วารสารเกษตร
JOURNAL OF AGRICULTURE

วารสารวิชาการของคณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่

ปีที่ 38 ฉบับที่ 3 กันยายน - ธันวาคม 2565

ปัจจัยทางกายภาพและชีวภาพต่อคุณลักษณะเนื้อสัมผัสของเฟต้าชีสจากน้ำนมแพะ

โบว์ ถิ่นโพธิ์วงศ์ กฤษณะ ศรีวิลัย รุ่งทิวา ประสงค์ทรัพย์ มาลัยพร วงค์แก้ว และ เอกรินทร์ อินประมูล.....319

ปัจจัยที่มีผลต่อการมีส่วนร่วมในการพัฒนาระบบรับรองเกษตรอินทรีย์แบบมีส่วนร่วม (PGS) ของสมาชิกเครือข่ายเกษตรอินทรีย์แบบมีส่วนร่วม แปดริ้ว จังหวัดฉะเชิงเทรา

อดิศักดิ์ อ่ำเทศ สุณีพร สุวรรณมณีพงศ์ และ ดวงกมล ปานรศทิพ ธรรมาธิวัฒน์.....331

ปัจจัยที่ส่งผลต่อความผันผวนของราคายางแผ่นรมควันชั้น 3 ของประเทศไทย

สโรชา อนุกูล เยาวเรศ เชาวนพูนผล และ กรรณิกา แซ่ลิ่ว.....345

อัตราปุ๋ยฟอสฟอรัสที่เหมาะสมสำหรับข้าวพันธุ์ปทุมธานี 1 ที่ปลูกในดินจังหวัดพระนครศรีอยุธยา

สายชล สุขญาณกิจ โสภิดา สุขญาณกิจ สิริวรรณ สมิทธิอาภรณ์ และ ธนวรรณ พาณิชพัฒน์.....357

ผลของการลดอุณหภูมิแบบสุญญากาศและแบบใช้น้ำแข็งต่อคุณภาพของผักคะน้าฮ่องกง

รติยา ประดิษฐวนิช ดนัย บุณยเกียรติ และ พิชญา พูลลาภ.....369

ผลผลิตและคุณภาพการบริโภคของสายพันธุ์มะเขือเทศเชอร์รีลูกผสมชั่วที่ 1 ที่ปลูกภายใต้โรงเรือนพลาสติกตาข่ายและโรงเรือนระบบปิด

จันทร์สุดา โหมดนอก ณัฐริกา บดีรัฐ ธนิดา ถาน้อย จุฑามาศ คุ้มชัย พัชราภรณ์ สุวอ
ธัญญารัตน์ ตาอินต๊ะ สุชีลา เตชะวงค์เสถียร และ นครินทร์ จี้อาทิตย์.....381

ความสัมพันธ์ระหว่างสีและสารออกฤทธิ์สำคัญทางชีวภาพของไม้ดอกประดับแปลง

ชลลดา ศรีคำวัง สรณะ สมโน พงศกร ศุภกิจไพศาล และ มาลัยพร วงค์แก้ว.....393

ผลของการจัดการน้ำและปุ๋ยไนโตรเจนต่อปริมาณโพรลีนในใบ ในแต่ละระยะการเจริญเติบโตของข้าวหอมพื้นเมืองไทย

ชุติมา วิริยา เพ็ญนภา จักรสมศักดิ์ ชนากานต์ เทโบลต์ พรมอุทัย
ศันสนีย์ จำจด และ ต่อนภา ผุสดี.....405

การกำหนดอายุเก็บเกี่ยวที่เหมาะสมของพันธุ์อ้อยที่ปลูกภายใต้สภาพน้ำขังตามธรรมชาติในจังหวัดพิษณุโลก

สุพรรษา ชินวรณ์ พิชัย บุตรสีภูมิ และ อนุพงศ์ วงค์ตามี.....419

ผลของสารกำจัดวัชพืชไกลโฟเซตและพาราควอตที่ตกค้างในดินต่อการงอกและการเจริญเติบโตของต้นกล้าข้าว

สุพรรษา ชินวรณ์ และ อนุพงศ์ วงค์ตามี.....429

ผลของการเสริมซีสทีอามีนไฮโดรคลอไรด์ กัวนิดิโนอะซิเตท และเมทไธโอนีนในอาหารสุกรขุน ต่อประสิทธิภาพการเจริญเติบโต และคุณภาพซาก

ขวัญระวี สุขเจริญ วันวิสา ชุ่มเงิน เกรียงศักดิ์ สะอาดรักษ์ และ สุกัญญา รัตนทับทิมทอง.....439

อิทธิพลของการเสริมแคโรทีนอยด์สังเคราะห์ในอาหารต่อสมรรถภาพการผลิตและสีไข่แดงของเป็ดไข่

สุพจน์ โกเมนเอก ชัยภูมิ บัญชาศักดิ์ สมบัติ ประสงค์สุข และ ธีรวิทย์ เป่ยคำภา.....449

ISSN 0857-0841
TCI กลุ่มที่ 1

คำแนะนำในการเตรียมต้นฉบับ

เรื่องที่ตีพิมพ์

1. เป็นบทความวิจัย บทความปริทัศน์ หรือบทความวิชาการ ทางด้านเกษตรศาสตร์และสาขาที่เกี่ยวข้อง

2. ต้องไม่เคยได้รับตีพิมพ์มาก่อน (ต้นฉบับ หรือส่วนหนึ่งส่วนใดของต้นฉบับ) และต้นฉบับต้องไม่ได้อยู่ระหว่างกระบวนการพิจารณาลงตีพิมพ์ในวารสารหรือสิ่งตีพิมพ์อื่นใด

การเตรียมต้นฉบับ

1. **ภาษา** เป็นภาษาไทยหรือภาษาอังกฤษ

2. **การพิมพ์**

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

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

3) ชื่อผู้เขียนให้พิมพ์ด้วยตัวอักษร Cordia New ขนาด 15 points พิมพ์ตัวหนา และจัดกึ่งกลางหน้ากระดาษ

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

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

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

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

8) หัวข้อย่อย ให้พิมพ์ตัวหนาและจัดชิดซ้าย

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

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

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

ข้อแนะนำการใช้ภาษา

1) ใช้คำศัพท์ตามพจนานุกรม ฉบับราชบัณฑิตยสถาน และประกาศของราชบัณฑิตยสภา

2) การเขียนชื่อเฉพาะหรือคำแปลจากภาษาต่างประเทศ ควรพิมพ์ภาษาเดิมของชื่อนั้น ๆ ไว้ในวงเล็บในครั้งแรกที่ปรากฏในบทความ โดยพิมพ์เป็นอักษรตัวพิมพ์เล็กทั้งหมด ยกเว้นชื่อเฉพาะให้พิมพ์เฉพาะอักษรตัวแรกเป็นตัวพิมพ์ใหญ่

3) ไม่ควรใช้ภาษาต่างประเทศถ้ามีภาษาไทยใช้อยู่แล้ว

4) รักษาความสม่ำเสมอในการใช้คำ คำศัพท์ และตัวย่อ โดยตลอดทั้งบทความ

การเรียงลำดับหัวข้อ ให้เรียงตามลำดับดังนี้

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

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

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

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

5. **เนื้อหา (Text) ประกอบด้วย**

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

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

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

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

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

5.6 **เอกสารอ้างอิง (References)** ให้เรียงเอกสารตามตัวอักษรอังกฤษ

หลักการอ้างอิงและการเขียนเอกสารอ้างอิง

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

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

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

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

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

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

1.5 กรณีผู้แต่งเดียวกัน และปีพิมพ์เดียวกัน ให้เพิ่มตัวอักษร a b c ต่อท้ายปี

ตัวอย่าง Tangtaweewipat *et al.* (2011a)……Tangtaweewipat *et al.* (2011b)……

1.6 กรณีผู้แต่งเดียวกัน แต่ปีพิมพ์ต่างกัน ให้เรียงลำดับตามปีพิมพ์

ตัวอย่าง (Tangtaweewipat *et al.* 2009; Tangtaweewipat *et al.* 2018)

(ดูคำแนะนำการเขียนเอกสารอ้างอิง การส่งต้นฉบับเพื่อตีพิมพ์ และการพิจารณาบทความได้ที่ปกหลังด้านใน)

วารสารเกษตร
JOURNAL OF AGRICULTURE

ผู้จัดพิมพ์	คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่	Publisher	Faculty of Agriculture, Chiang Mai University
กำหนดการพิมพ์	วารสารราย 4 เดือน (3 ฉบับ/ปี) คือ ฉบับที่ 1 มกราคม-เมษายน ฉบับที่ 2 พฤษภาคม-สิงหาคม ฉบับที่ 3 กันยายน-ธันวาคม	Publication	Tri-annually Issue 1 January-April Issue 2 May-August Issue 3 September-December
วัตถุประสงค์	เพื่อเผยแพร่วิทยาการด้านการเกษตร และสาขาที่เกี่ยวข้อง	Objective	To disseminate academic knowledge in agriculture and related fields
ที่ปรึกษา	คณบดีคณะเกษตรศาสตร์ รองคณบดีฝ่ายวิจัยและบริการวิชาการ	Consultants	Dean, Faculty of Agriculture; Associate Dean for Research and Academic Services
บรรณาธิการ	รศ.ดร. ณัฐา โพธาภรณ์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่	Editor	Nuttha Potapohn, Ph.D., Assoc. Prof. Chiang Mai University
รองบรรณาธิการ	ผศ.ดร. ชูชาติ สันธทรัพย์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่	Vice Editor	Choochad Santasup, Ph.D., Assist. Prof. Chiang Mai University
กองบรรณาธิการ ฝ่ายวิชาการ	ผศ.ดร. ต่อนภา ผุสดี มหาวิทยาลัยเชียงใหม่	Editorial Board (Academic)	Tonapa Pusadee, Ph.D., Assist. Prof. Chiang Mai University
	รศ.ดร. รุจ ศิริสัญลักษณ์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่		Ruth Sirisunyaluck, Ph.D., Assoc. Prof. Chiang Mai University
	ผศ.ดร. บุศรา ลิ้มนิรันดร์กุล มหาวิทยาลัยเชียงใหม่		Budsara Limnirankul, Ph.D., Assist. Prof. Chiang Mai University
	รศ.ดร. ชนากานต์ เทโบลต์ พรมอุทัย มหาวิทยาลัยเชียงใหม่		Chanakan Thebault Prom-u-thai, Ph.D., Assoc. Prof. Chiang Mai University
	รศ.ดร. พิชญา พูลลาภ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่		Pichaya Poonlarp, Ph.D., Assoc. Prof. Chiang Mai University
	ผศ.ดร. เยาวลักษณ์ จันทร์บาง มหาวิทยาลัยเชียงใหม่		Yaowaluk Chanbang, Ph.D., Assist. Prof. Chiang Mai University
	ผศ.ดร. อรอุมา เรืองวงษ์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่		On-Uma Ruangwong, Ph.D., Assist. Prof. Chiang Mai University
	ผศ.ดร. ฉันทลักษณ์ ติยายน มหาวิทยาลัยเชียงใหม่		Chantalak Tiyayon, Ph.D., Assist. Prof. Chiang Mai University
	ผศ.ดร. พิมพ์ใจ สีหะนาม มหาวิทยาลัยเชียงใหม่		Pimjai Seehanam, Ph.D., Assist. Prof. Chiang Mai University
	ผศ.ดร. จิรวรรณ กิจชัยเจริญ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่		Jirawan Kitchaicharoen, Ph.D., Assist. Prof. Chiang Mai University
	ผศ.ดร. เสาวลักษณ์ แย้มหมื่นอาจ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่		Saowaluck Yammuen-art, Ph.D., Assist. Prof. Chiang Mai University

บทบรรณาธิการ

สวัสดีท่านผู้อ่านทุกท่าน วารสารเกษตรฉบับนี้เป็นปีที่ 38 ฉบับที่ 3 ประจำเดือนกันยายน - ธันวาคม พ.ศ. 2565 ซึ่งเป็นฉบับสุดท้ายของปีที่ 38 โดยประกอบด้วยบทความทางวิชาการที่มีต้นฉบับเป็นภาษาไทยทั้งหมด จำนวน 12 เรื่อง ประกอบด้วย สาขาการผลิตและนวัตกรรมอาหาร 1 เรื่อง สาขาส่งเสริมและเผยแพร่การเกษตร 1 เรื่อง สาขาเศรษฐศาสตร์เกษตร 1 เรื่อง สาขาปฐพีศาสตร์ 1 เรื่อง สาขาพืชสวน 3 เรื่อง สาขาพืชไร่ 1 เรื่อง และสาขาสัตวศาสตร์ 2 เรื่อง

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

รองศาสตราจารย์ ดร.ณัฐา โพธาภรณ์
บรรณาธิการวารสารเกษตร

ปัจจัยทางกายภาพและชีวภาพต่อคุณลักษณะเนื้อสัมผัสของเฟต้าชีสจากน้ำนมแพะ

Physical and Biological Factors on Textural Characteristics of Feta Cheese from Goat Milk

โบว์ ถิ่นโพธิ์วงศ์ กฤษณะ ศรีวิลัย รุ่งทิวา ประสงค์ทรัพย์ มาลัยพร วงค์แก้ว และ เอกรินทร์ อินประมูล*

Bow Tinpovong, Kritsana Sriwilai, Rungthiwa Prasongsap, Malaiporn Wongkaew and Aekarin Inpramoon*

สาขาวิชาการผลิตและนวัตกรรมอาหาร วิทยาลัยเทคโนโลยีและสหวิทยาการ

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา จ. เชียงใหม่ 50220

Food Production and Innovation Program, College of Integrated Science and Technology,

Rajamangala University of Technology Lanna, Chiang Mai 50220, Thailand

**Corresponding author: Email: aeengineer@rmutl.ac.th*

(Received: 28 February 2022; Accepted: 9 July 2022)

Abstract: The Mae Ta Nuea Royal Project Development Center has enhanced the value of goat milk by processing it into Feta cheese, which is one of the functional products. Feta cheese is brined white soft cheeses made from goat and sheep's milk, but other types of milk are currently used, including cow and buffalo milk. This research aimed to determine the commercial bacteria and rennet enzyme contents for Feta cheese production using goat milk to compare quality with commercial Feta cheese. The design of experiment using a 3 x 2 factorial in a completely randomized design was used. In addition, the influence of stirring time on Feta cheese yields was also investigated. The texture profiles of all six treatments with commercial lactic acid bacteria (0.0010, 0.0015 and 0.0020 % w/w) and rennet enzymes (0.0035 and 0.0040 %w/w) were identical to the texture profile of a commercial Feta cheese. All of the treatments produced Feta cheese with a textural profile identical to that of commercial Feta cheese. The Feta cheese treated with the least bacteria (0.001% w/w) and the most rennet (0.001% w/w) had low hardness, great springiness, and adhesiveness, as well as a texture similar to commercial Feta cheese. Furthermore, the yields of Feta cheese obtained from 20, 30 and 40 minutes of stirring time were 13.50, 12.68 and 12.64, respectively. The longer the stirring time, the lower the yield was obtained because of the breakdown of some fats in the curd proteins. This process can be applied as a Feta cheese processing guideline for farmers and entrepreneurs who are interested in value addition goat milk.

Keywords: Chemometrics, curd stirring, lactic acid bacteria, rennet, soft cheese

บทคัดย่อ: ศูนย์พัฒนาโครงการหลวงแม่ทาเหนือได้เพิ่มมูลค่าน้ำนมแพะโดยแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์ เฟต้าชีส ซึ่งเป็นอาหารฟังก์ชันชนิดหนึ่ง เฟต้าชีสเป็นชีสเนื้อนุ่มสีขาวหมักจากนมแพะและแกะ ซึ่งปัจจุบันได้มีการใช้นมประเภทอื่นด้วย ได้แก่ นมวัว และนมกระบือ งานวิจัยนี้ มีวัตถุประสงค์เพื่อหาปริมาณเชื้อแบคทีเรียและเอนไซม์เรนเนททางการค้าที่เหมาะสมสำหรับการผลิตเฟต้าชีสจากน้ำนมแพะที่มีคุณภาพใกล้เคียงกับเฟต้าชีสทางการค้าโดยใช้การวางแผนการทดลองแบบ 3 x 2 แฟคทอเรียลแบบสุ่มสมบูรณ์ รวมทั้งหาระยะเวลาในการกวนเคิร์ดต่อผลผลิตเฟต้าชีส ซึ่งจาก 6 กรรมวิธี ของปริมาณเชื้อแลคติกแอซิดแบคทีเรีย (ร้อยละ 0.0010, 0.0015 และ 0.0020 โดยน้ำหนัก) และปริมาณเอนไซม์เรนเนท (ร้อยละ 0.0035 และ 0.0040 โดยน้ำหนัก) พบว่า เฟต้าชีสที่ผลิตได้จากทุกกรรมวิธีมีคุณลักษณะเนื้อสัมผัสที่คล้ายคลึงกับเฟต้าชีสทางการค้า โดยเฟต้าชีสที่มีการเติมปริมาณเชื้อแบคทีเรียน้อยที่สุด (ร้อยละ 0.001 โดยน้ำหนัก) และปริมาณเอนไซม์เรนเนทมากที่สุด (ร้อยละ 0.004 โดยน้ำหนัก) มีลักษณะของเนื้อสัมผัสของเฟต้าชีสที่มีความแข็งน้อย มีค่าการคืนตัว และการยึดติดที่สูง และมีคุณลักษณะเนื้อสัมผัสที่ใกล้เคียงกับเฟต้าชีสทางการค้า นอกจากนี้ผลผลิตของเฟต้าชีสที่ได้จากการกวนเคิร์ดที่เวลา 20, 30 และ 40 นาที เท่ากับ ร้อยละ 13.50, 12.68 และ 12.64 โดยน้ำหนัก ตามลำดับ ซึ่งระยะเวลาในการกวนที่นานขึ้นทำให้เกิดการแตกตัวของไขมันในโปรตีนส่งผลทำให้ได้ผลผลิตที่ลดลง กระบวนการที่ได้จากการการศึกษานี้ สามารถนำไปใช้เป็นแนวทางในการแปรรูปเฟต้าชีสให้แก่กลุ่มเกษตรกรและผู้ประกอบการที่สนใจในการสร้างมูลค่าเพิ่มจากนมแพะได้

คำสำคัญ: เคโมเมทริกซ์ การกวนเคิร์ด แลคติกแอซิดแบคทีเรีย เรนเนท ชีสนุ่ม

คำนำ

ศูนย์พัฒนาโครงการหลวงแม่ทาเหนือ ตั้งอยู่ในอำเภอแม่ออน จังหวัดเชียงใหม่ เป็นศูนย์ที่มุ่งพัฒนาและส่งเสริมให้เกษตรกรในพื้นที่เลี้ยงแพะนมตลอดจนการพัฒนาผลิตภัณฑ์แปรรูปต่าง ๆ จากน้ำนมแพะดิบ ซึ่งโดยทั่วไปแล้วผลิตภัณฑ์ที่ทางศูนย์ได้แปรรูป ได้แก่ น้ำนมแพะพาสเจอร์ไรซ์บรรจุขวด โยเกิร์ตน้ำนมแพะ เป็นต้น ทางคณะผู้วิจัยจึงได้เล็งเห็นว่าน้ำนมแพะสามารถนำมาสร้างมูลค่าเพิ่มได้ในรูปแบบของเฟต้าชีส (Feta cheese) เนื่องจาก น้ำนมแพะมีโปรตีนและไขมันที่ย่อยได้ง่ายกว่านมวัว และคุณค่าทางโภชนาการใกล้เคียงกับนมวัว (Park *et al*., 2007) อย่างไรก็ตาม องค์ประกอบของน้ำนมอาจผันแปรไปตามพันธุ์ของแม่แพะ อาหาร ระยะการให้นม และฤดูกาล (Bhosale *et al*., 2009) นอกจากนี้ เฟต้าชีส เป็นอีกหนึ่งชนิดของชีสที่มีกระบวนการผลิตที่ไม่ซับซ้อน สามารถนำไปบริโภคได้หลากหลายรูปแบบ มีราคาจำหน่ายในท้องตลาดค่อนข้างสูง (ประมาณ 750 บาทต่อกิโลกรัม) รวมทั้งสืบเนื่องจากในผลิตภัณฑ์ประกอบด้วยแลคติกแอซิดแบคทีเรียซึ่งเป็นโพรไบโอติก เฟต้าชีสจึงถูกจัดเป็นอาหารฟังก์ชันอีกชนิดหนึ่ง (Papadopoulou *et al*., 2018) เฟต้าชีสจัดเป็นชีสสดที่สามารถผลิตจากนมแพะหรือนมแกะ ซึ่งผ่านกระบวนการต่าง ๆ ทำให้โปรตีนในน้ำนมจับตัวเป็นก้อน และนำไปบ่มตามต้องการ มีลักษณะเนื้อนุ่มสีขาว และรสชาติเค็มอ่อน ๆ โดยลักษณะเนื้อสัมผัสจะขึ้นอยู่กับกระบวนการผลิต (การกวน ปริมาณเชื้อแลคติกแอซิดแบคทีเรีย เอนไซม์เรนเนท) และชนิดของนมที่ใช้เป็นวัตถุดิบ ซึ่งเนื้อสัมผัสถือเป็นอีกหนึ่งคุณสมบัติที่สำคัญของเฟต้าชีสที่เกิดจากกระบวนการตกตะกอนของโปรตีนน้ำนมวัวระหว่างเอนไซม์เรนเนทกับแลคติกแอซิดแบคทีเรีย จากงานวิจัยของ Kumar *et al.* (2014) พบว่า ค่าความแข็งมีค่าสูงสุดเมื่อเติมเชื้อแลคติกแอซิดแบคทีเรียเริ่มต้นที่ร้อยละ 1.0 นอกจากนี้ การยึดติดกันและการคืนตัวหลังจากเสียรูปครั้งแรกจะลดลงเมื่อมีปริมาณเชื้อเริ่มต้นที่เพิ่มขึ้น ส่วนการเคี้ยวลดลงตามอัตราการเพิ่มขึ้นของเชื้อเริ่มต้นในกระบวนการผลิตชีส รวมทั้งปริมาณผลผลิต ความชื้น ไขมัน โปรตีน และเกลือของเฟต้าชีสจะเพิ่มขึ้นด้วยอัตราการเพิ่มของเชื้อเริ่มต้นอีกด้วย และจากงานวิจัยของ Barbano and Sherbon (1984) ที่ได้ศึกษาผลของการกวนส่วนผสมผลิตเฟต้าชีส

พบว่า ระยะเวลาในการกวนที่มากเกินไปส่งผลต่อผลผลิตของเฟต้าชีส เนื่องจาก การสูญเสียของส่วนไขมันที่แตกตัวละลายกับน้ำเวย์ ทั้งนี้ การศึกษาในประเด็นของปริมาณเชื้อแบคทีเรียที่ใช้ในการผลิต และอัตราเร็วในการกวนเคิร์ดต่อคุณภาพของเฟต้าชีสยังไม่มีงานวิจัยใดที่รายงานการผลิตเฟต้าชีสจากการใช้น้ำนมแพะเป็นวัตถุดิบ

นอกจากการนำน้ำนมแพะมาผลิตเป็นผลิตภัณฑ์เฟต้าชีสซึ่งเป็นอาหารฟังก์ชันที่มีมูลค่าแล้วนั้น ยังเป็นการประชาสัมพันธ์และส่งเสริมการตลาดให้กับน้ำนมแพะของศูนย์พัฒนาโครงการหลวงแม่ทาเหนือฯ ให้เป็นที่รู้จักเพิ่มมากขึ้นอีกทางหนึ่งด้วย ดังนั้น งานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อหาปริมาณเชื้อแลคติกแอซิดแบคทีเรียและเอนไซม์เรนเนทที่เหมาะสมต่อคุณภาพทางกายภาพของเฟต้าชีสน้ำนมแพะ และหาระยะเวลาในการกวนที่เหมาะสมเพื่อให้ได้ปริมาณผลผลิตเฟต้าชีสสูงสุด ข้อมูลจากงานวิจัยนี้ สามารถนำไปปรับใช้สำหรับการผลิตเฟต้าชีสจากน้ำนมแพะให้กับทางศูนย์พัฒนาโครงการหลวงแม่ทาเหนือ และยังเป็นแนวทางในการควบคุมกระบวนการผลิตให้เกิดความคุ้มค่าในด้านต้นทุนของผลิตภัณฑ์ สำหรับเกษตรกรในพื้นที่ดังกล่าวได้

อุปกรณ์และวิธีการ

วัตถุดิบน้ำนมแพะ

งานวิจัยนี้ใช้น้ำนมแพะดิบพันธุ์ซาเนน (Saanen) จากศูนย์พัฒนาโครงการหลวงแม่ทาเหนือ อำเภอแม่ออน จังหวัดเชียงใหม่ ที่รวบรวมจากกลุ่มเกษตรกรในพื้นที่ เป็นวัตถุดิบหลักในการผลิตเฟต้าชีส โดยควบคุมคุณภาพน้ำนมแพะดิบให้เป็นไปตามมาตรฐานกระทรวงเกษตรและสหกรณ์ (Ministry of Agriculture and Cooperatives, 2008) ได้แก่ ค่าความเป็นกรด-ด่าง (6.5 - 6.8) ด้วยเครื่องวัดค่าความเป็นกรด-ด่างแบบพกพา ยี่ห้อ Oakton รุ่น WATERPROOF pH TESTRE® 30 และ ค่าความถ่วงจำเพาะ (ไม่ต่ำกว่า 1.028) ด้วยเครื่องแลคโตมิเตอร์ (Lactodensimeter)

กระบวนการผลิตเฟต้าชีสจากน้ำนมแพะดิบ

กระบวนการผลิตเริ่มจากนำน้ำนมแพะดิบจำนวน 10 กิโลกรัมต่อกรรมวิธี มาโฮโมจิไนซ์ จากนั้นฆ่าเชื้อด้วยกระบวนการพาสเจอร์ไรส์ ที่อุณหภูมิ 72 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 15 นาที ลดอุณหภูมิของน้ำนมลงให้อยู่ที่ประมาณ 38 องศาเซลเซียส (ปรับสภาวะให้เชื้อแลคติกแอซิดแบคทีเรียสามารถเจริญได้) เติมเชื้อแลคติกแอซิดแบคทีเรียทางการค้าในรูปแบบผงซึ่งประกอบด้วย *Lactococcus lactis* ssp. *lactis* และ *Lactococcus lactis* ssp. *cremoris* ยี่ห้อ CHR Hansen (Chr. Hansen Holding A/S, Hoersholm, Denmark) ในปริมาณต่าง ๆ ดังแสดงใน Table 1 จากนั้น นำไปบ่มที่อุณหภูมิ 38 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 45 นาที เมื่อครบเวลาเติมเอนไซม์เรนเนททางการค้า ยี่ห้อ SACCO (SACCO System, Denmark) ในปริมาณต่าง ๆ ดังแสดงใน Table 1 บ่มไว้ที่อุณหภูมิ 38 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 45 นาที จนตะกอนหรือเคิร์ดเกิดขึ้น ทำการตัดเคิร์ดขนาด 5 x 8 นิ้ว เพื่อระบายน้ำเวย์ออกจากเคิร์ด บ่มไว้ที่อุณหภูมิ 38 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 120 นาที ทำการกวนเคิร์ด โดยใช้อัตราเร็วรอบ 15 รอบต่อนาที เป็นระยะเวลา 30 นาที จากนั้นระบาย

Table 1. Optimization conditions of lactic acid bacteria and rennet for Feta cheese production from goat milk using a completely randomized factorial design

Rennet enzyme	Lactic acid bacteria [% (w/w)]		
[% (w/w)]	0.0010	0.0015	0.0020
0.0040	Treatment 1	Treatment 2	Treatment 3
0.0035	Treatment 4	Treatment 5	Treatment 6

น้ำเวย์ออก และนำเคิร์ดใส่พิมพ์ พลิกกลับด้าน 3 ครั้ง ครั้งละ 2 ชั่วโมง ทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 24 ชั่วโมง และทำการพอกเกลือให้ทั่วก้อนเฟต้าชีส นำไปเก็บที่อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 3 วัน เมื่อครบเวลานำเฟต้าชีสแช่ในน้ำเกลือที่ความเข้มข้นร้อยละ 7 โดยน้ำหนัก ที่อุณหภูมิ 4 - 10 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 วัน (Kandarakis *et al*, 2001; Kumar *et al*., 2014)

การหาปริมาณเชื้อแลคติกแอซิดแบคทีเรียและเอนไซม์เรนเนทที่เหมาะสมสำหรับการผลิตเฟต้าชีสจากน้ำนมแพะ

2.1 ปริมาณเชื้อแลคติกแอซิดแบคทีเรียและเอนไซม์เรนเนททางการค้าในกระบวนการผลิตเฟต้าชีส

ในงานวิจัยได้หาปริมาณเชื้อแลคติกแอซิดแบคทีเรีย (ร้อยละ 0.0010, 0.0015 และ 0.0020 โดยน้ำหนัก) และเอนไซม์เรนเนท (ร้อยละ 0.0035 และ 0.0040 โดยน้ำหนัก) ด้วยการวางแผนแบบ 3 x 2 แฟคทอเรียลแบบสุ่มสมบูรณ์ (completely randomized factorial design) ดังแสดงใน Table 1 โดยในแต่ละกรรมวิธีใช้น้ำนมแพะดิบ 10 กิโลกรัม หลังจากที่นำไปเข้าสู่กระบวนการผลิตเฟต้าชีสดังวิธีการข้างต้นแล้ว ผลผลิตที่ได้จากแต่ละกรรมวิธีถูกนำไปวิเคราะห์คุณภาพทางกายภาพ (เนื้อสัมผัส) โดยเปรียบเทียบกับเฟต้าชีสทางการค้า

2.2 การวิเคราะห์เนื้อสัมผัส

นำเฟต้าชีส (ส่วนกลางของก้อนชีส) มาหั่นเป็นรูปลูกเต๋าขนาด 2 x 2 x 2 เซนติเมตร แล้วนำไปวิเคราะห์เนื้อสัมผัสโดยใช้เครื่องวัดเนื้อสัมผัสยี่ห้อ Brookfield รุ่น CT3 (AMETEK Brookfield, USA) โดยเปรียบเทียบลักษณะของระยะกดที่ร้อยละ 75 เพื่อจำลองการกัดเฟต้าชีสด้วยฟันกราม ด้วยวิธีทดสอบแบบ texture profile analysis (TPA) ใช้หัวกดทรงกระบอกชนิด TA25/1000 ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 50.8 มิลลิเมตร แรงเริ่มต้นที่ใช้เมื่อหัวกดสัมผัสกับอาหารอยู่ที่ 0.01 นิวตัน และความเร็วหัวกดเท่ากับ 3 มิลลิเมตรต่อวินาที ที่ระยะกด 15 มิลลิเมตร ในการวิเคราะห์พิจารณาเนื้อสัมผัสของเฟต้าชีสจาก (1) ค่าความแข็ง 1 (hardness 1) (2) การยึดติดระหว่างอาหารกับผิวสัมผัสอื่น (adhesiveness) (3) ค่าความแข็ง 2 (hardness 2) (4) ความสามารถในการคืนตัวของอาหาร (springiness) และ (5) พลังงานที่ใช้ในการเคี้ยว (chewiness)

การหาระยะเวลาที่เหมาะสมในการกวนเคิร์ดต่อผลผลิตเฟต้าชีส

ทำการผลิตเฟต้าชีสตามกระบวนการข้างต้น โดยใช้ระยะเวลาในการกวนเคิร์ด เท่ากับ 20, 30 และ 40 นาที ที่อัตราเร็วในการกวน 15 รอบต่อนาที จากนั้นนำเฟต้าชีสที่ได้หลังจากขั้นตอนการพอกเกลือมาชั่งน้ำหนัก และนำค่าที่ได้ไปคำนวณหาร้อยละของผลผลิต ดัง Equation 1

$$\text{Percentage yield of Feta cheese (\%)} = \left(\frac{\text{Feta cheese (gram)}}{\text{Initial total raw materials (gram)}}\right) \times 100 \qquad (1)$$

สถิติที่ใช้ในงานวิจัย

นำข้อมูลที่ได้จากการวิเคราะห์ค่าเนื้อสัมผัสมาวิเคราะห์ค่าเฉลี่ย ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน และใช้สถิติ F-test แบบ one-way ANOVA ในการวิเคราะห์ความแปรปรวนค่าเฉลี่ยของแต่ละตัวอย่างทดลอง แล้ววิเคราะห์ค่าเฉลี่ยของ แต่ละกรรมวิธีที่มีความแตกต่างด้วยวิธี Duncan's new multiple range test (DMRT) ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 โดยใช้โปรแกรม SPSS เวอร์ชั่น 16 ช่วยในการคำนวณ แล้วนำข้อมูลมาวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของปริมาณเชื้อแลคติกแอซิดแบคทีเรียและเอนไซม์เรนเนททางการค้ากับเนื้อสัมผัสในกรรมวิธีต่าง ๆ ด้วยการวิเคราะห์สถิติแบบเคโมเมทริกซ์ด้วยโปรแกรม XLSTAT เวอร์ชัน 2021 (บริษัท Addinsoft ประเทศสหรัฐอเมริกา)

ผลการทดลองและวิจารณ์

การหาปริมาณเชื้อแลคติกแอซิดแบคทีเรียและเอนไซม์เรนเนททางการค้าที่เหมาะสมต่อคุณลักษณะเนื้อสัมผัสของเฟต้าชีส

จากการวิเคราะห์คุณลักษณะเนื้อสัมผัสของเฟต้าชีสที่ได้จากแต่ละกรรมวิธี ที่มีการเติมปริมาณเชื้อแลคติกแอซิดแบคทีเรียและเอนไซม์เรนเนททางการค้าแตกต่างกัน โดยเปรียบเทียบกับเฟต้าชีสทางการค้า ได้ผลการทดลอง ดังแสดงใน Figure 1 โดยพบว่า คุณลักษณะเนื้อสัมผัสของเฟต้าชีสมีความคล้ายคลึงกันในทุกกรรมวิธี รวมถึงเฟต้าชีสทางการค้า ซึ่งสามารถอธิบายลักษณะในแต่ละช่วงได้ดังนี้ ช่วง (a) เป็นค่าความแข็ง 1 ของเฟต้าชีส ซึ่งจากค่าความแข็งของเฟต้าชีสที่ได้จากทุกกรรมวิธีมีค่าอยู่ในช่วง 44.14 - 62.29 นิวตัน สำหรับเฟต้าชีสทางการค้าที่มีค่าความแข็งอยู่ที่ 62.13 นิวตัน โดยค่าความแข็งมีแนวโน้มที่เพิ่มขึ้นสัมพันธ์กับปริมาณเชื้อแลคติกแอซิดแบคทีเรียที่เพิ่มขึ้น และมีแนวโน้มที่ลดลงเมื่อปริมาณเอนไซม์เรนเนทลดลง โดยค่าความแข็งของเฟต้าชีสเฉพาะกรรมวิธีที่ 1 เท่านั้น (44.14 นิวตัน) ที่มีค่าน้อยที่สุดและมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญกับเฟต้าชีสกรรมวิธีอื่น ๆ รวมถึงเฟต้าชีสทางการค้า ($P < 0.05$) ซึ่งค่าความแข็งเป็นค่าที่แสดงถึงแรงที่ใช้กดผลิตภัณฑ์โดยการจำลองแรงระหว่างฟันกราม หรือระหว่างลิ้นกับเพดานปาก หรือแรงสูงสุดที่เกิดขึ้นระหว่างการกดซึ่งเทียบได้กับการเคี้ยวครั้งแรก (Niludomsak, 2001; Steffe, 1996) อีกทั้งเป็นช่วงที่แรงเกิดการลดตัวลงอย่างรวดเร็วซึ่งปกติแล้วค่าที่เกิดขึ้น คือ ค่าความเปราะของผลิตภัณฑ์ เป็นแรงที่ทำให้ผลิตภัณฑ์แตกร่วน โดยทั่วไปจะหมายถึงผลิตภัณฑ์ที่มีค่าความแข็งสูง และค่าการยืดเกาะต่ำ แต่เนื่องจากโครงสร้างของเฟต้าชีสเกิดจากการรวมตัวของอนุภาคโปรตีนเคซีนขนาดเล็ก ซึ่งโปรตีนถูกตัดสายพันธะเพปไทด์ในระหว่างกระบวนการผลิต รวมทั้งแลคติกแอซิดแบคทีเรียสร้างก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เกิดเป็นรูพรุนขึ้นในระหว่างการบ่ม และถูกสะสมอยู่ภายในเนื้อเคิร์ดทำให้เกิดช่องว่างขึ้นภายในเฟต้าชีส ส่งผลให้มีค่าในการยืดเกาะที่ต่ำ (Hokes *et al.*, 1989) นอกจากนี้ ในกระบวนการผลิตเฟต้าชีสมีขั้นตอนการบีบอัด เพื่อระบายน้ำเวย์ออกจากเคิร์ด ส่งผลให้ความชื้นในก้อนเคิร์ดลดลง และทำให้เฟต้าชีสมีความยืดเกาะต่ำหรือมีความเปราะ

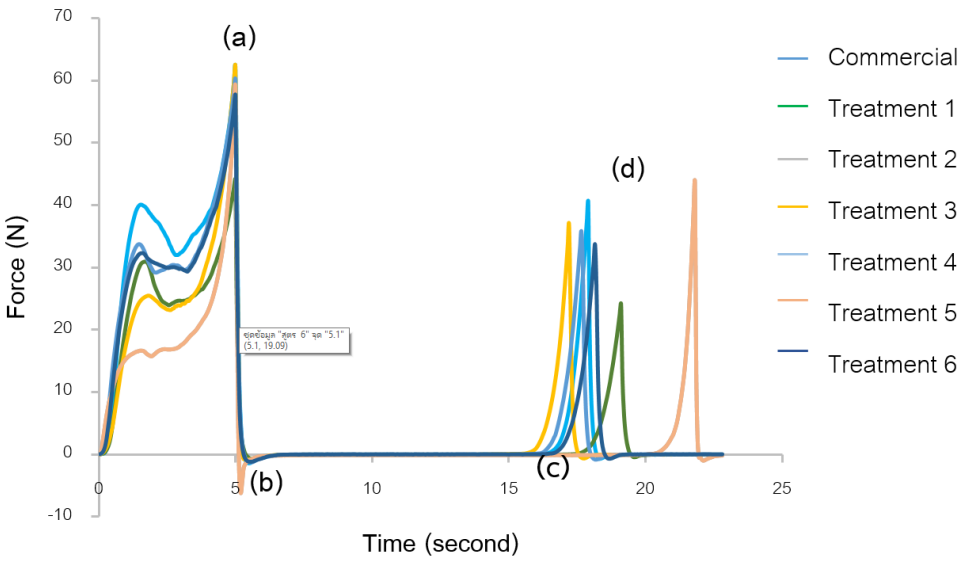


Figure 1. Texture profile characteristics of six Feta cheeses compared with commercial Feta cheese; (a) Hardness 1, (b) Adhesiveness, (c) Springiness, (d) Hardness 2

ภายหลังจากการกดครั้งแรก ยกหัวกดขึ้น อาหารที่ยึดเกาะกับหัวกดทำให้เกิดพื้นที่ของแรงที่เป็นลบในการกด เป็นการแสดงถึงค่าการยึดติด (b) โดยเปรียบเสมือนอาหารที่ยึดติดกับฟัน และเพดานปาก โดยจากค่าการยึดติดของเฟต้าชีสทั้ง 6 กรรมวิธี มีค่าอยู่ในช่วง 1.73 - 2.58 มิลลิจูล ซึ่งมีค่าน้อยกว่าเฟต้าชีสทางการค้า (4.31 มิลลิจูล) อย่างมีนัยสำคัญ ($P < 0.05$) ค่าความแตกต่างของการยึดติดขึ้นอยู่กับองค์ประกอบทางเคมีของน้ำนมแพะดิบ จากงานวิจัยของ Zheng *et al*. (2016) พบว่า ปริมาณโปรตีนที่ลดลงและปริมาณไขมันที่เพิ่มขึ้นส่งผลให้ชีสมีลักษณะการละลายที่ดีขึ้น และทำให้ค่าการยึดติดสูงขึ้น อีกทั้งในขั้นตอนการผลิตที่แตกต่างกันอาจส่งผลทำให้ค่าการยึดติดมีความแตกต่างกันด้วยเช่นกัน ซึ่งในกระบวนผลิตเฟต้าชีสของงานวิจัย ผู้วิจัยได้ใช้เฉพาะแรงโน้มถ่วงเป็นแรงในการขึ้นรูปก้อนชีสโดยไม่มีการบีบอัดแรงใด ๆ เพิ่มเติม

สำหรับการกดครั้งที่ 2 เป็นการหาค่าความสามารถในการคืนตัวของอาหาร (c) ซึ่งแสดงถึงความสามารถของชิ้นอาหารที่กลับสู่สภาวะเดิม ซึ่งคือระยะทางหรือความยาวระหว่างการกดครั้งที่ 2 โดยวัดจากระยะเริ่มต้นตั้งแต่หัวกดสัมผัสกับเฟต้าชีสจนกระทั่งถึงจุดที่ค่าแรงมากที่สุด และแรงกดสูงสุดที่เกิดขึ้น คือค่าความแข็ง 2 (d) ซึ่งมีลักษณะการเกิดแรงที่เวลาแตกต่างกัน โดยขึ้นอยู่กับการยุบ โดยค่าความคืนตัวของเฟต้าชีสที่ได้จากทั้ง 6 กรรมวิธี อยู่ในช่วง 5.89 - 7.26 มิลลิเมตร ซึ่งไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($P > 0.05$) กับเฟต้าชีสทางการค้า (6.62 มิลลิเมตร) โดยทั่วไปแล้วค่าความคืนตัวของเฟต้าชีสมีค่าที่ต่ำกว่าชีสประเภทอื่น เนื่องจาก เฟต้าชีสจัดเป็นเนยแข็งประเภทชีสเนื้ออ่อน มีค่าความชื้นที่ค่อนข้างสูงอยู่ที่ร้อยละ 54.3 (Mauropoulos and Arvanitoyannis, 1999) และเนื้อโครงสร้างภายในมีลักษณะนิ่ม มีคุณสมบัติเป็นสภาพพลาสติก ซึ่งจะมีการเสียรูปอย่างถาวร สังเกตได้จาก Figure 1 ที่มีค่าความแข็งที่ 2 ต่ำกว่าค่าความแข็งที่ 1 ดังนั้น เมื่อทำการวัดโดยการกดวัดค่าเนื้อสัมผัสของเฟต้าชีสจึงแตกกระจายแยกออกจากกันจนไม่สามารถกลับคืนรูปได้ดังเดิม

ในขณะที่ พลังงานที่ใช้ในการเคี้ยว ซึ่งเป็นพลังงานที่ใช้ในการเคี้ยวอาหารแข็งจนสามารถกลืนลงไปได้ เป็นผลคูณมาจาก ค่าความแข็ง ค่าการยึดเกาะ และค่าการคืนตัวของอาหาร โดยค่าพลังงานที่ใช้ในการเคี้ยวของเฟต้าชีสที่ได้จากทั้ง 6 กรรมวิธี มีค่าอยู่ในช่วง 32.34 - 48.32 มิลลิจูล ซึ่งเฉพาะกรรมวิธีที่ 1 เท่านั้นที่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($P < 0.05$) กับเฟต้าชีสทางการค้า

เพื่อให้สามารถเลือกใช้ปริมาณเชื้อแลคติกแอซิดแบคทีเรียและเอนไซม์เรนเนททางการค้าที่เหมาะสำหรับการผลิตเฟต้าชีสจากน้ำนมแพะได้ดียิ่งขึ้น คณะผู้วิจัยได้นำข้อมูลดังกล่าวมาวิเคราะห์ความสัมพันธ์ทางสถิติโดยใช้วิธีการทางเคโมเมทริกซ์ ดังแสดงผลใน Figure 2 ซึ่งพบว่า การทำนายตัวแปรมีความสัมพันธ์กันมากกว่าร้อยละ 80 โดย Figure 2A แสดงถึงความสัมพันธ์ของปริมาณเชื้อแลคติกแอซิดแบคทีเรีย (ร้อยละ 0.001, 0.0015 แล 0.002 โดยน้ำหนัก) กับคุณลักษณะด้านต่าง ๆ ของเนื้อสัมผัสเฟต้าชีส พบว่า ปริมาณเชื้อแบคทีเรียสูงสุดที่ร้อยละ 0.002 โดยน้ำหนัก มีความสัมพันธ์กับค่าความแข็งของเฟต้าชีส เนื่องจากค่าทั้งสองอยู่ในจตุภาพเดียวกัน เนื่องจากเป็นกรรมวิธีที่เติมปริมาณเชื้อแลคติกแอซิดแบคทีเรียมากที่สุด ซึ่งส่งผลทำให้การผลิตกรดแลคติกมาก (ค่าความเป็นกรด-เบสเหมาะสมต่อการทำงานของเอนไซม์เรนเนท) และการทำงานของเอนไซม์เรนเนทที่ทำหน้าที่ตกตะกอนและแยกน้ำเวย์ออกมาจากตะกอนโปรตีนหรือเคิร์ดทำงานได้ดี (Kosikowski and Mistry, 1997) นอกจากนี้งานวิจัยของ Li *et al*. (2020) ยังได้รายงานว่า ค่าความแข็งของชีส Kazak มีความสัมพันธ์กับปริมาณความชื้นในชีส โดยหากมีปริมาณความชื้นสูง ค่าความแข็งจะมีค่าต่ำ เพราะค่าความแข็งของชีสมีความสัมพันธ์กับสัดส่วนของปริมาณความชื้นต่อปริมาณคาเซอีนในน้ำนมหากมีสัดส่วนที่มาก ทำให้ชีสมีเนื้อสัมผัสที่นุ่มกว่า ซึ่งจากงานวิจัยของ Sommer (2019) ได้เปรียบเทียบปริมาณความชื้นของเกาด้าชีส (gouda cheese) ที่มีการเติมเชื้อแลคติกแอซิดแบคทีเรียกับไม่มีการเติมเชื้อ พบว่า ชีสที่มีการเติมเชื้อแบคทีเรียมีค่าความชื้นต่ำกว่าชีสที่ไม่มีการเติมเชื้อแบคทีเรีย

ส่งผลให้ค่าความแข็งมีค่าสูงกว่า รวมทั้งมีความสัมพันธ์กับการผลิตกรดที่เกิดขึ้นในระหว่างการเกิดเคิร์ด หากมีการผลิตกรดที่น้อยส่งผลต่อปฏิกิริยาการจับกันของโปรตีนในนมที่น้อย และเกิดซิเนอรีซิส (syneresis) หรือการหดตัวน้อยตามไปด้วย ทำให้ปริมาณความชื้นในชีสมีค่าสูง นอกจากนี้ Heller *et al.* (2003) ยังรายงานว่า การเพิ่มขึ้นของค่าความเป็นกรดในระหว่างการหมักชีส สัมพันธ์กับการรวมตัวกันของคาเซอีนและแคลเซียมในน้ำนม ส่งผลทำให้ชีสมีเนื้อสัมผัสที่เปราะมากขึ้น ดังนั้น จึงเป็นไปได้ว่าการเติมเชื้อแลคติกแอซิดแบคทีเรียในปริมาณที่สูงขึ้นมีความสัมพันธ์กับค่าความแข็งที่เพิ่มสูงขึ้น ในขณะที่การเติมเชื้อแลคติกแอซิดแบคทีเรียปริมาณต่ำสุดที่ร้อยละ 0.001 โดยน้ำหนัก มีความสัมพันธ์กับค่าการยึดติด และค่าการคืนตัว เนื่องจากอยู่ในจตุภาคเดียวกัน สืบเนื่องจากความสัมพันธ์ของค่าความแข็งกับปริมาณเชื้อแบคทีเรีย เมื่อปริมาณเชื้อแบคทีเรียต่ำสุดทำให้มีค่าความแข็งที่น้อยที่สุด แต่ปริมาณความชื้นสูงสุด (Sommer, 2019) ส่งผลให้เฟต้าชีสมีลักษณะที่ค่อนข้างนิ่ม และทำให้มีค่าการยึดติด และค่าการคืนตัวสูงตามไปด้วย ทั้งนี้ ทุกระดับของปริมาณเชื้อแบคทีเรียไม่มีความสัมพันธ์กับค่าพลังงานที่ใช้ในการเคี้ยว

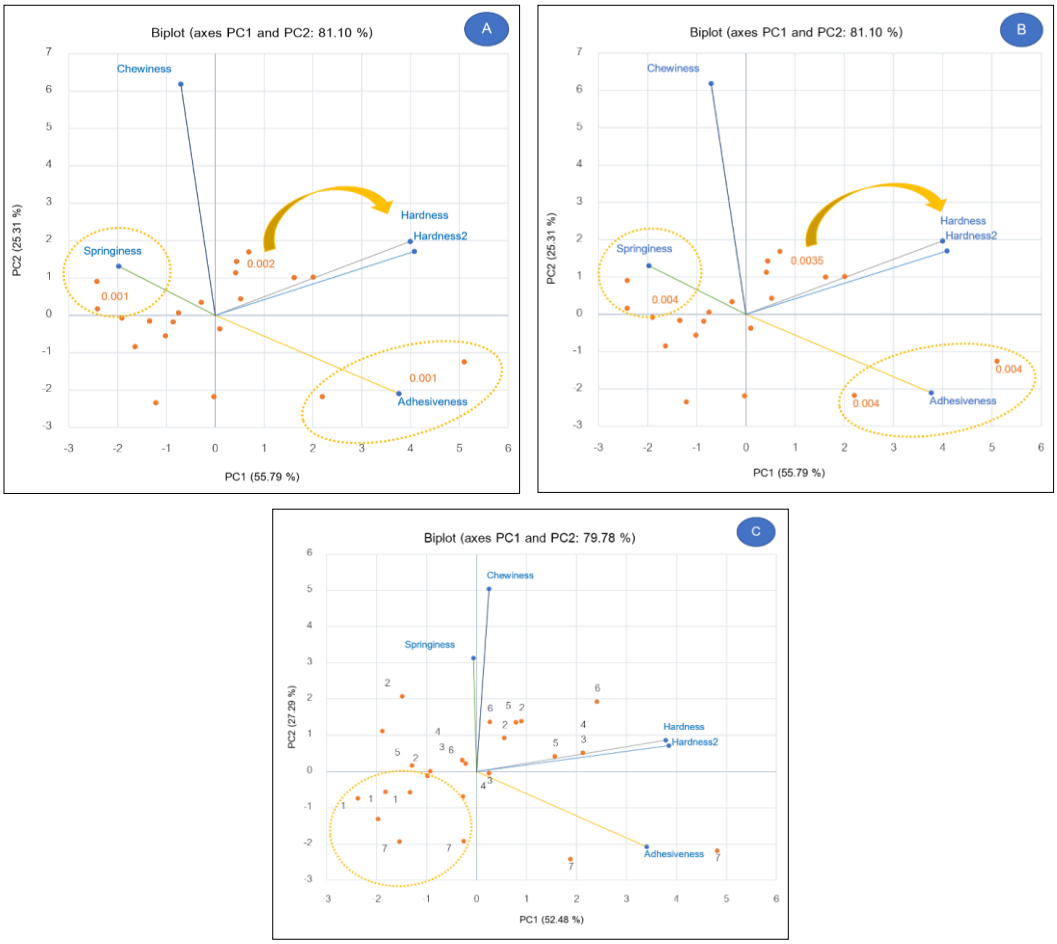


Figure 2. The chemo metric PCA of the relationship between different levels of lactic acid bacteria (A), rennet enzyme (B) and treatment (C) with the texture characteristics of Feta cheese. A number 1 to 7 in (C) represents treatment 1 to 6 referred to in Table 1, as well as treatment 7, which is commercial Feta cheese.

สำหรับความสัมพันธ์ของปริมาณเอนไซม์-เรนเนท (ร้อยละ 0.0035 และ 0.004 โดยน้ำหนัก) กับคุณลักษณะด้านต่าง ๆ ของเนื้อสัมผัสเฟต้าชีส ดังแสดงใน Figure 2B พบว่า ปริมาณเอนไซม์ที่น้อย (ร้อยละ 0.0035 โดยน้ำหนัก) มีความสัมพันธ์กับค่าความแข็งของเฟต้าชีส ในขณะที่ ปริมาณเอนไซม์ที่สูง (ร้อยละ 0.004 โดยน้ำหนัก) มีความสัมพันธ์กับค่าการคืนตัว และค่าการยึดติด ซึ่งปริมาณเอนไซม์-เรนเนทที่สูงแปรผันตรงกับปริมาณความชื้นที่สูงตามไปด้วย ส่งผลให้อัตราการสลายของคาเซอีนในน้ำนมเกิดได้เร็วขึ้น และทำให้เนื้อสัมผัสของชีสมีค่าความแข็งที่ลดลง (นิ่มขึ้น) (de Jong, 1978; Visser, 1977) สอดคล้องกับงานวิจัยของ Moynihan *et al.* (2014) ที่พบว่า มอสซาเรลล่าชีส (mozzarella cheese) ที่เติมเอนไซม์ไคโมซิน (chymosin) ในปริมาณที่สูงทำให้เกิดการย่อยสลายโปรตีนในอัตราที่สูงตามไปด้วย ส่งผลให้ค่าความแข็งของชีสมีค่าลดลง

โดยภาพรวมของการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของปริมาณเชื้อแลคติกแอซิดแบคทีเรียและเอนไซม์-เรนเนททางการค้าต่อคุณลักษณะเนื้อสัมผัสของเฟต้าชีสด้วยเคโมเมทริกซ์ สามารถสรุปได้ว่า ปริมาณเชื้อแบคทีเรียที่สูงส่งผลต่อคุณลักษณะเนื้อสัมผัสของเฟต้าชีสในด้านความแข็งที่เพิ่มขึ้น ค่าการยึดติด และค่าการคืนตัวมีค่าลดลง ในขณะที่ การเติมเอนไซม์-เรทเนทในปริมาณที่สูงทำให้เนื้อสัมผัสของเฟต้าชีสในด้านความแข็งที่ลดลง ส่งผลให้ค่าการยึดติดและค่าการคืนตัวเพิ่มสูงขึ้น ดังนั้น เฟต้าชีสเป็นชีสในกลุ่มของชีสนิ่ม จึงควรมีการเติมปริมาณเชื้อแลคติกแอซิดแบคทีเรียในปริมาณที่ต่ำ (ร้อยละ 0.001 โดยน้ำหนัก) และปริมาณเอนไซม์ที่สูง (ร้อยละ 0.004 โดยน้ำหนัก) นอกจากนี้ จากการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ด้วยเคโมเมท-ริกซ์ของกรรมวิธีที่ 1 - 6 (รายละเอียดกรรมวิธีแสดงใน Table 1) และกรรมวิธีที่ 7 ซึ่งคือ เฟต้าชีสทางการค้ากับคุณลักษณะเนื้อสัมผัสของเฟต้าชีส ได้ผลดัง Figure 2C โดยพบว่า กรรมวิธีที่ 1 (ปริมาณเชื้อแบคทีเรียต่อเอนไซม์เรนเนท (ร้อยละโดยน้ำหนัก) เท่ากับ 0.001 ต่อ 0.004) มีความสัมพันธ์กับกรรมวิธีที่ 7 หรือ เฟต้าชีสทางการค้า ดังนั้น จึงสามารถยืนยันได้จากการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ด้วยเคโมเมทริกซ์ได้ว่า การเติมปริมาณเชื้อแบคทีเรียในปริมาณที่น้อยและปริมาณเอนไซม์ที่สูง ทำให้ได้เฟต้าชีสที่มีคุณลักษณะของเนื้อสัมผัสใกล้เคียงกับเฟต้าชีสทางการค้า ซึ่งสภาวะดังกล่าวถูกเลือกไปใช้ในการผลิตเฟต้าชีสสำหรับการหาระยะเวลาที่เหมาะสมในการกวนเคิร์ดต่อผลผลิตเฟต้าชีสในขั้นตอนถัดไป

การหาระยะเวลาที่เหมาะสมในการกวนเคิร์ดต่อผลผลิตเฟต้าชีส

จากการหาระยะเวลาในการกวนเคิร์ดต่อผลผลิตเฟต้าชีส ที่ระยะเวลา 20, 30 และ 40 นาที โดยกำหนดอัตราเร็วรอบในการกวนอยู่ที่ 15 รอบต่อนาที ได้ผลการทดลองดัง Figure 3 พบว่า ระยะเวลาในการกวนเคิร์ดที่เพิ่มขึ้น (20, 30 และ 40 นาที) ส่งผลให้ผลผลิตร้อยละโดยน้ำหนักของเฟต้าชีสลดลงอย่างมีนัยสำคัญ ($P < 0.05$) เท่ากับ 13.50, 12.68 และ 12.64 ตามลำดับ นอกจากนี้ยังพบว่า น้ำเวย์ที่เกิดขึ้นของการผลิตเฟต้าชีสที่ระยะเวลาในการกวนเท่ากับ 20 และ 30 นาที มีลักษณะของสีและความขุ่นที่คล้ายกัน แต่น้ำเวย์ที่ได้จากการผลิตเฟต้าชีสที่ระยะเวลาในการกวน 40 นาที มีสีเหลืองและมีความขุ่นที่มากกว่า ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Barbano and Sherbon (1984) ที่รายงานว่า ระยะเวลาในการกวนเคิร์ดที่มากเกินไป ทำให้เกิดการแตกตัวของอนุภาคเคิร์ดที่ค่อนข้างใหญ่ในระหว่างการกวน ส่งผลให้ไขมันบางส่วนเกิดการละลายรวมเข้ากับน้ำเวย์ และได้ผลผลิตเนยแข็งที่ลดลง ดังนั้นระยะเวลาที่เพิ่มขึ้นในการกวนเคิร์ดส่งผลต่อการสูญเสียไขมันที่แตกตัวและละลายปนในน้ำเวย์ และได้ผลผลิตเฟต้าชีสที่ลดลง นอกจากนี้ระยะเวลาในการกวนเป็นหนึ่งในปัจจัยที่ส่งผลต่อคุณภาพของเคิร์ดในด้านความชื้น โดยคุณภาพของเฟต้าชีสที่ดีควรมีความชื้นอยู่ในช่วงร้อยละ 45 - 60 โดยน้ำหนัก (Hammam *et al.*, 2022) แต่หากระยะเวลาในการกวนที่นานส่งผลให้ความชื้นและผลผลิตของเคิร์ดที่ได้ลดลง (Everard *et al.*, 2011)

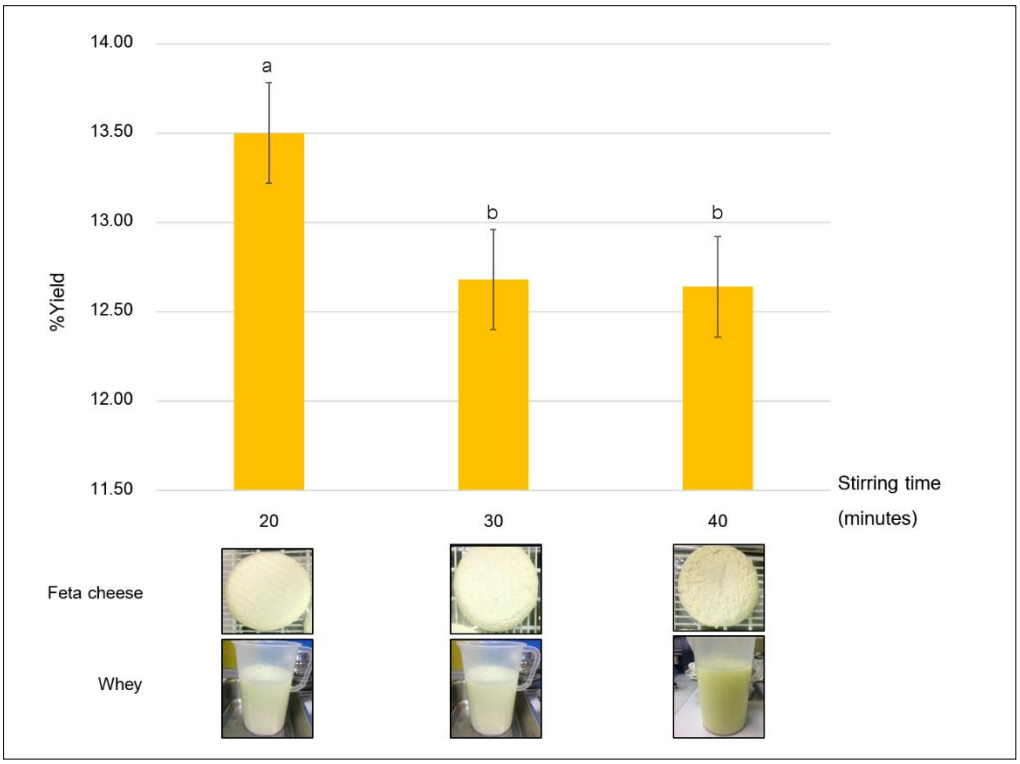


Figure 3. Influence of the stirring times on percentage yield and physical characteristics of Feta cheese. Different letters on the bars in the same stirring time indicate statistically significant differences ($P < 0.05$)

สรุป

จากการวิเคราะห์คุณลักษณะเนื้อสัมผัสของเฟต้าชีสที่ผลิตจากน้ำนมแพะดิบสายพันธุ์ซาเนน ที่ได้จากศูนย์พัฒนาโครงการหลวงแม่ทาเหนือ โดยใช้ปริมาณเชื้อแลคติกแอซิดแบคทีเรียและเอนไซม์เรนเนททางการค้าแตกต่างกัน 6 กรรมวิธี พบว่า เฟต้าชีสที่ได้จากกรรมวิธีที่ 1 ซึ่งมีการเติมปริมาณเชื้อแบคทีเรียต่อเอนไซม์เรนเนท (ร้อยละโดยน้ำหนัก) เท่ากับ 0.001 ต่อ 0.004 ทำให้เฟต้าชีสมีลักษณะของเนื้อสัมผัสที่มีความแข็งน้อย มีค่าการคืนตัวและการยึดติดที่สูง และมีคุณลักษณะเนื้อสัมผัสที่ใกล้เคียงกับเฟต้าชีสทางการค้า นอกจากนี้ ระยะเวลาในการกวนเคิร์ดเท่ากับ 20 นาที ที่อัตราเร็วรอบการกวน 15 รอบต่อนาที ให้ร้อยละของผลผลิตเฟต้าชีสสูงที่สุดเท่ากับ 13.50 โดยน้ำหนัก จากกรรมวิธีในการผลิตเฟต้าชีสที่ได้จากงานวิจัยนี้สามารถนำไปต่อยอดให้แก่ศูนย์พัฒนาโครงการหลวงแม่ทาเหนือ ตลอดจน เป็นแนวทางในการผลิตเฟต้าชีสจากน้ำนมแพะดิบให้แก่เกษตรกรผู้ที่สนใจได้อีกทางหนึ่งด้วย

กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้วิจัยขอขอบคุณวิทยาลัยเทคโนโลยีและสหวิทยาการ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา และศูนย์พัฒนาโครงการหลวงแม่ทาเหนือ ที่ให้ทุนสนับสนุนในโครงงานวิจัย ตลอดจนการเอื้อเฟื้อวัตถุดิบ สถานที่ และอุปกรณ์ในงานวิจัยนี้

เอกสารอ้างอิง

Barbano, D.M. and J.W. Sherbon. 1984. Cheddar cheese yields in New York. Journal of Dairy Science 67(8): 1873-1883.

Bhosale, S.S., P.A. Kahate, K. Kamble, V.M. Thakare and S.G. Gubbawar. 2009. Effect of lactation on physic-chemical properties of local goat milk. Veterinary World 2(1): 17-19.

de Jong, L. 1978. The influence of the moisture content on the consistency and protein breakdown of cheese. Netherlands Milk and Dairy Journal 32(1): 1-14

Everard, C.D., D.J. O'Callaghan, M.J. Mateo, M. Castillo, F.A. Payne and C.P. O'Donnell. 2011. Effects of milk composition, stir-out time, and pressing duration on curd moisture and yield. Journal of Dairy Science (94)6: 2673-2679.

Hammam, A.R.A., R. Kapoor, P. Salunke and L.E. Metzger. 2022. Compositional and functional characteristics of Feta-Type cheese made from micellar casein concentrate. Foods 11(1): 24, doi: 10.3390/foods11010024.

Heller, K.J., W. Bockelmann, J. Schrezenmeir and M. de Vrese. 2003. Cheese and its potential as a probiotic food. pp. 203-225. *In*: R. Edward (ed). Handbook of Fermented Functional Foods. CRC Press, Boca Raton, Florida.

Hokes, J.C., P.M.T. Hansen and M.E. Mangino. 1989. Functional properties of commercial calcium caseinates for use in imitation cheese. Food Hydrocolloids 3(1): 19-31.

Kandarakis, I., G. Moatsou, A.I.K. Georgala, S. Kaminarides and E. Anifantakis. 2001. Effect of draining temperature on the biochemical characteristics of Feta cheese. Food Chemistry 72(3): 369-378.

Kosikowski, F.V. and V.V. Mistry. 1997. Cheese and Fermented Milk Foods: Origins and Principles. F.V. Kosikowski, Great Falls, Virginia. 729 p.

Kumar, S., S.K. Kanawjia, S. Kumar and S. Khatkar. 2014. Effect of rate of addition of starter culture on textural characteristics of buffalo milk *Feta* type cheese during ripening. Journal of Food Science and Technology 51(4): 800-804.

Li, J., Q. Huang, X. Zheng, Z. Ge, L. Ke, Z. Dandan, C. Yu, W. Bin and S. Xuewei. 2020. Investigation of the lactic acid bacteria in Kazak cheese and their contributions to cheese fermentation. Frontiers in Microbiology 11: 228, doi: 10.3389/fmicb. 2020.00228.

Mauropoulos, A.A. and I.S. Arvanitoyannis. 1999. Implementation of hazard analysis critical control point to Feta and Manouri cheese production lines. Food Control 10(3): 213-219.

Ministry of Agriculture and Cooperatives. 2008. Thai Agricultural Commodity and Food Standard (TACFS 6006 - 2008) B.E. 2551. Ministry of Agriculture and Cooperatives, Bangkok. (in Thai)

Moynihan, A.C., S. Govindasamy-Lucey, J.J. Jaeggi, M.E. Johnson, J.A. Lucey and P.L.H. McSweeney. 2014. Effect of camel chymosin on the texture, functionality, and sensory properties of low-moisture, part-skim Mozzarella cheese. Journal of Dairy Science 97(1): 85-96.

Niludomsak, S. 2001. Effect of ingredients on texture of fishball. M.S Thesis. King Mongkut's University of Technology Thonburi, Bangkok. 95 p. (in Thai)

Papadopoulou, O.S., A.A. Argyri, E.E. Varzakis, C.C. Tassou and N.G. Chorianopoulos. 2018. Greek functional Feta cheese: Enhancing quality and safety using a *Lactobacillus plantarum* strain with probiotic potential. Food Microbiology 74: 21-33.

Park, Y.W., M. Juarez, M. Ramos and G.F.W. Haenlein. 2007. Physico-chemical characteristics of goat and sheep milk. Small Ruminant Research 68(1-2): 88-113.

Sommer, B. 2019. The Influence of Lactic Acid Bacteria on the Cheese Texture during Ripening. Food Technology Food Quality and Design. Wageningen University, Wageningen. 29 p.

Steffe, J.F. 1996. Rheological Methods in Food Process Engineering. 2nd ed. Freeman Press, East Lansing, Michigan. 418 p.

Visser, F.M.W. 1977. Contribution of enzymes from rennet, starter bacteria and milk to proteolysis and flavour development in Gouda cheese. Centre for Agricultural Publishing and Documentation Wageningen, Netherlands. 120 p.

Zheng, Y., Z. Liu and B. Mo. 2016. Texture profile analysis of sliced cheese in relation to chemical composition and storage temperature. Journal of Chemistry 2016: 8690380, doi: 10.1155/2016/8690380.

ปัจจัยที่มีผลต่อการมีส่วนร่วมในการพัฒนาระบบรับรองเกษตรอินทรีย์แบบมีส่วนร่วม (PGS) ของสมาชิกเครือข่ายเกษตรอินทรีย์แบบมีส่วนร่วมแปดริ้ว จังหวัดฉะเชิงเทรา

Factors Affecting Members' Participation in Participatory Guarantee Systems (PGS) for Organic Agriculture Development in the Pad Riew Participatory Organic Agriculture Network, Chachoengsao Province

อดิศักดิ์ อ่ำเทศ* สุณีพร สุวรรณมณีพงศ์ และ ดวงกมล ปานรศทิพ ธรรมาธิวัฒน์

Adisak Amthed*, Suneeporn Suwanmaneepong and Duangkamol Panrosthip Thunmathiwat

ภาควิชานวัตกรรมการสื่อสารและพัฒนาการเกษตร คณะเทคโนโลยีการเกษตร
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง กรุงเทพฯ 10520
Department of Innovative Communication and Agricultural Development, School of Agricultural Technology,
King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang, Bangkok 10520, Thailand
**Corresponding author: Email: 62604060@kmitl.ac.th*

(Received: 3 November 2021; Accepted: 25 July 2022)

Abstract: The objective of this research was to investigate 1) general background of members of the Pad Riew Participatory Organic Agriculture Network, 2) knowledge and attitude towards the PGS, 3) members' participation in PGS development, and 4) factors affecting members' participation in PGS development. Data were collected through interviews with a sample of 125 members. Data were analyzed using descriptive statistics and inferential statistics employing multiple regression analysis. The major findings indicated that most of the members were females with an average age of 54.82 years; they graduated with primary school education, an average organic farming area was 5.03 rai; and has been a membership of the PGS for 2.42 years. The sample' exposure to PGS news and information from personal media was at the moderate level (mean = 2.58) and from mass media at the lowest level (mean = 1.17). Most of the members (81.60 %) had a high level of knowledge of PGS. The members had overall positive attitude towards the PGS (mean = 4.30). Overall member participation in PGS development was at a high level (mean = 3.92). When individual aspects were considered, all aspects were at a high level, namely: Participation in decision making, participation in implementation, participation in receiving benefits, and participation in evaluation The results revealed that members' participation in PGS development with a statistical significance level ($P < 0.05$) included attitude towards PGS, exposure to PGS news and information from mass media, and knowledge of the PGS.

