chinense* [Bhut Jolokia-3 (C)]

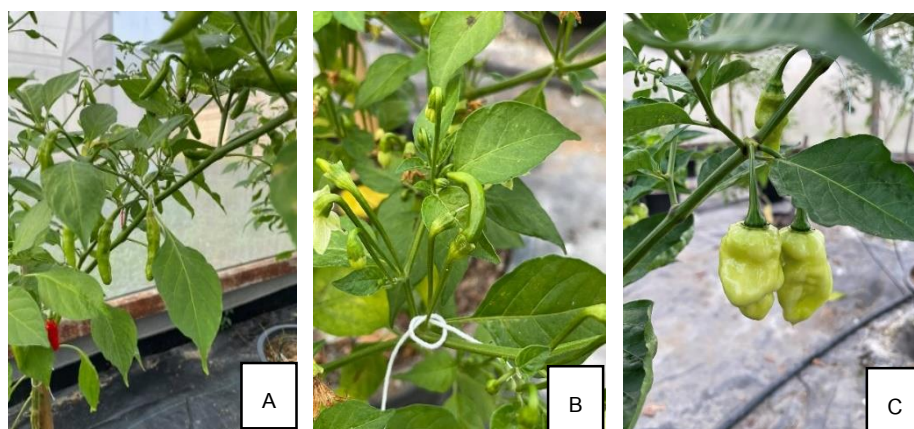


Figure 3. The fruit characteristics of F₁ hybrid generation [JD01-1 × Bhut Jolokia-2 (A)] from *Capsicum frutescens* [JD01-1 (B)] and *C. chinense* [Bhut Jolokia-2 (C)]

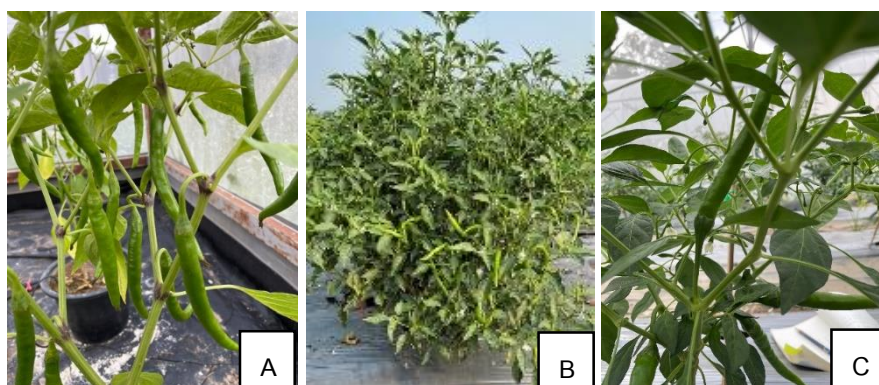


Figure 4. The fruit characteristics of the F_1 hybrid generation [35-5-3-1 $\times$ F-3-8-2 (A)] from the parent varieties, *Capsicum frutescens* [35-5-3-1 (B)] and *C. annuum* [F-3-8-2 (C)]

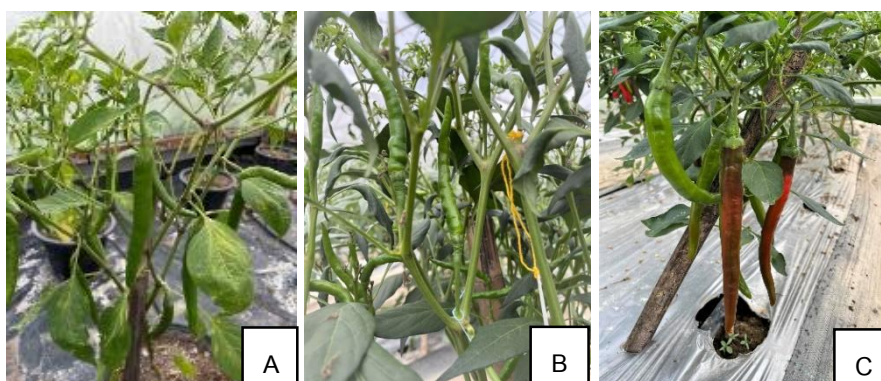


Figure 5. The fruit characteristics of the F_1 hybrid generation [35-5-3-1 $\times$ PJ07-2 (A)] from the parent varieties, *Capsicum frutescens* [35-5-3-1 (B)] and *C. annuum* [PJ07-2 (C)]

วิจารณ์

การผสมข้ามชนิดระหว่าง *C. annuum* และ *C. chinense* พบว่า *C. chinense* ไม่พัฒนาน้ำหนักผลต่อต้น และน้ำหนักผลเฉลี่ยของ *C. annuum* ซึ่งเกี่ยวข้องกับลักษณะทางพันธุกรรม และลักษณะอื่น ๆ ทาง การเกษตร จุดประสงค์ในการผสมข้ามชนิดระหว่างสองสายพันธุ์นี้มีเป้าหมายเพื่อรวมลักษณะที่พึงประสงค์ เช่น ความต้านทานโรค และคุณภาพของผล แต่อย่างไรก็ตามก็มีผลกระทบด้านน้ำหนัก และผลผลิตของผลที่เหมาะสม เนื่องจากความไม่เข้ากันทางพันธุกรรมและความแตกต่างในการเจริญเติบโต (Verma *et al.*, 2024)

จากรายงานของ Kumar *et al.* (1987) พบว่า จีโนมของ *C. annuum* และ *C. chinense* ที่ลักษณะโครโมโซมแตกต่างกันเล็กน้อย และมี 2 ทรานสโลเคชัน (translocation) ที่ต่างกัน นอกจากนี้ Inai *et al.* (1993) รายงานว่าปฏิกิริยาของดีเอ็นเอ ของ *C. annuum* กับไฮโดรฟลอสซึมของ *C. chinense* ทำให้เกิดการลดการเจริญเติบโต และจากรายงานของ Shiragaki *et al.* (2022) พบว่า ลูกผสมข้ามชนิดของ *C. annuum* และ *C. chinense* ไม่แสดงความอ่อนแอเมื่อเทียบกับพ่อแม่ ในช่วง 20 วันหลังออก แต่แสดงออกเมื่ออายุ 40 วันหลังออก การยืดต้นลดลง ปลายยอดหยุดการเจริญ เมื่อตรวจสอยอดอ่อน พบว่า ลดการพัฒนาและมีลักษณะ

ผิดปกติ ลูกผสมข้ามชนิด ของพริก *C. annuum* และ *C. chinense* หากใช้ *C. annuum* เป็นแม่พันธุ์ ลูกผสมชั่วที่ 1 แสดงอาการแคระแกร็นน้อยกว่า เมื่อใช้ *C. chinense* เป็นแม่พันธุ์ การผสมข้ามชนิดของ *C. annuum* × *C. chinense* เป็นการขยายฐานพันธุกรรม ตามผลงานของ Denli *et al.* (2022) เมื่อประเมินลักษณะพื้นฐานวิทยา 56 ลักษณะในประชากร F_2 พบความแปรปรวน 63-87%

