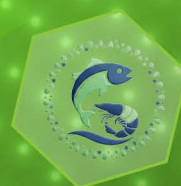


วารสารเกษตร

พระจอมเกล้า

King Mongkut's Agricultural Journal



วารสารเกษตรพระจอมเกล้า

ขอบเขตการตีพิมพ์

วารสารฯ เผยแพร่บทความวิจัย และบทความวิชาการ ทางด้านเกษตรศาสตร์ เช่น พืชศาสตร์ ปศุศาสตร์ สัตวศาสตร์ วิทยาศาสตร์การประมง อารักขาพืช เทคโนโลยีสิ่งแวดล้อม วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร (เนื้อสัตว์) เศรษฐศาสตร์เกษตร และธุรกิจเกษตร การทำฟาร์มอัจฉริยะ (Smart Farm) ส่งเสริมและพัฒนาการเกษตร นิเทศศาสตร์เกษตร และสาขาอื่นๆ ที่เกี่ยวข้องกับการเกษตร

วัตถุประสงค์

1. เพื่อเผยแพร่ความก้าวหน้าของวิชาการที่เกี่ยวข้องกับการเกษตร
2. เพื่อส่งเสริมความร่วมมือและแลกเปลี่ยนความรู้ความคิดเห็นระหว่างผู้ที่เกี่ยวข้องในการเกษตรหรือสถาบันต่าง ๆ

สำนักงาน

งานวารสารเกษตรพระจอมเกล้า
คณะเทคโนโลยีการเกษตร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
เลขที่ 1 ซอยฉลองกรุง 1 แขวงลาดกระบัง เขตลาดกระบัง กรุงเทพมหานคร 10520
โทรศัพท์/โทรสาร : 0-2329-8524
E-mail : ajournal@kmitl.ac.th
www.tci-thaijo.org/index.php/agritechjournal/index

กำหนดการตีพิมพ์ : วารสารเกษตรพระจอมเกล้า กำหนดตีพิมพ์ปีละ 3 ฉบับ

- ฉบับที่ 1 มกราคม – เมษายน
ฉบับที่ 2 พฤษภาคม – สิงหาคม
ฉบับที่ 3 กันยายน – ธันวาคม

ที่ปรึกษา

คณบดีคณะเทคโนโลยีการเกษตร
ศ. ดร. มยุรา สุนัยวีระ
รศ. ดร. ปิยญา หันนิกะ
รศ. ดร. จารุญ เล้าสินวัฒนา

บรรณาธิการ

รศ. ดร. ผุสดี ตั้งวัชรินทร์

ผู้ช่วยบรรณาธิการ

รศ. ดร. กัญญา แซ่เตียว
รศ. ดร. ศุภลักษณ์ สรภักดิ์
ผศ. ดร. อัจฉรี เรืองเดช
ผศ. ดร. ภทรวรรตน์ เทียมเก่า
ผศ. ดร. พัชรา เขียมกิจการ สบายใจ
ผศ. ดร. ปัทมา นิตไธสง
ผศ. ดร. เอกพล ทองแก้ว

จัดทำรูปเล่ม

นางสาวมณีนริสา วงศ์สง่า

ผู้ดูแลระบบ

นายปิยวัฒน์ ศรีสวัสดิ์

กองบรรณาธิการ

ศ. ดร. บัญชา สมบูรณ์สุข
ศ. ดร. สุกฤดี ประเทืองวงศ์
ศ. ดร. อังศุมาลย์ จันทราปัติย์
ศ. ดร. ฉลอม วชิราภากร
ศ. ดร. ยุกา หารญูทอง
ศ. ดร. เนาวนิตย์ สงคราม
ศ. ดร. อนุชิตา มุ่งงาม
ศ. ดร. วรเดช จันทรส
รศ. ดร. กานต์ สุขสุแพทย์
รศ. ดร. กัจจร หลุยยะพงศ์
รศ. ดร. จินดา ขลิบทอง
รศ. ดร. จุฑารัตน์ เศรษฐกุล
รศ. ดร. ชุกริ หะยีสาแม
รศ. ดร. ไกรเลิศ ทวีกุล
รศ. ดร. ประเมศ บันเทิง
รศ. ดร. วราห์ เทพานุดี
รศ. ดร. ศิริชัย กัลยานรัตน์
รศ. ดร. สนิชชัย จันทรเปรม
รศ. ดร. คำธณวิทย์ ทิพย์มณี
ผศ. ดร. จักรมาส เลหาวิช
ผศ. ดร. พิศสุวรรณ เขียมสมบัติ
ผศ. ดร. เยาวรัตน์ ศรีวรานันท์
ผศ. ดร. วีระชัย จินตโกวิท
ผศ. ดร. วีระนัย ทองศรี
ผศ. ดร. เสาวคนธ์ เหมวงษ์
ผศ. ดร. อนุญญา เจริญพรนิพัทธ์
ผศ. ดร. ดวงกมล ปานรศทิพ ธรรมาธิวัฒน์
คุณอัญชลี สุวจิตตานนท์
รศ. ดร. พรหมมาศ คุณาภาญจน์
รศ. ดร. สุกีร์ สุวรรณมณีพงศ์
ผศ. ดร. นกุล ถวิลถึง
ผศ. ดร. ลำแพน ขวัญพูล
ผศ. ดร. ไพรัตน์ พิมพ์ศิริกุล
ผศ. ดร. จาลอง มิตรชาวไทย
ผศ. ดร. มัลลิกา กิลโล
ดร. ธนัท สมณคุปต์
ดร. มัทธนา ตันชัย

มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์
ข้าราชการบำนาญ (หมู่บ้านเมืองทองธานี)
มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
มหาวิทยาลัยขอนแก่น
มหาวิทยาลัยขอนแก่น
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
มหาวิทยาลัยมหาสารคาม
ข้าราชการบำนาญ (หมู่บ้านสุขุมวิท 81)
ข้าราชการบำนาญ (หมู่บ้านชลลดา-สุวรรณภูมิ)
มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมาธิราช
มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมาธิราช
ข้าราชการบำนาญ (หมู่บ้านสหกรณ์การบินไทย)
มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์
มหาวิทยาลัยขอนแก่น
มหาวิทยาลัยขอนแก่น
มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
ข้าราชการบำนาญ
มหาวิทยาลัยมหาสารคาม
มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
มหาวิทยาลัยขอนแก่น
มหาวิทยาลัยมหิดล
มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
มหาวิทยาลัยนครพนม
ข้าราชการบำนาญ
ข้าราชการบำนาญ
กรมส่งเสริมการเกษตร
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เจ้าหน้าที่วารสาร

นางสาวกุลธิดา ทรัพย์น้อย

ติดต่อสอบถามรายละเอียดได้ทั้ง

กองบรรณาธิการวารสารเกษตรพระจอมเกล้า
คณะเทคโนโลยีการเกษตร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง กรุงเทพมหานคร 10520
โทรศัพท์ 02-329-8000 ต่อ 7146
E-mail : ajournal@kmitl.ac.th

สำนักพิมพ์ : คณะเทคโนโลยีการเกษตร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
เลขที่ 1 ซอยฉลองกรุง 1 แขวงลาดกระบัง เขตลาดกระบัง กรุงเทพมหานคร 10520

ข้อความและบทความในวารสารนี้เป็นความคิดเห็นของผู้เขียนโดยเฉพาะ
กองบรรณาธิการไม่มีส่วนรับผิดชอบในเนื้อหาและข้อคิดเห็นนั้น ๆ แต่อย่างใด

บรรณาธิการแถลง (Editor's Note)

วารสารเกษตรพระจอมเกล้าปีที่ 44 ฉบับที่ 3 ประจำเดือนกันยายน - ธันวาคม 2569 ฉบับนี้ประกอบด้วยบทความวิจัยจำนวน 14 บทความ ประกอบด้วย สาขาส่งเสริมและพัฒนากิจการเกษตร 3 บทความ พืชสวน 4 บทความ สัตวศาสตร์ 3 บทความ ปฐพีศาสตร์ 2 บทความ วิทยาศาสตร์การประมง 1 บทความ และพืชไร่ 1 บทความ ตลอดจนบทความวิชาการสาขาส่งเสริมและพัฒนากิจการเกษตร 1 บทความ บทความบทความทุกเรื่องนอกจากมีความน่าสนใจ เนื้อหาให้ได้เรียนรู้และต่อยอดต่อไปแล้ว ยังได้ผ่านการประเมินจากผู้ทรงคุณวุฒิที่มีความเชี่ยวชาญในแต่ละสาขาที่เกี่ยวข้อง (Peer Review) ทั้งที่มาจากภายในและภายนอกมหาวิทยาลัยเพื่อยกระดับคุณภาพของงานวิจัยและมีมาตรฐานทางวิชาการโดยได้ผลิตและเผยแพร่แบบสื่่ออิเล็กทรอนิกส์ (E-Journal) ทั้งนี้ วารสารฯ ได้เริ่มใช้การระบุ DOI (ตัวระบุวัตถุดิจิทัล) ตั้งแต่วารสารปีที่ 41 ฉบับที่ 1 พ.ศ. 2566 ซึ่งเป็นประโยชน์ต่อนักวิจัยในการค้นหาการเข้าถึง และเชื่อมโยงการเข้าถึงสารสนเทศดิจิทัล ตลอดจนได้เพิ่มช่องทางบทความเผยแพร่ล่วงหน้า (Online First Articles) ตั้งแต่วารสารปีที่ 43 ฉบับที่ 3 พ.ศ. 2568 และใช้รูปแบบการอ้างอิงบทความที่ใช้เลขที่บทความเป็นเลขหน้า (Article E-location) ตั้งแต่วารสารปีที่ 44 ฉบับที่ 1 พ.ศ. 2569 เพื่อความรวดเร็วในการเผยแพร่และความสะดวกในการเข้าถึงบทความวิจัย

สำหรับผู้สนใจจะส่งบทความวิจัยหรือบทความวิชาการเพื่อตีพิมพ์สามารถหาข้อมูลเพิ่มเติมได้จากเว็บไซต์วารสาร <https://li01.tci-thaijo.org/index.php/agritechjournal> หรือติดต่อมายังกองบรรณาธิการได้ที่อีเมล ajournal@kmitl.ac.th

รองศาสตราจารย์ ดร.สุสดี ตั้งวัชรินทร์

บรรณาธิการวารสารเกษตรพระจอมเกล้า

สารบัญ

เรื่อง

เลขบทความ

บทบาทของปัญญาประดิษฐ์ต่อการสนับสนุนเกษตรอัจฉริยะสำหรับประเทศไทยในยุค 5.0
ธนพล แพร่งกระโทก และรัชดากร พลภักดี

e0269388

ความเชื่อมั่นของผู้บริโภคในการบริโภคสินค้าเกษตรอินทรีย์ในประเทศไทย
ณัฐวีร ทองเจ็ญ และพนามาศ ตริวรวัฒนกุล

e0268558

ผลของการเคลือบเมล็ดพันธุ์ด้วย GA₃ และ IAA ในเมล็ดพันธุ์ดาวเรืองอเมริกันลูกผสมต่างพันธุ์
พันธุ์พวงษ์ กันทา ประนอม ยงค์มั่ง แสงเดือน อินชนบท และอรพินธุ์ สฤทธินำ

e0267539

การศึกษาค่าพลังงานที่ใช้ประโยชน์ได้ที่แท้จริงเมื่อปรับสมดุลไนโตรเจนของหนอนแมลงวันลาย
(*Hermetia illucens* L.) และการย่อยได้ของโภชนะและการใช้ประโยชน์ได้ของไนโตรเจนของสูตรอาหาร
ที่ใช้หนอนแมลงวันลายเป็นแหล่งโปรตีนสำหรับไก่โคราช
ธนทัต เทียบชิง และสุทิดา เข้มผะกา

e0269156

ผลของการเสริมนมแพะในน้ำยาเจือจางน้ำเชื้อที่มีต่อการเคลื่อนที่ของตัวสุจิของแพะหลังการแช่แข็ง
นิตยา ทองทิพย์ ปิยะมาษฐ์ ตันต์เจริญรัตน์ ผกาสินี ขาวแดง วิวัฒน์ พัฒนาวงค์ เยาวลักษณ์ หวังสุข พัทรี พรหมตัน
และวาที คงบรรทัด

e0269054

การพัฒนาผลิตภัณฑ์และการประเมินคุณภาพหอยแมลงภู่อุปชีสเพื่อเพิ่มมูลค่า: ผลกระทบของสูตร
และการเก็บรักษา
รติวรรณ มีทอง จรตรกร รอดอยู่ ธเนศ อินตัน ภูดินทร์ ทองพร้อม ภาสกร กิ่งวัชรพงศ์ และทงก เอี้ยวศิริ

e0268090

ผลของโปรแกรมจำแนกแรงแบบโมเดลตัวอย่างประกอบหีนต่อประสิทธิภาพการเรียนรู้
ปัญญา ตระกูลยิ่งเจริญ พิมพ์มาดา เจริญศิลป์ สัญชัย ภูเงิน เกวลิณ ศรีจันทร์ และกนกกร สันมา

e0268960

การถ่ายทอดทางพันธุกรรมของลักษณะการเจริญเติบโตของลำต้นและสีเปลือกหุ้มเมล็ดในคู่ผสม
ระหว่างถั่วฝักยาวกับถั่วพุ่ม
อาทิตย์ นันทวงศ์ แสงเดือน อินชนบท เทิดศักดิ์ โทณลักษณ์ ทวีป เสนคำวงศ์ และสุเทพ วัชรเวชศฤงคาร

e0269076

ปัจจัยที่มีผลต่อการตัดสินใจซื้อไอศกรีมมะม่วงน้ำดอกไม้นักท่องเที่ยวต่างชาติภายใต้
โครงการ Social Lab KMITL
กันต์กมล มะลิวัลย์ ปัญญา หมั่นเก็บ และจิรนนท์ เข็มพันธ์

e0267540

ผลของภาชนะปลูกและวัสดุปลูกต่อการเจริญเติบโต ผลผลิต และคุณภาพผลผลิตของเมล่อน
ในระบบปลูกพืชโดยไม่ใช้ดิน
นภาพร จิตต์ศรีทธา พิกุล นุชนวลรัตน์ และนภาพรพรหม หนิมพานิช

e0269183

การเสริมผงแก่นมะหาดต่อการเจริญเติบโต การต้านการอักเสบ และการลดความเครียดในไก่ลูกผสมพื้นเมือง
ณัฐวัฒน์ ตันพล ทิพย์สุตา บุญมาทัน และนพรัตน์ ผกาเขต

e0269858

สารบัญ

เรื่อง

เลขบทความ

ศักยภาพของเชื้อรา *Aspergillus niger* TISTR 3254 และ *Penicillium notatum* TISTR 3560

e0266638

ในการละลายหินฟอสเฟตและการใช้ร่วมกับน้ำแป้งขนมจีนเหลือทิ้งเพื่อการผลิตปุ๋ยหมัก

ศรีอุบล ทองประดิษฐ์ ณรงค์ชัย ชูพูล และอดุลย์สมาน สุขแก้ว

ความหลากหลายทางพันธุกรรมของฟักทองญี่ปุ่นพันธุ์การค้า (*Cucurbita maxima*) ในประเทศไทย

e0268972

โดยใช้เครื่องหมายเอสเอสอาร์

ศิกษก แป้นห้วย กนกวรรณ จันทร์เพ็ญ เฉลิมศรี นนทสวัสดิ์ศรี ทวีป เสนคำวงศ์ สุเทพ วัชรเวชศฤงคาร และแสงทอง พงษ์เจริญกิต

การคัดเลือกพันธุ์ข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ลูกผสมที่เหมาะสมต่อการปลูกโดยใช้ Restricted Smith Index

e0268839

ในการเปรียบเทียบเบื้องต้น

ชัยวัฒน์ นันทโชติ สุริพัฒน์ ไทยเทศ ทศนีย์ บุตรทอง กชกร โรจน์คำลือ อมรรัตน์ ภูโต บุศริน อิ่มอินทร์ หัตยา วัฒนพฤกษ์

น้ำทิพย์ จินจันทร์ และกัลยรัตน์ แดงระย้า

การรับรู้ภาพลักษณ์ตราสินค้าที่ส่งผลต่อการตัดสินใจซื้อแบรนด์ผักปลอดสารในซูเปอร์มาร์เก็ตของผู้บริโภค

e0269072

ในเขตกรุงเทพมหานคร

นภสร ม่วงทอง และพัชรา เอี่ยมกิจการ สบายใจ

Title	Article Number
The Role of Artificial Intelligence on Supporting Smart Agriculture for Thailand in the Era of 5.0 Thanapon Prangkratok and Ratchadakorn Phonpakdee	e0269388
Consumer's Trust in the Consumption of Organic Agricultural Products in Thailand Natthawaree Thongdet and Panamas Treewannakul	e0268558
Effects of Seed Coating with GA ₃ and IAA on Different Cultivars of Hybrid American Marigold Seeds Pattapong Kanta Pranom Yangkhamman Sangduan Inchonbot and Orapin Saritnum	e0267539
Determination of True Metabolizable Energy Corrected for Nitrogen (TMEn) of Black Soldier Fly Larvae (<i>Hermetia illucens</i> L.) and Nutrient Digestibility and Nitrogen Utilization of Diets Containing Black Soldier Fly Larvae as a Protein Source for Korat Chickens Thanatat Thiabching and Sutisa Khempaka	e0269156
Effect of Goat Milk Supplementation in Semen Extender on the Motility of Post-Thaw Goat Sperm Nittaya Thongtip Piyamas Tancharoenrat Pakasinee Khaodang Wiwat Pattanawong Yaowalak Wangsuk Patcharee Promtan and Watee Kongbuntad	e0269054
Product Development and Quality Assessment of Value-added Baked Mussels with Cheese: Effect of Formulation and Storage Ratiwan Meethong Juntakorn Rodyoo Thanate Intan Phubadin Thongprom Passakorn Kingwascharapong and Tanong Aewsiri	e0268090
Effects of Classification Program and Model in Rock Forming Mineral on Learning Effectiveness Punyisa Trakoonyingcharoen Pimmada Charoensilp Sunchai Phungern Kavalin Srichan and Kanokkorn Sinma	e0268960
Genetic Inheritance of Plant Growth Habit and Seed Coat Color in Crosses between Yardlong Bean (<i>Vigna unguiculata</i> ssp. <i>sesquipedalis</i>) and Cowpea (<i>Vigna unguiculata</i>) Arthit Nantawong Sangduan Inchonbot Therdsak Thonnalak Thaveep Senkhamwong and Suthep Watcharawetsaringkharn	e0269076
Factors Affecting Foreign Tourists' Purchase Decisions for Nam Dok Mai Mango Ice Cream under the KMITL Social Lab Project Kankamol Maliwan Panya Makeb and Jeeranan Khermkhan	e0267540

Title	Article Number
Effect of Container and Substrate Types on Growth, Yield and Fruit Quality of the Muskmelon (<i>Cucumis melo</i> L.) in Soilless Culture Radchaneekorn Hudrudchai and Sasipim Poompimol	e0269183
Effect of <i>Artocarpus lakoocha</i> Heartwood Powder Supplementation on Growth Performance, Anti-Inflammatory and Stress-Reducing Responses in Crossbred Native Chickens Nathawat Tanpol Thipsuda Boonmatan and Noppharat Phakachoed	e0269858
Phosphate-Solubilizing Potential of <i>Aspergillus niger</i> TISTR 3254 and <i>Penicillium notatum</i> TISTR 3560 and Their Application with Rice Noodle Wastewater for Compost Production Sriubol Thongpradistha Narongchai Choopool and Adulsman Sukkaew	e0266638
Genetic Diversity of Commercial Japanese Pumpkins (<i>Cucurbita maxima</i>) in Thailand using SSR Markers Siksaka Paenhuai Kanokwan Janphen Chalermisri Nontaswatsri Thaveep Senkhamwong Suthep Watcharawetsaringkharn and Saengtong Pongjaroenkit	e0268972
Selection of Maize Hybrids Adapted to High Plant Density Using the Restricted Smith Selection Index in Preliminary Trials Chaiyawat Nantachot Suriphat Thaitad Thadsanee Budthong Kotchakon Rojkhamlue Amonrat Photo Budsarin Imin Hattaya Wattanapurk Namthip Jeenjun and Kanrayarat Taengraya	e0268839
The Influence of Brand Image Perception on Consumer Purchase Decisions for Organic Vegetables in Supermarkets in Bangkok Naphasorn Mounghong and Phatchara Eamkijkarn Sabaijai	e0269072

บทบาทของปัญญาประดิษฐ์ต่อการสนับสนุนเกษตรอัจฉริยะสำหรับประเทศไทยในยุค 5.0

The Role of Artificial Intelligence on Supporting Smart Agriculture
for Thailand in the Era of 5.0ธนพล แพร่งกระโทก^{1*} และรัชดากร พลภักดี²Thanapon Prangkratok^{1*} and Ratchadakorn Phonpakdee²

Received date: 21 ต.ค. 68 Revised date: 24 ม.ค. 69 Accepted date: 27 ม.ค. 69

DOI: <https://doi.org/10.55003/kmaj.2026.269388>

บทคัดย่อ

บทความนี้นำเสนอบทบาทของปัญญาประดิษฐ์ต่อการเกษตรอัจฉริยะในประเทศไทยในยุค 5.0 โดยมุ่งเน้นการอธิบายความหมาย ขอบเขต และการประยุกต์ใช้ปัญญาประดิษฐ์ในภาคการเกษตร รวมถึงโอกาส ความท้าทาย และกรณีศึกษาที่เกิดขึ้น ปัญญาประดิษฐ์ถือเป็นเทคโนโลยีที่มีศักยภาพสูงในการแก้ปัญหาที่ซับซ้อนในระบบการเกษตร ไม่ว่าจะเป็นการจัดการทรัพยากรดิน น้ำ และสิ่งแวดล้อม การตรวจจับโรคพืชและศัตรูพืชด้วยภาพถ่ายและโดรน การพยากรณ์ผลผลิตและสภาพภูมิอากาศ ตลอดจนการบริหารจัดการห่วงโซ่อุปทานและตลาด ทั้งนี้การบูรณาการ ปัญญาประดิษฐ์เข้ากับภาคเกษตรสอดคล้องกับแนวคิด “ประเทศไทย 5.0” ที่เน้นการพัฒนาบนฐานวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยี และนวัตกรรม โดยมีเป้าหมายในการสร้างสมดุลระหว่างเศรษฐกิจ สังคม และสิ่งแวดล้อม ผลการศึกษาแสดงให้เห็นว่า ปัญญาประดิษฐ์ช่วยเพิ่มผลผลิต ลดต้นทุน และสนับสนุนการทำเกษตรอย่างยั่งยืน อย่างไรก็ตาม ยังมีความท้าทายหลายประการ เช่น ข้อจำกัดด้านทุนของเกษตรกรรายย่อย การขาดบุคลากรที่มีทักษะด้านดิจิทัล และโครงสร้างพื้นฐานทางข้อมูลและอินเทอร์เน็ตที่ยังไม่ทั่วถึง กรณีศึกษาจากโครงการวิจัย ฟาร์มอัจฉริยะ และสตาร์ทอัพไทยสะท้อนให้เห็นถึงศักยภาพของปัญญาประดิษฐ์ในการพัฒนาเกษตรกรรมจริง ข้อเสนอแนะเชิงนโยบายจึงควรมุ่งเน้นการพัฒนา นวัตกรรมปัญญาประดิษฐ์ที่เหมาะสมกับบริบทไทย การสนับสนุนงบประมาณและสิทธิประโยชน์ การอบรมเกษตรกรให้มีทักษะดิจิทัล และการสร้างความร่วมมือระหว่างภาครัฐ เอกชน และสถาบันการศึกษา เพื่อสร้างระบบนิเวศนวัตกรรมที่เอื้อหนุนการขับเคลื่อนเกษตรอัจฉริยะของไทยในอนาคตอย่างยั่งยืน

คำสำคัญ: การจัดการเกษตรยั่งยืน เกษตรแม่นยำ นวัตกรรมเกษตร ปัญญาประดิษฐ์ ประเทศไทย 5.0

Abstract

This article presents the role of artificial intelligence (AI) in smart agriculture in Thailand during the 5.0 era, focusing on explaining the definitions scope and applications of artificial intelligence in the agricultural sector, including opportunities, challenges and case studies. AI is considered a high-potential technology for solving complex problems in agricultural systems, including the management of soil, water and environmental resources; the detection of plant diseases and pests through photography and drones; the prediction of yields and climate conditions; and the management of supply chains and markets. Integrating AI into the agricultural sector aligns with the “Thailand 5.0” concept, which emphasizes development based on science, technology and innovation aiming to create a balance between economy society, and environment. The study’s findings demonstrate that AI helps increase productivity, reduce costs and support sustainable farming practices. However, several challenges remain, such as capital limitations for smallholder farmers, the lack of personnel with digital skills and inadequate data infrastructure and internet connectivity. Case studies from smart farm research projects and Thai startups reflect the potential of artificial intelligence in actual agricultural development. Policy recommendations should therefore focus on developing AI innovations appropriate to the Thai context supporting budgets and incentives training farmers in digital skills and fostering collaboration among

¹ สาขาวิชาการจัดการเกษตรยั่งยืน คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏธนบุรี กรุงเทพมหานคร 10600

² ภาควิชาครุศาสตร์เกษตร คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรมและเทคโนโลยี สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง กรุงเทพมหานคร 10520

¹ Sustainable Agricultural Management Faculty of Science and Technology, Dhonburi Rajabhat University, Bangkok 10600

² Department of Agricultural Education, Faculty of Industrial Education and Technology King Mongkut’s Institute of Technology Ladkrabang, Bangkok 10520

* Corresponding author: thanapon.p@dru.ac.th

government private sector and educational institutions to create an innovation ecosystem that supports the advancement of Thailand's smart agriculture in the future.

Keywords: sustainable agriculture management, precision agriculture, agricultural innovation, artificial intelligence, Thailand 5.0

คำนำ

ภาคการเกษตรของไทยมีความสำคัญอย่างยิ่งต่อการพัฒนาเศรษฐกิจและสังคมของประเทศ เนื่องจากเป็นฐานการผลิตอาหารหลักและแหล่งรายได้สำคัญจากการส่งออกสินค้าเกษตรโดยเฉพาะพืชเศรษฐกิจอย่าง ข้าว ยางพารา มันสำปะหลังและสินค้าเกษตรแปรรูปอื่น ๆ มีมูลค่าการส่งออกรวมกว่า 1.2 ล้านล้านบาทต่อปี คิดเป็นร้อยละ 15 ของมูลค่าการส่งออกรวม (Office of Agricultural Economics, 2023) นอกจากนี้ ภาคการเกษตรยังจ้างงานประชากรกว่าร้อยละ 31.8 ของกำลังแรงงานทั้งหมดและสร้างมูลค่าเพิ่มประมาณร้อยละ 8.3 ของผลิตภัณฑ์มวลรวมในประเทศ (GDP) (National Statistical Office, 2022a) อย่างไรก็ตาม ปัจจุบันระบบเกษตรกรรมไทยยังเผชิญกับข้อจำกัดหลายประการ (Nimpanich et al., 2025) ประการแรก เกษตรกรไทยพึ่งพาการผลิตเชิงปริมาณมากกว่าคุณภาพ ส่งผลให้ผลผลิตต่อไร่ต่ำกว่าศักยภาพและได้ราคาขายที่ไม่เป็นธรรม ประการที่สอง การใช้ทรัพยากรน้ำและดินอย่างไม่มีประสิทธิภาพรวมถึงการใช้สารเคมีการเกษตรสิ้นเปลืองส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมและสุขภาพของประชาชน (Poapongsakorn and Meethom, 2020) ประการที่สาม ความผันผวนของราคาสินค้าเกษตรและผลกระทบจากการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศที่รุนแรงขึ้นส่งผลให้รายได้ของเกษตรกรได้ไม่มั่นคง (Intergovernmental Panel on Climate Change [IPCC], 2022) และประการที่สี่ ปัญหาโครงสร้างทางสังคม เช่น แรงงานสูงอายุเพิ่มขึ้น ขาดแคลนแรงงานรุ่นใหม่ และขาดการเข้าถึงเทคโนโลยีสมัยใหม่ (Rigg et al., 2019) เป็นต้น ปัญหาเหล่านี้อาจสะท้อนถึงความจำเป็นในการปรับเปลี่ยนระบบเกษตรกรรมไทยไปสู่รูปแบบการทำเกษตรที่ยั่งยืนและมีประสิทธิภาพสูงเพิ่มมากขึ้น การนำใช้เทคโนโลยีดิจิทัลและนวัตกรรมมาใช้อาจเป็นกลไกสำคัญในการช่วยยกระดับคุณภาพการผลิต การจัดการทรัพยากร และการสร้างมูลค่าเพิ่มตลอดห่วงโซ่อุปทาน ดังนั้นในบริบทนี้จะกล่าวถึงการนำปัญญาประดิษฐ์ (Artificial Intelligence; AI) มาช่วยในการยกระดับในภาคการเกษตรของประเทศไทย AI นับว่าเป็นเทคโนโลยีที่มีศักยภาพสูงที่จะนำมาใช้ในการตอบสนองความท้าทายหลายประการดังกล่าว

ปัญญาประดิษฐ์ คือ ระบบคอมพิวเตอร์ที่สามารถทำงานได้คล้ายสติปัญญาของมนุษย์ กล่าวคือ มีความสามารถในการรับรู้ การเรียนรู้ และการแก้ปัญหา (Russell and Norvig, 2021) เทคโนโลยีปัญญาประดิษฐ์ทำงานบนพื้นฐานของการประมวลผลข้อมูลขนาดใหญ่ การเรียนรู้ของเครื่องและการเรียนรู้เชิงลึก จะช่วยให้ระบบสามารถวิเคราะห์รูปแบบซับซ้อน ทำนายแนวโน้มและตัดสินใจได้อย่างแม่นยำ (Goodfellow et al., 2016) สามารถนำ AI เข้ามาประยุกต์ใช้ในภาคการเกษตรได้ เช่น การตรวจจับโรคและศัตรูพืชผ่านการประมวลผลภาพจากดาวเทียมและโดรน (Kamilaris and Prenafeta-Boldú, 2018) การจัดการน้ำและปุ๋ยแบบแม่นยำโดยใช้เซ็นเซอร์และระบบอัตโนมัติ (Wolfert et al., 2017) หรือการพยากรณ์ผลผลิตและสภาพภูมิอากาศ (van Klompenburg et al., 2020) เป็นต้น

สำหรับประเทศไทยนโยบายรัฐบาลได้กำหนดยุทธศาสตร์ “ประเทศไทย 5.0” เนื่องจาก Society 5.0 ของประเทศญี่ปุ่นที่มุ่งเน้นการสร้างสมดุลระหว่างเศรษฐกิจ สังคม และสิ่งแวดล้อม ผ่านการใช้ความรู้ทางวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีเป็นเครื่องมือในการขับเคลื่อน (National Economic and Social Development Council, 2021) โดยแนวคิดนี้เน้นการพัฒนาที่มีมนุษย์เป็นศูนย์กลาง (Deguchi et al., 2020) ภายใต้กรอบนโยบายดังกล่าว การนำปัญญาประดิษฐ์มาประยุกต์ใช้ในระบบการเกษตรอัจฉริยะจึงถือเป็นแนวทางสำคัญที่มีโอกาสนำมาใช้ในการเพิ่มประสิทธิภาพการผลิต ลดต้นทุน ยกระดับคุณภาพผลผลิต ลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมและสร้างความมั่นคงทางอาหาร (Sharma et al., 2022) ถึงแม้ว่าศักยภาพของปัญญาประดิษฐ์จะได้รับการยอมรับในวงกว้าง แต่การนำไปประยุกต์ใช้ในบริบทของไทยยังต้องเผชิญกับความท้าทายหลายด้าน เช่น ข้อจำกัดด้านโครงสร้างพื้นฐานดิจิทัล การขาดแคลนบุคลากรเชี่ยวชาญด้าน ต้นทุนการลงทุนที่สูง การขาดความรู้และทักษะของเกษตรกร รวมถึงประเด็นด้านนโยบายและกฎระเบียบ Figure 1 ดังนั้น บทความวิชาการเรื่องนี้ผู้เขียนมีวัตถุประสงค์ในการเขียนบทความเพื่อนำเสนอบทบาทของปัญญาประดิษฐ์ต่อการเกษตรอัจฉริยะในประเทศไทยในยุค 5.0 ในมิติต่าง ๆ โดยเป็นการทบทวนวรรณกรรมเชิงบูรณาการสืบค้นข้อมูลจากฐานข้อมูลวิชาการระดับนานาชาติ ได้แก่ Scopus, Web of Science และ Google Scholar รวมถึงรายงานจากหน่วยงานภาครัฐและองค์กรที่เกี่ยวข้องระหว่างปี พ.ศ. 2560–2567 แล้วนำมาวิเคราะห์ สังเคราะห์ และจัดหมวดหมู่เนื้อหาเชิงแนวคิด บทความนี้จึงมุ่งเติมเต็มช่องว่างองค์ความรู้ดังกล่าวผ่านการวิเคราะห์เชิงบูรณาการในบริบทของประเทศไทย

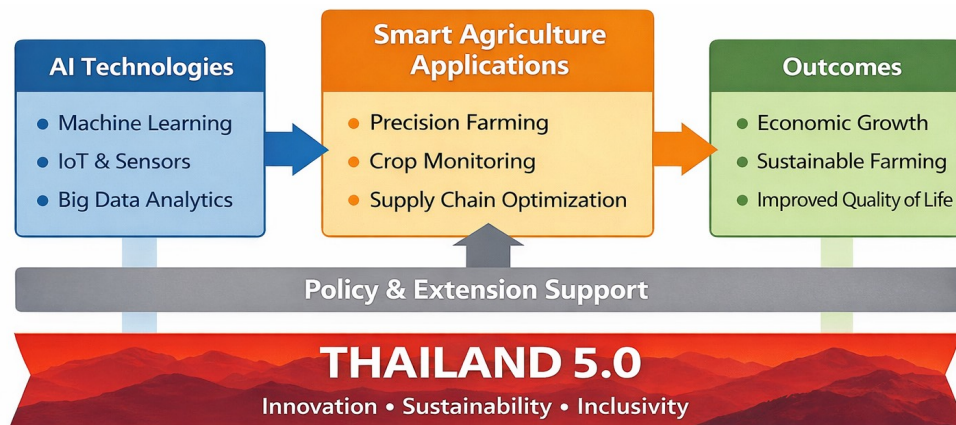


Figure 1 Conceptual Framework of AI in Smart Agriculture towards Thailand 5.0

ปัญญาประดิษฐ์ (Artificial Intelligence: AI)

ปัญญาประดิษฐ์ คือ เทคโนโลยีการคำนวณของระบบคอมพิวเตอร์ที่ทำให้ระบบสามารถเลียนแบบการคิด การเรียนรู้ และการตัดสินใจเหมือนมนุษย์โดยอาศัยหลักการของอัลกอริทึมขั้นสูง การเรียนรู้ของเครื่อง (Machine Learning) และการเรียนรู้เชิงลึก (Deep Learning) (Russell and Norvig, 2021) ในทางทฤษฎีปัญญาประดิษฐ์สามารถแบ่งออกเป็นสองประเภทหลัก คือ (1) ปัญญาประดิษฐ์แบบแคบ หรือ Narrow AI ที่ออกแบบมาเพื่อทำงานเฉพาะด้านหนึ่ง เช่น การจำแนกภาพ หรือการพยากรณ์อากาศ และ (2) ปัญญาประดิษฐ์ทั่วไป หรือ General AI ที่มีความสามารถในการเรียนรู้และแก้ปัญหาได้หลากหลายเหมือนมนุษย์แต่ยังอยู่ในระหว่างการวิจัยและพัฒนา (Kaplan and Haenlein, 2019)

ในปัจจุบันปัญญาประดิษฐ์ที่นำมาใช้ในภาคเกษตรกรรมส่วนใหญ่เป็นปัญญาประดิษฐ์แบบแคบที่มีความเชี่ยวชาญเฉพาะด้านขอบเขตของปัญญาประดิษฐ์ในภาคเกษตรกรรมครอบคลุมตั้งแต่การวิเคราะห์ข้อมูลสภาพอากาศและดิน การตรวจจับโรคพืช และแมลงศัตรูพืชด้วยภาพถ่าย การพยากรณ์ผลผลิต ไปจนถึงการจัดการระบบน้ำ ปุ๋ย และการบริหารจัดการห่วงโซ่อุปทาน เทคโนโลยีปัญญาประดิษฐ์ที่สำคัญในการเกษตร ได้แก่ การมองเห็นด้วยคอมพิวเตอร์ (Computer Vision) สำหรับการวิเคราะห์ภาพจากโดรนหรือกล้องถ่ายภาพ การประมวลผลภาษาธรรมชาติ (Natural Language Processing) สำหรับการให้คำแนะนำแก่เกษตรกร และระบบผู้เชี่ยวชาญ (Expert Systems) สำหรับการวินิจฉัยปัญหาและแนะนำแนวทางการแก้ไข (Liakos et al., 2018) ดังนั้น ปัญญาประดิษฐ์จึงเป็นกลไกหลักที่ช่วยให้เกษตรกรอัจฉริยะสามารถทำงานได้อย่างแม่นยำและมีประสิทธิภาพสูงสุด โดยเฉพาะความสามารถในการเรียนรู้จากข้อมูลในอดีต การปรับตัวตามสถานการณ์ที่เปลี่ยนแปลง และการทำนายแนวโน้มในอนาคต ซึ่งเป็นคุณสมบัติที่ระบบอัตโนมัติทั่วไปยังสามารทำได้ (Barragán-Montero et al., 2021)

เกษตรอัจฉริยะ (Smart Agriculture)

เกษตรอัจฉริยะ คือ รูปแบบการเกษตรที่บูรณาการเทคโนโลยีดิจิทัลและนวัตกรรมสมัยใหม่ เช่น ระบบอินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่ง (Internet of Things: IoT) เซนเซอร์ โดรน หุ่นยนต์ และระบบการวิเคราะห์ข้อมูล เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการผลิต ลดการใช้ทรัพยากรอย่างสิ้นเปลือง และสร้างผลผลิตที่มีคุณภาพสอดคล้องกับความต้องการของตลาด (Zhang et al., 2020) IoT จึงได้กลายเป็นส่วนสำคัญในการพัฒนาฟาร์มอัจฉริยะ (Prangkratok and Khongpeim, 2025) แนวคิดเกษตรอัจฉริยะได้พัฒนามาจากการเกษตรแม่นยำ (Precision Agriculture) ที่เน้นการใช้ข้อมูลเชิงพื้นที่และเวลาในการตัดสินใจโดยเกษตรกรอัจฉริยะได้ขยายขอบเขตไปสู่การเชื่อมโยงระบบต่าง ๆ เข้าด้วยกันผ่านเทคโนโลยีดิจิทัล ทำให้สามารถตรวจสอบและควบคุมกระบวนการผลิตแบบเรียลไทม์ได้ทุกขั้นตอน ตั้งแต่การเตรียมดิน การปลูก การดูแลรักษา ไปจนถึงการเก็บเกี่ยว (Bacco et al., 2019) ระบบเกษตรอัจฉริยะจะสามารถตอบสนองต่อการเปลี่ยนแปลงของสภาพแวดล้อมได้อย่างรวดเร็วและเหมาะสม เกษตรอัจฉริยะจึงมิได้มุ่งเน้นเพียงแค่การเพิ่มผลผลิตเชิงปริมาณเท่านั้น แต่ยังรวมถึงการจัดการที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม ความยั่งยืน และการใช้ข้อมูลเชิงลึกเพื่อการตัดสินใจที่แม่นยำของเกษตรกร องค์ประกอบสำคัญของเกษตรอัจฉริยะประกอบด้วย (1) ระบบเซนเซอร์และการเก็บรวบรวมข้อมูล (2) ระบบการวิเคราะห์และประมวลผลข้อมูล (3) ระบบการตัดสินใจและควบคุมอัตโนมัติ และ (4) ระบบการสื่อสารและแสดงผลข้อมูล (Wolfert et al., 2017) Figure 2 การบูรณาการทั้งสี่องค์ประกอบนี้ช่วยให้เกษตรกรสามารถบริหารจัดการฟาร์มได้อย่างมีประสิทธิภาพสูงสุด ลดต้นทุนการผลิต และเพิ่มผลตอบแทนในระยะยาวได้อย่างยั่งยืน

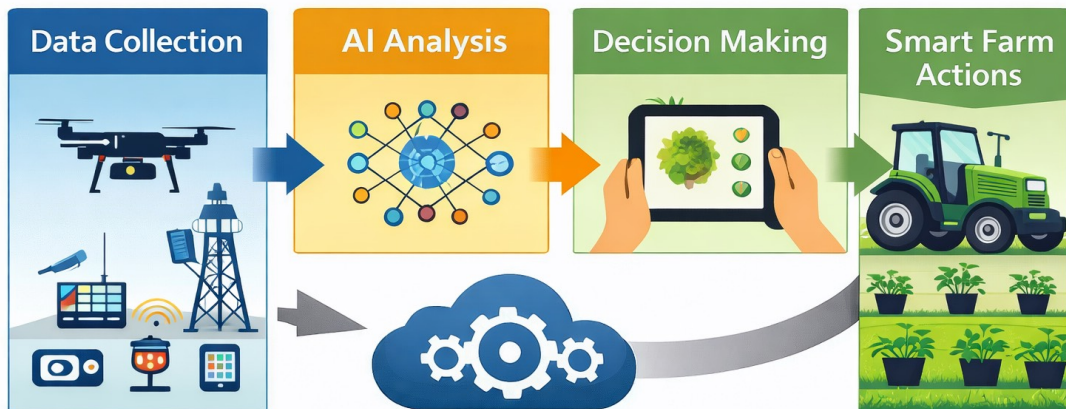


Figure 2 AI-driven Smart Agriculture Process Flow

การเชื่อมโยงปัญญาประดิษฐ์กับแนวคิด Thailand 5.0

แนวคิดประเทศไทย 5.0 หรือ Thailand 5.0 เป็นกรอบยุทธศาสตร์การพัฒนาประเทศที่เน้นการสร้างสรรค์ระหว่างเศรษฐกิจ สังคม และสิ่งแวดล้อม โดยใช้วิทยาศาสตร์ เทคโนโลยี และนวัตกรรมเป็นเครื่องมือในการขับเคลื่อน (National Economic and Social Development Council, 2022) แนวคิดนี้ได้รับแรงบันดาลใจจากแนวคิด Society 5.0 ของประเทศญี่ปุ่น ที่มุ่งสู่การเป็นสังคมที่มุ่งเน้นมนุษย์เป็นศูนย์กลาง (Human-Centered Society) โดยใช้เทคโนโลยีเพื่อแก้ปัญหาสังคมและยกระดับคุณภาพชีวิตของประชาชน (Deguchi et al., 2020) ในบริบทนี้ ปัญญาประดิษฐ์ถือเป็นเทคโนโลยีสำคัญที่ช่วยให้ภาคเกษตรสามารถก้าวสู่ความเป็น เกษตรอัจฉริยะ (Smart Agriculture) ได้จริง ทั้งการสร้างมูลค่าเพิ่มจากข้อมูล (Data-driven agriculture) การพัฒนาระบบฟาร์มอัตโนมัติและการสร้างนวัตกรรมอาหารแห่งอนาคต (Future Food) การประยุกต์ใช้ปัญญาประดิษฐ์ในภาคเกษตรไทยสอดคล้องกับเป้าหมายของ Thailand 5.0 ในหลายมิติ ได้แก่ (1) มิติเศรษฐกิจ การเพิ่มผลผลิตและมูลค่าเพิ่มของสินค้าเกษตร (2) มิติสังคม การลดความเหลื่อมล้ำด้วยการเข้าถึงเทคโนโลยีและความรู้ และ (3) มิติสิ่งแวดล้อม การใช้ทรัพยากรอย่างมีประสิทธิภาพและลดผลกระทบต่อระบบนิเวศ (Ministry of Agriculture and Cooperatives, 2023) นอกจากนี้ การบูรณาการปัญญาประดิษฐ์ในภาคเกษตรยังสอดคล้องกับนโยบาย BCG Economy Model (Bio-Circular-Green Economy) ของรัฐบาลไทยที่มุ่งเน้นการใช้ความหลากหลายทางชีวภาพและทรัพยากรอย่างยั่งยืน โดยปัญญาประดิษฐ์สามารถช่วยในการติดตามและวิเคราะห์ผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม การจัดการของเสียในภาคเกษตร และการส่งเสริมการเกษตรแบบหมุนเวียน (Circular Agriculture) ได้อย่างมีประสิทธิภาพ (National Economic and Social Development Council, 2022)

การบูรณาการปัญญาประดิษฐ์เข้ากับเกษตรกรรมไทยจึงไม่เพียงเป็นการเพิ่มประสิทธิภาพในการผลิต แต่ยังสะท้อนถึงการเปลี่ยนแปลงเชิงโครงสร้างของเศรษฐกิจไทย ให้สามารถแข่งขันได้ในระดับโลก และสร้างความมั่นคงทางอาหารควบคู่กับความยั่งยืนในระยะยาว ตามแนวคิดของ Zhai et al. (2020) การนำปัญญาประดิษฐ์มาใช้ในภาคเกษตรไม่ใช่แค่การปรับปรุงเทคนิคการผลิต แต่เป็นการปฏิรูประบบเกษตรกรรมทั้งหมดให้เป็นระบบที่อัจฉริยะ เชื่อมโยง และยั่งยืน ซึ่งจะส่งผลต่อความสามารถในการรองรับประชากรโลกที่เพิ่มขึ้นและการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศในอนาคต

บทบาทของปัญญาประดิษฐ์ (Artificial Intelligence: AI) ต่อการเกษตรอัจฉริยะ

การประยุกต์ใช้ปัญญาประดิษฐ์ในภาคการเกษตรอัจฉริยะมีความสำคัญอย่างยิ่งในการเพิ่มประสิทธิภาพการผลิต ลดต้นทุน และสร้างความยั่งยืนทางอาหาร บทบาทของ AI สามารถจำแนกได้เป็น 4 มิติหลัก ดังนี้

1) **การจัดการทรัพยากร** เป็นหนึ่งในบทบาทสำคัญของปัญญาประดิษฐ์ คือ การช่วยจัดการทรัพยากรการเกษตรให้มีประสิทธิภาพสูงสุด โดยเฉพาะการ วิเคราะห์ดิน น้ำ และสภาพแวดล้อม ผ่านข้อมูลจากเซนเซอร์ IoT และดาวเทียม เพื่อคาดการณ์ความอุดมสมบูรณ์ของดิน ระดับความชื้น และสภาพภูมิอากาศที่เหมาะสมต่อการเพาะปลูก (Liakos et al., 2018) ข้อมูลเหล่านี้ถูกนำไปประมวลผลด้วยปัญญาประดิษฐ์เพื่อให้เกษตรกรสามารถใช้ทรัพยากรอย่างคุ้มค่า ลดการสูญเสีย และเพิ่มผลผลิตได้อย่างยั่งยืน

ระบบปัญญาประดิษฐ์สามารถวิเคราะห์คุณภาพดินในระดับจุลภาค (Micro-Level) โดยการประมวลผลข้อมูลจากเซนเซอร์ที่วัดค่า pH ความชื้น อุณหภูมิ และปริมาณธาตุอาหารในดิน จากนั้นนำข้อมูลเหล่านั้นมาสร้างแผนที่ดิจิทัล (Digital Soil Map) ที่แสดงความแตกต่างของคุณภาพดินในแต่ละจุดของพื้นที่เพาะปลูก เพื่อให้เกษตรกรสามารถปรับการจัดการตามความ

ต้องการเฉพาะของแต่ละพื้นที่ได้อย่างแม่นยำ (Patricio and Rieder, 2018) การจัดการแบบเฉพาะพื้นที่ (Site-Specific Management) นี้ช่วยลดการใช้น้ำและสารเคมีได้มากถึงร้อยละ 20-30 โดยไม่ส่งผลกระทบต่อปริมาณผลผลิต

นอกจากนี้ ยังมีการพัฒนาระบบอัตโนมัติสำหรับให้น้ำและปุ๋ย ที่ควบคุมด้วยปัญญาประดิษฐ์ สามารถตรวจสอบความต้องการน้ำและปุ๋ยของพืชแบบเรียลไทม์ และปรับการให้น้ำ-ปุ๋ยให้เหมาะสมโดยอัตโนมัติ ช่วยลดต้นทุนการใช้ทรัพยากรและป้องกันผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม (Zhang et al., 2020) ระบบเหล่านี้ใช้อัลกอริทึมการเรียนรู้ของเครื่องในการทำนายอัตราการคายน้ำของพืช (Evapotranspiration) และปรับปริมาณน้ำให้สอดคล้องกับสภาพอากาศ ระยะการเจริญเติบโตของพืช และความชื้นในดิน การศึกษาพบว่าระบบให้น้ำอัจฉริยะที่ควบคุมด้วยปัญญาประดิษฐ์ สามารถลดการใช้น้ำได้ร้อยละ 30-50 และเพิ่มผลผลิตได้ร้อยละ 10-20 เมื่อเทียบกับระบบให้น้ำแบบดั้งเดิม (Goap et al., 2018)

2) การตรวจสอบและควบคุมโรคพืชและศัตรูพืช ปัญญาประดิษฐ์ถูกนำมาใช้ในกระบวนการประมวลผลภาพจากกล้องและโดรน เพื่อระบุอาการผิดปกติของพืช เช่น โรคพืช การเข้าทำลายของแมลงศัตรูพืช และความเสียหายจากสภาพอากาศ (Kamilaris and Prenafeta-Boldú, 2018) ระบบเหล่านี้สามารถตรวจสอบได้ครอบคลุมพื้นที่กว้างและให้ข้อมูลที่แม่นยำกว่าการตรวจสอบด้วยแรงงานคน เทคโนโลยีการมองเห็นด้วยคอมพิวเตอร์ (Computer Vision) ที่ขับเคลื่อนด้วยเครือข่ายประสาทเทียมเชิงลึก (Deep Neural Networks) สามารถจำแนกโรคพืชได้มากกว่า 50 ชนิดด้วยความแม่นยำสูงถึงร้อยละ 95-99 โดยการวิเคราะห์ลักษณะของใบ ลำต้น และผลผลิต (Barbedo, 2019) ระบบเหล่านี้สามารถตรวจจับโรคได้ตั้งแต่ระยะเริ่มต้น ก่อนที่เกษตรกรจะสามารถสังเกตเห็นด้วยตาเปล่า ซึ่งช่วยลดการสูญเสียผลผลิตได้อย่างมีนัยสำคัญ

3) การพยากรณ์และเพิ่มผลผลิต ปัญญาประดิษฐ์มีบทบาทสำคัญในการสร้าง แบบจำลองการคาดการณ์ผลผลิตและสภาพอากาศ โดยอาศัยข้อมูลย้อนหลัง (Historical Data) ร่วมกับข้อมูลสภาพภูมิอากาศปัจจุบัน เพื่อนำมาคาดการณ์แนวโน้มการผลิตในอนาคต สิ่งนี้ช่วยให้เกษตรกรสามารถเตรียมการรับมือกับความเสี่ยงและวางแผนการผลิตได้อย่างเหมาะสม ระบบปัญญาประดิษฐ์ สามารถวิเคราะห์ปัจจัยหลายประการที่มีผลต่อผลผลิต ได้แก่ สภาพอากาศ ปริมาณน้ำฝน อุณหภูมิ ความชื้นสัมพัทธ์ คุณภาพดิน การจัดการปุ๋ยและสารเคมี รวมถึงข้อมูลดาวเทียมที่แสดงดัชนีพืชพรรณ (Vegetation Index) เพื่อสร้างแบบจำลองที่สามารถทำนายปริมาณผลผลิตได้แม่นยำถึงร้อยละ 85-90 (van Klompenburg et al., 2020) การคาดการณ์ที่แม่นยำนี้ช่วยให้เกษตรกรสามารถวางแผนการตลาด การจัดหาแรงงาน และการเตรียมสิ่งอำนวยความสะดวกสำหรับการเก็บเกี่ยวล่วงหน้าได้

4) ห่วงโซ่อุปทานและตลาด อีกหนึ่งมิติที่สำคัญคือการประยุกต์ใช้ปัญญาประดิษฐ์ในการคาดการณ์ราคาสินค้าเกษตร โดยการวิเคราะห์ข้อมูลเชิงสถิติ ข้อมูลการผลิต และแนวโน้มความต้องการของตลาด ซึ่งช่วยให้เกษตรกรและผู้ประกอบการสามารถกำหนดกลยุทธ์การขายที่เหมาะสมและลดความเสี่ยงจากความผันผวนของราคา ระบบปัญญาประดิษฐ์สามารถวิเคราะห์ข้อมูลจากหลายแหล่ง เช่น ข้อมูลรายค้าย้อนหลัง ปริมาณผลผลิตในตลาดโลก ข่าวเศรษฐกิจ นโยบายการค้า อัตราแลกเปลี่ยน และพฤติกรรมผู้บริโภค เพื่อสร้างแบบจำลองที่สามารถทำนายราคาในอนาคตได้ และยังสามารถพัฒนาแพลตฟอร์มดิจิทัลที่เชื่อมโยงเกษตรกรกับผู้ซื้อโดยตรง (Digital Marketplace) ที่ใช้ปัญญาประดิษฐ์ในการจับคู่อุปสงค์และอุปทาน แนะนำราคาที่เป็นธรรม และอำนวยความสะดวกในการเจรจาต่อรอง ช่วยลดบทบาทของพ่อค้าคนกลางและเพิ่มรายได้ให้กับเกษตรกร (Jha et al., 2019)

โอกาสและความท้าทายการนำปัญญาประดิษฐ์มาประยุกต์ใช้ในภาคการเกษตรของประเทศไทย

การนำปัญญาประดิษฐ์มาใช้ในภาคการเกษตรของประเทศไทยเป็นโอกาสสำคัญที่สามารถขับเคลื่อนสู่การเกษตรอัจฉริยะได้อย่างเป็นรูปธรรมโดยมีทั้ง โอกาสและความท้าทาย ที่ต้องพิจารณาอย่างรอบด้าน ดังนี้

1) โอกาสการนำปัญญาประดิษฐ์มาใช้สามารถสร้างมูลค่าเพิ่มให้กับภาคการเกษตรไทยในหลายมิติ ได้แก่

1.1 เพิ่มผลผลิตและประสิทธิภาพทางการเกษตรการประยุกต์ใช้ปัญญาประดิษฐ์ช่วยเพิ่มผลผลิตทางการเกษตรด้วยระบบวิเคราะห์ข้อมูลที่ช่วยให้เกษตรกรตัดสินใจแม่นยำยิ่งขึ้น เช่น การใช้แบบจำลองปัญญาประดิษฐ์เพื่อคาดการณ์ผลผลิตและสภาพอากาศ ช่วยลดความเสี่ยงจากภัยธรรมชาติและความผันผวนของสภาพแวดล้อม การใช้ปัญญาประดิษฐ์ในภาคเกษตรสามารถเพิ่มผลผลิตได้ร้อยละ 10-15 และลดการสูญเสียผลผลิตหลังการเก็บเกี่ยว (Post-harvest Loss) ได้ถึงร้อยละ 20-25 ซึ่งมีความสำคัญอย่างยิ่งในบริบทของประเทศไทยที่มีการสูญเสียผลผลิตหลังเก็บเกี่ยวสูงถึงร้อยละ 30-40 ในพืชบางชนิด

1.2 ลดต้นทุนและเพิ่มผลตอบแทนปัญญาประดิษฐ์ช่วยลดต้นทุนการผลิตผ่านระบบอัตโนมัติ เช่น ระบบให้น้ำและใส่ปุ๋ยอัจฉริยะ (Smart Irrigation and Fertilization) ที่สามารถปรับปริมาณการใช้น้ำและปุ๋ยได้อย่างเหมาะสมกับความต้องการของพืชในแต่ละช่วงเวลา การใช้เทคโนโลยีปัญญาประดิษฐ์และระบบอัตโนมัติในการเกษตรสามารถลดต้นทุนการผลิตได้ร้อยละ 20-30 โดยเฉพาะต้นทุนด้านแรงงาน น้ำ และปุ๋ย อีกด้วย

1.3 ขับเคลื่อนการเกษตรยั่งยืนและเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมปัญหาประดิษฐ์มีบทบาทสำคัญในการขับเคลื่อนการเกษตรยั่งยืนด้วยการใช้ทรัพยากรอย่างคุ้มค่า ลดการใช้สารเคมีที่ส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม และสนับสนุนการผลิตตามมาตรฐานสากล ซึ่งช่วยเพิ่มศักยภาพการแข่งขันในตลาดโลก การจัดการทรัพยากรน้ำด้วยปัญญาประดิษฐ์สามารถลดการใช้น้ำในภาคเกษตรได้ร้อยละ 20-40 ซึ่งมีความสำคัญอย่างยิ่งในบริบทของการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศและปัญหาการขาดแคลนน้ำที่รุนแรงขึ้น

1.4 สร้างความมั่นคงทางอาหารและพัฒนาเศรษฐกิจชุมชนปัญญาประดิษฐ์มีบทบาทสำคัญในการสร้างความมั่นคงทางอาหาร (Food Security) โดยการเพิ่มประสิทธิภาพการผลิต ลดความสูญเสีย และช่วยให้เกษตรกรสามารถปรับตัวต่อการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศได้ดีขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับเป้าหมายการพัฒนาที่ยั่งยืน (Sustainable Development Goals: SDGs) ของสหประชาชาติโดยเฉพาะเป้าหมายที่ 2 (Zero Hunger) และเป้าหมายที่ 12 (Responsible Consumption and Production) นอกจากนี้ การพัฒนาเกษตรอัจฉริยะด้วยปัญญาประดิษฐ์ยังช่วยสร้างงานใหม่ในภาคเกษตร โดยเฉพาะงานที่ต้องใช้ทักษะดิจิทัล เช่น ผู้ดูแลระบบปัญญาประดิษฐ์นักวิเคราะห์ข้อมูลการเกษตร ผู้พัฒนาแอปพลิเคชันเกษตร และที่ปรึกษาด้านเทคโนโลยีการเกษตร ซึ่งช่วยยกระดับรายได้และคุณภาพชีวิตของคนในชุมชนชนบท

2) ความท้าทาย แม้ปัญญาประดิษฐ์จะสร้างโอกาสมากมาย แต่ยังคงมีอุปสรรคที่ต้องเร่งแก้ไข ได้แก่

2.1 ข้อจำกัดด้านทุนและการเข้าถึงเทคโนโลยี ข้อจำกัดด้านทุนและการเข้าถึงเทคโนโลยีของเกษตรกรรายย่อยเป็นอุปสรรคสำคัญต่อการนำปัญญาประดิษฐ์มาใช้ในภาคเกษตรไทย เกษตรกรส่วนใหญ่ในประเทศไทยเป็นรายย่อยที่มีรายได้จำกัด จึงอาจไม่สามารถลงทุนในเทคโนโลยีขั้นสูงได้ ข้อมูลจาก National Statistical Office. (2022b) ระบุว่าเกษตรกรไทยมากกว่าร้อยละ 90 เป็นเกษตรกรรายย่อยที่มีพื้นที่เพาะปลูกน้อยกว่า 25 ไร่ และมีรายได้เฉลี่ยต่อครัวเรือนอยู่ที่ 120,000-150,000 บาทต่อปี ซึ่งไม่เพียงพอต่อการลงทุนในระบบปัญญาประดิษฐ์ที่มีราคาสูง การศึกษาของ Trendov et al. (2019) พบว่าต้นทุนการลงทุนเริ่มต้นในเทคโนโลยีปัญญาประดิษฐ์สำหรับการเกษตรอาจสูงถึง 500,000-2,000,000 บาทต่อไร่ ขึ้นอยู่กับความซับซ้อนของระบบ ซึ่งเป็นอุปสรรคสำคัญสำหรับเกษตรกรรายย่อย อย่างไรก็ตาม มีแนวโน้มที่ต้นทุนจะลดลงเมื่อเทคโนโลยีแพร่หลายมากขึ้น และการพัฒนารูปแบบธุรกิจแบบ Farming-as-a-Service (FaaS) ธุรกิจที่ให้บริการด้านการเกษตรที่เกษตรกรไม่จำเป็นต้องเป็นเจ้าของเทคโนโลยี แต่สามารถเช่าใช้บริการได้ตามความต้องการ เช่น ศูนย์บริการช่วยเหลือเทคโนโลยีเกษตรครบวงจรของ Chia Tai Smart Agriculture Service Hub อาจเป็นทางออกหนึ่ง

2.2 การขาดบุคลากรและทักษะดิจิทัล การขาดบุคลากรที่มีทักษะด้านดิจิทัลเป็นความท้าทายสำคัญในการพัฒนาเกษตรอัจฉริยะ เนื่องจากการประยุกต์ใช้ปัญญาประดิษฐ์ต้องอาศัยผู้เชี่ยวชาญด้านข้อมูล การเขียนโปรแกรม และการจัดการระบบอัจฉริยะ ซึ่งในปัจจุบันยังมีจำนวนจำกัดประเทศไทยมีความต้องการผู้เชี่ยวชาญด้านปัญญาประดิษฐ์ และ Data Science ในภาคการเกษตรอยู่ในจำนวนจำกัด ขณะที่ความต้องการบุคลากรในสาขาดังกล่าวมีประมาณ 10,000-15,000 คน ส่งผลให้เกิดปัญหาการขาดแคลนแรงงานที่มีทักษะด้านปัญญาประดิษฐ์ ซึ่งสะท้อนให้เห็นว่าจำนวนผู้เชี่ยวชาญที่มีอยู่ยังไม่เพียงพอต่อความต้องการของตลาดในปัจจุบัน (Ken Research, 2024)

2.3 โครงสร้างพื้นฐานด้านดิจิทัล โครงสร้างพื้นฐานด้านอินเทอร์เน็ตและข้อมูลเป็นอุปสรรคสำคัญ โดยเฉพาะในพื้นที่ชนบทที่ยังมีข้อจำกัดด้านเครือข่ายอินเทอร์เน็ตและการจัดเก็บข้อมูล ทำให้การนำระบบปัญญาประดิษฐ์มาใช้ยังไม่เต็มประสิทธิภาพ รายงานของสำนักงานคณะกรรมการกฤษฎีกากระจายเสียง กิจการโทรทัศน์ และกิจการโทรคมนาคมแห่งชาติ (ระบุว่าพื้นที่ชนบทในประเทศไทยประมาณร้อยละ 30 ยังไม่มีการเข้าถึงอินเทอร์เน็ตความเร็วสูง (Broadband) ที่เพียงพอต่อการใช้งานระบบปัญญาประดิษฐ์การขาดโครงสร้างพื้นฐานด้านข้อมูลก็เป็นอุปสรรคสำคัญเช่นกัน ระบบปัญญาประดิษฐ์ต้องการข้อมูลจำนวนมากในการฝึกสอนและปรับปรุงความแม่นยำ

2.4 ประเด็นด้านนโยบายและกฎระเบียบ ความท้าทายด้านนโยบายและกฎระเบียบยังเป็นอุปสรรคต่อการพัฒนาเกษตรอัจฉริยะในประเทศไทย ปัจจุบันยังไม่มีกรอบนโยบายที่ชัดเจนและครอบคลุมสำหรับการพัฒนาและใช้ปัญญาประดิษฐ์ในภาคเกษตร รวมถึงการขาดมาตรฐานและกฎระเบียบที่เกี่ยวข้อง เช่น มาตรฐานความปลอดภัยของข้อมูล มาตรฐานคุณภาพของระบบปัญญาประดิษฐ์และกฎระเบียบเกี่ยวกับความรับผิดชอบเมื่อระบบปัญญาประดิษฐ์ทำงานผิดพลาด นอกจากนี้ การสนับสนุนจากภาครัฐยังมีข้อจำกัด แม้ว่าจะมีนโยบายส่งเสริมการเกษตรอัจฉริยะในหลายแผนงาน แต่งบประมาณและการดำเนินงานยังไม่เพียงพอ แนะนำว่าภาครัฐควรมีบทบาทในการสร้างระบบนิเวศนวัตกรรม (Innovation Ecosystem) ที่เอื้อต่อการพัฒนาและใช้ปัญญาประดิษฐ์ในภาคเกษตร โดยการสนับสนุนงานวิจัยและพัฒนา การให้เงินทุนและสิทธิประโยชน์ทางภาษีแก่ผู้ประกอบการ และการสร้างความร่วมมือระหว่างภาครัฐ ภาคเอกชน และสถาบันการศึกษา

2.5 ประเด็นความเสี่ยง แม้ปัญญาประดิษฐ์จะช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการผลิต แต่ยังมีความเสี่ยงที่ต้องพิจารณา ได้แก่ ความเป็นส่วนตัวและความเป็นเจ้าของข้อมูลเกษตรกร ความผิดพลาดของระบบปัญญาประดิษฐ์เมื่อข้อมูลไม่สมบูรณ์หรือโครงสร้างพื้นฐานอินเทอร์เน็ตไม่เสถียร ความเหลื่อมล้ำในการเข้าถึงเทคโนโลยีระหว่างเกษตรกรรายย่อยและรายใหญ่ และความยั่งยืนของธุรกิจ AgriTech ในระยะยาว เป็นต้น ประเด็นเหล่านี้จำเป็นต้องได้รับการกำกับดูแลเชิงนโยบายควบคู่กับการพัฒนาเทคโนโลยี

กรณีศึกษาการนำปัญญาประดิษฐ์มาประยุกต์ใช้ในระบบการเกษตรอัจฉริยะในประเทศไทย

ประเทศไทยเริ่มมีการนำปัญญาประดิษฐ์มาประยุกต์ใช้ในระบบการเกษตรอัจฉริยะมากขึ้น ทั้งในระดับการวิจัยและการใช้งานจริงในเชิงพาณิชย์ ตัวอย่างกรณีศึกษาที่สำคัญ อาทิ

1) โครงการเกษตรอัจฉริยะของสถาบันอุดมศึกษาและสถาบันวิจัยในประเทศไทย มีบทบาทสำคัญในการพัฒนาและทดสอบเทคโนโลยีปัญญาประดิษฐ์สำหรับภาคเกษตร โดยเฉพาะมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์และจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยได้ดำเนินโครงการวิจัยด้าน เกษตรแม่นยำ (Precision Agriculture) โดยพัฒนาแพลตฟอร์มที่ใช้เซนเซอร์ร่วมกับปัญญาประดิษฐ์เพื่อวิเคราะห์ข้อมูลดิน น้ำ และสภาพอากาศแบบเรียลไทม์ ทำให้สามารถกำหนดแผนการเพาะปลูกและจัดการทรัพยากรได้อย่างมีประสิทธิภาพโครงการ “ศูนย์เทคโนโลยีอิเล็กทรอนิกส์และคอมพิวเตอร์แห่งชาติ” (NECTEC) ภายใต้สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ (สวทช.)

ได้พัฒนาโครงการ “ระบบเกษตรอัจฉริยะด้วย IoT และ AI” ที่นำเทคโนโลยีเซนเซอร์ IoT มาใช้ในการเก็บข้อมูลด้านการเกษตร เช่น ความชื้นในดิน อุณหภูมิ ความชื้นสัมพัทธ์ และปริมาณแสง จากนั้นนำข้อมูลเหล่านี้มาวิเคราะห์ด้วยปัญญาประดิษฐ์เพื่อให้คำแนะนำการจัดการแก่เกษตรกร (National Science and Technology Development Agency [NSTDA], 2023) โครงการนี้ได้รณรงค์ในพื้นที่เกษตรกรรมหลายจังหวัด เช่น นครราชสีมา สุพรรณบุรี และเชียงใหม่ และพบว่าสามารถเพิ่มผลผลิตได้ร้อยละ 15-20 และลดการใช้น้ำได้ร้อยละ 25-30 มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ได้พัฒนาโครงการ "AI for Rice" ที่มุ่งเน้นการใช้ปัญญาประดิษฐ์ในการปรับปรุงการเพาะปลูกข้าว ซึ่งเป็นพืชเศรษฐกิจหลักของไทย โครงการนี้ใช้เครือข่ายประสาทเทียมเชิงลึก (Deep Neural Networks) ในการวิเคราะห์ภาพจากดาวเทียมและโดรนเพื่อประเมินสุขภาพของต้นข้าว ตรวจจับโรคข้าว และคาดการณ์ผลผลิต (Chlingaryan et al., 2018) ผลการทดลองในพื้นที่นาข้าวจังหวัดสุพรรณบุรี พบว่าระบบสามารถตรวจจับโรคข้าวได้ด้วยความแม่นยำร้อยละ 92 และสามารถคาดการณ์ผลผลิตล่วงหน้า 30 วันก่อนการเก็บเกี่ยวด้วยความแม่นยำร้อยละ 87 อีกทั้งยังมีการพัฒนา ระบบตรวจจับโรคพืชด้วยภาพถ่าย ที่สามารถช่วยเกษตรกรตรวจสอบอาการผิดปกติได้ตั้งแต่ระยะเริ่มต้น จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยได้พัฒนาแอปพลิเคชัน “Plant Doctor” ที่ใช้เทคโนโลยี Computer Vision และ Deep Learning ในการวิเคราะห์ภาพถ่ายใบพืชเพื่อระบุโรคและให้คำแนะนำการรักษารักษา Figure 3 แอปพลิเคชันนี้ได้รับการฝึกสอนด้วยข้อมูลภาพโรคพืชมากกว่า 50,000 ภาพครอบคลุมพืชเศรษฐกิจของไทยกว่า 20 ชนิด สามารถจำแนกโรคได้กว่า 80 ชนิดด้วยความแม่นยำเฉลี่ยร้อยละ 89 (Pattanayak et al., 2017)

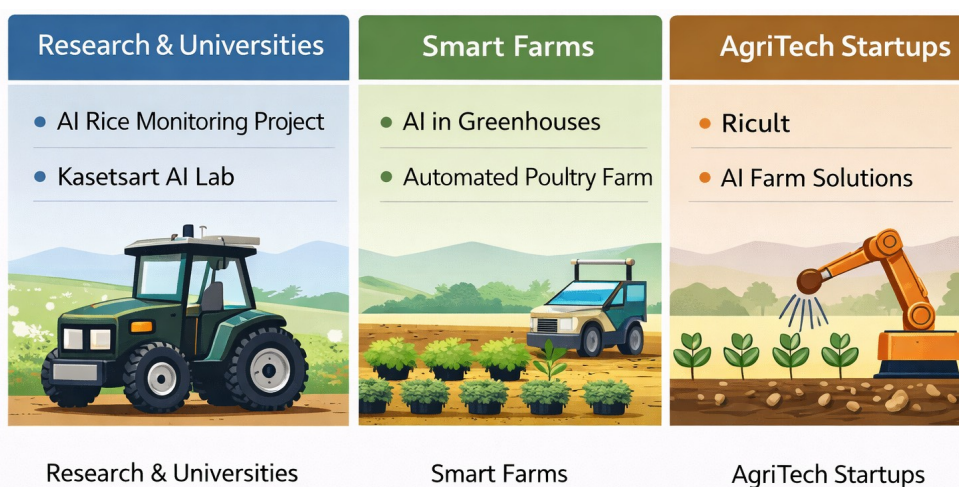


Figure 3 Case Studies of AI Applications in Agriculture

2) สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย (วว.) ได้พัฒนาโครงการ “Smart Cassava” สำหรับการเพาะปลูกมันสำปะหลังซึ่งเป็นพืชเศรษฐกิจสำคัญของไทย โครงการนี้ใช้ปัญญาประดิษฐ์ในการวิเคราะห์ข้อมูลดาวเทียมเพื่อ

คาดการณ์ผลผลิต ตรวจจับโรคใบด่าง และแนะนำเวลาที่เหมาะสมในการเก็บเกี่ยว นอกจากนี้ยังมีการพัฒนาระบบแนะนำพันธุ์มันสำปะหลังที่เหมาะสมกับแต่ละพื้นที่โดยใช้ Machine Learning ผลการนำร่องในจังหวัดกำแพงเพชรและนครราชสีมาพบว่าสามารถเพิ่มผลผลิตได้ร้อยละ 12-18 และลดการสูญเสียจากโรคใบด่างได้ร้อยละ 30-40 (Thailand Institute of Scientific and Technological Research [TISTR], 2022) การใช้ปัญญาประดิษฐ์ในระบบฟาร์มอัจฉริยะตัวอย่างการประยุกต์ใช้ที่ชัดเจน คือ ฟาร์มกุ้งอัจฉริยะ ในภาคใต้ที่นำปัญญาประดิษฐ์และ IoT มาช่วยตรวจสอบคุณภาพน้ำ เช่น ค่าออกซิเจน pH และอุณหภูมิ โดยระบบสามารถแจ้งเตือนอัตโนมัติและควบคุมการให้อาหารกุ้งอย่างเหมาะสม ทำให้ลดอัตราการตายและเพิ่มผลผลิตได้อย่างมีนัยสำคัญบริษัท Shrimp Talk ซึ่งเป็นสตาร์ทอัพไทยได้พัฒนาระบบ "Smart Shrimp Farming" ที่ใช้เซนเซอร์ IoT ร่วมกับปัญญาประดิษฐ์ในการตรวจสอบและควบคุมคุณภาพน้ำในบ่อกุ้ง ระบบนี้สามารถวัดค่าพารามิเตอร์สำคัญได้มากกว่า 10 ค่า รวมถึงปริมาณแอมโมเนีย ไนโตรเจน และแพลงก์ตอน นอกจากนี้ยังใช้ ปัญญาประดิษฐ์ในการวิเคราะห์พฤติกรรมกรรมการกินอาหารของกุ้งผ่านกล้องใต้น้ำเพื่อปรับปริมาณอาหารให้เหมาะสม การศึกษาในฟาร์มกุ้งจังหวัดสุราษฎร์ธานีที่ใช้ระบบนี้พบว่าสามารถลดอัตราการตายของกุ้งจากร้อยละ 35 เหลือร้อยละ 18 เพิ่มผลผลิตได้ร้อยละ 25 และลดต้นทุนอาหารได้ร้อยละ 15-20 โครงการ "Aqua Intelligence" ของสำนักงานพัฒนาเทคโนโลยีอวกาศและภูมิสารสนเทศ (GISTDA) ได้พัฒนาระบบการตรวจสอบคุณภาพน้ำในบ่อกุ้งและบ่อปลาด้วยข้อมูลดาวเทียม ร่วมกับเซนเซอร์ภาคพื้นดิน และใช้ปัญญาประดิษฐ์ในการคาดการณ์การเกิดโรคและการบานของแพลงก์ตอน ระบบนี้ได้นำร่องในพื้นที่เพาะเลี้ยงสัตว์น้ำชายฝั่งทะเลตะวันออก ครอบคลุมพื้นที่มากกว่า 50,000 ไร่ และช่วยลดการสูญเสียจากการระบาดของโรคได้อย่างมีนัยสำคัญ (Geo-Informatics and Space Technology Development Agency [GISTDA]. (2023). นอกจากนี้ยังมีการใช้ปัญญาประดิษฐ์ในฟาร์มผักไฮโดรโปนิกส์ เพื่อควบคุมสภาพแวดล้อม เช่น ปริมาณสารอาหาร ความชื้นแสง และความชื้น ซึ่งช่วยเพิ่มคุณภาพและความสม่ำเสมอของผลผลิต พร้อมทั้งลดการใช้ทรัพยากรเกินความจำเป็น บริษัท Living Greens Farm ซึ่งเป็นผู้ผลิตผักไฮโดรโปนิกส์รายใหญ่ในประเทศไทยได้นำระบบ "Automated Climate Control" ที่ใช้ปัญญาประดิษฐ์มาควบคุมสภาพแวดล้อมในโรงเรือนระบบนี้ใช้เซนเซอร์ในการเก็บข้อมูลอุณหภูมิ ความชื้น ระดับ CO₂ และความชื้นแสงแบบเรียลไทม์ จากนั้นใช้ Machine Learning ในการปรับค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ ให้เหมาะสมกับแต่ละชนิดพืชและแต่ละระยะการเจริญเติบโต

นอกจากนี้ยังมีการใช้ Computer Vision ในการตรวจสอบการเจริญเติบโตของพืชและตรวจจับโรคหรือศัตรูพืชในระยะเริ่มต้น ผลการดำเนินงานพบว่าสามารถเพิ่มผลผลิตได้ร้อยละ 30-40 ลดการใช้น้ำได้ร้อยละ 50 และลดการใช้พลังงานได้ร้อยละ 25 เมื่อเทียบกับระบบควบคุมแบบดั้งเดิมโครงการ "Smart Greenhouse" ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรีได้พัฒนาระบบควบคุมโรงเรือนอัจฉริยะสำหรับการปลูกผักและไม้ดอก โดยใช้ปัญญาประดิษฐ์ในการเพิ่มประสิทธิภาพการใช้พลังงานการให้น้ำ และการควบคุมศัตรูพืชแบบชีววิธี ระบบนี้ยังมีการบูรณาการกับระบบพลังงานทดแทน เช่น โซลาร์เซลล์ เพื่อลดต้นทุนและผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม (Jaiganesh et al., 2017) โครงการนี้ได้นำร่องในฟาร์มเกษตรกรในจังหวัดราชบุรีและนครปฐม และได้รับการตอบรับเป็นอย่างดี

3) สตาร์ทอัพเกษตรดิจิทัลของไทยในช่วงไม่กี่ปีที่ผ่านมา มีสตาร์ทอัพด้าน AgriTech ของไทยเกิดขึ้นหลายราย ซึ่งสะท้อนถึงศักยภาพและโอกาสในการพัฒนาเกษตรอัจฉริยะในประเทศไทย

3.1 Ricult เป็นสตาร์ทอัพที่ใช้ AI และ Big Data ในการวิเคราะห์ข้อมูลการเพาะปลูกและให้คำแนะนำเชิงธุรกิจแก่เกษตรกรรายย่อย บริษัทนี้ก่อตั้งขึ้นในปี 2559 และดำเนินงานในประเทศไทย ปากีสถาน และอินโดนีเซีย Ricult ใช้แอปพลิเคชันมือถือในการเก็บรวบรวมข้อมูลจากเกษตรกร เช่น พื้นที่เพาะปลูก ชนิดพืช การใช้ปุ๋ยและสารเคมี และผลผลิตที่ได้ จากนั้นนำข้อมูลเหล่านี้มาวิเคราะห์ด้วยปัญญาประดิษฐ์เพื่อให้คำแนะนำที่เหมาะสมแก่เกษตรกรแต่ละราย (Tan, 2021) นอกจากนี้ Ricult ยังให้บริการเชื่อมโยงเกษตรกรกับสถาบันการเงินเพื่อการเข้าถึงสินเชื่อ และเชื่อมโยงกับผู้ซื้อเพื่อการจำหน่ายผลผลิต โดยใช้ข้อมูลที่เก็บรวบรวมไว้เป็นหลักฐานความน่าเชื่อถือของเกษตรกร (Credit Scoring) ข้อมูลจากบริษัทระบุว่ามีเกษตรกรลงทะเบียนใช้บริการมากกว่า 500,000 ราย ครอบคลุมพื้นที่เพาะปลูกมากกว่า 2 ล้านไร่ และสามารถช่วยเพิ่มรายได้ของเกษตรกรเฉลี่ยร้อยละ 15-25 (Wolfert et al., 2017)

3.2 ListenField เป็นสตาร์ทอัพที่พัฒนาแพลตฟอร์มการเกษตรอัจฉริยะซึ่งรวมข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม เซนเซอร์ และโมเดลปัญญาประดิษฐ์เพื่อการวางแผนการผลิต บริษัทนี้ก่อตั้งขึ้นในปี 2561 โดยทีมวิศวกรและนักวิทยาศาสตร์ข้อมูลจากมหาวิทยาลัยชั้นนำของไทย ListenField ให้บริการวิเคราะห์สุขภาพของพืชผ่านข้อมูลดาวเทียมความละเอียดสูง (Satellite Imagery) และดัชนีความเขียวชดชื่น (NDVI - Normalized Difference Vegetation Index) เพื่อตรวจจับความผิดปกติก่อนที่เกษตรกรจะสังเกตเห็นด้วยตาเปล่าแพลตฟอร์มนี้ยังมีระบบคาดการณ์ผลผลิตที่ใช้ Machine Learning ในการวิเคราะห์ข้อมูลหลายมิติ เช่น สภาพอากาศ การจัดการฟาร์ม และข้อมูลดาวเทียม เพื่อคาดการณ์ผลผลิตล่วงหน้า 30-60 วัน ช่วยให้เกษตรกรและ

ผู้ประกอบการสามารถวางแผนการตลาดและโลจิสติกส์ได้อย่างมีประสิทธิภาพ (ListenField, 2022) ปัจจุบัน ListenField ให้บริการแก่เกษตรกรและบริษัทเกษตรกรรมในพื้นที่มากกว่า 500,000 ไร่ ครอบคลุมพืชหลายชนิด เช่น อ้อย ข้าว ปาล์มน้ำมัน และมันสำปะหลัง

3.3 FarmAi เป็นสตาร์ทอัพที่เน้นการใช้ระบบวิเคราะห์ภาพจากโดรนและกล้องเพื่อประเมินสุขภาพพืชและตรวจหาศัตรูพืชในแปลงเพาะปลูก บริษัทนี้ก่อตั้งขึ้นในปี 2560 และให้บริการด้านการสำรวจพื้นที่การเกษตรด้วยโดรน (Drone Survey) ร่วมกับการวิเคราะห์ภาพด้วย AI FarmAi ใช้เทคโนโลยี Computer Vision และ Deep Learning ในการวิเคราะห์ภาพถ่ายความละเอียดสูงจากโดรน เพื่อสร้างแผนที่สุขภาพพืช (Crop Health Map) ที่แสดงความแตกต่างของสภาพพืชในแต่ละจุดของพื้นที่ระบบของ FarmAi สามารถตรวจจับปัญหาต่างๆ เช่น การขาดน้ำ การขาดธาตุอาหาร โรคพืช และการเข้าทำลายของแมลงศัตรูพืช ด้วยความแม่นยำสูงถึงร้อยละ 90-95 (Ahmed et al., 2021) นอกจากนี้ยังมีบริการวิเคราะห์ภูมิประเทศและความเหมาะสมของพื้นที่สำหรับการเพาะปลูกพืชแต่ละชนิด รวมถึงการวางแผนเส้นทางการให้น้ำและการจัดวางระบบชลประทาน ปัจจุบัน FarmAi ให้บริการแก่เกษตรกรและบริษัทเกษตรกรรมในหลายจังหวัด โดยเฉพาะพื้นที่ปลูกอ้อยในภาคกลางและภาคตะวันออกเฉียงเหนือ

3.4 สตาร์ทอัพอื่น ๆ นอกจากนี้นี้ยังมีสตาร์ทอัพเกษตรดิจิทัลอื่น ๆ ที่น่าสนใจ เช่น eFishery (สาขาประเทศไทย) ที่พัฒนาระบบให้อาหารปลาและกักอัตโนมัติที่ควบคุมด้วยปัญญาประดิษฐ์ Agro Innovation Lab ที่พัฒนาระบบจัดการฟาร์มครบวงจร (Farm Management System) และ Thai AgTech ที่เป็นแพลตฟอร์มเชื่อมโยงเกษตรกรกับเทคโนโลยีและตลาด (Eastwood et al., 2019) การเติบโตของสตาร์ทอัพเกษตรดิจิทัลในประเทศไทยสะท้อนถึงศักยภาพและโอกาสในการพัฒนาภาคเกษตรด้วยเทคโนโลยีปัญญาประดิษฐ์ อย่างไรก็ตาม ยังมีความท้าทายในการขยายขนาดธุรกิจ (Scaling) และการสร้างความยั่งยืนทางธุรกิจ เนื่องจากการลงทุนในเทคโนโลยีปัญญาประดิษฐ์มีต้นทุนสูง และการสร้างความไว้วางใจให้เกษตรกรยอมรับเทคโนโลยีใหม่ต้องใช้เวลา ดังนั้นการสนับสนุนจากภาครัฐและภาคเอกชนจึงมีความสำคัญอย่างยิ่งต่อการเติบโตของอุตสาหกรรม AgriTech ในประเทศไทย (Rotz et al., 2019)

กรอบแนวคิดเกี่ยวกับบทบาทของปัญญาประดิษฐ์ในเกษตรอัจฉริยะของประเทศไทยในยุค 5.0

Figure 4 นำเสนอโมเดลภาพรวมของบทบาทของปัญญาประดิษฐ์ในการพัฒนาเกษตรอัจฉริยะของประเทศไทยในยุค Thailand 5.0 โดยเริ่มจากบริบทของภาคการเกษตรไทยที่ยังคงเผชิญกับปัญหาหลายด้าน เช่น ประสิทธิภาพการผลิตที่ต่ำ ต้นทุนการผลิตที่สูง การขาดแคลนแรงงาน และความผันผวนของสภาพภูมิอากาศ ปัญหาเหล่านี้เป็นปัญหาที่สำคัญที่ทำให้เกิดการนำเทคโนโลยีสมัยใหม่เข้ามาประยุกต์ใช้ในการพัฒนาภาคการเกษตร ปัญญาประดิษฐ์จึงมีบทบาทที่เป็นกลไกกลางเชื่อมโยงระหว่างปัญหาภาคการเกษตรของประเทศกับนโยบายการพัฒนา Thailand 5.0 ที่มุ่งเน้นการขับเคลื่อนเศรษฐกิจด้วยนวัตกรรมและเทคโนโลยีขั้นสูง การบูรณาการปัญญาประดิษฐ์เข้ากับภาคการเกษตรจึงเป็นแนวทางสำคัญในการยกระดับการผลิตจากเกษตรแบบดั้งเดิมไปสู่เกษตรอัจฉริยะที่มีความแม่นยำและยั่งยืนมากขึ้นในระบบเกษตรอัจฉริยะอย่างยั่งยืนปัญญาประดิษฐ์มีบทบาทสำคัญในหลายด้าน ตั้งแต่การจัดการทรัพยากรการผลิตให้เกิดประสิทธิภาพสูงสุด เช่น การใช้น้ำ ปุ๋ย และพลังงานอย่างเหมาะสม การตรวจจับโรคพืชและศัตรูพืชตั้งแต่ระยะเริ่มต้น การคาดการณ์ผลผลิตเพื่อช่วยในการวางแผนการเพาะปลูกและการตลาด ตลอดจนการบริหารจัดการห่วงโซ่อุปทานและตลาด ช่วยลดความสูญเสียและเพิ่มโอกาสทางเศรษฐกิจให้กับเกษตรกร

อย่างไรก็ตาม การนำปัญญาประดิษฐ์มาใช้ในภาคการเกษตรของประเทศไทยยังคงเผชิญกับข้อจำกัดหลายประการ ไม่ว่าจะเป็นข้อจำกัดด้านเงินทุน การขาดทักษะและความรู้ด้านดิจิทัลของเกษตรกร โครงสร้างพื้นฐานทางเทคโนโลยีที่ยังไม่ครอบคลุม รวมถึงนโยบายที่อาจยังไม่ชัดเจนหรือขาดความต่อเนื่อง อุปสรรคเหล่านี้ส่งผลต่อความเร็วและประสิทธิภาพในการนำเทคโนโลยีไปใช้ในระดับพื้นที่แม้จะมีความท้าทายดังกล่าว ผลลัพธ์ที่คาดว่าจะเกิดขึ้นจากการประยุกต์ใช้ปัญญาประดิษฐ์ในระบบเกษตรอัจฉริยะ ได้แก่ การเพิ่มผลผลิตและประสิทธิภาพการผลิต การลดต้นทุน การส่งเสริมเกษตรกรรมอย่างยั่งยืน และการเสริมสร้างความมั่นคงทางอาหารของประเทศในระยะยาว ดังนั้น แผนภาพโมเดลดังกล่าว จึงนำไปสู่ข้อเสนอเชิงนโยบายที่มุ่งเน้นการพัฒนาเทคโนโลยีปัญญาประดิษฐ์ให้เหมาะสมกับบริบทของประเทศไทย การสนับสนุนทางการเงิน การสร้างแรงจูงใจ การพัฒนาทักษะและองค์ความรู้ของเกษตรกร รวมถึงการส่งเสริมความร่วมมือระหว่างภาครัฐ เอกชน และสถาบันการศึกษา เพื่อให้การขับเคลื่อนเกษตรอัจฉริยะในยุค Thailand 5.0 เกิดขึ้นอย่างเป็นรูปธรรมและยั่งยืน

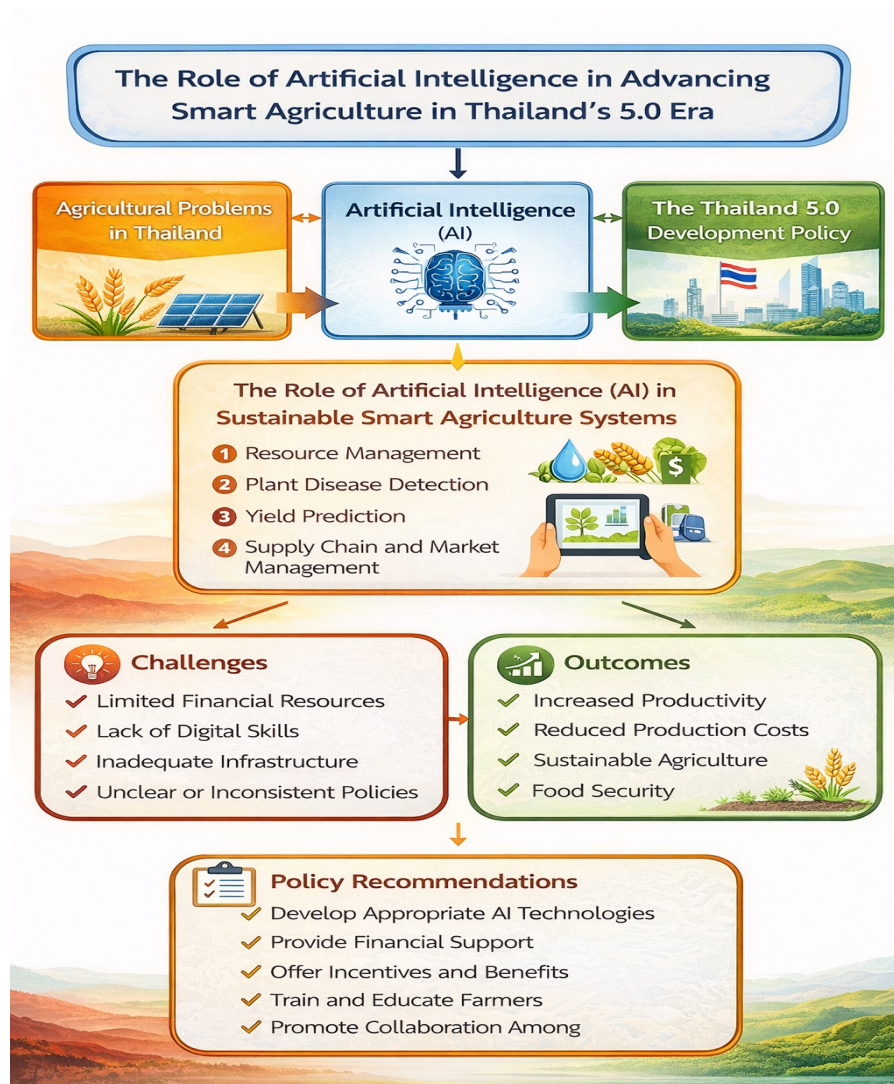


Figure 4 Conceptual framework illustrating the role of artificial intelligence (AI) in driving smart agriculture toward Thailand 5.0 through economic, social, and environmental dimensions.

ข้อเสนอแนะเชิงนโยบายและการพัฒนา ควรมุ่งเน้นไปที่

- 1) การพัฒนานวัตกรรมปัญญาประดิษฐ์ให้สอดคล้องกับบริบทประเทศไทย การพัฒนาปัญญาประดิษฐ์ควรมุ่งเน้นการแก้ปัญหาเฉพาะด้านที่เกษตรกรไทยเผชิญอยู่ เช่น การจัดการโรคพืช การเพิ่มประสิทธิภาพการใช้น้ำ และการคาดการณ์ผลผลิต ทั้งนี้ควรเป็นนวัตกรรมที่มีต้นทุนเหมาะสม สามารถใช้งานได้จริงในฟาร์มรายย่อยและเข้ากับภูมิปัญญาท้องถิ่น
- 2) สนับสนุนงบประมาณและสิทธิประโยชน์แก่เกษตรกรและผู้ประกอบการ ภาครัฐควรจัดสรรงบประมาณและมาตรการจูงใจ เช่น เงินกู้ดอกเบี้ยต่ำ การลดหย่อนภาษี หรือกองทุนสนับสนุนโครงการเกษตรอัจฉริยะ เพื่อส่งเสริมให้เกษตรกรและผู้ประกอบการสามารถลงทุนในเทคโนโลยีปัญญาประดิษฐ์ได้อย่างทั่วถึง
- 3) การอบรมเกษตรกรให้มีทักษะด้านดิจิทัล การพัฒนาเกษตรอัจฉริยะจำเป็นต้องเสริมสร้างทักษะใหม่ให้เกษตรกร โดยเฉพาะการใช้เครื่องมือดิจิทัล การอ่านและตีความข้อมูลจากระบบปัญญาประดิษฐ์และการบริหารจัดการฟาร์มบนแพลตฟอร์มออนไลน์ เพื่อให้เกษตรกรสามารถปรับตัวและใช้เทคโนโลยีได้อย่างมีประสิทธิภาพ
- 4) การสร้างความร่วมมือระหว่างภาครัฐ เอกชน และสถาบันการศึกษา ควรมีการบูรณาการความร่วมมือในลักษณะ Triple Helix Model คือ การทำงานร่วมกันของภาครัฐที่ออกนโยบายสนับสนุน ภาคเอกชนที่ลงทุนและพัฒนาเทคโนโลยี และสถาบันการศึกษาที่ทำหน้าที่วิจัยและสร้างบุคลากรด้านปัญญาประดิษฐ์เพื่อสร้างระบบนิเวศ (Ecosystem) ที่เกื้อหนุนการขับเคลื่อนเกษตรอัจฉริยะในระยะยาว

สรุป

การประยุกต์ใช้ปัญญาประดิษฐ์ในภาคการเกษตรไทยนับเป็นก้าวสำคัญของการเปลี่ยนผ่านสู่เกษตรอัจฉริยะ (Smart Agriculture) ซึ่งสอดคล้องโดยตรงกับแนวทางการพัฒนาประเทศตามนโยบายประเทศไทย 5.0 ที่มุ่งขับเคลื่อนเศรษฐกิจด้วยนวัตกรรม ความยั่งยืน และการมีส่วนร่วมของทุกภาคส่วน ปัญญาประดิษฐ์มีบทบาทอย่างรอบด้าน ตั้งแต่การจัดการทรัพยากรอย่างแม่นยำ การตรวจสอบโรคพืชและศัตรูพืชด้วยระบบประมวลผลภาพ การพยากรณ์ผลผลิตและสภาพภูมิอากาศ ไปจนถึงการบริหารห่วงโซ่อุปทานและการตลาด ซึ่งช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการผลิต ลดต้นทุน และลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม อันสะท้อนถึงความยั่งยืนด้านเศรษฐกิจและสิ่งแวดล้อมของ Thailand 5.0 อย่างไรก็ตาม ความท้าทายที่สำคัญ ได้แก่ ข้อจำกัดด้านเงินลงทุนของเกษตรกรรายย่อย ความเหลื่อมล้ำในการเข้าถึงเทคโนโลยี การขาดทักษะดิจิทัล และโครงสร้างพื้นฐานด้านข้อมูลและอินเทอร์เน็ตที่ยังไม่ครอบคลุม ซึ่งอาจเป็นอุปสรรคต่อการพัฒนาเกษตรอัจฉริยะอย่างทั่วถึง ประเด็นดังกล่าวสะท้อนให้เห็นถึงความจำเป็นของการเติบโตอย่างทั่วถึง ตามแนวคิด Thailand 5.0 ดังนั้น การขับเคลื่อนเกษตรอัจฉริยะด้วยปัญญาประดิษฐ์จึงจำเป็นต้องดำเนินควบคู่กับนโยบายสนับสนุนที่เหมาะสม เช่น การพัฒนานวัตกรรมที่สอดคล้องกับบริบทของเกษตรกรไทย การสนับสนุนงบประมาณและสิทธิประโยชน์ การยกระดับทักษะดิจิทัลของเกษตรกร และการสร้างความร่วมมือระหว่างภาครัฐ เอกชน และสถาบันการศึกษา เพื่อสร้างระบบนิเวศนวัตกรรมทางการเกษตรที่เข้มแข็งในระยะยาว ในอนาคต ปัญญาประดิษฐ์จะไม่เพียงเป็นเทคโนโลยีสนับสนุน แต่จะกลายเป็น กลไกหลักในการสร้างความมั่นคงทางอาหาร เสริมศักยภาพการแข่งขันของสินค้าเกษตรไทย และขับเคลื่อนการพัฒนาเศรษฐกิจของประเทศไทยบนฐานของนวัตกรรมและความยั่งยืนตามเป้าหมายประเทศไทย 5.0

ผลประโยชน์ทับซ้อน

ผู้เขียนขอประกาศว่าบทความนี้ไม่มีผลประโยชน์ทับซ้อน

การร่วมในการเขียนบทความของผู้เขียน

คิดริเริ่มและเขียนต้นฉบับบทความ: ธนพล แพร่งกระโทก. ตรวจสอบต้นฉบับบทความ: รัชดากร พลภักดี.

เอกสารอ้างอิง

- Ahmed, A. A. M., Deo, R. C., Feng, Q., Ghahramani, A., Raj, N., Yin, Z., & Yang, L. (2021). Deep learning hybrid model with Boruta-Random Forest optimizer algorithm for streamflow forecasting with climate mode indices, rainfall, and periodicity. *Journal of Hydrology*, 599(1), 126350. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2021.126350>.
- Bacco, M., Barsocchi, P., Ferro, E., Gotta, A., & Ruggeri, M. (2019). The digitisation of agriculture: A survey of research activities on smart farming. *Array*, 3-4(1), 100009. <https://doi.org/10.1016/j.array.2019.100009>.
- Barbedo, J. G. A. (2019). Plant disease identification from individual lesions and spots using deep learning. *Biosystems Engineering*, 180(1), 96-107. <https://doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2019.02.002>.
- Barragán-Montero, A., Javaid, U., Valdés, G., Nguyen, D., Desbordes, P., Macq, B., Willems, S., Vandewinckele, L., Holmström, M., Löfman, F., Michiels, S., Souris, K., Sterpin, E., & Lee, J. A. (2021). Artificial intelligence and machine learning for medical imaging: A technology review. *Physica Medica*, 83(1), 242-256. <https://doi.org/10.1016/j.ejmp.2021.04.016>.
- Chlingaryan, A., Sukkarieh, S., & Whelan, B. (2018). Machine learning approaches for crop yield prediction and nitrogen status estimation in precision agriculture: A review. *Computers and Electronics in Agriculture*, 151(1), 61-69. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2018.05.012>.
- Deguchi, A., Hirai, C., Matsuoka, H., Nakano, T., Oshima, K., Tai, M., & Tani, S. (2020). What is Society 5.0? In *Society 5.0: A People-centric Super-smart Society*, pp. 1-23. Springer. https://doi.org/10.1007/978-981-15-2989-4_9.
- Eastwood, C., Klerx, L., Ayre, M., & Dela Rue, B. (2019). Managing socio-ethical challenges in the development of smart farming: From a fragmented to a comprehensive approach for responsible research and innovation. *Journal of Agricultural and Environmental Ethics*, 32(5), 741-768. <https://doi.org/10.1007/s10806-017-9704-5>.
- Geo-Informatics and Space Technology Development Agency [GISTDA]. (2023). *Aqua Intelligence Project: Application of space Technology for Aquaculture*. GISTDA. (in Thai).
- Goap, A., Sharma, D., Shukla, A. K., & Krishna, C. R. (2018). An IoT based smart irrigation management system using machine learning and open-source technologies. *Computers and Electronics in Agriculture*, 155(1), 41-49. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2018.09.040>.
- Goodfellow, I., Bengio, Y., & Courville, A. (2016). *Deep Learning*. Retrieved from: <https://mitpress.ubli.sh.com/ebook/deep-learning-preview/107/viii>.

- Intergovernmental Panel on Climate Change [IPCC]. (2022). **Climate Change 2022: Impacts, Adaptation and Vulnerability**. Retrieved from: <https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg2/>.
- Jaiganesh, S., Gunaseelan, K., & Ellappan, V. (2017). IOT agriculture to improve food and farming technology. In **2017 Conference on Emerging Devices and Smart Systems**, pp. 260–266. Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE).
- Jha, K., Doshi, A., Patel, P., & Shah, M. (2019). A comprehensive review on automation in agriculture using artificial intelligence. **Artificial Intelligence in Agriculture**, 2, 1–12. <https://doi.org/10.1016/j.aiia.2019.05.004>.
- Kamilaris, A., & Prenafeta-Boldú, F. X. (2018). Deep learning in agriculture: A survey. **Computers and Electronics in Agriculture**, 147(1), 70–90. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2018.02.016>.
- Kaplan, A., & Haenlein, M. (2019). Siri, Siri, in my hand: Who's the fairest in the land? On the interpretations, illustrations, and implications of artificial intelligence. **Business Horizons**, 62(1), 15–25. <https://doi.org/10.1016/j.bushor.2018.08.004>.
- Ken Research. (2024). **Thailand Artificial Intelligence Ai Data Center Market**. Retrieved from: <https://www.kenresearch.com/thailand-artificial-intelligence-ai-data-center-market>.
- Liakos, K. G., Busato, P., Moshou, D., Pearson, S., & Bochtis, D. (2018). Machine learning in agriculture: A review. **Sensors**, 18(8), 2674. <https://doi.org/10.3390/s18082674>.
- ListenField. (2022). **AI-Powered Precision Agriculture Platform**. Retrieved from: <https://www.listenfield.com/technologies>
- Ministry of Agriculture and Cooperatives. (2023). **Agricultural and Cooperative Development Plan B.E. 2566–2570 (2023–2027)**. Ministry of Agriculture and Cooperatives. (in Thai).
- National Economic and Social Development Council. (2021). **Guidelines for Driving the BCG Economy of Thailand**. National Economic and Social Development Council. (in Thai).
- National Economic and Social Development Council. (2022). **The 13th National Economic and Social Development Plan, B.E. 2566–2570 (2023–2027)**. Office of the Prime Minister. (in Thai).
- National Science and Technology Development Agency [NSTDA]. (2023). **Smart Agriculture System Using IoT and AI**. National Electronics and Computer Technology Center (NECTEC). (in Thai).
- National Statistical Office. (2022a). **Household Socio-Economic Survey B.E. 2565 (2022)**. National Statistical Office. (in Thai).
- National Statistical Office. (2022b). **Labor Force Survey, Quarter 4, B.E. 2565 (2022)**. Ministry of Digital Economy and Society. (in Thai).
- Nimpanich, N., Mansamut, C., Khongpeim, P., & Prangkratok, T. (2025). The use of 5G technology to support sustainable agriculture in Thailand. **Journal of Science and Technology Dhonburi Rajabhat University**, 3(1), B1–B11. <https://li04.tci-thaijo.org/index.php/scidru/article/view/4725>. (in Thai).
- Office of Agricultural Economics. (2023). **Situation of Agricultural Products and Trade of Thailand, B.E. 2566 (2023)**. Ministry of Agriculture and Cooperatives. (in Thai).
- Patrício, D. I., & Rieder, R. (2018). Computer vision and artificial intelligence in precision agriculture for grain crops: A systematic review. **Computers and Electronics in Agriculture**, 153(1), 69–81. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2018.08.001>.
- Pattanayak, S. K., Loganathan, R., & Nath, S. K. (2017). Smart agriculture using IoT. In **2017 8th IEEE Annual Information Technology, Electronics and Mobile Communication Conference**, pp. 278–280. Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE).
- Poapongsakorn, N., & Meethom, P. (2020). **The Impact of COVID-19 on Thailand's Agriculture in COVID-19 and Food Systems in Asia (PRCI Research Paper No. 4)**. ADB Institute. Retrieved from: https://www.canr.msu.edu/prci/PRCI-Research-Paper-4-Thailand_updated.pdf.
- Prangkratok, T., & Khongpeim, P. (2025). Situation and trends in the application of Internet of Things (IoT) integration for smart plant farms in Thailand. **Journal of Industrial Education**, 24(1), C1–C10. <https://doi.org/10.55003/JIE.24103>. (in Thai).
- Rigg, J., Phongsiri, M., Promphakping, B., Salamanca, A., & Sripun, M. (2019). Who will tend the farm? Interrogating the ageing Asian farmer. **The Journal of Peasant Studies**, 47(2), 306–325. <https://doi.org/10.1080/03066150.2019.1572605>.
- Rotz, S., Gravely, E., Mosby, I., Duncan, E., Finnis, E., Horgan, M., & Fraser, E. (2019). Automated pastures and the digital divide: How agricultural technologies are shaping labour and rural communities. **Journal of Rural Studies**, 68(1), 112–122. <https://doi.org/10.1016/j.jrurstud.2019.01.023>.
- Russell, S. J., & Norvig, P. (2021). **Artificial Intelligence: A Modern Approach**. Pearson Education Limited.
- Sharma, R., Kamble, S. S., Gunasekaran, A., Kumar, V., & Kumar, A. (2022). Machine learning for sustainable agriculture supply chain. **Computers & Operations Research**, 119(1), 104926. <https://doi.org/10.1016/j.cor.2020.104926>.
- Tan, C. (2021). **Thailand start-up Ricult has Mobile App Aesigned to Boost Crop Yields**. Retrieved from: <https://www.cnbc.com/2021/11/29/thailand-start-up-ricult-has-mobile-app-designed-to-boost-crop-yields.html>.
- Thailand Institute of Scientific and Technological Research [TISTR]. (2022). **Project Performance Report: Smart Cassava**. TISTR. (in Thai).

- Trendov, N. M., Varas, S., & Zeng, M. (2019). **Digital Technologies in Agriculture and Rural Areas**. Food and Agriculture Organization (FAO). Retrieved from: <https://openknowledge.fao.org/bitstreams/885161de-dccf-4589-8376-07fe37b68799/download>
- van Klompenburg, T., Kassahun, A., & Catal, C. (2020). Crop yield prediction using machine learning: A systematic review. **Computers and Electronics in Agriculture**, 177(1), 105709. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2020.105709>.
- Wolfert, S., Ge, L., Verdouw, C., & Bogaardt, M. J. (2017). Big data in smart farming: A review. **Agricultural Systems**, 153(1), 69–80. <https://doi.org/10.1016/j.agsy.2017.01.023>.
- Zhai, Z., Martinez, J. F., Beltran, V., & Martinez, N. L. (2020). Decision support systems for agriculture 4.0. **Computers and Electronics in Agriculture**, 170(1), 105256. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2020.105256>.
- Zhang, Y., Wang, L., & Sun, W. (2020). AI in agricultural supply chain management. In **Proceedings of International Conference on Big Data and Artificial Intelligence 2020**, pp. 145–150. Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE).