Keywords: Participation, system development, PGS

บทคัดย่อ: การวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษา 1) ข้อมูลพื้นฐานทั่วไปของสมาชิกเครือข่ายเกษตรอินทรีย์แบบมีส่วนร่วม แปดริ้ว 2) ความรู้และทัศนคติเกี่ยวกับระบบพีจีเอส 3) การมีส่วนร่วมของสมาชิกในการพัฒนาระบบพีจีเอส และ 4) ปัจจัยที่มีผลต่อการมีส่วนร่วมของสมาชิกในการพัฒนาระบบพีจีเอส เก็บรวบรวมข้อมูลด้วยการสัมภาษณ์กลุ่มตัวอย่าง 125 คน วิเคราะห์ข้อมูลโดยใช้สถิติเชิงพรรณนา และสถิติอนุมานโดยการวิเคราะห์ถดถอยพหุ ผลการศึกษาพบว่า สมาชิกส่วนใหญ่เป็นเพศหญิง อายุเฉลี่ย 54.82 ปี จบการศึกษาระดับประถมศึกษา มีพื้นที่ทำเกษตรอินทรีย์เฉลี่ย 5.03 ไร่ เป็นสมาชิกเครือข่ายมาเป็นเวลาเฉลี่ย 2.42 ปี ได้รับข่าวสารเกี่ยวกับระบบพีจีเอสจากสื่อบุคคลในระดับปานกลาง(ค่าเฉลี่ย 2.58) และจากสื่อมวลชนในระดับน้อยที่สุด (ค่าเฉลี่ย 1.17) โดยสมาชิกส่วนใหญ่ (ร้อยละ 81.60) มีความรู้เกี่ยวกับระบบพีจีเอสในระดับมาก โดยภาพรวมสมาชิกมีทัศนคติเชิงบวกต่อระบบพีจีเอส (ค่าเฉลี่ย 4.30) และมีส่วนร่วมในการพัฒนาระบบพีจีเอสในภาพรวมอยู่ในระดับมาก (ค่าเฉลี่ย 3.92) และเมื่อพิจารณาเป็นรายด้านพบว่าอยู่ในระดับมากทั้ง 4 ด้าน คือ การมีส่วนร่วมในการตัดสินใจ การมีส่วนร่วมในการดำเนินงาน การมีส่วนร่วมในการรับผลประโยชน์ และการมีส่วนร่วมในการประเมินผล และการศึกษาครั้งนี้พบว่า ปัจจัยที่มีผลต่อการมีส่วนร่วมในการพัฒนาระบบพีจีเอสอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ($P < 0.05$) มี 3 ตัวแปร ได้แก่ ทัศนคติต่อระบบพีจีเอส การรับรู้ข่าวสารจากสื่อมวลชน และความรู้เกี่ยวกับระบบพีจีเอส

คำสำคัญ: การมีส่วนร่วม การพัฒนาระบบ พีจีเอส

คำนำ

เกษตรอินทรีย์ในปัจจุบันมีอัตราการขยายตัวอย่างต่อเนื่องและรวดเร็ว เนื่องจากกระแสผู้บริโภคมีความนิยมบริโภคสินค้าเกษตรอินทรีย์ที่เพิ่มมากขึ้น โดยกระทรวงเกษตรและสหกรณ์ได้มีการกำหนดยุทธศาสตร์เกษตรและสหกรณ์ 20 ปี (พ.ศ. 2560 - 2579) เพื่อเป็นแนวทางในการพัฒนาไปอย่างต่อเนื่องและมีประสิทธิภาพ มุ่งในการแก้ไขจุดอ่อนและเสริมจุดแข็งให้เอื้อต่อการพัฒนาภาคการเกษตรในระยะยาว (Office of Agricultural Economics, 2017) และการทำเกษตรอินทรีย์เป็นอีกหนึ่งแนวทางที่จะสร้างเกษตรกรให้มีความยั่งยืนสามารถผลิตบริโภค ได้อย่างปลอดภัยและจำหน่ายสร้างรายได้ที่เพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง ซึ่งประเด็นดังกล่าวสอดคล้องกับยุทธศาสตร์การพัฒนาเกษตรอินทรีย์แห่งชาติ พ.ศ. 2560 - 2564 ที่มุ่งสู่เป้าหมายการเพิ่มพื้นที่และจำนวนเกษตรกรที่ทำเกษตรอินทรีย์เพิ่มสัดส่วนตลาดเกษตรอินทรีย์ ภายในประเทศรวมทั้งยกระดับกลุ่มเกษตรอินทรีย์วิถีพื้นบ้านนำไปสู่การพัฒนาเกษตรอินทรีย์ของประเทศไทย ซึ่งได้กำหนดกลยุทธ์ผลักดันมาตรฐานและระบบการตรวจสอบรับรองเกษตรอินทรีย์ พัฒนาการตลาดสินค้าและบริการ และการรับรองมาตรฐานเกษตรอินทรีย์ โดยมีการนำระบบรับรองเกษตรอินทรีย์แบบมีส่วนร่วม (participatory guarantee systems for organic agriculture) มาปรับใช้กับคนในชุมชน เพื่อให้บริการตรวจสอบรับรองและตรวจสอบย้อนกลับได้ และผลักดันให้ระบบดังกล่าวได้รับการยอมรับจากผู้ผลิต ผู้บริโภค หน่วยงานทั้งภาครัฐและเอกชน (National Organic Development Board, 2017)

ปัจจุบันมีการนำระบบรับรองเกษตรอินทรีย์แบบมีส่วนร่วม (ระบบพีจีเอส) ไปปรับใช้ในการผลิตเกษตรอินทรีย์ทั้งเกษตรกรรายย่อยและผู้ประกอบการเกษตรอินทรีย์ ทั้งนี้ เนื่องจากแผนยุทธศาสตร์การพัฒนาเกษตรอินทรีย์แห่งชาติของรัฐบาลได้ให้การยอมรับและสนับสนุน ซึ่งระบบพีจีเอส หมายถึง การรับรองเกษตรอินทรีย์โดยชุมชน การมีส่วนร่วมอย่างเข้มแข็งและต่อเนื่องของผู้มีส่วนได้ส่วนเสีย ภายใต้ความไว้วางใจซึ่งกันและกัน การเป็นเครือข่ายสังคม และการแลกเปลี่ยนเรียนรู้ (International Federation of Organic Agriculture Movements, 2019) ทำให้ขยายช่องทางตลาดได้ เกิดความยั่งยืนทั้งด้านเศรษฐกิจ สังคม และสิ่งแวดล้อม จนก่อให้เกิดสังคมเกษตรอินทรีย์

ที่เข้มแข็ง ในปัจจุบันมีประเทศที่ใช้ระบบทั้งหมด 77 ประเทศ จากข้อมูลพบว่า มีการเติบโตอย่างต่อเนื่องในช่วงปี ค.ศ. 2014 - 2020 โดยปี ค.ศ. 2020 มีจำนวนผู้ผลิตสูงถึง 1,110,964 ราย ซึ่งเพิ่มจากปี ค.ศ. 2019 ประมาณ 610,000 ราย ส่วนประเทศไทยมีผู้ผลิตจำนวน 2,029 ราย (Willer *et al*., 2021)

สำหรับการมีส่วนร่วมเป็นกระบวนการที่สนับสนุนให้เกิดความสัมพันธ์ของผู้เกี่ยวข้องหรือผู้มีส่วนได้ส่วนเสียกับการดำเนินกิจกรรม นำไปสู่การแลกเปลี่ยนและสร้างความเข้าใจร่วมกันของผู้เกี่ยวข้อง (Kasemsuk, 2014) ทำให้เกิดความรู้สึกเป็นเจ้าของและมีความสัมพันธ์ในการพัฒนามีความเข้มแข็ง พึ่งตนเองได้ และเกิดการพัฒนาที่ยั่งยืน (Department of Agricultural Extension, 2013) ซึ่งในการพัฒนาระบบพีจีเอส การมีส่วนร่วมจึงมีความสำคัญเนื่องด้วยระบบเน้นการมีส่วนร่วมทุกภาคส่วนที่ร่วมกันในการพัฒนา เช่น เกษตรกร ผู้บริโภค หน่วยงาน องค์กร เป็นต้น ตั้งแต่เริ่มต้นวางแผน ตัดสินใจร่วมกันในการดำเนินกิจกรรม เช่น การกำหนดกฎระเบียบ การกำหนดบทลงโทษ กระบวนการตรวจเยี่ยมแปลง กระบวนการเรียนรู้ร่วมกัน การฝึกอบรม และการมีส่วนร่วมในการรับผิดชอบ (Thai Organic Agriculture Foundation, 2016) และการพัฒนาระบบมีความเฉพาะของแต่ละท้องถิ่น ตามทรัพยากรและบริบทในท้องถิ่นนั้น แต่ยังคงรักษามาตรฐานเกษตรอินทรีย์

เครือข่ายเกษตรอินทรีย์แบบมีส่วนร่วม แปดริ้ว ก่อตั้งในปี พ.ศ. 2559 เกิดขึ้นโดยกลุ่มเกษตรกรที่สมัครใจเปลี่ยนวิถีการทำเกษตรจากเกษตรเคมีมาเป็นเกษตรอินทรีย์และตระหนักในการรักสุขภาพและความปลอดภัยในอาหาร โดยเป็นการทำเกษตรอินทรีย์ที่ให้ความสำคัญกับการมีส่วนร่วมของชุมชนด้วยความร่วมมือระหว่างผู้ผลิต ผู้บริโภค และนักวิชาการที่เข้ามามีส่วนร่วมพัฒนาระบบพีจีเอสของเครือข่ายตั้งแต่กระบวนการผลิต จนถึงเรื่องของการตลาด ปัจจุบันเครือข่ายมีการพัฒนาอย่างต่อเนื่อง โดยการบริหารงานของสมาชิกที่มีความรู้ความสามารถด้านต่าง ๆ ถ่ายทอดหลักการ แนวคิดและองค์ความรู้ในการทำเกษตรอินทรีย์ให้กับสมาชิกเครือข่ายและเกษตรกรที่สนใจ รวมถึงการออกมาตรฐานเครือข่าย 19 ข้อ โดยสมาชิกมีส่วนร่วมในการพัฒนาระบบพีจีเอส ตั้งแต่มีส่วนร่วมตัดสินใจ การดำเนินงาน การรับผลประโยชน์ และการประเมินผล สามารถขยายเครือข่ายการทำการเกษตรอินทรีย์ในพื้นที่ใกล้เคียง ส่งผลให้การทำเกษตรอินทรีย์ตามระบบพีจีเอสของเครือข่ายมีความเข้มแข็งและยั่งยืน ถือได้ว่าเป็นต้นแบบที่ประสบความสำเร็จ อย่างไรก็ตาม การมีส่วนร่วมอย่างแท้จริง ยังคงมีความสำคัญในการพัฒนาระบบพีจีเอสโดยเป็นจุดประสงค์ของเครือข่ายและหน่วยงานที่เกี่ยวข้องในการพัฒนาการมีส่วนร่วมของเครือข่ายให้มากขึ้นในอนาคต ซึ่งปัญหาการมีส่วนร่วมในการพัฒนาระบบพีจีเอส ดังที่ Hirata *et al.* (2020); Hruschka *et al.* (2021); Kaufmann *et al.* (2020) พบว่า สมาชิกกลุ่มหรือเครือข่ายขาดความต่อเนื่องในการมีส่วนร่วม และเป็นการมีส่วนร่วมของสมาชิกเพียงบางส่วนเท่านั้น เช่น การเข้าร่วมประชุม การมีส่วนร่วมในกิจกรรม การไว้วางใจซึ่งกันและกัน เป็นต้น รวมถึงการไม่ปฏิบัติตามกฎระเบียบและหลักการตามระบบพีจีเอส จึงทำให้การพัฒนาไม่ประสบความสำเร็จ ประกอบกับเครือข่ายต้องการพัฒนาการมีส่วนร่วมของสมาชิกอย่างยั่งยืน ดังนั้นการมีส่วนร่วมจึงถือว่าเป็นความท้าทายในการพัฒนาระบบพีจีเอส ด้วยเหตุผลและความสำคัญดังกล่าวของการมีส่วนร่วมในการพัฒนาระบบพีจีเอส งานวิจัยนี้จึงกำหนดวัตถุประสงค์ของงานวิจัย คือ 1) ข้อมูลทั่วไปของสมาชิกเครือข่ายเกษตรอินทรีย์แบบมีส่วนร่วม แปดริ้ว 2) ความรู้และทัศนคติเกี่ยวกับระบบพีจีเอส 3) การมีส่วนร่วมของสมาชิกในการพัฒนาระบบพีจีเอส และ 4) ปัจจัยที่มีผลต่อการมีส่วนร่วมของสมาชิกในการพัฒนาระบบพีจีเอส ซึ่งข้อมูลที่ได้มาเป็นแนวทางในการพัฒนาและส่งเสริมการมีส่วนร่วมของเครือข่ายที่ดีขึ้น และเป็นข้อมูลประกอบการตัดสินใจให้กับกลุ่มเกษตรกรที่ต้องการพัฒนาระบบพีจีเอสในพื้นที่อื่น ๆ เพื่อให้เกิดการขับเคลื่อนและขยายพื้นที่ทำเกษตรอินทรีย์อย่างเป็นรูปธรรมตามยุทธศาสตร์การพัฒนาเกษตรอินทรีย์แห่งชาติ พ.ศ. 2560 - 2564

อุปกรณ์และวิธีการ

การวิจัยนี้ใช้รูปแบบการทำวิจัยเชิงสำรวจ เพื่อศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการมีส่วนร่วมในการพัฒนาระบบรับรองเกษตรอินทรีย์แบบมีส่วนร่วม (PGS) ของสมาชิกเครือข่ายเกษตรอินทรีย์แบบมีส่วนร่วม แปดริ้ว จังหวัดฉะเชิงเทรา เป็นส่วนหนึ่งของโครงการวิจัยเรื่อง การถอดบทเรียนกระบวนการพัฒนาระบบรับรองเกษตรอินทรีย์แบบมีส่วนร่วม กรณีศึกษา เครือข่ายเกษตรอินทรีย์แบบมีส่วนร่วม (PGS) แปดริ้ว จังหวัดฉะเชิงเทรา ซึ่งได้รับการอนุมัติจากคณะกรรมการจริยธรรมการวิจัยในมนุษย์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง (รหัสโครงการ EC-KMITL_63_062) โดยมีวิธีดำเนินการวิจัย ดังต่อไปนี้

ประชากรและกลุ่มตัวอย่าง

ประชากรที่ใช้ในการศึกษาวิจัย คือ สมาชิกเครือข่ายเกษตรอินทรีย์แบบมีส่วนร่วม แปดริ้ว จำนวน 182 คน กำหนดขนาดของกลุ่มตัวอย่างโดยใช้สูตรของ Taro Yamane ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 โดยยอมให้เกิดความคาดเคลื่อนในการสุ่มตัวอย่างได้ 5 เปอร์เซ็นต์ (Yamane, 1973) ได้กลุ่มตัวอย่างจำนวน 125 คน จากนั้นสุ่มตัวอย่างตามสัดส่วนของกลุ่มย่อยภายในเครือข่าย 19 กลุ่ม โดยใช้วิธีการสุ่มตัวอย่างแบบง่าย (simple random sampling) ด้วยวิธีการจับสลากไม่ใส่กลับจนได้ครบตามจำนวนที่กำหนดไว้ การวิจัยครั้งนี้ได้ดำเนินการวิจัยตั้งแต่เดือน ตุลาคม พ.ศ. 2563 ถึงเดือนกันยายน พ.ศ. 2564

เครื่องมือการเก็บรวบรวมข้อมูล

เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัยเป็นแบบสัมภาษณ์ แบ่งเป็น 4 ตอน รายละเอียด คือ

ตอนที่ 1 ข้อมูลทั่วไปของสมาชิก

ตอนที่ 2 แบบทดสอบความรู้เกี่ยวกับระบบพีจีเอส

เป็นคำถามแบบปลายปิดให้เลือกตอบถูกหรือผิด มีคำถามทั้งหมด 30 ข้อ การให้คะแนนความรู้ ถ้าสมาชิกตอบถูกต้องได้ 1 คะแนน ตอบไม่ถูกต้องได้ 0 คะแนน รวมคะแนนเต็ม 30 คะแนน เกณฑ์การแบ่งระดับความรู้ แบ่งเป็น 3 ระดับ คือ มีความรู้น้อย มีความรู้ปานกลาง และมีความรู้มาก ตามเกณฑ์การประเมินของ Bloom (Bloom, 1956) ดังแสดงใน Table 1

ตอนที่ 3 ทัศนคติต่อระบบพีจีเอส

ประกอบด้วยคำถามเกี่ยวกับทัศนคติทั้งหมด 15 ข้อ ผู้วิจัยใช้ Likert's scale โดยเกณฑ์การให้คะแนนแบ่งเป็น 5 ระดับ มีทั้งลักษณะคำถามเชิงบวกและเชิงลบ (Oluwasusi, 2014) และจากคะแนนทัศนคติของสมาชิกแต่ละราย นำมาหาค่าเฉลี่ย (Weight mean score) ในแต่ละข้อคำถาม แล้วนำมาจำแนกสมาชิกออกเป็น 3 ระดับ คือ ทัศนคติเชิงลบ ทัศนคติเป็นกลาง และทัศนคติเชิงบวก (Ghosh *et al*., 2019) ดังแสดงใน Table 2

Table 1. Scoring criteria for PGS knowledge

Score	Knowledge level
0 - 17 (< 60 %)	Low
18 - 23 (60 - 79 %)	Moderate
24 - 30 (> 80 %)	High

Table 2. Scoring criteria for PGS attitude

Score	Attitude level
1.00 - 2.33	Negative attitude
2.34 - 3.66	Neutral attitude
3.67 - 5.00	Positive attitude

ตอนที่ 4 การมีส่วนร่วมของสมาชิกในการพัฒนาระบบพีจีเอส

แบ่งเป็น 4 ด้าน ตามทฤษฎีของ Cohen and Uphoff (1977) คือ การมีส่วนร่วมในการตัดสินใจ การมีส่วนร่วมในการดำเนินงาน การมีส่วนร่วมในการรับผลประโยชน์ และการมีส่วนร่วมในการประเมินผล มีคำถามด้านละ 5 ข้อ รวมทั้งหมด 20 ข้อ ผู้วิจัยกำหนดน้ำหนักคะแนนตามแนวคิดของ ลิเคิร์ท (Likert) 5 ระดับ (5 = มากที่สุด, 4 = มาก, 3 = ปานกลาง, 2 = น้อย, 1 = น้อยที่สุด) (Suwan, 2006) และใช้เกณฑ์การแบ่งช่วงคะแนน ออกเป็น มีส่วนร่วมน้อยที่สุด มีส่วนร่วมน้อย มีส่วนร่วมปานกลาง มีส่วนร่วมมาก และมีส่วนร่วมมากที่สุด (Nenlaeard, 2014) ดังแสดงใน Table 3

การทดสอบคุณภาพเครื่องมือ

ผู้วิจัยได้นำแบบสัมภาษณ์ให้ผู้เชี่ยวชาญ 3 ท่าน ตรวจสอบด้วยการหาค่า IOC เพื่อหาความตรง (validity) (Niyamangkoon, 2013) และนำมาปรับปรุงแก้ไข จากนั้นนำแบบสัมภาษณ์ไปทดสอบ (try out) กับเกษตรกรในระบบพีจีเอสที่มีลักษณะคล้ายคลึงกับประชากรที่ใช้ศึกษาจำนวน 30 คน และได้ทำการวิเคราะห์ค่า reliability coefficients โดยแบ่งการวิเคราะห์แบบสัมภาษณ์ตอนที่ 2 ใช้วิธีการของคูเดอร์ริชาร์ดสัน (KR-20) (Mankeb, 2016) ได้ค่าความเชื่อมั่นเท่ากับ 0.741 ส่วนแบบสัมภาษณ์ตอน 3 และ 4 ใช้วิธีการของ Cronbach (Mankeb, 2016) ได้ค่าสัมประสิทธิ์อัลฟา (Cronbach's alpha) เท่ากับ 0.715 และ 0.890 ตามลำดับ

การเก็บรวบรวมข้อมูล

ผู้วิจัยได้ประสานงานและนัดหมายกับประธานเครือข่ายเกษตรอินทรีย์แบบมีส่วนร่วม แปดริ้ว เพื่ออำนวยความสะดวกในการเก็บรวบรวมข้อมูลในพื้นที่วิจัย พร้อมทั้งนัดสมาชิกเครือข่ายที่เป็นกลุ่มตัวอย่าง ตามวัน เวลา และสถานที่ที่กำหนด โดยใช้แบบสัมภาษณ์เป็นเครื่องมือเก็บรวบรวมข้อมูลจากสมาชิกเครือข่ายเป็นรายบุคคลจำนวน 125 คน ตามบัญชีรายชื่อที่กำหนดไว้เป็นกลุ่มตัวอย่าง ทั้งนี้ ผู้วิจัยทำการสัมภาษณ์ด้วยตนเองทั้งหมด

การวิเคราะห์ข้อมูล

การวิเคราะห์ข้อมูลเชิงปริมาณ ใช้โปรแกรมสำเร็จรูปเพื่อการวิจัยทางสังคมศาสตร์ โดยใช้สถิติเชิงพรรณนา ได้แก่ ค่าร้อยละ (percentage) ค่าเฉลี่ย (mean) ค่าต่ำสุด(minimum) ค่าสูงสุด (maximun) และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (standard deviation) และวิเคราะห์ปัจจัยที่มีผลต่อการมีส่วนร่วมของสมาชิกในการพัฒนาระบบพีจีเอส โดยใช้สถิติอนุมาน คือ การวิเคราะห์ถดถอยพหุ (multiple regression analysis) ผู้วิจัยได้กำหนดตัวแปรอิสระทั้งหมด 10 ตัวแปร โดยมีสมการพยากรณ์ ดังนี้

$$Y = a + b_1x_1 + b_2x_2 + b_3x_3 + \ldots + b_{10}x_{10}$$

ทั้งนี้ จากการตรวจสอบไม่มีตัวแปรอิสระใดที่มีความสัมพันธ์กันสูงเกิน 0.80 อันก่อให้เกิดปัญหา multicollinearity อันเป็นการละเมิดข้อกำหนดของการวิเคราะห์การถดถอยพหุ (Mankeb, 2016) โดยกำหนดให้

Table 3. Scoring criteria for members' participation in PGS development

Score	Participation level
1.00 - 1.80	Lowest
1.81 - 2.60	low
2.61 - 3.40	Moderate
3.41 - 4.20	High
4.21 - 5.00	Highest

Y = การมีส่วนร่วมในการพัฒนาระบบพีจีเอส (ค่าเฉลี่ย)

X_1 = เพศ (ชาย = 1, หญิง = 0)

X_2 = อายุ (ปี)

X_3 = การศึกษา (จำนวนปีในสถานศึกษา)

X_4 = รายได้ครัวเรือน (บาท)

X_5 = พื้นที่ถือครองทำเกษตรอินทรีย์ (ไร่)

X_6 = ระยะเวลาการเป็นสมาชิกเครือข่าย (ปี)

X_7 = การรับรู้ข่าวสารจากสื่อบุคคล (ค่าเฉลี่ย)

X_8 = การรับรู้ข่าวสารจากสื่อมวลชน (ค่าเฉลี่ย)

X_9 = ความรู้เกี่ยวกับระบบพีจีเอส (คะแนน)

X_{10} = ทัศนคติต่อระบบพีจีเอส (ค่าเฉลี่ย)

ผลการศึกษาและวิจารณ์

ข้อมูลทั่วไปของสมาชิก

สมาชิกเครือข่ายเกษตรอินทรีย์แบบมีส่วนร่วม แปดริ้ว ส่วนใหญ่เป็นเพศหญิงคิดเป็นจำนวนร้อยละ 64.80 มีอายุเฉลี่ย 54.82 ปี ส่วนใหญ่ร้อยละ 63 มีการศึกษาอยู่ในระดับประถมศึกษา สมาชิกมีรายได้ต่อปีต่ำสุด 6,000.00 บาท สูงสุด 720,000.00 บาท เฉลี่ยต่อปี 154,836.80 บาท โดยมีรายได้จากการปลูกพืชมากที่สุด เช่น ผักสวนครัว ผักพื้นบ้าน ผักสลัด และไม้ผล เป็นต้น มีพื้นที่ถือครองทำเกษตรอินทรีย์เฉลี่ย 5.03 ไร่ เนื่องจากสมาชิกสามารถทำได้ในพื้นที่จำนวนจำกัดตามกำลังแรงงานตนเอง มีการผลิตที่หลากหลายและมีจำนวนพื้นที่ไม่มาก ทำให้สามารถดูแลและปฏิบัติให้ผลผลิตที่มีมาตรฐานตามระบบพีจีเอสที่กำหนด ซึ่งสอดคล้องกับผลศึกษาของ Maneechoti and Athinuwat (2019) พบว่า สมาชิกกลุ่มมีพื้นที่ทำเกษตรอินทรีย์มีเฉลี่ย 3.50 ไร่ต่อราย ซึ่งสามารถดูแลและควบคุมคุณภาพได้อย่างทั่วถึงเช่นกัน สมาชิกมีระยะเวลาการเป็นสมาชิกเครือข่ายเฉลี่ย 2.42 ปี ได้รับรู้ข่าวสารเกี่ยวกับระบบพีจีเอสจากสื่อบุคคล อยู่ในระดับปานกลาง (ค่าเฉลี่ย 2.58) ซึ่งประกอบด้วย เพื่อนบ้าน (ค่าเฉลี่ย 3.32) เจ้าหน้าที่ภาครัฐ (ค่าเฉลี่ย 3.03) หัวหน้าเครือข่าย (ค่าเฉลี่ย 2.92) บุคคลในครอบครัว (ค่าเฉลี่ย 2.64) และเจ้าหน้าที่ภาคเอกชน (ค่าเฉลี่ย 0.98) ส่วนสื่อมวลชนสมาชิกได้รับข่าวสารเกี่ยวกับระบบพีจีเอสอยู่ในระดับน้อยที่สุด (ค่าเฉลี่ย 1.17) โดยมีรายละเอียดดังนี้ อินเทอร์เน็ต (ค่าเฉลี่ย 3.78) โทรทัศน์ (ค่าเฉลี่ย 1.71) วิทยุ (ค่าเฉลี่ย 0.49) เอกสาร ใบปลิว (ค่าเฉลี่ย 0.43) หนังสือพิมพ์ (ค่าเฉลี่ย 0.31) และหนังสือ วารสาร (ค่าเฉลี่ย 0.30) การที่สมาชิกได้รับรู้ข่าวสารเกี่ยวกับระบบพีจีเอสจากสื่อบุคคลมากกว่า เพราะสมาชิกส่วนใหญ่ได้รับข่าวสารเกี่ยวกับระบบพีจีเอสจากเพื่อนบ้าน ญาติพี่น้อง หัวหน้ากลุ่มหรือเครือข่ายที่มีกิจกรรมการทำระบบพีจีเอสร่วมกัน และยังมีการได้รับข่าวสารจากกิจกรรมการประชุมประจำเดือน และการอบรมความรู้ Pincham (2015) พบเช่นเดียวกันว่า เกษตรกรผู้ผลิตผักปลอดภัยจากสารพิษ ได้รับข่าวสารส่วนใหญ่จากผู้นำเกษตรกร หรือจากเพื่อนบ้านซึ่งสามารถรับรู้ได้ง่าย เพราะเป็นการสื่อสารในลักษณะบอกต่อในพื้นที่หมู่บ้านหรือกลุ่มของตนเอง

ความรู้เกี่ยวกับระบบรับรองเกษตรอินทรีย์แบบมีส่วนร่วม

ผลการวิเคราะห์ระดับความรู้เกี่ยวกับระบบรับรองเกษตรอินทรีย์แบบมีส่วนร่วม เป็นการวัดความรู้ของสมาชิก ด้วยข้อคำถามจำนวน 30 ข้อ คะแนนเต็ม 30 คะแนน พบว่า สมาชิกเครือข่ายเกษตรอินทรีย์แบบมีส่วนร่วม แปดริ้ว มีคะแนนความรู้เฉลี่ย 25.48 คะแนน โดยมีคะแนนสูงสุด 30 คะแนน ต่ำสุด 18 คะแนน เมื่อพิจารณาระดับความรู้ พบว่า สมาชิกเครือข่ายส่วนใหญ่มีความรู้อยู่ในระดับมากคิดเป็นร้อยละ 81.60 รองลงมามีความรู้อยู่ในระดับปานกลางคิดเป็นร้อยละ 18.40 และไม่มีสมาชิกที่มีความรู้อยู่ในระดับน้อย ดัง Figure 1 เมื่อพิจารณารายข้อพบว่า ความรู้ที่สมาชิกทุกคนตอบถูกมากที่สุด คือ ในการผลิตไม่ใช้สารเคมีสังเคราะห์ตลอดห่วงโซ่ของการผลิตในแปลงต้องมีตัวบ่งชี้ความสมบูรณ์ของระบบนิเวศเกษตร ภาชนะและอุปกรณ์ไม่ปนเปื้อนสารเคมี การผลิตมีความเป็นธรรมด้านแรงงานทั้งคนและสัตว์ตามหลักเศรษฐกิจพอเพียง และการจัดการผลผลิต การจัดจำหน่าย ต้องปราศจากการปนเปื้อนตั้งแต่กระบวนการ

ผลิตจนถึงผู้บริโภค ในทางตรงกันข้ามความรู้ที่สมาชิกตอบถูกน้อยที่สุด คือ จำเป็นต้องมีการจดบันทึกแปลงในการทำระบบพีจีเอสเพื่อการตรวจสอบย้อนกลับได้ ผลการศึกษาความรู้ของสมาชิกสอดคล้องกับงานวิจัยของ Pannok and Treewannakul (2018) ที่ทำการศึกษาความรู้ของเกษตรกรสามพรานโมเดลเกี่ยวกับการรับรองแบบมีส่วนร่วม พบว่า เกษตรกรส่วนใหญ่มีความรู้อยู่ในระดับมากเช่นเดียวกัน หากพิจารณาจากบริบทของเครือข่ายที่สมาชิกมีความสนใจและมีใจรักในการทำเกษตรอินทรีย์เป็นเบื้องต้น จึงทำให้มีความกระตือรือร้นในการแลกเปลี่ยนเรียนรู้ ประกอบกับการประชุมแต่ละครั้งจะมีการกล่าวถึงหลักการของระบบพีจีเอส และเปิดโอกาสให้สมาชิกเครือข่ายได้แลกเปลี่ยนเรียนรู้ร่วมกัน จึงเป็นการทบทวนความรู้และกฎระเบียบของเครือข่าย เป็นเหตุผลให้สมาชิกเครือข่ายมีความรู้เกี่ยวกับระบบพีจีเอสเป็นอย่างดี

ทัศนคติต่อระบบรับรองเกษตรอินทรีย์แบบมีส่วนร่วม

จากการวิเคราะห์ทัศนคติของสมาชิกต่อระบบรับรองเกษตรอินทรีย์แบบมีส่วนร่วม เป็นการวัดทัศนคติโดยใช้คำถามจำนวน 15 ข้อ ผลการศึกษาพบว่า ในภาพรวมสมาชิกมีทัศนคติเชิงบวกต่อระบบพีจีเอส (ค่าเฉลี่ย 4.30) เมื่อพิจารณารายข้อพบว่าประเด็นคำถามที่สมาชิกมีทัศนคติเชิงบวกที่สำคัญได้แก่ สารเคมีเป็นสิ่งที่ไม่จำเป็นในการกำจัดศัตรูพืชและแมลงศัตรูพืช ในการทำเกษตรระบบพีจีเอส (ค่าเฉลี่ย 4.59) การทำเกษตรอินทรีย์ระบบพีจีเอสทำให้คุณภาพระบบนิเวศเกษตร และสิ่งแวดล้อมดีขึ้น (ค่าเฉลี่ย 4.55) ภาครัฐส่งเสริมความรู้ใหม่ ๆ ข้อมูล ข่าวสาร เกี่ยวกับเกษตรอินทรีย์เป็นประจำ (ค่าเฉลี่ย 3.97) ตามลำดับดังแสดงใน Table 4 ซึ่งการที่สมาชิกมีทัศนคติเชิงบวกเนื่องจากสมาชิกเครือข่ายมีความต้องการในการทำเกษตรอินทรีย์และรวมกลุ่มในบริเวณใกล้เคียงกันในการทำระบบพีจีเอสส่งผลดีต่อสิ่งแวดล้อมและปลอดภัยต่อสุขภาพผู้ผลิตและผู้บริโภค ดังงานวิจัยของ Nxumalo and Oladele (2013) พบว่า ทัศนคติของเกษตรกรที่มีต่อโครงการเกษตรส่วนใหญ่เห็นด้วยหรือแสดงทัศนคติเชิงบวกต่อโครงการเกษตรเป็นเพราะว่าส่วนใหญ่เกษตรกรมีส่วนร่วมในโครงการและมีความต้องการเกี่ยวกับความมั่นคงทางอาหาร

การศึกษาครั้งนี้พบว่า ไม่มีข้อใดที่สมาชิกมีทัศนคติในเชิงลบ แต่มีเพียงหนึ่งข้อเท่านั้นที่สมาชิกมีทัศนคติเป็นกลาง คือ การบันทึกกิจกรรมภายในแปลงเป็นสิ่งที่จำเป็นต้องทำ (ค่าเฉลี่ย 3.58) อาจเป็นเพราะว่าสมาชิกเครือข่ายยังขาดความเข้าใจในความสำคัญของการจดบันทึกแปลง ประกอบกับไม่มีเวลาในการจดบันทึก

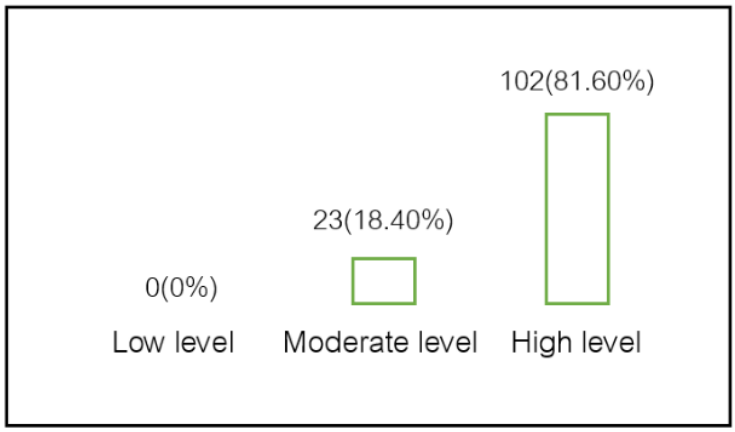


Figure 1. The level of knowledge about PGS

Table 4. Attitude towards PGS

Item	$\bar{X}$	S.D.	Level of attitude
1) PGS organic farming is a simple process	4.31	0.67	Positive
2) New members need to pass the PGS guidelines training course specified by the network	4.30	0.61	Positive
3) PGS organic farming can increase family income	4.33	0.53	Positive
4) Recording activities within the plot is a must-do	3.58	0.79	Neutral
5) PGS organic farming improves the quality of agricultural ecosystems and the environment	4.55	0.54	Positive
6) PGS organic farming process prohibits all synthetic agricultural chemicals such as chemical fertilizers, herbicides, pesticides, and hormones	4.44	0.49	Positive
7) PGS organic farming is beneficial and safe for producers and consumers	4.53	0.53	Positive
8) PGS organic agriculture can use biological agents and herbal extracts to control insect pests instead of using chemicals	4.34	0.54	Positive
9) Chemicals are not necessary for the control of pests and pests in PGS farming	4.59	0.55	Positive
10) The 19 network standards are not complicated, making success easy	4.39	0.65	Positive
11) The network standards certificate gives consumers confidence that the quality of the product is organic	4.34	0.55	Positive
12) PGS organic farming reduces production costs	4.07	0.67	Positive
13) Products from PGS organic farming are in demand in the consumer market	4.22	0.59	Positive
14) The government regularly promotes new knowledge and information about organic agriculture	3.97	0.73	Positive
15) Overall, you are satisfied with PGS organic farming	4.49	0.59	Positive
Total	4.30	0.29	Positive

การมีส่วนร่วมของสมาชิกในการพัฒนาระบบรับรองเกษตรอินทรีย์แบบมีส่วนร่วม

ผลการวิเคราะห์ระดับการมีส่วนร่วมของสมาชิกในการพัฒนาระบบรับรองเกษตรอินทรีย์แบบมีส่วนร่วม พบว่า โดยภาพรวมสมาชิกมีระดับการมีส่วนร่วมทั้ง 4 ด้าน อยู่ในระดับมาก (ค่าเฉลี่ย 3.92) เมื่อพิจารณารายด้านพบว่า 1) การมีส่วนร่วมในการตัดสินใจสมาชิกมีส่วนร่วมอยู่ในระดับมาก (ค่าเฉลี่ย 3.47) โดยสมาชิกมีส่วนร่วมเกี่ยวกับการประชุมเพื่อนำเสนอเรื่องต่าง ๆ ที่มีความจำเป็นในการพัฒนาระบบพีจีเอส เช่น การวางแผนกิจกรรมการพัฒนาระบบพีจีเอส ปัญหาในการดำเนินงานของเครือข่าย เป็นต้น 2) การมีส่วนร่วมในการดำเนินงานสมาชิกมีส่วนร่วมอยู่ในระดับมาก (ค่าเฉลี่ย 4.16) โดยสมาชิกมีส่วนร่วมการปฏิบัติตามมาตรฐานของเครือข่าย เนื่องจากสมาชิกทุกคนต้องปฏิบัติตามอย่างเคร่งครัดเพื่อให้ได้ผลผลิตที่มีคุณภาพ 3) การมีส่วนร่วมในการรับผลประโยชน์สมาชิกมีส่วนร่วมอยู่ในระดับมาก (ค่าเฉลี่ย 4.18) โดยสมาชิกมีส่วนร่วมในการรับผลประโยชน์จากกิจกรรมเครือข่าย เช่น กิจกรรมการอบรมความรู้เกษตรอินทรีย์ การตรวจ-เยี่ยมแปลงเกษตร ช่องทางการจำหน่ายผลผลิต การกำหนดราคาด้วยตนเอง เป็นต้น 4) การมีส่วนร่วมในการประเมินผลสมาชิกมีส่วนร่วมอยู่ในระดับมาก (ค่าเฉลี่ย 3.88) โดยสมาชิกมีส่วนร่วมประเมินผลการปฏิบัติงานและเสนอความคิดเห็นในการพัฒนาระบบพีจีเอส และรับรู้เกี่ยวกับการดำเนินการของเครือข่ายจากการประชุมประจำเดือน กิจกรรมของเครือข่ายอย่างต่อเนื่อง ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Saengsod (2014) ที่ทำการศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการมีส่วนร่วมในการดำเนินงานกองทุนสวัสดีการชุมชนร่วมสามัคคีต้นขาม พบว่า สมาชิกส่วนใหญ่มีส่วนร่วมในการดำเนินงานทั้ง 4 ด้านอยู่ในระดับมากเช่นกัน โดยด้านการรับผลประโยชน์มีค่าเฉลี่ยมากที่สุด เนื่องจากสมาชิกรู้สึกว่ามีส่วนได้ส่วนเสียมากที่สุด จึงส่งผลให้สมาชิกมีส่วนร่วมในด้านนี้มากกว่าด้านอื่น ๆ Table 5

ปัจจัยที่มีผลต่อการมีส่วนร่วมของสมาชิกในการพัฒนาระบบรับรองเกษตรอินทรีย์แบบมีส่วนร่วม

เมื่อนำตัวแปรทั้ง 10 ตัวแปร เข้าสมการด้วยวิธีการวิเคราะห์ถดถอยพหุ ผลการวิเคราะห์พบว่า มีตัวแปรอิสระเพียง 3 ตัวแปร ที่สามารถพยากรณ์ปัจจัยที่มีผลต่อการมีส่วนร่วมของสมาชิกในการพัฒนาระบบพีจีเอสอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) คือ ทัศนคติต่อระบบพีจีเอส (X_{10}) การรับรู้ข่าวสารจากสื่อมวลชน (X_8) และความรู้เกี่ยวกับระบบพีจีเอส (X_9) ซึ่งสามารถพยากรณ์ปัจจัยที่มีผลต่อการมีส่วนร่วมของสมาชิกในการพัฒนาระบบพีจีเอส (R^2) ได้ร้อยละ 39.6 มีความคาดเคลื่อนในการพยากรณ์ SE_{est}= 0.408 ดังแสดงใน Table 6 และสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ของตัวแปรทั้ง 3 ตัวแปร มีค่าเป็นบวก กล่าวคือ เมื่อสมาชิกมีทัศนคติต่อระบบพีจีเอส ความรู้เกี่ยวกับระบบพีจีเอส และการรับรู้ข่าวสารจากสื่อมวลชนมากขึ้น มีผลให้

Table 5. Level of members' participation in the PGS development

Item	$\bar{X}$	S.D.	Participation level
1. Participation in decision making	3.47	0.52	High
2. Participation in operations	4.16	0.60	High
3. Participation in receiving benefits	4.18	0.49	High
4. Participation in the evaluation	3.88	0.66	High
Total	3.92	0.47	High

สมาชิกเครือข่ายมีส่วนร่วมในการพัฒนาระบบพีจีเอสเพิ่มมากขึ้น เนื่องจากเครือข่ายส่งเสริมความรู้และสร้างทัศนคติที่ดีเกี่ยวกับระบบพีจีเอสให้กับสมาชิกตั้งแต่เริ่มเข้าเป็นสมาชิกเครือข่าย ประกอบกับสมาชิกมีความสนใจ และต้องการหาความรู้ใหม่ในการทำเกษตร-อินทรีย์ เพื่อให้เกิดความเข้าใจและง่ายต่อการนำไปปฏิบัติภายในแปลงเกษตรของตนเอง โดยเครือข่ายดำเนินการส่งเสริมอย่างต่อเนื่องเป็นประจำทุกปีผ่านกิจกรรม เช่น การประชุมประจำเดือน การอบรมความรู้เกษตรอินทรีย์ การจำหน่ายสินค้า กิจกรรมเอามื้อสามัคคี การตรวจเยี่ยมแปลงสมาชิก เป็นต้น ดังนั้น จากกิจกรรมของเครือข่ายทำให้สมาชิกมีความรู้และทัศนคติที่ดีต่อระบบพีจีเอส จึงนำไปสู่การเข้าไปมีส่วนร่วมในการพัฒนาระบบพีจีเอส ดังที่ Liao *et al.* (2022) กล่าวว่า การคำนึงถึงความรู้และการรับรู้ที่ดีย่อมทำให้เกิดทัศนคติที่ดี นำไปสู่การปฏิบัติของเกษตรกรแต่ละราย อันเป็นการส่งเสริมพฤติกรรมการมีส่วนร่วม อีกปัจจัยหนึ่งคือการรับรู้ข่าวสารจากสื่อมวลชน อธิบายได้ว่า สมาชิกที่ได้รับข้อมูลข่าวสารด้านระบบพีจีเอสจากสื่อมวลชนมากขึ้น มีแนวโน้มของการมีส่วนร่วมในการแสดงความคิดเห็นในการพัฒนาระบบพีจีเอสในขั้นตอนต่าง ๆ ของเครือข่ายมากขึ้นตามไปด้วย ทั้งนี้เป็นเพราะสถานการณ์การเปลี่ยนแปลงในปัจจุบันทำให้สมาชิกจำเป็นต้องค้นหาข้อมูล ข่าวสารเกี่ยวกับระบบพีจีเอสมากขึ้นทางสื่อมวลชน ซึ่งการมีข้อมูลหรือได้รับข่าวสารเกี่ยวกับระบบพีจีเอสมากขึ้นส่งผลให้ให้สมาชิกมีส่วนร่วมมากขึ้นเช่นกัน

Table 6. Factors affecting members' participation in PGS development

Variables	B	Beta	t	P-value
Constant	-1.776		-2.379	0.019
Gender (X_1)	-0.004	-0.004	-0.045	0.964
Age (X_2)	0.005	0.092	1.030	0.305
Educational level (X_3)	-0.003	-0.024	-0.262	0.794
Household income (X_4)	-2.781E-7	-0.078	-0.877	0.382
land areas of organic farming (X_5)	-0.007	-0.089	-1.048	0.297
Network membership period (X_6)	0.101	0.133	1.741	0.084
Exposure of PGS news from personal media (X_7)	0.060	0.081	1.067	0.288
Exposure of PGS news from mass media (X_8)	0.147	0.212	2.359	0.020*
Knowledge of PGS (X_9)	0.039	0.203	2.483	0.014*
Attitude towards PGS (X_{10})	0.906	0.516	6.800	0.000**

R^2 = 0.396 SE_{est}= 0.408 F = 7.467 P-value = 0.000

* Statistically significant level at 0.05 ** Statistically significant level at 0.01

สรุป

จากการศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการมีส่วนร่วมในการพัฒนาระบบรับรองเกษตรอินทรีย์แบบมีส่วนร่วม (PGS) ของสมาชิกเครือข่ายเกษตรอินทรีย์แบบมีส่วนร่วม แปดริ้ว สามารถสรุปผลการวิจัยได้ว่า สมาชิกเครือข่ายส่วนใหญ่ เป็นเพศหญิง ที่กำลังเข้าสู่วัยผู้สูงอายุ มีอายุเฉลี่ย 54.82 ปี การศึกษาอยู่ในระดับชั้นประถมศึกษา โดยมีรายได้เฉลี่ยต่อปี 154,836.80 บาท มีพื้นที่ถือครองทำเกษตรอินทรีย์เฉลี่ย 5.03 ไร่ ระยะเวลาการเป็นสมาชิกเครือข่ายเฉลี่ย 2.42 ปี ได้รับข่าวสารเกี่ยวกับระบบพีจีเอสจากสื่อบุคคลอยู่ในระดับปานกลางและสื่อมวลชนอยู่ในระดับน้อยที่สุด โดยสมาชิกส่วนใหญ่ (ร้อยละ 81.60) มีความรู้เกี่ยวกับระบบพีจีเอสในระดับมาก สมาชิกมีทัศนคติเชิงบวกต่อระบบพีจีเอส (ค่าเฉลี่ย 4.30) และสมาชิกมีส่วนร่วมในการพัฒนาระบบพีจีเอสโดยภาพรวมอยู่ในระดับมาก (ค่าเฉลี่ย 3.92) โดยมีส่วนร่วมในองค์ประกอบทั้ง 4 ด้านอยู่ในระดับมาก ได้แก่ ด้านการมีส่วนร่วมในการตัดสินใจ คือ การร่วมประชุมเพื่อนำเสนอสิ่งที่จำเป็นในการพัฒนาระบบพีจีเอส การค้นหาปัญหา และการวางแผนขั้นตอนการดำเนินกิจกรรม ด้านการมีส่วนร่วมในการดำเนินงาน คือ การมีส่วนร่วมในการจัดกิจกรรมของเครือข่ายและการปฏิบัติตามมาตรฐานของเครือข่าย ด้านการมีส่วนร่วมในการรับผลประโยชน์ คือ รับประโยชน์จากกิจกรรมเครือข่าย เช่น ความรู้ การตรวจประเมินแปลง เป็นต้น และด้านการมีส่วนร่วมในการประเมินผล คือ ร่วมประชุมเครือข่ายเพื่อประเมินผลการดำเนินงาน รวมถึงการติดตามความก้าวหน้ากิจกรรมในการพัฒนาระบบพีจีเอส การศึกษาครั้งนี้พบว่า ปัจจัยที่มีผลต่อการมีส่วนร่วมของสมาชิกในการพัฒนาระบบรับรองเกษตรอินทรีย์แบบมีส่วนร่วม มี 3 ตัวแปร ได้แก่ ทัศนคติต่อระบบพีจีเอส (X_{10}) การรับรู้ข่าวสารจากสื่อมวลชน (X_8) และความรู้เกี่ยวกับระบบพีจีเอส (X_9) ซึ่งสามารถพยากรณ์ปัจจัยที่มีผลต่อการมีส่วนร่วมของสมาชิกในการพัฒนาระบบพีจีเอส ร้อยละ 39.6

ข้อเสนอแนะ

1. เนื่องจากทัศนคติและความรู้เกี่ยวกับระบบพีจีเอส มีผลต่อการมีส่วนร่วมในการพัฒนาระบบพีจีเอส เพราะฉะนั้นในกระบวนการส่งเสริมหรือกระบวนการพัฒนาระบบพีจีเอสในพื้นที่อื่นควรให้ความสำคัญเรื่องทัศนคติและความรู้เกี่ยวกับระบบพีจีเอสที่ดีก่อน ซึ่งสามารถดำเนินการผ่านกิจกรรม เช่น การอบรมด้านเกษตรอินทรีย์เชิงปฏิบัติการ การศึกษาดูงานกลุ่มหรือเครือข่ายที่ประสบความสำเร็จในการทำระบบพีจีเอส เพื่อสร้างการรับรู้เสริมสร้างทัศนคติและความรู้ที่ดี

2. จากการที่สมาชิกเครือข่ายมีทัศนคติในการบันทึกกิจกรรมภายในแปลงเป็นสิ่งที่จำเป็น ได้ผลมีทัศนคติเป็นกลาง แสดงให้เห็นว่าสมาชิกยังไม่ได้ให้ความสำคัญกับการจดบันทึกกิจกรรมภายในแปลงเท่าที่ควร ทางเครือข่ายควรมีการส่งเสริมและโน้มน้าวให้เห็นถึงความสำคัญของการจดบันทึกกิจกรรมภายในแปลงของสมาชิก โดยอาจดำเนินการผ่านกิจกรรม เช่น การประกวดสมุดบันทึกแปลง การมอบรางวัลพิเศษกับสมาชิกที่มีการจดบันทึกดีเด่น เพื่อเป็นแบบอย่างให้กับสมาชิกรายอื่น ทั้งนี้ เนื่องจากการจดบันทึกแปลงเป็นกิจกรรมที่มีประโยชน์และจำเป็นในตรวจสอบการดำเนินงานตามมาตรฐาน และการตรวจสอบย้อนกลับ

3. ประเด็นการส่งเสริมการมีส่วนร่วมของสมาชิกเครือข่าย ในการพัฒนาระบบพีจีเอสเครือข่ายควรรักษากิจกรรมและความถี่ในการจัดกิจกรรมอย่างต่อเนื่อง ทั้งนี้ เนื่องจากการดำเนินการที่ผ่านมาสามารถสร้างการมีส่วนร่วมของสมาชิกเครือข่ายได้เป็นอย่างดี และควรจัดหากิจกรรมส่งเสริมการมีส่วนร่วมของสมาชิกเพิ่มเติม เช่น การจัดสรรรางวัลสำหรับสมาชิกที่มีส่วนร่วมดีเด่นในการพัฒนาระบบพีจีเอส เป็นต้น

4. ควรศึกษาเครือข่ายเกษตรอินทรีย์แบบมีส่วนร่วมที่ประสบความสำเร็จในพื้นที่อื่นร่วมด้วย เพื่อนำผลมาเปรียบเทียบถึงปัจจัยที่มีผลต่อการมีส่วนร่วมในการพัฒนาระบบพีจีเอส ร่วมกับวิจัยเชิงคุณภาพเพื่อจะได้รับรู้ในรายละเอียดปลีกย่อยจาก

ความคิดเห็นของสมาชิกเพิ่มเติมจากการใช้การวิจัยในเชิงคุณภาพและนำไปพัฒนาในการส่งเสริมระบบพีจีเอสที่เพิ่มมากขึ้น

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยครั้งนี้ได้รับทุนอุดหนุนจากกองทุนวิจัยสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ประจำปีงบประมาณ 2564 และได้รับทุนอุดหนุนศึกษาต่อในระดับบัณฑิตศึกษา คณะเทคโนโลยีการเกษตร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง สุดท้ายขอขอบคุณเครือข่ายเกษตรอินทรีย์แบบมีส่วนร่วม แปดริ้ว ที่ให้ความร่วมมือในการให้ข้อมูลและสนับสนุนการวิจัยในครั้งนี้จนสำเร็จลุล่วงได้ด้วยดี

เอกสารอ้างอิง

Bloom, B.S. 1956. Taxonomy of Educational Objectives: The Classification of Educational Goals. Handbook I: Cognitive Domain. David McKay Company, New York. 207 p.

Cohen, J.M. and N.T. Uphoff. 1977. Rural Development Participation: Concepts and Measures for Project Design, Implementation and Evaluation. Center for International Studies, Cornell University, Ithaca. 317 p.

Department of Agricultural Extension. 2013. Formation of a Participatory Agricultural Development Plan. The Agricultural Co-operative Federation of Thailand, Ltd., Bangkok. 143 p. (in Thai)

Ghosh, M.K., M.H. Sohel, N. Ara, F.T. Zahara, S.B. Nur and M.M. Hasan. 2019. Farmers attitude towards organic farming: A case study in Chapainawabganj district. Asian Journal of Advances in Agricultural Research 10(2): 1-7.

Hirata, A.R., L.C.D. Rocha, T.R. de Paula Assis Assis, V.F. de Souza-Esquerdo and S.M.P.P. Bergamasco. 2020. Generating credibility in participatory guarantee system (PGS): A study at PGS Sul de Minas, Brazil. Agroecology and Sustainable Food Systems 45(2): 225-244.

Hruschka, N., S. Kaufmann and C.R. Vogl. 2021. The benefits and challenges of participating in Participatory Guarantee Systems (PGS) initiatives following institutional formalization in Chile. International Journal of Agricultural Sustainability doi: 10.1080/14735903.22021.1934364.

International Federation of Organic Agriculture Movements. 2019. PGS Guidelines: How to Develop and Manage Participatory Guarantee Systems for Organic Agriculture. IFOAM - Organics International, Bonn. 42 p.

Kasemsuk, C. 2014. Principles of Participation in Sustainable Community Development. Chulalongkorn University Press, Bangkok. 77 p. (in Thai)

Kaufmann, S., N. Hruschka and C.R. Vogl. 2020. Bridging the literature gap: A framework for assessing actor participation in participatory guarantee systems (PGS). Sustainability 12(19), doi: 10.3390/su 12198100.

Liao, X., T.P.L. Nguyen and N. Sasaki. 2022. Use of the knowledge, attitude, and practice (KAP) model to examine sustainable agriculture in Thailand. Regional Sustainability 3(1): 41-52.

Maneechoti, S. and D. Athinuwat. 2019. Application of participatory guarantee systems toward organic 3.0 and increase small farmer income. Thai Journal of Science and Technology 8(5): 468-478. (in Thai)

Mankeb, P. 2016. Computer Application for Agricultural Analysis. 2nd ed. Min Service Supply, Bangkok. 186 p. (in Thai)

National Organic Development Board. 2017. National Strategy for Organic Farming Development Year 2017 – 2021. Office of Agricultural Economics, Bangkok. 102 p. (in Thai)

Nenlaeard, R. 2014. Factors affecting people participation in mangrove forest resource conservation at Sraboa beach area, Tha sala Sub-district, Tha Sala district, Nakhon Si Thammarat province. M.S. Thesis. Kasetsart University, Bangkok. 126 p. (in Thai)

Niyamangkoon, S. 2013. Research Methods in Social Sciences and Statistics Used. Books to You, Bangkok. 280 p. (in Thai)

Nxumalo, K.K.S. and O.I. Oladele. 2013. Factors affecting farmers' participation in agricultural programme in Zululand district, Kwazulu Natal province, South Africa. Journal of Social Sciences 34(1): 83-88.

Office of Agricultural Economics. 2017. The 20-Year Agricultural and Cooperatives Strategy (2017-2036). *Office of Agricultural Economics*, Bangkok. 93 p. (in Thai)

Oluwasusi, J.O. 2014. Vegetable farmers attitude towards organic agriculture practices in selected states of South West Nigeria. Journal of Agricultural Extension and Rural Development 6(7): 223-230.

Pannok, T. and P. Treewannakul. 2018. Participation of farmers in Sampran model in Nakhon Pathom and Ratchaburi province. Agricultural Science Journal 49(2): 179-192. (in Thai)

Pincham, K. 2015. The development of sustainable agricultural market: a study of the participation of farmers who produce vegetables safe from toxins in food safety project, fruit and vegetable market, Ratchaburi province. M.S. Thesis. Kasetsart University, Bangkok. 187p. (in Thai)

Saengsod, S. 2014. Factors effecting paticipation in the operation of Ruamsamakkhi Tonkham Community Welfare Fund, Thasala sub-district, Muang district, Chiangmai province. M.S. Thesis. Maejo University, Chiang Mai. 104 p. (in Thai)

Suwan, M. 2006. Research Methodology in Social Sciences and Humanities. 2nd ed. Odeon Store, Bangkok. 179 p. (in Thai)

Thai Organic Agriculture Foundation. 2016. Participatory Guarantee Systems for Organic Agriculture PGS Operational Manual. Comma Design & Print Company Limited, Bangkok. 56 p. (in Thai)

Willer, H., J. Travnicek, C. Meier and B. Schlatter. 2021. The World of Organic Agriculture: Statistics and Emerging Trends 2021. Research Institute of Organic Agriculture FiBL, Frick, and IFOAM-Organics International, Bonn. 336 p.

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

ปัจจัยที่ส่งผลต่อความผันผวนของ ราคายางแผ่นรมควันชั้น 3 ของประเทศไทย

Factors Affecting Ribbed Smoked Rubber Sheet No. 3 Price Volatility of Thailand

สโรชา อนุกูล* เยาวเรศ เชาวนพูนผล และ กรรณิกา แซ่ลิ่ว
Sarocha Anukul*, Yaovarate Chaovanapoonphol and Kannika Sae Liw

ภาควิชาพัฒนาเศรษฐกิจการเกษตร คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ จ. เชียงใหม่ 50200
Department of Agricultural Economy and Development, Faculty of Agriculture,
Chiang Mai University, Chiang Mai 50200, Thailand
**Corresponding author: Email: Sarocha_am@cmu.ac.th*

(Received: 25 April 2022; Accepted: 26 July 2022)

Abstract: The volatility of natural rubber prices has a major impact on rubber farmers and rubber industry production. This research aims to study the rubber price volatility in Thailand and factors affecting RSS3 (ribbed smoked sheet No. 3) price in Thailand by using GARCH and GARCH-X models. The secondary time series data of RSS3 in Thailand and external variables including exchange rate (Yuan/Baht), RSS3 price in Shanghai Futures Exchanges (SHFE), and crude oil price were collected daily from January 4, 2012 to December 23, 2019 (1,605 datasets). The results show that exchange rate (Yuan/Baht) and crude oil price have non-significant results on RSS3 price volatility, whereas RSS3 prices in Shanghai Futures Exchanges cause an direct effect on RSS3 price volatility with the 99 % confidence.

Keywords: Price volatility, GARCH-X model, ribbed smoked sheet No. 3 (RSS3)

บทคัดย่อ: ความผันผวนของราคายางพาราส่งผลกระทบต่อเกษตรกรและอุตสาหกรรมผลิตยาง การศึกษานี้มุ่งศึกษาความผันผวนราคายางพารา รวมทั้งปัจจัยต่าง ๆ ที่ส่งผลต่อราคายางแผ่นรมควันชั้น 3 ของประเทศไทย โดยใช้แบบจำลอง GARCH และ GARCH-X ใช้ข้อมูลอนุกรมเวลารายวันของราคายางแผ่นรมควันชั้น 3 ระหว่างวันที่ 4 มกราคม 2555 ถึงวันที่ 23 ธันวาคม 2562 (1,605 ชุดข้อมูล) โดยมีข้อมูลตัวแปรที่กำหนดเป็นตัวภายนอกของแบบจำลอง ได้แก่ อัตราแลกเปลี่ยนสกุลเงิน (หยวน/บาท) ราคาซื้อขายยางแผ่นรมควันชั้น 3 ในตลาดล่วงหน้าเซี่ยงไฮ้ และราคาน้ำมันดิบในตลาดโลก จากการวิเคราะห์ความผันผวนของราคายางแผ่นรมควันชั้น 3 ของประเทศไทย พบว่า อัตราแลกเปลี่ยน และราคาน้ำมันดิบในตลาดโลก ไม่มีผลต่อความผันผวนของราคายางแผ่นรมควันชั้น 3 อย่างมีนัยสำคัญ ในขณะที่ราคาซื้อขายยางแผ่นรมควันชั้น 3 ในตลาดล่วงหน้าเซี่ยงไฮ้ มีผลต่อความผันผวนของราคายางแผ่นรมควันชั้น 3 อย่างมีนัยสำคัญที่ช่วงความเชื่อมั่นที่ 99 เปอร์เซ็นต์ โดยมีความสัมพันธ์ไปในทิศทางเดียวกัน

คำสำคัญ: ความผันผวนของราคา แบบจำลอง GARCH-X ยางแผ่นรมควันชั้น 3

คำนำ

ยางพาราเป็นพืชเศรษฐกิจที่สำคัญของประเทศไทย และเป็นสินค้าเกษตรที่มีปริมาณการส่งออกเป็นอันดับหนึ่งของประเทศและของโลก เนื่องจากเป็นพืชที่ให้ผลตอบแทนสูงเมื่อเทียบกับพืชชนิดอื่น จึงจูงใจให้เกษตรกรเพิ่มพื้นที่ปลูกอย่างต่อเนื่อง โดยภาคใต้มีพื้นที่ปลูกยางพาราและมีปริมาณผลผลิตมากที่สุด รองลงมา คือ ภาคกลาง และภาคตะวันออกเฉียงเหนือ เมื่อพิจารณาพื้นที่ปลูกยางพาราของประเทศไทยเปรียบเทียบกับประเทศผู้ส่งออกสำคัญ พบว่า ประเทศไทยมีพื้นที่ปลูกเป็นอันดับสองรองจากประเทศอินโดนีเซีย แต่มีปริมาณผลผลิตมากที่สุดในโลก ในปี พ.ศ. 2561 พื้นที่ปลูกยางพาราทั้งโลก มีประมาณ 89 ล้านไร่ โดยมีสามประเทศเป็นผู้ผลิตรายใหญ่ คือ ประเทศไทย อินโดนีเซีย และมาเลเซีย มีพื้นที่ปลูกรวมกันมากกว่าร้อยละ 60 ของพื้นที่ปลูกยางทั้งโลก (Table 1)

สำหรับประเทศไทยเป็นผู้ผลิตและส่งออกยางธรรมชาติรายใหญ่ที่สุดของโลก ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2534 เป็นต้นมา จากข้อมูลสำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร (2562) พบว่า ในช่วงปี พ.ศ. 2540 - 2562 ประเทศไทยเป็นประเทศผู้ส่งออกอันดับที่ 1 มาโดยตลอด เฉลี่ยร้อยละ 35.56 ของสัดส่วนการส่งออกของประเทศผู้ส่งออกที่สำคัญในตลาดโลก โดยประเทศผู้ส่งออกที่สำคัญรองลงมาคือ ประเทศอินโดนีเซีย มาเลเซีย และเวียดนาม ตามลำดับ (Table 2)

ยางพาราที่ประเทศไทยส่งออกแบ่งเป็น 5 ประเภท ได้แก่ น้ำยางข้น ยางแผ่นรมควัน ยางแท่ง ยางผสม และยางชนิดอื่น ๆ โดยยางแท่ง น้ำยางข้น และยางชนิดอื่น ๆ เป็นผลิตภัณฑ์ที่มีแนวโน้มส่งออกเพิ่มขึ้น ในขณะที่ยางแผ่นรมควัน และยางผสมมีแนวโน้มส่งออกลดลง เนื่องจากยางแท่งเป็นผลิตภัณฑ์ยางที่สามารถควบคุมคุณภาพให้ได้มาตรฐานได้ง่ายกว่า ส่งผลให้ผู้ผลิตยางรถยนต์นิยมใช้เทคโนโลยีการผลิตยางล้อจากยางแท่งมากขึ้น (Kitticharoonwit, 2018) โดยเฉพาะอุตสาหกรรมยางรถยนต์ในประเทศจีน ซึ่งเติบโตตามอุตสาหกรรมรถยนต์ กล่าวคือ ระหว่างปี พ.ศ. 2545 - 2565 อุตสาหกรรมรถยนต์ในประเทศจีนมีอัตราการเติบโตเฉลี่ยสูงถึงร้อยละ 11.2 ต่อปี เทียบกับการผลิตรถยนต์ของโลกที่เติบโตเพียงร้อยละ 2.4 ต่อปี ส่งผลให้ปริมาณการส่งออกยางแท่งของประเทศไทยเพิ่มขึ้นจาก 0.46 ล้านตัน ในปี พ.ศ. 2545 เป็น 1.56 ล้านตัน ในปี พ.ศ. 2565 สอดคล้องกับการเพิ่มขึ้นของปริมาณการส่งออกน้ำยางข้นที่มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นจาก 0.23 ล้านตันในปี พ.ศ. 2545 เป็น 0.68 ล้านตันในปี พ.ศ. 2565 เนื่องจากความต้องการถุงมือยางเพิ่มสูงขึ้นทั้งตลาดภายในประเทศและต่างประเทศในช่วงการแพร่ระบาดของโรคโควิด-19 และมีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้นในปี พ.ศ. 2565 จากสถานการณ์การแพร่ระบาดของโรคโควิด-19 ในประเทศจีนที่เริ่มคลี่คลาย ผลักดันให้ผู้ประกอบการกลับมาฟื้นฟูการผลิต มีการขยายโรงงานและการลงทุนด้านอุตสาหกรรมรถไฟฟ้าเพิ่มขึ้น

รวมไปถึงนโยบายของรัฐบาลที่ส่งเสริมและสนับสนุนการใช้ยางพาราภายในประเทศมากขึ้น (Royal Thai Government, 2022) แม้ว่าประเทศไทยส่งออกยางแผ่นรมควันชั้น 3 ลดลง อันเป็นผลมาจากการที่ทั่วโลกหันมาใช้ยางแท่งมากขึ้นเพราะมีราคาถูกกว่า อย่างไรก็ตาม ยางแผ่นรมควันชั้น 3 ของประเทศไทยยังคงเป็นที่ต้องการของตลาดโลก เนื่องจากมีคุณสมบัติทางกายภาพที่ดี และประเทศไทยมีสัดส่วนผลผลิตมากกว่าร้อยละ 80 ของปริมาณผลผลิตยางแผ่นรมควันของโลก และมีปริมาณส่งออกมากที่สุดเมื่อเทียบกับประเทศคู่แข่ง เช่น ประเทศอินโดนีเซีย มาเลเซีย อาจกล่าวได้ว่ายางแผ่นรมควันชั้น 3 เป็นผลิตภัณฑ์ยางที่สำคัญต่อระบบเศรษฐกิจของประเทศไทย เนื่องจากเป็นผลผลิตหลักของเกษตรกรไทย (Daengkanit *et al*., 2017)

Table 1. Planting area and rubber production of major rubber production countries during 2540 - 2564 B.E.

Year	Planting Area (million rai)				Production (million ton)			
	Thailand	Indonesia	Malaysia	Vietnam	Thailand	Indonesia	Malaysia	Vietnam
2540	11.94	21.98	10.22	1.72	1.89	1.54	0.97	0.18
2545	12.53	20.74	7.99	2.63	2.63	1.63	0.88	0.29
2550	15.35	21.34	7.80	3.03	3.02	2.75	1.19	0.60
2555	17.41	21.78	6.51	3.10	4.13	3.01	0.92	0.87
2560	19.11	22.66	6.76	3.43	4.60	3.62	0.74	1.09
2564	21.93	23.60	7.11	5.75	4.82	3.12	0.53	1.23

Source: Office of Agricultural Economics, 2021

Table 2. Volume of rubber exports of the rubber exporting countries during 2540 - 2562 B.E.

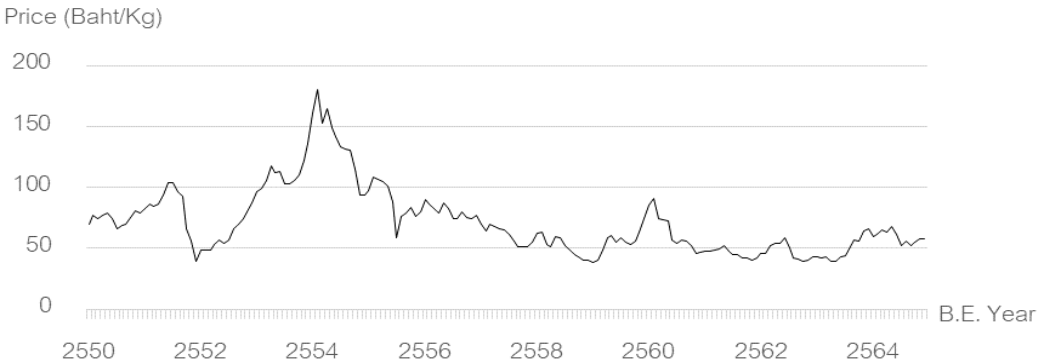
Year	World	Thailand	Indonesia	Malaysia	Vietnam
2540	4.13	1.22	1.22	1.13	0.06
2545	6.02	2.55	1.44	0.82	0.31
2550	6.86	2.72	2.41	1.01	0.72
2555	8.67	3.02	2.52	1.29	1.02
2560	12.17	4.10	3.27	1.22	1.28
2561	12.09	4.30	2.95	1.50	1.12
2562	11.44	3.74	2.57	1.03	1.68

Source: Office of Agricultural Economics, 2021

Unit: Million ton

เมื่อพิจารณาการเคลื่อนไหวของราคายางแผ่นรมควันชั้น 3 ของประเทศไทยที่ตลาดกลางยางพาราจังหวัดสงขลา พบว่า มีความผันผวนตามภาวะเศรษฐกิจโลก กล่าวคือ ระหว่างปี พ.ศ. 2555 - 2565 ราคายางแผ่นรมควันชั้น 3 มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง จากการเติบโตแบบก้าวกระโดดของอุตสาหกรรมรถยนต์ของประเทศจีนที่มีการตั้งเป้าหมายเป็นผู้ผลิตรถยนต์อันดับ 1 ของโลกในปี พ.ศ. 2553 แต่ประเทศจีนไม่สามารถเก็บสำรองยางให้สอดคล้องกับความต้องการใช้ยาง ดังนั้น ราคายางแผ่นรมควันชั้น 3 ในปี พ.ศ. 2554 จึงสูงขึ้นอย่างรวดเร็ว จากนั้นได้ปรับตัวลดลงจนถึงปี พ.ศ. 2558 จากภาวะเศรษฐกิจโลกชะลอตัว และปริมาณการผลิตที่มีมากกว่าความต้องการใช้ (Pisitsupakul, 2014) ต่อมาในปี พ.ศ. 2559 ราคายางแผ่นรมควันชั้น 3 ปรับตัวสูงขึ้น เนื่องจากอุทกภัยในภาคใต้ ส่งผลให้พื้นที่กรีดยางได้รับความเสียหายประกอบกับปริมาณผลผลิตยางพาราคงค้างในตลาดยางจีนลดลงและราคาน้ำมันดิบเริ่มปรับตัวสูงขึ้น ในปี พ.ศ. 2560 ราคายางแผ่นรมควันชั้น 3 กลับปรับตัวลดลงอีกครั้ง เนื่องจากเศรษฐกิจของประเทศคู่ค้าเริ่มชะลอตัวลง โดยเฉพาะประเทศจีน สหรัฐอเมริกา และญี่ปุ่น อัตราการขยายตัวของภาคอุตสาหกรรมลดลง ในขณะเดียวกันค่าเงินบาทแข็งค่าขึ้นเมื่อเทียบกับสกุลเงินต่างประเทศที่มีการทำการซื้อขายในตลาดล่วงหน้า เช่น สกุลเงินดอลลาร์สหรัฐในตลาดล่วงหน้าสิงคโปร์ สกุลเงินเยนในตลาดล่วงหน้าโตเกียว และสกุลเงินหยวนในตลาดล่วงหน้าเซี่ยงไฮ้ เป็นต้น จึงทำให้ราคายางแผ่นรมควันชั้น 3 ลดลงและปรับตัวเพิ่มขึ้นในปี พ.ศ. 2563 เนื่องจากการแพร่ระบาดของโรคโควิด-19 ส่งผลให้ความต้องการถุงมือยางเพิ่มสูงขึ้นทั่วโลก (Committee on Agriculture and Cooperatives, 2018) (Figure 1)

ความผันผวนของราคายางแผ่นรมควันชั้น 3 ของประเทศไทยที่เกิดขึ้นดังกล่าวส่งผลกระทบโดยตรงต่อเกษตรกรและผู้ที่เกี่ยวข้องในอุตสาหกรรมผลิตยาง และที่ผ่านมามีการศึกษาความผันผวนและปัจจัยที่ส่งผลต่อความผันผวนของราคาสินค้าเกษตรส่งออกและราคายางพาราของประเทศไทยและภูมิภาคเอเชียอย่างต่อเนื่อง ซึ่งสามารถแบ่งปัจจัยที่ส่งผลต่อความผันผวนของราคาสินค้าเกษตรออกเป็น 3 กลุ่ม คือ กลุ่มที่หนึ่งเป็นปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับสินค้าทดแทน เช่น ราคาและปริมาณการผลิตน้ำมัน เนื่องจากน้ำมันเป็นวัตถุดิบสำคัญในการผลิตยางสังเคราะห์ ซึ่งเป็นสินค้าทดแทนยางพาราธรรมชาติ จากงานของ Thamthieng (2008) และงานของ Chiangkwa (2009) กลุ่มที่สองเป็นปัจจัยที่เกี่ยวข้องโดยตรงกับราคาสินค้าเกษตร เช่น ราคาและปริมาณการส่งออกยางแผ่นรมควันชั้น 3 ราคาสินค้าเกษตรในตลาดล่วงหน้าแห่งประเทศไทย และตลาดล่วงหน้าต่างประเทศ จากงานของ Sengsawas (2011) และ Pisitsupakul (2014) และกลุ่มที่สามเป็นปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับสภาพเศรษฐกิจของประเทศ



Source: Rubber Authority of Thailand (RAOT) (2022)

Figure 1. Monthly average price of ribbed smoked rubber sheet No. 3 of Hat Yai central market during 2550 - 2564 B.E.

ผู้ซื้อ-ขาย เช่น อัตราแลกเปลี่ยนเงินตราต่างประเทศ การเจริญเติบโตทางเศรษฐกิจและมาตรการต่าง ๆ ของรัฐบาล ในงานของ Choocheun (2009) และ Lertsiwanont (2017) เป็นต้น

การวิเคราะห์ความผันผวนของสินค้าเกษตรส่งออกนั้นในระยะแรกนิยมใช้แบบจำลอง GARCH อย่างไรก็ตาม แบบจำลอง GARCH มีข้อจำกัดอยู่ 2 ประการ ประการแรก ถ้าเกิดความผิดปกติในทางลบจะทำให้ค่าความผันผวนอย่างมีเงื่อนไข ลดลงอย่างมาก ในทางตรงกันข้ามหากเกิดความผิดปกติในทางบวก ค่านี้จะเพิ่มขึ้นในอัตราที่น้อยกว่า ลักษณะความไม่สมมาตรของความผันผวนแบบมีเงื่อนไขนี้ เรียกว่า leverage effect ประการที่สอง แบบจำลอง GARCH กำหนดให้ค่าคงที่ และค่าความคลาดเคลื่อนของช่วงเวลาก่อนหน้า ต้องไม่เป็นค่าลบเพื่อบังคับให้ค่าความแปรปรวนอย่างมีเงื่อนไขมีค่าเป็นบวกเสมอ (Bollerslev, 1986) ด้วยข้อจำกัดเหล่านี้จึงมีผู้พัฒนาแบบจำลองวิเคราะห์ความผันผวนอีกหลายแบบจำลอง เช่น IGARCH, EGARCH, TGARCH, GJRGARCH เป็นต้น เช่นเดียวกับแบบจำลอง GARCH-X ของ Lee (1994) ที่มุ่งอธิบายความผันผวนโดยนำปัจจัยภายนอกมาพิจารณาร่วม และถูกนำมาใช้ครั้งแรกในงานของ Apergis and Rezitis (2011) ที่ศึกษาความผันผวนของราคาสินค้าบริโภคกับส่วนเบี่ยงเบนระยะสั้นระหว่างราคาสินค้าบริโภคกับปัจจัยภายนอกทางเศรษฐกิจมหภาคในประเทศกรีซ (Singvejsakul *et al*., 2021) ผลการศึกษานี้สะท้อนว่า แบบจำลอง GARCH-X เป็นแบบจำลองที่มีความเหมาะสมมากที่สุด เนื่องจากได้นำเอาผลของส่วนเบี่ยงเบนระยะสั้นของปัจจัยหรือตัวแปรภายนอกที่ส่งผลต่อค่าความผันผวนมาพิจารณาด้วย การวิเคราะห์ความผันผวนของยางแผ่นรมควันชั้น 3 ของประเทศไทยครั้งนี้จึงใช้แบบจำลอง GARCH-X เนื่องจากราคายางแผ่นรมควันชั้น 3 ของประเทศไทยเกิดความผันผวนอย่างต่อเนื่องและได้มักจะได้รับผลกระทบจากปัจจัยภายนอก ซึ่งปัจจัยภายนอกที่นำมาพิจารณา ได้แก่ ราคาน้ำมันดิบในตลาดโลก อัตราแลกเปลี่ยนหยวน/บาท ราคาซื้อขายยางแผ่นรมควันชั้น 3 ในตลาดล่วงหน้าเซี่ยงไฮ้ เนื่องจากราคาน้ำมันดิบในตลาดโลกสะท้อนถึงการใช้น้ำมันดิบในการผลิตยางสังเคราะห์ซึ่งเป็นสินค้าที่สามารถทดแทนยางพาราธรรมชาติได้ อีกทั้งในปัจจุบันประเทศไทยมีปริมาณการส่งออกยางพาราไปยังประเทศจีนมากที่สุด และมีปริมาณการซื้อขายยางพาราในรูปแบบยางแผ่นรมควันในตลาดล่วงหน้าเซี่ยงไฮ้ โดยซื้อขายในสกุลเงินหยวน/บาทเป็นจำนวนมาก การวิเคราะห์ความผันผวนโดยรวมเอาปัจจัยภายนอกทั้ง 3 ตัวแปรนี้มาพิจารณาร่วมด้วยจึงเป็นแบบจำลองที่เหมาะสมกับบริบทการค้ายางพาราของประเทศไทยในขณะนี้ เพื่อทราบถึงปัจจัยที่ส่งผลต่อราคายางแผ่นรมควันชั้น 3 ในประเทศไทยซึ่งจะเป็นประโยชน์ในการคาดการณ์ราคายางพาราในอนาคต และนำไปกำหนดแนวทางในการรับมือแก้ไขปัญหาราคายางแผ่นรมควันชั้น 3 สำหรับหน่วยงานที่เกี่ยวข้อง

อุปกรณ์และวิธีการ

ประชากรและกลุ่มตัวอย่าง

การวิจัยครั้งนี้ใช้ข้อมูลอนุกรมเวลารายวันที่เป็นข้อมูลตั้งแต่วันที่ 4 มกราคม 2555 ถึงวันที่ 23 ธันวาคม 2562 (1,605 ข้อมูล) ประกอบด้วย ราคายางแผ่นรมควันชั้น 3 ของประเทศไทยเพื่อวิเคราะห์ความผันผวนที่เกิดขึ้น และข้อมูลตัวแปรที่เป็นปัจจัยภายนอกที่ส่งผลต่อความผันผวน ได้แก่ อัตราแลกเปลี่ยนสกุลเงิน (หยวน/บาท) ราคาน้ำมันดิบในตลาดโลก (ดอลลาร์-สหรัฐ/บาเรล) และราคาซื้อขายยางแผ่นรมควันชั้น 3 ในตลาดล่วงหน้าเซี่ยงไฮ้ (หยวน/ตัน) จากฐานข้อมูล Bloomberg ฐานข้อมูล Thomson Reuters ฐานข้อมูลการยางแห่งประเทศไทย และสมาคมยางพาราไทย

เครื่องมือที่ใช้

แม้การวิเคราะห์อนุกรมเวลาจะกำหนดให้ความแปรปรวนของตัวแปรเชิงเฟ้นสุ่มให้มีค่าคงที่ แต่ในการประยุกต์ใช้จริงพบว่า ค่าความแปรปรวนนี้เปลี่ยนแปลงไปในแต่ละช่วงเวลา ดังนั้น วิธีการประมาณค่าแบบเดิมจึงไม่เหมาะสม Engle (1982) จึงพัฒนาแบบจำลอง autoregressive conditional heteroskedasticity (ARCH) เพื่อประมาณค่าความ

แปรปรวนแบบมีเงื่อนไขไม่คงที่ คือ ให้ความแปรปรวนดังกล่าวมีลักษณะเป็น MA(q) สามารถเขียนรูปสมการได้ดังนี้

$$\sigma_t^2 = \alpha_0 + \alpha_1 \varepsilon_{t-1}^2 + \alpha_2 \varepsilon_{t-2}^2 + \cdots + \alpha_p \varepsilon_{t-q}^2 \quad (1)$$

โดยค่า $E\,\hat{\varepsilon}_t^2$ จะประกอบด้วย 2 ส่วน คือ ค่าคงที่และส่วนเหลือกำลังสองของช่วงเวลาในอดีต (ARCH term)

ต่อมา Bollerslev ได้นำแบบจำลอง ARCH ไปพัฒนาต่อ โดยกำหนดให้ความแปรปรวนอย่างมีเงื่อนไข (conditional variance) มีลักษณะเป็น ARMA (autoregressive moving average) เรียกแบบจำลองนี้ว่า generalized autoregressive conditional heteroscedasticity หรือ GARCH (p,q)

$$\sigma_t^2 = \omega_0 + \sum_{i=1}^{p} \alpha_i \sigma_{t-i}^2 + \sum_{j=1}^{q} \beta_j \varepsilon_{t-j}^2 \quad (2)$$

โดยที่ p คือ ลำดับของ autoregressive

q คือ ลำดับของ moving average

การวิเคราะห์ความผันผวนของราคายางแผ่นรมควันชั้น 3 ของประเทศไทยในครั้งนี้ ใช้แบบจำลอง GARCH-X ซึ่งได้รับการพัฒนามาจากแบบจำลอง GARCH โดยมีหลักการ คือ การนำเอาตัวแปรภายนอก (exogenous variable) ที่มีอิทธิพลต่อความผันผวนของราคายางแผ่นรมควันชั้น 3 ใส่ในสมการความแปรปรวนแบบมีเงื่อนไข ดังนั้น สมการความแปรปรวน คือ

$$\sigma_t^2 = \omega_0 + \sum_{i=1}^{p} \alpha_i \sigma_{t-i} + \sum_{j=1}^{q} \beta_j \varepsilon_{t-j}^2 + \gamma_1 x_1 + \gamma_2 x_2 + \gamma_3 x_3 \quad (3)$$

โดยที่ σ_t^2 คือ ความผันผวนของราคายางแผ่นรมควันชั้น 3 ของประเทศไทย RSS3_price

ω_0 คือ ค่าคงที่

σ_{t-i}^2 คือ ส่วนของ GARCH term หรือ ความผันผวนของราคายางแผ่นรมควันชั้น 3 ของประเทศไทย RSS3_price ในช่วงคาบเวลาก่อนหน้า (t-1)

ε_{t-i}^2 คือ ส่วนของ ARCH term หรือ ค่าความคลาดเคลื่อน ณ เวลา t-1

α, β, γ คือ ค่าสัมประสิทธิ์ (parameter)

x_1 คือ อัตราแลกเปลี่ยนสกุลเงิน (หยวน/บาท) (exchange)

x_2 คือ ราคาน้ำมันดิบในตลาดโลก (ดอลลาร์สหรัฐ/บาเรล) (oil)

x_3 คือ ราคาซื้อขายยางแผ่นรมควันชั้น 3 ในตลาดล่วงหน้าเซี่ยงไฮ้ (หยวน/ตัน) (SHFE_price)

ผลการศึกษาและวิจารณ์

1. การทดสอบความนิ่งของข้อมูล (unit root test) **โดยวิธี** augmented Dickey-Fuller test

ผลจากการทดสอบความนิ่งของข้อมูลราคายางแผ่นรมควันชั้น 3 ของประเทศไทย (RSS3_price) อัตราแลกเปลี่ยนสกุลเงิน (หยวน/บาท) ราคาน้ำมันดิบในตลาดโลก และราคาซื้อขายยางแผ่นรมควันชั้น 3 ในตลาดล่วงหน้าเซี่ยงไฮ้ ในแบบจำลองที่ปราศจากจุดตัดและแนวโน้มของเวลา พบว่า ค่าสถิติ t (t-statistic) ของตัวแปรมีค่าต่ำกว่าค่าวิกฤตแมคคินนอนในแต่ละระดับนัยสำคัญ แสดงว่าตัวแปรทั้งหมดมีลักษณะนิ่ง กล่าวคือ ปฏิเสธสมมติฐานหลัก (H_0) ข้อมูลมีลักษณะข้อมูลแบบ I(0) และไม่จำเป็นต้องทำการแปลงข้อมูลให้อยู่ในรูปผลต่างในระดับที่ 1 (1st first difference) (Table 3)

2. การทดสอบการเลือกแบบจำลอง (model selection)

หลังจากการทดสอบความนิ่งของข้อมูลแล้ว จึงนำข้อมูลไปสร้างแบบจำลองด้วยวิธีการของ Box *et al.* (1970) โดยกำหนดตัวแบบ autoregressive อันดับ *p* และตัวแบบ moving average อันดับ *q* ที่เหมาะสม ดังนั้น ในการศึกษานี้จึงพิจารณา AR (*p*) และ MA (*q*) โดยการเลือกแบบจำลองที่คาดว่ามีความเหมาะสมทั้งหมด 4 แบบจำลอง (Table 4)

เมื่อพิจารณาค่า AIC และค่า SIC แล้วพบว่า แบบจำลอง AR (1) and GARCH (1,1) เป็นแบบจำลองที่เหมาะสมมากที่สุด เพราะมีค่า AIC และ SIC ต่ำที่สุด จากนั้นทดสอบการเกิดปัญหาสหสัมพันธ์ของค่าคลาดเคลื่อน (serial correlation) โดยการทดสอบของ Breusch-Godfrey serial correlation LM test ผลการทดสอบการเกิดปัญหาสหสัมพันธ์ของค่าคลาดเคลื่อน

ซึ่งมีสมมติฐานหลัก คือ $H_0 : \rho = 0$ (ไม่เกิดปัญหาสหสัมพันธ์ของค่าคลาดเคลื่อน) โดยค่า prob. chi-square เท่ากับ 0.7347 ที่มีค่ามากกว่าระดับนัยสำคัญ 0.05 จึงสามารถสรุปได้ว่า แบบจำลอง AR (1) and GARCH (1,1) ไม่เกิดปัญหาสหสัมพันธ์ของค่าคลาดเคลื่อนกล่าวคือ แบบจำลองของตัวแปรที่ได้มีความเหมาะสม

หลังจากที่ได้สมการค่าเฉลี่ยที่ไม่มีปัญหาสหสัมพันธ์ของค่าคลาดเคลื่อนแล้ว ก่อนนำสมการที่ได้ไปใช้ในการประมาณสมการความผันผวนแบบมีเงื่อนไขจะทำการทดสอบหา ARCH effect เพื่อทดสอบว่าค่าคลาดเคลื่อนจากสมการค่าเฉลี่ยที่ได้นั้นแสดงถึงการเกิด ARCH effect หรือไม่ โดยนำแบบจำลองที่ได้มาตั้งสมมติฐาน ซึ่งมีสมมติฐานหลัก (H_0) คือ ค่าคลาดเคลื่อนจากสมการค่าเฉลี่ยไม่มี ARCH effect และสมมติฐานรอง (H_1) คือ ค่าคลาดเคลื่อนจากสมการค่าเฉลี่ยมี ARCH effect

ผลการทดสอบ ARCH effect เมื่อพิจารณา prob. chi-square พบว่า ค่าที่ได้เท่ากับ 0.0000 ซึ่งมีค่าต่ำกว่าระดับนัยสำคัญที่กำหนดไว้คือ 0.05 จึงปฏิเสธสมมติฐานหลัก (H_0) นั่นคือ ค่าคลาดเคลื่อนจากสมการค่าเฉลี่ยมี ARCH effect ดังนั้น สามารถนำสมการค่าเฉลี่ยนี้ไปใช้ประมาณสมการความผันผวนแบบมีเงื่อนไขได้

3. การประมาณค่าความแปรปรวนของราคายางแผ่นรมควันชั้น 3 ด้วยแบบจำลอง generalized autoregressive conditional heteroscedasticity - GARCH (p,q)

แบบจำลอง GARCH (p,q) มีข้อสมมติฐาน คือ ผลกระทบจากการเปลี่ยนแปลงอย่างกะทันหันทางบวก ($\varepsilon_t > 0$) และการเปลี่ยนแปลงอย่างกะทันหันทางลบ ($\varepsilon_t < 0$) ในขนาดที่เท่ากัน จะส่งผลต่อความผันผวนแบบมีเงื่อนไขเหมือนกัน ซึ่งสามารถประมาณค่าความแปรปรวนของราคายางแผ่นรมควันชั้น 3 ณ ตลาดกลางยางพาราหาดใหญ่ โดยเขียนเป็นสมการค่าเฉลี่ยได้ดังนี้

Table 3. Unit root test of key variables in GARCH-X model

Variables		Level		
		None	Intercept	Trend and intercept
t-Statistic	RSS3_price	-16.017	-36.019	-36.110
	Exchange	-16.043	-36.004	-36.109
	Oil	-16.038	-36.010	-36.101
	SHFE_price	-34.319	-34.685	-34.674
Mackinnon Critical value	1 %	-2.566	-3.435	-3.965
	5 %	-1.941	-2.863	-3.413
	10 %	-1.616	-2.567	-3.128

Table 4. Model selection

Model	Adjusted R-squared	AIC	SIC
AR(1) and GARCH(1,1)	0.077136	-5.889515	-5.868683
MA(1) and GARCH(1,1)	0.067540	-5.879008	-5.858189
AR(1) MA(1) and GARCH(1,1)	0.075304	-5.887950	-5.862951
AR(1) AR(2) MA(1) and GARCH(1,1)	0.074096	-5.885603	-5.856418

$$Rss3_{price} = -0.001580 + 0.379436(Rss3_{price\ t-1}) + \varepsilon t \quad (4)$$