ผลจากการทดลองผสมข้ามชนิด ระหว่าง *C. chinense* × *C. frutescens* พบว่า ลูกผสมข้ามชนิด ส่วนใหญ่มีน้ำหนักผลต่อต้นมากกว่าพ่อแม่ และน้ำหนักผลเฉลี่ยมีทั้งมากกว่าและน้อยกว่าพ่อแม่ พริก *C. chinense* มีหลายดอกต่อข้อซึ่งมีผลดีต่อการเพิ่มผลผลิต (Subramanya, 1983 and Kim *et al.*, 2022) นอกจากนี้ ข้อดีของ *C. chinense* คือ ช่วยเพิ่มสารแคปไซซินด้วยการผสมข้ามชนิดแบบนี้เกิดได้ในธรรมชาติ เป็นพริกที่มีความสำคัญในการใช้เป็นพันธุ์ปลูกมากในแถบเทือกเขาแอนดีสในทวีปอเมริกาใต้ (Pickersgill, 1997) พริกชนิดนี้มีหลายพันธุ์ที่เคยมีความเผ็ดที่สุดในโลก เช่น พริกนุต โจโลเกีย (Bhut Jolokia) พริกแคโรไลนาลีปเปอร์ (Carolina reaper) สำหรับพริกนากาไวเปอร์ (naga viper) เป็นพริก ลูกผสมระหว่างชนิดของ *C. chinense* และ *C. frutescens* (Bosland and Baral, 2007) ซึ่งมีความเผ็ดที่สุดในโลก โดยมีความเผ็ด 879,953 ถึง 1,001,304 Scoville units ลูกผสมระหว่าง *C. chinense* × *C. frutescens* มักไม่สำเร็จเพราะเมล็ดพันธุ์ไม่งอก และต้นกล้าแคระแกร็น แต่การเจริญเป็นปกติถ้าใช้ *C. chinense* เป็นแม่พันธุ์ (Hazarika *et al.*, 2023) จากการศึกษาพันธุศาสตร์ในระดับเซลล์ของ *C. chinense* และ *C. frutescens* พบว่ามี 1 ทรานสโลเคชัน (translocation) และ 1 อินเวอร์ชัน (inversion) ที่ต่างกัน และโครโมโซมไม่จับกัน (Kumar *et al.*, 1987)

สรุป

ลูกผสมข้ามชนิด ระหว่าง *C. annuum* × *C. frutescens* ติดเมล็ดง่ายกว่า *C. annuum* × *C. chinense* และ *C. chinense* × *C. frutescens* นอกจากนี้พบว่า

เมื่อพริก *C. frutescens* พันธุ์ 35-5-3-1 ผสมกับพันธุ์ F-3-8-3 พันธุ์ PJ05-2 และพันธุ์ PJ07-1 ลูกผสมข้ามชนิดส่วนใหญ่ให้น้ำหนักผลต่อต้นที่สูงกว่าพ่อแม่และน้ำหนักผลเฉลี่ยสูงกว่า *C. frutescens* แต่ต่ำกว่า *C. annuum* ลูกผสมพริกชั่วที่ 1 ที่ดี ได้แก่ คู่ผสม 35-5-3-1 × F-3-8-2 คู่ผสม 35-5-3-1 × PJ07-2 คู่ผสม 35-5-3-1 × PJ05-2 โดยพริก *C. frutescens* พันธุ์ 35-5-3-1 เป็นพันธุ์ที่ดีที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับพันธุ์ JD01 ควรนำมาใช้ในการผสมกับพริก *C. annuum* เพื่อช่วยขยายฐานพันธุกรรมของพันธุ์ที่มีอยู่ให้กว้างขึ้น และเป็นแนวทางในการปรับปรุงพันธุ์พริกให้มีลักษณะทางการเกษตรที่ดีขึ้นต่อไป

เอกสารอ้างอิง

- Barchenger, D.W., P. Naresh and S. Kumar. 2019. Genetic resources of *Capsicum*. pp. 9-23. In: N. Ramchiary and C. Kole (eds.). The *Capsicum* Genome. WorldVeg Staff Publication. Springer Cham, Switzerland.
- Bosland, P.W. 1994. Chiles: History, cultivation, and uses. pp. 347-366. In: G. Charalambous (ed.). Spices, Herbs, and Edible Fungi. Elsevier Science, Amsterdam.
- Bosland, P.W. and J.B. Baral. 2007. Bhut Jolokia the world's hottest known chile pepper is a putative naturally occurring interspecific hybrid. HortScience 42(2): 222-224.
- Denli, N., A. Ata and H. Taskin. 2022. Expansion of the genetic base by interspecific hybridization in *Capsicum annuum* and *Capsicum chinense*. Ekin Journal of Crop Breeding and Genetics 8(1): 33-40.
- Hazarika, G., R. Phukan, D. Sarma, R.N. Sarma, S.D. Deka, B. Neog, A. Sarma, S. Gogoi, R.T. Das and H. Ojha, 2023. Genetic relatedness among interspecific hybrids in the genus *Capsicum* and their implications

- in breeding King chilli. South African Journal of Botany 163: 744-755.
- Heiser, C.B. Jr and B. Pickersgill. 1969. Names for the cultivated *Capsicum* species (Solanaceae). Taxon 18(3): 277-283.
- Inai, S., K. Ishikawa, O. Nunomura and H. Ikehashi. 1993. Genetic analysis of stunted growth by nuclear-cytoplasmic interaction in interspecific hybrids of *Capsicum* by using RAPD markers. Theoretical and Applied Genetics 87: 416-422.
- Jeong, H.S., S. Jan, K. Han, J.K. Kwon and B.C. Kang. 2015. Marker-assisted backcross breeding for development of pepper varieties (*Capsicum annuum*) containing capsinoids. Molecular Breeding 35(226): 1-10.
- Verma, V.K., A. Pandey, A. Thirugnanavel, H. Rymbai, N. Dutta, A. Kumar, T.L. Bhutia, A.K. Jha and V.K. Mishra. 2024. Ecology, genetic diversity, and population structure among commercial varieties and local landraces of *Capsicum* spp. grown in northeastern states of India. Frontiers in Plant Science 4 :15, doi: 10.3389/fpls.2024.1379637.
- Kim, Y., G.W. Kim, K. Han, H.Y. Lee, J. Jo, J.K. Kwon, Z. Lemmon, Z. Lippman and B.C. Kang. 2022. Identification of genetic factors controlling the formation of multiple flowers per node in pepper (*Capsicum* spp.). Frontiers in Plant Science. 13: 884-338.
- Kumar, O.A., R.C. Panda and. K.G.R. Rao. 1987. Cytogenetic studies of the F₁ hybrids of *Capsicum annuum* with *C. chinense* and *C. baccatum*. Theoretical and Applied Genetics 74(2): 242-246.
- Lamichhane S. and S. Thapa. 2022. Advances from conventional to modern plant breeding methodologies. Plant Breeding and Biotechnology 10: 1-14.
- Pandit, E., S. Pawar, S.R. Barik, S.P. Mohanty, J. Meher and S.K. Pradhan. 2021. Marker-assisted backcross breeding for improvement of submergence tolerance and grain yield in the popular rice variety 'Maudamani'. Agronomy 11:7, doi: 10.3390/agronomy11071263.
- Pickersgill, B. 1971. Relationships between weedy and cultivated forms in some species of chili peppers (genus *Capsicum*). Evolution 25: 683-691.
- Pickersgill, B. 1992. Barriers to interspecific gene exchange in *Capsicum*. pp. 57-60. In: Proceedings of 8th Meeting of Genetics and Breeding on *Capsicum* and eggplant, Rome.
- Pickersgill, B. 1997. Genetic resources and breeding of *Capsicum* spp. Euphytica 96: 129-133.
- Shiragaki, K., S. Seko, S. Yokoi and T. Tezuka. 2022. *Capsicum annuum* with causal allele of hybrid weakness is prevalent in Asia. PLoS ONE 11:7, doi: 10.3390/agronomy11071263.
- Shuh, D.M. and J.F. Fontenot. 1990. Gene transfer of multiple flowers and pubescent leaf from *Capsicum chinense* into *Capsicum annuum* backgrounds. Journal of the American Society for Horticultural Science 115: 499-502.
- Sikora, B. and P. Nowaczyk. 2014. Application of RAPD technique for identification of interspecific hybrids from genus *Capsicum*. Acta Scientiarum Polonorum Horticul Cultus 13(1): 155-166.