ความเชื่อมั่นของผู้บริโภคในการบริโภคสินค้าเกษตรอินทรีย์ในประเทศไทย

Consumer's Trust in the Consumption of Organic Agricultural Products in Thailand

ณัฐวรี ทองด้ง¹ และพนามาต ตริวรรณกุล^{1*}

Natthawaree Thongdet¹ and Panamas Treewannakul^{1*}

Received date: 6 ส.ค. 68 Revised date: 1 พ.ย. 68 Accepted date: 3 พ.ย. 68

DOI: <https://doi.org/10.55003/kmaj.2026.268558>

บทคัดย่อ

การวิจัยครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษา 1) ข้อมูลพื้นฐานส่วนบุคคล การรับรู้คุณค่า และความรู้เกี่ยวกับสินค้าเกษตรอินทรีย์ 2) พฤติกรรมการบริโภคสินค้าเกษตรอินทรีย์ 3) ความเชื่อมั่นในการบริโภคสินค้าเกษตรอินทรีย์ และ 4) ปัจจัยที่มีความสัมพันธ์กับความเชื่อมั่นในการบริโภคสินค้าเกษตรอินทรีย์ จำนวน 385 คน สุ่มตัวอย่างแบบบังเอิญ เก็บข้อมูลโดยใช้แบบสอบถามออนไลน์ผ่านเพจเฟซบุ๊ก วิเคราะห์ข้อมูลโดยใช้สถิติเชิงพรรณนา ได้แก่ ค่าความถี่ ค่าร้อยละ และค่าเฉลี่ย และสถิติเชิงอนุมาน ได้แก่ ค่าไคสแควร์ และค่าสหสัมพันธ์แบบเพียร์สัน

ผลการศึกษาพบว่า ผู้บริโภคส่วนใหญ่เป็นเพศหญิง ร้อยละ 71.69 มีอายุเฉลี่ย 38.36 ปี จบการศึกษาระดับปริญญาตรี ร้อยละ 61.56 อาชีพข้าราชการ ร้อยละ 40.00 รายได้เฉลี่ย 42,506.85 บาท/เดือน สถานภาพโสด ร้อยละ 59.22 ผู้บริโภค ร้อยละ 86.49 รับรู้คุณค่าสินค้าเกษตรอินทรีย์ในระดับมาก และร้อยละ 75.84 มีความรู้เกี่ยวกับสินค้าเกษตรอินทรีย์ในระดับปานกลาง (คะแนนเฉลี่ย 16.17 จากคะแนนเต็ม 27 คะแนน) มีพฤติกรรมการบริโภค โดยซื้อพืชผัก ร้อยละ 78.10 ซื้อจากหน้าร้าน ร้อยละ 77.10 ซื้อในวันหยุดสุดสัปดาห์ ร้อยละ 49.30 ค่าใช้จ่ายในการซื้อน้อยกว่า 500 บาท/ครั้ง ร้อยละ 59.00 เหตุผลในการซื้อเพราะคุณภาพ ร้อยละ 62.90 และซื้อเพื่อตนเอง ร้อยละ 59.40 ผู้บริโภคมีความเชื่อมั่นในการบริโภคสินค้าเกษตรอินทรีย์ในระดับมากที่สุด (ค่าเฉลี่ย 4.33) ทั้ง 4 ด้าน ได้แก่ ด้านสุขภาพ ด้านนิเวศวิทยา ด้านความเป็นธรรม และด้านการดูแลเอาใจใส่ อีกทั้งพบว่าอาชีพ และสถานภาพสมรส มีความสัมพันธ์กับความเชื่อมั่นในการบริโภคสินค้าเกษตรอินทรีย์ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) การรับรู้คุณค่าสินค้าเกษตรอินทรีย์มีความสัมพันธ์เชิงบวกกับความเชื่อมั่นในการบริโภคสินค้าเกษตรอินทรีย์ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.01$) กล่าวคือ การสร้างการรับรู้คุณค่าสินค้าเกษตรอินทรีย์มีบทบาทสำคัญอย่างยิ่งต่อการเสริมสร้างความเชื่อมั่นของผู้บริโภค ซึ่งใช้เป็นแนวทางกำหนดนโยบายการสื่อสาร การตลาด และการส่งเสริมการบริโภคสินค้าเกษตรอินทรีย์อย่างยั่งยืน

คำสำคัญ: ความเชื่อมั่นของผู้บริโภค การบริโภค สินค้าเกษตรอินทรีย์ การรับรู้คุณค่า

Abstract

The objectives of this research were to study: 1) basic demographic characteristics, value perception, and knowledge regarding organic agricultural products; 2) consumption behavior; 3) consumers' trust; and 4) factors related to consumers' trust in organic agricultural products among 385 consumers in Thailand. Data were collected via online questionnaires distributed through a Facebook page using convenience sampling. Descriptive statistics (frequency, percentage, and mean) and inferential statistics (Chi-square and Pearson correlation) were utilized for data analysis.

The results revealed that the majority of consumers were female (71.69%), with an average age of 38.36 years. Most held a bachelor's degree (61.56%), were government or state enterprise employees (40.00%), had an average monthly income of 42,506.85 baht, and were single (59.22%). Regarding perceptions, 86.49% of consumers demonstrated a high level of value perception, while 75.84% had a moderate level of knowledge (mean score of 16.17 out of 27). Consumption behaviors included purchasing vegetables (78.10%), buying from retail stores (77.10%), shopping on weekends (49.30%), spending less than 500 baht per visit (59.00%), prioritizing quality (62.90%), and purchasing for self-consumption (59.40%). Furthermore, consumers reported the highest level of trust in organic products (mean = 4.33) across all four dimensions: health, ecology, fairness, and care. Hypothesis testing indicated that occupation and marital status were significantly correlated with consumers' trust ($p < 0.05$). Additionally, perceived value showed a significant positive correlation with trust ($p < 0.01$),

¹ ภาควิชาส่งเสริมและนิเทศศาสตร์เกษตร คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ กรุงเทพมหานคร 10900

¹ Department of Agricultural Extension and Communication, Faculty of Agriculture, Kasetsart University, Bangkok 10900

* Corresponding author: panamas.t@ku.th

suggesting that enhancing value perception is crucial for building consumer trust. These findings serve as a guideline for developing communication strategies, marketing policies, and the sustainable promotion of organic product consumption.

Keywords: consumer's trust, consumption, organic agricultural products, value perception

คำนำ

สินค้าเกษตรอินทรีย์ คือ สินค้าที่ได้จากผลผลิตทางการเกษตรปราศจากการใช้ปุ๋ยเคมี และการใช้สารเคมีกำจัดศัตรูพืช ที่เป็นวัตถุดิบทางการเกษตร ใช้เมล็ดพันธุ์ที่ไม่ตัดต่อพันธุกรรม และไม่มีการฉายรังสี สินค้าเกษตรอินทรีย์จึงมักมีราคาแพงกว่าสินค้าเกษตรทั่วไป แต่มีข้อดีคือ ทำให้ผู้บริโภคแน่ใจได้ว่าอาหารที่รับประทานเข้าไปมีความปลอดภัยจากอันตรายทางเคมี โดยเฉพาะจากวัตถุที่เป็นอันตรายทางการเกษตร ซึ่งใช้อย่างแพร่หลายทั้งในพืชผักและผลไม้แทบทุกชนิด จากกระแสสิ่งแวดล้อม และการตื่นตัวในการดูแลสุขภาพ กระตุ้นให้ผู้บริโภคหันมาสนใจซื้อสินค้าเกษตรอินทรีย์กันมากขึ้น (Wansasueb et al., 2019) และส่งผลให้ตลาดสินค้าเกษตรอินทรีย์มีแนวโน้มขยายตัวเพิ่มขึ้น ทั้งในด้านการผลิตและการบริโภคซึ่งเป็นผลมาจากการที่ประชาชนมีความตระหนักและใส่ใจดูแลสุขภาพมากขึ้น ส่งผลให้ผู้ผลิตต้องเร่งยกระดับมาตรฐานการผลิตสินค้า โดยคำนึงถึงคุณภาพ ความสะอาด และสุขอนามัยตามหลักมาตรฐานสากล (Uthaiwattananon and Nilbai, 2023) โดยสินค้าเกษตรในประเทศไทยนั้นมีการผลิตหลากหลายรูปแบบ ทำให้ต้องมีการจัดตั้งเครื่องหมายรับรองสินค้าเกษตรทั้งสินค้าเกษตรปลอดภัยและสินค้าเกษตรอินทรีย์ขึ้น เพื่อควบคุมกระบวนการผลิตให้ถูกต้องตามหลักมาตรฐาน ด้วยเหตุนี้เครื่องหมายรับรองสินค้าเกษตรจึงมีความสำคัญ โดยมีส่วนช่วยให้ผู้บริโภคทราบกระบวนการผลิตและประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากสินค้านั้น ๆ ทั้งนี้ การรับรองมาตรฐานจะทำให้ผู้บริโภคมีความเชื่อมั่นในสินค้าเกษตรอินทรีย์ สนับสนุนการส่งออก เพิ่มศักยภาพในการแข่งขัน และยังเป็นการยกระดับสินค้าเกษตรอินทรีย์ของไทยไปสู่สินค้าที่มีมาตรฐานระดับโลก (Sangkumchaliang and Pakdee, 2016)

สินค้าเกษตรอินทรีย์ในประเทศไทยมีเครื่องหมายรับรองที่หลากหลายทั้งภาครัฐและภาคเอกชน ในภาครัฐ ได้แก่ Organic Thailand (OT) ซึ่งเป็นมาตรฐานระดับชาติของกระทรวงเกษตรและสหกรณ์ ในภาคเอกชน ได้แก่ Organic Agriculture Certification Thailand (OACT) เป็นการรับรองมาตรฐานของสำนักงานมาตรฐานเกษตรอินทรีย์ (มกท.) และ IFOAM Accredited (IFOAM_OACT) ของสหพันธ์เกษตรอินทรีย์นานาชาติ (IFOAM) (Paopeng et al., 2021) นอกจากนี้ ยังมีเครื่องหมายรับรองความปลอดภัยทางอาหารที่โดดเด่นในตลาดของไทยโดยเฉพาะกับสินค้าผักและผลไม้สด นั่นคือ Q mark ซึ่งเป็นการรับรองมาตรฐานการปฏิบัติทางการเกษตรที่ดี (Good Agricultural Practices: GAP) ในระดับฟาร์ม (Wongprawmas et al., 2015) อย่างไรก็ตามจากการศึกษาพบว่า ผู้บริโภคมีความสับสนในความหมายของเครื่องหมายรับรองมาตรฐานที่เกี่ยวกับความปลอดภัยและเครื่องหมายรับรองเกษตรอินทรีย์ที่มีอยู่เป็นจำนวนมาก ทำให้ผู้บริโภคไม่สามารถเลือกซื้อสินค้าได้ตรงตามความต้องการ โดยส่วนใหญ่ผู้บริโภคในประเทศไทยจะรู้จัก Q mark มากกว่าเครื่องหมายรับรองเกษตรอินทรีย์ ซึ่งเครื่องหมายรับรองเกษตรอินทรีย์ที่ผู้บริโภครู้จักมากที่สุดคือ Organic Thailand (OT) ซึ่งเป็นมาตรฐานเกษตรอินทรีย์ของภาครัฐมากกว่าภาคเอกชน โดยที่ผู้บริโภคสินค้าเกษตรอินทรีย์จะรู้จักเครื่องหมายรับรองมากกว่าผู้ที่ไม่บริโภค เนื่องจากผู้บริโภคใช้เครื่องหมายรับรองเป็นข้อมูลในการเลือกซื้อสินค้านั้น (Sangkumchaliang and Pakdee, 2016)

จากการศึกษาวิจัยเพิ่มเติมของ Nina and Inken (2023) พบว่า ผู้บริโภคยังขาดความเชื่อมั่นในสินค้าเกษตรอินทรีย์ ซึ่งสาเหตุหลักมาจากความสงสัยในกระบวนการผลิตสินค้าเกษตรอินทรีย์และความโปร่งใสในภาคส่วนการผลิต อาจเนื่องจากผู้บริโภคยังมีความรู้ที่ไม่เพียงพอ ซึ่งผู้บริโภคมองว่า ความสามารถในการตรวจสอบข้อมูล และความโปร่งใส เป็นองค์ประกอบสำคัญที่จะสามารถสร้างความเชื่อมั่นให้กับสินค้าเกษตรอินทรีย์ รวมทั้งการให้ความรู้ที่ถูกต้องเกี่ยวกับสินค้าเกษตรอินทรีย์ยังสามารถช่วยเพิ่มความเชื่อมั่นนี้ได้ทางบวก โดย Luigina et al. (2020) ได้กล่าวสรุปไว้ว่า อุปสรรคสำคัญที่จำกัดพฤติกรรมการบริโภคอย่างเป็นวงกว้าง นั่นคือ การขาดความรู้และความเชื่อมั่นในสินค้าเกษตรอินทรีย์ นอกจากนี้ Nuttavuthisit and Thogersen (2017) ได้สรุปไว้อีกว่า การขาดความเชื่อมั่นของผู้บริโภคต่อการรับรองเกษตรอินทรีย์ของไทยเป็นส่วนหนึ่งที่จะส่งผลเชิงลบต่อพฤติกรรมการซื้อสินค้าเกษตรอินทรีย์ซึ่งจะเป็นอุปสรรคต่อการปรับปรุงและพัฒนาตลาดเกษตรอินทรีย์ อีกทั้งงานวิจัยของ Irfana and Aashiq (2023) กล่าวว่า ทศนคติ การตระหนักรู้ด้านสุขภาพ บรรทัดฐานทางสังคม และความกังวลด้านสิ่งแวดล้อม มีผลต่อการรับรู้ของผู้บริโภคเกี่ยวกับสินค้าเกษตรอินทรีย์ ซึ่งมีอิทธิพลต่อการตัดสินใจซื้อสินค้าเกษตรอินทรีย์ของผู้บริโภค สะท้อนให้เห็นว่า ภาคส่วนที่เกี่ยวข้องจะต้องเข้ามาสร้างความตระหนักรู้ เพื่อให้ผู้บริโภคเข้าใจถึงกระบวนการผลิตสินค้าเกษตรอินทรีย์ที่มีความโปร่งใสและเป็นธรรม ซึ่งเป็นการสร้างความเชื่อมั่นให้กับผู้บริโภค ที่จะนำไปสู่พฤติกรรมการบริโภคสินค้าเกษตรอินทรีย์ที่เพิ่มมากขึ้น

ผู้วิจัยจึงเห็นความสำคัญในการศึกษาความเชื่อมั่นของผู้บริโภคในการบริโภคสินค้าเกษตรอินทรีย์ เพื่อนำข้อมูลที่ได้ไปเป็นแนวทางในการสร้างการรับรู้ และให้ความรู้เกี่ยวกับสินค้าเกษตรอินทรีย์ที่ถูกต้อง รวมถึงการพัฒนาตลาดสินค้าเกษตรอินทรีย์ ที่ตรงตามความต้องการและสามารถสร้างความเชื่อมั่นให้กับผู้บริโภคได้ อีกทั้งช่วยลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม ซึ่งจะช่วยสร้างระบบการเกษตรที่ยั่งยืน

วิธีการศึกษา

ประชากรในการศึกษารั้งนี้ คือ ผู้บริโภคสินค้าเกษตรอินทรีย์ในประเทศไทย โดยการศึกษาครั้งนี้ไม่ทราบจำนวนประชากรที่แน่นอน จึงกำหนดขนาดตัวอย่างโดยใช้สูตร Cochran (1977) ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 ได้ขนาดกลุ่มตัวอย่างจำนวน 385 คน โดยการสุ่มตัวอย่างแบบบังเอิญ (Accidental Sampling) เก็บรวบรวมข้อมูลผ่านเว็บไซต์ <http://docs.google.com> ในวันที่ 1-31 มีนาคม พ.ศ. 2568 ด้วยแบบสอบถามออนไลน์ ผ่านเพจเฟซบุ๊กที่มีการสื่อสารข้อมูลเกี่ยวกับเกษตรอินทรีย์มากกว่าหนึ่งปี และมีจำนวนสมาชิกเพจมากกว่า 10,000 คน จำนวน 6 เพจ ได้แก่ 1) เกษตรอินทรีย์ผสมผสาน 2) เกษตรอินทรีย์ เกษตรพอเพียง เกษตรทฤษฎีใหม่ แนะนำ แลกเปลี่ยนความรู้ 3) ตลาดผลิตผลคนทำเกษตรอินทรีย์ 4) กลุ่มตลาดนิตดอร์แกนิก (เกษตรอินทรีย์) 5) เกษตรอินทรีย์ และ 6) เกษตรอินทรีย์วิถีพอเพียง

แบบสอบถามประกอบด้วยคำถามปลายปิด (Closed Question) และคำถามปลายเปิด (Open-ended Question) แบ่งเป็น 5 ตอน ดังนี้ ตอนที่ 1 ข้อมูลพื้นฐานส่วนบุคคลของผู้บริโภค จำนวน 8 ข้อ ตอนที่ 2 การรับรู้คุณค่าสินค้าเกษตรอินทรีย์ของผู้บริโภค ตามหลักการเกษตรอินทรีย์ 4 ด้าน และด้านการบริโภคสินค้าเกษตรอินทรีย์ รวมจำนวน 24 ข้อ ได้แก่ ด้านสุขภาพ (Health) ด้านนิเวศวิทยา (Ecology) ด้านความเป็นธรรม (Fairness) ด้านการดูแลเอาใจใส่ (Care) และด้านการบริโภค (Consumption) กำหนดการวัดอัตราภาคขั้น (Interval Scale) แบ่งเป็น 3 ระดับ ดังนี้ ผู้บริโภคระบุการรับรู้คุณค่า 0 – 8 ข้อ หมายถึง รับรู้คุณค่าระดับน้อย ผู้บริโภคระบุการรับรู้คุณค่า 9 – 16 ข้อ หมายถึง รับรู้คุณค่าระดับปานกลาง และผู้บริโภคระบุการรับรู้คุณค่า 17 – 24 ข้อ หมายถึง รับรู้คุณค่าระดับมาก ตอนที่ 3 ความรู้เกี่ยวกับสินค้าเกษตรอินทรีย์ จำนวน 27 ข้อ กำหนดการวัดอัตราภาคขั้น (Interval Scale) แบ่งเป็น 3 ระดับ ดังนี้ ความรู้ระดับน้อย 0 – 9 คะแนน ความรู้ระดับปานกลาง 10 – 18 คะแนน และความรู้ระดับมาก 19 – 27 คะแนน ตอนที่ 4 พฤติกรรมการบริโภคสินค้าเกษตรอินทรีย์ จำนวน 8 ข้อ ตอนที่ 5 ความเชื่อมั่นในการบริโภคสินค้าเกษตรอินทรีย์ จำนวน 20 ข้อ ประกอบไปด้วย 4 ด้าน ได้แก่ ด้านสุขภาพ (Health) ด้านนิเวศวิทยา (Ecology) ด้านความเป็นธรรม (Fairness) และด้านการดูแลเอาใจใส่ (Care) ข้อคำถามเป็นแบบมาตราส่วนประมาณค่า (Rating Scale) แบ่งเป็น 5 ระดับ ดังนี้ ค่าเฉลี่ย 1.00 – 1.80 หมายถึง มีความเชื่อมั่นระดับน้อยที่สุด ค่าเฉลี่ย 1.81 – 2.60 หมายถึง มีความเชื่อมั่นระดับน้อย ค่าเฉลี่ย 2.61 – 3.40 หมายถึง มีความเชื่อมั่นระดับปานกลาง ค่าเฉลี่ย 3.41 – 4.20 หมายถึง มีความเชื่อมั่นระดับมาก และค่าเฉลี่ย 4.21 – 5.00 หมายถึง มีความเชื่อมั่นระดับมากที่สุด

การหาความเชื่อมั่น (Reliability) ของเครื่องมือ โดยนำแบบสอบถามไปทดสอบกับกลุ่มผู้บริโภคที่ใกล้เคียงกลุ่มตัวอย่าง โดยทดสอบกับสมาชิกเพจชมรมเกษตรอินทรีย์ก้าวหน้า จำนวน 30 คน และหาค่าคูเดอร์ ริชาร์ดสัน – 20 (Kuder Richardson – 20) ของความรู้เกี่ยวกับสินค้าเกษตรอินทรีย์ มีค่าเท่ากับ 0.707 และค่าสัมประสิทธิ์อัลฟาของครอนบาค (Cronbach's Alpha Coefficient) ของการรับรู้คุณค่า และความเชื่อมั่นในการบริโภคสินค้าเกษตรอินทรีย์ มีค่าเท่ากับ 0.901 และ 0.722 ตามลำดับ สำหรับสถิติที่ใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูลพื้นฐานส่วนบุคคล การรับรู้คุณค่าสินค้าเกษตรอินทรีย์ ความรู้เกี่ยวกับสินค้าเกษตรอินทรีย์ พฤติกรรมการบริโภค และความเชื่อมั่นในการบริโภคสินค้าเกษตรอินทรีย์ ได้แก่ สถิติเชิงพรรณนา ประกอบด้วยค่าความถี่ ค่าร้อยละ และค่าเฉลี่ย และใช้สถิติเชิงอนุมานในวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างข้อมูลพื้นฐานส่วนบุคคล (เพศ ระดับการศึกษา ภูมิภาค ของที่อยู่ อาชีพ และสถานภาพสมรส) กับความเชื่อมั่นในการบริโภคสินค้าเกษตรอินทรีย์ ด้วยการวิเคราะห์ค่าไคสแควร์ (Chi-Square) และศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างข้อมูลพื้นฐานส่วนบุคคล (อายุ รายได้เฉลี่ยต่อเดือน) ค่าใช้จ่ายในการซื้อสินค้าเกษตรอินทรีย์ การรับรู้คุณค่า และความรู้เกี่ยวกับสินค้าเกษตรอินทรีย์กับความเชื่อมั่นในการบริโภคสินค้าเกษตรอินทรีย์ ด้วยการวิเคราะห์ค่าสหสัมพันธ์แบบเพียร์สัน (Pearson's Correlation)

ผลการศึกษาและวิจารณ์

ข้อมูลพื้นฐานส่วนบุคคล

ผู้บริโภคส่วนใหญ่เป็นเพศหญิง ร้อยละ 71.69 ที่มีความสนใจในสินค้าเกษตรอินทรีย์ โดยผู้บริโภคมีอายุเฉลี่ย 38.36 ปี ซึ่งอยู่ในช่วงวัยทำงาน และจบการศึกษาในระดับปริญญาตรี ร้อยละ 61.56 อาศัยอยู่ในกรุงเทพมหานครมากที่สุด ร้อยละ 28.57

สถานภาพโสด ร้อยละ 59.22 ประกอบอาชีพข้าราชการและพนักงานของรัฐมากที่สุด ร้อยละ 40.00 โดยมีรายได้เฉลี่ย 42,506.85 บาท/เดือน ซึ่งมีรายได้ที่เพียงพอในการดำรงชีพ จะเห็นได้ว่า ผู้บริโภคโดยส่วนใหญ่ที่เป็นเพศหญิงมีความสนใจในสินค้าเกษตรอินทรีย์ จบการศึกษาระดับปริญญาตรี ซึ่งมีความรู้มากพอที่จะสามารถตัดสินใจเลือกซื้อสินค้าเกษตรอินทรีย์ รวมถึงมีรายได้เพียงพอที่จะใช้จ่ายในการบริโภคสินค้าเกษตรอินทรีย์ได้ สอดคล้องกับงานวิจัยของ Latifa and Rami (2023) กล่าวว่า ผู้บริโภคที่มีความสนใจในสินค้าเกษตรอินทรีย์ส่วนใหญ่เป็นเพศหญิง ร้อยละ 53.00 มีอายุอยู่ในช่วงระหว่าง 18–24 ปี และ 25–34 ปี ร้อยละ 72.30 ซึ่งสามารถพูดคุยเกี่ยวกับประสบการณ์ที่มีต่อสินค้าเกษตรอินทรีย์ได้ โดยมีระดับการศึกษาอยู่ในระดับปริญญาตรี หรือปริญญาโท ร้อยละ 96.50 ซึ่งมีแนวโน้มที่จะศึกษาข้อมูลอย่างมีวิจารณญาณในการตัดสินใจเลือกซื้อสินค้าเกษตรอินทรีย์ และมีรายได้ต่อเดือนในระดับสูง ร้อยละ 86.00 ซึ่งมีกำลังในการซื้อสินค้าเกษตรอินทรีย์ อีกทั้งได้สรุปไว้ว่า เพศหญิงมีความตระหนักรู้เกี่ยวกับสินค้าเกษตรอินทรีย์มากกว่าเพศชาย โดยผู้บริโภคที่อายุน้อยกว่าวัยเรียนหรือวัยทำงานมีแนวโน้มที่จะมีความรู้เชิงวัตถุดิบสูงกว่าผู้สูงวัย เกิดจากการได้รับอิทธิพลจากแหล่งข้อมูล แคมเปญและกลยุทธ์ทางการตลาด จึงจำเป็นต้องเน้นย้ำถึงข้อเท็จจริงที่ว่า คุณลักษณะของสินค้าเกษตรอินทรีย์แตกต่างจากสินค้าทั่วไป โดยใช้ช่องทางการให้ข้อมูลที่น่าเชื่อถือ อีกทั้งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Wansasueb et al. (2019) กล่าวว่า เพศหญิงจะมีอิทธิพลต่อการซื้ออาหารเกษตรอินทรีย์ เนื่องจากส่วนใหญ่เพศหญิงมักเป็นผู้จัดเตรียมและดูแลเรื่องอาหารให้กับครอบครัว จึงให้ความใส่ใจต่อสุขภาพของคนในครอบครัว

การรับรู้คุณค่าสินค้าเกษตรอินทรีย์

ผู้บริโภคมีการรับรู้คุณค่าสินค้าเกษตรอินทรีย์มากที่สุดใน 2 ลำดับแรก ในแต่ละด้าน ประกอบด้วย 1) ด้านสุขภาพ (Health) ผู้บริโภครับรู้มากที่สุดในเรื่องสินค้าเกษตรอินทรีย์มีการจัดการการผลิตอย่างพิถีพิถันเพื่อปกป้องสุขภาพของผู้บริโภค (ร้อยละ 91.43) และสินค้าเกษตรอินทรีย์เป็นสินค้าที่ไม่มีสารพิษตกค้าง (ร้อยละ 91.17) เนื่องจากมีการสื่อสารด้านเกษตรอินทรีย์โดยเน้นย้ำการสื่อสารในเรื่องการบริโภคและการไม่มีสารพิษตกค้าง 2) ด้านนิเวศวิทยา (Ecology) ผู้บริโภครับรู้มากที่สุดในเรื่องเกษตรอินทรีย์สามารถเพิ่มมูลค่าสินค้าเกษตรได้ (ร้อยละ 94.29) และสินค้าเกษตรอินทรีย์ช่วยทำให้สิ่งแวดล้อมดีขึ้น (ร้อยละ 91.43) ผู้บริโภคจึงยอมจ่ายสินค้าเกษตรอินทรีย์ในราคาที่สูงกว่าราคาสินค้าที่ไม่ใช่การผลิตในระบบอินทรีย์ เพื่อมีส่วนร่วมในการปกป้องสิ่งแวดล้อม 3) ด้านความเป็นธรรม (Fairness) ผู้บริโภครับรู้มากที่สุดในเรื่องเกษตรอินทรีย์มุ่งหวังที่จะสร้างความมั่นคงในการทำการเกษตร รวมถึงอนุรักษ์และฟื้นฟูวิถีชีวิตของชุมชนเกษตรกรรม (ร้อยละ 92.21) และสินค้าเกษตรอินทรีย์ส่งผลต่อคุณภาพชีวิตที่ดีขึ้นให้กับเกษตรกรและผู้บริโภค (ร้อยละ 91.95) แสดงให้เห็นว่าเกษตรอินทรีย์สร้างความยั่งยืนให้กับสุขภาพของผู้ผลิตและผู้บริโภค อีกทั้งอยู่บนรากฐานของระบบนิเวศวิทยา รวมถึงสอดคล้องกับวิถีแห่งธรรมชาติ และสิ่งแวดล้อม 4) ด้านการดูแลเอาใจใส่ (Care) ผู้บริโภครับรู้มากที่สุดในเรื่องสินค้าเกษตรอินทรีย์มีราคาสูง เนื่องจากเกษตรกรต้องควบคุมการผลิตอย่างละเอียด และเข้มงวด (ร้อยละ 89.35) และเกษตรอินทรีย์มีส่วนช่วยทำให้เกิดความมั่นคงในอาชีพและความเป็นอยู่ของเกษตรกร (ร้อยละ 83.90) แสดงให้เห็นว่า การบริหารจัดการเกษตรอินทรีย์ จะต้องดำเนินการอย่างระมัดระวังและรับผิดชอบ ส่งผลต่อความมั่นคงทางอาชีพการเกษตรอย่างยั่งยืน และ 5) ด้านการบริโภค (Consumption) ผู้บริโภครับรู้มากที่สุดในเรื่องเกษตรอินทรีย์เป็นหนึ่งในทางเลือกให้ผู้บริโภคหันมารักสุขภาพมากขึ้น (ร้อยละ 96.36) และสินค้าเกษตรอินทรีย์มีการรับรองมาตรฐานความปลอดภัยที่สามารถตรวจสอบย้อนกลับถึงแหล่งผลิต (ร้อยละ 87.79) จึงทำให้ผู้บริโภคเกิดความเชื่อมั่นในการบริโภคสินค้าเกษตรอินทรีย์ เมื่อพิจารณาแบ่งระดับการรับรู้คุณค่าเป็น 3 ระดับ พบว่า ผู้บริโภครับรู้คุณค่าระดับมาก ร้อยละ 86.49 การรับรู้คุณค่าระดับปานกลาง ร้อยละ 11.43 และการรับรู้คุณค่าระดับน้อย ร้อยละ 2.08 โดยผู้บริโภครับรู้คุณค่าเฉลี่ย 20 ข้อ ซึ่งผู้บริโภคมีการรับรู้คุณค่ามากที่สุด 24 ข้อ (Table 1)

Table 1 Frequency and percentage of consumers on perception value of organic agricultural products

Value perception level	Frequency	Percentage
Low level of value perception (0 – 8 items)	8	2.08
Moderate level of value perception (9 - 16 items)	44	11.43
High level of value perception (17 - 24 items)	333	86.49
Maximum perceived value = 24 items, Minimum perceived value = 0 items, and Average = 20 items		

ผู้บริโภคมีความสนใจในสินค้าเกษตรอินทรีย์จึงทำให้รับรู้คุณค่าสินค้าเกษตรอินทรีย์ โดยสอดคล้องกับงานวิจัยของ Nitichaowakul (2015) กล่าวว่า การกระตุ้นให้ผู้บริโภคเกิดการยอมรับในคุณค่าและคุณสมบัติของสินค้า รวมไปถึงความภาคภูมิใจ

ตราสินค้ามีความสำคัญต่อธุรกิจ โดยเฉพาะอย่างยิ่งการทำให้สินค้านั้นผ่านการรับรองจากหน่วยงานทั้งภาครัฐและภาคเอกชน แสดงให้เห็นว่า สินค้าสามารถตรวจสอบย้อนกลับถึงแหล่งผลิตได้ จะยิ่งส่งผลให้เกิดคุณค่าตราสินค้าและเป็นที่ยอมรับของผู้บริโภคมากขึ้น นอกจากนี้ การรับรองมาตรฐานมีความสำคัญต่อการซื้อสินค้าเกษตรอินทรีย์ของผู้บริโภค โดย Uthaiwattananon and Nilbai (2023) ได้กล่าวสรุปไว้ว่า การติดฉลากและการรับรองคุณภาพและมาตรฐานของภาครัฐ จะทำให้ผู้บริโภคมีความเชื่อมั่นในการบริโภคสินค้าเกษตรอินทรีย์ และเป็นการยกระดับสินค้าเกษตรอินทรีย์ไทยให้เป็นสินค้าที่มีมาตรฐานระดับโลก รวมถึงช่วยสนับสนุนการส่งออกและเพิ่มศักยภาพในการแข่งขัน

ความรู้เกี่ยวกับสินค้าเกษตรอินทรีย์

ผู้บริโภคมีความรู้เกี่ยวกับสินค้าเกษตรอินทรีย์ แบ่งเป็น 3 ระดับ ดังนี้ ความรู้ระดับปานกลาง ร้อยละ 75.84 ความรู้ระดับมาก ร้อยละ 23.64 และความรู้ระดับน้อย ร้อยละ 0.52 โดยผู้บริโภคมีความรู้มากที่สุด 27 คะแนน ความรู้ที่น้อยที่สุด 8 คะแนน และความรู้เฉลี่ย 16.17 คะแนน (Table 2) โดยผู้บริโภคส่วนใหญ่มีความรู้มากในประเด็นเกี่ยวกับสินค้าเกษตรอินทรีย์ 3 ลำดับแรก ได้แก่ เกษตรอินทรีย์ คือ ระบบการจัดการด้านการเกษตรแบบองค์รวมที่เกื้อหนุนต่อระบบนิเวศ และความหลากหลายทางชีวภาพ (ร้อยละ 97.92) ผลิตภัณฑ์เกษตรอินทรีย์ คือ ผลิตภัณฑ์ทางการเกษตรที่ผลิตตามระบบเกษตรอินทรีย์ โดยเน้นการใช้วัสดุธรรมชาติ และไม่ใช้สารเคมี (ร้อยละ 97.92) และสินค้าที่มีตรารับรองเกษตรอินทรีย์สามารถตรวจสอบข้อมูลย้อนกลับไปถึงแหล่งผลิตได้ (ร้อยละ 96.10) อย่างไรก็ตามผู้บริโภคมีความรู้ในเรื่องเครื่องหมายรับรองสินค้าเกษตรอินทรีย์ที่มีการใช้น้อยในประเทศไทย เช่น Canada Organic, Bioagricert และ Eco Cert

ผู้บริโภคส่วนใหญ่มีความรู้ในระดับปานกลาง โดยผู้บริโภคยังคงมีความรู้ความเข้าใจที่ไม่ถูกต้องเกี่ยวกับสินค้าเกษตรอินทรีย์ ซึ่งคำถามที่ผู้บริโภคตอบได้ถูกต้อง น้อยกว่าร้อยละ 50.00 เกี่ยวข้องกับเครื่องหมายรับรองมาตรฐานสินค้าเกษตรอินทรีย์ ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Latifa and Rami (2023) กล่าวว่า ผู้บริโภคมีความรู้เกี่ยวกับสินค้าเกษตรอินทรีย์ต่ำ แม้จะได้รับข้อมูลอย่างดีก็ตาม ในขณะที่ความรู้เชิงวัตถุดิบมีผลเชิงบวกอย่างมีนัยสำคัญต่อทัศนคติของผู้บริโภคต่อสินค้าเกษตรอินทรีย์ แต่ความรู้เชิงอัตวิสัยกลับมีผลเชิงลบ และสอดคล้องกับงานวิจัยของ Sukkarat and Athinuwat (2020) ที่กล่าวว่า ผู้บริโภคร้อยละ 46.00 เข้าใจว่า สินค้าเกษตรอินทรีย์และสินค้าเกษตรปลอดภัยนั้นไม่แตกต่างกัน และยังไม่สามารถจำแนกเครื่องหมายรับรองมาตรฐานสินค้าต่างๆ ได้ เนื่องจากยังไม่มีความรู้เกี่ยวกับสินค้าเกษตรอินทรีย์ที่มากพอ จากผลการศึกษาแสดงให้เห็นว่า ผู้บริโภคที่มีความรู้มาก ร้อยละ 23.64 อันเนื่องมาจากส่วนใหญ่จบการศึกษาในระดับปริญญาตรี มีความสนใจในด้านสุขภาพ และสิ่งแวดล้อม จึงมีการติดตามข้อมูลข่าวสาร ทำให้เกิดความรู้ความเข้าใจในสินค้าเกษตรอินทรีย์ ในผู้บริโภคร้อยละ 75.84 ที่มีความรู้ระดับปานกลาง ควรได้รับการเติมเต็มความรู้ในส่วนที่ขาดและพัฒนาความรู้เพิ่มเติม โดยเฉพาะอย่างยิ่งในเรื่องความแตกต่างระหว่างสินค้าเกษตรอินทรีย์และสินค้าเกษตรปลอดภัย รวมไปถึงเครื่องหมายรับรองสินค้าเกษตรอินทรีย์ ส่วนผู้บริโภคร้อยละ 0.52 ที่มีความรู้ที่น้อย ถือเป็นโจทย์สำคัญของหน่วยงานที่เกี่ยวข้องในการสร้างความตระหนักรู้ในทั้ง 4 ด้านของหลักการเกษตรอินทรีย์ ได้แก่ ด้านสุขภาพ สิ่งแวดล้อม ความเป็นธรรม และการดูแลเอาใจใส่ เพื่อให้ผู้บริโภคมีความรู้ความเข้าใจที่ถูกต้อง เกิดการรับรู้คุณค่าสินค้าเกษตรอินทรีย์ ซึ่งจะนำไปสู่พฤติกรรมกรบริโภคสินค้าเกษตรอินทรีย์ของผู้บริโภคที่เพิ่มมากขึ้นต่อไป

Table 2 Frequency and percentage of consumers on knowledge of organic agricultural products

Knowledge Level	Frequency	Percentage
Low level of knowledge (0 – 9 points)	2	0.52
Moderate level of knowledge (10 – 18 points)	292	75.84
High level of knowledge (19 – 27 points)	91	23.64
Maximum knowledge = 27 points, Minimum knowledge = 8 points, and Average = 16.17 points		

พฤติกรรมกรบริโภคสินค้าเกษตรอินทรีย์

ผู้บริโภคส่วนใหญ่ซื้อพืชผัก ร้อยละ 78.10 ซื้อสินค้าผ่านหน้าร้าน ร้อยละ 77.10 ซื้อสินค้าจากห้างสรรพสินค้า ร้อยละ 46.50 ซื้อสินค้าในวันหยุดสุดสัปดาห์ (เสาร์ – อาทิตย์) ร้อยละ 49.30 มีความถี่ในการซื้อสินค้าที่ไม่แน่นอน ร้อยละ 55.90 มีค่าใช้จ่ายในการซื้อน้อยกว่า 500 บาท/ครั้ง ร้อยละ 59.00 เหตุผลในการซื้อเพราะคุณภาพ ร้อยละ 62.90 และซื้อเพื่อตนเอง ร้อยละ 59.40 จะเห็นได้ว่าผู้บริโภคส่วนใหญ่ซื้อสินค้าเกษตรอินทรีย์ด้วยเหตุผลเกี่ยวกับคุณภาพเป็นหลัก แสดงให้เห็นว่า ผู้บริโภคมีความคาดหวังว่า สินค้าเกษตรอินทรีย์มีการจัดการที่ดี มีความพิถีพิถัน ปลอดภัยจากอันตรายทางเคมี โดยเฉพาะจากวัตถุที่เป็น

อันตรายทางการเกษตร (Seedee, 2018) ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Sulis et al. (2024) กล่าวว่า ผู้บริโภคต้องการสินค้าเกษตรอินทรีย์ที่มีคุณภาพ เนื่องจากมีการตระหนักถึงสุขภาพ และมีความกังวลด้านความปลอดภัยของอาหาร ซึ่งมีอิทธิพลโดยตรงต่อทัศนคติของผู้บริโภคที่มีต่อสินค้าเกษตรอินทรีย์และความตั้งใจในการซื้อสินค้าเกษตรอินทรีย์ของผู้บริโภค

ความเชื่อมั่นในการบริโภคสินค้าเกษตรอินทรีย์

ผู้บริโภคมีความเชื่อมั่นในการบริโภคสินค้าเกษตรอินทรีย์ในภาพรวมอยู่ในระดับมากที่สุด โดยมีค่าเฉลี่ย 4.33 และเมื่อพิจารณาเป็นรายด้าน พบว่า ผู้บริโภคมีความเชื่อมั่นในการบริโภคสินค้าเกษตรอินทรีย์ในระดับมากที่สุด ทั้ง 4 ด้าน ดังนี้ 1) ด้านสุขภาพ (Health) ค่าเฉลี่ย 4.38 โดยผู้บริโภคเชื่อมั่นว่า เกษตรอินทรีย์ต้องมีการส่งเสริมและสร้างความยั่งยืนให้กับสุขภาพทั้ง พืช สัตว์มนุษย์ และโลก 2) ด้านนิเวศวิทยา (Ecology) ค่าเฉลี่ย 4.32 โดยผู้บริโภคเชื่อมั่นว่า เกษตรอินทรีย์ต้องตั้งอยู่บนรากฐานของระบบนิเวศวิทยาและการผลิตทางการเกษตรที่มีความสอดคล้องกับวิถีแห่งธรรมชาติ และลดผลกระทบทางสิ่งแวดล้อม 3) ด้านการดูแลเอาใจใส่ (Care) ค่าเฉลี่ย 4.31 โดยผู้บริโภคเชื่อมั่นว่า การบริหารจัดการเกษตรอินทรีย์ จะต้องดำเนินการอย่างระมัดระวังและรับผิดชอบต่อ เพื่อปกป้องสุขภาพและความเป็นอยู่ของทุกคนทั้งในปัจจุบันและอนาคต รวมทั้งปกป้องสภาพแวดล้อมโดยรวมด้วย และ 4) ด้านความเป็นธรรม (Fairness) ค่าเฉลี่ย 4.29 โดยผู้บริโภคเชื่อมั่นว่า เกษตรอินทรีย์มีความเป็นธรรมและโปร่งใสในทุกภาคส่วนการผลิต รวมถึงความเท่าเทียม ความยุติธรรม การเคารพซึ่งกันและกัน และการมีส่วนร่วมในการปกป้องทรัพยากรสิ่งแวดล้อมของโลกที่เราอาศัยอยู่ (Table 3)

ผู้บริโภคมีความเชื่อมั่นในการบริโภคสินค้าเกษตรอินทรีย์ในด้านสุขภาพ (Health) และนิเวศวิทยา (Ecology) เนื่องจากโรคภัยไข้เจ็บที่เกิดขึ้นในปัจจุบัน กระแสตื่นตัวด้านสุขภาพ ทำให้ผู้บริโภคมีความห่วงใยในสุขภาพมากขึ้น และความเสื่อมโทรมของสิ่งแวดล้อม การเปลี่ยนแปลงทางภูมิอากาศ ทำให้ผู้บริโภคมีความห่วงใยธรรมชาติ และเห็นถึงประโยชน์ของเกษตรอินทรีย์เพิ่มมากขึ้น เป็นผลให้ผู้บริโภคมีทัศนคติที่ดีต่อสินค้าเกษตรอินทรีย์ สอดคล้องกับงานวิจัยของ Sukkarat and Athinuwat (2020) กล่าวว่า ผู้บริโภคมีความต้องการสินค้าเกษตรอินทรีย์ ด้วยเห็นถึงความสำคัญต่อการดูแลสุขภาพของตนเองและคนในครอบครัว เชื่อว่าสินค้าเกษตรอินทรีย์ส่งผลดีและปลอดภัยต่อสุขภาพ ในด้านนิเวศวิทยา (Ecology) ผู้บริโภคให้ความสำคัญกับปัญหาด้านสิ่งแวดล้อมที่เกิดขึ้นในปัจจุบัน โดยกรรมวิธีในการปลูกผักอินทรีย์ เป็นการเพาะปลูกที่ปราศจากสารเคมีที่ส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม และสอดคล้องกับงานวิจัยของ Wiboonlayanon (2020) กล่าวว่า กลุ่มคนที่มีทัศนคติที่ดีต่อการบริโภคผักอินทรีย์ จะเป็นกลุ่มคนที่มีพฤติกรรมที่รับผิดชอบต่อสังคม โดยการอนุรักษ์และไม่ทำลายสิ่งแวดล้อม รวมทั้งผู้บริโภคมีความเชื่อมั่นในการบริโภคสินค้าเกษตรอินทรีย์ในด้านความเป็นธรรม (Fairness) และด้านการดูแลเอาใจใส่ (Care) เนื่องจาก ผู้บริโภคเชื่อว่าเกษตรอินทรีย์มีความโปร่งใสในทุกขั้นตอนการผลิต และการได้รับการรับรองมาตรฐานสินค้าเกษตรอินทรีย์ จะต้องมีการควบคุมการผลิตอย่างระมัดระวังและเข้มงวด รวมทั้งสินค้าเกษตรอินทรีย์จะต้องมีความใส่ใจตลอดห่วงโซ่การผลิต ทั้งผู้ผลิต ผู้จำหน่าย และผู้บริโภค ยิ่งไปกว่านั้นการที่ประชาชนหันมาให้ความสำคัญ และมีพฤติกรรมบริโภคผักอินทรีย์มากยิ่งขึ้น จะมีส่วนช่วยให้เกษตรกรที่ทำการเพาะปลูกมีรายได้ที่มากขึ้น ทำให้เกิดการทำการเกษตรที่ยั่งยืนมากขึ้น และสอดคล้องกับงานวิจัยของ Na Pompetch (2015) กล่าวว่า เกษตรอินทรีย์ทำให้เกิดความเป็นธรรม (Fairness) เนื่องจากช่วยส่งเสริมด้านเศรษฐกิจในเกษตรกรรายย่อย เศรษฐกิจท้องถิ่น และกระบวนการผลิตอาหารอินทรีย์ไม่ทำลายทรัพยากรธรรมชาติ และมีการดูแลเอาใจใส่ (Care) เนื่องจากการทำเกษตรอินทรีย์เป็นการบริหารจัดการอย่างระมัดระวัง รับผิดชอบต่อผู้บริโภค มีการนำความรู้ทางวิทยาศาสตร์ ประสพการณ์ที่ได้จากการปฏิบัติและภูมิปัญญาท้องถิ่น มาบูรณาการใช้ร่วมกัน ทำให้เพิ่มประสิทธิภาพ เพิ่มผลผลิต ปลอดภัย ผู้ผลิตและผู้บริโภคได้รับประโยชน์ทั้งสองฝ่าย

Table 3 Consumers' trust level of organic agriculture products

Consumer's Trust of Organic Agriculture Products	Mean	Trust Level
Health	4.38	Highest
1. Organic farming trust promotes and supports the sustainability of human, animal, and environmental health.	4.41	Highest
2. Organic farming trust aims to produce high-quality, nutritious food to support consumer well-being.	4.43	Highest
3. Organic farming trust avoids the use of chemical fertilizers, pesticides, and food additives.	4.28	Highest
4. Organic farming trust that aims to enhance the well-being of ecosystems and living organisms.	4.39	Highest

Table 3 Consumers' trust level of organic agriculture products (continuous)

Consumer's Trust of Organic Agriculture Products	Mean	Trust Level
Ecology	4.32	Highest
5. Organic farming trust is rooted in ecological principles.	4.35	Highest
6. Organic farming trust aligns with the ways of nature, contributing to the richness and abundance of the natural environment.	4.37	Highest
7. Organic farming trust is managed in harmony with local conditions, ecosystems, cultures, and farm size.	4.29	Highest
8. Organic farming trust uses production inputs and energy efficiently, emphasizing reuse and recycling to conserve natural resources and ensure environmental sustainability.	4.32	Highest
9. Organic farming trust establishes balance within the agro-ecosystem through appropriate farm design.	4.31	Highest
10. Organic farming trust focuses on restoring local ecosystems.	4.32	Highest
11. Organic farming trust promotes diversity in both genetics and agricultural activities.	4.28	Highest
12. Practice of the organic farming trust include production, processing, trade, and consumption that contribute to environmental conservation.	4.33	Highest
Fairness	4.29	Highest
13. Organic farming trust is based on fair relationships between the overall environment and living beings.	4.32	Highest
14. Organic farming trust ensures fair management of production at all levels for farmers, processors, distributors, and consumers so that everyone has equal opportunities for a good quality of life.	4.26	Highest
15. Organic farming trust treats livestock appropriately, in accordance with their natural needs.	4.26	Highest
16. Organic farming trust uses natural resources and the environment in a fair and sustainable way, ensuring conservation for future generations.	4.31	Highest
Care	4.31	Highest
17. Organic farming trust is carefully and responsibly managed to protect the health of people now and in the future.	4.31	Highest
18. Organic farming trust is implemented to improve agricultural efficiency and productivity.	4.33	Highest
19. Organic farming trust applies technology in production to minimize risks to human health and the environment.	4.28	Highest
20. Organic farming trust integrates scientific knowledge, practical experience, and local wisdom.	4.33	Highest
Total average	4.33	Highest

ปัจจัยที่มีความสัมพันธ์กับความเชื่อมั่นในการบริโภคสินค้าเกษตรอินทรีย์ แบ่งออกเป็น 3 ประเด็น ดังนี้

1. ความสัมพันธ์ระหว่างเพศ ระดับการศึกษา ที่อยู่ปัจจุบัน อาชีพ และสถานภาพสมรสของผู้บริโภค กับความเชื่อมั่นในการบริโภคสินค้าเกษตรอินทรีย์ พบว่า อาชีพของผู้บริโภคมีความสัมพันธ์กับความเชื่อมั่นในการบริโภคสินค้าเกษตรอินทรีย์ในด้านความเป็นธรรม (Fairness) และด้านการดูแลเอาใจใส่ (Care) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 ทั้งนี้อาจเป็นเพราะอาชีพที่แตกต่างกัน มีความเข้าใจในสินค้าเกษตรอินทรีย์ที่แตกต่างกัน เช่น อาชีพเกษตรกร และอาชีพข้าราชการด้านการเกษตร อาจเข้าใจเกษตรอินทรีย์ได้ดีกว่าอาชีพพนักงานบริษัทเอกชน เนื่องจากมีความคุ้นเคยที่มากกว่า อีกทั้งพบว่าสถานภาพสมรสของผู้บริโภคมีความสัมพันธ์กับความเชื่อมั่นในการบริโภคสินค้าเกษตรอินทรีย์ในด้านสุขภาพ (Health) และด้านนิเวศวิทยา (Ecology) อย่างมี

นัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 ทั้งนี้อาจเป็นเพราะผู้บริโภคที่มีสถานภาพสมรสที่แตกต่างกันจะมีความใส่ใจในด้านสุขภาพ และสิ่งแวดล้อมที่ต่างกัน อาจเป็นเพราะผู้ที่มีสถานภาพสมรส ไม่เพียงแต่จะมีความใส่ใจในสุขภาพของตนเอง แต่ยังมีความห่วงใยต่อสมาชิกในครอบครัว และใส่ใจในสิ่งแวดล้อมที่เสื่อมโทรมในปัจจุบัน เนื่องจากมีผลต่อสุขภาพร่างกายและจิตใจของสมาชิกในครอบครัว สอดคล้องกับงานวิจัยของ Sukkarat and Athinuwat (2020) กล่าวว่า สถานภาพสมรสที่แตกต่างกันมีทัศนคติในการตัดสินใจบริโภคสินค้าเกษตรอินทรีย์ที่ต่างกัน อย่างไรก็ตามไม่พบความสัมพันธ์ระหว่างอาชีพของผู้บริโภคกับความเชื่อมั่นในการบริโภคสินค้าเกษตรอินทรีย์ในด้านสุขภาพ (Health) และด้านนิเวศวิทยา (Ecology) และไม่พบความสัมพันธ์ระหว่างสถานภาพสมรสของผู้บริโภคกับความเชื่อมั่นในการบริโภคสินค้าเกษตรอินทรีย์ในด้านความเป็นธรรม (Fairness) และด้านการดูแลเอาใจใส่ (Care) อีกทั้งไม่พบความสัมพันธ์ระหว่างเพศ ระดับการศึกษา และภูมิภาคของที่อยู่ของผู้บริโภค กับความเชื่อมั่นในการบริโภคสินค้าเกษตรอินทรีย์ทั้ง 4 ด้าน ได้แก่ ด้านสุขภาพ (Health) ด้านนิเวศวิทยา (Ecology) ด้านความเป็นธรรม (Fairness) และด้านการดูแลเอาใจใส่ (Care) (Table 4)

Table 4 The relationship between gender, education, region area, occupation and marital status with consumer's trust of organic agricultural products

Variable	Consumer's trust of organic agriculture products			
	Health	Ecology	Fairness	Care
Gender				
χ^2	0.002	0.906	0.722	0.669
p-value	0.962	0.341	0.396	0.413
Education				
χ^2	3.131	0.665	0.325	1.409
p-value	0.077	0.415	0.568	0.235
Region area				
χ^2	6.360	6.122	6.642	8.122
p-value	0.498	0.526	0.467	0.322
Occupation				
χ^2	5.489	9.578	13.263*	12.314*
p-value	0.364	0.086	0.021	0.030
Marital status				
χ^2	11.216*	10.988*	5.253	5.790
p-value	0.004	0.004	0.072	0.055

*Correlation is significant at the 0.05 level

2. ความสัมพันธ์ระหว่างอายุ รายได้เฉลี่ยต่อเดือน ค่าใช้จ่ายในการซื้อสินค้าเกษตรอินทรีย์ และการรับรู้คุณค่าสินค้าเกษตรอินทรีย์ของผู้บริโภค กับความเชื่อมั่นในการบริโภคสินค้าเกษตรอินทรีย์ พบว่า การรับรู้คุณค่าของสินค้าเกษตรอินทรีย์ของผู้บริโภค ทั้ง 5 ด้าน ได้แก่ ด้านสุขภาพ (Health) ด้านนิเวศวิทยา (Ecology) ด้านความเป็นธรรม (Fairness) ด้านการดูแลเอาใจใส่ (Care) และด้านการบริโภค (Consumption) มีความสัมพันธ์เชิงบวกกับความเชื่อมั่นในการบริโภคสินค้าเกษตรอินทรีย์ทั้ง 4 ด้าน ได้แก่ ด้านสุขภาพ (Health) ด้านนิเวศวิทยา (Ecology) ด้านความเป็นธรรม (Fairness) และด้านการดูแลเอาใจใส่ (Care) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ 0.01 ทั้งนี้เป็นเพราะผู้บริโภคทราบว่า สินค้าเกษตรอินทรีย์เป็นสินค้าที่ปลอดภัยจากอันตรายทางเคมี โดยเฉพาะจากวัตถุที่เป็นอันตรายทางการเกษตร ซึ่งมีการใช้อย่างแพร่หลายในผักและผลไม้แทบทุกชนิด และยังช่วยลดความเสี่ยงในการเกิดโรคต่าง ๆ สอดคล้องกับงานวิจัยของ Wansasueb et al. (2019) กล่าวว่า ผู้บริโภคมีความเชื่อมั่นว่าสินค้าเกษตรอินทรีย์ทำให้ร่างกายได้รับสารเคมีน้อยลง รวมถึงมีส่วนสนับสนุนให้เกษตรกรทำการเกษตรที่ลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม และสอดคล้องกับงานวิจัยของ Shizhen et al. (2023) กล่าวว่า คุณลักษณะด้านความปลอดภัยและคุณค่าทางโภชนาการของสินค้าเกษตรอินทรีย์ส่งผลเชิงบวกต่อคุณค่าที่รับรู้และความเชื่อมั่นของผู้บริโภค ซึ่งหน่วยงานภาครัฐ ภาคเอกชน และภาคส่วนที่เกี่ยวข้องจำเป็นต้องเน้นย้ำคุณค่าของสินค้าเกษตรอินทรีย์ ผ่านการส่งเสริมการขายเพื่อเพิ่มการบริโภคสินค้าเกษตรอินทรีย์ อีกทั้งคุณค่าที่รับรู้ของสินค้าเกษตรอินทรีย์ส่งผลเชิงบวกต่อความเชื่อมั่นของผู้บริโภค นั่นคือ เมื่อผู้บริโภครับรู้คุณค่าสินค้าเกษตรอินทรีย์มากขึ้น

ก็จะเชื่อว่าจะได้ประโยชน์จากการบริโภคสินค้าเกษตรอินทรีย์ ดังนั้นเพื่อปรับปรุงการบริโภคสินค้าเกษตรอินทรีย์ ภาคส่วนที่เกี่ยวข้องจำเป็นต้องเพิ่มความเชื่อมั่นของผู้บริโภคโดยการส่งเสริมการรับรู้คุณค่าสินค้าเกษตรอินทรีย์เป็นอันดับแรก ในขณะที่อายุรายได้เฉลี่ยต่อเดือน และค่าใช้จ่ายในการซื้อสินค้าเกษตรอินทรีย์ของผู้บริโภคไม่มีความสัมพันธ์กับความเชื่อมั่นในการบริโภคสินค้าเกษตรอินทรีย์ ทั้ง 4 ด้าน ได้แก่ ด้านสุขภาพ (Health) ด้านนิเวศวิทยา (Ecology) ด้านความเป็นธรรม (Fairness) ด้านการดูแลเอาใจใส่ (Care) (Table 5)

3. ความสัมพันธ์ระหว่างความรู้เกี่ยวกับสินค้าเกษตรอินทรีย์ของผู้บริโภค กับความเชื่อมั่นในการบริโภคสินค้าเกษตรอินทรีย์ พบว่า ความรู้เกี่ยวกับสินค้าเกษตรอินทรีย์ของผู้บริโภค ไม่มีความสัมพันธ์กับความเชื่อมั่นของผู้บริโภคในการบริโภคสินค้าเกษตรอินทรีย์ ทั้ง 4 ด้าน ได้แก่ ด้านสุขภาพ (Health) ด้านนิเวศวิทยา (Ecology) ด้านความเป็นธรรม (Fairness) และด้านการดูแลเอาใจใส่ (Care) กล่าวคือ ผู้บริโภคไม่ทราบถึงเครื่องหมายรับรองมาตรฐานสินค้าเกษตรอินทรีย์รูปแบบต่าง ๆ ซึ่งในการตัดสินใจซื้อสินค้า ผู้บริโภคเลือกซื้อสินค้าที่มีเครื่องหมายรับรองมาตรฐานแสดงคำว่า “Organic” ที่ชัดเจนที่ทำให้มั่นใจได้ว่าเป็นสินค้าเกษตรอินทรีย์อย่างแน่นอน ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Latifa and Ramli (2023) กล่าวว่า โดยทั่วไปแล้วผู้บริโภคมีความเชื่อมั่นในสินค้าเกษตรอินทรีย์ต่ำ แม้จะได้รับข้อมูลสินค้าเกษตรอินทรีย์อย่างดียิ่งก็ตาม ในขณะที่ความรู้เชิงอัตวิสัยมีผลเชิงบวกอย่างมีนัยสำคัญต่อทัศนคติของผู้บริโภคต่อสินค้าเกษตรอินทรีย์ แต่ความรู้เชิงอัตวิสัยกลับมีผลเชิงลบ ในทางตรงกันข้ามไม่สอดคล้องกับงานวิจัยของ Sangkumchaliang and Pakdee (2016) กล่าวว่า ความรู้ที่ถูกต้องที่มีต่อเครื่องหมายรับรองสินค้าเกษตรอินทรีย์นั้นจะส่งผลต่อความเชื่อมั่นในเครื่องหมายรับรอง ดังนั้นองค์กรต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องอาจจะต้องให้ความสำคัญในเรื่องของการประชาสัมพันธ์และให้ข้อมูลเกี่ยวกับเครื่องหมายรับรองสินค้าเกษตรอินทรีย์ที่ถูกต้องแก่ผู้บริโภคเพื่อสร้างความเชื่อมั่นและยังส่งผลต่อพฤติกรรมกรบริโภคสินค้าเกษตรอินทรีย์ในอนาคต รวมถึงจำเป็นต้องเน้นย้ำถึงข้อเท็จจริงที่ว่าคุณลักษณะของสินค้าเกษตรอินทรีย์แตกต่างจากสินค้าเกษตรทั่วไป โดยใช้ช่องทางการสื่อสารข้อมูลที่ถูกต้องและเหมาะสม (Table 5)

Table 5 The relationship between age, average monthly income, expenses for purchasing products and consumer's value perception with consumer's trust of organic agricultural products

Variable		Consumer's trust of organic agriculture products			
		Health	Ecology	Fairness	Care
Age					
	r_{xy}	0.027	0.058	0.019	0.016
	p-value	0.591	0.259	0.717	0.750
Average monthly income					
	r_{xy}	0.006	-0.009	-0.027	-0.042
	p-value	0.902	0.806	0.602	0.408
Expenses for purchasing Organic Agricultural Products					
	r_{xy}	0.076	0.042	0.056	0.058
	p-value	0.136	0.417	0.272	0.254
Perceived Value Organic Agricultural Products					
Health	r_{xy}	0.211**	0.193**	0.209**	0.170**
	p-value	0.000	0.000	0.000	0.000
Ecology	r_{xy}	0.157**	0.231**	0.223**	0.209**
	p-value	0.002	0.000	0.000	0.000
Fairness	r_{xy}	0.160**	0.217**	0.228**	0.213**
	p-value	0.002	0.000	0.000	0.000
Care	r_{xy}	0.202**	0.261**	0.245**	0.237**
	p-value	0.000	0.000	0.000	0.000
Consumer	r_{xy}	0.208**	0.209**	0.226**	0.242**
	p-value	0.000	0.000	0.000	0.000
Knowledge of organic agricultural products					
	r_{xy}	-0.011	-0.004	-0.035	-0.032
	p-value	0.823	0.941	0.492	0.536

r_{xy} is Pearson product moment correlation coefficient.

**Correlation is significant at the 0.01 level

สรุปผลการศึกษา

ผู้บริโภคสินค้าเกษตรอินทรีย์ มีการรับรู้คุณค่าสินค้าเกษตรอินทรีย์ในระดับมาก โดยเห็นความสำคัญของสินค้าเกษตรอินทรีย์ว่าเป็นทางเลือกหนึ่งของผู้บริโภคที่สนใจดูแลสุขภาพ เนื่องจากผู้บริโภคมองเห็นว่าการดำเนินชีวิตมีความเสี่ยงที่จะได้รับสารพิษจากการอุปโภค บริโภค และสิ่งแวดล้อม เป็นปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่อสุขภาพโดยตรง และผู้บริโภคมีความรู้เกี่ยวกับสินค้าเกษตรอินทรีย์ในระดับปานกลาง โดยมีความรู้ที่ไม่ถูกต้องเกี่ยวกับเครื่องหมายรับรองมาตรฐานเกษตรอินทรีย์มากที่สุด ซึ่งทำให้ผู้บริโภคเกิดความสับสนและไม่สามารถเลือกซื้อสินค้าได้ตรงตามความต้องการ อีกทั้งผู้บริโภคส่วนใหญ่มีความเชื่อมั่นในการบริโภคสินค้าเกษตรอินทรีย์ในระดับมากที่สุด ทั้ง 4 ด้าน ได้แก่ ด้านสุขภาพ (Health) ด้านนิเวศวิทยา (Ecology) ด้านความเป็นธรรม (Fairness) และด้านการดูแลเอาใจใส่ (Care) โดยเข้าใจว่า สินค้าเกษตรอินทรีย์ส่งผลดีและปลอดภัยต่อสุขภาพ ช่วยแก้ปัญหาด้านสิ่งแวดล้อมที่เกิดขึ้นในปัจจุบัน ทั้งนี้พฤติกรรมผู้บริโภคสินค้าอินทรีย์ที่มากขึ้น จะมีส่วนช่วยให้เกษตรกรปรับปรุงการผลิตให้มีคุณภาพและมาตรฐาน โดยการทำเกษตรอินทรีย์อย่างระมัดระวัง และรับผิดชอบต่อผู้บริโภค ซึ่งจะทำให้ผู้บริโภคเกิดความเชื่อมั่น และส่งผลให้เกษตรกรมีรายได้เพิ่มขึ้น นอกจากนี้ การวิเคราะห์หาความสัมพันธ์ระหว่างข้อมูลพื้นฐานส่วนบุคคล การรับรู้คุณค่าสินค้าเกษตรอินทรีย์ ความรู้เกี่ยวกับสินค้าเกษตรอินทรีย์ กับความเชื่อมั่นในการบริโภคสินค้าเกษตรอินทรีย์ แสดงให้เห็นถึงความสัมพันธ์เชิงบวกกับข้อมูลพื้นฐานส่วนบุคคล ได้แก่ อาชีพ และสถานภาพสมรส และการรับรู้คุณค่าสินค้าเกษตรอินทรีย์ ในขณะที่ความรู้ไม่มีความสัมพันธ์กับความเชื่อมั่นในการบริโภคสินค้าเกษตรอินทรีย์ ข้อมูลดังกล่าวจะเป็นประโยชน์ในการสร้าง การรับรู้คุณค่าสินค้าเกษตรอินทรีย์ให้กับผู้บริโภค และการส่งเสริมการบริโภคสินค้าเกษตรอินทรีย์ รวมถึงการกำหนดนโยบายและแนวทางการพัฒนาที่สนับสนุนการทำการเกษตรอินทรีย์ ได้แก่ การพัฒนาช่องทางการสื่อสารในการตรวจสอบข้อมูล (Traceability) ที่ทำให้ผู้บริโภคเข้าถึงสินค้าเกษตรอินทรีย์ได้ง่ายขึ้น เช่น การกำหนดรหัสคิวอาร์ (QR Code) ที่ใช้งานได้จริงและสะดวกในการเข้าถึง เป็นการเปิดโอกาสให้ผู้ผลิตแสดงข้อมูลสินค้า และผู้บริโภคสามารถตรวจสอบข้อมูลได้ แสดงถึงความโปร่งใสในกระบวนการผลิต รวมถึงการสนับสนุนช่องทางการตลาดที่ช่วยให้ผู้บริโภครับรู้คุณค่าสินค้าเกษตรอินทรีย์ จะนำไปสู่ความเชื่อมั่นในสินค้าเกษตรอินทรีย์ในระดับสังคม ส่วนระดับปฏิบัติการหรือผู้ประกอบการสามารถใช้เป็นกลยุทธ์ในการสื่อสารกับผู้บริโภค โดยการเล่าเรื่อง (Storytelling) และสร้างสรรค์บรรทัดฐานที่สะท้อนคุณค่า เช่น ผลิตภัณฑ์อาหารปลอดภัยในบรรทัดฐานรักษาสีสิ่งแวดล้อม ที่เน้นความปลอดภัยต่อผู้บริโภค สิ่งแวดล้อม และมีความเป็นธรรมต่อเกษตรกร ตลอดจนการจัดกิจกรรมที่สร้างประสบการณ์ตรงให้กับผู้บริโภค (Experience Marketing) เช่น การท่องเที่ยวเชิงเกษตร กิจกรรมฟาร์มทัวร์ กิจกรรมเวิร์คช็อปทางการเกษตร หรือการสื่อสารผ่านสื่อสังคมออนไลน์ในรูปแบบการตลาดที่เน้นการมีส่วนร่วมของลูกค้า (Interactive Content) เพื่อเสริมสร้างความเชื่อมั่นให้กับผู้บริโภคอีกทางหนึ่ง ซึ่งจะต้องมีการพิจารณากลุ่มผู้บริโภคตามอาชีพและสถานภาพสมรส เพื่อทำการตลาดที่เหมาะสมกับกลุ่มเป้าหมาย โดยมุ่งเน้นให้เห็นถึงความสำคัญเกี่ยวกับประโยชน์ของสินค้าเกษตรอินทรีย์ อีกทั้งการรับรองมาตรฐานเกษตรอินทรีย์ของทั้งภาครัฐและเอกชน ซึ่งมีบทบาทสำคัญทั้งในด้านการผลิต การตลาด การสร้างสินค้าเกษตรมูลค่าสูง และการสร้างความเชื่อมั่นให้กับผู้บริโภค นำไปสู่ระบบการเกษตรที่ยั่งยืนที่ให้ความสำคัญกับเศรษฐกิจ สังคม และสิ่งแวดล้อมในระยะยาว

ผลประโยชน์ทับซ้อน

ผู้เขียนขอประกาศว่าบทความนี้ไม่มีผลประโยชน์ทับซ้อน

การมีส่วนร่วมในการเขียนบทความของผู้เขียน

ความคิดริเริ่ม และ สมมติฐาน: ณัฐวี ทองเต็จ. การปฏิบัติการวิจัย การมีส่วนร่วมในการออกแบบ การทดสอบเครื่องมือวัด วิธีการเก็บข้อมูล: ณัฐวี ทองเต็จ, พนาภาศ ตริวรณกุล. การจัดเก็บข้อมูล การวิเคราะห์ข้อมูล การแปลผล: ณัฐวี ทองเต็จ, พนาภาศ ตริวรณกุล. การวิพากษ์วิจารณ์ผล การเปรียบเทียบกับข้อมูลหรือองค์ความรู้ หรือทฤษฎีเดิม: ณัฐวี ทองเต็จ, พนาภาศ ตริวรณกุล. การมีส่วนร่วมในการเขียนต้นฉบับบทความ: ณัฐวี ทองเต็จ, พนาภาศ ตริวรณกุล.

เอกสารอ้างอิง

- Cochran, W. G. (1977). **Sampling Techniques**. 3rd Ed. John Wiley & Sons.
- Irfana, R., & Aashiq, H. L. (2023). Organic food purchases: does green trust play a part?. **Asia-Pacific Journal of Business Administration**, 16(4), 914-939. <https://doi.org/10.1108/APJBA-11-2022-0506>.
- Latifa, F., & Rami, A. (2023). A revisit to the role of gender, age, subjective and objective knowledge in consumers' attitudes towards organic food. **Journal of Strategic Marketing**, 31(3), 499-515. <https://doi.org/10.1080/0965254X.2021.1939405>.
- Luigina, C., Andrea, B., & Anna, M. M. (2020). Buying organic food products: the role of trust in the theory of planned behavior. **Frontiers in Psychology**, 11(575820), 1-14. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2020.575820>.
- Na Pompetch, K. (2015). **Consumers' Purchase Intention for Organic Food in Bangkok Metropolitan Area**. Master's Thesis. King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang. (in Thai).
- Nina, D. G., & Inken, C. S. (2023). Is Organic Really Organic? – Why consumers do (not) trust organic food and what they expect from the organic sector. **International Journal on Food System Dynamics**, 14(1), 76-87. <https://dx.doi.org/10.18461/ijfsd.v14i1.E5>.
- Nitichaowakul, T. (2015). Building brand equity with logo of the One Tambon One Product. **Academic Journal of Humanities and Social Sciences Burapha University**, 23(42), 149-168. (in Thai).
- Nuttavuthisit, K., & Thogersen, J. (2017). The importance of consumer trust for the emergence of a market for green products: the case of organic food. **Journal of Business Ethics**, 140(2), 323-337. <https://doi.org/10.1007/s10551-015-2690-5>.
- Paopeng, C., Phonsuk, P., & Pongutta, S. (2021). Fresh vegetable consumer perceptions; understanding and trusting participatory guarantee systems labelling. **King Mongkut's Agriculture Journal**, 39(1), 74-81. (in Thai).
- Sangkumchaliang, P., & Pakdee, P. (2016). The influence of agricultural certification perception and knowledge on purchasing behavior of organic agricultural product in Khon Kaen province, Thailand. **Khon Kaen Agriculture Journal**, 44(2), 247-256. (in Thai).
- Seedee, R. (2018). Consumers' purchase intention for organic foods in Thailand. **Journal of Graduate Studies Valaya Alongkorn Rajabhat University**, 12(3), 135-146. (in Thai).
- Sukkarat, K., & Athinuwat, D. (2020). Study of consumption behavior and attitude of organic product consumer. **Thai Journal of Science and Technology**, 9(1), 69-76. <https://doi.org/10.14456/tjst.2020.6> (in Thai).
- Sulis, R., Gunarso, W., & Intan, M. R. (2024). What's antecedent driving intention to purchase organic food? Examining attitude and trust. **Jurnal Manajemen dan Agribisnis**, 21(2), 271-280. <https://doi.org/10.17358/jma.21.2.271>.
- Shizhen, B., Xiaochen, Z., Chunjia, H., & Dingyao, Y. (2023). Research on the influence mechanism of organic food attributes on customer trust. **Sustainability**, 15(6773), 1-14. <https://doi.org/10.3390/su15086733>.
- Uthaiwattananon, A., & Nilbai, T. (2023). Factors influencing consumer purchase decisions for organic food in Bangkok metropolitan region. **Ramkhamhaeng University Journal**, 6(2), 82-94. (in Thai).
- Wansasueb, T., Jamphon, A., & Techakriengkrai T. (2019). Factors affecting consumer behavior of organic foods in Bangkok. In **Proceedings of the 16th National Kasetsart University Kamphaeng Saen Conference**, pp. 743-755. Kasetsart University. (in Thai).
- Wiboonlayanon, N. (2020). **Attitudinal Factors Affecting the Intention to Buy Organic Vegetables of Generation Y**. Master's Thesis. Mahidol University. (in Thai).
- Wongprawmas, R., Canavari, M., & Waisarayutt, C. (2015). A multi-stakeholder perspective on the adoption of good agricultural practices in the Thai fresh produce industry. **British Food Journal**, 117(9), 2234-2249. <https://doi.org/10.1108/BFJ-08-2014-0300>.

ผลของการเคลือบเมล็ดพันธุ์ด้วย GA₃ และ IAA ในเมล็ดพันธุ์ดาวเรืองอเมริกันลูกผสมต่างพันธุ์

Effects of Seed Coating with GA₃ and IAA on Different Cultivars of Hybrid American Marigold Seeds

พัฒนรัฐพงษ์ กันทา¹, ประนอม ยังกำมัน^{1*}, แสงเดือน อินชนบท¹ และอรพินธุ์ สฤณดี¹
Pattapong Kanta¹, Pranom Yangkhamman^{1*}, Sangduan Inchonbot¹ and Orapin Saritnum¹

Received date: 2 มิ.ย. 68 Revised date: 18 พ.ย. 68 Accepted date: 18 พ.ย. 68

DOI: <https://doi.org/10.55003/kmaj.2026.267539>

บทคัดย่อ

การผลิตเมล็ดพันธุ์ดาวเรืองมักพบปัญหาการแก่ของเมล็ดที่ไม่พร้อมกันจึงส่งผลให้การงอกและการเจริญของต้นกล้าที่ไม่สม่ำเสมอ ดังนั้นการทดลองครั้งนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลของความเข้มข้นของ GA₃ และ IAA ที่เหมาะสมสำหรับการเคลือบเมล็ดพันธุ์ดาวเรืองอเมริกันลูกผสมจำนวน 3 พันธุ์ต่อคุณภาพการงอกของเมล็ดพันธุ์หลังการเคลือบและผลต่อการเจริญของต้นกล้า วางแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ มี 4 กรรมวิธี ได้แก่ การไม่เคลือบเมล็ดพันธุ์ การเคลือบเมล็ดพันธุ์ด้วย IAA ความเข้มข้น 0.5% การเคลือบเมล็ดพันธุ์ด้วย GA₃ ความเข้มข้น 0.5% และการเคลือบเมล็ดพันธุ์ด้วย GA₃ ความเข้มข้น 1% หลังการเคลือบเมล็ดนำเมล็ดมาลดความชื้นเท่ากับ 7% จากนั้นนำเมล็ดมาเพาะทดสอบความงอกในห้องปฏิบัติการด้วยวิธีเพาะบนกระดาษ (Top of paper) และโรงเรือนด้วยวิธีการเพาะในพีทมอส ผลการทดลอง พบว่า การเคลือบเมล็ดพันธุ์ดาวเรืองด้วย GA₃ ความเข้มข้น 0.5 และ 1% สามารถเพิ่มความเร็วในการงอกและลดเวลาเฉลี่ยในการงอกทั้งในห้องปฏิบัติการและโรงเรือนได้ดีกว่าและแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติเมล็ดที่ไม่ได้เคลือบ ยกเว้นพันธุ์ MG01 ที่มีความเร็วในการงอกที่ไม่แตกต่างจากเมล็ดไม่เคลือบเมื่อเพาะทดสอบในโรงเรือน อย่างไรก็ตาม พบว่า การเคลือบเมล็ดพันธุ์ดาวเรืองทั้ง 3 พันธุ์ ด้วย GA₃ ความเข้มข้น 0.5 และ 1% ยังส่งผลให้ต้นกล้าดาวเรืองมีการเจริญเติบโตด้านความยาวยอดและมีอัตราการเจริญเติบโตของต้นกล้าในโรงเรือนที่อายุ 14 วันหลังเพาะมากกว่าต้นกล้าจากเมล็ดที่ไม่ได้เคลือบอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ แต่ความยาวรากไม่แตกต่างกันทางสถิติในทุกกรรมวิธี ในขณะที่การเคลือบเมล็ดทุกกรรมวิธีและการไม่เคลือบเมล็ดมีเปอร์เซ็นต์การงอกของต้นกล้าปกติทั้งในห้องปฏิบัติการและโรงเรือนที่ไม่แตกต่างกันทางสถิติ

คำสำคัญ: ความเร็วในการงอก การเจริญของต้นกล้า คุณภาพเมล็ดพันธุ์ สารควบคุมการเจริญเติบโตของพืช

Abstract

The production of marigold seeds often faces the problem of uneven seed maturity, which results in inconsistent germination and seedling growth. Therefore, the objective of this experiment was to study the effect of appropriate concentrations of GA₃ and IAA for seed coating of three cultivars of hybrid American marigold seeds on seed germination and seedling growth. The experiment was conducted using a completely randomized design (CRD) with four treatments as follows: uncoated seeds, seed coating with 0.5% IAA, seed coating with 0.5% GA₃ and seed coating with 1.0% GA₃. After coating, the seeds were dried to 7% moisture content, and then seed germination was tested in the laboratory using the top of paper method and peat moss medium in the greenhouse. The results showed that seed coating with GA₃ concentrations of 0.5% and 1% on all three cultivars significantly increased the speed of germination and decreased the mean germination time compared to uncoated seeds under both laboratory and greenhouse conditions except one cultivar (MG01), which showed no significant difference with uncoated seed under greenhouse condition. However, coating the seeds of all three cultivars with GA₃ at concentrations of 0.5% and 1.0% significantly enhanced seedling growth in terms of shoot length and growth rate under greenhouse conditions at 14 days after sowing compared with seedlings from uncoated seeds. Meanwhile, no significant differences were observed in the germination percentage of normal seedlings among all treatments of seed coating, including uncoated seeds, under either laboratory or greenhouse conditions.

Keywords: speed of germination, seedling growth, seed quality, plant growth regulators

¹ สาขาวิชาพืชสวน คณะผลิตกรรมการเกษตร มหาวิทยาลัยแม่โจ้ จังหวัดเชียงใหม่ 50290

¹ Division of Horticulture, Faculty of Agricultural Production, Maejo University, Chiang Mai 50290

* Corresponding author: pranomy@mju.ac.th

คำนำ

ดาวเรืองเป็นไม้ดอกที่นิยมปลูกกันทั่วไป มีรูปทรงดอกสวยงาม หลากหลายสี ดอกบานได้หลายวัน ดาวเรืองยังเป็นไม้ดอกชนิดหนึ่งที่มีความสำคัญทางเศรษฐกิจของประเทศไทยที่สร้างรายได้ให้แก่เกษตรกรเนื่องจากปลูกง่ายเจริญเติบโตได้ดีในสภาพแวดล้อมของประเทศไทย ปลูกได้ตลอดทั้งปี สามารถตัดดอกจำหน่ายได้ภายใน 60 – 70 วันหลังปลูก ดอกมีอายุการใช้งานที่นาน จึงนิยมปลูกเพื่อตัดดอกจำหน่ายในช่วงเทศกาล ประกอบพิธีทางศาสนา หรือร้อยเป็นพวงมาลัย และสามารถนำมาปลูกเพื่อเป็นไม้ประดับแปลงหรือไม้กระถางใช้ในการตกแต่งภูมิทัศน์ (Kasetsart University Research and Development Institute, 2015) นอกจากนี้ส่วนของกลีบดอกยังมีสารสำคัญในกลุ่มแคโรทีนอยด์ (carotenoid) ได้แก่ สารลูทีน (Lutein) และ ซีแซนทีน (Zeaxanthin) ที่สามารถสกัดมาใช้ประโยชน์ทางการแพทย์ หรือนำกลีบดอกมาตากแห้งเพื่อใช้เป็นชาดื่มบำรุงสายตา (Madhavan et al., 2018) การขยายพันธุ์ดาวเรืองวิธีที่นิยมคือการเพาะเมล็ด ซึ่งเมล็ดที่นำมาใช้ควรมีการงอกและการเจริญของต้นกล้าที่ดี แต่ในการผลิตเมล็ดพันธุ์ดาวเรืองปัญหาที่พบคือเมล็ดที่เก็บเกี่ยวนำมาใช้ในการงอกและการเจริญของต้นกล้าที่ไม่สม่ำเสมอ เนื่องจากการแก่ของแต่ละเมล็ดไม่เท่ากันถึงแม้จะเก็บเมล็ดมาจากช่อดอกเดียวกัน ในการปฏิบัติที่ช่วยเพิ่มคุณลักษณะเหล่านี้สามารถทำได้โดยวิธียกระดับคุณภาพเมล็ดพันธุ์ด้วยการเคลือบเมล็ดร่วมกับสารออกฤทธิ์ที่มีผลต่อการส่งเสริมการงอกหรือการเจริญของต้นกล้า การเคลือบเมล็ดพันธุ์เป็นวิธีการนำสารกลุ่มพอลิเมอร์ที่มีความบางเบาและมีความหนาแน่นที่สม่ำเสมอในลักษณะแบบฟิล์ม (film coating) มาเคลือบยึดกับผิวของเมล็ดพันธุ์ในลักษณะแผ่นฟิล์มบาง ๆ โดยการเคลือบเมล็ดจะเพิ่มสารออกฤทธิ์ต่าง ๆ เช่น สารป้องกันเชื้อรา สารป้องกันแมลง ธาตุอาหารพืช หรือ สารควบคุมการเจริญเติบโตของพืช การเคลือบทำให้สารติดไปกับเมล็ดอย่างสม่ำเสมอและติดแน่นไม่หลุดร่วงระหว่างการนำเมล็ดไปใช้เพาะปลูก (Kangsopa, 2019) สารควบคุมการเจริญเติบโตที่ส่งผลต่อการงอกของเมล็ดมีอยู่หลายชนิดหนึ่งในนั้นได้แก่ กรดจิบเบอเรลลิก (Gibberellic Acid; GA₃) เป็นสารในกลุ่มจิบเบอเรลลินที่มีผลต่อการส่งเสริมการงอกของเมล็ด เพิ่มศักยภาพการเจริญเติบโตของเอ็มบริโอได้ (Sun, 2008) นอกจากนี้จิบเบอเรลลินยังกระตุ้นให้สังเคราะห์เอนไซม์ amylase ที่มีส่วนในการเร่งปฏิกิริยาการไฮโดรไลซิสของแป้งที่เก็บไว้ในส่วนสะสมอาหารภายในเมล็ดให้เปลี่ยนเป็นน้ำตาลที่จะถูกนำไปใช้เป็นพลังงานสำหรับกระบวนการงอกของเมล็ด (Kaneko et al., 2002) ส่วนออกซิน (Auxin) เป็นสารควบคุมการเจริญเติบโตของพืช ซึ่งมีอิทธิพลต่อกระบวนการทางสรีรวิทยาตั้งแต่การกำเนิดเอ็มบริโอไปจนถึงการสร้างอวัยวะใหม่ ออกซินที่นำมาใช้สำหรับควบคุมการเจริญเติบโตของพืช ได้แก่ 1-naphthalene acetic acid (NAA), Indole-3- acetic acid (IAA) และ Indole-3-butyric acid (IBA) ฮอร์โมนพืชหลายชนิดมีบทบาทสำคัญต่อการควบคุมกระบวนการงอกของเมล็ด ได้แก่ IAA, GA₃ และเอทิลีน โดยเฉพาะในช่วงต้นของการงอกเป็นต้นกล้า พบว่า มีการแสดงออกของยีนที่เกี่ยวข้องกับออกซินบริเวณปลายราก ซึ่ง IAA มีหน้าที่กระตุ้นการแบ่งเซลล์และส่งเสริมการเจริญของราก (Miransari and Smith, 2014) ทั้งนี้ Bialek et al. (1992) รายงานว่า IAA มีความจำเป็นต่อการพัฒนาของต้นอ่อน และ Thornalley (1990) แสดงให้เห็นว่า IAA มีความเกี่ยวข้องกับการทำงานของเอนไซม์ Glyoxalase I ซึ่งมีส่วนช่วยในการเจริญและพัฒนาของเซลล์ในช่วงการงอกของเมล็ดด้วย

Hansuri and Siri (2018) รายงานว่าการเคลือบเมล็ดพันธุ์แดงกลีบผสมด้วย GA₃ (4%) IAA (1.5%) NAA (0.1%) และ IBA (0.1%) รวมถึงการเคลือบด้วย GA₃ ร่วมกับ IAA, NAA หรือ IBA ตามความเข้มข้นดังกล่าวส่งผลให้ต้นกล้ามีการเจริญเติบโตดีกว่าเมล็ดที่ไม่เคลือบในการทดสอบในห้องปฏิบัติการ นอกจากนี้เมื่อเพาะเมล็ดพันธุ์ในโรงเรือน พบว่า เมล็ดที่เคลือบร่วมกับสารควบคุมการเจริญเติบโตในแต่ละกรรมวิธีมีอัตราการงอก ความเร็วในการงอก และความยาวลำต้นสูงกว่ากรรมวิธีที่ไม่ได้เคลือบเมล็ดอย่างมีนัยสำคัญ นอกจากนี้ Klarod and Siri (2016) รายงานว่าการเคลือบเมล็ดมะเขือเทศร่วมกับ IAA ที่ความเข้มข้น 2% ทำให้เมล็ดพันธุ์มีเปอร์เซ็นต์การงอกที่สูงขึ้น และการเคลือบเมล็ดด้วย GA₃ ความเข้มข้น 2% ส่งเสริมให้ต้นกล้ามีความยาวลำต้นและรากมากกว่าเมล็ดที่ไม่ได้เคลือบ จากผลการวิจัยดังกล่าวมาแสดงให้เห็นว่าการเคลือบเมล็ดร่วมกับสารควบคุมการเจริญเติบโตของพืชมีผลต่อการงอกและการเจริญของต้นกล้า แต่อย่างไรก็ตามการนำสารควบคุมการเจริญเติบโตของพืชมาเคลือบกับเมล็ดแต่ละชนิดหรือแต่ละพันธุ์นั้นจะต้องทำการศึกษาถึงชนิดและความเข้มข้นที่เหมาะสมสำหรับการนำมาใช้ ซึ่งอาจมีความแตกต่างกันไปตามการตอบสนองของพืช ดังนั้นการทดลองครั้งนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลความเข้มข้นของ GA₃ และ IAA ที่เหมาะสมสำหรับการเคลือบเมล็ดพันธุ์ดาวเรืองอเมริกันลูกผสมจำนวน 3 พันธุ์ต่อคุณภาพการงอกของเมล็ดพันธุ์หลังการเคลือบและผลต่อการเจริญของต้นกล้า ซึ่งกรรมวิธีที่นำมาใช้ในการศึกษาครั้งนี้เป็นการต่อยอดงานวิจัยที่เป็นส่วนหนึ่งของการทดลองในการทำวิทยานิพนธ์ (ไม่ได้ตีพิมพ์) โดยได้ศึกษาเบื้องต้นมาก่อนหน้านี้ในเมล็ดพันธุ์ดาวเรืองฝรั่งเศส (*Tagetes patula*) ที่เคลือบเมล็ดด้วย GA₃ (ความเข้มข้น 0.5, 1, 1.5%) IAA (ความเข้มข้น 0.1, 0.25, 0.5%) NAA (ความเข้มข้น 0.05, 0.1, 0.15%) จากผลทดลอง พบว่า GA₃ (ความเข้มข้น 0.5 และ 1 %) และ IAA (ความเข้มข้น 0.5%) มีผลต่อการเจริญของต้นกล้าที่ดีกว่าเมล็ดที่ไม่ได้เคลือบเมื่อเพาะในสภาพโรงเรือน ดังนั้นจึงได้นำมาทำการทดลองขยายผลในครั้งนี้เพื่อทราบแนวทางสำหรับการนำมาใช้ประโยชน์เชิงปฏิบัติจริงทางการค้ากับเมล็ดพันธุ์ดาวเรืองอเมริกัน (*Tagetes erecta*) พันธุ์ลูกผสมซึ่งเป็นประโยชน์ที่กว้างขึ้นต่อไป

วิธีการศึกษา

นำเมล็ดพันธุ์ดาวเรืองอเมริกัน 3 พันธุ์ โดยให้รหัสแทนชื่อพันธุ์ดังนี้ พันธุ์ที่ 1 ‘MG01’ พันธุ์ที่ 2 ‘MG02’ และพันธุ์ที่ 3 ‘MG03’ ซึ่งทั้งหมดเป็นพันธุ์ทางการค้าลูกผสม F1 (F1 hybrid variety) ความบริสุทธิ์ทางกายภาพ 98% และ มีความงอก 90% ใน ทั้ง 3 พันธุ์ หลังรับเมล็ดพันธุ์มาได้ทำการคัดแยกลักษณะเมล็ดไม่สมบูรณ์ที่มีลักษณะเมล็ดลีบ เปลือกหุ้มเมล็ดเป็นสีน้ำตาลอ่อนซึ่งเป็นลักษณะที่ควรคัดออกก่อนการจำหน่าย โดยลักษณะเมล็ดสำหรับจำหน่ายนั้นควรมีความสมบูรณ์ไม่ลีบและเปลือกหุ้มเมล็ดเป็นสีน้ำตาลเข้มถึงสีดำ ซึ่งในการทดลองครั้งนี้ได้นำลักษณะเมล็ดสำหรับการจำหน่ายดังกล่าวมาทำการศึกษา โดยเมล็ดมีน้ำหนักหลังการคัดแยกจำนวน 1,000 เมล็ดของแต่ละพันธุ์อยู่ที่ 4.22, 3.40 และ 4.03 กรัม ความชื้นเมล็ด 8.89, 8.80 และ 9.66% ตามลำดับ ดำเนินการทดลองเดือนมีนาคม พ.ศ. 2567 ณ ห้องปฏิบัติการเมล็ดพันธุ์พืชสวน และโรงเรียนสาขาพืชสวนระดับ คณะผลิตกรรมการเกษตร มหาวิทยาลัยแม่โจ้ จังหวัดเชียงใหม่

ทำการเคลือบเมล็ดร่วมกับสารควบคุมการเจริญเติบโตของพืช โดยวางแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ (Completely Randomized design; CRD) โดยกำหนดให้มี 4 กรรมวิธี แต่ละกรรมวิธีมี 4 ซ้ำ ซ้ำละ 50 เมล็ด ดังรายละเอียด คือ กรรมวิธีที่ 1 ไม่ทำการเคลือบเมล็ดพันธุ์ (ชุดควบคุม) กรรมวิธีที่ 2 ทำการเคลือบเมล็ดพันธุ์ด้วย IAA ความเข้มข้น 0.5% กรรมวิธีที่ 3 ทำการเคลือบเมล็ดด้วย GA₃ ความเข้มข้น 0.5% และ กรรมวิธีที่ 4 ทำการเคลือบเมล็ดด้วย GA₃ ความเข้มข้น 1% นำเมล็ดพันธุ์ดาวเรือง 3 พันธุ์ มาเคลือบ โดยใช้สารเคลือบการค้ำสีแดง (Polymer Flare-1) ผสมน้ำอัตราส่วนโดยปริมาตร 70:30 สำหรับใช้เคลือบเมล็ดในทุกกรรมวิธี ในการดำเนินการเคลือบเมล็ดร่วมกับสาร GA₃ และ IAA ได้ทำการเตรียมสารผสมในน้ำและนำมาผสมร่วมกับสารเคลือบโดยปรับความเข้มข้นของ GA₃ และ IAA ตามแต่ละกรรมวิธี จากนั้นนำมาใช้สำหรับเคลือบเมล็ดปริมาณ 25 มิลลิกรัมต่อเมล็ดดาวเรือง 100 กรัม หลังจากเคลือบเมล็ดพันธุ์ตามแต่ละกรรมวิธีแล้วนำไปลดความชื้นเมล็ดในอุณหภูมิห้องโดยการผึ่งให้แห้งจนเมล็ดมีความชื้นเท่ากับ 7% จากนั้นนำเมล็ดพันธุ์ไปเพาะในห้องปฏิบัติการและโรงเรือนเพื่อประเมินผลการงอกและการเจริญเติบโตของต้นกล้าบันทึกผล คำนวณค่าต่าง ๆ และวิเคราะห์ข้อมูล ดังรายละเอียดต่อไปนี้

การตรวจสอบความงอกเมล็ดพันธุ์ (Seed germination test)

- การทดสอบความงอกในห้องปฏิบัติการ (Laboratory Germination Test) เพาะเมล็ดบนกระดาษ (Top of Paper; TP) จำนวน 4 ซ้ำ ซ้ำละ 50 เมล็ด ทำการประเมินผลความงอกทุกวันจนถึงวันที่ 7 หลังการเพาะ ซึ่งเป็นวันที่เมล็ดแสดงศักยภาพการงอกครบตามลักษณะที่ต้องประเมินแล้วทั้งหมดของจำนวนเมล็ดที่นำมาเพาะและเสร็จสิ้นก่อนถึงเวลาการตรวจนับครั้งสุดท้ายตามมาตรฐานของ International Seed Testing Association (International Seed Testing Association, 1993) ที่ กำหนดวันสุดท้ายของการนับ (final count) ที่ 14 วันหลังการเพาะ

- การทดสอบความงอกในโรงเรือน (Greenhouse Emergence Test) เพาะเมล็ดในถาดหลุมขนาด 200 หลุม โดยใช้พีทมอส (peat moss) เป็นวัสดุเพาะ นำถาดเพาะวางไว้ในโรงเรือน รดน้ำวันละ 2 ครั้ง โดยทำการประเมินผลความงอกทุกวันเป็นระยะเวลา 14 วัน

เวลาเฉลี่ยในการงอกของเมล็ดพันธุ์ (Mean germination time; MGT)

การประเมินค่าเวลาเฉลี่ยในการงอกดำเนินการโดยเพาะเมล็ดในห้องปฏิบัติการโดยวิธีเพาะเมล็ดบนกระดาษ และโรงเรือนในถาดหลุม 200 หลุม โดยใช้พีทมอส โดยตรวจนับต้นกล้าปกติที่งอกทุกวันเป็นระยะเวลา 7 วันในห้องปฏิบัติการ และ 14 วันในโรงเรือน จากนั้นนำข้อมูลไปคำนวณค่าเวลาเฉลี่ยในการงอกของเมล็ดพันธุ์ (MGT) โดยใช้สูตรตาม Kulkarni et al. (2006) ดังนี้

$$MGT = \frac{\sum(n \times d)}{N}$$

N

เมื่อ n คือ จำนวนต้นกล้าปกติที่งอกในแต่ละวัน

d คือ จำนวนวันที่เมล็ดงอกหลังเพาะเมล็ด

N คือ จำนวนต้นกล้าปกติทั้งหมดที่งอกเมื่อสิ้นสุดการทดลอง

ความเร็วในการงอกของเมล็ดพันธุ์ (Speed of germination)

ตรวจนับต้นกล้าปกติที่งอกทุกวันเป็นระยะเวลา 7 วันในห้องปฏิบัติการ และ 14 วันในโรงเรือน จากนั้นนำข้อมูลไปคำนวณหาความเร็วในการงอกของเมล็ดพันธุ์ (Association of Official Seed Analysts, 1983)

$$\text{ความเร็วในการงอก} = \frac{\text{จำนวนต้นกล้าปกติที่นับครั้งแรก}}{\text{วันหลังเพาะที่นับครั้งแรก}} + \dots + \frac{\text{จำนวนต้นกล้าปกติที่นับครั้งสุดท้าย}}{\text{วันหลังเพาะที่นับครั้งสุดท้าย}}$$

การเจริญเติบโตของต้นกล้า (Seedling growth test)

ทำการสุ่มต้นกล้าดาวเรืองในสภาพโรงเรือนอายุ 14 วันหลังเพาะ จำนวน 4 ซ้ำ ซ้ำละ 10 ต้น นำมาหาความยาวยอด (shoot length) และความยาวราก (root length) ของต้นกล้า ทำการวัดความยาวยอดโดยวัดจากโคนต้นไปถึงปลายยอด และความยาวรากโดยวัดจากจุดเชื่อมต่อระหว่างรากและโคนต้นไปถึงปลายราก

อัตราการเจริญเติบโตของต้นกล้า (Seedling growth rate)

นำต้นกล้าดาวเรืองในสภาพโรงเรือนอายุ 14 วันหลังเพาะ จำนวน 4 ซ้ำ ซ้ำละ 10 ต้น จากต้นที่วัดค่าความยาวยอดและรากมาอบด้วยอุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 48 ชั่วโมง จนต้นกล้าแห้งและมีน้ำหนักคงที่ จากนั้นนำมาคำนวณค่าอัตราการเจริญเติบโตของต้นกล้า

$$\text{อัตราการเจริญเติบโตของต้นกล้า} = \frac{\text{น้ำหนักแห้งของต้นกล้าปกติ}}{\text{จำนวนต้นกล้าปกติ}}$$

การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ

นำข้อมูลมาวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติ (Analysis of Variance; ANOVA) และเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยของแต่ละกรรมวิธีด้วยวิธี Duncan's Multiply Range Test (DMRT)

ผลการศึกษาและวิจารณ์

เปอร์เซ็นต์การงอก (Seed germination percentage)

การเคลือบเมล็ดด้วย GA₃ และ IAA ในทุกกรรมวิธีไม่ทำให้เปอร์เซ็นต์การงอกของเมล็ดดาวเรืองทั้งสามพันธุ์แตกต่างกันทางสถิติ (Table 1) จากการทดลองแสดงให้เห็นว่า การเคลือบเมล็ดพันธุ์ดาวเรืองด้วย GA₃ และ IAA ในทุกกรรมวิธีไม่มีผลต่อเปอร์เซ็นต์ความงอกของเมล็ดดาวเรือง ซึ่งอาจเนื่องมาจากเมล็ดที่นำมาใช้ในการทดลองมีความงอกที่สูงอยู่แล้ว จึงทำให้อิทธิพลของสารออกฤทธิ์แสดงออกด้านความงอกได้ไม่ชัดเจน

Table 1 Effect of seed coating with GA₃ and IAA on seed germination percentage of marigold 'MG01' 'MG02' and 'MG03'

Treatments	Seed germination percentage (%)					
	MG01		MG02		MG03	
	Lab	Greenhouse	Lab	Greenhouse	Lab	Greenhouse
Uncoated seeds	96.5	99.5	94.0	98.5	96.5	97.5
0.5% IAA	96.5	98.5	95.0	98.5	94.0	97.5
0.5% GA ₃	97.0	98.0	94.0	99.0	91.5	97.5
1% GA ₃	97.0	98.0	91.5	99.0	92.5	97.0
F-test	ns	ns	ns	ns	ns	ns
CV (%)	2.77	1.37	2.74	1.60	3.66	1.99

ns = non-significance.

เวลาเฉลี่ยในการงอก (Mean germination time)

หลังจากเคลือบเมล็ดด้วยสารควบคุมการเจริญเติบโต แล้วนำไปเพาะในห้องปฏิบัติการ พบว่า เมล็ดดาวเรืองพันธุ์ 'MG01' และ 'MG02' ที่เคลือบด้วย GA₃ ความเข้มข้น 0.5 และ 1% งอกเร็วกว่าเมล็ดที่ไม่ได้เคลือบ โดย 'MG01' ใช้เวลาเฉลี่ย 3.42 วัน และ 'MG02' ใช้เวลาเฉลี่ย 3.20–3.30 วัน ซึ่งแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติเมื่อเทียบกับเมล็ดที่ไม่ได้เคลือบในแต่ละ

พันธุ์ คือ 3.65 และ 3.55 วัน ตามลำดับ แต่ในพันธุ์ ‘MG03’ ไม่พบความแตกต่างทางสถิติเมื่อเปรียบเทียบระหว่างการเคลือบด้วย GA_3 ทุกกรรมวิธีกับเมล็ดที่ไม่ได้เคลือบ ในกรณีการทดสอบในโรงเรือน พบว่า ‘MG01’ ที่เคลือบด้วย GA_3 ความเข้มข้น 1% ใช้เวลาเฉลี่ยในการงอกน้อยที่สุด คือ 3.70 วัน และแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับเมล็ดที่ไม่ได้เคลือบและกรรมวิธีที่เคลือบด้วย IAA ความเข้มข้น 0.5% และ GA_3 ความเข้มข้น 0.5% คือ 3.90, 3.80 และ 3.85 วัน ตามลำดับ ส่วน ‘MG02’ ที่เคลือบด้วย GA_3 ความเข้มข้น 0.5% และ 1% ใช้เวลาเฉลี่ยในการงอก 3.15 และ 3.20 วัน ตามลำดับ ซึ่งต่างจากเมล็ดไม่เคลือบอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่มีเวลาเฉลี่ยในการงอกที่ 3.65 วัน สำหรับ ‘MG03’ พบว่า เมล็ดที่เคลือบด้วย GA_3 และ IAA ทุกกรรมวิธีมีเวลาเฉลี่ยในการงอกลดลงมากกว่าเมล็ดที่ไม่ได้เคลือบอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติเมื่อทดสอบในโรงเรือน (Table 2) แต่อย่างไรก็ตามโดยภาพรวมจากผลดังกล่าวแสดงถึงอิทธิพลของ GA_3 ที่มีผลต่อการลดเวลาเฉลี่ยในการงอกของเมล็ดทั้ง 3 พันธุ์ เมื่อทำการทดสอบความงอกทั้งในห้องปฏิบัติการและโรงเรือน ซึ่งผลดังกล่าวสอดคล้องกับบทบาทของ GA_3 ที่เมล็ดที่ช่วยกระตุ้นให้เมล็ดสังเคราะห์เอนไซม์ amylase ทำให้มีการเร่งปฏิกิริยาการไฮโดรไลซิสของแป้งที่เก็บไว้ในส่วนสะสมอาหารภายในเมล็ดให้เปลี่ยนเป็นน้ำตาลที่จะถูกนำไปใช้เป็นพลังงานสำหรับกระบวนการงอกของเมล็ด (Kaneko et al., 2002) ข้อมูลดังกล่าวสอดคล้องกับผลการศึกษาของ Bhadra et al. (2024) พบว่า การให้ GA_3 ความเข้มข้น 500 ppm กับเมล็ด *Tinospora cordifolia* (Willd.) ส่งผลให้เวลาเฉลี่ยในการงอกลดลงซึ่งสัมพันธ์กับกิจกรรมของเอนไซม์ amylase ในเมล็ดที่เพิ่มขึ้น และมีปริมาณของน้ำตาลที่ละลายน้ำเพิ่มขึ้นสูงกว่าเมล็ดที่ไม่ได้รับ GA_3 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

Table 2 Effect of seed coating with GA_3 and IAA on mean germination time of marigold ‘MG01’ ‘MG02’ and ‘MG03’

Treatments	Mean germination time (days)					
	MG01		MG02		MG03	
	Lab	Greenhouse	Lab	Greenhouse	Lab	Greenhouse
Uncoated seeds	3.65 b	3.90 b	3.55 b	3.65 b	3.72 a	4.00 b
0.5% IAA	3.87 c	3.80 b	3.70 b	3.60 b	3.90 b	3.80 a
0.5% GA_3	3.42 a	3.85 b	3.30 a	3.15 a	3.65 a	3.81 a
1% GA_3	3.42 a	3.70 a	3.20 a	3.20 a	3.65 a	3.78 a
F-test	*	*	*	*	*	*
CV (%)	2.64	1.66	3.18	3.44	2.81	2.47

* Indicates statistical significance at $p \leq 0.05$.

Means in the same column followed by the same letter are non-significance difference at $p \leq 0.05$ by DMRT.

ความเร็วในการงอก (speed of germination)

หลังจากเคลือบเมล็ดด้วย GA_3 ความเข้มข้น 0.5 และ 1% แล้วนำไปเพาะในห้องปฏิบัติการ พบว่า เมล็ดดาวเรืองพันธุ์ ‘MG01’ และ ‘MG02’ มีความเร็วในการงอกเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติเมื่อเทียบกับเมล็ดที่ไม่ได้เคลือบ โดย ‘MG01’ มีค่าเฉลี่ย 14.35 และ 14.42 ต้นต่อวัน และ ‘MG02’ มีค่าเฉลี่ย 14.37 และ 14.47 ต้นต่อวัน ตามลำดับ เมื่อเพาะในโรงเรือน พบว่า เมล็ด ‘MG01’ ที่เคลือบด้วย GA_3 ความเข้มข้น 1% มีความเร็วในการงอกเฉลี่ยสูงสุดที่ 13.55 ต้นต่อวัน และแตกต่างทางสถิติจากเมล็ดไม่เคลือบและการเคลือบในกรรมวิธีอื่นๆ สำหรับ ‘MG02’ การเคลือบด้วย GA_3 ความเข้มข้น 0.5% ให้ผลดีที่สุด โดยมีค่าเฉลี่ย 15.87 ต้น/วัน ซึ่งต่างจากเมล็ดไม่เคลือบอย่างมีนัยสำคัญ ใน ‘MG03’ การเคลือบด้วย GA_3 ทั้ง 0.5% และ 1% ส่งผลให้ความเร็วในการงอกเพิ่มขึ้นทั้งในห้องปฏิบัติการและโรงเรือน โดยมีค่าเฉลี่ย 12.77 และ 12.97 ต้นต่อวัน ในห้องปฏิบัติการ และ 13.00 และ 13.25 ต้นต่อวัน ในโรงเรือน ตามลำดับ ซึ่งแตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญจากเมล็ดที่ไม่ได้เคลือบ (Table 3) ซึ่งผลไปในทิศทางเดียวกับ Hansuri and Siri (2018) ซึ่งทำการเคลือบเมล็ดพันธุ์แตงกวาลูกผสมด้วยสารละลาย GA_3 ความเข้มข้น 4% ส่งผลให้เมล็ดมีความเร็วในการงอกเพิ่มขึ้น

การเจริญเติบโตของต้นกล้า (Seedling growth test) และ อัตราการเจริญเติบโตของต้นกล้า (Seedling growth rate)

การเคลือบเมล็ดด้วย GA_3 ความเข้มข้น 0.5 และ 1% ส่งผลให้ต้นกล้ามีการเจริญเติบโตด้านความยาวยอดเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติเมื่อเทียบกับเมล็ดที่ไม่ได้เคลือบในดาวเรืองทั้ง 3 พันธุ์ คือ ‘MG01’ ความยาวยอด คือ 4.63 และ 4.80 เซนติเมตร ใน ‘MG02’ ความยาวยอด คือ 4.40 และ 4.53 เซนติเมตร และ ใน ‘MG03’ ความยาวยอด คือ 8.75 และ 8.03 เซนติเมตร

ตามลำดับ (Table 4) นอกจากนี้นักการเคลือบเมล็ดด้วย GA_3 ความเข้มข้น 0.5 และ 1% ยังส่งผลให้มีอัตราการเจริญเติบโตของต้นกล้ามากกว่าเมล็ดที่ไม่ได้เคลือบอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยพันธุ์ที่ 1 ‘MG01’ มีอัตราการเจริญเติบโตของต้นกล้า 11.9 และ 12.0 มิลลิกรัมต่อต้น ใน ‘MG02’ มีอัตราการเจริญเติบโตของต้นกล้า 12.6 และ 11.2 มิลลิกรัมต่อต้น และใน ‘MG03’ มีอัตราการเจริญเติบโตของต้นกล้า 8.9 และ 9.9 มิลลิกรัมต่อต้น ตามลำดับ (Table 5) ซึ่งผลที่ได้แสดงให้เห็นถึงความสามารถของการให้ GA_3 จากภายนอกกระตุ้นการเจริญเติบโตของต้นกล้าดาวเรืองได้ ซึ่ง Palepad et al. (2017) รายงานว่า GA_3 ที่เกิดจากการสังเคราะห์โดยเอ็มบริโอของเมล็ดอาจไม่เพียงพอ ดังนั้น การให้ GA_3 จากภายนอกสามารถนำมาใช้เพื่อเสริมการออกฤทธิ์ร่วมกับ GA_3 ที่เมล็ดสร้างขึ้นและส่งผลต่อการเจริญของต้นกล้าได้ดีขึ้นโดยช่วยเพิ่มการแบ่งตัวของเซลล์และการยืดตัวของเซลล์ ส่งผลให้พืชมีการเจริญเติบโตรวดเร็วกว่าปกติที่ไม่ได้ให้ GA_3 สอดคล้องกับงานวิจัยของ Mousavi et al. (2019) ได้รายงานว่าการใช้ GA_3 ความเข้มข้นมากกว่า 500 ppm ส่งผลให้เมล็ด *Datura stramonium* มีความยาวยอดสูงสุดและแตกต่างกับชุดควบคุมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ และ Tapfumaneyi et al. (2023) รายงานว่า ความยาวยอดของต้นกล้าผักโขมและผักเสี้ยนสูงชันอย่างมีนัยสำคัญเมื่อให้ GA_3 ความเข้มข้น 500 ppm ซึ่งแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับชุดควบคุม ทั้งนี้การเพิ่มขึ้นของน้ำหนักแห้งของต้นกล้าอาจเกิดจากการที่ต้นกล้ามีการงอกที่เร็ว มีการนำอาหารจากส่วนเนื้อเยื่อสะสมอาหารไปใช้ได้เร็วและมีการเจริญเติบโตของต้นที่ดีจึงมีผลต่อการที่ต้นกล้ามีความพร้อมในการสร้างอาหารจากกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสงได้เร็วกว่า ซึ่งทำให้มีผลต่อการสะสมอาหารที่ต้นและมีพลังงานสำหรับนำไปใช้ในกระบวนการกระตุ้นให้เซลล์มีการเจริญเติบโตมากขึ้นและส่งเสริมการสังเคราะห์อินทรีย์สารของต้นพืช ซึ่งมีความสำคัญต่อการเพิ่มขึ้นของน้ำหนักแห้ง (Neto et al., 2024) และจากความยาวของลำต้นและรากที่เพิ่มขึ้น ส่งผลให้น้ำหนักแห้งของต้นกล้าเพิ่มขึ้น (Lay et al., 2013) ซึ่งส่งผลต่ออัตราการเจริญของต้นกล้าที่มากขึ้น

Table 3 Effect of seed coating with GA_3 and IAA on speed of germination of marigold ‘MG01’ ‘MG02’ and ‘MG03’

Treatments	Speed of germination (plants/day)					
	MG01		MG02		MG03	
	Lab	Greenhouse	Lab	Greenhouse	Lab	Greenhouse
Uncoated seeds	13.47 b	12.97 b	13.62 b	13.90 c	12.50 ab	12.37 b
0.5% IAA	12.57 c	13.07 b	13.07 b	14.05 c	12.15 b	12.97 ab
0.5% GA_3	14.35 a	12.97 b	14.37 a	15.87 a	12.77 a	13.00 a
1% GA_3	14.42 a	13.55 a	14.47 a	15.10 b	12.97 a	13.25 a
F-test	*	*	*	*	*	*
CV (%)	4.02	1.83	4.16	2.81	2.91	3.13

* Indicates statistical significance at $p \leq 0.05$.

Means in the same column followed by the same letter are non-significance difference at $p \leq 0.05$ by DMRT.