นำสมการค่าเฉลี่ยไปใช้ประมาณสมการความผันผวนแบบมีเงื่อนไขได้ดังนี้

$$Rss3_{price} = -0.00123 + 0.412570(Rss3_{price\ t-1}) + \varepsilon t \quad (5)$$

$$\sigma_t^2 = 0.00342 + 0.268224\sigma_{t-1}^2 + 0.593051\varepsilon_{t-1}^2 \quad (6)$$

จากการประมาณค่าสัมประสิทธิ์แบบจำลอง GARCH ของราคายางแผ่นรมควันชั้น 3 ณ ตลาดกลางยางพาราหาดใหญ่ตามสมการที่ (6) และสมการที่ (7) อธิบายได้ว่า ความแปรปรวนของราคายางแผ่นรมควันชั้น 3 ณ ตลาดกลางยางพาราหาดใหญ่ ในคาบเวลาที่ t ขึ้นอยู่กับความแปรปรวนของราคาในคาบเวลาที่ผ่านมา ($Rss3_{price\,t-1}$) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ และความแปรปรวนอย่างมีเงื่อนไขของแบบจำลองนี้ขึ้นอยู่กับค่า squared error และค่าความแปรปรวนที่เกิดขึ้นในคาบเวลาที่ผ่านมา (σ_{t-1}^2 , ε_{t-1}^2) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

4. การประมาณค่าความแปรปรวนของราคายางแผ่นรมควันชั้น 3 ด้วยแบบจำลอง generalized autoregressive conditional heteroscedasticity with exogenous variable - GARCH-X

จากสมการที่ (8) สามารถขยายโดยเพิ่มตัวแปรภายนอก (exogenous variable) ที่มีอิทธิพลต่อผลตอบแทนในสมการ ดังนั้น สมการความแปรปรวนคือ

$$\sigma_t^2 = \omega_0 + \sum_{i=1}^{p} \alpha_i \sigma_{t-i}^2 + \sum_{j=1}^{q} \beta_j \varepsilon_{t-j}^2 + \gamma_1 \text{Exchange} + \gamma_2 \text{Oil} + \gamma_3 \text{SHFE\_price} \quad (7)$$

โดยที่ σ_t^2 คือ ความผันผวนของราคายางแผ่นรมควันชั้น 3 ของประเทศไทย

ω_0 คือ ค่าคงที่

σ_{t-1}^2 คือ ความผันผวนของราคายางแผ่นรมควันชั้น 3 ของประเทศไทย RSS3_price ในช่วงคาบเวลาก่อนหน้า (ส่วนของ GARCH term)

ε_{t-j}^2 คือ ค่าความคลาดเคลื่อน ณ เวลา (ส่วนของ ARCH term)

Exchange คือ อัตราแลกเปลี่ยนสกุลเงิน (หยวน/บาท)

Oil คือ ราคาน้ำมันดิบในตลาดโลก (ดอลลาร์สหรัฐ/บาเรล)

SHFE_price คือ ราคาซื้อขายยางแผ่นรมควันชั้น 3 ในตลาดล่วงหน้าเซี่ยงไฮ้ (หยวน/ตัน)

α, β, γ คือ ค่าสัมประสิทธิ์ (parameter)

จะได้สมการค่าเฉลี่ยคือ

$$Rss3_{price} = -0.001580 + 0.379436(Rss3_{price\ t-1}) + \varepsilon t \quad (8)$$

(0.0133) (0.0000)*

จะได้สมการความแปรปรวน ดังนี้

$$\sigma_t = 0.000046 + 0.167781\varepsilon_{t-1}^2 + 0.580539\sigma_{t-1}^2$$

(0.0000)*** (0.0000)*** (0.0000)***

$$-0.000229(\text{Exchange}) + 0.000051(\text{Oil})$$

(0.6420) (0.5490)

$$+ 0.000591(\text{SHFE\_price}) \quad (9)$$

(0.0000)***

โดยที่ ค่าสถิติ t แสดงในวงเล็บ และ *** แสดงถึงการมีนัยสำคัญที่ร้อยละ 0.01

เมื่อพิจารณาสมการที่ 11 พบว่า สมการความแปรปรวนแบบมีเงื่อนไขของยางแผ่นรมควันชั้น 3 ของประเทศไทย มีองค์ประกอบอยู่ 3 ส่วน คือ ค่าคงที่ (ω_0) มีค่าสัมประสิทธิ์เท่ากับ 0.00046 ค่าความคลาดเคลื่อนของราคายางแผ่นรมควันชั้น 3 ของประเทศไทยใน 1 ช่วงเวลาที่แล้ว (ARCH term: ε_{t-1}^2) มีค่าสัมประสิทธิ์เท่ากับ 0.167781 และค่าความแปรปรวนของราคายางแผ่นรมควันชั้น 3 ของประเทศไทยใน 1 ช่วงเวลาที่แล้ว (GARCH term: σ_{t-1}^2) มีค่าสัมประสิทธิ์เท่ากับ 0.580539 ตามลำดับ และทุกส่วนมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.01 กล่าวคือ ความแปรปรวนอย่างมีเงื่อนไขของยางแผ่นรมควันชั้น 3 ของประเทศไทยจะแปรผันตาม ค่าความคลาดเคลื่อนที่เกิดขึ้นใน 1 ช่วงเวลาที่แล้ว และค่าความแปรปรวนของตัวมันเองใน 1 ช่วงเวลาที่แล้ว

เมื่อเพิ่มตัวแปรภายนอก ในสมการความแปรปรวนแบบมีเงื่อนไข พบว่า อัตราแลกเปลี่ยนสกุลเงิน (หยวน/บาท) มีค่าสัมประสิทธิ์มีค่าเท่ากับ 0.000229 ราคาน้ำมันดิบในตลาดโลก มีค่าสัมประสิทธิ์

เท่ากับ 0.000051 และราคาซื้อขายยางแผ่นรมควันชั้น 3 ในตลาดล่วงหน้าเซี่ยงไฮ้ มีค่าสัมประสิทธิ์เท่ากับ 0.000591 ซึ่งมีเพียงราคาซื้อขายยางแผ่นรมควันชั้น 3 ในตลาดล่วงหน้าเซี่ยงไฮ้ ที่มีอิทธิพลต่อการเปลี่ยนแปลงของความแปรปรวนแบบมีเงื่อนไขของราคายางแผ่นรมควันชั้น 3 ของประเทศไทย ณ เวลา t (σ_t^2) โดยมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.01 ในขณะที่ อัตราแลกเปลี่ยนสกุลเงิน (หยวน/บาท) และราคาน้ำมันดิบในตลาดโลก ไม่มีอิทธิพลต่อการเปลี่ยนแปลงของความผันผวนแบบมีเงื่อนไขของราคายางแผ่นรมควันชั้น 3 ของประเทศไทย โดยสามารถพิจารณาแต่ละตัวแปรได้ ดังนี้

ปัจจัยภายนอกตัวที่ 1 อัตราแลกเปลี่ยนสกุลเงิน (หยวน/บาท) ไม่ส่งผลต่อความผันผวนของราคายางแผ่นรมควันชั้น 3 อย่างมีนัยสำคัญ เนื่องจากในการซื้อขายยางแผ่นรมควันชั้น 3 ผู้ส่งออกทำการประกันค่าเงิน (options) เพื่อบริหารความเสี่ยงโดยทำการซื้อสิทธิ์ที่จะซื้อหรือขายเงินตราต่างประเทศในอนาคตด้วยอัตราแลกเปลี่ยนที่ได้ตกลงไว้ล่วงหน้ากับธนาคาร หรือเรียกว่าการซื้อสิทธิ์ในการล็อกเรท โดยผู้ซื้อ options (ลูกค้า) ต้องจ่ายค่าธรรมเนียมที่เรียกว่า option premium ให้กับธนาคาร ซึ่งทำให้ผู้ซื้อ options ไม่จำเป็นต้องได้รับวงเงินในการทำธุรกรรมจากธนาคารและไม่ต้องวางหลักประกันก่อนทำธุรกรรม

ปัจจัยภายนอกตัวที่ 2 ราคาน้ำมันดิบในตลาดโลก ไม่ส่งผลต่อความผันผวนของราคายางแผ่นรมควันชั้น 3 อย่างมีนัยสำคัญ แม้ว่าในอดีตราคายางพารามักได้รับผลกระทบจากการเปลี่ยนแปลงราคาน้ำมัน เนื่องจากเป็นวัตถุดิบที่ใช้ผลิตยางสังเคราะห์ซึ่งสามารถนำมาใช้แทนยางพาราได้ เมื่อราคาน้ำมันสูงขึ้น ยางสังเคราะห์ก็จะมีราคาสูงขึ้นด้วย อุตสาหกรรมที่ใช้ยางโดยเฉพาะอุตสาหกรรมยางรถยนต์ จึงเปลี่ยนมาใช้ยางพาราแทนยางสังเคราะห์ ส่งผลให้ราคายางพาราเพิ่มสูงขึ้น อย่างไรก็ดี ราคายางพาราในตลาดโลกมีแนวโน้มทรงตัวมากกว่าจะปรับขึ้นตามราคาน้ำมัน เนื่องจากผลผลิตยางพาราที่มีมากกว่าความต้องการใช้ และปริมาณสต็อกยางโลกที่อยู่ในระดับสูง ปริมาณอุปทานยางพาราที่สูงขึ้นนี้จึงเพียงพอต่อความต้องการใช้ยางพาราเพื่อทดแทนยางสังเคราะห์ที่ราคาสูงขึ้นได้ (Kitticharoonwit, 2018) ดังนั้น ราคายางพาราจึงมีแนวโน้มทรงตัว และนอกจากอุปทานยางที่สูงแล้ว ปริมาณสต็อกยางที่สูงยังช่วยลดผลกระทบจากราคาน้ำมันอีกด้วย กล่าวคือ ปริมาณสต็อกยางที่มีอยู่สามารถสร้างความมั่นใจว่าปริมาณยางพารามีเพียงพอต่อความ-ต้องการ และเสริมอุปทานส่วนขาดได้ ทำให้เป็นส่วนสำคัญในการลดความผันผวนด้านราคาและผลกระทบจากราคาน้ำมัน

ปัจจัยภายนอกตัวที่ 3 ราคาซื้อขายยางแผ่นรมควันชั้น 3 ในตลาดล่วงหน้าเซี่ยงไฮ้ เป็นปัจจัยที่ส่งผลต่อความผันผวนของราคายางแผ่นรมควันชั้น 3 โดยมีความสัมพันธ์ไปในทิศทางเดียวกัน กล่าวคือ เมื่อราคาซื้อขายยางแผ่นรมควันชั้น 3 ในตลาดล่วงหน้าเซี่ยงไฮ้เกิดความผันผวน ทำให้ราคายางแผ่นรมควันชั้น 3 ของประเทศไทยเกิดความผันผวนตามไปด้วย เนื่องจากตลาดล่วงหน้าเซี่ยงไฮ้หรือ SHFE (Shanghai Futures Exchange) มีบทบาทสำคัญในการเป็นราคาชี้นำ ตลอดจนแนวโน้ม การเคลื่อนไหวราคายางพาราในตลาดโลก อีกทั้งยังเป็นตลาดซื้อขายล่วงหน้าที่เป็นสากล มีจำนวนผู้ซื้อขายสัญญามาก ทำให้ผู้ประกอบการใช้ราคาในตลาดล่วงหน้าเป็นราคาอ้างอิงในการกำหนดราคารับซื้อ (Committee on Agriculture and Cooperatives, 2018) ดังนั้น หากภาครัฐหรือหน่วยงานที่เกี่ยวข้องต้องการวางนโยบายหรือกำหนดแนวทางในการจัดการความผันผวน ควรให้ความสำคัญในเรื่องของการป้องกันความเสี่ยงผ่านการซื้อขายในตลาดซื้อขายล่วงหน้า โดยพิจารณาจากปัจจัยต่าง ๆ ที่เป็นตัวกำหนดราคายางพารานั้นเพื่อเป็นตัวช่วยในการวิเคราะห์ถึงแนวโน้มของราคายางพาราในอนาคตว่าจะปรับตัวไปในทิศทางใด

สรุป

จากการวิเคราะห์ความผันผวนของราคายางแผ่นรมควันชั้น 3 ของประเทศไทยโดยใช้แบบจำลอง GARCH-X พบว่า ราคายางแผ่นรมควันชั้น 3

ของประเทศไทยมีความสัมพันธ์กับราคายางแผ่นรมควันชั้น 3 เมื่อ 1 ช่วงเวลาที่แล้ว และมีความสัมพันธ์กับค่าความคลาดเคลื่อน (error term) ณ ช่วงเวลาที่แล้ว ที่ระดับนัยสำคัญ 0.01 อีกทั้งราคาซื้อขายยางแผ่นรมควันชั้น 3 ในตลาดล่วงหน้าเซี่ยงไฮ้ มีผลต่อความผันผวนของราคายางแผ่นรมควันชั้น 3 ของประเทศไทยอย่างมีนัยสำคัญที่ช่วงความเชื่อมั่นที่ 99 เปอร์เซ็นต์ โดยมีความสัมพันธ์ไปในทิศทางเดียวกัน กล่าวคือ เมื่อราคาซื้อขายยางแผ่นรมควันชั้น 3 ในตลาดล่วงหน้าเซี่ยงไฮ้เกิดความผันผวน ทำให้ราคายางแผ่นรมควันชั้น 3 ในตลาดประเทศไทยเกิดความผันผวนตามไปด้วย เนื่องจากราคายางแผ่นรมควันชั้น 3 มีความสัมพันธ์กับอุปสงค์และอุปทานในตลาดโลกเป็นหลัก โดยถูกกำหนดจากฝั่งผู้ซื้อเป็นหลัก ในขณะที่อัตราแลกเปลี่ยนสกุลเงินหยวนต่อบาท และราคาน้ำมันดิบในตลาดโลก ไม่ส่งผลต่อความผันผวนของราคายางแผ่นรมควันชั้น 3 ของประเทศไทยอย่างมีนัยสำคัญ และเมื่อพิจารณาเปรียบเทียบถึงวิธีการศึกษาที่ผ่านมา พบว่า แบบจำลอง GARCH-X เป็นแบบจำลองที่มีความเหมาะสมมากที่สุด เนื่องจากได้นำเอาผลของส่วนเบี่ยงเบนระยะสั้นของปัจจัยหรือตัวแปรภายนอกที่ส่งผลต่อค่าความผันผวนมาพิจารณาด้วย

ข้อเสนอแนะ

จากการวิเคราะห์ความผันผวนของราคายางแผ่นรมควันชั้น 3 ของประเทศไทยโดยใช้แบบจำลอง GARCH-X พบว่า

1. แบบจำลอง GARCH-X กำหนดให้ความแปรปรวนแบบมีเงื่อนไขมีลักษณะสมมาตร ทำให้ความผิดปกติหรือ shock ที่เกิดขึ้นในทางบวกและทางลบมีขนาดเท่ากัน นอกจากนี้แบบจำลอง GARCH-X ยังกำหนดให้ค่าสัมประสิทธิ์ของตัวแปรต่าง ๆ ต้องมีค่าเป็นบวก เพื่อทำให้ค่าความแปรปรวนอย่างมีเงื่อนไขมีค่าเป็นบวกเสมอ ดังนั้น เพื่อให้ความผิดปกติที่เกิดขึ้นสามารถ สะท้อนถึงขนาดที่เกิดขึ้นได้อย่างถูกต้อง จึงควรใช้แบบจำลองอื่น ๆ ที่กำหนดให้ความแปรปรวนแบบมีเงื่อนไขมีลักษณะไม่ สมมาตร เช่น Exponential GARCH และ Threshold GARCH เป็นต้น

2. ในการวิเคราะห์ความผันผวนของราคายางแผ่นรมควันชั้น 3 โดยใช้แบบจำลอง GARCH - X ในครั้งนี้ใช้ปัจจัย ภายนอกที่มีผลกระทบต่อราคายางพาราเพียง 3 ปัจจัย คือ อัตราแลกเปลี่ยนสกุลเงินหยวนต่อบาท ราคาน้ำมันดิบและราคาซื้อ ขายยางแผ่นรมควันชั้น 3 ในตลาดล่วงหน้าเซี่ยงไฮ้ อย่างไรก็ตาม ยังมีปัจจัยอื่น ๆ ที่มีผลกระทบต่อราคายางพารา เช่น ปริมาณ สต็อกยาง เศรษฐกิจโลก นโยบายการค้าระหว่างประเทศ และอุตสาหกรรมยานยนต์ เป็นต้น ดังนั้น จึงมีข้อเสนอแนะให้พิจารณา ปัจจัยที่กล่าวมาข้างต้นประกอบด้วย เพื่อให้ผลการวิเคราะห์ความผันผวนมีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น

3. จากการศึกษาพบว่า ปัจจัยสำคัญที่ส่งผลต่อความผันผวนของราคายางแผ่นรมควันชั้น 3 คือ ราคาซื้อขายยางแผ่นรมควันชั้น 3 ตลาดล่วงหน้าเซี่ยงไฮ้ ทั้งนี้หากภาครัฐหรือหน่วยงานที่เกี่ยวข้องต้องการวางนโยบายหรือกำหนดแนวทางในการจัดการความผันผวนของราคายางแผ่นรมควันชั้น 3 ของประเทศไทย ควรให้ความสำคัญในเรื่องของการป้องกันความเสี่ยงผ่านการซื้อขายยางแผ่นรมควันชั้น 3 ในตลาดซื้อขายล่วงหน้า โดยสามารถนำปัจจัยดังกล่าวไปทำการพยากรณ์หรือคาดการณ์ราคายางพาราในอนาคตต่อไป

เอกสารอ้างอิง

Apergis, N. and A. Rezitis. 2011. Food price volatility and macroeconomic factors: Evidence from GARCH and GARCH-X estimates. Journal of Agricultural and Applied Economics 43(1): 95-110.

Bollerslev, T. 1986. Generalized autoregressive conditional heteroscedasticity. Journal of Econometrics 31(3): 307-327.

Box, G.E.P., M.J. Gwilym, C.R. Gregory and M.L. Greta. 1970. Time Series Analysis:

Forecasting and Control. 5th ed. John Wiley & Sons Inc., San Francisco. 709 p.

Chiangkwa, S. 2009. Exports of dried chips to China: Factors that affect demand for exports and adaptation of farmers who planted Tapioca. M.S. Thesis. Thammasart University, Bangkok. 96 p. (in Thai)

Choocheun, S. 2009. Factors affecting the price of natural rubber ribbed smoked sheet (RSS) No.3 on the Agricultural Exchange of Thailand. M.S. Thesis. Ramkhamhaeng University, Bangkok. (in Thai)

Committee on Agriculture and Cooperatives. 2018. Overview of rubber in Thailand (Online). Available: https://www.senate.go.th/document/Ext20561/20561091_0004.PDF (June 10, 2020). (in Thai)

Daengkanit, A., P. Tengsuwan, A. Intong and W. Soonthornsanit. 2017. The analysis of import situation and assess the competitiveness of Thai rubber and competitors in the Chinese market including important market of the world. (Online). Available: http://www.raot.co.th/download/research_report_62.pdf (June 10, 2020). (in Thai)

Engle, R.F. 1982. Autoregressive conditional heteroscedasticity with estimates of the variance of United Kingdom inflation. Econometrica 50(4): 987-1007.

Kitticharoonwit, P. 2018. This increasing of oil prices may not help to pull the prices of rubber and sugar up as well. (Online). Available: https://www.scbeic.com/th/detail/product/4798 (June 10, 2020). (in Thai)

Lee, T.H. 1994. Spread and volatility in spot and forward exchange rates. Journal of International Money and Finance 13(3): 375-83.

Lertsiwanont, P. 2017. Factor affecting export prices of ribbed smoked sheet No.3 at port of Bangkok. M.S. Thesis. Thammasart University, Bangkok. 79 p. (in Thai)

Office of Agricultural Economics. 2021. Situation and trends of important agricultural products. Article. Office of Agricultural Economics, Bangkok. 242 p.

Pisitsupakul, K. 2014. Thailand rubber market and rubber pricing. Focused and Quick (FAQ) Issue 90. Bank of Thailand, Bangkok. 10 p. (in Thai)

Royal Thai Government. 2022. (Online). Thailand rubber price. Available: https://www.thaigov.go.th/news/contents/details/55351 (June 19, 2022). (in Thai)

Rubber Authority of Thailand (RAOT). 2022. Thailand rubber price. (Online). Available: http://www.raot.co.th/rubber2012/menu5.php (June 19, 2022). (in Thai)

Sengsawas, K. 2011. Comparison of factors affecting the price of natural rubber ribbed smoked sheet No.3 in the Agricultural Futures Exchange of Thailand and Foreign Futures Exchange market. M.S. Thesis. Kasetsart University, Bangkok. 92 p. (in Thai)

Singvejsakul, J., Y. Chaovanapoonphol and B. Limnirankul. 2021. Modeling the price volatility of cassava chips in Thailand: Evidence from Bayesian GARCH-X estimates. Economies 9(3): 132, doi: 10.3390/economies9030132.

Thamthieng, S. 2008. An analysis of the price of Thai rubber in view of the world oil crisis. M.S. Thesis. Ramkhamhaeng University, Bangkok. 102 p. (in Thai)

อัตราปุ๋ยฟอสฟอรัสที่เหมาะสมสำหรับข้าวพันธุ์ปทุมธานี 1 ที่ปลูกในดินจังหวัดพระนครศรีอยุธยา

Optimum Rate of Phosphorus Fertilizer for Pathum Thani 1 Rice Variety Grown in Soils of Phra Nakhon Si Ayutthaya Province

สายชล สุขญาณกิจ[1*] โสภิดา สุขญาณกิจ[1] สิริวรรณ สมิทธิอาภรณ์[1] และ ธนวรรณ พาณิชพัฒน์[2]
Saychol Sukyankij[1*], Sopida Sukyankij[1], Siriwan Samithiarporn[1] and Thanawan Panich-pat[2]

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

(Received: 18 May 2022; Accepted: 8 September 2022)

Abstract: Phosphorus (P) fertilizer is an important macronutrient fertilizer for rice cultivation as it contributes to promote the growth, development of roots and inflorescences, which is directly affected on rice yield. This research was conducted to study the effects of P fertilizer application at the rate of 0, 0.04, 0.08 and 0.16 g P_2O_5 / pot on yield and P uptake. Besides, the appropriate P fertilizer application rate for Pathum Thani 1 rice grown in Tha Rua (Tr), Sena (Se) and Ayutthaya (Ay) soil series was assessed using the quadratic equation. The results showed that Pathum Thani 1 rice grown in the Tr and Se soil series tended to increase rice yields in accordance with the increasing P fertilizer rate. Meanwhile, Pathum Thani 1 rice grown in the Ay soil series found that the application of P fertilizer at the rate of 0.08 g P_2O_5 / pot gave the highest of yield (24.6 g / hill). As for the uptake of P in Pathum Thani 1 rice, it was found that the application of P fertilizer at the rate of 0.04 - 0.16 g P_2O_5 / pot resulted in having higher P uptake than without P fertilizer application treatment, especially in Se and Ay soil series. Evaluating the optimum P fertilizer application rate using quadratic equation was found that the optimal P fertilizer rates for Pathum Thani 1 rice grown in the Tr, Se and Ay soil series were 0.133, 0.127 and 0.102 g P_2O_5 / pot. The highest yields obtained from the application of fertilizers at the rates were 14.50, 29.38 and 24.79 g / hill, respectively.

Keywords: Phosphorus fertilizer, Pathum Thani 1 rice, Phra Nakhon Si Ayutthaya province, quadratic equation

บทคัดย่อ: ปุ๋ยฟอสฟอรัสเป็นปุ๋ยธาตุอาหารหลักที่สำคัญสำหรับการเพาะปลูกข้าว เนื่องจากมีส่วนช่วยในการส่งเสริมการเจริญเติบโต การพัฒนาของรากและช่อดอก ซึ่งส่งผลโดยตรงต่อผลผลิตข้าว งานวิจัยนี้ทำการศึกษาผลของการใส่ปุ๋ยฟอสฟอรัสในอัตรา 0, 0.04, 0.08 และ 0.16 ก. P_2O_5 / กระถาง ต่อผลผลิต การดูดใช้ฟอสฟอรัส และทำการประเมินอัตราการใส่ปุ๋ยฟอสฟอรัสที่เหมาะสมสำหรับข้าวปทุมธานี 1 ที่ปลูกในชุดดินท่าเรือ เสนา และอยุธยาโดยใช้สมการกำลังสอง (quadratic equation) ผลการทดลองพบว่า ข้าวปทุมธานี 1 ที่ปลูกในชุดดินท่าเรือและชุดดินเสนามีแนวโน้มให้ผลผลิตเพิ่มขึ้นตามอัตราการใส่ปุ๋ยฟอสฟอรัสที่สูงขึ้น ขณะที่ข้าวปทุมธานี 1 ที่ปลูกในชุดดินอยุธยานั้นการใส่ปุ๋ยฟอสฟอรัสอัตรา 0.08 ก. P_2O_5 / กระถาง ให้ผลผลิตสูงสุด (24.6 ก. / กอ) ในส่วนของการดูดใช้ฟอสฟอรัสในข้าวปทุมธานี 1 นั้น พบว่า การใส่ปุ๋ยฟอสฟอรัสอัตรา 0.04 - 0.16 ก. P_2O_5 / กระถาง ส่งผลให้ข้าวปทุมธานี 1 มีปริมาณการดูดใช้ฟอสฟอรัสสูงกว่าตำรับทดลองที่ไม่ใส่ปุ๋ยอย่างชัดเจนโดยเฉพาะในชุดดินเสนาและชุดดินอยุธยา และเมื่อทำการประเมินอัตราการใส่ปุ๋ยฟอสฟอรัสที่เหมาะสมโดยใช้สมการกำลังสองพบว่า อัตราปุ๋ยฟอสฟอรัสที่เหมาะสมสำหรับข้าวปทุมธานี 1 ที่ปลูกในชุดดินท่าเรือ เสนา และอยุธยา มีค่าเท่ากับ 0.133, 0.127 และ 0.102 ก. P_2O_5 / กระถางโดยให้ผลผลิตสูงสุดที่ได้จากการใช้ปุ๋ยในอัตราดังกล่าวเท่ากับ 14.50, 29.38 และ 24.79 ก. / กอ ตามลำดับ

คำสำคัญ: ปุ๋ยฟอสฟอรัส ข้าวปทุมธานี 1 จังหวัดพระนครศรีอยุธยา สมการกำลังสอง

บทนำ

ข้าวเป็นพืชเศรษฐกิจหลักสำหรับการทำการเกษตรในพื้นที่จังหวัดพระนครศรีอยุธยา จากรายงานของ Sukyankij *et al*. (2019) ระบุว่า จังหวัดพระนครศรีอยุธยา มีพื้นที่ในการเพาะปลูกข้าวมากกว่า 948,000 ไร่ และสภาพภูมิประเทศมีความเหมาะสมในการเพาะปลูกข้าว เนื่องจากมีแม่น้ำไหลผ่านถึง 4 สาย ทำให้มีปริมาณน้ำเพียงพอสำหรับการเพาะปลูกทั้งข้าวนาปีและนาปรัง อีกทั้งดินในพื้นที่ส่วนใหญ่มีความอุดมสมบูรณ์สูงเนื่องจากมีวัตถุต้นกำเนิดเป็นตะกอนน้ำพา (Sukitprapanon *et al*., 2016; Sukyankij *et al*., 2017) การทำนาของเกษตรกรในพื้นที่ปัจจุบันนิยมทำนาปีละสองครั้ง พันธุ์ข้าวที่นิยมส่วนใหญ่เป็นสายพันธุ์ที่ให้ผลผลิตสูง เช่น พันธุ์ กข41 และ กข47 สายพันธุ์ที่ให้ผลิตสูงและมีระยะเวลาเก็บเกี่ยวสั้น เช่น กข61 เป็นต้น พันธุ์ข้าวที่กล่าวมาข้างต้นมีจุดเด่นที่สามารถให้ผลผลิตสูงและหากมีระบบการจัดการที่ดีจะสามารถให้ผลผลิตได้มากกว่า 1,000 กิโลกรัมต่อไร่ แต่มีข้อด้อยที่คุณภาพของข้าว เนื่องจากเป็นข้าวที่คุณภาพในการหุงสุกไม่ดี เนื้อสัมผัสแข็ง และไม่นุ่มลิ้นเวลารับประทานจึงทำให้ราคาขายต่ำเมื่อเทียบกับข้าวพันธุ์อื่น ๆ ที่คุณภาพในการรับประทานที่ดีกว่าข้าวปทุมธานี 1 หรือข้าวหอมปทุมเป็นพันธุ์ข้าวที่มีลักษณะคล้ายข้าวหอมมะลิ คุณภาพข้าวเมื่อหุงสุกดี นุ่มเหนียว มีกลิ่นหอมอ่อน (Rice Department, 2019a) โดยข้าวปทุมธานี 1 มีราคาขายสูงกว่าข้าวเปลือกเจ้าทั่วไปประมาณตันละ 2,500 บาท (Thai Rice Mills Association, 2022) และเป็นพันธุ์ข้าวที่เหมาะสมในการปลูกในเขตชลประทานภาคกลางของประเทศ ดังนั้นข้าวปทุมธานี 1 จึงเป็นพันธุ์ข้าวอีกหนึ่งสายพันธุ์ที่มีความเหมาะสมสำหรับปลูกในพื้นที่ โดยเฉพาะอย่างยิ่งในพื้นที่จังหวัดพระนครศรีอยุธยา

การใส่ปุ๋ยถือเป็นปัจจัยการผลิตที่สำคัญอีกหนึ่งปัจจัย โดยส่วนใหญ่สูตรปุ๋ยที่นิยมใช้ในการปลูกข้าวในพื้นที่จะเน้นการใช้ปุ๋ยไนโตรเจนและฟอสฟอรัสเป็นสำคัญ ขณะที่การใส่ปุ๋ยโพแทสเซียมสำหรับการปลูกข้าวในพื้นที่นั้นไม่พบรายงานเป็นที่แพร่หลาย ทั้งนี้อาจเป็นผลมาจากลักษณะดินในพื้นที่ซึ่งมีวัตถุต้นกำเนิดเป็นตะกอนน้ำพาที่อุดมไปด้วยแร่หลายชนิด ทั้งแร่ปฐมภูมิและแร่ทุติยภูมิที่ผุพังสลายตัวให้ธาตุโพแทสเซียม เช่น แร่ไมกา และแร่ดินเหนียวในกลุ่ม 2:1 เช่น แร่สเมกไทต์ เป็นต้น (Darunsontaya *et al*., 2020; Dreher and Niederbudde, 1994) จึงเป็นเหตุให้ปริมาณโพแทสเซียมในรูปที่แลกเปลี่ยนได้ในดินพื้นที่จังหวัดพระนครศรีอยุธยาส่วนใหญ่อยู่ในระดับสูงถึง

สูงมาก (Sukyankij *et al*., 2021b) และจากรายงานของ Sukyankij *et al*. (2021a) อัตราการใส่ปุ๋ยตามวิธีการของเกษตรกรในพื้นที่ดังกล่าวมีสูงถึง 19.5-10-0 กก. N-P_2O_5-K_2O/ไร่ ซึ่งถือว่าเป็นอัตราการใส่ปุ๋ยที่สูงเมื่อเทียบกับการใส่ปุ๋ยตามคำแนะนำในข้าวตามชนิดเนื้อดินของ Rice Department (2019b) ซึ่งแนะนำอัตราการใช้ปุ๋ยเคมีขั้นต่ำของข้าวที่ปลูกในดินเนื้อละเอียดไว้ที่ 8.6-5-0 กก.N-P_2O_5-K_2O/ไร่ ดังนั้นอัตราการใช้ปุ๋ยตามวิธีของเกษตรกรจึงถือว่าเป็นปริมาณที่สูงกว่าอัตราแนะนำอยู่มาก การลดปริมาณการใช้ปุ๋ยเคมีที่เกษตรกรใช้ในอัตราสูงนี้เป็นความท้าทายอย่างหนึ่งของการพัฒนาการเกษตรของประเทศ ทั้งนี้ มีการใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์หลากหลายวิธีเพื่อใช้ในการประเมินอัตราการใส่ปุ๋ยที่เหมาะสม เช่น linear model, cubic model และ linear plus plateau model เป็นต้น (Michel and Makowski, 2013) และหนึ่งในวิธีที่มีการนำมาใช้ในการประเมินอัตราการใส่ปุ๋ยที่เหมาะสมในพืชคือ quadratic model (Cuong *et al*., 2017; Jiang *et al*., 2020; Michel and Makowski, 2013) ซึ่งเป็นการจำลองโดยอาศัยสมการพื้นฐาน (สมการกำลังสอง $y = ax^2 + bx + c$) และสามารถคำนวณได้จากโปรแกรมสำเร็จรูปทั่วไป (Zhang *et al*., 2018) จึงถือเป็นวิธีการประเมินอัตราการใส่ปุ๋ยที่มีความน่าสนใจวิธีหนึ่ง โดยงานทดลองนี้เป็นการศึกษาอัตราการใส่ปุ๋ยฟอสฟอรัสที่มีความเหมาะสมสำหรับข้าวปทุมธานี 1 ที่ปลูกในดินจังหวัดพระนครศรีอยุธยาโดยอาศัยสมการกำลังสอง ในการประเมินอัตราปุ๋ยฟอสฟอรัสที่เหมาะสม อีกทั้งศึกษาอัตราการใช้ปุ๋ยฟอสฟอรัสที่แตกต่างกันต่อผลผลิตและการดูดใช้ฟอสฟอรัสในข้าวปทุมธานี 1

อุปกรณ์และวิธีการ

การวางแผนการทดลอง

เก็บตัวอย่างดินซึ่งเป็นตัวแทนดินปลูกข้าวในพื้นที่จังหวัดพระนครศรีอยุธยาจำนวน 3 ชุดดินที่มีปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์อยู่ในระดับต่ำ ปานกลาง และสูง ได้แก่ ชุดดินท่าเรือ (Tha Rua soil series: Tr) ชุดดินเสนา (Sena soil series: Se) และชุดดินอยุธยา (Ayutthaya soil series: Ay) โดยอ้างอิงข้อมูลการเก็บตัวอย่างดินจากรายงานของ Sukyankij *et al*. (2021b) จำนวนชุดดินละ 500 กก. นำมาผึ่งลมให้แห้ง แบ่งตัวอย่างดินบางส่วนไปบดและร่อนผ่านตะแกรงขนาด 2 มม. แล้วนำตัวอย่างดินที่ได้ไปวิเคราะห์สมบัติดินขั้นพื้นฐาน ประกอบด้วย เนื้อดิน (Gee and Bauder, 1986) พีเอชของดิน (Thomas, 1996) ค่าการนำไฟฟ้าขณะดินอิ่มตัวด้วยน้ำ (Rhoades, 1996) ปริมาณอินทรียวัตถุ (Walkley and Black, 1934) ปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์โดยสกัดด้วยน้ำยา Bray II (Bray and Kurtz, 1945) และวิเคราะห์ปริมาณฟอสฟอรัสที่สกัดได้โดยการพัฒนาสีด้วยกรดโมลิปโดฟอสฟอริกและใช้กรดแอสคอร์บิกเป็นสารรีดิวซ์ (molybdophosphoric acid with ascorbic acid-reduced method) (Kuo, 1996) ปริมาณโพแทสเซียม แคลเซียม และแมกนีเซียมที่แลกเปลี่ยนได้โดยสกัดด้วยน้ำยา 1 M NH_4OAc pH 7 (Thomas, 1982) แล้ววิเคราะห์ปริมาณโพแทสเซียม แคลเซียม และแมกนีเซียมด้วยเครื่อง atomic absorption spectrophotometer (Westerman, 1990)

ในการปลูกข้าวเพื่อทดสอบนั้นใช้ข้าวพันธุ์ปทุมธานี 1 โดยวางแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ (CRD) ประกอบด้วยระดับการใส่ปุ๋ยฟอสฟอรัส 4 ระดับ คือ 0 (T1), 0.04 (T2), 0.08 (T3) และ 0.16 (T4) ก.P_2O_5/กระถาง ซึ่งเทียบเท่าการใส่ปุ๋ยฟอสฟอรัสในอัตรา 0, 2.5, 5 และ 10 กก.P_2O_5/ไร่ ใช้ปุ๋ยฟอสฟอรัสในรูปซุปเปอร์ฟอสเฟต (0-20-0) ดังนั้น จึงเทียบเท่าการใส่ปุ๋ยซุปเปอร์ฟอสเฟตในอัตรา 0, 0.2, 0.4 และ 0.8 ก./กระถาง ตามลำดับ แต่ละตำรับทดลองทำ 3 ซ้ำ ขั้นตอนการทดสอบเริ่มต้นด้วยการนำดินที่ผ่านการผึ่งจนแห้งแล้วทุบให้ละเอียด เตรียมกระถางพลาสติกปริมาตร 6.15 ลิตร จากนั้นชั่งดินใส่กระถาง ๆ ละ 5 กก. จากนั้นเติมน้ำแล้วกวนจนดินเหลวเป็นเทือกแล้วเก็บเศษชิ้นส่วนพืชที่ติดมากับดินทิ้งให้หมดแล้วตั้งตัวอย่างดินทิ้งไว้ 7 วันจึงทำการปักดำกล้าข้าวปทุมธานี 1 ในการปักดำใช้กล้าข้าวปทุมธานี 1 อายุ 15 วัน ปักดำกระถางละ 2 ต้น รักษาระดับน้ำให้สูงประมาณ 5 ซม. จากผิวดิน

ตลอดระยะเวลาการทดลอง ในส่วนของการใส่ปุ๋ยธาตุอาหารหลักอ้างอิงวิธีการใส่ตามรายงานของ Rice Department (2019b) เรื่องคำแนะนำการใช้ปุ๋ยเคมีและอัตราการใช้ปุ๋ยในข้าวไม่ไวต่อช่วงแสงตามชนิดเนื้อดิน โดยดินที่ใช้ในการทดลองครั้งนี้จัดอยู่ในกลุ่มดินเนื้อละเอียด ซึ่งตามคำแนะนำนั้นใส่เฉพาะปุ๋ยไนโตรเจนและฟอสฟอรัส โดยปุ๋ยไนโตรเจนนั้นใช้ในรูปของยูเรีย (46-0-0) ในอัตรา 8.6 กก.N/ไร่ หรือเท่ากับ 0.14 ก.N/กระถาง แบ่งใส่สองครั้งที่ระยะ 7 วันหลังปักดำและระยะแตกกอสูงสุด (ประมาณ 70 วันหลังปักดำ) ในอัตราครั้งละ 0.07 ก.N/กระถาง (Rice Department, 2019b) ส่วนปุ๋ยฟอสฟอรัสนั้นใส่เพียงครั้งเดียวที่ระยะ 7 วันหลังปักดำในอัตราตามแผนการทดลองที่ได้กล่าวมาข้างต้น ในส่วนของการเก็บข้อมูลนั้น ทำการเก็บเกี่ยวข้าวที่ระยะ 112 วันหลังปักดำ ข้อมูลที่เก็บประกอบด้วย ผลผลิตข้าวในส่วนเมล็ดและตอซัง ปริมาณการดูดใช้ฟอสฟอรัสในส่วนเมล็ด ตอซัง และผลรวมการดูดใช้ฟอสฟอรัสในข้าวทั้งสองส่วน

การวิเคราะห์ทางเคมี

วิเคราะห์ความเข้มข้นของฟอสฟอรัสในรูปของปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมด (Total P) ทั้งในส่วนเมล็ดและตอซังโดยย่อยสลายตัวอย่างพืชด้วยกรดผสมสองชนิด (acid mixture: HNO_3 - $HClO_4$ ในอัตราส่วน 2:1 v/v.) (Attanandana and Chanchareonsook, 1999) สารละลายที่ได้จากการย่อยสลายนำไปกรองโดยใช้กระดาษกรองเบอร์ 5 จากนั้น นำสารละลายใสที่ได้ไปวิเคราะห์ปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมดโดยพัฒนาสีด้วยกรดวานาโดโมลิปโดฟอสฟอริก (vanado-molybdophosphoric acid method) และวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 420 นาโนเมตรด้วยเครื่อง spectrophotometer (Kuo, 1996) แล้วคำนวณค่าการดูดสะสมฟอสฟอรัสในเนื้อเยื่อพืชแต่ละส่วน โดยนำค่าความเข้มข้นของฟอสฟอรัสคูณกับน้ำหนักแห้งพืช (Akinrinde and Gaizer, 2006)

การประเมินอัตราการใส่ปุ๋ยฟอสฟอรัส

การประเมินอัตราการใส่ปุ๋ยฟอสฟอรัสเพื่อให้ได้ผลผลิตสูงสุดนั้น ทำการประเมินโดยใช้สมการกำลังสอง (quadratic equation) มีรูปของสมการคือ $y = ax^2 + bx + c$ โดยหาจุดตัดแกน x (ปริมาณปุ๋ยฟอสฟอรัสที่เหมาะสม) ที่มีผลให้ได้ค่าผลผลิตสูงสุด (แกน y) จากสูตร $x = -b/2a$ แล้วแทนค่า x ที่ได้ในสมการที่กล่าวมาข้างต้นเพื่อคำนวณค่าผลผลิตสูงสุดที่เกิดจากการใช้ปุ๋ยในอัตราที่เหมาะสม (Coung *et al*., 2017; Jiang *et al*., 2020)

การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ

การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติโดยวิเคราะห์ค่าความแปรปรวนโดยวิธี ANOVA และเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยโดยวิธี DMRT ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์

ผลการศึกษาและวิจารณ์

สมบัติดินที่ใช้ในการทดลอง

สมบัติดินก่อนทำการทดลองแสดงใน Table 1 ชุดดินท่าเรือ ชุดดินเสนา และชุดดินอยุธยา จำแนกตามระบบอนุกรมวิธานดิน (soil taxonomy) ได้เป็น Vertic (Aeric) Endoaquepts, Sulfic Endoaquepts และ Vertic Endoaquepts ตามลำดับ (Division of Soil Survey and Soil Resource Research, 2019) ลักษณะเนื้อดินเป็นดินเหนียวและดินเหนียวปนทรายแป้ง ปฏิกิริยาดินเป็นกรดรุนแรงถึงกรดเล็กน้อย (pH 4.8 - 6.5) ไม่เป็นดินเค็ม (EC_e 0.6 - 1.4 เดซิซีเมนส์/เมตร) ปริมาณอินทรียวัตถุอยู่ในระดับปานกลางถึงสูงมาก (15.4 - 52.3 ก./กก.) ปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์อยู่ในระดับต่ำถึงสูง (3.9-26.9 มก./กก.) และปริมาณโพแทสเซียม แคลเซียม และแมกนีเซียมที่แลกเปลี่ยนได้อยู่ในระดับสูงถึงสูงมาก (94-234, 2418-5031 และ 385-698 มก./กก. ตามลำดับ) (FAO Project Staff and Land Classification Division, 1973)

Table 1. Soil chemical properties prior to conducting the experiment

Soil series	Soil texture	Soil pH (1:1 H_2O)	EC_e (dS/m)	OM (g/kg)	Avail. P (mg/kg)	Exch. K (mg/kg)	Exch. Ca (mg/kg)	Exch. Mg (mg/kg)
Tr	Silty clay	6.5 (SA)[1]	0.6 (VL)	15.4 (M)	3.9 (L)	94 (H)	5031 (VH)	385 (H)
Se	Clay	4.8 (VSA)	1.2 (VL)	50.2 (VH)	13.7 (M)	157 (VH)	2418 (H)	443 (H)
Ay	Clay	6.1 (SA)	1.4 (VL)	52.3 (VH)	26.9 (H)	234 (VH)	4340 (VH)	698 (H)

[1] The letters in bracket are interpreted according to FAO Project Staff and Land Classification Division (1973): SA= strongly acid; VSA= very strongly acid; VL= very low; L= low; M= medium; H= high; VH= very high

ผลผลิตข้าว

น้ำหนักเมล็ดและตอซังข้าวปทุมธานี 1 แสดงใน Table 2 การใส่ปุ๋ยฟอสฟอรัสอัตรา 0 - 0.16 ก. P_2O_5/กระถาง ไม่มีผลต่อน้ำหนักแห้งตอซัง โดยไม่พบความแตกต่างทางสถิติระหว่างตำรับทดลอง ($P > 0.05$) ค่าพิสัยของน้ำหนักแห้งตอซังข้าวปทุมธานี 1 ที่ปลูกในชุดดินท่าเรือ เสนา และอยุธยา มีค่าระหว่าง 35.2 - 44.8, 56.3 - 68.3 และ 76.4 - 86.8 ก./กอ ตามลำดับ ขณะที่น้ำหนักผลผลิตเมล็ดที่ความชื้น 14 เปอร์เซ็นต์ พบว่ามีความแตกต่างทางสถิติระหว่างตำรับทดลอง ($P < 0.05$) ในชุดดินเสนาและอยุธยาการใส่ปุ๋ยฟอสฟอรัสอัตรา 0.04 - 0.16 ก./กระถาง ให้ผลผลิตเมล็ดไม่แตกต่างกันทางสถิติ (24.4 - 28.7 และ 20.5 - 24.6 ก./กระถาง ตามลำดับ) ขณะที่ชุดดินท่าเรือ การใส่ปุ๋ยฟอสฟอรัสอัตรา 0.08 - 0.16 ก./กระถาง ให้ผลผลิตเมล็ดไม่แตกต่างกันเช่นกัน (13.8 และ 14.2 ก./กระถาง ตามลำดับ) ส่วนตำรับทดลองที่ไม่มีการใส่ปุ๋ยฟอสฟอรัสให้ผลผลิตเมล็ดต่ำที่สุดในทั้งสามชุดดิน

การใส่ปุ๋ยฟอสฟอรัสส่งผลให้ผลผลิตเมล็ดข้าวปทุมธานี 1 เพิ่มสูงขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติในทุกชุดดิน ยกเว้นในชุดดินเสนาที่พบว่า การใส่ปุ๋ยฟอสฟอรัสในอัตราต่ำ (0.04 ก./กระถาง) ไม่ทำให้ผลผลิตเมล็ดข้าวปทุมธานี 1 แตกต่างจากตำรับทดลองที่ไม่ใส่ปุ๋ย อย่างไรก็ตามการใส่ปุ๋ยในอัตรา 0.04 ก./กระถาง มีแนวโน้มทำให้ผลผลิตเมล็ดข้าวเพิ่มสูงขึ้น และการเพิ่มขึ้นของผลผลิตแสดงให้เห็นอย่างชัดเจนในกรรมวิธีที่ใส่ปุ๋ยฟอสฟอรัสในอัตราที่สูงกว่า 0.04 ก./กระถาง เมื่อเปรียบเทียบกับตำรับทดลองที่ไม่ใส่ปุ๋ย (Table 2) เนื่องจากฟอสฟอรัสเป็นธาตุที่สำคัญต่อการเจริญเติบโตและส่งผลถึงผลผลิตของพืช จากรายงานของ Dobermann and Fairhurst (2000) ระบุว่าฟอสฟอรัสมีความสำคัญต่อการเจริญของพืชโดยเฉพาะช่วงแรกของการเจริญเติบโต ในข้าวนั้นฟอสฟอรัสมีผลโดยตรงต่อการแตกกอ การแผ่ขยายขนาดของราก การพัฒนาของดอก โดยการใส่ปุ๋ยฟอสฟอรัสนั้นแนะนำในช่วงที่ข้าวมีระบบรากที่ยังพัฒนาไม่สมบูรณ์เต็มที่รวมทั้งดินที่ปลูกมีระดับฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์อยู่ในระดับต่ำ (Dobermann and Fairhurst, 2000) จากผลการทดลองจะเห็นได้ว่าข้าวปทุมธานี 1 ที่ปลูกในชุดดินทั้งสามชุดดิน (Table 2) มีการตอบสนองต่อปุ๋ยฟอสฟอรัสที่ใส่ในอัตรา 0.04 - 0.16 ก. P_2O_5/กระถาง เป็นอย่างดี ทั้งนี้ อาจเป็นผลมาจาก 1) ในกรณีของข้าวที่ปลูกในชุดดินท่าเรือนั้นสังเกตได้ว่าในชุดดินดังกล่าวมีระดับของแคลเซียมที่แลกเปลี่ยนได้อยู่ในระดับสูงมาก (Table 1) ซึ่งแคลเซียมไอออนในสารละลายดินเหล่านี้มีโอกาสที่ทำปฏิกิริยากับไอออนของฟอสฟอรัสในสารละลายดินและเปลี่ยนเป็นสารประกอบ Ca-P ซึ่งมีผลให้ปริมาณฟอสฟอรัสในรูปที่เป็นประโยชน์มีปริมาณลดลง (Dobermann and Fairhurst, 2000; Fageria, 2001) ประกอบกับระดับของฟอสฟอรัสในดินดังกล่าวอยู่ในระดับต่ำอยู่แล้วยิ่งมีผลให้ปริมาณฟอสฟอรัสที่พืชดูดกินได้มีน้อยลงไปอีก 2) ในกรณีของข้าวที่ปลูกในชุดดินเสนาและอยุธยา ชุดดินนี้มีลักษณะเด่นคือเป็นดินในกลุ่มดิน

Table 2. Effects of different rates of phosphorus fertilizer on straw and grain yield in Pathum Thani 1 rice

Rates of P_2O_5 (g/pot)	Soil series					
	Dry straw weight (g/hill)[1]			Grain yield at 14% moisture (g/hill)[1]		
	Tr	Se	Ay	Tr	Se	Ay
0	38.6	56.4	77.0	8.8[c]	17.5[b]	14.5[c]
0.04	35.2	56.3	86.8	11.4[b]	24.4[ab]	20.5[ab]
0.08	42.9	61.3	76.4	13.8[a]	27.4[a]	24.6[a]
0.16	44.8	68.3	79.1	14.2[a]	28.7[a]	21.4[a]
F-test	ns	ns	ns	*	*	*
CV (%)	20.4	10.2	10.2	14.7	12.0	11.5

[1] Means within the same column followed by the same letters indicate no significantly different among treatments using DMRT; * significant difference at 0.05 probability levels, [ns] not significant

กรดกำมะถัน (Attanandana and Vacharotayan, 1986) ซึ่งสามารถตรึงฟอสฟอรัสได้สูง เนื่องจากดินมีปฏิกิริยาเป็นกรดซึ่งส่งผลให้เหล็กและอะลูมินัมละลายออกมามากและเข้าจับกับไอออนของฟอสฟอรัส (Attanandana, 1993; Ch'ng *et al*., 2014; Pierzynski *et al*., 2005) จึงทำให้ปริมาณฟอสฟอรัสในรูปที่เป็นประโยชน์ในสารละลายดินมีปริมาณลดลง ดังนั้นเมื่อมีการใส่ปุ๋ยฟอสฟอรัสลงไปพืชจึงมีการตอบสนองต่อปุ๋ยที่ใส่เป็นอย่างดี

การดูดใช้ฟอสฟอรัสของข้าว

ปริมาณการดูดใช้ฟอสฟอรัสในข้าวปทุมธานี 1 ที่ได้รับปุ๋ยฟอสฟอรัสในอัตราที่แตกต่างกันแสดงใน Table 3 จากผลการทดลองพบว่า การใส่ปุ๋ยฟอสฟอรัสอัตรา 0 - 0.16 ก. P_2O_5 / กระถาง มีผลให้ปริมาณการดูดใช้ฟอสฟอรัสในตอซังมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ ($P < 0.01$) ยกเว้นการดูดใช้ฟอสฟอรัสในตอซังข้าวที่ปลูกในชุดดินท่าเรือ ($P > 0.05$) ในส่วนของการดูดใช้ฟอสฟอรัสในเมล็ดพบว่า มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง ($P < 0.01$) ในทั้งสามชุดดิน และในส่วนของปริมาณการดูดใช้ฟอสฟอรัสทั้งหมดนั้นในชุดดินเสนาและอยุธยาพบว่า มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญยิ่งระหว่างตำรับทดลอง ($P < 0.01$) ส่วนในชุดดินท่าเรือพบว่า การให้ปุ๋ยฟอสฟอรัสในอัตราที่แตกต่างกันมีผลให้การดูดใช้ฟอสฟอรัสทั้งหมดมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) การใส่ปุ๋ยฟอสฟอรัสในอัตราที่สูงขึ้นมีผลให้การดูดใช้ฟอสฟอรัสรวมของข้าวปทุมธานี 1 มีค่าเพิ่มขึ้นอย่างชัดเจน (Table 3) โดยเฉพาะในชุดดินเสนา โดยการใส่ปุ๋ยฟอสฟอรัสอัตรา 0.16 ก. P_2O_5 / กระถาง ให้ปริมาณการดูดใช้ฟอสฟอรัสรวมในข้าวปทุมธานี 1 สูงที่สุด (0.69 ก. / กอ) และที่อัตราการใส่ปุ๋ยเดียวกันนี้ให้ปริมาณการดูดใช้ฟอสฟอรัสรวมในข้าวปทุมธานี 1 ที่ปลูกในชุดดินท่าเรือสูงที่สุดเช่นกัน (0.42 ก./กอ) ขณะที่ในชุดดินอยุธยานั้นพบว่า การใส่ปุ๋ยฟอสฟอรัสอัตรา 0.04 - 0.16 ก. P_2O_5 / กระถาง ให้ปริมาณการดูดใช้ฟอสฟอรัสรวมในข้าวปทุมธานี 1 ไม่แตกต่างกัน โดยมีค่าพิสัยระหว่าง 0.54 - 0.60 ก. / กอ

เมื่อพิจารณาการดูดใช้ฟอสฟอรัสในข้าวปทุมธานี 1 ที่ปลูกในดินทั้งสามชุดดินจะเห็นได้ว่า การใส่ปุ๋ยฟอสฟอรัสอัตรา 0.04 - 0.16 ก. P_2O_5 / กระถาง ส่งผลให้ข้าวมีการดูดใช้ฟอสฟอรัสเพิ่มขึ้นเมื่อเทียบกับตำรับทดลองที่ไม่ใส่ปุ๋ยฟอสฟอรัส และเมื่อพิจารณาข้าวปทุมธานี 1 ที่ปลูกในชุดดินเสนาและอยุธยา พบว่าค่าการดูดใช้ฟอสฟอรัสรวม (total P uptake) สูงสุดที่ได้จากการทดลอง (0.69 และ 0.60 ก. / กอ) มีค่าสูงกว่า

ตำรับที่ไม่มีการใส่ปุ๋ยฟอสฟอรัส (0.35 และ 0.35 ก./กอ สำหรับชุดดินเสนาและอยุธยา ตามลำดับ) ประมาณ 2 เท่า (Table 3) ทั้งนี้อาจเป็นผลมาจากปริมาณการใส่ปุ๋ยฟอสฟอรัสที่เพิ่มขึ้นรวมทั้งปัจจัยทางดินที่มีส่วนในการส่งเสริมความเป็นประโยชน์ของฟอสฟอรัสในดินให้มีค่าสูงขึ้นในระหว่างการปลูกข้าว กล่าวคือ จากผลการวิเคราะห์ดินเบื้องต้นพบว่า ทั้งชุดดินเสนาและชุดดินอยุธยามีอินทรียวัตถุอยู่ในระดับสูงมาก โดยอินทรียวัตถุในดินถือเป็นแหล่งสำรองธาตุอาหารพืชที่สำคัญ นอกจากนี้ยังมีบทบาทต่อสมบัติทางกายภาพและชีวภาพของดิน (Mala, 2007) ดังนั้น ดินที่มีปริมาณอินทรียวัตถุสูงจึงมีโอกาสที่ปลดปล่อยธาตุอาหารให้กับพืชได้สูงตามไปด้วย ซึ่งอาจเป็นเหตุผลสำคัญที่ทำให้ข้าวที่ปลูกในชุดดินเสนาและชุดดินอยุธยามีปริมาณการดูดใช้ฟอสฟอรัสได้มากกว่าชุดดินท่าเรือซึ่งมีปริมาณอินทรียวัตถุต่ำกว่า นอกจากนี้ การใส่ปุ๋ยฟอสฟอรัสเพิ่มขึ้นย่อมมีผลโดยตรงต่อปริมาณการดูดใช้ฟอสฟอรัสของพืชที่สูงขึ้นตามไปด้วย สอดคล้องกับรายงานของ Sukyankij *et al.* (2015) ซึ่งศึกษาผลของระดับฟอสฟอรัส (0 - 7 กก. P_2O_5/ไร่) ต่อผลผลิตและการดูดใช้ฟอสฟอรัสในข้าวพันธุ์ กข41 พบว่าปริมาณการใส่ปุ๋ยฟอสฟอรัสที่สูงขึ้นมีผลโดยตรงต่อการเพิ่มขึ้นของดูดใช้ฟอสฟอรัสในข้าว นอกจากนี้ช่วงอายุในการเจริญของข้าวก็มีผลต่อการดูดใช้ฟอสฟอรัสเช่นกัน โดยข้าวที่อยู่ในระยะแตกกอสูงสุด (ประมาณ 70 วันหลังหว่านเมล็ด) จะมีปริมาณการดูดใช้ฟอสฟอรัสสูงกว่าข้าวในระยะกล้าหรือระยะเก็บเกี่ยว

การประเมินอัตราการใส่ปุ๋ยฟอสฟอรัสที่เหมาะสม

อัตราการใส่ปุ๋ยฟอสฟอรัสที่เหมาะสมทำการประเมินโดยดัดแปลงจากวิธีการของ Cuong *et al.* (2017) โดยใช้พื้นฐานจากสมการกำลังสอง (quadratic equation) เพื่อสร้างกราฟระหว่างผลผลิตและอัตราการใส่ปุ๋ยฟอสฟอรัสจากนั้นหาจุดสูงสุดของเส้นกราฟโดยคำนวณค่า x (ปริมาณการใส่ปุ๋ยฟอสฟอรัสที่จะมีผลให้ข้าวได้ผลผลิตสูงสุด) แล้วจึงแทนค่าตัวแปร x ในสมการ $y = ax^2 + bx + c$ ซึ่งได้จุดสูงสุดของเส้นกราฟ (ค่าผลผลิตสูงสุด) จากผลการทดลองพบว่า เมื่อทำการสร้างกราฟระหว่างผลผลิตและอัตราการใส่ปุ๋ยฟอสฟอรัส ได้สมการประเมินอัตราปุ๋ยฟอสฟอรัสที่เหมาะสมสำหรับข้าวปทุมธานี 1 ที่ปลูกในชุดดินท่าเรือ เสนา และอยุธยา (Table 4 และ Figure 1) โดยอัตราปุ๋ยฟอสฟอรัสที่เหมาะสมสำหรับข้าวปทุมธานี 1 ที่ปลูกในชุดดินท่าเรือ เสนา และอยุธยา มีค่าเท่ากับ 0.133, 0.127 และ 0.102 ก. P_2O_5/กระถาง ซึ่งจะทำให้ได้ผลผลิตสูงสุดที่ได้จากการประเมินด้วยสมการดังกล่าวเท่ากับ 14.50, 29.38 และ 24.79 ก./กอ ตามลำดับ

Table 3. Effects of different rates of phosphorus fertilizer on phosphorus uptake in Pathum Thani 1 rice

Rates of P_2O_5 (g/pot)	Soil series								
	P uptake in straw (g/hill)[1]			P uptake in grain (g/hill)[1]			Total P uptake (g/hill)[1]		
	Tr	Se	Ay	Tr	Se	Ay	Tr	Se	Ay
0	0.21	0.27[c]	0.27[b]	0.03[b]	0.08[c]	0.08[b]	0.25[c]	0.35[d]	0.35[b]
0.04	0.23	0.32[b]	0.48[a]	0.06[ab]	0.13[b]	0.11[ab]	0.29[c]	0.45[c]	0.60[a]
0.08	0.28	0.38[ab]	0.40[a]	0.07[a]	0.15[b]	0.14[a]	0.35[b]	0.52[b]	0.54[a]
0.16	0.33	0.48[a]	0.42[a]	0.09[a]	0.21[a]	0.14[a]	0.42[a]	0.69[a]	0.57[a]
F-test	ns	**	**	**	**	**	*	**	**
CV (%)	20.9	9.58	10.2	17.7	14.7	11.7	17.7	7.91	9.66

[1] Means within the same column followed by the same letters indicate no significantly different among treatments using DMRT; **,* significant difference at 0.01 and 0.05 probability levels, [ns] not significant

Table 4. Maximum grain yield and optimum rate of phosphorus fertilizer in three soil series with calculated from quadratic equation

Soil series	Quadratic equation	Maximum yield (g/hill)	Optimum P fertilizer (g/pot)
Tr	$y= -325.19x^2 + 86.458x + 8.7251$	14.50	0.133
Se	$y= -723.34x^2 + 184.13x + 17.667$	29.38	0.127
Ay	$y= -1000.3x^2 + 204.09x + 14.376$	24.79	0.102

y = maximum yield of rice (g/hill); x = optimum rate of P fertilizer (g/pot) with calculated from equation (x = -b/2a)

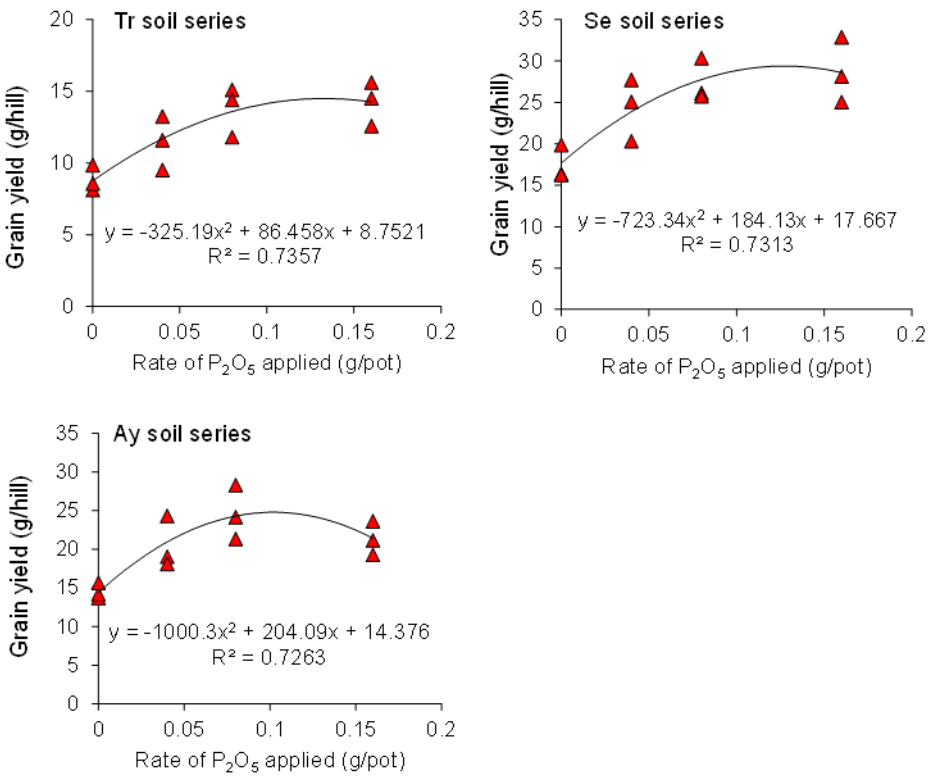


Figure 1. Quadratic regression model for estimating the maximum yield of rice and optimum rate of P fertilizer in three soil series

การประเมินอัตราการใช้ปุ๋ยที่เหมาะสมสำหรับพืชปลูกในแต่ละพื้นที่ถือเป็นสิ่งสำคัญประการหนึ่ง ทั้งนี้อัตราปุ๋ยที่มากหรือน้อยเกินไปย่อมส่งผลให้พืชที่ปลูกสร้างผลผลิตได้ไม่เต็มที่ ตามที่ได้กล่าวมาข้างต้นนั้น การประเมินปริมาณการใส่ปุ๋ยที่เหมาะสมนั้นสามารถประเมินได้จากสมการหลากหลายสมการ การใช้สมการกำลังสองหรือ quadratic equation นั้นเป็นหนึ่งในวิธีที่ได้รับความนิยม (Zhang *et al*., 2018; Jiang *et al*., 2020) ซึ่งในการทดลองครั้งนี้ได้ทำการประเมินอัตราการใส่ปุ๋ยฟอสฟอรัสที่มีความจำเพาะ

สำหรับดินในแต่ละพื้นที่โดยใช้สมการกำลังสองเป็นพื้นฐานในการประเมินได้อัตราการใส่ปุ๋ยฟอสฟอรัสที่เหมาะสมสำหรับข้าวปทุมธานี 1 ที่ปลูกในชุดดินท่าเรือ เสนา และอยุธยาเท่ากับ 0.133, 0.127 และ 0.102 ก. P_2O_5/กระถาง หรือเมื่อเทียบเป็นปริมาณอัตราปุ๋ยต่อไร่เท่ากับ 8.299, 7.925 และ 6.365 กก. P_2O_5/ไร่ ตามลำดับ เมื่อใช้อัตราการใส่ปุ๋ยดังกล่าว ไปประเมินผลผลิตจากสมการกำลังสอง ข้าวปทุมธานี 1 ให้ผลผลิตสูงสุดเท่ากับ 14.50, 29.38 และ 24.79 ก./กระถาง หรือเท่ากับ 371, 752 และ 635 กก./ไร่ (ใช้ระยะห่างในการปักดำ 25 x 25 ซม.) สำหรับข้าวที่ปลูกในชุดดินท่าเรือ เสนา และอยุธยา ตามลำดับ ทั้งนี้ Department of Agriculture (2005) ได้แนะนำอัตราการใส่ปุ๋ยฟอสฟอรัสสำหรับข้าวไม่ไวต่อช่วงแสงโดยแบ่งเป็นการใส่ปุ๋ยตามค่าวิเคราะห์ดินและการใส่ปุ๋ยตามชนิดเนื้อดินดังนี้ ในดินที่มีปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์น้อยกว่า 5, 5 - 10 และมากกว่า 10 มก. P/กก. แนะนำให้ใส่ปุ๋ยฟอสฟอรัสในอัตรา 6, 3 และ 0 กก. P_2O_5/ไร่ ตามลำดับ ส่วนการใส่ปุ๋ยตามลักษณะเนื้อดินนั้นแนะนำให้ใส่ปุ๋ยฟอสฟอรัสอัตรา 4 กก. P_2O_5/ไร่ ในดินที่มีลักษณะเป็นดินเหนียวหรือดินเนื้อละเอียด ขณะที่ Rice Department (2019b) แนะนำการใส่ปุ๋ยฟอสฟอรัสตามลักษณะเนื้อดินไว้ที่ 5 - 7 กก.P_2O_5/ไร่ สำหรับข้าวไม่ไวแสงที่ปลูกในดินเนื้อละเอียด ทั้งนี้จากผลการทดลองจะเห็นได้ว่าปริมาณปุ๋ยฟอสฟอรัสที่ได้จากการคำนวณโดยสมการกำลังสองที่ได้จากการทดลองนั้นสูงกว่าอัตราตามคำแนะนำของ Department of Agriculture (2005) และ Rice Department (2019b) ทั้งนี้อาจเป็นผลมาจากสมบัติดินอื่น ๆ เช่น พีเอชของดินที่อยู่ในระดับเป็นกรดรุนแรงของชุดดินเสนา ปริมาณอินทรียวัตถุที่อยู่ในระดับสูงมากทั้งในชุดดินเสนาและชุดดินอยุธยา รวมถึงปริมาณแคตไอออนอื่น ๆ ได้แก่ โพแทสเซียม แคลเซียม และแมกนีเซียม ที่อยู่ในระดับสูงถึงสูงมากในทั้งสามชุดดิน ปัจจัยต่าง ๆ ที่กล่าวมานี้มีส่วนส่งเสริมให้ดินเกิดการตรึงฟอสฟอรัสสูงขึ้น ส่งผลให้ปริมาณฟอสฟอรัสในรูปที่เป็นประโยชน์ในดินซึ่งพืชสามารถดูดไปใช้ได้มีค่าลดลง (Havlin *et al*., 2017) และจากรายงานของ Roberts and Johnston (2015) ระบุว่าเมื่อใส่ปุ๋ยฟอสฟอรัสลงดิน ฟอสฟอรัสเกิดการเปลี่ยนรูปซึ่งสามารถจำแนกได้เป็น 4 กลุ่ม และมีปริมาณน้อยกว่า 25 เปอร์เซ็นต์ของปุ๋ยฟอสฟอรัสที่ใส่ลงไปถูกเปลี่ยนไปอยู่ในรูปที่พืชใช้ประโยชน์ได้ทันที และอาจเป็นเหตุผลที่ทำให้ปริมาณปุ๋ยฟอสฟอรัสที่ได้จากการคำนวณสำหรับข้าวปทุมธานี 1 ที่ปลูกในดินจังหวัดพระนครศรีอยุธยามีปริมาณมากกว่าอัตราแนะนำของหน่วยงานที่กล่าวมาข้างต้น

สรุป

การใส่ปุ๋ยฟอสฟอรัสมีผลอย่างชัดเจนต่อผลผลิตข้าวปทุมธานี 1 ที่ปลูกในดินทั้งสามชุดดินของจังหวัดพระนครศรีอยุธยา ผลผลิตข้าวปทุมธานี 1 ที่ปลูกในชุดดินท่าเรือและชุดดินเสนามีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามอัตราการใส่ปุ๋ยฟอสฟอรัสที่เพิ่มขึ้น ขณะที่ในชุดดินอยุธยาข้าวปทุมธานี 1 มีการตอบสนองต่อการใส่ปุ๋ยฟอสฟอรัสสูงสุดที่อัตรา 0.08 ก. P_2O_5/กระถาง ซึ่งอัตราดังกล่าวเป็นอัตราที่ให้ผลผลิตเมล็ดสูงสุด ในส่วนของการดูดใช้ฟอสฟอรัสในข้าวปทุมธานี 1 นั้นปริมาณการดูดใช้ฟอสฟอรัสมีค่าเพิ่มสูงขึ้นตามปริมาณการใส่ปุ๋ย เมื่อทำการประเมินการใส่ปุ๋ยฟอสฟอรัสโดยใช้สมการกำลังสองเพื่อให้ได้อัตราการใส่ปุ๋ยฟอสฟอรัสที่เหมาะสมสำหรับข้าวปทุมธานี 1 ที่ปลูกในดินจังหวัดพระนครศรีอยุธยาพบว่าอัตราปุ๋ยฟอสฟอรัสที่เหมาะสมสำหรับข้าวปทุมธานี 1 ที่ปลูกในชุดดินท่าเรือ เสนา และอยุธยา มีค่าเท่ากับ 0.133, 0.127 และ 0.102 ก. P_2O_5/กระถาง ผลผลิตสูงสุดที่ประเมินได้จากการใช้ปุ๋ยในอัตราดังกล่าวเท่ากับ 14.50, 29.38 และ 24.79 ก./กระถาง ตามลำดับ

เอกสารอ้างอิง

Akinrinde, E.A. and T. Gaizer. 2006. Differences in the performance and phosphorus-use efficiency of some tropical rice (*Oryza*

sativa L.) varieties. Pakistan Journal of Nutrition 5(3): 206-211.

Attanandana, T. 1993. Deficiencies and toxicities of some nutrient elements in acid sulfate soils of Thailand. Agriculture and Natural Resources 27(4): 508-515.

Attanandana, T. and J. Chanchareonsook. 1999. Manual of Soil and Plant Analysis. Department of Soil Science, Faculty of Agriculture, Kasetsart University, Bangkok. 108 p. (in Thai)

Attanandana, T. and S. Vacharotayan. 1986. Acid sulfate soils: Their characteristics, genesis, amelioration and utilization. Japanese Journal of Southeast Asian Studies 24(2): 154-180.

Bray, R.H. and L.T. Kurtz. 1945. Determination of total, organic, and available forms of phosphorus in soils. Soil Science 59(1): 39-46.

Ch'ng, H.Y., O.H. Ahmed and N.M.Ab. Majid. 2014. Improving phosphorus availability in an acid soil using organic amendments produced from agroindustrial wastes. The Scientific World Journal 2014: 506356, doi: 10.1155/2014/506356.

Cuong, T.X., H. Ullah, A. Datta and T.C. Hanh. 2017. Effects of silicon-based fertilizer on growth, yield and nutrient uptake of rice in tropical zone of Vietnam. Rice Science 24(5): 283-290.

Darunsontaya, T., P. Thasanon, W. Jindaluang and K. Poomsong. 2020. Kinetics of potassium release of lowland soils in Central Plain of Thailand. Journal of Agriculture 36(1): 123-133. (in Thai)

Department of Agriculture. 2005. Guidance of Fertilizer Use in Economic Crops. Office of the Secretary, Department of Agriculture, Bangkok. 121 p. (in Thai)

Dreher, P. and E.-A. Niederbudde. 1994. Potassium release from micas and characterization of the alteration products. Clay Minerals 29(1): 77-85.

Division of Soil Survey and Soil Resource Research. 2019. Soil map of Phra Nakhon Si Ayutthaya province. (Online). Available: http://oss101.ldd.go.th/web_thaisoilinf/central/Ayutthaya/ay_map/ay_series/ay_series58.html (July 7, 2019). (in Thai)

Dobermann, A. and T. Fairhurst. 2000. Rice: Nutrient Disorders and Nutrient Management. Oxford Graphic Printers, Singapore. 191 p.

Fageria, V.D. 2001. Nutrient interactions in crop plants. Journal of Plant Nutrition 24(8): 1269-1290.

FAO Project Staff and Land Classification Division. 1973. Soil Interpretation Handbook for Thailand. Land Classification Division, Department of Land Development, Bangkok. 169 p.

Gee, G.W. and J.W. Bauder. 1986. Particle-size analysis. pp. 383-411. *In*: A. Klute (ed.). Methods of Soil Analysis Part 1: Physical and Mineralogical Methods. Soil Science Society of America, Inc., Madison, Wisconsin.

Havlin, J.L., S.L. Tisdale, W.L. Nelson and J.D. Beaton. 2017. Soil Fertility and Fertilizers: An Introduction to Nutrient Management. 8th ed. Pearson, Boston. 520 p.

Jiang, W., Y. Xing, X. Wang, X. Liu and Z. Cui. 2020. Developing a sustainable management strategy for quantitative estimation of optimum nitrogen fertilizer

recommendation rates for maize in Northeast China. Sustainability 12(7): 2607, doi: 10.3390/su12072607.

Kuo, S. 1996. Phosphorus. pp. 869-919. *In*: D.L. Sparks, A.L. Page, P.A. Helmke, R.H. Loeppert, P.N. Soltanpour, M.A. Tabatabai, C.T. Johnston and M.E. Sumner (eds.). Methods of Soil Analysis Part 3: Chemical Methods. Soil Science Society of America, Inc., Madison, Wisconsin.

Mala, T. 2007. Organic Fertilizer and Biofertilizer: Production Technique and Usage. Kasetsart University Press, Bangkok. 300 p. (in Thai)

Michel, L. and D. Makowski. 2013. Comparison of statistical models for analyzing wheat yield time series. PLoS ONE 8(10): e78615, doi: 10.1371/journal.pone.0078615.

Pierzynski, G.M., R.W. McDowell and J.T. Sims. 2005. Chemistry, cycling, and potential movement of inorganic phosphorus in soils. pp. 53-86. *In*: J.T. Sims and A.N. Sharpley (eds.). Phosphorus: Agriculture and the Environment. American Society of Agronomy, Crop Science Society of America, Soil Science Society of America, Inc., Madison, Wisconsin.

Rice Department. 2019a. Rice knowledge bank: Pathum Thani 1 rice. (Online). Available: http://webold. ricethailand.go.th/rkb3/title-index.php-file=content.php&id=67.htm (March 25, 2019). (in Thai)

Rice Department. 2019b. Rice knowledge bank: Management of soil and fertilizer in paddy field. (Online). Available: https://webold. ricethailand.go.th/rkb3/title-index.php-file= content.php&id=021.htm (March 3, 2019). (in Thai)

Rhoades, J.D. 1996. Salinity: Electrical conductivity and total dissolved solids. pp. 417-435. *In*: D.L. Sparks, A.L. Page, P.A. Helmke, R.H. Loeppert, P.N. Soltanpour, M.A. Tabatabai, C.T. Johnston and M.E. Sumner (eds.). Methods of Soil Analysis Part 3: Chemical Methods. Soil Science Society of America, Inc., Madison, Wisconsin.

Roberts, T.L. and A.E. Johnston. 2015. Phosphorus use efficiency and management in agriculture. Resources, Conservation and Recycling 105: 275-281.

Sukitprapanon, T., A. Suddhiprakarn, I. Kheoruenromne, S. Anusontpornperm and R.J. Gilkes. 2016. A comparison of potential, active and post-active acid sulfate soils in Thailand. Geoderma Regional 7(3): 346-356.

Sukyankij, S., S. Jewprasert, W. Pangjai and T. Panich-pat. 2021a. Comparison of the quality of two organic fertilizers on yield of Hom Pathum rice and soil properties. Khon Kaen Agriculture Journal 49(1): 37-48. (in Thai)

Sukyankij, S., S. Samithiarporn and T. Pluemphuak. 2017. Effect of rice straw management and green manures on soil chemical properties of Ayutthaya soil series. pp. 2507-2517. *In*: Proceedings of the 14th KU-KPS National Conference. Kasetsart University, Kamphaeng Saen Campus, Nakhon Pathom. (in Thai)

Sukyankij, S., S. Sawatdikarn, S. Samithiarporn and T. Panich-pat. 2021b. Effects of lime material and waterlogging period on availability of phosphorus and yield of Hom Pathum rice in soils of Phranakhon Si Ayutthaya province. Khon Kaen

Agriculture Journal 49(4): 842-855. (in Thai)

Sukyankij, S., T. Pluemphuak and T. Panich-pat. 2015. Effect of phosphorus level on growth, yield and phosphorus uptake in rice RD41. pp. 1751-1758. *In*: Proceedings of the 12th KU-KPS National Conference. Kasetsart University, Kamphaeng Saen Campus, Nakhon Pathom. (in Thai)

Sukyankij, S., T. Pluemphuak and T. Panich-pat. 2019. Effects of green manures and fertilizer managements on yield, nutrient uptake and economic return of rice cv. RD47 grown in Ayutthaya soil series. Journal of Agriculture 35(1): 61-73. (in Thai)

Thai Rice Mills Association. 2022. The report of rice price in 2022. (Online). Available: http://www.thairicemillers.org/index.php?lay=show&ac=article&Ntype=19 (April 29, 2022). (in Thai)

Thomas, G.W. 1982. Exchangeable cations. pp. 159-165. *In*: A.L. Page, R.H. Miller and D.R. Keeney (eds.). Methods of Soil Analysis Part 2: Chemical and Microbiological Properties. Soil Science Society of America, Inc., Madison, Wisconsin.

Thomas, G.W. 1996. Soil pH and soil acidity. pp. 475-490. *In*: D.L. Sparks, A.L. Page, P.A. Helmke, R.H. Loeppert, P.N. Soltanpour, M.A. Tabatabai, C.T. Johnston and M.E. Sumner (eds.). Methods of Soil Analysis Part 3: Chemical Methods. Soil Science Society of America, Inc., Madison, Wisconsin.

Walkley, A., and I.A. Black. 1934. An examination of Degtjareff methods for determining soil organic matter, and a proposed modification of the chromic acid titration method. Soil Science 37(1): 29 - 38.

Westerman, R.L. 1990. Soil Testing and Plant Analysis. 3rd ed. American Society of Agronomy and Soil Science Society of America, Madison, Wisconsin.

Zhang, M., J. Li, F. Chen and Q. Kong. 2018. Unary non-structural fertilizer response model for rice crops and its field experimental verification. Scientific Reports 8: 2792, doi: 10.1038/s41598-018-21163-w.