-
- Subramanya, R. 1983. Transfer of genes for multiple flowers from *Capsicum chinense* to *Capsicum annuum*. HortScience 18(5): 747-749.
- Tanksley, S.D. and J. Iglesias-Olivas. 1984. Inheritance and transfer of multiple-flower character from *Capsicum chinense* into *Capsicum annuum*. Euphytica 33: 769-777.
- van Zonneveld, M., M. Ramirez, D.E. Williams, M. Petz, S. Meckelmann, T. Avila, C. Bejarano, L. Ríos, K. Peña, M. Jäger, D. Libreros, K. Amaya and X. Scheldeman. 2015. Screening genetic resources of *Capsicum* peppers in their primary center of diversity in Bolivia and Peru. PLoS ONE 10:9, doi: org/10.1371/journal.pone.0134663.
- Villalon, B., F.J. Dainello, W.N. Lipe and R.M. Taylor. 1986. 'Tam Mild Chile-2' chile pepper. HORTSCIENCE. 21(6): 1468-1469.
- Zhu, Z., B. Sun, J. Wei, W. Cai, Z. Huang, C. Chen, B. Cao, G. Chen and J. Lei. 2019. Construction of a high density genetic map of an interspecific cross of *Capsicum chinense* and *Capsicum annuum* and QTL analysis of floral traits. Scientific Reports 9:1, doi: 10.1038/s41598-018-38370-0.
-

ผลของความร้อนแบบฟลูอิดไดซ์เบดระดับห้องปฏิบัติการต่อการปนเปื้อนราบางชนิด และคุณภาพของเมล็ดข้าวเปลือก

Effects of Laboratory Scale Fluidized Bed Heat Treatment on Some Fungal Contamination and Quality of Paddy Seeds

เกวาลิน คุณาศักดากุล^{1,4} กัลยา บุญสง่า² เกศกนก เอี่ยมสอาด¹
วิบูลย์ ช่างเรือ^{3,4} และ เยาวลักษณ์ จันทรบ่าง^{1,2,4*}
Kaewalin Kunasakdakul^{1,4}, Kunlayaa Boonsa-nga², Ketkanok Aeamsaard¹,
Viboon Changrue^{3,4} and Yaowaluk Chanbang^{1,2,4*}

²ศูนย์วิจัยเทคโนโลยีหลังการเก็บเกี่ยว คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ อ. เมือง จ. เชียงใหม่ 50200

²Postharvest Technology Research Center, Faculty of Agriculture, Chiang Mai University, Chiang Mai 50200, Thailand

¹ภาควิชากีฏวิทยาและโรคพืช คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ อ. เมือง จ. เชียงใหม่ 50200

¹Department of Entomology and Plant Pathology, Faculty of Agriculture, Chiang Mai University, Chiang Mai 50200, Thailand

³ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ อ. เมือง จ. เชียงใหม่ 50200

³Department of Mechanical Engineering, Faculty of Engineering, Chiang Mai University, Chiang Mai 50200, Thailand

⁴ศูนย์นวัตกรรมเทคโนโลยีหลังการเก็บเกี่ยว กระทรวงการอุดมศึกษา วิทยาศาสตร์ วิจัยและนวัตกรรม กรุงเทพฯ 10400

⁴Postharvest Technology Innovation Center, Ministry of Higher Education, Science, Research and Innovation, Bangkok 10400

*Corresponding author, Email: Yoawaluk.c@cmu.ac.th

(Received: 14 November 2023; Accepted: 14 May 2024)

Abstract: The investigation of paddy seed cv. Khao Dawk Mali 105 after harvesting in 2019 season detected various seed-borne fungi, *Curvularia* sp., *Fusarium* sp., *Aspergillus niger*, *A. flavus* and *Penicillium* sp. with total infection of 92.25% while germination rate was 93.50%. The effects of heat fluidized bed (FDB) on the reduction of seed-borne fungi on paddy seed were studied using laboratory heat fluidized bed facility (Christison Scientific, UK). The FDB unit was set to a blower speed of 3.7 m/s and then varied combinations of temperature from 60°C -100 °C (5-degree intervals), time periods of 90, 120 seconds and seed loads of 200 g. The results found that, the increasing temperature level was able to significantly reduce the percentage of fungal contamination on the paddy seeds and cause the germination percentage to decrease as well. Using a paddy seed weight of 200 grams, temperature of 65°C for a period of 120 seconds was the most appropriate trial. This treatment effectively decreased contamination by over 20 % without causing seed germination to be below standard. However, the temperature above 70°C, the seed germination rate was below 80%, which was not acceptable for the standard germination rate. These results were confirmed in a similar experiment with paddy seed cv. Pathum Thani 1. Additionally, the trial at

a temperature above 85°C reduced some milling qualities from very good to good on the seed. The effects of FDB on various levels of *A. niger* contamination including 25%, 50%, 75% and 100% on paddy seed cv. Khao Dawk Mali 105 were established. The results revealed 50% decreasing of fungal contamination on the seed after treatment with 75-80°C at all contamination levels. While, *Curvularia* sp. and *Fusarium* sp. were more sensitive to FDB than *A. niger*, the use of 60°C exhibited a 50% reduction in contamination in all trials.

Keywords: heat fluidized bed, decreasing of fungal contamination, paddy seed

บทคัดย่อ: การตรวจสอบราที่ติดมากับเมล็ดข้าวเปลือกขาวดอกมะลิ 105 หลังการเก็บเกี่ยวปี พ.ศ. 2562 พบเชื้อรา *Curvularia* sp., *Fusarium* sp., *Aspergillus niger*, *A. flavus* และ *Penicillium* sp. คิดเป็นร้อยละการติดเชื้อรวมทุกเชื้อ 92.25 และเมล็ดมีความงอกร้อยละ 93.50 เมื่อทดสอบผลของการให้ความร้อนแบบฟลูอิดไดซ์เบดระดับห้องปฏิบัติการ (Christison scientific, UK) ต่อปริมาณการปนเปื้อนราบางชนิดและความงอกของเมล็ดข้าว โดยตั้งค่าเครื่องมือที่ระดับความแรงลม 3.7 เมตร/วินาที กำหนดชุดการทดลอง โดยตั้งค่าระดับอุณหภูมิ ช่วงห่าง 5 °C ที่ 60-100 °C ระยะเวลา 90 และ 120 วินาที ใช้น้ำหนักเมล็ดข้าวเปลือก 200 กรัม พบว่า ที่ระดับอุณหภูมิสูงขึ้นสามารถลดร้อยละการปนเปื้อนราบนเมล็ดข้าวเปลือกได้มากขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ และทำให้เมล็ดข้าวมีร้อยละความงอกลดลงด้วย การใช้น้ำหนักเมล็ดข้าวเปลือก 200 กรัม อุณหภูมิที่ 65°C เป็นระยะเวลา 120 วินาทีเป็นระดับที่เหมาะสมที่สุด สามารถลดการปนเปื้อนได้มากกว่าร้อยละ 20 โดยยังคงความงอกของเมล็ดไว้ไม่ต่ำกว่ามาตรฐาน ส่วนอุณหภูมิที่ระดับ 70 °C ขึ้นไปทำให้ความงอกของเมล็ดลดลงต่ำกว่าร้อยละ 80 ซึ่งไม่เป็นไปตามมาตรฐานความงอกของเมล็ดพันธุ์ข้าวที่ดี ซึ่งการทดลองกับเมล็ดข้าวเปลือกพันธุ์ปทุมธานี 1 ให้ผลที่สอดคล้องกัน และยังพบว่า การใช้อุณหภูมิสูงกว่า 85 °C ทำให้คุณภาพการสีของเมล็ดข้าวเปลือกลดลงจากเดิมมากเป็นดี และจากการปลูกเชื้อรา *A. niger* ในระดับร้อยละ 25, 50, 75 และ 100 ลงบนเมล็ดข้าวเปลือก และนำไปผ่านเครื่องมือที่ทำให้เกิดสภาวะฟลูอิดไดซ์เบดในระดับห้องปฏิบัติการ พบว่าอุณหภูมิที่ 75-80 °C สามารถลดอัตราการปนเปื้อนรา *A. niger* ได้สูงกว่าร้อยละ 50 ในทุกระดับร้อยละของการปลูกเชื้อ ขณะที่การทดสอบเพื่อลดเชื้อรา *Curvularia* sp. และ *Fusarium* sp. พบว่าราทั้งสองชนิดทนต่อการให้ความร้อนแบบฟลูอิดไดซ์เบดได้น้อยกว่า รา *A. niger* โดยการใช้อุณหภูมิที่ 60 °C สามารถลดการปนเปื้อนได้มากกว่าร้อยละ 50 ในทุกระดับร้อยละของการปลูกเชื้อ