Table 4 Effect of seed coating with GA_3 and IAA on shoot length and root length of marigold ‘MG01’ ‘MG02’ and ‘MG03’ in greenhouse conditions

Treatments	Seedling length (cm)					
	MG01		MG02		MG03	
	Shoot	Root	Shoot	Root	Shoot	Root
Uncoated seeds	4.13 c	9.23	3.55 c	8.55	6.55 d	8.63
0.5% IAA	4.33 b	9.45	4.08 b	8.73	7.35 c	9.13
0.5% GA_3	4.63 a	9.03	4.40 a	8.48	8.75 a	9.45
1% GA_3	4.80 a	8.70	4.53 a	8.55	8.03 b	8.60
F-test	*	ns	*	ns	*	ns
CV (%)	2.74	9.68	3.82	4.32	5.18	14.37

ns = non-significance.; * indicates statistical significance at $p \leq 0.05$.

Means in the same column followed by the same letter are non-significance difference at $p \leq 0.05$ by DMRT.

Table 5 Effect of seed coating with GA₃ and IAA on seedling growth rate of marigold ‘MG01’ ‘MG02’ and ‘MG03’ in greenhouse condition

Treatments	Seedling growth rate (milligram/plant)		
	MG01	MG02	MG03
Uncoated seeds	9.4 b	9.5 c	7.1 c
0.5% IAA	10.3 ab	9.7 c	8.4 bc
0.5% GA ₃	11.9 a	12.6 a	8.9 ab
1% GA ₃	12.0 a	11.2 b	9.9 a
F-test	*	*	*
CV (%)	9.17	24.44	24.32

* Indicates statistical significance at $p \leq 0.05$.

Means in the same column followed by the same letter are not significant at $p \leq 0.05$ by DMRT.

สรุปผลการศึกษา

การเคลือบเมล็ดดาวเรืองอเมริกันลูกผสมทั้ง 3 พันธุ์ ด้วย GA₃ ความเข้มข้น 0.5 และ 1% สามารถเพิ่มความเร็วในการงอกและลดเวลาเฉลี่ยในการงอกของเมล็ด โดยพันธุ์ MG01 สามารถลดเวลาในการงอกได้ประมาณ 1.20–5.52 ชั่วโมง พันธุ์ MG02 แสดงการตอบสนองต่อ GA₃ ได้ดีที่สุด สามารถลดเวลาในการงอกได้สูงสุดถึง 12 ชั่วโมง ขณะที่พันธุ์ MG03 ตอบสนองน้อยกว่า (ลดลงเพียง 1.68–5.28 ชั่วโมง) รวมทั้งยังส่งผลให้ต้นกล้าดาวเรืองมีการเจริญเติบโตของต้นกล้าด้านความยาวยอดและมียอดรากการเจริญเติบโตของต้นกล้าที่เพิ่มขึ้นดีกว่าเมล็ดไม่เคลือบ ในขณะที่การเคลือบและไม่เคลือบเมล็ดไม่มีผลต่อเปอร์เซ็นต์การงอกของต้นกล้าปกติที่ต่างกันทั้ง 3 พันธุ์ เมื่อเพาะทดสอบทั้งในห้องปฏิบัติการและโรงเรือน กรณีการเคลือบ IAA 0.5% มีผลเพียงเล็กน้อยต่อการงอกและการเจริญของต้นกล้า ไม่เพิ่มเปอร์เซ็นต์การงอกอย่างมีนัยสำคัญและบางพันธุ์มีค่าเวลาเฉลี่ยในการงอกเพิ่มขึ้นเล็กน้อย ความเร็วในการงอกต่ำกว่า GA₃ ส่วนความยาวส่วนยอดและอัตราการเจริญเติบโตเพิ่มขึ้นเพียงเล็กน้อย ขณะที่ความยาวรากไม่แตกต่างจากชุดควบคุม

ผลประโยชน์ทับซ้อน

ผู้เขียนขอประกาศว่าบทความนี้ไม่มีผลประโยชน์ทับซ้อน

การมีส่วนร่วมในการเขียนบทความของผู้เขียน

ความคิดริเริ่ม (Idea) และ สมมุติฐาน: พัฒนารูปร่าง ก้นหา, ประนอน ยังคำนั่น. การปฏิบัติการวิจัย การมีส่วนร่วมในการออกแบบ การทดลอง การทดสอบ เครื่องมือวัด วิธีการเก็บข้อมูล และ Criteria: พัฒนารูปร่าง ก้นหา, ประนอน ยังคำนั่น, แสงเดือน อินชนบท, อรพินธุ์ สฤษดิ์น้า. การจัดเก็บข้อมูล การวิเคราะห์ข้อมูล การแปลผล: พัฒนารูปร่าง ก้นหา, ประนอน ยังคำนั่น. การวิพากษ์วิจารณ์ผล การแสดง การเปรียบเทียบกับข้อสรุปหรือองค์ความรู้หรือทฤษฎีเดิม: พัฒนารูปร่าง ก้นหา, ประนอน ยังคำนั่น. การมีส่วนร่วมในการเขียน manuscript ผลงานสร้างสรรค์ นวัตกรรม สิ่งประดิษฐ์: พัฒนารูปร่าง ก้นหา, ประนอน ยังคำนั่น. การให้การสนับสนุน specimens, study cohort, โลจิสติกส์ ทุนวิจัย เครื่องมือ ห้องปฏิบัติการครุภัณฑ์: พัฒนารูปร่าง ก้นหา, ประนอน ยังคำนั่น.

เอกสารอ้างอิง

- Association of Official Seed Analysts. (1983). **Seed vigor testing handbook: contribution No. 32**. Association of Official Seed Analysts.
- Bhadra, M., Mondal, S., Das, A., & Bandyopadhyay, A. (2024). Gibberellic acid treatment improves seed germination and seedling establishment in *Tinospora cordifolia* (Willd.) Hook. F. and Thoms. **Journal of Applied Biology and Biotechnology**, 12(4), 128-135. <https://doi.org/10.7324/jabb.2024.158607>.
- Bialek, K., Michalczyk, L., & Cohen, J. D. (1992). Auxin biosynthesis during seed germination in *Phaseolus vulgaris*. **Plant Physiology**, 100(1), 509-517. <https://doi.org/10.1104/pp.100.1.509>.
- Hansuri, J., & Siri, B. (2018). Effects of seed coating with mixed plant hormones for seed qualities enhancement of hybrid cucumber. **Khon Kaen Agriculture Journal**, 46(3), 507-516. <https://li01.tci-thaijo.org/index.php/agkasetkaj/article/view/250105>. (in Thai).
- International Seed Testing Association. (1993). **International Rules for Seed Testing**. International Seed Testing Association.
- Kaneko, M., Itoh, H., Ueguchi-Tanaka, M., Ashikari, M., & Matsuoka, M. (2002). The α -amylase induction in endosperm during rice seed germination is caused by gibberellin synthesized in epithelium. **Plant Physiology**, 128(4), 1264-1270. <https://doi.org/10.1104/pp.010785>.
- Kangsopa, K. (2019). Seed coating. **Journal of Agricultural Production**, 1(2), 63-76. <https://li01.tci-thaijo.org/index.php/japmju/article/view/210093>. (in Thai).
- Kasetsart University Research and Development Institute. (2015). **Agricultural Marigold Cultivation Research**. Retrieved from: <https://www3.rdi.ku.ac.th/?p=18932>. (in Thai).
- Klarod, K., & Siri, B. (2016). Effects of seed coating with plant hormones on the seed quality and seedling growth of tomato. **King Mongkut's Agricultural Journal**, 34(3), 143-156. <https://li01.tci-thaijo.org/index.php/agritechjournal/article/view/181029>. (in Thai).
- Kulkarni, M., Street, R., & Van Staden, J. (2006). Germination and seedling growth requirements for propagation of *Dioscorea dregeana* (Kunth) Dur. and Schinz — A tuberous medicinal plant. **South African Journal of Botany**, 73(1), 131-137. <https://doi.org/10.1016/j.sajb.2006.09.002>.
- Lay, P., Basvaraju, G. V., Sarika, G., & Amrutha, N. (2013). Effect of seed treatments to enhance seed quality of papaya (*Carica Papaya* L.) cv.Surya. **Global Journal of Biology, Agriculture and Health Sciences**, 2(3), 221-225. <https://www.longdom.org/articles/effect-of-seed-treatments-to-enhance-seed-quality-of-papaya-carica-papaya-l-cvsurya.pdf>.
- Madhavan, J., Chandrasekharan, S., Priya, M. K., & Godavarthi, A. (2018). Modulatory effect of carotenoid supplement constituting lutein and zeaxanthin (10:1) on anti-oxidant enzymes and macular pigments level in rats. **Pharmacognosy Magazine**, 14(54), 268. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/29720843/>.
- Miransari, M., & Smith, D. (2014). Plant hormones and seed germination. **Environmental and Experimental Botany**, 99(1), 110-121. <https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2013.11.005>.
- Mousavi, L., Ishak, W. R. W., & Mousavi, M. (2019). Evaluation of physicochemical methods for dormancy breakage and germination of *Datura stramonium* seeds. **Journal of Chemical Health Risks**, 9(3), 217-224. <https://doi.org/10.22034/jchr.2019.668186>.
- Neto, F. J. D., Pimentel, A., Putti, F. F., Rodrigues, J. D., Ono, E. O., Tecchio, M. A., Leonel, S., & De Souza Silva, M. (2024). Effect of plant growth regulators on germination and seedling growth of *Passiflora alata* and *Passiflora edulis*. **Horticulturae**, 10(10), 1087. <https://doi.org/10.3390/horticulturae10101087>.
- Palepad, K., Bharad, S., & Bansode, G. (2017). Effect of seed treatments on germination, seedling vigour and growth rate of custard apple (*Annona squamosa*). **Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry**, 6(6), 20-23. <https://www.phytojournal.com/archives/2017/vol6issue6/PartA/6-5-382-424.pdf>.
- Sun, T. (2008). Gibberellin Metabolism, perception and signaling pathways in Arabidopsis. **The Arabidopsis Book**, 6(1), e0103. <https://doi.org/10.1199/tab.0103>.
- Tapfumaneyi, L., Dube, P., Mavengahama, S., & Ngezimana, W. (2023). Effect of gibberellic acid and potassium nitrate seed treatments on the emergence and seedling vigor of Amaranth and *Cleome gynandra*. **Agrosystems Geosciences and Environment**, 6(1), e20359. <https://doi.org/10.1002/agg2.20359>.
- Thornalley, P. J. (1990). The glyoxalase system: new developments towards functional characterization of a metabolic pathway fundamental to biological life. **Biochemical Journal**, 269(1), 1-11. <https://doi.org/10.1042/bj2690001>.

การศึกษาค่าพลังงานที่ใช้ประโยชน์ได้ที่แท้จริงเมื่อปรับสมดุลไนโตรเจนของหนอนแมลงวันลาย (*Hermetia illucens* L.) และการย่อยได้ของโภชนะและการใช้ประโยชน์ได้ของไนโตรเจนของสูตรอาหารที่ใช้หนอนแมลงวันลายเป็นแหล่งโปรตีนสำหรับไก่โคราช

Determination of True Metabolizable Energy Corrected for Nitrogen (TMEn) of Black Soldier Fly Larvae (*Hermetia illucens* L.) and Nutrient Digestibility and Nitrogen Utilization of Diets Containing Black Soldier Fly Larvae as a Protein Source for Korat Chickens

ธนัตต์ เทียบชิง¹ และสุทิศา เข้มผกา^{1*}

Thanatat Thiabching¹ and Sutisa Khempaka^{1*}

Received date: 24 ก.ย. 68 Revised date: 7 ธ.ค. 68 Accepted date: 11 ธ.ค. 68

DOI: <https://doi.org/10.55003/kmaj.2026.269156>

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาค่าพลังงานที่ใช้ประโยชน์ได้ที่แท้จริงเมื่อปรับสมดุลไนโตรเจน (nitrogen-corrected true metabolizable energy; TMEn) ของหนอนแมลงวันลาย (Black soldier fly larvae: BSFL) และประเมินผลการใช้ BSFL เป็นแหล่งโปรตีนต่อค่าการย่อยได้ของโภชนะและการใช้ประโยชน์ได้ของไนโตรเจนในไก่โคราช การทดลองแบ่งออกเป็น 2 ส่วน ส่วนที่ 1 ประเมินค่า TMEn ของ BSFL ใช้ไก่โคราชเพศผสม อายุ 9 สัปดาห์ จำนวน 20 ตัว แบ่งเป็นกลุ่มควบคุม (อดอาหาร) และกลุ่มทดลอง (ป้อน BSFL 15 กรัม/ตัว) ผลการเก็บข้อมูลและคำนวณพบว่า BSFL มีค่า TMEn เท่ากับ 3,667 kcal/Kg (DM) ส่วนที่ 2 ใช้ไก่โคราชเพศผสม อายุ 6 สัปดาห์ จำนวน 35 ตัว แบ่งเป็น 5 กลุ่มการทดลอง ตามแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ (CRD) ประกอบด้วย กลุ่มควบคุม และกลุ่มที่ใช้ BSFL ระดับ 5 10 15 และ 20% ตามลำดับ ผลการทดลองพบว่า BSFL สามารถใช้เป็นแหล่งโปรตีนได้สูงที่สุดถึงระดับ 20% โดยไม่ส่งผลกระทบต่อค่าการย่อยได้ของสิ่งแห้ง เถ้า สารอินทรีย์ และไขมัน รวมถึงการใช้ประโยชน์ได้ของไนโตรเจน ($P>0.05$) นอกจากนี้ การใช้ BSFL ระดับ 15% ยังช่วยเพิ่มค่าการย่อยได้ของโภชนะและการใช้ประโยชน์ได้ของไนโตรเจนสูงกว่ากลุ่มควบคุม ($P<0.05$) โดยสรุป BSFL มีค่า TMEn เท่ากับ 3,667 kcal/Kg (DM) และสามารถใช้เป็นแหล่งโปรตีนในสูตรอาหารไก่โคราชได้ถึงระดับ 20% โดยไม่ส่งผลกระทบต่อประสิทธิภาพการย่อยได้และการใช้ประโยชน์ได้ของโภชนะ อย่างไรก็ตาม ควรมีการศึกษา BSFL ต่อยอดเพื่อประเมินผลด้านสมรรถนะการเจริญเติบโตและสุขภาพสัตว์ในระยะยาว

คำสำคัญ: หนอนแมลงวันลาย พลังงานที่ใช้ประโยชน์ได้ การย่อยได้และการใช้ประโยชน์ได้ของโภชนะ ไก่โคราช

Abstract

This study aimed to determine the nitrogen-corrected true metabolizable energy (TMEn) of black soldier fly larvae (BSFL) and to evaluate the effects of incorporating BSFL as a protein source on nutrient digestibility and nitrogen utilization in Korat chickens. The experiment was divided into two parts. In part 1, the TMEn of BSFL was evaluated using 20 mixed-sex Korat chickens (9 weeks old). The birds were divided into 2 groups: a control group (fasted) and a treatment group (force-fed 15 g BSFL per bird). Based on excreta collection and calculation, BSFL had a TMEn value of 3,667 kcal/Kg (DM). In part 2, 35 mixed-sex Korat chickens (6 weeks old) were randomly distributed to 5 treatment groups in a CRD, a control diet and diets containing BSFL at 5, 10, 15, and 20%. The results showed that BSFL could be used as a protein source at inclusion levels up to 20% without negative effects on dry matter, ash, organic matter, and fat digestibility, as well as nitrogen utilization ($P>0.05$). Moreover, inclusion of BSFL at 15% significantly improved nutrient digestibility and nitrogen utilization compared to the control group ($P<0.05$). In conclusion, BSFL has a TMEn value of 3,667 kcal/Kg (DM) and can be incorporated as a protein source in Korat chicken diets up to 20% without adverse effects on nutrient digestibility and utilization. However, further studies are recommended to evaluate the effects of BSFL on growth performance and long-term animal health.

Keywords: black soldier fly larvae, metabolizable energy, nutrient digestibility and utilization, Korat chickens

¹ สาขาวิชาเทคโนโลยีและนวัตกรรมทางสัตว์ สำนักวิชาเทคโนโลยีการเกษตร มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี นครราชสีมา 30000

¹ School of Animal Technology and Innovation, Institute of Agricultural Technology, Suranaree University of Technology, Nakhon Ratchasima 30000

* Corresponding author: khampaka@sut.ac.th

คำนำ

ในปัจจุบัน อุตสาหกรรมการผลิตสัตว์ทั่วโลกมีการพัฒนาและขยายตัวเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง เพื่อรองรับจำนวนประชากรและความต้องการอาหารที่เพิ่มสูงขึ้น (Herrero and Thornton, 2013) องค์การอาหารและการเกษตรแห่งสหประชาชาติ (Food and Agriculture Organization of the United Nations, FAO) คาดการณ์ว่าภายในปี ค.ศ. 2050 ความต้องการบริโภคเนื้อสัตว์ของประชากรโลกจะขยายตัวเพิ่มสูงขึ้นมากถึง 181 ล้านตัน โดยเฉพาะอย่างยิ่งในกลุ่มเนื้อสัตว์ปีก (Alexandratos and Bruinsma, 2012) สถานการณ์ดังกล่าวส่งผลให้ความต้องการใช้วัตถุดิบอาหารสัตว์เพิ่มสูงขึ้นตามไปด้วย โดยเฉพาะอย่างยิ่งวัตถุดิบอาหารแหล่งโปรตีน เช่น กากถั่วเหลืองและปลาป่น ซึ่งมีแนวโน้มประสบปัญหาการขาดแคลนและราคาที่สูงขึ้นอย่างต่อเนื่อง ดังนั้น การศึกษาและวิจัยเพื่อหาแหล่งวัตถุดิบโปรตีนทางเลือกใหม่ที่ยั่งยืน และสามารถผลิตได้จากของเสียหรือผลพลอยได้ทางการเกษตรและอุตสาหกรรมที่มนุษย์ไม่ใช้แล้ว เช่น หนอนแมลงวันลาย (black soldier fly larvae, BSFL) จึงเป็นแนวทางที่ได้รับความสนใจเพิ่มขึ้นในช่วงทศวรรษที่ผ่านมา

แมลงวันลาย (*Hermetia illucens* L.) หรือที่รู้จักกันในชื่อ แมลงวันทหารดำ หรือ แมลงทหารเสือ เป็นแมลงที่พบได้ทั่วไปในเขตร้อนและเขตอบอุ่น เป็นแมลงที่ไม่เป็นพาหะนำโรคและไม่เป็นศัตรูพืช (Sheppard et al., 2002) ตัวหนอนมีบทบาทสำคัญในการย่อยสลายอินทรีย์วัตถุ และสามารถเปลี่ยนกากอินทรีย์หรือเศษอาหารให้เป็นชีวมวลที่มีคุณค่าทางโภชนาการสูง มีอัตราการเจริญเติบโตเร็วและใช้พื้นที่เลี้ยงน้อย จึงเหมาะต่อการนำมาใช้เป็นแหล่งโปรตีนทางเลือกในอุตสาหกรรมอาหารสัตว์ (Tomberlin and Sheppard, 2001) จากงานวิจัยที่ผ่านมา พบว่า BSFL มีระดับโปรตีนประมาณ 37–63% และไขมัน 7–47% (Abduh et al., 2017; Abduh et al., 2018; Sheppard et al., 2002; Zheng et al., 2012) ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับสภาพแวดล้อมและชนิดของวัสดุเลี้ยง (Nguyen et al., 2015; Zheng et al., 2012) คุณค่าทางโภชนาการดังกล่าวมีความใกล้เคียงกับปลาป่นที่มีโปรตีนประมาณ 55–65% และสูงกว่ากากถั่วเหลืองซึ่งมีโปรตีนเฉลี่ยราว 44–48% (Feedipedia, 2020) ส่งผลให้ BSFL ได้รับความสนใจอย่างกว้างขวางในการพัฒนาเป็นวัตถุดิบโปรตีนทดแทนในอุตสาหกรรมอาหารสัตว์หลากหลายชนิด เช่น สัตว์ปีก สุกร ปลาน้ำจืด และกึ่ง (Van Huis, 2018) อย่างไรก็ตาม ราคาของหนอนแมลงวันลายในเชิงอุตสาหกรรมยังค่อนข้างสูงเมื่อเปรียบเทียบกับแหล่งโปรตีนทั่วไป เนื่องจากต้นทุนการผลิต การแปรรูป การฆ่าเชื้อ และการทำให้แห้ง ตลอดจนการขยายกำลังการผลิตเชิงพาณิชย์ยังอยู่ในช่วงเริ่มต้น (Van Huis and Oonincx, 2017) แม้ราคาเฉลี่ยต่อหน่วยน้ำหนักอาจสูงกว่าปลาป่นและกากถั่วเหลืองในปัจจุบัน แต่ BSFL ถือเป็นทางเลือกที่มีศักยภาพสำหรับเกษตรกรรายย่อยหรือฟาร์มขนาดเล็ก หากสามารถผลิตภายในฟาร์มโดยใช้เศษอาหารหรือกากพืชผลทางการเกษตรที่หาได้ในท้องถิ่น ก็จะช่วยลดต้นทุนโปรตีนในระยะยาว ลดปริมาณขยะอินทรีย์ และเพิ่มมูลค่าเศษเหลือทิ้งให้กลายเป็นวัตถุดิบอาหารสัตว์ที่มีคุณค่า ดังนั้นเพื่อการใช้ประโยชน์ BSFL ในสูตรอาหารสัตว์ได้อย่างมีประสิทธิภาพสูงสุด จำเป็นต้องมีการประเมินคุณค่าทางโภชนาการของ BSFL อย่างเป็นระบบ โดยเฉพาะค่าพลังงานที่สัตว์สามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้ (metabolizable energy, ME) รวมถึงค่าการย่อยได้และการใช้ประโยชน์ได้ของโภชนาการเมื่อเปรียบเทียบกับแหล่งโปรตีนทั่วไปในอาหารสัตว์ ข้อมูลดังกล่าวจะเป็นฐานข้อมูลสำคัญสำหรับการพัฒนาสูตรอาหารสัตว์ที่แม่นยำ ตอบสนองความต้องการของสัตว์แต่ละชนิดได้อย่างเหมาะสม และช่วยกำหนดขีดจำกัดสูงสุดของการใช้ BSFL ในอาหารสัตว์อย่างปลอดภัยและมีประสิทธิภาพ

ไก่โคราชเป็นไก่ลูกผสมพื้นเมือง 50% ระหว่างพ่อพันธุ์เหลืองหางขาวและแม่พันธุ์สังคราะห์ที่ได้รับการปรับปรุงพันธุ์โดยมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี ซึ่งเป็นที่รู้จักในชื่อ “ไก่แม่พันธุ์ มทส.” ปัจจุบันการเลี้ยงไก่โคราชมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องเนื่องจากตอบสนองต่อความต้องการของตลาดผู้บริโภคที่ให้ความสำคัญต่อสุขภาพและคุณค่าทางโภชนาการของเนื้อสัตว์ เนื้อไก่โคราชมีลักษณะเด่น คือ มีปริมาณโปรตีนสูง ไขมันต่ำ เจริญเติบโตเร็ว แข็งแรง ทนต่อโรคได้ดี และยังคงคุณลักษณะด้านรสชาติใกล้เคียงกับไก่พื้นเมือง จึงเป็นที่นิยมจากผู้บริโภคที่มองหาแหล่งโปรตีนทางเลือกใหม่ อย่างไรก็ตาม การผลิตไก่โคราชในระดับฟาร์มยังคงประสบปัญหาสำคัญ คือ ต้นทุนอาหารสัตว์ที่เพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง ซึ่งเป็นปัจจัยหลักที่กำหนดต้นทุนการผลิตโดยรวม การแสวงหาแหล่งโปรตีนทางเลือกที่มีศักยภาพ ผลิตได้ในท้องถิ่น และมีความยั่งยืน จึงเป็นแนวทางหนึ่งที่น่าสนใจในปัจจุบัน จากการรวบรวมเอกสาร พบว่า BSFL มีศักยภาพในการใช้เป็นแหล่งโปรตีนในอาหารสัตว์ โดยสามารถใช้ทดแทนปลาป่นในอาหารไก่เนื้อได้ในระดับ 8% (Attivi et al., 2020) โดยไม่ส่งผลเสียต่อการเจริญเติบโต ประสิทธิภาพการใช้อาหาร และคุณภาพซาก อีกทั้งยังสามารถทดแทนกากถั่วเหลืองได้ในระดับ 10–20% (Arango Gutiérrez, 2005; Cullere et al., 2016; Zhang et al., 2014) อย่างไรก็ตาม การใช้ BSFL เป็นแหล่งโปรตีนในสูตรอาหารไก่โคราชยังขาดข้อมูลการศึกษา โดยเฉพาะอย่างยิ่งในด้านค่าการย่อยได้และการใช้ประโยชน์ได้ของโภชนาการ ซึ่งเป็นปัจจัยสำคัญต่อการพัฒนาสูตรอาหารอย่างมีประสิทธิภาพ ดังนั้น งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาค่าพลังงานที่ใช้ประโยชน์ได้ที่แท้จริงเมื่อปรับสมดุลไนโตรเจน (nitrogen-corrected true metabolizable energy; TMEn) ของ BSFL และประเมินผลของการใช้ BSFL ในระดับต่าง ๆ ต่อค่าการย่อยได้ของโภชนาการและการใช้ประโยชน์ได้ของไนโตรเจนในไก่โคราช

วิธีการศึกษา

1. การศึกษาค่าพลังงานที่ใช้ประโยชน์ได้ที่แท้จริงเมื่อปรับสมดุลไนโตรเจน (nitrogen-corrected true metabolizable energy, TMEn) ของ BSFL

การศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อประเมินค่าพลังงานที่ใช้ประโยชน์ได้ที่แท้จริงเมื่อปรับสมดุลไนโตรเจน (TMEn) ของ BSFL เพื่อใช้เป็นข้อมูลพื้นฐานสำหรับประกอบสูตรอาหารทดลอง ใช้ไก่โคราชเพศ เพศ อายุ 9 สัปดาห์ น้ำหนักตัวเริ่มต้นเฉลี่ย $1,542 \pm 83$ กรัม แบ่งเป็น 2 กลุ่มละ 10 ซ้ำ (replicates) ๆ ละ 1 ตัว ได้แก่ กลุ่มที่ 1 กลุ่มควบคุม (control): อดอาหาร ใช้คำนวณค่าการสูญเสียพลังงานภายในร่างกาย (endogenous energy loss) และกลุ่มที่ 2 กลุ่มป้อน BSFL (BSFL-fed): ป้อน BSFL โดยวิธีป้อนโดยตรง (force feeding) ไก่ทุกตัวเลี้ยงในกรงขังเดี่ยวแบบ metabolic cage ขนาด $25 \times 40 \times 40$ เซนติเมตร ปรับสภาพให้คุ้นชินกับสิ่งแวดล้อมเป็นระยะเวลา 4 วัน ก่อนเริ่มการเก็บข้อมูล ในวันที่ 5 ของการทดลอง ไก่ทั้งสองกลุ่มถูกอดอาหารเป็นระยะเวลา 24 ชั่วโมง (ได้รับน้ำดื่มตามปกติ) เพื่อให้ขับถ่ายอาหารตกค้างออกจากระบบทางเดินอาหาร จากนั้นดำเนินการทดลองในแต่ละกลุ่ม ดังนี้ กลุ่มควบคุม (กลุ่มที่ 1): อดอาหารต่ออีก 24 ชั่วโมง เพื่อนำมูลไปใช้คำนวณการสูญเสียพลังงานภายในร่างกาย และกลุ่มป้อนอาหาร (กลุ่มที่ 2): ป้อน BSFL ปริมาณ 15 กรัม/ตัว โดยปริมาณดังกล่าวดัดแปลงจากวิธีของ Sibbald (1976) ซึ่งแนะนำให้ป้อนอาหารประมาณ 1% ของน้ำหนักตัว ในการทดลองนี้ ทำการป้อน BSFL โดยใช้กรวยพลาสติกต่อท่อยาวสอดผ่านช่องปากเข้าสู่หลอดอาหารไปจนถึงกระเพาะพัก และใช้แท่งพลาสติกค่อย ๆ ดัน BSFL ลงอย่างช้า ๆ เพื่อให้มันแน่ใจว่าไก่ได้รับตามปริมาณที่กำหนด (รายละเอียดองค์ประกอบทางเคมีของ BSFL แสดงไว้ใน Table 1) จากนั้นนำไก่กลับเข้ากรงขังเดี่ยวซึ่งภายใต้กรงมีถาดรองรับมูล หลังจากครบ 24 ชั่วโมง ทำการเก็บตัวอย่างมูลจากไก่ทั้งสองกลุ่ม แยกสิ่งปนเปื้อน เช่น ขน ออกก่อนทำการชั่งน้ำหนัก จากนั้นพ่นกรดไฮโดรคลอริก (HCl) ความเข้มข้น 5% ลงบนมูลเพื่อป้องกันการสูญเสียไนโตรเจน ก่อนนำไปอบที่อุณหภูมิ 55°C เป็นเวลา 72 ชั่วโมง และบดละเอียดผ่านตะแกรงขนาด 0.5 มิลลิเมตร นำตัวอย่างอาหารและมูลมาวิเคราะห์หาความชื้น โปรตีน และพลังงานรวม เพื่อนำไปคำนวณค่าพลังงานที่ใช้ประโยชน์ได้ (apparent metabolizable energy; AME) พลังงานที่ใช้ประโยชน์ได้เมื่อปรับสมดุลไนโตรเจน (nitrogen-corrected apparent metabolization energy, AMEn) ตามสมการของ Dozier III et al. (2008) และพลังงานที่ใช้ประโยชน์ได้ที่แท้จริงเมื่อปรับสมดุลไนโตรเจน ตามสมการของ Parsons et al. (1982)

$$\text{AME (kcal/kg)} = \frac{[\text{FEf} - \text{EEf}]}{\text{FC}}$$

$$\text{AMEn (kcal/kg)} = \frac{[\text{FEf} - (\text{EEf} + 8.22 \times \text{Nf})]}{\text{FC}}$$

$$\text{TME (kcal/kg)} = \frac{[(\text{FEf} - \text{EEf}) + \text{EEu}]}{\text{FC}}$$

$$\text{TMEn (kcal/kg)} = \frac{\text{FEf} - [\text{EEf} + 8.22 \times \text{Nf}] + [\text{EEu} + 8.22 \times \text{Nu}]}{\text{FC}}$$

โดย

FEf	= พลังงานรวมทั้งหมดในอาหารที่ป้อนให้ไก่ (gross energy of the total feed consumed)
EEf	= พลังงานในมูลของไก่ที่ได้รับการป้อนอาหาร (energy in the excreta collected from the fed birds)
EEu	= พลังงานในมูลของไก่ที่อดอาหาร (energy in the excreta collected from fasted birds)
Nf	= ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดที่ขับออกมาในมูลของไก่ที่ได้รับการป้อนอาหาร (grams of nitrogen excreted by the fed birds)
Nu	= ปริมาณไนโตรเจนที่ไก่อดอาหารสูญเสียในมูล (grams of nitrogen excreted by fasted birds)
FC	= ปริมาณอาหารที่ป้อนให้ไก่ (feed consumed)

Table 1 Chemical composition of BSFL meal (as-fed basis)

Items	Black soldier fly larvae meal
Dry matter (%)	93.28
Crude protein (%)	44.78
Ether extract (%)	14.18
Crude fiber (%)	8.10
Ash (%)	21.02
Metabolizable energy (TMEn, kcal/kg) ^{1/}	3,422
Chitin (%)	7.12
Calcium (g/100g)	6.67
Phosphorus (g/100g)	1.13
Magnesium (g/100g)	0.45
Sodium (g/100g)	0.03
Potassium (g/100g)	1.18
Iron (mg/kg)	100
Manganese (mg/kg)	819
Selenium (mg/kg)	520

^{1/} The TMEn values determined in Korat chickens were converted from 3,667 Kcal/Kg on a dry-matter basis to 3,422 Kcal/Kg on an as-fed basis.

2. การศึกษาการย่อยได้ของโภชนะและการใช้ประโยชน์ได้ของไนโตรเจนของ BSFL ในไก่โคราช

สัตว์ทดลอง

ใช้ไก่โคราชเพศเมีย อายุ 6 สัปดาห์ ทั้งหมด 35 ตัว น้ำหนักตัวเริ่มต้นเฉลี่ย 710 ± 89 กรัม สุ่มจัดเข้ากลุ่มการทดลองจำนวน 5 กลุ่ม ๆ ละ 7 ตัว ๆ ละ 1 ตัว เลี้ยงบนกรงขังเดี่ยว ขนาด $25 \times 40 \times 40$ เซนติเมตร ซึ่งมีถาดรองรับมูลอยู่ใต้กรง ใช้แผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ (Completely Randomized Design, CRD) ไก่ทุกตัวได้รับอาหารและน้ำแบบเต็มที่ (*ad libitum*) ตลอดระยะเวลาทดลอง 10 วัน ไก่ทุกตัวได้รับวัคซีนป้องกันโรคนิวคาสเซิลและหลอดลมอักเสบที่อายุ 7 และ 21 วัน วัคซีนกัมโบโรที่อายุ 14 วัน และวัคซีนฝีดาษที่อายุ 28 วัน และเลี้ยงภายใต้โรงเรือนระบบเปิด ตามคำแนะนำและการควบคุมของฟาร์มมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี การดำเนินการทดลองนี้ได้รับอนุญาตให้ใช้สัตว์เพื่องานทางวิทยาศาสตร์ ตามเอกสารอนุญาตเลขที่ SUT-IACUC-002/2023

อาหารทดลอง

การทดลองนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อประเมินหาระดับที่เหมาะสมเบื้องต้นของการใช้ BSFL ในสูตรอาหารสำหรับไก่โคราช โดยอาหารทดลองทั้งหมดถูกคำนวณให้มีระดับพลังงานที่ใช้ประโยชน์ได้และโปรตีนเท่ากัน ตามคำแนะนำของ Maliwan (2016) และมีองค์ประกอบของโภชนะเพียงพอต่อความต้องการของสัตว์ ตามคำแนะนำของ National Research Council (1994) Table 2 อาหารทดลองแบ่งออกเป็น 5 กลุ่ม โดยมีการเติม BSFL ในระดับต่าง ๆ ดังนี้

กลุ่มที่ 1: กลุ่มควบคุม (control)

กลุ่มที่ 2: ใช้ BSFL ที่ระดับ 5% ของสูตรอาหาร

กลุ่มที่ 3: ใช้ BSFL ที่ระดับ 10% ของสูตรอาหาร

กลุ่มที่ 4: ใช้ BSFL ที่ระดับ 15% ของสูตรอาหาร

กลุ่มที่ 5: ใช้ BSFL ที่ระดับ 20% ของสูตรอาหาร

การเก็บข้อมูล และลักษณะต่าง ๆ ที่ต้องการศึกษา

ทำการบันทึกน้ำหนักไก่ก่อนและหลังการทดลอง รวมถึงบันทึกปริมาณอาหารที่กินทุกวันตลอดช่วงการทดลอง สำหรับการประเมินค่าการย่อยได้และใช้ประโยชน์ได้ของโภชนะ ใช้วิธีการเก็บมูลทั้งหมด (total collection) โดยรวบรวมมูลที่ไก่ขับถ่ายออกมาวันละ 1 ครั้ง ในช่วง 3 วันสุดท้ายของการทดลอง โดยใช้ถาดพลาสติกรองไว้ใต้กรง และเริ่มเก็บตัวอย่างหลังจากไก่ได้รับอาหารทดลองครบ 24 ชั่วโมงของแต่ละวัน (รวม 3 วัน) ในขั้นตอนการเตรียมมูลเพื่อวิเคราะห์ ทำการคัดแยกสิ่งปนเปื้อนต่าง ๆ เช่น

เศษชน สะเก็ด และเศษอาหารออก จากนั้นสเปรย์มูลที่เก็บได้ด้วยสารละลายกรดไฮโดรคลอริกเข้มข้น 5% เพื่อป้องกันการสูญเสียไนโตรเจน มูลจากแต่ละวันถูกนำไปอบในตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิ 55 °C จนกระทั่งน้ำหนักคงที่ จากนั้นบดให้ละเอียดด้วยเครื่องบดตัวอย่างทางห้องปฏิบัติการ จากนั้นใส่ถุงพลาสติกซิปล็อค และเก็บไว้ที่อุณหภูมิ -20 °C เพื่อนำไปวิเคราะห์หองค์ประกอบทางเคมีต่อไป และนำข้อมูลที่ได้มาคำนวณหาการย่อยได้ของสิ่งแห้ง การย่อยได้ของโภชนะ และการใช้ประโยชน์ได้ของไนโตรเจน ตามสมการดังต่อไปนี้

% การย่อยได้ของสิ่งแห้ง (dry matter digestibility)

$$= \frac{(\text{น้ำหนักอาหารที่กิน} - \text{น้ำหนักมูล}) \times 100}{\text{น้ำหนักอาหารที่กิน}}$$

% การย่อยได้ของโภชนะ (nutrient digestibility): ใช้สำหรับไขมันและสารอินทรีย์

$$= \frac{[(\text{น้ำหนักอาหารที่กิน} \times \% \text{โภชนะในอาหาร}) - (\text{น้ำหนักมูล} \times \% \text{โภชนะในมูล})] \times 100}{(\text{น้ำหนักอาหารที่กิน} \times \% \text{โภชนะในอาหาร})}$$

% การใช้ประโยชน์ได้ของไนโตรเจน (nitrogen utilization)

$$= \frac{[(\text{น้ำหนักอาหารที่กิน} \times \% \text{ไนโตรเจนในอาหาร}) - (\text{น้ำหนักมูล} \times \% \text{ไนโตรเจนในมูล})] \times 100}{(\text{น้ำหนักอาหารที่กิน} \times \% \text{ไนโตรเจนในมูล})}$$

หมายเหตุ: ทั้งอาหารและมูลอยู่ในรูปน้ำหนักแห้ง (dry matter) เนื่องจากสัตว์ปีกขับถ่ายมูลและปัสสาวะออกมารวมกันในรูปมูลไก่ ทำให้ไนโตรเจนในมูลประกอบด้วยทั้งส่วนที่ไม่ถูกย่อยและส่วนที่ถูกขับออกในรูปยูริก ดังนั้น ค่าการย่อยได้ของสิ่งแห้ง ไขมัน และไขมัน แสดงเป็น “การย่อยได้ (digestibility)” ส่วนไนโตรเจนแสดงเป็น “การใช้ประโยชน์ได้ utilization”

การวิเคราะห์ทางเคมี

ทำการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของ BSFL อาหารทดลองและมูล ตามวิธีการของ Association of Official Analytical Chemists (1990; 2006) ซึ่งครอบคลุมความชื้น โปรตีน ไขมันรวม เยื่อใย ไขมัน และค่าพลังงานรวม ดังรายละเอียดต่อไปนี้ ตัวอย่างที่ต้องการวิเคราะห์จะถูกบดให้ละเอียดผ่านตะแกรงขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 0.5 มิลลิเมตร ก่อนทำการวิเคราะห์รายละเอียดขั้นตอนการวิเคราะห์มีดังนี้ ความชื้น (moisture content) วิเคราะห์โดยการอบตัวอย่างในตู้อบลมร้อน ที่อุณหภูมิ 105 °C เป็นเวลา 12 ชั่วโมง ไขมันรวม (crude fat) วิเคราะห์ด้วยเครื่องสกัดไขมัน (Fat extraction system; FOSS, Soxtec™ 8000, Denmark) โดยใช้ตัวทำละลายปิโตรเลียมอีเทอร์ (petroleum ether) เยื่อใยรวม (crude fiber) วิเคราะห์ด้วยเครื่องวิเคราะห์เส้นใย (Fiber analyzer, FOSS, Fibertec™ 8000, Denmark) โดยใช้กรดซัลฟิวริก (H₂SO₄) 1.25% และโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) 1.25% เถ้า (ash) วิเคราะห์โดยการเผาตัวอย่างในเตาเผาไฟฟ้า (Muffle furnace, Carbolite Gero Ltd., UK) ที่อุณหภูมิ 550 °C เป็นเวลา 3 ชั่วโมง พลังงานรวม (gross energy) วิเคราะห์ด้วยเครื่อง Bomb calorimeter (IKA C6000 global standards, IKA-Werke, Germany) โปรตีนหยาบ (crude protein) วิเคราะห์โดยการวัดปริมาณไนโตรเจนด้วยวิธี Dumas combustion technique ตามวิธีการของ Association of Official Analytical Chemists (2006) โดยใช้เครื่อง rapid MAX N exceed, N/protein analyzer (Elementar Analysensysteme GmbH, Germany) ใช้กรดแอสพาร์ติก (L-aspartic acid, Sigma-Aldrich, USA) เป็นมาตรฐานเปรียบเทียบ แล้วคำนวณปริมาณโปรตีน คือ ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด x 6.25 ส่วนไคติน (chitin) ดำเนินการวิเคราะห์โดยดัดแปลงจากวิธีการของ Ghanem et al. (2004) ซึ่งมีขั้นตอนหลัก 3 ขั้นตอน คือ การกำจัดโปรตีน (deproteinization) ด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) ความเข้มข้น 2.5 N การกำจัดแร่ธาตุ (demineralization) ด้วยสารละลายกรดไฮโดรคลอริก (HCl) ความเข้มข้น 1.7 N และการกำจัดเม็ดสี (pigment removal) โดยใช้เอทานอลความเข้มข้น 95%

วิธีวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ

นำข้อมูลที่ได้จากการทดลองที่ 2 มาวิเคราะห์หาค่าความแปรปรวน (analysis of variance, ANOVA) ตามแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ และทำการวิเคราะห์ความแตกต่างของค่าเฉลี่ยในแต่ละกลุ่มการทดลองโดยวิธี Tukey's post hoc test โดยใช้โปรแกรมสถิติ SPSS เวอร์ชัน 16.0 (SPSS Inc, 2007)

Table 2 Nutrient composition of experimental diets for Korat chickens (6 weeks of age) (as-fed basis)

Items	Control	5% BSFL	10% BSFL	15% BSFL	20% BSFL
Ingredients					
Corn	64.02	67.00	69.36	69.38	69.41
Defatted rice bran	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
Corn gluten meal	1.68	1.24	0.83	0.72	0.61
Soybean meal (44% CP)	25.00	20.00	15.00	10.00	5.00
BSFL ^{1/} meal	0.00	5.00	10.00	15.00	20.00
Palm oil	4.45	2.81	1.38	0.72	0.06
L-Lysine HCl	0.19	0.19	0.19	0.19	0.19
DL-Methionine	0.17	0.17	0.18	0.18	0.18
L-Threonine	0.19	0.18	0.17	0.16	0.15
L-Arginine	0.11	0.14	0.18	0.22	0.26
Monocalcium phosphate (P21)	1.06	0.91	0.95	1.67	2.38
Calcium carbonate (CaCO ₃)	1.37	0.6	0.00	0.00	0.00
Sodium chloride (NaCl)	0.26	0.26	0.26	0.26	0.26
Mineral-vitamin premix ^{2/}	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50
Total (kg)	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00
Calculated composition, %					
Metabolizable energy (kcal/kg)	3,200	3,200	3,200	3,200	3,200
Protein	18.00	18.00	18.00	18.00	18.00
Calcium	0.80	0.80	0.90	1.34	1.78
Available phosphorus	0.39	0.39	0.44	0.65	0.87
Digestible Methionine	0.43	0.44	0.46	0.47	0.48
Digestible Methionine + Cysteine	0.67	0.67	0.67	0.67	0.67
Digestible Lysine	0.91	0.91	0.91	0.91	0.91
Digestible Arginine	1.07	1.07	1.07	1.07	1.07
Digestible Threonine	0.73	0.73	0.73	0.73	0.73
Analyzed composition, %					
Dry matter	89.73	90.52	90.65	91.01	91.39
Crude protein	17.05	17.86	18.04	18.07	18.28
Crude fiber	3.21	3.47	3.50	3.64	3.60
Ether extract	7.54	6.89	6.11	6.02	5.98
Ash	4.95	4.87	5.12	6.26	7.34
Chitin	0.00	0.19	0.68	1.64	1.79

^{1/} BSFL = black soldier fly larvae.

^{2/} Premix (0.5%) = provided the following (per kg of diet) : vitamin A, 15,000 IU; vitamin D3, 3,000 IU; vitamin E, 25 IU; vitamin K₃, 5 mg; vitamin B₁, 2 mg; vitamin B₂, 7 mg; vitamin B₆, 4 mg; vitamin B₁₂, 25 mg; pantothenic acid, 11.04 mg; nicotinic acid, 35 mg; folic acid, 1 mg; biotin, 15 µg; choline chloride, 250 mg; Cu, 1.6 mg; Mn, 60 mg; Zn, 45 mg; Fe, 80 mg; I, 0.4 mg; Se, 0.15 mg.

ผลการศึกษาและวิจารณ์

1. การศึกษาค่าพลังงานที่ใช้ประโยชน์ได้ที่แท้จริงเมื่อปรับสมดุลไนโตรเจน (TMEn) ของ BSFL ในไก่โคราช

จากการศึกษาครั้งนี้ พบว่าค่า TMEn ของ BSFL ในไก่โคราชมียุทธค่าเท่ากับ 3,667 kcal/kg (DM) ดังแสดงใน Table 3 ซึ่งต่ำกว่าที่รายงานในไก่ไข่เพศผู้สายพันธุ์เล็กฮอร์นขาวหงอนจักร (Single comb white leghorn) (3,990 kcal/kg DM, Matin et al., 2021) รวมถึงต่ำกว่าผลการศึกษาคงของ De Marco et al. (2015) ในไก่เนื้อที่รายงานค่าพลังงานที่ใช้ประโยชน์ได้แบบประมาณ

(apparent metabolizable energy, AME) และ AMEn ค่าเท่ากับ 4,151 และ 3,965 kcal/kg (DM) ตามลำดับ นอกจากนี้ Uushona (2015) รายงานว่า BSFL ในรูปแบบสกัดน้ำมัน (defatted) และไม่สกัดน้ำมัน (full fat) มีค่า AME ในไก่เนื้อ อายุ 40 วัน เท่ากับ 4,025 และ 3,946 kcal/kg (as-fed basis) ตามลำดับ สอดคล้องกับรายงานของ Schiavone et al. (2017) ที่พบว่า BSFL แบบสกัดน้ำมันบางส่วน (partially defatted) และแบบสกัดน้ำมันทั้งหมด (highly defatted) มีค่า AME เท่ากับ 3,881 และ 2,759 kcal/kg (DM) ตามลำดับ และค่า AMEn เท่ากับ 3,552 และ 2,357 kcal/kg (DM) ตามลำดับ นอกจากนี้ Ellawidana et al. (2023) รายงานว่า BSFL แบบไม่สกัดน้ำมัน (full fat) ในไก่เนื้อ ที่อายุ 25 วัน มีค่า AME เท่ากับ 3,740 kcal/kg (as-fed basis) ขณะที่ Cockcroft (2018) พบว่า BSFL ที่ผ่านกระบวนการอัดรีดน้ำมัน (extrusion) แบบไม่สกัดน้ำมัน (full fat) และแบบเจียวแห้ง (dry rendering) มีค่า AME ในไก่เนื้อ อายุ 28 วัน เท่ากับ 3,771 3,960 และ 2,111 kcal/kg (DM) ตามลำดับ ส่วน Chobanova et al. (2023) รายงานว่า BSFL แบบสกัดน้ำมันโดยการอัดผ่านสกรู (screw press) และกากถั่วเหลือง มีค่า AMEn ในไก่เนื้อ ที่อายุ 28 วัน เท่ากับ 2,978 และ 3,169 kcal/kg (DM) ตามลำดับ ความแตกต่างนี้สอดคล้องกับข้อมูลงานวิจัยก่อนหน้า ซึ่งระบุว่าความแปรผันขององค์ประกอบทางเคมีของ BSFL ส่งผลโดยตรงต่อค่าพลังงานที่ใช้ประโยชน์ได้ โดย BSFL ที่มีการศึกษาค่าพลังงานใช้ประโยชน์ได้ในงานวิจัยต่าง ๆ ตามที่ได้กล่าวไว้ข้างต้น มีระดับโปรตีน 37–63% ไขมัน 7–47% และไคติน 5–6% (Abduh et al., 2017; Abduh et al., 2018; Chobanova et al., 2023; Cockcroft, 2018; De Marco et al., 2015; Ellawidana et al., 2023; Matin et al., 2021; Schiavone et al., 2017; Sheppard et al., 2002; Uushona 2015; Zheng et al., 2012) ซึ่งค่าดังกล่าวขึ้นอยู่กับระบบการผลิต อาหารที่ใช้เลี้ยง ระยะการเก็บเกี่ยว และกระบวนการแปรรูปวัตถุดิบ ซึ่งเป็นปัจจัยสำคัญที่ทำให้ค่าพลังงานที่รายงานในการศึกษาต่าง ๆ แตกต่างกัน จากผลการศึกษานี้พบว่า BSFL มีค่าสิ่งแห้ง 93.28% โปรตีน 44.78% ไขมัน 14.18% และไคติน 7.12% ซึ่งยังอยู่ภายในช่วงที่มีการรายงานไว้ก่อนหน้านี้ อย่างไรก็ตามค่า TMEn ของ BSFL ที่ได้จากการศึกษานี้ยังคงสูงกว่ากากถั่วเหลือง ซึ่งเป็นแหล่งโปรตีนที่มีการใช้มากที่สุดในอาหารสัตว์ปีกทั่วโลก (Dozier and Hess, 2011; Ravindran et al., 2014) จากการรวบรวมเอกสารการศึกษาค่า TMEn ของกากถั่วเหลืองในไก่เนื้อ อยู่ในช่วง 2,659–3,162 kcal/kg (DM) (Baker et al., 2011; Bertechini et al., 2019; Cristobal et al., 2025) โดยภาพรวม สะท้อนให้เห็นว่า BSFL ยังคงเป็นแหล่งโปรตีนที่มีศักยภาพสูงด้านพลังงาน อย่างไรก็ตามความผันแปรในค่า TMEn ที่พบในงานวิจัยต่าง ๆ ยังคงขึ้นอยู่กับกระบวนการแปรรูป ระดับไขมัน และโปรตีน ปริมาณไคติน รวมถึงสายพันธุ์และอายุของสัตว์ปีกที่ใช้ในการทดสอบ

Table 3 Metabolizable energy values of Korat chickens (9 weeks of age), expressed on a dry matter basis

Items	Metabolizable energy (kcal/kg)
Apparent metabolizable energy (AME)	3,204
Nitrogen corrected apparent metabolizable energy (AMEn)	3,203
True metabolizable energy (TME)	3,703
Nitrogen corrected true metabolizable energy (TMEn)	3,667

2. การศึกษาการย่อยได้ของโภชนะและการใช้ประโยชน์ได้ของไนโตรเจนของ BSFL ในไก่โคราช

ผลของการใช้ BSFL ในอาหารที่ระดับ 0 5 10 15 และ 20% ต่อการย่อยได้ของโภชนะและการใช้ประโยชน์ได้ของไนโตรเจนแสดงใน Table 4 โดยพบว่าไก่โคราชสามารถใช้ BSFL เป็นแหล่งโปรตีนในอาหารได้สูงถึงระดับ 20% โดยไม่ส่งผลกระทบต่อการย่อยได้และการใช้ประโยชน์ได้ของโภชนะ ทั้งนี้ระดับที่มีประสิทธิภาพสูงสุด คือ 15% ซึ่งให้ค่าการย่อยได้ของสิ่งแห้ง สารอินทรีย์ และไขมัน และค่าการใช้ประโยชน์ได้ของไนโตรเจน เท่ากับ 81.08 84.60 95.07% และ 72.43% ตามลำดับ เมื่อเทียบกับกลุ่มควบคุมที่มีค่า 78.02 81.62 92.32 และ 61.74% ตามลำดับ ($P < 0.05$) ผลการศึกษานี้สอดคล้องกับรายงานของ de Souza Vilela et al. (2021) ที่พบว่าไก่เนื้อ (อายุ 21 และ 42 วัน) สามารถใช้ BSFL ได้ถึงระดับ 20% ในสูตรอาหาร โดยไม่ส่งผลกระทบต่อการย่อยได้ของสิ่งแห้ง เถ้า และแคลเซียม รวมถึงการใช้ประโยชน์ได้ของไนโตรเจน นอกจากนี้ Auza et al. (2023) รายงานว่าการใช้ BSFL ทดแทนโปรตีนจากปลาป่นในอาหารไก่พื้นเมือง อายุ 12 สัปดาห์ ที่ระดับ 25–100% (คิดเป็น 15% ในสูตรอาหาร) ไม่ส่งผลกระทบต่อค่าการย่อยได้ของเยื่อใยและการใช้ประโยชน์ได้ของไนโตรเจน เช่นเดียวกับการศึกษาของ Yulianti et al. (2024) ซึ่งทดสอบการใช้ BSFL ในไก่ลูกผสมพื้นเมือง อายุ 5 สัปดาห์ ที่ระดับ 0 5 10 และ 15% ในสูตรอาหาร พบว่า BSFL สามารถใช้ได้ถึง 10% โดยไม่ส่งผลกระทบต่อการใช้ประโยชน์ได้ของไนโตรเจน สมรรถนะการผลิต ลักษณะซาก และคุณภาพซาก

นอกจากนี้ Chu et al. (2020) ศึกษาการใช้ BSFL แบบไม่สกัดน้ำมัน (full fat) ในไก่ไข่สายพันธุ์ Hy-Line Brown อายุ 6 สัปดาห์ ที่ระดับ 0 3 6 และ 9% ในสูตรอาหาร พบว่า สามารถใช้ได้ถึง 9% โดยไม่ส่งผลกระทบต่อการย่อยได้ของสิ่งแห้ง สารอินทรีย์ แคลเซียม และฟอสฟอรัส โดยที่ระดับ 3% พบว่าค่าการย่อยได้ของไขมันและการใช้ประโยชน์ได้ของไนโตรเจนสูงที่สุด (84.50 และ 73.00% ตามลำดับ) Van der Heide et al. (2021) เปรียบเทียบการใช้ BSFL (10%) กับหนอนด้วงกระเบื้อง (*Alphitobius diaperinus*) และหนอนนก (*Tenebrio molitor*) พบว่าความสามารถในการย่อยได้ของสิ่งแห้งและสารอินทรีย์ไม่แตกต่างกัน แต่ BSFL มีค่าการย่อยได้ของไขมันและไขมันสูงที่สุดรวมทั้งมีการใช้ประโยชน์ได้ของไนโตรเจนสูงที่สุด รองลงมาคือหนอนนกและหนอนด้วงกระเบื้อง ซึ่งสอดคล้องกับ De Marco et al. (2015) ที่พบว่าไก่เนื้อซึ่งได้รับ BSFL ระดับ 25% มีค่าสัมประสิทธิ์การย่อยได้แบบประมาณ (apparent digestibility coefficients of the total tract, CTTAD) ของไขมันสูงกว่าหนอนนก ในขณะที่การย่อยได้ของสิ่งแห้ง สารอินทรีย์ และการใช้ประโยชน์ได้ของไนโตรเจนไม่แตกต่างกัน ในสัตว์ปีกชนิดอื่น Cullere et al. (2016) รายงานว่า การใช้ BSFL ในสูตรอาหารนกกระทาเนื้อที่ระดับ 15% ไม่ส่งผลกระทบต่อการย่อยได้ของสิ่งแห้ง สารอินทรีย์ และการใช้ประโยชน์ได้ของไนโตรเจน เช่นเดียวกับ Woods et al. (2019) รายงานว่าสามารถใช้ BSFL ได้ถึง 10% โดยไม่ส่งผลกระทบต่อ การย่อยได้ของสิ่งแห้งและสารอินทรีย์ Schiavone et al. (2017) ศึกษา BSFL ทั้งในรูปแบบ สกัตน้ำมันบางส่วน (partially defatted) และสกัตน้ำมันทั้งหมด (highly defatted) ที่ระดับ 25% ในอาหารไก่เนื้อ อายุ 21 วัน พบว่ากลุ่มที่ได้รับ BSFL แบบ สกัตน้ำมันบางส่วนมีค่าสัมประสิทธิ์การย่อยได้ของไขมันและพลังงานรวมสูงกว่ากลุ่มที่ได้รับ BSFL แบบสกัตน้ำมันทั้งหมด (0.98 vs 0.93 และ 0.61 vs 0.50) ตามลำดับ แต่ไม่พบความแตกต่างในค่าการใช้ประโยชน์ได้ของไนโตรเจน (0.62 เท่ากันทั้งสองกลุ่ม) แสดงให้เห็นว่าการสกัดน้ำมันบางส่วนช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการย่อยได้ ผลการศึกษาดังกล่าวยังสอดคล้องกับรายงานของ Uushona (2015) ที่พบว่า BSFL แบบสกัตน้ำมันมีค่าสัมประสิทธิ์การย่อยได้ของสิ่งแห้งและการใช้ประโยชน์ได้ของไนโตรเจนอยู่ที่ 0.95 และ 0.97 ตามลำดับ ขณะที่ BSFL แบบไม่สกัดน้ำมันอยู่ที่ 0.91 และ 0.86 ตามลำดับ ส่วน Chobanova et al. (2023) รายงานว่า BSFL มีค่าสัมประสิทธิ์การใช้ประโยชน์ได้ของไนโตรเจนและค่าการย่อยได้ของสิ่งแห้งและไขมันใน BSFL เท่ากับ 0.71 0.75 และ 0.92 ตามลำดับ เมื่อเปรียบเทียบกับกากถั่วเหลืองที่มีค่า 0.68 0.78 และ 0.97 ตามลำดับ ในภาพรวม ผลการทดลอง แสดงให้เห็นว่าไก่สามารถบริโภค BSFL เป็นแหล่งโปรตีนได้สูงถึง 20% โดยไม่กระทบต่อค่าการย่อยได้และการใช้ประโยชน์ได้ของโภชนะ ซึ่งสอดคล้องกับรายงานในไก่พื้นเมืองสายพันธุ์อื่นที่สามารถใช้ BSFL ได้ในระดับใกล้เคียงกัน (Auza et al., 2023; Yulianti et al., 2024) ข้อมูลนี้ชี้ให้เห็นว่า BSFL เป็นแหล่งโปรตีนที่เหมาะสมต่อระบบการผลิตไก่พื้นเมืองของไทย ช่วยลดการพึ่งพาโปรตีนจากปลาป่นหรือกากถั่วเหลือง และสนับสนุนการผลิตที่ยั่งยืนมากขึ้น

อย่างไรก็ตาม ระดับการใช้ BSFL ในสูตรอาหารสัตว์ควรพิจารณาปริมาณของไคตินร่วมด้วย เนื่องจากไคตินเป็น องค์ประกอบพื้นฐานของโครงสร้างภายนอกของ BSFL (De Marco et al., 2015) และเป็นสารประกอบโพลีแซ็กคาไรด์ที่ไม่สามารถย่อยได้โดยเอนไซม์ของสัตว์กระเพาะเดี่ยว โดยเฉพาะในสัตว์ปีกที่มีปริมาณไคตินสูงในสูตรอาหารอาจส่งผลกระทบต่อความสามารถในการย่อยได้ของโภชนะ ทั้งนี้โครงสร้างของไคตินอาจขัดขวางการเข้าถึงของเอนไซม์ย่อยอาหาร ส่งผลให้การย่อยสารอาหารทำได้ยากขึ้น อีกทั้งไคตินยังสามารถจับกับเอนไซม์และสารอาหาร ทำให้การย่อยและการดูดซึมสารอาหารอื่นลดลง Marono et al. (2015) รายงานว่าไคตินเป็นปัจจัยสำคัญที่จำกัดการย่อยได้โปรตีนของ BSFL ในการทดลอง *in vitro* โดยพบความสัมพันธ์เชิงลบระหว่างปริมาณไคตินและค่าการย่อยได้ของไนโตรเจน Muzzarelli (1977) และ Longvah et al. (2011) รายงานว่าไคตินในระดับความเข้มข้นสูงทำให้ความน่ากินของอาหารลดลง รวมถึงลดการย่อยได้และการใช้ประโยชน์ได้ของไนโตรเจน นอกจากนี้ยังมีรายงานว่าไคตินสามารถยับยั้งการดูดซึมสารอาหารภายในระบบทางเดินอาหารโดยเฉพาะไขมันและโปรตีนในสัตว์ปีก (Bovera et al., 2016; Khempaka et al., 2011; Razdan and Pettersson, 1994; Vidanarachchi et al., 2010) ทั้งนี้ Chobanova et al. (2023) พบว่าการใช้ BSFL ทดแทนกากถั่วเหลืองในสูตรอาหารไก่เนื้อที่ระดับ 16% ส่งผลให้ค่าการย่อยได้และการใช้ประโยชน์ได้ของโภชนะลดลง ซึ่งผลกระทบดังกล่าวอาจสัมพันธ์กับปริมาณไคตินที่เพิ่มขึ้นในสูตรอาหาร

แม้ว่าไคตินจะถือเป็นข้อจำกัดสำคัญในการใช้ BSFL ในอาหารสัตว์ เนื่องจากไม่สามารถย่อยได้และอาจรบกวนการย่อยและดูดซึมสารอาหาร (Razdan and Pettersson, 1994; Bovera et al., 2016) แต่ไคตินยังมีศักยภาพในการส่งเสริมสุขภาพของสัตว์ ไคตินเป็นโพลีแซ็กคาไรด์ที่พบมากเป็นอันดับสองในธรรมชาติรองจากเซลลูโลส โดยมีโครงสร้างคล้ายคลึงกัน ต่างกันที่ไคตินมีหมู่อะซิตาไมด์ (acetamide) ที่ตำแหน่ง C-2 จึงถือเป็นอนุพันธ์ของเซลลูโลส (Rinaudo, 2006) นอกจากนี้ไคตินยังเป็นองค์ประกอบหลักของโครงกระดูกภายนอกของแมลง ทำหน้าที่เป็นโครงสร้างแข็งแรงเพื่อป้องกันอันตรายจากสิ่งแวดล้อม (Lee et al., 2008) และในธรรมชาติมักพบไคตินในรูปแบบเมทริกซ์ที่ประกอบร่วมกับโปรตีน ไขมัน และแร่ธาตุ (Józefiak et al., 2016) เอนไซม์ไคตินเนส (chitinase) สามารถย่อยไคตินให้กลายเป็นอนุพันธ์ เช่น ไคโตซาน (chitosan) ซึ่งมีประจุบวก (cationic) และสามารถทำหน้าที่เป็นสารคีเลตจับโลหะหนักได้ (Rinaudo, 2006) อย่างไรก็ตาม สัตว์ส่วนใหญ่รวมทั้งสัตว์ปีกไม่สามารถผลิตเอนไซม์ไคตินเนสในระบบ

ทางเดินอาหารได้ (Shahidi and Abuzaytoun, 2005) จึงทำให้โคตินถูกจัดเป็นเส้นใยอาหารที่ไม่สามารถย่อยได้ (Tabata et al., 2017) อย่างไรก็ตาม มีการรายงานว่าไก่อาจสามารถย่อยโคตินได้บางส่วนเนื่องจากการตรวจพบการแสดงออกของ mRNA ของยีนที่เกี่ยวข้องกับการผลิตเอนไซม์โคตินเนสในกระเพาะอาหารของไก่ (Suzuki et al., 2002; Tabata et al., 2017) นอกจากนี้ โคตินและอนุพันธ์ เช่น ไคโตซานโอลิโกแซ็กคาไรด์ (chitosan oligosaccharides - COS) ยังมีผลเชิงบวกต่อระบบภูมิคุ้มกันของสัตว์ โดยมีรายงานว่าเมื่อเสริม COS ในอาหารไก่เนื้อสามารถเพิ่มน้ำหนักของอวัยวะที่เกี่ยวข้องกับภูมิคุ้มกัน ได้แก่ ม้าม เบิร์ชา และต่อมไทมัส (Chi et al., 2017) รวมทั้งช่วยเพิ่มระดับ IgM และการแสดงออกของไซโตไคน์ที่กระตุ้นการอักเสบ (Deng et al., 2008) อีกทั้งอนุพันธ์ของโคตินยังสามารถทำหน้าที่เป็นพรีไบโอติก โดยเป็นแหล่งอาหารสำหรับแบคทีเรียในซีกัมของไก่ ส่งผลต่อองค์ประกอบของจุลินทรีย์ในลำไส้ และมีผลทางอ้อมต่อการทำงานของระบบภูมิคุ้มกัน (Li et al., 2007) ดังนั้นการใช้แมลงที่มีโคตินเป็นส่วนประกอบในสูตรอาหารจึงอาจช่วยส่งเสริมสุขภาพของสัตว์ปีกได้ อย่างไรก็ตาม โครงสร้างของโคตินในแมลงมีความหลากหลายและแตกต่างกันตามชนิดของแมลง (Kaya et al., 2015) อีกทั้งผลกระทบต่อระบบภูมิคุ้มกันยังขึ้นอยู่กับขนาดโมเลกุลและลักษณะทางกายภาพของโคติน (Lee et al., 2008) จึงเป็นประเด็นที่ควรพิจารณาอย่างรอบด้านเมื่อนำมาใช้เป็นส่วนประกอบในสูตรในอาหารสัตว์ แม้ BSFL จะมีโคตินซึ่งมีบทบาทในการกระตุ้นระบบภูมิคุ้มกัน และในทางทฤษฎีการกระตุ้นภูมิคุ้มกันอาจลดประสิทธิภาพการย่อยและการดูดซึมโภชนาได้เนื่องจากมีความต้องการพลังงานเพิ่มขึ้นและเกิดการเปลี่ยนแปลงของเยื่อลำไส้ (Klasing, 2007) แต่ผลการทดลองนี้ไม่พบความผิดปกติของการย่อยได้หรือพลังงานที่ใช้ประโยชน์ของไก่ ซึ่งสอดคล้องกับ Biasato et al. (2020) ที่รายงานว่าการใช้ BSFL ในระดับปานกลางไม่ทำให้เกิดผลลบต่อระบบทางเดินอาหารและการย่อยโภชนาในสัตว์ปีก ดังนั้นจึงคาดว่าปริมาณโคตินใน BSFL ที่ใช้ในการทดลองครั้งนี้ยังอยู่ในระดับต่ำ ไม่เพียงพอที่จะรบกวนการย่อยและการใช้ประโยชน์ของโภชนา

นอกจากนี้ BSFL ยังประกอบด้วยกรดลอริก (lauric acid) (C12:0) ซึ่งจัดอยู่ในกลุ่มของกรดไขมันสายกลาง (medium-chain fatty acids, MCFA) ที่มีคุณสมบัติต่อต้านแบคทีเรีย (Skrivanova et al., 2006) แมลง เช่น BSFL และแมลงวันบ้าน เป็นแหล่งที่มีปริมาณไขมันค่อนข้างสูง (Veldkamp et al., 2012) โดยเฉพาะไขมันจาก BSFL ซึ่งมีสัดส่วนของกรดไขมันกลุ่ม MCFA สูง โดยเฉพาะกรดลอริก (Gasco et al., 2018; Cullere et al., 2019) แม้ว่ากลไกการออกฤทธิ์ของ MCFA ต่อเชื้อแบคทีเรียจะยังไม่เป็นที่ทราบแน่ชัด แต่ผลการศึกษาใน *in vitro* พบว่า MCFA สามารถแทรกซึมผ่านเยื่อหุ้มเซลล์ของแบคทีเรีย (Skrivanova et al., 2006; Kim and Rhee, 2013) ก่อให้เกิดความเสียหายต่อเยื่อหุ้มเซลล์ ส่งผลให้ความสามารถในการซึมผ่านของเยื่อหุ้มเซลล์เปลี่ยนแปลงไป และอาจเอื้อต่อการแทรกซึมของสารต้านจุลชีพอื่น ๆ เข้าสู่เซลล์ ทำให้สามารถทำลายแบคทีเรียได้อย่างมีประสิทธิภาพมากขึ้น (Kim and Rhee, 2013) นอกจากนี้ BSFL และแมลงวันบ้านยังสามารถผลิตเปปไทด์ต้านจุลชีพ (antimicrobial peptides, AMPs) เช่น ดีเฟนซิน (defensin) ซึ่งมีความสามารถในการทำลายแบคทีเรียแกรมบวก (Dang et al., 2010; Andoh et al., 2018) โดยมีรายงานการค้นพบเปปไทด์ defensin-like peptide 4 (DLP4) ใน BSFL ซึ่งสามารถทำลายเชื้อแบคทีเรียแกรมบวก รวมถึงเชื้อดื้อยา เช่น Methicillin-resistant *Staphylococcus aureus* (MRSA) (Park et al., 2015) บทบาทของ MCFA ในไขมันจาก BSFL โดยเฉพาะกรดลอริก ยังถูกระบุว่ามีฤทธิ์ต้านแบคทีเรียและอาจส่งผลต่อองค์ประกอบจุลินทรีย์ในลำไส้ (Sprangers et al., 2017) อย่างไรก็ตาม การศึกษานี้ไม่พบผลกระทบด้านลบต่อการย่อยได้ของโภชนา ซึ่งอาจเป็นเพราะระดับการเสริม BSFL อยู่ในระดับที่ไม่ก่อให้เกิดการเปลี่ยนแปลงสมดุลจุลินทรีย์ในลำไส้ ทำให้กระบวนการย่อยและการใช้ประโยชน์ได้ของโภชนายังดำเนินได้อย่างปกติ

Table 4 Effects of different inclusion levels of BSFL in diets on apparent nutrient digestibility and utilization in Korat chickens (6 weeks of age)

Apparent nutrient digestibility (%)	Control	Black soldier fly larvae				P-value	Pooled SEM ^{1/}
		5%	10%	15%	20%		
Digestibility							
Dry matter	78.02 ^b	79.84 ^{ab}	79.68 ^{ab}	81.08 ^a	78.95 ^{ab}	0.059	0.355
Organic matter	81.62 ^b	82.83 ^{ab}	82.39 ^{ab}	84.60 ^a	83.29 ^{ab}	0.010	0.291
Crude fat	92.32 ^b	93.15 ^{ab}	92.24 ^b	95.07 ^a	94.58 ^{ab}	0.009	0.339
Utilization ^{2/}							
Nitrogen	61.74 ^b	64.18 ^{ab}	64.56 ^{ab}	72.34 ^a	69.46 ^{ab}	0.012	1.166

^{a,b} Means within each row with different superscripts are significantly different (P<0.05).

^{1/} SEM=standard error of the mean.

^{2/} Because feces and urine are excreted together in poultry, nitrogen values are expressed as 'nitrogen utilization' instead of 'nitrogen digestibility'.

สรุปผลการศึกษา

BSFL มีค่า TMEn ในไก่โคราชเท่ากับ 3,667 Kcal/Kg (DM) และสามารถใช้เป็นแหล่งโปรตีนในอาหารสำหรับไก่โคราชได้ระดับสูงสุดถึง 20% โดยไม่ก่อให้เกิดผลกระทบทางลบต่อค่าการย่อยได้ของสิ่งแห้ง ไขมัน และสารอินทรีย์ รวมถึงการใช้ประโยชน์ได้ของไนโตรเจน ทั้งนี้การใช้ BSFL ที่ระดับ 15% ให้ประสิทธิภาพสูงสุด โดยส่งผลให้ค่าการย่อยได้และการใช้ประโยชน์ได้ของโภชนะสูงกว่ากลุ่มควบคุม

ผลประโยชน์ทับซ้อน

ผู้เขียนขอประกาศว่าบทความนี้ไม่มีผลประโยชน์ทับซ้อน

กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอแสดงความขอบคุณงานสัตว์ปีก ฟาร์มมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี ที่เอื้อเฟื้อสถานที่ในการดำเนินการทดลอง และขอขอบคุณศูนย์เครื่องมือวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี ที่ให้ความอนุเคราะห์ด้านสถานที่และเครื่องมือในการดำเนินงานวิจัย นอกจากนี้ ขอขอบคุณสมาชิกห้องปฏิบัติการโภชนศาสตร์สัตว์กระเพาะเดี่ยวและวิทยาศาสตร์อาหารสัตว์ (Laboratory of Monogastric Animal Nutrition and Feed Science, SUT) สำหรับความช่วยเหลือในการดำเนินการทดลองและเก็บตัวอย่าง รวมถึงขอขอบคุณทุนการศึกษาสำหรับผู้มีศักยภาพเข้าศึกษาระดับบัณฑิตศึกษา มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

การมีส่วนร่วมในการเขียนบทความของผู้เขียน

ความคิดริเริ่มและสมมติฐาน กำหนดวัตถุประสงค์ ออกแบบการทดลอง รวบรวมข้อมูลเอกสารงานวิจัย ปฏิบัติการทดลอง เก็บตัวอย่างการทดลอง วิเคราะห์ข้อมูล การแปลผล การวิจารณ์ผลการทดลอง และการเขียนต้นฉบับบทความ: ธนัท เทียบขิง, สุธิศา เข้มพะกา.

เอกสารอ้างอิง

- Abduh, M. Y., Jamilah, M., Istiandari, P., Manurung, S., & Manurung, R. (2017). Bioconversion of rubber seeds to produce protein and oil-rich biomass using black soldier fly larva assisted by microbes. *Journal of Entomology and Zoology Studies*, 5(4), 591–597.
- Abduh, M. Y., Nadia, M. H., Manurung, R., & Putra, R. E. (2018). Factors affecting the bioconversion of Philippine tung seed by black soldier fly larvae for the production of protein and oil-rich biomass. *Journal of Asia-Pacific Entomology*, 21(1), 836–842. <https://doi.org/10.1016/j.aspen.2018.06.007>.
- Alexandratos, N., & Bruinsma, J. (2012). *World Agriculture Towards 2030/2050: The 2012 Revision*. Food and Agriculture Organization of the United Nations.
- Andoh, M., Ueno, T., & Kawasaki, K. (2018). Tissue-dependent induction of antimicrobial peptide genes after body wall injury in house fly (*Musca domestica*) larvae. *Drug Discoveries & Therapeutics*, 12(6), 355–362. <https://doi.org/10.5582/ddt.2018.01063>.
- Arango Gutiérrez, G. P. (2005). *Aportes nutricionales de la biomasa de Hermetia illucens L. (Diptera: Stratiomyidae) en la cría de pollos de engorde*. Master's Thesis. Universidad Nacional de Colombia.
- Association of Official Analytical Chemists. (1990). *Official Methods of Analysis*. 15th Ed. Association of Official Analytical Chemists.
- Association of Official Analytical Chemists. (2006). *Official Methods of Analysis*. 18th Ed. Association of Official Analytical Chemists.
- Attivi, K., Agboka, K., Mlaga, G. K., Oke, O. E., Teteh, A., Onagbesan, O., & Tona, K. (2020). Effect of black soldier fly (*Hermetia illucens*) maggots meal as a substitute for fish meal on growth performance, biochemical parameters and digestibility of broiler chickens. *International Journal of Poultry Science*, 19(2), 75–80. <https://doi.org/10.3923/ijps.2020.75.80>.
- Auza, F. A., Purwanti, S., Syamsu, J. A., Natsir, A., Badaruddin, R., Zulkarnain, D., & Munadi, L. O. M. (2023). Effects of using black soldier fly larvae meal (*Hermetia illucens* L.) as a source of protein on boosting performance, carcass quality, and nutrient digestibility of village chicken. *Journal of Animal Health and Production*, 11(2), 193–198. <https://doi.org/10.17582/journal.jahp/2023/11.2.193.198>.

- Baker, K. M., Utterback, P. L., Parsons, C. M., & Stein, H. H. (2011). Nutritional value of soybean meal produced from conventional, high-protein, or low-oligosaccharide varieties of soybeans and fed to broiler chicks. *Poultry Science*, 90(2), 390–395. <https://doi.org/10.3382/ps.2010-00978>.
- Bertechini, A. G., Kato, R. K., Freitas, L. F. V. B. D., Castro, R. T. D. C., & Mazzuco, H. (2019). Metabolizable energy values of soybean meals and soybean oil for broilers at different ages. *Acta Scientiarum Animal Sciences*, 41(1), 44540. <https://doi.org/10.4025/actascianimsci.v41i1.44540>.
- Biasato, I., Ferrocino, I., Dabbou, S., Evangelista, R., Gai, F., Gasco, L., Coccolin, L., Capucchio, M. T., & Schiavone, A. (2020). Black soldier fly and gut health in broiler chickens: insights into the relationship between cecal microbiota and intestinal mucin composition. *Journal of Animal Science and Biotechnology*, 11(1), 11. <https://doi.org/10.1186/s40104-019-0413-y>.
- Bovera, F., Loponte, R., Marono, S., Piccolo, G., Parisi, G., Iaconisi, V., Gasco, L., & Nizza, A. (2016). Use of *Tenebrio molitor* larvae meal as protein source in broiler diet: effect on growth performance, nutrient digestibility, and carcass and meat traits. *Journal of Animal Science*, 94(2), 639–647. <https://doi.org/10.2527/jas.2015-9201>.
- Chi, X., Ding, X., Peng, X., Li, X., & Fang, J. (2017). Effects of chitosan oligosaccharides supplementation on the cell cycle of immune organs in broilers. *Kafkas Universitesi Veteriner Fakultesi Dergisi*, 23(6), 1003–1006. <https://doi.org/10.9775/kvfd.2017.17997>.
- Chobanova, S., Karkelanov, N., Mansbridge, S. C., Whiting, I. M., Simic, A., Rose, S. P., & Pirgozliev, V. R. (2023). Defatted black soldier fly larvae meal as an alternative to soybean meal for broiler chickens. *Poultry*, 2(3), 430–441. <https://doi.org/10.3390/poultry2030032>.
- Chu, X., Li, M., Wang, G., Wang, K., Shang, R., Wang, Z., & Li, L. (2020). Evaluation of the low inclusion of full-fatted *Hermetia illucens* larvae meal for layer chickens: Growth performance, nutrient digestibility, and gut health. *Frontiers in Veterinary Science*, 7(1), 585843. <https://doi.org/10.3389/fvets.2020.585843>.
- Cockcroft, B. L. (2018). *An Evaluation of Defatted Black Soldier Fly (Hermetia illucens) Larvae as a Protein Source for Broiler Chicken Diets*. Master's Thesis. Stellenbosch University.
- Cristobal, M., Utterback, P. L., Stein, H. H., & Parsons, C. M. (2025). True metabolizable energy, standardized amino acid digestibility, and digestibility of phosphorus in soybean expellers produced from conventional or high-oil varieties of soybeans fed to chickens. *Poultry Science*, 104(9), 105386. <https://doi.org/10.1016/j.psj.2025.105386>.
- Cullere, M., Schiavone, A., Dabbou, S., Gasco, L., & Dalle Zotte, A. (2019). Meat quality and sensory traits of finisher broiler chickens fed with black soldier fly (*Hermetia illucens* L.) larvae fat as alternative fat source. *Animals*, 9(4), 140. <https://doi.org/10.3390/ani9040140>.
- Cullere, M., Tasoniero, G., Giaccone, V., Miotti-Scapin, R., Claeys, E., De Smet, S., & Dalle Zotte, A. (2016). Black soldier fly as dietary protein source for broiler quails: apparent digestibility, excreta microbial load, feed choice, performance, carcass and meat traits. *Animal*, 10(12), 1923–1930. <https://doi.org/10.1017/S1751731116001270>.
- Dang, X. L., Wang, Y. S., Huang, Y. D., Yu, X. Q., & Zhang, W. Q. (2010). Purification And Characterization of An Antimicrobial Peptide, Insect Defensin, From Immunized House Fly (Diptera: Muscidae). *Journal of Medical Entomology*, 47(6), 1141–1145. <https://doi.org/10.1603/ME10016>.
- De Marco, M., Martinez, S., Hernandez, F., Madrid, J., Gai, F., Rotolo, L., Belforti, M., Bergero, D., Katz, H., Dabbou, S., Kovitvadhi, A., Zoccarato, I., Gasco, L., & Schiavone, A. (2015). Nutritional value of two insect larval meals (*Tenebrio molitor* and *Hermetia illucens*) for broiler chickens: Apparent nutrient digestibility, apparent ileal amino acid digestibility and apparent metabolizable energy. *Animal Feed Science and Technology*, 209(1), 211–218. <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2015.08.006>.
- de Souza Vilela, J., Andronicos, N. M., Kolakshyapati, M., Hilliar, M., Sibanda, T. Z., Andrew, N. R., Swick, R. A., Wilkinson, S., & Ruhnke, I. (2021). Black soldier fly larvae in broiler diets improve broiler performance and modulate the immune system. *Animal Nutrition*, 7(3), 695–706. <https://doi.org/10.1016/j.aninu.2020.08.014>.
- Deng, X., Li, X., Liu, P., Yuan, S., Zang, J., Li, S., & Piao, X. (2008). Effect of chito-oligosaccharide supplementation on immunity in broiler chickens. *Asian-Australasian Journal of Animal Sciences*, 21(11), 1651–1658. <https://doi.org/10.5713/ajas.2008.80056>.
- Dozier III, W. A., Kerr, B. J., Corzo, A., Kidd, M. T., Weber, T. E., & Bregendahl, K. (2008). Apparent metabolizable energy of glycerin for broiler chickens. *Poultry Science*, 87(2), 317–322. <https://doi.org/10.3382/ps.2007-00309>.
- Dozier, W. A., & Hess, J. B. (2011). *Soybean Meal Quality and Analytical Techniques*. InTech.
- Ellawidana, E. W. D. M., Mutucumarana, R. K., Ruwandeeepika, H. A. D., & Magamage, M. P. S. (2023). Nutritional composition and apparent metabolizable energy (AME) value of black soldier fly larvae (*Hermetia illucens* L.) full-fat meal for broiler chickens. *Turkish Journal of Agriculture-Food Science and Technology*, 11(10), 1825–1833. <https://doi.org/10.24925/turjaf.v11i10.1825-1833.5992>.
- Feedipedia. (2020). *Black Soldier Fly Larvae Meal*. Retrieved from: <https://www.feedipedia.org/node/16388>.
- Gasco, L., Finke, M., & Van Huis, A. (2018). Can diets containing insects promote animal health?. *Journal of Insects as Food and Feed*, 4(1), 1–4. <https://doi.org/10.3920/JIFF2018.x001>.
- Ghanem, A., Ghaly, A. E., & Chaulk, M. (2004). Effect of shrimp processing procedures on the quality and quantity of extracted chitin from the shells of northern shrimp *Pandalus borealis*. *Journal of Aquatic Food Product Technology*, 12(4), 63–79. https://doi.org/10.1300/J030v12n04_05.

- Herrero, M., & Thornton, P. K. (2013). Livestock and global change: emerging issues for sustainable food systems. **Proceedings of the National Academy of Sciences**, 110(52), 20878–20881. <https://doi.org/10.1073/pnas.1321844111>.
- Józefiak, D., Józefiak, A., Kierończyk, B., Rawski, M., Świątkiewicz, S., Długosz, J., & Engberg, R. M. (2016). Insects – A Natural Nutrient Source for Poultry – A Review. **Annals of Animal Science**, 16(2), 297–313. <https://doi.org/10.1515/aoas-2016-0010>.
- Kaya, M., Erdogan, S., Mol, A., & Baran, T. (2015). Comparison of chitin structures isolated from seven Orthoptera species. **International Journal of Biological Macromolecules**, 72(1), 797–805. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2014.09.034>.
- Khempaka, S., Chitsatchapong, C., & Molee, W. (2011). Effect of chitin and protein constituents in shrimp head meal on growth performance, nutrient digestibility, intestinal microbial populations, volatile fatty acids, and ammonia production in broilers. **Journal of Applied Poultry Research**, 20(1), 1–11. <https://doi.org/10.3382/japr.2010-00162>.
- Kim, S. A., & Rhee, M. S. (2013). Marked synergistic bactericidal effects and mode of action of medium-chain fatty acids in combination with organic acids against *Escherichia coli* O157: H7. **Applied and Environmental Microbiology**, 79(21), 6552–6560. <https://doi.org/10.1128/aem.02164-13>.
- Klasing, K. C. (2007). Nutrition and the immune system. **British Poultry Science**, 48(5), 525–537. <https://doi.org/10.1080/00071660701671336>.
- Lee, C. G., Da Silva, C. A., Lee, J. Y., Hartl, D., & Elias, J. A. (2008). Chitin regulation of immune responses: an old molecule with new roles. **Current Opinion in Immunology**, 20(6), 684–689. <https://doi.org/10.1016/j.coi.2008.10.002>.
- Li, X. J., Piao, X. S., Kim, S. W., Liu, P., Wang, L., Shen, Y. B., Jung, S. C., & Lee, H. S. (2007). Effects of Chito-Oligosaccharide Supplementation on Performance, Nutrient Digestibility, and Serum Composition in Broiler Chickens. **Poultry Science**, 86(6), 1107–1114. <https://doi.org/10.1093/ps/86.6.1107>.
- Longvah, T., Mangthya, K., & Ramulu, P. (2011). Nutrient composition and protein quality evaluation of eri silkworm (*Samia ricinii*) prepupae and pupae. **Food Chemistry**, 128(2), 400–403. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2011.03.041>.
- Maliwan, P. (2016). **Energy and Protein Requirements of Korat Chickens from 0 to 12 Weeks of Age**. Doctoral Thesis. Suranaree University of Technology.
- Marono, S., Piccolo, G., Loponte, R., Meo, C. D., Attia, Y. A., Nizza, A., & Bovera, F. (2015). In vitro crude protein digestibility of *Tenebrio molitor* and *Hermetia illucens* insect meals and its correlation with chemical composition traits. **Italian Journal of Animal Science**, 14(3), 338–343. <https://doi.org/10.4081/ijas.2015.3889>.
- Matin, N., Utterback, P., & Parsons, C. M. (2021). True metabolizable energy and amino acid digestibility in black soldier fly larvae meals, cricket meal, and mealworms using a precision-fed rooster assay. **Poultry Science**, 100(7), 101146. <https://doi.org/10.1016/j.psj.2021.101146>.
- Muzzarelli, R. A. A. (1977). **Chitin**. Pergamon Press.
- National Research Council. (1994). **Nutrient Requirements of Poultry**. 9th Ed. National Academy Press.
- Nguyen, T. T., Tomberlin, J. K., & Vanlaerhoven, S. (2015). Ability of black soldier fly (Diptera: Stratiomyidae) larvae to recycle food waste. **Environmental Entomology**, 44(2), 406–410. <https://doi.org/10.1093/ee/nvv002>.
- Park, S. I., Kim, J. W., & Yoe, S. M. (2015). Purification and characterization of a novel antibacterial peptide from black soldier fly (*Hermetia illucens*) larvae. **Developmental and Comparative Immunology**, 52(1), 98–106. <https://doi.org/10.1016/j.dci.2015.04.018>.
- Parsons, C. M., Potter, L. M., & Bliss, B. A. (1982). True Metabolizable Energy Corrected to Nitrogen Equilibrium. **Poultry Science**, 61(11), 2241–2246. <https://doi.org/10.3382/ps.0612241>.
- Ravindran, V., Abdollahi, M. R., & Bootwalla, S. M. (2014). Nutrient analysis, metabolizable energy, and digestible amino acids of soybean meals of different origins for broilers. **Poultry Science**, 93(10), 2567–2577. <https://doi.org/10.3382/ps.2014-04068>.
- Razdan, A., & Pettersson, D. (1994). Effect of chitin and chitosan on nutrient digestibility and plasma lipid concentrations in broiler chickens. **British Journal of Nutrition**, 72(2), 277–288. <https://doi.org/10.1079/bjn19940029>.
- Rinaudo, M. (2006). Chitin and chitosan: properties and applications. **Progress in Polymer Science**, 31(7), 603–632. <https://doi.org/10.1016/j.progpolymsci.2006.06.001>.
- Schiavone, A., De Marco, M., Martínez, S., Dabbou, S., Renna, M., Madrid, J., Hernandez, F., Rotolo, L., Costa, P., Gai, F., & Gasco, L. (2017). Nutritional value of a partially defatted and a highly defatted black soldier fly larvae (*Hermetia illucens* L.) meal for broiler chickens: apparent nutrient digestibility, apparent metabolizable energy and apparent ileal amino acid digestibility. **Journal of Animal Science and Biotechnology**, 8(5), 897–905. <https://doi.org/10.1186/s40104-017-0181-5>.
- Shahidi, F., & Abuzaytoun, R. (2005). Chitin, chitosan, and co-products: chemistry, production, applications, and health effects. **Advances in Food and Nutrition Research**, 49(1), 93–135. [https://doi.org/10.1016/S1043-4526\(05\)49003-8](https://doi.org/10.1016/S1043-4526(05)49003-8).
- Sheppard, D. C., Tomberlin, J. K., Joyce, J. A., Kiser, B. C., & Sumner, S. M. (2002). Rearing methods for the black soldier fly (Diptera: Stratiomyidae). **Journal of Medical Entomology**, 39(4), 695–698. <https://doi.org/10.1603/0022-2585-39.4.695>.
- Sibbald, I. R. (1976). A bioassay for true metabolizable energy in feedingstuffs. **Poultry Science**, 55(1), 303–308. <https://doi.org/10.3382/ps.0550303>.
- Skrivanova, E., Marounek, M., Benda, V., & Brezina, P. (2006). Susceptibility of *Escherichia coli*, *Salmonella* sp. and *Clostridium perfringens* to organic acids and monolaurin. **Veterinarni Medicina**, 51(3), 81–88. <https://doi.org/10.17221/5524-vetmed>.

- Sprangers, T., Ottoboni, M., Klootwijk, C., Olyn, A., Deboosere, S., Meulenaer, B. D., Michiels, J., Eeckhout, M., Clercq, P. D., & Smet, S. D. (2017). Nutritional composition of black soldier fly (*Hermetia illucens*) prepupae reared on different organic waste substrates. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, 97(8), 2594–2600. <https://doi.org/10.1002/jsfa.8081>.
- SPSS Inc. (2007). **SPSS for Windows, Version 16.0**. Retrieved from: http://www.unimuenster.de/imperia/md/content/ziv/service/software/spss/handbuecher/englisch/spss_brief_guide_16.0.pdf.
- Suzuki, M., Fujimoto, W., Goto, M., Morimatsu, M., Syuto, B., & Iwanaga, T. (2002). Cellular expression of gut chitinase mRNA in the gastrointestinal tract of mice and chickens. **Journal of Histochemistry & Cytochemistry**, 50(8), 1081–1089. <https://doi.org/10.1177/002215540205000810>.
- Tabata, E., Kashimura, A., Wakita, S., Ohno, M., Sakaguchi, M., Sugahara, Y., Kino, Y., Matoska, V., Bauer, P. O., & Oyama, F. (2017). Gastric and intestinal proteases resistance of chicken acidic chitinase nominates chitin-containing organisms for alternative whole edible diets for poultry. **Scientific Reports**, 7(1), 6662. <https://doi.org/10.1038/s41598-017-07146-3>.
- Tomberlin, J. K., & Sheppard, D. C. (2001). Lekking behavior of the black soldier fly (Diptera: Stratiomyidae). **Florida Entomologist**, 84(4), 729–730. <https://doi.org/10.2307/3496413>.
- Uushona, T. (2015). **Black Soldier Fly (*Hermetia illucens*) Pre-pupae as a Protein Source for Broiler Production**. Master's Thesis. Stellenbosch University.
- Van der Heide, M. E., Nørgaard, J. V., & Engberg, R. M. (2021). Performance, nutrient digestibility and selected gut health parameters of broilers fed with black soldier fly, lesser mealworm and yellow mealworm. **Journal of Insects as Food and Feed**, 7(6), 1011–1022. <https://doi.org/10.3920/JIFF2020.0150>.
- Van Huis, A. (2018). **Insects as Human Food**. Academic Press.
- Van Huis, A., & Onincox, D. G. A. B. (2017). The environmental sustainability of insects as food and feed - A review. **Agronomy for Sustainable Development**, 37(5), 43. <https://doi.org/10.1007/s13593-017-0452-8>.
- Veldkamp, T., Van Duinkerken, G., Van Huis, A., Lakemond, C. M. M., Ottevanger, E., Bosch, G., & Van Boekel, M. A. J. S. (2012). **Insects as a Sustainable Feed Ingredient in Pig and Poultry Diets – A Feasibility Study**. Wageningen UR Livestock Research. Retrieved from: <https://edepot.wur.nl/234247>.
- Vidanarachchi, J. K., Kurukulasuriya, M. S., & Kim, S. K. (2010). **Chitin, Chitosan and Their Oligosaccharides in Food Industry**. CRC Press.
- Woods, M. J., Cullere, M., Van Emmenes, L., Vincenzi, S., Pieterse, E., Hoffman, L. C., & Zotte, A. D. (2019). *Hermetia illucens* larvae reared on different substrates in broiler quail diets: Effect on apparent digestibility, feed-choice and growth performance. **Journal of Insects as Food and Feed**, 5(2), 89–98. <https://doi.org/10.3920/JIFF2018.0027>.
- Yulianti, D. L., Sjoefan, O., Firmansyah, A., Ahzami, A., & Aini, B. W. R. (2024). Effect of black soldier fly larva meal on energy, protein digestibility, performance, and carcass quality in local crossbred chickens. **Jurnal Ilmu Peternakan Terapan**, 8(1), 46–56.
- Zhang, J., Zheng, L., Jin, P., Zhang, D., & Yu, Z. (2014). Kitchen waste converted by black soldier fly and partly substituting soymeal in chicken feed. In **1st International Conference Insects to Feed the World**, pp. 152. Wageningen University and Research Centre and Food and Agriculture Organization.
- Zheng, L., Hou, Y., Li, W., Yang, S., Li, Q., & Yu, Z. (2012). Biodiesel production from rice straw and restaurant waste employing black soldier fly assisted by microbes. **Energy**, 47(1), 225–229. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2012.09.006>.

ผลของการเสริมนมแพะในน้ำยาเจือจางน้ำเชื้อที่มีต่อการเคลื่อนที่ของตัวอสุจิของแพะหลังการแช่แข็ง

Effect of Goat Milk Supplementation in Semen Extender on the Motility of Post-Thaw Goat Sperm

นิตยา ทองทิพย์^{1*}, ปิยามาส ตันจเรญรัตน์¹, ผกาสินี ขาวแดง¹, วิวัฒน์ พัฒนาวงศ์²,
เยาวลักษณ์ หวังสุข², พัชรี พรหมตัน³ และวาทิ คงบรรทัด⁴
Nittaya Thongtip^{1*}, Piyamas Tancharoenrat¹, Pakasinee Khaodang¹, Wiwat Pattanawong²,
Yaowalak Wangsuk², Patcharee Promtan³ and Watee Kongbuntad⁴

Received date: 10 ก.ย. 68 Revised date: 15 ธ.ค. 68 Accepted date: 17 ธ.ค. 68

DOI: <https://doi.org/10.55003/kmaj.2026.269054>

บทคัดย่อ

การศึกษาการเสริม นมชนิดต่าง ๆ ในสารละลายเจือจางน้ำเชื้อที่มีต่อการเคลื่อนที่ของตัวอสุจิของแพะหลังการแช่แข็ง โดยเก็บน้ำเชื้อจากแพะพ่อพันธุ์ลูกผสมเบอร์ 3 ตัว ในการเก็บน้ำเชื้อทำการเก็บน้ำเชื้อแพะสัปดาห์ละ 1 ครั้ง ติดต่อกัน 6 สัปดาห์ นำน้ำเชื้อของพ่อพันธุ์แพะแต่ละตัวที่รีดได้ในแต่ละครั้งมาแบ่งออกเป็น 3 ส่วน น้ำเชื้อแต่ละส่วนจะถูกเติมน้ำยาเจือจางน้ำเชื้อแต่ละสูตร ซึ่งสารเจือจางน้ำเชื้อที่ใช้ มีส่วนผสมหลักคือ Tris (hydroxymethyl) aminomethane ได้แก่ Tris + egg Yolk, Tris + goat milk หรือ Tris + cow milk จากนั้นทำการแช่แข็งน้ำเชื้อด้วยวิธีเดียวกัน แช่เย็นที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส 4 ชั่วโมง และอุณหภูมิต่ำกว่า -121 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 13 นาที จากนั้นนำลงเก็บรักษาในไนโตรเจนเหลว -196 องศาเซลเซียส หลังจากแช่แข็งเป็นระยะเวลา 24 ชั่วโมง ทำการสุมน้ำเชื้อแพะแช่แข็งจากแพะแต่ละตัวของแต่ละกลุ่มทดลอง ๆ ละ 6 ตัวอย่าง/สัปดาห์ ทั้งหมด 6 ครั้ง นำมาประเมินคุณภาพภายหลังละลาย ด้วยเครื่องวิเคราะห์คุณภาพน้ำเชื้อ Computer Assisted Sperm Analysis (CASA) เพื่อวิเคราะห์การเคลื่อนที่ของตัวอสุจิ ผลการศึกษาพบว่า สารละลายเจือจางสูตร Tris + goat milk ให้ค่าการเคลื่อนที่รวมของอสุจิ (Total motility) สูงที่สุด เมื่อเทียบกับสูตร Tris + egg yolk และ Tris + cow milk แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ และค่าการเคลื่อนที่ไปข้างหน้า (Progressive motility) ของสูตร Tris + goat milk สูงกว่าสูตรอื่นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) และเปอร์เซ็นต์การเคลื่อนที่ไปข้างหน้า ค่า (path velocity; VAP), (straight-line velocity; VSL), (straightness; STR), (curvilinear velocity; VCL), (linearity; LIN) และ (beat cross frequency; BCF) ไม่แตกต่างกันทางสถิติ ค่า (lateral head displacement; ALH) พบว่าสารละลายสูตร Tris + egg yolk มีค่าเฉลี่ยสูงกว่าสูตรที่ผสมนมโคและนมแพะอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ สรุปได้ว่าสารละลายสูตร Tris + goat milk สามารถคงคุณภาพและการเคลื่อนที่รวมของอสุจิแพะหลังการแช่แข็งได้ดีกว่าสูตรอื่น จึงเป็นทางเลือกหนึ่งสำหรับการพัฒนาสารละลายเจือจาง เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพของน้ำเชื้อแพะ

คำสำคัญ: นม สารละลายเจือจาง น้ำเชื้อแพะแช่แข็ง คุณภาพตัวอสุจิ

Abstract

This study aimed to determine the effect of different milk supplementation in semen extenders on the post-thaw motility of goat spermatozoa. Semen samples were collected from three Boer crossbred bucks. For semen collection, goat semen was collected once a week for six consecutive weeks, and each ejaculate was divided into three equal parts. Each part was diluted with one of three different Tris (hydroxymethyl) aminomethane-based extenders: Tris + egg yolk, Tris + goat milk, or Tris + cow milk. The diluted semen was cooled at 4 °C for 4 hours, then exposed to liquid nitrogen vapor at -121 °C for 13 minutes, after that it was plunged into liquid nitrogen at -196 °C for storage. After 24 hours of cryopreservation, frozen goat semen samples were then randomly selected from each male in each treatment group, with six samples per week, for a total of six collections. The post-thaw sperm quality was evaluated by using Computer Assisted Sperm Analysis

¹ สาขาสัตวศาสตร์และประมง คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการเกษตร มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา ลำปาง จังหวัดลำปาง 52000

² สาขาสัตวศาสตร์ คณะสัตวศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยแม่โจ้ จังหวัดเชียงใหม่ 50290

³ สาขาสัตวศาสตร์ คณะเกษตรศาสตร์และทรัพยากรธรรมชาติ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก จังหวัดชลบุรี 20110

⁴ สาขาเทคโนโลยีชีวภาพ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยแม่โจ้ จังหวัดเชียงใหม่ 50290

¹ Department of Animal Science and Fisheries, Faculty of Sciences and Agricultural Technology, Rajamangala University of Technology Lanna, Lampang 52000

² Department of Animal Science, Faculty of Animal Science and Technology, Maejo University, Chiang Mai 50290

³ Department of Animal Science, Faculty of Agriculture and Natural Resources, Rajamangala University of Technology Tawan-ok, Chon Buri 20110

⁴ Department of Biotechnology, Faculty of Science, Maejo University, Chiang Mai 50290

* Corresponding author: nittayathongtip33@gmail.com

(CASA) system to measure sperm motility parameters. The results revealed that the Tris + goat milk extender had the highest total motility ($p < 0.01$) compared with Tris + egg yolk and Tris + cow milk. The progressive motility of spermatozoa in the Tris + goat milk group was higher ($p < 0.05$) than the other treatments. No significant differences ($p > 0.05$) were found in other motility parameters (path velocity; VAP), (straight-line velocity; VSL), (straightness; STR), (curvilinear velocity; VCL), (linearity; LIN) and (beat cross frequency; BCF). However, the amplitude of lateral head displacement (lateral head displacement; ALH) was higher ($p < 0.05$) in the Tris + egg yolk extender than those containing cow or goat milk. In conclusion, the Tris + goat milk extender was more effective than other extenders in preserving the post-thaw total motility of goat spermatozoa. Therefore, goat milk is an alternative extender for efficiency of goat semen.

Keywords: milk, extender, frozen goat semen, sperm quality

คำนำ

ประเทศไทยเริ่มมีการเลี้ยงแพะเพื่อการบริโภคและการพาณิชย์ตั้งแต่สมัยรัชกาลที่ 5 โดยมีการนำเข้าแพะเลี้ยงจากต่างประเทศ เช่น อินเดีย มาเลเซีย และอินโดนีเซีย เพื่อใช้เป็นอาหารและประกอบพิธีกรรมทางศาสนา ปัจจุบันการเลี้ยงแพะในประเทศไทยได้รับความนิยมมากขึ้น โดยเฉพาะในพื้นที่ภาคใต้และภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ทั้งนี้เนื่องจากแพะเป็นสัตว์ที่เลี้ยงง่าย ใช้พื้นที่น้อย ทนทานต่อสภาพแวดล้อม และให้ผลตอบแทนเร็ว

จากรายงานสถิติของกรมปศุสัตว์ (Department of Livestock Development, 2023) ประเทศไทยมีจำนวนแพะรวมทั้งสิ้นกว่า 1.5 ล้านตัว ซึ่งเพิ่มขึ้นจากปีก่อนหน้า 2565 กว่า 8 % และมีเกษตรกรผู้เลี้ยงแพะกว่า 98,000 ราย อย่างไรก็ตาม การปรับปรุงพันธุ์แพะเพื่อเพิ่มคุณภาพและปริมาณการผลิตยังประสบปัญหาหลายประการ เช่น การขาดแคลนพ่อพันธุ์ที่มีคุณภาพ การผสมพันธุ์ตามธรรมชาติที่ไม่สม่ำเสมอ และระยะเวลาการเป็นสัตว์ของสัตว์ที่แตกต่างกัน การประยุกต์ใช้เทคโนโลยีการสืบพันธุ์สมัยใหม่ เช่น การผสมเทียม จึงเป็นทางเลือกที่เหมาะสมและมีประสิทธิภาพในการพัฒนาสายพันธุ์แพะอย่างยั่งยืน

การผสมเทียม (Artificial Insemination; AI) เป็นกระบวนการนำอสุจิที่เก็บจากพ่อพันธุ์เข้าสู่ระบบสืบพันธุ์ของแม่พันธุ์ โดยไม่ต้องพึ่งการผสมพันธุ์ตามธรรมชาติ ซึ่งช่วยลดความเสี่ยงจากโรคติดต่อ เพิ่มอัตราการผสมติด และสามารถใช้อสุจิคุณภาพสูงได้อย่างคุ้มค่า การผสมเทียมในแพะสามารถทำได้ โดยใช้น้ำเชื้อสดและแช่แข็ง โดยเฉพาะน้ำเชื้อแช่แข็งเป็นน้ำเชื้อที่สามารถเก็บรักษาไว้ได้นานและสะดวกต่อการกระจายพันธุ์กรรม (Nakafeero et al., 2024)

อย่างไรก็ตาม ความสำเร็จของการแช่แข็งน้ำเชื้อขึ้นอยู่กับคุณภาพของตัวอสุจิหลังละลาย ซึ่งมักลดลงเนื่องจากความเสียหายของเยื่อหุ้มเซลล์จากภาวะการลดอุณหภูมิอย่างรวดเร็ว (cold shock) การเกิดอนุมูลอิสระ Reactive oxygen species (ROS) และผลจากสารเจือจางบางชนิด (Watson, 2000) เพื่อเพิ่มอัตราการรอดของตัวอสุจิหลังการแช่แข็ง จึงมีการใช้สารป้องกันการแช่แข็ง (Cryoprotectants) และน้ำยาเจือจาง (Extenders) ซึ่งมีบทบาทสำคัญในการป้องกันเยื่อหุ้มเซลล์ ลดการรวมกลุ่มของตัวอสุจิ และคงสภาพแวดล้อมที่เหมาะสม

สารละลายเจือจางที่ใช้กันอย่างแพร่หลาย เช่น Tris-egg yolk, skim milk หรือ citrate-based extenders มักมีส่วนประกอบของไข่แดง อย่างไรก็ตาม ในกรณีของแพะพบว่า seminal plasma มีเอนไซม์ phospholipase A ที่ทำปฏิกิริยากับไข่แดง ทำให้เกิด lysolecithins ซึ่งเป็นพิษต่ออสุจิเมื่อใช้ไข่แดงประมาณ 10-20 % (Sias et al., 2005) ดังนั้นการใช้ไข่แดงในสารละลายเจือจางน้ำเชื้อของแพะจึงต้องแยก seminal plasma ออกก่อนการผสม ทำให้เกิดความยุ่งยากในการดำเนินการและอาจส่งผลให้อสุจิตายได้

เพื่อการรักษาความมีชีวิตของอสุจิโดยเฉพาะความแข็งแรงของเยื่อหุ้มเซลล์ให้คงไว้ซึ่งการทำงานให้มากที่สุด ดังนั้นขั้นตอนของการแช่แข็ง จึงเป็นหัวใจที่สำคัญ อย่างไรก็ตามจากอดีตจนถึงปัจจุบันได้มีการพัฒนาสูตรการทำสารละลายสำหรับทำน้ำเชื้อแช่แข็งมาโดยตลอด เพื่อเพิ่มอัตราการรอดชีวิตของอสุจิ อัตราการเคลื่อนที่รายตัวภายหลังการแช่แข็งให้อยู่ในระดับสูง และการดูลักษณะพื้นผิวของตัวอสุจิ นักวิจัยจึงได้มีการพัฒนาสารละลายเจือจางน้ำเชื้อที่ไม่ใช้ไข่แดง (egg yolk-free extenders) เป็นส่วนผสม โดยเลือกใช้น้ำนมจากสัตว์ เช่น นมโค นมแพะ หรือโปรตีนจากพืช มาเป็นส่วนประกอบหลัก นมแพะถือเป็นตัวเลือกที่น่าสนใจเนื่องจากมีองค์ประกอบใกล้เคียงกับไข่แดง อุดมด้วยกรดอะมิโน วิตามิน และแร่ธาตุที่จำเป็น มีขนาดอนุภาคไขมันเล็กและย่อยง่าย (Manjunath, 2012)

โดยนมแพะมีองค์ประกอบของ โปรตีนเคซีน (casein), กรดอะมิโน และ สารต้านอนุมูลอิสระธรรมชาติ สูงกว่าไข่แดงและนมโคบางส่วน ซึ่งมีส่วนช่วยลดการเกิดอนุมูลอิสระและการเสื่อมสภาพของเยื่อหุ้มเซลล์สเปิร์มในกระบวนการแช่แข็ง (cryodamage) ได้ (Manjunath, 2012) โดยโปรตีนเคซีนในนมแพะมีคุณสมบัติพิเศษที่สามารถยับยั้งการจับตัวของโปรตีน

(Binder of Sperm Protein; BSP) ซึ่งเป็นโปรตีนที่สัมพันธ์กับการสูญเสียลิพิดจากเยื่อหุ้มเซลล์สุจิ ส่งผลให้โครงสร้างเยื่อหุ้มคงสภาพและความสามารถในการเคลื่อนที่หลังการแช่แข็ง (Aad, 2024)

ด้วยเหตุนี้ งานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาสูตรสารละลายเจือจางน้ำเชื้อแพะแช่แข็ง โดยใช้นมเป็นองค์ประกอบ และศึกษาผลของน้ำนมแพะต่อคุณภาพตัวอสุจิหลังการแช่แข็ง เปรียบเทียบกับสูตรมาตรฐานที่มีไข่แดงและนมโค โดยศึกษาการเคลื่อนที่ของตัวอสุจิหลังการแช่แข็ง

วิธีการศึกษา

สัตว์ทดลอง

ใช้แพะพ่อพันธุ์ลูกผสมบอร์ จำนวน 3 ตัว อายุเฉลี่ย 3 ปี ที่มีน้ำหนักเฉลี่ยที่ 40 กิโลกรัม/ตัว โดยเลี้ยงแบบแยกคอกเดี่ยว มีรำน้ำและอาหารสำหรับสัตว์ทุกตัว สัตว์ทุกตัวทำการถ่ายพยาธิภายนอกและภายใน มีการตรวจโรคสำคัญเป็นประจำ สัตว์ได้รับอาหารผสมสำเร็จ TMR (Total Mixed Ration) เป็นอาหารหยาบและอาหารข้นมาผสมกันในอัตราส่วนที่เหมาะสม โปรตีนไม่น้อยกว่า 14-16 เปอร์เซ็นต์ โดยให้อาหารวันละ 2 ครั้ง มีน้ำสะอาดและหญ้าแพงโกลาแห้งให้กินตลอดเวลา

การอนุญาตวิจัยในสัตว์ (กรณีใช้สัตว์ทดลอง)

การทดลองนี้ได้รับอนุญาตใช้สัตว์เพื่องานทางวิทยาศาสตร์ ตามเอกสารอนุญาตเลขที่ (U1-067182560) และรหัสใบรับรองจริยธรรมในสัตว์อนุมัติให้ดำเนินการเลี้ยงและใช้สัตว์เพื่องานทางวิทยาศาสตร์ RMUTL-IACUC 014/2024

การรีดเก็บน้ำเชื้อแพะ

เนื่องจากสัตว์แต่ละตัวมีลักษณะทางสรีรวิทยาและคุณภาพอสุจิที่แตกต่างกันตามธรรมชาติ การกำหนดให้สัตว์เป็นบล็อกจึงช่วยลดความแปรปรวนที่ไม่เกี่ยวกับกลุ่มการทดลอง ทำให้สามารถเปรียบเทียบประสิทธิภาพของสูตรสารละลายเจือจางน้ำเชื้อได้อย่างแม่นยำยิ่งขึ้น กำหนดให้แพะพ่อพันธุ์แต่ละตัวเป็นบล็อก รวมจำนวน 3 บล็อก โดยเก็บน้ำเชื้อสัปดาห์ละ 1 ครั้ง รวม 6 สัปดาห์ หรือ 6 ซ้ำ ขั้นตอนการรีดเก็บน้ำเชื้อทำแบบใกล้เคียงธรรมชาติ ใช้ช่องคลอดเทียม (Artificial Vagina; AV) ในการเก็บน้ำเชื้อทำการเก็บน้ำเชื้อแพะสัปดาห์ละ 1 ครั้ง ติดต่อกัน 6 สัปดาห์ น้ำเชื้อสดที่รีดได้ต้องมีคุณภาพดี มีการเคลื่อนไหววรัญหุมน้อยกว่า 80 เปอร์เซ็นต์ และการเคลื่อนที่ไปข้างหน้าไม่น้อยกว่า 70 เปอร์เซ็นต์ขึ้นไป (Nunes and Salgueiro, 2011)

การเตรียมตัวล่อ ใช้แพะตัวเมียที่เป็นสัด เพื่อช่วยกระตุ้นความกำหนดของแพะพ่อพันธุ์ และการเตรียมคอกรีดหรือบริเวณรีดน้ำเชื้อจะต้องโล่ง พื้นเรียบไม่ลื่น เหยียบสงบไม่มีสิ่งรบกวน

การเตรียมแพะพ่อพันธุ์ โดยทำความสะอาดและตัดขนบริเวณรอบๆ หนึ่งหุ้มลิงค์ให้สั้น

การเตรียมช่องคลอดเทียม (Artificial Vagina; AV) ก่อนและหลังการใช้งานจะต้องล้างทำความสะอาดช่องคลอดเทียมและอุปกรณ์ประกอบต่างๆ เช่น กรวยยาง หลอดรับน้ำเชื้อ ให้ปราศจากเชื้อ เก็บไว้ในตู้แห้งและสะอาด เตรียมช่องคลอดเทียมให้เพียงพอกับจำนวนแพะพ่อพันธุ์ที่จะรีดในแต่ละครั้ง เมื่อจะรีดน้ำเชื้อให้ประกอบช่องคลอดเทียม สวมด้วยกรวยยาง และหลอดเก็บน้ำเชื้อคลุมด้วยถุงหรือหนังหุ้มเพื่อป้องกันการกระแทกและกันแสง เติมน้ำอุ่นอุณหภูมิ 38 องศาเซลเซียส ในช่องคลอดเทียม ให้เติมปิตุจกให้แน่นและอัดอากาศเข้าไปให้ยางในช่องคลอดเทียมตึงพอประมาณและหล่อลื่นช่องคลอดเทียมโดยใช้สารหล่อลื่น (K-Y Jelly®)

เมื่อพ่อพันธุ์ขึ้นทับตัวล่อ ใช้มือจับบริเวณปลายถุงหุ้มลิงค์ เบี่ยงลิงค์ออกมาสวมเข้ากับช่องคลอดเทียม ที่เตรียมไว้จนกระทั่งพ่อพันธุ์กระแทกช่องคลอดเทียม และกลับลงมายืนในท่าปกติ ส้ารวจดูน้ำเชื้อที่รีดเก็บได้ ถอดหลอดรองรับน้ำเชื้อหุ้มด้วยภาชนะทึบแสง นำส่งห้องปฏิบัติการเพื่อตรวจวิเคราะห์คุณภาพน้ำเชื้อสด ได้แก่ สี ปริมาตร ความหนาแน่น รวมถึงความเข้มข้นของน้ำเชื้อ เพื่อประเมินคุณภาพตามมาตรฐานน้ำเชื้อสดที่ใช้ผลิตน้ำเชื้อแช่แข็ง (Department of Livestock Development, 2013) ก่อนจะนำน้ำเชื้อที่รีดได้ไปผลิตน้ำเชื้อแช่แข็ง จำเป็นต้องตรวจประเมินคุณภาพก่อน ในระหว่างการตรวจให้บ่มน้ำเชื้อในน้ำอุ่นที่อุณหภูมิ 33 องศาเซลเซียส จากนั้นนำน้ำเชื้อสดที่รีดได้แต่ละตัว แบ่งออกเป็น 3 ส่วนเท่า ๆ กันไปเจือจางด้วยสารละลายสูตรต่างๆ โดยมีส่วนประกอบของทั้ง 3 สูตร ดัง Table 1

การเจือจางน้ำเชื้อ นำน้ำเชื้อสดที่รีดได้ในแต่ละตัว แบ่งออกเป็น 3 ส่วนเท่า ๆ กัน

ส่วนที่ 1 (T1) เจือจางด้วยสารเจือจางน้ำเชื้อแช่แข็งสูตรพื้นฐาน Tris + egg Yolk

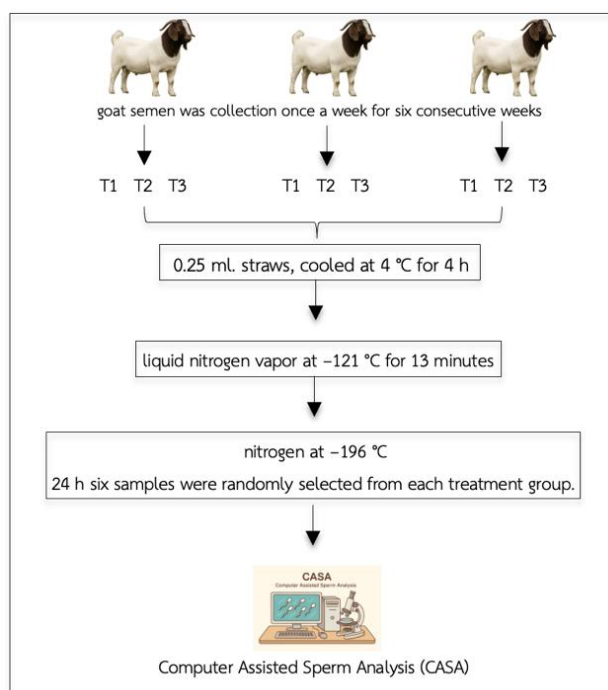
ส่วนที่ 2 (T2) เจือจางด้วยสารเจือจางน้ำเชื้อแช่แข็งสูตร Tris + cow milk

ส่วนที่ 3 (T3) เจือจางด้วยสารเจือจางน้ำเชื้อแช่แข็งสูตร Tris + goat milk

Table 1 The semen extender formula consists of the following components.

item	Amount / Concentration					
	Treatment 1 (T1)		Treatment 2 (T2)		Treatment 3 (T3)	
Tris (hydroxymethyl aminomethane)	3.63	g.	3.63	g.	3.63	g.
Citric acid	1.99	g.	1.99	g.	1.99	g.
Fructose	0.5	g.	0.5	g.	0.5	g.
Glycerol	7 %	(v/v)	7 %	(v/v)	7 %	(v/v)
Egg yolk	20 %	(v/v)	-		-	
cow milk	-		20 %	(v/v)	-	
goat milk	-		-		20 %	(v/v)
Antibiotics (Penicillin + Streptomycin)	1,000 IU/ml.		1,000 IU/ml.		1,000 IU/ml.	
Sterile distilled water	Up to 100 ml.		Up to 100 ml.		Up to 100 ml.	