ผลของการลดอุณหภูมิแบบสุญญากาศและแบบใช้น้ำแข็งต่อคุณภาพของผักคะน้าฮ่องกง

Effects of Vacuum Cooling and Ice Cooling on Quality of Kailan

รติยา ประดิษฐวนิช[1*] ดนัย บุณยเกียรติ[3] และ พิชญา พูลลาภ[2,3]
Ratiya Praditthawanich[1*], Danai Boonyakiat[3] and Pichaya Poonlarb[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]ภาควิชาวิศวกรรมอาหาร คณะอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ จ. เชียงใหม่ 50200
[2]Department of Food Engineering, Faculty of Agro-Industry, Chiang Mai University, Chiang Mai 50100, Thailand
[3]สถาบันวิจัยเทคโนโลยีหลังการเก็บเกี่ยว / ศูนย์นวัตกรรมเทคโนโลยีหลังการเก็บเกี่ยว มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ จ.เชียงใหม่ 50100
[3]Postharvest Technology Research Institute / Postharvest Technology Innovation Center,
Chiang Mai University, Chiang Mai 50200, Thailand
**Corresponding author: Email: Ratiya_pradit@cmu.ac.th*

(Received: 25 January 2022; Accepted: 31 May 2022)

Abstract: This research aimed to study the effect of vacuum cooling and ice cooling on physico-chemical quality and shelf life of Kailan. Study on ice cooling was conducted by using Kailan: ice ratio of 1 : 1 and vacuum cooling parameter was 6.5 mbar pressure for 20 min, compared with non-cooling Kailan. Vegetable was stored at a temperature of 8 ± 2 °C, 80 - 85 % relative humidity. It was found that cooled Kailan had fresh weight loss, vitamin C content, chlorophyll content and phenolic compounds content better than non-cooled vegetable, as a result the shelf life of Kailan was extended. Non-precooled, ice cooled and vacuum cooled Kailan had shelf life of 5.20 ± 0.18, 8.2 ± 0.18 and 8.0 ± 0.00 days, respectively. However, cooling method had no effect on the total soluble solids content, leaf color and antioxidant activity.

Keywords: Kailan, vacuum cooling, ice cooling, shelf life, weight loss

บทคัดย่อ: งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลของการลดอุณหภูมิโดยใช้น้ำแข็งและสุญญากาศต่อคุณภาพทางกายภาพ เคมี และอายุการเก็บรักษาของคะน้าฮ่องกง โดยศึกษาการลดอุณหภูมิแบบใช้น้ำแข็ง ในอัตราส่วนคะน้าฮ่องกง:น้ำแข็ง เท่ากับ 1 : 1 และการลดอุณหภูมิแบบสุญญากาศที่ความดัน 6.5 มิลลิบาร์ 20 นาที เปรียบเทียบกับคะน้าฮ่องกงที่ไม่ได้ผ่านการลดอุณหภูมิ เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 8 ± 2 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 80 - 85 เปอร์เซ็นต์ จากการศึกษา พบว่า คะน้าฮ่องกงที่ผ่านการลดอุณหภูมิช่วยลดการสูญเสียน้ำหนักสด ปริมาณวิตามินซี ปริมาณคลอโรฟิลล์ และปริมาณสารประกอบฟีนอลที่ดีกว่าคะน้าฮ่องกงที่ไม่ผ่านการลดอุณหภูมิ ส่งผลให้สามารถยืดอายุการเก็บรักษาคะน้าฮ่องกงได้ โดยคะน้าฮ่องกงที่ไม่ผ่านการลดอุณหภูมิ คะน้าฮ่องกงที่ผ่านการลดอุณหภูมิโดยใช้น้ำแข็ง และคะน้าฮ่องกงที่ผ่านการลดอุณหภูมิแบบสุญญากาศ มีอายุการเก็บรักษาที่ 5.20 ± 0.18, 8.2 ± 0.18 และ 8.0 ± 0.00 วัน ตามลำดับ อย่างไรก็ตาม การลดอุณหภูมิไม่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายน้ำได้ ค่าสีของใบ และกิจกรรมของสารต้านอนุมูลอิสระของคะน้าฮ่องกง

คำสำคัญ: คะน้าฮ่องกง การลดอุณหภูมิแบบสุญญากาศ การลดอุณหภูมิแบบใช้น้ำแข็ง อายุการเก็บรักษา การสูญเสียน้ำหนักสด

คำนำ

คะน้าฮ่องกง (Kailan) เป็นผักในวงศ์ Brassicaceae (Cruciferae) มีชื่อวิทยาศาสตร์ว่า *Brassica oleracea* L. var. *alboglabra* Bailey จัดอยู่ในกลุ่มพืชเมืองหนาว มีต้นกำเนิดสายพันธุ์จากประเทศจีน เกิดจากการผสมข้ามระหว่างบรอกโคลี (*Brassica oleracea* var. *italica*) ซึ่งมีกิ่งแขนงหรือหน่อข้าง และคะน้า (*Brassica oleracea* L. var. *alboglabra*) ซึ่งไม่มีหน่อข้าง เป็นผักบริโภคใบ ลักษณะลำต้นและใบมีสีเขียวเข้ม ใบมีลักษณะเรียวไม่กลม ลำต้นมีขนาดเล็กกว่าคะน้ายอดดอยคำ กรอบไม่เป็นเสี้ยน ดอกมีสีขาวหรือสีเหลือง (Chaimongkon, 2002) มีสารอาหารสูงเนื่องจากเป็นผักสีเขียว จึงมีวิตามินเอและซี สูงกว่าผักใบชนิดอื่น ๆ นิยมรับประทานส่วนยอดอ่อนที่ติดดอกตูม ก้านและลำต้นที่มีลักษณะอวบ (Yodphet, 1999) และได้รับความนิยมในการบริโภค ภายหลังการเก็บเกี่ยวคะน้าฮ่องกง การเปลี่ยนแปลงบางอย่างทั้งทางสรีรวิทยาและชีวเคมีทำให้คุณภาพของผลิตผลลด (Ketsa, 1985) โดยการเปลี่ยนแปลงภายหลังการเก็บเกี่ยวของคะน้าที่ส่งผลกระทบต่อคุณภาพคือ อาการเหี่ยว ใบเหลือง และนำไปสู่การเน่าเละของผลิตผล ซึ่งอาการเหล่านี้ มีสาเหตุจากผลิตผลเมื่อเก็บเกี่ยวจากแปลงมาแล้ว ยังคงมีชีวิตอยู่ การเปลี่ยนแปลงทางเมแทบอลิซึมต่าง ๆ ยังเกิดขึ้นตลอดเวลา เช่น กระบวนการหายใจและคายน้ำ เกิดเป็นความร้อนขึ้นในผลิตผล รวมทั้งอุณหภูมิ ความชื้น แสงแดด สภาพแปลงปลูก การปฏิบัติหลังการเก็บเกี่ยว การขนส่ง การบรรจุ การเก็บรักษาผลิตผลก่อนการจำหน่าย เชื้อจุลินทรีย์เป็นปัจจัยหนึ่งที่เร่งกระบวนการการเปลี่ยนแปลงการเสื่อมคุณภาพให้เร็วขึ้นสาเหตุเหล่านี้ชะลอได้ด้วยการทำให้ผลิตผลเย็นลง (Boonyakiat and Rattanapanone, 2005)

การลดอุณหภูมิโดยใช้น้ำแข็ง (ice cooling) เป็นการถ่ายเทความร้อนออกจากผลิตผลโดยใช้น้ำแข็งบดละเอียดใส่ลงไปในบรรจุภัณฑ์ร่วมกับผลิตผลเพื่อทำให้ผลิตผลเย็นลง การลดอุณหภูมิด้วยวิธีนี้ทำให้ผลิตผลเย็นลงอย่างช้า ๆ เนื่องจากพื้นที่สัมผัสระหว่างน้ำแข็งกับผลิตผลมีน้อย เพื่อลดข้อจำกัดอาจใช้น้ำผสมกับน้ำแข็งในอัตราส่วนที่เหมาะสมใส่ในบรรจุภัณฑ์ หากต้องการให้การลดอุณหภูมิมีประสิทธิภาพดีขึ้นจำเป็นต้องใช้ร่วมกับน้ำ เพื่อช่วยเพิ่มพื้นที่ตัวกลางสำหรับถ่ายเทความร้อน (Boonyakiat and Rattanapanone, 2005) ปัจจุบันยังใช้กันอยู่ในกลุ่มเกษตรกร ผู้ประกอบการที่ไม่มีระบบลดอุณหภูมิด้วยวิธีอื่น ๆ เหมาะที่จะใช้ในการขนส่งโดยรถยนต์ที่ไม่มีเครื่องทำความเย็น ใช้ในกรณีของพืชผักบางชนิดที่ต้องการบรรจุตั้งแต่อยู่ที่แหล่งปลูก โดยหลังการลด

อุณหภูมิแล้วถูกขนส่งทันที หรือเก็บรักษาไว้ในที่ที่มีอุณหภูมิต่ำต่อไป การบรรจุน้ำแข็งลงไป ทำให้ภายในบรรจุภัณฑ์มีความชื้นสูงและช่วยลดการสูญเสียของผลิตผล ในส่วนของข้อจำกัดของวิธีการนี้คือ ทำให้สามารถบรรจุผลิตผลได้น้อยลง เนื่องจากน้ำแข็งที่บรรจุร่วมกับผลิตผลทำให้มีน้ำหนักมากขึ้น ขนส่งผลิตผลได้น้อยลง นอกจากนี้ยังต้องเสียค่าใช้จ่ายเพิ่มขึ้นเพื่อจัดหาบรรจุภัณฑ์ที่กันน้ำได้ อีกทั้งน้ำที่เกิดจากการละลายของน้ำแข็งอาจทำให้ผลิตผลข้างเคียงเสียหายได้ (Poonlarp, 2016) การลดอุณหภูมิโดยใช้น้ำแข็งสามารถช่วยยืดอายุการเก็บรักษาของผลิตผลได้ยาวนานขึ้น ดังเช่นงานวิจัยของ Chuamuangphan and Boonyakiat (2008) ในบรอกโคลี การลดอุณหภูมิโดยใช้น้ำแข็งที่อัตราส่วน 1 : 1 (บรอกโคลี:น้ำแข็ง) ช่วยยืดอายุการเก็บรักษาได้นานถึง 6 วัน เมื่อเทียบกับบรอกโคลีที่ไม่ผ่านการลดอุณหภูมิมีอายุการเก็บรักษานาน 4 วัน และจากงานวิจัยของ Dirapan *et al.* (2021) บรอกโคลีที่ผ่านการลดอุณหภูมิโดยใช้น้ำแข็งที่อัตราส่วน 1 : 1 (บรอกโคลี : น้ำแข็ง) มีอายุการเก็บรักษานาน 12 วัน เมื่อเทียบกับบรอกโคลีที่ไม่ผ่านการลดอุณหภูมิมีอายุการเก็บรักษานาน 5 วัน

การลดอุณหภูมิแบบสุญญากาศ (vacuum cooling) ใช้หลักของการระเหยน้ำให้กลายเป็นไออย่างรวดเร็วที่อุณหภูมิต่ำภายใต้สภาวะสุญญากาศ ซึ่งเป็นสภาวะที่ความดันต่ำกว่าความดันบรรยากาศ ภายใต้สภาวะสุญญากาศน้ำที่ผิวหรือภายในผลิตผลจะระเหยกลายเป็นไอที่อุณหภูมิต่ำ โดยใช้ความร้อนแฝงของการกลายเป็นไอ ความร้อนแฝงนี้ถ่ายเทพลังงานระหว่างผลิตผลกับน้ำในผลิตผล ส่งผลให้น้ำเปลี่ยนสถานะทำให้ผลิตผลมีอุณหภูมิลดลงอย่างรวดเร็ว (Kamon *et al.*, 2013) นิยมใช้กับผลิตผลจำพวกผักใบ (McDonald and Sun, 2000; Sullivan *et al.*, 1996; Tambunan *et al.*, 1994; Turk and Celik, 1993) ข้อดีของวิธีการนี้เป็นวิธีการลดอุณหภูมิที่รวดเร็วและอุณหภูมิสม่ำเสมอทั้งภายในและภายนอกผลิตผล (Barger, 1961; Noble, 1985; Zheng and Sun, 2004) ช่วยยืดอายุการวางจำหน่าย และลดอัตราการสูญเสียน้ำหนักสดของผลิตผลลงได้ (Aharoni and Yehosua, 1973; Artes and Martinez,1996; Barger, 1961) รักษาคุณภาพผลิตผลไม่ให้รับความกระทบกระเทือนในขณะลดอุณหภูมิ เป็นวิธีที่สะอาดที่สุด เป็นกระบวนการที่มีความต่อเนื่องใช้ระยะเวลาสั้นกว่าวิธีอื่น ๆ สามารถใช้ลดอุณหภูมิผลิตผลในปริมาณมาก ๆ (Zheng and Sun, 2004) อีกทั้งยังเป็นการกำจัดน้ำส่วนเกินที่ไม่ต้องการซึ่งติดอยู่บริเวณผิวของผลิตผล เพื่อป้องกันการเจริญของเชื้อจุลินทรีย์ได้ (Sun and Zheng, 2006) จากงานวิจัยของ Kaewmaninobphachot (2013) ศึกษาการลดอุณหภูมิแบบสุญญากาศของคะน้าฮ่องกง ที่มีอุณหภูมิเริ่มต้น 20 - 25 องศาเซลเซียส ให้มีอุณหภูมิสุดท้ายที่ 4 ± 1 องศาเซลเซียส กำหนดความดันสุดท้ายภายในห้องลดอุณหภูมิเป็น 6.0 มิลลิบาร์ และมีระยะเวลาที่ผลิตผลอยู่ภายใต้ความดันที่กำหนดเท่ากับ 5 นาที พบว่า คะน้าฮ่องกงที่ลดอุณหภูมิและการใช้บรรจุภัณฑ์ที่เหมาะสมมีอายุการเก็บรักษานาน 13 วัน เมื่อเทียบกับคะน้าฮ่องกงที่ไม่ผ่านการลดอุณหภูมิที่มีอายุการเก็บรักษานาน 4 วัน และการลดอุณหภูมิแบบสุญญากาศในผักกาดฮ่องเต้ (Chinnapun, 2009) ผักกาดขาวปลี (Kamon, 2013) ผักกาดหวาน (Panyakham, 2011) และบรอกโคลี (Dirapan *et al.*, 2021) ช่วยยืดอายุในการเก็บรักษาของผลิตผลได้นานกว่าผลิตผลที่ไม่ผ่านการลดอุณหภูมิ จากงานวิจัยของ Kaewmaninobphachot (2013) ได้ทำการศึกษาผลของการลดอุณหภูมิแบบสุญญากาศร่วมกับบรรจุภัณฑ์แอคทีฟในคะน้าฮ่องกง โดยไม่มีการเปรียบเทียบกับผลของการลดอุณหภูมิโดยใช้น้ำแข็ง งานวิจัยของ Chuamuangphan and Boonyakiat (2008) ได้ทำการศึกษาผลการลดอุณหภูมิโดยใช้น้ำแข็งในบรอกโคลี โดยไม่มีการเปรียบเทียบกับผลของการลดอุณหภูมิสุญญากาศ และงานวิจัยของ Dirapan *et al.* (2021) ได้ทำการศึกษาผลของการลดอุณหภูมิโดยใช้น้ำแข็งและแบบสุญญากาศต่อคุณภาพของบรอกโคลี่ ซึ่งยังไม่มีการศึกษาเปรียบเทียบคุณภาพของคะน้าฮ่องกงที่ลดอุณหภูมิโดยการใช้น้ำแข็งและแบบสุญญากาศ ดังนั้น ในการศึกษานี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลของการลดอุณหภูมิโดยใช้น้ำแข็งและแบบสุญญากาศต่อคุณภาพ และอายุการเก็บรักษาของคะน้าฮ่องกง

อุปกรณ์และวิธีการ

นำคะน้าฮ่องกง พันธุ์โอเชี่ยน ที่เก็บเกี่ยวในระยะความแก่ทางการค้าจากแปลงเกษตรกรของศูนย์พัฒนาโครงการหลวงห้วยเสี้ยว อำเภอหางดง จังหวัดเชียงใหม่ ขนส่งโดยรถบรรทุกธรรมดามายังศูนย์ผลิตผลโครงการหลวง ตำบลแม่เหียะ อำเภอเมือง จังหวัดเชียงใหม่ ตัดแต่งให้อยู่ในสภาพที่ใช้ในการวางจำหน่าย บรรจุลงในถุงพอลิเอทิลีนเจาะรูขนาด 25.40 × 40.64 เซนติเมตร ปริมาณน้ำหนักบรรจุ 250 - 300 กรัมต่อถุง และลดอุณหภูมิตามสภาวะที่เหมาะสมจากการลดอุณหภูมิแบบใช้น้ำแข็ง ในอัตราส่วนคะน้าฮ่องกง:น้ำแข็ง เท่ากับ 1 : 1 อุณหภูมิสุดท้ายของคะน้าฮ่องกงเฉลี่ยเท่ากับ 4.30 องศาเซลเซียส และแบบสุญญากาศที่ความดัน 6.5 มิลลิบาร์ 20 นาที อุณหภูมิสุดท้ายของคะน้าฮ่องกงเฉลี่ยเท่ากับ 3.90 องศาเซลเซียส เปรียบเทียบกับคะน้าฮ่องกงที่ไม่ได้ผ่านการลดอุณหภูมิ อุณหภูมิสุดท้ายของคะน้าฮ่องกงเฉลี่ยเท่ากับ 20.00 องศาเซลเซียส ตามลำดับ จากนั้นนำคะน้าฮ่องกงมาเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 8 ± 2 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 80 - 85 เปอร์เซ็นต์ แล้ววิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงคุณภาพทางกายภาพและเคมี ทุกวันจนหมดอายุการเก็บรักษา โดยบันทึกผลการทดลอง ดังนี้ การสูญเสียน้ำหนักสด (Tao *et al.*, 2006) ปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายน้ำได้ ค่าสีของใบ (McGuire, 1992) ปริมาณคลอโรฟิลล์ (Witham *et al.*, 1971) ปริมาณวิตามินซี (Ranganna, 1986) กิจกรรมของสารต้านอนุมูลอิสระ (Manthey, 2004) และปริมาณสารประกอบฟีนอล (Sellappan *et al.*, 2002) โดยวางแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ (completely randomized design: CRD) จำนวน 3 ซ้ำ ซ้ำละ 1 ถุง นำข้อมูลผลการทดลองที่ได้มาวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติโดยหาค่าเฉลี่ย ค่าแสดงความผิดพลาด; Mean ± S.E. และค่า least significant difference ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์

ผลการศึกษาและวิจารณ์

การสูญเสียน้ำหนักสด

คะน้าฮ่องกงที่ไม่ผ่านการลดอุณหภูมิมีการสูญเสียน้ำหนักสดซึ่งความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ กับคะน้าฮ่องกงที่ผ่านการลดอุณหภูมิโดยการใช้น้ำแข็งและแบบสุญญากาศ โดยคะน้าฮ่องกงที่ไม่ผ่านการลดอุณหภูมิ ซึ่งมีการสูญเสียน้ำหนักเท่ากับ 4.96 ± 0.28 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งมีค่ามากกว่าคะน้าฮ่องกงที่ผ่านการลดอุณหภูมิโดยการใช้น้ำแข็ง และแบบสุญญากาศ ที่มีการสูญเสียน้ำหนักเท่ากับ 3.39 ± 0.34 และ 2.83 ± 0.17 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ (Table 1) และในทุกการทดลองมีแนวโน้มของเปอร์เซ็นต์การสูญเสียน้ำหนักที่เพิ่มขึ้นตลอดอายุการเก็บรักษา เนื่องจากเมื่อเก็บเกี่ยวผลิตผลออกจากแปลง ผลิตผลถูกตัดขาดจากแหล่งน้ำที่เคยได้รับจากราก แต่การสูญเสียน้ำของผลิตผลยังคงเกิดขึ้นตลอดเวลา (Boonyakiat, 1997) โดยการสูญเสียน้ำหนักของผลิตผลมีผลต่อความสด และลักษณะปรากฏภายนอกของผลิตผลอีกด้วย (Roura *et al.,* 2000) ทั้งนี้การลดอุณหภูมิแบบสุญญากาศเป็นการลดอุณหภูมิผลิตผลอย่างรวดเร็วก่อนนำมาเก็บรักษาจึงช่วยลดการสูญเสียน้ำของผลิตผลสด (Boyette *et al.,* 1990) ส่วนการลดอุณหภูมิโดยใช้น้ำแข็ง เมื่อน้ำแข็งที่บรรจุลงไปละลายทำให้อุณหภูมิภายในภาชนะบรรจุลดลงและมีความชื้นสูง ช่วยลดการสูญเสียน้ำของผลิตผลได้ (Boonyakiat, 2013)

ปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายน้ำได้

ปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายน้ำได้ของคะน้าฮ่องกงที่ไม่ผ่านการลดอุณหภูมิ ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ กับคะน้าฮ่องกงที่ผ่านการลดอุณหภูมิโดยการใช้น้ำแข็ง และแบบสุญญากาศ ซึ่งมีค่าเท่ากับ 5.43 ± 0.19, 5.37 ± 0.10 และ 5.30 ± 0.05 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ (Table 1) ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Turk and Celik (1993) ซึ่งเป็นการศึกษาการลดอุณหภูมิเฉียบพลันด้วยระบบสุญญากาศต่อคุณภาพของ

ผักกาดหอมห่อ พบว่าการลดอุณหภูมิไม่มีผลต่อปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายได้ของผักกาดหอมห่อ

ค่าสีของใบ

คะน้าฮ่องกงที่ไม่ผ่านการลดอุณหภูมิมีค่าสีของใบ L*, chroma และ hue angle ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ กับคะน้าฮ่องกงที่ผ่านการลดอุณหภูมิโดยการใช้น้ำแข็ง และคะน้าฮ่องกงที่ผ่านการลดอุณหภูมิแบบสุญญากาศ มีค่า L* เท่ากับ 48.32 ± 1.12, 46.04 ± 0.40 และ 48.09 ± 0.85 ตามลำดับ (Table 2) เช่นเดียวกับงานวิจัยของ Chinnapun (2009) ทำการทดลองลดอุณหภูมิโดยใช้ระบบสุญญากาศในผักกาดฮ่องเต้ พบว่า การลดอุณหภูมิไม่มีผลต่อค่า L*ของผักกาด-ฮ่องเต้ที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5 ± 2 องศาเซลเซียส นาน 4 วัน

ค่า chroma ของคะน้าฮ่องกงที่ไม่ผ่านการลดอุณหภูมิ คะน้าฮ่องกงที่ผ่านการลดอุณหภูมิโดยการใช้น้ำแข็ง และคะน้าฮ่องกงที่ผ่านการลดอุณหภูมิแบบสุญญากาศ เท่ากับ 16.65 ± 0.70, 12.31 ± 0.28 และ 14.91 ± 0.22 ตามลำดับ (Table 2) และในส่วนค่า hue angle พบว่า คะน้าฮ่องกงที่ไม่ผ่านการลดอุณหภูมิ คะน้าฮ่องกงที่ผ่านการลดอุณหภูมิโดยการใช้น้ำแข็ง และคะน้าฮ่องกงที่ผ่านการลดอุณหภูมิแบบสุญญากาศ เท่ากับ 127.20 ± 0.85, 129.42 ± 0.27 และ 129.52 ± 0.44 ตามลำดับ (Table 2) ทั้งนี้ ค่า hue angle เป็นค่าที่แสดงถึงมุมในการตกกระทบของค่าสีของวัตถุ โดยค่า hue angle ที่ตกกระทบในช่วง 90 - 135 องศาเซลเซียส จะแสดงค่าสีเหลืองถึงสีเขียว จากการทดลองคะน้าฮ่องกงแสดงอาการเหลืองที่ก้านใบและใบเปลี่ยนจากสีเขียวเป็นสีเหลืองตามอายุการเก็บรักษาที่นานขึ้น พบว่า ค่า L* และค่า chroma มีแนวโน้ม

Table 1. Effects of cooling method on weight loss and total soluble solids of Kailan stored at 8 ± 2 °C for 5 days

Method	Weight loss (%)	Total soluble solids (%)
Control	4.96 ± 0.28a	5.43 ± 0.19
Ice cooling	3.39 ± 0.34b	5.37 ± 0.10
Vacuum cooling	2.83 ± 0.17b	5.30 ± 0.05
F-test $_{(P=0.05)}$	*	ns
CV (%)	22.46	4.99

Different letters in the same column denote significant differences at P = 0.05, ns = non-significant

Table 2. Effects of cooling method on leaf color of Kailan stored at 8 ± 2 °C for 5 days

Method	Leaf color		
	L*	Chroma	Hue angle
Control	48.32 ± 1.12	16.65 ± 0.70	127.20 ± 0.85
Ice Cooling	46.04 ± 0.40	12.31 ± 0.28	129.42 ± 0.27
Vacuum Cooling	48.09 ± 0.85	14.91 ± 0.22	129.52 ± 0.44
F-test $_{(P=0.05)}$	ns	ns	ns
CV (%)	6.26	24.43	1.58

ns = non-significant

ที่เพิ่มมากขึ้น และค่า hue angle มีแนวโน้มที่ลดลงตลอดอายุการเก็บรักษา ซึ่งสอดคล้องกับการทดลองของ Chuamuangphan and Boonyakiat (2008) ที่ศึกษาการลดอุณหภูมิโดยใช้น้ำแข็งในบรอกโคลีเปรียบเทียบกับบรอกโคลีที่ไม่ผ่านการลดอุณหภูมิแล้วเก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิ 8 ± 2 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 4 วัน และสอดคล้องกับการทดลองของ Kaewmaninobphachot (2013) ที่ศึกษาการลดอุณหภูมิคะน้าฮ่องกงแบบสุญญากาศเปรียบเทียบกับคะน้าฮ่องกงที่ไม่ผ่านการลดอุณหภูมิแล้วเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 ± 1 องศาเซลเซียส นาน 3 วัน

ปริมาณคลอโรฟิลล์

ปริมาณคลอโรฟิลล์ เอและปริมาณคลอโรฟิลล์ทั้งหมดของคะน้าฮ่องกงที่ผ่านการลดอุณหภูมิโดยการใช้น้ำแข็งมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ กับคะน้าฮ่องกงที่ผ่านการลดอุณหภูมิแบบสุญญากาศและคะน้าฮ่องกงที่ไม่ผ่านการลดอุณหภูมิ มีปริมาณคลอโรฟิลล์ เอ เท่ากับ 0.24 ± 0.01, 0.20 ± 0.01 และ 0.19 ± 0.01 mg/100 g FW ตามลำดับ และมีปริมาณคลอโรฟิลล์ทั้งหมด เท่ากับ 0.33 ± 0.01, 0.28 ± 0.01 และ 0.26 ± 0.01 mg/100 g FW ตามลำดับ (Table 3) สอดคล้องกับการทดลองของ Chuamuangphan and Boonyakiat (2008) ซึ่งรายงานว่า บรอกโคลีที่ผ่านการลดอุณหภูมิโดยใช้น้ำแข็งในอัตราส่วนบรอกโคลีต่อน้ำแข็ง 1 : 1 เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 8 ± 2 องศาเซลเซียส นาน 6 วัน มีปริมาณคลอโรฟิลล์ เอ และปริมาณคลอโรฟิลล์รวมมากที่สุด การลดอุณหภูมิด้วยน้ำแข็งส่งผลให้ผลิตผลอยู่ในสภาวะอุณหภูมิต่ำสามารถช่วยชะลอการเสื่อมสภาพและรักษาปริมาณคลอโรฟิลล์ของผลิตผลได้ (Roura *et al.*, 2000) และในส่วนของปริมาณคลอโรฟิลล์ บี พบว่า คะน้าฮ่องกงที่ไม่ผ่านการลดอุณหภูมิ คะน้าฮ่องกงที่ผ่านการลดอุณหภูมิโดยการใช้น้ำแข็งและคะน้าฮ่องกงที่ผ่านการลดอุณหภูมิแบบสุญญากาศ มีปริมาณคลอโรฟิลล์ บี ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ คือมีปริมาณคลอโรฟิลล์ บี เท่ากับ 0.08 ± 0.01, 0.09 ± 0.00 และ 0.08 ± 0.00 mg/100 g FW ตามลำดับ (Table 3) จากการทดลองพบว่า การลดอุณหภูมิแบบสุญญากาศไม่มีผลต่อปริมาณคลอโรฟิลล์ เมื่อเทียบกับคะน้าฮ่องกงที่ไม่ผ่านการลดอุณหภูมิ ซึ่งสอดคล้องกับการทดลองของ Hemrattrakun (2009) ที่รายงานการลดอุณหภูมิแบบสุญญากาศไม่มีผลต่อปริมาณคลอโรฟิลล์ของปวยเหล็ง

Table 3. Effects of cooling method on chlorophyll content of Kailan stored at 8 ± 2 °C for 5 days

Method	Chlorophyll content (mg/100 g FW)		
	Chlorophyll a	Chlorophyll b	Total chlorophyll
Control	0.19 ± 0.01b	0.08 ± 0.01	0.26 ± 0.01b
Ice Cooling	0.24 ± 0.01a	0.09 ± 0.00	0.33 ± 0.01a
Vacuum Cooling	0.20 ± 0.01b	0.08 ± 0.00	0.28 ± 0.01b
F-test $_{(P=0.05)}$	*	ns	*
CV (%)	8.20	11.90	8.70

Different letters in the same column denote significant differences at P = 0.05, ns = non-significant

ปริมาณวิตามินซี

คะน้าฮ่องกงที่ผ่านการลดอุณหภูมิโดยการใช้น้ำแข็งและคะน้าฮ่องกงที่ผ่านการลดอุณหภูมิแบบสุญญากาศ มีปริมาณวิตามินซีแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ กับปริมาณวิตามินซีของคะน้าฮ่องกงที่ไม่ผ่านการลดอุณหภูมิ โดยคะน้าฮ่องกงที่ผ่านการลดอุณหภูมิโดยการใช้น้ำแข็ง คะน้าฮ่องกงที่ผ่านการลดอุณหภูมิแบบสุญญากาศ และคะน้าฮ่องกงที่ไม่ผ่านการลดอุณหภูมิ มีปริมาณวิตามินซี เท่ากับ 47.32 ± 0.82, 46.31 ± 0.82 และ 37.58 ± 0.55 mg/100g FW ตามลำดับ (Table 4) อุณหภูมิเป็นปัจจัยที่สำคัญในการรักษาปริมาณวิตามินซีในผัก อุณหภูมิที่สูงเร่งให้เกิดการสูญเสียวิตามินซีอย่างรวดเร็ว (Lee and Kader, 2000) ดังนั้น คะน้าฮ่องกงที่ผ่านการลดอุณหภูมิมีปริมาณวิตามินซีสูงกว่าคะน้าฮ่องกงที่ไม่ผ่านการลดอุณหภูมิ และในสภาวะที่มีการสูญเสียน้ำภายหลังการเก็บเกี่ยวทำให้ปริมาณวิตามินซี ลดลงอย่างเร็ว โดยเฉพาะอย่างยิ่งในผักที่บริโภคใบ (Lee and Kader, 2000) การสูญเสียน้ำในระหว่างการเก็บรักษายังทำให้ผลิตผลสูญเสียวิตามินซีได้มากขึ้น เมื่อเก็บรักษานานขึ้น (Kays,1991; Siriphanich, 2001)

กิจกรรมของสารต้านอนุมูลอิสระและปริมาณสารประกอบฟีนอล

คะน้าฮ่องกงที่ไม่ผ่านการลดอุณหภูมิ คะน้าฮ่องกงที่ผ่านการลดอุณหภูมิโดยการใช้น้ำแข็งและคะน้าฮ่องกงที่ผ่านการลดอุณหภูมิแบบสุญญากาศ มีกิจกรรมของสารต้านอนุมูลอิสระไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ โดยคะน้าฮ่องกงที่ผ่านการลดอุณหภูมิโดยการใช้น้ำแข็ง คะน้าฮ่องกงที่ผ่านการลดอุณหภูมิแบบสุญญากาศ และคะน้าฮ่องกงที่ไม่ผ่านการลดอุณหภูมิ มีกิจกรรมของสารต้านอนุมูล-อิสระ 368.92 ± 9.21, 299.45 ± 22.98 และ 301.98 ± 35.52 µg Trolox/g FW ตามลำดับ (Table 4) ซึ่งสอดคล้องกับการทดลองของ Kaewmaninobphachot (2013) ที่รายงานว่า คะน้าฮ่องกงที่ผ่านการลดอุณหภูมิแบบสุญญากาศร่วมกับการใช้บรรจุภัณฑ์ ปัจจัยด้านการลดอุณหภูมิไม่มีผลต่อกิจกรรมสารต้านอนุมูลอิสระ

สำหรับปริมาณสารประกอบฟีนอลคะน้า-ฮ่องกงที่ผ่านการลดอุณหภูมิแบบสุญญากาศ มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ กับคะน้าฮ่องกงที่ผ่านการลดอุณหภูมิโดยการใช้น้ำแข็งและคะน้าฮ่องกงที่ไม่ผ่านการลดอุณหภูมิ โดยคะน้าฮ่องกงที่ผ่านการลดอุณหภูมิแบบสุญญากาศ คะน้าฮ่องกงที่ผ่านการลดอุณหภูมิโดยการใช้น้ำแข็งและคะน้าฮ่องกงที่ไม่ผ่าน

Table 4. Effects of cooling method on vitamin C content, antioxidant activity and phenolic compound content of Kailan stored at 8 ± 2 °C for 5 days

Method	Vitamin C (mg/100g FW)	Antioxidant activity (µg Trolox/g FW)	Phenolic compound (µg GAE/g FW)
Control	37.58 ± 0.55b	301.98 ± 35.52	13.16 ± 0.54a
Ice Cooling	47.32 ± 0.82a	368.92 ± 9.21	13.39 ± 1.15a
Vacuum Cooling	46.31 ± 0.82a	299.45 ± 22.98	10.35 ± 0.41b
F-test $_{(P=0.05)}$	*	ns	*
CV (%)	3.59	13.38	10.84

Different letters in the same column denote significant differences at P = 0.05, ns = non-significant

การลดอุณหภูมิ มีปริมาณสารประกอบฟีนอล 10.35 ± 0.41, 13.39 ± 1.15 และ 13.16 ± 0.54 µg GAE/g FW ตามลำดับ (Table 4) จากการทดลองพบว่า การลดอุณหภูมิแบบสุญญากาศของคะน้าฮ่องกงทำให้สารประกอบฟีนอลลดลงต่ำสุด เมื่อเปรียบเทียบกับกรรมวิธีอื่น ๆ ซึ่งสอดคล้องกับการทดลองของ Dirapan *et al.* (2021) ที่รายงานว่า บรอคโคลี่ที่ผ่านการลดอุณหภูมิแบบสุญญากาศมีปริมาณสารประกอบฟีนอลต่ำกว่าบรอกโคลีที่ผ่านการลดอุณหภูมิโดยใช้น้ำแข็ง เมื่อพิจารณาจากผลการทดลองจะเห็นว่าคะน้าฮ่องกงที่ผ่านการลดอุณหภูมิโดยการใช้น้ำแข็งมีกิจกรรมของสารต้านอนุมูลอิสระและปริมาณสารประกอบฟีนอลสูงที่สุด และคะน้าฮ่องกงที่ผ่านการลดอุณหภูมิแบบสุญญากาศมีกิจกรรมของสารต้านอนุมูลอิสระและปริมาณสารประกอบฟีนอลต่ำที่สุด เมื่อเทียบกับคะน้าฮ่องกงที่ไม่ผ่านการลดอุณหภูมิ แม้กิจกรรมของสารต้านอนุมูลอิสระของแต่ละกรรมวิธีไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ แต่มีความสอดคล้องกับปริมาณสารประกอบฟีนอล จะเห็นได้ว่าสารประกอบฟีนอลเป็นสารที่สนับสนุนสารต้านอนุมูลอิสระ เมื่อปริมาณสารประกอบฟีนอลสูงจึงทำให้กิจกรรมของสารต้านอนุมูลอิสระสูงด้วย (Chinnapun, 2009)

อายุการเก็บรักษา

การประเมินการอายุการเก็บรักษาของคะน้าฮ่องกง ใช้เกณฑ์การประเมินลักษณะปรากฏในด้านการยอมรับคุณภาพโดยรวมของ Hedonic scale โดยกำหนดให้คะน้าฮ่องกงหมดอายุการเก็บรักษา เมื่อมีระดับคะแนนต่ำกว่า 5 คะแนนจาก 9 คะแนน ซึ่งบ่งบอกว่าผู้ประเมินเริ่มไม่ยอมรับในผลิตผลนั้นๆ โดยที่คะน้าฮ่องกงที่ไม่ผ่านการลดอุณหภูมิมีคะแนนคุณภาพการยอมรับโดยรวมอยู่ในระดับที่ผู้บริโภคไม่ยอมรับเร็วกว่าคะน้าฮ่องกงที่ผ่านการลดอุณหภูมิโดยใช้น้ำแข็งและแบบสุญญากาศ คะน้าฮ่องกงที่ไม่ผ่านการลดอุณหภูมิมีอายุการเก็บรักษา 5.20 ± 0.18 วัน ในขณะที่คะน้าฮ่องกงที่ผ่านการลดอุณหภูมิโดยใช้น้ำแข็ง และคะน้าฮ่องกงที่ผ่านการลดอุณหภูมิแบบสุญญากาศ มีอายุการเก็บรักษาที่ 8.2 ± 0.18 และ 8.0 ± 0.00 วัน ตามลำดับ (Table 5) จากการทดลองพบว่า คะน้าฮ่องกงที่ผ่านการลดอุณหภูมิโดยใช้น้ำแข็งและแบบสุญญากาศมีการสูญเสียน้ำหนักน้อยกว่าคะน้าฮ่องกงที่ไม่ผ่านการลดอุณหภูมิ ส่งผลให้คะน้าฮ่องกงที่ผ่านการลดอุณหภูมิมีอายุการเก็บรักษานานกว่าคะน้าฮ่องกงที่ไม่ผ่านการลดอุณหภูมิ โดยปกติผลิตผลผักสดมีน้ำเป็นองค์ประกอบ 80 - 90 เปอร์เซ็นต์ ทำให้ผลิตผลหลังเก็บเกี่ยว การสูญเสียน้ำจะเกิดขึ้นตลอดเวลา ส่งผลให้เกิดการเหี่ยวและการเปลี่ยนแปลงสีของลำต้น ใบ ดอก และยอดของผลิตผล การสูญเสียน้ำจึงมีความสัมพันธ์ต่ออายุการเก็บรักษาที่สั้นของผลิตผล (Boonyakiat, 1997; Kamon *et al.*, 2013) การลดอุณหภูมิผลิตผลภายหลังการเก็บเกี่ยว เป็นวิธีการหนึ่งที่ช่วยลดการสูญเสียน้ำของผลิตผลสดได้ รักษาปริมาณของวิตามินซี หากปฏิบัติช้าจะส่งผลให้คุณภาพ และอายุการเก็บรักษาของผลิตผลลดลง (Boyette *et al.,* 1990; Paull, 1999)

Table 5. Shelf life of Kailan stored at 8 ± 2 °C

Method	Shelf life (Days)
Control	5.20 ± 0.18b
Ice cooling	8.20 ± 0.18a
Vacuum cooling	8.00 ± 0.00a
F-test $_{(P=0.05)}$	*
CV (%)	5.12

Different letters in the same column denote significant differences at P = 0.05

สรุป

คะน้าฮ่องกงที่ผ่านการลดอุณหภูมิโดยใช้น้ำแข็งและสุญญากาศมีคุณภาพทางกายภาพและเคมีดีกว่าคะน้าฮ่องกงที่ไม่ผ่านการลดอุณหภูมิ โดยเฉพาะการสูญเสียน้ำหนักและปริมาณวิตามินซี การสูญเสียน้ำหนักที่น้อยกว่าของคะน้าฮ่องกงที่ผ่านการลดอุณหภูมิทั้งสองวิธี ส่งผลให้ผักมีอายุการเก็บรักษาที่นานกว่าและมีคุณค่าทางอาหาร คือมีปริมาณวิตามินซีมากกว่าผักที่ไม่ผ่านการลดอุณหภูมิ

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณศูนย์นวัตกรรมเทคโนโลยีหลังการเก็บเกี่ยวที่ให้การสนับสนุนทุนการศึกษาวิจัย และศูนย์ผลิตผลโครงการหลวง ตำบลแม่เหียะ อำเภอเมือง จังหวัดเชียงใหม่ ที่อนุญาตให้ใช้เครื่องลดอุณหภูมิแบบสุญญากาศ

เอกสารอ้างอิง

Aharoni, N. and B. Yehosua. 1973. Delaying deterioration of romaine lettuce by vacuum cooling and modified atmosphere produced in polyethylene packages. Journal of American Society for Horticultural Science 98: 464-468.

Artes, F. and J.A. Martinez. 1996. Influence of packaging treatments on the keeping quality of 'Salinas' lettuce. LWT-Food Science and Technology 29(7): 664-668.

Barger, W.R. 1961. Factors affecting temperature reduction and weight-loss in vacuum-cooled lettuce. Marketing Research Report No. 469. United States Department of Agriculture, Washington, D.C. 20 p.

Boonyakiat, D. 1997. Postharvest Physiology of Horticultural Crops. Faculty of Agriculture, Chiang Mai University, Chiang Mai. 222 p. (in Thai)

Boonyakiat, D. 2013. Postharvest Physiology of Horticultural Crops. Odien Store, Bangkok. 360 p. (in Thai)

Boonyakiat, D. and N. Rattanapanone. 2005. Handling Postharvest of Vegetables and Fruits. Odien Store, Bangkok. 236 p. (in Thai)

Boyette, M.D., L.G. Wilson and E.A. Estes. 1990. Postharvest cooling and handling of sweet corn. North Carolina Agricultural Extension Service, North Carolina State University, Raleigh. 4 p.

Chaimongkon, N. 2002. Chinese kale. (Online). Available: https://vegetweb.com/wp-content /download/Kale.pdf (July 26, 2018). (in Thai)

Chinnapun, V. 2009. Optimal vacuum cooling process of Pak Choi (*Brassica chinensis*). M.S. Thesis. Chiang Mai University, Chiang Mai. 175 p. (in Thai)

Chuamuangphan, C. and D. Boonyakiat. 2008. Effects of harvesting maturity and icing on broccoli shelf life extension. Research report. Royal Project Foundation, Chiang Mai. 100 p. (in Thai)

Dirapan, P., D. Boonyakiat and P. Poonlarp. 2021. Improving Shelf Life, maintaining quality, and delaying microbial growth of broccoli in supply chain using commercial vacuum cooling and package icing. Horticulturae 7(11): 56, doi: 10.3390/horticulturae7110506.

Kaewmaninobphachot, T. 2013. Effects of vacuum cooling combined with active packaging on postharvest quality of Chinese kale (*Brassica oleracea* L. var. *alboglabra* Bailey). M.S. Thesis. Chiang Mai University, Chiang Mai. 178 p. (in Thai)

Kamon, N., D. Boonyakiat and P. Poonlarp. 2013. Effect of vacuum cooling on postharvest quality of Chinese cabbage. Khon Kaen Agriculture Journal 41(3): 247-256. (in Thai)

Kays, S.J. 1991. Postharvest Physiology of Perishable Plant Products. Van Nostrand Reinhold, New York. 532 p.

Ketsa, S. 1985. Postharvest Physiology and Technology of Vegetables and Fruits. Department of Horticulture, Faculty of Agriculture, Kasetsart University, Bangkok. 364 p. (in Thai)

Lee, S.K. and A.A. Kader. 2000. Preharvest and postharvet factors influencing vitamin C content of horticultural crops. Postharvest Biololgy and Technology 20(3): 207-220.

Manthey, J.A. 2004. Fractionation of orange peel phenols in ultrafiltered molasses and mass balance studies of their antioxidant levels. Journal of Agricultural and Food Chemistry 52(25): 7586-7592.

McDonald, K. and D.W. Sun. 2000. Vacuum cooling technology for the food processing industry: A review. Journal of Food Engineering 45(2): 55-65.

McGuire, R.G. 1992. Reporting of objective color measurements. HortScience 27(12): 1254-1255.

Noble, R. 1985. A review of vacuum cooling of mushrooms. Mushroom Journal 149: 168-170.

Panyakham, T. 2011. Postharvest quality of vacuum cooled Cos lettuce. M.S. Thesis. Chiang Mai University, Chiang Mai. 96 p. (in Thai)

Paull, R.E. 1999. Effect of temperature and relative humidity on fresh commodity quality. Postharvest Biology and Technology 15(3): 263-277.

Poonlarp, P. 2016. Precooling of Fruits and Vegetables to Extend Shelf Life. Nopburee Press, Chiang Mai. 147 p. (in Thai)

Ranganna, S. 1986. Handbook of Analysis and Quality Control for Fruit and Vegetable Products. 2nd ed. Tata McGraw Hill Publishing Company Limited, New Delhi. 1112 p.

Roura, S.I., L.A. Davidivoch and C.E. del Valle. 2000. Quality loss in minimally processed Swiss chard related to amount of damaged area. LWT-Food Science and Technology 33(1): 53-59.

Sellappan, S., C.C. Akoh and G. Krewer. 2002. Phenolic compounds and antioxidant capacity of Georgia-grown blueberries and blackberries. Journal of Agricultural and Food Chemistry 50(8): 2432-2438.

Siriphanich, J. 2001. Postharvest Physiology of Vegetables and Fruits. 4th ed. Kasetsart University Press, Bangkok. 396 p. (in Thai)

Sullivan, G.H., L.R. Davenport and J.W. Julian. 1996. Precooling: key factor for assuring quality in new fresh market vegetable crops. pp. 521-524 *In*: J. Janick (ed.). Progress in New Crops. ASHS Press, Arlington Virginia.

Sun, D.W. and L. Zheng. 2006. Vacuum cooling technology for the agri-food Industry: Past, present and future. Journal Food Engineering 77(2): 203-214.

Tambunan, A.H., Y. Sagara., Y. Seo., H. Morishima and Y. Kawagoe. 1994. Developments in Food Engineering: Measurement of evaporative coefficient of water during vacuum cooling of lettuce. Chapman and Hall, London. 1117 p.

Tao, F., M. Zhang, H. Yu and J. Sun. 2006. Effects of different storage conditions on chemical and physical properties of white mushrooms after vacuum cooling. Journal of Food Engineering 77(3): 545-549.

Turk, R. and E. Celik. 1993. The effect of vacuum precooling on the half cooling period and quality characteristic of Iceberg lettuce. Acta Horticulturae 343: 321-324.

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

Yodphet, C. 1999. Cruciferous Crops. 2nd ed. Roa Khiao, Bangkok. 195 p. (in Thai)

Zheng, L. and D.W. Sun. 2004. Vacuum cooling for the food industry – A review of recent research advances. Trends in Food Science and Technology 15(12): 555-568.

ผลผลิตและคุณภาพการบริโภคของสายพันธุ์มะเขือเทศเชอร์รีลูกผสมชั่วที่ 1 ที่ปลูกภายใต้โรงเรือนพลาสติกตาข่ายและโรงเรือนระบบปิด

Fruit Yield and Consumption Quality of F_1 Hybrids Cherry Tomato Grown Under Plastic-Net House and Evaporative Cooling Greenhouse

จันทร์สุดา โหมดนอก[1] ณัฐริกา บดีรัฐ[1] ธนิดา ถาน้อย[1] จุฑามาศ คุ้มชัย[1] พัชราภรณ์ สุวอ[2] ธัญญารัตน์ ตาอินต๊ะ[3] สุชีลา เตชะวงค์เสถียร[3] และ นครินทร์ จี้อาทิตย์[1*]

Junsuda Modnok[1], Nattarika Bodeerat[1], Thanida Thanoi[1], Jutamas Kumchai[1], Patcharaporn Suwor[2], Tanyarat Tarinta[3], Suchila Techawongstien[3] and Nakarin Jeeatid[1*]

[1]ภาควิชาพืชศาสตร์และปฐพีศาสตร์ คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ จ. เชียงใหม่ 50200

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

[2]ภาควิชาเทคโนโลยีการผลิตพืช คณะเทคโนโลยีการเกษตร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง เขตลาดกระบัง กรุงเทพฯ 10520

[2]Department of Plant Production Technology, School of Agricultural Technology, King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang, Bangkok 10520, Thailand

[3]สาขาวิชาพืชสวน คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น จ. ขอนแก่น 40002

[3]Section of Horticulture, Faculty of Agriculture, Khon Kaen University, Khon Kaen 40002, Thailand

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

(Received: 17 May 2022; Accepted: 8 September 2022)

Abstract: Climate change can cause yield loss and unstable fruit quality of cherry tomato plants under open-field production. The combination of plant breeding and improving production technology may increase fruit production and the quality of cherry tomatoes. Therefore, this research aimed to study the fruit yield and quality of cherry tomato F_1 hybrids under different protected environments. Three F_1 hybrids, three varieties of male parents (102, 103 and 104), and two varieties of female parents (201 and 202) were grown under a plastic-net house and an evaporative cooling greenhouse in the dry season from November 2020 to March 2021. Both environments assigned a randomized complete block design (RCBD) with three replications. The results showed significant differences among varieties, environments, and variety-by-environment interactions for all characteristics studied except variety-by-environment interactions for total soluble solid content trait. This study also found that the plastic-net house had high air temperature and low relative humidity. A stable and suitable level of air temperature and relative humidity were obtained under the evaporative cooling greenhouse. As a result, fruit weight and fresh yield of cherry tomatoes grown under an evaporative cooling greenhouse (12.20 g and 704.0 g, respectively) were higher than those grown under the plastic-net house (10.33 g and 642.0 g, respectively). On the other hand, cherry tomato fruit under plastic-net house conditions contains more total soluble solid content (10.8%) than that under evaporative cooling greenhouse (8.9%). F_1 hybrid from 201/102, 202/103 and 202/104 had higher fruit yield

than their male parents and contain more total soluble solid content than their female parents. Therefore, the cherry tomato hybrids production under an evaporative cooling greenhouse is suitable for producing good quality and high yielding tomatoes.

Keywords: Tomato hybrid, fruit yield, fruit quality, greenhouse

บทคัดย่อ: สภาพอากาศที่เปลี่ยนแปลงไปทำให้มะเขือเทศเชอร์รีที่ผลิตในสภาพแปลงเปิดมีผลผลิตลดลงและคุณภาพไม่คงที่ การปรับปรุงพันธุ์พืชร่วมกับการพัฒนาระบบการผลิตสมัยใหม่อาจช่วยเพิ่มคุณภาพและผลผลิตของมะเขือเทศเชอร์รีได้ ดังนั้น งานวิจัยนี้จึงศึกษาผลผลิตและคุณภาพของมะเขือเทศเชอร์รีลูกผสมชั่วที่ 1 ภายใต้สภาพโรงเรือนที่แตกต่างกัน โดยงานทดลองนี้ทำการปลูกทดสอบมะเขือเทศเชอร์รีลูกผสมทั้งหม ด 3 คู่ผสมร่วมกับสายพันธุ์พ่อจำนวน 3 สายพันธุ์ (102, 103 และ 104) และสายพันธุ์แม่จำนวน 2 สายพันธุ์ (201 และ 202) ภายใต้สภาพโรงเรือนพลาสติกตาข่ายและโรงเรือนระบบปิด ในฤดูแล้ง ระหว่างเดือนพฤศจิกายน 2563 ถึงมีนาคม 2564 แต่ละสภาพแวดล้อมวางแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ภายในบล็อก (RCBD) จำนวน 3 ซ้ำ ผลการทดลองพบว่า อิทธิพลของพันธุ์ สภาพแวดล้อม และปฏิสัมพันธ์ระหว่างพันธุ์กับสภาพแวดล้อมมีผลต่อทุกลักษณะที่ศึกษา ยกเว้นปฏิสัมพันธ์ระหว่างพันธุ์กับสภาพแวดล้อม ซึ่งไม่มีผลต่อการสะสมปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายน้ำได้ อีกทั้งยังพบว่า โรงเรือนพลาสติกตาข่ายมีอุณหภูมิในอากาศสูงและความชื้นสัมพัทธ์ต่ำ ขณะที่โรงเรือนระบบปิดมีอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ค่อนข้างคงที่และอยู่ในระดับที่เหมาะสม ซึ่งส่งผลให้มะเขือเทศเชอร์รีที่ปลูกในสภาพโรงเรือนระบบปิดมีน้ำหนักผลและผลผลิต (12.20 กรัม และ 704.0 กรัม ตามลำดับ) มากกว่ามะเขือเทศเชอร์รีที่ปลูกในสภาพโรงเรือนพลาสติกตาข่าย (10.33 กรัม และ 642.0 กรัม ตามลำดับ) ในทางตรงกันข้าม ผลมะเขือเทศเชอร์รีที่ปลูกในสภาพโรงเรือนพลาสติกตาข่ายมีการสะสมปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายน้ำได้ (10.8 เปอร์เซ็นต์) สูงกว่าผลมะเขือเทศเชอร์รีที่ปลูกในสภาพโรงเรือนระบบปิด (8.9 เปอร์เซ็นต์) นอกจากนี้พบว่า มะเขือเทศเชอร์รีลูกผสม 201/102, 202/103 และ 202/104 ให้ผลผลิตมากกว่าสายพันธุ์แม่ รวมทั้งมีการสะสมปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายน้ำได้สูงกว่าสายพันธุ์พ่อ ดังนั้น การผลิตมะเขือเทศเชอร์รีลูกผสมภายใต้โรงเรือนระบบปิดสามารถผลิตมะเขือเทศที่มีคุณภาพดีและให้ผลผลิตสูงได้

คำสำคัญ: มะเขือเทศลูกผสม ผลผลิต คุณภาพผลผลิต โรงเรือน

คำนำ

มะเขือเทศ (*Solanum lycopersicum*) จัดเป็นพืชผักที่มีความสำคัญทางเศรษฐกิจ ได้รับความนิยมในการบริโภคทั่วโลกรวมทั้งในทวีปเอเชีย (Sekara *et al*., 2019) มะเขือเทศสามารถแบ่งตามการใช้ประโยชน์ได้เป็น 2 ประเภท คือ มะเขือเทศอุตสาหกรรม (processing tomato) และมะเขือเทศรับประทานสด มะเขือเทศเชอร์รีเป็นมะเขือเทศรับประทานสดที่มีขนาดผลเล็ก ในปัจจุบันความนิยมในการบริโภคมะเขือเทศเชอร์รีมีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้นทั่วโลกรวมทั้งประเทศไทย เนื่องจากมีความหวานกว่ามะเขือเทศทั่วไป อุดมไปด้วยคุณค่าทางโภชนาการ และมีกลิ่นมะเขือเทศน้อย (Gill and Kaur, 2019) ผู้บริโภคนิยมรับประทานสดทั้งในรูปแบบผลไม้หรือนำไปประกอบอาหารประเภทสลัด ในการเลือกซื้อมะเขือเทศเชอร์รีผู้บริโภคมักให้ความสำคัญกับคุณภาพมากที่สุด (Sinesio *et al*., 2021) โดยพิจารณาจากขนาดผล สีผล ความแน่นเนื้อ และรสชาติ ดังนั้น การพัฒนาพันธุ์มะเขือเทศที่มีคุณภาพตรงกับความต้องการของผู้บริโภค จึงเป็นวัตถุประสงค์หลักของโปรแกรมปรับปรุงพันธุ์มะเขือเทศเชอร์รี

ในปัจจุบันความหลากหลายของพันธุ์มะเขือเทศเชอร์รีที่เกษตรกรใช้ในการผลิตยังมีปริมาณน้อย ดังนั้น การพัฒนามะเขือเทศเชอร์รีพันธุ์ใหม่ให้มีผลผลิตและคุณภาพสูงเพื่อตอบสนองความต้องการของผู้ผลิตและผู้บริโภคถือเป็นหนึ่งในเป้าหมายที่สำคัญที่สุดในการปรับปรุงพันธุ์ โดยพันธุ์มะเขือเทศเชอร์รีที่เกษตรกรใช้ในการผลิตเชิงการค้าส่วนใหญ่เป็นพันธุ์ผสมเปิด (open pollinated variety) ซึ่งเป็นพันธุ์ที่เปิดโอกาสให้มีการผสมเกสรแบบอิสระหรือผสมข้ามแบบสุ่ม และพันธุ์ลูกผสมเดี่ยว (F_1 hybrid) ซึ่งเกิดจากการผสมข้ามระหว่างสายพันธุ์แท้จำนวนสองสายพันธุ์ โดยทั่วไปมะเขือเทศลูกผสมมีความสม่ำเสมอและให้ผลผลิตสูง (Avdikos *et al*., 2021) จากการศึกษาที่ผ่านมา พบว่า มะเขือเทศพันธุ์ผสมเปิดให้ผลผลิตต่ำกว่ามะเขือเทศลูกผสมประมาณ 20 - 25 เปอร์เซ็นต์ (Islam *et al*., 2012) ดังนั้น การพัฒนามะเขือเทศเชอร์รีลูกผสม (F_1 hybrid) ให้มีผลผลิตและคุณภาพสูงถือเป็นการเพิ่มทางเลือกให้แก่ผู้ผลิตและผู้บริโภค

ในการผลิตมะเขือเทศ เกษตรกรส่วนใหญ่ทำการผลิตในสภาพแปลงเปิด ส่งผลให้มีข้อจำกัดในเรื่องของสภาพแวดล้อม โดยเฉพาะอย่างยิ่งอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ที่ไม่เหมาะสม ดังนั้น การผลิตมะเขือเทศในระบบโรงเรือนถือเป็นอีกหนึ่งทางเลือกที่ช่วยให้ผู้ผลิตสามารถควบคุมปัจจัยด้านสภาพแวดล้อมที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตและการพัฒนาของพืช รวมทั้งสามารถป้องกันการเข้าทำลายของโรคและแมลง (Ro *et al*., 2021) โดยทั่วไปอุณหภูมิที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตและการพัฒนาของมะเขือเทศมีค่าอยู่ระหว่าง 22 ถึง 26 องศาเซลเซียส (Sato *et al*., 2000) และมีความชื้นสัมพัทธ์อากาศประมาณ 70 เปอร์เซ็นต์ (Harel *et al*., 2014) จากการศึกษาที่ผ่านมา พบว่า มะเขือเทศมีความอ่อนไหวต่อสภาพอากาศมากที่สุดในระยะการสืบพันธุ์ โดยอุณหภูมิที่สูงขึ้นทำให้ความมีชีวิตของละอองเกสรเพศผู้ของมะเขือเทศลดลง ส่งผลให้การติดผลลดลง ซึ่งจำนวนผลเป็นองค์ประกอบสำคัญของน้ำหนักผลผลิต (Sato *et al*., 2002) ในทางตรงกันข้าม อุณหภูมิที่สูงขึ้นส่งผลให้มะเขือเทศมีการสะสมปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายน้ำได้เพิ่มสูงขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ (Shivashankara *et al*., 2015) นอกจากนี้ ความชื้นสัมพัทธ์ในอากาศต่ำยังมีผลทำให้ขั้นตอนการงอกของหลอดเรณูไม่มีประสิทธิภาพ ส่งผลให้มะเขือเทศมีเปอร์เซ็นต์การติดผลลดลงเช่นเดียวกัน (Huang *et al*., 2011) ส่วนความชื้นสัมพัทธ์ในอากาศที่สูงเกินไปส่งผลให้มะเขือเทศมีความอ่อนไหวต่อสภาพความเครียดจากความร้อนเพิ่มขึ้น (Sato *et al*., 2002) และส่งผลให้มะเขือเทศมีผลผลิตและคุณภาพลดลง (Xu *et al*., 2007) จากการศึกษาที่ผ่านมา พบว่า ผลผลิตและคุณภาพของมะเขือเทศเชอร์รีขึ้นอยู่กับพันธุ์ สภาพแวดล้อม และปฏิสัมพันธ์ระหว่างพันธุ์กับสภาพแวดล้อมในการปลูก (Panthee *et al*., 2012; Tinyane *et al*., 2013) การปรับปรุงพันธุ์มะเขือเทศเชอร์รีร่วมกับการพัฒนาระบบการผลิต จะเป็นการพัฒนาคุณภาพเพื่อตอบโจทย์ความต้องการของผู้บริโภคและช่วยเพิ่มผลผลิตซึ่งสามารถตอบโจทย์ความต้องการของเกษตรกรผู้ผลิตได้ ดังนั้น งานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลผลิตและคุณภาพการบริโภคของมะเขือเทศเชอร์รีลูกผสมชั่วที่ 1 ภายใต้สภาพโรงเรือนพลาสติกตาข่ายและโรงเรือนระบบปิด

อุปกรณ์และวิธีการ

งานวิจัยนี้ทำการทดลองระหว่างเดือนพฤศจิกายน พ.ศ. 2563 ถึงเดือนมีนาคม พ.ศ. 2564 ณ ศูนย์วิจัย สาธิตและฝึกอบรมการเกษตรแม่เหียะ คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ จังหวัดเชียงใหม่ โดยทำการปลูกทดสอบมะเขือเทศเชอร์รีลูกผสมชั่วที่ 1 ทั้งหมด 3 คู่ผสม ร่วมกับพันธุ์พ่อแม่สายพันธุ์แท้ ได้แก่ สายพันธุ์พ่อจำนวน 3 สายพันธุ์ (102, 103 และ 104) และสายพันธุ์แม่จำนวน 2 สายพันธุ์ (201 และ 202) โดยมะเขือเทศเชอร์รีสายพันธุ์พ่อมีการเจริญเติบโตแบบกึ่งเลื้อย (semi-determinate) และมีผลขนาดกลางถึงขนาดใหญ่ ขณะที่สายพันธุ์แม่มีการเจริญเติบโตแบบเลื้อย (indeterminate) และมีผลขนาดเล็ก (Table 1) โดยทำการปลูกทดสอบใน 2 สภาพแวดล้อม คือ 1) สภาพโรงเรือนพลาสติกตาข่ายซึ่งมีความกว้าง 6 เมตร ยาว 24 เมตร และสูง 3.5 เมตร

หลังคามุงด้วยพลาสติกโปร่งใสความหนา 0.1 มิลลิเมตร ด้านข้างรอบโรงเรือนล้อมด้วยตาข่ายขนาด 15 ตา และ 2) โรงเรือนระบบปิด (evaporative cooling house) ซึ่งมีความกว้าง 9.6 เมตร ยาว 40 เมตร และสูง 3.5 เมตร ซึ่งควบคุมอุณหภูมิที่ 25 - 30 องศาเซลเซียส และความชื้นสัมพัทธ์ 60 - 80 เปอร์เซ็นต์

ทำการเพาะเมล็ดพันธุ์มะเขือเทศในถาดเพาะ 104 หลุม ขนาดหลุม (ปากหลุม x ก้นหลุม x ลึก) 4 x 2.5 x 4.5 เซนติเมตร ซึ่งใช้วัสดุเพาะคือพีทมอส และขุยมะพร้าวในอัตราส่วน 1 : 1 รดน้ำวันละ 2 ครั้ง ในช่วงเช้าและบ่าย และรดด้วยปุ๋ยเกร็ดสูตร 30 - 20 - 10 อัตรา 10 กรัมต่อน้ำ 20 ลิตร ทุก ๆ 2 วัน เมื่อต้นกล้ามีใบจริงจำนวน 4 - 5 ใบ (ประมาณ 25 วัน หลังเพาะเมล็ด) ย้ายต้นกล้าลงปลูกในถุงปลูกสีขาวขนาด 12 ลิตร โดยวัสดุปลูกมีส่วนผสมของกาบมะพร้าวสับและดินปลูกในอัตราส่วน 1 : 1 โดยใช้ระยะห่างระหว่างต้นและระหว่างแถวเท่ากับ 60 x 60 เซนติเมตร ให้น้ำและปุ๋ยผ่านระบบน้ำหยดตามความต้องการของต้นพืชต่อวัน แต่ละสภาพแวดล้อมวางแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ภายในบล็อก (RCBD) จำนวน 3 ซ้ำ ๆ ละ 6 ต้น รวมทั้งหมด 18 ต้นต่อสิ่งทดลอง

บันทึกข้อมูลอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ทุก ๆ 1 ชั่วโมง ตลอดการทดลองด้วยเครื่อง data logger (LogTag HAXO-8, LogTag Recorders Limited, New Zealand) เก็บเกี่ยวผลผลิตเมื่อผลสุก (35 - 45 วันหลังดอกบาน) บันทึกข้อมูลจำนวนผลทั้งหมดและผลผลิตต่อต้นจากการเก็บเกี่ยว 5 ครั้ง แต่ละครั้งห่างกัน 1 สัปดาห์ บันทึกข้อมูลคุณภาพผลในการเก็บเกี่ยวผลผลิตครั้งที่ 2 และ 3 โดยการสุ่มผลทั้งหมด 5 ผลต่อต้น ชั่งน้ำหนักผลด้วยเครื่องชั่งทศนิยมสองตำแหน่ง และบันทึกข้อมูลปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายน้ำได้ด้วยเครื่อง digital refractometer (Mod. PAL-1, Atago, Tokyo, Japan)

วิเคราะห์ความแปรปรวนรวมของลักษณะผลผลิตและคุณภาพผล เพื่อใช้ในการประเมินความแตกต่างของพันธุ์ สภาพแวดล้อม และปฏิสัมพันธ์ระหว่างพันธุ์กับสภาพแวดล้อม (Gomez and Gomez, 1984) และเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยด้วยวิธี least significant difference (LSD) ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์

Table 1. Descriptors of eight cherry tomato (*Solanum lycopersicum*) varieties used in this experiment

Inbred line / Cross	Generation	Plant growth habit	Fruit shape	Fruit color
102	Inbred line	Semi-determinate	Ellipsoid	Red
103	Inbred line	Semi-determinate	Ellipsoid	Red
104	Inbred line	Semi-determinate	Cylindrical	Yellow
201	Inbred line	Indeterminate	Ellipsoid	Red
202	Inbred line	Indeterminate	Ellipsoid	Yellow
201 x 102	F1	Indeterminate	Ellipsoid	Red
202 x 103	F1	Indeterminate	Ellipsoid	Red
202 x 104	F1	Indeterminate	Ellipsoid	Yellow

ผลการศึกษาและวิจารณ์

จากข้อมูลสภาพอากาศ พบว่า ในสภาพโรงเรือนพลาสติกตาข่ายมีสภาพอากาศค่อนข้างแปรปรวน โดยมีอุณหภูมิต่ำสุดต่อวันอยู่ในช่วง 10.3 - 22.2 องศาเซลเซียส ขณะที่อุณหภูมิสูงสุดต่อวันอยู่ในช่วง 30.0 - 47.8 องศาเซลเซียส เมื่อพิจารณาความต่างของอุณหภูมิต่ำสุดและสูงสุดโดยเฉลี่ย พบว่า มีค่าประมาณ 36.0 องศาเซลเซียส ในขณะที่สภาพโรงเรือนระบบปิดมีสภาพอากาศค่อนข้างคงที่ โดยมีอุณหภูมิต่ำสุดต่อวันอยู่ในช่วง 11.0 - 23.1 องศาเซลเซียส และอุณหภูมิสูงสุดต่อวันอยู่ในช่วง 25.0 - 38.1 องศาเซลเซียส เมื่อพิจารณาความต่างของอุณหภูมิต่ำสุดและสูงสุดโดยเฉลี่ย พบว่า มีค่าประมาณ 18 องศาเซลเซียส (Figure 1A)

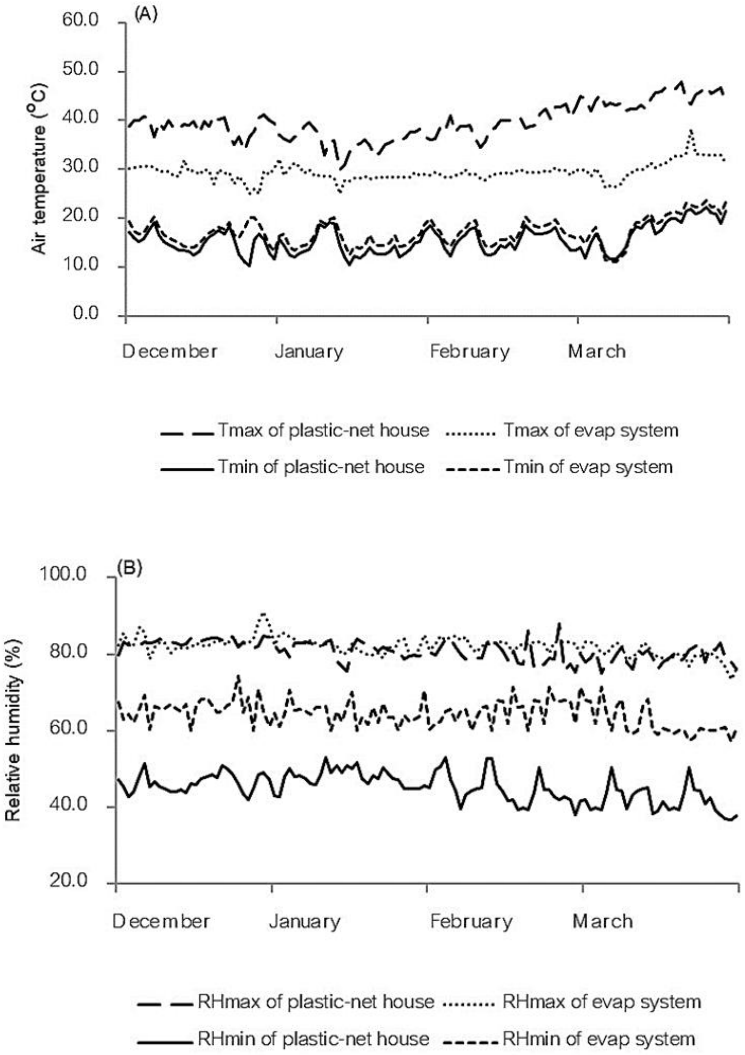


Figure 1. Maximum and minimum air temperature (Tmax and Tmin) (A) and relative humidity (RHmax and RHmin) (B) in plastic-net house and evaporative cooling greenhouse in the dry season from December 2020 to March 2021

เมื่อพิจารณาความชื้นสัมพัทธ์ พบว่า ในสภาพโรงเรือนพลาสติกตาข่ายมีความชื้นสัมพัทธ์ต่ำสุดต่อวันอยู่ในช่วง 36.8 - 53.1 เปอร์เซ็นต์ ขณะที่ความชื้นสัมพัทธ์สูงสุดต่อวันอยู่ในช่วง 75.0 - 88.0 เปอร์เซ็นต์ เนื่องจากสภาพโรงเรือนพลาสติกตาข่ายไม่มีการควบคุมสภาพอากาศ ทำให้ความต่างของความชื้นสัมพัทธ์ต่ำสุดและสูงสุดโดยเฉลี่ยมีความแปรปรวนสูงถึง 24 เปอร์เซ็นต์ ในขณะที่สภาพโรงเรือนระบบปิดมีความชื้นสัมพัทธ์ต่ำสุดต่อวันอยู่ในช่วง 57.3 - 74.3 เปอร์เซ็นต์ และความชื้นสัมพัทธ์สูงสุดต่อวันอยู่ในช่วง 73.6 - 91.1 เปอร์เซ็นต์ เนื่องจากในสภาพโรงเรือนระบบปิดมีการควบคุมสภาพอากาศให้มีค่าอยู่ในช่วงที่กำหนด ดังนั้น ความต่างของความชื้นสัมพัทธ์ต่ำสุดและสูงสุดโดยเฉลี่ยจึงมีความแปรปรวนน้อยคือประมาณ 12.3 เปอร์เซ็นต์ (Figure 1B)

จากการวิเคราะห์ความแปรปรวนรวม พบว่า อิทธิพลของพันธุ์มีผลต่อทุกลักษณะที่ศึกษา (Table 2) และเมื่อพิจารณาสัดส่วนความแปรปรวน พบว่า พันธุ์มีอิทธิพลต่อน้ำหนักผล จำนวนผล และผลผลิตมากที่สุด เท่ากับ 81.8, 49.4 และ 86.9 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ และมีอิทธิพลต่อการสะสมปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายน้ำได้ในระดับปานกลาง (37.8 เปอร์เซ็นต์) อธิบายได้ว่า มะเขือเทศเชอร์รีที่ทำการปลูกทดสอบมีรูปแบบการเจริญเติบโต (plant growth habit) ลักษณะใบ ช่อดอก และขนาดผลที่แตกต่างกันมาก โดยเฉพาะสายพันธุ์พ่อและสายพันธุ์แม่ ส่งผลให้อิทธิพลของพันธุ์มีผลมากกว่าอิทธิพลอื่น ๆ (Gurung *et al*., 2012) ในขณะที่อิทธิพลของสภาพแวดล้อมมีผลต่อทุกลักษณะที่ศึกษา โดยพบว่า มีผลต่อการสะสมปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายน้ำได้มากที่สุด เท่ากับ 44.9 เปอร์เซ็นต์ และมีอิทธิพลต่อน้ำหนักผล จำนวนผล และผลผลิตในระดับต่ำ (5.2, 7.8 และ 1.7 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ) สอดคล้องกับ Tinyane *et al*. (2013) ที่รายงานว่า สภาพแวดล้อม (ความเข้มแสงและอุณหภูมิ) ส่งผลต่อการสะสมปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายน้ำได้ในผลของมะเขือเทศที่ปลูกทดสอบในสภาพการใช้ตาข่ายพรางแสงแตกต่างกัน นอกจากนี้ยังพบว่า ปฏิสัมพันธ์ระหว่างพันธุ์กับสภาพแวดล้อมมีอิทธิพลต่อทุกลักษณะที่ศึกษา ยกเว้นการสะสมปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายน้ำได้ โดยมีอิทธิพลต่อจำนวนผลมากที่สุด เท่ากับ 22.9 เปอร์เซ็นต์ และมีอิทธิพลต่อน้ำหนักผลและผลผลิตในระดับต่ำ (10.2 และ 8.2 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ) อธิบายได้ว่า มะเขือเทศเชอร์รีมีการตอบสนองต่อสภาพแวดล้อมที่ทำการปลูกทดสอบแตกต่างกันในลักษณะน้ำหนักผล ผลผลิต โดยเฉพาะอย่างยิ่งในลักษณะจำนวนผล เนื่องจากลักษณะดังกล่าวเป็นลักษณะเชิงปริมาณ (quantitative trait) ซึ่งควบคุมด้วยยีนหลายคู่ ส่งผลให้เกิดความผันแปรตามการเปลี่ยนแปลงของสภาพแวดล้อมที่ปลูก (Dutta *et al*., 2013) ดังนั้น การผลิตมะเขือเทศเชอร์รีเพื่อให้ได้ผลผลิตและมีคุณภาพสูงจำเป็นต้องเลือกสภาพแวดล้อมที่มีความเหมาะสมของแต่ละพันธุ์มากที่สุด (Gurung *et al*., 2012)

เมื่อเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของน้ำหนักผลและผลผลิต พบว่า น้ำหนักผลและผลผลิตมีการตอบสนองต่อสภาพแวดล้อมในการปลูกไปในทิศทางเดียวกัน โดยมะเขือเทศเชอร์รีสายพันธุ์แม่ที่มีผลขนาดเล็กเจริญเติบโตแบบเลื้อย (indeterminate; 201 และ 202) มีน้ำหนักผลและผลผลิตไม่แตกต่างกันทั้งสองสภาพแวดล้อม (Table 3) ในขณะที่สายพันธุ์พ่อซึ่งมีผลขนาดใหญ่ เจริญเติบโตแบบกึ่งเลื้อย (semi-determinate; 103 และ 104) ที่ปลูกในสภาพโรงเรือนระบบปิดมีน้ำหนักผลและผลผลิตมากกว่าในสภาพโรงเรือนพลาสติกตาข่าย ซึ่งสอดคล้องกับ Susic *et al*. (2002) ที่ทำการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างลักษณะเชิงปริมาณ 7 ลักษณะ ในมะเขือเทศสายพันธุ์พ่อและสายพันธุ์แม่จำนวน 7 สายพันธุ์ ร่วมกับลูกผสม 2 คู่ โดยพบว่า ลักษณะผลผลิตมีความสัมพันธ์เชิงบวกกับลักษณะน้ำหนักผล ขนาดผล และความหนาเนื้อ อีกทั้งยังมีรายงานว่า ผักกินผลที่มีการเจริญเติบโตแบบ indeterminate และมีผลขนาดเล็ก มีความเสถียรของลักษณะน้ำหนักผลและผลผลิตต่อการเปลี่ยนแปลงสภาพแวดล้อมมากกว่าผักกินผลที่มีการเจริญเติบโตแบบ semi-determinate และมีผลขนาดใหญ่ (Jeeatid *et al*., 2018)

Table 2. Combined analysis of variance for fruit weight, fruit number, fruit yield and total soluble solids of five parental lines and three F_1 hybrids grown in two different growing environments in dry season 2020

Source of variation	df	Mean square			
		Fruit weight	Fruit number	Fruit yield	Total soluble solids
Variety (G)	7	93.0619 ** (81.8)	1066.33 ** (49.4)	342,042 ** (86.9)	5.0771 ** (37.8)
Environment (E)	1	41.4780 ** (5.2)	1173.45 ** (7.8)	46,071 * (1.7)	42.2250 ** (44.9)
Error (E x Rep) [a]	4	1.1341 (0.6)	15.40 (0.4)	5,307 (0.8)	0.7467 (3.2)
G x E	7	11.6356 ** (10.2)	493.88 ** (22.9)	32,362 ** (8.2)	0.5823 (4.3)
Error (E x Rep x G) [b]	28	0.6129 (2.2)	105.76 (19.6)	2,450 (2.5)	0.3267 (9.7)
CV (%) [a]		9.46	4.70	10.83	8.87
CV (%) [b]		6.95	12.32	7.36	5.81

Numbers in parentheses are % sum of squares which shows the % of variation

[a] and [b] show coefficient of variation due to error (E x Rep) and error (E x Rep x G), respectively

*, ** Significant at $P \leq 0.05$ and 0.01 levels, respectively

Table 3. Comparison of fruit weight and fruit yield of five parental lines and three F_1 hybrids grown in two different growing environments in dry season 2020

Inbred line / Cross	Fruit weight (g/fruit)			Fruit yield (g/plant)		
	Plastic-net house	Evap system	Mean	Plastic-net house	Evap system	Mean
102	11.30 c-e	14.95 b	13.13 B	951.6 bc	911.7 cd	931.6 A
103	12.21 c	13.87 b	13.04 B	780.8 ef	1,096.3 a	938.5 A
104	14.23 b	22.12 a	18.17 A	840.7 de	998.3 b	919.5 A
201	6.48 f	5.93 f	6.20 D	396.8 jk	365.0 jk	380.9 E
202	5.92 f	6.01 f	5.96 D	416.9 j	316.2 k	366.5 E
201 x 102	10.45 de	11.24 c-e	10.85 C	650.7 gh	741.5 f	696.1 B
202 x 103	10.15 e	11.79 cd	10.97 C	579.7 hi	507.3 i	543.5 D
202 x 104	11.92 c	11.63 cd	11.77 C	519.0 i	695.4 fg	607.2 C
Mean	10.33 B	12.20 A		642.0 B	704.0 A	

Means followed by the same common letters are not significantly different at $P \leq 0.05$ with two-way analysis by LSD

Different capital letters indicate significant difference between means affected by environments or by genotypes at $P \leq 0.05$ by LSD

เมื่อพิจารณาปัจจัยสภาพแวดล้อมที่ส่งผลต่อน้ำหนักผล จำนวนผล และผลผลิตต่อต้น พบว่า มะเขือเทศเชอร์รีบางสายพันธุ์ที่ปลูกในสภาพโรงเรือนระบบปิดมีน้ำหนักผล จำนวนผล และผลผลิตต่อต้นมากกว่าต้นที่ปลูกในโรงเรือนพลาสติกตาข่าย (Table 3 และ 4) ซึ่งอธิบายได้ว่า น้ำหนักผลและจำนวนผลต่อต้นเป็นองค์ประกอบของผลผลิต (Milutinovic and Djukic, 1997) ทำให้มีการตอบสนองต่อสภาพแวดล้อมไปในทิศทางเดียวกัน และความแตกต่างของสภาพอากาศของโรงเรือนทั้ง 2 รูปแบบมีผลต่อลักษณะดังกล่าว โดยสภาพโรงเรือนพลาสติกตาข่ายมีอุณหภูมิเฉลี่ยต่อวันในช่วงติดผลสูงถึง 28 องศาเซลเซียส ในขณะที่ในสภาพโรงเรือนระบบปิดมีอุณหภูมิเฉลี่ยอยู่ที่ 23 องศาเซลเซียส (Figure 1A) โดยมีรายงานว่าอุณหภูมิที่เหมาะสมสำหรับการติดผลและการพัฒนาของผลมะเขือเทศเชอร์รีมีค่าอยู่ระหว่าง 22 - 26 องศาเซลเซียส (Sato *et al*., 2000) อีกทั้งยังพบว่า ในสภาพโรงเรือนพลาสติกตาข่ายมีความชื้นสัมพัทธ์ต่ำสุดเฉลี่ยอยู่ที่ 45 เปอร์เซ็นต์ ในขณะที่สภาพโรงเรือนระบบปิดมีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 64 เปอร์เซ็นต์ (Figure 1B) ดังนั้น จึงมีผลทำให้มะเขือเทศเชอร์รีที่ปลูกในสภาพโรงเรือนระบบปิดมีการติดผลที่ดีกว่ามะเขือเทศเชอร์รีที่ปลูกในสภาพโรงเรือนพลาสติกตาข่าย สอดคล้องกับ Huang *et al*. (2011) ซึ่งรายงานว่า ความชื้นสัมพัทธ์ที่เพิ่มขึ้น 60 - 70 เปอร์เซ็นต์ ส่งผลให้มะเขือเทศมีการพัฒนาของดอกและการติดผลเพิ่มขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับความชื้นสัมพัทธ์ที่ต่ำ 30 - 40 เปอร์เซ็นต์ นอกจากนี้ Singh *et al*. (2005) อธิบายว่า อุณหภูมิที่สูงเกินไปทำให้ประสิทธิภาพในการดูดซึมและการเคลื่อนย้ายสารอาหารจากใบไปยังส่วนต่าง ๆ ของพืชลดลง อีกทั้งยังพบว่า ส่วนที่เป็นแหล่งใช้อาหารในพืชมีการสร้างสารยับยั้งการเจริญเติบโตประเภทกรดซาลิไซลิกซึ่งเป็นสารประกอบฟีนอลิกที่มีบทบาทเกี่ยวข้องกับการดูดซึมธาตุอาหารและกระบวนการสังเคราะห์แสงในพืชเพิ่มขึ้น (Hasanuzzaman *et al*., 2013) สอดคล้องกับ Sirisathaworn *et al*. (2016) ที่รายงานว่า การเพิ่มความเข้มข้นของกรดซาลิไซลิกมากกว่า 0.05 มิลลิโมลาร์ มีแนวโน้มทำให้จำนวนผลและน้ำหนักผลของมะเขือเทศลดลง

ในลักษณะการสะสมปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายน้ำได้ พบว่า สายพันธุ์แม่ 201 และ 202 มีค่าเฉลี่ยสูงที่สุด (10.5 และ 10.2 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ) ในขณะที่สายพันธุ์พ่อ 102, 103 และ 104 มีการสะสมปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายน้ำได้ต่ำที่สุด (8.4, 9.0 และ 9.1 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ) (Table 4) ซึ่งปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายน้ำได้บ่งบอกถึงปริมาณวัตถุแห้ง (dry matter content) และเป็นสัดส่วนที่แปรผกผันตามขนาดของผล (Beckles, 2012) โดยลูกผสมทั้ง 3 คู่ มีการสะสมปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายน้ำได้อยู่ระหว่าง 10.0 - 10.3 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งเป็นค่ากลางระหว่างสายพันธุ์พ่อและสายพันธุ์แม่ อีกทั้งยังพบว่าผลมะเขือเทศเชอร์รีที่ปลูกในสภาพโรงเรือนพลาสติกตาข่ายมีการสะสมปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายน้ำได้สูงกว่าผลที่ปลูกในสภาพโรงเรือนระบบปิด เมื่อพิจารณาจากสภาพอากาศทั้ง 2 สภาพแวดล้อม พบว่า โรงเรือนพลาสติกตาข่ายมีอุณหภูมิสูงสุดต่อวันเฉลี่ยอยู่ที่ 40 องศาเซลเซียส ในขณะที่โรงเรือนระบบปิดมีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 30 องศาเซลเซียส (Figure 1A) ซึ่งสอดคล้องกับ Shivashankara *et al*. (2015) ที่พบว่ามะเขือเทศที่ปลูกภายใต้สภาพอุณหภูมิ 35.4 องศาเซลเซียส มีการสะสมปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายน้ำได้มากกว่าสภาพอุณหภูมิ 33.4 องศาเซลเซียส อย่างไรก็ตาม มะเขือเทศที่ปลูกภายใต้สภาพอุณหภูมิ 35.4 องศาเซลเซียส มีการสะสมปริมาณน้ำตาลทั้งหมด ไลโคปีน และปริมาณแคโรทีนอยด์รวมลดลงเมื่อเทียบกับที่อุณหภูมิ 33.4 องศาเซลเซียส

เมื่อพิจารณาค่าเฉลี่ยของสายพันธุ์ พบว่า มะเขือเทศเชอร์รีสายพันธุ์พ่อ 104 มีน้ำหนักผลมากที่สุด เท่ากับ 18.17 กรัม รองลงมาคือสายพันธุ์ 102 และ 103 (13.13 และ 13.04 กรัม ตามลำดับ) และสายพันธุ์พ่อทั้ง 3 สายพันธุ์ยังให้ผลผลิตสูงที่สุด (919.5 - 938.5 กรัม) ในขณะที่สายพันธุ์แม่ 201 และ 202 มีน้ำหนักผล 6.20 และ 5.96 กรัม ตามลำดับ และให้ผลผลิตต่ำที่สุด (380.9 และ 366.5 กรัม) (Table 3) สำหรับมะเขือเทศ

เชอร์รีลูกผสมทั้ง 3 คู่ มีค่าเฉลี่ยของน้ำหนักผลและผลผลิตมากกว่าสายพันธุ์แม่ทั้ง 2 สายพันธุ์ แต่มีค่าเฉลี่ยของน้ำหนักผลและผลผลิตต่ำกว่าสายพันธุ์พ่อ โดยลูกผสมทั้ง 3 คู่ มีน้ำหนักผลอยู่ระหว่าง 10.85 - 11.77 กรัม และมีผลผลิตอยู่ในช่วง 543.5 - 696.1 กรัม อธิบายได้ว่า ลักษณะน้ำหนักผลและผลผลิตได้รับอิทธิพลอย่างมากจากการทำงานของยีนแบบบวกสะสม (additive gene effects) (Pratta *et al*., 2003; Shalaby, 2013)

ส่วนลักษณะจำนวนผลและการสะสมปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายน้ำได้ พบว่า ลูกผสมทั้ง 3 คู่ มีค่าเฉลี่ยของจำนวนผลและการสะสมปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายน้ำได้ใกล้เคียงกับสายพันธุ์พ่อและสายพันธุ์แม่ที่มีค่าเฉลี่ยลักษณะดังกล่าวสูง แสดงให้เห็นว่าลักษณะจำนวนผลและการสะสมปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายน้ำได้ได้รับอิทธิพลอย่างมากจากการทำงานของยีนแบบ non-additive gene ในการควบคุมการถ่ายทอดทางพันธุกรรมลักษณะเชิงปริมาณดังกล่าวของมะเขือเทศ (El-Gabry *et al*., 2014)

สรุป

จากการศึกษานี้ พบว่า โรงเรือนพลาสติกตาข่ายมีอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ในอากาศค่อนข้างแปรปรวน โดยอุณหภูมิในอากาศมีค่าสูงและมีความชื้นสัมพัทธ์ต่ำกว่าระดับที่เหมาะสม ขณะที่โรงเรือนระบบปิดมีอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ค่อนข้างคงที่และอยู่ในระดับที่เหมาะสม ซึ่งส่งผลให้มะเขือเทศเชอร์รีที่ปลูกในสภาพโรงเรือนระบบปิด มีน้ำหนักผลและผลผลิตมากกว่ามะเขือเทศเชอร์รีที่ปลูกในสภาพโรงเรือนพลาสติกตาข่าย ในทางตรงกันข้าม ผลมะเขือเทศเชอร์รีที่ปลูกภายใต้สภาพโรงเรือนพลาสติกตาข่ายมีการสะสมปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายน้ำได้สูงกว่าผลมะเขือเทศเชอร์รีที่ปลูกในสภาพโรงเรือนระบบปิด นอกจากนี้พบว่า มะเขือเทศเชอร์รีลูกผสม 201/102, 202/103 และ 202/104 ให้ผลผลิตมากกว่าสายพันธุ์แม่ รวมทั้งมีการสะสมปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายน้ำได้สูงกว่าสายพันธุ์พ่อ ดังนั้น การผลิตมะเขือเทศเชอร์รีลูกผสมภายใต้โรงเรือนระบบปิดสามารถผลิตมะเขือเทศที่มีคุณภาพดีและให้ผลผลิตสูงได้ อีกทั้งการวิเคราะห์ต้นทุนและความคุ้มค่าของการผลิตมะเขือเทศทั้ง 2 ระบบ ยังเป็นงานวิจัยที่น่าสนใจและควรค่าต่อการทำวิจัยในอนาคต

Table 4. Comparison of fruit number and total soluble solids of five parental lines and three F_1 hybrids grown in two different growing environments in dry season 2020

Inbred line / Cross	Fruit number (no./plant)			Total soluble solids (%)		
	Plastic-net house	Evap system	Mean	Plastic-net house	Evap system	Mean
102	97.75 b	92.47 bc	95.11 B	9.1	7.7	8.4 C
103	90.50 b-d	123.75 a	107.13 A	9.9	8.1	9.0 C
104	62.30 f	70.02 ef	66.16 D	9.6	8.6	9.1 C
201	79.86 c-e	73.93 d-f	76.90 CD	11.3	9.9	10.5 AB
202	77.48 c-f	70.88 ef	74.18 CD	12.3	10.1	11.2 A
201 x 102	78.29 c-f	101.30 b	89.79 B	11.0	9.0	10.0 B
202 x 103	75.95 c-f	73.14 ef	74.55 CD	11.2	9.0	10.1 B
202 x 104	66.21 ef	101.96 b	84.09 BC	11.8	8.8	10.3 B
Mean	78.54 B	88.43 A		10.8 A	8.9 B	

Means followed by the same common letters are not significantly different at $P \leq 0.05$ with two-way analysis by LSD

Different capital letters indicate significant difference between means affected by environments or by genotypes at $P \leq 0.05$ by LSD

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณสำนักงานการวิจัยแห่งชาติ (วช.) ที่มอบทุนอุดหนุนการวิจัยโครงการพัฒนานักวิจัยและงานวิจัยเพื่ออุตสาหกรรม ประจำปีงบประมาณ พ.ศ. 2564 ขอขอบคุณศูนย์ปรับปรุงพันธุ์พืชเพื่อการเกษตรที่ยั่งยืน คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น ที่ให้การสนับสนุนด้านพันธุ์พืช และขอขอบคุณสาขาวิชาพืชสวน ภาควิชาพืชศาสตร์และปฐพีศาสตร์ คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ ที่ให้การสนับสนุนสถานที่ในการดำเนินงานทดลอง

เอกสารอ้างอิง

Avdikos, I.D., R. Tagiakas, P. Tsouvaltzis, I. Mylonas, I.N. Xynias and A.G. Mavromatis. 2021. Comparative evaluation of tomato hybrids and inbred lines for fruit quality traits. Agronomy 11(3): 609, doi: 10.3390/agronomy11030609.