คำสำคัญ: ความร้อนแบบฟลูอิดไดซ์เบด การลดการปนเปื้อนรา เมล็ดข้าวเปลือก

คำนำ

การจัดการหลังการเก็บเกี่ยวข้าว โดยเฉพาะการจัดการด้านความชื้น มีความสำคัญต่อคุณภาพของทั้งเมล็ดข้าวเปลือกที่จะนำไปใช้เป็นเมล็ดพันธุ์เพื่อการเพาะปลูก และเมล็ดที่จะใช้สีเป็นข้าวสารจำหน่ายในท้องตลาด โดยทั่วไป เมื่อชาวนาเก็บเกี่ยวข้าวแล้ว มักนำข้าวเปลือกมากองรวมกัน ทำให้บริเวณกองข้าวมีอุณหภูมิสูงขึ้น เนื่องจากเมล็ดมีการหายใจ และการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิภายในกองข้าวเหมาะสมต่อ

การเจริญของราแทบทุกชนิด ส่งผลเสียต่อคุณภาพการสีและการสูญเสียความงอกของเมล็ดพันธุ์ ดังนั้น ในการเก็บรักษาข้าวเปลือกจึงจำเป็นต้องลดความชื้นให้เหลือประมาณร้อยละ 14 จะทำให้สามารถเก็บเมล็ดข้าวไว้ได้ 2-3 เดือน แต่หากต้องการเก็บเกินกว่า 3 เดือน ควรลดความชื้นเมล็ดให้เหลือต่ำกว่าร้อยละ 12 การลดความชื้นของข้าวเปลือกที่มีการปฏิบัติกันอย่างแพร่หลาย ได้แก่ การตาก ใช้แสงอาทิตย์เป็นแหล่งความร้อนทำให้ความชื้นของเมล็ดภายในเมล็ดลดลง เป็นวิธีการที่ประหยัดไม่ยุ่งยาก แต่มีข้อเสียคือไม่สามารถควบคุมคุณภาพข้าว

ได้ และการใช้เครื่องอบ สามารถลดความชื้นให้อยู่ในระดับตามต้องการ และสามารถควบคุมป้องกันความเสียหายต่อคุณภาพข้าวได้ เครื่องอบเพื่อลดความชื้นข้าวที่นิยมใช้กันมาก ได้แก่ เครื่องเป่าแห้งแบบฟลูอิดไดซ์เบต (fluidized bed dryer) ซึ่งใช้กระแสลมและความร้อนทำให้เมล็ดพืชลอยอยู่ในอากาศคล้ายกับของไหล และมีผลให้น้ำระเหยจากผิวเมล็ดได้อย่างรวดเร็วภายใน 1-2 นาทีที่มีประสิทธิภาพในลดความชื้นของผลผลิตเกษตรที่มีลักษณะเป็นเมล็ด ความเร็วสูงของลมช่วยคลุกเคล้าเมล็ดพืชทำให้มีความสามารถในการกระจายความร้อนในมวลเมล็ดพืชได้อย่างทั่วถึง ประกอบกับอุณหภูมิสูงทำให้ช่วยลดเวลาในการทำแห้งผลผลิตได้ดีขึ้น (Jittanit et al., 2013) และจากรายงานของ Karbassi and Mehdizadeh (2008) พบว่า การใช้เครื่องเป่าแห้งแบบฟลูอิดไดซ์เบตที่อุณหภูมิ 140 °C เป็นเวลา 2 นาที มีผลกระทบทางลบต่อคุณภาพบางประการของข้าวหลังการสี สำหรับในประเทศไทยมีการประยุกต์ใช้เทคนิคการเป่าแห้งแบบฟลูอิดไดซ์เบตจนเป็นที่ยอมรับในภาคอุตสาหกรรม มีการนำไปใช้อย่างแพร่หลายในโรงสีขนาดใหญ่หลายแห่ง เช่น โรงสีข้าวอรุณพัฒนา จังหวัดเพชรบูรณ์ และบริษัทโรงสีข้าวเจริญผล จำกัด จังหวัดนครราชสีมา ใช้ความร้อนจากระบบฟลูอิดไดซ์เบตในการอบข้าวเปลือกเมื่อแรกเข้าโรงสีเป็นความร้อนที่ 42-65 °C ระยะเวลา 5-10 นาที เป็นต้น ในขณะเดียวกัน มีรายงานการใช้เทคนิคนี้เพื่อควบคุมหรือลดปริมาณแมลงศัตรูในเมล็ดข้าวได้ แต่ยังไม่พบรายงานการใช้ในการควบคุมหรือลดปริมาณราหลังการเก็บเกี่ยวของเมล็ดข้าว รวมทั้งผลกระทบต่อความงอกซึ่งเป็นคุณสมบัติด้านการใช้เป็นเมล็ดพันธุ์ ดังนั้น งานวิจัยนี้จึงมุ่งศึกษาประสิทธิภาพของเทคนิคนี้ในการลดปริมาณราในเมล็ดข้าวเปลือกหลังการเก็บเกี่ยวของข้าวขาวดอกมะลิ 105 และปทุมธานี 1 เพื่อเป็นแนวทางในการลดความเสียหายที่เกิดจากราในระหว่างการเก็บรักษา

อุปกรณ์และวิธีการ

การปนเปื้อนราบนเมล็ดข้าวเปลือก

สุ่มเมล็ดข้าวเปลือกขาวดอกมะลิ 105 ของเกษตรกร ที่เก็บเกี่ยวในฤดูนาปี พ.ศ. 2562 นำมาตรวจวัด

ความชื้น และความงอกของเมล็ด ด้วยวิธีการเพาะบนกระดาษชื้น (blotter method) โดยเติมน้ำกลั่นฆ่าเชื้อ 3 มิลลิลิตร ลงบนกระดาษกรอง Whatman No.1 ในชุดจานแก้วเส้นผ่าศูนย์กลาง 10 เซนติเมตร ที่ผ่านการฆ่าเชื้อแล้ว จำนวน 4 ชุด วางเรียงเมล็ดบนกระดาษกรอง จำนวน 25 เมล็ด/จาน ปิดฝา บ่มไว้ที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 5 วัน ตรวจบันทึกร้อยละการงอกของเมล็ดข้าวเปลือก และนำเมล็ดที่มีการเจริญของรามาตรวจดูภายใต้กล้องจุลทรรศน์ชนิด stereo และ compound ตรวจนับร้อยละของเมล็ดที่พบการปนเปื้อนรา บันทึกลักษณะการเจริญของราและจำแนกสกุลด้วยการตรวจดูลักษณะเส้นใยและสปอร์ ใช้ในการทดลองต่อไป

การเตรียมสปอร์แขวนลอยของรา

คัดเลือกราที่เป็นสาเหตุสำคัญของโรคเมล็ดพันธุ์ และโรคหลังการเก็บเกี่ยวที่ตรวจพบมากจากการแยกได้จากเมล็ดข้าวเปลือกจากวิธีการข้างต้น จำนวน 3 ชนิด มาแยกเชื้อบริสุทธิ์ ด้วยวิธีการแยกสปอร์เดี่ยว โดยใช้เข็มเย้าย้ายเขี่ยนำมาขีดลงบนผิวหน้าอาหาร WA บ่มเชื้อไว้ 1-2 วัน ก่อนนำมาตรวจดูภายใต้กล้องจุลทรรศน์ชนิด stereo และย้ายสปอร์เดี่ยวของราที่กำลังออกมาเลี้ยง และตรวจสอบการปนเปื้อน ก่อนนำเชื้อบริสุทธิ์ที่ได้ไปเพิ่มปริมาณในอาหาร PDA บ่มเชื้อที่อุณหภูมิห้อง จนเชื้อเต็มจานอาหารเลี้ยงเชื้อ จึงนำเชื้อแต่ละชนิดไปเตรียมสปอร์แขวนลอย โดยนำน้ำกลั่นฆ่าเชื้อ ปริมาตร 10 มิลลิลิตร เทลงในจานเลี้ยงเชื้อ ใช้หัวเขี่ยเชื้อขูดผิวหน้าโคโลนีของเชื้อให้ทั่วจานอาหาร จากนั้น สปอร์แขวนลอยที่ได้ไปกรองด้วยผ้าขาวบาง และตรวจนับและปรับความเข้มข้นด้วย hemacytometer ที่ความเข้มข้น 1×10^4 สปอร์/มิลลิลิตร เพื่อใช้ในการทดลองต่อไป