นำน้ำเชื้อที่เจือจางด้วยสารละลายเจือจางน้ำเชื้อทั้ง 3 สูตร ซึ่งสารละลายเจือจางน้ำเชื้อที่ใช้ มีส่วนผสมคือ Tris (hydroxymethyl aminomethane) และส่วนผสมด้วยน้ำนมโคและน้ำนมแพะที่ใช้ในรูปแบบนมสด บรรจุใส่หลอดน้ำเชื้อขนาด 0.25 มิลลิลิตร โดยกำหนดความเข้มข้นสุดท้ายที่ $20 - 30 \times 10^6$ /มิลลิลิตร นำไปแช่เย็นที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส ระยะเวลา 4 ชั่วโมง จากนั้นนำมาวางบนแท่นเรียงหลอดน้ำเชื้อ ซึ่งบรรจุอยู่ในกล่องอะลูมิเนียม โดยมีแท่นโลหะที่ทนต่ออุณหภูมิติดลบให้สูงกว่าพื้นกล่องและสามารถเติมไนโตรเจนเหลวให้มีความสูงประมาณ 5 - 10 เซนติเมตร ปิดฝากล่อง 1 - 2 นาที เพื่อให้อุณหภูมิภายในกล่องสม่ำเสมอ โดยสังเกตจากไอน์โตรเจนจะไม่ฟุ้งกระจาย จากนั้นนำหลอดน้ำเชื้อเรียงไว้อย่างสม่ำเสมอ วางลงบนแท่นให้ระดับของหลอดบรรจุน้ำเชื้อสูงจากระดับไนโตรเจนเหลวประมาณ 3 - 4 เซนติเมตร หรือที่อุณหภูมิ -121 องศาเซลเซียส ระยะเวลา 13 นาที จากนั้นรวบหลอดน้ำเชื้อแช่แข็งบนแท่นเรียงหลอดน้ำเชื้อ นำน้ำเชื้อที่บรรจุในหลอดไปแช่ในกระบอกไนโตรเจนเหลวที่มีอุณหภูมิ -196 องศาเซลเซียสอย่างรวดเร็ว หลังจากแช่แข็งเป็นระยะเวลา 24 ชั่วโมง จึงนำมาตรวจประเมินคุณภาพน้ำเชื้อ โดยใช้เครื่องวิเคราะห์คุณภาพน้ำเชื้อด้วยระบบคอมพิวเตอร์ (CASA) ดังแสดงใน Figure 1

**Figure 1** Experimental procedure for evaluating the effect of goat milk supplementation in semen extender on post-thaw goat sperm motility

การตรวจประเมินคุณภาพน้ำเชื้อภายหลังการแช่แข็ง 24 ชั่วโมง

การทดลองใช้แผนการทดลองแบบ (RCBD) โดยกำหนดให้ แพะพ่อพันธุ์แต่ละตัวเป็นบล็อก รวมจำนวน 3 บล็อก และมี 3 กลุ่มทดลอง คือ Tris + egg yolk, Tris + cow milk และ Tris + goat milk โดยเก็บน้ำเชื้อสัปดาห์ละ 1 ครั้ง รวม 6 สัปดาห์ เมื่อแช่แข็งน้ำเชื้อแพะครบ 24 ชั่วโมง ภายในแต่ละบล็อกทำการสุมน้ำเชื้อแช่แข็งจากแพะแต่ละตัวของแต่ละกลุ่มทดลอง ๆ ละ 6 ตัวอย่าง/สัปดาห์ รวมทั้งหมด 6 ครั้ง นำมาประเมินคุณภาพภายหลังละลาย เพื่อวิเคราะห์การเคลื่อนที่ของตัวอสุจิ ตามวิธีการวิเคราะห์คุณภาพน้ำเชื้อของ Solis et al. (2024) และ Galián et al. (2023) โดยทำการอุ่นละลายน้ำเชื้อ (thawing) ในน้ำอุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 วินาที และทำการตรวจประเมินคุณภาพน้ำเชื้อ ตรวจสอบการเคลื่อนที่ของตัวอสุจิ ด้วยเครื่องวิเคราะห์คุณภาพน้ำเชื้อคอมพิวเตอร์ (Computer assisted sperm analysis; CASA) โดยโปรแกรม HT CASA II Goat version 1.12 เพื่อหาตัวชี้วัดดังนี้

1. อัตราการเคลื่อนที่ทั้งหมดของตัวอสุจิ (total motility)
2. อัตราการเคลื่อนที่ของตัวอสุจิแบบตรงไปข้างหน้า (progressive motility)
3. ความเร็วเฉลี่ยในการเดินทางของตัวอสุจิแบบราบเรียบ (path velocity; VAP)
4. ความเร็วเฉลี่ยในการเดินทางของตัวอสุจิที่วัดได้จากเส้นทางตรงจากจุดเริ่มต้นไปถึงจุดสิ้นสุด (straight-line velocity; VSL)
5. ความเร็วเฉลี่ยที่วัดได้จากการเคลื่อนที่แบบตรงไปข้างหน้าของตัวอสุจิ (curvilinear velocity; VCL)
6. ค่าเฉลี่ยอัตราความเร็วของตัวอสุจิที่วัดได้จากความเร็วเฉลี่ยเป็นเส้นตรงหารด้วยความเร็วเฉลี่ยที่วัดได้จากการเดินทางของตัวอสุจิแบบราบเรียบ (straightness; STR)
7. ความเร็วเฉลี่ยที่วัดได้จากการเคลื่อนที่แบบตรงไปข้างหน้าของตัวอสุจิหารด้วยความเร็วเฉลี่ยที่วัดได้จากการเดินทางของตัวอสุจิแบบราบเรียบ (linearity; LIN)
8. ความกว้างเฉลี่ยของส่วนหัวอสุจิที่แกว่งขณะมีการเคลื่อนที่ (lateral head displacement; ALH)
9. ความถี่เฉลี่ยในการขยับหัวของอสุจิระหว่างเส้นทางในทิศทางใดทางหนึ่ง (beat cross frequency; BCF)

การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ

การทดลองนี้ใช้แผนการทดลองแบบ สุ่มบล็อกสมบูรณ์ (Randomized Complete Block Design; RCBD) โดยกำหนดให้ แพะพ่อพันธุ์แต่ละตัวเป็นบล็อก (block) เนื่องจากแพะแต่ละตัวมีคุณภาพน้ำเชื้อแตกต่างกันโดยธรรมชาติ ซึ่งอาจส่งผลต่อค่าตัวชี้วัดต่าง ๆ ในการประเมินหลังการแช่แข็ง เพื่อควบคุมความแปรปรวนที่เกิดจากความแตกต่างระหว่างตัวสัตว์ภายในบล็อก จึงสุมน้ำเชื้อแช่แข็งแต่ละกลุ่ม ๆ ละ 6 ตัวอย่าง/ครั้ง ทั้งหมด 6 ครั้ง ข้อมูลทั้งหมดของตัวชี้วัดต่าง ๆ ทำการวิเคราะห์ความแปรปรวน (Analysis of variance; ANOVA) และเปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างค่าเฉลี่ยในแต่ละกลุ่มการทดลอง โดยใช้โปรแกรมวิเคราะห์ผลสำเร็จรูป (Statistics Package for the Science: SPSS 16.0 For Windows) ลิขสิทธิ์ สำนักหอสมุดมหาวิทยาลัยแม่โจ้

ผลการศึกษาและวิจารณ์

ผลการประเมินคุณภาพน้ำเชื้อสดเบื้องต้นของแพะที่ใช้ในการศึกษานี้ พบว่ามีปริมาณน้ำเชื้อเฉลี่ย 1.12 ± 0.95 มล./ครั้ง น้ำเชื้อสีครีม ความหนาแน่น (D-4D) เท่ากับ 4D (ชั้น) มีความหนืด (C-5C) เท่ากับ 4C (คล้ายนม) มีค่าความเป็นกรด-ด่าง เฉลี่ยเท่ากับ 6.73 ± 0.14 ค่าความเข้มข้น $18,144 \pm 1,593.10 \times 10^6$ /มล. มีการเคลื่อนไหวหมู่ ++++ หรือ 95.5 ± 0.18 % ซึ่งน้ำเชื้อสดที่รีดเก็บได้นั้นมีลักษณะที่ดี อยู่ในเกณฑ์ที่สามารถนำมาผลิตน้ำเชื้อแช่แข็งได้ มีคุณสมบัติอยู่ในเกณฑ์ปกติ ปริมาณของน้ำเชื้อ 1-2 มิลลิลิตร/ครั้ง (Department of Livestock Development, 2013) มีการเคลื่อนไหวหมู่ไม่น้อยกว่า ++++ หรือ 80 เปอร์เซนต์ และอัตราการเคลื่อนที่ไปข้างหน้ามากกว่า 80 เปอร์เซนต์ขึ้นไป เมื่อนำไปทำน้ำเชื้อแช่แข็งโดยใช้วิธีการของ Nunes and Salgueiro (2011) และทำการวัดค่าออสโมติกของสารเจือจางน้ำเชื้อทั้ง 3 สูตร พบว่ามีค่า Osmolarity ของ Tris-egg Yolk ที่ 1671 (mOsmol/kg), Tris + cow milk มีค่า 1754 (mOsmol/kg) และ Tris + goat milk มีค่า 1783 (mOsmol/kg) ดังแสดงใน Table 2

ผลของการใช้สารละลายเจือจางน้ำเชื้อทั้ง 3 สูตร Tris + egg Yolk, Tris + cow milk และ Tris + goat milk ที่มีต่ออัตราการเคลื่อนที่ทั้งหมดของตัวอสุจิ และคุณภาพของน้ำเชื้อหลังจากการอุ่นละลายน้ำเชื้อได้แสดงไว้ใน Table 3 จากค่าการเคลื่อนที่ของอสุจิทั้ง 3 กลุ่มการทดลอง พบว่า สารเจือจางสูตร Tris + goat milk ให้ค่าการเคลื่อนที่รวมของอสุจิ (Total motility)

สูงที่สุด (77.52 ± 3.02 %) เมื่อเทียบกับสูตร Tris + egg yolk และ Tris + cow milk โดยแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ นอกจากนี้ ค่าการเคลื่อนที่ไปข้างหน้า (Progressive motility) ของสูตร Tris + goat milk สูงกว่าสูตรอื่นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) ซึ่งสารเจือจางสูตรนี้สามารถคงสภาพการเคลื่อนไหวของตัวอสุจิหลังการแช่แข็งได้ดีกว่าสูตรอื่น ๆ อาจเป็นเพราะส่วนประกอบของนมแพะมีศักยภาพในการคงสภาพการเคลื่อนไหวของอสุจิแพะหลังการแช่แข็งได้ดีกว่า ทั้งนี้สอดคล้องกับการศึกษาของ Dorado et al. (2007) ที่พบว่าการใช้สารละลายเจือจางน้ำเชื้อสูตร Tris-glucose และ skim milk สำหรับการแช่แข็งน้ำเชื้อแพะ ตัวอสุจิมีการเคลื่อนที่หลังละลายน้ำแข็งในระดับสูง ซึ่งกลุ่มสารเจือจางที่มีน้ำนมเป็นองค์ประกอบมีการเคลื่อนที่ของอสุจิได้อย่างมีประสิทธิภาพเมื่อมีการปรับสมดุลองค์ประกอบอื่น ๆ ในสูตรอย่างเหมาะสม

Table 2 The result of macroscopic and microscopic quality of fresh semen

Parameter	Fresh semen quality (Mean $\pm$ SD)
Macroscopic	
Volume (ml)	1.12 $\pm$ 0.95
Color	Cream
Density (D-4D)	Creamy-grainy
Consistency (C-5C)	Milky
pH	6.73 $\pm$ 0.14
Microscopic	
Concentration (10^6 /ml)	18,144 $\pm$ 1,593.10
Mass movement (%)	95.5 $\pm$ 0.18
Motility (%)	86.27 $\pm$ 0.34
Osmolarity (mOsmol/kg)	
Tris-egg Yolk	1671
Tris + cow milk	1754
Tris + goat milk	1783

Table 3 Effects of frozen goat semen diluent Tris + cow milk Tris + goat milk extender and Tris + egg yolk extender formula on sperm motility quality after freezing.

Variable	Treatment			P value
	Tris + egg Yolk	Tris + cow milk	Tris + goat milk	
Total motility (%)	63.25 $\pm$ 3.27 ^c	66.32 $\pm$ 3.21 ^b	77.52 $\pm$ 3.02 ^a	0.004
Progressive motility (%)	55.75 $\pm$ 3.18 ^c	57.12 $\pm$ 3.31 ^b	60.63 $\pm$ 3.15 ^a	0.009
VAP (μ m/sec)	73.21 $\pm$ 2.01	73.33 $\pm$ 2.05	73.86 $\pm$ 2.03	0.054
VSL (μ m/sec)	55.74 $\pm$ 4.34	55.35 $\pm$ 4.02	55.91 $\pm$ 4.26	0.201
VCL (μ m/sec)	120.04 $\pm$ 7.42	120.10 $\pm$ 7.15	120.08 $\pm$ 7.38	0.311
STR (%)	71.50 $\pm$ 6.20	72.82 $\pm$ 6.14	72.36 $\pm$ 6.09	0.099
LIN (%)	47.19 $\pm$ 3.01	46.48 $\pm$ 3.03	46.48 $\pm$ 3.12	0.121
ALH (μ m)	7.92 $\pm$ 0.11 ^a	7.47 $\pm$ 0.24 ^b	7.45 $\pm$ 0.22 ^b	0.037
BCF (Hz)	25.32 $\pm$ 1.36	25.81 $\pm$ 1.06	25.74 $\pm$ 1.12	0.202

a, b, c Means in the same row with different letters are statistically significantly different ($p < 0.05$)

เนื่องจากแพะแต่ละตัวมีคุณลักษณะด้านคุณภาพน้ำเชื้อแตกต่างกันตามธรรมชาติ เช่น ปริมาณน้ำเชื้อ ความเข้มข้น การเคลื่อนที่ และค่าการแกว่งส่วนหัว (lateral head displacement; ALH) จึงกำหนดให้แพะแต่ละตัวเป็นบล็อกในแผนการทดลอง RCBD เพื่อควบคุมความแปรปรวนที่เกิดจากความแตกต่างเฉพาะตัวของสัตว์ จากผลการวิเคราะห์ ANOVA พบว่าบล็อกมีผลต่อค่าพารามิเตอร์ ALH อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) ซึ่งแพะพ่อพันธุ์แต่ละตัวให้รูปแบบการเคลื่อนที่บางส่วนแตกต่างกัน แต่ผลของบล็อกได้ถูกควบคุมภายในแผนการทดลองของ RCBD ทำให้สูตรสารละลายเจือจางน้ำเชื้อแต่ละกลุ่มมีผลทดลองอย่างถูกต้อง โดยไม่ถูกรบกวนจากความแตกต่างระหว่างสัตว์ โดยเปอร์เซ็นต์การเคลื่อนที่ไปข้างหน้า ค่า VAP, VSL, VCL, STR, LIN และ BCF ไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($p > 0.05$) แสดงว่าทั้ง 3 สูตร มีลักษณะการเคลื่อนที่ของอสุจิที่ใกล้เคียงกัน อย่างไรก็ตาม ค่าความกว้างเฉลี่ยของส่วนหัวอสุจิที่แกว่งขณะมีการเคลื่อนที่ (lateral head displacement; ALH) พบว่าสูตร Tris + egg yolk มีค่าเฉลี่ยสูงกว่าสูตรที่ผสมนมโคและนมแพะอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) ซึ่งอาจสัมพันธ์กับลักษณะการว่ายน้ำแบบ “แกว่ง” ของอสุจิในสารเจือจางที่มีไข่แดงมากกว่า โดยอสุจิในสูตรดังกล่าวมีการเคลื่อนไหวในลักษณะกว้างแต่ไม่เป็นทิศทาง จึงทำให้ค่าการเคลื่อนที่รวมต่ำกว่าสูตรที่มีนมเป็นองค์ประกอบหลัก

นอกจากนี้ (Alm-Kristiansen, 2023) ได้พบว่าอสุจิโคมีค่า ALH เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญหลังการแช่แข็ง ซึ่งกระบวนการแช่แข็งสามารถทำให้การเคลื่อนไหวของอสุจิ “สูญเสียทิศทาง” และมีการแกว่งของส่วนหัวมากขึ้น เช่นเดียวกับผลที่พบในสูตรไข่แดงของการทดลองนี้ ซึ่งสอดคล้องกับผลของค่า ALH ของสูตรที่มีไข่แดงสูงกว่าสูตรที่มีนมเป็นองค์ประกอบ อาจมาจากความไวของอสุจิต่อองค์ประกอบฟอสโฟลิพิดและไลโปโปรตีนในไข่แดงที่มีผลต่อเยื่อหุ้มขณะผ่านกระบวนการแช่แข็ง

Zhang et al. (2024) มีการศึกษาเกี่ยวกับความเข้มข้นของไข่แดงในสารเจือจางมีผลต่อค่าพารามิเตอร์ ALH โดยพบว่าสัดส่วนไข่แดงบางระดับทำให้ ALH เพิ่มขึ้น แม้ไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญในทุกกรณี แต่ผลการทดลองดังกล่าวชี้ว่าการเพิ่มของ ALH สามารถเกิดได้จากการปฏิสัมพันธ์ระหว่างไข่แดงและเยื่อหุ้มอสุจิ ซึ่งสอดคล้องกับผลการทดลองของสูตร Tris + egg yolk ทำให้อสุจิมี ALH สูง โดยมีการเคลื่อนที่ “แกว่งกว้าง ไม่เป็นทิศทาง” มากกว่า ส่งผลให้ประสิทธิภาพการเคลื่อนที่โดยรวมลดลง เมื่อเทียบกับสูตรที่มีนมโคและนมแพะเป็นองค์ประกอบหลักที่ช่วยรักษาโครงสร้างเยื่อหุ้มให้เสถียรมากกว่า

ผลการศึกษาสอดคล้องกับ (Manjunath, 2012) การใช้นมเป็นองค์ประกอบในสารเจือจางน้ำเชื้อ ได้รับการศึกษาอย่างกว้างขวางในสัตว์เศรษฐกิจหลายชนิด เช่น โค แกะ และแพะ โดยโปรตีนเคซีนในนมสามารถจับกับโปรตีนในพลาสมาน้ำเชื้อ (BSP proteins) ช่วยลดการสูญเสียไขมันจากเยื่อหุ้มอสุจิ และป้องกันความเสียหายที่เกิดจากการลดอุณหภูมิและการแช่แข็ง (Bergeron et al., 2004) ขณะเดียวกันโปรตีนเคซีนและไลโปโปรตีนชนิดความหนาแน่นต่ำ (Low-Density Lipoprotein; LDL) ยังมีบทบาทสำคัญในการคงสภาพเยื่อหุ้มอสุจิและเพิ่มคุณภาพอสุจิหลังการละลายน้ำแข็ง รวมทั้งมีสารต้านอนุมูลอิสระและสารต้านจุลชีพ (Farah, 1993) ที่อาจช่วยลดความเสียหายจากปฏิกิริยาออกซิเดชันระหว่างการเก็บรักษา การใช้นมแพะในงานวิจัยนี้อาจให้ผลดีกว่านมโคเนื่องจากไขมันในนมแพะมีเม็ดเล็กง่ายขึ้น มีวิตามินและกรดไขมันสายสั้นที่ดูดซึมได้รวดเร็ว จึงอาจมีประสิทธิภาพสูงในการคงสภาพของอสุจิระหว่างกระบวนการแช่แข็งและละลายน้ำแข็ง

จากการศึกษาในครั้งนี้พบว่าสูตร Tris + goat milk ให้อัตราการเคลื่อนที่ทั้งหมดของตัวอสุจิและการเคลื่อนที่ไปข้างหน้าของตัวอสุจิสูงกว่า Tris + cow milk อาจเกิดจากความแตกต่างในองค์ประกอบทางชีวเคมีของนมแพะและนมโค ทั้งในส่วนโครงสร้างเคซีน และปริมาณไขมันชนิดที่เป็นประโยชน์ต่อเยื่อหุ้มตัวอสุจิ ซึ่งควรมีการศึกษาถึงกลไกเชิงโมเลกุลเพื่อยืนยันสมมติฐานนี้ สอดคล้องกับการศึกษาของ Raji et al. (2022) การเปรียบเทียบ whole milk และ skim milk ของโค ในน้ำเชื้อแพะสายพันธุ์ West African Dwarf พบว่า skim milk มีผลต่อคุณภาพน้ำเชื้อ และไม่เหมาะสมในการใช้เป็นสารเจือจางสำหรับแพะ ในขณะที่ whole milk ให้ผลดีกว่าในด้านการเคลื่อนที่ และควรมีชีวิตของอสุจิ

นอกจากนี้ องค์ประกอบของฟอสโฟลิพิดในน้ำนมแพะ ยังมีความใกล้เคียงกับเยื่อหุ้มเซลล์สเปิร์มของแพะ ซึ่งช่วยให้สามารถคงความยืดหยุ่นของเยื่อหุ้มเซลล์และป้องกันการรั่วซึมของสารภายในเซลล์ได้ดีกว่า (Manjunath, 2012) การคงสมบัติเยื่อหุ้มนี้เป็นกลไกสำคัญที่ช่วยให้ตัวอสุจิทนต่อการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิและแรงดันออสโมติกระหว่างการแช่แข็งและละลายน้ำแข็ง ซึ่งสัมพันธ์กับอัตราการเคลื่อนที่ของอสุจิที่สูงขึ้นในสูตร Tris + goat milk

อย่างไรก็ตาม ในนมแพะมีส่วนประกอบเชิงชีวเคมีที่เหมาะสมกว่าในการปกป้องเซลล์สเปิร์มจากความเสียหายระหว่างกระบวนการแช่แข็ง โดยเฉพาะโปรตีนเคซีนและฟอสโฟลิพิดที่ช่วยคงความสมบูรณ์ของเยื่อหุ้มเซลล์ ส่งผลให้การเคลื่อนที่ของอสุจิหลังแช่แข็งมีประสิทธิภาพสูงกว่าเมื่อเทียบกับนมโคและไข่แดง

สรุปผลการศึกษา

สารเจือจางสูตร Tris + goat milk ส่งผลให้ตัวสุจิมีเปอร์เซ็นต์การเคลื่อนที่สูงกว่าสูตร Tris-egg Yolk และ Tris + cow milk อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ และเปอร์เซ็นต์การเคลื่อนที่ไปข้างหน้า ค่า VAP, VSL, VCL, STR, LIN และ BCF ได้ผลไม่แตกต่างกัน ส่วนค่า ALH พบว่าสูตร Tris-egg yolk มีค่าเฉลี่ยสูงกว่าสูตรที่ผสมนมโคและนมแพะ ซึ่งสูตร Tris + goat milk ให้คุณภาพน้ำเชื้อแพะหลังแช่แข็งดีที่สุด จึงเป็นอีกหนึ่งทางเลือกสำหรับพัฒนาสารเจือจางน้ำเชื้อแพะ เพื่อยกระดับประสิทธิภาพการผสมเทียมในอนาคต

ผลประโยชน์ทับซ้อน

ผู้เขียนขอรับรองว่าบทความนี้ไม่มีผลประโยชน์ทับซ้อน

กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้วิจัยขอขอบคุณงบประมาณด้าน กองทุนส่งเสริมวิทยาศาสตร์ วิจัยและนวัตกรรม (กองทุน ววน.) ประเภท Fundamental Fund ประจำปีงบประมาณ 2568 กองทุนส่งเสริมวิทยาศาสตร์ วิจัยและนวัตกรรม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา ลำปาง ขอบคุนสาขาสัตวศาสตร์และประมง คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการเกษตร มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา ลำปาง คณะสัตวศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยแม่โจ้ เชียงใหม่ และอาชนย์ฟาร์มแพะ จังหวัดเชียงราย ที่ให้ความร่วมมือและสนับสนุนสัตว์ทดลองในโครงการนี้เป็นอย่างดี

การมีส่วนร่วมในการเขียนบทความของผู้เขียน

ความคิดริเริ่ม สมมติฐาน: นิตยา ทองทิพย์, วิวัฒน์ พัฒนาวงค์, วาที คงบรรทัด. การปฏิบัติการวิจัย: นิตยา ทองทิพย์, ปิยมาษฐ์ ตันต์เจริญรัตน์, ผกาสิณี ขาวแดง, วิวัฒน์ พัฒนาวงค์, เยาวลักษณ์ หวังสุข, พัชรี พรหมตัน, วาที คงบรรทัด. การมีส่วนร่วมในการออกแบบการทดลอง: นิตยา ทองทิพย์, วิวัฒน์ พัฒนาวงค์, วาที คงบรรทัด. การเก็บข้อมูล: นิตยา ทองทิพย์, ปิยมาษฐ์ ตันต์เจริญรัตน์, ผกาสิณี ขาวแดง, วิวัฒน์ พัฒนาวงค์, เยาวลักษณ์ หวังสุข, พัชรี พรหมตัน. การวิเคราะห์ข้อมูล: นิตยา ทองทิพย์, ปิยมาษฐ์ ตันต์เจริญรัตน์, วาที คงบรรทัด. การแปลผลและวิจารณ์ผล การเปรียบเทียบงานวิจัยก่อนหน้าและจากการทดลองในครั้งนี้: นิตยา ทองทิพย์, ปิยมาษฐ์ ตันต์เจริญรัตน์, วิวัฒน์ พัฒนาวงค์, วาที คงบรรทัด. การมีส่วนร่วมในการเขียนบทความ: นิตยา ทองทิพย์, ปิยมาษฐ์ ตันต์เจริญรัตน์, ผกาสิณี ขาวแดง.

เอกสารอ้างอิง

- Aad, R., Dragojlov, I., & Vesentini, S. (2024). Sericin protein: structure, properties, and applications. *Journal of Functional Biomaterials*, 15(11), 322. <https://doi.org/10.3390/jfb15110322>.
- Alm-Kristiansen, A. H. (2023). Motility subpopulations with distinct motility characteristics using swim-up-selected sperm cells from Norwegian red bulls: Effects of freezing–thawing and between-bull variation. *Biology*, 12(8), 1086. <https://doi.org/10.3390/biology12081086>.
- Bergeron, A., Crete, M. H., Brindle, Y., & Manjunath, P. (2004). Low-density lipoprotein fraction from hen's egg yolk decreases the binding of the major proteins of bovine seminal plasma to sperm and prevents lipid efflux from the sperm membrane. *Biology of Reproduction*, 70(3), 708–717. <https://doi.org/10.1095/biolreprod.103.022996>.
- Department of Livestock Development. (2013). *Production of Frozen Goat Semen 2013*. Department of Livestock Development. Retrieved from: https://biotech.dld.go.th/files/manual/14_semengoat.pdf. (in Thai).
- Department of Livestock Development. (2023). *Statistics of Livestock in Thailand 2023*. Department of Livestock Development. Retrieved from: <https://certify2.dld.go.th/livestock-in-thailand-2023>. (in Thai).
- Dorado, J., Rodríguez, I., & Hidalgo, M. (2007). Cryopreservation of goat spermatozoa: Comparison of two freezing extenders based on post-thaw sperm quality and fertility rates after artificial insemination. *Theriogenology*, 68(2), 168–177. <https://doi.org/10.1016/j.theriogenology.2007.04.048>.
- Farah, Z. (1993). Composition and characteristics of camel milk. *Journal of Dairy Research*, 60(4), 603–626. <https://doi.org/10.1017/S0022029900027953>.
- Galián, S., Peinado, B., Almela, L., Poto, A., & Ruiz, S. (2023). Post-thaw quality of spermatozoa frozen with three different extenders in the Murciano Granadina goat breed. *Animals*, 13(2), 309. <https://doi.org/10.3390/ani13020309>.

- Manjunath, P. (2012). New insights into the understanding of the mechanism of sperm protection by extender components. **Animal Reproduction**, 9(4), 809–815. <https://www.animal-reproduction.org/article/5b5a6053f7783717068b46cc/pdf/animreprod-9-4-809.pdf>.
- Nakafeero, A., Gonzalez-Bulnes, A., & Martinez-Ros, P. (2024). Use of short-term CIDR-based protocols for oestrus synchronisation in goats at tropical and subtropical latitudes. **Animals**, 14(11), 1560. <https://doi.org/10.3390/ani14111560>.
- Nunes, J. F., & Salgueiro, C. C. M. (2011). Strategies to improve reproductive efficiency of goats in Brazil. **Small Ruminant Research**, 98(1-3), 176-184. <https://doi.org/10.1016/j.smallrumres.2011.03.036>.
- Raji, L. O., Raheem, K. A., Jimoh, A. A., Ashaolu, T. O., Murtala, R. O., Aladodo, R. A., Yusuf, I., & Sanusi, F. (2022). Evaluation of whole and skimmed cow milk extenders on West African Dwarf goat semen. **Journal of Sustainable Veterinary & Allied Sciences**, 3(2), 90-95. <http://doi.org/10.54328/covm.josvas.2022.087>.
- Sias, B., Ferrato, F., Pellicer-Rubio, M. T., Forgerit, Y., Guillouet, P., Leboeuf, B., & Carrière, F. (2005). Cloning and seasonal secretion of the pancreatic lipase-related protein 2 present in goat seminal plasma. **Biochimica et Biophysica Acta (BBA) – Molecular and Cell Biology of Lipids**, 1686(3), 169–180. <https://doi.org/10.1016/j.bbalip.2004.09.008>.
- Solís, J. M., Sevilla, F., Silvestre, M. A., Araya-Zúñiga, I., Roldan, E. R., Saborío-Montero, A., & Valverde, A. (2024). Effect of thawing procedure and thermo-resistance test on sperm motility and kinematics patterns in two bovine breeds. **Animals**, 14(19), 2768. <https://doi.org/10.3390/ani14192768>.
- Watson, P. F. (2000). The causes of reduced fertility with cryopreserved semen. **Animal Reproduction Science**, 60–61(1), 481–492. [https://doi.org/10.1016/S0378-4320\(00\)00099-3](https://doi.org/10.1016/S0378-4320(00)00099-3).
- Zhang, L., Jiang, C., Wang, X., Sohail, T., Sun, Y., Sun, X., Wang, J., & Li, Y. (2024). Freezing Hu ram semen: Influence of different penetrating cryoprotectants and egg yolk level on the post-thaw quality of sperm. **Animal Bioscience**, 37(9), 1548-1557. <https://doi.org/10.5713/ab.24.0167>.

การพัฒนาผลิตภัณฑ์และการประเมินคุณภาพหอยแมลงภู่อบชีสเพื่อเพิ่มมูลค่า:

ผลกระทบของสูตรและการเก็บรักษา

Product Development and Quality Assessment of Value-added Baked Mussels with Cheese: Effect of Formulation and Storage

รติวรรณ มีทอง^{1*}, จรรตกร รอดอยู่¹, ธเนศ อินตัน¹, ภูบดีรินทร์ ทองพร้อม¹,ภาสกร กิ่งวัชรพงศ์² และทงนง เอี้ยวศิริ³Ratiwan Meethong^{1*}, Juntakorn Rodyoo¹, Thanate Intan¹, Phubadin Thongprom¹,Passakorn Kingwascharapong² and Tanong Aewsiri³

Received date: 1 ส.ค. 68 Revised date: 17 ธ.ค. 68 Accepted date: 19 ธ.ค. 68

DOI: <https://doi.org/10.55003/kmaj.2026.268090>

บทคัดย่อ

การศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาผลิตภัณฑ์หอยแมลงภู่อบชีสที่มีคุณภาพและเพิ่มมูลค่าตามมาตรฐาน Good Manufacturing Practice (GMP) เพื่อให้เกิดทางเลือกใหม่ที่หลากหลายสำหรับผู้บริโภค โดยพัฒนาสูตรหอยแมลงภู่อบชีส 4 สูตรที่มีส่วนผสมของเนยแตกต่างกัน ประกอบด้วย สูตร A (เนยจืดแท้) สูตร B (มาร์การีน) สูตร C (เนยผสม) และสูตร D (เนยเค็ม) ผลการศึกษาพบว่าผลิตภัณฑ์ที่ได้มีค่าปริมาณน้ำอิสระ (Water activity; a_w) อยู่ระหว่าง 0.93-0.96 และมีค่าพลังงานสูงเกินกว่า 200 กิโลแคลอรี การประเมินความชอบของผู้บริโภคแสดงให้เห็นว่าสูตร A มีคะแนนความพึงพอใจสูงที่สุดในทุกด้าน ทั้งในเรื่องรูปลักษณ์ สี รสชาติ และความชื้นชอบโดยรวม การศึกษาการจัดเก็บผลิตภัณฑ์ในภาชนะบรรจุและสภาพอุณหภูมิที่แตกต่างกันเป็นระยะเวลา 30 วัน พบว่าการใช้ถ้วยพลาสติกทรงกลมทึบแสงและเก็บไว้ที่อุณหภูมิ -20 องศาเซลเซียส ให้ผลการเก็บรักษาที่ดีที่สุดจากการวิเคราะห์คุณภาพของผลิตภัณฑ์แสดงค่า pH ไม่เกิน 7 ปริมาณ TVB-N สูงสุดที่ 15.23 mg/100 g และ TBA อยู่ที่ 0.45 mgMDA/kg ซึ่งตลอดช่วงระยะเวลาการเก็บรักษาไม่พบการเจริญเติบโตของเชื้อจุลินทรีย์ ผลิตภัณฑ์ที่ได้มีคุณค่าทางโภชนาการต่อ 100 กรัม ประกอบด้วย พลังงาน 246.01 กิโลแคลอรี ไขมันรวม 15.57 กรัม โปรตีน 17.28 กรัม คาร์โบไฮเดรต 4.94 กรัม และโซเดียม 526.35 มิลลิกรัม การศึกษานี้สรุปได้ว่าสามารถสร้างผลิตภัณฑ์หอยแมลงภู่อบชีสที่มีคุณภาพดี ปลอดภัยต่อการบริโภค และเพิ่มมูลค่าได้อย่างมีประสิทธิภาพ บรรจุในถ้วยพลาสติกทึบแสงเก็บที่อุณหภูมิ -20 องศาเซลเซียส ซึ่งเป็นแนวทางใหม่ที่นำเสนอสำหรับผู้บริโภคและภาคอุตสาหกรรมผลิตอาหาร

คำสำคัญ: หอยแมลงภู่อบชีส การพัฒนาผลิตภัณฑ์ การเพิ่มมูลค่า

Abstract

This study aimed to develop a high-quality baked cheese mussel product with added value according to Good Manufacturing Practice (GMP) standards to provide diverse new alternatives for consumers. Four formulations of baked cheese mussels with different butter compositions were evaluated: Formula A (pure unsalted butter), Formula B (margarine), Formula C (blended butter), and Formula D (salted butter). The results showed that the products had water activity (a_w) values ranging from 0.90-0.95 and energy content exceeding 200 kilocalories. Consumer preference evaluation revealed that Formula A received the highest satisfaction scores in all aspects, including appearance, color, taste, and overall preference. The 30-day product storage study in different packaging containers and temperature conditions found that using opaque round plastic cups and storing at -20°C provided the best preservation results. Quality analysis of product showed pH values not exceeding 7, maximum TVB-N content of 15.23 mg/100 g, and TBA at 0.45 mgMDA/kg. Throughout the storage period, no microbial growth was detected. The final product contained nutritional values per 100 grams: 246.01

¹ สถานีวิจัยเพื่อการพัฒนาชายฝั่งอันดามัน คณะประมง มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ระนอง 85120

² ภาควิชาผลิตภัณฑ์ประมง คณะประมง มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ กรุงเทพฯ 10900

³ สาขาวิทยาศาสตร์อาหารและนวัตกรรม สำนักวิชาเทคโนโลยีการเกษตรและอุตสาหกรรมอาหาร มหาวิทยาลัยวลัยลักษณ์ นครศรีธรรมราช 80160

¹ Andaman Coastal Research Station for Development, Faculty of Fisheries, Kasetsart University, Ranong 85120

² Department of Fishery Products, Faculty of Fisheries, Kasetsart University, Bangkok 10900

³ Food Science and Innovation, School of Agricultural Technology and Food Industry, Walailak University, Nakhon Si Thammarat 80160

*Corresponding author: Email: ratiwan.m@ku.th

kilocalories of energy, 15.57 grams of total fat, 17.28 grams of protein, 4.94 grams of carbohydrates, and 526.35 milligrams of sodium. This study concluded that it is possible to create a high-quality baked cheese mussel product that is safe for consumption and effectively adds value, presenting an interesting new approach for consumers and the food manufacturing industry.

Keywords: mussels, baked mussels with cheese, product development, value addition

คำนำ

หอยแมลงภู่อีกเป็นอาหารทะเลที่มีคุณค่าทางโภชนาการเป็นอย่างมาก เนื่องจากมีความอุดมสมบูรณ์ด้วยโปรตีน คุณภาพสูง วิตามินหลายชนิด และแร่ธาตุที่จำเป็นต่อการทำงานของร่างกาย เช่น วิตามินเอ วิตามินบี6 แคลเซียม และแมกนีเซียม ซึ่งมีบทบาทสำคัญต่อการดำรงชีวิต เป็นวัตถุดิบสำคัญในอุตสาหกรรมอาหารทะเลของประเทศไทย อย่างไรก็ตาม หอยแมลงภู่นั้นมีสภาพเสื่อมสภาพง่ายต่อการดองรักษาที่สั้น และรูปแบบการบริโภคที่ยังไม่สะดวกต่อผู้บริโภค ซึ่งปัจจัยเหล่านี้ทำให้หอยแมลงภู่มิมีความเสี่ยงสูงต่อการเสื่อมเสียจากการเน่าเปื่อย รวมถึงการปนเปื้อนจากเชื้อจุลินทรีย์ที่เป็นอันตราย ดังนั้นการสร้างนวัตกรรมและแปรรูปผลิตภัณฑ์จากหอยแมลงภู่อจึงเป็นความจำเป็นเร่งด่วนเพื่อสร้างมูลค่าเพิ่ม ลดการสูญเสียที่เกิดขึ้น และขยายโอกาสทางการตลาด (Ministry of Public Health, 2018) การพัฒนาผลิตภัณฑ์แปรรูปหอยแมลงภู่อบชีส เป็นหนึ่งในแนวทางที่สามารถเพิ่มมูลค่าให้กับหอยแมลงภู่อ โดยการผสมผสานความหอมหวานจากเนยและชีสเข้าด้วยกันกับคุณค่าทางโภชนาการของหอยแมลงภู่อ ซึ่งส่งผลให้เกิดผลิตภัณฑ์อาหารที่สะดวกต่อการบริโภค มีความพร้อมในการรับประทาน และตอบสนองต่อความต้องการของผู้บริโภคยุคใหม่ที่มีคุณภาพเป็นเลิศ รสชาติที่น่าพึงพอใจ และผ่านกระบวนการผลิตที่ได้มาตรฐานสากล เช่น Good Manufacturing Practice (GMP) ซึ่งเน้นหนักในการควบคุมความปลอดภัยและคุณภาพของอาหารอย่างเคร่งครัดในทุกขั้นตอน (Codex Alimentarius Commission, 2003) ส่วนผสมที่มีความสำคัญอย่างยิ่งต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์หอยแมลงภู่ออบชีสคือชนิดของเนยที่นำมาใช้ โดยเนยแต่ละชนิดมีคุณสมบัติทางเคมีกายภาพ และโภชนาการที่แตกต่างกัน ซึ่งส่งผลโดยตรงต่อรสชาติ เนื้อสัมผัส กลิ่นหอม และคุณค่าทางโภชนาการของผลิตภัณฑ์ เนยจืดแท้ที่ผลิตจากน้ำมันวัวให้รสชาติที่เข้มข้นและหอมมน แต่มีกรดไขมันอิ่มตัวสูงและราคาแพง ในขณะที่มาการีนที่ผลิตจากน้ำมันพืชมีต้นทุนต่ำกว่าและมีกรดไขมันไม่อิ่มตัวที่สูงกว่า แต่อาจส่งผลต่อรสชาติและเนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์ เนยผสมเป็นทางเลือกที่ผสมผสานข้อดีของทั้งสองชนิด ในขณะที่เนยเค็มมีโซเดียมเพิ่มเติมซึ่งส่งผลต่อรสชาติและอายุการเก็บรักษา นอกจากนี้ชนิดของเนยยังมีผลต่อพฤติกรรมกลิ่นคาวระหว่างการอบ การเกาะติดของชีส และความคงตัวของผลิตภัณฑ์ในสภาวะแช่แข็ง (Patel and Dewettinck, 2016) การศึกษาเปรียบเทียบชนิดของเนยจึงเป็นสิ่งจำเป็นเพื่อหาสูตรที่เหมาะสมที่สุดทั้งในด้านคุณภาพ ต้นทุน และความพึงพอใจของผู้บริโภค ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงมุ่งเน้นที่จะนำหอยแมลงภู่อ ซึ่งมีการผลิตสูงและคุณค่าทางโภชนาการสูง โดยทดลองพัฒนาสูตรหอยแมลงภู่ออบชีส 4 สูตรที่มีส่วนผสมของเนยแตกต่างกัน ศึกษาคุณสมบัติทางเคมี ทางกายภาพ และการยอมรับของผู้บริโภค รวมถึงทดสอบการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์ในภาชนะบรรจุและสภาวะที่แตกต่างกัน เพื่อหาวิธีการเก็บรักษาที่เหมาะสมที่สุด โดยการสร้างผลิตภัณฑ์หอยแมลงภู่ออบชีสที่มีความแตกต่างเด่นชัดจากผลิตภัณฑ์ที่มีจำหน่ายในตลาดปัจจุบัน เช่น หอยลายทอดกรอบที่ทำซื้อได้ทั่วไป ผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการปรุงรสสามารถอุ่นทานได้ทันทีและมีความสะดวกในการบริโภค นอกจากนี้ยังได้มีการควบคุมกระบวนการผลิตอย่างเข้มงวดในทุกขั้นตอน ตั้งแต่การรับวัตถุดิบที่มีคุณภาพ กระบวนการผลิต การเก็บรักษาผลิตภัณฑ์อย่างถูกต้อง ไม่มีการใช้สีหรือวัตถุกันเสีย และได้ทำการตรวจวิเคราะห์จุลินทรีย์ที่อาจทำให้เกิดโรคตามมาตรฐานประกาศกระทรวงสาธารณสุข ฉบับที่ 416 ซึ่งเกี่ยวกับอาหารพร้อมรับประทาน และอาหารปรุงสุกแล้วแช่แข็งที่ต้องอุ่นก่อนบริโภค (Ministry of Public Health, 2018) มีคุณภาพดีที่สุดในแง่ความปลอดภัย และสามารถขยายโอกาสทางการตลาดอย่างกว้างขวาง ผลิตภัณฑ์ที่เกิดขึ้นจะช่วยเสริมศักยภาพในการแข่งขันและสร้างผลกำไรให้กับผู้ประกอบการ นอกจากนี้ยังช่วยยกระดับการใช้วัตถุดิบจากเกษตรไทยและมีรูปแบบที่เหมาะสมสำหรับการจำหน่ายทั้งในประเทศและต่างประเทศ โดยสามารถเพิ่มมูลค่าให้กับหอยแมลงภู่อได้อย่างมีประสิทธิภาพสูง (Codex Alimentarius Commission, 2003)

วิธีการศึกษา

ศึกษาสูตรผลิตภัณฑ์หอยแมลงภู่ออบชีส

เจ้าหน้าที่ประจำอาคารผลิตอาหารแต่งกายเรียบร้อยโดย สวมหมวกคลุมผม สวมถุงมือ สวมผ้าปิดจมูก และผ้ากันเปื้อน หอยแมลงภู่อ ขนาดกลาง 100-150 ตัวต่อกิโลกรัม ขนส่งมายังอาคารผลิตอาหาร สถานีวิจัยเพื่อการพัฒนาชายฝั่งอันดามัน โดยการบรรจุในถังแช่น้ำแข็งปิดฝาสนิท นำวัตถุดิบเข้าห้องเตรียมวัตถุดิบ ทำการล้างทำความสะอาด ขจัดสิ่งสกปรกและสิ่งแปลกปลอม

ออกให้หมด จดบันทึกขนาดและน้ำหนัก จากนั้นนำส่งหอยแมลงภู่สด ไปยังห้องผลิต นำไปต้มในน้ำอุณหภูมิ 95 องศาเซลเซียส นาน 5 นาที ตักขึ้นวางทิ้งให้สะเด็ดน้ำบนตะแกรงนาน 5 นาที แล้วแกะเอาเฉพาะเนื้อหอยที่มีลักษณะที่สมบูรณ์ไม่ฉีก จดบันทึก น้ำหนักนำเนื้อหอยแมลงภู่ นำเนื้อหอยแมลงภู่จากห้องเก็บวัตถุดิบ ไปยังห้องผลิต ทำการนำตั้ง Table 1 ผสมคลุกเคล้าเข้าด้วยกัน จากนั้นนำหอยแมลงภู่ที่เตรียมไว้ไปคลุกเคล้ากับส่วนผสมแล้วมาวางไว้บนภาชนะที่ทนความร้อนได้โดย Mozzarella cheese ตรา Dairygold ลงบนหอยแมลงภู่ นำไปอบที่อุณหภูมิ 200 องศาเซลเซียส นาน 15 นาที จะได้หอยแมลงภู่อบชีสพร้อมบริโภค

Table 1 Baked mussels with cheese – ingredients

Ingredients	Weight in grams			
	Formula A	Formula B	Formula C	Formula D
Green mussels	100	100	100	100
Allowrie Premium Pure Butter	45	-	-	-
Blue Band Margarine	-	45	-	-
Allowrie Compound Butter	-	-	45	-
Allowrie Salted Butter	-	-	-	45
Minced garlic	15	15	15	15
salt	2	2	2	2
Dairygold Mozzarella cheese	50	50	50	50

การตรวจสอบค่าทางเคมี ทางกายภาพ และการยอมรับของผู้บริโภค

- ค่าปริมาณน้ำอิสระ ค่าปริมาณน้ำอิสระ (water activity, aw) ด้วยเครื่องวัด water activity
- ลักษณะเนื้อสัมผัส (Texture profile analysis) วัดโดยใช้เครื่องวิเคราะห์เนื้อสัมผัส
- ปริมาณความชื้น (AOAC, 2000) นำตัวอย่างใส่ลงในภาชนะหาความชื้นที่ทราบน้ำหนักแน่นอน นำไปอบในตู้อบอุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส นาน 5-6 ชั่วโมง นำออกจากตู้อบใส่ไว้ในโถดูดความชื้น ปลอบทิ้งไว้จนกระทั่งอุณหภูมิของภาชนะลดลงเท่ากับอุณหภูมิห้องแล้วชั่งภาชนะพร้อมตัวอย่างอบซ้ำจนได้ผลต่างของน้ำหนักที่ชั่งทั้งสองครั้งติดต่อกันไม่เกิน 1-3 มิลลิกรัม

การคำนวณปริมาณความชื้นตามสูตร

$$\text{ปริมาณความชื้น (ร้อยละโดยน้ำหนักเปียก)} = \frac{\text{ผลต่างน้ำหนักของตัวอย่างก่อนอบและหลังอบ (กรัม)} \times 100}{\text{น้ำหนักตัวอย่างเริ่มต้น (กรัม)}}$$

- การวิเคราะห์หาปริมาณโปรตีน (AOAC, 2000)
- การวิเคราะห์หาปริมาณไขมัน (AOAC, 2000)
- การวิเคราะห์ปริมาณเถ้า (AOAC, 2000)
- การวิเคราะห์ปริมาณคาร์โบไฮเดรต (AOAC, 2000) การหาปริมาณคาร์โบไฮเดรต หาได้จาก 100 ลบด้วยผลรวมระหว่างปริมาณ ความชื้น ปริมาณไขมัน ปริมาณโปรตีน ปริมาณเส้นใยและปริมาณเถ้า

การทดสอบการยอมรับของผู้บริโภค

การทดสอบการยอมรับของผู้บริโภคต่อผลิตภัณฑ์หอยแมลงภู่อบชีส ทำการทดสอบโดยใช้แบบสอบถามในการรวบรวมข้อมูลผู้บริโภค ซึ่งดัดแปลงวิธีการจาก Kingwascharapong et al. (2022) โดยใช้ผู้ทดสอบที่ผ่านการฝึกฝนจำนวน 10 คน ที่มีอายุมากกว่า 18 ปี มีสุขภาพแข็งแรงและไม่มีการแพ้อาหารที่ประกอบในผลิตภัณฑ์หอยแมลงภู่อบชีส ซึ่งผลิตภัณฑ์หอยแมลงภู่อบชีสจะถูกประเมินการยอมรับในคุณลักษณะ 6 ด้าน ได้แก่ ลักษณะปรากฏ สี กลิ่น กลิ่นรส รสชาติ และความชอบ โดยรวม ด้วยวิธี 9-point hedonic scales (คะแนน 9 = ชอบมากที่สุด, คะแนน 8 = ชอบมาก, คะแนน 7 = ชอบปานกลาง, คะแนน 6 = ชอบเล็กน้อย, คะแนน 5 = เฉยๆ, คะแนน 4 = ไม่ชอบเล็กน้อย, คะแนน 3 = ไม่ชอบปานกลาง, คะแนน 2 = ไม่ชอบมาก, คะแนน 1 = ไม่ชอบมากที่สุด) ตัวอย่างผลิตภัณฑ์หอยแมลงภู่อบชีสจะถูกบรรจุในถ้วยพลาสติกที่มีฝาครอบ และจะถูกนำเสนอโดยใช้เลขสุ่ม 3 หลัก เป็นชื่อแทนตัวอย่าง โดยมีการสุ่มลำดับการนำเสนอ แต่ละตัวอย่างจะถูกนำเสนอด้วยเวลาห่างกัน 3 นาที ผู้ทดสอบต้องดื่มน้ำคั่นระหว่างตัวอย่าง โดยสภาวะการทดสอบจะจัดภายใต้ห้องที่มีการจัดแสงไฟให้เพียงพอต่อการทดสอบ ตัวอย่างที่มีคะแนนการยอมรับของผู้บริโภคมากกว่า 7 คะแนน จัดว่าเป็นตัวอย่างที่ได้รับการยอมรับจากผู้บริโภค

ศึกษาคุณภาพของผลิตภัณฑ์จากหอยแมลงภู่อบชีส

ทำการเตรียมตัวอย่างหอยแมลงภู่อบชีสตามสูตรที่ได้รับการพัฒนาและได้รับการยอมรับจากผู้บริโภคมากที่สุดจากการทดลองข้างต้น โดยตัวอย่างหอยแมลงภู่อบชีสจะถูกบรรจุในบรรจุภัณฑ์ 3 ประเภท ได้แก่ 1.บรรจุด้วยพลาสติกกลมทึบแสงมีฝาปิดที่ทนความร้อน สามารถอุ่นทานด้วยไมโครเวฟได้ เก็บรักษาที่อุณหภูมิ -20 องศาเซลเซียส บรรจุในขวดแก้วใส่ปิดฝาสนิท เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส และบรรจุในถุงโพลีโพรพิลีน ในสภาวะสุญญากาศ เก็บรักษาที่อุณหภูมิ -20 องศาเซลเซียส เก็บรักษาเป็นเวลา 30 วัน ทำการสุ่มตัวอย่างมาตรวจวิเคราะห์ทุกๆ 0 15 และ 30 วัน โดยทำการวิเคราะห์ทางกายภาพลักษณะปรากฏของผลิตภัณฑ์ก่อนและหลังการเก็บรักษา การวิเคราะห์ปริมาณไนโตรเจนพื้นฐานที่ระเหยได้ทั้งหมด (TVB-N) โดยใช้วิธี Conway's micro-diffusion method (Conway et al., 1933) ค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) การวิเคราะห์หาปริมาณกรดไทโอบาร์บิทรู (TBA) (Pearson, 1976) และวิเคราะห์คุณค่าทางโภชนาการ รวมถึงการทดสอบการยอมรับของผู้บริโภค

การวิเคราะห์ปริมาณจุลินทรีย์มาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชน ฉบับที่ 314 ปี พ.ศ. 2553 กำหนดคุณภาพหรือมาตรฐานหลักเกณฑ์เงื่อนไข และวิธีการในการตรวจวิเคราะห์ของอาหารด้านจุลินทรีย์ของหอยปรุงรส (Thai Industrial Standards Institute, 2010) ไว้ดังนี้ จำนวนจุลินทรีย์ (Total Plate count) ต้องไม่เกิน 1×10^4 โคโลนีต่อตัวอย่าง 1 กรัม *Escherichia coli*. โดยวิธีเอ็มพีเอ็น ต้องน้อยกว่า 3 กรัมต่อตัวอย่าง 1 กรัม ยีสต์และรา ต้องไม่เกิน 100 โคโลนีต่อตัวอย่าง 1 กรัม

การวิเคราะห์ความแตกต่างทางสถิติ

การวางแผนการทดลองเป็นแบบ Completely Randomized Design (CRD) เพื่อวิเคราะห์ข้อมูลทางกายภาพและเคมีทดลอง 3 ซ้ำ การทดลองวางแผนทดลองแบบ Randomized Complete Block Design (RCBD) เพื่อวิเคราะห์ข้อมูลทางประสาทสัมผัสโดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูป SPSS โดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูป SPSS (IBM Corp., 2020) ข้อมูลที่ได้วิเคราะห์ความแปรปรวนโดยใช้ Analysis of Variance (ANOVA Two-way Anova และเปรียบเทียบค่าความแตกต่างระหว่างกลุ่มด้วยวิธี Tukey's HSD ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

ผลการศึกษาและวิจารณ์

การศึกษาองค์ประกอบทางเคมีและทางกายภาพจากผลิตภัณฑ์หอยแมลงภู่อบชีสพร้อมบริโภค

ค่าปริมาณน้ำอิสระในผลิตภัณฑ์อาหารมีความสำคัญต่อคุณภาพและอายุการเก็บรักษา เนื่องจากน้ำอิสระเป็นตัวชี้วัดที่สำคัญที่มีแนวโน้มการเสื่อมเสียจากปฏิกิริยาเคมีและการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ จากการศึกษาค่าปริมาณน้ำอิสระ (a_w) ของหอยแมลงภู่อบชีสทั้ง 4 สูตรการผลิต ดังแสดงใน Table 2 พบว่าค่าดังกล่าวมีช่วงระหว่าง 0.93-0.96 โดยไม่แสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \geq 0.05$) แสดงให้เห็นว่าค่าปริมาณน้ำอิสระที่ได้สูงกว่าเกณฑ์มาตรฐานสำหรับผลิตภัณฑ์หอยปรุงรสพร้อมบริโภคที่กำหนดไว้ไม่เกิน 0.70 ตามประกาศกระทรวงเกษตรและสหกรณ์ พ.ศ. 2551 (Ministry of Agriculture and Cooperatives, 2008) ลักษณะดังกล่าวเกิดจากคุณสมบัติของส่วนผสมหลักที่ใช้ในการผลิต โดยเฉพาะมอสซาเรลลาชีสซึ่งเป็นผลิตภัณฑ์จากนํ้านมโคสดที่ผ่านกระบวนการแปรรูปแบบดั้งเดิม ส่งผลให้มีปริมาณน้ำอิสระในช่วง 0.90-0.95 ซึ่งทำให้ผลิตภัณฑ์มีความเสี่ยงต่อการเสื่อมเสียแม้จะผ่านกระบวนการให้ความร้อนแล้ว (Chanakot et al., 2022)

Table 2 Effect of formulation on water activity (a_w) of baked mussels with cheese

Formulations	Water Activity (a_w)
A	0.94 ± 0.0^a
B	0.96 ± 0.01^a
C	0.95 ± 0.01^a
D	0.93 ± 0.03^a
P-value	0.22

Mean $\pm$ standard deviation.

Different letters in the same column (^{a-c}) indicate statistically significant differences at the 95% confidence level ($p < 0.05$).

Values with the same letter (^a) are not significantly different ($p \geq 0.05$).

จากผลการศึกษาลักษณะเนื้อสัมผัสของหอยแมลงภู่อบชีสที่แสดง Table 3 พบว่าไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \geq 0.05$) ค่าความแข็ง (Hardness) อยู่ระหว่าง 0.79-1.67 N ซึ่งแสดงให้เห็นว่าผลิตภัณฑ์มีความนุ่มระดับปานกลาง เนื่องจากการปรุงสุกของเนื้อสัตว์ทำให้ค่าความแข็งเพิ่มขึ้น ในขณะที่ค่า cohesiveness และ springiness ลดลง (Paredes et al., 2022) การอบด้วยชีสอาจส่งผลต่อโครงสร้างของโปรตีนในเนื้อหอยแมลงภู โดยชีสที่ละลายจะเข้าไปเติมเต็มช่องว่างระหว่างเส้นใยโปรตีน ทำให้เนื้อสัมผัสเปลี่ยนแปลงไป (Lucey et al., 2003) ค่า cohesiveness ที่อยู่ระหว่าง 0.38-0.54 บ่งบอกถึงความสามารถในการรักษาโครงสร้างภายในของผลิตภัณฑ์ โดยความเชื่อมติดและความยืดหยุ่นมีความสัมพันธ์อย่างแข็งแกร่ง ค่าที่ได้นี้แสดงว่าผลิตภัณฑ์ยังคงรักษาความสมบูรณ์ของโครงสร้างได้ดี ส่วนค่า springiness ที่สูงระหว่าง 2.87-3.65 บ่งบอกถึงความสามารถในการคืนรูปของผลิตภัณฑ์ที่ดี ซึ่งอาจเกิดจากโครงสร้างของโปรตีนที่ยังคงความยืดหยุ่นหลังการปรุงสุก (Ishiwatari et al., 2013) สำหรับค่า gumminess และ chewiness ที่อยู่ระหว่าง 0.86-3.27 แสดงว่าผลิตภัณฑ์มีความเหนียวในระดับที่เหมาะสม สำหรับอาหารทะเลที่ผ่านความร้อน เนื่องจากอยู่ในช่วงเดียวกับผลิตภัณฑ์ที่มีเนื้อนุ่มแต่ยังคงความยืดหยุ่น เคี้ยวง่าย ไม่เหนียวหรือแห้งเกินไปเหตุผลที่สูตรต่างๆ ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติในบางคุณลักษณะอาจเป็นเพราะองค์ประกอบหลักของผลิตภัณฑ์ทุกสูตรคือหอยแมลงภูที่มีคุณสมบัติพื้นฐานคล้ายกัน และวิธีการปรุงที่เหมือนกันทำให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่มีลักษณะเนื้อสัมผัสใกล้เคียงซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของ Di Monaco et al. (2008) ที่พบว่าความแข็ง ความเชื่อมติด และความเปราะบางสามารถทำนายได้อย่างแม่นยำ ซึ่งสอดคล้องกับผลการศึกษาที่พบว่าค่า hardness และ cohesiveness มีความสัมพันธ์มากกว่าค่า springiness ที่มีการแปรผันสูง การศึกษาเกี่ยวกับผลิตภัณฑ์จากเนื้อสัตว์ทดแทนแสดงให้เห็นว่า การวิเคราะห์ texture profile (ความแข็ง การยืดเกาะ และความเชื่อมติด) ของผลิตภัณฑ์เนื้อสัตว์เทียมที่เสริมด้วยน้ำมันพืชชนิดต่างชนิด ส่งผลต่อคุณลักษณะทางกายภาพที่แตกต่าง การวิเคราะห์เนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์อาหารทะเลแสดงให้เห็นว่าการปรุงสุกส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงของโครงสร้างโปรตีนและคุณลักษณะทางกายภาพอย่างมีนัยสำคัญ (Cheng et al., 2014) ผลการศึกษานี้สอดคล้องกับแนวโน้มดังกล่าว โดยเฉพาะอย่างยิ่งการที่ค่า hardness และ cohesiveness มีความสัมพันธ์กับกระบวนการปรุงสุกที่ทำให้โปรตีนเปลี่ยนแปลงและส่งผลต่อลักษณะเนื้อสัมผัสโดยรวม (Kanpairo, 2023)

Table 3 Texture analysis of baked mussels with cheese in 4 formulations

Formulations	Texture				
	Hardness (N)	Cohesiveness	Springiness (mm)	Gumminess (N)	Chewiness (N-mm)
A	1.67 ± 0.19 ^a	0.54 ± 0.07 ^a	3.65 ± 0.19 ^a	0.90 ± 0.08 ^a	3.27 ± 0.36 ^a
B	1.32 ± 0.05 ^a	0.41 ± 0.05 ^a	3.33 ± 0.02 ^a	0.52 ± 0.05 ^a	1.80 ± 0.17 ^a
C	0.79 ± 0.04 ^a	0.38 ± 0.04 ^a	2.88 ± 0.28 ^a	0.30 ± 0.02 ^a	0.86 ± 0.04 ^a
D	1.28 ± 0.24 ^a	0.40 ± 0.06 ^a	3.34 ± 0.06 ^a	0.51 ± 0.11 ^a	1.68 ± 0.34 ^a
P-value	0.79	0.60	0.64	0.92	0.99

Mean ± standard deviation.

Different letters in the same column (^{a-c}) indicate statistically significant differences at the 95% confidence level ($p < 0.05$).

Values with the same letter (^a) are not significantly different ($p \geq 0.05$).

การวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของผลิตภัณฑ์หอยแมลงภู่อบชีส 4 สูตร (A, B, C และ D) ดังแสดงใน Table 4 พบว่ามีเพียงพลังงานเท่านั้นที่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) โดยสูตร B ให้ค่าพลังงานสูงสุดที่ 272.94 กิโลแคลอรี รองลงมาคือสูตร D 268.76 กิโลแคลอรี สูตร C เท่ากับ 254.52 กิโลแคลอรี และสูตร A ต่ำสุดที่ 244.57 กิโลแคลอรี ซึ่งสอดคล้องกับแนวโน้มปริมาณไขมันที่เพิ่มขึ้น 15.61-19.12 กรัม แม้ค่าไขมันจะไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \geq 0.05$) ก็ตาม เนื่องจากไขมันให้พลังงาน 9 กิโลแคลอรีต่อกรัมเมื่อเทียบกับโปรตีนและคาร์โบไฮเดรตที่ให้เพียง 4 กิโลแคลอรีต่อกรัม สำหรับองค์ประกอบทางเคมีอื่น ๆ ได้แก่ โปรตีน (15.74-20.84 กรัม) คาร์โบไฮเดรต (4.87-9.37 กรัม) เกลือ (2.86-3.38 กรัม) และความชื้น (52.01-55.51 กรัม) ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ผลิตภัณฑ์ทั้ง 4 สูตรจึงมีคุณค่าทางโภชนาการใกล้เคียงกัน ความชื้นในระดับ 52-55 กรัม ถือว่าค่อนข้างสูงสำหรับผลิตภัณฑ์อบ ซึ่งอาจส่งผลต่ออายุการเก็บรักษาและความปลอดภัยทางจุลชีววิทยา เนื่องจากผลิตภัณฑ์อาหารส่วนใหญ่มีค่า water activity สูงกว่า 0.93 ซึ่งเอื้อต่อการเจริญของแบคทีเรีย ยีสต์ และราได้ (U.S. Food and Drug Administration, 2022) ดังนั้นผลิตภัณฑ์นี้ควรเก็บรักษาในอุณหภูมิเย็นหรือแช่แข็งเพื่อควบคุมการเจริญของจุลินทรีย์ ผลิตภัณฑ์หอยแมลงภู่อบชีสทั้ง 4 สูตรจัดอยู่ในกลุ่มอาหารที่ให้พลังงานปานกลางถึงสูง (244.57-272.94 กิโลแคลอรีต่อ

100 กรัม) ไม่เหมาะสำหรับผู้ที่มีความน้ำหนัก แต่เป็นทางเลือกที่ดีสำหรับผู้บริโภคทั่วไปที่ต้องการสารอาหารครบถ้วน โดยสูตร B และ D เหมาะสำหรับผู้ที่ต้องการพลังงานสูง ขณะที่สูตร A และ C อาจเป็นทางเลือกสำหรับผู้ที่ต้องการควบคุมการรับพลังงาน

การประเมินการยอมรับของผู้บริโภคต่อผลิตภัณฑ์หอยแมลงภู่อบชีสทั้ง 4 สูตร แสดงไว้ใน Table 5 โดยใช้เกณฑ์ประเมินแบบ Hedonic 9-point scale ดำเนินการกับกลุ่มผู้บริโภคที่ชื่นชอบการบริโภคชีสและไม่มีอาการแพ้เนย พบว่าสูตร A ซึ่งใช้เนยจืดแท้ 100% ได้รับการยอมรับสูงสุดในเกือบทุกด้าน ได้แก่ ลักษณะปรากฏ (7.50), สี (7.40), รสชาติ (7.40) และเนื้อสัมผัส (7.40) ขณะที่กลิ่นไม่แสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติเมื่อเปรียบเทียบกับสูตรอื่นๆ แม้ว่าผลการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมี ปริมาณน้ำอิสระ (a_w) และลักษณะเนื้อสัมผัสของทั้ง 4 สูตรจะไม่มี ความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ แต่คะแนนความชอบจากผู้บริโภคกลับมีความแตกต่างกัน ซึ่งอาจมีสาเหตุมาจากชนิดของเนยที่ใช้ โดยเฉพาะสูตร A ที่ใช้เนยจืดแท้ ซึ่งมีส่วนช่วยเพิ่มกลิ่นหอมและรสชาติที่กลมกล่อมเป็นพิเศษ เนื่องจากไขมันจากเนยนี้มีทั้งชนิดอิ่มตัว (saturated) และไม่อิ่มตัว (unsaturated) ซึ่งทำให้เนยมีจุดหลอมเหลวต่ำ จึงละลายในปากได้ดี ให้ความรู้สึกนุ่มและเคลือบลิ้น (mouthfeel) อย่างพอดี ส่งผลให้รสชาติ “กลมกล่อม” กว่าไขมันพืชทั่วไป (De Roos, 2003) ส่งผลให้ผู้บริโภคให้คะแนนความชอบโดยรวมสูงกว่าสูตรอื่น อย่างไรก็ตาม ผลผลิตภัณฑ์หอยแมลงภู่อบชีส มีปริมาณไขมันและพลังงานสูง ซึ่งอาจไม่เหมาะสำหรับผู้บริโภคที่ควบคุมอาหาร ดังนั้นควรบริโภคในปริมาณที่เหมาะสมควบคู่กับการออกกำลังกาย เพื่อรักษาสมดุลด้านสุขภาพและโภชนาการ

Table 4 Chemical composition of cheese-baked mussels with 4 formulations per 100 grams

Chemical elements	Formulations				P-value
	A	B	C	D	
Total energy(K cal)	244.57 ± 0.71 ^a	272.94 ± 1.66 ^d	254.52 ± 0.46 ^b	268.76 ± 0.61 ^c	0.03
Total fat (g)	15.61 ± 0.35 ^a	18.90 ± 0.09 ^a	17.12 ± 0.08 ^a	19.12 ± 0.01 ^a	0.35
Protein (g)	17.22 ± 0.01 ^a	20.84 ± 0.11 ^a	15.74 ± 0.11 ^a	17.64 ± 0.18 ^a	0.79
Carbohydrate (g)	8.80 ± 0.11 ^a	4.87 ± 0.08 ^a	9.37 ± 0.03 ^a	6.53 ± 0.07 ^a	0.65
Ash (g)	2.86 ± 0.09 ^a	3.38 ± 0.13 ^a	3.02 ± 0.06 ^a	3.97 ± 0.01 ^a	0.77
Moisture (g)	55.51 ± 0.09 ^a	52.01 ± 0.03 ^a	54.75 ± 0.08 ^a	52.74 ± 0.06 ^a	0.94

Mean ± standard deviation.

Different letters in the same column (^{a-c}) indicate statistically significant differences at the 95% confidence level ($p < 0.05$).

Values with the same letter (^a) are not significantly different ($p \geq 0.05$).

Table 5 Sensory test scores of cheese-baked mussels with 4 formulations

Formulations	Appearance	Color	Aroma	Taste	Texture
A	7.50 ± 0.53 ^a	7.40 ± 0.70 ^b	7.00 ± 0.67 ^a	7.40 ± 0.79 ^b	7.40 ± 0.52 ^a
B	6.70 ± 0.48 ^a	6.50 ± 0.53 ^a	6.50 ± 0.53 ^a	6.40 ± 0.52 ^a	6.70 ± 0.48 ^a
C	7.40 ± 0.52 ^a	7.30 ± 0.48 ^b	7.10 ± 0.74 ^a	7.20 ± 0.52 ^b	7.20 ± 0.42 ^a
D	7.20 ± 0.42 ^a	7.40 ± 0.52 ^b	7.10 ± 0.57 ^a	6.10 ± 0.88 ^a	7.10 ± 0.57 ^a
P-value	0.35	0.04	0.12	0.008	0.53

Mean ± standard deviation.

Different letters in the same column (^{a,b}) indicate statistically significant differences at the 95% confidence level ($p < 0.05$).

Values with the same letter (^a) are not significantly different ($p \geq 0.05$).

การศึกษาการเก็บรักษาคุณภาพของผลิตภัณฑ์จากหอยแมลงภู่อบชีสในสภาวะที่เหมาะสม

ผลจากการทดลอง การพัฒนาสูตรผลิตภัณฑ์หอยแมลงภู่อบชีส พบว่า สูตร A การใช้เนยจืดแท้ 100 % คือสูตรที่ได้รับการยอมรับจากผู้บริโภคมากที่สุด จึงเป็นสูตรที่ได้รับการคัดเลือกมาศึกษาถึงคุณลักษณะทางกายภาพ ทางเคมี และจุลชีววิทยา การศึกษาการเปลี่ยนแปลงค่า pH ของผลิตภัณฑ์หอยแมลงภู่อบชีสดังแสดงใน Table 6 ภายใต้การบรรจุและอุณหภูมิการเก็บรักษาที่แตกต่างกัน 3 วิธี ได้แก่ การเก็บรักษาโดยบรรจุในถ้วยพลาสติกกลมทึบแสง บรรจุใส่ถุงโพลีโพรพิลีนสุญญากาศ ทั้ง 2 ตัวอย่างถูกเก็บที่อุณหภูมิ -20 องศาเซลเซียส และบรรจุในขวดแก้วปิดฝาสนิทถูกเก็บที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 0, 15 และ 30 วัน พบว่าระยะเวลาการเก็บรักษามีผลต่อค่า pH อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) ในวันที่ 15 และ 30

หอยแมลงภู่อบชีสที่บรรจุในขวดแก้วปิดฝาสนิทที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส ค่าความเป็นกรดต่างมีแนวโน้มลดลง มีค่าเท่ากับ 4.24 และ 3.14 ในขณะที่หอยแมลงภู่อบชีสที่บรรจุในถ้วยพลาสติกกลมทึบแสง บรรจุในถุงโพลีโพรพิลีนสุญญากาศ เก็บที่อุณหภูมิ -20 องศาเซลเซียส เท่ากับ 7.12 และ 7.06 ในวันที่ 15 และมีค่าเท่า 7.08 และ 7.04 ในวันที่ 30 ตามลำดับ ในวันที่ 0 ไม่มีความแตกต่างกันอย่างนัยสำคัญทางสถิติ ($p \geq 0.05$) ซึ่งสอดคล้องกับ Thanakrich (2020) ที่กล่าวว่าการเก็บรักษาที่อุณหภูมิแช่เยือกแข็ง ช่วยยับยั้งกิจกรรมของเอนไซม์และจุลินทรีย์ ทำให้คุณภาพของผลิตภัณฑ์คงที่ และ Wongwichian et al. (2019) ที่รายงานว่าการบรรจุสุญญากาศช่วยลดการเปลี่ยนแปลงทางเคมีและชีวเคมีในผลิตภัณฑ์อาหารทะเลแช่แข็ง ผลการศึกษานี้แสดงให้เห็นว่าการเก็บรักษาที่อุณหภูมิแช่เยือกแข็งร่วมกับการบรรจุที่เหมาะสมมีค่า pH ที่ดีกว่าการเก็บรักษาที่อุณหภูมิเย็น

Table 6 pH values

Baked Mussels with Cheese	Day		
	0	15	30
Packed in opaque round plastic cups (temperature -20°C)	7.10±0.02 ^a	7.12±0.02 ^b	7.08±0.07 ^b
Packed in tightly sealed glass bottles (temperature 5°C)	7.12±0.50 ^a	4.24±0.23 ^a	3.14±0.04 ^a
Packed in vacuum polypropylene bags (temperature -20°C)	7.18±0.03 ^a	7.06±0.09 ^b	7.04±0.13 ^b
P-value	0.07	0.006	0.008

Mean ± standard deviation.

Different letters in the same column ^(a,b) indicate statistically significant differences at the 95% confidence level ($p < 0.05$).

Values with the same letter ^(a) are not significantly different ($p \geq 0.05$).

การเปลี่ยนแปลงของปริมาณ TVB-N (Table 7) ในหอยแมลงภู่อบชีสที่เก็บรักษาในบรรจุภัณฑ์และสภาวะต่างกัันมีสาเหตุหลัก 3 ปัจจัย คือ อุณหภูมิ ชนิดบรรจุภัณฑ์ และระยะเวลาในการเก็บรักษา ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Bekhit et al. (2021a) ที่อธิบายว่า TVB-N เป็นดัชนีสำคัญในการติดตามความเสื่อมสลายของเนื้อสัตว์ที่เพิ่มขึ้นตามการเก็บรักษา และมีความสัมพันธ์กับปัจจัยต่างๆ เช่น ระยะเวลา อุณหภูมิ และบรรจุภัณฑ์ (Bekhit et al., 2021b) ผลของอุณหภูมิต่อการเปลี่ยนแปลงของ TVB-N แสดงให้เห็นว่าการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5°C ส่งผลให้ค่า TVB-N เพิ่มขึ้นอย่างมากจาก 18.23 mg/100g เป็น 40.98 mg/100g ในวันที่ 30 ขณะที่การเก็บรักษาที่อุณหภูมิ -20°C ค่า TVB-N เพิ่มขึ้นเพียงเล็กน้อย ทั้งนี้เนื่องจากอุณหภูมิที่สูงขึ้นเอื้อต่อการทำงานของเอนไซม์ภายในเนื้อสัตว์และการเติบโตของจุลินทรีย์ที่ย่อยสลายโปรตีน ผลิตภัณฑ์ประกอบไนโตรเจนที่ระเหยได้ออกมา การศึกษาของ Bekhit et al. (2021a) ยืนยันว่า การปนเปื้อนของแบคทีเรียและการเก็บรักษาที่อุณหภูมิไม่เหมาะสม เป็นปัจจัยสำคัญที่ทำให้ปริมาณ TVB-N เพิ่มขึ้นอย่างมาก โดยการศึกษาบรรจุภัณฑ์สุญญากาศแสดงประสิทธิภาพที่ดีที่สุดในการควบคุมค่า TVB-N โดยให้ค่าเริ่มต้นที่ 12.54 mg/100g และเพิ่มขึ้นเป็น 17.11 mg/100g ในวันที่ 30 ซึ่งต่ำกว่าการบรรจุในถ้วยพลาสติกทึบแสง หลักการนี้สอดคล้องกับการศึกษาของ Goulas et al., (2005) ที่ศึกษาหอยแมลงภู่ว่า บรรจุภัณฑ์สุญญากาศและบรรจุภัณฑ์ชนิดดัดแปลงบรรยากาศสามารถยืดอายุการเก็บรักษาและชะลอการเสื่อมสลายได้ดีกว่าการบรรจุแบบทั่วไป เนื่องจากการลดปริมาณออกซิเจนทำให้ลดการเติบโตของจุลินทรีย์ที่ต้องใช้ออกซิเจน (Goulas et al., 2005)

Table 7 Total Volatile Basic Nitrogen (TVB-N) (mg/100g)

Baked Mussels with Cheese	Day		
	0	15	30
Packed in opaque round plastic cups (temperature -20°C)	13.50±0.07 ^a	14.21±0.06 ^a	15.23±0.04 ^a
Packed in tightly sealed glass bottles (temperature 5°C)	18.23±0.04 ^a	30.67±0.08 ^c	40.98±0.08 ^c
Packed in vacuum polypropylene bags (temperature -20°C)	12.54±0.09 ^a	15.62±0.13 ^b	17.11±0.12 ^b
P-value	0.78	0.015	0.009

Mean ± standard deviation.

Different letters in the same column ^(a-c) indicate statistically significant differences at the 95% confidence level ($p < 0.05$).

Values with the same letter ^(a) are not significantly different ($p \geq 0.05$).

ปริมาณกรดไทโอบาร์บิทริก (TBA) เป็นตัวชี้วัดความหืนที่เกิดขึ้นในผลิตภัณฑ์ จากผลของการวัดค่า TBA ของผลิตภัณฑ์ หอยแมลงภู่อุปซีสที่บรรจุในบรรจุภัณฑ์และสภาวะที่ต่างกัน แสดงดัง Table 8 พบว่าในวันที่ 0 ในบรรจุภัณฑ์ ทั้ง 3 ชนิดและทุกสภาวะการเก็บรักษามีผลต่อค่า TBA ซึ่งค่า TBA เริ่มต้นอยู่ที่ 0.53 -0.69 มิลลิกรัมมาโลนัลดีไฮด์ต่อกิโลกรัม เมื่อระยะเวลาการเก็บรักษานานขึ้นค่า TBA พบว่าหอยแมลงภู่อุปซีสบรรจุในถ้วยพลาสติกกลมทึบแสงและบรรจุในถุงโพลีโพรพิลีนสุญญากาศ เก็บที่อุณหภูมิ -20 องศาเซลเซียส มีแนวโน้มลดลงเล็กน้อย ในวันที่ 15 มีค่า 0.55-0.57 มิลลิกรัมมาโลนัลดีไฮด์ต่อกิโลกรัม และในวันที่ 30 มีค่า 0.45-0.53 มิลลิกรัมมาโลนัลดีไฮด์ต่อกิโลกรัม ซึ่งมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$). ซึ่งค่า TBA ที่ลดลงในช่วงท้ายของการเก็บรักษา อาจเนื่องจากสารมาโลนัลดีไฮด์ ซึ่งเป็นสารที่เป็นองค์ประกอบเบื้องต้นของการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของไขมันเข้าไปรวมตัวกับสารอื่น เช่น ออกซิเจนเปอร์ออกไซด์ สารประกอบคาร์บอนิล กรดนิวคลีอิก โปรตีน คาร์โบไฮเดรต หรือองค์ประกอบของอัลดีไฮด์ ทำให้เกิดปฏิกิริยา cross reaction จึงเป็นสาเหตุให้ TBA ในระหว่างการเก็บรักษามีค่าเพิ่มขึ้นในช่วงระยะเวลาหนึ่งและลดลง ในช่วงท้ายของการเก็บรักษา (Yuangyai et al., 2023) ในขณะที่หอยแมลงภู่อุปซีสที่บรรจุในขวดแก้วปิดฝาสนิทเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส ในวันที่ 15 มีค่าเพิ่มขึ้นอยู่ที่ 3.15 มิลลิกรัมมาโลนัลดีไฮด์ต่อกิโลกรัมและเพิ่มขึ้นสูงสุดในวันที่ 30 อยู่ที่ 5.74 มิลลิกรัมมาโลนัลดีไฮด์ต่อกิโลกรัม เนื่องจากค่า TBA เป็นดัชนีการวัดการเสื่อมเสียคุณภาพของไขมันในผลิตภัณฑ์ เมื่อ TBA 0.1-0.3 มิลลิกรัมมาโลนัลดีไฮด์ต่อกิโลกรัม พบว่าไขมันมีการเสื่อมเสียเล็กน้อย แต่ถ้า TBA มีค่ามากกว่า 3 มิลลิกรัมมาโลนัลดีไฮด์ต่อกิโลกรัม มีผลให้ผู้บริโภคได้รับรู้ถึงกลิ่นแปลกปลอมทางประสาทสัมผัสต่ออาหารได้ แต่ถ้ามีค่ามากกว่า 7 มิลลิกรัมมาโลนัลดีไฮด์ต่อกิโลกรัม ไขมันมีการเสื่อมสภาพอย่างรุนแรง (Lohalagsanadet and Kachenphakdee, 2011)

Table 8 thiobarbituric acid (TBA) values (mgMDA/kg)

Baked Mussels with Cheese	Day		
	0	15	30
Packed in opaque round plastic cups (temperature -20°C)	0.55±0.02 ^a	0.57±0.03 ^a	0.45±0.06 ^a
Packed in tightly sealed glass bottles (temperature 5°C)	0.69±0.03 ^a	3.15±0.04 ^b	5.74±0.22 ^b
Packed in vacuum polypropylene bags (temperature -20°C)	0.61±0.06 ^a	0.55±0.04 ^a	0.53±0.09 ^a
P-value	0.40	0.009	0.038

Mean ± standard deviation.

Different letters in the same column ^(a-b) indicate statistically significant differences at the 95% confidence level ($p < 0.05$).

Values with the same letter ^(a) are not significantly different ($p > 0.05$).

ผลการวิเคราะห์คุณภาพทางจุลชีววิทยา (Table 9) พบว่า หอยแมลงภู่อุปซีสที่บรรจุในถ้วยพลาสติกทึบแสงและซีลสุญญากาศด้วยถุงโพลีโพรพิลีน สามารถเก็บรักษาที่อุณหภูมิ -20°C เป็นเวลา 30 วัน โดยไม่พบการเจริญเติบโตของ Total Plate Count, Yeasts and Molds และ *Escherichia coli* ค่าจุลินทรีย์ที่ตรวจพบอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชน ฉบับที่ 314 (พ.ศ. 2553) (Thai Industrial Standards Institute, 2010) ที่กำหนดให้ จำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมด ต้องไม่เกิน 1×10^4 โคโลนีต่อ 1 กรัม *Escherichia coli* ต้องน้อยกว่า 3 ต่อตัวอย่าง 1 กรัม Yeasts and Molds ต้องไม่เกิน 100 โคโลนีต่อตัวอย่าง 1 กรัม ปัจจัยสำคัญที่ส่งผลต่อคุณภาพ ได้แก่ การควบคุมกระบวนการผลิต การคัดเลือกวัตถุดิบ การรักษาสุขลักษณะในสถานที่ผลิต การฆ่าเชื้อบรรจุภัณฑ์ก่อนบรรจุ และการเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำ ซึ่งช่วยยับยั้งการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ ในทางตรงกันข้าม ผลิตภัณฑ์บรรจุในขวดแก้วและเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5°C เป็นเวลา 15-30 วัน มีปริมาณจุลินทรีย์เกินเกณฑ์มาตรฐาน

จากการวิเคราะห์คุณค่าทางโภชนาการของผลิตภัณฑ์หอยแมลงภู่อุปซีสที่เก็บรักษาในสภาวะแช่แข็ง (Table 10) พบว่า ในปริมาณ 100 กรัม ให้พลังงานรวม 166.01 กิโลแคลอรี โดยมีพลังงานจากไขมันคิดเป็น 77.13 กิโลแคลอรี ไขมันทั้งหมด 8.57 กรัม และไขมันอิ่มตัว 5.08 กรัม ซึ่งเป็นไขมันที่ควรบริโภคในปริมาณจำกัดตามคำแนะนำขององค์การอนามัยโลก (WHO) เพื่อป้องกันภาวะไขมันในเลือดสูงและโรคหัวใจ อย่างไรก็ตาม เมื่อคำนวณจากปริมาณหนึ่งหน่วยบริโภค (70 กรัม) พบว่าพลังงานรวมอยู่ที่เพียง 50 กิโลแคลอรี ในด้านโปรตีน พบว่ามีปริมาณ 17.28 กรัมต่อ 100 กรัม และ 4 กรัมต่อหนึ่งหน่วยบริโภค ซึ่งถือว่าอยู่ในระดับที่สูงเมื่อเทียบกับผลิตภัณฑ์อาหารทั่วไป ขณะที่คาร์โบไฮเดรตและใยอาหารอยู่ที่ 4.94 และ 2.33 กรัมต่อ 100 กรัม ตามลำดับ นอกจากนี้ยังพบปริมาณโซเดียมสูงถึง 526.3 มิลลิกรัม ซึ่งควรพิจารณาโดยเฉพาะสำหรับกลุ่มผู้บริโภคที่จำกัดการ

บริโภคเกลือ ปริมาณแร่ธาตุอื่น ๆ เช่น แคลเซียม (137.14 มิลลิกรัม), ธาตุเหล็ก (14.98 มิลลิกรัม) และโพแทสเซียม (81.11 มิลลิกรัม) อยู่ในระดับที่ช่วยเสริมสร้างระบบกระดูกและการไหลเวียนโลหิตได้เป็นอย่างดี ผลิตภัณฑ์นี้จึงจัดเป็นแหล่งโปรตีน คุณภาพดีที่มีรสชาดอร่อยเหมาะสำหรับเป็นอาหารว่างหรืออาหารมื้อเบา แต่ควรบริโภคในปริมาณที่พอเหมาะเพื่อควบคุมการรับไขมันและโซเดียม

Table 9 Table of microbial count

Types of Microorganisms	Baked Mussels with Cheese								
	Packed in opaque round plastic cups (temperature -20°C)			Packed in tightly sealed glass bottles (temperature 5°C)			Packed in vacuum polypropylene bags (temperature -20°C)		
	Day 0	Day 15	Day 30	Day 0	Day 15	Day 30	Day 0	Day 15	Day 30
<i>Escherichia coli</i> (MPN/g)	<3	<3	<3	<3	<10	<10	<3	<3	<3
Total Plate Count (log CFU/g)	<2.40	<2.40	<2.40	<2.40	7.57	9.20	<2.40	<2.40	<2.40
Yeasts and Molds (log CFU/g)	<0.70	<0.70	<1	<0.70	3.67	8.53	<0.70	<0.70	<1

Table 10 Nutritional analysis of cheese-baked mussels stored under frozen conditions

Nutrient	Amount per 100 g	Amount per Serving (70 g)
Total Energy	246.01 K.cal	50 K.cal
Energy from Fat	77.13 K.cal	0 K.cal
Total Fat	15.57 g	0 g
Saturated Fat	5.08 g	0 g
Cholesterol	71.13 mg	5 mg
Protein (%N x 6.25)	17.28 g	4 g
Carbohydrate	4.94 g	9 g
Dietary Fiber	2.33 g	<1 g
Sugar	0.55 g	<1 g
Sodium	526.3 mg	125 mg
Vitamin A (μg)	Not detected	0.00 (μg)
Vitamin B1	Not detected	0.00 mg
Vitamin B2	0.20 mg	0.00 mg
Calcium	137.142 mg	37.03 mg
Iron	14.975 mg	0.39 mg
Potassium	81.111 mg	
Ash	2.52 g	-
Moisture	66.69 g	-

สรุปผลการศึกษา

การศึกษาการพัฒนาผลิตภัณฑ์หอยแมลงภู่อบชีสเพื่อเพิ่มมูลค่า โดยเปรียบเทียบผลของเนย 4 ชนิด ได้แก่ สูตร A (Premium Pure Butter), สูตร B (Margarine), สูตร C (Compound Butter) และ สูตร D (Salted Butter) พบว่า ชนิดของเนยมีผลต่อคุณลักษณะทางประสาทสัมผัสและคุณภาพของผลิตภัณฑ์อย่างมีนัยสำคัญ ในด้านประสาทสัมผัส สูตร A (Premium Pure Butter) ได้รับคะแนนความชอบสูงสุดในทุกด้าน ได้แก่ สี กลิ่น รสชาติ ลักษณะเนื้อสัมผัส และความชอบโดยรวม ทั้งนี้เนยจืดแท้มีกรดไขมันสายสั้นให้กลิ่นหอมธรรมชาติมากกว่า จึงช่วยเพิ่มรสชาติที่กลมกล่อมและกลิ่นหอมของชีสได้ดีกว่าสูตรที่ใช้เนยเทียมหรือเนยผสม ในด้านคุณภาพทางกายภาพและเคมี พบว่าผลิตภัณฑ์หอยแมลงภู่อบชีสทุกสูตรมีค่า water activity (aw) อยู่ระหว่าง 0.90–0.95 ซึ่งเป็นช่วงที่จุลินทรีย์บางชนิดยังสามารถเจริญได้ จึงจำเป็นต้องเก็บรักษาในอุณหภูมิต่ำ การเก็บผลิตภัณฑ์ในบรรจุภัณฑ์พลาสติกที่บดแสงที่อุณหภูมิ -20°C ช่วยคงคุณภาพของผลิตภัณฑ์ได้ดีที่สุด โดยเฉพาะสูตร A ซึ่งคงลักษณะเนื้อสัมผัสและสีได้ดี ไม่เกิดกลิ่นหืน และมีค่าดัชนีคุณภาพอยู่ในเกณฑ์มาตรฐาน ได้แก่ TVB-N 15.23 mg/100 g และ TBARS 0.45 mg MDA/kg หลังเก็บรักษา 30 วัน อีกทั้งปริมาณจุลินทรีย์เป็นไปตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชน ฉบับที่ 314 ปี พ.ศ. 2553 หอยปรุงรส ตลอดจนการเก็บรักษาเป็นเวลา 30 วัน เนื่องจากมีการควบคุมกระบวนการผลิตให้ถูกสุขลักษณะในทุกขั้นตอนตามมาตรฐาน GMP นอกจากนี้ ผลิตภัณฑ์หอยแมลงภู่อบชีส เป็นผลิตภัณฑ์ที่ให้พลังงานสูงถึง 166.01 กิโลแคลอรี จัดเป็นอาหารที่ไม่ใช่พลังงานต่ำ ดังนั้นผู้บริโภคจึงควรบริโภคแต่น้อยและออกกำลังกายเพื่อสุขภาพที่ดี

ผลประโยชน์ทับซ้อน

ผู้เขียนขอประกาศว่าบทความนี้ไม่มีผลประโยชน์ทับซ้อน

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับทุนสนับสนุนจากคณะประมง คณะผู้วิจัยขอขอบคุณที่สนับสนุนทุนวิจัยในครั้งนี้รวมถึงคณาจารย์และเจ้าหน้าที่สถานีวิจัยเพื่อการพัฒนาชายฝั่งอันดามันที่อำนวยความสะดวกในการทำวิจัย

การมีส่วนร่วมในการเขียนบทความของผู้เขียน

ความคิดริเริ่ม และ สมมุติฐาน: รติวรรณ มีทอง. การปฏิบัติการวิจัย การมีส่วนร่วมในการออกแบบ การทดลอง การทดสอบ เครื่องมือวัด วิธีการเก็บข้อมูล และ criteria: จรรตกร รอดอยู่, ธนศ อินตัน, ภูดินทร์ ทองพร้อม ภาสกร กิ่งวัชรพงศ์, ทนง เอี้ยวศิริ. การจัดเก็บข้อมูล การวิเคราะห์ข้อมูล การแปลผล: รติวรรณ มีทอง, ทนง เอี้ยวศิริ. การวิพากษ์วิจารณ์ผล การแสดง การเปรียบเทียบกับข้อสรุปหรือองค์ความรู้ หรือทฤษฎีเดิมและการมีส่วนร่วมในการเขียนต้นฉบับบทความ: รติวรรณ มีทอง. การให้การสนับสนุนเครื่องมือ ห้องปฏิบัติการ และ ครุภัณฑ์: ทนง เอี้ยวศิริ.

เอกสารอ้างอิง

- AOAC International. (2000). *Official Methods of Analysis of AOAC International*. 17th Ed. AOAC International, USA.
- Bekhit, A. E. D., Giteru, S. G., Holman, B. W. B., & Hopkins, D. L. (2021a). Total volatile basic nitrogen and trimethylamine in muscle foods: potential formation pathways and effects on human health. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 20(4), 3620-3666. <https://doi.org/10.1111/1541-4337.12764>.
- Bekhit, A. E. D., Giteru, S. G., Holman, B. W. B., & Hopkins, D. L. (2021b). Total volatile basic nitrogen (TVB-N) and its role in meat spoilage: A review. *Trends in Food Science & Technology*, 109(1), 280-302. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2021.01.006>.
- Chanakot, B., Wichchukit, S., & Nakthong, S. (2022). Study on quality and shelf life of mozzarella cheese made in small scale enterprise. *Agricultural Science and Management*, 5(2), 28-37. (in Thai). <https://li02.tci-thaijo.org/index.php/JASM/article/view/137>.
- Codex Alimentarius Commission. (2003). *Guidelines for the Production, Processing, and Distribution of Seafood*. FAO/WHO.
- Cheng, J. H., Sun, D. W., Zeng, X. A., & Han, Z. (2014). Texture and structure measurements and analyses for evaluation of fish and fillet freshness quality: A review. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 13(1), 52-61. <https://doi.org/10.1111/1541-4337.12043>.
- Conway, E. J., & Byrne, A. (1933). An absorption apparatus for the micro-determination of certain volatile substances: The micro-determination of ammonia. *Biochemical Journal*, 27(2), 419-429. <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC1252897/>.
- De Roos, K. B. (2003). Effect of texture and microstructure on flavour retention and release. *International Dairy Journal*, 13(8), 593-605. [https://doi.org/10.1016/S0958-6946\(03\)00108-0](https://doi.org/10.1016/S0958-6946(03)00108-0).

- Di Monaco, R., Cavella, S., & Masi, P. (2008). Predicting sensory cohesiveness, hardness and springiness of solid foods from instrumental measurements. *Journal of Texture Studies*, 39(2), 129-149. <https://doi.org/10.1111/j.1745-4603.2008.00134.x>.
- Goulas, A. E., Chouliara, E., Nessi, E., Kontominas, M. G., & Savva, I. N. (2005). Microbiological, biochemical and sensory assessment of mussels (*Mytilus galloprovincialis*) stored under modified atmosphere packaging. *Journal of Applied Microbiology*, 98(3), 752-760. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2672.2004.02512.x>.
- IBM Corp. (2020). *IBM SPSS Statistics (Version 27) (Computer Software)*. <https://www.ibm.com/products/spss-statistics>.
- Ishiwatari, N., Fukuoka, M., & Sakai, N. (2013). Effect of protein denaturation degree on texture and water state of cooked meat. *Journal of Food Engineering*, 117(3), 361-369. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2013.03.013>.
- Kanpairo, K. (2023). Effect of cooking methods on quality and shelf life of ready-to-eat cooked betong chicken meat during refrigerated storage. *Ubon Ratchathani Journal of Science and Technology*, 25(3), 34-44. (in Thai). https://li01.tci-thaijo.org/index.php/sci_ubu/article/view/257778/177043.
- Kingwascharapong, P., Petsong, K., Karnjanapratum, S., & Pongsetkul, J. (2022). Development and characterization of Thai fish cake (Tod Mun Pla) fortified with sago palm weevil larvae (*Rhynchophorus ferrugineus*). *Current Applied Science and Technology*, 22(6), 1-10. <https://doi.org/10.55003/cast.2022.06.22.011>.
- Lohalagsanadet, S., & Kachenphakdee, N. (2011). Study on shelf life of seasoned fried soft shell crab products. *Journal of Fisheries Technology Research*, 5(2), 105-110. (in Thai).
- Lucey, J., Johnson, M., & Horne, D. (2003). Invited review: perspectives on the basis of the rheology and texture properties of cheese. *Journal of Dairy Science*, 86(9), 2725-2743. [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(03\)73869-7](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(03)73869-7).
- Ministry of Agriculture and Cooperatives. (2008). *Agricultural Commodity Standards ACFS 7018-2550*, pp. 2-9. National Bureau of Agricultural Commodity and Food Standards. (in Thai).
- Ministry of Public Health. (2018). *Ministry of Public Health Announcement no. 416 on Ready-to-eat Food, Pre-cooked Frozen Food that Must be heated before Consumption*. Food Division. (in Thai).
- Paredes, J., Cortizo-Lacalles, D., Miren Imaz, A., Aldazabal, J., & Vila, M. (2022). Application of texture analysis methods for the characterization of cultured meat. *Scientific Reports*, 12(1), 1-10. <https://doi.org/10.1038/s41598-022-07785-1>.
- Patel, A. R., & Dewettinck, K. (2016). Edible oil structuring: an overview and recent updates. *Food & Function*, 7(1), 20-29. <https://doi.org/10.1039/C5FO01006C>.
- Pearson, D. (1976). *The Chemical Analysis of Foods*. 7th Ed. Churchill Livingstone.
- Thai Industrial Standards Institute. (2010). *Community Product Standard: Ready-to-eat Seasoned Mollusks (TIS 314/2010)*. Ministry of Industry. (in Thai).
- Thanakrich. (2020). *Food and Beverage Shelf-life Extension Techniques: Appropriate and Consistent with Current Situation and Future Trends*. Retrieved from: <https://humanecology.stou.ac.th/blog/fbnutr5/>. (in Thai).
- U.S. Food and Drug Administration. (2022). *Water Activity (a_w) in Foods*. Food and Drug Administration.
- Wongwichian, C., Nounmusig, J., & Sungpud, J. (2019). Effects of vacuum packaging and low temperature storage on the quality of cooked blue swimming crab meat (*poranus pelagicus*). *Rajamangala University of Technology Srivijaya Research Journal*, 11(1), 1-17. <https://li01.tci-thaijo.org/index.php/rmutsvrj/article/view/178193/126742>. (in Thai).
- Yuangyai, W., Chansombon, C., Thanasrisutarat, A., & Pattaravivat, J. (2023). *Optimization of Process Conditions for Fried Salted Walking Catfish Stick (NIH Publication No. 64 1 0704 64078 02)*. Department of Fisheries. https://www4.fisheries.go.th/local/file_document/20230427102456_1_file.pdf. (in Thai).

ผลของโปรแกรมจำแนกแร่และโมเดลตัวอย่างแร่ประกอบหินต่อประสิทธิภาพการเรียนรู้ Effects of Classification Program and Model in Rock Forming Mineral on Learning Effectiveness

ปัญญิศา ตระกูลยิ่งเจริญ^{1*}, พิมพ์มาดา เจริญศิลป์², สันชัย ภู่งิน¹, เกวลิน ศรีจันทร์¹ และกนกกร สินมา¹
Punyisa Trakoonyingcharoen^{1*}, Pimmada Charoensilp², Sunchai Phungern¹, Kavalin Srichan¹ and Kanokkorn Sinma¹

Received date: 3 ก.ย. 68 Revised date: 19 ธ.ค. 68 Accepted date: 20 ธ.ค. 68

DOI: <https://doi.org/10.55003/kmaj.2026.268960>

บทคัดย่อ

การเรียนการสอนปฏิบัติการในการจำแนกแร่ประกอบหินเป็นเรื่องที่ค่อนข้างซับซ้อนในการสอนของอาจารย์หลายท่าน และผู้เรียนจำนวนมากไม่สามารถจำแนกแร่ได้เมื่อเรียนในวิชาอื่นที่ต้องอาศัยทักษะการจำแนกแร่ การพัฒนาสื่อการเรียนรู้ให้ผู้เรียนเข้าใจขั้นตอนการจำแนกแร่ด้วยการใช้เทคโนโลยีคอมพิวเตอร์ น่าจะช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการเรียนการสอนกับผู้เรียนยุคปัจจุบันได้ การวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อเปรียบเทียบความพึงพอใจและประสิทธิภาพการเรียนรู้ระหว่างวิธีการเรียนด้วยโปรแกรมจำแนกแร่ (Mineral Classification Program; MCP) และการใช้โมเดลตัวอย่างแร่ประกอบหิน (Mineral Model; MM) ในการเรียน ภาควิชาปฏิบัติการวิชาวิทยาศาสตร์ทางดินของนิสิตระดับปริญญาตรี สาขาวิชาเกษตรศาสตร์ กลุ่มตัวอย่างเป็นนิสิตจำนวน 85 คน แบ่งเป็นกลุ่ม MCP 39 คน และกลุ่ม MM 46 คน โดยจัดกลุ่มตัวอย่างตามหมู่เรียน ได้วิเคราะห์ความคิดเห็น 4 ด้าน คือ ด้านการจำแนกแร่ได้ถูกต้อง การจำแนกแร่ได้ง่าย ความพึงพอใจวิธีการเรียน ความมั่นใจในการจำแนกแร่เมื่อนำไปใช้ในอนาคต ด้วยการวิเคราะห์ค่า Chi-square (χ^2) และวิเคราะห์ความแปรปรวนร่วม (ANCOVA) ในการเปรียบเทียบผลสัมฤทธิ์การเรียนรู้ (คะแนนสอบ) ผลจากการวิเคราะห์พบว่าทั้งสองวิธีการเรียนทำให้ความคิดเห็นของผู้เรียนทั้ง 4 ด้าน ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P > 0.05$) แต่คะแนนสอบหลังเรียนจากการเรียนด้วย MCP มีคะแนนสอบสูงกว่าอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P = 0.031$) ดังนั้นการเรียนทั้งสองวิธีไม่มีความแตกต่างการรับรู้ของผู้เรียน แต่มีผลต่อผลสัมฤทธิ์การเรียนรู้

คำสำคัญ: การจำแนกแร่ประกอบหิน การสอนภาคปฏิบัติ ประสิทธิภาพการเรียนรู้ โปรแกรมจำแนกแร่ โมเดลตัวอย่างแร่

Abstract

Practical instruction in the classification of rock-forming minerals is often a complex task for many instructors, and numerous students struggle to classify minerals when applying this skill in subsequent courses. Developing learning media that utilize computer technology to guide students through the mineral classification process is expected to enhance instructional efficiency for current-generation learners. This research aimed to compare student satisfaction and learning effectiveness between two methods: the computer-based Mineral Classification Program (MCP) and Mineral Models (MM), used in a Soil Science laboratory for undergraduate students of Agriculture Program. The study employed a quasi-experimental design using intact groups of 85 students (MCP group, $n=39$; MM group, $n=46$). Four aspects of student perception (accuracy, ease of classification, satisfaction, and future confidence) were analyzed using the Chi-square test (χ^2) and learning achievement (post-test scores) was compared using Analysis of Covariance (ANCOVA). The analysis revealed no statistically significant differences in student perception across all four aspects between the two methods ($P > 0.05$). However, the ANCOVA results showed that the MCP group achieved significantly higher post-test scores than the MM group ($P = 0.031$). In conclusion, while the students' perception of both learning methods was comparable, the use of the computer-based MCP significantly enhanced their learning achievement.