Beckles, D.M. 2012. Factors affecting the postharvest soluble solids and sugar content of tomato (*Solanum lycopersicum* L.) fruit. Postharvest Biology and Technology 63(1): 129-140.

Dutta, A.K., S. Akhtar, C. Karak and P. Hazra. 2013. Gene actions for fruit yield and quality characters of tomato through generation mean analysis. Indian Journal of Horticulture 70(2): 230-237.

El-Gabry, M.A.H., T.I.H. Solieman and A.I.A. Abido. 2014. Combining ability and heritability of some tomato (*Solanum lycopersicum* L.) cultivars. Scientia Horticulturae 167: 153-157.

Gill, N.S. and L. Kaur. 2019. Economics of cherry tomato (*Solanum lycopersicum* var. *cerasiforme*) cultivation. Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry 8(6): 880-881.

Gomez, K.A. and A.A. Gomez. 1984. Statistical Procedures for Agricultural Research. 2nd ed. John Wiley and Sons, New York. 680 p.

Gurung, T., S. Techawongstien, B. Suriharn and S. Techawongstien. 2012. Stability analysis of yield and capsaicinoids content in chili (*Capsicum* spp.) grown across six environments. Euphytica 187: 11-18.

Harel, D., H. Fadida, A. Slepoy, S. Gantz and K. Shilo. 2014. The effect of mean daily temperature and relative humidity on pollen, fruit set and yield of tomato grown in commercial protected cultivation. Agronomy 4(1): 167-177.

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

Huang, Y., Y. Li and X. Wen. 2011. The effect of relative humidity on pollen vigor and fruit setting rate of greenhouse tomato under high temperature condition. Acta Agriculturae Boreali-occidentalis Sinica 20(11): 105-110.

Islam, M.R., S. Ahmad and M.M. Rahman. 2012. Heterosis and qualitative attributes in winter tomato (*Solanum lycopersicum* L.) hybrids. Bangladesh Journal of Agricultural Research 37(1): 39-48.

Jeeatid, N., B. Suriharn, S. Techawongstien, S. Chanthai, P.W. Bosland and S. Techawongstien. 2018. Evaluation of the effect of genotype-by-environment interaction on capsaicinoid production in

hot pepper hybrids (*Capsicum chinense* Jacq.) under controlled environment. Scientia Horticulturae 235: 334-339.

Milutinovic, S. and Z. Djukic. 1997. Yield components and total yield of tomato sorts and hybrids. Acta Horticulturae 462: 633-636.

Panthee, D.R., C. Cao, S.J. Debenport, G.R. Rodríguez, J.A. Labate, L.D. Robertson, A.P. Breksa, E. van der Knaap and B.B.M. Gardener. 2012. Magnitude of genotype x environment interactions affecting tomato fruit quality. HortScience 47(6): 721-726.

Pratta, G., R. Zorzoli and L.A. Picardi. 2003. Diallel analysis of production traits among domestic, exotic and mutant germplasms of *Lycopersicon*. Genetics and Molecular Research 2(2): 206-213.

Ro, S., L. Chea, S. Ngoun, Z.P. Stewart, S. Roeurn, P. Theam, S. Lim, R. Sor, M. Kosal, M. Roeun, K.S. Dy and P.V.V. Prasad. 2021. Response of tomato genotypes under different high temperatures in field and greenhouse conditions. Plants 10(3): 449, doi: 10.3390/plants10030449.

Sato, S., M.M. Peet and J.F. Thomas 2000. Physiological factors limit fruit set of tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill.) under chronic, mild heat stress. Plant, Cell & Environment 23(7): 719-726.

Sato, S., M.M. Peet and J.F. Thomas. 2002. Determining critical pre- and post-anthesis periods and physiological processes in *Lycopersicon esculentum* Mill. exposed to moderately elevated temperatures. Journal of Experimental Botany 53(371): 1187-1195.

Sekara, A., P. Pokluda, E. Cozzolino, L. del Piano, A. Cuciniello and G. Caruso. 2019. Plant growth, yield, and fruit quality of tomato affected by biodegradable and non-degradable mulches. Horticultural Science 46(3): 138-145.

Shalaby, T.A. 2013. Mode of gene action, heterosis and inbreeding depression for yield and its components in tomato (*Solanum lycopersicum* L.). Scientia Horticulturae 164: 540-543.

Shivashankara, K.S., K.C. Pavithra, R.H. Laxman, A.T. Sadashiva, T.K. Roy and G.A. Geetha. 2015. Changes in fruit quality and carotenoid profile in tomato (*Solanum lycopersicon* L.) genotypes under elevated temperature. Journal of Horticultural Sciences 10(1): 38-43.

Sinesio, F., M. Cammareri, V. Cottet, L. Fontanet, M. Jost, E. Moneta, S. Moneta, M. Peparaio, R.R. del Castillo, E.S. Civitelli, P. Spigno, A. Vitiello, B. Navez, J. Casals, M. Causse, A. Granel and S. Grandillo. 2021. Sensory traits and consumer's perceived quality of traditional and modern fresh market tomato varieties: a study in three european countries. Foods 10(11): 2521, doi: 10.3390/foods10112521.

Singh, R., S. Singh, D.S. Cheema and M.S. Dhaliwal. 2005. Screening for heat tolerance in tomato (*Solanum lycopersicum* L.). Vegetable Science 32(1): 90-91.

Sirisathaworn, S., P. Chulaka, P. Kaewsorn and I. Pusittigul. 2016. Effects of foliar salicylic acid on yield and quality of tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill.) growing under short-term water deficit. Agricultural

Science Journal 47(Suppl. 2): 545-548. (in Thai)

Susic, Z., N. Pavlovic, D. Cvikic and T. Sretenovic-Rajicic. 2002. Studies of correlation between yield and fruit characteristics of (*Lycopersicon esculentum* Mill.) hybrids and their parental genotypes. Acta Horticulturae 579: 163-166.

Tinyane, P.P., D. Sivakumar and P. Soundy. 2013. Influence of photo-selective netting on fruit quality parameters and bioactive compounds in selected tomato cultivars. Scientia Horticulturae 161: 340-349.

Xu, H.L., D. Iraqi and A. Gosselin. 2007. Effect of ambient humidity on physiological activities and fruit yield and quality of greenhouse tomato. Acta Horticulturae 761: 85-92.

ความสัมพันธ์ระหว่างสีและสารออกฤทธิ์สำคัญทางชีวภาพของไม้ดอกประดับแปลง

Relationship Between Colour and Bioactive Compounds of Landscape Flowers

ชลลดา ศรีคำวัง[1] สรณะ สมโน[1] พงศกร ศุภกิจไพศาล[1] และ มาลัยพร วงค์แก้ว[2*]

Chonlada Srikamwang[1], Sarana Sommano[1], Pongsakorn Suppakittpaisarn[1] and Malaiporn Wongkaew[2*]

[1]ภาควิชาพืชศาสตร์และปฐพีศาสตร์ คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ จ. เชียงใหม่ 50200

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

[2]สาขาวิชาการผลิตและนวัตกรรมอาหาร วิทยาลัยเทคโนโลยีและสหวิทยาการ

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา จ. เชียงใหม่ 50220

[2]Program in Food Production and Innovation, College of Integrated Science and Technology,

Rajamangala University of Technology Lanna, Chiang Mai 50220, Thailand

**Corresponding author: Email: malaiporn@rmutl.ac.th*

(Received: 18 March 2022; Accepted: 6 July 2022)

Abstract: Flowers are an integral part of the agricultural ecosystem. Many flowers provide economic, ecological, and human health values. Flowers also contain secondary compounds with antioxidative potential which are beneficial for human health. The knowledge of bioactive compounds can encourage people to pay closer attention to flowers in the agricultural ecosystem. Therefore, this research aimed to study relationship between pigment colour and the antioxidant compounds of selected flowers including total phenolic content, total flavonoid content and antioxidant activity. Eight types of agricultural landscape flowers; namely marigold, sunflower, yellow cosmos, purple cosmos, sunn hemp, flame of the forest, red and green quinoa (*Chenopodium quinoa* W.) were collected during late winter (January 2020). All samples were lyophilized and then extracted using methanol maceration. Colour values (CIEL*a*b*), bioactive compound contents, and flower extract relationships were thus evaluated using chemometric method. The results indicated that flame of the forest had the highest values of red (26.14), yellow (131.87) and total phenolic content (0.09 GAE catechin/extract). While marigold contained the highest content of total phenolic compound (4.01 GAE catechin/extract) and antioxidant activity (75.45 percent). As a result, the overall flavonoid content was related to the red and yellow values of landscape flowers. The total quantity of phenolic compounds was linked to antioxidant activity. Nevertheless, the brightness value (L*) of the flowers did not correlate with the bioactive compounds. This research explored new economic possibilities for flowers in agricultural landscapes and argues for complete and biodiverse agricultural ecosystem.

Keywords: Agricultural ecosystem, chemical quality, flavonoids compounds, landscape horticulture, phenolic compounds

บทคัดย่อ: ดอกไม้เป็นส่วนหนึ่งที่มีความสำคัญในระบบนิเวศทางการเกษตร โดยหลายชนิดให้คุณค่าทั้งทางเศรษฐกิจ นิเวศวิทยาตลอดจนสุขภาพของมนุษย์ เนื่องจากดอกไม้ประกอบด้วยสารทุติยภูมิที่มีความสามารถในการต้านอนุมูล-อิสระซึ่งเป็นประโยชน์ต่อสุขภาพของมนุษย์ ทั้งนี้ องค์ความรู้ที่เกี่ยวกับสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพ จะช่วยให้ผู้คนให้ความสำคัญแก่ดอกไม้ในระบบนิเวศทางการเกษตรมากยิ่งขึ้น ดังนั้น วัตถุประสงค์ของการวิจัยนี้ เพื่อศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างสีของรงควัตถุและสารต้านอนุมูลอิสระของไม้ดอกประดับ รวมทั้งปริมาณฟีนอลิก ปริมาณฟลาโว-นอยด์รวม และความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ โดยเลือกใช้ไม้ดอกในการศึกษาทั้งสิ้น 8 ชนิด ได้แก่ ดอกดาวเรือง ดอกทานตะวัน ดอกดาวกระจายสีเหลือง ดอกดาวกระจายสีม่วง ดอกปอเทือง ดอกทองกวาว คืนวาสีแดงและคืนวาสีเขียว(*Chenopodium quinoa* W.) ซึ่งทำการเก็บรวบรวมจากแปลงสาธิตในช่วงปลายฤดูหนาว (มกราคม 2563) ตัวอย่างถูกนำมาทำแห้งด้วยการแช่เยือกแข็ง แล้วสกัดโดยแช่ในสารละลายเมทานอล จากนั้น นำสารสกัดที่ได้มาวิเคราะห์ค่าสี (CIEL*a*b*) ปริมาณสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพ รวมทั้ง ความสัมพันธ์ของค่าดังกล่าวกับดอกไม้แต่ละชนิดโดยใช้วิธีทางเคโมเมทริกซ์ ผลการศึกษาพบว่า ดอกทองกวาวมีค่าความเป็นสีแดง (26.14) ค่าความเป็นสีเหลือง (131.87) และปริมาณสารประกอบฟลาโวนอยด์สูงสุด (0.09 กรัมสมมูลของแคทีชินต่อกรัมสารสกัด) ส่วนดอกดาวเรืองมีปริมาณฟีนอลิกรวม (4.01 กรัมสมมูลของแคทีชินต่อกรัมสารสกัด) และความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระสูงสุด (ร้อยละ 75.45) จากผลการศึกษาสามารถสรุปได้ว่า ค่าความเป็นสีแดง และค่าความเป็นสีเหลืองของดอกไม้มีความสัมพันธ์แปรผันตรงกับปริมาณสารประกอบฟลาโวนอยด์ทั้งหมด ในขณะที่ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกรวมมีความสัมพันธ์แปรผันตรงกับค่าความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ อย่างไรก็ตาม ค่าความสว่าง (L*) ของดอกไม้ไม่มีความสัมพันธ์กับสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพ งานวิจัยนี้ได้แสดงให้เห็นถึงความเป็นไปได้ทางเศรษฐกิจของดอกไม้ที่ใช้ตกแต่งในภูมิทัศน์เกษตรกรรม รวมทั้งพิสูจน์ให้เห็นถึงความสมบูรณ์และความหลากหลายทางชีวภาพของระบบนิเวศทางการเกษตรอีกทางหนึ่งด้วย

คำสำคัญ: ระบบนิเวศเกษตร คุณภาพทางเคมี สารประกอบฟลาโวนอยด์ พืชกรรมภูมิทัศน์ สารประกอบฟีนอลิก

คำนำ

ไม้ดอกเป็นองค์ประกอบสำคัญอย่างหนึ่งในระบบนิเวศเกษตร ไม้ดอกหลายชนิดให้ประโยชน์ทางเศรษฐกิจในฐานะดอกไม้สด และส่งเสริมการท่องเที่ยว (James *et al.*, 2007; Matthews *et al.*, 2017; Wadka *et al.*, 2006) นอกจากนี้ ดอกไม้ในภูมิทัศน์เกษตรกรรมยังมีความจำเป็นต่อระบบนิเวศและส่งเสริมนิเวศบริการ เช่น ดอกปอเทืองที่ทำหน้าที่ปรับปรุงดิน (Ambrosano *et al.*, 2009) และดอกไม้หลายชนิดที่ทำหน้าที่ดึงดูดและเป็นแหล่งอาหารให้แก่แมลงผสมเกสร (Carvalheiro *et al.*, 2012) ดอกไม้ยังมีประโยชน์ทั้งโดยตรงและโดยอ้อมต่อมนุษย์ งานวิจัยทางจิตวิทยาพบว่า มนุษย์มีความชื่นชอบภูมิทัศน์ที่ประกอบด้วยดอกไม้มากกว่าภูมิทัศน์ชนิดอื่น (Suppakittpaisarn *et al.*, 2019) และการใช้เวลาในภูมิทัศน์ที่ชื่นชอบ มีผลต่อการลดความเครียดเฉียบพลัน เพิ่มประสิทธิภาพทางสมอง และส่งเสริมสุขภาพจิตในระยะยาว (Sullivan *et al.*, 2014; van den Berg *et al.*, 2003) ในการบำบัดด้วยพืชสวน (horticultural therapy) มีการใช้ดอกไม้และไม้ดอกในการบำบัดผู้ป่วยโรคหัวใจ สมองเสื่อม และพิการทางการเคลื่อนไหว (Kamioka *et al.*, 2014) นอกจากนี้ กลีบดอกไม้ยังมีศักยภาพในการพัฒนาเป็นยาเพื่อส่งเสริมสุขภาพ สีสันของดอกไม้คือรงควัตถุทางธรรมชาติ ซึ่งได้แก่ องค์ประกอบทางเคมีพืชแคโรทีนอยด์ คลอโรฟิลล์ แอนโทไซยานิน และบีตาเลน เป็นต้น (Pimpison *et al.*, 2020) ซึ่งนอกจากประโยชน์ด้านความสวยงามแล้ว ในทางธรรมชาติจะทำหน้าที่ในการล่อแมลงผสมเกสร หรือถูกใช้เพื่อป้องกันความเครียดจากสิ่งแวดล้อม (Nueasuk *et al.*, 2018) นอกเหนือจากนี้รงควัตถุจากดอกไม้ยังจัดเป็นสารออกฤทธิ์สำคัญทางชีวภาพที่

มีประโยชน์อย่างสารต้านอนุมูลอิสระ ซึ่งจะช่วยยับยั้งหรือชะลอการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันบริเวณระบบทางเดินอาหารและร่างกาย ที่ก่อให้เกิดอนุมูลอิสระและนำไปสู่โรคมะเร็งหลายชนิด เช่น มะเร็งลำไส้ มะเร็งตับ และมะเร็งต่อมลูกหมาก (Chanwitheesuk, 2001) โดยสารต้านอนุมูลอิสระทำให้อนุมูลอิสระที่เกิดขึ้นมีความเสถียรและลดโอกาสในการเกิดโรคได้ อีกทั้งยังมีบทบาทในการป้องกันโรคต่าง ๆ ที่เกิดจากปฏิกิริยาออกซิเดชันในร่างกาย เช่น โรคหัวใจ และ โรคหลอดเลือดหัวใจ เป็นต้น (Painupong, 2017) โดยสารต้านอนุมูลอิสระแบ่งเป็น 2 กลุ่มใหญ่ คือ 1) สารต้านอนุมูลอิสระที่พบในร่างกาย แบ่งเป็นกลุ่มเอนไซม์ (enzymatic) และกลุ่มที่ไม่ใช่เอนไซม์ (non-enzymatic) และ 2) สารต้านอนุมูลอิสระที่พบได้ในอาหารเป็นสารต้านอนุมูลอิสระที่ไม่อยู่ในกลุ่มเอนไซม์ ซึ่งโดยส่วนใหญ่มักพบได้ในพืช เช่น ผัก ผลไม้ และดอกไม้ เป็นต้น (Banjerdpongchai and Wilairat, 1995) แต่อย่างไรก็ตามในปัจจุบันก็ยังไม่มีการวิจัยและศึกษาเกี่ยวกับความสัมพันธ์ระหว่างค่าสีกับปริมาณสารออกฤทธิ์สำคัญทางชีวภาพและศักยภาพในการต้านอนุมูลอิสระของดอกไม้ในภูมิทัศน์เกษตรกรรม หากไม่มีความรู้ที่ชัดเจนเหล่านี้ เกษตรกรและผู้ปลูกอาจปล่อยให้กลีบดอกไม้ร่วงโรยไป และไม่เห็นคุณค่าของการปลูกดอกไม้ในแปลง ทำให้เกิดผลกระทบต่อความหลากหลายทางธรรมชาติ และศักยภาพในการสร้างรายได้ของเกษตรกรเอง รวมถึงสูญเสียความรู้ทางการแพทย์ที่อาจมีประโยชน์ต่อสุขภาพมนุษย์ ดังนั้น ในการศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณสารต้านอนุมูลอิสระ ได้แก่ สารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด สารประกอบฟลาโวนอยด์ทั้งหมด และ ค่าความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ กับระดับความเข้มของสีของไม้ดอกประดับแปลงที่มีสีสันหลากหลาย เนื่องจากทางคณะเกษตรศาสตร์ได้มีกิจกรรมให้นักศึกษาปลูกดอกไม้เพื่อเป็นการฝึกงานและปลูกประดับตกแต่งแปลงสาธิตคณะเกษตรศาสตร์เนื่องในพิธีพระราชทานปริญญาบัตร ผู้วิจัยจึงได้เลือกไม้ดอกที่มีอยู่แล้วนี้มาวิจัย โดยงานวิจัยนี้จะเป็นแนวทางในการต่อยอดงานวิจัยและพัฒนา ตลอดจนเพิ่มมูลค่าให้แก่ไม้ดอกประดับแปลงเพื่อประโยชน์ในทางยาและการแพทย์ต่อไป

อุปกรณ์และวิธีการ

การเตรียมตัวอย่างและการวิเคราะห์ค่าสี

การเตรียมตัวอย่าง

นำตัวอย่างดอกไม้ 8 ชนิด ที่เก็บได้จากแปลงสาธิตคณะเกษตรศาสตร์ ซึ่งประกอบด้วยดอกดาวกระจายสีเหลือง ดอกดาวเรือง ดอกทานตะวัน ดอกปอเทือง ดอกคืนวาสีเขียว ดอกคืนวาสีแดง ดอกดาวกระจายสีม่วง และดอกทองกวาว (Table 1) มาทำความสะอาดและแยกกลีบดอกออกจากฐานรองดอก จากนั้น บดกลีบดอกแต่ละชนิดให้ละเอียดด้วยโกร่ง นำตัวอย่างดอกไม้ทั้ง 8 ชนิดที่บดแล้วชนิดละ 10 กรัม ใส่ในอลูมิเนียมฟอยล์แล้วนำไปทำแห้งด้วยวิธีแช่เยือกแข็ง เป็นเวลาอย่างน้อย 24 ชั่วโมง เพื่อให้ตัวอย่างมีความชื้นน้อยกว่าร้อยละ 7 โดยน้ำหนักเปียก แล้วจึงนำไปวิเคราะห์ค่าสี

การวิเคราะห์ค่าสี

ชั่งตัวอย่างดอกไม้ที่ทำแห้งแล้วชนิดละ 2 กรัม ผสมกับเมทานอลความเข้มข้นร้อยละ 95 โดยปริมาตร 40 มิลลิลิตร ในขวดแก้วขนาดบรรจุ 150 มิลลิลิตร พร้อมปิดฝาทิ้งไว้ 1 คืน จากนั้น กรองสารสกัดดอกไม้แต่ละชนิดด้วยกระดาษกรองยี่ห้อ Whatman No. 1 แล้วนำสารสกัดไปวิเคราะห์ค่าสีด้วยระบบ CIEL* a* b* เมื่อค่า L* คือ ค่าที่ใช้กำหนดความสว่าง-มืด มีค่าตั้งแต่ 0 (สว่าง) - 100 (มืด) a* คือ ค่าความเป็นสีแดงและสีเขียว ค่า + หมายถึง สีแดง ค่า - หมายถึง สีเขียว b* คือ ค่าความเป็นสีน้ำเงินและสีเหลือง ค่า + หมายถึง สีเหลือง ค่า - หมายถึง สีน้ำเงิน (Klypetch, 2013) ด้วยเครื่องวัดสีแบบพกพารุ่น Spectrophotometer CM-5 ยี่ห้อ Konica-Minolta ประเทศญี่ปุ่น โดยวัดค่าสีจากสารสกัดดอกไม้แต่ละชนิด ชนิดละ 3 ซ้ำ

Table 1. Eight types of agricultural landscape flowers

Common name	Scientific name	Landscape flower figure
Yellow cosmos	*Cosmos sulphureus* Cav.	
Marigold	*Tagetes erecta* L.	
Sunflower	*Helianthus annuus* L.	
Sunn hemp	*Crotalaria juncea* L.	
Green quinoa	*Chenopodium quinoa* W.	
Red quinoa	*Chenopodium quinoa* W.	
Purple cosmos	*Bidens bipinnata* L.	
Flame of the forest	*Butea monosperma* O. Ktze.	

การเตรียมตัวอย่างและการวิเคราะห์ปริมาณสารออกฤทธิ์สำคัญ

การเตรียมตัวอย่าง

ชั่งตัวอย่างดอกไม้ที่ทำแห้งแล้วชนิดละ 0.02 กรัม ผสมกับเมทานอลความเข้มข้นร้อยละ 95 โดยปริมาตร 1 มิลลิลิตร ในหลอดไมโครเซ็นตริฟิวจ์ ขนาด 1 มิลลิลิตร นำไปสกัดโดยใช้คลื่นเสียงความถี่สูงด้วยเครื่องอัลตร้าโซนิค ยี่ห้อ VEVOR สาธารณรัฐประชาชนจีน เป็นเวลา 30 นาที จากนั้น นำไปปั่นเหวี่ยงที่ความเร็ว 500 รอบต่อนาที เพื่อแยกสารสกัดกับตะกอนออกจากกัน ต่อมานำสารสกัดที่ได้มาเจือจาง 10 เท่าด้วยสารละลายเมทานอลความเข้มข้นร้อยละ 95 โดยปริมาตร แล้วนำไปวิเคราะห์ปริมาณสารสำคัญ ได้แก่ ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกรวม ปริมาณสารประกอบฟลาโวนอยด์รวม และความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี DPPH ดังนี้

การวิเคราะห์ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกรวม

ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกรวมวิเคราะห์โดยใช้วิธี Folin-Ciocalteu ซึ่งดัดแปลงมาจากวิธีการของ Prathumtet *et al.* (2019) โดยปิเปตต์สารสกัดตัวอย่างหรือสารละลายมาตรฐานแคทีชิน ปริมาตร 30 ไมโครลิตร ลงในไมโครเพลท เติมสารละลาย Folin-Ciocalteu ความเข้มข้นร้อยละ 10 โดยปริมาตร 60 ไมโครลิตร จากนั้น เติมสารละลายโซเดียมคาร์บอเนตความเข้มข้นร้อยละ 6 น้ำหนักต่อปริมาตร 210 ไมโครลิตร ภายใน 1 ถึง 8 นาที แล้วนำไปเก็บไว้ในที่มืดที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 90 นาที จากนั้น นำไปวิเคราะห์ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกรวม โดยใช้เครื่องวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 725 นาโนเมตร คำนวณปริมาณฟีนอลิกรวมโดยเทียบกับสมการที่ได้จากกราฟมาตรฐานแคทีชิน (ความเข้มข้น 0, 10, 20, 30, 50, 100 และ 200 มิลลิกรัมต่อลิตร) แสดงผลในหน่วยกรัมสมมูลของแคทีชินต่อกรัมสารสกัด

การวิเคราะห์ปริมาณสารประกอบฟลาโวนอยด์รวม

ปริมาณสารประกอบฟลาโวนอยด์รวมวิเคราะห์โดยใช้วิธี aluminium chloride ดัดแปลงมาจากวิธีการของ Denchai *et al.* (2021) โดยปิเปตต์สารสกัดตัวอย่างหรือสารละลายมาตรฐานแคทีชิน ปริมาตร 25 ไมโครลิตร ลงในไมโครเพลท แล้วเติมน้ำกลั่น 125 ไมโครลิตร และสารละลายโซเดียมไนไตรท์ความเข้มข้นร้อยละ 5 น้ำหนักต่อปริมาตร ที่ปริมาตร 7.5 ไมโครลิตร ตั้งทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 5 นาที จากนั้นเติมสารละลายอะลูมิเนียมคลอไรด์ความเข้มข้นร้อยละ 10 น้ำหนักต่อปริมาตร 15 ไมโครลิตร ตั้งทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 6 นาที แล้วเติมสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้น 1.0 นอร์มอล ปริมาตร 50 ไมโครลิตร จากนั้นเติมน้ำกลั่นปริมาตร 25 ไมโครลิตร ผสมให้เข้ากัน แล้วนำไปวิเคราะห์ปริมาณสารประกอบฟลาโวนอยด์ โดยใช้เครื่องวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 510 นาโนเมตร คำนวณปริมาณฟลาโวนอยด์รวมโดยเทียบกับสมการที่ได้จากกราฟมาตรฐานแคทีชิน (ความเข้มข้น 0, 30, 60, 90, 120, 150, 180, 210, 240, 270 และ 300 มิลลิกรัมต่อลิตร) แสดงผลในหน่วยกรัมสมมูลของแคทีชินต่อกรัมน้ำหนักแห้ง

การวิเคราะห์ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ

ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระวิเคราะห์โดยใช้วิธี 2,2-diphenyl-1-picrylhydrazyl (DPPH) radical scavenging activity assay ดัดแปลงมาจากวิธีการของ Thongchuang *et al.* (2019) โดยปิเปตต์สารสกัดตัวอย่างหรือสารละลายเมทานอลความเข้มข้นร้อยละ 95 โดยปริมาตร 25 ไมโครลิตร ลงในไมโครเพลท แล้วเติมสารละลาย DPPH ความเข้มข้น 0.2 โมลาร์ 250 ไมโครลิตร แล้วในที่มืดที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 30 นาที จากนั้นทำการวิเคราะห์โดยใช้เครื่องวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 517 นาโนเมตร คำนวณความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ DPPH แสดงผลเป็นร้อยละความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระดังสมการที่ (1)

$$DPPH\ (\%) = [(A_{control} - A_{sample}) / A_{control}] \times 100 \quad (1)$$

โดยที่ $A_{control}$ คือ ค่าการดูดกลืนแสงของสารละลายเมทานอลความเข้มข้นร้อยละ 95 น้ำหนักต่อปริมาตรทำปฏิกิริยากับสารละลาย DPPH

A_{sample} คือ ค่าการดูดกลืนแสงของสารสกัดเมทานอลจากพืชแต่ละกรรมวิธีทำปฏิกิริยากับสารละลาย DPPH

สถิติที่ใช้ในงานวิจัย

ในการทดลองใช้ตัวอย่างดอกไม้จำนวน 3 ซ้ำในการวิเคราะห์ค่าต่าง ๆ แล้วนำข้อมูลมาวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างค่าสีกับปริมาณสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพในไม้ดอกประดับแปลงทั้ง 8 ชนิด โดยการวิเคราะห์สถิติแบบเคโมเมทริกซ์ด้วยโปรแกรม XLSTAT เวอร์ชัน 2021 (บริษัท Addinsoft ประเทศสหรัฐอเมริกา)

ผลการศึกษา

ค่าสี

จากการวิเคราะห์ค่าสีของตัวอย่างไม้ดอกประดับแปลง 8 ชนิด ที่มีสีสันต่างกัน พบว่า ค่าสีของไม้ดอกประดับแปลงมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) (Table 2) โดยค่าความสว่าง (L*) ของดอกดาวกระจายเหลืองและดอกดาวเรืองมีค่ามากที่สุด 94.62 และ 94.52 ตามลำดับ ส่วนค่า a* ซึ่งเป็นค่าเปรียบเทียบระหว่างสีแดงและสีเขียว พบว่า ค่า a* ของดอกทองกวาวมีค่าความเป็นสีแดงมากที่สุด (26.14) สำหรับค่า b* ซึ่งเป็นค่าเปรียบเทียบระหว่างสีน้ำเงินและสีเหลือง พบว่า ค่า b* ของดอกทองกวาวมีค่าความเป็นสีเหลืองมากที่สุด (131.87) รองลงมาคือ ดอกทานตะวัน (95.55) และดอกปอเทือง (60.24) ตามลำดับ

ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกและฟลาโวนอยด์รวม

จากการวิเคราะห์ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกรวมในตัวอย่างไม้ดอกประดับแปลง 8 ชนิด พบว่า ดอกดาวเรืองมีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกรวมมากที่สุด (4.01 กรัมสมมูลของแคทีชินต่อกรัมสารสกัด) รองลงมาคือ ดอกทองกวาว (1.81 กรัมสมมูลของแคทีชินต่อกรัมสารสกัด) และดอกดาวกระจายม่วง (1.14 กรัมสมมูลของแคทีชินต่อกรัมสารสกัด) สำหรับปริมาณสารประกอบฟลาโวนอยด์รวม พบว่า ดอกทองกวาว (0.09 กรัมสมมูลของแคทีชินต่อกรัมสารสกัด) และดอกดาวเรือง (0.08 กรัมสมมูลของแคทีชินต่อกรัมสารสกัด) มีปริมาณสารประกอบฟลาโวนอยด์สูงกว่าดอกชนิดอื่นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (Table 3)

Table 2. Colour values of 8 types of landscape flowers

Landscape flower types	L*	a*	b*
Yellow cosmos	94.62 ± 0.01[a]	-9.96 ± 0.01[e]	30.69 ± 0.04[g]
Marigold	94.52 ± 0.00[a]	-11.00 ± 0.01[f]	34.56 ± 0.04[e]
Sunflower	91.81 ± 0.32[b]	-13.00 ± 0.09[g]	95.55 ± 0.96[b]
Sunn hemp	90.72 ± 0.01[c]	-10.98 ± 0.02[f]	60.24 ± 0.06[c]
Green quinoa	86.84 ± 0.04[f]	-9.65 ± 0.01[d]	38.55 ± 0.12[d]
Red quinoa	87.27 ± 0.07[e]	-5.87 ± 0.03[c]	31.84 ± 0.05[f]
Purple cosmos	89.84 ± 0.03[d]	3.67 ± 0.01[b]	5.94 ± 0.02[h]
Flame of the forest	79.67 ± 0.03[g]	26.14 ± 0.04[a]	131.87 ± 0.11[a]

Average ± standard deviation with different letters in each column indicate significantly different ($P < 0.05$)

Table 3. Contents of total phenolic and flavonoid compounds of landscape flowers

Landscape flower types	Total phenolic compound (g Catechin equivalent/g extract)	Total flavonoid compound (g Catechin equivalent/g extract)
Yellow cosmos	0.84 ± 0.01[cd]	0.06 ± 0.01[b]
Marigold	4.01 ± 0.59[a]	0.08 ± 0.01[a]
Sunflower	0.34 ± 0.07[ef]	0.07 ± 0.02[ab]
Sunn hemp	0.70 ± 0.01[de]	0.03 ± 0.00[c]
Green quinoa	0.41 ± 0.06[ef]	0.02 ± 0.00[c]
Red quinoa	0.19 ± 0.78[g]	0.04 ± 0.01[c]
Purple cosmos	1.14 ± 0.23[c]	0.03 ± 0.01[c]
Flame of the forest	1.81 ± 0.16[b]	0.09 ± 0.02[a]

Average ± standard deviation with different letters in each column indicate significantly different ($P < 0.05$)

ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ

จากการวิเคราะห์ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระในตัวอย่างไม้ดอกประดับแปลง 8 ชนิด พบว่า ดอกดาวเรืองมีค่าความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระมากที่สุด (ร้อยละ 75.45) รองลงมาคือ ดอกคืนวาสีแดงและดอกดาวกระจายม่วง ซึ่งมีค่าความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระใกล้เคียงกัน (ร้อยละ 41.19 และ 40.14 ตามลำดับ) เช่นเดียวกับดอกคืนวาสีเขียว ดอกทองกวาว และดอกดาวกระจายเหลืองที่มีค่าความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระใกล้เคียงกัน (ร้อยละ 33.61 32.23 และ 30.86 ตามลำดับ) สำหรับดอกทานตะวันและดอกปอเทืองนั้นมีค่าความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระน้อยที่สุด (ร้อยละ 25.86 และ 25.64 ตามลำดับ) (Table 4)

การวิเคราะห์ค่าสีของไม้ดอกประดับทางเคโมเมทริกซ์

จากการวิเคราะห์ค่าสีโดยวิธีทางเคโมเมทริกซ์ของไม้ดอกประดับ 8 ชนิด (Figure 1) พบว่า ดอกทองกวาวแสดงผลในบริเวณที่ใกล้กับเส้นกราฟที่แสดงค่าของค่าความเป็นสีแดงสูงสุด (a* เท่ากับ 26.14) และยังแสดงผลในบริเวณที่ใกล้กับเส้นกราฟที่แสดงค่าของค่าความเป็นสีเหลืองสูงสุด (b* เท่ากับ 131.87) ส่วนดอกดาวเรือง ดอกคืนวาสีเขียว ดอกปอเทือง ดาวกระจายม่วง ดาวกระจายเหลือง ดอกคืนวาสีแดง และดอกทานตะวันมีค่าสีอยู่ในระดับที่ใกล้เคียงกัน สำหรับค่าความสว่าง (L*) พบว่า ไม้ดอกทั้ง 8 ชนิด แสดงผลไม่ใกล้เคียงกับบริเวณกับเส้นกราฟที่แสดงค่าความสว่าง ดังนั้น ดอกไม้ทั้ง 8 ชนิด มีค่าความสว่างที่ไม่แตกต่างกัน

การวิเคราะห์ปริมาณสารออกฤทธิ์สำคัญและความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระทางเคโมเมทริกซ์

จากการวิเคราะห์ทางเมทริกซ์เคมีของปริมาณสารออกฤทธิ์สำคัญในไม้ดอกประดับแปลงทั้ง 8 ชนิด (Figure 2) ประกอบด้วยสารประกอบฟีนอลิกรวม สารประกอบฟลาโวนอยด์รวม และค่าความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ (DPPH) พบว่า ดอกทองกวาวแสดงผลในบริเวณที่ใกล้กับเส้นกราฟที่แสดงค่าของสารประกอบฟลาโวนอยด์ แสดงให้เห็นว่าดอกทองกวาวมีปริมาณสารประกอบฟลาโวนอยด์รวมสูงสุด สำหรับดอกดาวเรืองแสดงผลออกมาอย่างโดดเด่นบนเส้นกราฟที่แสดงค่าของสารประกอบฟีนอลิก แสดงว่ามีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกรวมสูงสุด นอกจากนี้ยังพบว่า ดอกดาวเรืองแสดงผลในบริเวณที่ใกล้กับเส้นกราฟที่แสดงค่าความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระสูงสุด แสดงให้เห็นว่าดอกดาวเรืองมีค่าความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระสูงที่สุด

Table 4. Antioxidant activity of landscape flowers

Landscape flower types	Antioxidant activity (%)
Yellow cosmos	30.86 ± 1.45[c]
Marigold	75.45 ± 5.20[a]
Sunflower	25.86 ± 0.69[d]
Sunn hemp	25.64 ± 1.31[d]
Green quinoa	33.61 ± 2.54[c]
Red quinoa	41.19 ± 1.28[b]
Purple cosmos	40.14 ± 1.15[b]
Flame of the forest	32.23 ± 1.56[c]

Average ± standard deviation with different letters in each column indicate significantly different ($P < 0.05$)

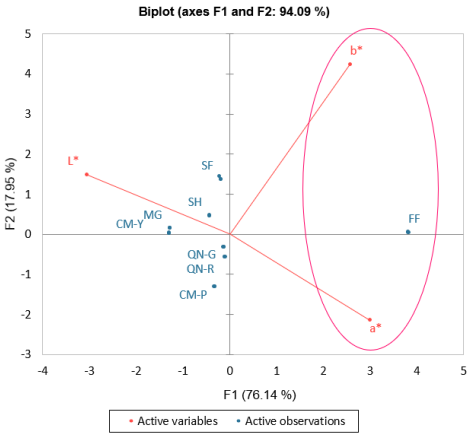


Figure 1. Correlation of colour values with 8 types of landscape flowers

MG = Marigold, QN-G = Green quinoa, SH = Sunn hemp, CM-P = Purple cosmos, CM-Y = Yellow cosmos, QN-R = Red quinoa, SF = Sunflower, FF = Flame of the forest

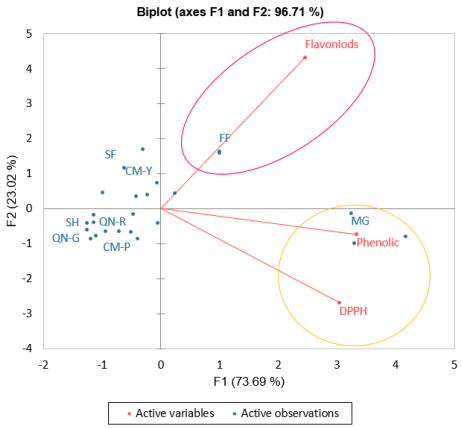


Figure 2. Correlation of bioactive compounds and 8 types of landscape flowers

MG = Marigold, QN-G = Green quinoa, SH = Sunn hemp, CM-P = Purple cosmos, CM-Y = Yellow cosmos, QN-R = Red quinoa, SF = Sunflower, FF = Flame of the forest

วิจารณ์

จากผลการวิเคราะห์และเปรียบเทียบทางเคโมเมทริกซ์ระหว่างค่าสี (L* a* และ b*) และปริมาณสารออกฤทธิ์สำคัญ ได้แก่ ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกรวม ปริมาณสารประกอบฟลาโวนอยด์รวม และค่าความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ ในไม้ดอกประดับแปลง 8 ชนิด พบว่า ค่าสีของดอกทองกวาวมีค่าความเป็นสีแดง (+a*) และค่าความเป็นสีเหลือง (+b*) สูงสุดเมื่อเทียบกับดอกไม้ชนิดอื่น ซึ่งสารสีแดงเป็นสารในกลุ่มแอนโทไซยานิน ส่วนสารสีเหลืองเป็นสารในกลุ่มแคโรทีนอยด์ โดยสารสีในดอกทองกวาวมีความสัมพันธ์ใกล้เคียงกับค่าความเป็นสีเหลืองมากกว่า เนื่องจากผลการวิเคราะห์ค่าสีทางเคโมเมทริกซ์ของดอกทองกวาวอยู่ในจตุภาคที่ 1 ซึ่งอยู่ในจตุภาคเดียวกับค่าความเป็นสีเหลือง นอกจากนี้ ดอกทองกวาวยังมีปริมาณสารประกอบฟลาโวนอยด์รวมสูงสุด สอดคล้องกับรายงานของ Pereira-Caro *et al.* (2013) ที่พบว่า ในข้าวให้สีบางชนิดมีสารต้านอนุมูลอิสระหลายชนิด ได้แก่ ฟลาโวนอยด์ แคโรทีนอยด์ แอนโทไซยานิน ฟลาโวน และ แกมมาโอไรซานอล เป็นต้น และจากรายงานวิจัยของ Zeng *et al.* (2008) ยังพบว่าดอกไม้ในกลุ่มสีแดงมีปริมาณสารต้านอนุมูลอิสระและสารประกอบฟีนอลสูงกว่ากลุ่มสีอื่น ๆ นอกจากนี้ยังสอดคล้องกับงานวิจัยของ Wan *et al.* 2019 ที่ศึกษาถึงความสัมพันธ์ของสารประกอบฟลาโวนอยด์ แคโรทีนอยด์ ในดอกกุหลาบต่างสีและต่างสายพันธุ์ พบว่าในดอกกุหลาบสายพันธุ์ที่มีกลีบสีส้ม และสายพันธุ์ที่มีกลีบสีเหลือง มีปริมาณสารประกอบแคโรทีนอยด์สูงสุด ส่วนดอกกุหลาบสายพันธุ์ที่มีกลีบสีชมพู มีสารประกอบฟลาโวนอยด์สูงสุด อย่างไรก็ตามยังไม่พบความสัมพันธ์ที่ชัดเจนระหว่างปริมาณสารประกอบฟลาโวนอยด์ แคโรทีนอยด์ และแอนโทไซยานิน สำหรับปริมาณสารประกอบฟีนอลิกรวม และความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ พบว่า ดอกดาวเรืองมีความสัมพันธ์กับค่าทั้งสอง เนื่องจากผลการวิเคราะห์ทางเคโมเมทริกซ์ของดอกดาวเรืองอยู่ในจตุภาคเดียวกันกับค่าสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด และความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ สอดคล้องกับงานวิจัยของ Hemathulin *et al.* (2015) ที่วิเคราะห์สารออกฤทธิ์ทางชีวภาพในดอกไม้รับประทานได้ 3 กลุ่มสี พบว่าดอกกุหลาบสีเหลืองเป็นดอกไม้ที่มีสารประกอบฟีนอลิกรวมสูงสุด เมื่อเปรียบเทียบกับดอกดาหลาและดอกอัญชันที่อยู่ในกลุ่มสีแดงและสีน้ำเงิน อีกทั้งยังสอดคล้องกับงานวิจัยของ Kaisoon *et al.* (2012) ที่รายงานว่า ดอกดาวเรืองมีสารประกอบฟีนอลิกสูงกว่าดอกเฟื่องฟ้า ดอกดาวกระจาย และดอกพวงชมพูประมาณ 2 เท่า โดยสารประกอบฟีนอลิกช่วยเพิ่มความคงตัวให้แก่รงควัตถุสีเหลืองในพืช (Wu *et al.,* 2022) นอกจากนี้ Yan and Asmah (2010) และ Velioglu *et al.* (1998) ยังพบว่า ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกแปรผันตรงกับความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ ด้วยเหตุนี้จึงส่งผลให้ดอกดาวเรืองซึ่งมีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกรวมสูงสุด มีความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระสูงสุดตามไปด้วย ส่งผลให้มีการนำดอกดาวเรืองมาใช้เป็นสารต้านอนุมูลอิสระและใช้เป็นยาสมุนไพรในการรักษาโรคได้หลากหลาย Mahantesh *et al.* (2012) รวมทั้ง ยังมีการนำดอกดาวเรืองมาใช้เป็นส่วนผสมในอาหารเลี้ยงสัตว์ ส่งผลทำให้ไข่ไก่ และเนื้อหมูมีสีแดงขึ้น (Hencken, 1992)

จากการศึกษานี้ ทำให้ทราบถึงความสัมพันธ์ของรงควัตถุในดอกไม้กับปริมาณสารสำคัญทางชีวภาพ โดยพบว่า ค่าความเป็นสีแดง (+a*) และค่าความเป็นสีเหลือง (+b*) มีความสัมพันธ์แปรผันตรงกับปริมาณสารประกอบฟลาโวนอยด์ทั้งหมด ในขณะที่ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกรวมมีความสัมพันธ์แปรผันตรงกับค่าความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ ดังนั้นดอกไม้ที่มีทั้งค่าความเป็นสีแดงและค่าความเป็นสีเหลืองส่งผลให้ปริมาณสารประกอบฟลาโวนอยด์รวมมีปริมาณสูง ส่วนปริมาณสารประกอบฟีนอลิกรวมที่มีปริมาณสูงทำให้ค่าความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระสูงตามไปด้วย (Ounamornmas and Sommano, 2016) ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Sommano *et al.* (2020) ที่พบว่า ดอกพุดซ้อนที่มีสีเหลืองประกอบด้วยสารประกอบกลุ่มเอสเทอร์ของโครซีทิน (crocetin) ซึ่งสารกลุ่มดังกล่าวมีความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ

ที่สูง รวมทั้งยังช่วยป้องกันการเสื่อมของระบบประสาทและตับ ป้องกันการเกิดเนื้องอก และมีฤทธิ์ในการช่วยลดน้ำตาลและไขมันในเลือดได้ นอกจากนี้ผลการวิจัยนี้ยังช่วยส่งเสริมให้เกษตรกรพิจารณา วางแผน และรักษาไม้ดอกในภูมิทัศน์เกษตรกรรม อันเป็นการสร้างความหลากหลายทางธรรมชาติ เป็นแหล่งอาหารให้แมลงผสมเกสร รวมถึงศักยภาพในการเก็บเกี่ยวศึกษากลีบไม้ดอก ซึ่งมักเป็นผลพลอยได้จากการผลิตทางการเกษตร เพื่อให้เกิดการดูแลระบบนิเวศตามวิถีแบบจำลองเศรษฐกิจหมุนเวียนและสีเขียวต่อไป (Norsuwan *et al.,* 2021) ทั้งนี้ ผลการศึกษายังมีข้อจำกัดคือ ชนิดของดอกไม้ที่มีรงควัตถุต่าง ๆ ยังมีจำนวนที่ไม่มากนัก ดังนั้น ในอนาคตนักวิจัยควรมีการเพิ่มจำนวนตัวอย่างของชนิดดอกไม้ให้มากขึ้น เพื่อให้ได้ข้อมูลความสัมพันธ์ของรงควัตถุกับปริมาณสารสำคัญที่ออกฤทธิ์ทางชีวภาพที่หลากหลายและนำไปประยุกต์ใช้ได้กว้างขวางมากขึ้น

สรุป

จากการศึกษาความสัมพันธ์ของรงควัตถุของไม้ดอก 8 ชนิด กับปริมาณสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพและความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระด้วยการเปรียบเทียบทางเคโมเมทริกซ์ พบว่า ค่าความเป็นสีแดง (+a*) และค่าความเป็นสีเหลือง (+b*) มีความสัมพันธ์กับปริมาณสารประกอบฟลาโวนอยด์รวม ซึ่งพบว่า ในดอกทองกวาวมีทั้งค่าความเป็นสีแดง และค่าความเป็นสีเหลือง และปริมาณสารประกอบฟลาโวนอยด์รวมสูงสุด ส่วนปริมาณสารประกอบฟีนอลิกรวมมีความสัมพันธ์กับค่าความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ ซึ่งพบมากในดอกดาวเรือง ส่วนค่าความสว่าง (L*) เมื่อหาความสัมพันธ์ทางเคโมเมทริกซ์ พบว่า ดอกไม้ทั้ง 8 ชนิด มีค่าความสว่างที่ใกล้เคียงกัน โดยค่าความสว่างไม่มีความสัมพันธ์กับปริมาณสารออกฤทธิ์สำคัญในไม้ดอกที่ศึกษา จากผลการวิจัยนี้ สามารถใช้เป็นแนวทางในการส่งเสริมการเพาะปลูกไม้ดอกประดับที่มีรงควัตถุที่ให้ปริมาณสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพสูง เพื่อนำไปเพิ่มมูลค่าโดยประยุกต์ใช้ในทางยา ทางด้านการแพทย์ ตลอดจนอาหารเชิงฟังก์ชันได้

กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้วิจัยขอขอบคุณคณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ ที่สนับสนุนการดำเนินงานวิจัย ตลอดจนการเอื้อเฟื้อวัตถุดิบ สถานที่ และอุปกรณ์ในงานวิจัย

เอกสารอ้างอิง

Ambrosano, E.J., P.C.O. Trivelin, H. Cantarella, G.M.B. Ambrosano, E.A. Schammass, T. Muraoka, N. Guirado and F. Rossi. 2009. Nitrogen supply to corn from sunn hemp and velvet bean green manures. Scientia Agricola 66(3): 386-394.

Banjerdpongchai, R. and P. Wilairat. 1995. Mechanisms and clinical applications. Naresuan University Journal 3(1-2): 11-16. (in Thai)

Carvalheiro, L.G., C.L. Seymour, S.W. Nicolson and R. Veldtman. 2012. Creating patches of native flowers facilitates crop pollination in large agricultural fields: Mango as a case study. Journal of Applied Ecology 49(6): 1373-1383.

Chanwitheesuk, A. 2001. Screening and identification of antioxidants from local vegetables and Thai herbs. M.S. Thesis. Chiang Mai University, Chiang Mai. (in Thai)

Denchai, R., N. Phaiboon, N. Pornsiri and S. Rattana. 2021. Antioxidant activities, total phenolic and total flavonoid contents of *Lepisanthes rubiginosa* crude extract. Koch Cha Sarn Journal of Science 43(2): 1-11. (in Thai)

Hemathulin, S., S. Sopajon and I. Seepanrom. 2015. Healthy drink of fancy edible flowers squash product. Khon Kaen Agriculture Journal 43(Suppl. 1): 305-310. (in Thai)

Hencken, H. 1992. Chemical and physiological behavior of feed carotenoids and their effects on pigmentation. Poultry Science 71(4): 711-717.

James, I., T. Hoffman, A. Munro, P. O'Farrell and R. Smart. 2007. The value of flower tourism at the Namaqua National Park: Environmental and ecological economics. South African Journal of Economic and Management Sciences 10(4): 442-456.

Kaisoon, O., I. Konczak and S. Siriamornpun. 2012. Potential health enhancing properties of edible flowers from Thailand. Food Research International 46(2): 563-571.

Kamioka, H., K. Tsutani, M. Yamada, H. Park, H. Okuizumi, T. Honda, S. Okada, S. Park, J. Kitayuguchi, T. Abe, S. Handa and Y. Mutoh. 2014. Effectiveness of horticultural therapy: A systematic review of randomized controlled trials. Complementary Therapies in Medicine 22(5): 930-943.

Klypetch, P. 2013. A method to measure the color of the printed banknotes using digital Image processing to optimize print quality. M.S. Thesis. Chulalongkorn University, Bangkok. 74 p. (in Thai)

Mahantesh, S.P., A.K. Gangawane and C.S. Patil. 2012. Free radicals, antioxidants, diseases and phytomedicines in human health: Future perspects. World Research Journal of Medicinal and Aromatic Plants 1(1): 6-10.

Matthews, W.A., D.A. Sumner, J. Medellín-Azuara and T. Hanon. 2017. Economics of the California cut flower industry and potential impacts of legal cannabis. University of California Agricultural Issues Center Davis, CA, 59 p.

Norsuwan, T., K. Utthasuk, T. Punyasai, T. Saltikulnukarn, R. Chaima, P. Suppakittpaisarn, E. Yaipimol, V. Surinseng, N. Charoenlertthanakit and T. Kaeomuangmoon. 2021. Urban agriculture and BCG economic model. Journal of Agricultural Research and Extension 38(3): 100-116. (in Thai)

Nueasuk, C., T. Taychasinpitak, P. Sukprasert, N. Chanchula and N. Balla. 2018. Breeding of interspecific hybrid sunflower using male sterile. Thai Journal of Science and Technology 7(6): 588-595. (in Thai)

Ounamornmas, P. and S. Sommano. 2016. Analyses of bioactive ingredients and antioxidant activities of some edible flowers. Journal of Agriculture 32(3): 435-445. (in Thai)

Painupong, A. 2017. Free radicals and anti-oxidants in human health. PKRU SciTech Journal 1(2): 20-27. (in Thai)

Pereira-Caro, G., G. Cros, T. Yokota and A. Crozier. 2013. Phytochemical profiles of black, red, brown, and white rice from the Camargue region of France. Journal of Agricultural and Food Chemistry 61(33): 7976-7986.

Pimpison, R., P. Chalermchaiwat and T. Limsuwun. 2020. Assessment of color, pigment and antioxidant activity of red-pink Thai edible flowers and its application in coconut juice sorbet. Thai Science and Technology Journal 28(3): 429-442. (in Thai)

Prathumtet, J., C. Surasorn and T. Paopa. 2019. Total phenolic content and antioxidant activity of three flower infusion tea in Sakon

Nakhon province. Journal of Health Science 28(6): 1110-1115. (in Thai)

Sommano, S.R., P. Suppakittpaisarn, K. Sringarm, T. Junmahasathien and W. Ruksiriwanich. 2020. Recovery of crocins from floral tissue of *Gardenia jasminoides* Ellis. Frontiers in Nutrition 7: 106, doi: 10.3389/fnut.2020.00106.

Sullivan, W.C., H. Frumkin, R.J. Jackson and C.Y. Chang. 2014. Gaia meets Asclepius: Creating healthy places. Landscape and Urban Planning 127: 182-184.

Suppakittpaisarn, P., L. Larsen and W.C. Sullivan. 2019. Preferences for green infrastructure and green stormwater infrastructure in urban landscapes: Differences between designers and laypeople. Urban Forestry and Urban Greening 43: 126378, doi: 10.1016/j.ufug.2019.126378.

Thongchuang, M., C. Kunsombat, R. Taothong, W. Naknawa, K. Kraboun, V. Ajavakom and N. Wutipraditkul. 2019. Antioxidant capacity in different cultivars of sunflower sprouts and their harvesting indices. The Journal of Applied Science 18(2): 79-96. (in Thai)

van den Berg, A.E., S.L. Koole and N.Y. van der Wulp. 2003. Environmental preference and restoration: (How) are they related? Journal of Environmental Psychology 23(2): 135-146.

Velioglu, Y.S., G. Mazza, L. Gao and B.D. Oomah. 1998. Antioxidant activity and total phenolics in selected fruits, vegetables, and grain products. Journal of Agricultural and Food Chemistry 46(10): 4113-4117.

Wadka, S.S., S.R. Bagade and P.D. Veerkar. 2006. A study on the economics of cut flower production under polyhouse. Agricultural Economics Research Review 19: 214.

Wan, H., C. Yu, Y. Han, X. Guo, L. Luo, H. Pan and Q. Zhang. 2019. Determination of flavonoids and carotenoids and their contributions to various colors of rose cultivars (*Rosa* spp.). Frontiers in Plant Science 123, doi: 10.3389/fpls.2019.00123.

Wu, J., X. Wang, Y. He, J. Li, K. Ma, Y. Zhang, H. Li, C. Yin and Y. Zhang. 2022. Stability evaluation of gardenia yellow pigment in presence of different phenolic compounds. Food Chemistry. 373: 131441, doi: 10.1016/j.foodchem.2021.131441.

Yan, S.W. and R. Asmah. 2010. Comparison of total phenolic contents and antioxidant activities of turmeric leaf, pandan leaf and torch ginger flower. International Food Research Journal 17: 417-423.

Zeng, Y., J. Zhao and Y. Peng. 2008. A comparative study on the free radical scavenging activities of some fresh flowers in southern China. LWT-Food Science and Technology 41(9): 1586-1591.

ผลของการจัดการน้ำและปุ๋ยไนโตรเจนต่อปริมาณโพรลีนในใบในแต่ละระยะการเจริญเติบโตของข้าวหอมพื้นเมืองไทย

Effects of Water and Nitrogen Fertilizer Management on Leaf Proline Content in Different Growth Stages of Thai Fragrant Rice Landraces

ชุติมา วิริยา[1] เพ็ญนภา จักรสมศักดิ์[2] ชนากานต์ เทโบลต์ พรมอุทัย[1,3]
ศันสนีย์ จำจด[1,3] และ ต่อนภา ผุสดี[1,3,4*]
Chutima Wiriya[1], Pennapa Jaksomsak[2], Chanakan Thebault Prom-u-thai[1,3],
Sansanee Jamjod[1,3] and Tonapha Pusadee[1,2,4,*]

[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]สาขาวิชาเกษตรเคมี คณะผลิตกรรมการเกษตร มหาวิทยาลัยแม่โจ้ จ. เชียงใหม่ 50210
[2]Program in Agricultural Chemistry, Faculty of Agricultural Production, Maejo University, Chiang Mai 50210, Thailand
[3]ศูนย์วิจัยข้าวล้านนา มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ จ. เชียงใหม่ 50200
[3]Lanna Rice Research Center, Chiang Mai University, Chiang Mai 50200, Thailand
[4]ศูนย์วิจัยเกษตรนวัตกรรม คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ จ. เชียงใหม่ 50200
[4]Innovative Agriculture Research Center, Faculty of Agriculture, Chiang Mai University, Chiang Mai 50200 Thailand
**Corresponding author: Email: tonapha.p@cmu.ac.th*

(Received: 22 March 2022; Accepted: 16 September 2022)

Abstract: Proline is a precursor used in the synthesis of 2-acetyl-1-pyrroline (2AP) accumulates in the grains of fragrant rice. Proline accumulation has been reported after exposure to stress conditions during cultivation such as drought, high temperatures, low temperatures, or nutrient deficiencies. Therefore, this research aimed to study the effect of water (unsaturated and waterlogged) and nitrogen management at the rate of 60 (N60) and 150 (N150) kg/ha in the fragrant rice landrace, Buer Ner Moo 4 (BNM4) and the popular rice varieties Khao Dawk Mali 105 (KDML105) and Suphan Buri 1 (SPR1). The experiment was designed in a factorial in completely randomized design with 3 replications. The proline accumulation in leaves of rice was evaluated at the tillering, booting, and flowering stages. It was found that the proline content of the three rice varieties responded differently to water and nitrogen fertilizer management during tillering and flowering stage, In the booting stage, the proline content of all varieties responded to water and nitrogen fertilizer management in the same direction. Under unsaturated condition, leaf proline content increased when applied with N150 which was 37 - 46 % higher than N60. Under waterlogged condition, applying with N60 greatly increased leaf proline content by 52 - 66 % compared with N150. Comparing among the growth stage, it was found that leaves proline content in the booting stage was the highest from the other. The data obtained from this study can be utilized in appropriate water and nitrogen fertilizer management for each variety. It is assumed that proline accumulation in rice leaves is related to aroma (2AP) in fragrant rice. Further

studies may be needed on the relationship between 2AP and leaf proline content, and in-depth molecular studies should be conducted to determine the gene expression that regulate proline content related to aroma (2AP) in fragrant rice.