ผลของสภาวะฟลูอิดไดซ์เบตต่อการลดปริมาณการปนเปื้อนราและความงอกของเมล็ดข้าว

สุ่มเมล็ดข้าวเปลือกขาวดอกมะลิ 105 ของเกษตรกร ในพื้นที่ จ. เชียงราย จำนวน 1 ราย จากน้ำหนักเมล็ดข้าวเปลือกรวม 100 กิโลกรัม ที่เก็บเกี่ยวในฤดูนาปี พ.ศ. 2562 มาผ่านการทดสอบด้วยเครื่องมือที่ทำให้เกิดสภาวะฟลูอิดไดซ์เบตระดับห้องปฏิบัติการ (Christison Scientific, UK) โดยตั้งระดับความแรงลม (blower speed) ระดับ 10 ซึ่งมีความแรงลม (velocity) เท่ากับ 3.7 เมตร/

วินาที ใช้น้ำหนักเมล็ด 200 กรัม ซึ่งทำให้น้ำหนักข้าวเปลือกที่กำหนดมีความเหมาะสมของระดับการลอยตัวอย่างสม่ำเสมอในสภาวะฟลูอิดไดซ์เบด และมีความสม่ำเสมอในการได้รับความร้อน กำหนดกรรมวิธีทดสอบ ใช้ระดับอุณหภูมิ 60, 65, 70, 75, 80, 85, 90, 95 และ 100 °C ระยะเวลา 90 และ 120 วินาที จากนั้นนำเมล็ดมาเพาะด้วยวิธี bolter method เช่นเดียวกับวิธีข้างต้น ใช้จำนวนเมล็ด ข้าวละ 100 เมล็ด จำนวน 4 ซ้ำ/กรรมวิธี รวม 400 เมล็ด ตามเกณฑ์ของ International Seed Testing Association (2023) ตรวจนับจำนวนเมล็ดที่พบการปนเปื้อนราและจำนวนเมล็ดที่งอกเปรียบเทียบกับชุดควบคุมที่ไม่ผ่านสภาวะฟลูอิดไดซ์เบด นำข้อมูลที่ได้ไปวิเคราะห์หรือลดการปนเปื้อนราและความงอกของเมล็ด และวิเคราะห์ความแปรปรวน (analysis of variance) เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยด้วย least significant difference (LSD) และเมื่อได้กรรมวิธีที่ดีที่สุดที่เหมาะสมจึงนำมาทดสอบกับข้าวเปลือกพันธุ์ปทุมธานี 1 ที่เก็บเกี่ยวในฤดูนาปี 2563

ผลของสภาวะฟลูอิดไดซ์เบดต่อคุณภาพของเมล็ดข้าวเปลือก

สุ่มเมล็ดข้าวเปลือกพันธุ์ปทุมธานี 1 ของเกษตรกรที่เก็บเกี่ยวในฤดูนาปี พ.ศ. 2563 มาผ่านการทดสอบด้วยเครื่องมือที่ทำให้เกิดสภาวะฟลูอิดไดซ์เบดระดับห้องปฏิบัติการ ด้วยวิธีการเช่นเดียวกับที่กล่าวข้างต้น จากนั้นตรวจสอบคุณภาพบางประการทางกายภาพ การสี และทางเคมี ของเมล็ดข้าวเปลือกที่ผ่านการให้ความร้อนแบบฟลูอิดไดซ์เบด วิเคราะห์ความแปรปรวน เปรียบเทียบข้อมูลค่าเฉลี่ยที่วัดได้ด้วย LSD

ผลของสภาวะฟลูอิดไดซ์เบดต่อการลดปริมาณราบนเมล็ดข้าวที่ได้รับการปลูกเชื้อ

สุ่มเมล็ดข้าวเปลือกขาวดอกมะลิ 105 ของเกษตรกรที่เก็บเกี่ยวในฤดูนาปี พ.ศ. 2563 มาทดสอบโดยนำเมล็ดข้าวเปลือกมาแช่ในสารละลายไฮโดรคลอไรด์ความเข้มข้น 1 เปอร์เซ็นต์ เป็นเวลา 3 นาที แล้วล้างด้วยน้ำกลั่นที่ฆ่าเชื้อแล้ว 2 ครั้ง ๆ ละ 5 นาที ซับน้ำกลั่นให้แห้ง จากนั้นแช่เมล็ดข้าวเปลือกลงในสปอร์แขวนลอยของรา ความเข้มข้น 1×10^4 สปอร์/มิลลิลิตร เป็นเวลา 10 ชั่วโมง แล้วล้างเมล็ดด้วยน้ำกลั่นฆ่าเชื้อ 1

ครั้ง จากนั้นซับเมล็ด ผึ่งให้แห้ง นำเมล็ดที่ได้รับการปลูกเชื้อแล้ว ไปรวมกับเมล็ดข้าวเปลือกที่ไม่ได้รับการปลูกเชื้อ ให้มีการปนเปื้อนของจำนวนเมล็ดข้าวที่ได้รับการปลูกเชื้อที่ระดับร้อยละ 25, 50, 75 และ 100 จากนั้นนำไปทดสอบด้วยเครื่องมือที่ทำให้เกิดสภาวะฟลูอิดไดซ์เบด โดยใช้น้ำหนักเมล็ดข้าวเปลือก 200 กรัม ความเร็วลมระดับ 10 ที่อุณหภูมิ 60, 65, 70, 75, 80, 85, 90, 95 และ 100 °C ระยะเวลา 120 วินาที จากนั้นนำเมล็ดมาเพาะด้วยวิธี bolter method เช่นเดียวกับวิธีข้างต้น ใช้จำนวนเมล็ด 100 เมล็ด/ซ้ำ จำนวน 4 ซ้ำ/กรรมวิธี รวม 400 เมล็ด ตรวจนับจำนวนเมล็ดที่พบการปนเปื้อนราแต่ละชนิด หลังเพาะบนกระดาษขึ้น เปรียบเทียบกับชุดควบคุมที่ไม่ผ่านสภาวะฟลูอิดไดซ์เบด นำข้อมูลที่ได้ไปวิเคราะห์หรือลดการปนเปื้อนรา และวิเคราะห์ความแปรปรวน เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยด้วย LSD

ผลการศึกษาและวิจารณ์

การปนเปื้อนราบนเมล็ดข้าวเปลือก

จากการตรวจความชื้นตัวอย่างเมล็ดข้าวเปลือกขาวดอกมะลิ 105 หลังเก็บเกี่ยว พบว่า มีความชื้นถึงร้อยละ 28 และพบการปนเปื้อนราสูงถึงร้อยละ 92.25 และตรวจพบเมล็ดที่แสดงอาการของโรคเมล็ดต่าง หลังนำเมล็ดข้าวเพาะบนกระดาษขึ้นตรวจพบการเจริญของราหลายสกุล โดยราที่เป็นสาเหตุโรคในสภาพแปลงปลูก ได้แก่ *Curvularia* sp., *Fusarium* sp. และ *Pyricularia* sp. และราสาเหตุโรคหลังการเก็บเกี่ยว ได้แก่ *Penicillium* sp., *Aspergillus niger* และ *A. flavus* (Diba et al., 2007) (Figure 1) โดยพบสกุล *Aspergillus* มากกว่าสกุลอื่นสอดคล้องกับรายงานของ Mheen et al. (1982) และจากการแยกเชื้อบริสุทธิ์ สามารถคัดเลือกรา 3 ชนิดได้แก่ *A. niger*, *Curvularia* sp. และ *Fusarium* sp. เพื่อใช้ในการทดสอบขั้นตอนต่อไป

ผลของสภาวะฟลูอิดไดซ์เบดต่อการปนเปื้อนราและความงอกของเมล็ดข้าว

จากผลการทดสอบตามกรรมวิธีที่ผ่านเครื่องมือที่ทำให้เกิดสภาวะฟลูอิดไดซ์เบด ณ ระดับอุณหภูมิต่าง ๆ พบว่า เมื่อใช้อุณหภูมิสูงขึ้น ร้อยละการปนเปื้อนราบน