¹ ภาควิชาปฐพีวิทยา คณะเกษตร กำแพงแสน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน นครปฐม 73140

² แขนงจิตวิทยาเชิงปริมาณ คณะจิตวิทยา จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย กรุงเทพฯ 10330

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

² Quantitative Psychology Area, Faculty of Psychology, Chulalongkorn University, Bangkok 10330

*Corresponding author: agrpyst@ku.ac.th

Keywords: rock-forming mineral classification, laboratory learning, learning effectiveness, mineral classification program, mineral model

คำนำ

ในการเรียนการสอนระดับปริญญาตรี หลักสูตรวิทยาศาสตร์บัณฑิต สาขาวิชาเกษตรศาสตร์ มีวิชาเฉพาะบังคับให้กับนิสิต ในหลักสูตรทุกคนต้องผ่านการเรียนวิชาวิทยาศาสตร์ทางดิน (02036261) และยังเป็นวิชาพื้นฐานในการเรียนต่ออีกหลายวิชาของ แขนงวิชาปฐพีวิทยา ในการเรียนภาคปฏิบัติการของหัวข้อองค์ประกอบดิน จำเป็นต้องจำแนกวัสดุการเกิดดินกลุ่มอนินทรีย์วัตถุซึ่งเป็นกลุ่มแร่ประกอบหินทั่วไปได้ การจำแนกแร่เหล่านี้ช่วยบ่งชี้สภาพแวดล้อมและสมบัติดินเบื้องต้นได้ เช่น การพบแร่แคลไซต์ แสดงถึงการมีสภาพอากาศแห้งแล้งนาน ดินมักตื้น มีธาตุแคลเซียมสูง pH สูง สภาพปฏิกิริยาดินเป็นด่าง (Safar and Whalen, 2023) หรือการพบแร่เหล็กฮีมาไทต์เด่น แสดงถึงการผุพังอย่างรุนแรงในสภาพที่มีการถ่ายเทอากาศดี ส่งผลให้ดินมักลึก เป็นกรด ปริมาณธาตุอาหารต่ำ การระบายน้ำดีมาก (Melo et al., 2020) การจำแนกแร่ได้ถูกต้อง ผู้เรียนจะสามารถอธิบายความเหมาะสมของดินหรือข้อจำกัดของดินต่อการผลิตและการจัดการดินเบื้องต้นได้ นอกจากผู้เรียนในหลักสูตรได้ประโยชน์แล้ว ผู้สนใจทั่วไป เช่น ด้านสิ่งแวดล้อม ป่าไม้ และด้านอื่นๆที่เกี่ยวข้องกับทรัพยากรดิน สามารถนำไปประยุกต์ใช้ได้เช่นกัน

การจำแนกชนิดแร่ประกอบหินใช้วิธีการจำแนกได้หลายวิธี ทั้งวิธีต่างๆในห้องปฏิบัติการ อาศัยอุปกรณ์ขนาดใหญ่ ราคาแพง ใช้เวลาการทดสอบนาน เช่น การใช้รังสีเลี้ยวเบนเอกซ์ การใช้กัมมันตรังสี หรือการใช้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด หรือวิธีตรวจวัดสมบัติทางกายภาพและเคมีของแร่ด้วยอุปกรณ์ง่ายๆ ราคาไม่แพง ใช้เวลาไม่นาน โดยใช้ลักษณะหรือสมบัติหลายประการในการชี้บ่งชนิดแร่ เช่น สีก้อนแร่ สีผง ความแข็งตามมาตราโมส์ (Mohs hardness scale) ความวาว รูปร่าง แนวแตกเรียบ การเป็นสารแม่เหล็ก การทำปฏิกิริยากับกรดเกลือเจือจาง ลักษณะหรือสมบัติเหล่านี้สามารถใช้จำแนกชนิดของแร่ได้ดีพอสมควร และเหมาะสมในการจำแนกแร่ในภาคสนาม (Soil Science Staff, 2025) ซึ่งการวินิจฉัยชนิดแร่จำเป็นต้องระบุลักษณะเฉพาะของแร่นั้นให้ได้มากกว่า 1 ลักษณะ จะทำให้มั่นใจว่าเป็นแร่นั้นจริงๆ เช่น แร่แคลไซต์ ส่วนใหญ่มีความวาวแบบแก้วแตก สีก้อนแร่สีขาว สีผงสีขาว ความแข็งตามมาตราโมส์เท่ากับ 3 แนวแตกเรียบไม่ตั้งฉากกัน 3 ทาง ทำปฏิกิริยากับกรดเกลือเจือจางเกิดฟองฟูของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ จึงเห็นได้ว่าผู้เรียนต้องทดสอบลักษณะต่างๆหลายอย่าง หากผู้สอนขาดประสบการณ์หรือไม่เข้าใจขั้นตอนการปฏิบัติอาจทำให้ผู้เรียนไม่แน่ใจขั้นตอนในการทดสอบแบบเป็นลำดับขั้น เพื่อระบุลักษณะเฉพาะของแร่นั้นๆ

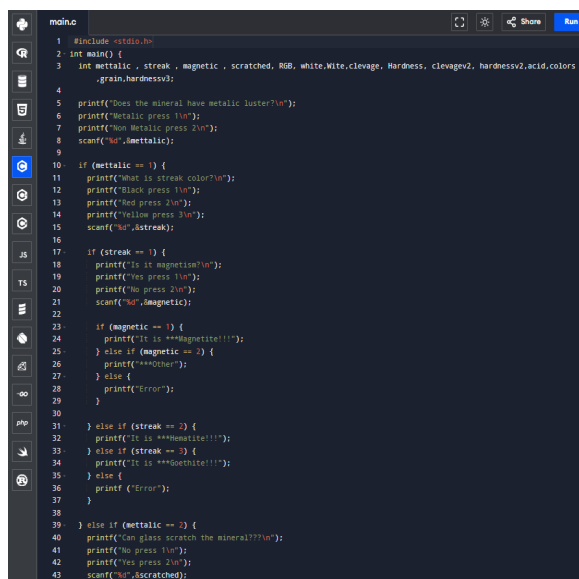
การสร้างชุดโปรแกรมคำสั่งการจำแนกแร่ประกอบหินจะสร้างขั้นตอนในการจำแนกอย่างเป็นลำดับ โดยผสมกับการใช้เทคโนโลยีของชุดคำสั่งอัลกอริทึมให้ตอบโต้กับนักศึกษาเพื่อให้ได้คำตอบว่าต้องใช้สมบัติอะไรบ้างในการทดสอบอย่างเป็นขั้นตอนจนได้คำตอบเป็นแร่ชนิดใด จะทำให้ผู้เรียนคุ้นเคยกับการเรียนรู้ที่ใช้งานได้จริง ตอบสนองต่อผลการทดลองของผู้เรียนทันที ช่วยให้การฝึกฝนการทดลอง และจดจำลักษณะเด่นๆของแร่ได้ง่าย สามารถพัฒนาผู้เรียนให้มีคุณภาพ สอดคล้องกับยุทธศาสตร์ชาติ พ.ศ. 2561 - 2580 (Office of the Secretary of the National Strategy Committee, 2019)

ปัจจุบันมีงานวิจัยชี้ให้เห็นว่าการใช้สื่อการสอนที่พัฒนาด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ (Computer-Based Instruction; CBI) ให้ผลลัพธ์ที่ดีและมีประสิทธิภาพมากกว่าวิธีการสอนแบบเดิมที่ไม่ได้ใช้เทคโนโลยีคอมพิวเตอร์ จากงานวิจัยของ Kulik and Kulik (1991) ได้วิเคราะห์ข้อมูลย้อนหลังของผลการประเมินจาก 254 บทความ แสดงให้เห็นว่าแม้ต่างผู้สอนแต่การเรียนการสอนโดยใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์ มักส่งผลดีต่อนักเรียนทั้งในชั้นเรียนทดลองและชั้นเรียนควบคุม สามารถทำให้ทัศนคติของนักเรียนต่อการสอนและคอมพิวเตอร์เปลี่ยนแปลงไปในทางบวก และลดระยะเวลาสำหรับการสอนเรื่องยากๆได้มาก มีประสิทธิภาพในการเพิ่มผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนโดยเฉลี่ยทุกระดับชั้น Mo et al. (2015) พบว่าเทคโนโลยีคอมพิวเตอร์มีผลกระทบเชิงบวกและมีนัยสำคัญต่อผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนของนักเรียนทั้งด้านคณิตศาสตร์และภาษาจีน Al-Awaysheh et al. (2024) ศึกษาเกี่ยวกับพนักงานใหม่จำนวน 128 คน ให้เรียนรู้การสื่อสารภายในทีมงาน โดยแบ่งกลุ่มเรียนผ่านคอมพิวเตอร์ และกลุ่มเรียนแบบ face to face โดยพนักงานทั้งหมดได้ทดสอบพื้นฐานความรู้ก่อนเริ่มเรียนพบว่าไม่มีความแตกต่างกัน และเมื่อทดสอบหลังเรียนพบว่ากลุ่มเรียนผ่านคอมพิวเตอร์ทำคะแนนได้ดีกว่ากลุ่มเรียนแบบต่อหน้าเล็กน้อย นอกจากนี้ผลดีต่อคะแนนการเรียน การเรียนผ่านเทคโนโลยีคอมพิวเตอร์ยังสามารถช่วยเพิ่มความรู้ ทักษะ และพฤติกรรมของบุคลากรได้ด้วย (Hussein et al., 2021) และช่วยประหยัดทรัพยากรบุคคลในการสอนได้มาก จึงมีแนวคิดในการเปรียบเทียบประสิทธิภาพการเรียนรู้ระหว่างวิธีการสอนโดยใช้โปรแกรมจำแนกซึ่งเสมือนเป็นการสอนแบบใหม่ที่สอดคล้องกับวิถีชีวิตผู้เรียนรุ่นใหม่ กับการใช้โมเดลตัวอย่างแร่ประกอบหินซึ่งเป็นวิธีการสอนที่ใช้ในปัจจุบัน

วิธีการศึกษา

การศึกษานี้ได้สอบถามความคิดเห็นจากผู้เรียนปฏิบัติการวิชาวิทยาศาสตร์ทางดินจำนวน 85 คน จากผู้เรียนจำนวน 6 หมู่เรียน โดยแต่ละหมู่เรียนมีจำนวนผู้เรียนไม่เท่ากัน ได้ทำการสุ่มหมู่เรียนจำนวน 3 หมู่เรียน เป็นผู้เรียนด้วยการใช้โปรแกรมการจำแนกแร่ 39 คน (Mineral Classification Program; MCP) และอีก 3 หมู่เรียนเป็นผู้เรียนด้วยโมเดลตัวอย่างแร่ 46 คน (Mineral Model; MM) ผู้เรียนทั้งสองวิธีจะได้รับตัวอย่างแร่ประกอบหินที่พบได้ทั่วไป จำนวน 6 ชนิด ได้แก่ แร่แคลไซต์ ควอตซ์ แมกนีไทต์ ไมกา เฟลด์สปาร์ และยิปซัม และอุปกรณ์ที่ใช้ทดสอบสมบัติกายภาพและเคมีของแร่จากห้องปฏิบัติการ ตัวอย่างเช่น ตะไบ กระจก กรดเกลือเจือจาง และแม่เหล็ก ผู้เรียนด้วยโปรแกรมจำแนกแร่จะได้รับ QR code เพื่อเข้าโปรแกรมซึ่งเป็นภาษาอังกฤษ พร้อมกับไฟล์คู่มือการใช้โปรแกรมเป็นภาษาไทย โดยผู้เรียนสามารถเปิดโปรแกรมผ่านทางโทรศัพท์มือถือหรือโน้ตบุ๊กได้ สำหรับผู้เรียนด้วยโมเดลตัวอย่างแร่จะได้รับแผ่น chart ของตัวอย่างแร่ เพื่อใช้เปรียบเทียบกับลักษณะภายนอกกับแร่ที่ได้รับจากห้องปฏิบัติการ

ในการออกแบบโปรแกรมจำแนกแร่ ได้ใช้สมบัติกายภาพและเคมีของแร่หลายลักษณะ ซึ่งค่อนข้างจำเพาะกับแร่แต่ละชนิด โดยโปรแกรมใช้การเขียนโค้ดภาษา C แบ่งโมดูลเพื่อคอมไพล์และลิงก์เชื่อมโยงเข้าด้วยกันได้ Figure 1a แสดงโค้ดเขียนคำสั่งในหน้า main.c สำหรับหน้า output โปรแกรมจะถามสมบัติทางกายภาพและเคมีของแร่ทีละลักษณะ (Figure 1b) โดยคำถามจะเรียงลำดับจากลักษณะทั่วไปของแร่จนถึงลักษณะเฉพาะเจาะจงตามลำดับขั้นที่ต่อเนื่องกัน ขั้นตอนการทำงานของโปรแกรมคือเมื่อผู้เรียนเข้าโปรแกรมได้แล้ว ให้กด “run” โปรแกรมจะตั้งคำถามให้ผู้เรียนตอบคำถามที่ได้จากผลการทดสอบสมบัติแร่ตามที่โปรแกรมถามทีละข้อ เมื่อผู้เรียนทำการทดสอบสมบัติของแร่ตามโปรแกรมจำแนกแร่ทีละสมบัติและตอบคำถามถูกจนครบสมบัติของแร่นั้นๆ โปรแกรมจะ feedback ผู้เรียนทราบชนิดแร่ทันที (Figure 1c) หากโปรแกรมไม่สามารถระบุชนิดแร่ได้แสดงว่าผู้เรียนมีการตรวจวัดสมบัติผิดพลาด หรือพิมพ์คำตอบพลาด โปรแกรมจะไม่ให้ชื่อแร่ใดๆ และขึ้นคำว่า === Code Execution Successful === ผู้เรียนต้องทำการตรวจสอบสมบัติแร่และเริ่มตอบคำถามใหม่ จนได้คำตอบชื่อแร่

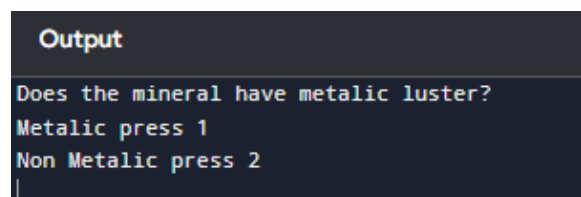


```

1 #include <stdio.h>
2 int main() {
3     int metallic, streak, magnetic, scratched, RGB, white, Wite, cleavage, Hardness, cleavage2, hardness2, acid, colors,
4     .grain, hardness3;
5     printf("Does the mineral have metallic luster?\n");
6     printf("Metallic press 1\n");
7     printf("Non Metallic press 2\n");
8     scanf("%d", &metallic);
9
10    if (metallic == 1) {
11        printf("What is streak color?\n");
12        printf("Black press 1\n");
13        printf("Red press 2\n");
14        printf("Yellow press 3\n");
15        scanf("%d", &streak);
16
17        if (streak == 1) {
18            printf("Is it magnetite?\n");
19            printf("Yes press 1\n");
20            printf("No press 2\n");
21            scanf("%d", &magnetic);
22
23            if (magnetic == 1) {
24                printf("It is ***Magnetite!!!\n");
25            } else if (magnetic == 2) {
26                printf("Other\n");
27            } else {
28                printf("Error\n");
29            }
30
31        } else if (streak == 2) {
32            printf("It is ***Magnetite!!!\n");
33        } else if (streak == 3) {
34            printf("It is ***Goethite!!!\n");
35        } else {
36            printf("Error\n");
37        }
38
39    } else if (metallic == 2) {
40        printf("Can glass scratch the mineral?\n");
41        printf("Yes press 1\n");
42        printf("No press 2\n");
43        scanf("%d", &scratched);

```

a) The programming code used for mineral classification

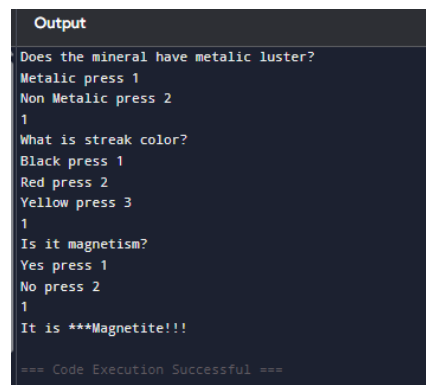


```

Output
Does the mineral have metallic luster?
Metallic press 1
Non Metallic press 2

```

b) The output page displaying the commands generated by the program



```

Output
Does the mineral have metallic luster?
Metallic press 1
Non Metallic press 2
1
What is streak color?
Black press 1
Red press 2
Yellow press 3
1
Is it magnetism?
Yes press 1
No press 2
1
It is ***Magnetite!!!

=== Code Execution Successful ===

```

c) The output page presents the correct mineral name.

Figure 1 The workflow of the program consists of: a) the programming code used for mineral classification, b) and c) the output pages generated by the program

สำหรับวิธีการสอนด้วยโมเดลตัวอย่างแร่ ผู้เรียนนำตัวอย่างที่รับจากห้องปฏิบัติการเปรียบเทียบกับความเหมือนของลักษณะภายนอกใกล้เคียงกับแร่ใดใน chart โมเดลตัวอย่างแร่ซึ่งผู้เรียนจะสังเกตได้เพียงลักษณะภายนอก ดัง Figure 2 หากลักษณะ

ภายนอก เช่น สีก้อนแร่ แนวแตกเรียบ เหมือนกับแร่ชนิดใดให้บันทึกชื่อแร่ นั้น จากนั้นให้ศึกษาสมบัติเฉพาะตัวของแร่ นั้นในหนังสือเรียนปฏิบัติการด้วยแผนภูมิการจำแนกแร่ที่ใช้ลักษณะต่างๆของแร่ ดัง Figure 3 เมื่อทดสอบลักษณะหรือสมบัติเฉพาะตัวของแร่ด้านอื่นตามแผนภูมิการจำแนกแร่ เช่น สีผง ความแข็ง การดูดแม่เหล็ก การทำปฏิกิริยากับกรดเจือจาง หากสมบัติที่ทดสอบไม่สอดคล้องกับแร่ที่บันทึก แสดงว่าไม่ใช่ชนิดแร่ที่ถูกต้อง ให้นำไปเปรียบเทียบกับ chart โมเดลตัวอย่างแร่อีกครั้งว่าใกล้เคียงกับแร่ใด และทดสอบสมบัติเฉพาะตัวของแร่ที่คาดการณ์ไว้ตามแผนภูมิในหนังสือปฏิบัติการ หากสมบัติเฉพาะตัวที่ทดสอบตรงกับแร่ที่คาดการณ์นั้นทุกประการจะเป็นชื่อแร่ที่ถูกต้อง



Figure 2 chart โมเดลตัวอย่างแร่ที่ใช้ในการสอนจำแนกแร่ประกอบหิน

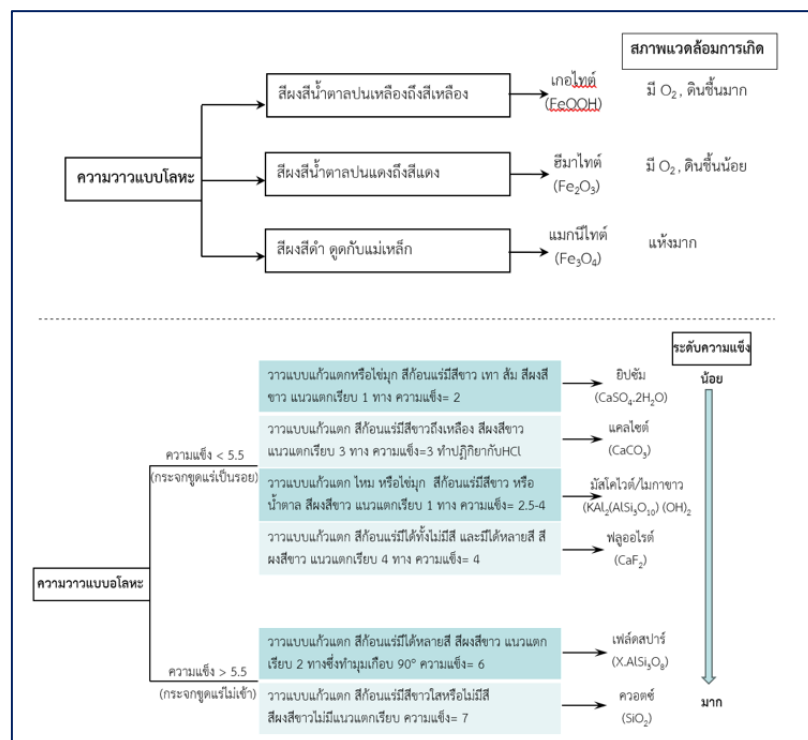


Figure 3 แผนภูมิการจำแนกแร่ที่แสดงในหนังสือปฏิบัติการ (Soil Science Staff, 2025)

วิธีการประเมินประสิทธิภาพการเรียนรู้จากการเรียนด้วยโปรแกรมจำแนกแร่และจากโมเดลตัวอย่างแร่

1. แบบสอบถาม จากวิธีการเรียนทั้ง 2 วิธี ด้วยคำถามต่อไปนี้
 - 1.1 ทำให้จำแนกแร่ได้ถูกต้อง (Correctly mineral classification)
 - 1.2 ทำให้จำแนกแร่ได้ง่าย (Easily mineral classification)
 - 1.3 ความพึงพอใจต่อวิธีการสอน (Students' satisfaction) โดยคำถามข้อ 1.1-1.3 ประเมินเป็นระดับคะแนน 1-5 คะแนน 1 (ไม่เห็นด้วยอย่างยิ่ง) จนถึง 5 (เห็นด้วยอย่างยิ่ง)
 - 1.4 ระดับความมั่นใจในการจำแนกแร่ในอนาคตด้วยวิธีการเรียนที่ได้รับ (Confidence levels in mineral classification) ประเมินเป็นระดับ มั่นใจจำแนกแร่ได้ (Yes = 5 คะแนน) ไม่แน่ใจ (Not sure = 3 คะแนน) จำแนกไม่ได้ (No = 1 คะแนน) แล้วคำนวณเป็นร้อยละของคะแนนจากจำนวนผู้เลือกแต่ละระดับ
2. ผลคะแนนสอบก่อนและหลังเรียนปฏิบัติการ ด้วยข้อสอบชุดเดียวกัน
3. วิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติด้วยโปรแกรม SPSS Statistics 21 software (IBM Corp., 2012) เพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพการเรียนรู้จากระดับความเห็นของผู้เรียน ด้วยการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรเชิงกลุ่มระหว่างวิธีการสอนและการกระจายของคะแนน (rating) ด้วยการวิเคราะห์ค่า Chi-square (χ^2) สำหรับคะแนนสอบก่อนและหลังเรียน วิเคราะห์ความแปรปรวนร่วม (ANCOVA) โดยใช้คะแนนก่อนสอบเป็นตัวแปรร่วมที่ถูกควบคุม (covariate) และเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยความแตกต่างรายคู่ด้วยวิธี Least Significance Difference (LSD) ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05

ผลการศึกษาและวิจารณ์

ข้อมูลทั่วไปของผู้ตอบแบบสอบถามกำลังศึกษาระดับปริญญาตรีปี 2 จำนวน 81 คน ปี 4 จำนวน 2 คน และปี 5 จำนวน 2 คน ทั้งหมดศึกษาหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาเกษตรศาสตร์ เพศชาย 38 คน เพศหญิง 46 คน ไม่ระบุเพศ 1 คน ผู้เรียนส่วนใหญ่มีเกรดเฉลี่ย 2.00-2.49 และ 2.50-2.99 จำนวนอย่างละ 31 คน เกือบทั้งหมดไม่เคยเรียนการจำแนกแร่ภาคปฏิบัติการ ดังแสดงรายละเอียดใน Table 1

Table 1 General characteristics of the 85 survey respondents

Characteristics		Total n= 85	MCP n=39	MM n=46
Year level	2	81 (95.3 %)	37 (94.9 %)	44 (95.7 %)
	> 2	4 (4.70 %)	2 (5.10 %)	2 (4.30 %)
	<2.00	6 (7.1 %)	3 (7.7 %)	3 (6.5 %)
GPA	>3.50	6 (7.1 %)	4 (10.3 %)	2 (4.3 %)
	2.00-2.49	31 (36.5 %)	13 (33.3 %)	18 (39.1 %)
	2.50-2.99	31 (36.5 %)	14 (35.9 %)	17 (37.0 %)
	3.00-3.49	11 (12.9 %)	5 (12.8 %)	6 (13.0 %)
studied mineral classification	yes	4 (4.7 %)	2 (5.1 %)	2 (4.3 %)
	no	81 (95.3 %)	37 (94.9 %)	44 (95.7 %)

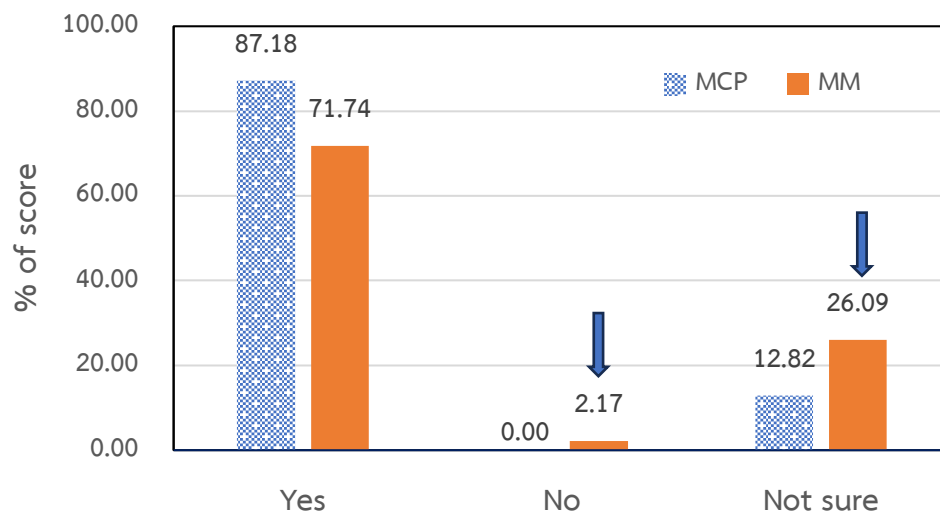
การเรียนทั้งสองวิธีทำให้ค่าเฉลี่ยความเห็นในการทำให้ผู้เรียนจำแนกแร่ได้ถูกต้อง โปรแกรม/โมเดลใช้จำแนกแร่ได้ง่าย ความพึงพอใจต่อวิธีการเรียน และความมั่นใจในการนำวิธีเรียนไปใช้จำแนกแร่ในอนาคตไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($P > 0.05$) แสดงใน Table 2 ผู้เรียนอาจมองว่าทั้งสองวิธีการสอนมีความเหมาะสมและตอบสนองต่อการเรียนรู้ของตนเองอยู่แล้ว จึงประเมินการรับรู้ทุกด้านใกล้เคียงกัน อย่างไรก็ตามแม้ว่าผลทางสถิติไม่ต่างกันแต่เมื่อพิจารณาข้อมูลดิบพบว่าผู้เรียนวิธีโมเดลตัวอย่างแร่จำนวนหนึ่งไม่มั่นใจในการจำแนกแร่ได้ถูกต้องและคิดว่าไม่สามารถจำแนกแร่ได้ในอนาคต (Figure 4) ผู้เรียนกลุ่มนี้จำเป็นต้องได้รับการพิจารณาการเรียนเฉพาะบุคคล เพื่อให้มีความมั่นใจในการจำแนกแร่ได้ถูกต้อง

Table 2 Student's response on their perception of MCP (n = 39) and MM (n = 46) learning methods

Students' response	Correctly	Easily	Satisfaction	Confidence
χ^2	1.40	0.16	5.31	4.51
P value	0.844	0.997	0.257	0.341

ผู้เรียนวิธี MCP มีข้อเสนอแนะว่าอุปสรรคสำคัญของผู้เรียนคือ คำสั่งโปรแกรมเป็นภาษาอังกฤษ ถึงแม้จะมีคู่มือภาษาไทยช่วย แต่ผู้เรียนยังรู้สึกยาก ไม่ง่ายในการเรียนรู้ ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Suwannatrai et al. (2022) พบว่านักศึกษาไทยส่วนมากมีปัญหาทักษะภาษาอังกฤษขั้นพื้นฐาน และประกอบกับเมื่อรู้สึกว่ายากผู้เรียนจะลดความพยายามลง (Duchesne et al., 2021) ขณะที่ผู้เรียนวิธี MM ไม่มีข้อเสนอแนะใดๆ

สำหรับคะแนนการสอบจากการเรียนทั้งสองวิธี (Table 3) พบว่าคะแนนสอบก่อนเรียนไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติระหว่างวิธีการสอน ($P = 0.717$) เมื่อกำหนดให้คะแนนก่อนสอบเป็นตัวแปรร่วมที่ถูกควบคุม พบว่าคะแนนสอบหลังเรียนมีคะแนนสูงขึ้นจากก่อนสอบ และมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ $P = 0.031$ โดยการเรียนรู้ด้วยโปรแกรมจำแนกแร่ทำให้ผู้เรียนมีคะแนนสอบหลังเรียนสูงกว่า ทั้งที่ก่อนเรียนมีคะแนนไม่แตกต่างกันทางสถิติ สอดคล้องกับผลวิจัยของ Al-Awaysheh et al. (2024); Kulik and Kulik (1991) พบว่าการใช้สื่อการสอนที่พัฒนาด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ ให้ผลลัพธ์ที่ดีและมีประสิทธิภาพมากกว่าวิธีการสอนแบบเดิมซึ่งใช้วิธี face to face ข้อดีของโปรแกรมจำแนกแร่ในการให้ feedback ทันทีไม่ต้องรอสอบถามหรือไม่ต้องรอผลจากการตรวจของผู้สอน ช่วยให้นักเรียนรู้ข้อผิดพลาดของตนเองทันที เกิดการเรียนรู้แบบ active (Taxipulati and Lu, 2021) สอดคล้องกับ Fyfe and Rittle-Johnson (2016) พบว่าเด็กที่ได้รับการตอบรับทันทีมีคะแนนสอบหลังเรียนสูงกว่ากลุ่มควบคุมอย่างมีนัยสำคัญ แม้ผู้เรียนเป็นกลุ่มที่มีพื้นฐานความรู้น้อย ซึ่งการให้ feedback แบบทันทีด้วยการสอนแบบ face to face ในห้องที่มีผู้เรียนจำนวนมากอาจจะไม่ทั่วถึงหรือไม่ทันเวลา จึงเป็นข้อจำกัดของวิธีการเรียนด้วยโมเดลตัวอย่างแร่ เพราะผู้เรียนต้องรอพบผู้สอนให้แจ้งผลลัพธ์การจำแนก

**Figure 4** Confidence levels in mineral classification: MCP (n = 39), MM (n = 46)**Table 3** Mean score of Pre-test and Post-test for MCP and MM

Method	Pre-test		Post-test	
	x	SD	x	SD
MCP	58.97	18.89	89.23 ^a	15.79
MM	57.39	20.91	81.74 ^b	15.10
P value	0.717		0.031*	

X = adjusted mean; SD = standard deviation; * = statistically significant at 5% level

การใช้โปรแกรมจำแนกแรงแปเป็นการเรียนด้วยเทคโนโลยีคอมพิวเตอร์เป็นเครื่องมือหลักในการเรียนการสอน ซึ่งเทคโนโลยีดังกล่าวได้รับการพิสูจน์แล้วว่าสนับสนุนการสอนให้ผู้เรียนเข้าใจมากขึ้น มีผลต่อพฤติกรรมความรู้ ความคิด และสติปัญญา (cognitive domain) ดังแสดงให้เห็นจากงานวิจัยจำนวนมาก (Mo et al., 2015; Tikoo and Gupta, 2017; Hussein et al., 2021; Al-Awaysheh et al., 2024) การออกแบบให้ผู้เรียนทดลองอย่างเป็นลำดับขั้นตอนและให้ทดลองซ้ำเมื่อหาคำตอบไม่ได้ ผู้เรียนจะมีโอกาสทวนขั้นตอนในการทดลอง ทำให้ผู้เรียนเข้าใจขั้นตอนการปฏิบัติอย่างลึกซึ้งและจดจำได้ นำไปสู่ผลสัมฤทธิ์ด้านคะแนนสอบ

สรุปผลการศึกษา

ผลการวิจัยพบว่าประสิทธิภาพการเรียนการจำแนกแรงแปประกอบขึ้นระหว่างวิธีเรียนด้วยการใช้โปรแกรมการจำแนกแรงแปและการใช้โมเดลตัวอย่างแรงแปไม่มีความแตกต่างทางสถิติในด้านการทำให้ผู้เรียนจำแนกแรงแปได้ถูกต้อง การจำแนกแรงแปได้ง่าย ความพึงพอใจวิธีการสอน ความมั่นใจในการจำแนกแรงแปเมื่อนำไปใช้ทำงานจริงและคะแนนสอบก่อนเรียน แต่พบว่ากลุ่มผู้เรียนด้วยการใช้โปรแกรมการจำแนกแรงแปมีคะแนนสอบหลังเรียนสูงกว่าการเรียนด้วยโมเดลตัวอย่างแรงแปอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ แต่การสอนด้วยโปรแกรมการจำแนกแรงแปใช้ภาษาอังกฤษในการเรียน ซึ่งเป็นข้อจำกัดสำคัญ จำเป็นต้องพัฒนาทักษะภาษาอังกฤษเบื้องต้นแก่ผู้เรียนในอนาคตผู้สอนจำเป็นต้องพัฒนาวิธีการสอนใหม่ ๆ ให้เหมาะสมกับผู้เรียน เพื่อให้บรรลุผลลัพธ์การเรียนรู้และให้ผู้เรียนนำไปใช้ได้จริง

ผลประโยชน์ทับซ้อน

ผู้เขียนขอประกาศว่าบทความนี้ไม่มีผลประโยชน์ทับซ้อน

การมีส่วนร่วมในการเขียนบทความของผู้เขียน

ความคิดริเริ่ม สมมติฐาน: ปญญิตา ตระกูลยิ่งเจริญ. วิธีการเก็บข้อมูล การจัดเก็บข้อมูล การวิเคราะห์ข้อมูล การแปลผล: พิมพ์มาดา เจริญศิลป์, สัญชัย ภู่อเงิน, เกวลิน ศรีจันทร์ และกนกกร สีนมา. การสรุปผล การวิพากษ์วิจารณ์ผล การแสดงการเปรียบเทียบข้อสรุป: ปญญิตา ตระกูลยิ่งเจริญ, พิมพ์มาดา เจริญศิลป์. การมีส่วนร่วมในการเขียนต้นฉบับบทความ: ปญญิตา ตระกูลยิ่งเจริญ.

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณทุนสนับสนุนการวิจัยจากบริษัทวังกรุป จำกัด และขอขอบคุณ คุณภูติพิท สังขศิลา ในการช่วยให้คำแนะนำการพัฒนาโปรแกรม, คุณสุนิตา สังข์ทอง ในการช่วยรวบรวมแบบสอบถาม

เอกสารอ้างอิง

- Al-Awaysheh, H., AlRuzzeih, M., & Alloubani, A. (2024). Comparing the effectiveness of computer-based teaching versus face-to-face teaching of clinically related courses among newly hired oncology nurses. *Educación Médica*, 25(3), 100894. <https://doi.org/10.1016/j.edumed.2024.100894>.
- Duchesne, S., McMaugh, A., & Mackenzie, E. (2021). *Educational Psychology for Learning and Teaching*. 7th Ed Cengage Learning.
- Fyfe, E. R., & Rittle-Johnson, B. (2016). The benefits of computer-generated feedback for mathematics problem solving. *Journal of Experimental Child Psychology*, 147(1), 140-151. <https://doi.org/10.1016/j.jecp.2016.03.009>.
- Hussein, R., Lin, E. C. J., & Grindrod, K. (2021). Effects of computer-based education on health professionals' knowledge, skills, and behavior: A scoping review. *Journal of the American Pharmacists Association*, 61(3), e44-e68. <https://doi.org/10.1016/j.japh.2021.01.036>.
- IBM Corp. (2012). *IBM SPSS Statistics for Windows, Version 21.0*. Retrieved from: <https://www.ibm.com/support/pages/spss-statistics-210-available-download>.
- Kulik, C. L. C., & Kulik, J. A. (1991). Effectiveness of computer-based instruction: An updated analysis. *Computers in Human Behavior*, 7(1-2), 75-94. [https://doi.org/10.1016/0747-5632\(91\)90030-5](https://doi.org/10.1016/0747-5632(91)90030-5).
- Melo, V. F., Oliveira, Jr J. C. d., Batista, A. H., Cherobim, V. F., & Favaretto, N. (2020). Goethite and hematite in bichromic soil profiles of southern Brazil: Xanthization or yellowing process. *Catena*, 188(1), 104445. <https://doi.org/10.1016/j.catena.2019.104445>.

- Mo, D., Huang, W., Shi, Y., Zhang, L., Boswell, M., & Rozelle, S. (2015). Computer technology in education: Evidence from a pooled study of computer assisted learning programs among rural students in China. *China Economic Review*, 36(1), 131-145. <https://doi.org/10.1016/j.chieco.2015.09.001>.
- Office of the Secretary of the National Strategy Committee. (2019). **National Strategy 2018 – 2037**. Research and Development Group, Public Relations Policy and Planning Development Office. (in Thai).
- Safar, F., & Whalen, J. K. (2023). Sodium-rich water containing calcite can stabilize soil macroaggregates in arid regions. *Soil and Tillage Research*, 232(1), 105775. <https://doi.org/10.1016/j.still.2023.105775>.
- Soil Science Staff. (2025). **Soil Science Laboratory**. Soil Science department, Kasetsart University. (in Thai).
- Suwannatrai, L., Thumawongsa, N., & Chumpavan, S. (2022). English instruction difficulties perceived by teachers in English as foreign language (EFL) classrooms at the University Level in Thailand. *Rajapark Journal*, 16(47), 23-38.
- Taxipulati, S., & Lu, H. D. (2021). The influence of feedback content and feedback time on multimedia learning achievement of college students and its mechanism. *Frontiers in Psychology*, 12(1), 706821. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2021.706821>.
- Tikoo, D., & Gupta, M. (2017). Student's perception and experience of computer assisted learning as a teaching method in experimental pharmacology. *International Journal of Basic & Clinical Pharmacology*, 4(6), 1168-1174. <https://doi.org/10.18203/2319-2003.ijbcp20151352>.

การถ่ายทอดทางพันธุกรรมของลักษณะการเจริญเติบโตของลำต้นและสีเปลือกหุ้มเมล็ดในคู่ผสมระหว่าง ถั่วฝักยาวกับถั่วพุ่ม

Genetic Inheritance of Plant Growth Habit and Seed Coat Color in Crosses between Yardlong Bean (*Vigna unguiculata* ssp. *sesquipedalis*) and Cowpea (*Vigna unguiculata*)

อาทิตย์ นันทวงศ์¹, แสงเดือน อินชนบท¹, เทตศักดิ์ โทณลักษณ์²,
ทวีป เสนคำวงศ์¹ และสุเทพ วัชรเวชศฤงคาร^{1*}

Arthit Nantawong¹, Sangduan Inchonbot¹, Therdsak Thonnalak²,
Thaveep Senkhamwong¹ and Suthep Watcharawetsaringkharn^{1*}

Received date: 12 ก.ย. 68 Revised date: 17 ธ.ค. 68 Accepted date: 20 ธ.ค. 68

DOI: <https://doi.org/10.55003/kmaj.2026.269076>

บทคัดย่อ

พันธุ์ถั่วฝักยาวพันธุ์พุ่มในปัจจุบันมีจำนวนน้อย และมีบางลักษณะที่ยังไม่เป็นที่ต้องการของตลาดและผู้บริโภค งานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาการถ่ายทอดทางพันธุกรรมของลักษณะการเจริญเติบโตของลำต้นและสีเปลือกหุ้มเมล็ด เพื่อเป็นพื้นฐานสำหรับการคัดเลือกสายพันธุ์ถั่วฝักยาวพันธุ์พุ่มให้ได้ผลผลิต และคุณภาพฝักตามความต้องการของตลาด ทำการศึกษาในคู่ผสมระหว่างถั่วฝักยาวใช้เป็นสายพันธุ์แม่ กับถั่วพุ่มใช้เป็นสายพันธุ์พ่อ จำนวน 3 คู่ผสม ได้แก่ YSd16×Ysd01, YSd07×Ysd08 และ YSd46×Ysd01 และใช้หลักการทดสอบทางสถิติไคสแควร์ (χ^2) สำหรับทดสอบสมมติฐานค่าการกระจายตัวในชั่วต่าง ๆ ได้แก่ แม่ (P_1), พ่อ (P_2), ลูกชั่วที่ 1 (F_1), ลูกชั่วที่ 2 (F_2), ลูกผสมกลับหาแม่ (BCP₁) และลูกผสมกลับหาพ่อ (BCP₂) ผลการศึกษาการถ่ายทอดลักษณะเดี่ยว (monohybrid cross) ในลูกชั่วที่ 2 (F_2) พบว่าลักษณะการเจริญเติบโตของลำต้นมีการกระจายตัวในอัตราส่วน 3:1 (เลื้อย : พุ่ม) และลักษณะสีเปลือกหุ้มเมล็ดมีการกระจายตัวในอัตราส่วน 3:1 (สีดำ : สีน้ำตาล) แสดงว่าถูกควบคุมโดยยีนหนึ่งตำแหน่ง เช่นเดียวกับลักษณะการเจริญเติบโตของลำต้น ซึ่งเป็นไปตามกฎข้อที่ 1 ของเมนเดล นอกจากนี้ ทำการศึกษาการถ่ายทอดทางพันธุกรรม 2 ลักษณะพร้อมกัน (dihybrid cross) พบว่ามีการกระจายตัวของลักษณะการเจริญเติบโตของลำต้นและสีเปลือกหุ้มเมล็ด เท่ากับ 9 ลำต้นแบบเลื้อย - เปลือกหุ้มเมล็ดสีดำ : 3 ลำต้นแบบเลื้อย - เปลือกหุ้มเมล็ดสีน้ำตาล : 3 ลำต้นแบบพุ่ม - เปลือกหุ้มเมล็ดสีดำ : 1 ลำต้นแบบพุ่ม - เปลือกหุ้มเมล็ดสีน้ำตาล เป็นไปตามอัตราส่วนทางทฤษฎี แสดงให้เห็นว่าลักษณะทั้งสองถูกควบคุมโดยยีนที่ตั้งอยู่บนโครโมโซมต่างคู่ และมีการถ่ายทอดเป็นอิสระต่อกัน ซึ่งเป็นไปตามกฎข้อที่ 2 ของเมนเดล ผลการศึกษานี้เป็นข้อมูลพื้นฐานสำคัญสำหรับการคัดเลือกและปรับปรุงพันธุ์ถั่วฝักยาวพันธุ์พุ่มที่มีลักษณะการเจริญเติบโตและคุณภาพเมล็ดตรงตามความต้องการของตลาด

คำสำคัญ: กฎของเมนเดล การกระจายตัว ถั่วฝักยาว ถั่วพุ่ม ไคสแควร์

Abstract

Nowadays, determinate-type yardlong bean cultivars are limited in number and still exhibit some traits that do not meet market demand and consumer preference. The objective of this study was to investigate the genetic inheritance of plant growth habit and seed coat color as a foundation for selecting determinate-type yardlong bean lines with improved yield and pod quality that meet market demand. Three crosses were conducted using yardlong bean as the female parent and cowpea as the male parent, namely YSd16×Ysd01, YSd07×Ysd08, and YSd46×Ysd01. Segregating populations including P_1 , P_2 , F_1 , F_2 , BCP₁, and BCP₂ were analyzed using the chi-square (χ^2) tests to verify the expected segregation ratios. The outcomes showed that for plant growth habit, segregation was observed in the ratio of 3 indeterminate : 1 determinate, while seed coat color segregated in a 3 black : 1 brown ratio. These results indicate that both plant growth habit and seed coat color are controlled by a single dominant gene, with segregation in the F_2 generation in accordance with Mendel's First Law. Furthermore, the dihybrid cross analysis of both traits revealed segregation in a 9 indeterminate-black

¹ สาขาพืชผัก คณะผลิตกรรมการเกษตร มหาวิทยาลัยแม่โจ้ จังหวัดเชียงใหม่ 50290

² สาขาวิชาวิทยาการสมุนไพร คณะผลิตกรรมการเกษตร มหาวิทยาลัยแม่โจ้ จังหวัดเชียงใหม่ 50290

¹ Division of Vegetable Technology, Faculty of Agricultural Production, Maejo University, Chiang Mai 50290

² Medicinal Plant Science Program, Faculty of Agricultural Production, Maejo University, Chiang Mai 50290

* Corresponding author: suthep_mju@hotmail.com

seed coat : 3 indeterminate-brown seed coat : 3 determinate-black seed coat : 1 determinate-brown seed coat ratio, which is in accordance with the theoretical expectation. This finding demonstrates that the two traits are controlled by genes located on different chromosomes and assort independently, consistent with Mendel's Second Law. The findings of this study provide essential baseline information for the selection and breeding of determinate-type yardlong bean cultivars with growth characteristics and seed quality that are good for market.

Keywords: Mendel's law, segregation, yardlong bean, cowpea, chi-square

คำนำ

ถั่วฝักยาว (*Vigna unguiculata* subsp. *sesquipedalis*) เป็นพืชในวงศ์ Leguminosae มีจำนวนโครโมโซม เท่ากับ $2n = 2x = 22$ (Kongjaimun et al., 2012) มีถิ่นกำเนิดในทวีปแอฟริกา เป็นพืชเศรษฐกิจสำคัญของเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ โดยเฉพาะในประเทศไทย ซึ่งเป็นแหล่งผลิตและบริโภคหลัก เนื่องจากสามารถนำมาใช้ประโยชน์ได้หลากหลายรูปแบบ ทั้งการบริโภคผักสด แปรรูป และการแช่แข็งเพื่อส่งออก ในปี พ.ศ.2564 ประเทศไทยมีพื้นที่ปลูกถั่วฝักยาวรวม 92,646 ไร่ ให้ผลผลิตรวม 113,643 ตัน หรือเฉลี่ย 1,220 กิโลกรัมต่อไร่ โดยแหล่งปลูกที่สำคัญ ได้แก่ จังหวัดราชบุรี เพชรบุรี สุราษฎร์ธานี ปทุมธานี กาญจนบุรี ฉะเชิงเทรา ชลบุรี สงขลา และพิจิตร (Department of Agricultural Extension, 2022) นอกจากนี้ ประเทศไทยยังมีการส่งออกเมล็ดพันธุ์ถั่วฝักยาวในปี พ.ศ.2566 ปริมาณ 150.29 ตัน คิดเป็นมูลค่า 60.46 ล้านบาท (Office of Agricultural Economics, 2024) จัดเป็นพืชที่สร้างรายได้ให้กับเกษตรกรได้เป็นอย่างดี การเพาะปลูกถั่วฝักยาวในปัจจุบันเกษตรกรส่วนใหญ่ นิยมปลูกถั่วฝักยาวพันธุ์เลื้อย ที่ต้องอาศัยไม้ค้ำในการพยุงลำต้น ส่งผลให้มีต้นทุนในการเพาะปลูกสูง และก่อให้เกิดเศษวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรหลังฤดูเก็บเกี่ยว ดังนั้นจึงมีแนวคิดในการพัฒนาสายพันธุ์ถั่วฝักยาวพันธุ์พุ่ม ซึ่งมีข้อดีคือไม่ต้องอาศัยไม้ค้ำ สะดวกต่อการจัดการแปลงปลูก เก็บเกี่ยวง่าย ช่วยลดต้นทุน และวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร อย่างไรก็ตาม จากการสำรวจตลาดพบว่าถั่วฝักยาวพันธุ์พุ่มที่มีการปลูกเพื่อการค้าในปัจจุบันมีสายพันธุ์อยู่จำนวนน้อย และมีบางลักษณะที่ยังไม่เป็นไปตามความต้องการของตลาดและผู้บริโภค เช่น ฝักสั้น เนื้อแข็ง หรือเหนียว นอกจากนี้ เกษตรกรบางพื้นที่เลือกปลูกสายพันธุ์ถั่วฝักยาวโดยพิจารณาจากสีเปลือกหุ้มเมล็ด เช่น เกษตรกรในเขตภาคตะวันออกเฉียงเหนือของประเทศไทยนิยมปลูกถั่วฝักยาวที่มีสีเปลือกหุ้มเมล็ดสีขาว อย่างไรก็ตาม ยังมีข้อมูลจำกัดเกี่ยวกับการถ่ายทอดลักษณะการเจริญเติบโตและสีเปลือกหุ้มเมล็ดในถั่วฝักยาวพันธุ์พุ่ม ซึ่งเป็นข้อมูลพื้นฐานสำคัญในการคัดเลือกและพัฒนาสายพันธุ์ใหม่

จากการทดลองของเมนเดลที่ทำการศึกษากายภาพถั่วลันเตา จำนวน 7 ลักษณะที่มีความแตกต่างกันอย่างชัดเจน (monohybrid cross) พบว่าในลูกชั่วที่ 2 (F_2) ของทั้ง 7 ลักษณะมีการกระจายตัวของลักษณะแบบ 3:1 ซึ่งเป็นกฎข้อที่ 1 ของเมนเดล เรียกว่า “กฎการแยกตัวของยีน” ต่อมาได้ทำการศึกษากายภาพถั่ว 2 ลักษณะพร้อมกัน (dihybrid cross) พบว่าในลูกชั่วที่ 2 (F_2) มีการกระจายตัวของลักษณะแบบ 9:3:3:1 ซึ่งเป็นกฎข้อที่ 2 ของเมนเดล เรียกว่า “กฎการรวมตัวกันอย่างอิสระ” (Pongthongkham, 2007) เนื่องจากในถั่วลันเตาและถั่วฝักยาวจัดเป็นพืชวงศ์เดียวกัน จึงมีวิธีการปรับปรุงพันธุ์ใกล้เคียงกัน Kongjaimun et al. (2012) ทำการศึกษาแผนที่พันธุกรรมระหว่างคู่ผสมถั่วฝักยาว และถั่วพุ่ม พบยีนที่เกี่ยวข้องกับลักษณะความยาวเถาของถั่วฝักยาวอยู่บนโครโมโซมแท่งที่ 10 ซึ่งมีความสัมพันธ์เชิงบวกกับลักษณะอายุวันออกดอก และการศึกษาของ Krylova et al. (2020) และ Ohm et al. (2025) พบว่ายีน *Dt1* ในถั่วเหลือง และยีน *TFL1* ในถั่วลันเตา ที่มีส่วนในการควบคุมลักษณะการเติบโตแบบต้นสูง และแบบพุ่มเช่นเดียวกัน นอกจากนี้มีรายงานว่า ในถั่วพุ่มมียีนที่สามารถต้านทานเพลี้ยอ่อนได้ดี จึงเหมาะสำหรับนำไปใช้ในการปรับปรุงพันธุ์ (Benchasri and Nualsri, 2009) ส่วนลักษณะสีเปลือกหุ้มเมล็ด พบว่าเป็นลักษณะเชิงคุณภาพ มีการทำงานของยีนแบบข่ม (Kongjaimun et al., 2012) และพบยีนที่ควบคุมลักษณะสีเปลือกหุ้มเมล็ดอยู่บนโครโมโซมแท่งที่ 8 มีความเชื่อมโยงกับยีนที่ควบคุมลักษณะสีดอก (Xu et al., 2011) และ Kumari et al. (2021) รายงานว่าสีเปลือกหุ้มเมล็ดมีผลต่อการต้านทานเชื้อไวรัส Mungbean Yellow Mosaic India Virus (MYMIV) อีกด้วย

ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์ในการศึกษากายภาพถั่วทางพันธุกรรมของลักษณะการเจริญเติบโต และสีเปลือกหุ้มเมล็ดในคู่ผสมระหว่างถั่วฝักยาวกับถั่วพุ่ม เพื่อเป็นข้อมูลพื้นฐานสำคัญสำหรับการคัดเลือกและปรับปรุงพันธุ์ถั่วฝักยาวพันธุ์พุ่มที่มีลักษณะการเจริญเติบโตและคุณภาพเมล็ดตรงตามความต้องการของตลาด และเป็นอีกหนึ่งทางเลือกสำหรับเกษตรกรในการปลูกถั่วฝักยาวเพื่อการค้า

วิธีการศึกษา

สายพันธุ์ถั่วฝักยาว และการสร้างประชากรชั่วต่าง ๆ เพื่อใช้ในการศึกษา

จากการคัดเลือกสายพันธุ์ถั่วฝักยาวที่มีลักษณะทางการเกษตรที่ดีจำนวน 3 สายพันธุ์ เพื่อใช้เป็นพันธุ์แม่ ได้แก่ YSd07, YSd16 และ Ysd46 ซึ่งถั่วฝักยาวทั้ง 3 สายพันธุ์มีสีเปลือกหุ้มเมล็ดสีน้ำตาล และคัดเลือกถั่วพุ่มที่มีลักษณะทางการเกษตรที่ดีจำนวน 2 สายพันธุ์ เพื่อใช้เป็นพันธุ์พ่อ ได้แก่ Ysd01 ที่มีเปลือกหุ้มเมล็ดสีดำ และ Ysd08 ที่มีเปลือกหุ้มเมล็ดสีน้ำตาล ทำการผสมข้ามระหว่างถั่วฝักยาวกับถั่วพุ่ม เพื่อสร้างลูกชั่วที่ 1 (F_1) จำนวน 3 คู่ผสม ได้แก่ YSd16xYsd01, YSd07xYsd08 และ YSd46xYsd01 หลังจากนั้นทำการผสมกลับไปหาแม่ เพื่อสร้างลูกผสมกลับหาแม่ (BCP_1) และผสมกลับไปหาพ่อ เพื่อสร้างลูกผสมกลับหาพ่อ (BCP_2) ของทั้ง 3 คู่ผสม นอกจากนี้ทำการผสมตัวเองของลูกชั่วที่ 1 (F_1) ในแต่ละคู่ผสม เพื่อสร้างลูกชั่วที่ 2 (F_2) ไว้สำหรับการใช้ในการศึกษาการถ่ายทอดทางพันธุกรรมของลักษณะการเจริญเติบโตของลำต้นและสีเปลือกหุ้มเมล็ดในคู่ผสมระหว่างถั่วฝักยาวกับถั่วพุ่ม ดำเนินการสร้างประชากรชั่วต่าง ๆ ณ แปลงทดลองสาขาพืชผัก มหาวิทยาลัยแม่โจ้ จังหวัดเชียงใหม่ ระหว่างเดือนกรกฎาคม พ.ศ.2566 ถึงเมษายน พ.ศ.2567

การปลูกศึกษาการถ่ายทอดทางพันธุกรรมของลักษณะการเจริญเติบโตของลำต้นและสีเปลือกหุ้มเมล็ด

ปลูกถั่วฝักยาวจำนวน 6 ชั่ว ได้แก่ พันธุ์แม่ (P_1), พันธุ์พ่อ (P_2), ลูกชั่วที่ 1 (F_1), ลูกชั่วที่ 2 (F_2), ลูกผสมกลับหาแม่ (BCP_1), และลูกผสมกลับหาพ่อ (BCP_2) ของทั้ง 3 คู่ผสม โดยปลูกจำนวนชั่วละ 20, 20, 60, 160, 120 และ 120 ต้น ตามลำดับ ณ แปลงทดลอง ตำบลหนองหาร อำเภอสันทราย จังหวัดเชียงใหม่ ระหว่างเดือนกรกฎาคมถึงตุลาคม พ.ศ.2567 พื้นที่ปลูกเป็นดินร่วนปนทราย ใช้ระยะปลูกระหว่างต้น 50 เซนติเมตร และระยะระหว่างแถว 70 เซนติเมตร ปักไม้ค้ำเมื่อถั่วฝักยาวมีอายุ 7 วัน การดูแลรักษาปฏิบัติเช่นเดียวกับการปลูกถั่วฝักยาวในระบบเกษตรเคมีทั่วไป ได้รับน้ำจากระบบชลประทาน ให้น้ำตามร่อง ใส่ปุ๋ยเคมีสูตร 46-0-0 อัตรา 25 กิโลกรัมต่อไร่ (Pornsuriya et al., 2021) และปุ๋ยเคมีสูตร 15-15-15 อัตรา 20 กิโลกรัมต่อไร่ (Nooprom and Santipracha, 2016) สับดาห้ละหนึ่งครั้งพ่นสารเคมีป้องกัน และกำจัดแมลงศัตรูพืชที่พบในแปลงปลูกสับดาห้ละหนึ่งครั้ง และควบคุมวัชพืชอบอย่างสม่ำเสมอ ทำการบันทึกข้อมูลลักษณะการเจริญเติบโตของลำต้นและสีเปลือกหุ้มเมล็ด เพื่อนำไปใช้ในการคำนวณค่าไคสแควร์ (χ^2) สำหรับทดสอบสมมติฐานค่าการกระจายตัวที่ได้จากงานทดลองนั้นเป็นไปตามค่าคาดหวังทางทฤษฎีหรือไม่

การวิเคราะห์ข้อมูล

นำข้อมูลการกระจายตัวของลักษณะการเจริญเติบโตของลำต้นและสีเปลือกหุ้มเมล็ดของถั่วฝักยาว จำนวน 6 ชั่ว ได้แก่ พันธุ์แม่ (P_1), พันธุ์พ่อ (P_2), ลูกชั่วที่ 1 (F_1), ลูกชั่วที่ 2 (F_2), ลูกผสมกลับหาแม่ (BCP_1), และลูกผสมกลับหาพ่อ (BCP_2) มาคำนวณโดยใช้หลักการทดสอบทางสถิติไคสแควร์ (χ^2) เป็นตัวทดสอบโดยการตั้งสมมติฐานว่าค่าการกระจายตัวที่ได้จากงานทดลองนั้นเป็นไปตามค่าคาดหวังทางทฤษฎี ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 โดยใช้สูตรดังนี้ และคำนวณค่า P-value ด้วยโปรแกรม Microsoft Excel 2021

$$\chi^2 = \sum_{i=1}^k \frac{(O_i - E_i)^2}{E_i}$$

O_i = ค่าที่ได้จากการทดลอง (observed value)

E_i = ค่าที่ได้ตามทฤษฎี (expected value)

k = แทนจำนวนกลุ่ม

ผลการศึกษาและวิจารณ์

จากการปลูกศึกษาการถ่ายทอดทางพันธุกรรมของลักษณะการเจริญเติบโตของลำต้นและสีเปลือกหุ้มเมล็ดในถั่วฝักยาว ที่ได้จากการผสมระหว่างถั่วฝักยาวกับถั่วพุ่ม ผลการทดลองพบว่า

การถ่ายทอดทางพันธุกรรมของลักษณะการเจริญเติบโตของลำต้น

จากการปลูกลูกชั่วที่ 1 (F_1) ของทั้ง 3 คู่ผสม ที่ได้จากการผสมระหว่างถั่วฝักยาว (แม่) กับถั่วพุ่ม (พ่อ) พบว่าทุกต้นมีลักษณะการเจริญเติบโตของลำต้นแบบเลื้อยเหมือนกับสายพันธุ์แม่ ซึ่งสอดคล้องกับผลการศึกษาของ Benchasri (2011) ที่รายงานว่าลูกชั่วที่ 1 ระหว่างถั่วฝักยาวกับถั่วพุ่ม 4 คู่ผสม มีลักษณะการเจริญเติบโตของลำต้นแบบเลื้อยทั้งหมด ในคู่ผสม YSd16xYsd01

ในลูกชั่วที่ 2 (F_2) จำนวน 160 ต้น พบว่ามีลักษณะการเจริญเติบโตของลำต้นแบบเลื้อย 122 ต้น และแบบพุ่ม 38 ต้น เมื่อทำการทดสอบค่าไคสแควร์ มีค่าไคสแควร์เท่ากับ 0.133 ($p = 0.715$) ผลการกระจายตัวของลักษณะการเจริญเติบโตของลำต้นแบบเลื้อยต่อแบบพุ่มตามค่าคาดหวัง 3:1 เป็นไปตามกฎของเมนเดล ในลูกผสมกลับหาแม่ (BCP_1) จำนวน 120 ต้น พบว่ามีลักษณะการเจริญเติบโตของลำต้นแบบเลื้อยทั้งหมด และในลูกผสมกลับหาพ่อ (BCP_2) จำนวน 120 ต้น พบว่ามีลักษณะการเจริญเติบโตของลำต้นแบบเลื้อย 66 ต้น และแบบพุ่ม 54 ต้น เมื่อทำการทดสอบค่าไคสแควร์ มีค่าไคสแควร์เท่ากับ 1.20 ($p = 0.273$) ผลการกระจายตัวของลักษณะการเจริญเติบโตของลำต้นแบบเลื้อยต่อแบบพุ่มตามค่าคาดหวัง 1:1 เป็นไปตามกฎของเมนเดล (Figure 1)

ส่วนคู่ผสม YSd07×YSd08 ในลูกชั่วที่ 2 (F_2) จำนวน 160 ต้น พบว่ามีลักษณะการเจริญเติบโตของลำต้นแบบเลื้อย 118 ต้น และแบบพุ่ม 42 ต้น เมื่อทำการทดสอบค่าไคสแควร์ มีค่าไคสแควร์เท่ากับ 0.133 ($p = 0.715$) ผลการกระจายตัวของลักษณะการเจริญเติบโตของลำต้นแบบเลื้อยต่อแบบพุ่มตามค่าคาดหวัง 3:1 เป็นไปตามกฎของเมนเดล ในลูกผสมกลับหาแม่ (BCP_1) จำนวน 120 ต้น พบว่ามีลักษณะการเจริญเติบโตของลำต้นแบบเลื้อยทั้งหมด และในลูกผสมกลับหาพ่อ (BCP_2) จำนวน 120 ต้น พบว่ามีลักษณะการเจริญเติบโตของลำต้นแบบเลื้อย 59 ต้น และแบบพุ่ม 61 ต้น เมื่อทำการทดสอบค่าไคสแควร์ มีค่าไคสแควร์เท่ากับ 0.033 ($p = 0.855$) ผลการกระจายตัวของลักษณะการเจริญเติบโตของลำต้นแบบเลื้อยต่อแบบพุ่มตามค่าคาดหวัง 1:1 เป็นไปตามกฎของเมนเดล (Figure 2) และคู่ผสม YSd46×YSd01 ในลูกชั่วที่ 2 (F_2) จำนวน 160 ต้น พบว่ามีลักษณะการเจริญเติบโตของลำต้นแบบเลื้อย 111 ต้น และแบบพุ่ม 49 ต้น เมื่อทำการทดสอบค่าไคสแควร์ มีค่าไคสแควร์เท่ากับ 2.70 ($p = 0.715$) ผลการกระจายตัวของลักษณะการเจริญเติบโตของลำต้นแบบเลื้อยต่อแบบพุ่มตามค่าคาดหวัง 3:1 เป็นไปตามกฎของเมนเดล ในลูกผสมกลับหาแม่ (BCP_1) จำนวน 120 ต้น พบว่ามีลักษณะการเจริญเติบโตของลำต้นแบบเลื้อยทั้งหมด และในลูกผสมกลับหาพ่อ (BCP_2) จำนวน 120 ต้น พบว่ามีลักษณะการเจริญเติบโตของลำต้นแบบเลื้อย 70 ต้น และแบบพุ่ม 50 ต้น เมื่อทำการทดสอบค่าไคสแควร์ มีค่าไคสแควร์เท่ากับ 3.333 ($p = 0.068$) ผลการกระจายตัวของลักษณะการเจริญเติบโตของลำต้นแบบเลื้อยต่อแบบพุ่มตามค่าคาดหวัง 1:1 เป็นไปตามกฎของเมนเดล (Figure 3)

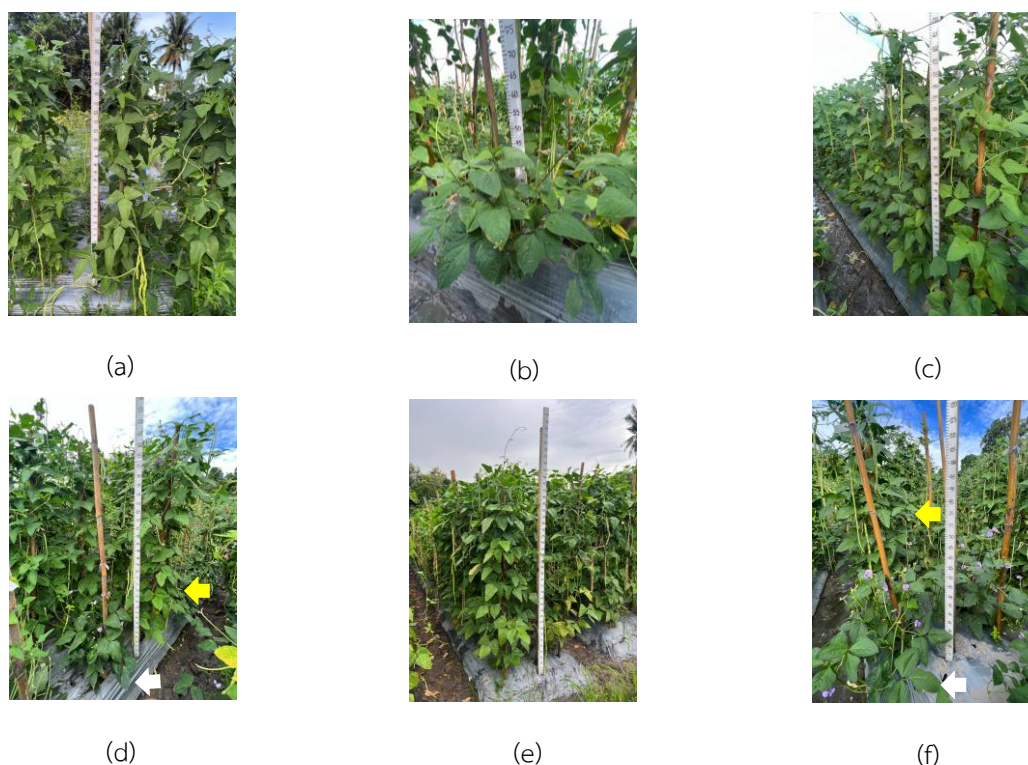


Figure 1 The segregation pattern of plant growth habit traits in the yardlong bean cross YSd16×YSd01 a: P_1 (YSd16), b: P_2 (YSd01), c: F_1 (YSd16×YSd01), d: F_2 (segregation ratio indeterminate 3 : determinate 1), e: BCP_1 and f: BCP_2 (segregation ratio indeterminate 1 : determinate 1)



Figure 2 The segregation pattern of plant growth habit traits in the yardlong bean cross YSd07 x YSd08 a: P_1 (YSd07), b: P_2 (YSd08), c: F_1 (YSd07 x YSd08), d: F_2 (segregation ratio indeterminate 3 : determinate 1), e: BCP₁ and f: BCP₂ (segregation ratio indeterminate 1 : determinate 1)

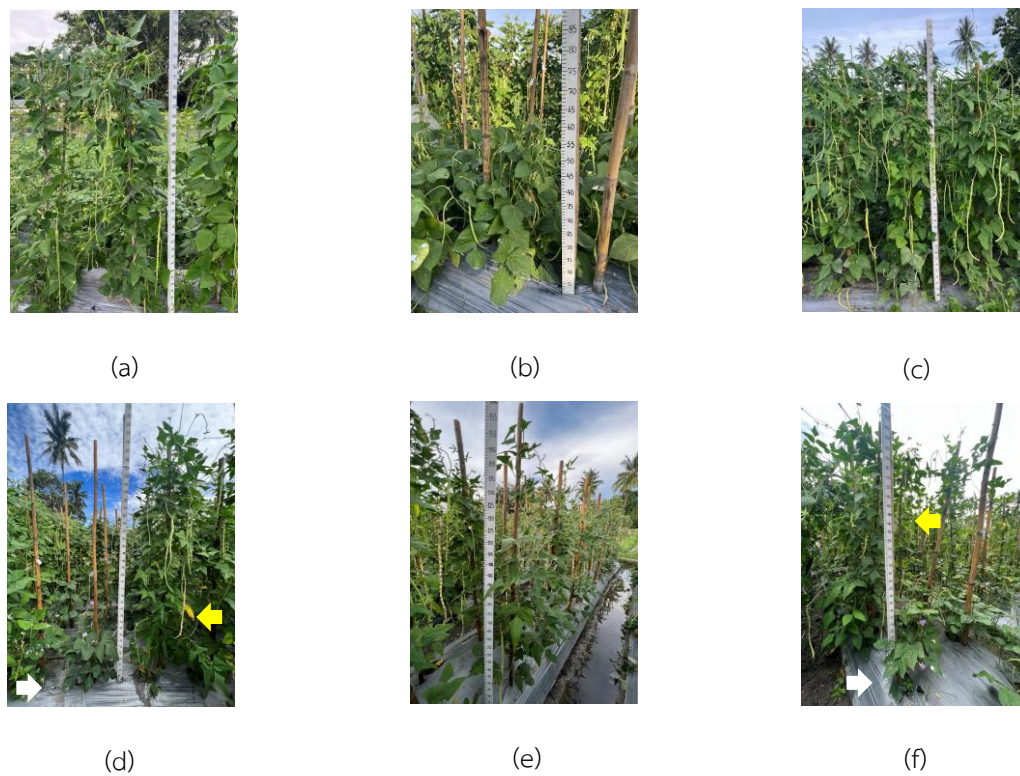


Figure 3 The segregation pattern of plant growth habit traits in the yardlong bean cross YSd16 x YSd01 a: P_1 (YSd46), b: P_2 (YSd01), c: F_1 (YSd46 x YSd01), d: F_2 (segregation ratio indeterminate 3 : determinate 1), e: BCP₁ and f: BCP₂ (segregation ratio indeterminate 1 : determinate 1)

จากผลการศึกษาแสดงให้เห็นว่าในลูกชั่วที่ 2 (F_2) ของทั้ง 3 คู่ผสม มีผลการกระจายตัวของลักษณะการเจริญเติบโตของลำต้นแบบเลื้อยต่อแบบพุ่มในอัตราส่วน 3:1 ไม่แตกต่างจากอัตราส่วนทฤษฎีของเมนเดลอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) เช่นเดียวกับในลูกผสมกลับหาพ่อ (BCP₂) ที่มีการกระจายตัวในอัตราส่วน 1:1 ซึ่งผลการศึกษาสนับสนุนสมมติฐานว่าลักษณะการเจริญเติบโตของลำต้นของถั่วฝักยาวถูกควบคุมด้วยยีนหนึ่งตำแหน่ง และมีการถ่ายทอดแบบเด่นสมบูรณ์ สำหรับในลูกผสมกลับหาแม่ (BCP₁) ของทั้ง 3 คู่ผสม พบว่ามีลักษณะการเจริญเติบโตของลำต้นแบบเลื้อยทั้งหมดโดยไม่ปรากฏต้นที่มีการเจริญเติบโตแบบพุ่ม ซึ่งเป็นไปตามผลที่คาดหมาย เนื่องจากการผสมกลับไปหาพันธุ์แม่ที่เป็นพันธุ์เลื้อย ซึ่งมีจีโนไทป์แบบ homozygous dominant (Table 1) ผลการศึกษานี้สอดคล้องกับงานของ Hughes et al. (2020) ที่ศึกษาพันธุกรรมของลักษณะความสูงต้นในถั่วปากอ้า ในลูกชั่วที่ 2 (F_2) โดยพบว่าลักษณะต้นสูงเป็นลักษณะเด่น และลักษณะต้นพุ่มเป็นลักษณะด้อย มีการกระจายตัวในอัตราส่วน 3:1 เช่นเดียวกัน และมีการศึกษาเพิ่มเติมจากการศึกษาของ Kongjaimun et al. (2012) ที่ทำการผสมระหว่างถั่วฝักยาวพันธุ์การค้าและถั่วพุ่มพันธุ์ป่าเพื่อศึกษาแผนที่ทางพันธุกรรม ในลูกชั่วที่ 2 (F_2) และประชากร BC₁F₁ พบยีน *Stlw10.1* บนโครโมโซมแท่งที่ 10 เป็นยีนหลักที่ควบคุมความยาวเถาของถั่วฝักยาว

การถ่ายทอดทางพันธุกรรมของลักษณะสีเปลือกหุ้มเมล็ด

คู่ผสม YSd16×YSd01 ลูกชั่วที่ 1 (F_1) จำนวน 60 ต้น พบว่ามีลักษณะสีเปลือกหุ้มเมล็ดสีดำทั้งหมด ในลูกชั่วที่ 2 (F_2) จำนวน 160 ต้น พบว่ามีลักษณะสีเปลือกหุ้มเมล็ดสีดำ 117 ต้น และสีน้ำตาล 43 ต้น เมื่อทำการทดสอบค่าไคสแควร์ มีค่าไคสแควร์เท่ากับ 0.30 ($p = 0.584$) ผลการกระจายตัวของลักษณะสีเปลือกหุ้มเมล็ดสีดำต่อสีน้ำตาลตามค่าคาดหมาย 3:1 เป็นไปตามกฎของเมนเดล ในลูกผสมกลับหาแม่ (BCP₁) จำนวน 120 ต้น พบว่ามีลักษณะสีเปลือกหุ้มเมล็ดสีดำ 67 ต้น และสีน้ำตาล 53 ต้น เมื่อทำการทดสอบค่าไคสแควร์ มีค่าไคสแควร์เท่ากับ 1.633 ($p = 0.201$) ผลการกระจายตัวของลักษณะสีเปลือกหุ้มเมล็ดสีดำต่อสีน้ำตาลตามค่าคาดหมาย 1:1 เป็นไปตามกฎของเมนเดล และในลูกผสมกลับหาพ่อ (BCP₂) จำนวน 120 ต้น พบว่ามีลักษณะสีเปลือกหุ้มเมล็ดสีดำทั้งหมด (Figure 4)

Table 1 Observed offspring segregation ratios, value of Chi-square test (χ^2) and the corresponding p -value for indeterminate and determinate plant growth habit for F_1 , F_2 , BCP₁ and BCP₂ generations of Yardlong bean

Lines/Crosses	Plant Growth Habit			χ^2	P-value
	Indeterminate	Determinate	Total		
Recurrent Parents					
YSd07 (P ₁)	20	-	20	-	-
YSd16 (P ₁)	20	-	20	-	-
YSd46 (P ₁)	20	-	20	-	-
Donor Parents					
Ysd01 (P ₂)	-	20	20	-	-
Ysd08 (P ₂)	-	20	20	-	-
Crosses 1 : YSd16×Ysd01					
F ₁	60	0	60	-	-
F ₂	122	38	160	0.133 ^{ns}	0.715
BCP ₁	120	0	120	-	-
BCP ₂	66	54	120	1.20 ^{ns}	0.273
Crosses 2 : YSd07×Ysd08					
F ₁	60	0	60	-	-
F ₂	118	42	160	0.133 ^{ns}	0.715
BCP ₁	120	0	120	-	-
BCP ₂	59	61	120	0.033 ^{ns}	0.855
Crosses 3 : YSd46×Ysd01					
F ₁	60	0	60	-	-
F ₂	111	49	160	2.70 ^{ns}	0.100
BCP ₁	120	0	120	-	-
BCP ₂	70	50	120	3.333 ^{ns}	0.068

ns = non-significant at 0.05 probability levels

ส่วนคู่ผสม YSd46×YSd01 ลูกชั่วที่ 1 (F_1) จำนวน 60 ต้น พบว่ามีลักษณะสีเปลือกหุ้มเมล็ดสีดำทั้งหมด ในลูกชั่วที่ 2 (F_2) จำนวน 160 ต้น พบว่ามีลักษณะสีเปลือกหุ้มเมล็ดสีดำ 117 ต้น และสีน้ำตาล 43 ต้น เมื่อทำการทดสอบค่าไคสแควร์ มีค่าไคสแควร์เท่ากับ 0.30 ($p = 0.584$) ผลการกระจายตัวของลักษณะสีเปลือกหุ้มเมล็ดสีดำต่อน้ำตาลตามค่าคาดหวัง 3:1 เป็นไปตามกฎของเมนเดล ในลูกผสมกลับหาแม่ (BCP_1) จำนวน 120 ต้น พบว่ามีลักษณะสีเปลือกหุ้มเมล็ดสีดำ 55 ต้น และสีน้ำตาล 65 ต้น เมื่อทำการทดสอบค่าไคสแควร์ มีค่าไคสแควร์เท่ากับ 0.833 ($p = 0.361$) ผลการกระจายตัวของลักษณะ สีเปลือกหุ้มเมล็ดสีดำต่อน้ำตาลตามค่าคาดหวัง 1:1 เป็นไปตามกฎของเมนเดล และในลูกผสมกลับหาพ่อ (BCP_2) จำนวน 120 ต้น พบว่ามีลักษณะสีเปลือกหุ้มเมล็ดสีดำทั้งหมด (Figure 5) และคู่ผสม YSd07×YSd08 ทุกประชากรมีลักษณะสีเปลือกหุ้มเมล็ดสีน้ำตาลทั้งหมด เนื่องจากพันธุ์แม่และพันธุ์พ่อก็มีเปลือกหุ้มเมล็ดสีน้ำตาลไม่แตกต่างกัน (Table 2) จากผลการศึกษาแสดงให้เห็นว่าในลูกชั่วที่ 2 (F_2) ของทั้ง 2 คู่ผสม มีผลการกระจายตัวของลักษณะสีเปลือกหุ้มเมล็ดสีดำต่อน้ำตาลในอัตรา 3:1 ไม่แตกต่างจากอัตราส่วนทฤษฎีของเมนเดลอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) เช่นเดียวกับในลูกผสมกลับหาแม่ (BCP_1) มีอัตราส่วน 1:1 ซึ่งผลการศึกษาสนับสนุนสมมติฐานว่าลักษณะสีเปลือกหุ้มเมล็ดถูกควบคุมด้วยยีนหนึ่งตำแหน่ง และมีการถ่ายทอดแบบเด่นสมบูรณ์ สำหรับในลูกผสมกลับหาพ่อ (BCP_2) ของทั้ง 2 คู่ผสม พบว่ามีลักษณะสีเปลือกหุ้มเมล็ดสีดำทั้งหมด โดยไม่ปรากฏต้นที่มีสีเปลือกหุ้มเมล็ดสีน้ำตาล ซึ่งเป็นไปตามผลที่คาดหวัง เนื่องจากการผสมกลับไปหาพันธุ์พ่อก็มีเปลือกหุ้มเมล็ดสีดำ ซึ่งมีจีโนไทป์แบบ homozygous dominant สอดคล้องกับงานวิจัยของ Kongjaimun et al. (2012) ที่ทำการผสมระหว่างถั่วฝักยาวพันธุ์การค้าและถั่วพุ่มพันธุ์ป่าเพื่อศึกษาแผนที่ทางพันธุกรรม ในลูกชั่วที่ 2 (F_2) และประชากร BC_1F_1 พบว่ามีอัตราส่วนของสีเปลือกหุ้มเมล็ดสีดำต่อน้ำตาล 3:1 และในประชากร BC_1F_1 มีเปลือกหุ้มเมล็ดสีดำทั้งหมด และแผนที่ทางพันธุกรรมยังสนับสนุนว่าลักษณะสีเปลือกหุ้มเมล็ดถูกควบคุมด้วยยีนหนึ่งตำแหน่งอีกด้วย และสอดคล้องกับ Benchasri (2011) ที่ทำการผสมระหว่างถั่วฝักยาว และถั่วพุ่มที่มีเปลือกหุ้มเมล็ดสีขาวและสีดำ พบว่าลูกชั่วที่ 1 (F_1) มีเปลือกหุ้มเมล็ดเป็นสีดำ สอดคล้องกับ Xu et al. (2011) ที่ทำการศึกษาแผนที่ทางพันธุกรรมของถั่วฝักยาวโดยใช้เครื่องหมายโมเลกุล SNP และ SSR พบว่าลักษณะสีเปลือกหุ้มเมล็ดถูกควบคุมด้วยยีนหนึ่งตำแหน่ง ซึ่งอยู่บนโครโมโซมแท่งที่ 8 และมีความสัมพันธ์เชิงบวกกับยีนที่ควบคุมลักษณะสีดอก นอกจากนี้ พบว่าสีเปลือกหุ้มเมล็ดมีผลต่อการต้านทานเชื้อไวรัส Mungbean Yellow Mosaic India Virus (MYMIV) จากงานวิจัยของ Kumari et al. (2021) ที่หาความสัมพันธ์ของสีเปลือกหุ้มเมล็ดต่อลักษณะต่าง ๆ โดยทดสอบจากสายพันธุ์มีเปลือกหุ้มเมล็ดสีดำ สีน้ำตาล และเปลือกหุ้มเมล็ดสองสี พบว่าเปลือกหุ้มเมล็ดสองสีสามารถต้านทานการระบาดของเชื้อไวรัส Mungbean Yellow Mosaic India Virus (MYMIV) ได้ดีที่สุด

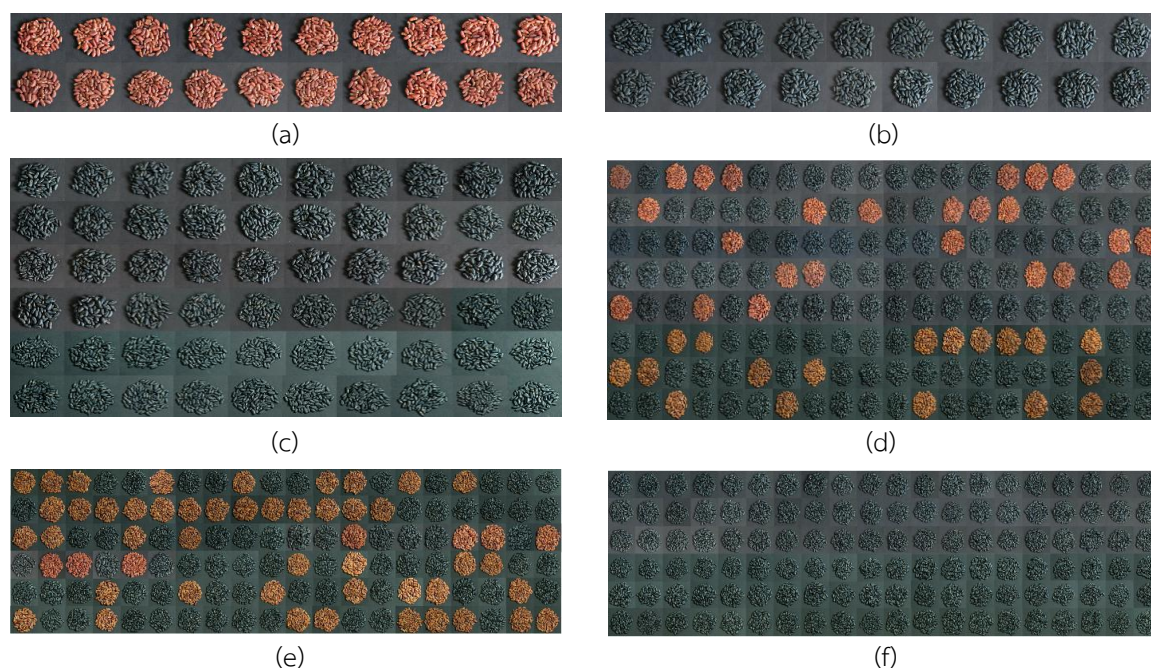


Figure 4 The segregation pattern of seed coat color traits in the yardlong bean cross YSd16×Ysd01 a: P_1 (YSd16), b: P_2 (Ysd01), c: F_1 (YSd16×Ysd01), d: F_2 (segregation ratio black 3 : brown 1), e: BCP_1 and f: BCP_2 (segregation ratio black 1 : brown 1)

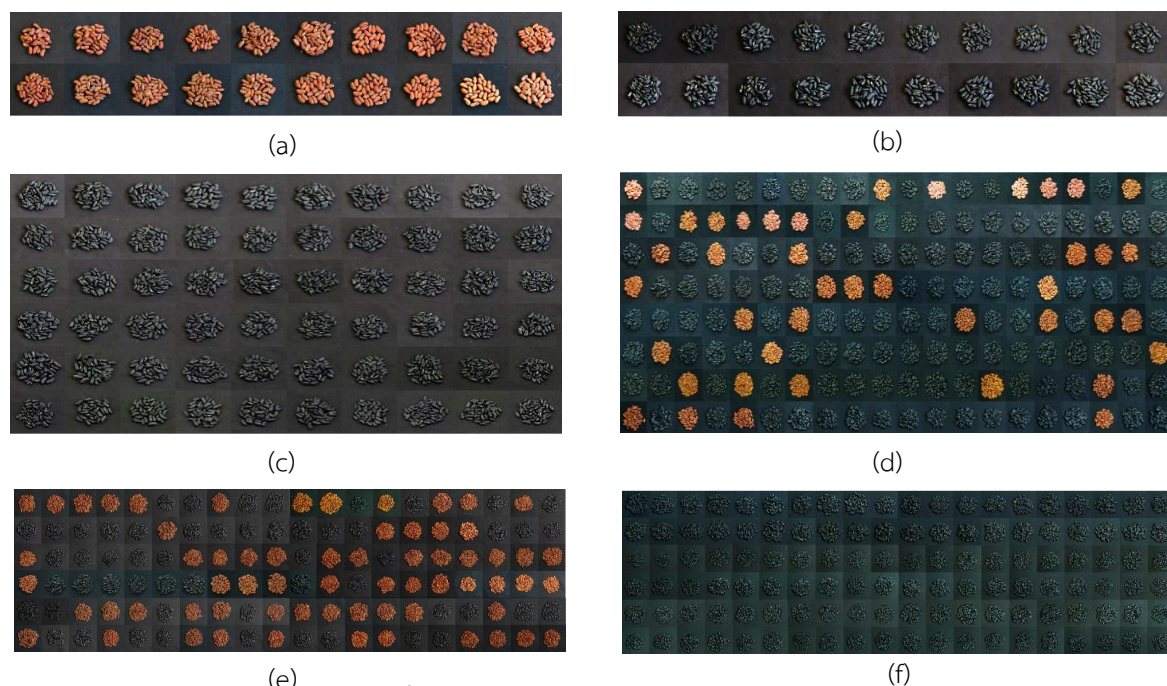


Figure 5 The segregation pattern of seed coat color traits in the yardlong bean cross YSd46xYsd01
a: P₁ (YSd46), b: P₂ (Ysd01), c: F₁ (YSd46xYsd01), d: F₂ (segregation ratio black 3 : brown 1), e: BCP₁ and f: BCP₂ (segregation ratio black 1 : brown 1)

Table 2 Observed offspring segregation ratios, value of Chi-square test (χ^2) and the corresponding *p*-value for black and brown seed coat for F₁, F₂, BCP₁ and BCP₂ generations of Yardlong bean

Lines/Crosses	Seed Coat Colors			χ^2	P-value
	Black	Brown	Total		
Recurrent Parents					
YSd16 (P ₁)	-	20	20	-	-
YSd46 (P ₁)	-	20	20	-	-
Donor Parents					
Ysd01 (P ₂)	20	-	20	-	-
Crosses 1 : YSd16×YSd01					
F ₁	60	0	60	-	-
F ₂	117	43	160	0.30 ^{ns}	0.584
BCP ₁	67	53	120	1.633 ^{ns}	0.201
BCP ₂	120	0	120	-	-
Crosses 2 : YSd46×YSd01					
F ₁	60	0	60	-	-
F ₂	117	43	160	0.30 ^{ns}	0.584
BCP ₁	55	65	120	0.833 ^{ns}	0.361
BCP ₂	120	0	120	-	-

ns = non-significant at 0.05 probability levels

การถ่ายทอดทางพันธุกรรมของลักษณะการเจริญเติบโตของลำต้น และสีเปลือกหุ้มเมล็ด (dihybrid cross)

จากการศึกษาการถ่ายทอดลักษณะการเจริญเติบโตของลำต้นแสดงให้เห็นว่าลักษณะเลื้อยเป็นลักษณะเด่น ส่วนลักษณะพุ่มเป็นลักษณะด้อย ขณะที่ลักษณะสีเปลือกหุ้มเมล็ดสีดำเป็นลักษณะเด่น และสีน้ำตาลเป็นลักษณะด้อย เมื่อศึกษาการถ่ายทอดลักษณะการเจริญเติบโตของลำต้นและสีเปลือกหุ้มเมล็ดพร้อมกัน (dihybrid cross) ในคู่ผสม YSd16xYsd01 ลูกชั่วที่ 1 (F₁)

จากผลการศึกษาแสดงให้เห็นว่าลักษณะการเจริญเติบโตของลำต้น และสีเปลือกหุ้มเมล็ดเป็นลักษณะเด่นถูกควบคุมด้วยยีนหนึ่งตำแหน่ง และตั้งอยู่บนโครโมโซมต่างคู่ มีการถ่ายทอดเป็นอิสระต่อกัน ซึ่งเป็นข้อมูลสำคัญสำหรับนักปรับปรุงพันธุ์เพื่อใช้ในการวางแผนการคัดเลือกถั่วฝักยาวพันธุ์พุ่มที่มีสีเมล็ดตรงตามความต้องการของตลาด นอกจากนี้สามารถใช้เป็นฐานข้อมูลสำหรับการประยุกต์ใช้เครื่องหมายดีเอ็นเอ (DNA marker) ในการปรับปรุงพันธุ์ในอนาคต

Table 3 Observed offspring segregation ratios, value of Chi-square test (χ^2) and the corresponding *p*-value for indeterminate and black seed, indeterminate and brown seed, determinate and black seed and determinate and brown seed of phenotypes for F_1 , F_2 , BCP_1 and BCP_2 generations of Yardlong bean

Lines/ Crosses	Phenotype				Total	χ^2	<i>P</i> - value
	Indeter-minate and black seed coat	Indeter-minate and brown seed coat	Determinate and black seed coat	Determinate and brown seed coat			
Recurrent Parents							
YSd16 (P ₁)	-	20	-	-	20	-	-
YSd46 (P ₁)	-	20	-	-	20	-	-
Donor Parents							
Ysd01 (P ₂)	-	-	20	-	20	-	-
Population 1 : YSd16×YSd01							
F ₁	60	0	0	0	60	-	-
F ₂	89	33	28	10	160	0.444 ^{ns}	0.931
BCP ₁	67	53	0	0	120	1.633 ^{ns}	0.201
BCP ₂	66	0	54	0	120	1.20 ^{ns}	0.273
Population 2 : YSd46×YSd01							
F ₁	60	0	0	0	60	-	-
F ₂	78	33	39	10	160	4.60 ^{ns}	0.203
BCP ₁	55	65	0	0	120	0.833 ^{ns}	0.361
BCP ₂	70	0	50	0	120	3.333 ^{ns}	0.068

ns = non-significant at 0.05 probability levels

สรุปผลการศึกษา

จากการศึกษาการถ่ายทอดทางพันธุกรรมของลักษณะการเจริญเติบโตของลำต้น และสีเปลือกหุ้มเมล็ดในคู่ผสมระหว่าง ถั่วฝักยาวกับถั่วพุ่มของทั้ง 3 คู่ผสม ได้แก่ YSd16xYsd01, YSd07xYsd08 และ YSd46xYsd01 และใช้หลักการทดสอบทางสถิติ ไคสแควร์ (χ^2) สำหรับทดสอบสมมติฐานค่าการกระจายตัวในชั่วต่าง ๆ ได้แก่ แม่ (P_1), พ่อ (P_2), ลูกชั่วที่ 1 (F_1), ลูกชั่วที่ 2 (F_2), ลูกผสมกลับหาแม่ (BCP_1) และลูกผสมกลับหาพ่อ (BCP_2) จากผลการวิเคราะห์ค่าไคสแควร์ของการถ่ายทอดทางพันธุกรรมของ ลักษณะการเจริญเติบโตของลำต้น ผลการวิเคราะห์ค่าไคสแควร์ในลูกชั่วที่ 2 (F_2) ของคู่ผสม YSd16xYsd01 ค่า χ^2 เท่ากับ 0.133 ($P = 0.715$), คู่ผสม YSd07xYsd08 ค่า χ^2 เท่ากับ 0.133 ($P = 0.715$) และ คู่ผสม YSd46xYsd01 ค่า χ^2 เท่ากับ 2.70 ($P = 0.10$) ผลการกระจายตัวของลักษณะการเจริญเติบโตของลำต้นในอัตราส่วน 3:1 (เลื้อย : พุ่ม) และในลูกผสมกลับหาพ่อ (BCP_2) ของคู่ผสม YSd16xYsd01 ค่า χ^2 เท่ากับ 1.20 ($P = 0.273$), คู่ผสม YSd07xYsd08 ค่า χ^2 เท่ากับ 0.033 ($P = 0.855$) และ คู่ผสม YSd46xYsd01 ค่า χ^2 เท่ากับ 3.333 ($P = 0.068$) ผลการกระจายตัวของลักษณะการเจริญเติบโตของลำต้นในอัตราส่วน 1:1 (เลื้อย : พุ่ม) ไม่แตกต่างจากอัตราส่วนทฤษฎีของเมนเดลอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) แสดงว่าลักษณะการเจริญเติบโตของลำต้นถูกควบคุมด้วยยีนหนึ่งตำแหน่ง ที่มีการถ่ายทอดแบบเด่นสมบูรณ์

การถ่ายทอดทางพันธุกรรมของลักษณะสีเปลือกหุ้มเมล็ด ผลการวิเคราะห์ค่าไคสแควร์ในลูกชั่วที่ 2 (F_2) ของคู่ผสม YSd16xYsd01 ค่า χ^2 เท่ากับ 0.30 ($P = 0.584$) และ คู่ผสม YSd46xYsd01 ค่า χ^2 เท่ากับ 0.30 ($P = 0.584$) ผลการกระจายตัว ลักษณะสีเปลือกหุ้มเมล็ดในอัตราส่วน 3:1 (สีดำ : สีน้ำตาล) และลูกผสมกลับหาแม่ (BCP_1) ของคู่ผสม YSd16xYsd01 ค่า χ^2 เท่ากับ 1.633 ($P = 0.201$) และ คู่ผสม YSd46xYsd01 ค่า χ^2 เท่ากับ 0.833 ($P = 0.361$) ผลการกระจายตัวลักษณะสีเปลือกหุ้มเมล็ดในอัตราส่วน 1:1 (สีดำ : สีน้ำตาล) ไม่แตกต่างจากอัตราส่วนทฤษฎีของเมนเดลอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) แสดงว่า ลักษณะสีเปลือกหุ้มเมล็ดถูกควบคุมด้วยยีนหนึ่งตำแหน่ง ที่มีการถ่ายทอดแบบเด่นสมบูรณ์

การถ่ายทอดลักษณะการเจริญเติบโตของลำต้น และลักษณะสีเปลือกหุ้มเมล็ดพร้อมกัน (dihybrid cross) พบว่าในลูกชั่ว ที่ 2 (F_2) มีการกระจายตัวในอัตราส่วน 9:3:3:1 (ลำต้นแบบเลื้อย - เปลือกหุ้มเมล็ดสีดำ : ลำต้นแบบเลื้อย - เปลือกหุ้มเมล็ดสีน้ำตาล : ลำต้นแบบพุ่ม - เปลือกหุ้มเมล็ดสีดำ : ลำต้นแบบพุ่ม - เปลือกหุ้มเมล็ดสีน้ำตาล) แสดงให้เห็นว่าลักษณะทั้งสองถูกควบคุมโดยยีนที่ตั้งอยู่บนโครโมโซมต่างคู่ มีการถ่ายทอดเป็นอิสระต่อกัน ซึ่งเป็นไปตามกฎข้อที่ 2 ของเมนเดล เช่นเดียวกับลูกผสมกลับหาแม่ (BCP_1) และลูกผสมกลับหาพ่อ (BCP_2) ที่พบว่ากระจายตัวของลักษณะทั้งสองเป็นไปตามอัตราส่วนคาดหวัง 1:1 ซึ่งเป็นข้อมูลสำคัญสำหรับนักปรับปรุงพันธุ์เพื่อใช้ในการวางแผนการคัดเลือกสายพันธุ์ผู้ฝักยาวพันธุ์พุ่มที่มีสีเปลือกหุ้มเมล็ดตรงตามความต้องการของตลาด นอกจากนี้ยังสามารถใช้เป็นฐานข้อมูลสำหรับการประยุกต์ใช้เครื่องหมายดีเอ็นเอ (DNA marker) ในการปรับปรุงพันธุ์ในอนาคตได้อีกด้วย

ผลประโยชน์ทับซ้อน

ผู้เขียนขอประกาศว่าบทความนี้ไม่มีผลประโยชน์ทับซ้อน

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณทุนศึกษากันจากมหาวิทยาลัยแม่โจ้ ที่ให้การสนับสนุนการทำวิจัยในครั้งนี้ ขอขอบคุณสาขาพืชผัก มหาวิทยาลัยแม่โจ้ ที่ให้ใช้พื้นที่ในการเพาะปลูก และเก็บข้อมูลในงานวิจัยครั้งนี้

การมีส่วนร่วมในการเขียนบทความของผู้เขียน

ความคิดริเริ่ม และ สมมติฐาน: สุเทพ วัชรเวชศฤงคาร, อาทิตย์ นันทาวงค์. การปฏิบัติการวิจัย การมีส่วนร่วมในการออกแบบ การทดลอง การทดสอบ เครื่องมือวัด วิธีการเก็บข้อมูล และ criteria: สุเทพ วัชรเวชศฤงคาร, อาทิตย์ นันทาวงค์. การจัดเก็บข้อมูล การวิเคราะห์ข้อมูล การแปลผล: สุเทพ วัชรเวชศฤงคาร, อาทิตย์ นันทาวงค์. การวิพากษ์วิจารณ์ผล การแสดงการเปรียบเทียบกับข้อสรุปหรือองค์ความรู้ หรือทฤษฎีเดิม: สุเทพ วัชรเวชศฤงคาร, แสงเดือน อินชนบท, เทิดศักดิ์ โทณลักษณ์, ทวีป เสนคำวงศ์, อาทิตย์ นันทาวงค์. การมีส่วนร่วมในการเขียนต้นฉบับบทความ: สุเทพ วัชรเวชศฤงคาร, อาทิตย์ นันทาวงค์. การให้การสนับสนุนเครื่องมือ ห้องปฏิบัติการ และครุภัณฑ์: สุเทพ วัชรเวชศฤงคาร.

เอกสารอ้างอิง

- Benchasri, S., & Nualsri, C. (2009). Study of resistant genes and distribution of cowpea aphid (*Aphis craccivora* Koch.) resistance in yardlong bean and cowpea. *Khon Kaen Agricultural Journal*, 37(3), 201-208. (in Thai).
- Benchasri, S. (2011). Study of heterosis on yardlong bean and cowpea hybrids. *The Journal of King Mongkut's University of Technology North Bangkok*, 21(2), 329-336. (in Thai).
- Department of Agricultural Extension. (2022). *Agricultural Statistics Report 2020*. Office of Agricultural Economics, Ministry of Agriculture and Cooperatives. (in Thai).
- Hughes, J., Khazaei, H., & Vandenberg, A. (2020). Genetics of height and branching in faba bean (*Vicia faba*). *Agronomy*, 10(1), 1191. <https://doi.org/10.3390/agronomy10081191>.
- Kongjaimun, A., Kaga, A., Tomooka, N., Somta, P., Vaughan, D., & Srinives, P. (2012). The genetics of domestication of yardlong bean, *Vigna unguiculata* (L.) Walp. ssp. *unguiculata* cv.-gr. *sesquipedalis*. *Annals of botany*, 109(6), 1185-1200. <https://doi.org/10.1093/aob/mcs048>.
- Krylova, E., Khlestkina, E., Burlyaeva, M., & Vishnyakova, M. (2020). Determinate growth habit of grain legumes: role in domestication and selection, genetic control. *Ecological Genetics*, 18(1), 43-58. <https://doi.org/10.17816/ecogen16141>.
- Kumari, S., Choudhary, A., Eram, A., Mukherjee, A., Kumar, U., & Dubey, A. (2021). *The Relationship Between Seed Coat Colour, Seed Quality and Yield Related Traits in Yardlong Bean (Vigna Unguiculata (L.) Walp.ssp. Unguiculata cv.-gr. Sesquipedalis)*. Research Square. Retrieved from: <https://www.researchsquare.com/article/rs-1191552/v1>
- Nooprom, K., & Santiprach, Q. (2016). Evaluation of disease and pest infestations on 7 commercial varieties of yard long bean in Songkhla province. *Songklanakarin Journal of Science and Technology*, 24(5), 744-752. (in Thai).
- Pongthongkham, P. (2007). *Genetics*. 4th Ed. Kasetsart University. (in Thai).
- Office of Agricultural Economics. (2024). *Seed Export Statistics, 2023*. Retrieved from: <https://www.doa.go.th/ard/wp-content/uploads/2024/06/export-2566.pdf> (in Thai).

- Ohm, H., Mahmood, U., Östberg, J., Alverup, J., Grimberg, Å., & Hofvander, P. (2025). Comprehensive identification of the PEBP gene family in *Vicia faba* highlighting *VfTFL1a* variation and phenotypic insights into determinate growth. **Scientific Reports**, 15(1), 28687. <https://doi.org/10.1038/s41598-025-12864-0>.
- Pornsuriya, P., Pornsuriya, P., Chittawanij, A., & Chinaworn, S. (2021). Comparison on the fifth-generation lines of yardlong bean. **Khon Kaen Agriculture Journal**, 49(1), 1031-1037. (in Thai).
- Xu, P., Hu, T., Yang, Y., Wu, X., Wang, B., Liu, Y., Qin, D., Ehlers, J., Close, T., Lu, Z., & Li, G. (2011). Mapping genes governing flower and seedcoat color in asparagus bean (*Vigna unguiculata* ssp. *sesquipedalis*) based on single nucleotide polymorphism and simple sequence repeat markers. **HortScience**, 46(8), 1102-1104. <https://doi.org/10.21273/HORTSCI.46.8.1102>.

ปัจจัยที่มีผลต่อการตัดสินใจซื้อไอศกรีมมะม่วงน้ำดอกไม้ของนักท่องเที่ยวต่างชาติภายใต้โครงการ Social Lab KMITL

Factors Affecting Foreign Tourists' Purchase Decisions for Nam Dok Mai Mango Ice Cream under the KMITL Social Lab Project

กันตกมล มะลิวัลย์¹, ปัญญา หมั่นเก็บ¹ และจีรนนท์ เข็มขันธุ์^{1*}

Kankamol Maliwan¹, Panya Makeb¹ and Jeeranan Khermkhan^{1*}

Received date: 30 พ.ค. 68 Revised date: 4 ม.ค. 69 Accepted date: 5 ม.ค. 69

DOI: <https://doi.org/10.55003/kmaj.2026.267540>

บทคัดย่อ

การศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการตัดสินใจซื้อไอศกรีมมะม่วงน้ำดอกไม้ของนักท่องเที่ยวต่างชาติภายใต้โครงการ Social Lab KMITL โดยใช้แบบสอบถามเป็นเครื่องมือในการเก็บรวบรวมข้อมูลจากนักท่องเที่ยวต่างชาติ จำนวน 100 คน วิเคราะห์ข้อมูลด้วยสถิติพรรณนา ได้แก่ ความถี่ ร้อยละ ค่าเฉลี่ย และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน รวมถึงการวิเคราะห์ถดถอยพหุคูณ ผลการศึกษาพบว่า ผู้ตอบแบบสอบถามเป็นเพศชายมากที่สุดร้อยละ 52 มีอายุอยู่ระหว่าง 15 – 28 ปี ร้อยละ 46 โดยเป็นนักท่องเที่ยวจากทวีปเอเชียและยุโรปในสัดส่วนเท่ากัน สำหรับระดับความสำคัญของปัจจัยส่วนประสมทางการตลาดที่มีผลต่อการตัดสินใจซื้อ พบว่าอยู่ในระดับมาก โดยด้านการส่งเสริมการขายมีความสำคัญมากที่สุด รองลงมาคือด้านผลิตภัณฑ์ ราคา และสถานที่จัดจำหน่าย ผลการวิเคราะห์ปัจจัยที่มีผลต่อการตัดสินใจซื้อ พบว่าปัจจัยด้านอายุ ($p < 0.05$) และราคา ($p < 0.01$) มีอิทธิพลต่อการตัดสินใจซื้ออย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ผลการศึกษาชี้ให้เห็นว่าผู้ประกอบการควรให้ความสำคัญกับการออกแบบกิจกรรมส่งเสริมการขายที่หลากหลายและเหมาะสมกับพฤติกรรมของนักท่องเที่ยวต่างชาติ ควบคู่กับการพัฒนาผลิตภัณฑ์ให้มีความโดดเด่นด้านรสชาติ สีกลิ่น และความสะดวกในการบริโภค รวมถึงการกำหนดราคาที่เหมาะสมกับความคุ้มค่าและสอดคล้องกับช่วงอายุของกลุ่มเป้าหมาย พร้อมทั้งการจัดจำหน่ายในจุดขายที่เข้าถึงง่ายและมีบรรยากาศดึงดูด เพื่อเพิ่มโอกาสในการตัดสินใจซื้อ

คำสำคัญ : ไอศกรีมมะม่วง การตัดสินใจซื้อ ส่วนประสมทางการตลาด มะม่วงน้ำดอกไม้

Abstract

This study aimed to examine the factors affecting foreign tourists' purchase decisions regarding Nam Dok Mai mango ice cream under the Social Lab KMITL project. A questionnaire was used to collect data from 100 foreign tourists. The data were analyzed using descriptive statistics, including frequency, percentage, mean, and standard deviation, as well as multiple regression analysis. The results indicated that 52% of the respondents were male, aged between 15 and 28 years (46%), with equal proportions of tourists from Asia and Europe. The overall importance level of the marketing mix factors influencing purchase decisions was high, with sales promotion ranked as the most influential factor, followed by product, price, and place. The regression analysis revealed that age ($p < 0.05$) and price ($p < 0.01$) significantly influenced purchase decisions. The findings suggest that entrepreneurs should prioritize the development of diverse and appropriate sales promotion activities aligned with foreign tourists' consumption behavior. In addition, product development should emphasize distinctive taste, appealing appearance, and convenience of consumption. Pricing strategies should reflect perceived value and correspond to the target tourists' age groups, while products should be distributed through accessible and attractive points of sale to enhance purchase decision effectiveness.