Keywords: Proline, fragrant rice, water management, nitrogen management

บทคัดย่อ: โพรลีน (proline) เป็นสารตั้งต้นชนิดหนึ่งในกระบวนการสังเคราะห์ 2-acetyl-1-pyrroline (2AP) ในเมล็ด ทำให้ข้าวมีกลิ่นหอม การสะสมโพรลีนเกิดขึ้นหลังจากได้รับสภาวะเครียดจากสภาพแวดล้อม เช่น ภัยแล้ง อุณหภูมิสูง อุณหภูมิต่ำ หรือ การขาดธาตุอาหาร ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลของการจัดการน้ำ (สภาพน้ำขังและสภาพไม่ขังน้ำ) และไนโตรเจนที่อัตรา 60 (N60) และ 150 (N150) กิโลกรัมต่อเฮกตาร์ ในข้าวหอมพันธุ์พื้นเมือง คือ บือเนอมู4 (BNM4) และพันธุ์ข้าวที่นิยมปลูกทั่วไป ได้แก่ พันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 และสุพรรณบุรี 1 วางแผนการทดลองแบบ factorial in completely randomized design ปลูกในกระถาง ภายใต้สภาพโรงเรือน จำนวน 3 ซ้ำ ประเมินการสะสมโพรลีนในใบข้าวที่อยู่ในระยะแตกกอ ตั้งท้อง และออกดอก จากการศึกษาพบว่าปริมาณโพรลีนในพันธุ์ข้าวทั้ง 3 พันธุ์ มีการตอบสนองต่อการจัดการน้ำและปุ๋ยไนโตรเจนแตกต่างกันในระยะแตกกอ และออกดอก ส่วนในระยะตั้งท้องพบว่าปริมาณโพรลีนของข้าวทั้งสามพันธุ์มีการตอบสนองต่อการจัดการน้ำและปุ๋ยไนโตรเจนในทิศทางเดียวกัน เมื่อปลูกในสภาพไม่ขังน้ำร่วมกับไนโตรเจนที่อัตรา N150 ส่งผลให้มีปริมาณโพรลีนในใบเพิ่มมากกว่าที่ไนโตรเจนอัตรา N60 อยู่ในช่วง 37 - 46 เปอร์เซ็นต์ แต่ในทางกลับกันเมื่อปลูกในสภาพน้ำขังร่วมกับการให้ไนโตรเจนที่ N60 ทำให้ปริมาณโพรลีนในใบเพิ่มสูงขึ้นอย่างมาก เมื่อเทียบกับการให้ปุ๋ยไนโตรเจนที่ N150 โดยมีค่าอยู่ในช่วง 52 - 66 เปอร์เซ็นต์ และเมื่อเปรียบเทียบระหว่างระยะเจริญเติบโตพบว่า ในระยะตั้งท้องมีปริมาณโพรลีนในใบสะสมมากที่สุด ข้อมูลที่ได้จากการศึกษาในครั้งนี้สามารถนำไปใช้ประโยชน์ในการจัดการน้ำและปุ๋ยไนโตรเจนที่เหมาะสมในแต่ละพันธุ์ โดยคาดว่าการสะสมปริมาณโพรลีนในใบข้าวมีความสัมพันธ์กับความหอม (2AP) ในข้าวหอมอาจต้องมีการศึกษาเพิ่มเติมในส่วนของความสัมพันธ์ระหว่าง 2AP กับปริมาณโพรลีนในใบ และศึกษาเชิงลึกในระดับโมเลกุลที่ทำให้ทราบถึงการแสดงออกของยีนที่ควบคุมปริมาณโพรลีนที่มีความสัมพันธ์กับความหอม (2AP) ในข้าวหอมต่อไป

คำสำคัญ: โพรลีน ข้าวหอม การจัดการน้ำ ไนโตรเจน

คำนำ

ข้าว (*Oryza sativa* L.) จัดเป็นหนึ่งของแหล่งอาหารที่สำคัญของประชากรโลก โดยเฉพาะอย่างยิ่งในแถบภูมิภาคเอเชีย ที่นิยมบริโภคข้าวเป็นอาหารหลัก ปัจจุบันนอกจากผู้บริโภคนิยมบริโภคข้าวที่มีคุณภาพการกินที่ดีแล้วกลิ่นหอมของข้าวก็ได้รับความนิยมเช่นกัน ลักษณะความหอมของข้าวมีกลิ่นหอมคล้ายกลิ่นของใบเตยหรือข้าวโพดคั่ว (Buttery *et al.,* 1983) ซึ่งส่งผลต่อการยอมรับและเป็นที่ต้องการของผู้บริโภค (Suwannaporn and Linnemann, 2008) ดังนั้น กลิ่นและรสชาติจึงจัดอันดับให้เป็นเกณฑ์สำคัญสำหรับการวัดความพึงพอใจของผู้บริโภค (Tomlins *et al.,* 2005)

ข้าวหอมแต่ละพันธุ์มีความหอมแตกต่างกัน เช่น ข้าวหอมบาสมาติของอินเดียมีกลิ่นคล้ายถั่วหอม (nutty aroma) ในขณะที่ข้าวหอมมะลิมีกลิ่นคล้ายกับใบเตย (*Pandonus amaryllifolins* Rokb) ซึ่งเป็นพันธุ์ข้าวที่มีชื่อเสียงของประเทศไทยที่ได้รับความนิยมจากผู้บริโภคในแถบภูมิภาคเอเชีย ตะวันออกกลางและอเมริกา (Giraud, 2013) นอกจากข้าวหอมมะลิที่มีกลิ่นหอมแล้ว ยังมีพันธุ์ข้าวพื้นเมืองอีกมากมายที่มีกลิ่นหอม (Sansenya *et al*., 2018) โดยประเทศไทยมีลักษณะภูมิประเทศและสภาพอากาศในแต่ละพื้นที่มี

ความแตกต่างกัน ส่งผลให้มีความหลากหลายทางพันธุกรรมของข้าว (Harlan, 1992) พันธุ์ข้าวบือเนอมูเป็นพันธุ์ข้าวหอมพื้นเมืองที่นิยมปลูกเพื่อบริโภคในบริเวณพื้นที่สูงทางตอนเหนือของประเทศไทยโดยเกษตรกรชาวไทยภูเขากลุ่มชาติพันธุ์ปกาเกอะญอ (กะเหรี่ยง) โดยลักษณะกลิ่นหอมของข้าวที่เป็นเอกลักษณ์จึงถูกเรียกชื่อพันธุ์ตามลักษณะที่ปรากฏว่าบือเนอมู ซึ่งหมายถึง ข้าวที่มีกลิ่นหอม (Pinmanee, 2011) จากการศึกษาของ Tejakum *et al.* (2019) พบว่าข้าวบือเนอมูเป็นข้าวที่คุณภาพในการหุงต้มดี มีความอ่อนนุ่ม และมีกลิ่นหอมคล้ายใบเตย มีศักยภาพในการปรับปรุงพันธุ์ ซึ่งเป็นประโยชน์ต่อการพัฒนาข้าวหอมพื้นเมืองในอนาคต

กลิ่นหอมในเมล็ดข้าวพบว่า มีสารประกอบหลักที่ทำให้ข้าวมีกลิ่นหอมเรียกว่า 2-acetyl-1-pyrroline (2AP) (Jezussek *et al.,* 2002; Okpala *et al.,* 2019) โดยปริมาณ 2AP มักพบในส่วนของพืชบริเวณเหนือดินของข้าว เช่น ลำต้น ใบ กาบใบ ใบธง และ เมล็ด แต่ยกเว้นในบริเวณส่วนของราก (Buttery *et al.,* 1983; Maraval *et al.,* 2010) Yang *et al.* (2012) ศึกษากระบวนการสังเคราะห์ 2AP พบว่า ใบข้าวที่มีการสะสมปริมาณโพรลีน (proline) สูง มีการสะสมปริมาณสาร 2AP ในเมล็ดมากกว่าข้าวที่มีปริมาณโพรลีนในใบต่ำ (Yang *et al.,* 2012) โดยกระบวนการสังเคราะห์ 2AP ที่สะสมในเมล็ดข้าวพบว่า ประกอบไปด้วยสองกลไก กลไกแรกสารหอมระเหย 2AP ถูกสังเคราะห์ขึ้นในบริเวณใบและกาบใบจากนั้นถูกส่งไปสะสมในเมล็ด ในขณะที่กลไกที่สองพบว่า โพรลีน ถูกสังเคราะห์บริเวณใบแล้วนำส่งไปที่เมล็ดเพื่อใช้เป็นสารตั้งต้นในการสังเคราะห์ 2AP ในเมล็ด (Mo *et al.,* 2016; Poonlaphdecha *et al.,* 2012, 2016) จากการรายงานของ Yoshihashi *et al.* (2002) ได้ทำการทดลองปลูกข้าวขาวดอกมะลิ 105 และศึกษาในแคลลัสพบว่าโพรลีนเป็นสารตั้งต้นหลักในการสังเคราะห์ 2AP เช่นเดียวกับการศึกษาก่อนหน้านี้พบว่า กรดอะมิโน-โพรลีน ที่เก็บสะสมในใบและลำต้นถูกใช้เป็นสารตั้งต้นสำคัญในกระบวนการสังเคราะห์ 2AP ที่สะสมในเมล็ดทำให้ข้าวมีลักษณะกลิ่นหอม (Yoshihashi *et al.*, 2004)

ในช่วงหลายทศวรรษที่ผ่านมามีความพยายามค้นคว้าเพื่อทำความเข้าใจความสัมพันธ์ของปัจจัยทางสภาพแวดล้อมที่ส่งผลกระทบต่อกลิ่นในเมล็ดข้าว ไนโตรเจนและน้ำเป็นสิ่งสำคัญต่อการเจริญเติบโตและการสร้างผลผลิตของพืชเป็นอย่างมาก เนื่องจากเป็นส่วนประกอบของกรดนิวคลีโอไทด์ กรดอะมิโน โปรตีน คลอโรฟิลล์และเอนไซม์สำคัญที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการเมแทบอลิซึมภายในพืช ซึ่งประสิทธิภาพการใช้ไนโตรเจนขึ้นอยู่กับพันธุกรรมและสภาพแวดล้อมของข้าว (Djaman *et al.,* 2016) จากการศึกษาของ Yang *et al.* (2012) พบว่า ดินที่มีปริมาณไนโตรเจนสูงมีผลทำให้เมล็ดมีการสะสมปริมาณโพรลีนเพิ่มมากขึ้นซึ่งสอดคล้องกับกลิ่นหอมที่เพิ่มมากขึ้นในเมล็ดข้าวหอมพื้นเมืองที่พบในประเทศจีนในข้าวพันธุ์ Xiangwanxian#13 และ Zhongxiang#1 เช่นเดียวกับ Zhong and Tang (2014) รายงานว่าปริมาณของไนโตรเจนที่เพิ่มมากขึ้นในดินส่งผลต่อการเพิ่มขึ้นของปริมาณ 2AP ในพืช นอกจากนั้น ยังมีการค้นคว้าเกี่ยวกับปริมาณของไนโตรเจนที่ส่งผลต่อผลผลิตและคุณภาพ Ali *et al.* (2014) พบว่า ระดับไนโตรเจนที่ 12 กิโลกรัมต่อเฮกตาร์ และสังกะสีที่ระดับ 14 กิโลกรัมต่อเฮกตาร์ มีผลต่อการพัฒนาผลผลิตและคุณภาพผลผลิตโดยเฉพาะการเพิ่มปริมาณ 2AP ภายในเมล็ด

นอกจากธาตุอาหาร น้ำเป็นปัจจัยสำคัญที่ส่งผลกระทบต่อทั้งคุณภาพ และผลผลิตข้าว (Zhang *et al.,* 2008) ในข้าว คาดว่าฤดูแล้งมีระยะเวลาที่ยาวนานและมีความรุนแรงมากขึ้น (Climate Center, 2020) ซึ่งก่อให้เกิดปัญหาการขาดแคลนน้ำเพื่อการเกษตร (Arora, 2006) เมื่อเกิดภาวะขาดน้ำพบว่ามีปริมาณสารโพรลีนในใบเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว เนื่องจากเป็นกลไกการตอบสนองทางสรีระอย่างหนึ่งเพื่อลดความเครียดที่เกิดจากน้ำ (Bates *et al.,* 1973) โดยโพรลีนที่เพิ่มขึ้นช่วยปรับค่าแรงดันออสโมติก (osmotic pressure) และช่วยรักษาการทำงานของเอนไซม์ในเซลล์พืชให้ดำเนินไปเป็นปกติ (Boggess *et al.,* 1976) ดังนั้น รูปแบบการชลประทานจึงส่งผลกระทบโดยตรงต่อคุณภาพและผลผลิตข้าว จาก

การรายงานของ Zhang *et al.* (2012) พบว่า การให้น้ำแบบน้ำขังสลับแห้งช่วยควบคุมผลผลิตข้าวให้มีคุณภาพดีขึ้น ในขณะเดียวกันการจัดการน้ำที่เหมาะสมหรือระดับปานกลางโดยพืชได้รับน้ำเมื่อค่าศักย์ของน้ำในดินเท่ากับ (- 25 ± 2) kPa ที่ความลึก 20 เซนติเมตร ในช่วงระยะเติมเต็มเมล็ด พบว่า มีผลต่อการเพิ่มผลผลิต และปริมาณ 2AP ภายในเมล็ดข้าว (Mo *et al.*, 2019) เช่นเดียวกับการศึกษาของ Tian *et al.* (2010) และ Wang *et al.* (2013) รายงานว่าการให้น้ำแบบเปียกสลับดินแห้งปานกลาง เมื่อค่าศักย์ของน้ำในดินเท่ากับ - 15 ± 5 kPa ให้น้ำท่วมผิวดิน 2 ถึง 3 เซนติเมตร ที่ระยะแตกกอ ระยะตั้งท้อง และระยะเติมเต็มเมล็ด พบว่า มีปริมาณ 2AP ในเมล็ดข้าวเพิ่มมากขึ้น ในขณะเดียวกัน Li *et al.* (2012) ได้ศึกษาการให้ไนโตรเจน 60 กิโลกรัมต่อเฮกตาร์ และการให้น้ำที่มีค่าศักย์ของน้ำในดินเท่ากับ - 20 kPa ส่งผลให้ปริมาณ 2AP ในเมล็ดข้าวกล้องเพิ่มขึ้นอย่างมาก

แต่อย่างไรก็ตาม ข้อมูลการศึกษาถึงการสะสมปริมาณโพรลีนในแต่ละระยะการเจริญเติบโตของข้าวหอมภายใต้การจัดการน้ำและไนโตรเจนที่แตกต่างกันยังมีน้อยมาก ดังนั้น การทดลองนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลของการจัดการน้ำและปุ๋ยไนโตรเจนที่แตกต่างกันต่อปริมาณโพรลีนในใบ ที่ระยะแตกกอ ตั้งท้อง และออกดอกในข้าวหอมพื้นเมืองไทย

อุปกรณ์และวิธีการ

พันธุ์ข้าวและแผนการทดลอง

งานทดลองในครั้งนี้เป็นการศึกษาผลของการจัดการน้ำและปุ๋ยไนโตรเจนต่อปริมาณโพรลีนในใบของข้าวหอมพื้นเมืองไทย ดำเนินการ ณ โรงเรือนทดลอง สาขาวิชาพืชไร่ ศูนย์วิจัย สาธิตและฝึกอบรมการเกษตรแม่เหียะ คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ เริ่มทำการทดลองเมื่อ วันที่ 23 สิงหาคม 2562 โดยศึกษาข้าวหอมพื้นเมืองพันธุ์บือเนอมู 4 (BNM4) เป็นข้าวนาสวนซึ่งได้จากการเก็บรวบรวมพันธุ์จากเกษตรกรในจังหวัดเชียงใหม่ และใช้ข้าวพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 (KDML105) และข้าวพันธุ์สุพรรณบุรี 1 (SPR1) เป็นพันธุ์เปรียบเทียบ โดยย้ายต้นกล้าข้าวที่มีอายุ 15 วัน ปลูกในกระถางที่มีเส้นผ่าศูนย์กลาง 30 เซนติเมตร ลึก 27 เซนติเมตร (บรรจุดิน 13.4 กิโลกรัมต่อกระถาง) โดยปลูก 1 ต้น ต่อหลุม จำนวน 5 ต้นต่อกระถาง วางแผนการทดลองแบบ 3 x 2 x 2 factorial in completely randomized design (CRD) จำนวน 3 ซ้ำ โดยปัจจัยที่ศึกษาทั้ง 3 ปัจจัย ได้แก่ ปัจจัยที่ 1 ประกอบด้วยพันธุ์ข้าว 3 พันธุ์ ได้แก่ ข้าวพันธุ์บือเนอมู 4 ข้าวขาวดอกมะลิ 105 และข้าวสุพรรณบุรี 1 ปัจจัยที่ 2 ได้แก่ การจัดการน้ำแบบสภาพไม่ขังน้ำและสภาพน้ำขัง โดยการจัดการน้ำแบบสภาพไม่ขังน้ำ (unsaturated) รักษาระดับความชื้นของดินให้อยู่ในช่วง 12.5 - 25 เปอร์เซ็นต์ ตลอดการทดลอง โดยใช้เครื่องมือ Takemura DM-15 เป็นตัววัดค่าความชื้นในดิน ในสภาพน้ำขัง (waterlogged) รักษาระดับน้ำให้เหนือระดับผิวดินที่ 10 เซนติเมตร และปัจจัยที่ 3 ได้แก่ การจัดการปุ๋ยไนโตรเจนโดยแบ่งไนโตรเจนออกเป็น 2 ระดับ ประกอบด้วย ปุ๋ยไนโตรเจน 60 กิโลกรัมต่อเฮกตาร์ (N60) และ ปุ๋ยไนโตรเจน 150 กิโลกรัมต่อเฮกตาร์ (N150) สำหรับปุ๋ยไนโตรเจนใช้ในรูปปุ๋ยยูเรียเกรด 46 - 0 - 0 โดยที่ N60 ใช้ปุ๋ยยูเรีย 0.895 กรัมต่อกระถาง และที่ N150 ใช้ปุ๋ยยูเรีย 2.240 กรัมต่อกระถาง แบ่งการใส่ปุ๋ยไนโตรเจนออกเป็น 3 ระยะ ได้แก่ ระยะแตกกอ ระยะตั้งท้อง และระยะออกดอก ในอัตราที่เท่ากัน และทุกสภาพการทดลองใส่ปุ๋ยฟอสฟอรัส (P_2O_5) 50 กิโลกรัมต่อเฮกตาร์ และปุ๋ยโพแทสเซียม (K_2O) 100 กิโลกรัมต่อเฮกตาร์ เป็นปุ๋ยรองพื้น ดินที่ใช้ปลูกมีลักษณะดินร่วนปนทรายปานกลาง ประกอบด้วยอินทรียวัตถุ (OM) 2.7 เปอร์เซ็นต์ ไนโตรเจนทั้งหมด (total N) 0.11 เปอร์เซ็นต์ ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ (available phosphorus) 22.6 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม โพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ (exchangeable potassium) 126.5 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ปฏิกิริยาของดิน (soil reaction, pH) 6.19 และค่าการนำไฟฟ้าของดิน (EC) 1.37 เดซิซีส์เมนต่อเมตร

วิเคราะห์ปริมาณสารโพรลีน ที่สะสมในใบข้าว

สุ่มเก็บตัวอย่างใบบนสุดที่มีการแผ่ขยายใบเต็มที่ในพันธุ์ BNM4 ที่มีระยะแตกกอ 50 วันหลังย้ายกล้า ระยะตั้งท้อง 70 วันหลังย้ายกล้า และระยะออกดอก 105 วันหลังย้ายกล้า ในขณะที่พันธุ์ KDML 105 มีระยะแตกกอ 40 วันหลังย้ายกล้า ระยะตั้งท้อง 60 วันหลังย้ายกล้า และระยะออกดอก 120 วันหลังย้ายกล้า และพันธุ์ SPR1 มีระยะแตกกอ 40 วันหลังย้ายกล้า ระยะตั้งท้อง 65 วันหลังย้ายกล้า และระยะออกดอก 118 วันหลังย้ายกล้า โดยสังเกตจากลักษณะการเจริญเติบโตในแต่ละระยะ ที่ระยะแตกกอข้าวแตกกอจากข้อแรกและข้อต่อ ๆ ไป เมื่อข้าวเริ่มใบที่ 4 หรือ 5 ที่ระยะตั้งท้องข้าวเปลี่ยนลักษณะจากลำต้นแบนเป็นต้นกลมอวบ และระยะออกดอกหลังเกิดการผสมเกสรครบ 7 วัน ใบข้าวที่ถูกเก็บในแต่ละระยะถูกนำไปวิเคราะห์ปริมาณโพรลีนตามวิธีการของ Bates *et al.* (1973) โดยนำตัวอย่างใบข้าวมาบดละเอียดด้วยไนโตรเจนเหลวให้เป็นผงละเอียด หลังจากนั้นให้นำตัวอย่างใบข้าวที่บดละเอียด 0.3 กรัม ใส่หลอดทดลองขนาด 10 มิลลิลิตร เติมกรดซัลโฟซาลิกไซลิค ความเข้มข้น 3 เปอร์เซ็นต์ จำนวน 4 มิลลิลิตร นำไปต้มที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 10 นาที ปั่นเหวี่ยงที่ 4,000 รอบต่อนาที เป็นเวลา 10 นาที จากนั้นดูดสารละลายปริมาตร 2 มิลลิลิตร ใส่หลอดทดลอง เติมสาร ninhydrin reagent ปริมาตร 2 มิลลิลิตร และกระตุ้นการเกิดปฏิกิริยาโดยการให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 60 นาที และหยุดปฏิกิริยาทันทีโดยนำหลอดทดลองแช่ในอ่างน้ำแข็ง จากนั้นเติม toluene ปริมาตร 4 มิลลิลิตร เขย่าให้สารละลายเข้ากันและตั้งทิ้งไว้ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส สารละลายแยกเป็นสองชั้น ใช้เฉพาะส่วนชั้นบนนำไปวิเคราะห์ปริมาณสารโพรลีนโดยนำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยืนคลื่น 520 นาโนเมตร ด้วยเครื่อง spectrophotometer ร่วมกับกราฟสารละลายโพรลีนมาตรฐาน (standard proline)

การวิเคราะห์ข้อมูล

วิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติของข้อมูล (analysis of variance, ANOVA) โดยใช้ Statistix version 8 และเปรียบเทียบความแตกต่างของแต่ละกรรมวิธีทดลองโดยหาค่า LSD (least significant difference) ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์

ผลการศึกษา

ผลการวิเคราะห์ปริมาณโพรลีนสะสมในใบข้าวหอมพันธุ์แตกต่างกันต่อการจัดการจัดการน้ำและปุ๋ยไนโตรเจนที่ระยะแตกกอ ระยะตั้งท้อง และระยะออกดอก

ผลการศึกษาปริมาณโพรลีนที่สะสมในใบข้าวที่ปลูกภายใต้การจัดการน้ำและปุ๋ยไนโตรเจนที่แตกต่างกันทั้ง 3 ระยะของข้าวพันธุ์ BNM4 KDML105 และ SPR1 พบปฏิสัมพันธ์ร่วมระหว่างพันธุ์ข้าว การจัดการน้ำและไนโตรเจนต่อการสะสมโพรลีนในใบที่ระยะแตกกอ และระยะออกดอก อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.001$) แต่ไม่พบปฏิสัมพันธ์ร่วมทั้ง 3 ปัจจัยที่ระยะตั้งท้อง (Table 1)

ปริมาณโพรลีนในใบที่ระยะแตกกอ

การตอบสนองของปริมาณโพรลีนในใบของพันธุ์ข้าวทั้งสามพันธุ์ต่อการจัดการน้ำและไนโตรเจนที่แตกต่างกันในระยะแตกกอ (Figure 1) พบว่า ข้าวหอมพันธุ์ KDML105 ที่ปลูกภายใต้สภาพไม่ขังน้ำร่วมกับการให้ไนโตรเจนที่อัตรา N150 มีปริมาณโพรลีนมากกว่าที่ N60 เท่ากับ 45 เปอร์เซ็นต์ เมื่อปลูกในสภาพเดียวกัน แต่เมื่อปลูกในสภาพน้ำขังการให้ไนโตรเจนที่ระดับ N60 มีปริมาณโพรลีนมากกว่าที่ N150 เท่ากับ 67 เปอร์เซ็นต์ เช่นเดียวกับพันธุ์ SPR1 ที่เมื่อปลูกในสภาพน้ำขังการให้ไนโตรเจนที่อัตรา N60 ทำให้มีปริมาณโพรลีนมากกว่าที่ N150 เท่ากับ 36 เปอร์เซ็นต์ แต่เมื่อปลูกในสภาพไม่ขังน้ำไม่พบความแตกต่างระหว่างการให้ปุ๋ยทั้งสองอัตรา ในขณะที่พันธุ์ BNM4 ไม่พบการตอบสนองที่แตกต่างกันของปริมาณโพรลีนในใบภายใต้การจัดการน้ำ

และไนโตรเจนที่แตกต่างกัน และเมื่อพิจารณาระหว่างพันธุ์ข้าว พบว่า พันธุ์ KDML105 มีค่าเฉลี่ยปริมาณโพรลีนสะสมในใบมากที่สุดเท่ากับ 0.27 ไมโครโมลต่อกรัม รองลงมาคือ SPR1 มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.14 ไมโครโมลต่อกรัม การจัดการ น้ำที่แตกต่างกัน พบว่า ปลูกในสภาพน้ำขังทำให้ข้าวมีการสะสมปริมาณโพรลีนในใบมากที่สุดเท่ากับ 0.20 ไมโครโมลต่อกรัม ในขณะที่การปลูกในสภาพไม่ขังน้ำมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.17 ไมโครโมลต่อกรัม และการให้ปุ๋ยไนโตรเจนที่อัตรา N60 มีปริมาณมากกว่า N150 มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.20 และ 0.16 ไมโครโมลต่อกรัม ตามลำดับ

Table 1. Combined analysis of leaves proline accumulation at tillering, booting and flowering stages of rice variety BNM 4 KDML105 and SPR1 grown under different water regimes and nitrogen rates

Source	Growth stage		
	Tillering stage	Booting stage	Flowering stage
Var	***	***	***
Water	***	***	ns
Nitrogen	***	***	***
Var x Water	*	*	***
Var x Nitrogen	***	ns	***
Water x Nitrogen	***	***	***
Var x Water x Nitrogen	***	ns	***

ns = not significant at $P > 0.05$, * = significant difference at $P < 0.05$, *** = significant difference at $P < 0.001$

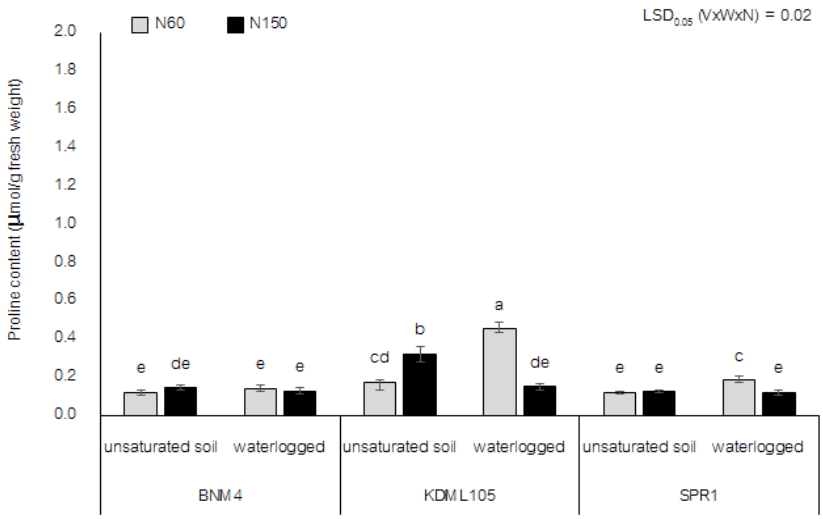


Figure 1. Leave proline content at tillering stage in rice variety BNM4, KDML105 and SPR1 grown under different water and nitrogen management. The different letter above the column indicates difference at $P < 0.05$ by LSD test

ปริมาณโพรลีนในใบที่ระยะตั้งท้อง

ในระยะตั้งท้องพบว่า การจัดการน้ำและไนโตรเจนมีผลต่อการปริมาณโพรลีนในใบข้าวแตกต่างกัน (Figure 2) โดยทั้งในพันธุ์ BNM4 KDML105 และ SPR1 เมื่อปลูกในสภาพไม่ขังน้ำการให้ไนโตรเจนที่อัตรา N150 ส่งผลให้มีปริมาณโพรลีนในใบเพิ่มมากกว่าที่ไนโตรเจนอัตรา N60 คิดเป็น 40, 46 และ 37 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ แต่ในทางกลับกันเมื่อปลูกในสภาพน้ำขังร่วมกับการให้ไนโตรเจนที่ N60 ทำให้ปริมาณโพรลีนในใบเพิ่มสูงขึ้นมากอย่างเห็นได้ชัดเมื่อเทียบกับการให้ปุ๋ยไนโตรเจนที่ N150 ในทั้ง BMN4, KDML105 และ SPR1 โดยมีค่ามากกว่าเท่ากับ 66, 52 และ 57 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ และเมื่อเปรียบเทียบปริมาณโพรลีนระหว่างพันธุ์พบว่า พันธุ์ KDML105 และ SPR1 มีค่าเฉลี่ยปริมาณโพรลีนสะสมในใบมากที่สุดเท่ากับ 0.77 และ 0.79 ไมโครโมลต่อกรัม ตามลำดับ และพบว่า BNM4 มีค่าเฉลี่ยปริมาณโพรลีนสะสมในใบน้อยที่สุดเท่ากับ 0.63 ไมโครโมลต่อกรัม การจัดการน้ำที่แตกต่างกันพบว่า การปลูกในสภาพน้ำขังทำให้ข้าวมีค่าเฉลี่ยโพรลีนสะสมในใบมากที่สุดเท่ากับ 1.08 ไมโครโมลต่อกรัม ในขณะที่การปลูกในสภาพไม่ขังน้ำมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.39 ไมโครโมลต่อกรัม และอัตราปุ๋ยไนโตรเจนที่ N60 ข้าวมีค่าเฉลี่ยโพรลีนสะสมในใบเท่ากับ 0.93 ไมโครโมลต่อกรัม ซึ่งมีกว่าไนโตรเจนอัตรา N150 มีค่าเฉลี่ยโพรลีนสะสมในใบเท่ากับ 0.54 ไมโครโมลต่อกรัม

ปริมาณโพรลีนในใบที่ระยะออกดอก

พันธุ์ข้าวที่ศึกษามีปริมาณโพรลีนในใบแตกต่างกันขึ้นอยู่กับการจัดการน้ำและไนโตรเจน (Figure 3) พบว่า ในพันธุ์ KDML105 ที่ปลูกในสภาพน้ำขังร่วมกับการให้ไนโตรเจนที่อัตรา N150 มีปริมาณโพรลีนในใบเพิ่มสูงขึ้นเมื่อเทียบกับที่ N60 โดยคิดเป็น 49 เปอร์เซ็นต์ ส่วนการปลูกในสภาพไม่ขังน้ำไม่พบความแตกต่างของปริมาณโพรลีนในใบระหว่างการให้ไนโตรเจนทั้งสองระดับ ในขณะที่พันธุ์ BNM4 และ SPR1 การให้ไนโตรเจนที่แตกต่างกันไม่ทำให้ปริมาณโพรลีนแตกต่างกันทั้งในการแบบสภาพน้ำขังและสภาพไม่ขังน้ำ เมื่อเปรียบเทียบระหว่างพบว่า พันธุ์ KDML105 มีปริมาณโพรลีนในใบมากกว่าพันธุ์ BNM4 และ SPR1 โดยมีค่าเท่ากับ 0.39 ไมโครโมลต่อกรัม และการให้ปุ๋ยไนโตรเจนที่อัตรา N150 ข้าวมีค่าเฉลี่ยโพรลีนสะสมในใบมากสุดเท่ากับ 0.38 ไมโครโมลต่อกรัม ในขณะที่ N60 มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.32 ไมโครโมลต่อกรัม

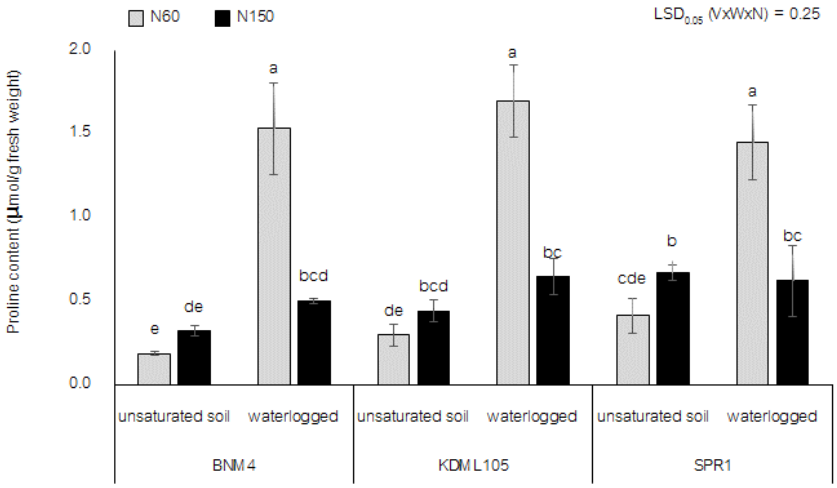


Figure 2. Leave proline content at booting stage in rice variety BNM4, KDML105 and SPR1 grown under different water and nitrogen management. The different letter above the column indicates difference at $P < 0.05$ by LSD test

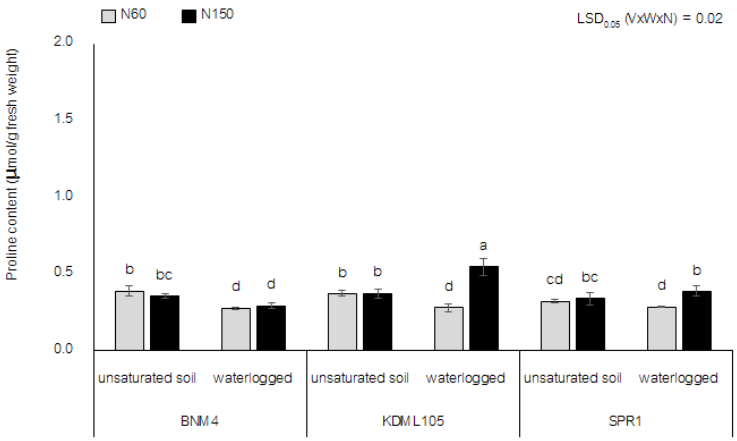


Figure 3. Leave proline content at flowering stage in rice variety BNM4, KDML105 and SPR1 grown under different water and nitrogen management. The different letter above the column indicates difference at $P < 0.05$ by LSD test

วิจารณ์

จากการศึกษาครั้งนี้บ่งชี้ได้ว่าปริมาณโพรลีนในใบข้าวในระยะแตกกอ และออกดอก มีความแตกต่างกันขึ้นอยู่กับปฏิสัมพันธ์ร่วมระหว่างสามปัจจัยทั้งพันธุ์ข้าว การจัดการน้ำ และอัตราปุ๋ยไนโตรเจน ยกเว้นในระยะตั้งท้องที่ปริมาณ โพรลีนในข้าวทั้งสามพันธุ์มีการตอบสนองต่อการจัดการน้ำและอัตราปุ๋ยไนโตรเจนที่แตกต่างกันในทิศทางเดียวกัน ซึ่งความแปรปรวนของปริมาณโพรลีนภายใต้การจัดการสภาพแวดล้อมที่แตกต่างกันที่พบในการศึกษานี้ อาจกล่าวได้ว่าพันธุ์ข้าวที่แตกต่างกันมีการตอบสนองต่อการจัดการน้ำร่วมกับปุ๋ยไนโตรเจนส่งผลต่อการสะสมปริมาณโพรลีนในใบข้าวแตกต่างกัน จากการศึกษาของ Zhong *et al.* (2017) พบว่า ข้าวพันธุ์ Zhongzheyou#1 ที่ปลูกในสภาพไม่ขังน้ำเมื่อได้รับไนโตรเจนมากส่งผลต่อการสังเคราะห์โพรลีนเพิ่มมากขึ้น ในขณะเดียวจากการศึกษาของ Rabiei *et al.* (2021) รายงานผลการทดลองปลูกข้าว Gilaneh ในสภาพน้ำท่วมผิวดิน (flood irrigation) ร่วมกับปุ๋ยไนโตรเจน 3 ระดับ (0, 60, and 120 kg/ha) และโพแทสเซียม 3 ระดับ (0, 80 and 160 kg/ha) พบว่า ที่ระดับปุ๋ยไนโตรเจน 60 kg/ha ร่วมกับโพแทสเซียม 160 kg/ha ข้าวมีการสะสมปริมาณโพรลีนในใบมากที่สุด ในขณะที่ Mo *et al.* (2019) รายงานผลการปลูกข้าวพันธุ์ Nongxiang 18 และ Basmati 385 ซึ่งแบ่งการจัดการน้ำออกเป็นสองสภาพโดยมีศักย์ของน้ำในดินเท่ากับ 0 kPa และ - 25 ± 5 kPa ร่วมกับไนโตรเจน 0 และ 60 kg/ha พบว่าในข้าวทั้งสองพันธุ์ที่ศักย์ของน้ำในดินเท่ากับ -25± 5 kPa ร่วมกับไนโตรเจน 60 kg/ha ใบข้าวมีการสะสมปริมาณโพรลีนมากที่สุด นอกจากนี้ Bao *et al.* (2018) พบว่า การปลูกข้าวร่วมกับการจัดการน้ำแบบเปียกสลับแห้งส่งผลต่อการสะสมปริมาณโพรลีนในใบข้าวมากขึ้น โดยโพรลีนที่สะสมในพืชทำหน้าที่รักษาเสถียรภาพของเมมเบรนและรักษาระดับ pH ของไซโตซอลควบคู่ไปกับเมแทบอลิซึมเพื่อใช้ในการเติบโตของพืช (Hayat *et al.*, 2012) นอกจากนี้ ยังมีการรายงานผลจากสภาวะเครียดของพืชส่งผลต่อการสะสมปริมาณโพรลีนในพืช เช่นเดียวกับการศึกษาของ Al-Shaheen and Soh (2016) พบว่า ผลจากสภาวะเครียดจากการขาดน้ำ (ความชื้นที่ 25 เปอร์เซ็นต์, 50 เปอร์เซ็นต์ และ 75 เปอร์เซ็นต์ จากความจุความชื้นสนาม) ส่งผลต่อการเพิ่มขึ้นของปริมาณโพรลีนในพืช เพื่อช่วยลดผลกระทบจากสภาวะเครียดต่อการเจริญเติบโตของพืช

เมื่อเปรียบเทียบปริมาณโพรลีนในใบข้าวแต่ละพันธุ์ ทั้ง 3 ระยะ ได้แก่ ระยะแตกกอ ระยะตั้งท้อง และระยะออกดอก พบว่า ข้าวมีโพรลีนสะสมในใบสูงสุดที่ระยะตั้งท้อง และลดลงในระยะออกดอก จากการศึกษาของ Bradbury *et al.* (2008) พบว่า โพรลีนที่พืชสะสมถูกนำมาใช้เป็นสารตั้งต้นในการสังเคราะห์ 2AP ซึ่งทำให้ข้าวมีกลิ่นหอม ซึ่งปริมาณของโพรลีนที่เพิ่มขึ้นในใบธงนำไปสู่การสังเคราะห์ 2AP ในข้าวกล้อง (Krasensky and Jonak, 2012) สอดคล้องกับการศึกษาของ Mo *et al.* (2016) พบว่า โพรลีนที่สะสมในส่วนเนื้อเยื่อต่าง ๆ ของพืชถูกส่งไปยังเมล็ดเพื่อเปลี่ยนเป็น 2AP สะสมในเมล็ด ดังนั้นจากการศึกษาในครั้งนี้แสดงให้เห็นถึงการเพิ่มขึ้นของปริมาณโพรลีนที่สะสมในใบในระยะตั้งท้อง และลดลงในช่วงระยะออกดอก อาจเนื่องมาจากโพรลีนถูกนำไปใช้ในการสะสม 2AP ในเมล็ดข้าวที่มีกลิ่นหอม ในขณะเดียวกันข้าวพันธุ์ SPR1 ที่ไม่มีกลิ่นหอม พบว่า มีการสะสมปริมาณโพรลีนในใบเช่นเดียวกับข้าวที่มีลักษณะกลิ่นหอม โดยมีรายงานว่า ปริมาณโพรลีนที่สะสมในข้าวที่ไม่มีลักษณะกลิ่นหอมถูกนำไปเป็นสารตั้งต้นในกระบวนการสังเคราะห์ Gamma aminobutyric - acid (GABA) (Ghosh and Roychoudhury, 2018) นอกจากนี้ Mo *et al.* (2018) ได้กล่าวว่าหากเพิ่มไนโตรเจนที่ระยะตั้งท้องจะช่วยเพิ่มปริมาณโพรลีนและ 2AP ในส่วนของเนื้อเยื่อพืชต่าง ๆ ก่อนถึงระยะเติมเต็มเมล็ด ทำให้เมล็ดข้าวมีกลิ่นหอม เช่นเดียวกับการทดลองในครั้งนี้ในระยะตั้งท้องพบว่า เมื่อมีการปลูกในสภาพไม่ขังน้ำและมีการเพิ่มอัตราไนโตรเจนเพิ่มเป็น N150 ข้าวมีปริมาณโพรลีนในใบเพิ่มสูงขึ้น ในขณะเดียวกันเมื่อปลูกในสภาพน้ำขังร่วมกับไนโตรเจนที่ N60 ข้าวมีปริมาณโพรลีนในใบสูง ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของ Tarighaleslami *et al.* (2012) ได้ศึกษาระดับปุ๋ยไนโตรเจนในข้าวโพดที่ระดับ 80, 130, 130 กิโลกรัมต่อเฮกตาร์ พบว่า ที่ระดับไนโตรเจน 80 กิโลกรัมต่อเฮกตาร์ ข้าวโพดมีปริมาณโพรลีนในใบสูงสุดร่วมกับสภาวะเครียดจากน้ำ นอกจากนี้ การศึกษาของ Lalelou *et al.* (2010) ในข้าวสาลีพบว่า สภาวะเครียดที่เกิดจากน้ำส่งผลต่อปริมาณโพรลีนเพิ่มขึ้น มากกว่าผลกระทบจากไนโตรเจน อย่างไรก็ตามยังจำเป็นต้องมีการศึกษาต่อไปเพื่อบ่งชี้ว่าปริมาณโพรลีนที่เพิ่มขึ้นนี้เกี่ยวข้องกับความหอม (2AP) หรือไม่ รวมทั้งมีการศึกษาเพิ่มเติมในเชิงลึกทั้งในด้านกระบวนการทางสรีรวิทยาเพื่ออธิบายถึงความสัมพันธ์ระหว่างการสะสมปริมาณโพรลีนและความหอม (2AP) และทางด้านชีวโมเลกุลเพื่อบ่งชี้ถึงการแสดงออกของยีนที่ควบคุมปริมาณโพรลีนที่มีความสัมพันธ์กับความหอม ในข้าวหอมพันธุ์พื้นเมืองของไทยภายใต้การจัดการน้ำและปุ๋ยไนโตรเจนที่แตกต่างกันต่อไป

สรุป

ปริมาณโพรลีนในพันธุ์ข้าวทั้ง 3 พันธุ์มีการตอบสนองต่อการจัดการน้ำและปุ๋ยไนโตรเจนแตกต่างกันในระยะแตกกอ และออกดอก ส่วนในระยะตั้งท้องพบว่า ปริมาณโพรลีนทั้งในใบทั้งพันธุ์ BNM4 KDML105 และ SPR1 มีการตอบสนองต่อการจัดการน้ำและปุ๋ยไนโตรเจนในทิศทางเดียวกัน คือที่ระยะตั้งท้องการปลูกในสภาพน้ำขังร่วมกับไนโตรเจนที่ 60 กิโลกรัมต่อเฮกตาร์ ใบข้าวมีการสะสมโพรลีนสูงสุด ในขณะเดียวกันการเพิ่มไนโตรเจนในพันธุ์ข้าวหอมในสภาพไม่ขังน้ำไม่มีผลต่อการเพิ่มโพรลีน แต่เมื่อปลูกในสภาพน้ำขังร่วมกับการให้ไนโตรเจนที่ 60 กิโลกรัมต่อเฮกตาร์ กลับทำให้ข้าวทั้งสามพันธ์มีปริมาณโพรลีนในใบเพิ่มสูงขึ้นอย่างมาก เมื่อเทียบกับการให้ปุ๋ยไนโตรเจนที่ 150 กิโลกรัมต่อเฮกตาร์ และในระยะตั้งท้องมีปริมาณโพรลีนในใบสะสมมากที่สุดเมื่อเทียบกับระยะแตกกอและออกดอก

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณโครงการทุนวิจัยบัณฑิตศึกษาด้านการเกษตรและอุตสาหกรรมจากสำนักงานพัฒนาการวิจัยการเกษตร (องค์การมหาชน) และโครงการ Nutrient management, next generation

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

เอกสารอ้างอิง

Ali, H., Z. Hasnain, A.N. Shahzad, N. Sarwar, M.K. Qureshi, S. Khaliq and M.F. Qayyum. 2014. Nitrogen and zinc interaction improves yield and quality of submerged basmati rice (*Oryza sativa* L.). Notulae Botanicae Horti Agrobotanici Cluj-Napoca 42(2): 372-379.

Al-Shaheen, M.R. and A. Soh. 2016. Effect of proline and gibberellic acid on the qualities and qualitative of Corn (*Zea maize* L.) under the influence of different levels of the water stress. International Journal of Scientific and Research Publications 6(5): 752-756.

Arora, V.K. 2006. Application of a rice growth and water balance model in an irrigated semi-arid subtropical environment. Agricultural Water Management 83(1-2): 51-57.

Bao, G., U. Ashraf, C. Wang, L. He, X. Wei, A. Zheng and X. Tang. 2018. Molecular basis for increased 2-acetyl-1-pyrroline contents under alternate wetting and drying (AWD) conditions in fragrant rice. Plant Physiology and Biochemistry 133: 149-157.

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

Boggess, S.F., C.R. Stewart, D. Aspinall and L.G. Paleg. 1976. Effect of water stress on proline synthesis from radioactive precursors. Plant Physiology 58(3): 398-401.

Bradbury, L.M.T., S.A. Gillies, D.J. Brushett, D.L.E. Waters and R.J. Henry. 2008. Inactivation of an aminoaldehyde dehydrogenase is responsible for fragrance in rice. Plant Molecular Biology 68(4): 439-449.

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

Climate Center. 2020. Volatility and Climate Change 2020. (Online). Available: http://www.climate.tmd.go.th/content/file/2104 (March 28, 2022). (in Thai)

Djaman, K., B.V. Bado and V.C. Mel. 2016. Effect of nitrogen fertilizer on yield and nitrogen use efficiency of four aromatic rice varieties. Emirates Journal of Food and Agriculture 28(2): 126-135.

Ghosh, P. and A. Roychoudhury. 2018. Differential levels of metabolites and enzymes related to aroma formation in aromatic indica rice varieties: comparison with non-aromatic varieties. 3 Biotech 8(1): 1-13.

Giraud, G. 2013. The world market of fragrant rice, main issues and perspectives. International Food and Agribusiness Management 16(2): 1-20.

Harlan, J.R. 1992. Crops and Man. 2nd ed. American Society of Agronomy and Crop Science Society of America, Madison, Wisconsin. 284 p.

Hayat, S., Q. Hayat, M.N. Alyemeni, A.S. Wani, J. Pichtel and A. Ahmad. 2012. Role of proline under changing environments: A review. Plant Signaling & Behavior 7(11): 1456-1466.

Jezussek, M., B.O. Juliano and P. Schieberle. 2002. Comparison of key aroma compounds in cooked brown rice varieties based on aroma extract dilution analyses. Journal of Agricultural and Food Chemistry 50(5): 1101-1105.

Krasensky, J. and C. Jonak. 2012. Drought, salt, and temperature stress-induced metabolic rearrangements and regulatory networks. Journal of Experimental Botany 63(4): 1593-1608.

Lalelou, F.A., M.R. Shakiba, N.A.D. Mohammadi and S.A. Mohammadi. 2010. Effects of drought stress and nitrogen nutrition on seed yield and proline content in bread and durum wheat genotypes. Journal of Food Agriculture Environment 88(3-4): 857-860.

Li, D.Q., Q.Y. Tang, Y.B. Zhang, J.Q. Qin, L.I. Hu, L.J. Chen and S.B. Peng. 2012. Effect of nitrogen regimes on grain yield, nitrogen utilization, radiation use efficiency, and sheath blight disease intensity in super hybrid rice. Journal of Integrative Agriculture 11(1): 134-143.

Maraval, I., K. Sen, A. Agrebi, C. Menut, A. Morere, R. Boulanger and Z. Gunata. 2010. Quantification of 2-acetyl-1-pyrroline in rice by stable isotope dilution assay through headspace solid-phase microextraction coupled to gas chromatography–tandem mass spectrometry. Analytica Chimica Acta 675(2): 148-155.

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

Mo, Z., Y. Tang, U. Ashraf, S. Pan, M. Duan, H. Tian and X. Tang. 2019. Regulations in 2-acetyl-1-pyrroline contents in fragrant rice are associated with water-nitrogen dynamics and plant nutrient contents. Journal of Cereal Science 88: 96-102.

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

Okpala, N.E., Z. Mo, M. Duan and X. Tang. 2019. The genetics and biosynthesis of 2-acetyl-1-pyrroline in fragrant rice. Plant Physiology and Biochemistry 135: 272-276.

Pinmanee, S. 2011. The aromatic highland rice “Buer Ner Moo”. pp. 357-368. *In*: Seminar of the group of Upper and Lower Northern Region Rice Research Center February 14-16, Phare. (in Thai)

Poonlaphdecha, J., P. Gantet, I. Maraval, F.X. Sauvage, C. Menut, A. Morère and Z. Gunata. 2016. Biosynthesis of 2-acetyl-1-pyrroline in rice calli cultures: Demonstration of 1-pyrroline as a limiting substrate. Food Chemistry 197: 965-971.

Poonlaphdecha, J., I. Maraval, S. Roques, A. Audebert, R. Boulanger, X. Bry and Z. Gunata. 2012. Effect of timing and duration of salt treatment during growth of a fragrant rice variety on yield and 2-acetyl-1-pyrroline, proline, and GABA levels. Journal of Agricultural and Food Chemistry 60(15): 3824-3830.

Rabiei, Z., N.M. Roshan, S.M. Sadeghi, E. Amiri and H.R. Doroudian. 2021. Effect of drought stress and different levels of nitrogen and potassium fertilizers on the accumulation of osmolytes and chlorophyll in rice (*Oryza sativa* L.). Gesunde Pflanzen 73(3): 287-296.

Sansenya, S., Y. Hua and S. Chumanee. 2018. The correlation between 2-acetyl-1-pyrroline content, biological compounds and molecular characterization to the aroma intensities of Thai local rice. Journal of Oleo Science 67(7): 893-904.

Suwannaporn, P. and A. Linnemann. 2008. Rice - eating quality among consumers in different rice grain preference countries. Journal of Sensory Studies 23(1): 1-13.

Tarighaleslami, M., R. Zarghami, M.M.A. Boojar and M. Oveysi. 2012. Effects of drought stress and different nitrogen levels on morphological traits of proline in leaf and protein of corn seed (*Zea mays* L.). American-Eurasian Journal of Agricultural and Environmental Sciences 12: 49-56.

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

Tian, K., X.R. Tang, M.Y. Duan and H. Tian. 2010. Effects of irrigation on aroma content and physiological characteristics of aromatic rice at grain filling stage. Irrigation and Drainage 29(6): 91-93.

Tomlins, K.I., J.T. Manful, P. Larwer and L. Hammond. 2005. Urban consumer preferences and sensory evaluation of locally produced and imported rice in West Africa. Food Quality and Preference 16(1): 79-89.

Wang, P., X.R. Tang, H. Tian, P. Sheng-gang, M.Y. Duan and J. Nie. 2013. Effects of different irrigation modes on aroma content of aromatic rice at booting stage. Guangdong Agricultural Science 8: 1-3.

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

Yoshihashi, T., N.T.T. Huong and H. Inatomi. 2002. Precursors of 2-acetyl-1-pyrroline, a potent flavor compound of an aromatic rice variety. Journal of agricultural and food chemistry 50(7): 2001-2004.

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

Zhang, Y., Q. Tang, S. Peng, D. Xing, J. Qin, R.C. Laza and B.R. Punzalan. 2012. Water use efficiency and physiological response of rice cultivars under alternate wetting and drying conditions. The Scientific World Journal 2012(4): 287907, doi: 10.1100/2012/287907.

Zhang, Z., S. Zhang, J. Yang and J. Zhang. 2008. Yield, grain quality and water use efficiency of rice under non-flooded mulching cultivation. Field Crops Research 108(1): 71-81.

Zhong, C., X. Cao, J. Hu, L. Zhu, J. Zhang, J. Huang and Q. Jin. 2017. Nitrogen metabolism in adaptation of photosynthesis to water stress in rice grown under different nitrogen levels. Frontiers in Plant Science 8: 1079, doi: 10.3389/fpls.2017.01079.

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

การกำหนดอายุเก็บเกี่ยวที่เหมาะสมของพันธุ์อ้อยที่ปลูกภายใต้สภาพน้ำขังตามธรรมชาติในจังหวัดพิษณุโลก

Determining Optimum Harvesting Age of Sugarcane Varieties Grown Under Natural Water-logged Condition in Phitsanulok Province

สุพรรษา ชินวรณ์[1] พิชัย บุตรสีภูมิ[2] และ อนุพงศ์ วงค์ตามี[2*]

Supansa Chinaworn[1], Pichai Boodseephum[2] and Anupong Wongtamee[2*]

[1]สาขาวิชาเทคโนโลยีการผลิตพืช คณะเกษตรศาสตร์และทรัพยากรธรรมชาติ
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก จ. ชลบุรี 20110
[1]Department of Plant Production Technology, Faculty of Agriculture and Natural Resources,
Rajamangala University of Technology Tawan-Ok, Chonburi 20110, Thailand
[2]ภาควิชาวิทยาศาสตร์การเกษตร คณะเกษตรศาสตร์ ทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม
มหาวิทยาลัยนเรศวร จ. พิษณุโลก 65000
[2]Department of Agricultural Sciences, Faculty of Agriculture, Natural Resources and Environment,
Naresuan University, Phitsanulok 65000, Thailand
**Corresponding author: Email: anupongw@nu.ac.th*

(Received: 1 April 2022; Accepted: 25 July 2022)

Abstract: The different harvesting age of sugarcane depends on many factors such as variety, environmental conditions and management. When the sugarcane is under water-logged condition, it may result in a difference harvesting periods from the normal environment. This study aimed to determine optimum harvest age of sugarcane varieties grown under natural water-logged condition in Phitsanulok, Thailand. The experiment was conducted in sugarcane planting season 2020/64 at farmer's field in Bo Thong sub-district, Bang Rakam district, Phitsanulok province using a factorial in RCBD arrangement of 5x4 with 4 replications. The first factor was 5 sugarcane cultivars, namely KPS 07-17-83, KK07-599, KPS 07-21-4, KK3 and LK92-11, and the second factor was harvesting age periods: 10, 11, 12 and 13 months after planting. The sugarcane yield, sugar yield and sugarcane juice quality were evaluated and recorded at 10, 11, 12 and 13 months after planting. The results showed that sugarcane cultivars KPS 07-17-83, KK07-599 and KPS 07-21-4 had the highest sugarcane yield, sugar yield and sugarcane juice quality at the 13th month after planting. These indicated that the 13th month after planting is the ideal time for harvesting these three sugarcane varieties. The optimal harvesting age led to get the high levels of yield and yield components under the natural water-logged condition of Phitsanulok Province. The information from this study could be used to encourage farmers in Phitsanulok province, who are facing natural water-logged condition, to plant and harvest these 3 sugarcane varieties at an appropriate time.

Keywords: Sugarcane yield, sugar yield, sugar juice quality, harvesting ages, water-logged condition

บทคัดย่อ: อายุเก็บเกี่ยวอ้อยที่แตกต่างกันขึ้นอยู่กับหลายปัจจัย เช่น พันธุ์ สภาพแวดล้อม และการจัดการ เป็นต้น เมื่ออ้อยอยู่ภายใต้สภาพน้ำท่วมขังอาจจะส่งผลให้มีอายุเก็บเกี่ยวที่เปลี่ยนแปลงไปจากสภาพแวดล้อมปกติ การศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อประเมินอายุเก็บเกี่ยวที่เหมาะสมของพันธุ์อ้อยที่ปลูกภายใต้สภาพน้ำขังตามธรรมชาติ ในจังหวัดพิษณุโลกของประเทศไทย ดำเนินการปลูกทดสอบในฤดูปลูกอ้อยปี 2563/64 ณ แปลงปลูกอ้อยของเกษตรกร ตำบลบ่อทอง อำเภอบางระกำ จังหวัดพิษณุโลก วางแผนการทดลองแบบ factorial in RCBD จำนวน 4 ซ้ำ ปัจจัยแรก คือ พันธุ์อ้อย จำนวน 5 พันธุ์ ได้แก่ KPS 07-17-83, KK07-599, KPS 07-21-4, KK3 และ LK92-11 และ ปัจจัยที่สอง คือ อายุเก็บเกี่ยว จำนวน 4 ช่วงอายุเก็บเกี่ยว ได้แก่ เดือนที่ 10, 11, 12 และ 13 หลังปลูก ทำการประเมินและบันทึกข้อมูลผลผลิตอ้อย ผลผลิตน้ำตาล และคุณภาพน้ำอ้อย เมื่ออ้อยอายุ 10, 11, 12 และ 13 เดือนปลูก ผลการศึกษาพบว่าอ้อยพันธุ์ KPS 07-17-83, KK07-599 และ KPS 07-21-4 ให้ผลผลิตอ้อย ผลผลิตน้ำตาล และคุณภาพน้ำอ้อยสูงที่สุดในเดือนที่ 13 หลังปลูกเหมือนกัน ซึ่งบ่งชี้ว่าเดือนที่ 13 หลังปลูกนี้เป็นช่วงเวลาที่เหมาะสมสำหรับการเก็บเกี่ยวอ้อยทั้งสามพันธุ์นี้ เพื่อให้ได้ปริมาณผลผลิต และองค์ประกอบผลผลิตที่สูง ภายใต้สภาวะน้ำท่วมขังธรรมชาติของจังหวัดพิษณุโลก จากข้อมูลนี้สามารถนำไปใช้ประกอบการส่งเสริมให้เกษตรกรในจังหวัดพิษณุโลกที่ประสบปัญหาน้ำท่วมขังธรรมชาติปลูกและเก็บเกี่ยวอ้อยทั้งสามพันธุ์นี้ในช่วงเวลาที่เหมาะสมต่อไป

คำสำคัญ: ผลผลิตอ้อย ผลผลิตน้ำตาล คุณภาพน้ำอ้อย อายุเก็บเกี่ยว สภาพน้ำท่วมขัง

คำนำ

อ้อย (*Saccharum officinarum* L.) เป็นพืชอุตสาหกรรมที่ใช้เป็นพืชวัตถุดิบสำคัญในกระบวนการผลิตน้ำตาลและเอทานอล อ้อยสามารถเจริญเติบโตได้ในเขตร้อนและกึ่งเขตร้อน (Hoang, 2017) เนื่องจากความสำคัญในด้านความมั่นคงทางด้านอาหารและพลังงานทางเลือก ทั่วโลกจึงให้ความสนใจในการเพิ่มปริมาณอ้อยหรือปริมาณน้ำอ้อย (Cheavegatti-Gianotto *et al*., 2011)

คุณภาพอ้อยเป็นปัจจัยที่สำคัญที่สุดประการหนึ่งของการจัดการอ้อยหลังการเก็บเกี่ยว คุณภาพอ้อยสามารถเสื่อมสภาพในไร่ได้จากปัจจัยต่าง ๆ เช่น อุณหภูมิแวดล้อม ความชื้น พันธุ์อ้อย และการสุกแก่ (Reddy and Madhuri, 2014; Solomon, 2009; Uppal *et al*., 2008) นอกจากนี้อายุเก็บเกี่ยวที่เหมาะสมตามการสุกแก่มีผลต่อปริมาณผลผลิตอ้อยที่จะได้รับด้วย (Sundara, 1998) ในอดีตจนถึงปัจจุบันเกษตรกรมักละเลยและไม่ให้ความสำคัญในด้านอายุการเก็บเกี่ยวที่เหมาะสม ซึ่งการเก็บเกี่ยวอ้อยที่มีอายุสุกแก่ไม่เหมาะสม เช่น ยังไม่สุกแก่หรือสุกแก่เกินไป ส่งผลให้เกิดการสูญเสียผลผลิตอ้อยทั้งในด้านคุณภาพและปริมาณ ส่งผลกระทบต่อกระบวนการ sugar recovery และมี juice consistency ต่ำ (Fida Hasan *et al.,* 2003)

อายุเก็บเกี่ยวที่เหมาะสมและองค์ประกอบคุณภาพอ้อย ขึ้นอยู่กับอิทธิพลจาก พันธุ์ แนวทางการจัดการ ผลกระทบจากศัตรูพืช และสภาพแวดล้อม (Hagos *et al*., 2014) โดยปัจจัยต่าง ๆ ทั้งหมดข้างต้นเกษตรกรสามารถควบคุมและจัดการได้ ยกเว้นปัจจัยด้านสภาพแวดล้อม ซึ่งไม่สามารถควบคุมได้หรือควบคุมได้ยาก พื้นที่ปลูกอ้อยที่มีสภาพแวดล้อมในการปลูกแตกต่างกัน ส่งผลต่อกระบวนการทางสรีรวิทยาในช่วงระยะเวลาการสุกแก่ และทำให้ช่วงเวลาที่ปริมาณน้ำตาลซูโครสสูงสุดของอ้อยในช่วงเวลาสุกแก่แตกต่างกัน (O'Leary, 2000) ดังนั้น อ้อยที่ปลูกภายใต้สภาวะแวดล้อมต่าง ๆ ต้องเก็บเกี่ยวในเวลาที่เหมาะสม กล่าวคือ เมื่อได้น้ำหนักสูงสุดของอ้อยที่เก็บเกี่ยวได้ ได้ปริมาณซูโครสในแปลงสูงที่สุด และปริมาณการสูญเสียในแปลงน้อยที่สุด (Muchow *et al*., 1998)

หนึ่งในพื้นที่ปลูกอ้อยที่สำคัญของจังหวัดพิษณุโลกกระจายอยู่ในพื้นที่ราบ และที่ลุ่มทางทิศใต้และทิศตะวันตกของจังหวัด ซึ่งเป็นพื้นที่ลุ่มรับน้ำของแม่น้ำวังทอง (อำเภอวังทอง และอำเภอบางกระทุ่ม) และแม่น้ำยม (บางส่วนของอำเภอเมืองและอำเภอบางระกำ)

โดยแม่น้ำทั้งสองสายยังไม่มีระบบการจัดการที่มีประสิทธิภาพ มักก่อให้เกิดน้ำท่วมขังในพื้นที่ลุ่มบริเวณที่แม่น้ำไหลผ่านในช่วงฤดูฝนทุกปี สาเหตุดังกล่าวส่งผลต่อการผลิตอ้อยในพื้นที่ราบลุ่มในจังหวัดพิษณุโลกและพื้นที่ใกล้เคียง ที่ประสบปัญหาน้ำท่วมขังธรรมชาติ โดยเฉพาะในช่วงเวลาการยืดปล้องและสะสมน้ำตาล ส่งผลกระทบต่อการเจริญเติบโตและการสร้างผลผลิตอ้อย หลังจากทดสอบปลูกพันธุ์อ้อยต่าง ๆ ในพื้นที่ดังกล่าว ในฤดูปลูกอ้อยปี 2561/62 ถึง 2562/63 พบว่า พันธุ์ KPS 07-17-83, KK07-599 และ KPS 07-21-4 สามารถปรับตัวและให้ผลผลิตสูงกว่าอ้อยพันธุ์เปรียบเทียบมาตรฐาน KK3 และ LK92-11 ในสภาวะน้ำท่วมขังธรรมชาติของฤดูอ้อยปลูก และอ้อยตอ 1 ตามลำดับ (Boodseephum and Wongtamee, 2022) อย่างไรก็ตาม ปริมาณผลผลิตอ้อยและน้ำตาลที่ประเมินได้ อาจไม่ใช่ช่วงเวลาการสุกแก่ที่เหมาะสม เนื่องจากการประเมินผลผลิตและคุณภาพอ้อยในการศึกษาดังกล่าว ประเมินในช่วงอายุ 12 เดือนหลังปลูกและหลังตัดตามลำดับ ดังนั้น เพื่อให้ทราบช่วงเวลาสุกแก่ที่เหมาะสมของอ้อยแต่ละพันธุ์ที่ปลูกภายใต้สภาวะน้ำท่วมขังธรรมชาติ การศึกษานี้จึงมีวัตถุประสงค์ เพื่อประเมินอายุเก็บเกี่ยวที่เหมาะสมของพันธุ์อ้อยที่ปลูกภายใต้สภาพน้ำขังตามธรรมชาติในจังหวัดพิษณุโลก ประเทศไทย เพื่อใช้เป็นข้อมูลประกอบสำหรับการส่งเสริมให้เกษตรกรในท้องถิ่นเลือกปลูกอ้อยพันธุ์ดังกล่าวในพื้นที่ที่ประสบปัญหาน้ำท่วมขังธรรมชาติในจังหวัดพิษณุโลกและพื้นที่ใกล้เคียงให้ได้รับผลผลิตที่สูงที่สุดตามศักยภาพของพันธุ์อ้อย

อุปกรณ์และวิธีการ

พันธุ์อ้อยและสถานที่ทำการศึกษา

เลือกพันธุ์อ้อยที่สามารถปรับตัวและให้ผลผลิตสูงภายใต้สภาพน้ำท่วมขังธรรมชาติในจังหวัดพิษณุโลก จำนวน 3 พันธุ์ ที่ได้จากการศึกษาของ Boodseephum and Wongtamee (2022) ได้แก่ KPS 07-17-83, KK07-599 และ KPS 07-21-4 มาศึกษาช่วงสุกแก่ของแต่ละพันธุ์ เพื่อกำหนดอายุเก็บเกี่ยวที่เหมาะสม โดยใช้พันธุ์เปรียบเทียบมาตรฐานจำนวน 2 พันธุ์ ได้แก่ ขอนแก่น 3 (KK3) และ แอลเค 92-11 (LK92-11) รายละเอียดพันธุ์อ้อยดังแสดงใน Table 1

Table 1. Cane yield and sugar yield of five sugarcane varieties in plant cane (2018/19) and the first ratoon (2019-2020) according to Boodseephum and Wongtamee (2022) under the natural water-logged condition of Phitsanulok province compared with cane yield and sugar yield in plant cane cultivated on the upland condition of Phitsanulok province (Rungmekarat *et al.,* 2020)

Sugarcane variety	Source of variety[1]	Under the natural water-logged condition				Cultivated on the upland condition	
		Cane yield[2] (ton/rai)		Sugar yield (ton CCS/rai)		Cane yield[2] (ton/rai)	Sugar yield (ton CCS/rai)
		PC	FR	PC	FR	PC	PC
KPS 07-17-83	KU	27.5	25.2	3.7	3.3	26.7	3.4
KPS 07-21-4	KU	23.7	20.7	3.2	2.6	22.8	2.8
KK07-599	KKFCRC	26.9	23.0	4.1	3.2	24.5	3.3
KK3[3]	KKFCRC	24.2	22.0	4.1	3.4	22.1	2.8
LK 92-11[3]	OCSB	16.0	15.3	2.6	2.2	23.0	3.4

[1]KU, Kasetsart University Kamphaeng Saen Campus; KKFCRC, Khon Kaen Field Crop Research Center; OCSB, Office of the Cane and Sugar Board
[2]PC, plant cane; FR, the first ratoon
[3]KK3 and LK92-11 Varieties were check varieties

โดยดำเนินการศึกษาในฤดูปลูกอ้อยปี 2563/64 ณ แปลงปลูกอ้อยของเกษตรกร ตำบลบ่อทอง อำเภอบางระกำ จังหวัดพิษณุโลก พิกัด 16°38'52"N 100° 09'33"E ระดับความสูงของพื้นที่ 39.8 เมตรเหนือระดับน้ำทะเล ลักษณะของพื้นที่ดังกล่าวเป็นที่ราบลุ่มรับน้ำของแม่น้ำยม มีน้ำท่วมขังในฤดูฝนปี (2564) 39 วัน (ระหว่างอายุ 255 - 294 วันหลังปลูก) และมีระดับความลึกของน้ำท่วมขังมากที่สุด เท่ากับ 62.3 เซนติเมตร ข้อมูลสภาพอากาศรายวัน ได้แก่ ปริมาณน้ำฝน อุณหภูมิต่ำสุด - สูงสุด และความชื้นสัมพัทธ์ แสดงใน Figure 1

การวางแผนการทดลอง การปลูก และการดูแลอ้อย

วางแผนการทดลองแบบ factorial in RCBD จำนวน 4 ซ้ำ ปัจจัยแรก คือ พันธุ์อ้อย จำนวน 5 พันธุ์ ได้แก่ KPS 07 - 17 - 83, KK07 - 599, KPS 07 - 21 - 4, KK3 และ LK92 - 11 และ ปัจจัยที่สอง คือ อายุเก็บเกี่ยว จำนวน 4 ช่วงอายุเก็บเกี่ยว ได้แก่ เดือนที่ 10, 11, 12 และ 13 หลังปลูก

เนื่องจากเป็นแปลงอ้อยเดิม จึงต้องทำการรื้อตออ้อยเดิม แล้วเตรียมดินโดยทำการไถด้วยจานไถ 3, 6 และ 24 จาน ตามลำดับ ดำเนินการปลูกอ้อยในเดือนธันวาคม พ.ศ. 2563 โดยอ้อยแต่ละพันธุ์ปลูกอ้อยแบบแถวเดี่ยวด้วยรถปลูก จำนวน 8 แถว ในแปลงย่อยที่มีขนาด 1.65 x 20 เมตร ท่อนพันธุ์ที่ใช้ปลูกคัดเลือกมาจากประชากรอ้อยตอ 1 ในการศึกษาปี 2562 - 2563 (Boodseephum and Wongtamee, 2022) โดยมีขนาดลำสม่ำเสมอ มีตาสมบูรณ์ ไม่มีโรคและแมลงเข้าทำลาย ขั้นตอนการปลูก เริ่มจากการลำเลียงลำอ้อยลงปลูกในร่องพร้อมพ่นสารเคมีป้องกันการเข้าทำลายของเชื้อราลงบนท่อนพันธุ์ หลังจากนั้นฝังปุ๋ยเคมีเกรด 10 - 20 - 10 ในอัตรา 30 กิโลกรัม/ไร่ พร้อมกลบดิน จากนั้นให้น้ำตามร่องหลังปลูกเสร็จทันที หลังปลูก 2 วันให้พ่นสารเคมีควบคุมวัชพืชก่อนงอก การให้น้ำอ้อยครั้งที่ 2 กำหนดให้น้ำแบบให้ตามร่องเมื่ออ้อยปลูกอายุประมาณ 1 เดือนหลังปลูก เมื่อต้นอ้อยอายุประมาณ 3 เดือนหลังปลูก ให้ฝังปุ๋ยเคมีเกรด 21 - 3 - 27 ในอัตรา 30 กิโลกรัมต่อไร่ พร้อมกำจัดวัชพืชที่พบระหว่างแถวอ้อยด้วยการพูนโคนร่องอ้อย เมื่อฝังปุ๋ยและกำจัดวัชพืชเรียบร้อย ทำการให้น้ำอ้อยอีกครั้งแบบให้ตามร่อง เมื่อต้นอ้อยอายุเมื่ออ้อยอายุ 10, 11, 12 และ 13 เดือนหลังปลูก ประเมินองค์ประกอบผลผลิต และเก็บเกี่ยวผลผลิตเพื่อประเมินผลผลิตอ้อย และผลผลิตน้ำตาล การป้องกันและกำจัดการระบาดและการเข้าทำลายของโรคและแมลงศัตรูอ้อยที่สำคัญในระหว่างการศึกษา ดำเนินการตามความจำเป็น

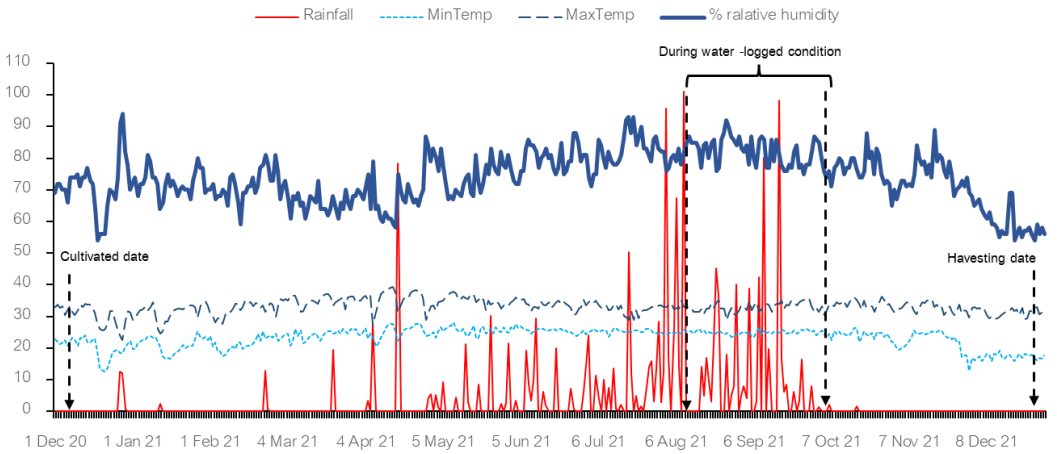


Figure 1. Meteorological conditions including, total rainfall, minimum temperature, maximum temperature, and relative humidity at sugarcane's fields during cultivation of cane (PC) (1-396 days after planting (dap))

การประเมินและบันทึกข้อมูล

ประเมินและบันทึกข้อมูลองค์ประกอบผลผลิต ผลผลิตอ้อย ผลผลิตน้ำตาล และคุณภาพน้ำอ้อย เมื่ออ้อยอายุ 10, 11, 12 และ 13 เดือนหลังปลูก ดังนี้

1. สุ่มชั่งน้ำหนักลำเดี่ยวจำนวน 20 ลำ จาก 6 แถวกลางในแต่ละซ้ำของแต่ละพันธุ์ นับและบันทึกจำนวนลำที่เก็บเกี่ยวได้/ซ้ำ และคำนวณหาปริมาณผลผลิตอ้อย (Thongviang *et al.,* 2014) จากสูตร

ผลผลิตอ้อย (ตัน/ไร่) = [ค่าเฉลี่ยน้ำหนักลำเดี่ยว (กิโลกรัม) x จำนวนลำที่เก็บเกี่ยวได้ (ลำ/ไร่)] / 1,000

2. ประเมินคุณภาพอ้อย โดย สุ่มตัดตัวอย่างลำอ้อยจำนวน 8 ลำ/พันธุ์/ซ้ำ วิเคราะห์หา °Brix, %Pol, %Fiber และ CCS โดยห้องปฏิบัติการมาตรฐานของศูนย์ส่งเสริมอุตสาหกรรมอ้อยและน้ำตาลทราย ภาคที่ 2 จังหวัดกำแพงเพชร และคำนวณหาปริมาณผลผลิตน้ำตาล (Thongviang *et al.,* 2014) จากสูตร

ผลผลิตน้ำตาล (ตัน CCS/ไร่) = [ผลผลิตอ้อย (ตัน/ไร่) x CCS] / 100

การวิเคราะห์ข้อมูล

วิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติของลักษณะที่ศึกษาตามแผนการทดลองแบบ factorial in RCBD โดยใช้ analysis of variance (ANOVA) และเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยด้วย Fisher's least significant difference (LSD) ที่ระดับความเชื่อมั่น 0.05

ผลการทดลองและวิจารณ์

ผลของปฏิสัมพันธ์ร่วมระหว่างพันธุ์อ้อยและอายุเก็บเกี่ยวต่อผลผลิตอ้อย ผลผลิตน้ำตาลและคุณภาพน้ำอ้อย

ทุกลักษณะที่ประเมิน ได้แก่ ผลผลิตอ้อย ผลผลิตน้ำตาล น้ำหนักลำเดี่ยว จำนวนลำที่เก็บเกี่ยวได้ ค่า °Brix %Pol %Fiber และค่า CCS พบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ ($P < 0.001$) เป็นผลจากปฏิสัมพันธ์ร่วมระหว่างพันธุ์อ้อยและอายุเก็บเกี่ยว (Table 2)

ในส่วนของผลผลิตอ้อยของอ้อยทุกพันธุ์ (KPS 07-17-83, KPS 07-21-4, KK07-599, KK3 และ LK92-11) พบมากที่สุดที่อายุเก็บเกี่ยว 13 เดือนหลังปลูก (Table 2) ซึ่งเป็นผลมาจากปัจจัยของน้ำหนักลำเดี่ยวและจำนวนลำที่เก็บเกี่ยวได้ ที่พบสูงมากในช่วงเวลาดังกล่าวของพันธุ์อ้อยทุกพันธุ์ แนวโน้มปริมาณผลผลิตอ้อยสอดคล้องกับผลผลิตน้ำตาล โดยอ้อยทุกพันธุ์พบมากที่สุดที่อายุเก็บเกี่ยว 13 เดือนหลังปลูก ซึ่งเป็นผลมาจากปัจจัยของผลผลิตอ้อย และค่า CCS ที่ให้ค่าสูงสุดในช่วงเวลาดังกล่าวด้วย อาจเป็นผลมาจากผลผลิตอ้อยที่พบในปริมาณสูง ที่อายุเก็บเกี่ยวดังกล่าว ประกอบกับการเพิ่มขึ้นขององค์ประกอบอื่น ๆ ในด้านคุณภาพของน้ำอ้อย และจากงานวิจัยของ Hagos *et al.* (2014) ให้การสนับสนุนว่าผลผลิตอ้อยและผลผลิตน้ำตาลเพิ่มสูงขึ้นเป็นผลมาจากปล่อยให้ต้นอ้อยมีอายุเก็บเกี่ยวที่นานขึ้น ซึ่งทำให้เกิดการสะสมปริมาณองค์ประกอบผลผลิตและองค์ประกอบด้านคุณภาพน้ำอ้อย นอกจากนี้ทั้งปริมาณผลผลิตอ้อยและผลผลิตน้ำตาลของพันธุ์ KPS 07-17-83 และพันธุ์ KK07-599 อายุเก็บเกี่ยว 13 เดือนหลังปลูกมีปริมาณมากกว่าพันธุ์เปรียบเทียบมาตรฐาน KK3 และ LK92-11 สำหรับพันธุ์ KPS 07-21-4 พบว่า มีค่าอยู่ระหว่างพันธุ์ KPS 07-17-83 หรือ KK07-599 และพันธุ์เปรียบเทียบมาตรฐาน ซึ่งบ่งชี้ว่าปริมาณผลผลิตน้ำตาลที่น้อยที่สุดพบในอ้อยพันธุ์ KK3 ที่อายุเก็บเกี่ยว 10 เดือนหลังปลูก มีค่าน้อยกว่าประมาณ 3.8 เท่า ของปริมาณผลผลิตน้ำตาลในอ้อยพันธุ์ KPS 07-17-83 และพันธุ์ KK07-599 ที่อายุเก็บเกี่ยว 13 เดือนหลังปลูก

อย่างไรก็ตามจากข้อมูลผลผลิตอ้อยและผลผลิตน้ำตาลทั้ง 5 พันธุ์ใน Table 1 ของการศึกษาของ Boodseephum and Wongtamee (2022) มีค่าสูงกว่าในการศึกษานี้ อาจเนื่องมาจากการท่วมขังของน้ำในปี 2563/64 ที่มีความรุนแรงกว่าในปี 2561/62 โดยพบว่าในปี 2563/64 มีระยะเวลาการท่วมขังที่ยาวนานกว่าและระดับน้ำที่ท่วมขังที่สูงกว่าในปี 2561/62 อาจส่งผลให้ต้นอ้อยอยู่ภายใต้สภาพขาดออกซิเจนในระยะเวลาที่ยาวนานกว่า และส่งผลต่อกระบวนการทางสรีรวิทยาอื่น ๆ ที่สำคัญ เช่น การหายใจแบบใช้ออกซิเจน และ

การสังเคราะห์แสง (Gomathi *et al.,* 2015) และส่งผลกระทบโดยตรงต่อการสร้างองค์ประกอบผลผลิตตลอดจนประกอบกันเป็นผลผลิตอ้อยและน้ำตาลที่น้อยกว่าในปี 2561/62 ซึ่งความรุนแรงของการสูญเสียปริมาณผลผลิตอ้อยและน้ำตาลจากสภาวะน้ำท่วมขังขึ้นอยู่กับช่วงเวลาน้ำท่วมขัง อายุการเจริญเติบโตของอ้อย และการจัดการทั้งก่อน และหลังน้ำท่วมขัง (Gomathi *et al.,* 2015) ผลผลิตอ้อยที่สูญเสียไปอาจเนื่องมาจากจำนวนหน่อที่ตาย การชะลอการเจริญเติบโตจากการลดกระบวนการดูดซึมธาตุอาหารและน้ำ หรือการหักล้ม ในช่วงเวลาน้ำท่วมขัง โดยน้ำท่วมขังทำให้จำนวนลำที่เก็บเกี่ยวได้ลดลง 22.4 เปอร์เซ็นต์ น้ำหนักลำเดี่ยวลดลง 45.6 เปอร์เซ็นต์ ความยาวลำลดลง 30 เปอร์เซ็นต์ ลดขนาดลำ 17.8 เปอร์เซ็นต์ และส่งผลให้ลดปริมาณผลผลิตอ้อย 40.1 เปอร์เซ็นต์ (Gomathi *et al.,* 2015) นอกจากนี้ ผลผลิตอ้อยที่ลดลงจากสภาวะน้ำท่วมขังแล้วยังส่งผลให้ปริมาณผลผลิตน้ำตาลลดลงด้วยเช่นกัน (Thongviang *et al.,* 2014)

ค่า °Brix ของทุกพันธุ์พบว่า มีค่าสูงที่สุดในช่วงอายุเก็บเกี่ยว 12 เดือนหลังปลูก (มีค่าระหว่าง 23.8 ของพันธุ์ KPS 07-17-83 ถึง 24.8 ของพันธุ์ KPS 07-21-4) อย่างไรก็ตามค่า °Brix ที่พบในในช่วงอายุเก็บเกี่ยว 13 เดือนหลังปลูกมีค่าลดลงไม่มากจากเดือนที่ 12 หลังปลูก (Table 2) นอกจากนี้ ค่า °Brix ที่พบในการศึกษานี้ยังคงค่ามาตรฐานตามคุณลักษณะของเชื้อพันธุกรรมอ้อยพันธุ์ไทยและแนวทางการนำไปใช้ประโยชน์ (Tippayawat *et al.,* 2012) แต่พบว่า มีค่าสูงกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับค่า °Brix ของอ้อยในประเทศเอทิโอเปียในการศึกษาของ Urgesa and Keyata (2021) มีค่าระหว่าง 15.38-19.52 เปอร์เซ็นต์ เมื่อมีอายุเก็บเกี่ยว 12-16 เดือน

สำหรับ % Pol % Fiber และค่า CCS ของทุกพันธุ์พบว่า มีค่าสูงที่สุดในช่วงอายุเก็บเกี่ยว 13 เดือนหลังปลูก (Table 2) ซึ่งค่า %Pol %Fiber และค่า CCS ในอ้อยทุกพันธุ์พบว่ามีค่าเพิ่มมากขึ้นเรื่อย ๆ เมื่อปล่อยให้ต้นอ้อยมีอายุเก็บเกี่ยวอ้อยเพิ่มขึ้น เนื่องจากเกิดการสะสมของแข็งที่ละลายน้ำได้ ซึ่งอาจรวมถึงน้ำตาลซูโครสด้วย จึงส่งผลให้ค่า %Pol %Fiber และค่า CCS มีค่าสูงขึ้นในเดือนหลัง ๆ (Ahmed and Awadalla, 2016; Hagos *et al.*, 2014) นอกจากนี้ค่า CCS ที่พบในการศึกษานี้ส่งผลต่อปริมาณผลผลิตน้ำตาลที่สูงขึ้นในเดือนหลัง ๆ ของอายุเก็บเกี่ยวอ้อยในทุกพันธุ์ (Thongviang *et al.,* 2014)

ปริมาณผลผลิตอ้อย ผลผลิตน้ำตาลและคุณภาพน้ำอ้อยมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่ออายุเก็บเกี่ยวมากขึ้น ส่วนใหญ่ให้ค่าสูงสุดที่อายุเก็บเกี่ยว 13 เดือนหลังปลูก โดยปกติพันธุ์อ้อยส่วนใหญ่ในประเทศไทย (อ้อยปลูก) แนะนำให้เก็บเกี่ยวในช่วงอายุระหว่าง 12 - 13 เดือนหลังปลูก เนื่องจากในช่วงระหว่างการย่างปล้องเป็นต้นไป ต้นอ้อยเริ่มสร้างผลผลิตและองค์ประกอบผลผลิต เช่น การเพิ่มน้ำหนักลำ โดยการเพิ่มความยาวลำและขนาดลำ การยืดปล้องทำให้ได้ปริมาณจำนวนลำที่เก็บเกี่ยวได้เพิ่มมากขึ้น ในลำอ้อยเมื่อขยายขนาดลำมีการสะสมแป้งและน้ำตาลมากขึ้น ตามอายุอ้อยที่เพิ่มขึ้น สอดคล้องกับรายงานการศึกษาของ Hagos *et al.* (2014) ที่พบว่าปริมาณผลผลิตอ้อยเพิ่มขึ้นตามอายุเก็บเกี่ยวอ้อยที่มากขึ้น จาก 10-14 เดือนหลังปลูก นอกจากนี้ อายุเก็บเกี่ยวส่งผลต่อการเพิ่มขึ้นของค่า %Pol และ CCS ด้วย จากผลการศึกษาใน Table 2 บ่งชี้ให้เห็นว่า ในการเก็บเกี่ยวอ้อยในเดือน 13 หลังปลูก ให้ค่า %Pol และ CCS มากที่สุด และจากปริมาณผลผลิตอ้อยและค่า CCS ส่งผลให้ปริมาณผลผลิตน้ำตาลสูงที่สุดที่อายุเก็บเกี่ยวเดือนที่ 13 หลังปลูก โดยปริมาณผลผลิตน้ำตาลขึ้นอยู่กับปริมาณผลผลิตอ้อยและค่า CCS (Thongviang *et al.,* 2014) สำหรับค่า °Brix เพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องจนให้ค่าสูงที่สุดในเดือนที่ 12 หลังปลูก (Table 2) โดยการเพิ่มขึ้นของค่า °Brix สัมพันธ์กับการสะสมปริมาณของแข็งที่ละลายในน้ำได้จนถึงวันเก็บเกี่ยว (Ahmed and Awadalla, 2016) อย่างไรก็ตาม ปริมาณผลผลิตอ้อย ผลผลิตน้ำตาล ค่า %Pol และค่า CCS เพิ่มขึ้นอย่างมากในเดือนที่ 12-13 หลังปลูก อาจเนื่องจากการฟื้นฟูหลังได้รับผลกระทบจากสภาวะน้ำท่วมขังในช่วงระหว่าง 255-294 วันหลังปลูก ซึ่งสภาวะน้ำท่วมขังในช่วงดังกล่าว ส่งผลกระทบโดยตรงต่อสร้างผลผลิตและองค์ประกอบผลผลิตอ้อยและน้ำตาล ดังนั้น ผลผลิตและองค์ประกอบผลผลิตในเดือนที่ 10-11 จึงแตกต่างจากเดือนที่ 12-13 อย่างชัดเจน

Table 2. Interaction effects of sugarcane varieties and harvesting ages on cane yield, sugar yield, single stalk weight, number of millable, °Brix, %Pol, %Fiber and CCS of five sugarcane varieties grown under natural water-logged condition in Phitsanulok

Factors	CY	SY	SSW	MC	°Brix	%Pol	%Fiber	CCS
Varieties (V)	***	*	***	***	ns	ns	***	ns
KPS 07-17-83 (V1)	15.2a	1.90a	2.5a	6056b	23.3	16.2	12.9a	12.2
KPS 07-21-4 (V2)	12.4bc	1.74ab	2.1b	5880b	23.6	17.8	12.8a	13.7
KK07-599 (V3)	14.0ab	1.81a	2.3ab	5963b	22.8	16.2	12.2a	12.8
KK3 (V4)	11.1c	1.31c	2.1b	5148c	23.6	16.8	11.4b	11.1
LK92-11 (V5)	11.7c	1.42bc	1.5c	7741a	23.4	15.2	11.3b	11.8
Harvesting age (months) (A)	***	***	ns	*	***	***	***	***
10 (A1)	10.9b	1.21c	2.2	6522a	22.6c	14.2c	11.1c	10.4c
11 (A2)	11.6b	1.36bc	1.9	5792b	23.1bc	15.1bc	11.9b	11.1bc
12 (A3)	14.3a	1.49b	2.1	5794b	24.4a	15.9b	12.7a	11.7b
13 (A4)	14.8a	2.37a	2.3	6508a	23.2b	20.5a	12.5ab	16.0a
Var (V)*Age (A)	***	***	***	***	***	***	***	***
V1A1	16.5AB	1.67DEF	2.5AB	6,504B	23.0D-G	13.6GHI	11.9BCD	10.1GHI
V1A2	13.4CDE	1.44E-I	2.4A-D	5,601C	23.0D-G	14.5E-I	12.6ABC	10.7F-I
V1A3	13.9BCD	1.57D-G	2.5ABC	5,611C	23.8A-D	15.4D-G	13.5A	11.3EFG
V1A4	17.1A	2.83A	2.6A	6,500B	23.3C-F	21.4A	13.6A	16.6A
V2A1	13.4CDE	1.68CDE	2.1CD	6,323B	22.3FG	16.3CDE	12.0BCD	12.6CDE
V2A2	11.3C-F	1.5D-H	2.1CD	5,426C	23.5B-E	17.2CD	12.9AB	13.3CD
V2A3	11.0EF	1.52D-H	2.1DE	5,420C	24.8A	18.1BC	13.5A	14.0BC
V2A4	14.0BC	2.10B	2.2BCD	6,333B	23.8A-D	19.5AB	12.8ABC	15.1AB
V3A1	17.4A	1.86BCD	2.6A	6,630B	22.0G	14.0F-I	11.4CDE	10.8FGH
V3A2	10.8EF	1.25GHI	2.0DE	5,291CD	22.3FG	15.0E-H	12.1BCD	11.6D-G
V3A3	11.2DEF	1.40E-I	2.2BCD	5,296CD	24.3ABC	15.9DEF	12.9AB	12.4C-F
V3A4	16.5AB	2.67A	2.5AB	6,634B	22.5EFG	19.8AB	12.5A-D	16.1A
V4A1	13.0C-F	1.19GHI	2.4A-D	5,500C	22.5EFG	14.3F-I	10.4E	9.0I
V4A2	7.7G	0.74J	1.6F	4,786D	23.8A-D	15.4D-G	11.2DE	9.5HI
V4A3	10.4F	1.06IJ	2.2BCD	4,796D	24.8A	16.5CDE	11.9BCD	10.1GHI
V4A4	13.2CDE	2.09BC	2.4A-D	5,510C	23.5B-E	21.0A	12.1BCD	15.8A
V5A1	11.0EF	1.05IJ	1.5F	7,648A	23.3C-F	12.7I	10.4E	9.5HI
V5A2	11.0EF	1.12HIJ	1.4F	7,834A	23.0D-G	13.4HI	11.1DE	10.2GHI
V5A3	11.5C-F	1.26F-I	1.5F	7,844A	24.5AB	14.2F-I	11.7B-E	10.9E-H
V5A4	13.2C-F	2.19B	1.7EF	7,641A	22.8D-G	20.7A	12.0BCD	16.6A
CV (%)	18.3	15.13	13.2	7.2	3.5	8.4	8.19	9.87

CY = cane yield (ton/rai/month harvested); SY = sugar yield (ton CCS/rai/month harvested); SSW = single stalk weight (kg.); MC = number of millable cane

ns = nonsignificant; *, *** = significant at $P < 0.05$ and $P < 0.001$, respectively.