เมล็ดข้าวจะลดลงตามลำดับ และเมล็ดข้าวมีอัตราการงอกลดลงด้วยเช่นกัน (Table 1) โดยเมล็ดข้าวที่ได้รับอุณหภูมิที่ 70-100 °C มีร้อยละความงอกต่ำกว่าร้อยละ 80 ซึ่งต่ำกว่ามาตรฐานของเมล็ดพันธุ์ข้าวที่ดี และที่ระยะเวลาที่ 120 วินาที สามารถลดการปนเปื้อนราได้ดีกว่ากรรมวิธีที่ใช้เวลา 90 วินาที อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ กรรมวิธีที่สามารถลดการปนเปื้อนราและยังคงมาตรฐานความงอกของเมล็ดพันธุ์ข้าวไว้ได้ที่ร้อยละ 82.00 คือที่ระดับอุณหภูมิ 65 °C ระยะเวลา 120 วินาที สามารถลดการปนเปื้อนราลงไปได้ร้อยละ 20.00 เมื่อเทียบกับชุดควบคุมที่มีร้อยละการปนเปื้อนราเท่ากับ 92.25 อย่างไรก็ตาม จากการวิเคราะห์เปรียบเทียบผลเชิงสถิติของการปนเปื้อนราแสดงให้เห็นว่า ปัจจัยด้านระดับอุณหภูมิและระยะเวลา มีผลต่อร้อยละของการปนเปื้อนราอย่างมีนัยสำคัญ แต่ทั้ง 2 ปัจจัยดังกล่าวไม่มีความสัมพันธ์ต่อกันในเชิงสถิติ โดยที่การใช้ อุณหภูมิและเวลาที่มากขึ้นมีความสอดคล้องกันในการส่งผลต่อการลดลงของการปนเปื้อนราและความงอกของเมล็ดข้าวหลังจากผ่านสภาวะฟลูอิดไดซ์เบต

จากการนำปัจจัยที่เหมาะสมด้านน้ำหนักเมล็ด และเวลาจากการทดลองข้างต้นมาทดสอบกับพันธุ์ข้าวที่นิยมปลูกโดยทั่วไปในพื้นที่ภาคกลางของประเทศ โดยนำข้าวเปลือกพันธุ์ปทุมธานี 1 ของเกษตรกรที่เก็บเกี่ยวในฤดูนาปี 2563 มาผ่านเครื่องมือที่ทำให้เกิดสภาวะฟลูอิดไดซ์เบตในระดับห้องปฏิบัติการ ความเร็วลมระดับ 10 ใช้น้ำหนักเมล็ดข้าวเปลือก 200 กรัม เวลา 120 วินาที หลังการเพาะตัวอย่างเมล็ด ด้วยวิธี blotter method แล้วบ่มที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 5 วัน พบว่า สามารถลดการปนเปื้อนราและความชื้นของเมล็ดข้าวได้ในทำนองเดียวกันกับการทดลองกับเมล็ดข้าวเปลือกขาวดอกมะลิ 105 ของเกษตรกรที่เก็บเกี่ยวในฤดูนาปี พ.ศ. 2562 คือ ที่ระดับอุณหภูมิ 60 และ 65 °C สามารถลดการปนเปื้อนรา และ ไม่ทำให้เมล็ดข้าวเปลือกสูญเสียความงอกตามมาตรฐานเมล็ดพันธุ์ที่ดี (Table 2)

ผลของสภาวะฟลูอิดไดซ์เบตต่อคุณภาพของข้าวเปลือก

เมื่อตรวจสอบคุณภาพบางประการทางกายภาพ การสี และทางเคมี ของเมล็ดข้าวเปลือกที่ผ่านการให้ความร้อนแบบฟลูอิดไดซ์เบต พบว่า ข้าวเปลือกมีสีฟาง

ข้าวกล๋องมีสีขาว ความยาวเมล็ดอยู่ระหว่าง 7.33-7.54 มิลลิเมตร กว้าง 2.10-2.21 มิลลิเมตร หน้า 1.69-1.78 มิลลิเมตร รูปร่างเมล็ดเรียว (กว้าง/ยาว) 3.38-3.51 มิลลิเมตร ค่าท้องไข่น้อย อยู่ระหว่าง 0.02-0.51 ที่อุณหภูมิ 60-85 °C คุณภาพการสีมีระดับดีมาก ได้ข้าวเต็มเมล็ดและต้นข้าวอยู่ระหว่างร้อยละ 50.02-53.39 อุณหภูมิ 90 °C คุณภาพการสีระดับดี ได้ข้าวเต็มเมล็ดและต้นข้าวร้อยละ 44.39 อุณหภูมิ 95 °C สำหรับคุณภาพทางเคมี และคุณภาพการหุงต้มและรับประทาน พบว่า ปริมาณอมิโลสของข้าวแต่ละอุณหภูมิไม่แตกต่างกัน (Table 3) จัดเป็นข้าวอมิโลสต่ำ อยู่ระหว่างร้อยละ 15.84-16.89 ความคงตัวแป้งสุกก่อน ระยะทางการไหลของแป้งสุกอยู่ระหว่าง 80-90 มิลลิเมตร ค่าสลายเมล็ดในด่าง (1.7% KOH) ต่ำ มีค่าระหว่าง 6.5-7.0 ข้าวสายนุ่ม มีกลิ่นหอมอ่อน

ผลของสภาวะฟลูอิดไดซ์เบตต่อการลดปริมาณราบนเมล็ดข้าวที่ได้รับการปลูกเชื้อ

จากผลการทดลองปลูกเชื้อรา *A. niger*, *Curvularia* sp. และ *Fusarium* sp. ในระดับร้อยละต่าง ๆ ลงในเมล็ดข้าวเปลือก และนำไปผ่านเครื่องมือที่ทำให้เกิดสภาวะฟลูอิดไดซ์เบตในระดับห้องปฏิบัติการ เมื่อตรวจสอบการปนเปื้อน พบว่า สามารถลดการปนเปื้อนรา *A. niger* ซึ่งเป็นราที่พบได้มากหลังการเก็บเกี่ยว มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญในแต่ละระดับอุณหภูมิ โดยสามารถลดการปนเปื้อนราชนิดนี้ได้ในอัตราร้อยละ 50 เมื่อใช้ อุณหภูมิที่ 75 °C ซึ่งผลการลดการปนเปื้อนราชนิดนี้ ในกรรมวิธีที่มีการปนเปื้อนของเมล็ดข้าวที่ได้รับการปลูกเชื้อที่ระดับร้อยละ 25, 50 และ 75 มีความสอดคล้องกัน ส่วนกรรมวิธีที่ระดับร้อยละ 100 นั้น มีแนวโน้มการใช้ อุณหภูมิที่สูงขึ้น โดยต้องใช้ระดับอุณหภูมิสูงกว่า 80 °C จึงสามารถลดการปนเปื้อนได้มากกว่าร้อยละ 50 ในทำนองเดียวกัน การลดการปนเปื้อนรา *Curvularia* sp. และ *Fusarium* sp. ซึ่งเป็นราสาเหตุโรคสำคัญที่ถ่ายทอดโรคผ่านเมล็ดพันธุ์ เมื่อนำเมล็ดข้าวผ่านการให้ความร้อนแบบฟลูอิดไดซ์เบต สามารถลดปริมาณราทั้ง 2 ชนิดนี้ได้ โดยมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติตามระดับอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้น (Table 4) และยังพบว่ารา *Curvularia* sp. และ *Fusarium* sp มีแนวโน้มอ่อนแอต่อการได้รับความร้อนแบบฟลูอิดไดซ์เบตมากกว่ารา *A. niger*

Table 1. Fungal contamination and germination percentages of paddy seed cv. Khao Dawk Mali 105 after exposure to fluidized bed heat treatment with various combinations of temperatures and exposure times with blotter method incubating for 5 days