Keywords: mango ice cream, purchasing decision, marketing mix, Nam Dok Mai mango

¹ สำนักงานบริหารหลักสูตรสหวิทยาการเทคโนโลยีการเกษตร คณะเทคโนโลยีการเกษตร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง กรุงเทพฯ 10520

¹ Office of Administrative Interdisciplinary Program on Agricultural Technology (OAIPT), School of Agricultural Technology, King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang, Bangkok, 10520

* Corresponding author: jeeranan.kh@kmitl.ac.th

คำนำ

ปัจจุบันประเทศไทยกำลังเผชิญกับสถานการณ์และความเสี่ยงซึ่งเกิดขึ้นจากการเปลี่ยนแปลงในระดับโลก โดยเฉพาะสภาวะผันผวนทางด้านเศรษฐกิจ พลังงาน และสภาพภูมิอากาศที่ส่งผลกระทบต่อประเทศไทยอย่างชัดเจน ภายใต้แผนพัฒนาเศรษฐกิจและสังคมแห่งชาติ ฉบับที่ 12 (พ.ศ.2560 – 2564) ภายใต้ยุทธศาสตร์การสร้างความเข้มแข็งทางเศรษฐกิจและแข่งขันได้อย่างยั่งยืน (Office of the National Economic and Social Development Council, 2017) มุ่งเน้นการพัฒนาวิสาหกิจชุมชนขนาดกลางและขนาดย่อมให้มีบทบาทเพิ่มมากขึ้น โดยการส่งเสริมและพัฒนาความเข้มแข็งของชุมชนตลอดจนการพึ่งตนเอง สนับสนุนการจัดตั้งวิสาหกิจชุมชนในแต่ละพื้นที่ จังหวัดฉะเชิงเทราประสบความสำเร็จในด้านวิสาหกิจชุมชน รวมถึงนโยบายเพื่อสนับสนุนส่งเสริมต่อวิสาหกิจชุมชน เกษตรกรในพื้นที่ มีผลผลิตทางการเกษตรที่มีชื่อเสียงโดยเฉพาะมะม่วง ซึ่งมีหลากหลายสายพันธุ์ มีชื่อเสียงด้านรสชาติที่ได้รับการรู้จักทั้งในและต่างประเทศ ผลผลิตดังกล่าวจำเป็นต้องพัฒนาให้มีคุณภาพ ปลอดภัย และได้มาตรฐานการรับรอง ภายใต้แผนพัฒนาจังหวัดฉะเชิงเทรา (Chachoengsao Provincial Office, 2020) อำเภอคลองเขื่อนมีพื้นที่ที่ปลูกมะม่วงประมาณ 3,280 ไร่ โดยส่วนมากเป็นสมาชิกของวิสาหกิจชุมชนผู้ปลูกมะม่วงคุณภาพในตำบลคลองเขื่อน ซึ่งผลผลิตส่วนใหญ่จำหน่ายภายในประเทศในรูปแบบของผลสดเป็นที่นิยมทั้งที่ผลดิบและผลสุก ซึ่งในการส่งออกนั้นมักพบปัญหา มะม่วงที่ไม่ได้คุณภาพและมาตรฐาน มีอายุหลังการเก็บเกี่ยวสั้น ระยะการสุกแก่ไม่เหมาะสม การพัฒนาสีของผิวและเนื้อไม่สมบูรณ์ รสชาติไม่ดี สูญเสียน้ำหนัก เป็นต้น ซึ่งปัญหาเหล่านี้ทั้งเกษตรกรและผู้ส่งออกก็ต่างพบกับปัญหาเดียวกัน (Tanchiang, 2022)

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ได้พัฒนาบัณฑิตตามเป้าหมายเพื่อให้ตรงกับความต้องการของภาคธุรกิจ อีกทั้งยังต้องสร้างทักษะและประสบการณ์ที่พร้อมใช้งานจากการสร้างโมเดลการเรียนรู้ผ่านประสบการณ์ของจริง ดังนั้นจึงมีโครงการ Social Lab KMITL หรือห้องเรียนรู้อะไรก็ได้ โดยได้จัดให้นักศึกษาและอาจารย์ลงพื้นที่โดยเลือกจังหวัดฉะเชิงเทรา อำเภอคลองเขื่อน เป็นพื้นที่เป้าหมายเพื่อทำโครงการเรียนรู้สำหรับนักศึกษา โดยเบื้องต้นนักวิจัยและนักศึกษาบางส่วนจากคณะเทคโนโลยีการเกษตร ได้ลงไปเก็บข้อมูล ดิน น้ำ ผลผลิต ตลอดจนการพูดคุยสอบถาม สัมผัสการดำเนินกิจกรรมในการประกอบอาชีพ และปัญหาต่าง ๆ ที่เกษตรกรประสบปัญหา เช่น ผลผลิตขายไม่ได้ ราคาตกต่ำ ผลผลิตล้นโกดัง และการเน่าเสียของผลผลิต (Matichon Online, 2022) โครงการ Social Lab KMITL มุ่งเน้นไปที่กลุ่มเกษตรกรผู้ปลูกมะม่วงในอำเภอคลองเขื่อน จังหวัดฉะเชิงเทรา ในการพัฒนาคุณภาพผลผลิตมะม่วงให้ได้มาตรฐาน เพื่อแก้ปัญหาของผลผลิตราคาตกต่ำ ผลผลิตล้นโกดัง และการเน่าเสียของผลผลิต โดยการรับซื้อมะม่วงเพื่อมาสร้างโมเดลต้นแบบการเพิ่มมูลค่า โดยใช้ศักยภาพนวัตกรรมของนักวิจัย นักศึกษาและอาจารย์ ในการแปรรูปมะม่วงโมเดลต้นแบบ ออกมา 3 ผลิตภัณฑ์ ได้แก่ น้ำมะม่วง ไซเดอร์มะม่วง และไอศกรีมมะม่วง เพื่อจัดจำหน่ายในท้องตลาดต่อไป (Dangintawat, 2022) วิสาหกิจชุมชนผู้ผลิตมะม่วงคุณภาพ ตำบลคลองเขื่อน อำเภอคลองเขื่อน จังหวัดฉะเชิงเทรา ได้ร่วมมือกับโครงการ Social Lab KMITL เพื่อพัฒนาระดับการแข่งขันของผลิตภัณฑ์ทางการเกษตรในระดับท้องถิ่นในการแปรรูปผลิตภัณฑ์จากมะม่วง ซึ่ง 2 ใน 3 ประกอบไปด้วย ไซเดอร์มะม่วง ไอศกรีมมะม่วง และน้ำมะม่วง โดยมีเพียงแค่ ไซเดอร์มะม่วง และไอศกรีมมะม่วง ที่ผ่านการคัดเลือกเป็นผลิตภัณฑ์ที่นำไปส่งเสริมในการสร้างมูลค่าด้านผลิตภัณฑ์แก่เกษตรกร และด้านนวัตกรรมชุดโรงงานพร้อมเครื่องจักรเคลื่อนที่สำหรับแปรรูปผลไม้เขตร้อนให้มีมูลค่าเพิ่มสูง (High Value-added Tropical Fruits Products) สู่ชุดโครงการโรงงานแปรรูปผลไม้เคลื่อนที่มาตรฐานสากล ดำเนินการโดยโครงการ FACTory Classroom คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ภายใต้การสนับสนุนของสำนักงานเพื่อการพัฒนาระเบียงเศรษฐกิจพิเศษภาคตะวันออก (EEC) ที่เป็นยุทธศาสตร์สำคัญของการพัฒนาประเทศ ที่เป็นการเพิ่มรายได้และส่งเสริมคุณภาพชีวิตของประชาชน โดยเป็นการพัฒนาพื้นที่ครอบคลุม 3 จังหวัด คือ จังหวัดฉะเชิงเทรา ชลบุรี และระยอง (Dailynews Online, 2025) ซึ่งเป็นโครงการต่อเนื่องที่ต่อยอดมาจากโครงการ Social Lab KMITL ผลิตภัณฑ์ไอศกรีมมะม่วง ได้รับการคัดเลือกสู่โครงการต่อยอดของชุดโครงการนวัตกรรม แปรรูปผลไม้เขตร้อนมูลค่าเพิ่มสูง สำหรับเขตระเบียงเศรษฐกิจภาคตะวันออก โดยมีขั้นตอนและกระบวนการผลิตที่ไม่ซับซ้อน ประกอบกับการฝึกอบรมเพียงเล็กน้อย เกษตรกรจะสามารถผลิตไอศกรีมมะม่วงออกมาได้ด้วยตนเอง โดยมีกรรมวิธีเพียง 3 ขั้นตอน คือ การนำเนื้อมะม่วงเสียบไม้ นำไปแช่เย็นเยือกแข็งในอุณหภูมิที่เหมาะสม และนำมาแพคเกจจิ้งลงบรรจุภัณฑ์ ปัจจุบันไอศกรีมมะม่วงในรูปแบบนี้ สามารถพบเห็นได้จากแบรนด์สินค้าชื่อ “อรอิง” จากบริษัท อรอิง โพรเซสฟรุต จำกัด (MGR Online, 2017) และแบรนด์สินค้าชื่อ “Healthy Berry” จากไร่ถักกลศรีฟาร์ม (Thakolsri Farm, 2022) แม้ว่าจะมีผู้ประกอบการในธุรกิจการทำไอศกรีมมะม่วงชนิดดังกล่าว มีเพียงคนส่วนน้อยที่ทราบถึงสินค้าที่เป็นไอศกรีมเนื้อผลไม้แช่เย็นเยือกแข็ง และยังไม่มีการศึกษาเกี่ยวกับปัจจัยส่วนผสมทางการตลาดของไอศกรีมมะม่วง ที่เน้นกลุ่มเป็นนักท่องเที่ยวต่างชาติ ซึ่งงานวิจัยที่ผ่านมา เช่น งาน Chimwiset (2023) ศึกษาเพียง ปัจจัยที่มีผลต่อการตัดสินใจซื้อผลิตภัณฑ์กลุ่มไอศกรีมทั่วไปไม่ใช่ไอศกรีมผลไม้ และเป็นกลุ่มผู้บริโภคชาวไทย เช่นเดียวกับ Islam et al. (2024) ศึกษาในเฉพาะกลุ่มคนในประเทศ บังคลาเทศ ซึ่งงานวิจัยนี้ผลิตภัณฑ์ไอศกรีมมะม่วงจากโครงการ Social Lab KMITL

เน้นศึกษากลุ่มเป้าหมายกำหนดไว้ คือ นักท่องเที่ยวชาวต่างชาติที่จะเดินทางเข้ามาท่องเที่ยวในประเทศไทย และในอนาคตมีโอกาสที่ผลิตภัณฑ์ไอศกรีมมะม่วง จะถูกส่งออกไปจัดจำหน่ายในต่างประเทศ

จากที่กล่าวมาข้างต้น ผู้วิจัยจึงมีความสนใจศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการตัดสินใจซื้อไอศกรีมมะม่วงน้ำดอกไม้ของนักท่องเที่ยวชาวต่างชาติ ภายใต้โครงการ Social Lab สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง (KMITL) รวมทั้งการวิเคราะห์ระดับความสำคัญของปัจจัยส่วนประสมทางการตลาดที่มีผลต่อการตัดสินใจซื้อไอศกรีมมะม่วงน้ำดอกไม้ของนักท่องเที่ยวชาวต่างชาติที่เดินทางเข้ามาท่องเที่ยวในประเทศไทย เพื่อทำความเข้าใจพฤติกรรมในการเลือกซื้อผลิตภัณฑ์ไอศกรีมมะม่วงในบริบทของการท่องเที่ยวเชิงอาหารและวัฒนธรรม โดยเฉพาะมะม่วงน้ำดอกไม้ซึ่งเป็นผลไม้ที่มีอัตลักษณ์และศักยภาพทางการตลาดสูง อันจะนำไปสู่การสร้างความตั้งใจซื้อซ้ำเมื่อเดินทางมายังประเทศไทยในอนาคต อีกทั้งยังเป็นแนวทางหนึ่งในการสร้างโอกาสทางธุรกิจและเพิ่มขีดความสามารถในการแข่งขันของผลิตภัณฑ์ไอศกรีมมะม่วงน้ำดอกไม้ ผลการวิจัยที่ได้จะเป็นข้อมูลเชิงประจักษ์ที่สามารถนำไปใช้ประกอบการกำหนดกลยุทธ์และแนวทางการดำเนินธุรกิจของวิสาหกิจชุมชนกลุ่มผู้ผลิตมะม่วงคุณภาพ ตำบลคลองเขื่อน อำเภอคลองเขื่อน จังหวัดฉะเชิงเทรา รวมถึงใช้เป็นแนวทางในการพัฒนาและปรับปรุงคุณภาพผลิตภัณฑ์ไอศกรีมมะม่วงน้ำดอกไม้ให้สอดคล้องกับความต้องการและความคาดหวังของผู้บริโภคในอนาคตอย่างยั่งยืนต่อไป

วิธีการศึกษา

ประชากรและกลุ่มตัวอย่าง

ประชากรที่ใช้ในการวิจัยครั้งนี้ ได้แก่ ชาวต่างชาติที่เดินทางเข้ามาท่องเที่ยวหรือพำนักรถค้างอยู่ในประเทศไทยในช่วงระหว่างเดือนเมษายนถึงเดือนพฤษภาคม พ.ศ. 2567 ซึ่งเป็นกลุ่มเป้าหมายหลักที่โครงการมีความประสงค์จะขยายตลาดไปยังกลุ่มดังกล่าว เนื่องจากไม่ทราบจำนวนประชากรที่แน่นอน ดังนั้นขนาดกลุ่มตัวอย่างสามารถคำนวณได้จากสูตรของ Cochran (1977) ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 90 ซึ่งจากการคำนวณได้ขนาดกลุ่มตัวอย่างขั้นต่ำจำนวน 68 คน อย่างไรก็ตามเพื่อเพิ่มความน่าเชื่อถือของข้อมูลและลดความคลาดเคลื่อนที่อาจเกิดขึ้นจากการเก็บรวบรวมข้อมูล ผู้วิจัยจึงกำหนดขนาดกลุ่มตัวอย่างเพิ่มเป็นจำนวนทั้งสิ้น 100 คน การคัดเลือกกลุ่มตัวอย่างใช้วิธีการสุ่มแบบเจาะจง (Purposive Sampling) กลุ่มตัวอย่างต้องเป็นชาวต่างชาติที่เดินทางเข้ามาท่องเที่ยวหรือพำนักรถค้างอยู่ในประเทศไทย โดยจำกัดพื้นที่การเก็บข้อมูลในเขตกรุงเทพมหานครและเมืองพัทยา เนื่องจากเป็นพื้นที่ที่มีนักท่องเที่ยวชาวต่างชาติเดินทางเข้ามาเป็นจำนวนมากตลอดทั้งปี นอกจากนี้ ผู้วิจัยได้แบ่งกลุ่มตัวอย่างออกเป็น 2 กลุ่มย่อย ได้แก่ นักท่องเที่ยวชาวเอเชีย จำนวน 50 คน และนักท่องเที่ยวชาวยุโรป จำนวน 50 คน โดยไม่ได้กำหนดข้อจำกัดด้านสัญชาติหรือเขตพื้นที่ย่อยเพิ่มเติม เพื่อให้สามารถเข้าถึงกลุ่มตัวอย่างได้อย่างเพียงพอและเป็นไปตามกรอบระยะเวลาที่กำหนด โดยผู้วิจัยเก็บรวบรวมข้อมูลในช่วงระหว่างเดือนเมษายนถึงเดือนพฤษภาคม พ.ศ. 2567

การรวบรวมข้อมูล

ผู้วิจัยใช้แบบสอบถาม เป็นเครื่องมือในการเก็บรวบรวมข้อมูล โดยแบบสอบถามแบ่งออกเป็น 3 ส่วน ส่วนที่ 1 ปัจจัยส่วนบุคคลของชาวต่างชาติ ได้แก่ เพศ อายุและ เชื้อชาติ ส่วนที่ 2 ระดับความสำคัญของปัจจัยส่วนประสมทางการตลาดที่มีผลต่อการตัดสินใจซื้อ และส่วนที่ 3 การตัดสินใจซื้อ โดยส่วนที่ 2 และส่วนที่ 3 ลักษณะแบบสอบถามเป็นแบบมาตราส่วนประมาณค่า (Rating Scale) 5 ระดับ ตามแบบวิธีลิเคิร์ตสเกล (Likert Scale) โดยกำหนดระดับความเห็นด้วย 5 ระดับ ที่เรียงลำดับจากมากที่สุดไปหาน้อยที่สุด แบบสอบถามได้ผ่านกระบวนการทดสอบความเที่ยงตรงเชิงเนื้อหา (Content Validity) โดยผู้เชี่ยวชาญ 3 ท่าน ได้แก่ ผู้เชี่ยวชาญทางด้านการบริหารธุรกิจ ผู้เชี่ยวชาญด้านการพัฒนาผลิตภัณฑ์ และผู้เชี่ยวชาญด้านการพัฒนาการเกษตร ได้ประเมินค่าดัชนีความสอดคล้อง (Index of Item Objective Congruency: IOC) โดยแบบสอบถามอยู่ในเกณฑ์ที่เหมาะสมในการนำไปใช้กับกลุ่มเป้าหมาย โดยค่าดัชนีความสอดคล้องมีค่าระหว่าง 0.8-1.0

การวิเคราะห์ข้อมูล

การวิเคราะห์ข้อมูลของกลุ่มตัวอย่าง (1) ข้อมูลส่วนบุคคลวิเคราะห์โดยการแจกแจงความถี่และร้อยละ (2) ระดับความสำคัญของปัจจัยส่วนประสมทางการตลาดที่มีผลต่อการตัดสินใจซื้อวิเคราะห์โดยสถิติค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (3) ปัจจัยที่มีผลต่อการตัดสินใจซื้อไอศกรีมมะม่วงน้ำดอกไม้ของนักท่องเที่ยวต่างชาติวิเคราะห์โดยสถิติการถดถอยพหุคูณ (Multiple Regression Analysis: MRA)

ในการศึกษาครั้งนี้ผู้วิจัยได้กำหนดเกณฑ์ในการแปลผลค่าเฉลี่ย โดยกำหนดความกว้างของอันตรภาคชั้นแต่ละชั้น ดังนี้

$$\begin{aligned}\text{ความกว้างของอันตรภาคชั้น} &= (\text{ข้อมูลที่มีค่าสูงสุด}-\text{ข้อมูลที่มีค่าต่ำที่สุด})/\text{จำนวนชั้น} \\ &= (5-1)/5 \\ &= 0.80\end{aligned}$$

ดังนั้น เกณฑ์การแปลผลค่าเฉลี่ยเกี่ยวกับระดับความสำคัญของปัจจัยส่วนประสมทางการตลาดที่มีผลต่อการตัดสินใจซื้อไอศกรีมมะม่วงน้ำดอกไม้ของนักท่องเที่ยวต่างชาติ แบ่งเป็น 5 ระดับ ได้ดังนี้

คะแนนเฉลี่ย 4.21-5.00 หมายถึง การตัดสินใจซื้อ มากที่สุด
 คะแนนเฉลี่ย 3.41-4.20 หมายถึง การตัดสินใจซื้อ มาก
 คะแนนเฉลี่ย 2.61-3.40 หมายถึง การตัดสินใจซื้อ ปานกลาง
 คะแนนเฉลี่ย 1.81-2.60 หมายถึง การตัดสินใจซื้อ น้อย
 คะแนนเฉลี่ย 1.00-1.80 หมายถึง การตัดสินใจซื้อ น้อยที่สุด

ผลการศึกษาและวิจารณ์

ข้อมูลส่วนบุคคลของกลุ่มตัวอย่าง

จาก Table 1 ผลการศึกษาข้อมูลพื้นฐานส่วนบุคคลของนักท่องเที่ยวต่างชาติที่ตัดสินใจซื้อไอศกรีมมะม่วงน้ำดอกไม้ ภายใต้โครงการ Social Lab KMITL พบว่า กลุ่มตัวอย่างเป็นเพศชายมากที่สุด (ร้อยละ 52) ใกล้เคียงกับเพศหญิง (ร้อยละ 48) สะท้อนให้เห็นว่าพฤติกรรมการบริโภคผลิตภัณฑ์อาหารและของหวานเพื่อการท่องเที่ยวไม่ได้จำกัดอยู่เฉพาะเพศใดเพศหนึ่ง ซึ่งสอดคล้องกับแนวคิดพฤติกรรมผู้บริโภคด้านการท่องเที่ยวที่ระบุว่า เพศมีอิทธิพลต่อการตัดสินใจซื้อในระดับจำกัด เมื่อเทียบกับแรงจูงใจด้านประสบการณ์และความแปลกใหม่ของสินค้า (Kotler et al., 2021)

ในด้านอายุ พบว่ากลุ่มตัวอย่างส่วนใหญ่อยู่ในช่วงอายุ 15–28 ปี (ร้อยละ 46) รองลงมาคือช่วงอายุ 29–42 ปี (ร้อยละ 38) แสดงให้เห็นว่านักท่องเที่ยวกลุ่มวัยรุ่นและวัยทำงานตอนต้นเป็นกลุ่มเป้าหมายหลักของผลิตภัณฑ์ไอศกรีมมะม่วงน้ำดอกไม้ ซึ่งเป็นสินค้าที่มีลักษณะของความทันสมัย (modern local product) และเน้นประสบการณ์การบริโภค (experiential consumption) ผลการศึกษานี้สอดคล้องกับงานวิจัยของ Cohen et al. (2014) ที่พบว่านักท่องเที่ยววัยหนุ่มสาวให้ความสำคัญกับอาหารท้องถิ่นที่มีเอกลักษณ์ สามารถสะท้อนอัตลักษณ์ของแหล่งท่องเที่ยว และเหมาะสำหรับการแบ่งปันประสบการณ์ผ่านสื่อสังคมออนไลน์ ในบริบทของประเทศไทย สอดคล้องกับการศึกษาของ Phromnimit (2023) พบว่า ผู้บริโภคที่มาใช้บริการร้านไอศกรีมพรีเมียมกรณีศึกษาร้าน Molto มากที่สุดคืออายุ 21 – 30 ปี ร้อยละ 42 รองลงมาคือ 31 – 40 ปี ร้อยละ 30.4 ตามลำดับ

นอกจากนี้ สัดส่วนนักท่องเที่ยวจากทวีปเอเชียและยุโรปที่เท่ากัน (ร้อยละ 50 ต่อ 50) สะท้อนถึงศักยภาพของผลิตภัณฑ์ไอศกรีมมะม่วงน้ำดอกไม้ในฐานะสินค้าเกษตรแปรรูปเชิงสร้างสรรค์ที่สามารถตอบสนองรสนิยมของนักท่องเที่ยวจากหลากหลายวัฒนธรรม โดยเฉพาะการนำผลไม้เขตร้อนที่เป็นอัตลักษณ์ของประเทศไทยมาพัฒนาเป็นผลิตภัณฑ์นวัตกรรม ซึ่งสอดคล้องกับแนวคิดการท่องเที่ยวเชิงอาหาร (food tourism) ที่ชี้ว่าอาหารท้องถิ่นมีบทบาทสำคัญต่อการสร้างภาพลักษณ์และประสบการณ์การท่องเที่ยว (United Nations World Tourism Organization, 2017)

ดังนั้น ผลการศึกษาข้อมูลพื้นฐานส่วนบุคคลในครั้งนี้จึงช่วยยืนยันว่า การพัฒนาผลิตภัณฑ์ไอศกรีมมะม่วงน้ำดอกไม้ ภายใต้โครงการ Social Lab KMITL ควรมุ่งเน้นกลุ่มนักท่องเที่ยววัยหนุ่มสาวและวัยทำงานตอนต้นจากทั้งตลาดเอเชียและยุโรป โดยเน้นการสื่อสารด้านอัตลักษณ์ ความแปลกใหม่ และประสบการณ์การบริโภค เพื่อเสริมสร้างการตัดสินใจซื้อและเพิ่มมูลค่าให้กับสินค้าเกษตรไทยในบริบทการท่องเที่ยวเชิงสร้างสรรค์อย่างยั่งยืน

Table 1 General information of the sample group

General information	Number of people	Percentage
Sex		
Male	52	52.00
Female	48	48.00
Age		
Under 15 Years old	3	3.00
15 - 28 Years old	46	46.00
29 - 42 Years old	38	38.00
43 - 56 Years old	6	6.00
More than 56 Years old	7	7.00
Asian countries	50	50.00
European countries	50	50.00

ระดับความสำคัญของปัจจัยส่วนประสมทางการตลาดที่ผลต่อการตัดสินใจซื้อไอศกรีมมะม่วงน้ำดอกไม้ของนักท่องเที่ยวต่างชาติ

จาก Table 2 ระดับความสำคัญของปัจจัยส่วนประสมทางการตลาดที่มีผลต่อการตัดสินใจซื้อไอศกรีมมะม่วงน้ำดอกไม้ของนักท่องเที่ยวต่างชาติ พบว่าในภาพรวมอยู่ในระดับมาก มีค่าเฉลี่ย 4.11 ซึ่งชี้ให้เห็นว่าส่วนปัจจัยส่วนประสมทางการตลาดมีบทบาทสำคัญต่อพฤติกรรมการตัดสินใจซื้อของนักท่องเที่ยวต่างชาติอย่างชัดเจน ผลการวิจัยนี้สอดคล้องกับแนวคิดของ Kotler and Keller (2016) ซึ่งระบุว่าการกำหนดกลยุทธ์ส่วนประสมทางการตลาดที่เหมาะสมสามารถสร้างคุณค่าและกระตุ้นการตัดสินใจซื้อของผู้บริโภคได้อย่างมีประสิทธิภาพ โดยเฉพาะในบริบทของสินค้าอาหารที่เชื่อมโยงกับประสบการณ์การท่องเที่ยว นอกจากนี้ยังสอดคล้องกับงานวิจัยในประเทศไทยของ Chulasilp (2018) ที่ชี้ให้เห็นว่าผลิตภัณฑ์อาหารท้องถิ่นซึ่งมีการบริหารจัดการส่วนประสมทางการตลาดอย่างเหมาะสม สามารถเพิ่มแรงจูงใจในการซื้อและเสริมสร้างประสบการณ์ด้านการท่องเที่ยวเชิงอาหารได้อย่างมีนัยสำคัญ

เมื่อพิจารณาในรายด้านพบว่าอยู่ในระดับมากทั้งหมดโดยเรียงลำดับดังนี้ ด้านการส่งเสริมการขาย ด้านผลิตภัณฑ์ ด้านราคาและด้านสถานที่จัดจำหน่าย โดยมีค่าเฉลี่ย 4.03, 3.98, 3.92 และ 3.86 ตามลำดับ

เมื่อพิจารณาแต่ละด้านที่ให้ความสำคัญ 3 อันดับแรก พบว่า

ด้านผลิตภัณฑ์ ให้ความสำคัญกับรสชาติเป็นอันดับแรก รองลงมาคือความสะดวกในการรับประทาน และสีส้ม ตามลำดับ

ด้านราคา ให้ความสำคัญกับราคาที่กำหนดไว้เหมาะสมเมื่อเปรียบเทียบกับราคาในท้องตลาดเป็นอันดับแรก รองลงมาคือราคามีความเหมาะสมกับปริมาณ และราคามีความเหมาะสมกับคุณภาพ ตามลำดับ ผลการศึกษา

ด้านสถานที่จัดจำหน่าย ให้ความสำคัญเป็นอันดับแรกกับช่องทางการเลือกซื้อที่สะดวกสบาย ณ จุดขาย รองลงมาคือการจัดเรียงสินค้าที่เป็นระเบียบ และสถานที่มีความสวยงาม ตามลำดับ

ด้านการส่งเสริมการขาย ให้ความสำคัญกับโปรโมชั่นลดราคา เช่น ส่วนลดพิเศษ หรือของแถม รองลงมาคือบัตรสะสมแต้มเพื่อแลกของรางวัล และการออกบูธแสดงสินค้าโดยมีตัวอย่างให้ทดลองชิม และโฆษณาที่ดึงดูดใจ ตามลำดับ

ซึ่งผลการศึกษาพบว่า การส่งเสริมการขายมีค่าเฉลี่ยสูงสุด แสดงให้เห็นว่านักท่องเที่ยวต่างชาติให้ความสำคัญกับกิจกรรมส่งเสริมการขาย เช่น โปรโมชั่นลดราคา ของแถม บัตรสะสมแต้ม และการออกบูธพร้อมให้ทดลองชิม ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากนักท่องเที่ยวมักมีระยะเวลาจำกัดในการตัดสินใจซื้อ และมีแนวโน้มตอบสนองต่อสิ่งเร้าที่สร้างคุณค่าเพิ่มในระยะสั้น ซึ่งสอดคล้องกับแนวคิดของ Belch and Belch (2021) ที่ระบุว่าการส่งเสริมการขายมีอิทธิพลโดยตรงต่อการตัดสินใจซื้อสินค้าอาหารและเครื่องดื่มในกลุ่มผู้บริโภคที่ยังไม่มีความภักดีต่อแบรนด์ ขณะเดียวกัน งานวิจัยในประเทศไทยของ Thongkhhot, et al. (2016) พบว่ากิจกรรมส่งเสริมการขายและการนำเสนอสินค้าภายในร้านมีอิทธิพลอย่างมีนัยสำคัญต่อการตัดสินใจเลือกร้านไอศกรีมของผู้บริโภค ซึ่งช่วยยืนยันว่าการส่งเสริมการขายเป็นปัจจัยสำคัญทั้งในบริบทผู้บริโภคชาวไทยและนักท่องเที่ยวต่างชาติ

ด้านผลิตภัณฑ์ ให้ความสำคัญกับรสชาติเป็นอันดับแรก รองลงมาคือความสะดวกในการรับประทาน และสีส้ม ตามลำดับ ผลการศึกษาดังกล่าวสะท้อนว่าคุณลักษณะเชิงประสาทสัมผัส (sensory attributes) เป็นหัวใจสำคัญของการประเมินคุณภาพสินค้าอาหาร ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของ Solomon (2020) ที่ระบุว่ารสชาติ ลักษณะทางกายภาพ และความสะดวกในการบริโภค เป็นปัจจัยหลักที่กำหนดความพึงพอใจและการตัดสินใจซื้อของผู้บริโภค นอกจากนี้ยังสอดคล้องกับงานวิจัยในประเทศไทย

ของ Bhumsaidon et al. (2021) ซึ่งพบว่าคุณภาพด้านรสชาติ สี และเนื้อสัมผัสของไอศกรีมมะม่วงมีผลต่อการยอมรับของผู้บริโภคอย่างมีนัยสำคัญ สะท้อนให้เห็นว่าการพัฒนาผลิตภัณฑ์ให้มีคุณภาพเชิงประสาทสัมผัสที่ดีเป็นปัจจัยสำคัญทั้งในระดับท้องถิ่นและระดับสากล

ด้านราคา ให้ความสำคัญกับราคาที่กำหนดไว้เหมาะสมเมื่อเปรียบเทียบกับราคาในท้องตลาดเป็นอันดับแรก รองลงมา ราคามีความเหมาะสมกับปริมาณ และราคามีความเหมาะสมกับคุณภาพ ตามลำดับ ผลการศึกษาแสดงให้เห็นว่าผู้บริโภคไม่ได้มุ่งเน้นราคาต่ำที่สุด แต่ให้ความสำคัญกับความคุ้มค่าโดยรวม ซึ่งสอดคล้องกับแนวคิดของ Zeithaml (1988) ที่อธิบายว่าการรับรู้คุณค่าของผู้บริโภคเกิดจากการเปรียบเทียบระหว่างสิ่งที่ได้รับและสิ่งที่ต้องเสียไป ในทำนองเดียวกัน งานวิจัยในประเทศไทยเกี่ยวกับพฤติกรรมผู้บริโภคไอศกรีมโฮมเมด Sudsong (2020) พบว่าความเหมาะสมของราคาเมื่อเทียบกับคุณภาพเป็นปัจจัยสำคัญที่ส่งผลต่อการตัดสินใจซื้อ สะท้อนให้เห็นว่าผู้บริโภคทั้งชาวไทยและนักท่องเที่ยวต่างชาติให้ความสำคัญกับการรับรู้คุณค่าในลักษณะเดียวกัน

ด้านสถานที่จัดจำหน่าย ให้ความสำคัญเป็นอันดับแรกกับช่องทางการเลือกซื้อที่สะดวกสบาย ณ จุดขาย รองลงมาคือการจัดเรียงสินค้าที่เป็นระเบียบ และสถานที่มีความสวยงาม ตามลำดับ ผลการวิจัยนี้สอดคล้องกับแนวคิดของ Kotler et al. (2017) ที่ระบุว่าสภาพแวดล้อมของร้านค้าและความสะดวกในการเข้าถึงสินค้าเป็นองค์ประกอบสำคัญของประสบการณ์ผู้บริโภคในบริบทการท่องเที่ยว ขณะเดียวกันยังสอดคล้องกับงานวิจัยในประเทศไทยของ Thongkhot et al. (2016) พบว่าการจัดวางสินค้าและบรรยากาศของร้านมีผลต่อการตัดสินใจซื้อของผู้บริโภคอย่างมีนัยสำคัญ

Table 2 The level of importance of marketing mix factors that affect the purchasing decision of foreign tourists for Nam Dok Mai mango ice cream

Marketing mix factors	Mean	S.D.	Level	Rank
Product	3.98	0.46	High	
Delicious taste	4.21	0.61	Very High	1
Beautiful colors	3.96	0.62	High	3
Convenience of eating	4.10	0.63	High	2
Packaging format	3.68	0.76	High	5
Standard certification	3.94	0.89	High	4
Price	3.92	0.49	High	
Reasonable compared to the quality	3.93	0.56	High	3
Reasonable compared to the quantity	3.97	0.60	High	2
The product is reasonable for its appearance	3.79	0.80	High	4
Reasonable compared to the market	3.99	0.89	High	1
Place	3.86	0.44	High	
Cleanliness of the sales area	3.84	0.66	High	4
Beauty of the sales area	3.91	0.65	High	3
Orderliness in product arrangement	4.03	0.58	High	2
Convenient purchasing at the sales area	4.05	0.56	High	1
Products are always available for sale	3.78	0.79	High	5
Diverse distribution channels	3.56	0.72	High	6
Promotion	4.03	0.45	High	
Sales promotions, such as special discounts or gifts	4.30	0.61	Very High	1
Interesting advertisements	3.78	0.58	High	3
Loyalty card for redeeming prizes	4.24	0.73	Very High	2
Exhibition booth with samples available for tasting	3.78	0.80	Agree	3
Overall promotion	3.94	0.33	High	

4.21-5.00 = very high, 3.41-4.20 = high, 2.61-3.40 = moderate, 1.81-2.60 = low, 1.00-1.80 = very low

ปัจจัยที่มีผลต่อการตัดสินใจซื้อไอศกรีมมะม่วงน้ำดอกไม้ของนักท่องเที่ยวต่างชาติภายใต้โครงการ Social lab KMITL

จาก Table 3 ผลการวิเคราะห์ปัจจัยที่มีผลต่อการตัดสินใจซื้อไอศกรีมมะม่วงน้ำดอกไม้ของนักท่องเที่ยวต่างชาติภายใต้โครงการ Social Lab KMITL พบว่า จากตัวแปรอิสระทั้งหมด 7 ตัวแปร มีเพียง อายุ และ ราคา เท่านั้นที่มีผลต่อการตัดสินใจซื้อไอศกรีมมะม่วงน้ำดอกไม้ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยสามารถอธิบายความแปรปรวนของการตัดสินใจซื้อได้ร้อยละ 21.70 ($R^2 = 0.217$) ซึ่งถือว่าอยู่ในระดับปานกลางสำหรับการวิจัยด้านพฤติกรรมผู้บริโภค เนื่องจากพฤติกรรมการซื้อมีความซับซ้อนและได้รับอิทธิพลจากปัจจัยหลายปัจจัย (Hair et al., 2019) ส่วนตัวแปรอื่นๆ ได้แก่ เพศ สัญชาติ ผลิตภัณฑ์ สถานที่จัดจำหน่าย และการส่งเสริมการขาย ไม่มีผลต่อการตัดสินใจซื้อไอศกรีมมะม่วงน้ำดอกไม้ของนักท่องเที่ยวต่างชาติภายใต้โครงการ Social Lab KMITL ($P > 0.05$)

ผลการวิจัยพบว่าราคาเป็นปัจจัยที่มีอิทธิพลสูงสุดต่อการตัดสินใจซื้อ ($\beta = 0.450$, $P < .01$) และมีความสัมพันธ์เชิงบวก แสดงให้เห็นว่านักท่องเที่ยวต่างชาติให้ความสำคัญกับราคาของไอศกรีมมะม่วงน้ำดอกไม้เป็นอย่างมาก โดยเฉพาะการรับรู้ถึงความเหมาะสมและความคุ้มค่าเมื่อเปรียบเทียบกับคุณภาพและราคาสินค้าในท้องตลาด ผลการศึกษาดังกล่าวสอดคล้องกับแนวคิดของ Zeithaml (1988) ที่อธิบายว่าการตัดสินใจซื้อของผู้บริโภคเกิดจากการประเมิน “คุณค่าที่รับรู้” (perceived value) ซึ่งเป็นผลจากการเปรียบเทียบระหว่างสิ่งที่ได้รับกับต้นทุนที่ต้องจ่าย นอกจากนี้ยังสอดคล้องกับงานวิจัยของ Kotler and Keller (2016) ที่ชี้ว่าราคาเป็นองค์ประกอบของส่วนประสมทางการตลาดที่มีอิทธิพลโดยตรงต่อการตัดสินใจซื้อ โดยเฉพาะในกรณีสินค้าที่เป็นการซื้อแบบไม่วางแผนล่วงหน้า (impulse purchase) เช่น อาหารและของหวานในแหล่งท่องเที่ยว

เมื่อพิจารณาในบริบทของประเทศไทย ผลการวิจัยครั้งนี้สอดคล้องกับการศึกษาของ Sudsong (2020) ซึ่งพบว่าความเหมาะสมของราคาเมื่อเทียบกับคุณภาพเป็นปัจจัยสำคัญที่ส่งผลต่อการตัดสินใจซื้อไอศกรีมโฮมเมดของผู้บริโภค นอกจากนี้ Thongkhot, et al. (2016) ยังระบุว่าราคาที่สอดคล้องกับการรับรู้คุณค่าของผู้บริโภคมีผลต่อการเลือกซื้อสินค้าไอศกรีมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ผลการวิจัยเหล่านี้ช่วยยืนยันว่าราคาเป็นปัจจัยหลักทั้งในกลุ่มผู้บริโภคชาวไทยและนักท่องเที่ยวต่างชาติ

ในขณะเดียวกัน ผลการวิจัยพบว่า อายุมีความสัมพันธ์เชิงลบกับการตัดสินใจซื้อ ($\beta = -0.189$, $P < 0.05$) หมายความว่านักท่องเที่ยวต่างชาติที่มีอายุน้อยมีแนวโน้มตัดสินใจซื้อไอศกรีมมะม่วงน้ำดอกไม้มากกว่านักท่องเที่ยวที่มีอายุมาก ผลการศึกษาดังกล่าวสอดคล้องกับแนวคิดด้านพฤติกรรมผู้บริโภคของ Solomon (2020) ซึ่งอธิบายว่ากลุ่มผู้บริโภคอายุน้อยมีแนวโน้มเปิดรับประสบการณ์ใหม่ ชื่นชอบการทดลองสินค้าใหม่ และตอบสนองต่อผลิตภัณฑ์อาหารที่มีเอกลักษณ์และภาพลักษณ์เชิงประสบการณ์ (experiential consumption) มากกว่ากลุ่มผู้บริโภคอายุมาก

Table 3 Factors affecting foreign tourists' purchase decisions for Nam Dok Mai mango ice cream under the KMITL Social Lab Project

No.	Variables	Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	P-value
		b	Std. Error	Beta		
1	Sex (X_1)	-0.199	0.168	-0.133	-1.186	0.239
2	Age (X_2)	-0.185	0.093	-0.189	-1.985	0.050*
3	Ethnicity (X_3)	-0.013	0.177	-0.007	-0.075	0.940
4	Product (X_4)	0.181	0.206	0.093	0.877	0.383
5	Price (X_5)	0.823	0.199	0.450	4.131	0.000**
6	Place (X_6)	-0.120	0.227	-0.059	-0.528	0.599
7	Promotion (X_7)	-0.394	0.228	-0.199	-1.730	0.087
	Constant	2.568	1.033	-	2.485	0.015

$R = .465$, $R^2 = .217$, $SE_{est} = .81523$, $F = 3.632$

*. Statistically significant at the 0.05 level

**. Statistically significant at the 0.01 level

นอกจากนี้ งานวิจัยในบริบทของไทย เช่น Chulasilp (2018) พบว่านักท่องเที่ยววัยหนุ่มสาวให้ความสำคัญกับอาหารท้องถิ่นในฐานะประสบการณ์ทางวัฒนธรรมและมีความเต็มใจทดลองสินค้าที่มีอัตลักษณ์ท้องถิ่นมากกว่านักท่องเที่ยวกลุ่มอายุมาก อย่างไรก็ตาม ตัวแปรอิสระอื่น ๆ ที่ไม่พบอิทธิพลอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ อาจสะท้อนว่าการตัดสินใจซื้อไอศกรีมมะม่วงน้ำดอกไม้ของนักท่องเที่ยวต่างชาติภายใต้โครงการ Social Lab KMITL เป็นการตัดสินใจเชิงสถานการณ์ (situational decision-making) ที่ได้รับอิทธิพลจากปัจจัยเฉพาะหน้า เช่น ราคาและลักษณะของผู้บริโภค มากกว่าปัจจัยด้านทัศนคติหรือการรับรู้เชิงลึก

สรุปผลการศึกษา

การศึกษานี้ มีวัตถุประสงค์เพื่อวิเคราะห์ปัจจัยที่มีผลต่อการตัดสินใจซื้อไอศกรีมมะม่วงน้ำดอกไม้ของนักท่องเที่ยวต่างชาติภายใต้โครงการ Social Lab KMITL ผลการศึกษพบว่านักท่องเที่ยวส่วนใหญ่เป็นเพศชาย อายุระหว่าง 15–28 ปี และมาจากทวีปเอเชียและยุโรปในสัดส่วนใกล้เคียงกัน โดยปัจจัยส่วนประสมทางการตลาดโดยรวมมีผลต่อการตัดสินใจซื้อในระดับมาก ทั้งนี้ด้านการส่งเสริมการขายมีความสำคัญสูงสุด รองลงมาคือด้านผลิตภัณฑ์ ราคา และสถานที่จัดจำหน่าย นักท่องเที่ยวให้ความสำคัญกับโปรโมชั่นระยะสั้นที่สร้างคุณค่า คุณลักษณะเชิงประสาธน์ของผลิตภัณฑ์ ความคุ้มค่าของราคา และความสะดวกในการเข้าถึง ณ จุดขาย นอกจากนี้ พบว่าปัจจัยด้านอายุและราคามีผลต่อการตัดสินใจซื้ออย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ผลการศึกษาชี้ให้เห็นว่าผู้ประกอบการควรมุ่งพัฒนากลยุทธ์การส่งเสริมการขายและผลิตภัณฑ์ให้สอดคล้องกับพฤติกรรมนักท่องเที่ยว กำหนดราคาที่เหมาะสมกับกลุ่มอายุเป้าหมาย และเลือกช่องทางจัดจำหน่ายที่เข้าถึงได้สะดวกเพื่อเพิ่มโอกาสในการตัดสินใจซื้อของนักท่องเที่ยวต่างชาติ

ผลประโยชน์ทับซ้อน

ผู้เขียนขอประกาศว่าบทความนี้ไม่มีผลประโยชน์ทับซ้อน

การมีส่วนร่วมในการเขียนบทความของผู้เขียน

ความคิดริเริ่ม และ สมมุติฐาน: จิรนนท์ เข็มขันธุ์, ปัญญา หมั่นเก็บ. การปฏิบัติการวิจัย การมีส่วนร่วมในการออกแบบ การทดลอง การทดสอบ เครื่องมือวัด วิธีการจัดเก็บข้อมูล และ criteria: กันต์กมล มะลิวัลย์. การจัดเก็บข้อมูล การวิเคราะห์ข้อมูล การแปลผล: กันต์กมล มะลิวัลย์, ปัญญา หมั่นเก็บ. การวิพากษ์วิจารณ์ผล การแสดง การเปรียบเทียบกับข้อสรุปหรือองค์ความรู้ หรือทฤษฎีเดิม: กันต์กมล มะลิวัลย์. การมีส่วนร่วมในการเขียนต้นฉบับบทความ: กันต์กมล มะลิวัลย์. การให้สนับสนุนเครื่องมือ ห้องปฏิบัติการ และ ครูภัณฑ์: กันต์กมล มะลิวัลย์.

เอกสารอ้างอิง

- Belch, G., & Belch, M. (2021). *Advertising and Sales Promotion: An Integrated Marketing Communication Perspective*. McGraw Hill, (12), 156-200.
- Bhumisaidon, A., Nitisuk, P., Pumriw, S., Wongpreedee, P., Wongwatanyoo, J., & Chaicharoen, K. (2021). The stabilizer influence on qualities of Mahachanok mango (*Mangifera indica* L.) ice cream. *Science and Technology Journal of Sisaket Rajabhat University*, 1(1), 1-6. (in Thai).
- Chachoengsao Provincial Office. (2020). *Chachoengsao Provincial Development Plan 2018-2021 Revised Edition*. Retrieved from: <http://www.chachoengsao.go.th/cco/index.php/2016-02-15-05-52-57/2016-02-15-07-54-35/2016-06-17-08-56-06/2260-2561-2565>. (in Thai).
- Chimwiset, W. (2023). *Factors Affecting Purchasing Decisions for Ice Cream and Yogurt Products in Bangkok Metropolitan Area*. Master's Thesis. Ramkhamhaeng University. (in Thai).
- Chulasilp, K. (2018). *Marketing Management Strategy for Food Tourism Promotion of Thai Tourists in Pha Nakhon Si Ayutthaya Province*. Master's Thesis. National Institute of Development Administration. (in Thai).
- Cochran, W. G. (1977). *Sampling Techniques*. 3rd Ed. John Wiley & Sons.
- Cohen, E., Prayag, G., & Moital, M. (2014). Consumer behaviour in tourism: Concepts, influences and opportunities. *Current Issues in Tourism*, 17(10), 872-909. <https://doi.org/10.1080/13683500.2013.850064>.
- Dailynews Online. (2025). *Launch of the Learning Center for Good Opportunities 'Good Opportunity @Klong Khuen' in Muang Paet Riew*. Retrieved from: <https://www.dailynews.co.th/news/4337427/>. (in Thai).
- Dangintawat, S. (2022). *The Chachoengsao Foundation for Development Committee visits FACTORY CLASSROOM*. Retrieved from: <https://old-engineer.kmitl.ac.th/post/20554>. (in Thai).
- Hair, J. F., Babin, B. J., Anderson, R. E., & Black, W. C. (2019). *Multivariate Data Analysis*. 8th Ed. Pearson Prentice.
- Islam, M. R., Chowdhury, M. I., & Hasan, M. A. (2024). Factors influencing consumer buying behavior of ice cream products: A study in Dhaka City, Bangladesh. *European Journal of Business and Management Research*, 11(02), 13-25.
- Kotler, P., & Keller, K. L. (2016). *Marketing Management*. 15th Ed. Pearson Education.
- Kotler, P., Bowen, J. T., Makens, J. C., & Baloglu, S. (2017). *Marketing for Hospitality and Tourism*. 7th Ed. Pearson.
- Kotler, P., Bowen, J. T., Makens, J. C., & Baloglu, S. (2021). *Marketing for Hospitality and Tourism*. 8th Ed. Pearson Education.
- Matichon Online. (2022). *SUT Moves forward with Educational Strategy, Opens Social Lab and Helps Thai Farmers*. Retrieved from: https://www.matichon.co.th/news-monitor/news_3316072. (in Thai).
- MGR Online. (2017). *"Orn-ing" Frozen Mango on a Stick: A New Alternative for Those Who Love Fresh Fruit Ice Cream*. Retrieved from: <https://mgronline.com/smes/detail/9600000070089>. (in Thai).
- Office of the National Economic and Social Development Council. (2017). *The 12th National Economic and Social Development Plan (2017-2021)*. Office of the Prime Minister. (in Thai).
- Phromnimit, P. (2023). *A Study of Business Strategies in the Premium Ice Cream Industry: The Case of Molto*. Master's Thesis. Thammasat University. (in Thai).
- Solomon, M. R. (2020). *Consumer Behavior: Buying, Having, and Being*. 13th Ed. Pearson Education.
- Sudsong, K. (2020). *Attitudes Affecting Decision on Purchase of Homemade Ice Cream among Generation Y in Bangkok and Metropolitan Region*. Master's Thesis. Mahidol University. (in Thai).
- Tanchiang, A. (2022). *Vice President of the Community Enterprise Group of Quality Mango Producers of Klong Khuen Subdistrict*. Interview, 19 February. (in Thai).
- Thakolsri Farm. (2022). *Frozen Namdokmai Mango on a Stick*. Retrieved from: <https://www.thakolsrifarm.com/th/products/>. (in Thai).
- Thongkhot, M., Angwarawong, C., & Satchaareewat, P. (2016). Consumer behavior and factors affecting the decision to the ice-cream shop of Khon Kaen university student. *Journal of Humanities and Social Science Valaya Alongkorn*, 11(3), 233-241. (in Thai).
- United Nations World Tourism Organization. (2017). *Second Global Report on Gastronomy Tourism*. United Nations World Tourism Organization.
- Zeithaml, V. A. (1988). Consumer perceptions of price, quality, and value: A means-end model and synthesis of evidence. *Journal of Marketing*, 52(3), 2-22. <https://doi.org/10.2307/1251446>.

ผลของภาชนะปลูกและวัสดุปลูกต่อการเจริญเติบโต ผลผลิต และคุณภาพผลผลิตของ
เมลอนในระบบปลูกพืชโดยไม่ใช้ดิน

Effect of Container and Substrate Types on Growth, Yield and Fruit Quality of the
Muskmelon (*Cucumis melo* L.) in Soilless Culture

นภาพร จิตต์ศรัทธา^{1*}, พิกุล นุชนวนรัตน์¹ และนภาพรณ นิมนพานิช¹

Napaporn Jitsatta^{1*}, Phikun Nuchnuanrat¹ and Napapan Nimpanich¹

Received date: 6 ต.ค. 68 Revised date: 15 ม.ค. 69 Accepted date: 16 ม.ค. 69

DOI: <https://doi.org/10.55003/kmaj.2026.269183>

บทคัดย่อ

งานวิจัยครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลของชนิดภาชนะปลูกและชนิดวัสดุปลูกต่อการเจริญเติบโต ผลผลิต และคุณภาพผลผลิตของเมลอนในระบบปลูกแบบไม่ใช้ดินภายในโรงเรือนพลาสติก ต้นเมลอนจะได้รับน้ำและสารละลายธาตุอาหารด้วยระบบน้ำแบบหยด วางแผนการทดลองแบบแฟคทอเรียลในสุ่มสมบูรณ์ โดยมีดังนี้ ปัจจัย A คือ ภาชนะปลูก 2 ชนิด ได้แก่ กระถางพลาสติกสีดำ และถุงพลาสติกสานสีขาว ปัจจัย B คือ วัสดุปลูก 6 สูตร ซึ่งประกอบด้วยวัสดุปลูกชนิดเดียว 3 ชนิด ได้แก่ ขุยมะพร้าว ขุยมะพร้าว:ขุยมะพร้าว 50:50 และขุยมะพร้าว:ขุยมะพร้าว 50:50 รวมถึงส่วนผสมวัสดุปลูก 2 ชนิดในอัตราส่วน 50:50 จำนวน 3 สูตร ทำการทดลองเป็นระยะเวลา 11 สัปดาห์ โดยศึกษาการเจริญเติบโต ผลผลิต และคุณภาพผลผลิตของเมลอนในระบบปลูกแบบไม่ใช้ดิน ผลการทดลองพบว่า ภาชนะปลูกชนิดถุงพลาสติกสานสีขาวส่งผลให้เมลอนมีน้ำหนักผล เส้นรอบวงผล ความหนาเนื้อ และปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายได้ ($^{\circ}\text{Brix}$) สูงกว่ากระถางพลาสติกสีดำอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) ด้านผลของวัสดุปลูก พบว่าการใช้ขุยมะพร้าว 100% และขุยมะพร้าว:ขุยมะพร้าว 50:50% ทำให้เมลอนมีการเจริญเติบโตและคุณภาพผลผลิตดีที่สุด ทั้งในด้านน้ำหนักผล ความหนาเนื้อ และปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายได้ เมื่อพิจารณาผลของปัจจัยร่วมพบว่าการใช้ถุงพลาสติกสานสีขาวร่วมกับวัสดุปลูกขุยมะพร้าว:ขุยมะพร้าว 50:50% ให้ค่าความสูงต้น เส้นรอบวงผล และปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายได้สูงสุด ซึ่งเหมาะสมสำหรับการผลิตเมลอนในระบบปลูกแบบไม่ใช้ดิน

คำสำคัญ: ภาชนะปลูก วัสดุปลูก เมลอน การปลูกพืชโดยไม่ใช้ดิน

Abstract

This research aimed to investigate the consequences of container and substrate types on the growth, yield, and quality of muskmelon in a soilless cultivation system under a plastic greenhouse. The melon plants were supplied with water and nutrient solutions through a drip irrigation system. The experiment was arranged in a factorial in completely randomized design. Factor A has two types of containers: black plastic pots and white woven plastic bags. Factor B, six substrate formulations were tested. Three treatments were pure materials: cocopeat, oil palm peat, and chopped coconut husk. The three binary mixture, each combining two substrates in a 50:50 ratio. The experiment was conducted over a period of 11 weeks, evaluating the growth and yield performance of muskmelon in the soilless culture. The results showed that the use of white woven plastic bags as containers significantly improved fruit weight, fruit circumference, flesh thickness, and total soluble solids ($^{\circ}\text{Brix}$) of the muskmelon compared to black plastic pots ($P < 0.05$). Regarding substrates, 100% cocopeat and the 50:50 cocopeat-oil palm peat mixture produced the best results in terms of plant growth and fruit quality, including higher fruit weight, flesh thickness, and total soluble solids. Considering the interaction effects, the combination of white woven plastic bags and the 50:50 cocopeat-oil palm peat mixture resulted in the highest plant height, fruit circumference, and total soluble solids content, indicating that this combination is most suitable for muskmelon production soilless culture.

Keywords: container, substrates, muskmelon, soilless culture

¹ สาขาวิชาเกษตรศาสตร์ คณะเทคโนโลยีการเกษตร มหาวิทยาลัยราชภัฏรำไพพรรณี จ.จันทบุรี 2200

¹ Department of Agriculture, Faculty of Agricultural Technology, Rambhai Barni Rajabhat University, Chanthaburi 22000

* Corresponding author, E-mail: napaporn.j@rbru.ac.th

คำนำ

เมลอนมีชื่อวิทยาศาสตร์ว่า *Cucumis melo* L. อยู่ในวงศ์ Cucurbitaceae เป็นพืชตระกูลเดียวกับแตงไทย เมลอนเป็นผลไม้ที่มีความสำคัญในเชิงการค้าในหลายประเทศ เพราะมีรสชาติหวาน กลิ่นหอม (Villanueva-Suárez et al., 2004) และยังเป็นผลไม้ที่มีเบตาแคโรทีนสูงที่สุด โดยร่างกายจะเปลี่ยนเบตาแคโรทีนให้เป็นวิตามินเอ (Charlotte, 2007) ซึ่งเมลอนที่นำมาปลูกในประเทศไทยได้ผ่านการปรับปรุงและคัดเลือกพันธุ์ที่เหมาะสมกับปลูกในเขตร้อน และมีการปลูกในประเทศไทยมากขึ้นตามความต้องการของผู้บริโภค นอกจากนี้เมลอนเป็นพืชที่ให้ผลตอบแทนทางเศรษฐกิจค่อนข้างสูง จึงนิยมปลูกในระบบโรงเรือน ซึ่งสามารถปลูกในพื้นที่ดินโดยตรง หรือปลูกในภาชนะปลูก (Damrongrak, 2020) แต่ในบางสวนยังคงพบปัญหาของโรครากเน่าที่มากับดินทำให้เกิดความเสียหายกับผลผลิตหรือผลผลิตลดลง ซึ่งการเลือกใช้ภาชนะปลูกร่วมกับวัสดุปลูกในระบบปลูกไม่ใช้ดินจะช่วยแก้ปัญหาเรื่องโรครากเน่า ความเค็ม และสามารถควบคุมสภาพแวดล้อมบริเวณรากพืช และพืชสามารถดูดใช้ธาตุอาหารได้อย่างมีประสิทธิภาพ ซึ่งจะส่งผลต่อผลผลิตและคุณภาพของพืชได้ (Nuntagij, 2017) ระบบปลูกในวัสดุปลูก (Substrate culture) เป็นการปลูกที่คล้ายกับการปลูกในดินมากที่สุด วัสดุปลูกจะทำหน้าที่ให้รากยึดเกาะพวงลำต้นรวมถึงการเก็บความชื้น และธาตุอาหารเพื่อให้รากดูดใช้ การเลือกวัสดุปลูกต้องคำนึงถึงคุณสมบัติทางกายภาพ ทางเคมี และทางชีวภาพด้วย (Jitsatta, 2019) ในระบบการปลูกในวัสดุปลูกจะเป็นระบบที่มีการให้น้ำแบบน้ำหยด เป็นการให้น้ำที่ประหยัดมีประสิทธิภาพ (Thongket, 2004) โดยวัสดุที่นำมาใช้ควรมีคุณสมบัติที่ไม่อัดตัวและยุบตัวเมื่อเปียก น้ำรากพืชสามารถกระจายตัวได้ทั่วในวัสดุปลูก ไม่มีสารที่เป็นพิษต่อพืช ไม่ทำปฏิกิริยากับสารละลายธาตุอาหาร และภาชนะที่ใช้ปลูก ไม่เป็นแหล่งสะสมของเชื้อโรคและแมลง และยังสามารถกำจัดโรคและแมลงได้ (Phatanasthetphong, 1991) ภาชนะปลูกเป็นปัจจัยที่สำคัญอย่างหนึ่งในการปลูกพืชการเลือกใช้ภาชนะปลูกที่เหมาะสมเป็นสิ่งสำคัญ เนื่องจากเกี่ยวข้องกับสภาพของวัสดุปลูกที่อยู่ภายใน ซึ่งสัมพันธ์กับการเจริญเติบโตและการทำหน้าที่ของราก (Gabriele et al., 2010) ภาชนะปลูกที่นิยมใช้ ได้แก่ กระถางดินเผา กระถางเคลือบเซรามิก กระถางพลาสติก ถังพลาสติก ถังพลาสติกสาน และถุงโยสังเคราะห์ ซึ่งแต่ละชนิดมีข้อแตกต่างกันในด้านคุณสมบัติของวัสดุปลูกที่นำมาผลิต ขนาด รูปร่าง สี และราคา ซึ่งส่งผลต่อการเจริญเติบโตของพืชได้ ส่วนวัสดุที่นิยมใช้ในการปลูก ได้แก่ โยหิน เพอร์ไลต์ และพีทมอส เป็นต้น ซึ่งประเทศไทยต้องนำเข้าวัสดุจากต่างประเทศ มีราคาแพง (Jitsatta and Rasamee, 2018) จึงมีการทดสอบวัสดุที่หาได้ในประเทศไทย ได้แก่ ขุยมะพร้าว ขุยมะพร้าวสับ และกาบมะพร้าวสับ เพื่อนำมาใช้ทดแทนวัสดุที่ต้องนำเข้าจากต่างประเทศ เป็นวัสดุที่มีการระบายน้ำและอากาศได้ดี และยังมีราคาถูก ดังนั้นงานทดลองครั้งนี้วัตถุประสงค์เพื่อศึกษาศึกษาภาชนะปลูกและชนิดของวัสดุปลูกที่ส่งผลต่อการเจริญเติบโต ผลผลิต และคุณภาพผลผลิตของเมลอนในระบบปลูกพืชโดยไม่ใช้ดิน เพื่อเพิ่มคุณภาพผลผลิต

วิธีการศึกษา

วางแผนการทดลองแบบ Factorial in Completely Randomized Design จำนวน 2 ปัจจัย คือ ปัจจัย A คือ ภาชนะปลูก ได้แก่ กระถางพลาสติกสีดำ และถังพลาสติกสานสีขาว และปัจจัย B คือ ชนิดวัสดุปลูก ได้แก่ ขุยมะพร้าว 100% ขุยมะพร้าว 100% กาบมะพร้าวสับ 100% ขุยมะพร้าว:ขุยมะพร้าว 50:50% ขุยมะพร้าว:กาบมะพร้าวสับ 50:50% และกาบมะพร้าวสับ:ขุยมะพร้าว 50:50% ขนาด 2X6 กรรมวิธี จำนวน 5 ซ้ำ ดำเนินการทดลองที่คณะเทคโนโลยีการเกษตร มหาวิทยาลัยราชภัฏรำไพพรรณี ในเดือนสิงหาคมถึงตุลาคม พ.ศ. 2567 ภายในโรงเรือนพลาสติกขนาด 6x12x3.5 เมตร หลังคามุงด้วยพลาสติกคลุมโรงเรือนมีความหนา 200 ไมครอน ด้านข้างจะมีมุ้งกันแมลงทำหน้าที่ในการป้องกันแมลงศัตรูพืชที่จะเข้าทำลายพืช ขนาดตาข่าย 32 ตา ทำให้พืชได้รับแสงอย่างสม่ำเสมอตลอดการทดลอง

การเตรียมวัสดุปลูกและการเตรียมต้นกล้า

ทำการเตรียมวัสดุปลูกโดยการนำวัสดุขุยมะพร้าวที่ได้จากกาบมะพร้าวสับมาตากแดดให้แห้ง และนำไปเข้าเครื่องสับย่อยใบไม้ให้ละเอียดก่อนนำไปแช่น้ำ (Figure 1) และนำขุยมะพร้าว กาบมะพร้าวสับ และขุยมะพร้าวมาแช่น้ำทิ้งไว้ 24 ชั่วโมง จากนั้นเทน้ำทิ้งโดยทำซ้ำแบบเดิมทั้งหมด 3 ครั้ง เนื่องจากขุยมะพร้าว กาบมะพร้าวสับ และขุยมะพร้าวมีสารแทนนิน อยู่จำนวนมาก เมื่อละลายน้ำจะกลายเป็นกรดแทนนิกสีน้ำตาลดำ เมื่อทำปฏิกิริยากับแคลเซียมไฮดรอกไซด์ กลายเป็นเกลือที่ไม่ละลาย ดังนั้น เมื่อใช้วัสดุปลูกพืชจะต้องทำการแช่น้ำก่อนใช้ เพื่อให้พืชไม่เกิดการขาดธาตุแคลเซียม และเกิดการใบไหม้ โดยให้มีค่า EC ไม่เกิน 0.20 mS/cm และค่า pH อยู่ในช่วง 5.50-6.50 ก่อนนำวัสดุมาใช้เพื่อให้เหมาะสมต่อการเจริญเติบโต หลังจากนั้นนำผสมกัน และนำไปใส่ภาชนะปลูกปริมาตร 6 ลิตร/ภาชนะปลูก ตามแผนการทดลอง การเตรียมต้นกล้าเมลอนพันธุ์กรีนเนต ที่ 778 โดยนำเมล็ด แช่

น้ำอุ่น 2 ชั่วโมง จากนั้นเพาะลงในกระตาดหิซซุ ทิ้งไว้ 24 ชั่วโมง หลังจากรากเริ่มงอก ให้ทำการย้ายลงในถ้วยปลูกโดยใช้พีทมอส เป็นวัสดุปลูก ทำการรดน้ำให้พีทมอสมีความชื้นพอเหมาะ ไม่แฉะจนเกินไป



Figure 1 Preparation of palm peat from oil palm leaf sheaths for use as a growing substrate.

วิธีการทดลอง

นำต้นกล้าที่มีใบจริง 2-3 ใบ หรืออายุ 14 วัน ย้ายปลูกลงภาชนะปลูก ประกอบด้วย กระถางพลาสติกสีดำ ขนาด 20 นิ้ว และถาดพลาสติกสีขาว ขนาด 20 นิ้ว โดยใช้วัสดุขุยมะพร้าว 100%, ขุยมะพร้าว 100%, กาบมะพร้าวสับ 100%, ขุยมะพร้าว: ขุยมะพร้าว 50:50%, ขุยมะพร้าว: กาบมะพร้าวสับ 50:50% และ กาบมะพร้าวสับ: ขุยมะพร้าว 50:50% ตามแผนการทดลอง (Figure 2) นำไปวางให้ระยะปลูกระหว่างแถว 50 เซนติเมตร ระยะระหว่างต้น 40 เซนติเมตร จากนั้นปักหัวน้ำหยดขนาด 8 ลิตร/ชั่วโมง จำนวน 2 หัว/ภาชนะปลูก โดยต้นเมลอนจะได้รับสารละลายธาตุอาหารที่มีค่า EC ในช่วง 1.8-3.4 mS/cm โดยค่า EC เพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ ตามการเจริญเติบโตของต้นเมลอน (โดยเมลอนอายุ 15 วัน EC 1.8 mS/cm, อายุ 30 วัน EC 2.6 mS/cm, อายุ 45 วัน EC 2.8 mS/cm อายุ 60 วัน EC 3.0 mS/cm และอายุ 75 วัน EC 3.4 mS/cm) และ pH 5.5-6.5 โดยใช้เครื่องตั้งเวลาควบคุมการปิด-เปิด ซึ่งจะเพิ่มเวลาการให้น้ำ ตามการเจริญเติบโตของพืช การให้น้ำ 8 ครั้ง/วัน โดยให้ครั้งละ 60 วินาที/ครั้ง เมื่อเมลอนมีใบจริง ประมาณ 5-7 ใบ ทำค้ำเพื่อให้ต้นเลื้อย ในระหว่างปลูกทำการตัดแต่งกิ่งแขนงที่เกิดตั้งแต่ข้อที่ 1 ถึงข้อที่ 9 และข้อที่ 10-14 ขึ้นไป ทิ้งไว้ให้ผล โดยจะผสมเกสรในช่วงเวลา 06.00-10.00 น. ทุก ๆ วัน จนกว่าจะติดผล 3 ลูก/ต้น เมื่อผลมีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 40 มิลลิเมตร ก็จะเลือกไว้เพียงต้นละ 1 ผล จากนั้นทำการเด็ดยอดใบข้อที่ 27 เพื่อให้ต้นเมลอนหยุดการเจริญเติบโตทางใบและนำธาตุอาหารไปพัฒนาผลเมลอน ก่อนเก็บเกี่ยว 1 สัปดาห์ จะทำการงดการให้น้ำกับต้นเมลอน และทำการเก็บเกี่ยวผลเมลอนหลังผสมเกสรจากการติดผลประมาณ 45 วัน โดยนับจำนวนวันหลังผสมเกสร ดังแสดงใน (Figure 3) ทำการบันทึกข้อมูลทุก ๆ สัปดาห์

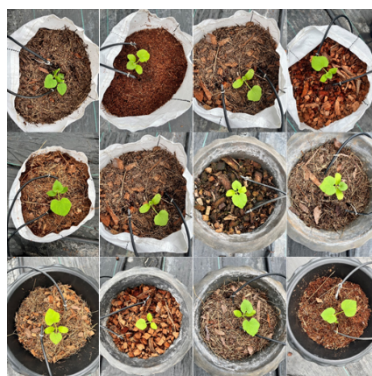


Figure 2 Muskmelon seedlings transplanted into various growing media and container types.

การเตรียมสารละลายธาตุอาหาร

การเตรียมสารละลายธาตุอาหารสูตรเมลอน (จากโปรแกรม NutriCal V1.7T) (Nuntagij, 2014) ที่มีความเข้มข้น 200 เท่า ปริมาตร 20 ลิตร ถึง A ประกอบด้วย $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2 = 4.44$ กิโลกรัม และ $\text{Fe-EDTA} = 19.00$ กรัม ส่วนถึง B ประกอบด้วย $\text{KNO}_3 = 2.87$ กิโลกรัม, $\text{KH}_2\text{PO}_4 = 0.13$ กิโลกรัม, $(\text{NH}_4)_2\text{PO}_4 = 0.46$ กิโลกรัม, $\text{MgSO}_4 = 1.20$ กิโลกรัม, $\text{ZnSO}_4 = 4.75$ กรัม,

$\text{CuSO}_4 = 0.51$ กรัม, $\text{MnSO}_4 = 7.10$ กรัม, $\text{H}_3\text{BO}_3 = 5.08$ กรัม และ $(\text{NH}_4)_6\text{Mo}_7\text{O}_{24} = 0.34$ กรัม หลังจากนั้นนำสารละลายจากถัง A และ B มาผสมกันในถังที่มีน้ำอยู่ 200 ลิตร เพื่อเจือจางสารละลายก่อนนำไปใช้ให้ความเข้มข้นตามที่กำหนดไว้ โดยปริมาตรของสารละลายทั้งสองต้องเท่ากัน จนได้ระดับค่าการนำไฟฟ้า (EC) ของสารละลายธาตุอาหาร 1.8-3.4 mS/cm โดยค่า EC มากขึ้นเรื่อย ๆ ตามการเจริญเติบโตของต้นเมลอนโดยใช้เครื่องวัดค่าการนำไฟฟ้า Electrical Conductivity Meter เป็นเครื่องวัดความเข้มข้นของสารละลาย และปรับค่า pH 5.50-6.50 โดยใช้กรดไนตริกความเข้มข้น 10 เปอร์เซ็นต์ ในการปรับค่า pH ของสารละลายธาตุอาหารใช้เครื่องวัดค่า pH Meter เป็นเครื่องวัดค่าความเป็นกรด-ด่าง



Figure 3 Muskmelon fruit at 45 days after pollination.

การเก็บและวิเคราะห์ข้อมูล

การบันทึกข้อมูลการเจริญเติบโต ผลผลิต และคุณภาพผลผลิต ดังนี้ ด้านการเจริญเติบโตจะวัดความสูงต้น (โดยวัดจากส่วนของลำต้นที่อยู่เหนือวัสดุปลูกถึงปลายยอด) ความกว้างใบ (เซนติเมตร) (วัดจากใบที่ 3 โดยความกว้างใบ วัดจากส่วนที่กว้างที่สุดของใบจากขอบใบถึงขอบใบอีกด้านหนึ่ง และความยาวใบ (เซนติเมตร) วัดจากส่วนโคนใบถึงปลายใบ) ค่าความเขียวใบ (เครื่องวัดคลอโรฟิลล์ (SPAD)) (วัดจากใบที่ 3 โดยวัด 3 จุดของใบและเฉลี่ยค่าเป็นความเขียวใบ) โดยจะเก็บข้อมูลการเจริญเติบโต ทุก ๆ สัปดาห์ ชั่งน้ำหนักต้นสด และน้ำหนักต้นแห้ง (กรัมต่อต้น) โดยเก็บเฉพาะส่วนเหนือดินมาชั่งน้ำหนัก และด้านผลผลิตและคุณภาพผลผลิต ชั่งน้ำหนักผล (กรัมต่อผล) วัดเส้นรอบวงผล (เซนติเมตร) วัดความหนาเนื้อ (มิลลิเมตร) และปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายได้ ($^{\circ}\text{Brix}$) ใช้เครื่องวัด Brix refractometer โดยเก็บข้อมูลในสัปดาห์สุดท้าย และนำข้อมูลมาวิเคราะห์ความแปรปรวนของข้อมูล (Analysis of variance; ANOVA) และเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยตามวิธี Duncan' new multiple range test (DMRT) ด้วยโปรแกรมสำเร็จรูป (Sirichai Statistics ver.7.0)

ผลการศึกษาและวิจารณ์

การเจริญเติบโต

จากการเปรียบเทียบชนิดภาชนะปลูกต่อการปลูกเมลอนในระบบไม่ใช้ดิน เมื่อสิ้นสุดการทดลอง พบว่าในด้านความสูงของลำต้น ความกว้างใบ ความยาวใบ ความเขียวใบ น้ำหนักสดต้น และน้ำหนักแห้งเมลอนที่ปลูกในระบบไม่ใช้ดิน ไม่มีความแตกต่างกัน ทางสถิติ ($P>0.05$) (Table 1 และ Table 2)

ส่วนชนิดของวัสดุปลูกที่ส่งผลต่อการเจริญเติบโตต่อการปลูกเมลอนในระบบไม่ใช้ดิน เมื่อสิ้นสุดการทดลอง ต้นเมลอนที่ใช้วัสดุปลูกขุยมะพร้าว:ขุยมะพร้าว 50:50% มีความสูงของลำต้นมีค่าเฉลี่ยมากที่สุด เท่ากับ 215.25 เซนติเมตร และความสูงของลำต้นมีค่าเฉลี่ยน้อยที่สุด คือ ขุยมะพร้าว 100% เท่ากับ 199.41 เซนติเมตร เมื่อเปรียบเทียบทางสถิติ พบว่า ความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$) (Table 1) ซึ่งสอดคล้องกับคุณลักษณะของวัสดุปลูกทั้ง 2 ชนิด กล่าวคือ ขุยมะพร้าวมีความสามารถในการอุ้มน้ำและธาตุอาหารได้ดี ในขณะที่ขุยมะพร้าวมีโครงสร้างที่โปร่ง ช่วยเพิ่มการระบายอากาศในบริเวณราก ส่งผลให้ต้นเมลอนสามารถเจริญเติบโตได้อย่างเหมาะสม สอดคล้องกับงานของ Resh (2013) กล่าวว่า การเลือกวัสดุปลูกที่มีสมดุลระหว่างการอุ้มน้ำและการระบายอากาศสามารถเพิ่มประสิทธิภาพในการเจริญเติบโตของพืชในระบบปลูกแบบไม่ใช้ดินได้ ส่วนน้ำหนักสดต้นที่ปลูกโดยใช้วัสดุขุยมะพร้าว 100% มีน้ำหนักสดต้นมีค่าเฉลี่ยมากที่สุด เท่ากับ 399.25 กรัม และกาบมะพร้าวสับ:ขุยมะพร้าว 50:50% มีค่าเฉลี่ยน้อยที่สุด เท่ากับ 248.00 กรัม เมื่อเปรียบเทียบทางสถิติ พบว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$)

(Table 2) ซึ่งสอดคล้องกับคุณสมบัติของขุยมะพร้าวที่มีความสามารถในการเก็บกักน้ำและธาตุอาหารได้ดี และยังมีโครงสร้างที่เหมาะสมต่อการยึดเกาะของราก ส่งผลให้พืชสามารถเจริญเติบโตได้ดี (Abad et al., 2001) ข้อมลุน้ำหนักแห้งต้น พบว่าเมลอนที่ปลูกในวัสดุขุยมะพร้าว 100% มีน้ำหนักสดต้นมีค่าเฉลี่ยมากที่สุด เท่ากับ 74.45 กรัม และน้ำหนักสดต้นมีค่าเฉลี่ยน้อยที่สุด คือ การใช้วัสดุปลูกที่ ประกอบด้วย กาบมะพร้าวสับ:ขุยมะพร้าว 50:50% เท่ากับ 53.29 กรัม เมื่อเปรียบเทียบทางสถิติ พบว่า มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$) (Table 2) และพบว่าความกว้างใบ ความยาวใบ และความเขียวใบของเมลอนที่ปลูกในระบบไม่ใช้ดิน พบว่าไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($P>0.05$) (Table 1)

เมื่อพิจารณาอิทธิพลร่วมระหว่างปัจจัยภาชนะปลูก และชนิดของวัสดุปลูกที่ส่งผลต่อความสูงของลำต้นของเมลอนที่ปลูกในระบบไม่ใช้ดิน เมื่อสิ้นสุดการทดลอง พบว่าเมลอนที่ปลูกโดยใช้ถุงพลาสติกสานสีขาวในวัสดุขุยมะพร้าว:ขุยมะพร้าว 50:50% มีค่าเฉลี่ยมากที่สุด เท่ากับ 220.16 เซนติเมตร และความสูงของลำต้นมีค่าเฉลี่ยน้อยที่สุด คือ ถุงพลาสติกสานสีขาวที่ใช้กาบมะพร้าวสับ 100% เท่ากับ 191.83 เซนติเมตร เมื่อเปรียบเทียบทางสถิติ พบว่า มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$) (Table 1) พบว่าเมลอนที่ปลูกโดยใช้กระถางพลาสติกสีดำในวัสดุขุยมะพร้าว 100% มีน้ำหนักสดต้นมีค่าเฉลี่ยมากที่สุด เท่ากับ 417.00 กรัม/ต้น และน้ำหนักสดต้นมีค่าเฉลี่ยน้อยที่สุด คือ เมลอนที่ปลูกโดยใช้กระถางพลาสติกสีดำในวัสดุขุยมะพร้าว: กาบมะพร้าวสับ 50:50% เท่ากับ 296.50 กรัม/ต้น เมื่อเปรียบเทียบทางสถิติ พบว่า มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$) (Table 2) และพบว่าความกว้างใบ ความยาวใบ ความเขียวใบ และน้ำหนักต้นแห้งต้นของเมลอนที่ปลูกในระบบไม่ใช้ดิน พบว่าไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($P>0.05$) (Table 1 และ Table 2)

ผลผลิตและคุณภาพ

จากการเปรียบเทียบภาชนะปลูกที่ส่งผลต่อผลผลิตและคุณภาพของเมลอนที่ปลูกในระบบไม่ใช้ดิน เมื่อสิ้นสุดการทดลอง ในด้านคุณภาพผล พบว่าน้ำหนักผลของเมลอนที่ปลูกในถุงพลาสติกสานสีขาวมีน้ำหนักผลมีค่าเฉลี่ยมากที่สุด เท่ากับ 1033.72 กรัม และน้ำหนักผลมีค่าเฉลี่ยน้อยที่สุดคือ กระถางพลาสติกสีดำ เท่ากับ 936.08 กรัม เมื่อเปรียบเทียบทางสถิติ พบว่า มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$) ส่วนเส้นรอบวงผลเมลอนที่ปลูกโดยใช้ถุงพลาสติกสานสีขาวมีค่าเฉลี่ยมากที่สุด เท่ากับ 34.81 เซนติเมตร และมีค่าเฉลี่ยน้อยที่สุด คือ เมลอนที่ปลูกโดยใช้กระถางพลาสติกสีดำ เท่ากับ 31.65 เซนติเมตร เมื่อเปรียบเทียบทางสถิติ พบว่า มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$) (Table 3) และส่วนความหนาเนื้อเมลอน พบว่าเมลอนที่ปลูกโดยใช้ถุงพลาสติกสานสีขาวมีความหนาเนื้อมีค่าเฉลี่ยมากที่สุด เท่ากับ 33.02 มิลลิเมตร และมีค่าเฉลี่ยน้อยที่สุดคือ เมลอนที่ปลูกโดยใช้กระถางพลาสติกสีดำ เท่ากับ 30.08 มิลลิเมตร เมื่อเปรียบเทียบทางสถิติ พบว่า มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$) (Table 3) และปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายได้ของผลเมลอน พบว่าเมลอนที่ปลูกโดยใช้ถุงพลาสติกสานสีขาวมีปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายได้มีค่าเฉลี่ยสูงสุด เท่ากับ 13.45 °Brix และค่าเฉลี่ยน้อยที่สุดคือ กระถางพลาสติกสีดำ เท่ากับ 13.01 °Brix เมื่อเปรียบเทียบทางสถิติ พบว่า มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$) (Table 3) Damrongrak (2020) ได้รายงานว่ภาชนะปลูกที่มีสีดำจะมีการสะสมอุณหภูมิสูงกว่าภาชนะปลูกที่เป็นสีขาวทำให้พืชที่ปลูกอาจเกิดการสะสมอุณหภูมิรอบๆ บริเวณรากพืชส่งผลให้กระถางพลาสติกสีดำมีแนวโน้มดูดกลืนความร้อนได้มากกว่าถุงพลาสติกสานสีขาว ซึ่งอาจส่งผลให้อุณหภูมิในวัสดุปลูกสูงเกินไป จนกระทบต่อการทำงานของระบบราก และการดูดซึมน้ำกับธาตุอาหาร ส่งผลให้การเจริญเติบโตของผลและสะสมน้ำหนัคน้อยลง

ส่วนวัสดุปลูกที่ส่งผลต่อผลผลิตและคุณภาพของเมลอนที่ปลูกในระบบไม่ใช้ดิน เมื่อสิ้นสุดการทดลอง ในด้านคุณภาพผล พบว่าน้ำหนักสดของเมลอนที่ปลูกในวัสดุขุยมะพร้าว 100% มีค่าเฉลี่ยมากที่สุด เท่ากับ 1,160.33 กรัม และส่วนกลุ่มที่มีน้ำหนักผลมีค่าเฉลี่ยน้อยที่สุด คือเมลอนที่ปลูกในวัสดุขุยมะพร้าว 100% เท่ากับ 349.75 กรัม เมื่อเปรียบเทียบทางสถิติ พบว่า มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$) (Table 2) ส่วนเส้นรอบวงผล พบว่าวัสดุขุยมะพร้าว 100% มีค่าเฉลี่ยมากที่สุด เท่ากับ 40.21 กรัม และน้อยที่สุด คือ เมลอนที่ปลูกโดยใช้วัสดุขุยมะพร้าว 100% และกาบมะพร้าวสับ:ขุยมะพร้าว 50:50% เท่ากับ 29.46 และ 29.46 เซนติเมตร ตามลำดับ เมื่อเปรียบเทียบทางสถิติ พบว่า มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$) (Table 3) พบว่าความหนาเนื้อของเมลอนที่ปลูกโดยใช้วัสดุขุยมะพร้าว 100% มีความหนาเนื้อมีค่าเฉลี่ยมากที่สุด เท่ากับ 33.50 มิลลิเมตร และมีค่าเฉลี่ยที่ต่ำที่สุด คือ เมลอนที่ปลูกโดยใช้วัสดุขุยมะพร้าว 100% เท่ากับ 28.67 มิลลิเมตร เมื่อเปรียบเทียบทางสถิติ พบว่า มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$) (Table 3) และปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายได้ของเมลอน พบว่าเมลอนที่ปลูกโดยใช้ขุยมะพร้าว:ขุยมะพร้าว 50:50% มีปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายได้มีค่าเฉลี่ยสูงสุด เท่ากับ 15.08 °Brix และมีค่าเฉลี่ยน้อยที่สุด คือ เมลอนที่ปลูกโดยใช้วัสดุขุยมะพร้าว 100% และกาบมะพร้าวสับ:ขุยมะพร้าว 50:50% เท่ากับ 11.21 และ 11.17 °Brix ตามลำดับ เมื่อเปรียบเทียบทางสถิติ พบว่า มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$) (Table 3) แสดงให้เห็นว่าวัสดุปลูกชนิดนี้สามารถส่งผลต่อการเจริญทางลำต้นและส่งผลต่อการสะสมสารอาหารในผลเมลอนได้ดี ซึ่งขุยมะพร้าว

มะพร้าวมีโครงสร้างโปร่ง ระบายน้ำและอากาศได้ดีและยังสามารถอุ้มน้ำได้เหมาะสม ทำให้ระบบรากได้รับทั้งออกซิเจนและน้ำอย่างสมดุล ส่งเสริมการดูดธาตุอาหารอย่างมีประสิทธิภาพ (Nuntagij, 2017) ซึ่งสอดคล้องกับ Sharma et al. (2024) ได้รายงานว่าสภาพแวดล้อมบริเวณรากที่เหมาะสมช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการสังเคราะห์แสง และการสะสมคาร์โบไฮเดรตในผลได้ดีขึ้น

Table 1 Effects of container and substrate types on plant height, leaf width, leaf length, and leaf greenness of muskmelon soilless culture at 11 weeks after planting

Treatments	Plant height (cm)	Leaf width (cm)	Leaf length (cm)	Leaf greenness (SPAD unit)
Planting containers (A)				
Black plastic pot (P)	207.83	19.44	14.17	35.4
white woven plastic bag (W)	205.81	19.39	14.67	35.52
F-test	ns	ns	ns	ns
Substrates (B)				
cocopeat 100% (C)	213.58 ^{ab}	19.42	14.42	35.13
oil palm peat 100% (P)	199.41 ^c	19.98	14.17	35.90
chopped coconut husk 100% (H)	205.41 ^{abc}	19.33	14.25	35.39
cocopeat: oil palm peat 50:50% (CP)	215.25 ^a	19.00	14.58	35.02
cocopeat: chopped coconut husk 50:50% (CH)	204.50 ^{abc}	19.42	14.42	35.46
chopped coconut husk: oil palm peat 50:50% (HP)	202.75 ^{bc}	19.75	14.67	35.76
F-test	*	ns	ns	ns
(A x B)				
P x C	217.16 ^{abc}	18.83	14.17	35.23
P x P	200.33 ^{cde}	19.83	13.67	36.80
P x H	219.00 ^{ab}	20.33	14.17	35.70
P x CP	210.33 ^{abcd}	18.56	14.83	34.92
P x CH	199.00 ^{de}	19.33	13.67	35.40
P x HP	201.16 ^{bcde}	19.83	14.50	36.17
W x C	210.00 ^{abcd}	20.00	14.67	35.02
W x P	198.50 ^{de}	19.33	14.67	35.00
W x H	191.83 ^e	18.33	14.33	35.08
W x CP	202.16 ^a	19.50	14.33	35.13
W x CH	210.00 ^{abcd}	19.50	15.17	35.52
W x HP	204.33 ^{abcde}	19.67	14.83	35.35
F-test	*	ns	ns	ns
C.V.%	6.54	10.63	8.75	3.68

^{ns} Non –significant

* Significant at ($P < 0.05$)

^x Different letters within a column indicate significant difference at ($P < 0.05$) by Duncan' s new multiple range test

และเมื่อพิจารณาอิทธิพลร่วมระหว่างปัจจัยภาชนะปลูกและชนิดของวัสดุปลูกต่อผลผลิตและคุณภาพของเมลอนที่ปลูกในระบบไม่ใช้ดิน เมื่อสิ้นสุดการทดลอง พบว่าเส้นรอบวงผลของเมลอนที่ปลูกในถุงพลาสติกสานสีขาวโดยใช้ขุยมะพร้าว:ขุยมะพร้าว 50:50% มีเส้นรอบวงผลมีค่าเฉลี่ยมากที่สุด เท่ากับ 41.67 และมีค่าเฉลี่ยน้อยที่สุดคือ เมลอนที่ปลูกในกระถางพลาสติกสีดำโดยใช้กากมะพร้าวสับ:ขุยมะพร้าว 50:50% เท่ากับ 28.67 เซนติเมตร เมื่อเปรียบเทียบทางสถิติ พบว่า มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) (Table 3) (Figure 3) ความหนาเนื้อของเมลอน พบว่าเมลอนที่ปลูกโดยใช้ถุงพลาสติกสานสีขาวโดยใช้วัสดุ

ขุยมะพร้าว:ขุยมะพร้าว 50:50% มีปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายได้มีค่าเฉลี่ยสูงสุด เท่ากับ 16.00 °Brix และน้อยที่สุด คือ ถูกลดลงจากสสารสีขาวที่ใส่ขุยมะพร้าว 100% เท่ากับ 10.75 %brix เมื่อเปรียบเทียบทางสถิติ พบว่า มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$) (Table 3) เนื่องจากถูกลดลงจากสสารสีขาวช่วยสร้างสภาพแวดล้อมรากที่เหมาะสมมากขึ้น เช่น การระบายน้ำและอากาศได้ดี ลดความร้อนสะสม และช่วยให้รากเจริญได้เต็มที่ ส่งผลให้การเคลื่อนย้ายสารอาหารและน้ำจากรากไปยังผลมีประสิทธิภาพสูงขึ้น นอกจากนี้ การใช้วัสดุปลูกผสมระหว่าง ขุยมะพร้าวและขุยมะพร้าวในอัตรา 50:50% อาจช่วยสร้างความสมดุลระหว่างการอุ้มน้ำและการระบายอากาศ ทำให้รากไม่เกิดความเครียดจากน้ำเกินหรืออากาศน้อยเกินไป ซึ่งเป็นปัจจัยสำคัญในการสะสมของแข็งละลายในผลพีชเมลอน (Sambo et al. 2019) และพบว่าน้ำหนักผล และความหนาเนื้อของเมลอนพบว่า ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($P>0.05$) (Table 2 และ Table 3)

Table 2 Effects of container and substrate types on fresh plant weight, dry plant weight, and fruit weight of muskmelon soilless culture at 11 weeks after planting

Treatments	Fresh plant weight (g/plant)	Dry plant weight (g/plant)	Fruit weight (g/fruit)
Planting containers (A)			
Black plastic pot (P)	311.97	59.16	936.08 ^b
white woven plastic bag (W)	313.56	61.52	1033.72 ^a
F-test	ns	ns	*
Substrates (B)			
cocopeat 100% (C)	399.25 ^a	74.45 ^a	1160.33 ^a
oil palm peat 100% (P)	259.00 ^c	58.38 ^b	349.75 ^{cd}
chopped coconut husk 100% (H)	274.16 ^c	59.61 ^b	961.42 ^{bcd}
cocopeat: oil palm peat 50:50% (CP)	366.58 ^{ab}	60.45 ^b	1115.38 ^{ab}
cocopeat: chopped coconut husk 50:50% (CH)	329.58 ^b	55.83 ^b	1006.50 ^{abc}
chopped coconut husk: oil palm peat 50:50% (HP)	248.00 ^c	53.29 ^b	815.83 ^d
F-test	*	*	*
(A x B)			
P x C	417.00 ^a	75.19	1111.50
P x P	243.83 ^{cd}	59.55	827.33
P x H	292.83 ^c	58.87	900.17
P x CP	352.67 ^b	60.14	1004.67
P x CH	296.00 ^c	50.35	972.17
P x HP	269.50 ^{cd}	50.84	800.67
W x C	381.50 ^{ab}	73.71	1209.17
W x P	274.17 ^{cd}	57.22	872.17
W x H	255.50 ^{cd}	60.35	1022.67
W x CP	380.50 ^{ab}	60.76	1226.50
W x CH	363.17 ^{ab}	61.32	1040.83
W x HP	226.50 ^d	55.75	831.00
F-test	*	ns	ns
C.V.%	14.67	17.73	14.28

^{ns} Non –significant

* Significant at ($P<0.05$)

^x Different letters within a column indicate significant difference at ($P<0.05$) by Duncan' s new multiple range test

Table 3 Effects of container and substrate types on fruit circumference, flesh thickness, and total soluble solid of muskmelon soilless culture at 11 weeks after planting

Treatments	Fruit circumference (cm)	Flesh thickness (mm)	Total soluble solid (°Brix)
Planting containers (A)			
Black plastic pot (P)	31.65 ^b	30.08 ^b	13.01 ^b
white woven plastic bag (W)	34.81 ^a	33.02 ^a	13.45 ^a
F-test	*	*	*
Substrates (B)			
cocopeat 100% (C)	40.21 ^a	33.50 ^a	14.92 ^{ab}
oil palm peat 100% (P)	29.46 ^e	28.67 ^b	11.21 ^d
chopped coconut husk 100% (H)	30.77 ^d	33.08 ^a	14.42 ^b
cocopeat: oil palm peat 50:50% (CP)	36.50 ^b	32.75 ^a	15.08 ^a
cocopeat: chopped coconut husk 50:50% (CH)	33.00 ^c	30.75 ^{ab}	12.63 ^c
chopped coconut husk: oil palm peat 50:50% (HP)	29.46 ^e	30.58 ^{ab}	11.17 ^d
F-test	*	*	*
(A x B)			
P x C	40.00 ^b	34.00	14.50 ^b
P x P	29.17 ^{fg}	27.33	11.67 ^{cd}
P x H	29.92 ^{efg}	30.83	14.33 ^b
P x CP	31.33 ^d	28.83	14.17 ^b
P x CH	30.83 ^{de}	29.50	12.58 ^c
P x HP	28.67 ^g	30.00	10.83 ^d
W x C	40.42 ^{ab}	33.00	15.33 ^{ab}
W x P	29.75 ^{efg}	30.00	10.75 ^d
W x H	31.62 ^d	35.33	14.50 ^b
W x CP	41.67 ^a	36.67	16.00 ^a
W x CH	35.17 ^c	32.00	12.67 ^c
W x HP	30.25 ^{def}	31.17	11.50 ^{cd}
F-test	*	ns	*
C.V.%	3.27	10.99	5.81

^{ns} Non –significant* Significant at ($P < 0.05$)^x Different letters within a column indicate significant difference at ($P < 0.05$) by Duncan' s new multiple range test

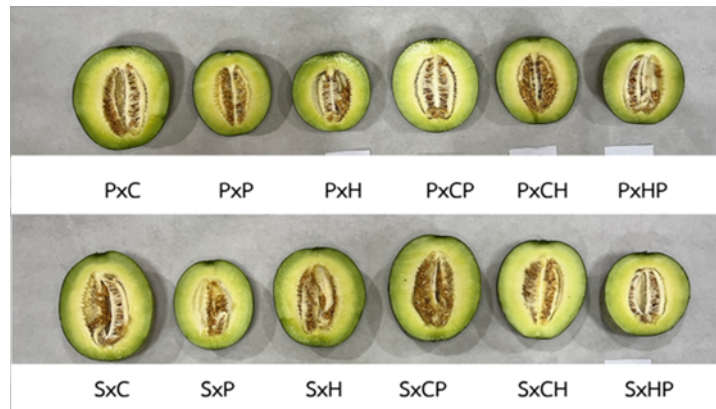


Figure 4 Comparison of container and substrates types on muskmelon yield in soilless culture. (PxC) Black plastic pots filled with cocopeat 100%, (PxP) Black plastic pots filled with Oil palm peat 100%, (PxH) Black plastic pots filled with chopped coconut husk 100%, (PxCP) Black plastic pots filled with cocopeat:oil palm peat 50:50%, (PxCH) Black plastic pots filled with cocopeat: chopped coconut husk 50:50%, (PxHP) Black plastic pots filled with chopped coconut husk:oil palm peat 50:50%, (WxC) White woven plastic bag filled with cocopeat 100%, (WxP) White woven plastic bag filled with oil palm peat 100%, (WxH) White woven plastic bag filled with chopped coconut husk 100%, (WxCP) White woven plastic bag filled with cocopeat:oil palm peat 50:50%, (WxCH) White woven plastic bag filled with cocopeat: chopped coconut husk 50:50%, and (WxHP) White woven plastic bag filled with chopped coconut husk:oil palm peat 50:50%

สรุปผลการศึกษา

การปลูกต้นเมลอนในระบบปลูกไม่ใช้ดิน พบว่าภาชนะปลูกที่ใช้ถุงพลาสติกสานสีขาวส่งผลให้เมลอนมีขนาดลำต้นที่ใหญ่กว่า น้ำหนักผลผลิตมากกว่า และคุณภาพเนื้อผลดีกว่า เมื่อเปรียบเทียบกับกระถางพลาสติกสีดำ ส่วนของวัสดุปลูก พบว่าการใช้วัสดุปลูกขุยมะพร้าว 100% และขุยมะพร้าว:ขุยมะพร้าว 50:50% ส่งผลต่อการเพิ่มความสูงต้น น้ำหนักผล และคุณภาพเนื้อผลเมลอน (ความหนาเนื้อ และปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายได้) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) ทั้งนี้อาจเป็นผลจากคุณสมบัติของ ขุยมะพร้าวที่สามารถอุ้มน้ำและธาตุอาหารได้ดีร่วมกับขุยมะพร้าวที่มีโครงสร้างโปร่ง ช่วยให้การระบายอากาศบริเวณรากดีขึ้น และอิทธิพลร่วมของปัจจัยพบว่าเมลอนมีเจริญเติบโตและผลผลิตที่ดีที่สุดคือ การใช้ถุงพลาสติกสานสีขาวร่วมกับวัสดุปลูกขุยมะพร้าว:ขุยมะพร้าว 50:50% ซึ่งให้ความสูงต้น เส้นรอบวงผล และปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายได้สูงที่สุด แสดงให้เห็นถึงความเหมาะสมของการผสมผสานวัสดุปลูกที่มีคุณสมบัติเสริมกันภายใต้ภาชนะปลูกที่ระบายอากาศได้ดี

ผลประโยชน์ทับซ้อน

ผู้เขียนขอประกาศว่าบทความนี้ไม่มีผลประโยชน์ทับซ้อน

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณรองศาสตราจารย์ อิทธิสุนทร นันทกิจ ที่กรุณาให้คำปรึกษาความรู้ แนะนำ และข้อชี้แนะในการทดลอง และขอขอบคุณสถาบันวิจัยและพัฒนา มหาวิทยาลัยราชภัฏรำไพพรรณี ในการสนับสนุนทุนวิจัย กองทุนวิจัย ประจำปีงบประมาณ 2567

การมีส่วนร่วมในการเขียนบทความของผู้เขียน

ความคิดริเริ่ม ออกแบบการทดลอง การปฏิบัติการวิจัย เก็บข้อมูล วิเคราะห์ข้อมูลและเขียนต้นฉบับ: นภาพร จิตต์ศรัทธา. มีส่วนร่วมในการปฏิบัติการวิจัย เก็บข้อมูล : พิกุล นุชนวลรัตน์, นภาพรณ หนิมพานิช.

เอกสารอ้างอิง

- Abad, M., Fornes, F., Carrion, C., & Noguera, V. (2001). Physical properties of various coconut coir dusts compared to peat. **HortScience**, 36(2), 193–197. <https://doi.org/10.21273/HORTSCI.40.7.2138>.
- Charlotte, H. (2007). **100 Superfoods to Boost Immunity**. Kyodo Nation Printing Service. (in Thai).
- Damrongrak, I. (2020). Effect of types and colors of growing containers on growth and yield of melon (*cucumis melol.*) and growing media temperature. **Journal of Science and Technology, RMU**, 5(2), 122–131. (in Thai).
- Gabriele, A., Piero, F., & Riccado, P. (2010). Effect of container on plant growth and root deformation of littleleaf linden and field elm. **American Society for Horticultural Science**, 45(12), 1824-1829. <https://doi.org/10.21273/HORTSCI.45.12.1824>.
- Jitsatta, N. (2019). **Teaching Material for Soilless Culture**. Department of Agricultural Science, Faculty of Agricultural Technology, Rambhai Barni Rajabhat University. (in Thai).
- Jitsatta, N., & Rasamee, W. (2018). Effect of substrates on growth and yield of muskmelon (*Cucumis melo* L.). **Rambhai Barni Rajabhat Research Journal**, 13(2), 17–24. (in Thai).
- Nuntagij, I. (2014). **Program for Calculating the Preparation of Plant Nutrient Solution NutriCal V1.7T**. Faculty of Agricultural Technology, King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang. (in Thai).
- Nuntagij, I. (2017). **Hydroponic Crop Production**. King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang. (in Thai).
- Phatanasthetphong, T. (1991). **Hydroponic Cultivation**. Pranokkanphim. (in Thai).
- Resh, H. M. (2013). **Hydroponic Food Production**. 7th Ed. CRC Press.
- Thongket, T. (2004). **Hydroponic Cultivation**. Retrieved from: https://kukr.lib.ku.ac.th/db/KPS/search_detail/result/120010. (in Thai).
- Sambo, P., Nicoletto, C., Giro, A., Pii, Y., Valentinuzzi, F., Mimmo, T., Lugli, G., Orzes, G., Mazzetto, F., Astolfi, S., Terzano, R., & Cesco, S. (2019). Hydroponic solutions for soilless production systems: issues and opportunities in a smart agriculture perspective. **Frontiers in Plant Science**, 10(1), 923. <https://doi.org/10.3389/fpls.2019.00923>.
- Sharma, A., Hazarika, M., Heisnam, P., Pandey, H., Devadas, V. S., & Wangsu, M. (2024). Controlled environment ecosystem: A plant growth system to combat climate change through soilless culture. **Crop Design**, 3(1), 100044. <https://doi.org/10.1016/j.crope.2023.100044>.
- Villanueva-Suárez, M. J., Tenorio, M. D., Esteban, M. A., & Mendoza, M. C. (2004). Compositional changes during ripening of two cultivars of muskmelon fruits. **Food Chemistry**, 87(2), 179-185. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2003.11.009>.

การเสริมผงแก่นมะหาดต่อการเจริญเติบโต การต้านการอักเสบ และการลดความเครียด ในไก่ลูกผสมพื้นเมือง

Effect of *Artocarpus lakoocha* Heartwood Powder Supplementation on Growth Performance, Anti-Inflammatory and Stress-Reducing Responses in Crossbred Native Chickens

ณัฐวัฒน์ ตันพล¹, ทิพย์สุดา บุญมาตัน^{1*} และนพรัตน์ ผกาเชิด¹
Nathawat Tanpol¹, Thipsuda Boonmatan^{1*} and Nopparat Phakachoe¹

Received date: 24 พ.ย. 68 Revised date: 16 ม.ค. 69 Accepted date: 19 ม.ค. 69

DOI: <https://doi.org/10.55003/kmaj.2026.269858>

บทคัดย่อ

การวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลของการเสริมผงแก่นมะหาด (*Artocarpus lakoocha* heartwood powder) ซึ่งมีส่วนด้านในของลำต้น ในอาหารไก่ลูกผสมพื้นเมืองต่อความสามารถในการต้านการอักเสบ การลดความเครียด และประสิทธิภาพการเจริญเติบโต โดยใช้การทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ (CRD) ในไก่ลูกผสมพื้นเมือง แรกเกิดถึง 70 วัน จำนวนทั้งหมด 400 ตัว แบ่งเป็น 4 กลุ่มทดลองกลุ่มๆ ละ 4 ซ้ำๆ ละ 25 ตัว โดยมีกลุ่มควบคุม และกลุ่มที่เสริมผงแก่นมะหาดที่ระดับ 0.2% 0.4% และ 0.6% ผลการศึกษาพบว่าการเสริมผงแก่นมะหาดที่ระดับ 0.4% และ 0.6% มีผลต่อปริมาณอาหารที่กินได้ที่ 0-4 สัปดาห์ที่ลดลง อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) แต่ไม่มีผลต่อ น้ำหนักตัวเฉลี่ย อัตราการเจริญเติบโตต่อวัน และประสิทธิภาพการเปลี่ยนอาหาร ($p > 0.05$) ด้านตัวชี้วัดความเครียด และการอักเสบ พบว่าการเสริมผงแก่นมะหาดที่ระดับ 0.2% 0.4% และ 0.6% มีผลต่อระดับคอร์ติโคสเตอโรนที่ต่ำลงในเลือด และที่ระดับ 0.2% พบว่า Heterophil ต่อ Lymphocyte (h/l ratio) ต่ำที่สุด อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) ดังนั้นการเสริมผงแก่นมะหาดในระดับ 0.2% สามารถช่วยลดความเครียดในไก่ลูกผสมพื้นเมืองได้ โดยไม่ส่งผลกระทบต่อสมรรถนะการเจริญเติบโตและคุณภาพการผลิต ซึ่งมีศักยภาพในการนำไปใช้เป็นสารเสริมอาหารธรรมชาติทดแทนการใช้สารสังเคราะห์หรือยาปฏิชีวนะในอุตสาหกรรมการผลิตสัตว์ปีกได้อย่างยั่งยืน

คำสำคัญ: ผงแก่นมะหาด ไก่ลูกผสมพื้นเมือง ความเครียด การอักเสบ

Abstract

This study was conducted to evaluate the effects of dietary supplementation with *Artocarpus lakoocha* heartwood powder on anti-inflammatory responses, stress reduction, and growth performance of native crossbred chickens. A 70-day feeding trial was performed using a completely randomized design (CRD). A total of 400 day-old chicks were randomly allocated to four treatment groups, with four replicates of 25 birds each. The experimental treatments consisted of a basal diet (control) and diets supplemented with *A. lakoocha* heartwood powder at concentrations of 0.2%, 0.4%, and 0.6%. The results indicated that dietary supplementation with *A. lakoocha* heartwood powder at levels of 0.4% and 0.6% significantly reduced feed intake during 0–4 weeks of age ($p < 0.05$). However, no significant effects were observed on body weight, average daily gain, or feed conversion ratio throughout the experimental period ($P > 0.05$). Regarding stress and inflammatory indicators, supplementation with *A. lakoocha* heartwood powder at levels of 0.2%, 0.4%, and 0.6% significantly decreased blood corticosterone levels. In addition, chickens supplemented with 0.2% *A. lakoocha* heartwood powder showed the lowest heterophil-to-lymphocyte (H/L) ratio, with a significant difference ($p < 0.05$). In conclusion, supplementing the diet of native crossbred chickens with 0.2% *A. lakoocha* heartwood powder can effectively alleviate stress without adversely affecting growth performance. These findings suggest its potential as a phytogenic feed additive to reduce the reliance on synthetic compounds and antibiotics in sustainable poultry production.