Means within a line followed by the same letter(s) are not significantly different.

CV= coefficient of variation.

สรุป

สภาพอากาศในพื้นที่ทำการศึกษาของฤดูอ้อยปลูก ในปี 2563/64 มีปริมาณน้ำฝนสะสม 1,574 มิลลิเมตร อุณภูมิต่ำสุด-สูงสุด อยู่ระหว่าง 12.5 - 39.3 องศาเซลเซียส และมีความชื้นสัมพัทธ์ 74 เปอร์เซ็นต์ อ้อยพันธุ์ KPS 07-17-83, KK07-599 และ KPS 07-21-4 ที่ปลูกภายใต้สภาวะน้ำท่วมขังธรรมชาติของฤดูอ้อยปลูกในปี 2563/64 ส่วนใหญ่ให้ผลผลิตอ้อย ผลผลิตน้ำตาล และคุณภาพน้ำอ้อยสูงที่สุดในเดือนที่ 13 หลังปลูกเหมือนกัน ซึ่งบ่งชี้ว่าเดือนที่ 13 หลังปลูกนี้เป็นช่วงเวลาที่เหมาะสมสำหรับการเก็บเกี่ยวอ้อยทั้งสามพันธุ์นี้ เพื่อให้ได้ปริมาณผลผลิต และองค์ประกอบผลผลิตที่สูง ภายใต้สภาวะน้ำท่วมขังธรรมชาติของจังหวัดพิษณุโลก อย่างไรก็ตาม ปริมาณผลผลิตอ้อย ผลผลิตน้ำตาล และคุณภาพน้ำอ้อยบางประการของอ้อยพันธุ์ KPS 07-17-83 และKK07-599 มีค่าสูงกว่าพันธุ์ KPS 07-21-4 และพันธุ์เปรียบเทียบมาตรฐาน ดังนั้น อ้อยพันธุ์ KPS 07-17-83 และ KK07-599 น่าจะเป็นพันธุ์ที่เหมาะสำหรับปลูกในพื้นที่ที่ประสบปัญหาน้ำท่วมขังธรรมชาติในจังหวัดพิษณุโลก และเก็บเกี่ยวเมื่อมีอายุ 13 เดือนหลังปลูก การวิจัยในอนาคตควรดำเนินการบูรณาการในหลายสภาพแวดล้อม เช่น แห้งแล้งและน้ำท่วมขัง เนื่องจากอ้อยเป็นพืชที่มีอายุเก็บเกี่ยวนานจึงอาจประสบกับสภาวะแวดล้อมที่หลากหลาย เพื่อยืนยันความถูกต้องของการศึกษานี้

กิตติกรรมประกาศ

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

เอกสารอ้างอิง

Ahmed, A.Z. and A.O. Awadalla. 2016. Effect of harvesting age on yield, yield components and quality of some promising sugarcane varieties. Journal of Plant Production 7(12): 1501-1507.

Boodseephum, P. and A. Wongtamee. 2022. Evaluating yield, yield components, commercial cane sugar and ratooning ability of 14 sugarcane varieties grown under natural water-logged condition in Phitsanulok province. Journal of Agriculture 38(2): 279-292. (in Thai)

Cheavegatti-Gianotto, A., H.M.C. de Abreu, P. Arruda, J.C. Bespalhok Filho, W.L. Burnquist, S. Creste, L. di Ciero, J.A. Ferro, A.V. de Oliveira Figueira, T. de Sousa Filgueiras, M. de Fátima Grossi-de-Sá, E.C. Guzzo, H.P. Hoffmann, M.G. de Andrade Landell, N. Macedo, S. Matsuoka, F. de Castro Reinach, E. Romano, W.J. da Silva, M. de Castro Silva Filho and E.C. Ulian. 2011. Sugarcane (*Saccharum* X *officinarum*): A reference study for the regulation of genetically modified cultivars in Brazil. Tropical Plant Biology 4(1): 62-89.

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

Hagos, H., L. Mengistu and Y. Mequanint. 2014. Determining optimum harvest age of sugarcane varieties on the newly establishing sugar project in the tropical areas of Tendaho, Ethiopia. Advances in

Crop Science and Technology 2(5): 156, doi: 10.4172/2329-8863.1000156.

Hoang, N.V. 2017. Analysis of genes controlling biomass traits in the genome of sugarcane (*Saccharum* spp. hybrids). Ph.D. Thesis. The University of Queensland, Brisbane. 218 p.

Fida Hasan, M., M.R. Alam, M.A. Jabber, M.K. Begum and M.A.S. Miah. 2003. Effects of water-logging on juice quality and yield of sugarcane. Pakistan Journal of Biological Sciences 6(13): 1151-1155.

Muchow, R.C., A.J. Higgins, A.V. Rudd and A.W. Ford. 1998. Optimising harvest date in sugar production: A case study for the Mossman mill region in Australia: II. Sensitivity to crop age and crop class distribution. Field Crops Research 57(3): 243-251.

O'Leary, G.J. 2000. A review of three sugarcane simulation models with respect to their prediction of sucrose yield. Field Crops Research 68(2): 97-111.

Reddy, Y.S.K. and K.V.N. Madhuri. 2014. Impact of delayed crush on post-harvest deterioration of promising early maturing sugarcane clones. The Bioscan 9(2): 519-523.

Rungmekarat, S., P. Songsri, A. Wongtamee and T. Chaisan. 2020. Selection of sugar cane cultivars with high yield potential in the lower north, upper central and northeastern regions of Thailand. Research Report. The Office of The Research Fund (TRF), Bangkok. 378 p. (in Thai)

Solomon, S. 2009. Post-harvest deterioration of sugarcane. Sugar Tech 11(2): 109-123.

Sundara, B. 1998. Sugarcane Cultivation. Vikas Publishing House, New Delhi.

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

Tippayawat, A., W. Ponragdee and T. Sansayawichai. 2012. Characteristics of Thai sugarcane (*Saccharum* spp. hybrids) cultivars and potential for utilization. Khon Kaen Agriculture Journal 40(Suppl. 3): 53-59. (in Thai)

Uppal, S.K., S. Bhatia and K. S. Thind. 2008. Pre milling cane preparation for high sugar recovery and reduction of postharvest losses in sugarcane. Sugar Tech 10(4): 346-349.

Urgesa, G.D. and E.O. Keyata. 2021. Effect of harvesting ages on yield and yield components of sugar cane varieties cultivated at Finchaa sugar factory, Oromia, Ethiopia. International Journal of Food Science 2021: Article ID 2702095, doi: 10.1155/2021/2702095.

ผลของสารกำจัดวัชพืชไกลโฟเซตและพาราควอตที่ตกค้างในดินต่อการงอกและการเจริญเติบโตของต้นกล้าข้าว

Effects of Glyphosate and Paraquat Residues in Soil on Germination and Seedling Growth of Rice

สุพรรษา ชินวรณ์[1*] และ อนุพงศ์ วงค์ตามี[2]

Supansa Chinaworn[1*] and Anupong Wongtamee[2]

[1]สาขาวิชาเทคโนโลยีการผลิตพืช คณะเกษตรศาสตร์และทรัพยากรธรรมชาติ
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก จ. ชลบุรี 20110

[1]Department of Plant Production Technology, Faculty of Agriculture and Natural Resources,
Rajamangala University of Technology Tawan-Ok, Bangpra Campus, Chon buri 20110, Thailand

[2]ภาควิชาวิทยาศาสตร์การเกษตร คณะเกษตรศาสตร์ ทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม
มหาวิทยาลัยนเรศวร จ. พิษณุโลก 65000

[2]Department of Agricultural Sciences, Faculty of Agriculture, Natural Resources and Environment,
Naresuan University, Phitsanulok 65000, Thailand

**Corresponding author: Email: su_pan_sas@hotmail.com*

(Received: 19 April 2022; Accepted: 8 August 2022)

Abstract: This study evaluated the germination of rice seed under soil contaminated with herbicide, glyphosate and paraquat. Each of the herbicides was arranged in 2 x 5 factorial in CRD with three replications. The first factor was application rates consisting of recommended rate and two times of recommended rate. Glyphosate included 240 and 480 g (ai)/rai while paraquat was 82.6 and 165.6 g (ai)/rai. The second factor was the seeding date at 3, 7, 14, 21 and 28 days after herbicide application. The results showed that the application rate and rice seeding date after spraying both glyphosate and paraquat herbicides affect the percentage of germination, shoot length and root length of rice. Glyphosate and paraquat herbicide application at two times the recommended rate resulted in lower germination percentage, shoot length, and root length of rice than that of the recommended rate. The percentage of germination at 21 days after glyphosate application at both rates increased to 92 % compared to no glyphosate application, while the percentage of germination, shoot length, and root length of rice at 28 days after applying at a rate of 240 g (ai)/rai were the same as with no glyphosate application. For paraquat, seeding at 21 days after both rates of application resulted in the percentage of germination, shoot length and root length being increased to 90 % compared with no paraquat application and tends to increase when the soil is left for longer. This study concluded that the soil should be left at least 21 days after glyphosate and paraquat application at both rates. Seeding before 21 days is not recommended, especially at two times the recommended rate.

Keywords: Glyphosate, paraquat, residues, percentage of germination, shoot length, root length

บทคัดย่อ: การทดสอบการงอกของข้าวในดินหลังพ่นสารกำจัดวัชพืชไกลโฟเซตและพาราควอต สารแต่ละชนิดวางแผนการทดลองแบบ 2 x 5 factorial in CRD ทั้งหมด 3 ซ้ำ ปัจจัยที่ 1 อัตราการใช้ต่างกัน 2 อัตรา คืออัตราแนะนำและสูงกว่าอัตราแนะนำ ไกลโฟเซตประกอบด้วย 240 และ 480 กรัมสารออกฤทธิ์/ไร่ พาราควอตประกอบด้วย 82.8 และ 165.6 กรัมสารออกฤทธิ์/ไร่ ปัจจัยที่ 2 วันปลูกข้าว 5 วันปลูก คือ 3, 7, 14, 21 และ 28 วัน หลังพ่นสารกำจัดวัชพืช พบว่าอัตราการใช้และวันปลูกหลังพ่นสารทั้งสองชนิดมีผลต่อเปอร์เซ็นต์การงอก ความยาวลำต้น และความยาวรากของข้าว โดยการปลูกข้าวหลังการใช้สารกำจัดวัชพืชทั้งสองชนิดที่อัตราสูงกว่าอัตราแนะนำ 2 เท่าทำให้เปอร์เซ็นต์การงอก ความยาวลำต้นและรากของข้าว ต่ำกว่าที่อัตราแนะนำ การปลูกข้าวที่ 21 วัน หลังใช้ไกลโฟเซตทั้ง 2 อัตรา ทำให้เปอร์เซ็นต์การงอกสูงขึ้นเป็น 92 เปอร์เซ็นต์ เมื่อเทียบกับการไม่ใช้สารไกลโฟเซต ในขณะที่การปลูกข้าวที่ 28 วัน หลังใช้ที่อัตรา 240 กรัมสารออกฤทธิ์/ไร่ ทำให้เปอร์เซ็นต์การงอก ความยาวลำต้นและรากของข้าวเท่ากับการไม่ใช้สารไกลโฟเซต การปลูกข้าวที่ 21 วันหลังใช้พาราควอตทั้ง 2 อัตราพบว่า เปอร์เซ็นต์การงอก ความยาวลำต้นและรากสูงขึ้นเป็น 90 เปอร์เซ็นต์ เมื่อเทียบกับการไม่ใช้สารพาราควอต และมีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้นเมื่อปล่อยดินทิ้งไว้นานขึ้น การทดลองนี้สรุปได้ว่า หลังใช้สารกำจัดวัชพืชไกลโฟเซตและพาราควอตทั้ง 2 อัตรา ควรปล่อยดินทิ้งไว้อย่างน้อย 21 วัน ไม่แนะนำให้ปลูกก่อน 21 วันโดยเฉพาะในอัตราที่สูงกว่าอัตราแนะนำ 2 เท่า

คำสำคัญ: ไกลโฟเซต พาราควอต ตกค้าง เปอร์เซ็นต์การงอก ความยาวลำต้น ความยาวราก

คำนำ

การปลูกข้าวในประเทศไทยส่วนใหญ่เป็นการปลูกข้าวนาสวน และข้าวไร่ การปลูกข้าวนาสวนแบ่งออกเป็นนาน้ำฝนและนาชลประทาน โดยมีทั้งนาดำและนาหว่านน้ำตม ส่วนใหญ่อยู่ในเขตที่ราบลุ่มภาคกลาง และเขตชลประทาน การทำนาแบบนี้มักไม่ประสบปัญหาวัชพืชเนื่องจากมีการขังน้ำในแปลงนาทำให้สามารถลดวัชพืชได้ส่วนหนึ่ง การทำนาที่มักประสบปัญหาวัชพืชค่อนข้างมากคือการทำนาแบบนาหว่านน้ำแห้ง และข้าวไร่ นาหว่านน้ำแห้ง พบมากในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ เป็นการหว่านเมล็ดข้าวลงบนดินโดยตรงหลังจากมีการเตรียมดินเสร็จแล้วโดยไม่มีการขังน้ำ ส่วนการปลูกข้าวไร่เป็นการปลูกข้าวบนที่ดอน ที่ลาดเชิงเขา หรือปลูกแซมระหว่างไม้ยืนต้นหรือไม้ผลที่ยังไม่ให้ผลผลิต โดยการหยอดเมล็ดลงในดินโดยตรง พื้นที่ปลูกข้าวไร่จึงไม่มีการขังน้ำตลอดทั้งฤดูปลูก ประกอบกับบางพื้นที่เป็นที่ลาดเชิงเขา มีพื้นที่ไม่สม่ำเสมอทำให้ไม่สามารถไถเตรียมดินได้ นอกจากนั้นบางพื้นที่ที่มีการเตรียมดินโดยการไถกลบวัชพืชนั้นไม่สามารถกำจัดวัชพืชให้ตายได้ทั้งหมด ดังนั้น ปัญหาใหญ่ของการปลูกข้าวไร่และข้าวนาหว่านน้ำตมคือวัชพืช จึงได้มีการนำสารกำจัดวัชพืชมาใช้ โดยเฉพาะไกลโฟเซตและพาราควอต ปัจจุบันประเทศไทยมีพื้นที่ปลูกข้าวทั้งหมด 62.5 ล้านไร่ (Office of Agricultural Economics, 2022) จากข้อมูลปี 2555 มีพื้นที่ปลูกข้าวไร่ทั้งหมด 668,486 ไร่ ส่วนใหญ่เป็นภาคเหนือตอนบนประมาณ 343,461 ไร่ รองลงมาเป็นภาคเหนือฝั่งตะวันตก 202,383 ไร่ และกระจายอยู่ทางภาคเหนือฝั่งตะวันออก ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ และภาคใต้ (Rice Department, 2012) จากข้อมูลตั้งแต่ปี 2550 - 2562 ประเทศไทยมีการนำเข้าสารกำจัดวัชพืชไกลโฟเซตและพาราควอตมากเป็น 2 อันดับแรกของการนำเข้าสารกำจัดวัชพืชทั้งหมด แสดงให้เห็นว่ามีการใช้สารกำจัดวัชพืชเหล่านี้กันอย่างกว้างขวาง โดยเฉพาะบริเวณที่ราบลุ่มภาคกลางที่มีการปลูกพืชไร่ เช่น อ้อย มันสำปะหลัง ข้าวโพด รวมทั้งข้าว (Kwonpongsagoon *et al*., 2021) จากการสำรวจเกษตรกรผู้ทำนาในเขตอำเภอองครักษ์ จังหวัดนครนายก พบว่า เกษตรกรฉีดพ่นยาฆ่าหญ้า ชนิด Glyphosate isopropyl ammonium และ Paraquat dichloride จากนั้นปล่อยทิ้งไว้ 3 - 5 วัน แล้วจึงฉีดยาคุมหญ้า ประเภท Butachlor 2,4-D sodium salt และ 2,4-D dimethyl ammonium (Sangpakdee *et al*., 2014) เช่นเดียวกับเกษตรกรในอำเภอหนองเสือ

จังหวัดปทุมธานี (Aroonsrimorakot *et al*., 2017) สารกำจัดวัชพืชไกลโฟเซต เป็นสารกำจัดวัชพืชชนิดดูดซึม ถูกดูดซึมได้ทางใบจากนั้นจะเคลื่อนย้ายไปทำลายส่วนที่มีการเจริญเติบโต โดยยับยั้งการสร้างเอนไซม์ที่ใช้ในการสังเคราะห์กรดอะมิโน สามารถเคลื่อนย้ายได้ดีในต้นพืช โดยเคลื่อนย้ายจากใบไปยังเนื้อเยื่อที่มีการย่อยสลายสูง หรือเนื้อเยื่อที่มีการสะสมอาหาร ดังนั้นไกลโฟเซตจึงมีประสิทธิภาพกับวัชพืชที่กำลังเจริญเติบโตดี เมื่อสารไกลโฟเซตตกลงไปในดิน จะถูกดูดยึดไว้โดยอนุภาคดินเหนียว และมีค่าครึ่งชีวิต อยู่ที่ 30 - 40 วัน (Nomura and Hilton, 1977) โดยมีค่าครึ่งชีวิตในสภาพแปลง อยู่ที่ 30 วัน ส่วนสารที่เหลือจากการดูดซับโดยอนุภาคดินจะถูกย่อยสลายโดยจุลินทรีย์ในดิน สำหรับสารกำจัดวัชพืชพาราควอตเป็นสารกำจัดวัชพืชประเภทสัมผัสตาย ออกฤทธิ์ทำลายเยื่อหุ้มเซลล์ของพืช ใบพืชที่ถูกพ่นสารจะเหี่ยวแห้งอย่างรวดเร็ว ภายใน 1 - 2 ชั่วโมง และมีประสิทธิภาพสูงสุดภายใน 1 อาทิตย์ เมื่อสารพาราควอตตกลงไปอยู่ในดิน สามารถเคลื่อนย้ายได้ค่อนข้างยาก เนื่องจากถูกยึดไว้โดยอนุภาคของดิน เนื่องจากพาราควอตเป็นสารที่มีประจุบวก ดังนั้น เมื่อยู่ในดิน ซึ่งมีประจุสุทธิเป็นลบ โดยเฉพาะดินที่มีปริมาณอนุภาคดินเหนียวหรือมีอินทรียวัตถุสูง และถูกดูดซับโดยง่าย สามารถถูกย่อยสลายได้โดยจุลินทรีย์ที่อยู่ในดิน รวมทั้งการสลายตัวโดยแสงแดดหรือรังสีอัลตราไวโอเลต พาราควอตถูกใช้กันอย่างกว้างขวาง เนื่องจากออกฤทธิ์เร็ว และยังมีรายงานว่าสามารถทดแทนการเตรียมดินซึ่งลดกิจกรรมที่ทำลายชั้นดินได้ (Bromilow, 2004) อย่างไรก็ตาม พบว่า หากเมล็ดพืชวงศ์หญ้าได้รับพาราควอตโดยตรงสามารถยับยั้งการงอกได้ (Egley and Williams, 1978) งานทดลองของ Maldani *et al*. (2021) รายงานว่า สารกำจัดวัชพืชไกลโฟเซตและพาราควอตที่มีความเข้มข้นสูง ๆ ทำให้อัตราการงอกในข้าวฟ่าง ซึ่งเป็นพืชวงศ์หญ้าเช่นเดียวกับข้าวลดลง โดยไปรบกวนการทำงานของไมโตคอนเดรีย ทำให้สูญเสียพลังงาน ส่งผลให้การงอกลดลง (Gomes *et al*., 2017) จากข้อมูลพฤติกรรมในดินของสารกำจัดวัชพืชทั้งสองชนิดจะเห็นได้ว่า สารทั้งสองสามารถถูกดูดยึดไว้ในดินได้ซึ่งขึ้นอยู่กับอนุภาคของดินเหนียวและอินทรียวัตถุในดิน และยังสามารถสลายได้โดยแสงแดด หากมีการเว้นระยะที่เหมาะสมอาจไม่ส่งผลกระทบต่อการงอกของข้าว จากการศึกษาผลของสารกำจัดวัชพืชไกลโฟเซตและพาราควอตต่อการงอกของข้าว พบว่า หากพ่นสารกำจัดวัชพืชพาราควอตควรมีการปล่อยดินทิ้งไว้อย่างน้อย 14 วัน ในขณะที่ ไกลโฟเซตควรเว้นระยะที่ 7 วัน จึงสามารถย้ายเมล็ดข้าวที่งอกแล้วมาปลูกได้อย่างปลอดภัย (Sangruan *et al*., 2016) อย่างไรก็ตาม แม้ว่าเกษตรกรปล่อยดินทิ้งไว้ แต่หากมีการใช้สารกำจัดวัชพืชในอัตราที่สูงกว่าอัตราแนะนำ อาจส่งผลกระทบต่อการงอกของข้าวได้ การศึกษาครั้งนี้จึงทดสอบการงอกของข้าวโดยการหยอดเมล็ดลงในดินโดยตรงหลังจากการใช้สารกำจัดวัชพืชไกลโฟเซตและพาราควอต ในอัตราที่ต่างกัน 2 อัตราคืออัตราแนะนำและสูงกว่าอัตราแนะนำ 2 เท่า และระยะเวลาที่ปล่อยดินทิ้งไว้ก่อนการปลูกข้าว ทั้งหมด 5 วันปลูก คือ 3, 7, 14, 21 และ 28 วัน ผลการศึกษาครั้งนี้สามารถนำมาใช้เป็นข้อมูลสำหรับเกษตรกรผู้ปลูกข้าว โดยเฉพาะผู้ที่ใช้วิธีการหยอดเมล็ดลงในดินโดยตรง หรือการปลูกข้าวไร่และการทำนาหว่านน้ำแห้ง การจัดการการใช้สารกำจัดวัชพืชไกลโฟเซตและพาราควอต ที่ไม่ส่งผลกระทบต่อการงอกของข้าว จะทำให้ลดระยะเวลาในการจัดการและต้นทุนในการผลิตลง และในอนาคตหากประเทศไทยมีการอนุญาตให้นำพาราควอตกลับมาใช้อีกครั้ง เกษตรกรก็สามารถใช้ได้อย่างถูกต้อง และไม่กระทบต่อผลผลิตข้าว

อุปกรณ์และวิธีการ

ทดสอบการงอกของข้าวในดินหลังพ่นสารกำจัดวัชพืชไกลโฟเซตและพาราควอต ระหว่างวันที่ 1 กุมภาพันธ์ ถึง วันที่ 31 พฤษภาคม 2563 ณ โรงเรือนปลูกพืช สาขาวิชาเทคโนโลยีการผลิตพืช คณะเกษตรศาสตร์และทรัพยากรธรรมชาติ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก วิทยาเขตบางพระ จังหวัดชลบุรี โดยใช้ข้าวพันธุ์ไรซ์เบอรี่ สารกำจัดวัชพืชแต่ละชนิดวางแผนการทดลองแบบ 2 x 5 factorial in completely randomized design ทั้งหมด 3 ซ้ำ ปัจจัยที่ 1 คืออัตรา

สารต่างกัน 2 อัตรา ประกอบด้วย อัตราแนะนำ และอัตราที่สูงกว่าอัตราแนะนำ 2 เท่า สารกำจัดวัชพืชไกลโฟเซต (isopropylammonium 48% W/V SL) ประกอบด้วย 240 และ 480 กรัมสารออกฤทธิ์/ไร่ สารกำจัดวัชพืชพาราควอต (1,1'-dimethyl-4,4'-bipyridinium dichloride 27.6% W/V SL) ประกอบด้วย 82.8 และ 165.6 กรัมสารออกฤทธิ์/ไร่ ปัจจัยที่ 2 วันปลูกข้าวหลังพ่นสารกำจัดวัชพืช ทั้งหมด 5 วันปลูก คือ 3, 7, 14, 21 และ 28 วัน ทดสอบความงอกของเมล็ดข้าวก่อนนำมาใช้ในงานทดลอง โดยวิธี between paper โดยนับจากต้นกล้าที่ปกติ ตามมาตรฐานการทดสอบเมล็ดพันธุ์ (ISTA, 2016) จากนั้นนำเมล็ดข้าวกลุ่มที่มีความงอกมากที่สุดคือ 98 เปอร์เซ็นต์ มาใช้ในงานทดลอง เตรียมดินสำหรับปลูกข้าวในถาดเพาะ ลักษณะดินเป็นดินร่วนเหนียวปนทราย นำไปทดสอบด้วยชุดทดสอบดิน KU soil test kit มีอินทรียวัตถุในดิน 1.4 % pH 6.15 ค่าการนำฟ้า 0.23 ds/m นำดินไปผึ่งให้แห้งและร่อนให้ละเอียด จากนั้นนำมาใส่ในถาดเพาะขนาด 104 หลุมต่อถาด โดยให้ 1 ถาดเท่ากับ 1 ซ้ำ ผสมสารกำจัดวัชพืชในกระบอกพ่นยาแบบปั๊มลมขนาด 1 ลิตร ตามอัตราที่กำหนด พ่นสารกำจัดวัชพืชบนดินในถาดเพาะ จากนั้นปล่อยดินทิ้งไว้ให้วิธีการพ่นดินด้วยน้ำเปล่าเป็นกรรมวิธีควบคุม เมื่อครบกำหนด 3, 7, 14, 21 และ 28 วัน ทำการปลูกข้าวโดยการหยอดเมล็ดลงในดิน จำนวน 1 เมล็ดต่อหลุม จากนั้นกลบดินป้องกันการระเหยของน้ำ วางถาดเพาะไว้ในโรงเรือนมีหลังคาที่ไม่มีการพรางแสง ความยาวของช่วงเวลากลางวันเท่ากับ 12 ชั่วโมง 26 นาที ช่วงเวลากลางคืนเท่ากับ 11 ชั่วโมง 34 นาที อุณหภูมิเฉลี่ยภายในโรงเรือน 30 องศาเซลเซียส อุณหภูมิต่ำสุด 24 องศาเซลเซียส อุณหภูมิสูงสุด 35 องศาเซลเซียส ความเข้มแสง 544 -1,184 $\mu mol/m^2/s$ รดน้ำและดูแลรักษาจนครบ 14 วัน

บันทึกจำนวนต้นที่งอก เพื่อคำนวณเปอร์เซ็นต์การงอก โดยคำนวณได้จาก จำนวนของเมล็ดที่มีการงอกเป็นต้นกล้าปกติหารด้วยจำนวนเมล็ดทั้งหมด คูณด้วย 100 ตามมาตรฐานการทดสอบเมล็ดพันธุ์ของ ISTA (2016) สุ่มจำนวนต้นที่งอก จำนวน 30 ต้นต่อ 1 ซ้ำ วัดความยาวลำต้นและความยาวรากของต้นข้าว

วิเคราะห์ความแปรปรวนตามแผนการทดลองด้วยโปรแกรม statistix 8 โดยใช้ analysis of variance และเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยโดยใช้ LSD (least significant difference) ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์

ผลการศึกษาและวิจารณ์

สารกำจัดวัชพืชไกลโฟเซต

เปอร์เซ็นต์การงอก พบว่า อัตราการใช้และวันปลูกข้าวหลังพ่นสารกำจัดวัชพืชชนิดไกลโฟเซตมีผลต่อเปอร์เซ็นต์การงอกของข้าวอย่างมีนัยสำคัญ ($P < 0.001$) (Table 1) โดยพบว่า กรรมวิธีควบคุมที่ไม่มีการใช้สารกำจัดวัชพืชมีเปอร์เซ็นต์การงอกอยู่ที่

Table 1. Mean squares of two glyphosate rates and five seeding dates after glyphosate application for a percentage of germination, shoot length and root length in rice

Source of Variation	DF	Germination (%)	Shoot length (cm)	Root length (cm)
Replications	2	7.033	0.007	0.61
Rates (R)	1	440.83***	1.97^{ns}	0.01^{ns}
Seeding dates (SD)	4	959.92***	0.53^{ns}	28.36***
R x SD	4	17.92^{ns}	0.75^{ns}	0.39^{ns}
Error	18	10.99	0.76	0.19
CV (%)		4.60	5.94	4.15

ns= non significant difference, * and *** =significant difference at $P < 0.05$ and 0.001, respectively

90 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งสูงกว่าการปลูกใช้สารกำจัดวัชพืชไกลโฟเซต เปอร์เซ็นต์การงอกของข้าวที่อัตรา 240 กรัมสารออกฤทธิ์/ไร่ สูงกว่า 480 กรัมสารออกฤทธิ์/ไร่ ในทุก ๆ วันปลูก ประมาณ 5 - 10 เปอร์เซ็นต์ (Figure 1a) เมื่อเปรียบเทียบกับชุดควบคุม พบว่า ที่อัตรา 240 กรัมสารออกฤทธิ์/ไร่ การปล่อยดินทิ้งไว้ 3 วัน ทำให้เปอร์เซ็นต์ความงอกลดลงมากที่สุด 33 เปอร์เซ็นต์ รองลงมาคือ 7, 14 และ 21 วัน โดยลดลง 22, 13 และ 8 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ โดยที่ 28 วัน เปอร์เซ็นต์ความงอกของข้าวเท่ากับชุดควบคุม มีรายงานว่าหากมีการใช้ไกลโฟเซตและพาราควอต พืชวงศ์หญ้าเริ่มงอกได้ปกติ หลังจากวันที่ 21 เป็นต้นไป (Davies and Davies, 1981) จากการทดสอบปลูกเมล็ดข้าวโอ๊ตซึ่งเป็นพืชวงศ์หญ้าในดินที่มีการพ่นสารไกลโฟเซตและมีการปล่อยดินทิ้งไว้ 14 วัน พบว่า ยังคงส่งผลให้เมล็ดข้าวโอ๊ตงอกได้ช้าลง และลดน้ำหนักแห้งลำต้นและรากลง 29 เปอร์เซ็นต์ (Helander *et al*., 2019) แสดงให้เห็นว่าที่ระยะ 14 วัน ยังคงมีสารไกลโฟเซตที่ตกค้างอยู่ในดินและส่งผลให้ส่วนของ radicle ที่งอกออกมาสัมผัสกับสาร แต่หากปล่อยดินทิ้งไว้ ทำให้การออกฤทธิ์ของสารลดลงเนื่องจากการสลายตัวโดยแสงแดด ทำให้การงอกเป็นปกติได้ ในขณะที่อัตรา 480 กรัมสารออกฤทธิ์/ไร่ พบว่า การปล่อยดินทิ้งไว้ 3 วัน ทำให้เปอร์เซ็นต์ความงอกลดลงมากที่สุดถึง 46 เปอร์เซ็นต์ รองลงมาคือ 7, 14, 21 และ 28 วัน โดยลดลง 34, 22, 11 และ 9 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ แสดงให้เห็นว่าหากมีการใช้สารกำจัดวัชพืชไกลโฟเซตในอัตราที่สูงกว่าอัตราแนะนำต้องมีการปล่อยดินทิ้งไว้นานขึ้นจากเดิม เช่น หากต้องการความงอกในแปลงไม่น้อยกว่า 80 เปอร์เซ็นต์ การใช้ไกลโฟเซตที่อัตราแนะนำ สามารถปล่อยดินทิ้งไว้ที่ 14 วัน ในขณะที่หากใช้ในอัตราที่สูงกว่าอัตราแนะนำควรปล่อยดินทิ้งไว้ 21 วัน จึงจะให้ความงอกที่ 80 เปอร์เซ็นต์

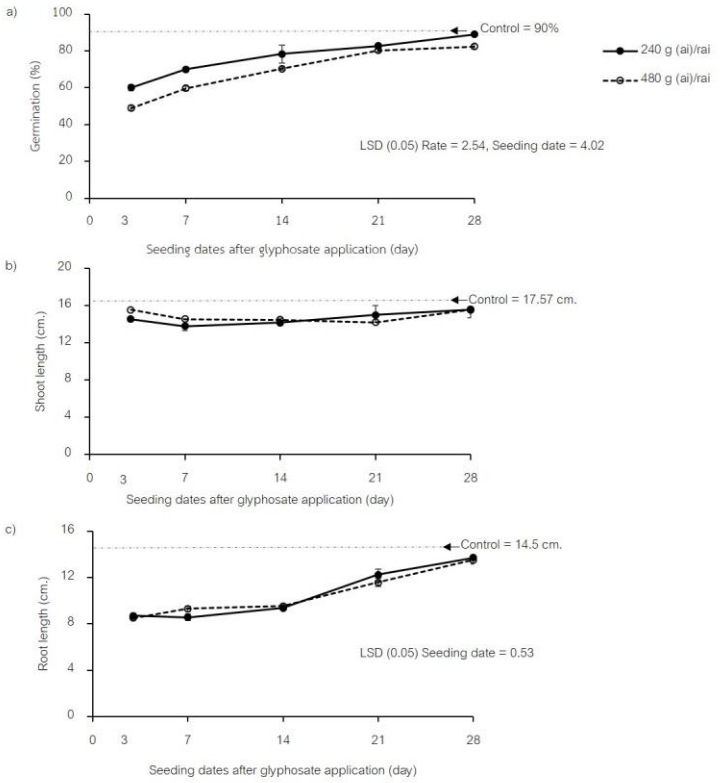


Figure 1. Effect of glyphosate application rates and seeding dates after application on percentage of germination (a), shoot length (b) and root length (c) of Riceberry rice variety

ความยาวลำต้น พบว่า อัตราการใช้และวันปลูกหลังพ่นสารไม่มีผลต่อความยาวลำต้นของข้าว (Table 1) โดยมีค่าความยาวลำต้นอยู่ที่ 14.00 - 16.00 เซนติเมตร ในขณะที่ชุดควบคุมมีความยาวลำต้นอยู่ที่ 17.57 เซนติเมตร

ความยาวราก พบว่า อัตราการใช้ที่แตกต่างกันไม่มีผลต่อความยาวราก แต่พบว่า วันปลูกที่แตกต่างกันมีผลต่อความยาวรากอย่างมีนัยสำคัญ ($P < 0.001$) (Table 1) โดยพบว่า ที่ชุดควบคุมมีความยาวรากที่ 14.50 เซนติเมตร เมื่อมีการใช้สารกำจัดวัชพืชทำให้ความยาวรากลดลง การปลูกข้าวหลังปล่อยดินทิ้งไว้ 3 - 14 วัน มีความยาวรากต่ำที่สุด ที่ 8 เซนติเมตร (Figure 1c) แต่เมื่อปล่อยดินทิ้งไว้ 21 วัน ความยาวรากเพิ่มขึ้นเป็น 12.00 เซนติเมตร และสูงสุดในวันที่ 28 มีความยาวรากเท่ากับ 13.50 เซนติเมตร ซึ่งใกล้เคียงกับชุดควบคุม

เปอร์เซ็นต์การงอก ความยาวลำต้น และความยาวรากในงานทดลองครั้งนี้ สอดคล้องกับงานทดลองที่ผ่านมาที่พบว่า ไกลโฟเซตทำให้การงอกช้าลงและทำให้น้ำหนักแห้งลำต้นในข้าวโอ๊ตลดลงประมาณ 28 เปอร์เซ็นต์ เนื่องจากช่วงที่มีการดูดน้ำเพื่อใช้สำหรับการงอก ทำให้ endosperm ของพืชวงศ์หญ้าได้รับสารไกลโฟเซตซึ่ง endosperm ดังกล่าวเป็นแหล่งอาหารสำคัญสำหรับพืชที่งอกในระยะเริ่มต้น (Helander *et al*., 2019) แต่หากปล่อยดินทิ้งไว้สามารถลดผลกระทบจากสารไกลโฟเซตได้ สอดคล้องกับค่าครึ่งชีวิตของไกลโฟเซตเมื่ออยู่ในดิน ที่รายงานว่ามีค่าครึ่งชีวิตอยู่ที่ 47 วัน (Vencill *et al*., 2002) และเคลื่อนย้ายภายในดินได้ค่อนข้างยาก (Epa, 1993) ดังนั้นหากปล่อยดินทิ้งไว้ระยะหนึ่ง พร้อมกับการได้รับแสงแดดจัดในช่วงกลางวัน สามารถลดฤทธิ์ของไกลโฟเซตในดินได้เร็วขึ้น

สารกำจัดวัชพืชพาราควอต

เปอร์เซ็นต์การงอก พบว่า อัตราการใช้ วันปลูกหลังพ่นสาร และปฏิสัมพันธ์ร่วมระหว่างอัตราการใช้และวันปลูกหลังพ่นสาร มีผลต่อเปอร์เซ็นต์การงอกของข้าวอย่างมีนัยสำคัญ ($P < 0.001$) (Table 2) พบว่าที่ชุดควบคุมมีเปอร์เซ็นต์การงอกอยู่ที่ 90 เปอร์เซ็นต์ เมื่อใช้สารกำจัดวัชพืชทำให้เปอร์เซ็นต์การงอกลดลง โดยพบว่าหลังจากปล่อยดินทิ้งไว้ 3 วัน ที่อัตรา 82.8 กรัมสารออกฤทธิ์/ไร่ ทำให้ความงอกลดลง 25 เปอร์เซ็นต์ เมื่อเทียบกับสภาพที่ไม่มีการใช้สารกำจัดวัชพืชพาราควอต ในขณะที่อัตราที่ 165.6 กรัมสารออกฤทธิ์/ไร่ ทำให้ความงอกลดลงถึง 45 เปอร์เซ็นต์ เมื่อปล่อยดินทิ้งไว้ 7 วัน ทั้ง 2 อัตราให้อัตราความงอกไม่ต่างกัน ที่ 70 เปอร์เซ็นต์ โดยลดลงจากชุดควบคุม 25 เปอร์เซ็นต์ เมื่อปล่อยดินทิ้งไว้ 14 จนถึง 28 วัน พบว่า การใช้สารทั้ง 2 อัตราทำให้เปอร์เซ็นต์การงอกไม่แตกต่างกันและคงที่ โดยมีเปอร์เซ็นต์การงอกอยู่ที่ 80 เปอร์เซ็นต์ หรือลดลง 10 เปอร์เซ็นต์ เมื่อเปรียบเทียบกับชุดควบคุม (Figure 2a) แสดงให้เห็นว่าพาราควอตซึ่งเป็นสารกำจัดวัชพืชชนิดสัมผัสตาย ความเข้มข้นของสารมีผลในวันแรก ๆ สอดคล้องกับงานก่อนหน้านี้ที่พบว่า หากเมล็ดวัชพืชวงศ์หญ้าสัมผัสกับพาราควอตสามารถยับยั้งการงอกของเมล็ดได้ (Egley and Williams, 1978) แต่หากมีการปล่อยดินทิ้งไว้สักระยะ จากการทดลองนี้คือ 14 วัน เป็นต้นไป ความเข้มข้นไม่มีผลต่อเปอร์เซ็นต์การงอก โดยเปอร์เซ็นต์การงอกของเมล็ดข้าวขึ้นอยู่กับจำนวนวันปลูกหลังพ่นสารแทน ถึงแม้ว่าพาราควอตมีค่าครึ่งชีวิตเมื่ออยู่ในดิน มากกว่า 1,000 วัน (Ahrens *et al*., 1994) แต่ถูกทำลายได้โดยแสงแดด และจุลินทรีย์ดิน และเมื่ออยู่ในดิน ไม่สามารถเคลื่อนย้ายได้ ดังนั้น จึงไม่สามารถเคลื่อนย้ายลงสู่ดินชั้นล่างได้ สารกำจัดวัชพืชพาราควอตที่ตกค้างขึ้นอยู่กับอนุภาคดินเหนียว หากมีอนุภาคดินเหนียวมากทำให้มีการตกค้างมาก และสะสมอยู่ในส่วนหน้าดินประมาณ 1 - 5 เซนติเมตร ซึ่งสามารถเสื่อมสลายเมื่ออยู่ในดินได้เร็วกว่าในห้องปฏิบัติการ (Amondham *et al*., 2006) ซึ่งสอดคล้องกับการทดลองนี้ เนื่องจากรังสี UV ได้สลายความเป็นพิษของพาราควอตได้ ในขณะเดียวกัน ระยะเวลาที่นานขึ้นส่งผลให้ความเป็นพิษลดลงจนไม่ส่งผลกระทบต่อการงอกของข้าว ลักษณะโรงเรือนที่ไม่มีการพรางแสงในงานทดลองมีสภาพเดียวกับการทำนาโดยทั่วไป ดังนั้น ปริมาณแสงใกล้เคียงกัน

ความยาวลำต้น พบว่า วันปลูกหลังพ่นสารที่แตกต่างกันมีผลต่อความยาวลำต้นอย่างมีนัยสำคัญ ($P < 0.001$) (Table 2) พบว่า ที่ชุดควบคุมมีความยาวลำต้นเท่ากับ 17.57 เซนติเมตร เมื่อใช้สารกำจัดวัชพืชทำให้ความยาวลำต้นลดลง โดยพบว่า เมื่อปล่อยดินทิ้งไว้หลังพ่นสารกำจัดวัชพืช ความยาวลำต้นของต้นกล้ามีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้น (Figure 2b) โดยทั้งสองอัตราให้ความยาวลำต้นในทุกวันปลูกไม่แตกต่างกัน ในวันที่ 3, 7, 14, 21 และ 28 พบว่า ความยาวลำต้นมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 13.57, 15.26, 14.00, 15.48 และ 16.04 เซนติเมตร ตามลำดับ

ความยาวราก พบว่า วันปลูกหลังพ่นสารและปฏิสัมพันธ์ร่วมระหว่างอัตราการใช้และวันปลูกมีผลต่อความยาวรากอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง ($P < 0.001$ และ 0.05 ตามลำดับ) (Table 2) โดยพบว่า ที่ชุดควบคุมมีความยาวรากเท่ากับ 14.50 เซนติเมตร เมื่อพ่นสารกำจัดวัชพืชทำให้ความยาวรากลดลง โดยพบว่าที่ 3, 7 และ 14 วัน ความยาวรากของต้นกล้าต่ำสุดที่ 8 - 10 เซนติเมตร ซึ่งน้อยกว่าชุดควบคุม 4 - 6 เซนติเมตร ในขณะที่ วันที่ 21 และ 28 พบว่า ความยาวรากของต้นกล้าสูงขึ้นเท่ากับชุดควบคุม (Figure 2c) จากลักษณะความยาวลำต้นและความยาวรากแสดงให้เห็นว่า วันปลูกหลังพ่นสารมีผลต่อความยาวลำต้นและรากมากกว่าอัตราการใช้ เช่นเดียวกับเปอร์เซ็นต์การงอก สอดคล้องกับงานทดลองของ Bandara *et al*. (1991) ที่พบว่า ไม่ว่าที่ความเข้มข้นใด หากปล่อยดินทิ้งไว้ให้การงอกของเมล็ดไม่ขึ้นอยู่กับอัตราการใช้สาร แต่ขึ้นอยู่กับเวลาที่ใช้ เมื่อเพิ่มระยะเวลาการได้รับแสงสามารถลดความเข้มข้นของพาราควอตได้ (Lee *et al*., 2003) เนื่องจากปฏิกิริยาการสลายตัวของพาราควอตในดินทั้งโดยจุลินทรีย์และแสงแดด (Huang *et al*., 2019)

ภายใต้สภาพดินที่ไม่มีน้ำขัง ส่วนของ radicle งอกออกมาจากเมล็ดก่อนส่วนของ coleoptile ดังนั้น ส่วนของรากสัมผัสกับสารกำจัดวัชพืชก่อน จะเห็นได้ว่าจากผลการทดลองนี้พบว่าสารกำจัดวัชพืชทั้งสองชนิดมีผลต่อ เปอร์เซ็นต์การงอกและความยาวรากมากกว่าความยาวลำต้น สอดคล้องกับงานทดลองของ Maldani *et al*. (2021) ที่พบว่า ถั่วปากอ้า ถั่วแขกและข้าวฟ่าง มีความยาวรากลดลง เมื่อปลูกในดินที่มีการใช้ไกลโฟเซตและพาราควอตในอัตราที่สูงกว่าอัตราแนะนำ

จากงานทดลองนี้แสดงให้เห็นว่า ถึงแม้ใช้สารกำจัดวัชพืชไกลโฟเซตและพาราควอตในอัตราที่สูงขึ้น แต่ข้าวยังคงงอกและเจริญเติบโตได้ ถึงแม้ว่าไม่เทียบเท่ากับการไม่ใช้สารกำจัดวัชพืช เช่นเดียวกับงานทดลองของ Puttha and Oupkeaw (2017) ที่พบว่า กข31, กข47 และ ชัยนาท 1 สามารถงอกและเจริญเติบโตได้ในดินที่ปนเปื้อน ไกลโฟเซต และพาราควอตจากการพ่นสารในอัตรา 600 และ 400 มิลลิลิตร/น้ำ 80 ลิตร/ไร่ ได้ ซึ่งมีความเข้มข้นใกล้เคียงกับการทดลองในครั้งนี้ และการปล่อยดินทิ้งไว้สามารถลดผลกระทบของสารกำจัดวัชพืชที่ตกค้างในดินต่อการงอกของข้าวได้

Table 2. Mean squares of two paraquat rates and five seeding dates after paraquat application for a percentage of germination, shoot length and root length in rice

Source of Variation	DF	Germination (%)	Shoot length (cm)	Root length (cm)
Replications	2	1.433	0.53	1.41
Rates (R)	1	246.53***	0.01^{ns}	0.85^{ns}
Seeding dates (SD)	4	607.03***	6.69***	32.89***
R x SD	4	120.03***	0.23^{ns}	2.09*
Error	18	3.66	0.48	0.38
CV (%)		2.53	4.67	5.56

ns= non significant difference, * and *** =significant difference at $P < 0.05$ and 0.001, respectively

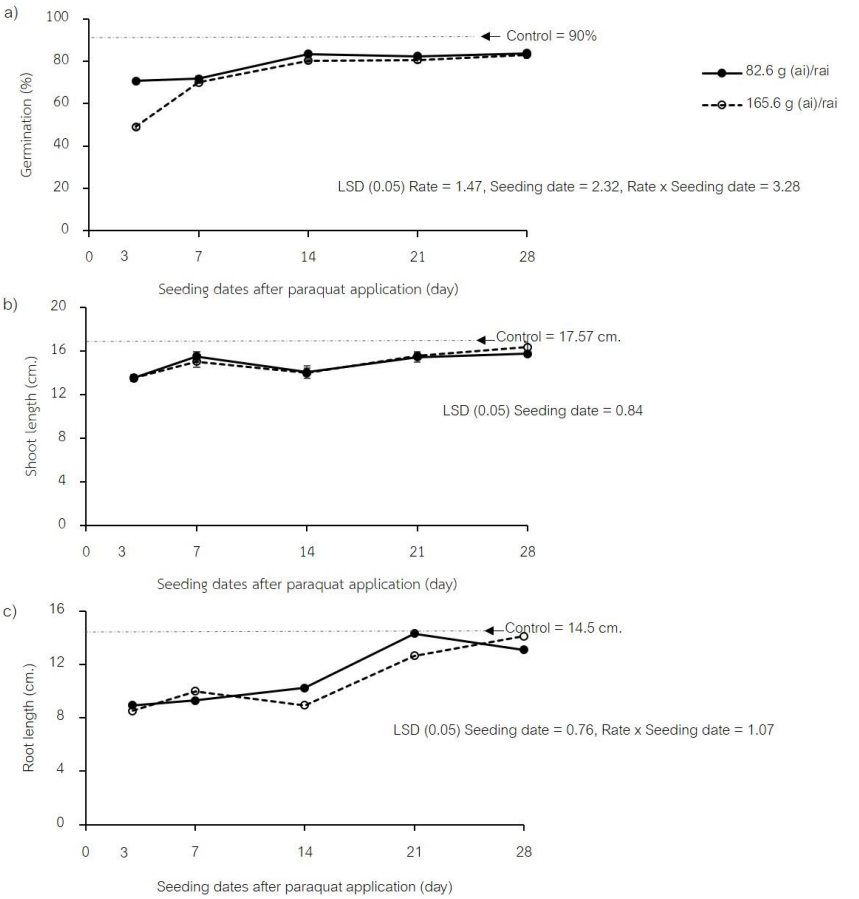


Figure 2. Effect of paraquat application rates and seeding dates after application on percentage of germination (a), shoot length (b) and root length (c) of Riceberry rice variety

สรุป

การใช้สารกำจัดวัชพืชไกลโฟเซตและพาราควอตทำให้เปอร์เซ็นต์การงอก ความยาวลำต้นและความยาวรากของข้าวลดลง แต่เมื่อปล่อยดินทิ้งไว้สามารถทำให้เปอร์เซ็นต์การงอกของข้าวเป็นปกติเทียบเท่ากับการไม่ใช้สารกำจัดวัชพืชทั้งสองชนิดได้ การปล่อยดินทิ้งไว้ 21 วัน หลังการใช้สารกำจัดวัชพืชไกลโฟเซตที่อัตรา 240 กรัมสารออกฤทธิ์/ไร่ และ 480 กรัมสารออกฤทธิ์/ไร่ ทำให้เปอร์เซ็นต์การงอกและความยาวรากของข้าวใกล้เคียงกับการไม่ใช้สารกำจัดวัชพืชไกลโฟเซต ในขณะที่การปล่อยดินทิ้งไว้ 28 วันหลังการใช้ที่อัตรา 240 กรัมสารออกฤทธิ์/ไร่ เท่ากับการไม่ใช้สารไกลโฟเซต ส่วนการใช้สารกำจัดวัชพืชพาราควอตทั้ง 2 อัตราคือ 82.8 และ 165.6 กรัมสารออกฤทธิ์/ไร่ การปล่อยดินทิ้งไว้ 21 วัน ทำให้เปอร์เซ็นต์การงอก ความยาวลำต้นและความยาวรากของข้าวใกล้เคียงกับการไม่ใช้สารกำจัดวัชพืชพาราควอต และมีแนวโน้มสูงขึ้นเรื่อย ๆ เมื่อปล่อยดินไว้นานขึ้น แสดงให้เห็นว่าหากเกษตรกรมีความจำเป็นต้องใช้ไกลโฟเซตและพาราควอตในอัตราที่สูงกว่าอัตราแนะนำ 2 เท่า เกษตรกรสามารถใช้ได้ โดยเว้นระยะไว้อย่างน้อย 21 วัน จึงสามารถปลูกข้าวได้โดยไม่กระทบต่อการงอกและการเจริญเติบโตของต้นกล้า โดยไม่แนะนำให้ปลูกก่อนระยะ 21 วัน

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณสาขาวิชาเทคโนโลยีการผลิตพืช คณะเกษตรศาสตร์และทรัพยากรธรรมชาติ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก ที่อนุเคราะห์สถานที่ทำการวิจัยในครั้งนี้

เอกสารอ้างอิง

Ahrens, W.H. 1994. Herbicide Handbook. 7th ed. Weed Science Society of America, Lawrence. 352 p.

Amondham, W., P. Parkpian, C. Polprasert, R.D. Delaune and A. Jugsujinda. 2006. Paraquat adsorption, degradation, and remobilization in tropical Soils of Thailand. Journal of Environmental Science and Health 41(5): 485-507.

Aroonsrimorakot, S., V. Sangnate and P. Pradabphetrat. 2017. The chemical application in rice production of farmers in Nong-Sue district, Pathum Thani province. Prawarun Agricultural Journal 14(2): 173-180 (in Thai)

Bandara, J.M.R.S. and P.C. Kearney. 1991. Paraquat residues in lowland rice fields. Journal of Agricultural Sciences 29: 11-19.

Bromilow, R.H. 2004. Paraquat and sustainable agriculture. Pest Management Science 60(4): 340-349.

Davies, W.I.C. and J. Davies. 1981. Varying the time of spraying with paraquat or glyphosate before direct drilling of grass and clover seeds with and without calcium peroxide. Grass and Forage Science 36(1): 65-69.

Egley, G.H. and R.D. Williams. 1978. Glyphosate and paraquat effects on weed seed germination and seedling emergence. Weed Science 26(3): 249-251.

Epa, U. 1993. Re-registration Eligibility Decision (RED): Glyphosate. United States Environmental Protection Agency, Office of Prevention. 291 p.

Gomes, M.P., F.V. da Silva Cruz, E.M. Bicalho, F.V. Borges, M.B. Fonseca, P. Juneau and Q.S. Garcia. 2017. Effects of glyphosate acid and the glyphosate-commercial formulation (Roundup) on *Dimorphandra wilsonii* seed germination: Interference of seed respiratory metabolism. Environmental Pollution 220: 452-459.

Helander, M., A. Pauna, K. Saikkonen and I. Saloniemi. 2019. Glyphosate residues in soil affect crop plant germination and growth. Scientific Reports 9: 19653, doi: 10.1038/s41598-019-56195-3.

Huang, Y., H. Zhan, P. Bhatt and S. Chen. 2019. Paraquat degradation from contaminated environments: Current achievements and perspectives. Frontiers in Microbiology 10: 1754, doi: 10.3389/fmicb.2019.01754.

ISTA. 2016. International Rules for Seed Testing. The International Seed Testing Association, Zurich. 284 p.

Kwonpongsagoon, S., C. Katasila, P. Kongtip and S. Woskie. 2021. Application intensity and spatial distribution of three major herbicides from agricultural and nonagricultural practices in the central plain of Thailand. International Journal of Environmental Research and Public Health 18(6): 3046, doi: 10.3390/ijerph 18063046.

Lee, J.-C., M.-S. Kim, C. Kim, C.-H. Chung, S. Cho, G. Han, K. Yoon and B.-W. Kim. 2003.

Removal of paraquat in aqueous suspension of TiO_2 in an immersed UV photoreactor. Korean Journal of Chemical Engineering 20(5): 862-868.

Maldani, M., F.Z. Aliyat, S. Cappello, M. Morabito, F. Giarratana, L. Nassiri and J. Ibijbijen. 2021. Effect of glyphosate and paraquat on seed germination, amino acids, photosynthetic pigments and plant morphology of *Vicia faba*, *Phaseolus vulgaris* and *Sorghum bicolor*. Environmental Sustainability 4: 723-733.

Nomura, N.S. and H.W. Hilton. 1977. The adsorption and degradation of glyphosate in five Hawaiian sugarcane soils. Weed Research 17(2): 113-121.

Office of Agricultural Economics. 2022. (online). Available: https://www.oae.go.th/view/1/ตารางแสดงรายละเอียดข้าวนาปี/TH-TH (June 10, 2022). (in Thai)

Puttha, R. and P. Oupkeaw. 2017. Effect of herbicides contaminated soil on seed germination and seedling growth of commercial rice. Khon Kaen Agriculture Journal 45(Suppl. 1): 249-254. (in Thai)

Rice Department. 2012. Sustainable Technology on Upland Rice Cultivation. The Agricultural Co-operative Federation of Thailand, Ltd., Nonthaburi. 116 p. (in Thai)

Sangpakdee, K., K. Silprasit, D. Peangthai, W. Khwaiphan, S. Siriyan and P. Kroeksakul. 2014. A study of chemical use behaviors of farmers in Ongkharak district, Nakhon Nayok province, Thailand. Khon Kaen Agriculture Journal 42(3): 375-384. (in Thai)

Sangruan, P., P. Uayyue and N. Insalud. 2016. Effects of herbicide on seed germination and growth of rice seedling. Agricultural Science Journal 47(Suppl. 2): 709-712. (in Thai)

Vencill, W.K. 2002. Herbicide Handbook. 8th ed. Weed Science Society of America, Lawrence. 493 p.

ผลของการเสริมซีสทีอามีนไฮโดรคลอไรด์ กัวนิดิโนอะซิเตท และเมทไธโอนีนในอาหารสุกรขุน ต่อประสิทธิภาพการเจริญเติบโต และคุณภาพซาก

Effect of Cysteamine Hydrochloride, Guanidinoacetate, and Methionine Supplementation in Finishing Pig Diet on Growth Performance and Carcass Characteristics

ขวัญระวี สุขเจริญ วันวิสา ชุ่มเงิน เกรียงศักดิ์ สะอาดรักษ์ และ สุกัญญา รัตนทับทิมทอง*

Kwanrawee Sukcharoen, Wanwisa Chumngoen, Kriangsak Saardrak and Sukanya Rattanatabtimtong*

ภาควิชาสัตวบาล คณะเกษตร กำแพงแสน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน จ. นครปฐม 73140

Department of Animal Science, Faculty of Agriculture at Kamphaeng Saen,

Kasetsart University Kamphaeng Saen Campus, Nakhon Pathom 73140, Thailand

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

(Received: 28 March 2022; Accepted: 22 June 2022)

Abstract: The objective of this study was to investigate the effect of dietary cysteamine hydrochloride (CTH), guanidinoacetate (GDA), and methionine (Met) supplementation on growth performance and carcass quality in finishing pigs. A total of 144 pigs was divided into three groups with six replications of eight pigs/pen. They were randomly assigned to one of the three diets; 1) control: commercial diet, 2) CHGMet: commercial diet supplemented with CTH, GDA, and Met 1,000 g/ton, and 3) CTH: commercial diet supplemented with CTH 700 g/ton. They were fed for 90 days. The results showed that pigs fed CTH diet had higher body weight gain (BWG) and average daily gain (ADG) compared with pigs fed with control and CHGMet diets ($P < 0.05$) from day 1 to 77. In addition, pigs fed with CHGMet and CTH diets had higher average daily feed intake (ADFI) compared with pigs fed control feed ($P < 0.05$) (day 78 - 90 and day 1 - 90) and pigs fed CTH diet had higher BWG and ADG compared with pigs in the control group ($P < 0.05$) (day 1 - 90). Additionally, the result of carcass characteristics in finishing pigs showed that loin and belly percentages from pigs fed CHGMet and CTH diets were higher than those from pigs fed control diet ($P < 0.05$). In conclusion, supplementation of CTH in the pigs diet potentially improves growth performance and carcass characteristics in finishing pigs.

Keywords: Cysteamine hydrochloride, guanidinoacetate, methionine, growth performance, pigs

บทคัดย่อ: วัตถุประสงค์ของการทดลองนี้เพื่อศึกษาผลของการเสริมซีสทีอามีนไฮโดรคลอไรด์ (CTH) กัวนิดิโนอะซิเตท (GDA), และเมทไธโอนีน (Met) ในอาหารสุกรระยะขุนต่อประสิทธิภาพการเจริญเติบโต และลักษณะซาก โดยใช้สุกรจำนวน 144 ตัว แบ่งออกเป็น 3 กลุ่ม กลุ่มละ 6 ซ้ำ ซ้ำละ 8 ตัวต่อคอก สุกรได้รับอาหารดังนี้ 1) อาหารควบคุม: อาหารทางการค้า 2) CHGMet: อาหารควบคุมเสริม CTH, GDA, และ Met ปริมาณ 1,000 กรัมต่อตันอาหาร และ 3) CTH: อาหารควบคุมเสริม CTH ปริมาณ700 กรัมต่อตันอาหาร ใช้เวลาทดลอง 90 วัน จากการศึกษาพบว่า ในช่วงการทดลองวันที่ 1 - 77 สุกรที่ได้รับอาหาร CTH มีน้ำหนักตัวที่เพิ่มขึ้น และอัตราการเจริญเติบโตมากกว่าสุกรที่ได้รับอาหารควบคุม และ CHGMet ($P < 0.05$) สำหรับในช่วงการทดลองวันที่ 78 - 90 และ วันที่ 1 - 90 สุกรที่ได้รับอาหาร CHGMet และ CTH มีปริมาณอาหารที่กินมากกว่าสุกรที่ได้รับอาหารควบคุม ($P < 0.05$) และในช่วงการทดลองวันที่ 1 - 90 พบว่า สุกรที่ได้รับอาหาร CTH มีน้ำหนักตัวที่เพิ่มขึ้น และอัตราการเจริญเติบโตมากกว่าสุกรกลุ่มควบคุม ($P < 0.05$) นอกจากนี้ ผลต่อลักษณะซากสุกรขุน พบว่าเปอร์เซ็นต์สันนอก และสามชั้นของสุกรที่ได้รับอาหาร CHGMet และ CTH มีค่ามากกว่าสุกรกลุ่มควบคุม ($P < 0.05$) จากการศึกษาสรุปได้ว่าการเสริม CTH ในอาหารสามารถช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการเจริญเติบโต และลักษณะซากของสุกรขุน

คำสำคัญ: ซีสทีอามีนไฮโดรคลอไรด์ กัวนิดิโนอะซิเตท เมทไธโอนีน ประสิทธิภาพการเจริญเติบโต สุกร

คำนำ

การผลิตสุกรได้มีการพัฒนาการเลี้ยงมากขึ้น โดยเกษตรกร และผู้ประกอบการมีความต้องการที่จะเพิ่มประสิทธิภาพการผลิต และลดต้นทุน จึงทำให้มีการพัฒนาอย่างต่อเนื่อง ไม่ว่าจะเป็นทางด้านพันธุกรรม การจัดการฟาร์ม การจัดการด้านสุขภาพ การป้องกันโรค และการจัดการด้านอาหาร โดยได้รับอิทธิพลจากปัจจัยภายนอกที่สามารถควบคุมได้ และไม่สามารถควบคุมได้ ซึ่งอาหารเป็นปัจจัยภายนอกอย่างหนึ่งที่มีการพัฒนาและวิจัยให้มีความเหมาะสมต่อประสิทธิภาพการเจริญเติบโต และความต้องการของสุกรในแต่ละช่วงอายุ สำหรับสุกรระยะรุ่น-ขุน ในระยะนี้สุกรมีการเจริญเติบโตโดยสะสมกล้ามเนื้อ และไขมัน ซึ่งปัจจุบันนี้ได้มีการใช้สารเสริมสำหรับเพิ่มประสิทธิภาพในอาหารสุกรเพื่อสนับสนุนการเจริญเติบโตหลายชนิด เช่น กรดอะมิโน วิตามิน แร่ธาตุ และเอนไซม์ เป็นต้น

ซีสทีอามีนไฮโดรคลอไรด์ (cysteamine hydrochloride: CTH) ซึ่งเป็นสารที่เป็นอนุพันธ์ร่วมของกรดอะมิโนซีสเตอีน (cysteine) จัดเป็นสารเคมีในกลุ่ม sulfhydryl compound มีผลต่อระบบต่อมไร้ท่อที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการเมแทบอลิซึม (metabolism) ของร่างกายสัตว์ (Duffel *et al*., 1987) มีฤทธิ์สลายการทำงานของโซมาโตสแตทิน (somatostatin) ซึ่งเป็นเพปไทด์ฮอร์โมน (peptide hormone) ที่สร้างมาจากเนื้อเยื่อต่าง ๆ ในร่างกาย รวมทั้งสร้างจากไฮโปทาลามัส (hypothalamus) ซึ่งเป็นสารยับยั้งไม่ให้มีการหลั่งของโกรทฮอร์โมน (growth hormone) ที่ต่อมใต้สมองส่วนหน้า ทำให้ CTH มีส่วนช่วยในการเพิ่มประสิทธิภาพการเจริญเติบโตของสุกร นอกจากนี้การใช้กัวนิดิโนอะซิเตท (guanidinoacetate: GDA) ในอาหารสุกรซึ่งเป็นสารที่ไปสร้างสารครีเอทีน (creatine) สารครีเอทีนนำไปใช้เพื่อการสังเคราะห์พลังงาน (ATP) ให้กับกล้ามเนื้อ และเซลล์ (Tossenberger *et al.,* 2016) การเสริม GDA เพื่อต้องการให้ร่างกายมีสัดส่วนของกล้ามเนื้อเพิ่มมากขึ้น และเสริมในอาหารสุกรช่วงระยะขุน โดยเน้นการพัฒนาในส่วนของกล้ามเนื้อสุกรให้มีคุณภาพซาก และคุณภาพเนื้อที่ดี ซึ่งการสร้างสารครีเอทีนได้ต้องมีเมทไธโอนีน (methionine: Met) เป็นสารตั้งต้น ดังนั้น จึงมีความจำเป็นที่ควรเสริมกรดอะมิโนชนิดนี้ด้วย (Majdeddin *et al*., 2019) ซึ่งปกติแล้ว Met จัดเป็นกรดอะมิโนจำเป็นลำดับที่ 2 ที่สุกรต้องการ (Sitthigripong, 1997) จากข้อมูลของกระบวนการทำงานของสารดังกล่าวที่มีศักยภาพในการสนับสนุนการเจริญเติบโตของสัตว์ ดังนั้น จึงได้มีการศึกษาผลการเสริมสาร CTH, GDA และ Met ในอาหารต่อประสิทธิภาพการเจริญเติบโตและคุณภาพซากในสุกรขุน

อุปกรณ์และวิธีการ

1. การวางแผนการทดลองและสัตว์ทดลอง

การทดลองนี้ใช้สุกรลูกผสมสามสายพันธุ์ ระหว่างพันธุ์ลาร์จไวท์ พันธุ์แลนด์เรซ และพันธุ์ดูรอค (LW X LR X D) จำนวน 144 ตัว น้ำหนัก 55 - 60 กิโลกรัม อายุเริ่มทดลอง 14 สัปดาห์ อายุสิ้นสุดการทดลอง 27 สัปดาห์ แบ่งออกเป็น 3 กลุ่มกลุ่มละ 6 ซ้ำ แบ่งเป็นเพศผู้ 3 ซ้ำ เพศเมีย 3 ซ้ำ แต่ละซ้ำมี 8 ตัว วางแผนการทดลองแบบ Randomized Complete Block Design สุกรทั้งหมดเลี้ยงในโรงเรือนเปิด (open house) โดยแบ่งเป็น 18 คอก ผนังกั้นคอกสูง 1 เมตร มีรางอาหารอยู่ด้านหน้า พื้นที่การเลี้ยง 1.75 ตารางเมตรต่อตัว การให้น้ำอัตโนมัติอยู่ด้านหลังคอก การให้น้ำสูงจากพื้นคอกประมาณ 50 เซนติเมตร พื้นคอกเป็นคอนกรีต ทำการสักเบอร์ (tattoo) และสุกรได้รับน้ำและอาหารอย่างเต็มที่

2. อาหารทดลอง

อาหารทดลองมีคุณค่าทางโภชนะตรงตามความต้องการกับช่วงอายุของสุกร (National Research Council, 2012) โดยแบ่งเป็น 2 ช่วงระยะ คือ อาหารสำเร็จรูปทางการค้าระยะสุกรรุ่น และระยะสุกรขุน โดยแบ่งอาหารทดลองออกเป็น 3 กลุ่ม ดังต่อไปนี้ กลุ่มที่ 1 อาหารสุกรทางการค้า (control) กลุ่มที่ 2 อาหารสุกรทางการค้าที่เสริม CTH, GDA และ Met ในอาหาร ปริมาณ 1,000 กรัมต่อตันอาหาร (CHGMet) และกลุ่มที่ 3 อาหารสุกรทางการค้าที่เสริม CTH ในอาหาร ปริมาณ 700 กรัมต่อตันอาหาร (CTH) ทำการสุ่มเก็บตัวอย่างอาหารทดลองเพื่อนำไปวิเคราะห์องค์ประกอบทางโภชนะ ได้แก่ ความชื้น โปรตีน ไขมัน เยื่อใย เถ้า แคลเซียม และฟอสฟอรัส (AOAC, 1990) และวิเคราะห์ค่าพลังงานรวมโดยใช้ bomb calorimeter ตามวิธีของ Hanbunchong and Sinchermsiri (1989)

3. การเก็บรวบรวมข้อมูล

บันทึกการเปลี่ยนแปลงของน้ำหนักตัว 3 ช่วง คือ น้ำหนักตัวสุกรก่อนเข้าทดลอง ก่อนเปลี่ยนอาหารจากอาหารสุกรระยะรุ่นเป็นอาหารสุกรระยะขุน และหลังจากสิ้นสุดการทดลอง บันทึกปริมาณอาหารที่กินในแต่ละช่วงอายุของแต่ละกลุ่มทดลอง นำค่าที่บันทึกมาคำนวณน้ำหนักตัวที่เพิ่มขึ้น (body weight gain: BWG) ปริมาณอาหารที่กินเฉลี่ยต่อวัน (average daily feed intake: ADFI) อัตราการเจริญเติบโตเฉลี่ยต่อวัน (average daily gain: ADG) อัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นน้ำหนัก (feed conversion ratio: FCR) ต้นทุนค่า อาหารต่อการเพิ่มน้ำหนัก 1 กิโลกรัม (Feed Conversion per Gain: FCG) เมื่อสิ้นสุดการทดลองทำการชั่งน้ำหนักสุกรก่อนเชือดและน้ำหนักซากทั้งหมด 144 ตัว จากนั้นทำการประเมินลักษณะซากโดยการสุ่มทั้งสามกลุ่มทดลองซ้ำละ 2 ตัว รวมทั้งหมด 36 ตัว จากสุกรทดลองทั้งหมด 144 ตัว วัดความหนาไขมันสันหลัง ด้วยเวอร์เนียแบบดิจิตอล ที่ตำแหน่งที่ 2 BF_4 และประเมินค่า Lenden-Speck-Quotient (LSQ) โดยทำการวัดคุณภาพซาก ด้วยเวอร์เนียแบบดิจิตอล โดยวัดทั้งหมด 3 ตำแหน่งดังนี้ ตำแหน่งแรก BF_3 ตรงจุดที่มุมล่างของฐานรูปสามเหลี่ยม ของกล้ามเนื้อสะโพกส่วนกลูทีอัส มีดิอัส (*gluteus medius*) ตำแหน่งที่ 2 BF_4 ตรงจุดที่ไขมันสันหลังบางที่สุดของกล้ามเนื้อสะโพกส่วนกลูทีอัส มีดิอัส และตำแหน่งสุดท้าย b วัดจากจุดที่มุมล่างของฐานรูปสามเหลี่ยมของกล้ามเนื้อสะโพกส่วนกลูทีอัส มีดิอัส ไปตั้งฉากกับแนวของท่อนำไขสันหลัง และประเมินค่า LSQ โดยมีสูตรการคำนวณ $LSQ = BF_3 + BF_4 / 2b$ ตามวิธีของ Sethakul *et al*. (1996) ทำการวัดสีของเนื้อด้วยแผ่นเทียบสีที่มีสีบ่งชี้ 7 ระดับ มีค่า 0-6 ตามมาตรฐานการวัดสีเนื้อของ Canada Pork International (2014) ทำการตัดแต่งชิ้นส่วน และนำมาคำนวณหนักซากอุ่น คือน้ำหนักซากและหัว ไม่รวมเครื่องใน น้ำหนักซากเย็น คือน้ำหนักซากไม่รวมหัว เปอร์เซ็นต์ซาก เปอร์เซ็นต์เนื้อแดง และเปอร์เซ็นต์ชิ้นส่วนต่าง ๆ ตามวิธีของ Jaturasitha (2004) และนำชิ้นส่วนสันนอกมาทาบกับกระดาษโปร่งแสงเพื่อวาดตารางขนาด 1 x 1 มิลลิเมตร แล้วนำมานับช่องเพื่อคำนวณพื้นที่หน้าตัดเนื้อสัน (Rice *et al*., 2019)

4. การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ

นำข้อมูลมาตรวจสอบการกระจายตัว และจัดข้อมูลในอยู่ในรูปการกระจายตัวแบบปกติ (normal distribution) วิเคราะห์ผลความแปรปรวนของข้อมูลตามแผนการทดลอง randomized complete block design (RCBD) และเปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างค่าเฉลี่ยโดยวิธี Duncan's new multiple rang test ที่ระดับความเชื่อมั่นที่ 95 เปอร์เซ็นต์ ด้วยโปรแกรมสำเร็จรูป R v.4.1 โดยใช้ Proc GLM (general linear model)

ผลการทดลองและวิจารณ์

ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบทางโภชนะ

ผลการวิเคราะห์ทางเคมี เพื่อหาองค์ประกอบของโภชนะต่าง ๆ ในอาหารทดลองแต่ละระยะการเจริญเติบโตของสุกร พบว่า องค์ประกอบของโภชนะได้แก่ ความชื้น โปรตีน ไขมัน เยื่อใย เถ้า แคลเซียม ฟอสฟอรัส และพลังงานรวม ในอาหารทดลองของสุกรแต่ละระยะการเจริญเติบโตมีค่าองค์ประกอบตามความต้องการโภชนะของสุกรทั้ง 2 ระยะ ตาม National Research Council (2012) และการเสริม CHGMet ในอาหารสุกรขุน ปริมาณ 1,000 กรัมต่อตันอาหาร และการเสริม CTH ปริมาณ 700 กรัมต่อตันอาหาร ไม่ส่งผลต่อองค์ประกอบโภชนะในอาหารทดลอง (Table 1)

ผลของการเสริมซีสทีอามีนไฮโดรคลอไรด์ กัวนิดิโนอะซิเตท และเมทไธโอนีนในอาหารต่อประสิทธิภาพการผลิตสุกร

ในช่วงวันที่ 1 ถึง วันที่ 77 ของการทดลอง สุกรที่ได้รับอาหารทางการค้า อาหารทางการค้าที่เสริม CHGMet ปริมาณ 1,000 กรัมต่อตันอาหาร และอาหารทางการค้าที่เสริม CTH ปริมาณ 700 กรัมต่อตันอาหาร พบว่า สุกรกลุ่มที่ได้รับอาหารเสริม CTH มีน้ำหนักสุดท้าย น้ำหนักที่เพิ่มขึ้น และอัตราการเจริญเติบโตมากกว่าสุกรที่ได้รับอาหารควบคุม และอาหารที่เสริม CHGMet ($P < 0.05$) สุกรกลุ่มที่ได้รับอาหารเสริม CHGMet และอาหารที่เสริม CTH มีปริมาณการกินได้มากกว่าสุกรกลุ่มที่ได้รับอาหารควบคุม ($P < 0.05$) สุกรกลุ่มที่ได้รับอาหารเสริม CHGMet มีทุนอาหารต่อน้ำหนักที่เพิ่มขึ้น 1 กิโลกรัมมากกว่าสุกรกลุ่มที่ได้รับอาหารควบคุม และอาหารที่เสริม CTH ($P < 0.05$) (Table 2)

Table 1. Nutrient content of the treatment diets

Nutrients	Periods					
	Day 1 - 77			Day 78 - 90		
	Treatment[1]			Treatment[1]		
	Control	CHGMet	CTH	Control	CHGMet	CTH
Moisture (%)	6.35	6.8	6.9	7.74	8.92	8.22
Crude protein (%)	17.64	17.67	17.61	16.55	16.55	16.53
Fat (%)	3.29	3.32	3.1	2.79	2.9	2.9
Fiber (%)	3.48	3.43	3.45	4.58	4.52	4.5
Ash (%)	6.35	6.8	6.9	7.29	7.18	7.15
Calcium (%)	1.1	1.13	1.11	1.62	1.69	1.75
Total phosphorus (%)	0.45	0.46	0.46	0.45	0.46	0.46
Gross energy (kcal/kg)	3951.56	3885.04	3948.62	3905.7	3894.14	3921.52
Feed cost (baht/kg)	14.32	15.02	14.91	13.83	14.53	14.43

[1]Control: commercial diet, CHGMet: commercial diet supplemented with CTH, GDA, and Met 1,000 g/ton, and CTH: commercial diet supplemented with CTH 700 g/ton

Table 2. Effect of cysteamine hydrochloride, guanidinoacetate and methionine supplementation in finishing pig diet on growth performance (1 to 77 days of experiment)

Parameters	Treatment[1]			SEM	*P*-value
	Control	CHGMet	CTH		
Initial weight (kg)	57.05	57.08	57.10	3.67	0.99
Final weight (kg)	126.38[b]	127.91[b]	131.24[a]	9.87	0.04
BWG (kg)	69.47[b]	71.32[b]	74.25[a]	8.71	0.03
ADG (g/pig/d)	902.19[b]	926.25[b]	964.25[a]	113.07	0.03
ADFI (kg/pig/d)	2.83[b]	2.91[a]	2.92[a]	0.24	0.02
FCR	3.16	3.17	3.02	0.31	0.08
FCG (baht/kg)	44.24[b]	46.65[a]	44.14[b]	4.50	0.02

[a, b]Means with different superscripts within a row differ significantly at $P < 0.05$

SEM = standard error of the mean

[1]Control: commercial diet, CHGMet: commercial diet supplemented with CTH, GDA, and Met 1,000 g/ton, and CTH: commercial diet supplemented with CTH 700 g/ton

ในช่วงวันที่ 78 ถึง วันที่ 90 ของการทดลอง สุกรที่ได้รับอาหารทางการค้า อาหารทางการค้าที่เสริม CHGMet ปริมาณ 1,000 กรัมต่อตันอาหาร และอาหารทางการค้าที่เสริม CTH ปริมาณ 700 กรัมต่อตันอาหาร พบว่า สุกรกลุ่มที่ได้รับอาหารเสริม CTH มีน้ำหนักสุดท้ายมากกว่าสุกรที่ได้รับอาหารควบคุม และอาหารที่เสริม CHGMet ($P < 0.05$) สุกรกลุ่มที่ได้รับอาหารเสริม CHGMet และอาหารที่เสริม CTH มีปริมาณการกินได้มากกว่าสุกรกลุ่มที่ได้รับอาหารควบคุม ($P < 0.05$) (Table 3)

Table 3. Effect of cysteamine hydrochloride, guanidinoacetate and methionine supplementation in finishing pig diet on growth performance (78 to 90 days of experiment)

Parameters	Treatment[1]			SEM	*P*-value
	Control	CHGMet	CTH		
Initial weight (kg)	126.38[b]	127.91[b]	131.24[a]	9.87	0.04
Final weight (kg)	132.59[b]	133.60[b]	137.98[a]	11.07	0.02
BWG (kg)	6.28	6.76	6.90	2.78	0.56
ADG (g/pig/d)	494.62	556.48	530.77	188.11	0.38
ADFI (kg/pig/d)	2.49[b]	2.88[a]	2.91[a]	0.358	>0.001
FCR	5.64	5.64	6.00	2.380	0.84
FCG (baht/kg)	63.82	65.16	66.83	15.63	0.81

[a, b]Means with different superscripts within a row differ significantly at $P < 0.05$

SEM = standard error of the mean

[1]Control: commercial diet, CHGMet: commercial diet supplemented with CTH, GDA, and Met 1,000 g/ton, and CTH: commercial diet supplemented with CTH 700 g/ton

ในช่วงวันที่ 1 ถึง วันที่ 90 ของการทดลอง สุกรที่ได้รับอาหารทางการค้าที่เสริม CHGMet ปริมาณ 1,000 กรัมต่อตันอาหาร และอาหารทางการค้าที่เสริม CTH ปริมาณ 700 กรัมต่อตันอาหาร พบว่า สุกรกลุ่มที่ได้รับอาหารเสริม CTH มีน้ำหนักที่เพิ่มขึ้น และอัตราการเจริญเติบโตมากกว่าสุกรที่ได้รับอาหารควบคุม ($P < 0.05$) สุกรกลุ่มที่ได้รับอาหารเสริม CHGMet มีทุนอาหารต่อน้ำหนักที่เพิ่มขึ้น 1 กิโลกรัมมากกว่าสุกรกลุ่มที่ได้รับอาหารควบคุม และอาหารที่เสริม CTH ($P < 0.05$) (Table 4)

สุกรที่ได้รับอาหารเสริม CHGMet ปริมาณ 1,000 กรัมต่อตันอาหาร ในอาหารสุกรขุน มีผลต่อประสิทธิภาพการเจริญเติบโตของสุกร เนื่องจากซีสทีอามีนสามารถยับยั้งการทำงานของฮอร์โมนโซมาโตสแตตินได้ ทำให้ร่างกายสัตว์กระตุ้นการสร้างโกรทฮอร์โมนเพิ่มขึ้นจึงมีส่วนช่วยทำให้ร่างกายเพิ่มประสิทธิภาพการเจริญเติบโตได้ (Duffel *et al*., 1987) อีกทั้ง Zhou *et al*. (2015) กล่าวว่าการเสริม CTH ที่ 700 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมอาหาร สามารถเพิ่มประสิทธิภาพเจริญเติบโตของสุกรขุนได้ สอดคล้องกับ Liu *et al.* (2009) ที่กล่าวว่า CTH สามารถช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการเจริญเติบโตในสุกรขุน

ผลของการเสริมซีสทีอามีนไฮโดรคลอไรด์ กัวนิดิโนอะซิเตท และเมทไธโอนีนในอาหารต่อลักษณะซากสุกร

สุกรที่ได้รับอาหารทางการค้าที่เสริม CHGMet ปริมาณ 1,000 กรัมต่อตันอาหาร และอาหารทางการค้าที่เสริม CTH ปริมาณ 700 กรัมต่อตันอาหาร พบว่า น้ำหนักสุดท้ายของสุกร น้ำหนักซากอุ่น น้ำหนักซากเย็น เปอร์เซ็นต์ซาก ค่า LSQ ความหนาไขมันสันหลัง พื้นที่หน้าตัดเนื้อสัน เปอร์เซ็นต์เนื้อแดง และสีของเนื้อแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ($P > 0.05$) (Table 5)

สำหรับของการเสริม CHGMet ปริมาณ 1,000 กรัมต่อตันอาหาร และอาหารทางการค้าที่เสริม CTH ปริมาณ 700 กรัมต่อตันอาหาร ต่อผลผลิตเปอร์เซ็นต์ชิ้นส่วน พบว่า สุกรกลุ่มที่ได้รับอาหารเสริม CHGMet และอาหารที่เสริม CTH มีสัดส่วนเนื้อสัน และสามชั้นมากกว่าสุกรที่ได้รับอาหารควบคุม ($P < 0.05$) (Table 6)

จากผลการศึกษาแสดงให้เห็นว่าการเสริม CTH, GDA และ Met ในอาหารสุกรระยะขุน ส่งผลให้เปอร์เซ็นต์ชิ้นส่วนของเนื้อสันนอก และสามชั้น ซึ่งเป็นส่วนของเนื้อแดงในสัดส่วนที่สูงกว่ากลุ่มที่ไม่ได้เสริม สอดคล้องกับผลการทดลองของ Liu *et al.* (2009)

Table 4. Effect of cysteamine hydrochloride, guanidinoacetate and methionine supplementation in finishing pig diet on growth performance (1 to 90 days of experiment)

Parameters	Treatment[1]			SEM	*P*-value
	Control	CHGMet	CTH		
Initial weight (kg)	57.05	57.08	57.10	3.67	0.99
Final weight (kg)	132.59[b]	133.60[b]	137.98[a]	11.07	0.02
BWG (kg)	74.89[b]	77.28[ab]	80.38[a]	8.65	0.03
ADG (g/pig/d)	832.08[b]	858.66[ab]	893.07[a]	96.10	0.03
ADFI (kg/pig/d)	2.78[b]	2.90[a]	2.93[a]	0.22	>0.001
FCR	3.32	3.36	3.31	0.28	0.75
FCG (baht/kg)	45.90[c]	48.72[a]	48.05[b]	5.22	0.03

[a, b] Means with different superscripts within a row differ significantly at $P < 0.05$

SEM = standard error of the mean

[1]Control: commercial diet, CHGMet: commercial diet supplemented with CTH, GDA, and Met 1,000 g/ton, and CTH: commercial diet supplemented with CTH 700 g/ton

Table 5. Effect of cysteamine hydrochloride, guanidinoacetate and methionine supplementation in finishing pig diet on carcass characteristics

Parameters	Treatment[1]			SEM	*P*-value
	Control	CHGMet	CTH		
Live BW (kg)	132.22	131.93	134.88	6.92	0.60
Hot carcass weight (kg)	109.20	110.24	111.35	6.44	0.35
Chilled carcass weight (kg)	99.82	99.97	103.58	5.33	0.20
Carcass (%)	75.49	75.76	76.83	1.33	0.22
LSQ	0.30	0.31	0.30	0.05	0.52
Backfat thickness (mm)	18.80	19.10	20.10	3.91	0.13
Loin eye area (cm^2)	70.51	72.47	73.52	10.94	0.60
Lean (%)	43.61	44.18	43.79	1.61	0.41
Meat color	3	3	3		0.39

SEM = standard error of the mean

[1]Control: commercial diet, CHGMet: commercial diet supplemented with CTH, GDA, and Met 1,000 g/ton, and CTH: commercial diet supplemented with CTH 700 g/ton

Table 6. Effect of cysteamine hydrochloride, guanidinoacetate and methionine supplementation in finishing pig diet on primal cuts yield percentage

Parameters	Treatment[1]			SEM	*P*-value
	Control	CHGMet	CTH		
Tenderloin (%)	1.02	1.07	0.99	0.08	0.12
Loin (%)	7.88^{b}	8.44^{a}	8.29^{a}	0.57	0.03
Ham (%)	17.08	17.36	17.08	0.95	0.75
Collar (%)	4.44	4.42	4.54	0.27	0.71
Shoulder (%)	10.21	10.11	9.71	0.70	0.27
Bacon (%)	14.57^{b}	15.53^{a}	15.62^{a}	0.68	0.04
Ribs (%)	4.99	5.07	5.13	0.40	0.81
Trim lean (%)	2.97	2.77	3.19	0.27	0.06
Fat (%)	9.88	9.90	9.21	1.22	0.85

[a, b] Means with different superscripts within a row differ significantly at $P < 0.05$

SEM = standard error of the mean

[1]Control: commercial diet, CHGMet: commercial diet supplemented with CTH, GDA, and Met 1,000 g/ton, and CTH: commercial diet supplemented with CTH 700 g/ton

พบว่า การเสริม CTH ทำให้อัตราการสลายโปรตีนลดลง เนื่องเป็นสารตั้งต้นในการสังเคราะห์โปรตีน และการได้รับโปรตีนสุทธิของไนโตรเจนเพิ่มขึ้น 63.5 เปอร์เซ็นต์ นอกจากนี้ Zhou *et al*. (2017) ได้รายงานว่าการเสริมซีสทีอามีนมีผลต่อการย่อย และการดูดซึมโปรตีนในอาหารผ่านการเพิ่มการทำงานของทริปซินและช่วยเพิ่มความสามารถในการย่อยของโปรตีน อีกทั้งส่งเสริมการแสดงออกของกรดอะมิโนในลำไส้เล็กส่วนเจจูนัมทำให้ร่างกายดูดซึมกรดอะมิโนได้มากขึ้น อีกทั้ง Tao *et al.* (2020) กล่าวว่าการเสริมซีสทีอามีนส่งผลต่อสังเคราะห์โปรตีน และลดการสะสมของไขมัน Lin *et al*. (2021) รายงานการเสริม GDA ในอาหารช่วยเพิ่มการสะสมโปรตีนทั้งร่างกาย อีกทั้ง Ostojic *et al*. (2020) รายงานว่า GDA ในอาหารมีบทบาทในการส่งเสริมการเจริญเติบโตของกล้ามเนื้อโดยทำหน้าที่เป็นสารต้านการอักเสบในกล้ามเนื้อ

สรุป

สุกรระยะขุนที่ได้รับอาหารที่เสริม CTH ในปริมาณ 700 กรัมต่อตันอาหาร และสุกรที่ได้รับอาหารที่เสริม CHGMet ปริมาณ 1,000 กรัมต่อตันอาหาร เป็นระยะเวลา 90 วัน ทำให้มีประสิทธิภาพการเจริญเติบโตดีขึ้น และมีน้ำหนักที่เพิ่มขึ้นดีขึ้น อีกทั้งยังช่วยเพิ่มเปอร์เซ็นต์สันนอก และเปอร์เซ็นต์สามชั้นของสุกร

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณบริษัท วอลคอม ไบโอเคม (ประเทศไทย) จำกัด ที่ให้การสนับสนุนทุนวิจัย และภาควิชาสัตวบาล คณะเกษตร กำแพงแสน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ และฟาร์มสุกรเอกชน ที่ได้สนับสนุนสถานที่สำหรับการศึกษาในครั้งนี้

เอกสารอ้างอิง

AOAC. 1990. Official Methods of Analysis. 15th ed. Association of Official Analysis Chemists, Washington, D.C.