Temperature (°C)	Exposure time (sec.)	Contamination ¹ (%)	Germination (%) ¹	Seed moisture (%)
Control	-	92.25	93.50	28.0
60	90	85.75	92.25	NA
	120	81.25	88.50	21.10
65	90	76.50	83.00	NA
	120	72.25	82.00	19.90
70	90	69.27	25.50	NA
	120	65.50	25.50	19.60
75	90	54.75	14.75	NA
	120	51.25	11.00	19.10
80	90	50.50	6.25	NA
	120	46.75	4.75	19.20
85	90	47.25	2.00	NA
	120	42.50	1.50	18.00
90	90	38.00	1.25	NA
	120	35.25	1.25	18.50
95	90	30.25	1.25	NA
	120	27.75	0.75	17.80
100	90	26.25	1.00	NA
	120	20.25	0.75	18.30
Temperature (F1)				
F-test		**	**	
LSD		2.34	1.81	
Exposure time (F2)				
F-test		**	**	
LSD		1.10	0.86	
F1*F2				
F-test		ns	ns	
<i>P</i>		0.92	0.25	
C.V. (%)		9.30	15.01	

¹ Significantly different between treatments by LSD test at $P \leq 0.01$ ^{NA} Not applicable^{ns} Not significant

Table 2. Fungal contamination and germination percentages of paddy seed cv. Pathum Thani 1 after exposure to fluidized bed heat treatment with various temperatures with the blotter method incubating for 5 days

Temperature (°C)	Contamination (%) ¹	Germination (%) ¹	Seed moisture (%)
Control	84.00 ^a	97.50 ^a	23.8
60	77.25 ^b	96.75 ^a	14.40
65	71.00 ^c	93.25 ^a	14.40
70	68.00 ^{cd}	22.75 ^b	14.90
75	63.75 ^d	12.25 ^c	14.90
80	69.25 ^d	2.75 ^d	13.80
85	50.00 ^e	0.00 ^d	13.80
90	45.25 ^e	0.00 ^d	13.50
95	38.00 ^f	0.00 ^d	13.20
100	34.00 ^f	0.00 ^d	12.90
LSD	5.82	4.78	-
C.V. (%)	6.79	10.18	-

¹ Means followed by the same letter within column are not significant difference from each other by LSD test at $P \leq 0.01$

Table 3. Grain quality parameters of rice cv. Pratum Thani 1 when exposed to fluidized bed heat treatment at various temperatures and exposure times

Grain qualities	Temperature (°C)								
	60	65	70	75	80	85	90	95	100
Moisture content (%)	24.0	23.2	22.4	19.9	20.7	18.6	18.4	18.2	18.6
Paddy seed color	straw	straw	straw	straw	straw	straw	straw	straw	straw
Brown rice color	white	white	white	white	white	white	white	white	white
Whole kernels and head rice (%) ¹	50.44	51.47	51.38	53.39	52.58	50.02	44.39	35.75	1.02
Amylose content (%) ²	16.19	15.84	16.16	16.53	16.66	16.10	16.67	16.89	15.99

¹ Whole kernels and head rice (%): < 31 = low, 31-40 = medium, 41-50 = good, > 50 = very good

² Amylose content (%): < 20 = low, 20-25 = medium, > 25 = high

Table 4. Percentages of *Aspergillus niger* (Asp.), *Curvularia* sp. (Cur.) and *Fusarium* sp. (Fus.) found on the inoculated paddy seed cv. Khao Dawk Mali 105, after exposure to fluidized bed heat

Temp.(°C)	Inoculated paddy seed (%) ¹											
	25%			50%			75%			100%		
	Asp.	Cur.	Fus.	Asp.	Cur.	Fus.	Asp.	Cur.	Fus.	Asp.	Cur.	Fus.
60	20.5 ^{a3}	11.0 ^a	9.7 ^a	41.75 ^a	23.3 ^{ab}	16.0 ^a	55.0 ^a	38.7 ^a	32.0 ^a	77.5 ^a	48.0 ^a	35.0 ^a
65	18.5 ^b	5.7 ^b	7.0 ^b	37.75 ^b	24.3 ^b	13.7 ^a	49.5 ^b	32.0 ^b	20.3 ^b	70.5 ^b	45.0 ^{ab}	27.7 ^b
70	15.5 ^c	4.7 ^c	3.7 ^c	30.5 ^c	13.0 ^c	7.7 ^b	40.75 ^c	29.3 ^{bc}	9.7 ^c	63.75 ^c	39.0 ^b	27.0 ^{bc}
75	13.5 ^d	4.3 ^{bcd}	3.7 ^c	27.25 ^d	11.0 ^{cd}	7.3 ^b	36.25 ^d	28.0 ^c	7.7 ^{cd}	50.5 ^d	32.0 ^c	23.0 ^c
80	10.75 ^e	3.6 ^{bcd}	3.0 ^d	21.25 ^e	8.0 ^d	4.0 ^c	28.0 ^e	25.7 ^d	7.3 ^{cd}	45.75 ^e	23.3 ^d	18.3 ^d
85	9.5 ^f	2.7 ^{cdef}	2.3 ^{de}	17.5 ^{ef}	6.0 ^{ef}	3.3 ^c	22.25 ^f	13.0 ^e	7.0 ^{cd}	36.0 ^f	22.3 ^{de}	12.0 ^e
90	6.25 ^g	2.0 ^{def}	1.7 ^{de}	12.75 ^f	3.3 ^f	3.0 ^c	16.75 ^g	11.0 ^e	3.3 ^{cd}	29.75 ^g	16.3 ^{ef}	4.3 ^f
95	5.5 ^h	1.3 ^{ef}	1.3 ^e	12.0 ^f	3.3 ^f	2.3 ^c	10.75 ^h	7.7 ^f	2.7 ^d	25.25 ^h	10.0 ^f	4.0 ^f
100	4.75 ⁱ	1.0 ^g	1.0 ^e	7.75 ^g	2.7 ^f	2.3 ^c	7.0 ⁱ	2.7 ^f	2.7 ^d	24.5 ^h	4.7 ^g	4.0 ^f
LSD	0.92	2.52	2.40	1.93	3.21	2.70	3.15	4.83	6.73	2.32	6.93	4.48
CV	5.64	23.41	24.68	5.83	15.39	18.87	7.34	13.99	33.77	3.4	15.35	14.63

¹Percent of fungi (1x10⁴ spores/ml) inoculated seed that were mixed with the uninoculated seed before exposing to the treatments.²Means followed by the same letter within column are not significant from each other by LSD test at P ≤ 0.01

สรุป

การให้ความร้อนแบบฟลูอิดไดซ์เบดด้วยเครื่องมือระดับห้องปฏิบัติการ ที่ระดับความแรงลม 3.7 เมตร/วินาที ชุดการทดลองดีที่สุดในการลดการติดเชื้อและยังคงมาตรฐานความงอกของเมล็ดพันธุ์ข้าวไว้ได้คือที่ น้ำหนักเมล็ดพันธุ์ข้าว 200 กรัม ให้ความร้อนแบบฟลูอิดไดซ์เบด ที่อุณหภูมิ 65°C เป็นระยะเวลา 120 วินาที ซึ่งสามารถลดการติดเชื้อของเมล็ดข้าวเปลือกได้ร้อยละ 20 และคงความงอกไว้ได้ที่ร้อยละ 82.00 สำหรับการทดลองลดปริมาณการปนเปื้อนราหลังการ-

ปลูกเชื้อ พบว่าสามารถลดการปนเปื้อนรา *A. niger* ได้มากกว่าหรือเท่ากับร้อยละ 50 เมื่อใช้อุณหภูมิ 75 °C ขึ้นไป ขณะที่ รา *Curvularia* sp. และ รา *Fusarium* sp. สามารถทนต่อการให้ความร้อนแบบฟลูอิดไดซ์เบดได้น้อยกว่า รา *A. niger* นอกจากนั้น การให้ความร้อนแบบฟลูอิดไดซ์เบดสามารถลดความชื้นของเมล็ดข้าวเปลือกในระยะต้นหลังการเก็บเกี่ยวได้อย่างชัดเจนถึงร้อยละ 7-9 อย่างไรก็ตาม การใช้อุณหภูมิสูงกว่า 85 °C ทำให้คุณภาพการสีของเมล็ดข้าวเปลือกลดลงจากดีมากเป็นดี แต่ไม่ส่งผลต่อลักษณะภายนอกของเมล็ด