Keywords: *Artocarpus lakoocha* heartwood powder, native crossbred chickens, stress, inflammation

¹ สาขาวิชาเทคโนโลยีการผลิตสัตว์ คณะเทคโนโลยีการเกษตร มหาวิทยาลัยกาฬสินธุ์ จังหวัดกาฬสินธุ์ 46000

¹ Department of Animal Production Technology, Faculty of Agricultural Technology, Kalasin University, Kalasin 46000

* Corresponding author: thipsuda.bo@ksu.ac.th

คำนำ

ในปัจจุบันอุตสาหกรรมการผลิตไก่ลูกผสมพื้นเมืองมีแนวโน้มขยายตัวในเชิงพาณิชย์ ส่งผลให้รูปแบบการเลี้ยงมีความหนาแน่นสูง ประกอบกับสภาพภูมิอากาศในเขตร้อนและภาวะโลกร้อนทำให้ไก่ต้องเผชิญกับสภาวะเครียดจากความร้อน (heat stress) ซึ่งเป็นปัจจัยลบสำคัญที่ส่งผลกระทบต่อสรีรวิทยาและระบบต่อมไร้ท่อของสัตว์ ทำให้ระดับฮอร์โมนความเครียดคือ คอร์ติโคสเตอรอน (corticosterone) ในเลือดเพิ่มสูงขึ้น (Nawab et al., 2018; Sapolsky et al., 2000) และเกิดความไม่สมดุลของเม็ดเลือดขาว โดยสะท้อนผ่านค่าอัตราส่วนเฮเทอโรฟิลต่อลิมโฟไซต์ (h/l ratio) ที่สูงขึ้น (Gross and Siegel, 1983) ภาวะดังกล่าวส่งผลให้เกิดอนุมูลอิสระและความเครียดออกซิเดชัน (oxidative stress) นำไปสู่ภาวะภูมิคุ้มกันต่ำ การอักเสบเรื้อรัง สมรรถนะการผลิตลดลง และอัตราการตายเพิ่มขึ้น (Nawab et al., 2018) เพื่อควบคุมโรคและรักษาประสิทธิภาพการผลิต ผู้เลี้ยงจึงจำเป็นต้องพึ่งพายาปฏิชีวนะและยาต้านจุลชีพ อย่างไรก็ตาม การใช้ยาดังกล่าวอย่างต่อเนื่องก่อให้เกิดความเสี่ยงเรื่องสารตกค้างในผลิตภัณฑ์สัตว์ ซึ่งเป็นประเด็นที่ผู้บริโภคและหน่วยงานด้านความปลอดภัยอาหารให้ความสำคัญอย่างยิ่ง จึงเกิดแนวทางในการลดการใช้ยาปฏิชีวนะและหาสารทดแทนจากธรรมชาติ โดยเฉพาะสมุนไพร ซึ่งมีศักยภาพในการเสริมภูมิคุ้มกัน ปรับสมดุลสุขภาพสัตว์ และลดปัญหาโรคระบบทางเดินอาหารโดยไม่พึ่งสารตกค้าง (Jha and Kim, 2021)

มะหาด (*Artocarpus lakoocha* Roxb.) เป็นไม้ยืนต้นในวงศ์ Moraceae ที่เป็นพืชประจำถิ่นสำคัญของไทยและพบทั่วไปในเอเชีย ส่วนต่าง ๆ ของมะหาดถูกใช้ในยาแผนโบราณมาอย่างยาวนาน โดยเฉพาะ "แก่นมะหาด" ซึ่งคือเนื้อไม้ส่วนในสุด (Heartwood) ของลำต้นที่มีการสะสมของสารฟลักซ์เคมี (phytochemicals) เข้มข้นกว่าส่วนอื่น การศึกษาองค์ประกอบทางเคมีพบว่าแก่นมะหาดอุดมไปด้วยสารกลุ่มฟีนอลิกและฟลาโวนอยด์ (flavonoids) ปริมาณสูง (Jagtap and Bapat, 2010) โดยสารสำคัญที่พบมากที่สุด ได้แก่ ออกซีเรสเวอราทรอล (oxyresveratrol) และ เควอซีติน (quercetin) ซึ่งเป็นสารต้านอนุมูลอิสระที่มีประสิทธิภาพสูง (Singhatong et al., 2010; Subtaeng et al., 2023) สารออกฤทธิ์ทางชีวภาพในแก่นมะหาด โดยเฉพาะ เควอซีติน (quercetin) มีบทบาทสำคัญต่อสรีรวิทยาของสัตว์ผ่านหลายกลไก กล่าวคือ เควอซีตินทำหน้าที่เป็นสารต้านอนุมูลอิสระที่มีศักยภาพ ช่วยปกป้องเซลล์จากความเสียหายโดยการดักจับอนุมูลอิสระโดยตรง และกระตุ้นการทำงานของเอนไซม์ต้านอนุมูลอิสระในร่างกาย (Dong et al., 2020) นอกจากนี้ ยังมีคุณสมบัติด้านการอักเสบ (anti-inflammatory) โดยมีรายงานว่าเควอซีตินสามารถ ยับยั้งเส้นทางการส่งสัญญาณ NF- κ B (nuclear factor kappa B signaling pathway) ซึ่งเป็นตัวควบคุมหลักของการตอบสนองต่อการอักเสบ ส่งผลให้การหลั่งสารสื่อกลางที่ก่อให้เกิดการอักเสบ (pro-inflammatory cytokines) ลดลง และช่วยปรับสมดุลระบบภูมิคุ้มกัน ทำให้สัตว์สามารถต่อต้านความเครียดจากสภาพแวดล้อมได้ดียิ่งขึ้น (Yang et al., 2020)

จากข้อมูลข้างต้น การวิจัยนี้จึงมีแนวคิดที่จะนำผงแก่นมะหาด ซึ่งผ่านการวิเคราะห์แล้วว่ามีสารออกฤทธิ์กลุ่มฟลาโวนอยด์ โดยเฉพาะเควอซีติน มาใช้เป็นสารเสริมในอาหารสัตว์ โดยมีสมมติฐานว่าสารออกฤทธิ์ดังกล่าวจะช่วยลดระดับความเครียดทางสรีรวิทยา ลดการอักเสบ และส่งเสริมสุขภาพของไก่ได้ งานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลของการเสริมผงแก่นมะหาดในอาหารไก่ลูกผสมพื้นเมือง ต่อความสามารถในการต้านการอักเสบ การต้านความเครียด ผ่านตัวชี้วัดทางโลหิตวิทยาและฮอร์โมน และประสิทธิภาพการเจริญเติบโต เพื่อเป็นแนวทางในการใช้ประโยชน์จากสมุนไพรท้องถิ่นในการผลิตสัตว์ปีกอย่างยั่งยืนต่อไป

วิธีการศึกษา

การเลี้ยงและการจัดการ

การศึกษาครั้งนี้ได้รับอนุญาตใช้สัตว์เพื่องานทางวิทยาศาสตร์ตามเอกสารอนุญาตเลขที่ KSU-AE-056 ใช้ไก่ลูกผสมพื้นเมืองสายพันธุ์ชัยอารีย์ ของบริษัท ฟาร์มชัยอารีย์ จำกัด อายุ 1 วัน จำนวน 400 ตัว แบ่งออกเป็น 4 กลุ่มๆ ละ 4 ซ้ำๆ ละ 25 ตัว เลี้ยงในโรงเรือนระบบเปิด ขนาด 1.5x1.5 เมตร (พื้นที่ 11 ตัวต่อ 1 ตารางเมตร) จำนวน 16 คอก ให้กินอาหารผสมตามความต้องการเต็มที่ (*ad libitum*) หรือโดยเฉลี่ย 85-95 กรัมต่อตัวต่อวัน ระยะเวลาการเลี้ยง 70 วัน โดยให้อาหารไก่เนื้อสำเร็จรูปทางการค้า ซึ่งระบุบนฉลากและเอกสารกำกับผลิตภัณฑ์ว่าไม่มีการผสมยาปฏิชีวนะในสูตรอาหาร (antibiotic-free) ตามช่วงอายุ ดังนี้ ไก่อายุ 0-4 สัปดาห์ ให้อาหารสำเร็จรูปโปรตีนไม่ต่ำกว่า 21% ไก่อายุ 5-6 สัปดาห์ ให้อาหารไก่เนื้อสำเร็จรูปโปรตีนไม่ต่ำกว่า 19% และไก่อายุ 7-10 สัปดาห์ ให้อาหารไก่เนื้อสำเร็จรูปโปรตีนไม่ต่ำกว่า 17% โปรแกรมแสงธรรมชาติ ให้กินอาหาร-น้ำดื่มที่ และทำการป้องกันโรคตามโปรแกรมการให้วัคซีนของกรมปศุสัตว์

แผนการทดลอง

วางแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ (Completely randomized design) โดยมีกลุ่มทดลองที่ต้องการศึกษา 4 กลุ่ม ก่อนทำการทดลอง เตรียมผงแก่นมะหาด เริ่มจากนำส่วนเนื้อไม้ด้านในของลำต้นมะหาดที่อายุไม่ต่ำกว่า 5 ปี สับเป็นชิ้นขนาด 2-5 เซนติเมตร นำไปตากแดด 3-4 วัน จากนั้นนำมาบดโดยเครื่องบดแบบ hummer mill ร่อนผ่านตะแกรงขนาด 0.15 มิลลิเมตร จน

เป็นผงละเอียด นำเข้าเครื่องอบแห้งด้วยลมร้อนที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 48 ชั่วโมง ในการทดลองนี้ก่อนเสริมผงแก่นมะหาด จะดำเนินการวิเคราะห์ Total flavonoid ด้วยวิธี Aluminum chloride colorimetric method (Chang et al., 2002) จากผลการวิเคราะห์พบสารออกฤทธิ์ เควอซิติน (quercetin) 0.39 ± 0.01 มิลลิกรัม/100 มิลลิกรัมวัตถุแห้ง เพื่อใช้ผสมในแต่ละกลุ่มการทดลอง ดังนี้

กลุ่มทดลองที่ 1 กลุ่มควบคุม (control)

กลุ่มทดลองที่ 2 เสริมผงแก่นมะหาด ลงในอาหารที่ระดับ 0.2% ต่อน้ำหนักอาหาร ปริมาณเควอซิติน 7.8 มก./กก.อาหาร

กลุ่มทดลองที่ 3 เสริมผงแก่นมะหาด ลงในอาหารที่ระดับ 0.4% ต่อน้ำหนักอาหาร ปริมาณเควอซิติน 15.6 มก./กก.อาหาร

กลุ่มทดลองที่ 4 เสริมผงแก่นมะหาด ลงในอาหารที่ระดับ 0.6% ต่อน้ำหนักอาหาร ปริมาณเควอซิติน 23.4 มก./กก.อาหาร

การเก็บข้อมูลสมรรถนะการผลิต

เก็บข้อมูลสมรรถนะการเลี้ยง ตั้งแต่แรกเกิดถึง 70 วัน ชั่งน้ำหนักทุกสัปดาห์ เก็บข้อมูลปริมาณอาหารที่กินได้ โดยทำการชั่งอาหารที่ให้ และอาหารที่เหลือในแต่ละวัน จนสิ้นสุดการทดลอง เพื่อนำไปคำนวณปริมาณอาหารที่กินได้เฉลี่ย (feed intake) อัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นน้ำหนักตัว (FCR) อัตราการเจริญเติบโตเฉลี่ยต่อวัน (ADG) ของแต่ละกลุ่มทดลอง และเก็บข้อมูลการตายของไก่ทุกวัน เพื่อดูอัตราการตาย ของแต่ละกลุ่มทดลอง สูตรคำนวณสมรรถนะการผลิต ดังนี้

ปริมาณอาหารที่กินได้ (feed intake) = ปริมาณอาหารที่กินทั้งหมด (กรัม) / (จำนวนสัตว์ x จำนวนวันของการทดลอง)

อัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นน้ำหนัก (FCR) = ปริมาณอาหารที่กินทั้งหมด (กรัม) / น้ำหนักตัวที่เพิ่มขึ้นทั้งหมด (กรัม)

อัตราการเจริญเติบโตเฉลี่ยต่อวัน (ADG) = {น้ำหนักตัวสุดท้าย(กรัม) - น้ำหนักตัวเริ่มต้น (กรัม)} / จำนวนวันของการทดลอง

อัตราการตาย (%) = (จำนวนสัตว์ที่ตาย / จำนวนสัตว์เริ่มต้น) X 100

การศึกษาโลหิตวิทยาทางด้านความเครียด และการอักเสบ

วิเคราะห์ความเข้มข้นของคอร์ติโคสเตอรอน (Corticosterone)

เก็บตัวอย่างเลือดไก่ที่อายุ 10 สัปดาห์ เพื่อวิเคราะห์ค่าโลหิตวิทยาทั้งหมด โดยใช้เข็มฉีดยาเบอร์ 21 เก็บจากเส้นเลือดปีก (wing vein) ปริมาณ 2 มิลลิลิตร เลือดที่เก็บได้ถูกใส่ลงในหลอดเก็บเลือดที่ไม่มีสารป้องกันเลือดแข็งตัว ปลอຍให้เลือดแข็งตัว จากนั้นนำเลือดไปปั่นเหวี่ยงที่ความเร็ว 3,000 rpm เป็นเวลา 10 นาที ดูดส่วนใส 5 μ l และเติม 5 μ l ของ Dissociation reagent ลงในหลอดไมโครเซนติฟิวจ์ ผสมเบาๆ แล้วบ่มที่อุณหภูมิห้อง 5 นาที ตามด้วยการเติม 490 μ l ของ 1X Assay buffer เพื่อให้ได้อัตราส่วนการเจือจางเริ่มต้นที่ 1:100 หลังจากนั้นนำพลาสมาที่ได้วิเคราะห์ความเข้มข้นของคอร์ติโคสเตอรอน โดยใช้ชุดทดสอบสำเร็จรูป corticosterone ELISA assay mini-kit (Thermo Fisher Scientific, 2024) ตามวิธีของผู้ผลิต โดยจะนำพลาสมา และสารมาตรฐานที่เตรียมไว้ เติลงลงใน microplate หลังจากนั้นการเติมเอนไซม์และสารเคมีเพื่อให้เกิดปฏิกิริยาสี แล้วอ่านค่าความเข้มข้นของคอร์ติโคสเตอรอน ด้วย Microplate reader ที่ความยาวคลื่น 450 nm. สุดท้าย อ่านค่าที่คำนวณความเข้มข้นของคอร์ติโคสเตอรอนจากเครื่อง

การประเมินค่าอัตราส่วน Heterophil ต่อ Lymphocyte (H/L ratio)

เก็บเลือดปริมาณ 1 มิลลิลิตร ลงในหลอด EDTA ตรวจหาค่าโลหิตวิทยา (complete blood count) โดยเครื่อง Horiba hematology analyzer รุ่น Pentra ES60 และใช้การย้อมและนับเซลล์เม็ดเลือดขาวด้วย Wright's stain หรือ May-Grünwald Giemsa stain ตามวิธีของ Gross and Siegel (1983) อ่านด้วยกล้องจุลทรรศน์กำลังขยาย 100x โดยแยกชนิด heterophils และ lymphocytes จากนั้นคำนวณค่า H/L ratio ทำโดยการหารจำนวน heterophils ด้วยจำนวน lymphocytes ของสัตว์แต่ละตัว

การประเมินค่า Erythrocyte sedimentation rate (ESR)

เก็บเลือดปริมาณ 1 มิลลิลิตร ลงในหลอด EDTA หลังจากนั้น ทำการวัดค่า ESR ใช้วิธี Westergren modified โดยเติมเลือดลงในหลอด Westergren อ่านระยะจากเส้นบนของพลาสมาบนสุดถึงขอบบนสุดของชั้นเม็ดเลือดแดงหลังจากปล่อยให้เซลล์เม็ดเลือดแดงตกตะกอนเป็นเวลา 1 ชั่วโมง บันทึกเป็น mm/hr (Gross and Siegel, 1983)

การวิเคราะห์ผลทางสถิติ

ข้อมูลทั้งหมดจะถูกนำมาวิเคราะห์ความแปรปรวน (Analysis of variance; ANOVA) และเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยระหว่างกลุ่มการทดลองด้วย Duncan's New Multiple Range Test (DMRT) ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% โดยโปรแกรม SPSS for window version 16.0 (IBM Corp, 2007)

ผลการศึกษาและวิจารณ์

จากการศึกษาผลของการเสริมผงแก่นมะหาดในอาหารต่อสมรรถนะการเจริญเติบโตของไก่ลูกผสมพื้นเมืองตลอดระยะเวลา 10 สัปดาห์ พบว่าการเสริมผงแก่นมะหาดในทุกระดับ ไม่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงน้ำหนักตัวเฉลี่ยอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ เมื่อเปรียบเทียบกับกลุ่มควบคุมในทุกช่วงอายุ ดังแสดงใน Table 1 อัตราการเจริญเติบโตเฉลี่ยต่อวัน (ADG, g/day) ค่า ADG ในช่วงอายุ 0-4, 4-6, 6-8, 8-10 และ 0-10 สัปดาห์ พบว่าไม่แตกต่างกันทางสถิติ โดยในช่วงอายุ 0-4 สัปดาห์ กลุ่มที่ได้รับการเสริมมีค่า ADG ใกล้เคียงกับกลุ่มควบคุมมีค่าเฉลี่ย 14.48-14.94 กรัมต่อวัน เช่นเดียวกับช่วงอายุ 4-6 และ 6-8 สัปดาห์ ซึ่งมีค่าเฉลี่ย 22.58-28.49 กรัมต่อวัน ส่วนในช่วง 8-10 สัปดาห์ ADG มีค่า 19.22-22.09 กรัมต่อวัน และเมื่อพิจารณาตลอดการทดลองตั้งแต่ 0-10 สัปดาห์ พบว่า ADG เฉลี่ยอยู่ในช่วง 19.83-20.63 กรัมต่อวัน

Table 1 Effect of *Artocarpus lakoocha* heartwood powder in diets on the growth performance of crossbred native chickens

Performance	Age (week)	Treatment				SEM	p-value
		Control	0.2%	0.4%	0.6%		
Body weight (g)							
	2	181.58	200.13	182.61	182.37	5.71	0.563
	4	439.55	423.33	442.67	452.42	5.79	0.382
	6	776.46	821.44	808.68	768.52	13.32	0.478
	8	1,133.09	1,169.99	1,152.92	1,167.39	13.73	0.805
	10	1,440.30	1,479.21	1,430	1,452.92	10.75	0.439
ADG (g/day)							
	0-4	14.48	13.87	14.59	14.94	0.2	0.157
	4-6	24.06	28.44	26.1	22.58	0.98	0.162
	6-8	25.47	24.90	24.59	28.49	0.80	0.308
	8-10	21.94	22.09	19.22	20.39	0.85	0.631
	0-10	20.03	20.63	19.83	20.27	0.14	0.122
Feed intake (g/b)							
	0-4	551.65 ^b	566.94 ^b	518.84 ^a	514.16 ^a	7.08	0.004
	4-6	865.33	838.96	837.08	845.63	7.11	0.523
	6-8	1,584.71	1,552.89	1,551.67	1,567.5	9.78	0.645
	8-10	1,626.41	1,509.78	1,592.5	1,608.75	8.54	0.248
	0-10	4,767.15	4,582	4,626.59	4,664.7	10.15	0.396
FCR							
	0-4	1.64	1.81	1.57	1.49	0.22	0.117
	4-6	2.51	2.28	2.72	2.52	0.21	0.38
	6-8	4.90	4.18	4.14	4.44	0.39	0.215
	8-10	4.98	4.43	5.68	5.42	0.39	0.086
	0-10	3.45	3.13	3.15	3.13	0.06	0.143

a-b means in the same row with different superscripts differ significantly at $P < 0.05$.

ADG = average dairy gain, FCR = feed conversion ratio

SEM = pooled standard error of means

ปริมาณอาหารที่กินได้สะสม ผลการทดลองพบว่าในช่วงอายุ 0-4 สัปดาห์ กลุ่มควบคุมและกลุ่มที่เสริมผงแก่นมะหาดระดับ 0.2% มีค่าปริมาณอาหารที่กินได้สะสมอยู่ที่ 551.65 และ 566.94 กรัมต่อตัว ตามลำดับ ซึ่งสูงกว่ากลุ่มที่ได้รับระดับ 0.4% และ 0.6% อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.01$) การลดลงของปริมาณการกินอาหารในกลุ่มที่ได้รับผงแก่นมะหาดระดับสูงใน

ช่วงแรกนี้ สอดคล้องกับรายงานที่พบว่าในแก่นมะหาดมีสารฟลักซ์เคมีในกลุ่มแทนนิน (tannins) และซาโปนิน (saponins) เป็นองค์ประกอบ (Jagtap and Bapat, 2010) สารเหล่านี้มีคุณสมบัติให้รสฝาดและขม (Cheeke, 1971) ซึ่งส่งผลกระทบต่อความน่ากินของอาหาร (palatability) ทำให้ลูกไก่ที่ยังไม่คุ้นเคยกับรสชาติลดการกินอาหารลงในช่วงแรกของการเลี้ยง (Brugaletta et al., 2020) อย่างไรก็ตาม ในช่วงอายุ 4–6, 6–8 และ 8–10 สัปดาห์ รวมถึงค่าเฉลี่ยตลอดการทดลอง (0–10 สัปดาห์) ค่าเฉลี่ยไม่แตกต่างกันทางสถิติ ของปริมาณอาหารที่กินได้สะสมระหว่างกลุ่มทดลอง ($p>0.05$) แสดงให้เห็นว่าเมื่อไก่มีอายุมากขึ้น สามารถปรับตัวต่อรสชาติและกลิ่นของสมุนไพรในอาหารได้ดีขึ้น (habituation) ส่งผลให้พฤติกรรมการกินอาหารกลับมาเป็นปกติในระยะต่อมา โดยไม่ได้รับผลกระทบจากระดับการเสริมที่แตกต่างกัน

ประสิทธิภาพการเปลี่ยนอาหารเป็นน้ำหนักตัว (feed conversion ratio) ในช่วงอายุ 0–4 สัปดาห์ พบว่าไก่ทุกกลุ่มทดลองมีค่า FCR อยู่ระหว่าง 1.49–1.81 ซึ่งไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($p>0.05$) แม้ว่ากลุ่มที่เสริมระดับสูง 0.4–0.6% จะมีการกินอาหารลดลงในช่วงนี้ แต่อัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นน้ำหนักตัวยังคงมีประสิทธิภาพเทียบเท่ากับกลุ่มควบคุม เช่นเดียวกับในช่วงอายุ 4–6, 6–8 และ 8–10 สัปดาห์ ค่า FCR แตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) เมื่อพิจารณาภาพรวมตลอดการทดลอง 0–10 สัปดาห์ ค่า FCR ของทุกกลุ่มอยู่ในช่วง 3.13–3.45 ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติเช่นกัน ($p>0.05$) ข้อมูลดังกล่าวชี้ให้เห็นว่า การเสริมผงแก่นมะหาดที่ระดับ 0.2–0.6% ไม่ได้ส่งผลกระทบต่อประสิทธิภาพการเปลี่ยนอาหารเป็นน้ำหนักตัวของไก่ลูกผสมพื้นเมือง แม้จะมีผลต่อปริมาณการกินได้ในช่วงแรกก็ตาม

การศึกษาโลหิตวิทยาทางด้านความเครียด การอักเสบ และอัตราการตาย ดังแสดงใน Table 2 พบว่า การเสริมผงแก่นมะหาดในระดับ 0.2%, 0.4% และ 0.6% ซึ่งให้สารเคอซิตินประมาณ 7.8, 15.6 และ 23.4 มก./กก.อาหาร ตามลำดับ สามารถลดระดับคอร์ติโคสเตอรอนของไก่ลูกผสมพื้นเมืองได้อย่างมีนัยสำคัญ ($p<0.05$) เมื่อเทียบกับกลุ่มควบคุม ผลดังกล่าวสะท้อนว่าฮอร์โมนคอร์ติโคสเตอรอนที่ลดลง อาจมีสาเหตุมาจากฤทธิ์ทางชีวภาพของเคอซิติน (quercetin) ซึ่งมีบทบาทสำคัญในการยับยั้งการทำงานของ แกนไฮโปทาลามัส-พิทูอิทารี-อะดรีนัล (hypothalamic-pituitary-adrenal axis: HPA axis) ซึ่งเป็นระบบประสาทต่อมไร้ท่อหลักที่ทำหน้าที่ควบคุมการตอบสนองต่อความเครียด ส่งผลให้ลดการหลั่งฮอร์โมนในกลุ่ม กลูโคคอร์ติคอยด์ (glucocorticoids) หรือคอร์ติโคสเตอรอนในไก่ นอกจากนี้ ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระของเคอซิตินยังช่วยลดภาวะความเครียดออกซิเดชัน ซึ่งเป็นปัจจัยกระตุ้นให้เกิดการหลั่งฮอร์โมนความเครียดดังกล่าวอีกด้วย (Sapolsky et al., 2000) แม้จะงานวิจัยนี้จะไม่ได้ทำการเหนี่ยวนำความเครียดให้เกิดขึ้นกับสัตว์โดยตรง แต่การเลี้ยงในโรงเรือนระบบเปิดภายใต้สภาพอากาศฤดูร้อนที่มีอุณหภูมิสูงกว่า 30–35 องศาเซลเซียส ติดต่อกันหลายชั่วโมงต่อวัน จัดเป็นภาวะเครียดจากความร้อนตามธรรมชาติ ซึ่งเป็นปัจจัยสำคัญที่กระตุ้นให้ระดับคอร์ติโคสเตอรอนในเลือดของสัตว์ปีกเพิ่มสูงขึ้นได้อย่างชัดเจน (Nawab et al., 2018) การที่ผลการทดลองพบว่าไก่ในกลุ่มที่เสริมผงแก่นมะหาดมีระดับ ฮอร์โมนคอร์ติโคสเตอรอน (corticosterone) ลดลงอย่างมีนัยสำคัญเมื่อเทียบกับกลุ่มควบคุม จึงเป็นหลักฐานที่แสดงให้เห็นถึงศักยภาพของสารเคอซิติน ในผงแก่นมะหาด ในการช่วยบรรเทาความเครียดจากสภาพแวดล้อมได้อย่างมีประสิทธิภาพจริง

ค่าอัตราการตกตะกอนของเม็ดเลือดแดง (erythrocyte sedimentation rate: ESR) ในไก่ลูกผสมพื้นเมือง ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ระหว่างกลุ่มทดลอง ($p>0.05$) โดยไก่ในกลุ่มควบคุมมีค่า ESR เท่ากับ 2.50 mm/hr ในขณะที่กลุ่มที่ได้รับการเสริมผงแก่นมะหาดในระดับ 0.2%, 0.4% และ 0.6% มีค่าเท่ากับ 1.67, 1.50 และ 1.58 mm/hr ตามลำดับ ถึงแม้จะไม่พบความแตกต่างทางสถิติ แต่สังเกตได้ว่ากลุ่มที่ได้รับผงแก่นมะหาดมีค่าเฉลี่ย ESR ต่ำกว่ากลุ่มควบคุม ซึ่งค่า ESR เป็นตัวชี้วัดทางสรีรวิทยาที่สำคัญต่อภาวะการอักเสบ (inflammation marker) โดยมักสัมพันธ์กับระดับโปรตีนในพลาสมาที่ผิดปกติ เช่น ไฟบริโนเจน (fibrinogen) และโกลบูลิน (globulin) ที่จะเพิ่มสูงขึ้นเมื่อสัตว์เกิดความเครียดหรือการอักเสบ (Qureshi et al., 2015) ดังนั้น ค่า ESR ที่มีแนวโน้มลดลงในกลุ่มทดลองจึงอาจสะท้อนให้เห็นถึงศักยภาพของสารออกฤทธิ์ในแก่นมะหาดในการช่วยลดภาวะการอักเสบและรักษาสมดุลของร่างกาย

ผลการศึกษาองค์ประกอบของเม็ดเลือดขาว (leukocyte composition) พบว่าการเสริมผงแก่นมะหาดในระดับที่แตกต่างกันส่งผลต่อสัดส่วนของ เฮเทอโรฟิล (heterophils) และ ลิมโฟไซต์ (lymphocytes) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.01$) โดยพบว่าค่าร้อยละของเฮเทอโรฟิลในกลุ่มควบคุม, กลุ่มเสริม 0.2%, 0.4% และ 0.6% มีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 25.17, 19.58, 26.18 และเพิ่มขึ้นสูงสุดที่ 34.17% ตามลำดับ (Table 2) การที่กลุ่มเสริมผงแก่นมะหาดระดับ 0.6% มีค่าเฮเทอโรฟิลสูงที่สุดและแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญจากกลุ่มอื่น สะท้อนให้เห็นถึงการตอบสนองต่อภาวะความเครียดทางสรีรวิทยาที่เพิ่มขึ้น เนื่องจากการเพิ่มขึ้นของเฮเทอโรฟิลเป็นกลไกการตอบสนองตามธรรมชาติของสัตว์ปีกเมื่อเผชิญกับปัจจัยเครียดหรือสิ่งแปลกปลอม ในทางตรงกันข้าม ค่าร้อยละของลิมโฟไซต์ในกลุ่มทดลองดังกล่าวอยู่ที่ 64.58, 67.83, 64.09 และลดลงต่ำสุดเหลือเพียง 52.92% ตามลำดับ โดยกลุ่มที่เสริมระดับ 0.6% มีค่าต่ำที่สุดและแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญจากกลุ่มอื่น ซึ่งสอดคล้องกับทฤษฎีความเครียดที่ระบุว่า เมื่อสัตว์เกิด

ความเครียด ร่างกายจะมีการกระตุ้นการทำงานของ แกนไฮโปทาลามัส-พิทูอิทารี-อะดรีนัล (hypothalamic-pituitary-adrenal axis) ส่งผลให้มีการหลั่งฮอร์โมนกลูโคคอร์ติคอยด์ (glucocorticoids) หรือคอร์ติโคสเตอรอนออกมาในกระแสเลือดเพิ่มขึ้น (Sapolsky et al., 2000) ซึ่งฮอร์โมนดังกล่าวมีฤทธิ์ยับยั้งและลดจำนวนของลิมโฟไซต์ (lymphopenia) รวมทั้งกระตุ้นการหลั่งเฮเทอโรฟิลจากไขกระดูก (Gross and Siegel, 1983) ทำให้สัดส่วนของลิมโฟไซต์ลดลงในกลุ่มที่ได้รับสารเสริมในปริมาณที่สูงเกินไป

อัตราส่วนเฮเทอโรฟิลต่อลิมโฟไซต์ (heterophil/lymphocyte ratio: h/l ratio) โดยทั่วไปค่า H/L ratio ถูกใช้เป็นดัชนีชี้วัดทางสรีรวิทยาที่น่าเชื่อถือในการประเมินภาวะความเครียดระยะยาวในสัตว์ปีก โดย ค่า H/L ratio ที่ต่ำ สะท้อนถึงสภาวะร่างกายที่มีความสมดุลและมีความเครียดต่ำ ในขณะที่ค่าที่สูงบ่งชี้ว่าสัตว์กำลังเผชิญกับความเครียด ซึ่งสัมพันธ์กับการตอบสนองของระบบต่อมไร้ท่อและระบบภูมิคุ้มกัน (Gross and Siegel, 1983) ผลการทดลองพบว่าการเสริมผงแก่นมะหาดส่งผลต่อค่า H/L ratio ของไก่ลูกผสมพื้นเมืองอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.01$) โดยกลุ่มที่ได้รับการเสริมผงแก่นมะหาดในระดับ 0.2% มีค่า H/L ratio ต่ำที่สุดเท่ากับ 0.293 ซึ่งแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญจากกลุ่มที่ได้รับการเสริมระดับสูง 0.6% ที่ 0.560 ผลดังกล่าวบ่งชี้ว่าการเสริมที่ระดับ 0.2% สามารถลดความเครียดในสัตว์ปีกได้จริง กลไกดังกล่าวสามารถอธิบายได้ว่า เมื่อสัตว์เผชิญกับสภาวะปกติหรือมีความเครียดต่ำ ระดับฮอร์โมนความเครียดในเลือดจะอยู่ในระดับพื้นฐาน ทำให้สัดส่วนของเม็ดเลือดขาวชนิดเฮเทอโรฟิลซึ่งทำหน้าที่กำจัดสิ่งแปลกปลอม) และลิมโฟไซต์ซึ่งทำหน้าที่สร้างภูมิคุ้มกันอยู่ในภาวะสมดุล แต่เมื่อสัตว์เกิดความเครียด ร่างกายจะกระตุ้นการทำงานของแกน HPA axis ให้หลั่งฮอร์โมนกลุ่ม กลูโคคอร์ติคอยด์ (glucocorticoids) หรือ คอร์ติโคสเตอรอน (corticosterone) ออกมามากขึ้น ฮอร์โมนนี้มีฤทธิ์ทางสรีรวิทยาในการกระตุ้นให้ไขกระดูกปล่อยเฮเทอโรฟิลออกมาสู่กระแสเลือดมากขึ้นในขณะเดียวกันก็ยับยั้งการสร้างและทำลายลิมโฟไซต์ ส่งผลให้ค่าสัดส่วน H/L ratio เพิ่มขึ้น (Davis et al., 2008) ดังนั้น ค่า H/L ratio ที่ต่ำในกลุ่ม 0.2% จึงยืนยันได้ว่าสารออกฤทธิ์ในแก่นมะหาดช่วยลดการหลั่งฮอร์โมนความเครียดและรักษาสมดุลของระบบภูมิคุ้มกันได้ ในทางตรงกันข้าม การเสริมผงแก่นมะหาดในระดับสูงที่ 0.6% ทำให้ค่า H/L ratio เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ ปรากฏการณ์นี้อาจอธิบายได้ด้วยกลไก ภาวะโปรออกซิแดนท์ (pro-oxidant effect) กล่าวคือ แม้ว่าสารกลุ่มฟลาโวนอยด์และสารประกอบฟีนอลิกจะมีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระในระดับความเข้มข้นที่เหมาะสม แต่หากได้รับในปริมาณที่สูงเกินไป สารเหล่านี้สามารถกระตุ้นให้เกิดการสร้างอนุมูลอิสระ (autoxidation) และทำลายเซลล์ได้ (Eghbaliferiz and Iranshahi, 2016) ส่งผลให้ร่างกายเกิดกระบวนการอักเสบในระดับเนื้อเยื่อ ซึ่งกระตุ้นการสร้างและการหลั่งของเฮเทอโรฟิลเพื่อตอบสนองต่อการอักเสบนั้น ทำให้ค่า H/L ratio เพิ่มขึ้นแม้ว่าระดับฮอร์โมนความเครียดจะต่ำก็ตาม

อัตราการตาย (mortality Rate) ผลการศึกษาอัตราการตายสะสมตลอดระยะเวลาการทดลอง พบว่าอัตราการตายของไก่ในกลุ่มควบคุมและกลุ่มที่เสริมผงแก่นมะหาดในระดับต่างๆ (0.2–0.6%) ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($p > 0.05$) อย่างไรก็ตาม พบว่ากลุ่มที่เสริมผงแก่นมะหาดที่ระดับ 0.2% มีแนวโน้มของอัตราการตายต่ำที่สุด เมื่อเทียบกับกลุ่มควบคุมและกลุ่มที่เสริมในระดับอื่น แม้จะไม่พบความแตกต่างทางสถิติที่ชัดเจน แต่ผลดังกล่าวมีความสอดคล้องกับข้อมูลค่าอัตราส่วนเฮเทอโรฟิลต่อลิมโฟไซต์ (h/l ratio) ที่พบในกลุ่ม 0.2% มีค่าต่ำที่สุดเช่นกัน ซึ่งบ่งชี้ว่าการเสริมที่ระดับนี้เป็นอาจจะจะเป็นระดับที่เหมาะสม ในการช่วยเพิ่มความทนทานต่อความเครียด (stress tolerance) ให้กับสัตว์ปีก ความเป็นไปได้ของกลไกการลดอัตราการตายในกลุ่มนี้ อาจเกี่ยวข้องกับฤทธิ์ของสารฟลักซ์เคมีในแก่นมะหาด โดยเฉพาะ เควอซีติน (quercetin) ที่ช่วยลดภาวะความเครียดออกซิเดชัน (oxidative stress) โดยทำหน้าที่ดักจับอนุมูลอิสระที่เกิดขึ้นจากความร้อนและกระบวนการเมตาบอลิซึม ช่วยปกป้องเซลล์จากการอักเสบเรื้อรัง (chronic inflammation) และความเสียหายระดับเนื้อเยื่อ (Dong et al., 2020) ส่งผลให้ไก่มีสุขภาพโดยรวมแข็งแรงและมีโอกาสรอดชีวิตสูงขึ้นแม้ต้องเผชิญกับสภาพแวดล้อมที่ร้อน

จากการศึกษาผลของการเสริมผงแก่นมะหาดต่อความเครียด การอักเสบ และอัตราการตาย พบว่าการเสริมผงแก่นมะหาดในอาหารมีประสิทธิภาพในการลดความเครียดในไก่ลูกผสมพื้นเมืองอย่างมีนัยสำคัญ โดยสามารถลดระดับ คอร์ติโคสเตอรอน (corticosterone) ซึ่งเป็นฮอร์โมนหลักในกลุ่ม กลูโคคอร์ติคอยด์ (glucocorticoids) ของสัตว์ปีก ได้ในทุกระดับการเสริม ผลการศึกษาชี้ให้เห็นว่าการเสริมที่ระดับ 0.2% เป็นระดับที่เหมาะสมที่สุด (optimal level) ในการลดความเครียดเรื้อรังเนื่องจากกลุ่มดังกล่าวมี ค่าอัตราส่วนเฮเทอโรฟิลต่อลิมโฟไซต์ (h/l ratio) ต่ำที่สุด และแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญจากกลุ่มที่เสริมระดับสูง (0.6%) ซึ่งสะท้อนถึงสภาวะสมดุลทางสรีรวิทยาที่ดีที่สุดในทางตรงกันข้าม การเสริมในระดับสูงที่ 0.6% แม้จะลดระดับฮอร์โมนได้ แต่กลับส่งผลให้ค่า H/L ratio และจำนวน เฮเทอโรฟิล (heterophils) เพิ่มขึ้น ซึ่งเฮเทอโรฟิลเป็นเม็ดเลือดขาวชนิดที่มีบทบาทสำคัญในการตอบสนองต่อความเครียดในสัตว์ปีก (ทำหน้าที่คล้ายคลึงกับนิวโทรฟิลในสัตว์เลี้ยงลูกด้วยนม) การเพิ่มขึ้นของค่าดังกล่าวในกลุ่ม 0.6% อาจเป็นสัญญาณของ ความเครียดทางโภชนาการ (nutritional stress) หรือภาวะที่ร่างกายเสียสมดุลจากการได้รับสารฟลักซ์เคมีในปริมาณที่มากเกินไป จนเกิดภาระทางเมตาบอลิซึม (metabolic burden) ส่งผลให้มีการกระตุ้นการสร้างเฮเทอโร

ฟิลและลดจำนวนลิโฟไซต์ลง สำหรับผลด้านการต้านการอักเสบ (ESR) และอัตราการตาย แม้จะพบแนวโน้มที่ดีขึ้นในกลุ่มที่เสริมผงแก่นมะหาด แต่ผลลัพธ์ยังไม่มี ความแตกต่างทางสถิติในการศึกษานี้ โดยสรุปแล้ว ผงแก่นมะหาดที่ระดับ 0.2% มีศักยภาพในการเป็นสารเสริมชีวภาพเพื่อเพิ่มความสามารถในการต่อสู้ความเครียดในสัตว์ปีกได้อย่างมีประสิทธิภาพ

Table 2 Effect of *Artocarpus lakoocha* heartwood powder supplementation on stress, hematological parameters, inflammation, and mortality rate

Parameter	treatment				SEM	P -value
	control	0.2%	0.4%	0.6%		
Corticosterone (g/dL)	0.035 ^a	0.0113 ^b	0.0138 ^b	0.0125 ^b	0.003	0.043
ESR (mm/hr)	2.50	1.67	1.50	1.58	0.2	0.359
Heterophil %	25.17 ^b	19.58 ^b	26.18 ^b	34.17 ^a	1.24	<0.01
Lymphocyte %	64.58 ^a	67.83 ^a	64.09 ^a	52.92 ^b	1.43	<0.01
H/L ratio	0.413 ^{ab}	0.293 ^b	0.425 ^{ab}	0.560 ^a	0.03	0.014
Mortality rate (%)	5	1	2	4	0.78	0.255

a–b means in the same row with different superscripts differ significantly at $P < 0.05$.

ESR = Erythrocyte sedimentation rate, H/L ratio = Heterophil/Lymphocyte ratio

SEM = pooled standard error of means

สรุปผลการศึกษา

การศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อประเมินผลของการเสริมผงแก่นมะหาดในอาหารต่อสมรรถนะการเจริญเติบโต ภาวะเครียด และการตอบสนองต่อการอักเสบในไก่ลูกผสมพื้นเมืองตลอดระยะเวลาการเลี้ยง 10 สัปดาห์ ผลการทดลองพบว่า การเสริมผงแก่นมะหาดที่ระดับ 0.2–0.6% ไม่ส่งผลกระทบต่อสมรรถนะการเจริญเติบโต ทั้งในด้านน้ำหนักตัวเฉลี่ย อัตราการเจริญเติบโตต่อวัน และการเปลี่ยนอาหารเป็นน้ำหนักร่างกาย แต่มีผลต่อปริมาณอาหารสะสม ในช่วง 0–4 สัปดาห์ ส่วนการศึกษาโลหิตวิทยาทางด้านการอักเสบ และการอักเสบ พบว่าการเสริมผงแก่นมะหาดทุกระดับช่วย ลดระดับคอร์ติโคสเตอรอนเมื่อเทียบกับกลุ่มควบคุม และในกลุ่มที่เสริมผงแก่นมะหาดในระดับ 0.2% ยังพบว่ามีอัตราส่วนเฮเทอโรฟิลต่อลิโฟไซต์ (h/l ratio) ต่ำที่สุดอีกด้วย สะท้อนถึงภาวะสุขภาพที่แข็งแรงและการอักเสบที่ลดลง โดยไม่ส่งผลกระทบต่อสมรรถนะการเจริญเติบโตในภาพรวม สรุปได้ว่า การเสริมผงแก่นมะหาดที่ระดับ 0.2% เป็นระดับที่เหมาะสมที่สุด ในการลดความเครียด และส่งเสริมสมดุลภูมิคุ้มกันในไก่ลูกผสมพื้นเมือง โดยไม่ส่งผลกระทบต่อสมรรถนะการเจริญเติบโต ในการใช้ประโยชน์ของผงมะหาด อาจพิจารณาใช้ร่วมกับเอนไซม์ในช่วงระยะแรก 0–4 สัปดาห์ เอนไซม์กลุ่มย่อยเยื่อใย (fibrolytic enzymes) เช่น ไซลานเนส (xylanase) เพื่อลดผลกระทบจากเยื่อใย หรือให้เสริมผงแก่นมะหาดหลังจาก อายุ 4 สัปดาห์ เป็นต้นไป สำหรับงานวิจัยต่อไป ควรจะทำการหาปริมาณการเสริมที่เหมาะสมที่สุด (dose optimization) โดยมีการศึกษาเพิ่มเติมเพื่อหาขีดระดับการตอบสนองที่ละเอียดขึ้น โดยทดสอบในระดับความเข้มข้นที่แคบลงระหว่าง 0.1% ถึง 0.3% เพื่อระบุจุดที่ให้ประสิทธิผลสูงสุดได้อย่างแม่นยำ

ผลประโยชน์ทับซ้อน

ผู้เขียนขอประกาศว่าบทความนี้ไม่มีประโยชน์ทับซ้อนใดๆ

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบพระคุณมหาวิทยาลัยกาฬสินธุ์ ที่ให้ทุนอุดหนุนการวิจัย งบประมาณ โครงการอนุรักษ์พันธุกรรมพืชอันเนื่องมาจากพระราชดำริ สมเด็จพระเทพรัตนราชสุดาฯ สยามบรมราชกุมารี ประจำปีงบประมาณ พ.ศ. 2568 ขอขอบคุณสาขาวิชาเทคโนโลยีการผลิตสัตว์ คณะเทคโนโลยีการเกษตร มหาวิทยาลัยกาฬสินธุ์ ที่ให้การสนับสนุนอุปกรณ์ เครื่องมือ วิทยาศาสตร์ และสถานที่ในการเลี้ยงสัตว์ทดลอง ตลอดจนอำนวยความสะดวกในการทำงานวิจัยจนทำให้งานวิจัยนี้สำเร็จลุล่วงไป

ด้วยดี ขอขอบคุณคณะกรรมการกำกับดูแลการดำเนินการต่อสัตว์เพื่องานทางวิทยาศาสตร์มหาวิทยาลัยกาฬสินธุ์ที่ให้ข้อเสนอแนะ คำปรึกษาเกี่ยวกับจรรยาบรรณการใช้สัตว์เพื่องานทางวิทยาศาสตร์

การมีส่วนร่วมในการเขียนบทความของผู้เขียน

ความคิดริเริ่ม และสมมุติฐาน: ญัฐวัฒน์ ตันพล การปฏิบัติการวิจัย การมีส่วนร่วมในการออกแบบ การทดลอง การทดสอบ เครื่องมือวัด วิธีการเก็บข้อมูล และเกณฑ์: ญัฐวัฒน์ ตันพล, ทิพย์สุตา บุญมาทัน, นพรัตน์ ผกาเชิด การจัดเก็บข้อมูล การวิเคราะห์ข้อมูล และการแปลผล: ญัฐวัฒน์ ตันพล การวิพากษ์วิจารณ์ผล: ญัฐวัฒน์ ตันพล, ทิพย์สุตา บุญมาทัน, นพรัตน์ ผกาเชิด การมีส่วนร่วมในการเขียนต้นฉบับ: ญัฐวัฒน์ ตันพล, ทิพย์สุตา บุญมาทัน, นพรัตน์ ผกาเชิด.

เอกสารอ้างอิง

- Brugaletta, G., Luise, D., De Cesare, A., Zampiga, M., Laghi, L., Trevisi, P., Manfreda, G., & Sirri, F. (2020). Insights into the mode of action of tannin-based feed additives in broiler chickens: Looking for connections with the plasma metabolome and caecal microbiota. *Italian Journal of Animal Science*, 19(1), 1349–1362. <https://doi.org/10.1080/1828051X.2020.1842813>.
- Chang, C., Yang, M., Wen, H., & Chern, J. (2002). Estimation of total flavonoid content in propolis by two complementary colorimetric methods. *Journal of Food and Drug Analysis*, 10(3), 178–182. <https://doi.org/10.38212/2224-6614.2748>.
- Cheeke, P. R. (1971). Nutritional and physiological implications of saponins: A review. *Canadian Journal of Animal Science*, 51(3), 621–632. <https://doi.org/10.4141/cjas71-082>.
- Davis, A. K., Maney, D. L., & Maerz, J. C. (2008). The use of leukocyte profiles to measure stress in vertebrates: a review for ecologists. *Functional Ecology*, 22(5), 760–772. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2435.2008.01467.x>.
- Dong, Y., Lei, J., & Zhang, B. (2020). Effects of dietary quercetin on the antioxidative status and cecal microbiota in broiler chickens fed with oxidized oil. *Poultry Science*, 99(10), 4892–4903. <https://doi.org/10.1016/j.psj.2020.06.028>.
- Eghbaliferiz, S., & Iranshahi, M. (2016). Prooxidant activity of polyphenols, flavonoids, anthocyanins and carotenoids: Updated review of mechanisms and catalyzing metals. *Phytotherapy Research*, 30(9), 1379–1391. <https://doi.org/10.1002/ptr.5643>.
- Gross, W. B., & Siegel, H. S. (1983). Evaluation of the heterophil/lymphocyte ratio as a measure of stress in chickens. *Avian Diseases*, 27(1), 972–979. <https://doi.org/10.2307/1590198>.
- IBM Corp. (2007). IBM SPSS Statistics for Windows (Version 16.0) [Computer software]. IBM Corp.
- Jagtap, U. B., & Bapat, V. A. (2010). Artocarpus: A review of traditional uses, phytochemistry and pharmacology. *Journal of Ethnopharmacology*, 129(2), 177–196. <https://doi.org/10.1016/j.jep.2010.03.031>.
- Jha, R., & Kim, S. W. (2021). Editorial: nutritional intervention for the intestinal health of young monogastric animals. *Frontiers in Veterinary Science*, 8(1), 668563. <https://doi.org/10.3389/fvets.2021.668563>.
- Nawab, A., Ibtisham, F., Li, G., Kieser, B., Wu, J., Liu, W., Zhao, Y., Nawab, Y., Li, K., Xiao, M., & An, L. (2018). Heat stress in poultry production: Mitigation strategies to overcome the future challenges facing the global poultry industry. *Journal of Thermal Biology*, 78(1), 131–139. <https://doi.org/10.1016/j.jtherbio.2018.08.010>.
- Qureshi, M. H., Akbar, H., Rashid, I., Qureshi, M. I., & Bajwa, A. A. (2015). Hematological Studies in Chickens Infected with Hydro Pericardium Syndrome. *NUST Journal of Natural Sciences*, 3(1), 1–8. <https://doi.org/10.53992/njns.v3i1.23>.
- Sapolsky, R. M., Krey, L. C., & McEwen, B. S. (2000). The neuroendocrinology of stress and aging: The glucocorticoid cascade hypothesis. *Endocrine Reviews*, 21(1), 98–111. <https://doi.org/10.1210/edrv-7-3-284>.
- Singhatong, S., Leelarungrayub, D., & Chaiyasut, C. (2010). Antioxidant and toxicity activities of Artocarpus lakoocha Roxb. heartwood extract. *Journal of Medicinal Plants Research*, 4(10), 947–953. <https://doi.org/10.5897/JMPR10.133>.
- Subtaeng, S., Jitpreeda, P., & Rojpitikul, T. (2023). Oxyresveratrol Contents in Artocarpus Lakoocha Heartwood and Its Biological Activities. *Thai Journal of Science and Technology*, 11(3), 37–51. <https://doi.org/10.14456/tjst.2023.4>.
- Thermo Fisher Scientific. (2024). *Corticosterone Competitive ELISA Kit*. Retrived from: <https://www.thermofisher.com/elisa/product/Corticosterone-Competitive-ELISA-Kit/EIACORT>
- Yang, J. X., Maria, T. C., Zhou, B., Xiao, F. L., Wang, M., Mao, Y. J., & Li, Y. (2020). Quercetin improves immune function in Arbor Acre broilers through activation of NF- κ B signaling pathway. *Poultry Science*, 99(2), 906–913. <https://doi.org/10.1016/j.psj.2019.12.021>.

ศักยภาพของเชื้อรา *Aspergillus niger* TISTR 3254 และ *Penicillium notatum* TISTR 3560 ในการละลายหินฟอสเฟตและการใช้ร่วมกับน้ำแป้งขนมจีนเหลือทิ้งเพื่อการผลิตปุ๋ยหมัก

Phosphate-Solubilizing Potential of *Aspergillus niger* TISTR 3254 and *Penicillium notatum* TISTR 3560 and Their Application with Rice Noodle Wastewater for Compost Production

ศรีอุบล ทองประดิษฐ์¹, ณรงค์ชัย ชูพล¹, และอดุลย์สมาน สุขแก้ว^{2*}Sriubol Thongpradistha¹, Narongchai Choopool¹, and Adulsman Sukkaew^{2*}

Received date: 25 มี.ค. 68 Revised date: 20 ม.ค. 69 Accepted date: 20 ม.ค. 69

DOI: <https://doi.org/10.55003/kmaj.2026.266638>

บทคัดย่อ

การวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพการละลายหินฟอสเฟตของเชื้อรา *Aspergillus niger* TISTR 3254 และ *Penicillium notatum* TISTR 3560 รวมทั้งการใช้เชื้อผสมของทั้งสองชนิดในการเพิ่มธาตุอาหารหลักในปุ๋ยหมักจากมูลโค โดยใช้แป้งขนมจีนเหลือทิ้งเป็นแหล่งสารอาหารอินทรีย์เสริม ซึ่งได้ทดลองในระดับห้องปฏิบัติการดำเนินการภายใต้อุณหภูมิ 30°C เป็นเวลา 8 วัน ผลการศึกษาพบว่าเชื้อผสม *A. niger* TISTR 3254 และ *P. notatum* TISTR 3560 ให้ค่าการละลายฟอสเฟตสูงสุด 85.43 มิลลิกรัมต่อลิตร และลดค่า pH จาก 7.03 เหลือ 5.81 ซึ่งต่ำกว่าการหมักด้วยเชื้อเดี่ยวอย่างมีนัยสำคัญ ($P < 0.05$) สำหรับการพัฒนาเป็นปุ๋ยหมัก พบว่าการเติมน้ำแป้งขนมจีนเหลือทิ้งในอัตราร้อยละ 2 และหินฟอสเฟตร้อยละ 5 ร่วมกับเชื้อผสมร้อยละ 1.5 ให้ปริมาณฟอสฟอรัสสูงสุดเท่ากับร้อยละ 0.93 พร้อมด้วยไนโตรเจนร้อยละ 1.65 และโพแทสเซียมร้อยละ 3.06 ซึ่งอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานปุ๋ยอินทรีย์ของกรมวิชาการเกษตร การเก็บรักษาปุ๋ยหมักที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 15 วัน ส่งผลให้ค่าธาตุอาหารหลักลดลงเล็กน้อยแต่ยังคงผ่านมาตรฐาน ผลการวิจัยพบว่าการใช้เชื้อราในระบบหมักร่วมกับน้ำแป้งขนมจีนเหลือทิ้งสามารถเพิ่มประสิทธิภาพการละลายฟอสเฟตและคุณภาพปุ๋ยหมักได้อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 อีกทั้งเป็นแนวทางในการใช้ประโยชน์ของเสียทางการเกษตรอย่างยั่งยืน ลดต้นทุน และเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมอีกทางหนึ่ง

คำสำคัญ: หินฟอสเฟต ปุ๋ยหมัก น้ำแป้งขนมจีนเหลือทิ้ง การย่อยสลายสารอินทรีย์

Abstract

This research aimed to compare the phosphate rock solubilization efficiency of the fungi *Aspergillus niger* TISTR 3254 and *Penicillium notatum* TISTR 3560, as well as the use of their mixed culture to enhance major nutrient contents in compost derived from cattle manure, using discarded rice noodle wastewater (RNW) as a supplementary organic nutrient source. The experiment was conducted at the laboratory scale at 30 °C for 8 days. The results showed that the mixed culture of *A. niger* TISTR 3254 and *P. notatum* TISTR 3560 achieved the highest phosphate solubilization, reaching 85.43 mg/L, and reduced the pH from 7.03 to 5.81, which was significantly lower than that obtained from single-strain fermentation ($P < 0.05$). For compost development, the addition of 2% (v/w) discarded RNW and 5% (w/w) phosphate rock, together with 1.5% (w/w) mixed fungal inoculum, resulted in the highest phosphorus content of 0.93%, along with nitrogen and potassium contents of 1.65% and 3.06%, respectively, which complied with the organic fertilizer standards of the Department of Agriculture. Storage of the compost at room temperature for 15 days led to a slight reduction in major nutrient contents; however, the values remained within the standard limits. The findings indicate that the application of fungi in a co-fermentation system with discarded RNW significantly enhances phosphate solubilization efficiency and compost quality at the 95% confidence level. Moreover, this approach provides a sustainable alternative for agricultural waste utilization, reduces production costs, and is environmentally friendly.

Keywords: phosphate rock, compost, rice noodle wastewater, organic matter decomposition

¹ สาขาวิชาเทคโนโลยีและนวัตกรรมอาหาร คณะอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย จังหวัดนครศรีธรรมราช 80240

² เทคโนโลยีพลังงานทดแทน คณะวิทยาศาสตร์เทคโนโลยีและการเกษตร มหาวิทยาลัยราชภัฏยะลา จังหวัดยะลา 95000

¹ Program in Food Technology and Innovation, Faculty of Agro-Industry, Rajamangala University of Technology Srivijaya, Nakhon Si Thammarat 80240

² Renewable Energy Technology, Faculty of Science Technology and Agriculture, Yala Rajabhat University, Yala 95000

* Corresponding author: email: adulsman.s@yru.ac.th

คำนำ

ฟอสฟอรัสเป็นธาตุอาหารหลักของพืชที่มีความสำคัญรองจากไนโตรเจน โดยมีบทบาทสำคัญในกระบวนการเจริญเติบโตและการสร้างผลผลิต เพราะฟอสฟอรัสเป็นองค์ประกอบหนึ่งที่พบในนิวเคลียสของเซลล์ รวมถึงโครโมโซม ซึ่งเป็นแหล่งของดีเอ็นเอและอาร์เอ็นเอ มีบทบาทสำคัญในการควบคุมกระบวนการเมแทบอลิซึมของพืช เช่น การหายใจ การสังเคราะห์แสง การผลิตแป้ง โปรตีน และไขมัน นอกจากนี้ ฟอสฟอรัสยังส่งผลต่อการพัฒนาราก การออกดอก การสร้างหัว และการสุกของผล ในพื้นที่เขตร้อนดินมักมีปริมาณฟอสฟอรัสต่ำ ส่งผลให้มีการใช้ปุ๋ยเคมีเพื่อเพิ่มธาตุอาหารดังกล่าวในภาคเกษตรกรรม เช่น ในประเทศแอฟริกาและไนจีเรีย โดยอัตราการใช้ปุ๋ยเคมีมีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้นอย่างต่อเนื่องในกลุ่มประเทศกำลังพัฒนา อย่างไรก็ตาม การใช้ปุ๋ยเคมีจะพบฟอสฟอรัสที่ถูกเปลี่ยนเป็นรูปแบบที่ไม่ละลายน้ำ ส่งผลให้พืชไม่สามารถดูดซึมไปใช้ได้อย่างมีประสิทธิภาพ นอกจากนี้ การใช้ปุ๋ยเคมีที่มากเกินไปจะส่งผลกระทบต่อทั้งทางตรงและทางอ้อมต่อระบบนิเวศ การเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศ และการเสื่อมโทรมของคุณภาพดิน (Booali et al., 2024; Ding et al., 2024) ในช่วงหลายทศวรรษที่ผ่านมา มินิวิจยได้ให้ความสนใจในการใช้ประโยชน์จากจุลินทรีย์ละลายฟอสเฟต (Phosphate-Solubilizing Microorganisms: PSMs) เพื่อเพิ่มความสามารถในการเปลี่ยนฟอสฟอรัสที่ไม่ละลายน้ำให้เป็นรูปที่ละลายน้ำได้ (available P) โดย PSMs ประกอบด้วยกลุ่ม แบคทีเรีย และ เชื้อรา ที่สามารถผลิตกรดอินทรีย์และเอนไซม์ต่าง ๆ เพื่อช่วยละลายสารประกอบฟอสเฟตในดิน ตัวอย่างเช่น แบคทีเรีย กลุ่ม *Bacillus megaterium*, *Pseudomonas fluorescens*, *Rhizobium leguminosarum* และเชื้อรากลุ่ม *Aspergillus niger*, *Penicillium notatum*, *Trichoderma harzianum*, *Rhizopus oryzae* เป็นต้น (Aliyat et al., 2022)

ฟอสฟอรัสนอกจากจะได้รับจากปุ๋ยเคมีทั่วไปแล้ว ยังปรากฏในดินในบางชนิดอีกด้วย โดยกลไกทั่วไปของฟอสฟอรัสในดินเกิดขึ้นจากการสลายตัวของชีวภาพและเคมีของแร่ในดิน เช่น แร่อะพาไทต์ (Apatite) รวมถึงการสลายตัวของอินทรีย์วัตถุที่เป็นแหล่งฟอสฟอรัส กระบวนการดังกล่าวทำให้ฟอสฟอรัสถูกปลดปล่อยออกมาในรูปของสารฟอสเฟตไอออน ได้แก่ HPO_4^{4-} และ HPO_4^{2-} ซึ่งสารเหล่านี้จำเป็นต้องละลายน้ำได้ก่อนจึงจะเป็นประโยชน์ต่อพืชในการดูดซึมและใช้ในกระบวนการเมแทบอลิซึมต่าง ๆ ได้ (Mesa et al., 2025; Ogbo, 2010) ในดินพบสารประกอบของฟอสฟอรัสในปริมาณที่ค่อนข้างมาก แต่ส่วนใหญ่จะอยู่ในรูปที่ละลายน้ำได้ยาก เนื่องจากอนุพลฟอสเฟตที่ละลายน้ำได้มักทำปฏิกิริยากับแร่ธาตุต่าง ๆ ภายในดิน ส่งผลให้เกิดสารประกอบฟอสเฟตในรูปแบบที่ละลายน้ำได้จำกัด ทำให้พืชจะไม่สามารถดูดซึมฟอสฟอรัสในรูปที่เป็นประโยชน์ได้ ช่วงของค่าพีเอชที่เอื้อต่อการปลดปล่อยฟอสฟอรัสให้พืชสามารถนำไปใช้ได้อยู่ที่ประมาณ 5.5–7 อย่างไรก็ตาม ในช่วงค่าพีเอชดังกล่าว ปัญหาการละลายน้ำของฟอสฟอรัสยังคงพบเป็นประจำ เนื่องจากฟอสเฟตไอออนที่ละลายน้ำได้มักทำปฏิกิริยากับแร่ธาตุอื่น ๆ ในดิน กลายเป็นสารประกอบที่ละลายน้ำได้ยากขึ้น ส่งผลให้พืชขาดแคลนฟอสฟอรัสแม้ว่าในดินที่มีฟอสฟอรัสในปริมาณโดยรวมสูง ในบริบทของการเกษตรในประเทศไทย ซึ่งมีลักษณะการเพาะปลูกทางการเกษตรที่หลากหลาย โดยเฉพาะอย่างยิ่งในพื้นที่ปลูกข้าวที่พบดินทรายและดินร่วนซึ่งมีความแตกต่างในด้านผลผลิตอย่างมีนัยสำคัญ เช่น การพัฒนาและความสมบูรณ์ของเมล็ดข้าว ซึ่งในเมล็ดข้าวที่เก็บเกี่ยวได้จะพบฟอสฟอรัสในดินที่มีปริมาณที่ต่ำกว่าความต้องการของพืช ดังนั้นจึงจำเป็นต้องมีการเติมปุ๋ยฟอสเฟตเพื่อปรับปรุงคุณภาพดินและเพิ่มผลผลิตข้าว อย่างไรก็ตาม เมื่อปุ๋ยฟอสเฟตถูกนำมาผสมกับดิน พืชสามารถดูดซึมฟอสฟอรัสได้เพียงประมาณร้อยละ 2–25 ของฟอสฟอรัสที่ใส่ลงไป ซึ่งเป็นผลจากการเกิดปฏิกิริยาของฟอสเฟตกับสารประกอบอื่น ๆ ในดิน เช่น เหล็กฟอสเฟต อะลูมิเนียมฟอสเฟต แคลเซียมฟอสเฟต และอินทรีย์ฟอสเฟตที่สะสมอยู่ในดิน ทำให้ฟอสฟอรัสในรูปที่พืชนำไปใช้ได้ลดลง หนึ่งในแนวทางแก้ไขปัญหาดังกล่าวคือการใช้ปุ๋ยมูลสัตว์ เช่น มูลไก่, มูลโค และมูลสุกร ซึ่งมีคุณสมบัติในการปรับปรุงสภาพดินและส่งเสริมการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ในดิน จุลินทรีย์เหล่านี้สามารถช่วยปลดปล่อยธาตุอาหารให้พืชดูดซึมได้ดีขึ้น แม้ว่าในมูลสัตว์จะมีปริมาณฟอสฟอรัสที่ต่ำกว่าความต้องการของพืชโดยตรง แต่การใช้ร่วมกับกลยุทธ์การปรับปรุงดินอื่น ๆ อาจช่วยเพิ่มความพร้อมของฟอสฟอรัสในระบบเกษตรและลดการพึ่งพาปุ๋ยเคมีได้ (Liao et al., 2025) หนึ่งในแนวทางที่มีประสิทธิภาพในการเพิ่มความเข้มข้นของธาตุอาหารในวัตถุดิบหลักสำหรับการผลิตปุ๋ย คือการหมักปุ๋ยร่วมกับวัสดุเสริมที่มีองค์ประกอบของแร่ธาตุสูง อาทิ กากสัลดจ์ ปาล์ม กากถั่วเหลือง และหินฟอสเฟต วัสดุดังกล่าวมีบทบาทในการเพิ่มปริมาณของธาตุอาหารหลัก โดยเฉพาะธาตุฟอสฟอรัส ซึ่งเป็นธาตุสำคัญต่อการเจริญเติบโตและการพัฒนาการของพืช เพื่อเพิ่มมูลค่าและลดของเสียในภาคการเกษตร วัสดุร่วม เช่น น้ำแป้งขนมจีนเหลือทิ้ง ถูกนำมาใช้พัฒนาปุ๋ยอินทรีย์ ไม่เพียงแต่ช่วยเพิ่มมูลค่าของวัสดุเหลือใช้แล้ว แต่ยังทำหน้าที่ปรับความชื้นในกระบวนการหมักแบบเดิม ซึ่งเดิมกระบวนการหมักจะใช้น้ำสะอาดหรือปุ๋ยอินทรีย์น้ำในการเพิ่มความชื้นให้แก่กองหมัก เพื่อรักษาสภาพที่เหมาะสมต่อการทำงานของจุลินทรีย์ อย่างไรก็ตาม การใช้น้ำแป้งขนมจีนดังกล่าว ช่วยเพิ่มแหล่งคาร์บอนและสารอาหารบางชนิดให้แก่จุลินทรีย์ ทำให้การหมักเกิดขึ้นได้รวดเร็วขึ้น ประสิทธิภาพการย่อยสลายดีขึ้น และยังเป็นการใช้ประโยชน์ของเสียจากกระบวนการผลิตขนมจีนให้เกิดคุณค่าเพิ่ม ส่งผลให้กระบวนการหมักและการปลดปล่อยธาตุอาหารในปุ๋ยมีประสิทธิภาพสูงขึ้น น้ำแป้งขนมจีนเหลือทิ้งมีคุณสมบัติที่โดดเด่นคือความสามารถในการละลายน้ำที่สูงและมีปริมาณคาร์โบไฮเดรตมาก โดยคาร์โบไฮเดรต

ทำหน้าที่เป็นแหล่งพลังงานสำคัญสำหรับจุลินทรีย์ในกระบวนการหมัก ทำให้จุลินทรีย์เจริญเติบโตได้ดีและสามารถปลดปล่อยธาตุอาหารให้พืชนำไปใช้ได้อย่างมีประสิทธิภาพ (Ferrari et al., 2024; Nawaz et al., 2024) นอกจากนี้ คุณสมบัติเหล่านี้ยังช่วยเพิ่มความชื้นในระบบการหมัก ส่งเสริมให้กระบวนการหมักชีวภาพดำเนินไปอย่างราบรื่นและมีประสิทธิภาพ จึงเป็นเหตุผลที่ทำให้สามารถใช้แป้งขนมจีนเหลือทิ้งแทนปุ๋ยอินทรีย์น้ำในการผลิตปุ๋ยหมักและลดต้นทุนทางเศรษฐกิจในภาคการเกษตรได้ (Fernández-Delgado et al., 2022)

ดังนั้น งานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาประสิทธิภาพการละลายหินฟอสเฟตของเชื้อ *Aspergillus niger* TISTR 3254 และ *Penicillium notatum* TISTR 3560 ศึกษาปริมาณน้ำแป้งขนมจีนเหลือทิ้งที่เหมาะสมสำหรับใช้ในกระบวนการทำปุ๋ยหมัก และการศึกษาการเปลี่ยนแปลงธาตุอาหารหลักในปุ๋ยหมักระหว่างการเก็บรักษา ซึ่งมีความสอดคล้องกับแนวทางเศรษฐกิจชีวภาพ-หมุนเวียน-สีเขียว (BCG Economy Model)

วิธีการศึกษา

การศึกษาประสิทธิภาพการละลายหินฟอสเฟตของเชื้อ *Aspergillus niger* TISTR 3254 และ *Penicillium notatum* TISTR 3560

ในการทดลองขั้นต้นที่เป็นการคัดเลือกเชื้อราที่มีความสามารถในการละลายหินฟอสเฟตในระดับห้องปฏิบัติการ เริ่มต้นด้วยการเตรียมขยายปริมาณของเชื้อรา *Aspergillus niger* TISTR 3254 และ *Penicillium notatum* TISTR 3560 โดยเฉพาะเลี้ยงในอาหารเลี้ยงเชื้อ PDB เพื่อให้ได้ชุดเชื้อที่แข็งแรงและมีความเข้มข้นที่เหมาะสม จากนั้นทำการถ่ายเชื้อลงบนอาหารเพาะเชื้อประเภท Potato Dextrose Agar (PDA) ร่วมกับวุ้นผิวเอียงและบ่มเชื้อที่อุณหภูมิ 35 ± 2 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 48 ชั่วโมง เมื่อได้ชุดเชื้อที่พร้อมสำหรับการทดลองแล้ว จะมีการเตรียมอาหารเลี้ยงจุลินทรีย์ประกอบด้วยซูโครส 10 กรัม, เพป्टอน 5 กรัม, $MgSO_4 \cdot 7H_2O$ 0.5 กรัม, NaCl 0.5 กรัม, KCl 0.5 กรัม และน้ำกลั่น 1,000 มิลลิลิตร (Aliyat et al., 2022; Thongpradistha et al., 2020) หลังจากฆ่าเชื้ออาหารเลี้ยงให้ปราศจากสิ่งมีชีวิตอื่นแล้ว จะเติมหินฟอสเฟตร้อยละ 5 น้ำหนักโดยน้ำหนัก ลงในอาหารเลี้ยง จากนั้นศึกษาโดยการเติมเชื้อราที่ผ่านการเพาะเลี้ยงที่มีความเข้มข้น 0.5 McFaland ลงในอาหารเลี้ยงในอัตราร้อยละ 1 ปริมาตรโดยปริมาตร โดยแบ่งเป็น 3 ชุดทดลอง คือ ชุดที่เติมเชื้อ *A. niger* TISTR 3254, ชุดที่เติมเชื้อ *P. notatum* TISTR 3560 และชุดที่เติมเชื้อผสมระหว่างทั้งสองสายพันธุ์ เมื่อดำเนินการดังกล่าวแล้ว นำสารทดลองไปบ่มด้วยการเขย่าในความเร็วรอบ 120 รอบต่อนาที ที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 8 วัน และสุ่มตัวอย่างทุก ๆ 2 วัน นำมาวิเคราะห์ปริมาณฟอสฟอรัสด้วยวิธีโมลิบดีนัมบลู-แอสคอร์บิก (Molybdenum Blue-Ascorbic Acid Method) ตามมาตรฐาน APHA 4500-P E โดยวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 880 นาโนเมตร ด้วยเครื่อง UV-Visible Spectrophotometer เพื่อหาปริมาณฟอสเฟตละลายน้ำ ที่เกิดจากการละลายหินฟอสเฟตโดยเชื้อรา ตัวอย่างน้ำเลี้ยงเชื้อหรือสารละลายถูกกรองผ่านกระดาษกรอง $0.45 \mu m$ แล้วนำมาทำปฏิกิริยากับสารละลายผสมกรดซัลฟิวริก-แอมโมเนียมโมลิบเดต-แอนติโมนีทาร์เทรต และแอสคอร์บิกแอซิด เพื่อให้เกิดสีฟ้า จากนั้นวัดค่าการดูดกลืนแสงเทียบกับกราฟมาตรฐาน เพื่อวัดปริมาณฟอสเฟตที่ปลดปล่อยออกมาจากกระบวนการละลายหินฟอสเฟต และวัดระดับพีเอชของระบบทดลอง ผลการทดลองนี้ใช้ในการคัดเลือกเชื้อราที่มีประสิทธิภาพสูงสุดในการละลายหินฟอสเฟตเพื่อใช้ในขั้นตอนการทดลองต่อไป

การศึกษาปริมาณน้ำแป้งขนมจีนเหลือทิ้งที่เหมาะสม

การศึกษาปริมาณน้ำแป้งขนมจีนเหลือทิ้งโดยนำน้ำแป้งขนมจีนที่ได้จากขั้นตอนลวกเส้นขนมจีน นำมาเตรียมสูตรปุ๋ยหมักจำนวน 6 สูตร ในอัตราร้อยละ 0, 2, 4, 6, 8 และ 10 (โดยน้ำหนักของปุ๋ย) แล้วนำมาผสมกับวัตถุดิบต่าง ๆ ดังแสดงใน Table 1 แล้วเติมเชื้อราที่มีความเข้มข้น 0.5 McFaland ที่ผ่านการทดสอบประสิทธิภาพในการละลายหินฟอสเฟตที่ดีที่สุดจำนวน ร้อยละ 1.5 ปริมาตรโดยปริมาตร (โดยผ่านการเพาะเลี้ยงในอาหารเลี้ยงเชื้อ PDB และบ่มเขย่าที่ความเร็วรอบ 100 รอบต่อนาที เป็นเวลา 48 ชั่วโมงที่อุณหภูมิห้อง) จากนั้นเติมหินฟอสเฟตร้อยละ 5 น้ำหนักโดยน้ำหนัก จากนั้นทำการกวนผสมด้วยเครื่องกวนที่ความเร็วรอบ 40 รอบต่อนาที แล้วนำไปบรรจุลงในถุงพลาสติกแล้วทำการผนึกปิดให้สนิท ทำการสุ่มตัวอย่างทุก ๆ 2 วัน เพื่อตรวจวิเคราะห์ปริมาณธาตุอาหารหลัก ประกอบด้วย ฟอสฟอรัส โดยวิธี โมลิบดีนัมบลู-แอสคอร์บิก ตามมาตรฐาน APHA 4500-P E ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด วิเคราะห์โดยวิธี Kjeldahl ตามมาตรฐาน APHA 4500-NH₃ B, C และปริมาณโพแทสเซียม วิเคราะห์โดยวิธี Flame Photometry ตามมาตรฐาน APHA 3500-K B จากนั้นบันทึกการเปลี่ยนแปลงของพีเอชและอุณหภูมิในระหว่างการหมัก ผลการทดลองที่ได้จะใช้ในการคัดเลือกสูตรปุ๋ยที่มีปริมาณธาตุอาหารหลักที่ดีที่สุดจำนวน 2 สูตร และคัดเลือกสูตรปุ๋ยที่มีปริมาณฟอสฟอรัสสูงสุดจำนวน 1 สูตร เพื่อนำไปศึกษาปริมาณฟอสฟอรัสในปุ๋ยที่เพิ่มขึ้นในสภาพปลอดเชื้อต่อไป

Table 1 Formulations of compost using cow dung as the primary substrate

Raw Materials	Percentage
Cattle manure	60
Oil palm residues	25
Fermented soybean meal	8
Dolomite	2
Rubberwood ash	5

การศึกษาการเปลี่ยนแปลงธาตุอาหารหลักในปุ๋ยหมักระหว่างการเก็บรักษา

ทำการเก็บรักษาปุ๋ยหมักที่มีปริมาณธาตุอาหารหลักสูงสุดจำนวน 1 สูตร ที่ผ่านการหมัก 14 วัน (โดยคัดเลือกจากช่วงเวลาที่เหมาะสมต่อการเกิดกระบวนการย่อยสลายทางชีวภาพของจุลินทรีย์) ทำการเก็บในกระสอบที่สามารถมีอากาศถ่ายเทได้ ทำการวิเคราะห์ปริมาณธาตุอาหารหลักในปุ๋ยหมักภายหลังการเก็บรักษาเป็นเวลา 15 วัน

การวิเคราะห์ทางสถิติ (Statistical Analysis)

ข้อมูลที่ได้จากการทดลองทุกชุดการทดลองถูกวิเคราะห์ความแปรปรวน (Analysis of Variance; ANOVA) ตามแบบแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ (Completely Randomized Design; CRD) เพื่อทดสอบความแตกต่างระหว่างทรีทเมนต์ จากนั้นเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยด้วยวิธี Duncan's New Multiple Range Test (DMRT) ที่ระดับนัยสำคัญ $\alpha = 0.05$ โดยใช้โปรแกรมวิเคราะห์ทางสถิติ SPSS (IBM) รุ่น IBM SPSS Statistics Version 26 (IBM Corp., 2019)

ผลการศึกษาและวิจารณ์

การเปรียบเทียบประสิทธิภาพการละลายหินฟอสเฟตของเชื้อ *Aspergillus niger* TISTR 3254 และ *Penicillium notatum* TISTR 3560

การศึกษาประสิทธิภาพในการละลายหินฟอสเฟตของเชื้อรา *A. niger* TISTR 3254, *P. notatum* TISTR 3560 และชุดผสมระหว่าง *A. niger* กับ *P. notatum* ในระดับห้องปฏิบัติการ พบว่าเชื้อผสมระหว่าง *A. niger* TISTR 3254 กับ *P. notatum* TISTR 3560 มีผลทำให้ระดับฟิโอสในอาหารเลี้ยงเชื้อเปลี่ยนแปลงมากที่สุด จากระดับฟิโอสเริ่มต้นการหมักเท่ากับ 7.03 ลดลงเหลือ 5.81 ในวันสุดท้ายของการหมัก ในขณะที่เชื้อ *P. notatum* TISTR 3560 ส่งผลให้การเปลี่ยนแปลงระดับฟิโอสน้อยสุด โดยเริ่มต้นการหมักมีค่าฟิโอสเท่ากับ 7.04 และวันสุดท้ายของการหมักได้ค่าเท่ากับ 6.53 ดังแสดงใน Figure 1 สำหรับเชื้อ *A. niger* TISTR 3254 ได้ค่าปริมาณฟอสฟอรัสเท่ากับ 65.03 มิลลิกรัมต่อลิตร และเชื้อ *P. notatum* TISTR 3560 มีความสามารถในการละลายหินฟอสเฟตต่ำที่สุด โดยได้ค่าปริมาณฟอสฟอรัสเท่ากับ 14.20 มิลลิกรัมต่อลิตร ในวันที่ 8 ของการหมัก ดังแสดงใน Table 2 ดังนั้นจึงสรุปได้ว่า เชื้อผสมระหว่าง *A. niger* TISTR 3254 กับ *P. notatum* TISTR 3560 เป็นจุลินทรีย์ที่มีประสิทธิภาพในการละลายหินฟอสเฟตได้ดีกว่าเชื้อ *A. niger* TISTR 3254 และ *P. notatum* TISTR 3560 จึงเหมาะสมที่จะนำไปใช้เป็นหัวเชื้อในการผลิตปุ๋ยหมักจากมูลโคผสมหินฟอสเฟต

ปริมาณน้ำแ่ียงขนมจีนเหลือทิ้งที่เหมาะสม

ในการศึกษานี้ได้กำหนดให้ ความชื้นเริ่มต้นในกองปุ๋ยหมักเท่ากับทุกทรีทเมนต์ที่ระดับ 60% (wet basis) เพื่อควบคุมปัจจัยที่มีผลต่อกิจกรรมของจุลินทรีย์ เนื่องจากความชื้นเป็นตัวแปรสำคัญที่ส่งผลโดยตรงต่อการหายใจ การเจริญ และการสร้างเอนไซม์ของเชื้อราทั้ง 2 สายพันธุ์ ซึ่งการศึกษานี้ทำการศึกษาโดยเปรียบเทียบปริมาณน้ำแ่ียงขนมจีนเหลือทิ้งในการเพิ่มปริมาณธาตุอาหารหลักในปุ๋ยหมัก เท่ากับร้อยละ 0, 2, 4, 6, 8 และ 10 โดยปริมาตรต่อน้ำหนัก แล้วทำการเติมหินฟอสเฟตร้อยละ 5 โดยน้ำหนักต่อน้ำหนัก และเชื้อผสมระหว่าง *A. niger* TISTR 3254 กับ *P. notatum* TISTR 3560 โดยปรับความขุ่นของเชื้อราในแต่ละชนิดให้เทียบเท่า 0.5 McFarland standard จากนั้นนำเชื้อราทั้งสองชนิดมาผสมกันในอัตราส่วนปริมาตร 1:1 และนำเชื้อผสมที่ได้ไปใช้เป็นหัวเชื้อในระบบทดลอง โดยมีความเข้มข้นสุดท้าย ร้อยละ 1.5 โดยปริมาตรต่อปริมาตร (1.5% v/v) ทำการหมักปุ๋ยเป็นเวลา 14 วัน ซึ่งได้ผลการทดลองดังต่อไปนี้

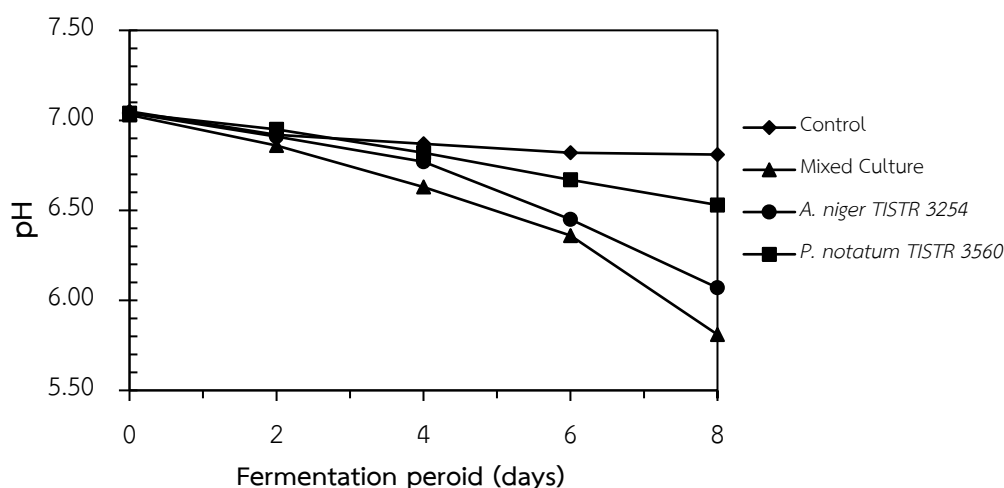


Figure 1 Changes in the pH levels of culture medium during 8-day period at 30°C

Table 2 Phosphorus concentration in the culture medium over an 8-day fermentation period

Microbial species	Phosphorus content (mg/L)				
	Day 0	Day 2	Day 4	Day 6	Day 8
Control	<0.01	<0.01	0.02 ^d ±0.01	0.27 ^d ±0.02	0.04 ^d ±0.02
<i>A. niger</i> TISTR 3254 plus <i>P. notatum</i> TISTR 3560	<0.01	26.04 ^a ±0.41	47.77 ^a ±0.28	68.66 ^a ±2.30	85.43 ^a ±0.49
<i>A. niger</i> TISTR 3254	<0.01	15.88 ^b ±0.78	28.89 ^b ±0.30	42.16 ^b ±0.41	65.03 ^b ±0.67
<i>P. notatum</i> TISTR 3560	<0.01	6.36 ^c ±0.12	10.25 ^c ±0.15	15.19 ^c ±0.16	14.20 ^c ±1.02

Means with the same letter in the column are not significantly different ($P>0.05$)

การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิในระหว่างการหมักปุ๋ยหมัก

การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิที่เกิดขึ้นจากการหมักปุ๋ยหมักจากมูลโคผสมหินฟอสเฟตเพื่อเพิ่มปริมาณฟอสฟอรัสโดยใช้เชื้อผสมระหว่าง *A. niger* TISTR 3254 กับ *P. notatum* TISTR 3560 ซึ่งศึกษาในส่วนของปริมาณน้ำแ่งขมจิ้นเหลือทิ้งที่ใช้ทดแทนปริมาณปุ๋ยอินทรีย์น้ำที่เหมาะสมในระดับต่าง ๆ เป็นเวลา 14 วัน พบว่าอุณหภูมิของปุ๋ยหมักเพิ่มขึ้นในช่วงวันที่ 6-10 โดยสูงสุดในวันที่ 10 (Figure 2) ซึ่งมีค่าอยู่ระหว่าง 35-40 องศาเซลเซียส หลังจากนั้นจะลดต่ำลงอย่างต่อเนื่อง จนกระทั่งเกิดการย่อยสลายอินทรีย์วัตถุโดยจุลินทรีย์อย่างสมบูรณ์ซึ่งจะอยู่ในช่วง 31-32 องศาเซลเซียส ในวันที่ 14 ของการหมัก การที่ผลการศึกษากลายเป็นเช่นนี้ อาจเนื่องจากจุลินทรีย์ส่วนใหญ่ได้ใช้สารอาหารที่มีอยู่และปฏิกิริยาการย่อยสลายสารอินทรีย์เริ่มลดลง (Tian et al., 2024) กับระยะที่ปุ๋ยหมักเริ่มเข้าสู่สภาวะสมบูรณ์ ซึ่งเป็นช่วงที่สารอาหารที่ละลายได้เริ่มคงที่ และการปลดปล่อยฟอสฟอรัสจากหินฟอสเฟตอาจเกิดขึ้นอย่างต่อเนื่อง (Elias et al., 2024) จากผลการวิจัยสะท้อนว่ากระบวนการหมักอยู่ในช่วง เมโซฟิลิกเป็นหลัก และไม่ได้เข้าสู่ช่วงเทอร์โมฟิลิกอย่างเต็มที่ อาจเนื่องมาจากขนาดกองทดลองมีขนาดเล็ก หรืออาจมีการสูญเสียความร้อนสูง ส่งผลให้ไม่เกิดการสะสมอุณหภูมิ อย่างไรก็ตาม การเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิในช่วงกลางการหมักแสดงถึงกิจกรรมจุลินทรีย์ที่เข้มข้น ซึ่งสอดคล้องกับการย่อยสลายสารอินทรีย์และการปลดปล่อยธาตุอาหารในช่วงต้นของกระบวนการหมัก (Tian et al., 2024; Elias et al., 2024)

การเปลี่ยนแปลงระดับพีเอชในระหว่างการหมักปุ๋ยหมัก

การเปลี่ยนแปลงระดับพีเอชของปุ๋ยแต่ละสูตร มีการเปลี่ยนแปลงคล้ายกันทุกสูตร คือ ค่าระดับพีเอชจะลดลงเมื่อระยะเวลาการหมักเพิ่มขึ้น ผลการวิเคราะห์ระดับพีเอชเริ่มต้นของการหมักปุ๋ยหมัก สูตรปุ๋ยที่มีระดับพีเอชสูงที่สุด คือ สูตรที่มีการเติมน้ำแ่งขมจิ้นเหลือทิ้งทดแทนปริมาณปุ๋ยอินทรีย์น้ำร้อยละ 10 มีค่าเท่ากับ 9.08 ส่วนปุ๋ยที่มีระดับพีเอชต่ำที่สุดคือ สูตรที่มีการเติมน้ำแ่งขมจิ้นเหลือทิ้งร้อยละ 0 มีค่าเท่ากับ 8.56 เมื่อสิ้นสุดของการหมักปุ๋ยหมักที่มีระดับพีเอชที่สูงที่สุดคือ สูตรที่มีการเติมน้ำแ่งขมจิ้นเหลือทิ้งร้อยละ 10 มีค่าเท่ากับ 8.53 และสูตรที่มีระดับพีเอชต่ำที่สุด คือ สูตรที่เติมน้ำแ่งขมจิ้นเหลือทิ้งทดแทนปริมาณปุ๋ยอินทรีย์น้ำร้อยละ 0 มีค่าเท่ากับ 7.90 ระดับ พีเอชที่ลดลงแสดงให้เห็นว่า เกิดการเจริญของจุลินทรีย์ในการย่อยสลายอินทรีย์วัตถุ และสร้าง

กรดอินทรีย์ต่าง ๆ ออกมา ดังแสดงใน Figure 2 ระดับพีเอชของปุ๋ยหมักแต่ละสูตรมีค่าพีเอชในช่วง 5.5-8.5 ซึ่งเป็นช่วงที่มีความเหมาะสมต่อการเจริญของจุลินทรีย์ในการย่อยสลายอินทรีย์วัตถุ และตรงตามมาตรฐานปุ๋ยอินทรีย์ตามประกาศของกรมวิชาการเกษตร ปี พ.ศ. 2548

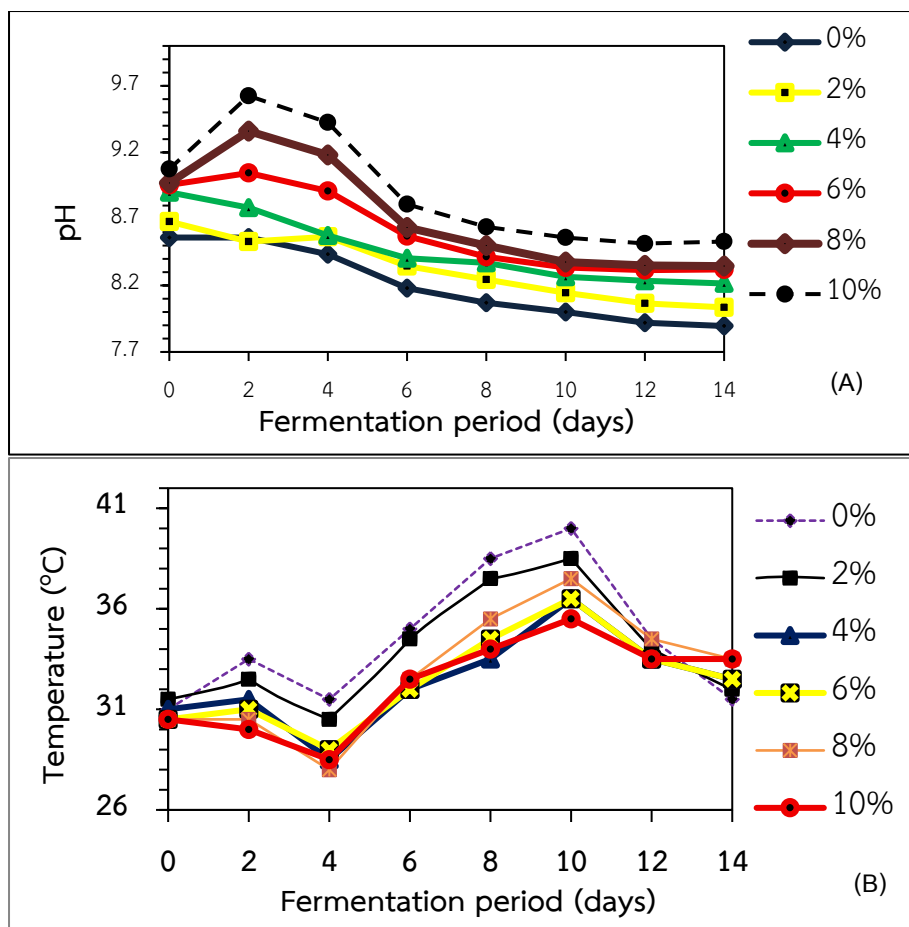


Figure 2 Changes in (A) temperature and (B) pH during the 14-day fermentation of compost produced from cattle manure with the addition of rice noodle wastewater under different conditions

การเปลี่ยนแปลงปริมาณฟอสฟอรัสในระหว่างการหมักปุ๋ยหมัก

จากการวิเคราะห์ปริมาณฟอสฟอรัสของปุ๋ยหมักในระยะเริ่มต้นของกระบวนการหมัก พบว่าปุ๋ยหมักทุกสูตรมีปริมาณฟอสฟอรัสอยู่ในช่วงร้อยละ 0.27–0.41 โดยมีสาเหตุจากวัตถุดิบหลักที่ใช้ในการหมักคือมูลโค ซึ่งมีปริมาณฟอสฟอรัสอยู่ที่ประมาณร้อยละ 0.50 ส่งผลให้ปุ๋ยหมักในวันแรกของกระบวนการหมักมีค่าฟอสฟอรัสในระดับต่ำ ดังแสดงใน Table 3 จากผลการวิจัยพบว่าสูตรปุ๋ยที่ไม่ได้เติมน้ำแ่่งขมจิ้นเหลือทิ้ง (ร้อยละ 0) มีปริมาณฟอสฟอรัสเริ่มต้นเท่ากับร้อยละ 0.41 หลังจากหมักเป็นเวลา 14 วัน สูตรปุ๋ยที่มีปริมาณฟอสฟอรัสสูงที่สุดคือสูตรที่มีการเติมน้ำแ่่งขมจิ้นเหลือทิ้งในอัตราร้อยละ 2 ซึ่งมีค่าฟอสฟอรัสเท่ากับร้อยละ 0.93 โดยมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) ในขณะที่สูตรที่มีปริมาณฟอสฟอรัสต่ำที่สุดคือสูตรที่เติมน้ำแ่่งขมจิ้นเหลือทิ้งในอัตราร้อยละ 10 ซึ่งมีค่าฟอสฟอรัสเท่ากับร้อยละ 0.53 ผลการศึกษาพบว่า การใช้น้ำแ่่งขมจิ้นเหลือทิ้งในปริมาณที่เหมาะสมสามารถเพิ่มปริมาณฟอสฟอรัสในปุ๋ยหมักได้อย่างมีประสิทธิภาพ ทั้งนี้ น้ำแ่่งขมจิ้นเหลือทิ้งมีองค์ประกอบของสารอินทรีย์ที่อุดมด้วยคาร์โบไฮเดรต น้ำตาลรีดิคซ์ และกรดอินทรีย์บางชนิด รวมถึงธาตุอาหารในรูปที่ละลายน้ำได้ เช่น N และ K ซึ่งสามารถเป็นแหล่งพลังงานให้แก่จุลินทรีย์ในกองปุ๋ย โดยเฉพาะเชื้อรา *A. niger* และ *P. notatum* ที่มีความสามารถในการผลิตเอนไซม์ย่อยแ่่งและน้ำตาล ทำให้เกิดการสร้างกรดอินทรีย์ (เช่น citric acid และ gluconic acid) ในระหว่างการหมัก กรดอินทรีย์เหล่านี้จะลดค่า pH รอบอนุภาคของหินฟอสเฟต ส่งผลให้ธาตุฟอสฟอรัสที่จับอยู่กับแคลเซียมในรูป $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$ ถูกละลายออกมาเป็นฟอสเฟตที่ละลายน้ำได้มากขึ้น ($\text{Soluble PO}_4^{3-}\text{-P}$) นอกจากนี้ การที่ น้ำแ่่งขมจิ้นเหลือทิ้งมีค่า COD และคาร์บอน

สูงยังช่วยกระตุ้นการเจริญและการหายใจของจุลินทรีย์ ทำให้เกิดการย่อยสลายสารอินทรีย์ในวัตถุดิบและการปลดปล่อยฟอสฟอรัสจากสารประกอบอินทรีย์ร่วมด้วย ส่งผลให้การใช้น้ำแ่่งขมจิ้นเหลือทิ้งในระดับที่เหมาะสมไม่เพียงเพิ่มกิจกรรมของจุลินทรีย์ แต่ยังช่วยเพิ่มความเป็นประโยชน์ของธาตุฟอสฟอรัสในระบบหมัก ซึ่งการหมักปุ๋ยที่เติมน้ำแ่่งขมจิ้นเหลือทิ้งในอัตราที่เหมาะสม ในอัตราร้อยละ 2 ส่งผลให้ได้ปุ๋ยหมักที่มีปริมาณฟอสฟอรัสสูงขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ ($P < 0.05$)ภายในระยะเวลา 14 วัน ซึ่งเป็นแนวทางที่สามารถนำไปใช้ในการปรับปรุงกระบวนการผลิตปุ๋ยหมักให้มีธาตุอาหารสูงขึ้นได้

Table 3 Phosphorus content in compost supplemented with varying levels of rice noodle wastewater during a 14-day fermentation period

Level of rice noodle wastewater (%)	Phosphorus content (%)		
	Day 0	Day 7	Day 14
0	0.41 ^a ±0.066	0.41 ^a ±0.001	0.80 ^b ±0.001
2	0.40 ^a ±0.070	0.40 ^a ±0.001	0.93 ^a ±0.005
4	0.31 ^{ab} ±0.016	0.36 ^b ±0.001	0.59 ^c ±0.002
6	0.31 ^{ab} ±0.016	0.33 ^b ±0.001	0.57 ^c ±0.001
8	0.29 ^{ab} ±0.003	0.34 ^c ±0.002	0.54 ^c ±0.001
10	0.27 ^b ±0.004	0.30 ^d ±0.001	0.53 ^c ±0.001

Means with the same letter in the row are not significantly different ($P > 0.05$)

ปริมาณไนโตรเจนและโพแทสเซียมในปุ๋ยหมัก

ในการศึกษานี้ได้ดำเนินการผลิตปุ๋ยหมักโดยใช้มูลวัวร่วมน้ำแ่่งขมจิ้นเหลือทิ้งในอัตราส่วนที่แตกต่างกัน เพื่อศึกษาผลต่อสมบัติของปุ๋ยหมักที่ได้ โดยนำค่าที่ได้จากการวิเคราะห์คุณสมบัติของปุ๋ยหมักเปรียบเทียบกับเกณฑ์มาตรฐานของปุ๋ยอินทรีย์ตามที่กรมวิชาการเกษตรกำหนด ซึ่งจากการวิเคราะห์ปริมาณไนโตรเจนและฟอสฟอรัสที่มีปริมาณสูงสุดในปุ๋ยหมักจำนวน 2 สูตร ร้อยละ 0 และ 2 ที่ผ่านการหมักเป็นเวลา 14 วัน พบว่ามีปริมาณไนโตรเจน เท่ากับ 1.12 และ 1.06 % และโพแทสเซียมเท่ากับ ร้อยละ 0.62 และ 0.59 % ตามลำดับ ดังแสดงใน Table 4 อย่างไรก็ตาม ไม่มีความแตกต่างทางสถิติระหว่าง 2 ทรีทเมนต์ที่ศึกษา ($P > 0.05$) และเมื่อทำการเปรียบเทียบปริมาณไนโตรเจนและโพแทสเซียมของปุ๋ยหมักแต่ละสูตร พบว่าผ่านเกณฑ์มาตรฐานปุ๋ยอินทรีย์ตามมาตรฐานของกรมวิชาการเกษตร (มาตรฐานปุ๋ยอินทรีย์ พ.ศ. 2553) (Department of Agriculture, 2010) ซึ่งกำหนดให้มีปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดไม่น้อยกว่าร้อยละ 1.0 และโพแทสเซียมไม่น้อยกว่าร้อยละ 0.5 โดยน้ำหนัก การใช้วัตถุดิบอินทรีย์ท้องถิ่นร่วมกับของเสียจากกระบวนการผลิตอาหาร เช่น น้ำแ่่งขมจิ้น สามารถเพิ่มคุณภาพของปุ๋ยหมักให้เป็นไปตามเกณฑ์มาตรฐานปุ๋ยอินทรีย์ของประเทศได้อย่างมีนัยสำคัญ และเป็นแนวทางที่ส่งเสริมการใช้ทรัพยากรอย่างยั่งยืนในภาคเกษตรกรรม

Table 4 Nitrogen and potassium content in compost fermented for 14-day

Compost with the addition of rice noodle wastewater (%)	Nitrogen content (%)	Potassium content (%)
0	1.12 ^a ± 0.025	0.62 ^a ± 0.013
2	1.06 ^a ± 0.019	0.59 ^a ± 0.015

Means with the same letter in the column are not significantly different ($P > 0.05$)

ผลการศึกษาการเปลี่ยนแปลงปริมาณธาตุอาหารหลักในปุ๋ยหมักระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้องเป็นระยะเวลา 15 วัน

การศึกษการเปลี่ยนแปลงธาตุอาหารหลัก ได้แก่ ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียมในปุ๋ยหมัก ระหว่างการเก็บรักษาเป็นเวลา 15 วัน ภายหลังกการหมัก เนื่องจากการเก็บรักษาที่ 15 วัน เป็นช่วงเวลาที่เหมาะสมในการศึกษาการเปลี่ยนแปลงของคุณสมบัติทางเคมีของปุ๋ยหมักภายหลังสิ้นสุดกระบวนการย่อยสลายเชิงจุลินทรีย์หลัก ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Sundberg, et al. (2013) จากนั้นทำการเก็บรักษาปุ๋ยหมักที่มีปริมาณฟอสฟอรัสสูงสุดจำนวน 1 สูตร คือ สูตรที่มีปริมาณน้ำแ่่งขมจิ้นเหลือ

ทั้งหมดแทนปริมาณปุ๋ยอินทรีย์น้ำที่ร้อยละ 2 โดยจะเก็บในกระสอบที่มีอากาศถ่ายเทได้ พบว่า มีปริมาณฟอสฟอรัสเท่ากับร้อยละ 0.81 ปริมาณไนโตรเจนเท่ากับร้อยละ 1.53 จะเห็นได้ว่าปริมาณธาตุอาหารหลักจะลดลง โดยผลการวิเคราะห์ทางสถิติที่ได้นั้นด้วยการเปรียบเทียบปริมาณธาตุอาหารหลักก่อนและหลังการเก็บรักษาปุ๋ยหมักเป็นเวลา 15 วัน พบว่า ปริมาณไนโตรเจนลดลงจากร้อยละ 1.65 ± 0.05 เป็นร้อยละ 1.53 ± 0.04 และปริมาณฟอสฟอรัสลดลงจากร้อยละ 0.85 ± 0.03 เป็นร้อยละ 0.83 ± 0.02 ซึ่งการเปลี่ยนแปลงดังกล่าวไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติเมื่อเปรียบเทียบกับก่อนการเก็บรักษา ($P > 0.05$) ซึ่งการเก็บรักษาปุ๋ยหมักเป็นเวลา 15 วันส่งผลให้ปริมาณธาตุอาหารหลักลดลงเพียงเล็กน้อย และยังคงมีความคงตัวทางเคมีในระดับที่เหมาะสม และเมื่อทำการเปรียบเทียบปริมาณไนโตรเจน และฟอสฟอรัสของปุ๋ยหมัก พบว่าผ่านเกณฑ์มาตรฐานปุ๋ยอินทรีย์ตามประกาศของกรมวิชาการเกษตรซึ่งกำหนดไนโตรเจนทั้งหมดไม่น้อยกว่าร้อยละ 1.0 และฟอสฟอรัสไม่น้อยกว่าร้อยละ 0.5 โดยน้ำหนักดังแสดงใน Figure 3

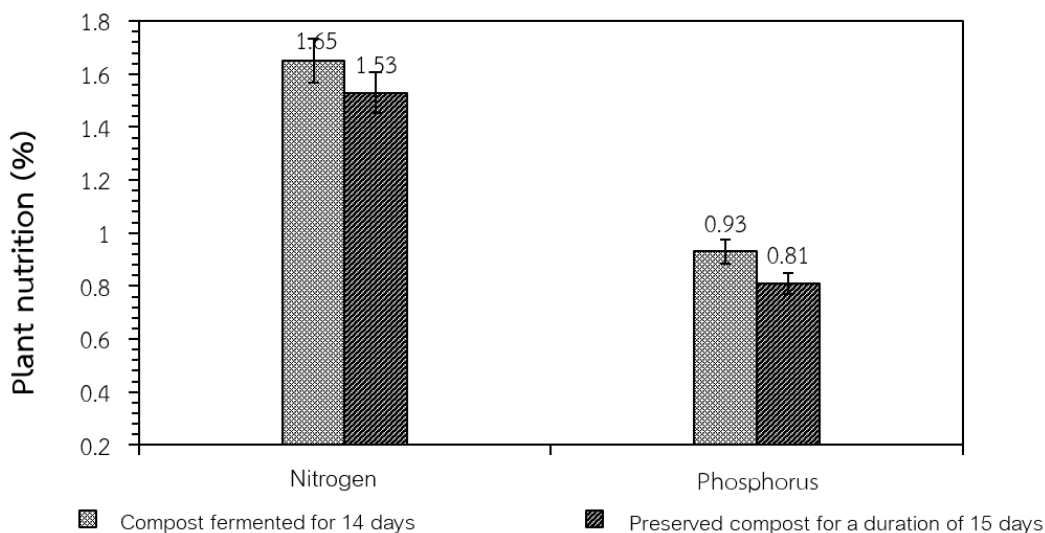


Figure 3 Comparison of nitrogen and phosphorus content in compost stored for 15 days

ผลการศึกษาเปรียบเทียบการหมักปุ๋ยหมักแบบปลอดเชื้อ

การใช้วัตถุดิบที่ปลอดเชื้อโดยด้วยการฆ่าเชื้อวัตถุดิบที่อุณหภูมิ 121 องศาเซลเซียสเวลา 15 นาที และมีการเติมจากเชื้อผสม *A. niger* TISTR 3254 กับ *P. notatum* TISTR 3560 จุดประสงค์เพื่อต้องการทดสอบความสามารถของตัวเชื้อผสมในการละลายฟอสเฟตเปรียบเทียบการหมักแบบธรรมชาติที่ไม่มีการฆ่าเชื้อวัตถุดิบ หมักเป็นเวลา 14 วัน พบว่าอุณหภูมิของปุ๋ยหมักเพิ่มขึ้นในช่วงวันที่ 6-8 โดยสูงสุดในวันที่ 8 (Figure 4) ซึ่งมีค่าอยู่ระหว่าง 35-37.5 องศาเซลเซียส หลังจากนั้นจะลดต่ำลงเรื่อย ๆ จนกระทั่งเกิดการย่อยสลายอินทรีย์วัตถุโดยจุลินทรีย์อย่างสมบูรณ์ซึ่งจะอยู่ในช่วง 31-32 องศาเซลเซียส ในวันที่ 14 ของการหมัก และมีความใกล้เคียงกับอุณหภูมิของอากาศภายนอก จึงสามารถสรุปได้ว่าปุ๋ยหมักเข้าสู่ระยะสุก (maturity phase) ซึ่งการเพิ่มขึ้นของระดับอุณหภูมิในระหว่างการหมักปุ๋ยหมักมีความสอดคล้องกับอุณหภูมิของปุ๋ยหมักเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วในช่วง 1-4 วันแรก ซึ่งมีค่าอยู่ระหว่าง 33-44 องศาเซลเซียส หลังจากนั้นจะลดต่ำลงเรื่อย ๆ จนกระทั่งเกิดการย่อยสลายอินทรีย์วัตถุโดยจุลินทรีย์อย่างสมบูรณ์ซึ่งจะอยู่ในช่วง 31-33 องศาเซลเซียส (Dahunsi and Ogunwole, 2021)

ผลจากการวิเคราะห์ระดับพีเอชของการเปลี่ยนแปลงระดับพีเอชในระหว่างการหมักปุ๋ยหมักชีวภาพแบบปลอดเชื้อของสูตรที่มีการเติมน้ำแอมโมเนียเหลือทิ้งร้อยละ 2 มีค่าพีเอชเริ่มต้นเท่ากับ 8.56 เมื่อสิ้นสุดของการหมักระดับพีเอชมีค่าเท่ากับ 8.10 พีเอชที่ลดลงแสดงให้เห็นว่าเกิดการเจริญของจุลินทรีย์ในการย่อยสลายอินทรีย์วัตถุ และสร้างกรดอินทรีย์ต่าง ๆ ออกมา ดังแสดงใน Figure 4 สำหรับผลการเปลี่ยนแปลงของระดับพีเอชของปุ๋ยหมัก ซึ่งมีค่าพีเอชในช่วง 5.5-8.5 ซึ่งเป็นช่วงที่มีความเหมาะสมต่อการเจริญของจุลินทรีย์ในการย่อยสลายอินทรีย์วัตถุ และตรงตามมาตรฐานปุ๋ยอินทรีย์ตามประกาศของกรมวิชาการเกษตร ปี พ.ศ. 2548

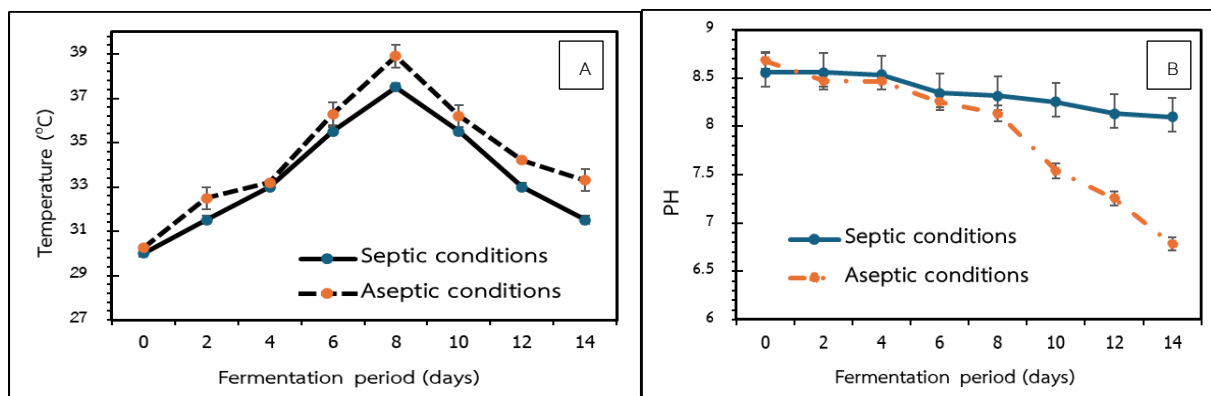


Figure 4 Changes in (A) temperature and (B) pH during the 14-day fermentation of compost from cow manure under aseptic conditions

ผลการวิเคราะห์ปริมาณฟอสฟอรัสของปุ๋ยหมักแบบปลอดเชื้อและไม่ปลอดเชื้อ พบว่าเมื่อเริ่มต้นการหมักจะมีปริมาณฟอสฟอรัสร้อยละ 0.40 และเมื่อทำการหมักเป็นเวลา 14 วัน พบว่าปุ๋ยที่มีการเติมปริมาณน้ำแ่่งขนมจิ้นเหลือทิ้งร้อยละ 2 มีค่าปริมาณฟอสฟอรัสเท่ากับร้อยละ 0.78 ดังแสดงใน Figure 5 และเมื่อเปรียบเทียบกับสูตรปุ๋ยที่หมักโดยไม่ปลอดเชื้อปริมาณฟอสฟอรัสของวันที่ 14 มีค่าฟอสฟอรัสเท่ากับร้อยละ 0.93 แสดงให้เห็นว่าเชื้อผสมระหว่าง *A. niger* TISTR 3254 กับ *P. notatum* TISTR 3560 สามารถละลายหินฟอสเฟตได้แต่จะมีปริมาณฟอสฟอรัสน้อยกว่าเพราะในปุ๋ยหมักที่มีการหมักแบบธรรมชาติ จะมีจุลินทรีย์ชนิดต่างๆ ช่วยย่อยสลายอินทรีย์วัตถุในระหว่างการหมักมีผลทำให้มีปริมาณธาตุอาหารหลักมากกว่าการหมักแบบปลอดเชื้อ ส่วนผลการวิเคราะห์ปริมาณไนโตรเจนของปุ๋ยหมัก พบว่าปริมาณน้ำแ่่งขนมจิ้นเหลือทิ้งร้อยละ 2 มีปริมาณไนโตรเจนเท่ากับร้อยละ 1.41 และปริมาณโพแทสเซียมเท่ากับร้อยละ 2.46 จะเห็นว่าปริมาณไนโตรเจนและโพแทสเซียมจะน้อยกว่าการหมักแบบธรรมชาติ แสดงให้เห็นว่าการหมักปุ๋ยหมักแบบปลอดเชื้อ จะทำให้ธาตุอาหารหลักลดลงเพราะไม่มีจุลินทรีย์จากธรรมชาติมาช่วยในการย่อยสลายอินทรีย์วัตถุ จึงทำให้เกิดการปลดปล่อยสารอินทรีย์ออกมาได้น้อยกว่าการหมักปุ๋ยตามธรรมชาติ ดังแสดงใน Figure 5

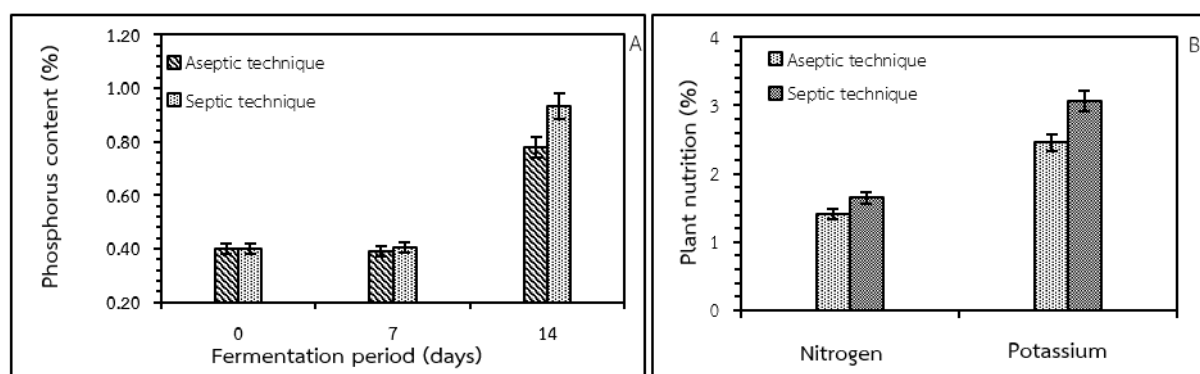


Figure 5 Phosphorus content (A) and nitrogen and potassium contents (B) in compost during a 14-day fermentation under aseptic and non-aseptic conditions

สรุปผลการศึกษา

จากงานวิจัยเรื่องศักยภาพของเชื้อรา *A. niger* TISTR 3254 และ *P. notatum* TISTR 3560 ในการย่อยสลายสารอินทรีย์จากน้ำแป้งขนมจีนเหลือทิ้งเพื่อการผลิตปุ๋ยหมัก พบว่าเชื้อผสมระหว่าง *A. niger* TISTR 3254 และ *P. notatum* TISTR 3560 มีประสิทธิภาพในการละลายหินฟอสเฟตได้ดีที่สุด โดยให้ค่าปริมาณฟอสฟอรัสสูงสุดที่ 85.43 มิลลิกรัมต่อลิตร ซึ่งสูตรปุ๋ยหมักที่เหมาะสมที่สุด คือ การเติมน้ำแป้งขนมจีนเหลือทิ้งร้อยละ 2 และหินฟอสเฟตร้อยละ 5 ร่วมกับเชื้อราผสมร้อยละ 1.5 ให้ปริมาณฟอสฟอรัสเท่ากับร้อยละ 0.93 ไนโตรเจนเท่ากับร้อยละ 1.65 โพแทสเซียมเท่ากับร้อยละ 3.06 และค่าพีเอชเท่ากับ 8.04 ส่วนการเก็บรักษาปุ๋ยหมักในสภาพอุณหภูมิห้องเป็นเวลา 15 วัน มีผลให้ปริมาณฟอสฟอรัสลดลงเล็กน้อยเหลือเท่ากับร้อยละ 0.81 และไนโตรเจนลดลงเหลือเท่ากับร้อยละ 1.53 ซึ่งผ่านเกณฑ์มาตรฐานปุ๋ยอินทรีย์ตามประกาศของกรมวิชาการเกษตร และการใช้น้ำแป้งขนมจีนเหลือทิ้งช่วยลดต้นทุนการผลิตและเพิ่มศักยภาพการนำของเสียมาใช้ประโยชน์ ผลการวิจัยมีความเป็นไปได้ในการพัฒนาวัตถุดิบและจุลินทรีย์สำหรับผลิตปุ๋ยหมักที่มีประสิทธิภาพ เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม และช่วยลดต้นทุนทางเศรษฐกิจในอนาคต

ผลประโยชน์ทับซ้อน

ผู้เขียนขอประกาศว่าบทความนี้ไม่มีผลประโยชน์ทับซ้อน

การมีส่วนร่วมในการเขียนบทความของผู้เขียน

ความคิดริเริ่มงานวิจัย สมมุติฐาน การวางแผนการวิจัย การทบทวนวรรณกรรม การออกแบบงานวิจัย การดำเนินงานวิจัย รวบรวมข้อมูลงานวิจัย การควบคุมคุณภาพของข้อมูล การวิเคราะห์เชิงสถิติ การวิเคราะห์ข้อมูลเบื้องต้น และการเรียบเรียงบทความ: ศรีอุบล ทองประดิษฐ์, อุดลย์สมาน สุขแก้ว. ส่วนร่วมการทบทวนวรรณกรรม วิเคราะห์ข้อมูลเชิงลึก การให้การสนับสนุนเครื่องมือและอุปกรณ์สำหรับการวิจัย ห้องปฏิบัติการ: ศรีอุบล ทองประดิษฐ์, อุดลย์สมาน สุขแก้ว, ณรงค์ชัย ชูพล.