Canada Pork International. 2014. Canadian Pork Quality Standards Released. Canadian Pork Industry, Ontario. 2 p.

Duffel, M.W., D.J. Logan and D.M. Ziegler. 1987. Cysteamine and cystamine. Methods in Enzymology 143: 149-154.

Hanbunchong, A. and D. Sinchermsiri. 1989. Analysis of Raw Materials and Animal Feed. Faculty of Agriculture, Kasetsart University, Bangkok. (in Thai)

Jaturasitha, S. 2004. Meat Management. Department of Animal Science, Faculty of Agriculture, Chiang Mai University. Chiang Mai. (in Thai)

Lin, J., C. Zhang, K. Lu, K. Song and L. Wang. 2021. Effect of guanidinoacetic acid and betaine supplementation in soybean meal-based diets on growth performance, muscle energy metabolism and methionine utilization in the bullfrog *Lithobates catesbeianus*. Aquaculture 533: 736167, doi: 10.1016/j.aquaculture.2020.736167.

Liu, G., Z. Wang, D. Wu, A. Zhou and G. Liu. 2009. Effects of dietary cysteamine supplementation on growth performance and whole-body protein turnover in finishing pigs. Livestock Science 122(1): 86-89

Majdeddin, M., A. Golian, H. Kermanshahia, J. Michiels and S. de Smet. 2019. Effects of methionine and guanidinoacetic acid supplementation on performance and energy metabolites in breast muscle of

male broiler chickens fed corn-soybean diets. British Poultry Science 60(5): 554-563.

National Research Council. 2012. Nutrient Requirements of Swine: Eleventh Revised Edition. The National Academies Press, Washington, D.C.

Ostojic, S.M., V. Premusz, D. Nagy and P. Acs. 2020. Guanidinoacetic acid as a novel food for skeletal muscle health. Journal of Functional Foods 73: 104129, doi: 10.1016/j.jff.2020.104129.

Rice, E.A., A.B. Lerner, B.A. Olson, L.L. Prill, L.N. Drey, H.E. Price, J.E. Lowell, B.N. Harsh, K.E. Barkley, L.T. Honegger, E. Richardson, J.C. Woodworth, J.M. Gonzalez, M.D. Tokach, J.M. DeRouchey, S.S. Dritz, R.D. Goodband, M.W. Allerson, B. Fields, S.D. Shackelford, D.A. King, T.L. Wheeler, A.C. Dilger, D.D. Boler and T.G. O'Quinn. 2019. Effects of increased pork hot carcass weights. I: Chop thickness impact on consumer visual ratings. Meat and Muscle Biology 3(1): 433-446.

Sethakul, J., N. Piyasatian and K. Tuntivisootthikul. 1996. Precision of simple method (LSQ) to estimate lean meat percentage of crossbred pigs. pp. 208-215 *In*: Proceedings of the 34th Kasetsart University Annual Conference. Kasetsart University, Bankok. (in Thai)

Sitthigripong, R. 1997. Swine Production. Faculty of Agricultural Technology, King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang, Bangkok. (in Thai)

Tao, W.J., L.J. Liu, H. Li, X. Pei, G. Wang, Z.P. Xiao, R. Yu, Z.F. Li and M.Q. Wang. 2020. Effects of coated cysteamine on growth performance, carcass characteristics, meat quality and lipid metabolism in finishing pigs. Animal Feed Science and Technology 263, doi: 10.1016/j.anifeedsci.2020.114480.

Tossenberger, J., M. Rademacher, K. Németh, V. Halas and A. Lemme. 2016. Digestibility and metabolism of dietary guanidino acetic acid fed to broilers. Poultry Science 95(9): 2058-2067.

Zhou, P., Y. Luo, L. Zhang, J. Li, B. Zhang, S. Xing, Y. Zhu, F. Gao and G. Zhou. 2017. Effects of cysteamine supplementation on the intestinal expression of amino acid and peptide transporters and intestinal health in finishing pigs. Animal Science Journal 88(2): 314-321.

Zhou, P., L. Zhang, J. Li, Y. Luo, B. Zhang, S. Xing, Y. Zhu, H. Sun, F. Gao and G. Zhou. 2015. Effects of dietary crude protein levels and cysteamine supplementation on protein synthetic and degradative signaling in skeletal muscle of finishing pigs. PLoS ONE 10(9): e0139393, doi: 10.1371/journal.pone.0139393.

อิทธิพลของการเสริมแคโรทีนอยด์สังเคราะห์ ในอาหารต่อสมรรถภาพการผลิตและสีไข่แดงของเป็ดไข่

Influence of Synthetic Carotenoids Supplementation in Feed on Production Performance and Egg Yolk Color of Laying Ducks

สุพจน์ โกเมนเอก ชัยภูมิ บัญชาศักดิ์ สมบัติ ประสงค์สุข และ ธีรวิทย์ เป่ยคำภา*

Suphot Komenake, Chaiyaphum Banchasak, Sombat Prasongsook and Theerawit Poeikhampha*

ภาควิชาสัตวบาล คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ กรุงเทพฯ 10900

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

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

(Received: 22 March 2022; Accepted: 31 August 2022)

Abstract: The objective of this study was to study the effect of synthetic carotenoids on the egg yolk color intensity of laying ducks. A total of 1,500 Khaki Campbells laying ducks, aged 23 weeks, were used. The ducks were divided into 6 groups, each with 5 subgroups of 50 ducks each. The laying ducks were 26 weeks old when the experiment began. The experiments were planned to use a completely randomized design method. The 6 experimental groups were classified based on their dietary treatment as follows: 1. Basal feed (without carotenoids supplementation); 2. Basal feed with 150 ppm canthaxanthin plus 100 ppm apo-ester; 3. Basal feed with 150 ppm canthaxanthin plus 150 ppm apo-ester; 4. Basal feed with 150 ppm canthaxanthin plus 1000 ppm 2 % Xanthophyll; 5. Basal feed with 250 ppm canthaxanthin; and 6. Basal feed with 250 ppm canthaxanthin plus 150 ppm apo-ester. Data were collected for 4 weeks. According to the studies, adding synthetic carotenoids to feed at various doses had no influence on duck egg production efficiency or quality ($P > 0.05$), but did have a statistically significant effect on egg yolk color intensity ($P < 0.01$). Canthaxanthin 250 ppm gave the best redness efficiency. The yolk color intensity was the highest compared to all other groups ($P < 0.01$), while dietary apo-ester supplementation of 150 ppm gave higher yellowness values than the extract supplemented diet from marigold (xanthophyll 2 %) 1000 ppm. When duck eggs from each experimental unit were boiled and made to salted egg and salted egg yolk. Color of three difference egg yolk types were compared boiled egg, salted egg and boiled salted egg. It was found that all egg yolk types gave color intensity values statistically in the same direction as fresh egg yolks. Therefore, it was concluded that supplementation of synthetic carotenoids in feed can effectively increase the color intensity of egg yolks according to the level of synthetic additives in the diet.

Keywords: Laying ducks, synthetic carotenoids, egg yolk color

บทคัดย่อ: การศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลของแคโรทีนอยด์สังเคราะห์ในอาหารต่อความเข้มสีไข่แดงของเป็ดไข่ โดยใช้เป็ดไข่พันธุ์กากีแคมเบลล์ (Khaki Campbells) อายุ 23 สัปดาห์จำนวน 1,500 ตัว โดยแบ่งเป็ดทดลองออกเป็น 6 กลุ่ม แต่ละกลุ่มจะมีกลุ่มย่อย 5 กลุ่ม กลุ่มละ 50 ตัว เริ่มทำการทดลองเมื่อเป็ดไข่มีอายุ 26 สัปดาห์ มีการวางแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ (completely randomized design) โดยกลุ่มการทดลองทั้ง 6 กลุ่ม จัดแบ่งตามสูตรอาหารดังนี้คือ 1. อาหารพื้นฐาน (ไม่เสริมแคโรทีนอยด์สังเคราะห์) 2. อาหารพื้นฐานเสริมด้วย 150 ppm canthaxanthin ร่วมกับ 100 ppm apo-ester 3. อาหารพื้นฐานเสริมด้วย 150 ppm canthaxanthin ร่วมกับ 150 ppm apo-ester 4. อาหารพื้นฐานเสริมด้วย 150 ppm canthaxanthin ร่วมกับ 1000 ppm 2 % Xanthophyll 5. อาหารพื้นฐานเสริมด้วย 250 ppm canthaxanthin และ 6. อาหารพื้นฐาน เสริมด้วย 250 ppm canthaxanthin ร่วมกับ 150 ppm apo-ester ทำการทดลองเป็นเวลา 4 สัปดาห์ จากการวิจัยพบว่า การเสริมแคโรทีนอยด์สังเคราะห์ในอาหารที่ระดับความเข้มข้นต่างกันไม่มีผลต่อประสิทธิภาพการผลิตและคุณภาพของไข่เป็ด ($P > 0.05$) แต่มีผลต่อระดับความเข้มสีของไข่แดงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ($P < 0.01$) โดยอาหารพื้นฐานที่เสริมด้วย canthaxanthin 250 ppm มีประสิทธิภาพการให้ค่าความแดงดีที่สุด โดยมีค่าความเข้มสีของไข่แดงสูงที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับกลุ่มอื่นทุกกลุ่ม ($P < 0.01$) ในขณะที่การเสริมด้วย apo-ester 150 ppm ในอาหารมีประสิทธิภาพการให้ค่าความเหลืองสูงกว่าอาหารที่เสริมด้วยสารสกัดจากดอกดาวเรือง (xanthophyll 2 %) 1000 ppm เมื่อนำไข่เป็ดจากแต่ละหน่วยการทดลองไปต้ม ทำเป็นไข่เค็ม และไข่แดงเค็มแล้ว วิเคราะห์ค่าความเข้มสีของไข่แดง พบว่า ทั้งไข่ต้ม ไข่แดงเค็มต้ม และไข่แดงเค็มยังคงมีค่าความเข้มสีของไข่แดงทางสถิติไปในทิศทางเดียวกันกับสีไข่แดงสด ดังนั้นจึงสรุปได้ว่าการเสริมแคโรทีนอยด์สังเคราะห์ในอาหารสามารถเพิ่มความเข้มสีของไข่แดงได้อย่างมีประสิทธิภาพตามระดับของสารสังเคราะห์ที่เสริมในอาหาร

คำสำคัญ: เป็ดไข่ แคโรทีนอยด์สังเคราะห์ สีไข่แดง

คำนำ

อุตสาหกรรมการผลิตไข่ในปัจจุบัน ทั้งการผลิตไข่เป็ดและไข่ไก่ การทำให้คุณภาพของผลผลิตมีคุณภาพตรงตามความต้องการของผู้บริโภคเป็นปัจจัยสำคัญที่จะส่งผลให้ธุรกิจประสบความสำเร็จ โดยเฉพาะการผลิตไข่เป็ด ซึ่งนอกจากจะต้องให้ความสำคัญกับขนาดของฟองไข่ คุณภาพของเปลือกไข่แล้ว ปัจจัยสำคัญอีกประการหนึ่งคือ สีของไข่แดง การบริโภคทั้งในระดับครัวเรือนหรืออุตสาหกรรมนิยมใช้ไข่เป็ดที่มีสีแดงเข้ม ไม่ว่าจะเป็นในโรงงานผลิตไข่เค็มหรือร้านทำขนมไทย เนื่องจากไข่เค็มที่ผลิตจากไข่เป็ดที่มีสีแดงเข้มจะทำให้ไข่เค็มเป็นที่นิยมของตลาดเช่นกัน ในส่วนของการทำขนมไทยเช่น ทองหยิบ ทองหยอด หรือฝอยทอง การใช้ไข่เป็ดที่มีไข่แดงสีเข้มจะทำให้ขนมที่ได้มีสีสันสวยงาม ความเข้มของสีไข่แดงจึงเป็นปัจจัยที่สำคัญในการผลิตไข่เป็ดในปัจจุบัน

การทำให้ไข่แดงมีสีเข้มและสม่ำเสมอขึ้นอยู่กับปริมาณความเข้มข้นและความคงตัวของแคโรทีนอยด์ ในอาหาร ซึ่งประสิทธิภาพการสร้างเม็ดสีขึ้นอยู่กับความสามารถในการย่อยได้ การดูดซึม การเผาผลาญ และการสะสมของแคโรทีนอยด์เหล่านั้น (Nys, 2000) สีของไข่แดงเกิดจากการดูดซึมและการสะสมของแคโรทีนอยด์ที่มีในอาหาร เนื่องจาก สัตว์ปีกไม่สามารถสังเคราะห์แคโรทีนอยด์เหล่านี้ได้ (Breithaupt, 2007) ผู้ผลิตไข่จึงสามารถกำหนดสีของไข่แดงได้ โดยการเสริมแคโรทีนอยด์ในอาหาร (Galobart *et al*., 2004) แคโรทีนอยด์เป็นกลุ่มของเม็ดสีที่กระจายอย่างกว้างขวางที่สุดในธรรมชาติ (Maoka, 2020) จัดเป็นสารประกอบประเภทหนึ่งที่ใช้ในการให้สีและถูกนำมาใช้กันอย่างแพร่หลายในอุตสาหกรรมอาหาร แคโรทีนอยด์ที่ใช้ในอุตสาหกรรมได้มาจากการสังเคราะห์ทางเคมีหรือสารที่เกิดจากธรรมชาติที่มาจากพืชหรือสาหร่าย (Mezzomo and Ferreira, 2016) ปริมาณแคโรทีนอยด์ธรรมชาติที่สกัดจากพืชและสาหร่ายผลิตได้น้อยและ

มีต้นทุนที่สูงกว่าแคโรทีนอยด์สังเคราะห์ซึ่งสามารถผลิตได้อย่างรวดเร็วโดยใช้แรงงานและต้นทุนต่ำกว่า (Novoveská *et al*., 2019) นอกจากนี้ แคโรทีนอยด์สังเคราะห์ยังสามารถดูดซึมและสะสมในเนื้อเยื่อเป้าหมายได้สูงกว่าแคโรทีนอยด์จากธรรมชาติ จึงทำให้อุตสาหกรรมการผลิตอาหารส่วนมากเลือกใช้แคโรทีนอยด์สังเคราะห์มากกว่า ถึงแม้จะมีประสิทธิภาพน้อยกว่าในแง่ของคุณสมบัติในการส่งเสริมสุขภาพก็ตาม แคโรทีนอยด์ในอาหารที่สัตว์ปีกได้รับเป็นปัจจัยสำคัญหนึ่งที่มีผลต่อแคโรทีนอยด์ในไข่ ซึ่งการใช้วัตถุดิบอาหารสัตว์เพียงอย่างเดียวไม่สามารถตอบสนองความต้องการของผู้บริโภคที่ต้องการไข่ที่มีสีแดงเข้มได้ จึงเสริมแคโรทีนอยด์สังเคราะห์ลงในอาหารสัตว์เพื่อให้ได้สีที่ต้องการและสอดคล้องกับความต้องการของลูกค้า (Marounek and Pebriansyah, 2018)

อย่างไรก็ตามการเสริมแคโรทีนอยด์สังเคราะห์ในอาหารมีปัจจัยหลายประการที่ต้องคำนึงถึง การเลือกใช้ปริมาณของแคโรทีนอยด์สังเคราะห์สีเหลืองและสีแดงในระดับที่แตกต่างกัน ก็อาจส่งผลต่อความเข้มสีของไข่แดงที่แตกต่างกัน หรือหากเลือกใช้แคโรทีนอยด์สังเคราะห์สีแดงเพียงอย่างเดียวก็จะทำให้ไข่แดงเป็นสีชมพูได้ (Amaya *et al*., 2014) จึงเป็นสิ่งสำคัญในการเลือกชุดค่าผสมที่เหมาะสมโดยคำนึงถึงแคโรทีนอยด์ที่มีอยู่ในส่วนผสมของอาหาร การศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลของการเสริมแคโรทีนอยด์สังเคราะห์สีเหลือง (apo-ester) และสีแดง (canthaxanthin) รวมถึงสารสกัดจากดอกดาวเรือง (xanthophyll) ในอาหารเป็ดไข่ ในระดับความเข้มข้นต่างกันต่อความเข้มสีไข่แดงของไข่เป็ด โดยมีการทดลองเสริมแคโรทีนอยด์สังเคราะห์สีเหลือง (apo-ester) ในระดับ 100 - 150 ppm และแคโรทีนอยด์สังเคราะห์สีแดง (canthaxanthin) ในระดับ 150 - 250 ppm รวมถึงสารสกัดจากดอกดาวเรือง (xanthophyll) ที่ระดับ 1000 ppm เนื่องจากการทดลองเสริมแคโรทีนอยด์สังเคราะห์ในอาหารเป็ดไข่มีข้อมูลการทดลองที่น้อยมากประกอบกับความต้องการของผู้บริโภคที่ต้องการไข่เป็ดที่มีไข่แดงสีแดงเข้มกว่าไข่ไก่มาก ดังนั้น ปริมาณความเข้มข้นที่สูงในการทดลองนี้จึงเหมาะสมในการทำการทดลองและให้ผลที่ดีในการทำให้ไข่เป็ดที่ได้มีไข่แดงสีเข้มที่เป็นที่นิยมของตลาด

วัสดุอุปกรณ์และวิธีการ

สัตว์และการจัดการ

การศึกษานี้ดำเนินการที่ SPC ฟาร์ม 105 หมู่ 3 ตำบลโพหัก อำเภอบางแพ จังหวัดราชบุรี โดยการทดลองนี้สัตว์ได้รับการเลี้ยงและดูแลให้สัตว์มีความเป็นอยู่ในสภาวะที่เหมาะสม มีสุขอนามัยที่ดี มีที่อยู่สะดวกสบาย ตามแนวทางการปฏิบัติทางการเกษตรที่ดีสำหรับฟาร์มไก่ไข่ (Good Agricultural Practices for Layer Farm) ได้รับอาหารและน้ำอย่างเพียงพอ การทดลองใช้เป็ดไข่สายพันธุ์กากีแคมเบลล์ (Khaki Campbells) อายุ 23 สัปดาห์ มีผลผลิตไข่โดยเฉลี่ย 20 เปอร์เซ็นต์ จำนวน 1,500 ตัว แบ่งเป็ดออกโดยสุ่มเป็น 30 กลุ่ม ในแต่ละกลุ่มมีเป็ดจำนวน 50 ตัว โดยเลี้ยงเป็ดในคอกย่อยแบบปล่อยพื้นขนาด 3 x 12 เมตร ซึ่งจุเป็ดทดลองได้คอกละ 50 ตัว เป็ดทุกตัวจะได้รับอาหารพื้นฐาน (basal diet) ที่ไม่มีแหล่งแคโรทีนอยด์ในสูตรอาหารเหมือนกันทั้งหมดเพื่อปรับระดับสีของไข่แดงให้มีความสม่ำเสมอ เมื่ออายุครบ 26 สัปดาห์โดยมีผลผลิตไข่โดยเฉลี่ย 70 เปอร์เซ็นต์ เป็ดทั้ง 30 กลุ่ม ถูกแบ่งออกโดยสุ่มเป็น 6 กลุ่ม (treatment) แต่ละกลุ่มแบ่งออกเป็น 5 ซ้ำ (replication) ทดลองเป็นเวลา 4 สัปดาห์ เป็ดทดลองได้รับอาหารและน้ำดื่มอย่างเต็มที่ ส่วนโปรแกรมการให้แสงตั้งแต่เวลา 18.00 น. ถึง 6.00 น.ของทุกวันตลอดการทดลอง

อาหารและวิธีการทดลอง

ใช้อาหารพื้นฐานที่มีองค์ประกอบทางโภชนะครบถ้วน การคำนวณสูตรอาหารคำนวณโดยใช้ปลายข้าว ข้าวสาลีและกากถั่วเหลือง เป็นวัตถุดิบหลักในสูตรอาหาร (ไม่ใช้ข้าวโพดในสูตรอาหาร) ดังแสดงใน Table 1

Table 1. Components of feed ingredients used in the experiment

Feed Ingredients	Amount (kg)
Broken rice	36.137
Wheat	20.000
Soybean oil	2.000
Soybean meal (48 % protein)	20.040
Fish meal (60 % protein)	5.000
Rice solvent bran	5.000
DL-methionine	0.168
Limestone	9.553
Monocalcium phosphate P21 %	0.982
Salt	0.350
Choline chloride 60 %	0.100
Premix	0.250
Sodium bicarbonate	0.150
Mold inhibitor	0.050
Toxin binder	0.200
Antioxidant	0.010
NSP enzyme	0.010
Total	100.000
Amount of nutrition	
ME. for Poultry(kcal/kg)	2,780
Crude Protein (%)	18.500
Calcium (%)	4.200
Total Phosphorus (%)	0.700
Avail. P for Poultry (%)	0.413
Lysine (%)	1.004
Methionine (%)	0.472

[1]Composition per 1 kg premix: 2.8 MIU vitamin A, 0.56 MIU vitamin D3, 2,000 mg vitamin E, 300 mg vitamin K3, 200 mg vitamin B1, 100 mg vitamin B2, 4.5 mg vitamin B12, 600 mg niacin, 100 mg copper, 10,000 mg Iron, 150 mg iodine, 8,800 mg manganese, 8,800 mg zinc, 130 mg cobalt, up to 1 kg filter

อาหารทดลองมีทั้งหมด 6 กลุ่มคือ 1. อาหารพื้นฐาน 2. อาหารพื้นฐาน เสริมด้วย 150 ppm canthaxanthin (Lucantin® Red, BASF, Germany) ร่วมกับ100 ppm apo-ester (Lucantin® Yellow, BASF, Germany) 3. อาหารพื้นฐานเสริมด้วย 150 ppm canthaxanthin ร่วมกับ 150 ppm apo-ester 4. อาหารพื้นฐานเสริมด้วย 150 ppm canthaxanthin ร่วมกับ 1000 ppm 2 % Xanthophyll (สารสกัดจากดอกดาวเรือง) 5. อาหารพื้นฐานเสริมด้วย 250 ppm canthaxanthin และ 6. อาหารพื้นฐานเสริมด้วย 250 ppm canthaxanthin ร่วมกับ 150 ppm apo-ester การเสริมแคโรทีนอยด์สังเคราะห์ในอาหารพื้นฐานต้องคำนวณความเข้มข้นของปริมาณแคโรทีนอยด์ที่เสริมในแต่ละกลุ่มการทดลอง จากนั้นผสมอาหารให้เข้ากันแล้วนำไปอัดเม็ด (pellet feed) ก่อนนำมาให้สัตว์กิน มีการให้อาหาร 2 ช่วงเวลา คือ 6.00 น.และ 18.00 น.

การวิเคราะห์ประสิทธิภาพการผลิต

หลังจากเริ่มทำการทดลอง ในทุกสัปดาห์ตลอดช่วงการทดลอง 4 สัปดาห์ เก็บฟองไข่เพื่อดูประสิทธิภาพการผลิต ดังนี้ น้ำหนักตัว (เป็ดไข่ถูกชั่งน้ำหนักตัวในช่วงเริ่มต้นการทดลองและสิ้นสุดการทดลอง) เปอร์เซ็นต์ผลผลิตไข่ (%) น้ำหนักฟองไข่เฉลี่ย (กรัม) มวลไข่ (กรัม) การกินอาหาร (กรัมต่อตัวต่อวัน) อัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นไข่ 1 กิโลกรัม ต้นทุนค่าอาหารต่อการผลิตไข่ 1 ฟอง ต้นทุนค่าอาหารต่อการผลิตไข่ 1 กิโลกรัม และอัตราการตาย

การวิเคราะห์คุณภาพไข่และสีไข่แดง

ในทุกสัปดาห์ตลอดช่วงการทดลอง 4 สัปดาห์ ไข่เป็ดจำนวน 10 ฟองจากแต่ละหน่วยทดลองย่อยจำนวน 30 หน่วยทดลอง (รวม 300 ฟอง) ที่มีน้ำหนักใกล้เคียงค่าเฉลี่ยของหน่วยทดลองย่อยนั้นถูกนำมาบันทึกข้อมูลด้านคุณภาพไข่ ดังนี้ ความแข็งแรงของเปลือกไข่ ความหนาของเปลือกไข่ (มิลลิเมตร) ความสูงของไข่ขาว (มิลลิเมตร) น้ำหนักไข่ขาว (กรัม) เปอร์เซ็นต์ไข่ขาว (%) น้ำหนักไข่แดง (กรัม) เปอร์เซ็นต์ไข่แดง (%) น้ำหนักเปลือกไข่(กรัม) เปอร์เซ็นต์เปลือกไข่ (%) อัตราส่วนไข่ขาวต่อไข่แดง Haugh unit และค่าสีของไข่แดง โดยใช้เครื่อง Konica Minolta CR-300/310 (แสดงผลเป็นค่า “L*” “a*” “b*”) เนื่องจากการทดลองนี้มีการวัดค่าสีของไข่แดงที่ระดับความเข้มสีที่สูงกว่าค่าสูงสุดของพัดเทียบสีไข่แดงมาตรฐาน ดังนั้น การใช้เครื่อง Konica Minolta CR-300/310 จึงมีความเหมาะสมในการทดลอง

การวัดความเข้มสีไข่แดงต้ม ไข่แดงเค็มและไข่แดงเค็มต้ม

เมื่อสิ้นสุดการทดลอง ทำการสุ่มเก็บไข่เป็ดจำนวน 10 ฟอง จากแต่ละหน่วยทดลองย่อยจำนวน 30 หน่วยทดลอง (รวม 300 ฟอง) นำมาต้มเป็นเวลา 10 นาที โดยจับเวลาหลังจากน้ำร้อนที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส แล้ววางไว้ให้เย็นลงที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 60 นาที จากนั้นนำไข่เป็ดที่ต้มแล้วไปผ่าและวัดค่าสีไข่แดง (ไข่แดงต้ม) โดยใช้เครื่อง Konica Minolta CR-300/310 และสุ่มเก็บไข่เป็ดอีกจำนวน 10 ฟอง จากแต่ละหน่วยทดลองย่อย (รวม 300 ฟอง) นำมาทำไข่เค็มโดยดองไว้ 18 วัน เมื่อครบกำหนด ไข่เป็ดจำนวน 5 ฟอง จากแต่ละหน่วยทดลองย่อย (รวม 150 ฟอง) ถูกนำมาแยกเอาไข่แดงที่มีลักษณะเป็นเม็ดแข็งใสของไข่แดงออกมาจากไข่ขาวเป็นไข่แดงเค็ม (Salted egg yolks) จากนั้นนำส่วนของไข่แดงที่ได้ไปผ่าและวัดค่าสีไข่แดงโดยใช้เครื่อง Konica Minolta CR-300/310 และไข่เป็ดจำนวน 5 ฟอง จากแต่ละหน่วยทดลองย่อย (รวม 150 ฟอง) นำมาล้างและนำไปต้มเป็นเวลา 40 นาที โดยจับเวลาหลังจากน้ำร้อนที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส แล้ววางไว้ให้เย็นที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 60 นาที นำไข่เค็มที่ต้มแล้วไปผ่าและวัดค่าสีไข่แดงของไข่แดงเค็มต้ม (Boil Salted egg yolks) โดยเครื่อง Konica Minolta CR-300/310

การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ

นำข้อมูลทั้งหมดไปวิเคราะห์ความแปรปรวน (Analysis of Variance; ANOVA) ทดสอบความแตกต่าง

ระหว่างกลุ่มทดลองโดยวิธี Duncan's new multiple range test ระดับนัยสำคัญที่ α = 0.05 ด้วยโปรแกรมสำเร็จรูป SAS (SAS® OnDemand for Academics)

ผลการศึกษาและวิจารณ์

ประสิทธิภาพการผลิตและคุณภาพของไข่เป็ด

ผลการศึกษาเปรียบเทียบการเสริมแคโรทีนอยด์สังเคราะห์ (canthaxanthin, apo-ester)และสารสกัดธรรมชาติจากดอกดาวเรือง (xanthophyll) ในระดับความเข้มข้นต่างกันในอาหารเป็ดไข่ เป็นเวลา 4 สัปดาห์ พบว่า ไม่ส่งผลต่อสมรรถภาพการผลิตและคุณภาพของไข่เป็ด ยกเว้นความเข้มสีไข่แดง (Table 2 และ 3) ทั้งนี้ อาจเป็นเพราะแคโรทีนอยด์สังเคราะห์ข้างต้น ในทางอาหารสัตว์ จัดเป็นสารเสริม (Feed additive) ไม่มีคุณสมบัติให้โภชนะทางอาหาร รวมทั้งการใช้ในสูตรอาหารสัตว์ปีกก็ใช้ระดับต่ำมาก ดังจะเห็นได้ว่าในการศึกษาครั้งนี้ เป็ดไข่ทุกกลุ่มทดลองมีปริมาณอาหารที่กินได้ในช่วง 134 - 137 กรัมต่อตัว โดยทุกกลุ่มมีค่าแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญ (P > 0.05) สอดคล้องกับรายงานของ Lokaewmanee *et al*. (2011) ที่ได้ศึกษาในไก่ไข่โดยการเพิ่มสีไข่แดงด้วยพริกปาปริก้าร่วมกับโปรไบโอติก ซึ่งพบว่า การบริโภคอาหาร อัตราการผลิตไข่และคุณภาพของไข่ไม่แตกต่างกัน ยกเว้นในสีไข่แดง

สีของไข่แดง

ไข่สด

เนื่องจากการทดลองนี้มีการให้อาหารพื้นฐานที่ไม่มีแคโรทีนอยด์ในสูตรแก่เป็ดทดลองทุกกลุ่มเป็นเวลา 3 สัปดาห์ก่อนเริ่มการทดลอง ซึ่งมีผลทำให้ค่าความแดง (a*) ของไข่แดงในทุกกลุ่มก่อนเริ่มการทดลองมีค่าอยู่ที่ระดับ -1 ถึง 2 เท่านั้น หลังจากเริ่มทดลองให้อาหารแต่ละสูตรที่มีแคโรทีนอยด์สังเคราะห์ในระดับที่แตกต่างกันพบว่าสีไข่แดงเพิ่มขึ้นในวันที่ 2 ของการทดลอง(Figure1)

Table 2. Effects of dietary synthetic pigment supplementation on egg production in laying ducks during 26 - 29 weeks of age

Experimental diet	egg production (%)	feed intake (g/duck/day)	egg weight (g)	Egg mass (g/day)	FCR	Feed cost Baht/kg egg
T1 Control	93.20 ± 2.47	133.37 ± 6.78	69.08 ± 1.13	64.38 ± 2.01	2.07 ± 0.05	30.58 ± 0.74
T2 Cantha150+Apo100	95.89 ± 1.29	137.77 ± 4.14	70.53 ± 1.25	67.62 ± 0.98	2.04 ± 0.04	30.09 ± 0.57
T3 Cantha150+Apo150	90.23 ± 5.89	134.69 ± 2.49	70.18 ± 1.31	63.33 ± 4.40	2.14 ± 0.17	31.55 ± 2.51
T4 Cantha150+Xan1000	95.31 ± 2.73	136.91 ± 4.43	70.18 ± 1.00	66.89 ± 2.28	2.05 ± 0.05	30.24 ± 0.69
T5 Cantha250	93.03 ± 3.97	136.23 ± 5.10	69.31 ± 0.55	64.47 ± 2.70	2.12 ± 0.16	31.28 ± 2.37
T6 Cantha250+Apo150	91.26 ± 4.54	134.29 ± 6.36	69.09 ± 0.92	63.06 ± 3.36	2.13 ± 0.06	31.47 ± 0.82
P-Value	0.17	0.73	0.14	0.08	0.49	0.49
SEM	0.73	0.89	0.21	0.57	0.02	0.28

SEM = standard error of means, Cantha 150 = 150 ppm canthaxanthin, Cantha 250 = 250 ppm canthaxanthin, Apo 100 = 100 ppm apo-ester, Apo 150 =150 ppm apo-ester, Xan1000 = 1000 ppm 2 % xanthophyl

Table 3. Effects of dietary synthetic pigment supplementation on egg quality in laying ducks during 26 - 29 weeks of age

Experimental diet	Shell breaking strength (N)	Albumen height (mm)	Albumen height (Haugh units)	Yolk weight ratio (%)	Shell weight ratio (%)	Yolk : Albumen ratio
T1 Control	43.46 ± 3.18	7.90 ± 0.34	85.77 ± 2.15	33.85 ± 1.72	9.85 ± 0.08	60.24 ± 4.87
T2 Cantha150+Apo100	41.86 ± 2.83	8.32 ± 0.21	88.42 ± 1.38	34.69 ± 0.66	9.80 ± 0.35	62.48 ± 2.08
T3 Cantha150+Apo150	43.98 ± 2.32	7.72 ± 0.37	85.05 ± 2.33	34.92 ± 1.37	9.91 ± 0.20	63.36 ± 4.15
T4 Cantha150+Xan1000	44.22 ± 1.58	7.99 ± 0.37	86.38 ± 2.90	34.79 ± 0.91	9.91 ± 0.27	62.87 ± 2.72
T5 Cantha250	42.28 ± 2.86	7.89 ± 0.18	86.56 ± 1.20	35.95 ± 1.92	10.07 ± 0.6	65.27 ± 3.85
T6 Cantha250+Apo150	41.12 ± 1.02	8.11 ± 0.51	87.48 ± 2.96	34.02 ± 1.06	9.77 ± 0.28	60.56 ± 2.82
P-Value	0.28	0.18	0.254	0.21	0.77	0.26
SEM	0.45	0.07	0.43	0.26	0.06	0.67

SEM = standard error of means, Cantha 150 = 150 ppm canthaxanthin, Cantha 250 = 250 ppm canthaxanthin, Apo 100 = 100 ppm apo-ester, Apo 150 =150 ppm apo-ester, Xan1000 = 1000 ppm 2 % xanthophyl

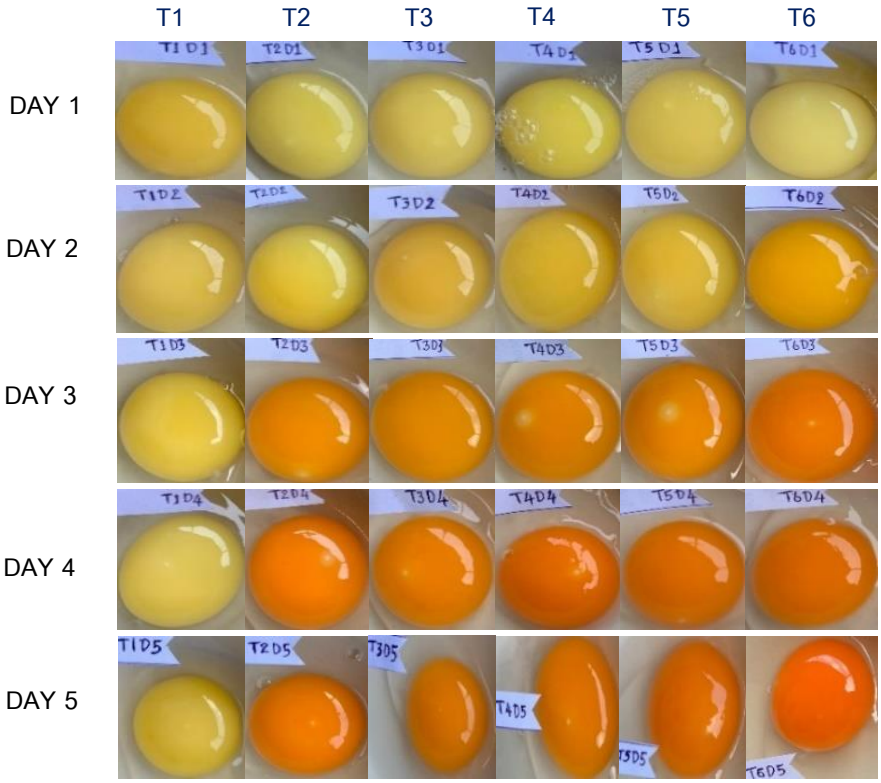


Figure 1. Egg yolk color accumulation when fed different levels of synthetic pigment

สอดคล้องกับ Esfahani-Mashhour *et al*. (2009) ที่รายงานว่าระดับการสะสมของแคโรทีนอยด์เริ่มขึ้นอย่างรวดเร็วหลังจากให้อาหารประมาณ 24 ชั่วโมง และระดับความเข้มของแคโรทีนอยด์เพิ่มขึ้นในทุก ๆ วัน โดยอาหารทดลองที่เสริมด้วย canthaxanthin ระดับสูง (250 ppm) มีอัตราการให้ค่าความแดง (a*) เข้มกว่าและเร็วกว่าในทุกกลุ่มการทดลอง (Figure 1) ส่วนในกลุ่มที่ได้รับอาหารพื้นฐาน ไม่พบค่าความแดงที่เพิ่มขึ้น ทั้งนี้ ระดับแคโรทีนอยด์ที่เพิ่มขึ้นเริ่มมีความเสถียรในวันที่ 7 ของการทดลองซึ่งสอดคล้องกับรายงานของ Moura *et al.* (2016) ที่ได้รายงานผลการศึกษาที่คล้ายกันในการทดลองเกี่ยวกับผลของเม็ดสีสังเคราะห์สีเหลือง (apo-ester 10 %) และสีแดง (canthaxanthin 10%) ต่อประสิทธิภาพและคุณภาพไข่ของนกกระทาญี่ปุ่น

ทำการวัดค่าสีของไข่แดงโดยใช้เครื่อง Konica Minolta CR-300/310 เมื่อเป็ดมีอายุ 26, 27, 28 และ 29 สัปดาห์โดยใช้ค่าเฉลี่ย พบว่า ค่าความสว่าง (L*) ค่าความแดง (a*) และ ค่าความเหลือง (b*) ในสีไข่แดงของเป็ดทดลองทุกกลุ่ม มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.01$) ดังแสดงใน Table 4

โดยกลุ่มการทดลองที่ 1. ที่ได้รับอาหารพื้นฐานมีค่าความสว่าง (L*) สูงที่สุดในทุกกลุ่มการทดลอง ขณะที่ในกลุ่มทดลองที่ 6. ที่เสริมด้วย 250 ppm canthaxanthin ร่วมกับ 150 ppm apo-ester มีค่าความสว่างต่ำที่สุดในการทดลอง ในส่วนของค่าความแดง (a*) พบว่า กลุ่มการทดลองที่ 5. ที่เสริมด้วย 250 ppm canthaxanthin และ กลุ่มการทดลองที่ 6. ที่เสริมด้วย 250 ppm canthaxanthin ร่วมกับ 150 ppm apo-ester ให้ค่าความแดงสูงที่สุด ซึ่งสูงกว่ากลุ่มการทดลองที่ 2, 3 และ 4 ที่เสริมด้วย 150 ppm canthaxanthin ส่วนกลุ่มทดลองที่ 1. ที่ได้รับอาหารพื้นฐานมีค่าความแดงต่ำที่สุด และจากผลการทดลองวัดค่าความเหลือง (b*) พบว่า กลุ่มการทดลองที่ 3. ที่มีการเสริมด้วย 150 ppm canthaxanthin ร่วมกับ 150 ppm apo-ester และกลุ่มการดลองที่ 6. ที่มีการเสริมด้วย 250 ppm canthaxanthin ร่วมกับ 150 ppm apo-ester ให้ค่าความเหลืองสูงที่สุด ซึ่งสูงกว่ากลุ่มการทดลองที่ 4.ที่มีการเสริมด้วย 150 ppm canthaxanthin ร่วมกับ 1000 ppm 2 % Xanthophyll (สารสกัดจากดอกดาวเรือง) ผลการทดลองที่ออกมาแสดงให้เห็นว่า การเสริมแคโรทีนอยด์สังเคราะห์สีแดง (canthaxanthin) หรือแคโรทีนอยด์สังเคราะห์สีเหลือง (apo-ester) ในระดับความเข้มข้นสูง มีประสิทธิภาพในการให้ค่าความแดงและค่าความเหลืองสูงกว่าการเสริมในระดับที่ต่ำ ในส่วนของการเสริมแคโรทีนอยด์สังเคราะห์สีเหลือง (apo-ester)เทียบกับ สารสกัดจากธรรมชาติ (Xanthophyll) พบว่าแคโรทีนอยด์สังเคราะห์มีประสิทธิภาพในการสร้างสีของไข่แดงสูงกว่า โดยให้ค่าความเหลืองสูงกว่า แม้จะเสริมในระดับความเข้มข้นน้อยกว่าก็ตาม ซึ่งผลการทดลองนี้ให้ผลที่สอดคล้องกับการทดลองของ Rezaei *et al.* (2019) ที่ศึกษาถึงผลของเม็ดสีที่สกัดจากดอกดาวเรืองต่อคุณภาพไข่และความคงตัวในการออกซิเดชันของไขมันไข่แดงในไก่ไข่ พบว่า แม่ไก่ที่กินเม็ดสีจากธรรมชาติหรือสีสังเคราะห์มีความเข้มของสีไข่แดงสูงกว่ากลุ่มควบคุมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.01$) และดัชนีสีไข่แดงในแม่ไก่ที่ใช้สารสกัดของดอกดาวเรืองให้ความเข้มสีของไข่แดงต่ำกว่าอย่างมีนัยสำคัญกับกลุ่มที่ใช้เม็ดสีสังเคราะห์ และ Santos-Bocanegra *et al*. (2004) ที่ทำการทดลองเปรียบเทียบสารสกัด จากดอกดาวเรืองและพริกแดงกับแคโรทีนอยด์สังเคราะห์ รายงานว่านอกจากปัจจัยดังกล่าวข้างต้น ยังสรุปว่าสารสกัดธรรมชาติ (Xanthophyll) จากดอกดาวเรือง มีประสิทธิภาพในการสร้างเม็ดสีของไข่แดงต่ำกว่าแคโรทีนอยด์สังเคราะห์ ส่วนกลุ่มการทดลองที่ 5 ถึงแม้ว่ามีการเสริมด้วยสารสังเคราะห์สีแดง canthaxanthin ในระดับที่สูงแต่ไม่ได้เสริมแคโรทีนอยด์สังเคราะห์สีเหลือง ก็มีค่าความเหลืองอยู่ในระดับที่ต่ำเช่นกัน

ไข่ต้ม

ไข่เป็ดต้มมีค่าความสว่าง (L*) ค่าความแดง (a*) และค่าความเหลือง (b*) ของไข่แดงที่ได้ในทิศทางเดียวกับสีไข่แดงสด โดยสีไข่แดงต้มของไข่เป็ดทดลองทุกกลุ่ม มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.01$) ดังแสดงใน Table 5

Table 4. Effect of dietary synthetic color supplementation on egg yolk color in average laying ducks at the age of 26 - 29 weeks

Experimental diet	L* (brightness)	a* (red)	b* (yellowness)
T1 Control	48.96 ± 0.89[a]	-1.42 ± 0.32[d]	16.42 ± 0.83[e]
T2 Cantha150+Apo100	43.06 ± 0.48[b]	12.71 ± 0.72[c]	32.17 ± 1.05[b]
T3 Cantha150+Apo150	42.94 ± 0.78[b]	13.27 ± 0.48[bc]	35.01 ± 0.68[a]
T4 Cantha150+Xan1000	42.39 ± 0.74[bc]	13.50 ± 0.46[b]	31.85 ± 1.47[bc]
T5 Cantha250	41.51 ± 0.79[cd]	15.40 ± 0.61[a]	26.95 ± 0.95[d]
T6 Cantha250+Apo150	40.80 ± 0.70[d]	15.27 ± 0.23[a]	30.54 ± 1.00[c]
P-Value	< 0.01	< 0.01	< 0.01
SEM	0.51	1.09	1.13

[abcd]Means within a column with different superscript indicate significant differences with $p < 0.05$(Duncan's test)

SEM = standard error of means, Cantha 150 = 150 ppm canthaxanthin, Cantha 250 = 250 ppm canthaxanthin, Apo 100 = 100 ppm apo-ester, Apo 150 =150 ppm apo-ester, Xan1000 = 1000 ppm 2 % xanthophyll

Table 5. Effects of dietary synthetic pigment supplementation on boiled egg yolk color

Experimental diet	Boiled egg		
	L* (brightness)	a*(red)	b* (yellowness)
T1 Control	85.09 ± 0.60[a]	0.36 ± 0.61[d]	14.60 ± 1.10[d]
T2 Cantha150+Apo100	78.82 ± 0.55[cd]	8.42 ± 0.34[c]	36.24 ± 0.86[b]
T3 Cantha150+Apo150	78.99 ± 0.58[c]	8.59 ± 0.49[c]	40.86 ± 1.35[a]
T4 Cantha150+Xan1000	78.17 ± 0.59[d]	10.18 ± 0.57[b]	36.61 ± 1.02[b]
T5 Cantha250	79.99 ± 0.33[b]	12.06 ± 0.20[a]	27.97 ± 0.64[c]
T6 Cantha250+Apo150	78.52 ± 0.34[d]	11.55 ± 0.47[a]	36.89 ± 1.37[b]
P-Value	< 0.01	< 0.01	< 0.01
SEM	0.45	0.73	1.64

[abcd]Means within a column with different superscript indicate significant differences with $p < 0.05$(Duncan's test)

SEM = standard error of means, Cantha 150 = 150 ppm canthaxanthin, Cantha 250 = 250 ppm canthaxanthin, Apo 100 = 100 ppm apo-ester, Apo 150 =150 ppm apo-ester, Xan1000 = 1000 ppm 2 % xanthophyll

โดยกลุ่มทดลองที่ 1. ที่ได้รับอาหารพื้นฐานมีค่าความสว่าง (L*) สูงที่สุดในทุกกลุ่มการทดลอง ในส่วนของค่าความแดง (a*) พบว่า กลุ่มการทดลองที่ 5 และกลุ่มการทดลองที่ 6 ที่เสริมด้วย 250 ppm canthaxanthin ให้ค่าความแดง (a*) สูงที่สุด ซึ่งสูงกว่ากลุ่มการทดลองที่ 2, 3 และ4 ที่เสริมด้วย 150 ppm canthaxanthin แต่ในกลุ่มการทดลองที่ 5. ซึ่งเสริมด้วยแคโรทีนอยด์สังเคราะห์ canthaxanthin 250 ppm เพียงอย่างเดียว โดยไม่มีแคโรทีนอยด์สังเคราะห์สีเหลืองผสมอยู่ด้วย สีของไข่แดงที่พบมีสีอมชมพูดังแสดงใน Figure 2 ซึ่งสอดคล้องกับรายงานของ Amaya *et al.* (2014) ที่ระบุว่า สีของไข่แดงที่ต้องการ แนะนำให้ใช้แคโรทีนอยด์สีเหลืองและสีแดงผสมกัน แคโรทีนอยด์หลัก ได้แก่ ลูทีน ซีแซนทีน และอะโปเอสเตอร์ เป็นแคโรทีนอยด์สีเหลือง แคนทาแซนธิน และแคปซานทินเป็นแคโรทีนอยด์สีแดง ซึ่งสามารถผสมเพื่อผลิตสีไข่แดงที่หลากหลาย อย่างไรก็ตาม หากใช้แคโรทีนอยด์สีแดงเพียงอย่างเดียว ทำให้ได้สีไข่แดงอมชมพู ดังนั้น จึงเป็นสิ่งสำคัญที่จะต้องได้รับส่วนผสมที่เหมาะสม ซึ่งควรคำนึงถึงแคโรทีนอยด์ที่มีอยู่ในส่วนผสมอาหารของอาหารสัตว์ด้วย

ผลการทดลองวัดค่าความเหลือง (b*) พบว่า กลุ่มการทดลองที่ 3 และ กลุ่มการทดลองที่ 6 ที่มีการเสริมด้วย 150 ppm apo-ester ยังคงให้ค่าความเหลืองสูงที่สุด ซึ่งสูงกว่ากลุ่มการทดลองที่ 4. ที่มีการเสริมด้วย 1000 ppm 2 % Xanthophyll แต่ค่าความแดง (a*) ของไข่แดงต้มมีระดับต่ำกว่าค่าความแดง (a*) ของไข่แดงสดเล็กน้อย ในขณะที่ค่าความสว่าง (L*) และค่าความเหลือง (b*) กลับมีค่าที่สูงกว่า ซึ่งสาเหตุอาจเกิดจากการสูญเสียของเม็ดสีแดงในขณะได้รับความร้อนจากการต้มได้ Esfahani-Mashhour *et al*., (2009) และ Grela *et al*., (2020) รายงานว่าการเดือดมีผลต่อสีของไข่แดง การเติมสีในไข่แดงของซิส-แคโรทีนอยด์ต่ำกว่าทรานส์-แคโรทีนอยด์ ซึ่งการให้ความร้อนระหว่างการต้มไข่ เปลี่ยนทรานส์แคโรทีนอยด์ของไข่แดงเป็นซิส-แคโรทีนอยด์ ด้วยเหตุนี้ระดับความเข้มสีของไข่แดงจึงลดลง

ไข่แดงเค็มต้มและไข่แดงเค็ม

ไข่เค็มหลังจากดองด้วยเกลือครบ 18 วัน ถูกนำมาแยกวิเคราะห์สีเป็น 2 ส่วน คือไข่แดงเค็มต้มและไข่แดงเค็มโดยใช้เครื่อง Konica Minolta CR-300/310 โดยในไข่แดงเค็มต้มพบว่า ให้ค่าความสว่าง (L*) ค่าความแดง (a*) และค่าความเหลือง(b*) ของไข่แดงที่ได้ไปในทิศทางเดียวกับสีไข่แดงสดและไข่แดงต้ม ซึ่งมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.01$) ดังแสดงใน Table 6

กลุ่มการทดลองที่ 1 และ 2 มีค่าความสว่าง (L*) สูงที่สุดในทุกกลุ่มการทดลอง ในส่วนของค่าความแดง (a*) พบว่า กลุ่มการทดลองที่ 5 กลุ่มการทดลองที่ 6 ที่เสริมด้วย 250 ppm canthaxanthin และกลุ่มการทดลองที่ 4 ที่เสริมด้วย 150 ppm canthaxanthin ให้ค่าความแดงสูงที่สุด ซึ่งสูงกว่ากลุ่มการทดลองที่ 3, 2 และกลุ่มการทดลองที่ 1 ผลของการวัดค่าความเหลือง (b*) พบว่า กลุ่มการทดลองที่ 2 ที่มีการเสริมด้วย 100 ppm apo-ester ให้ค่าความเหลืองสูงที่สุด

แต่ในไข่แดงเค็มมีเพียงค่าความแดง (a*) เท่านั้นที่มีความเข้มสีแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.01$) ส่วนค่าความสว่าง (L*)และค่าความเหลือง (b*)กลับไม่พบว่ามีความแตกต่างกันทางสถิติ ($P > 0.05$) โดยสาเหตุน่าจะเกิดจากลักษณะของไข่แดงเค็มที่มีความโปร่งแสงและไม่มีไข่ขาวห่อหุ้ม อาจทำให้การใช้เครื่องวัดค่าสี Konica Minolta ซึ่งใช้หลักการหักเหของแสง วัดค่าได้คลาดเคลื่อนจากความเป็นจริงได้ เนื่องจากการไม่มีไข่ขาวหุ้มและความโปร่งแสงของไข่แดงทำให้แสงจากเครื่องวัดสี Minolta กระจายตัวและทะลุผ่านได้มากกว่า

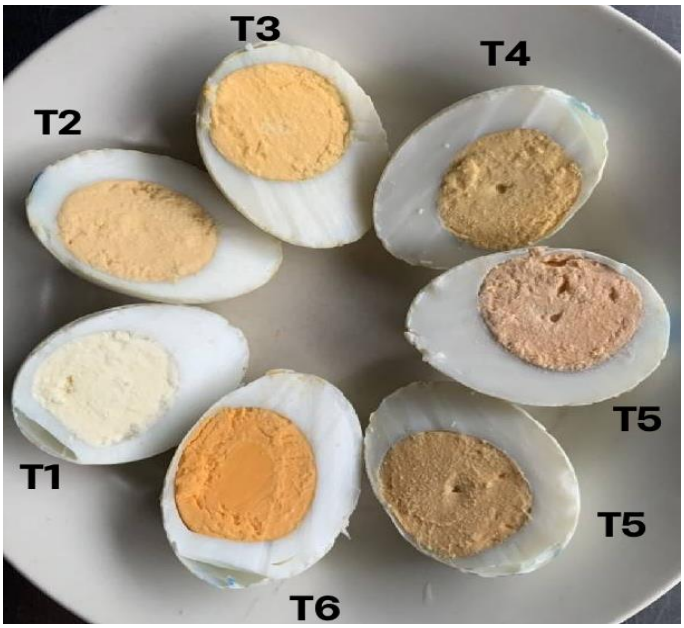


Figure 2. The color of the boiled egg yolk on the supplementation of synthetic colorants in feed at different levels

Table 6. Effect of dietary synthetic color supplement on egg yolk color intensity of Boiled salted egg yolks and salted egg Yolk

Experimental diet	Boiled Salted egg yolks			Salted egg yolks		
	L* (brightness)	a* (red)	b* (yellowness)	L* (brightness	a* (red)	b* (yellowness)
T1 Control	55.56±6.50^{a}	-1.51 ± 1.23^{d}	11.44 ± 2.13^{c}	32.92 ± 2.78^{a}	3.37 ± 0.79^{c}	4.42 ± 3.02
T2 Cantha150+Apo100	50.09 ± 5.86^{a}	9.08 ± 1.33^{c}	30.16 ± 3.78^{a}	30.21 ± 2.52^{ab}	9.09 ± 0.90^{b}	5.49 ± 1.67
T3 Cantha150+Apo150	44.24 ± 4.40^{b}	10.85 ± 0.97^{b}	25.01 ± 9.62^{ab}	26.45 ± 8.17^{c}	8.69 ± 1.07^{b}	4.06 ± 2.44
T4 Cantha150+Xan1000	40.09 ± 1.50^{b}	12.15 ± 0.41^{a}	22.75 ± 2.93^{b}	29.23 ± 2.33^{ab}	9.40 ± 0.79^{ab}	4.36 ± 2.24
T5 Cantha250	40.99 ± 1.37^{b}	13.04 ± 0.45^{a}	23.37 ± 2.87^{ab}	29.65 ± 1.07^{ab}	9.07 ± 0.96^{b}	2.09 ± 2.01
T6 Cantha250+Apo150	42.20 ± 2.89^{b}	13.36 ± 0.74^{a}	26.54 ± 3.56^{ab}	28.25 ± 1.92^{ab}	10.32 ± 0.63^{a}	3.29 ± 2.61
P-Value	< 0.01	< 0.01	< 0.01	0.21	< 0.01	0.34
SEM	1.25	0.96	1.34	0.74	0.45	0.44

^{abcd}Means within a column with different superscript indicate significant differences with $p < 0.05$(Duncan's test)

SEM = standard error of means, Cantha 150 = 150 ppm canthaxanthin, Cantha 250 = 250 ppm canthaxanthin, Apo 100 = 100 ppm apo-ester, Apo 150 =150 ppm apo-ester, Xan1000 = 1000 ppm 2 % xanthophyll

สรุป

การเสริมแคโรทีนอยด์สังเคราะห์สีแดง (canthaxanthin) หรือสีเหลือง (apo-ester) ในอาหารไม่มีผลต่อประสิทธิภาพการผลิตและคุณภาพของไข่เป็ด แต่มีผลต่อระดับความเข้มสีของไข่แดง โดยเมื่อเพิ่มระดับความเข้มข้นของแคโรทีนอยด์สังเคราะห์สีเหลืองและสีแดงขึ้น ความเข้มของสีไข่แดงสูงขึ้น โดยพบว่า เมื่อเพิ่มแคโรทีนอยด์สังเคราะห์สีแดงขึ้น ค่าความเข้มสีแดง (a*) มีค่าสูงขึ้นและเมื่อเพิ่มแคโรทีนอยด์สังเคราะห์สีเหลือง ค่าความเข้มสีเหลือง (b*) ก็เพิ่มสูงขึ้นเช่นกัน แคโรทีนอยด์สังเคราะห์ทั้งสีเหลืองและสีแดงไม่สามารถแสดงค่าสีทดแทนซึ่งกันและกันได้ หมายความว่าไม่สามารถเติมแคโรทีนอยด์สังเคราะห์สีเหลืองเพิ่มขึ้นเพื่อชดเชยค่าความเข้มของสีแดงได้ แต่แคโรทีนอยด์สังเคราะห์ทั้งสีเหลืองและสีแดงสามารถรวมกันเพื่อแสดงค่าสีที่แตกต่างออกไปได้ นอกจากนี้ เมื่อนำไข่เป็ดที่ได้ไปแปรรูป เช่น นำไปต้มเป็นไข่ต้ม นำไปดองด้วยเกลือเป็นไข่เค็มหรือทำเป็นไข่แดงเค็ม ก็ตาม ค่าความเข้มสีของไข่แดงก็ยังคงให้ค่าทางสถิติไปในทิศทางเดียวกับไข่แดงสด

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณบริษัท BASF (Thai) Limited เป็นอย่างยิ่งสำหรับเงินทุนสนับสนุนงานวิจัย ตลอดจนอาจารย์ และเจ้าหน้าที่ภาควิชาสัตวบาล มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ที่ให้คำชี้แนะและช่วยเหลือตลอดการทดลอง

เอกสารอ้างอิง

Amaya, E., P. Becquet, S. Carné, S. Peris and P. Miralles. 2014. Carotenoids in Animal Nutrition. Fefana ,Brussels. 96 p.

Breithaupt, D.E. 2007. Modern application of xanthophylls in animal feeding - a review. Trends in Food Science & Technology 18(10): 501-506.

Esfahani-Mashhour, M., H. Moravej, H. Mehrabani-Yeganeh and S.H. Razavi. 2009. Evaluation of coloring potential of *Dietzia natronolimnaea* biomass as source of canthaxanthin for egg yolk pigmentation. Asian-Australasian Journal of Animal Sciences 22(2): 254-259.

Galobart, J., R. Sala, X. Rincón-Carruyo, E.G. Manzanilla, B. Vila and J. Gasa. 2004. Egg yolk color as affected by saponification of different natural pigmenting sources. Journal of Applied Poultry Research 13(2): 328-334.

Grela, E.R., S. Knaga, A. Winiarska-Mieczan and G. Zięba. 2020. Effects of dietary alfalfa protein concentrate supplementation on performance, egg quality, and fatty acid composition of raw, freeze-dried, and hard-boiled eggs from Polbar laying hens. Poultry Science 99(4): 2256-2265.

Lokaewmanee, K., K. Yamauchi, T. Komori and K. Saito. 2011. Enhancement of egg yolk color by paprika combined with a probiotic. Journal of Applied Poultry Research 20(1): 90-94.

Marounek, M. and A. Pebriansyah. 2018. Use of carotenoids in feed mixtures for poultry: a review. Agricultura Tropica et Subtropica 51(3): 107-111.

Maoka, T. 2020. Carotenoids as natural functional pigments. Journal of Natural Medicines 74: 1-16.

Mezzomo, N. and S.R.S. Ferreira. 2016. Carotenoids functionality, sources, and processing by supercritical technology: A

review. Journal of Chemistry 3164312, doi: 10.1155/2016/3164312.

Moura, A.M.A., T.V. Melo and D.J.A. Miranda. 2016. Synthetic pigments for Japanese quail fed diets with sorghum. Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia 68(4): 1007-1014.

Novoveská, L., M.E. Ross, M.S. Stanley, R. Pradelles, V. Wasiolek and J.-F. Sassi. 2019. Microalgal carotenoids: A review of production, current markets, regulations, and future direction. Marine Drugs 17(11): 640, doi: 10.3390/md17110640.

Nys, Y. 2000. Dietary carotenoids and egg yolk coloration. Archiv für Geflugelkunde 64(2): 45-54.

Rezaei, M., S. Zakizadeh and N. Eila. 2019. Effects of pigments extracted from the marigold flower on egg quality and oxidative stability of the egg yolk lipids in laying hens. Iranian Journal of Applied Animal Science 9(3): 541-547.

Santos-Bocanegra, E., X. Ospina-Osorio and E.O. Oviedo-Rondon. 2004. Evaluation of xanthophylls extracted from *Tagetes erectus* (marigold flower) and *Capsicum* sp.(red pepper paprika) as a pigment for egg-yolks compare with synthetic pigments. International Journal of Poultry Science 3(11): 685-689.

คำแนะนำในการเตรียมต้นฉบับ (ต่อ)

1.7 กรณีอ้างอิงเป็นภาษาอื่น เช่น ภาษาไทย ต้องแปลงเป็นภาษาอังกฤษ และเปลี่ยน ปี 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.

ในกรณีที่เป็นวารสารออนไลน์ ไม่สามารถระบุเลขหน้าเริ่มต้นและเลขหน้าสิ้นสุดได้ ให้ระบุ doi แทน

EN: Bukhari, T., W. Takken and C.J.M. Koenraadt. 2011. Development of *Metarhizium anisopliae* and *Beauveria bassiana* formulations for control of malaria mosquito larvae. Parasites & Vectors 4: 23, doi: 10.1186/1756-3305-4-23.

หนังสือ และตำรา (Books & Textbooks)

ชื่อผู้เขียน. ปีที่พิมพ์. ชื่อหนังสือ. สำนักพิมพ์, เมืองที่พิมพ์. จำนวนหน้าทั้งหมด.

TH: Ek-amnuay, P. 2016. Diseases and Pests of Economic Importance. 5th ed. Amarin Printing and Publishing PCL, Bangkok. 704 p. (in Thai)

EN: Gullan, P.J. and P.S. Cranston. 2005. The Insects: An Outline of Entomology. 3rd ed. Blackwell Publishing, Malden. 505 p.

เรื่องย่อยในตำราหรือหนังสือที่มีผู้เขียนแยกเรื่องเขียน และมีบรรณาธิการ

ชื่อผู้เขียน. ปีที่พิมพ์. ชื่อเรื่องย่อย. หน้า เลขหน้าเริ่มต้น-เลขหน้าที่สิ้นสุด. *ใน*: ชื่อบรรณาธิการ (บก.). ชื่อหนังสือ. สำนักพิมพ์, เมืองที่พิมพ์.

TH: Krairiksh, S. and W. Namruangsri. 1997. Integrated pest control of mango. pp. 137-144. *In*: K. Jumroenma (ed.). Integrated Pest Control. The Agricultural Cooperative Federation of Thailand, Ltd., Bangkok. (in Thai)

EN: Kubo, T. 2003. Molecular analysis of the honeybee sociality. pp. 3-20. *In*: T. Kikuchi, N. Azuma and S. Higashi (eds.). Gene, Behaviors and Evolution of Social Insects. Hokkaido University Press, Sapporo.

รายงานการประชุม สัมมนา (Reports and Proceedings)

ชื่อผู้เขียน. ปีที่พิมพ์. ชื่อเรื่องย่อย. หน้า เลขหน้าเริ่มต้น-เลขหน้าที่สิ้นสุด. *ใน*: รายงานการประชุม สัมมนา. สถานที่จัดประชุม.

TH: Tantarawongsa, P. and D. Ketrot. 2017. Diuron residue in soils under pineapple cultivation. pp. 17-24. *In*: Proceedings of 55th Kasetsart University Annual Conference: Plants, Animals, Veterinary Medicine, Fisheries, Agricultural Extension and Home Economics, Bangkok. (in Thai)

EN: Feigenbaum, S., A. Bar-Tal and D.L. Sparks. 1990. Dynamics of soil potassium in multicationic systems. pp. 145-161. *In*: Proceedings of the 22nd Colloquium of the International Potash Institute, Bern.

วิทยานิพนธ์ (Thesis)

ชื่อผู้เขียน. ปีที่พิมพ์. ชื่อเรื่อง. ระดับวิทยานิพนธ์. สถาบันการศึกษา, เมืองที่พิมพ์. จำนวนหน้าทั้งหมด.

TH: Maneepong, A. 2004. Effects of ozone treatments on postharvest quality and pesticide residue of Mandarin cv. Sai Nam Pung. M.S. Thesis. Chiang Mai University, Chiang Mai. 100 p. (in Thai)

EN: Liquido, N.J. 1982. Population ecology of *Cyrtorhinus lividipennis* Reuter (Heteroptera: Miridae). Ph.D. Dissertation. University of Hawaii, Honolulu. 175 p.

เอกสารวิชาการอื่น ๆ

ชื่อผู้เขียน หรือหน่วยงาน. ปีที่พิมพ์. ชื่อเรื่องหรือชื่อหนังสือ. ประเภทของเอกสาร. สถาบันหรือหน่วยงานที่จัดพิมพ์, เมืองที่พิมพ์. จำนวนหน้าทั้งหมด.

TH: Shutsrirung, A., C. Santasup and K. Kunasakdakul. 2010. Screening of bio-organic inputs for high quality tea production. Final Report. The Thailand Research Fund, Bangkok. 109 p. (in Thai)

EN: Siriphontangmun, S., U. Nounart, S. Roumchaiapikun and S. Srijuntra. 2016. Insect Pests of Vegetable, Mushroom and Cut Flower. Technical Document. Plant Protection Research and Development Office, Department of Agriculture, Bangkok. 74 p. (in Thai)

สื่ออิเล็กทรอนิกส์

ชื่อผู้เขียน. ปีที่พิมพ์. ชื่อเรื่อง. (ระบบออนไลน์). แหล่งข้อมูล: ที่อยู่ของไฟล์หรือเว็บไซต์ (URL) (เดือน วันที่, ปีที่ สืบค้นข้อมูล).

(ในกรณีที่ไม่มีข้อมูลปีที่ตีพิมพ์ ให้ระบุเป็นปีที่เข้าไปสืบค้นข้อมูล)

TH: Department of Agricultural Extension. 2005. Hydroponics. (Online). Available: http://www.doae.go.th/ proster/nondin/htm (April 21, 2005). (in Thai)

EN: Marja, L.L. 2000. How Mycostop® acts in the control of fungal plant diseases. (Online). Available: http://www.shkagro.com/otros/efecto_fungicida.pdf (April 1, 2016).

การส่งต้นฉบับเพื่อตีพิมพ์

โปรดตรวจสอบบทความต้นฉบับให้เป็นไปตามคำแนะนำในการเตรียมต้นฉบับ พร้อมแนบแบบฟอร์มนำส่งบทความเพื่อพิจารณาตีพิมพ์ในวารสารเกษตร (https://li01.tci-thaijo.org/ index.php/joacmu/information/authors) โดยนำส่งบทความผ่านทาง online เท่านั้น ที่ https:// li01.tci-thaijo.org/index.php/joacmu/index

การพิจารณาบทความ

1) ต้นฉบับที่ไม่ปฏิบัติตามคำแนะนำในการเตรียมต้นฉบับของวารสารเกษตร จะไม่ได้รับการพิจารณา

2) ทุกบทความที่ได้รับการตีพิมพ์ในวารสารเกษตร ต้องผ่านการประเมินจากผู้ทรงคุณวุฒิ ไม่น้อยกว่า 3 ท่าน

3) กองบรรณาธิการขอสงวนสิทธิ์ในการตรวจและแก้ไขบทความทุกเรื่องที่เสนอเพื่อการตีพิมพ์ในวารสารเกษตร (The Editorial Board claims a right to review and correct all articles submitted for publishing in Journal of Agriculture)

4) หากบทความใดขาดการติดต่อเกิน 6 เดือน กองบรรณาธิการจะดำเนินการลบบทความดังกล่าวออกจากระบบ ThaiJo 2.0 เพื่อให้การจัดทำวารสารเกษตรเป็นไปด้วยความเรียบร้อยและมีคุณภาพ

สำนักงานและการติดต่อสอบถาม (Office and Inquiries)

กองบรรณาธิการวารสารเกษตร
งานบริหารงานวิจัยและวิเทศสัมพันธ์ คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ จ. เชียงใหม่ 50200 โทร. 0 5394 4089-92 ต่อ 12 โทรสาร 0 5394 4089-92 ต่อ 12
Editorial Board, Journal of Agriculture
Division of Research and International Affairs, Faculty of Agriculture, Chiang Mai University, Chiang Mai 50200, Thailand Tel: 0 5394 4089-92 ext. 12
Fax: 0 5394 4089-92 ext. 12 Email: agjournal22@gmail.com

(ดูตัวอย่างต้นฉบับที่เป็นทั้งภาษาไทยและภาษาอังกฤษที่ https://drive.google.com/file/d/1AK1gabPWQgw2ErSRUaTiKMrjFdtKdsFC/view)

JOURNAL OF AGRICULTURE

A Technical Journal of Faculty of Agriculture, Chiang Mai University

Volume 38, Issue 3 September - December 2022

Physical and Biological Factors on Textural Characteristics of Feta Cheese from Goat Milk

Bow Tinpovong, Kritsana Sriwilai, Rungthiwa Prasongsap, Malaiporn Wongkaew and Aekarin Inpramoon.....319

Factors Affecting Members' Participation in Participatory Guarantee Systems (PGS) for Organic Agriculture Development in the Pad Riew Participatory Organic Agriculture Network, Chachoengsao Province

Adisak Amthed, Suneeporn Suwanmaneepong and Duangkamol Panrosthip Thunmathiwat.....331

Factors Affecting Ribbed Smoked Rubber Sheet No. 3 Price Volatility of Thailand

Sarocha Anukul, Yaovarate Chaovanapoonphol and Kannika Sae Liw.....345

Optimum Rate of Phosphorus Fertilizer for Pathum Thani 1 Rice Variety Grown in Soils of Phra Nakhon Si Ayutthaya Province

Saychol Sukyankij, Sopida Sukyankij, Siriwan Samithiarporn and Thanawan Panich-pat.....357

Effects of Vacuum Cooling and Ice Cooling on Quality of Kailan

Ratiya Praditthawanich, Danai Boonyakiat and Pichaya Poonlarb.....369

Fruit Yield and Consumption Quality of F1 Hybrids Cherry Tomato Grown Under Plastic-Net House and Evaporative Cooling Greenhouse

Junsuda Modnok, Nattarika Bodeerat, Thanida Thanoi, Jutamas Kumchai, Patcharaporn Suwor, Tanyarat Tarinta, Suchila Techawongstien and Nakarin Jeeatid.....381

Relationship Between Colour and Bioactive Compounds of Landscape Flowers

Chonlada Srikamwang, Sarana Sommano, Pongsakorn Suppakittpaisarn and Malaiporn Wongkaew.....393

Effects of Water and Nitrogen Fertilizer Management on Leaf Proline Content in Different Growth Stages of Thai Fragrant Rice Landraces

Chutima Wiriya, Pennapa Jaksomsak, Chanakan Thebault Prom-u-thai, Sansanee Jamjod and Tonapha Pusadee.....405

Determining Optimum Harvesting Age of Sugarcane Varieties Grown Under Natural Water-logged Condition in Phitsanulok Province

Supansa Chinaworn, Pichai Boodseephum and Anupong Wongtamee.....419

Effects of Glyphosate and Paraquat Residues in Soil on Germination and Seedling Growth of Rice

Supansa Chinaworn and Anupong Wongtamee.....429

Effect of Cysteamine Hydrochloride, Guanidinoacetate, and Methionine Supplementation in Finishing Pig Diet on Growth Performance and Carcass Characteristics

Kwanrawee Sukcharoen, Wanwisa Chumngoen, Kriangsak Saardrak and Sukanya Rattanatabtimtong.....439

Influence of Synthetic Carotenoids Supplementation in Feed on Production Performance and Egg Yolk Color of Laying Ducks

Suphot Komenake, Chaiyaphum Banchasak, Sombat Prasongsook and Theerawit Poeikhampha.....449

ISSN 0857-0841