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณ ศูนย์นวัตกรรมเทคโนโลยีหลัง
การเก็บเกี่ยว กระทรวงการอุดมศึกษา วิทยาศาสตร์วิจัย
และนวัตกรรม สำหรับการสนับสนุนทุนศึกษาวิจัย

เอกสารอ้างอิง

- Diba, K., P. Kordbacheh, S.H. Mirhendi, S. Rezaie
and M. Mahmoudi. 2007. Identification of
Aspergillus species using morphological
characteristics. Pakistan Journal of
Medical Sciences 23(6): 867-872.
- International Seed Testing Association. 2023.
International Rules for Seed Testing.
(Online). Available: <https://www.seedtest.org/api/rm/TSC9G9KXWC668E/ista-rules-2023-02-sampling-final.pdf>. (February
15, 2023).
- Jittanit, W., G. Srzednicki and R.H. Driscoll. 2013.
Comparison between fluidized bed and
spouted bed drying for seeds. Drying
Technology 31(1): 52-56.
- Karbassi, A. and Z. Mehdizadeh. 2008. Drying
rough rice in a fluidized bed dryer. Journal
of Agricultural Science and Technology
10: 233-241.
- Mheen, T.I., H.S. Cheigh, A.N. Ragunathan and
K.S. Majumder. 1982. Studies on the fungi
in stored rice. Microbiology and
Biotechnology Letters 10(3): 191-196.
-

คำแนะนำในการเตรียมต้นฉบับ (ต่อ)

1.7 กรณีอ้างอิงเป็นภาษาอื่น เช่น ภาษาไทย ต้องแปลเป็นภาษาอังกฤษ 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 ให้ใส่ชื่อผู้แต่งตามด้วยหน่วยงาน และใช้ (.) 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.

ในกรณีที่เป็นการวารสารออนไลน์ 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.

เรื่องย่อในคำรณหรือหนังสือที่มีผู้เขียนแยกเรื่องเขียน และมีบรรณานุกรม

ชื่อผู้เขียน. ปีที่พิมพ์. ชื่อเรื่องย่อ. หน้า เลขหน้าเริ่มต้น-เลขหน้าที่สิ้นสุด. ใน: ชื่อบรรณานุกรม (บก.). ชื่อหนังสือ. สำนักพิมพ์, เมืองที่พิมพ์.

TH: Krainiksh, 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. ชื่อเรื่องย่อ. 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: Shutsirung, A., C. Santasup and K. Kanasakdakul. 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. Rounchaiapikun 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. (ระบุออนไลน์). แหล่งข้อมูล: ที่อยู่ของไฟล์หรือเว็บไซต์ (URL) (เดือน วันปี, 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

5) ผู้เขียนไม่สามารถดำเนินการร้องขอเพิ่มชื่อผู้เขียนบทความหรือขอลบชื่อผู้เขียนบทความในวารสารเกษตรได้ หากมีความประสงค์ที่จะเปลี่ยนชื่อ First author หรือ Corresponding author สามารถดำเนินการได้ (เปลี่ยนชื่อภายในบทความเท่านั้น ไม่สามารถเพิ่มหรือเปลี่ยนเป็นชื่อผู้เขียนท่านอื่นนอกเหนือจากที่ปรากฏในบทความต้นฉบับได้) ทั้งนี้ การร้องขอเปลี่ยนแปลงดังกล่าว สามารถดำเนินการได้ในระหว่างกระบวนการพิจารณาบทความเท่านั้น หากได้รับเอกสารตอบรับการตีพิมพ์เรียบร้อยแล้วไม่สามารถเปลี่ยนแปลงได้

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

JOURNAL OF AGRICULTURE

A Technical Journal of Faculty of Agriculture, Chiang Mai University

Volume 40, Issue 3 September - December 2024

Economic Worthiness of Stingless Bee Farm in a Good Ecosystem Teeka Yotapakdee, Ekaphan Kraichak, Krajana Thainchom and Chama Inson.....	367
Factors Related to Pesticide Application Behavior of Vegetable Growers in Mueang Mo Subdistrict, Mueang District, Phrae Province Kamonsorn Limsommut, Waraporn Pupakdeepon and Punyarat Kraikus.....	377
Marketing Mix Factors Affecting Decisions on Bio-products (Microorganisms) Purchasing of Rice Farmers in Wiang Sa District, Nan Province Luesai Panompiboon, Sonthaya Sampaonthong and Rapee Dokmaithes.....	387
Genotypic Effects of Insulin-like Growth Factor Binding Protein 2 on Fat-free Lean Traits in Crossbred between Duroc and Pietrain Pigs Sombat Prasongsook, Catherine W. Ernst, Igseo Choi, Nancy E. Raney, Panwadee Sopannarath, Ronald O. Bates and Sornthep Tumwasorn.....	395
Use of Corn with Pellet Binder as Replacement for Wheat Flour in Diet of Whiteleg Shrimp (<i>Litopenaeus vannamei</i>) on Growth Performance, Immunity, and Feed Digestibility Yingyos Sompaisansin, Srinoy Chumkam, Supawit Triwutanon and Orapint Jintasataporn.....	405
Influence of Transportation Period on Cultivation of Live Feed Phytoplankton for Nursery of Aquatic Animal Larvae Chonlada Leearam, Rungtiwa Konsantad and Wasana Arkronrat.....	419
Genetic Analysis of Genes OsDFR Associated to Anthocyanin Biosynthesis in Thai Purple Rice Landraces Chanisorn Suriya, Sansanee Jamjod, Pennapa Jaksomsak and Tonapha Pusadee.....	431
Effects of Growing Media on Growth and Development, and Yield of Potato (<i>Solanum tuberosum</i> L.) Sukanya Sribuakhao, Pathipan Sutigoolabud, Phanit Nakayan and Tipsuda Tangtragoon.....	445
Influences of Irrigation Regimes on Growth, Quality and Yield of Marigold Ratchaneegorn Kaewpa, Fapailin Chaiwan, Choochad Santasup, Kamon Thippachote and Nattawut Luesak.....	457
Effects of Foliar Amino Acid Sprays Combined with Fertilizer Management on Growth and Development, and Yield of Amaranth (<i>Amaranthus</i> spp.) Pongpet Pongsivapai, Tawatchai Inboonchuay, Thamtawat Saengngam, Donchida Wathinutthiporn Wittaya Setthawittaya and Chaisit Thongjoo.....	471
Effects of Inflorescence Removal on Delayed Harvesting of 'Namdokmai Sithong' Mango Fruit Production Kanita Suksai, Daruni Naphrom, Phuangphet Hemrattrakul and Chantalak Tiyaon.....	485
Response to Modified Mass Selection in White and Orange Fruit Skin Ornamental Pumpkin (<i>Cucurbita pepo</i> L.) Populations Rattapohn Khamfun, Kamon Thippachote, Tonapha Pusadee and Jutamas Kumchai.....	501
Effects of Electrical Energy Stimulation with Different Stimulation Time on Mycelium Growth and Physical Quality of Reishi Mushroom (<i>Ganoderma lucidum</i>) Chootimun Saiseaw, Katthareeya Sonthiya, Natchalaphat Taichan, Kawinthida Suksai, Supanut Jasanong, Phonkrit Maniwar, Parichat Theanjumol and Pimjai Seehanam.....	513
Interspecific Hybridization and Inheritance of Horticultural Characteristics by Backcross Method in Chillies Rachan Seang-ngam, Kamon Thippachote, Nakarin Jeeatid, Tonapha Pusadee and Jutamas Kumchai*.....	525
Effects of Laboratory Scale Fluidized Bed Heat Treatment on Some Fungal Contamination and Quality of Paddy Seeds Kaewalin Kunasakdakul, Kunlayaa Boonsa-nga, Ketkanok Aamsaard, Viboon Changrue and Yaowaluk Chanbang.....	539