เอกสารอ้างอิง

- Aliyat, F. Z., Maldani, M., Guilli, M. E., Nassiri, L., & Ibjibijen, J. (2022). Phosphate-solubilizing bacteria isolated from phosphate solid sludge and their ability to solubilize three inorganic phosphate forms: calcium, iron, and aluminum phosphates. *Microorganisms*, 10(5), 980–992. <https://doi.org/10.3390/microorganisms10050980>.
- Booali, S., Zoufan, P., & Bavani, M. R. Z. (2024). Effect of biofertilizer containing *Thiobacillus* bacteria along with different levels of chemical sulfur fertilizer on growth response and photochemical efficiency of small radish plants (*Raphanus sativus* L. var. *shushtari*) under greenhouse conditions. *Scientia Horticulturae*, 327(1), 112835. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2023.112835>.
- Dahunsi, S. O., & Ogunwole, O. J. (2021). Biofertilizer production systems: Industrial insights. In A. Rakshit, V. S. Meena, M. Parihar, H. B. Singh, & A. K. Singh (Eds.), *Biofertilizers: Advances in Bio-inoculants*, pp. 21–30. Woodhead Publishing. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-821667-5.00001-4>.
- Department of Agriculture. (2010). *Organic fertilizer standard (B.E. 2553)*. Ministry of Agriculture and Cooperatives, Thailand. (in Thai).
- Ding, B., Cao, H., Bai, Y., Guo, S., Zhang, J., He, Z., Wang, B., Jia, Z., & Liu, H. (2024). Effect of biofertilizer addition on soil physicochemical properties, biological properties, and cotton yield under water irrigation with different salinity levels in Xinjiang, China. *Field Crops Research*, 308(1), 109300. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2024.109300>.
- Elias, A. M., Gargalo, C. L., Farinas, C. S., & Gernaey, K. V. (2024). Production of phosphate biofertilizers as a booster for the techno-economic and environmental performance of a first-generation sugarcane ethanol and sugar biorefinery. *Journal of Cleaner Production*, 471(1), 143400. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2024.143400>.
- Ferrari, P. F., Bufalini, C., Campardelli, R., Brondolo, A., Ercole, E., Palombo, D., & Perego, P. (2024). Stabilization of microbial strains in long-lasting double emulsions as a new strategy for liquid biofertilizer formulation. *Food and Bioproducts Processing*, 148(1), 611–618. <https://doi.org/10.1016/j.fbp.2024.10.020>.
- Fernández-Delgado, M., del Amo-Mateos, E., Lucas, S., García-Cubero, M. T., & Coca, M. (2022). Liquid fertilizer production from organic waste by conventional and microwave-assisted extraction technologies: Techno-economic and environmental assessment. *Science of The Total Environment*, 806(4), 150904. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.150904>.
- IBM Corp. (2019). *IBM SPSS Statistics for Windows (Version 26.0)*. Retrieved from: <https://www.ibm.com/products/spss-statistics>
- Liao, Z., Boubakri, H., Chen, B., Farooq, M., Lai, Z., Kou, H., & Fan, J. (2025). Biofertilizers as an eco-friendly approach to combat drought stress in plants. *Biocatalysis and Agricultural Biotechnology*, 64(1), 103510. <https://doi.org/10.1016/j.bcab.2025.103510>.

- Mesa, A. P., Grattz, P. A. C., Vargas, J. J. V., Ríos, L. A., Echeverri, D. O., & Parra, A. M. M. (2025). Feasibility of nitrogen and phosphorus removal from treated wastewater using microalgae and potential microalgae use as biofertilizer. **Journal of Water Process Engineering**, 70(1), 107023. <https://doi.org/10.1016/j.jwpe.2025.107023>.
- Nawaz, T., Saud, S., Gu, L., Khan, I., Fahad, S., & Zhou, R. (2024). Cyanobacteria: Harnessing the power of microorganisms for plant growth promotion, stress alleviation, and phytoremediation in the era of sustainable agriculture. **Plant Stress**, 11(1), 100399. <https://doi.org/10.1016/j.stress.2024.100399>.
- Ogbo, F. C. (2010). Conversion of cassava wastes for biofertilizer production using phosphate-solubilizing fungi. **Bioresource Technology**, 101(11), 4120–4124. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2009.12.057>.
- Sundberg, C., Smårs, S., & Jönsson, H. (2004). Low pH as an inhibiting factor in the transition from mesophilic to thermophilic phase in composting. **Bioresource Technology**, 95(2), 145–150. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2004.01.016>.
- Thongpradistha, S., Muadsri, T., & Sukkaew, A. (2020). The effect of organic fertilizer formula from Sajor-caju mushroom (*Pleurotus sajor-caju*) waste on macronutrients. **Recent Science and Technology**, 12(1), 61–71. (in Thai).
- Tian, Y., Liu, Y., Yue, L., Zhao, X., Zhou, Q., Uwaremwe, C., Wang, Y., Chen, G., Sha, Y., Zhang, Y., & Wang, R. (2024). Multi-omics analysis reveals the effects of three application modes of plant growth promoting microbes biofertilizer on potato (*Solanum tuberosum* L.) growth under alkaline loess conditions. **Microbiological Research**, 287(1), 127855. <https://doi.org/10.1016/j.micres.2024.127855>.

ความหลากหลายทางพันธุกรรมของฟักทองญี่ปุ่นพันธุ์การค้า (*Cucurbita maxima*) ในประเทศไทย โดยใช้เครื่องหมายเอสเอสอาร์

Genetic Diversity of Commercial Japanese Pumpkins (*Cucurbita maxima*) in Thailand using SSR Markers

ศิกษก แป้นห้วย¹, กนกวรรณ จันทร์เพ็ญ², เฉลิมศรี นนทสวัสดิ์ศรี³, ทวีป เสนคำวงศ์¹,
สุเทพ วัชรเวชศฤงคาร¹ และแสงทอง พงษ์เจริญกิต^{2*}

Siksaka Paenhuai¹, Kanokwan Janphen², Chalerm Sri Nontaswatsri³, Thaveep Senkhamwong¹,
Suthep Watcharawetsaringkharn¹ and Saengtong Pongjaroenkit^{2*}

Received date: 10 ก.ย. 68 Revised date: 25 ธ.ค. 68 Accepted date: 23 ม.ค. 69

DOI: <https://doi.org/10.55003/kmaj.2026.268972>

บทคัดย่อ

ความหลากหลายทางพันธุกรรมเป็นปัจจัยสำคัญในการปรับปรุงพันธุ์พืช ปัจจุบันข้อมูลความหลากหลายทางพันธุกรรมของฟักทองญี่ปุ่น (*Cucurbita maxima*) ในประเทศไทยยังมีจำกัด ในการศึกษาครั้งนี้ วัตถุประสงค์ประเมินประสิทธิภาพของเครื่องหมายเอสเอสอาร์ เพื่อนำมาวิเคราะห์ความหลากหลายทางพันธุกรรม โครงสร้างประชากรของฟักทองญี่ปุ่นพันธุ์การค้าจำนวน 25 หมายเลข ร่วมกับการศึกษาลักษณะผล การจัดกลุ่มโดยใช้วิธี Unweighted pair group method with arithmetic mean (UPGMA) ผลการคัดเลือกเครื่องหมายเอสเอสอาร์ มี 34 เครื่องหมาย ให้แถบดีเอ็นเอที่แตกต่างกัน จำนวน 93 แถบ จากแถบดีเอ็นเอทั้งหมด 95 แถบ (97.89%) มีค่า Polymorphic information content (PIC) และ Expected heterozygosity (H_e) เฉลี่ยเท่ากับ 0.26 และ 0.29 ตามลำดับ ซึ่งเครื่องหมาย CMTp17, CMTmC43 และ CMTm11 มีค่า PIC และ H_e สูงกว่า 0.5 จึงเป็นเครื่องหมายที่มีประสิทธิภาพสูงในการจำแนกพันธุ์ โดยฟักทองญี่ปุ่นแสดงค่าดัชนีความเหมือนอยู่ระหว่าง 0.57-1.00 มีค่าเฉลี่ย 0.78 การจัดกลุ่มด้วยลักษณะของผลสามารถจำแนกออกเป็น 3 กลุ่ม ตามลักษณะสีของผิวผล น้ำหนักผล และรูปร่างผล ส่วนการจัดกลุ่มความสัมพันธ์ทางพันธุกรรมด้วยเครื่องหมายเอสเอสอาร์ ได้ 3 กลุ่ม และเป็นกลุ่มย่อยที่มีบรรพบุรุษร่วมกัน 4 เคลด ผลการวิเคราะห์โครงสร้างประชากรจัดได้ 3 ประชากรย่อย แสดงลักษณะเป็นการผสมทางพันธุกรรม ซึ่งการจัดกลุ่มด้วยเครื่องหมายเอสเอสอาร์มีแนวโน้มสัมพันธ์กับลักษณะรูปร่างผล จากข้อมูลเหล่านี้แสดงให้เห็นว่าฟักทองญี่ปุ่นพันธุ์การค้าที่นำมาศึกษามีความหลากหลายทางพันธุกรรมปานกลาง อีกทั้งเครื่องหมายเอสเอสอาร์ และดัชนีความเหมือนทางพันธุกรรมจากการศึกษาครั้งนี้ สามารถใช้ในการจัดจำแนกพันธุ์ และการคัดเลือกพันธุ์พ่อแม่ที่มีความแตกต่างทางพันธุกรรม เพื่อการปรับปรุงพันธุ์ฟักทองญี่ปุ่นต่อไป

คำสำคัญ: ฟักทอง *Cucurbita maxima* เครื่องหมายเอสเอสอาร์ ความหลากหลายทางพันธุกรรม โครงสร้างประชากร

Abstract

Genetic diversity is a fundamental component in plant breeding programs. Currently, studies on the genetic diversity of Japanese pumpkin (*Cucurbita maxima*) in Thailand using SSR (Simple Sequence Repeat) markers remain limited. Accordingly, this study aimed to evaluate the effectiveness of Simple Sequence Repeat (SSR) markers in assessing genetic diversity and population structure alongside fruit morphological characterization of 25 commercial Japanese pumpkin accessions. Cluster analysis was performed using the Unweighted Pair Group Method with Arithmetic Mean (UPGMA). A total of 34 SSR markers generated 93 polymorphic bands out of 95 total bands (97.89%). The average Polymorphic Information Content (PIC) and Expected Heterozygosity (H_e) were 0.26 and 0.29, respectively. Notably, markers CMTp17, CMTmC43, and CMTm11 exhibited PIC and H_e values exceeding 0.5, indicating their high effectiveness in genetic differentiation. Genetic similarity coefficients ranged from 0.57 to 1.00, with an average of 0.78. Fruit trait-based clustering classified the accessions into three groups, primarily differentiated by skin color, fruit weight, and fruit shape.

¹ สาขาพืชผัก คณะผลิตกรรมการเกษตร มหาวิทยาลัยแม่โจ้ เชียงใหม่ 50290

² สาขาวิชาพันธุศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยแม่โจ้ เชียงใหม่ 50290

³ สาขาพืชสวนประดับ คณะผลิตกรรมการเกษตร มหาวิทยาลัยแม่โจ้ เชียงใหม่ 50290

¹ Division of Vegetable Technology, Faculty of Agricultural Production, Maejo University, Chiang Mai 50290

² Division of Genetics, Faculty of Science, Maejo University, Chiang Mai 50290

³ Division of Ornamental Horticulture, Faculty of Agricultural Production, Maejo University, Chiang Mai 50290

* Corresponding author: saengtong@mju.ac.th

Based on SSR marker analysis, the accessions were categorized into three clusters and further resolved into four clades. Population structure analysis identified three genetic clusters, indicating admixture among accessions. Grouping based on SSR markers tended to be associated with fruit shape traits. These findings demonstrate that the commercial Japanese pumpkin accessions studied possess moderate genetic diversity. The informative SSR markers and genetic similarity coefficients identified in this study can be effectively utilized for cultivar classification and for selecting genetically distant parental lines to support the Japanese pumpkin breeding programs.

Keywords: pumpkin, *Cucurbita maxima*, SSR marker, genetic diversity, population structure

คำนำ

ฟักทอง ($2n = 40$) เป็นพืชในวงศ์ Cucurbitaceae ที่มีความสำคัญทางเศรษฐกิจ มีถิ่นกำเนิดอยู่ในทวีปอเมริกากลาง ฟักทอง 3 ชนิด ที่นิยมปลูกอย่างแพร่หลายในเขตร้อน เจริญเติบโตได้ดีในสภาพอากาศอบอุ่น ได้แก่ *Cucurbita pepo*, *C. moschata* และ *C. maxima* (Paris, 2016) ประเทศไทยนิยมปลูกฟักทองญี่ปุ่น (*C. maxima*) ในเขตพื้นที่สูงทางภาคเหนือ เนื่องจากมีลักษณะที่แตกต่างจากฟักทองพื้นเมืองของไทย คือ มีเนื้อแน่นเหนียว รสชาติดี และคุณค่าทางอาหารสูง จึงทำให้มีความต้องการของตลาดเพิ่มขึ้น (Theanjumol et al., 2021) พันธุ์ที่ปลูกในประเทศไทยเป็นพันธุ์การค้าที่ได้จากการปรับปรุงพันธุ์ทำให้มีลักษณะคล้ายคลึงกัน ซึ่งการตรวจสอบพันธุ์ด้วยลักษณะสัณฐานวิทยาเพียงอย่างเดียวอาจไม่สามารถจำแนกได้อย่างชัดเจน จึงมีแนวคิดนำเครื่องหมายดีเอ็นเอมาช่วยตรวจสอบความใกล้ชิดทางพันธุกรรมของฟักทองญี่ปุ่นพันธุ์การค้าในประเทศไทย เนื่องจากมีความแม่นยำ รวดเร็ว มีประสิทธิภาพ และไม่มีอิทธิพลของสิ่งแวดล้อมมาเกี่ยวข้อง

เครื่องหมายเอสเอสอาร์ (Simple Sequence Repeat; SSR) หรือเครื่องหมายไมโครแซทเทลไลต์ เป็นเครื่องหมายแบบข่มร่วม (Co-dominance) สามารถจำแนกสายพันธุ์พืชที่มีความใกล้ชิดทางพันธุกรรม โดยเฉพาะพืชที่มีฐานพันธุกรรมแคบ (Katengam, 2003) มีการนำไปประยุกต์ใช้ศึกษาความหลากหลายทางพันธุกรรม การสร้างแผนที่พันธุกรรม การใช้เป็นเครื่องหมายช่วยในการคัดเลือก และการจำแนกกลุ่มผสม (Amiteye, 2021) เช่น ฝรั่ง (Sara et al., 2024) มันสำปะหลัง (Ngorian et al., 2022) Rapeseed (Chen et al., 2020) ส่วนในพืชกลุ่มฟักทองได้พัฒนาเครื่องหมายเอสเอสอาร์ สำหรับสกุล *Cucurbita* จำนวน 500 เครื่องหมายที่พัฒนาจาก *C. moschata* และ *C. pepo* (Gong et al., 2008)

เครื่องหมายเอสเอสอาร์เหล่านี้ได้ถูกนำไปศึกษาความหลากหลายทางพันธุกรรมของฟักทองจำนวนมาก เช่น การศึกษาความสัมพันธ์ทางพันธุกรรมของต้นตอ *Cucurbita* ของฟักทองพันธุ์การค้า จำนวน 25 พันธุ์ และสายพันธุ์แท้ จำนวน 10 พันธุ์ พบว่าพันธุ์ต้นตอส่วนใหญ่ เป็นลูกผสมระหว่าง *C. maxima* × *C. moschata* ลูกผสมเหล่านี้มีพันธุกรรมที่ใกล้ชิดกัน นอกจากนี้ยังพบว่า *C. moschata* มีความหลากหลายทางพันธุกรรมสูง (Kong et al., 2014) การวิเคราะห์ความหลากหลายทางพันธุกรรมของ *Cucurbita* จำนวน 612 หมายเลข จากธนาคารเชื้อพันธุกรรมของประเทศญี่ปุ่นด้วยเครื่องหมายเอสเอสอาร์ พบว่าเชื้อพันธุกรรม *C. moschata*, *C. maxima* และ *C. pepo* ของประเทศญี่ปุ่นมีความหลากหลายทางพันธุกรรมน้อยกว่าเชื้อพันธุกรรมที่มาจากต่างประเทศ (Chen et al., 2021) การนำเครื่องหมายเอสเอสอาร์ จำนวน 23 เครื่องหมาย ตรวจสอบความหลากหลายทางพันธุกรรมของ *C. maxima* จำนวน 85 หมายเลข สามารถแบ่ง *C. maxima* ออกเป็น 2 กลุ่มหลัก กลุ่มที่ 1 ส่วนใหญ่มีถิ่นกำเนิดในเอเชีย สหรัฐอเมริกา และโปแลนด์ กลุ่มที่ 2 เป็นพันธุ์พื้นเมืองที่มาจากยุโรปกลาง พันธุ์จากสหรัฐอเมริกาและยุโรปตะวันออก (Kaźmińska et al., 2017) การตรวจสอบความหลากหลายทางพันธุกรรมในพันธุ์ฟักทอง *C. pepo* จำนวน 47 จีโนไทป์ ด้วยเครื่องหมายเอสเอสอาร์ จำนวน 16 เครื่องหมาย ได้แถบดีเอ็นเอ 29 แถบ จาก 49 แถบที่มีลักษณะเป็นพอลิมอร์ฟิก สามารถจัดกลุ่มได้ 6 กลุ่ม ซึ่งมีค่าความเหมือนอยู่ระหว่าง 0.68 ถึง 1.00 (Coşkun, 2022) การศึกษาความหลากหลายทางสัณฐานวิทยาและพันธุกรรมฟักทอง *C. maxima* และ *C. pepo* พบว่าลักษณะสัณฐานวิทยาที่เกี่ยวข้องกับลักษณะผลมีความแปรปรวนสูงที่สุด ซึ่งสอดคล้องกับเครื่องหมายเอสเอสอาร์ที่ใช้แสดงแถบพอลิมอร์ฟิก 85.89 เปอร์เซ็นต์ (Liu et al., 2013) การวิเคราะห์ลักษณะทางสัณฐานวิทยาและศึกษาความหลากหลายทางพันธุกรรมโดยใช้เครื่องหมายเอสเอสอาร์ของฟักทอง *C. maxima* ในประเทศตุรกี พบความแปรปรวนอย่างกว้างของลักษณะลำต้น ดอก ผล และใบ และวิเคราะห์โครงสร้างทางพันธุกรรมค่าที่เหมาะสมที่ได้ $K = 3$ (Bulut et al., 2022)

การศึกษความหลากหลายทางพันธุกรรมของฟักทองญี่ปุ่น ในประเทศไทยโดยใช้เครื่องหมายเอสเอสอาร์ ปัจจุบันยังไม่มีมาก งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์ประเมินประสิทธิภาพของเครื่องหมายเอสเอสอาร์ เพื่อนำมาวิเคราะห์ความหลากหลายทางพันธุกรรมโครงสร้างประชากรของฟักทองญี่ปุ่นพันธุ์การค้า ร่วมกับการศึกษาลักษณะผล ซึ่งผลลัพธ์ที่ได้จากการศึกษานี้คาดว่า จะสามารถ

นำไปใช้ในการจำแนกพันธุ์ และสนับสนุนการคัดเลือกพันธุ์พ่อแม่ที่มีความหลากหลายทางพันธุกรรมสูงเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการปรับปรุงพันธุ์ฟักทองญี่ปุ่นต่อไปในอนาคต

วิธีการศึกษา

ตัวอย่างฟักทอง

ฟักทองที่ใช้ทั้งหมด จำนวน 29 หมายเลข (Accessions) อยู่ในกลุ่ม *C. maxima* จำนวน 25 หมายเลข เป็นฟักทองญี่ปุ่น พันธุ์การค้าจำหน่ายในประเทศไทย Squash; SQ ได้แก่ SQ01-SQ25 โดยมี *C. pepo* จำนวน 1 หมายเลข ได้แก่ ฟักทองฮาโลวีน (Halloween pumpkin/Common field pumpkin; HP01) และ *C. moschata* จำนวน 3 หมายเลข Pumpkin; PK และ Butternut; BT ได้แก่ PK01, BT01 และ BT02 เป็นตัวเปรียบเทียบกับ (Outgroup) (Table 1)

การปลูก และการเก็บข้อมูลลักษณะของผล โดยวางแผนการทดลองแบบ Randomized complete block design (RCBD) ในแต่ละบล็อกปลูกทุกหมายเลข จำนวนละ 5 ต้น จำนวน 3 บล็อก ระยะปลูก 50 เซนติเมตร แบบขึ้นค้ำ หลังจากเพาะกล้าจะทำการย้ายปลูกเมื่อต้นกล้ามีใบจริง 1-2 ใบ ในช่วงเดือนมกราคม 2567 ณ จังหวัดเชียงใหม่ ทำการเก็บเกี่ยวผลผลิตหลังดอกบานประมาณ 5-6 สัปดาห์ จากนั้นทำการเก็บข้อมูลลักษณะผล ได้แก่ ลักษณะสีของผิวผล (Fruit skin color) น้ำหนักผล (Fruit weight) ความยาวของผล (Fruit length) และความกว้างของผล (Fruit width) โดยนำน้ำหนักผลมาจัดกลุ่มเป็นขนาดของผล (Size) ใช้เกณฑ์จากข้อมูลขนาดผลของเมล็ดพันธุ์ที่จำหน่าย ดังนี้ น้ำหนักน้อยกว่า 1.00 กิโลกรัม เป็นขนาดเล็ก (S) น้ำหนัก 1.01-2.00 กิโลกรัม เป็นขนาดกลาง (M) น้ำหนัก 2.01-3.00 กิโลกรัม เป็นขนาดใหญ่ (L) และน้ำหนักมากกว่า 3.00 กิโลกรัม เป็นขนาดใหญ่มาก (XL) นำอัตราส่วนความยาวต่อความกว้างของผล (Length : width ratio) มาจัดจำแนกรูปร่างผล โดยหากมีค่าน้อยกว่า 0.65 จัดเป็นรูปร่างผลแบน (Flattened/Oblate) หากมีค่า 0.65-1.00 จัดเป็นรูปร่างผลกลม (Globular) และมากกว่า 1.00 มีรูปร่างผลลูกแพร์ (Pyriform) (Ferriol et al., 2004; Lee et al., 2023)

การจัดกลุ่มด้วยลักษณะผล

นำข้อมูลลักษณะสีของผิวผล น้ำหนักผล ความยาวของผล ความกว้างของผล และอัตราส่วนความยาวต่อความกว้างของผล โดยให้คะแนนลักษณะสีของผิวผล ได้แก่ สีเขียว สีส้ม สีครีมขาว และสีครีมเหลือง เป็น 1, 2, 3 และ 4 ตามลำดับ นำข้อมูลทั้ง 5 ลักษณะปรับเป็นค่ามาตรฐาน (Standardization) แล้วนำไปวิเคราะห์จัดกลุ่ม ด้วยโปรแกรม Past 4.17 ใช้วิธีการจัดกลุ่มแบบ Classical clustering/Unweighted pair group method with arithmetic mean (UPGMA) และ Similarity index แบบ Euclidean (Kurnianingsih et al., 2025)

การสกัดดีเอ็นเอและการเพิ่มปริมาณด้วยเทคนิค Polymerase Chain Reaction (PCR)

นำใบต้นกล้าอายุ 14 วัน จำนวน 1 ต้น มาสกัดดีเอ็นเอ โดยวิธี CTAB ประยุกต์ (Hwang and Kim, 2000) ตรวจสอบคุณภาพและปริมาณดีเอ็นเอด้วยการทำ 1% Agarose gel electrophoresis จากนั้นทำการปรับความเข้มข้นของดีเอ็นเอเป็น 10 นาโนกรัมต่อไมโครลิตร และเพิ่มปริมาณด้วยเทคนิค Polymerase Chain Reaction (PCR) ปฏิบัติการประกอบด้วย ดีเอ็นเอประมาณ 10 นาโนกรัม บัฟเฟอร์สำเร็จรูป 1 เท่า exTEN PCR Master Mix (1st BASE, Singapore) เครื่องหมายความเข้มข้นสุดท้าย 0.5 ไมโครโมลาร์ สภาวะที่ใช้ 95 องศาเซลเซียส 3 นาที ตามด้วย 40 รอบ ของ 95 องศาเซลเซียส 15 วินาที 50-58 องศาเซลเซียส (ขึ้นอยู่กับเครื่องหมาย) 15 วินาที และ 72 องศาเซลเซียส 15 วินาที สุดท้าย 72 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 5 นาที เครื่องหมายที่ใช้ในการทดสอบคือ เครื่องหมายเอสเอสอาร์ จำนวน 40 เครื่องหมาย (Gong et al., 2008) ตรวจสอบผลการเพิ่มจำนวนดีเอ็นเอด้วย 4% Agarose gel electrophoresis

การวิเคราะห์ความสัมพันธ์ทางพันธุกรรม

นำแถบดีเอ็นเอ มาให้คะแนน คือ ปรากฏแถบดีเอ็นเอเท่ากับ 1 และไม่ปรากฏแถบดีเอ็นเอเท่ากับ 0 แล้วนำไปวิเคราะห์ค่า Polymorphic information content (PIC) และค่า Expected heterozygosity (H_e) ด้วยโปรแกรม MolMarker version 1.0 (Jahnke et al., 2022) พร้อมทั้งคำนวณค่าดัชนีความเหมือน (Similarity coefficient) ด้วยวิธี Jaccard ใช้วิธีการจัดกลุ่มแบบ UPGMA ด้วยโปรแกรม FreeTree version 0.9.1.50 (Pavlicek et al., 1999) และแสดงแผนภาพ Dendrogram ด้วยโปรแกรม FigTree version 1.4.4 (Rambaut, 2018)

การวิเคราะห์โครงสร้างประชากร

นำคะแนนการปรากฏ หรือไม่ปรากฏแถบดีเอ็นเอของฟักทองญี่ปุ่น ทั้งหมด 25 หมายเลข วิเคราะห์โครงสร้างประชากร ด้วยโปรแกรม Structure version 2.3.4 (Pritchard et al., 2000) โดยตั้งค่า Parameter set กำหนดจำนวนกลุ่ม (K) อยู่ในช่วง 1-10 ทำซ้ำ 5 ครั้ง ใช้ Burn in Period จำนวน 100,000 ครั้ง และ Markov Chain Monte Carlo (MCMC) จำนวน 100,000

ครั้ง (Kaźmińska et al., 2017) ผลลัพธ์จาก Structure แสดงด้วย Structure Selector (Li and Liu, 2018) แล้ววิเคราะห์ ad hoc statistic ΔK (Evanno et al., 2005) เพื่อเลือกค่าจำนวนกลุ่มประชากรย่อย (K) ที่เหมาะสมที่สุด

โดยกำหนดให้ตัวอย่างที่มีค่าสัมประสิทธิ์ความเป็นสมาชิก (Q-value) มากกว่า 0.77 เป็นตัวอย่างที่มีพันธุกรรมบริสุทธิ์ในกลุ่มประชากรย่อยนั้น (Pure accession) และตัวอย่างที่มีค่า Q น้อยกว่า 0.77 เป็นตัวอย่างพันธุกรรมผสม (Admixed accession) (Kaźmińska et al., 2017)

Table 1 Fruit characters of *C. maxima*, *C. pepo*, and *C. moschata* accessions, including fruit skin color, fruit weight, size, fruit length, fruit width, length: width ratio, and fruit shape

No.	Accessions	Fruit skin color	Fruit weight (kg)	Size	Fruit length (cm)	Fruit width (cm)	Length: width ratio	Fruit shape
1	SQ01	Green	0.58±0.06	S	6.49±0.25	12.23±0.82	0.53±0.05	Flattened
2	SQ02	Green	0.76±0.01	S	7.81±0.48	12.37±0.30	0.63±0.04	Flattened
3	SQ03	Green	0.65±0.03	S	6.42±0.13	12.43±0.30	0.52±0.02	Flattened
4	SQ04	Green	1.57±0.10	M	9.73±0.60	16.91±0.54	0.58±0.02	Flattened
5	SQ05	Orange	1.77±0.57	M	11.54±1.93	16.97±2.15	0.68±0.03	Globular
6	SQ06	Green	1.02±0.20	M	7.49±0.41	14.22±0.76	0.53±0.02	Flattened
7	SQ07	Green	0.78±0.04	S	6.34±0.12	13.29±0.37	0.48±0.02	Flattened
8	SQ08	Green	1.76±0.13	M	11.56±0.49	16.75±0.14	0.69±0.03	Globular
9	SQ09	Green	0.60±0.05	S	6.61±0.27	12.04±0.90	0.55±0.06	Flattened
10	SQ10	Orange	1.48±0.25	M	12.72±1.17	15.29±0.99	0.83±0.04	Globular
11	SQ11	White cream	2.40±0.47	L	12.33±1.43	18.37±1.13	0.67±0.04	Globular
12	SQ12	Green	1.87±0.34	M	13.08±1.06	17.09±1.40	0.77±0.03	Globular
13	SQ13	Orange	2.09±0.28	L	13.76±1.24	16.89±0.85	0.81±0.04	Globular
14	SQ14	Green	1.60±0.22	M	9.81±0.37	17.37±1.19	0.57±0.03	Flattened
15	SQ15	Orange	1.76±0.19	M	11.43±0.43	17.04±1.09	0.67±0.06	Globular
16	SQ16	Green	0.66±0.10	S	7.42±0.23	12.37±0.35	0.60±0.02	Flattened
17	SQ17	Green	1.83±0.30	M	11.58±0.39	17.45±1.23	0.66±0.03	Globular
18	SQ18	Green	2.15±0.13	L	11.33±0.23	19.00±0.50	0.60±0.02	Flattened
19	SQ19	Green	0.74±0.16	S	7.76±0.71	12.66±1.02	0.61±0.04	Flattened
20	SQ20	Orange	1.43±0.33	M	13.03±1.56	14.68±0.89	0.89±0.06	Globular
21	SQ21	Green	1.26±0.13	M	12.09±0.83	14.41±0.76	0.84±0.04	Globular
22	SQ22	Green	1.44±0.32	M	10.67±0.59	15.47±1.62	0.69±0.06	Globular
23	SQ23	Green	1.64±0.45	M	10.68±0.57	16.81±2.42	0.64±0.08	Flattened
24	SQ24	Orange	2.66±0.45	L	16.96±4.48	18.80±1.47	0.91±0.28	Globular
25	SQ25	Orange	2.04±0.35	L	12.83±1.22	17.15±1.05	0.75±0.05	Globular
26	HP01	Orange	5.00±1.64	XL	23.03±3.09	23.03±2.68	1.00±0.12	Globular
27	PK01	Green	2.32±0.29	L	12.14±0.98	18.52±0.60	0.65±0.03	Globular
28	BT01	Green	0.82±0.07	S	13.40±1.12	10.33±0.77	1.30±0.14	Pyriform
29	BT02	Yellow cream	0.69±0.13	S	16.81±0.46	9.43±0.50	1.78±0.08	Pyriform

Abbreviations: SQ=squash, HP=Halloween pumpkin, PK=pumpkin, BT=butternut. Fruit size: S (<1.00 kg), M (1.01-2.00 kg), L (2.01-3.00 kg), XL (>3.00 kg). Fruit shape (length: width ratio): Flattened (<0.65), Globular (0.65-1.00), Pyriform (>1.00).

ผลการศึกษาและวิจารณ์

การจัดกลุ่มด้วยลักษณะผล

ลักษณะสีของผิวผล น้ำหนักผล ความยาวของผล ความกว้างของผล และอัตราส่วนความยาวต่อความกว้างของผล (รูปร่างผล) ของฟักทอง 29 หมายเลข (Table 1) พบว่าลักษณะสีของผิวผล ส่วนใหญ่มีสีของผิวผลสีเขียว จำนวน 19 หมายเลข (65.52%) สีของผิวผลสีส้ม จำนวน 8 หมายเลข (27.58%) สีของผิวผลสีครีมขาว จำนวน 1 หมายเลข (3.45%) และสีของผิวผลสีครีมเหลือง จำนวน 1 หมายเลข (3.45%) น้ำหนักผล อยู่ในช่วง 0.58-5.00 กิโลกรัม มีค่าเฉลี่ย 1.63 กิโลกรัม จัดเป็นผลขนาดเล็ก (S) จำนวน 9 หมายเลข (31.03%) ผลขนาดกลาง (M) จำนวน 13 หมายเลข (44.83%) ผลขนาดใหญ่ (L) จำนวน 6 หมายเลข (20.69%) และผลขนาดใหญ่มาก (XL) จำนวน 1 หมายเลข (3.45%) ความยาวของผล อยู่ในช่วง 6.34-23.03 เซนติเมตร มีค่าเฉลี่ย 11.58 เซนติเมตร ความกว้างของผล อยู่ในช่วง 9.43-23.03 เซนติเมตร มีค่าเฉลี่ย 15.73 เซนติเมตร และอัตราส่วนความยาวต่อความกว้างของผล อยู่ในช่วง 0.48-1.78 มีค่าเฉลี่ย 0.75 จัดเป็นกลุ่มรูปร่างผลแป้น จำนวน 12 หมายเลข (41.38%) รูปร่างผลกลม จำนวน 15 หมายเลข (51.72%) และรูปร่างผลลูกแพร์ จำนวน 2 หมายเลข (6.90%) (Figure 1)



Figure 1 Fruit characters of the studied accessions. (a) *C. maxima* fruit shape with various skin colors (white cream, green and orange). (b) *C. pepo*. (c) *C. moschata*.

การจัดกลุ่มด้วยลักษณะผล จำนวน 5 ลักษณะ สามารถแยกตัวอย่าง *C. moschata* กลุ่ม Butternut และ *C. pepo* ได้ ในขณะที่ตัวอย่าง PK01 ยังอยู่ในกลุ่มเดียวกับฟักทองญี่ปุ่น อาจเนื่องมาจากกลุ่ม Butternut มีรูปร่างของผลที่แตกต่างจากตัวอย่างอื่น ส่วนฟักทองฮาโลวีน มีผลขนาดใหญ่กว่าฟักทองญี่ปุ่น

ฟักทองญี่ปุ่นจัดเป็น 3 กลุ่มใหญ่ (Figure 2) ได้แก่ กลุ่มที่ 1 จำนวน 2 หมายเลข เป็นกลุ่มผลขนาดใหญ่ กลุ่มที่ 2 จำนวน 15 หมายเลข แบ่งเป็น 2 กลุ่มย่อย กลุ่มที่ 2.1 จำนวน 9 หมายเลข สีของผิวผลสีเขียว ผลขนาดกลาง กลุ่มที่ 2.2 จำนวน 6 หมายเลข สีของผิวผลสีส้ม ผลขนาดกลาง และกลุ่มที่ 3 จำนวน 8 หมายเลข สีของผิวผลสีเขียว ผลขนาดเล็ก และรูปร่างแป้น

การจัดกลุ่มฟักทองญี่ปุ่นด้วยลักษณะผลมีแนวโน้มการจัดกลุ่มตามลักษณะสีของผิวผล น้ำหนักผล และรูปร่างผล ซึ่งบ่งชี้ว่า ความยาวของผล ความกว้างของผล และน้ำหนักผล มีอิทธิพลต่อการจัดกลุ่มฟักทอง เช่นเดียวกับการจัดกลุ่มด้วยลักษณะสัณฐานวิทยาของฟักทอง *C. maxima* ในประเทศสเปน (Ferriol et al., 2004) อีกทั้งการศึกษาสัณฐานวิทยาของฟักทอง *C. maxima* ในประเทศจีน พบลักษณะความยาวของผล ความกว้างของผล และน้ำหนักผล มีความหลากหลายสูง (Zhao et al., 2017) ซึ่งตรงกับการจัดกลุ่มในการศึกษานี้ ซึ่งลักษณะผลดังกล่าวจะสามารถนำไปใช้ในการจัดกลุ่มฟักทองได้ต่อไป

การเพิ่มปริมาณดีเอ็นเอ

จากการเพิ่มปริมาณดีเอ็นเอของฟักทอง จำนวน 29 หมายเลข ด้วยเครื่องหมายเอสเอสอาร์ จำนวน 40 เครื่องหมาย พบ 34 เครื่องหมาย ที่ให้แถบดีเอ็นเอจำนวน 95 แถบ มีขนาดประมาณ 60-210 คู่เบส เป็นแถบดีเอ็นเอพอลิมอร์ฟิก ที่แสดงความแตกต่างระหว่างหมายเลข (Polymorphic DNA band) จำนวน 93 แถบ (97.89%) และเป็นแถบดีเอ็นเอที่ไม่แสดงความแตกต่าง (Monomorphic DNA band) จำนวน 2 แถบ (2.11%) จำนวนแถบดีเอ็นเอเฉลี่ยต่อเครื่องหมาย 2.79 แถบ โดยเครื่องหมายที่ให้แถบดีเอ็นเอที่แตกต่างทั้งในกลุ่ม *C. maxima*, *C. pepo* และ *C. moschata* จำนวน 22 เครื่องหมาย ได้แก่ CMTp17, CMTmC43, CMTm11, CMTm239, CMTp114, CMTm247, CMTm48, CMTm192, CMTm7, CMTm229, CMTm155, CMTm113, CMTp201, CMTm222, CMTm29, CMTm232, CMTm134, CMTm230, CMTm35, CMTm190, CMTm252 และ CMTp223

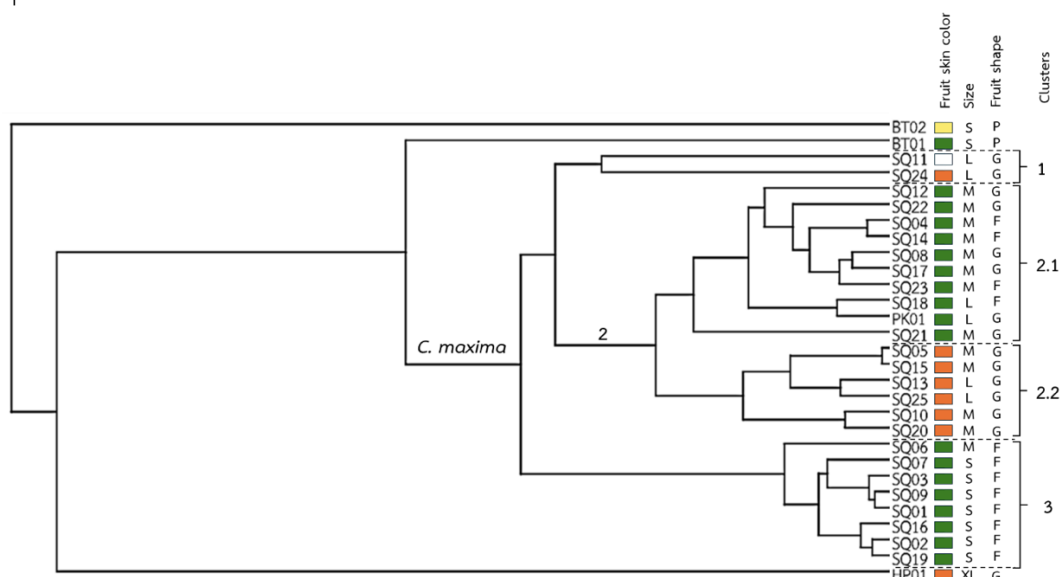


Figure 2 Dendrogram of 29 pumpkin accessions generated by UPGMA clustering using fruit characters. Abbreviations: P=Pyriiform, G=Globular, F=Flattened.

ส่วนเครื่องหมายที่ให้แถบดีเอ็นเอเฉพาะกลุ่ม *C. moschata* จำนวน 10 เครื่องหมาย ได้แก่ CMTm83, CMTmC60, CMTm68, CMTm118, CMTm183, CMTm20, CMTm209, CMTm54, CMTmC62 และ CMTm132 ซึ่งเครื่องหมายเหล่านี้แสดงแถบดีเอ็นเอที่จำเพาะกับ *C. moschata* จึงสามารถนำไปใช้แยกฟักทองกลุ่มนี้ออกจากอีก 2 กลุ่ม เช่นเดียวกับการศึกษา *C. maxima* ที่พบเครื่องหมายเอสเอสอาร์จำเพาะกับสปีชีส์ (Kaźmińska et al., 2017) ส่วนเครื่องหมาย CMTm19 ให้แถบดีเอ็นเอกลุ่ม *C. maxima* ต่างจาก *C. pepo* และ *C. moschata* ซึ่งเครื่องหมาย CMTm207 แสดงแถบดีเอ็นเอเฉพาะ PK01

โดยเครื่องหมายเอสเอสอาร์ 34 เครื่องหมาย มีค่า PIC ในช่วง 0.03-0.62 แสดงให้เห็นว่าเครื่องหมายในการศึกษานี้มีความสามารถจำแนกจีโนไทป์ที่แตกต่างกันในระดับต่ำถึงสูง โดยมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.26 ส่วนค่า H_e ในช่วง 0.03-0.68 แสดงว่าประชากรที่ได้จากแต่ละเครื่องหมายมีความหลากหลายทางพันธุกรรมแตกต่างกันระดับต่ำถึงสูง เฉลี่ยเท่ากับ 0.29 เครื่องหมายที่มีค่า PIC และ H_e สูงสุด คือ เครื่องหมาย CMTp17 มีค่าเท่ากับ 0.62 และ 0.68 ตามลำดับ (Table 2) ส่วนเครื่องหมาย CMTp17, CMTmC43 และ CMTm11 มีค่า PIC สูงกว่า 0.5 ถือว่ามีประสิทธิภาพสูงในการจำแนกพันธุกรรม เช่นเดียวกับการศึกษาเครื่องหมายเอสเอสอาร์ จำนวน 23 เครื่องหมาย ในฟักทอง *C. maxima* จำนวน 85 หมายเลข (Kaźmińska et al., 2017)

ส่วนค่าเฉลี่ยของ PIC เท่ากับ 0.26 ที่ได้จากการศึกษานี้ มีค่าใกล้เคียงกับการศึกษาของฟักทอง *C. maxima* ด้วยเครื่องหมายเอสเอสอาร์ จำนวน 30 เครื่องหมาย (PIC=0.22; Chen et al., 2021) แต่มีค่าต่ำกว่าการศึกษา *C. maxima* จำนวน 85 หมายเลข ที่ใช้จำนวนตัวอย่างมากกว่า (PIC=0.51; Kaźmińska et al., 2017) และการศึกษาฟักทอง *Cucurbita* spp จำนวน 60 ตัวอย่าง จากภาคตะวันตกของประเทศเคนยา ด้วยเครื่องหมายเอสเอสอาร์ จำนวน 5 เครื่องหมาย (PIC=0.53; Nyabera et al., 2021) อาจเนื่องมาจากการศึกษานี้ใช้ฟักทองพันธุ์การค้าในประเทศไทย ในขณะที่การศึกษาลำดับนั้นใช้จำนวนตัวอย่างมากกว่า และยังเป็นพันธุ์พื้นเมืองร่วมกับสายพันธุ์ที่ได้จากการปรับปรุงพันธุ์

Table 2 Polymorphic DNA bands, PIC and H_e of 34 SSR markers in 29 *C. maxima*, *C. pepo*, and *C. moschata* accessions

No.	SSR Markers	Total DNA bands	Polymorphic bands	Size (bp)	PIC	H_e
1	CMTp17	4	4	60-180	0.62	0.68
2	CMTmC43	4	4	140-170	0.56	0.63
3	CMTm11	4	4	90-150	0.54	0.61
4	CMTm239	3	3	180-200	0.47	0.52
5	CMTp114	3	3	100-120	0.42	0.47
6	CMTm247	3	3	110-150	0.40	0.46
7	CMTm48	3	3	100-130	0.39	0.43
8	CMTm192	4	4	90-120	0.39	0.42
9	CMTm7	3	3	130-180	0.37	0.41
10	CMTm229	3	3	130-170	0.35	0.39
11	CMTm155	4	4	130-160	0.35	0.38
12	CMTm113	3	3	140-160	0.32	0.35
13	CMTp201	3	3	80-120	0.28	0.30
14	CMTm222	3	3	140-180	0.23	0.24
15	CMTm19	2	2	100-120	0.21	0.24
16	CMTm29	2	2	90-100	0.21	0.24
17	CMTm232	4	4	170-210	0.21	0.22
18	CMTm134	4	4	150-180	0.21	0.22
19	CMTm230	3	3	170-190	0.20	0.22
20	CMTm35	2	2	140-150	0.19	0.21
21	CMTm83	3	3	90-120	0.18	0.19
22	CMTmC60	3	3	150-190	0.18	0.19
23	CMTm68	3	3	90-120	0.18	0.19
24	CMTm118	2	2	120-140	0.17	0.19
25	CMTm183	2	2	110-120	0.17	0.19
26	CMTm190	2	2	80-90	0.17	0.19
27	CMTm20	2	2	100-140	0.17	0.19
28	CMTm209	2	2	150-160	0.17	0.19
29	CMTm252	2	2	90-100	0.17	0.19
30	CMTm54	2	2	140-150	0.17	0.19
31	CMTmC62	2	2	140-160	0.17	0.19
32	CMTm132	2	2	100-110	0.12	0.13
33	CMTm207	2	1	100-120	0.03	0.03
34	CMTp223	2	1	170-180	0.03	0.03
Total		95	93	Mean	0.26	0.29

การวิเคราะห์ความสัมพันธ์ทางพันธุกรรม

การวิเคราะห์ความสัมพันธ์ทางพันธุกรรมของผักทอง จำนวน 29 หมายเลข จากเครื่องหมายเอสเอสอาร์ จำนวน 34 เครื่องหมาย นำแถบดีเอ็นเอทั้งหมด มาคำนวณค่าดัชนีความเหมือน โดยกลุ่ม *C. moschata* มีค่าดัชนีความเหมือน เทียบกับกลุ่ม *C. maxima* อยู่ระหว่าง 0.08-0.15 ส่วน *C. pepo* มีค่าดัชนีความเหมือน เทียบกับกลุ่ม *C. maxima* อยู่ระหว่าง 0.47-0.57

ตัวอย่างที่มีค่าดัชนีความเหมือนสูงสุด คือ หมายเลข SQ01 กับ SQ03 มีค่าเท่ากับ 1.00 ซึ่งเป็นเมตริกซ์พันธจากบริษัทเดียวกัน ข้อมูลดังกล่าวชี้ให้เห็นว่า ทั้ง 2 หมายเลข มีความใกล้ชิดทางพันธกรรมสูงมาก หากต้องการแยกออกจากกันอาจต้องเพิ่มเครื่องหมายในการทดสอบ อีกทั้ง 2 หมายเลขนี้ยังมีลักษณะสีของผิวผล รูปร่างผลเหมือนกัน และน้ำหนักผลใกล้เคียงกัน ซึ่งลักษณะผลจัดอยู่ในกลุ่มเดียวกัน ร่วมกับ SQ09 แต่ผลการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ทางพันธกรรม SQ09 มีค่าดัชนีความเหมือนกับ SQ01 และ SQ03 เพียง 0.77 ส่วนหมายเลข SQ13 มีค่าดัชนีความเหมือนเปรียบเทียบกับ SQ11 ต่ำสุด เท่ากับ 0.57 (Figure 3) แสดงว่ามีความแตกต่างทางพันธกรรมมากที่สุด โดย SQ13 สีของผิวผลสีเขียว ในขณะที่ SQ11 สีของผิวผลสีครีมขาว

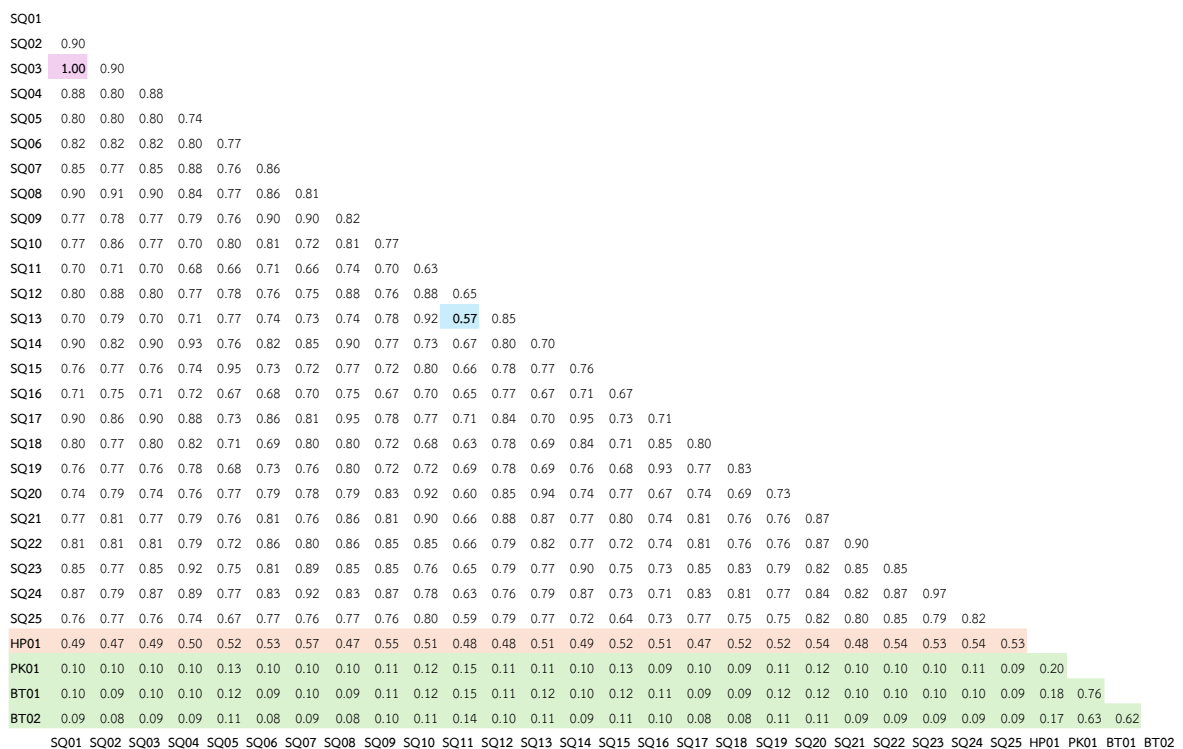


Figure 3 Genetic similarity coefficient of 29 pumpkin accessions using 34 SSR markers.

นอกจากนี้ยังพบตัวอย่าง SQ11 แยกออกจากกลุ่ม (Outlier) ที่สีของผิวผลสีครีมขาว แตกต่างจากตัวอย่างทั้งหมด ผลการจัดกลุ่มตามข้อมูลความสัมพันธ์ทางพันธุกรรมมีประโยชน์อย่างยิ่งต่อการคัดเลือกพันธุ์พ่อแม่สำหรับการปรับปรุงพันธุ์ โดยเฉพาะอย่างยิ่งเมื่อพันธุ์ที่เลือกมาจากกลุ่มที่แตกต่างกัน ซึ่งจะช่วยเพิ่มโอกาสในการสร้างลูกผสมที่มีความแปรปรวนทางพันธุกรรมสูง และมีศักยภาพในการคัดเลือกลักษณะเด่นได้มากขึ้น

ความหลากหลายทางพันธุกรรมฟักทองญี่ปุ่น ด้วยเครื่องหมายเอสเอสอาร์ มีดัชนีความเหมือน 0.57-1.00 มีความหลากหลายทางพันธุกรรมใกล้เคียงกับการศึกษาความหลากหลายทางพันธุกรรมของ *C. maxima* จำนวน 44 หมายเลข ด้วยเครื่องหมาย RAPD ที่มีค่าดัชนีความเหมือน อยู่ในช่วง 0.40-0.98 (Zhao et al., 2017) และดัชนีความเหมือนมีค่าเฉลี่ย (0.78) สูงกว่าการศึกษาในฟักทอง *C. maxima* โดยใช้เครื่องหมายเอสเอสอาร์ ที่มีค่าเป็น 0.44 (Kaźmińska et al., 2016) ส่วนการจัดกลุ่ม

ความสัมพันธ์ทางพันธุกรรมระหว่างพืชทอง *C. maxima* สามารถแยกออกจาก *C. pepo* และ *C. moschata* สอดคล้องในการจัดกลุ่ม *C. maxima* ที่มีความสัมพันธ์ทางพันธุกรรมใกล้ชิดกับกลุ่ม *C. ficifolia* มากกว่า *C. pepo* และ *C. moschata* (Ferriol et al., 2003)

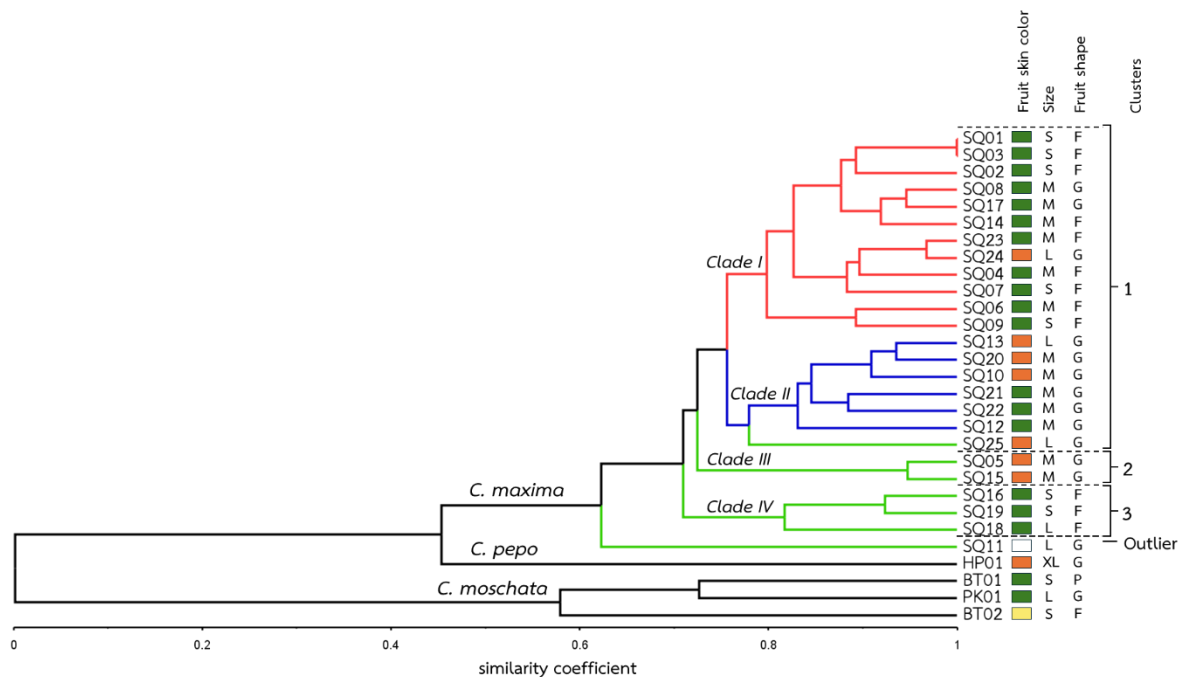


Figure 4 Dendrogram of 29 pumpkin accessions generated by UPGMA clustering using 34 SSR markers.

การวิเคราะห์โครงสร้างประชากร

การจัดกลุ่มโครงสร้างประชากรของฟักทองญี่ปุ่น พบค่า ΔK สูงสุด คือ $K=3$ (56.81) (Figure 5a) ตัวอย่างที่นำมาศึกษาสามารถแบ่งออกเป็นกลุ่มพันธุกรรมหลักได้ 3 ประชากรย่อย (G1-G3) เช่นเดียวกับการศึกษาฟักทอง *C. maxima* ในประเทศตุรกี (Bulut et al., 2022) จากการศึกษา *C. moschata* ของประเทศเปรู จำนวน 100 หมายเลข ร่วมกับ *C. pepo* และ *C. maxima* จำนวน 10 หมายเลข พบจำนวนประชากร $K=5$ สามารถแยก *C. pepo* และ *C. maxima* ได้อย่างละ 1 กลุ่ม ในส่วน *C. moschata* สามารถจัดได้เป็น จำนวน 3 กลุ่ม ตามภูมิภาคของตัวอย่าง (Arbizu et al., 2022)

จากแผนภาพ Structure bar plot พืชทองญี่ปุ่นทุกตัวอย่างมีการผสมทางพันธุกรรมระหว่าง 3 ประชากรย่อย ในอัตราส่วนมากน้อยแตกต่างกันไป (Figure 5b) โดยเป็นประชากรย่อย G1 (สีแดง) ประชากรย่อย G2 (สีเขียว) และประชากรย่อย G3 (สีน้ำเงิน) ซึ่ง G1 ประกอบด้วย 12 หมายเลข ที่ส่วนใหญ่สีของผิวผลสีเขียว และรูปร่างผลแบน G2 ประกอบด้วย 7 หมายเลขที่มีความแตกต่างของลักษณะผล และ G3 ประกอบด้วย 6 หมายเลข ที่มีรูปร่างผลกลม ส่วนใหญ่ผลขนาดกลาง ผลการจัดกลุ่มโครงสร้างประชากรมีแนวโน้มสัมพันธ์กับรูปร่างผลมากที่สุด

นอกจากนี้ยังพบตัวอย่าง จำนวน 9 หมายเลข ได้แก่ SQ02, SQ05, SQ06, SQ08, SQ09, SQ12, SQ018, SQ22 และ SQ25 เป็นตัวอย่างพันธุ์กรรมผสม เนื่องจากมีค่า Q น้อยกว่า 0.77 ซึ่งแสดงถึงการได้รับการถ่ายทอดทางพันธุกรรมมาจากหลายกลุ่มประชากร อาจเนื่องมาจากตัวอย่างที่ใช้ในการศึกษาได้มาจากการปรับปรุงพันธุ์ เช่นเดียวกับการศึกษาของ *C. maxima* พันธุ์พื้นเมือง ที่พบว่าบางส่วนเป็นพันธุ์ผสมทางพันธุกรรมเช่นเดียวกัน (Reddy et al., 2022) ซึ่งความสัมพันธ์ทางพันธุกรรมที่ปรากฏใน Dendrogram สอดคล้องการจัดกลุ่มโครงสร้างประชากร โดยเคลด I จัดอยู่ในประชากรย่อย G1 เคลด II จัดอยู่ในประชากรย่อย G3 ยกเว้น SQ25 และเคลด III, เคลด IV และ Outlier จัดอยู่ในประชากรย่อย G2 โดยที่ SQ25 แสดงการการจัดกลุ่ม Dendrogram ไม่สอดคล้องกับการจัดกลุ่มโครงสร้างประชากร เนื่องจากเป็นตัวอย่างพันธุ์กรรมผสม มีค่า Q ในประชากรย่อย G2 เป็น 0.46 และ มีค่า Q ในประชากรย่อย G3 เป็น 0.42 จึงจัดเป็นประชากรย่อยในกลุ่ม G2 อีกทั้งการวิเคราะห์โครงสร้างประชากรแสดงผลในภาพรวม ในขณะที่ Dendrogram วิเคราะห์ระยะห่างทางพันธุกรรม (Pairwise distance) จึงทำให้มีผลการจัดกลุ่มที่แตกต่างกัน อีกทั้งการศึกษา *C. maxima* จำนวน 85 หมายเลข พบว่าตัวอย่าง Outliers จาก Dendrogram จัดอยู่ประชากรย่อย (K1) เช่นเดียวกับการศึกษานี้ (Kaźmińska et al., 2017)

ตัวอย่าง SQ01, SQ03 และ SQ09 จัดในกลุ่มเดียวกันทั้ง Dendrogram และโครงสร้างประชากร โดยที่ SQ01 กับ SQ03 มีค่า Q ในประชากรย่อย G1 เป็น 0.92 ในขณะที่ SQ09 มีค่า Q ในประชากรย่อย G1 เป็น 0.50 แสดงว่า SQ01 และ SQ03 เป็นตัวอย่างที่มีพันธุกรรมบริสุทธิ์ ในขณะที่ SQ09 เป็นตัวอย่างพันธุกรรมผสม

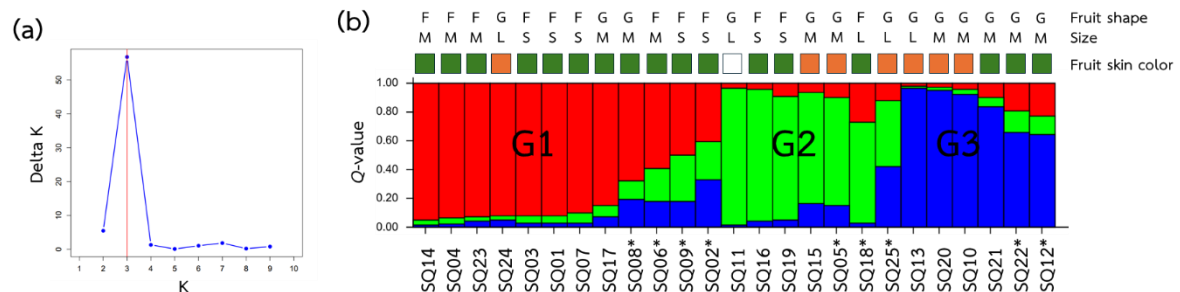


Figure 5 Population structure analysis. (a) Delta K (ΔK) values indicate the most appropriate number of population clusters, with K=3 representing the optimal value. (b) Structure bar plot of 25 *C. maxima* cultivars from Structure analysis.

*=Admixed accession

สรุปผลการศึกษา

การคัดเลือกเครื่องหมายเอสเอสอาร์ ที่พัฒนาจาก *C. moschata* และ *C. pepo* พบเครื่องหมายที่แสดงความแตกต่างระหว่างตัวอย่างที่ใช้ในการศึกษา จำนวน 34 เครื่องหมาย โดยเครื่องหมาย CMTp17, CMTmC43 และ CMTm11 เป็นเครื่องหมายที่มีประสิทธิภาพสูงในการจำแนกพันธุกรรม เมื่อนำเครื่องหมายแสดงความแตกต่างมาศึกษาความหลากหลายทางพันธุกรรมของฟักทองญี่ปุ่น ทั้ง 25 หมายเลข มีค่าดัชนีความเหมือนระหว่าง 0.57-1.00 มีค่าเฉลี่ย 0.78 แสดงให้เห็นว่าตัวอย่างที่ใช้ในการศึกษานี้มีฐานพันธุกรรมกว้าง โดยตัวอย่าง SQ11 ที่มีสีของผิวผลเป็นสีขาวมีความแตกต่างทางพันธุกรรมจากตัวอย่างอื่นมากที่สุด ส่วนการจัดกลุ่มด้วยลักษณะผล สามารถจัดกลุ่มตามลักษณะสีของผิวผล น้ำหนักผล และรูปร่างผล การจัดกลุ่มความสัมพันธ์ทางพันธุกรรม ได้ 3 กลุ่ม และเป็นกลุ่มย่อยที่มีบรรพบุรุษร่วมกัน 4 เคลด และการวิเคราะห์โครงสร้างประชากรสามารถจัดได้ 3 ประชากรย่อย แสดงลักษณะเป็นการผสมทางพันธุกรรม ซึ่งการจัดกลุ่มด้วยเครื่องหมายเอสเอสอาร์มีแนวโน้มสัมพันธ์กับลักษณะรูปร่าง ผลการศึกษานี้แสดงให้เห็นว่าฟักทองญี่ปุ่นพันธุ์การค้าในประเทศไทยมีความหลากหลายทางพันธุกรรมปานกลาง และมีลักษณะเป็นการผสมทางพันธุกรรม ซึ่งข้อมูลเครื่องหมายเอสเอสอาร์ และความหลากหลายทางพันธุกรรมเหล่านี้ จะช่วยการจำแนกพันธุ์และสนับสนุนการคัดเลือกพันธุ์พ่อแม่ที่มีความหลากหลายทางพันธุกรรมสูง เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการปรับปรุงพันธุ์ฟักทองญี่ปุ่นในอนาคต

ผลประโยชน์ทับซ้อน

ผู้เขียนขอประกาศว่าบทความนี้ไม่มีผลประโยชน์ทับซ้อน

การมีส่วนร่วมในการเขียนบทความของผู้เขียน

ความคิดริเริ่ม และสมมุติฐาน: ศึกษก แป้นห้วย, สุเทพ วัชรเวชศฤงคาร, แสงทอง พงษ์เจริญกิต. การปฏิบัติการวิจัย การมีส่วนร่วมในการออกแบบ การทดลอง การทดสอบ เครื่องมือวัด วิธีการเก็บข้อมูล และ criteria: ศึกษก แป้นห้วย, กนกวรรณ จันทร์เพ็ญ, สุเทพ วัชรเวชศฤงคาร, แสงทอง พงษ์เจริญกิต. การจัดเก็บข้อมูล การวิเคราะห์ข้อมูล การแปลผล: ศึกษก แป้นห้วย, กนกวรรณ จันทร์เพ็ญ, สุเทพ วัชรเวชศฤงคาร, แสงทอง พงษ์เจริญกิต. การวิพากษ์วิจารณ์ผล การแสดง การเปรียบเทียบกับข้อสรุป หรือองค์ความรู้ หรือทฤษฎีเดิม: ศึกษก แป้นห้วย, เฉลิมศรี นนทสวัสดิ์ศรี, ทวีป เสนอคำวงศ์, สุเทพ วัชรเวชศฤงคาร, แสงทอง พงษ์เจริญกิต. การมีส่วนร่วมในการเขียนต้นฉบับบทความ: ศึกษก แป้นห้วย, สุเทพ วัชรเวชศฤงคาร, แสงทอง พงษ์เจริญกิต.

เอกสารอ้างอิง

- Amiteye, S. (2021). Basic concepts and methodologies of DNA marker systems in plant molecular breeding. *Heliyon*, 7(10), e08093. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2021.e08093>.
- Arbizu, C. I., Blas, R. H., & Ugás, R. (2022). Genetic Diversity and population structure assessed by SSR in a Peruvian germplasm collection of loche squash (*Cucurbita moschata*, Cucurbitaceae). *Biology and Life Sciences Forum*, 15(1), 6. <https://doi.org/10.3390/IECD2022-12420>.
- Bulut, H., Öztürk, H., Donderalp, V., Korkut, R., & Dursun, A. (2022). Investigation of genetic diversity of squash (*Cucurbita maxima* Duchesne) genotypes collected from Erzincan in Turkey. *Taiwania*, 67(4), 469-478. <https://doi.org/10.6165/tai.2022.67.469>.
- Chen, R., Shimono, A., Aono, M., Nakajima, N., Ohsawa, R., & Yoshioka, Y. (2020). Genetic diversity and population structure of feral rapeseed (*Brassica napus* L.) in Japan. *PLoS ONE*, 15(1), e0227990. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0227990>.
- Chen, R., Takamura, K., Sugiyama, K., Kami, D., Shimomura, K., & Yoshioka, Y. (2021). Genetic diversity assessment of *Cucurbita* genetic resources in Japan by nuclear and organelle dna markers. *The Horticulture Journal*, 90(4), 382-392. <https://doi.org/10.2503/hortj.UTD-292>.
- Coşkun, Ö. (2022). Determination of genetic diversity in some pumpkin genotypes using SSR marker technique. *Erzincan University Journal of Science and Technology*, 15(3), 942-952. <https://doi.org/10.18185/erzifbed.1113553>.
- Evanno, G., Regnaut, S., & Goudet, J. (2005). Detecting the number of clusters of individuals using the software STRUCTURE: a simulation study. *Molecular Ecology*, 14(8), 2611-2620. <https://doi.org/10.1111/j.1365-294X.2005.02553.x>.
- Ferriol, M., Picó, M. B., & Nuez, F. (2003). Genetic diversity of some accessions of *Cucurbita maxima* from Spain using RAPD and SBAP markers. *Genetic Resources and Crop Evolution*, 50(3), 227-238.
- Ferriol, M., Picó, B., & Nuez, F. (2004). Morphological and molecular diversity of a collection of *Cucurbita maxima* landraces. *Journal of the American Society for Horticultural Science*, 129(1), 60-69.
- Gong, L., Stift, G., Kofler, R., Pachner, M., & Lelley, T. (2008). Microsatellites for the genus *Cucurbita* and an SSR-based genetic linkage map of *Cucurbita pepo* L. *Theoretical and Applied Genetics*, 117(1), 37-48. <https://doi.org/10.1007/s00122-008-0750-2>.
- Hwang, S. K., & Kim, Y. M. (2000). A simple and reliable method for preparation of cross-contamination-free plant genomic DNA for PCR-based detection of transgenes. *Journal of Biochemistry and Molecular Biology*, 33(6), 537-540.
- Jahnke, G., Smidla, J., & Pocza, P. (2022). MolMarker: A simple tool for DNA fingerprinting studies and polymorphic information content calculation. *Diversity*, 14(6), 497. <https://doi.org/10.3390/d14060497>.
- Katengam, S. (2003). DNA markers in plant breeding. *Journal of Ubon Ratchathani University*, 5(2), 37-59. (in Thai).
- Kaźmińska, K., Sobieszek, K., Targońska-Karasek, M., Korzeniewska, A., Niemirowicz-Szczytt, K., & Bartoszewski, G. (2016). Genetic diversity analysis of winter squash (*Cucurbita maxima* Duchesne) accessions using SSR markers. In *Proceedings of Cucurbitaceae 2016: the XIth Eucarpia Meeting on Cucurbit Genetics & Breeding, July 24–28, 2016*, pp. 210-213. Sigma.
- Kaźmińska, K., Sobieszek, K., Targońska-Karasek, M., Korzeniewska, A., Niemirowicz-Szczytt, K., & Bartoszewski, G. (2017). Genetic diversity assessment of a winter squash and pumpkin (*Cucurbita maxima* Duchesne) germplasm collection based on genomic *Cucurbita*-conserved SSR markers. *Scientia Horticulturae*, 219(1), 37-44. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2017.02.035>.
- Kong, Q., Chen, J., Liu, Y., Ma, Y., Liu, P., Wu, S., Huang, Y., & Bie, Z. (2014). Genetic diversity of *Cucurbita* rootstock germplasm as assessed using simple sequence repeat markers. *Scientia Horticulturae*, 175(1), 150-155. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2014.06.009>.
- Kurnianingsih, R., Mastuti, R., Nikmatullah, A., & Arumingtyas, E. (2025). Morphological characterization of the banana indigenous cultivar 'Haji'(Musa x paradisiaca) for germplasm development in Indonesia. *SABRAO Journal of Breeding and Genetics*, 57(2), 668-682. <http://doi.org/10.54910/sabrao2025.57.2.24>.
- Lee, C. Y., Wang, J. F., Chang, C. H., & Tung, C. W. (2023). Analyzing genomic variation in cultivated pumpkins and identification of candidate genes controlling seed traits. *Plant Genome*, 16(4), e20393. <https://doi.org/10.1002/tpg2.20393>.
- Li, Y. L., & Liu, J. X. (2018). StructureSelector: A web-based software to select and visualize the optimal number of clusters using multiple methods. *Molecular Ecology Resources*, 18(1), 176-177. <https://doi.org/10.1111/1755-0998.12719>.
- Liu, C., Ge, Y., Wang, D. J., Li, X., Yang, X. X., Cui, C. S., & Qu, S. P. (2013). Morphological and molecular diversity in a germplasm collection of seed pumpkin. *Scientia Horticulturae*, 154(1), 8-16. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2013.02.015>.
- Ngorian, S., Kansup, J., Chanroj, V., Amawan, S., & Wongtiem, P. (2022). Genetic diversity and DNA fingerprint of cassava (*Manihot esculenta* Crantz.) using SSR markers. *Thai Agricultural Research Journal*, 40(3), 251-264. (in Thai). <https://doi.org/10.14456/thaidoa-agres.2022.21>.

- Nyabera, L. A., Nzuki, I. W., Runo, S. M., & Amwayi, P. W. (2021). Assessment of genetic diversity of pumpkins (*Cucurbita* spp.) from western Kenya using SSR molecular markers. **Molecular Biology Reports**, 48(3), 2253-2260.
- Paris, H. S. (2016). **Genetic Resources of Pumpkins and Squash, *Cucurbita* spp.** Springer.
- Pavlicek, A., Hrdá, S., & Flegr, J. (1999). Free-Tree--freeware program for construction of phylogenetic trees on the basis of distance data and bootstrap/jackknife analysis of the tree robustness. Application in the RAPD analysis of genus *Frenkelia*. **Folia Biologica**, 45(3), 97-99.
- Pritchard, J. K., Stephens, M., & Donnelly, P. (2000). Inference of population structure using multilocus genotype data. **Genetics**, 155(2), 945-959. <https://doi.org/10.1093/genetics/155.2.945>.
- Rambaut, A. (2018). **FigTree--Tree Figure Drawing Tool Version v.1.4.4**. Institute of Evolutionary Biology, University of Edinburgh, Edinburgh. Retrieved from: <https://tree.bio.ed.ac.uk/software/figtree/>
- Reddy, U. K., Natarajan, P., Abburi, V. L., Tomason, Y., Levi, A., & Nimmakayala, P. (2022). What makes a giant fruit? Assembling a genomic toolkit underlying various fruit traits of the mammoth group of *Cucurbita maxima*. **Frontiers in Genetics**, 13(1), 1005158. <https://doi.org/10.3389/fgene.2022.1005158>.
- Sara, J., Janphen, K., Samat, J., Jaroenkit, T., Lithanatudom, S., Lanumteang, K., & Pongjaroenkit, S. (2024). Assessment of genetic diversity of guava (*Psidium guajava* L.) using SSR marker for application in guava breeding program. **Khon Kaen Agriculture Journal**, 52(1), 52-74. (in Thai).
- Theanjumpol, P., Chitworakool, S., & Muenmanee, N. (2021). Quality changes of Japanese pumpkin during harvesting. **Postharvest Newsletter**, 20(3), 1-6. (in Thai).
- Zhao, D., Wen, L., Bi, H., Zhu, Z., Liu, J., Zhang, J., Shi, Q., You, H., Dong, D., & Liu, Q. (2017). Genetic diversity of *Cucurbita maxima* assessed using morphological characteristics and random-amplified polymorphic DNA markers in China. **Acta Agriculturae Scandinavica, Section B - Soil & Plant Science**, 67(2), 155-163. <https://doi.org/10.1080/09064710.2016.1236981>.

การคัดเลือกพันธุ์ข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ลูกผสมที่เหมาะสมต่อการปลูกโดยใช้ Restricted Smith Index ในการเปรียบเทียบเบื้องต้น

Selection of Maize Hybrids Adapted to High Plant Density Using the Restricted Smith Selection Index in Preliminary Trials

ชัยวัฒน์ นันทโชติ^{1*}, สุริพัฒน์ ไทยเทศ², ทศนีย์ บุตรทอง¹, กชกร โรจน์คำลือ¹, อมรรัตน์ ภูโต¹, บุศริน อิมอินทร์¹,
หัตทยา วัฒนพฤกษ์¹, นันทิพย์ จินจันทร¹ และกัลยรัตน์ แดงระยา¹

Chaiyawat Nantachot^{1*}, Suriphat Thaitad², Thadsanee Budthong¹, Kotchakon Rojkhamlue¹,
Amonrat Photo¹, Budsarin Imin¹, Hattaya Wattanapark¹, Namthip Jeenjun¹ and Kanrayarat Taengraya¹

Received date: 4 ก.ย. 68 Revised date: 23 ม.ค. 69 Accepted date: 27 ม.ค. 69

DOI: <https://doi.org/10.55003/kmaj.2026.268839>

บทคัดย่อ

ข้าวโพดเลี้ยงสัตว์เป็นพืชเศรษฐกิจที่มีความสำคัญในประเทศไทย แต่ปริมาณผลผลิตยังไม่เพียงพอต่อความต้องการใช้ภายในประเทศ การเพิ่มความหนาแน่นของต้นต่อหน่วยพื้นที่อาจทำให้ข้าวโพดเลี้ยงสัตว์บางพันธุ์ให้ผลผลิตสูงขึ้น งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อคัดเลือกพันธุ์ข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ลูกผสมที่เหมาะสมกับสภาพปลูกโดยใช้ดัชนีการคัดเลือกแบบกำหนดค่าน้ำหนักเฉพาะ (Restricted Smith Index) โดยลักษณะทางการเกษตรที่ใช้ในการคัดเลือก 12 ลักษณะ ได้แก่ ผลผลิต ช่วงห่างระหว่างวันสลัดละอองเกสรและวันออกไหม สัดส่วนความสูงฝักต่อความสูงต้น เปอร์เซ็นต์ต้นล้ม เปอร์เซ็นต์ต้นหัก เปอร์เซ็นต์ฝักเสีย จำนวนฝักต่อต้น เปอร์เซ็นต์การกระเทาะ ความชื้นเมล็ดขณะเก็บเกี่ยว คะแนนลักษณะต้น คะแนนลักษณะฝัก และการติดเมล็ดที่ปลายฝัก โดยใช้ข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ลูกผสมจำนวน 115 คู่ผสม และพันธุ์การค้า 5 พันธุ์ ดำเนินการภายใต้สภาพปลูก (70x15 ซม., 15,238 ต้น/ไร่) ณ ศูนย์วิจัยพืชไร่นครสวรรค์ ในฤดูแล้ง ปี พ.ศ. 2568 โดยใช้แผนการทดลองแบบ 12 x 10 alpha lattice จำนวน 2 ซ้ำ ผลการวิเคราะห์พบว่า ดัชนีการคัดเลือกแบบกำหนดค่าน้ำหนักเฉพาะสามารถคัดเลือกข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ลูกผสมที่มีลักษณะดีเด่นในสภาพปลูกได้จำนวน 22 คู่ผสม และพันธุ์การค้า 2 พันธุ์ ข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ลูกผสมที่มีค่า RSI สูงสุด 3 อันดับแรก ได้แก่ NSX242048 Pac789 และ NSX242034 ให้ผลผลิตเฉลี่ย 1,603-1,633 กิโลกรัมต่อไร่ มีช่วงห่างระหว่างวันสลัดละอองเกสรและวันออกไหมใกล้เคียง (0) และมีจำนวนฝักต่อต้นประมาณ 1 ฝักต่อต้น แสดงถึงประสิทธิภาพในการผสมเกสรและการติดฝักที่ดีภายใต้สภาพปลูก ข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ลูกผสมที่ผ่านการคัดเลือกให้ผลผลิตเฉลี่ยสูงกว่าค่าเฉลี่ยของการทดลอง 141 กิโลกรัมต่อไร่ และมีการตอบสนองทางพันธุกรรม 136 กิโลกรัมต่อไร่ ผลการศึกษานี้แสดงให้เห็นว่า RSI สามารถใช้คัดเลือกลักษณะสำคัญหลายลักษณะพร้อมกันได้อย่างเป็นระบบ ช่วยในการคัดเลือกพันธุ์ข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ลูกผสมที่มีศักยภาพในการให้ผลผลิตสูง มีลักษณะทางการเกษตรดี และสามารถปรับตัวได้ดีภายใต้สภาพปลูกอย่างมีประสิทธิภาพ

คำสำคัญ: ข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ การปลูกถี่ การคัดเลือกพันธุ์ ดัชนีการคัดเลือกแบบกำหนดค่าน้ำหนักเฉพาะ

Abstract

Maize is an important economic crop in Thailand; however, national production remains insufficient to meet domestic demand. Increasing plant density per unit area may enhance grain yield in certain maize hybrids. This study aimed to select hybrid maize varieties suitable for high-density planting using the Restricted Smith Index (RSI). Twelve agronomic traits were used for selection: grain yield, anthesis-silking interval, ear height to plant height ratio, percentage of lodging, percentage of stalk breakage, percentage of ear rot, ears per plant, shelling percentage, grain moisture at harvest, plant aspect, ear aspect, and kernel set at the ear tip. A total of 115 hybrid crosses and 5 commercial hybrids were evaluated under high-density planting (70 x 15 cm, 15,238 plants/rai) at the Nakhon Sawan Field Crops Research Center during the 2025 dry season, using a 12 x 10 alpha-lattice design with two replications. The results showed that RSI successfully identified 22 hybrids and two commercial hybrids with superior performance under high-density planting. The three hybrids with the highest

¹ ศูนย์วิจัยพืชไร่นครสวรรค์ จ.นครสวรรค์ 60190

² สถาบันวิจัยพืชไร่และพืชทดแทนพลังงาน กรมวิชาการเกษตร กรุงเทพมหานคร 10900

¹ Nakhon Sawan Field Crops Research Center, Nakhon Sawan 60190

² Field and Renewable Energy Crops Research Institute, Department of Agriculture, Bangkok 10900

* Corresponding author: chaiyawat_sermod@hotmail.com

RSI values, namely NSX242048, Pac789, and NSX242034, produced average yields of 1,603-1,633 kg/rai, exhibited anthesis-silking intervals close to zero, and produced approximately one ear per plant, indicating efficient pollination and good ear-setting ability under high-density planting. The selected hybrids yielded 141 kg/rai higher than the overall trial mean and showed a genetic gain of 136 kg/rai. These findings demonstrate that RSI is an effective tool for simultaneously selecting multiple important traits, enabling the identification of hybrid maize varieties with high yield potential, desirable agronomic characteristics, and strong adaptability under high-density planting conditions.

Keywords: maize, high-density planting, selection of varieties, Restricted Smith Index

คำนำ

ข้าวโพดเลี้ยงสัตว์เป็นพืชเศรษฐกิจที่มีความสำคัญต่อระบบการเกษตรของประเทศไทย เนื่องจากเป็นวัตถุดิบหลักในอุตสาหกรรมอาหารสัตว์ ซึ่งมีบทบาทสำคัญต่อการผลิตโคเนื้อ สุกร และสัตว์ปีก จากข้อมูลปี 2567 ประเทศไทยมีพื้นที่เพาะปลูกข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ประมาณ 6.18 ล้านไร่ ให้ผลผลิตรวม 4.55 ล้านตัน หรือเฉลี่ย 746 กิโลกรัมต่อไร่ (Office of Agricultural Economics, 2024) อย่างไรก็ตาม ปริมาณผลผลิตดังกล่าวยังไม่เพียงพอต่อความต้องการใช้ภายในประเทศ ซึ่งสูงถึง 8.9 ล้านตันต่อปี (Thai Feed Mill Association, 2024) ส่งผลให้ประเทศไทยต้องนำเข้าเมล็ดข้าวโพดหรือใช้วัตถุดิบทดแทนจากต่างประเทศมากกว่า 4 ล้านตันต่อปี (Reuters, 2025) หนึ่งในแนวทางสำคัญในการเพิ่มผลผลิตข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ คือ การเพิ่มจำนวนต้นต่อพื้นที่ หรือที่เรียกว่า การปลูกในสภาพที่มีความหนาแน่นสูง (High Plant Density; HPD) ซึ่งสามารถเพิ่มปริมาณผลผลิตต่อไร่ได้ สอดคล้องกับ Shao et al. (2018) รายงานว่า ผลผลิตต่อเฮกตาร์เพิ่มขึ้นเมื่อความหนาแน่นของต้นเพิ่มจาก 40,000 ต้นต่อเฮกตาร์ เป็น 70,000 ต้นต่อเฮกตาร์ สอดคล้องกับการปลูกข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ของประเทศอเมริกาที่มีความหนาแน่นของข้าวโพดเฉลี่ย 97,500 ต้นต่อเฮกตาร์ (15,600 ต้น/ไร่) (Zhao et al. 2009) และสามารถปลูกที่หนาแน่นได้ถึง 128,000 ต้นต่อเฮกตาร์ (20,400 ต้น/ไร่) สามารถให้ผลผลิตได้ถึง 31.5 ตันต่อเฮกตาร์ (5.04 ตัน/ไร่) (Mastrodomenico et al., 2018) ซึ่งมีความหนาแน่นมากกว่าข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ที่ปลูกในประเทศไทยกว่าเท่าตัวโดยทั่วไปเกษตรกรปลูกข้าวโพดที่ความหนาแน่นเพียง 10,000 – 11,000 ต้น/ไร่ (Department of Agriculture, 2025) อย่างไรก็ตาม การปลูกแบบหนาแน่นมักก่อให้เกิดการแข่งขันระหว่างต้นสูงขึ้น ทั้งด้านแสง น้ำ และธาตุอาหาร ส่งผลให้เกิดการปรับตัวทางสรีรวิทยาและพันธุกรรมหลายประการ เช่น ในสภาพปลูกถี่ พืชมีกีดความสูงต้นมากขึ้น ช่วงห่างระหว่างวันสลัดละอองเกสรและวันออกไหมห่างขึ้น และจำนวนฝักต่อต้นลดลง ซึ่งล้วนเป็นตัวบ่งบอกถึงความเครียดจากการแย่งทรัพยากร ความสามารถของพันธุ์ในการทนต่อความหนาแน่นสูงมักสัมพันธ์กับยีนที่ควบคุมลักษณะทางสรีรวิทยาที่เกี่ยวข้อง เช่น การคงสภาพความเขียวของใบ (stay-green) ประสิทธิภาพการสังเคราะห์แสงต่อพื้นที่ใบ และความสามารถต่อการติดฝัก จากกลไกเหล่านี้ทำให้พันธุ์ที่ทนปลูกถี่มีช่วงห่างระหว่างวันสลัดละอองเกสรและวันออกไหมแคบ การติดเมล็ดที่ปลายฝักดีกว่า และให้ผลผลิตสูงกว่าแม้ภายใต้การแย่งทรัพยากรในระดับสูง ดังนั้นพันธุ์ข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ทั่วไป ที่ได้รับการปรับปรุงพันธุ์ภายใต้ความหนาแน่นปกติ อาจไม่สามารถให้ผลผลิตสูงภายใต้สภาพการปลูกถี่ได้ (Dong et al., 2022) การปรับปรุงพันธุ์ข้าวโพดให้มีลักษณะที่เหมาะสมต่อการปลูกหนาแน่นจึงเป็นสิ่งจำเป็น เช่น ลักษณะทรงต้น มุมใบ การคงความเขียวของใบ และระบบรากที่แข็งแรง (Maddonni and Otegui, 2006) ช่วงห่างระหว่างวันสลัดละอองเกสรและวันออกไหม และจำนวนฝักต่อต้น ลักษณะเหล่านี้แสดงถึงความสามารถในการทนทานต่อสภาวะเครียด

การคัดเลือกพันธุ์โดยพิจารณาจากลักษณะใดลักษณะหนึ่งเพียงลักษณะเดียว (single-trait selection) มักไม่สามารถแสดงประสิทธิภาพของพันธุ์ข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ลูกผสมได้อย่างครบถ้วน จึงมีการนำวิธีการใช้ดัชนีคัดเลือก (Selection Index) เข้ามาช่วย โดยเป็นการรวมค่าการคัดเลือกจากหลายลักษณะเข้าด้วยกัน เพื่อเพิ่มความแม่นยำในการคัดเลือกพันธุ์ที่มีศักยภาพสูง (Bänzinger et al., 2000) หนึ่งในดัชนีที่ใช้แพร่หลาย คือ Smith Selection Index (Smith, 1936) และต่อมา Hazel (1943) ได้ปรับปรุงให้สามารถคำนวณได้ง่ายขึ้น อย่างไรก็ตาม ในงานปรับปรุงพันธุ์ที่ต้องการควบคุมลักษณะบางลักษณะให้อยู่ในระดับที่เหมาะสม ขณะเดียวกันยังต้องการคัดเลือกเพื่อปรับปรุงลักษณะอื่น ๆ ให้ตอบสนองต่อเป้าหมายของการปรับปรุงพันธุ์ ดัชนีแบบกำหนดค่าน้ำหนักเฉพาะ (Restricted Smith Index; RSI) จึงเป็นทางเลือกที่เหมาะสม เพราะสามารถกำหนดค่า (restrict) การเปลี่ยนแปลงของลักษณะบางลักษณะไม่ให้เพิ่มหรือลดมากเกินไป ในขณะที่ยังคงคัดเลือกพันธุ์ที่ให้ผลผลิตสูงหรือมีความทนทานต่อสภาพปลูกหนาแน่น Rosielle and Frey (1975) ได้ประยุกต์ใช้ RSI ในการคัดเลือกข้าวโอ๊ต โดยกำหนดข้อจำกัดในลักษณะการออกดอกและความสูงต้น เพื่อรักษาเสถียรภาพของลักษณะดังกล่าวระหว่างที่ปรับปรุงผลผลิตเมล็ด โดยพบว่าประสิทธิภาพของการคัดเลือกโดยใช้ RSI สูงถึงร้อยละ 57 ของการคัดเลือกตรงแบบไม่กำหนดค่าน้ำหนักเฉพาะ และยังเพิ่มขึ้นเมื่อใช้ค่า harvest index

เป็นลักษณะรองในดัชนี การใช้ RSI จึงเป็นประโยชน์อย่างยิ่งในโปรแกรมปรับปรุงพันธุ์ที่ต้องพิจารณาหลายลักษณะพร้อมกัน สำหรับการปรับปรุงพันธุ์ข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ การใช้ RSI จะช่วยเพิ่มความแม่นยำในการคัดเลือก โดยเฉพาะในขั้นตอนการประเมินพันธุ์ ซึ่งกรมวิชาการเกษตรแบ่งขั้นตอนการประเมินพันธุ์ออกเป็น 4 ขั้นตอน ได้แก่ 1) การเปรียบเทียบเบื้องต้น (preliminary trial) 2) การเปรียบเทียบมาตรฐาน (standard trial) 3) การเปรียบเทียบในท้องถิ่น (regional trial) และ 4) การเปรียบเทียบในไร่เกษตรกร (farm trial) (Department of Agriculture, 2023) ขั้นตอนการเปรียบเทียบเบื้องต้นเป็นขั้นตอนแรกของการประเมินพันธุ์ซึ่งมักมีจำนวนคู่ผสมมากและจำเป็นต้องคัดเลือกเฉพาะพันธุ์ที่มีศักยภาพสูงเพื่อเข้าสู่การประเมินขั้นต่อไป นอกจากนี้ ประเทศไทยยังไม่มีรายงานการใช้ RSI ในการคัดเลือกพันธุ์ข้าวโพดเลี้ยงสัตว์โดยตรง การทดลองนี้จึงมุ่งใช้ RSI เป็นเครื่องมือในการคัดเลือกพันธุ์ข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ลูกผสมที่เหมาะสมต่อการปลูกหนาแน่นในขั้นตอนการเปรียบเทียบเบื้องต้น เพื่อคัดเลือกพันธุ์ดีเด่นเข้าสู่การประเมินในขั้นมาตรฐานต่อไป

วิธีการศึกษา

การปลูกทดสอบดำเนินการปลูกประเมินผลผลิตลูกผสม จำนวน 115 คู่ผสม และข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ลูกผสมที่เป็นการค้าจำนวน 5 พันธุ์ ได้แก่ Pac789, NK6848, P4555 กว.นครสวรรค์ 3 (DOA NS3) และ กว.นครสวรรค์ 4 (DOA NS4) ณ ศูนย์วิจัยพืชไร่นครสวรรค์ ระหว่างวันที่ 13 ธันวาคม 2567 ถึง 3 เมษายน 2568 ปลูกทดสอบภายใต้ระยะปลูกถึ (70 x 15 เซนติเมตร) โดยวางแผนการทดลอง 12 x 10 Alpha lattice จำนวน 2 ซ้ำ 2 แถว/แปลงย่อย แต่ละแถวยาว 5.10 เมตร หรือปลูก 33 หลุม/แถว ใส่ปุ๋ยรองพื้น 15-15-15 อัตรา 50 กิโลกรัม/ไร่ พันสารเคมีควบคุมวัชพืช อะทราซีนและอะลาคลอร์หลังปลูกขณะดินมีความชื้นในอัตรา 200 กรัม และ 300 ซีซี/ไร่ ตามลำดับ เมื่อข้าวโพดอายุ 3 สัปดาห์ ถอนแยก เหลือ 1 ต้น/หลุม พร้อมกับใส่ปุ๋ยเคมี 21-0-0 อัตรา 37.5 กิโลกรัม/ไร่ และใส่ปุ๋ยครั้งที่ 3 โดยใช้ปุ๋ย 46-0-0 หยอดข้างต้นข้าวโพด อัตรา 30 กิโลกรัม/ไร่ ให้น้ำด้วยระบบสปริงเกอร์อาทิตย์ละ 1 ครั้ง การปฏิบัติอื่น ๆ จัดการตามความเหมาะสม เก็บเกี่ยวเมื่อข้าวโพดอายุ 110 วัน

การบันทึกข้อมูล ได้แก่ 1) วันออกดอกตัวผู้ (Days to tasseling; DT) 2) วันออกไหม (Days to silking; DS) 3) ช่วงห่างระหว่างวันสลัดละอองเกสรและวันออกไหม (Anthesis silking interval; ASI) 4) ความสูงต้น (Plant height; PH (cm)) 5) ความสูงฝัก (Ear height; EH (cm)) 6) สัดส่วนความสูงฝักต่อความสูงต้น (Ear-to-plant height ratio; EPH) 7) เปอร์เซ็นต์ต้นต้นล้ม (Root lodging percentage; RL%) 8) เปอร์เซ็นต์ต้นหัก (Stalk lodging percentage; SL%) 9) จำนวนฝักต่อต้น (Number of ears per plant; EPP) 10) ลักษณะรูปทรงต้น (Plant aspect; PA) เป็นการสังเกตลักษณะอันพึงประสงค์ของลำต้นอันเกิดจากพันธุกรรม ได้แก่ ความสม่ำเสมอของต้นและตำแหน่งฝัก ระบบราก ลักษณะใบรวมถึงการคงความเขียวของใบ (stay green) จะบันทึกโดยการให้คะแนน 1-5 โดยคะแนน 1 = พอใจมากที่สุด ในขณะที่ 3 = พอใจปานกลาง และ 5 = พอใจน้อยที่สุด (Thiraphon, 2025) 11) ลักษณะรูปทรงฝัก (Ear Aspect; EA) เป็นการสังเกตลักษณะอันพึงประสงค์ของฝัก ได้แก่ ขนาด ความกว้าง ความยาว ความสม่ำเสมอ และความสวยงามเป็นต้น โดยให้คะแนน 1-5 ซึ่ง 1 = ฝักมีความสวยงาม มีขนาดความกว้างและความยาวตามที่ตลาดต้องการ ในขณะที่ 3 = ฝักมีขนาดปานกลาง และ 5 = ฝักมีขนาดเล็กมากไม่เป็นที่ยอมรับของตลาด (Thiraphon, 2025) 12) เปอร์เซ็นต์ฝักเสีย (Ear rotten; ER%) 13) เปอร์เซ็นต์การกะเทาะ (Shelling percentage; SP%) 14) การติดเมล็ดส่วนปลายฝัก (Tip fill; TF) บันทึกโดยการให้คะแนน 1-5 โดย 1 = เมล็ดติดเต็มถึงปลายฝัก ในขณะที่ 3 = ส่วนปลายฝักที่ไม่ติดเมล็ด ประมาณ 1-3 เซนติเมตร และ 5 = ปลายฝักไม่ติดเมล็ดมากกว่า 3 เซนติเมตร (Thiraphon, 2025) 15) ความชื้นเมล็ดขณะเก็บเกี่ยว (Grain moisture; GM%) และ 16) ผลผลิตต่อไร่ที่ความชื้น 15 เปอร์เซ็นต์ (Grain yield at 15% moisture; GY)

การวิเคราะห์ข้อมูลเพื่อคัดเลือกข้าวโพดลูกผสมที่ดี และทนทานต่ออัตราปลูกถึ ใช้ดัชนีการคัดเลือกแบบกำหนดค่าน้ำหนักเฉพาะ (Restricted Smith Index; RSI) โดยใช้โปรแกรม RIndSel: selection indices with R. (Céron-Rojas and Crossa, 2018) โดยแสดงค่าของลักษณะต่างๆ ของคู่ผสม/พันธุ์ที่คัดเลือก ค่าเฉลี่ยของทุกคู่ผสมที่คัดเลือก (mean of selected individuals) ค่าเฉลี่ยทั้งหมดของการทดลอง (mean of all individuals), ค่าความแตกต่างของค่าเฉลี่ยก่อนและหลังการคัดเลือก (selection differential) และความเข้มข้นของการคัดเลือก 20 เปอร์เซ็นต์

ดัชนีการคัดเลือกแบบกำหนดค่าน้ำหนักเฉพาะเป็นดัชนีการคัดเลือกหลายลักษณะที่พัฒนามาต่อยอดจาก Smith Selection Index โดยเพิ่มข้อจำกัด (restriction) เพื่อควบคุมการเปลี่ยนแปลงของลักษณะบางลักษณะให้อยู่ในระดับที่เหมาะสมในการศึกษานี้ มีการกำหนดข้อจำกัดให้ช่วงห่างระหว่างวันสลัดละอองเกสรและวันออกไหม มีค่าเป้าหมายใกล้เคียงค่าเฉลี่ยความล้มเหลวในการผสมเกสรภายใต้สภาพปลูกถึ ขณะที่ลักษณะอื่น ๆ ถูกคัดเลือกตามทิศทางที่สอดคล้องกับพันธุกรรมในอุดมคติซึ่งช่วยให้สามารถปรับปรุงผลผลิตควบคู่ไปกับการรักษาลักษณะสำคัญให้อยู่ในช่วงที่เหมาะสมได้พร้อมกัน

สภาพภูมิอากาศระหว่างการปลูกเปรียบเทียบเบื้องต้นข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ลูกผสมภายใต้ความหนาแน่นสูง ณ ศูนย์วิจัยพืชไร่นครสวรรค์ ตั้งแต่วันที่ 13 ธันวาคม 2567 ถึง 3 เมษายน 2568 (Figure 1) แสดงลักษณะของฤดูแล้งเขตร้อนที่มีฝนตกน้อยมาก โดยมีเพียงฝนเล็กน้อยเป็นครั้งคราวในช่วงเดือนมกราคมและมกราคม ทำให้สภาพความชื้นในดินค่อนข้างคงที่ และต้องพึ่งการให้น้ำเสริมอย่างสม่ำเสมอ อุณหภูมิสูงสุดเฉลี่ยอยู่ในช่วง 30–35 องศาเซลเซียส ขณะที่อุณหภูมิต่ำสุดเฉลี่ยอยู่ในช่วง 18–22 องศาเซลเซียส โดยช่วงเดือนธันวาคมถึงมกราคมมีอากาศค่อนข้างเย็นแต่จะสูงขึ้นอย่างต่อเนื่องในเดือนกุมภาพันธ์ ซึ่งตรงกับระยะสำคัญของการออกดอกและผสมเกสรของข้าวโพด ส่วนปริมาณน้ำฝน พบว่า เริ่มมีฝนตกมาในช่วงวันที่ 18 กุมภาพันธ์ จำนวน 16 มิลลิเมตร และมีฝนตกอีกเล็กน้อยในช่วงต้นเดือนมีนาคม นอกจากนี้ความเร็วลมเฉลี่ยต่ำกว่า 10 กิโลเมตรต่อชั่วโมง แต่มีบางวันที่มีความเร็วลมเฉลี่ยสูงกว่า 10 กิโลเมตรต่อชั่วโมง ในช่วงปลายเดือนมกราคม และช่วงต้นเดือนกุมภาพันธ์ ซึ่งมีผลต่อการหักล้มของต้นข้าวโพด โดยเฉพาะคู่ผสม/พันธุ์ที่มีความสูงมากหรือตำแหน่งฝักสูง

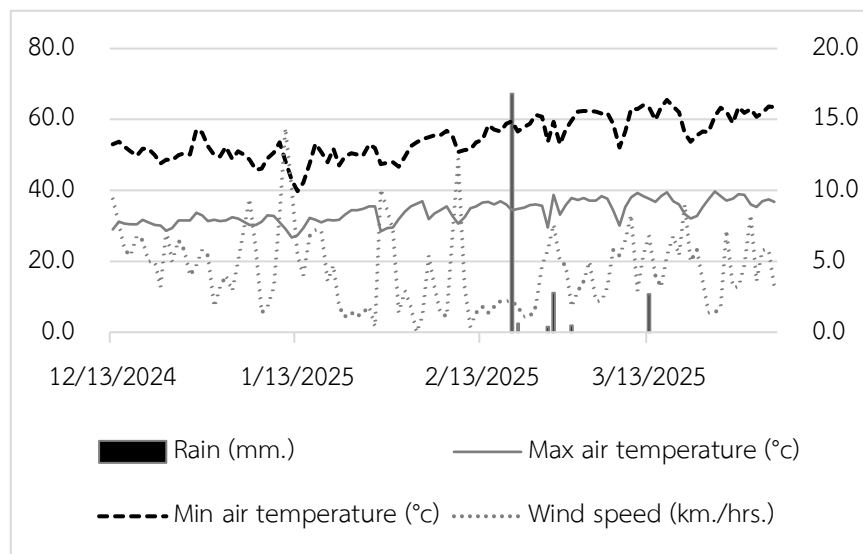


Figure 1 Daily rainfall, temperature, and wind speed during the maize hybrid evaluation under high-density planting at Nakhon Sawan Field Crops Research Center (Dec 13, 2024 – Apr 3, 2025)

ผลการศึกษาและวิจารณ์

ผลการประเมินข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ลูกผสมภายใต้สภาพปลูกที่ พบว่า ลักษณะต่างๆของข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ลูกผสมจำนวน 11 จาก 12 ลักษณะที่ศึกษา (ยกเว้นเปอร์เซ็นต์ต้นล้ม) มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติในหลายลักษณะ (Table 1) โดยให้ผลผลิตอยู่ในช่วง 738–1,637 กิโลกรัมต่อไร่ เฉลี่ย 1,390 กิโลกรัมต่อไร่ ขณะที่วันออกดอกตัวผู้และวันออกไหมมีค่าเฉลี่ยเท่ากันที่ 66 วัน ส่งผลให้ช่วงห่างระหว่างวันออกไหมและวันออกดอกตัวผู้เฉลี่ยเท่ากับศูนย์วัน ซึ่งแสดงช่วงเวลาการออกดอกที่เหมาะสมต่อการผสมเกสรและการติดเมล็ดภายใต้สภาพความหนาแน่นของต้นสูง

ความสูงต้นเฉลี่ยของข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ลูกผสมอยู่ที่ 215 เซนติเมตร ขณะที่ความสูงฝักเฉลี่ยอยู่ที่ 116 เซนติเมตร โดยมีสัดส่วนความสูงฝักต่อความสูงต้นเท่ากับ 0.54 แสดงว่าตำแหน่งของฝักอยู่สูงกว่ากึ่งกลางลำต้น ซึ่งอาจส่งผลให้ต้นมีความเสี่ยงต่อการล้มเพิ่มขึ้นในสภาพปลูกที่มีความหนาแน่นสูง ซึ่งในการปรับปรุงพันธุ์เพื่อการปลูกหนาแน่น ควรเลือกพันธุ์ที่มีสัดส่วนความสูงฝักต่อความสูงต้นต่ำ เพื่อเพิ่มความมั่นคงของต้น และลดความสูญเสียจากการล้มก่อนเก็บเกี่ยว

เปอร์เซ็นต์ต้นล้มไม่มีความแตกต่างทางสถิติ โดยมีเปอร์เซ็นต์ต้นล้มเฉลี่ยต่ำเพียง 0.7 เปอร์เซ็นต์ แต่บางคู่ผสม/พันธุ์มีเปอร์เซ็นต์ต้นล้มมากถึง 21.76 เปอร์เซ็นต์ ส่วนเปอร์เซ็นต์ต้นหัก เฉลี่ย 11.1 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งถือว่าเป็นข้อจำกัดสำคัญในการปลูกภายใต้สภาพความหนาแน่นสูง ปัจจัยนี้อาจสัมพันธ์กับช่วงที่มีลมแรงในเดือนกุมภาพันธ์ (Figure 1) และความแข็งแรงของลำต้นเมื่อเกิดการยืดตัวเพื่อแข่งขันการรับแสง ซึ่งสอดคล้องกับรายงานของ Maddonni and Otegui (2006) ที่พบว่า คู่ผสม/พันธุ์ที่มีความสูงต้นมาก และมีตำแหน่งฝักสูงมีความเสี่ยงการหักล้มมากขึ้น

จำนวนฝักต่อต้น เฉลี่ย 0.96 ฝัก/ต้น ซึ่งใกล้เคียง 1 แสดงว่ากลุ่ม/พันธุ์ส่วนใหญ่ยังคงศักยภาพการติดฝักแม้ปลูกถี่ อย่างไรก็ตามบางกลุ่ม/พันธุ์มีจำนวนฝักต่อต้นต่ำ 0.76 ฝัก/ต้น ส่วนเปอร์เซ็นต์ฝักเสีย มีค่าเฉลี่ย 3.31 เปอร์เซ็นต์ แต่บางกลุ่ม/พันธุ์สูงถึง 18.35 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งอาจสัมพันธ์กับความหนาแน่นสูงทำให้การถ่ายเทอากาศไม่ดี ส่งผลให้เชื้อโรคราภายในฝักพัฒนาได้ง่ายขึ้น

เปอร์เซ็นต์การกระเทาะมีค่าเฉลี่ยสูงถึง 80.0 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งแสดงว่ากลุ่ม/พันธุ์ข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ส่วนใหญ่ให้สัดส่วนเมล็ดต่อฝักอยู่ในเกณฑ์ดี ขณะที่ความชื้นเมล็ดขณะเก็บเกี่ยวเฉลี่ยอยู่ที่ 28.4 เปอร์เซ็นต์ แสดงให้เห็นว่าข้าวโพดส่วนใหญ่จัดอยู่ในกลุ่มพันธุ์อายุปานกลาง (intermediate variety) ซึ่งสอดคล้องกับรายงานของ Thiraphon (1996) ที่ระบุว่าข้าวโพดที่อายุปานกลางจะสามารถเก็บเกี่ยวได้ในช่วง 100–110 วันหลังปลูก

ลักษณะรูปทรงต้น พบว่า คະแนนเฉลี่ยอยู่ที่ 2.33 คະแนน โดยมีค่าตั้งแต่ 1.00 ถึง 4.00 คະแนน กลุ่ม/พันธุ์ที่ได้คະแนนต่ำ (ดี) มีลักษณะลำต้นแข็งแรง ไม่หักล้ม และไม่มีโรคแมลงเข้าทำลาย ขณะที่กลุ่มพันธุ์ที่ได้คະแนนสูงกว่า 4 มักมีต้นหักล้มมาก อาจเป็นผลมาจากพันธุกรรมและในช่วงเดือนกุมภาพันธ์ที่ลมแรงตาม Figure 1 ลักษณะรูปทรงฝัก เฉลี่ยอยู่ที่ 2.32 คະแนน แสดงให้เห็นว่าข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ส่วนใหญ่มีลักษณะของฝักอยู่ในระดับดีถึงปานกลาง โดยฝักมีความสม่ำเสมอ สีเมล็ดสวย และมีโรคและแมลงศัตรูเข้าทำลายน้อย การติดเมล็ดส่วนปลายฝัก พบว่า คະแนน เฉลี่ย 2.47 คະแนน แสดงว่าพันธุ์ส่วนใหญ่มีการติดเมล็ดปลายฝักในระดับดีถึงปานกลาง แต่ยังไม่สมบูรณ์ โดยข้าวโพดที่ได้คະแนนสูงมักมีปัญหาการผสมเกสรไม่ติดในช่วงปลายฝัก

Table 1 Agronomic characteristics of maize hybrids under high-density planting at Nakhon Sawan Field Crops Research Center in the dry season 2025

Traits	Max	Min	Mean	LSD (0.05)	CV (%)
Grain yield (kg/rai)	1,637	738	1,390	334	8.58
Day to Tasselling (day)	68	62	66	2.5	1.37
Day to silking (day)	69	63	66	3.0	1.60
ASI (day)	2	-2	0	1.9	116.00
Plant height (cm)	249	170	215	25.7	4.28
Ear height (cm)	142	89	116	17.5	5.37
Ratio of ear height to plant height	0.61	0.47	0.54	0.05	3.57
Root lodging (%)	21.76	0.00	0.46	ns	409.81
Stalk lodging (%)	60.00	0.00	11.1	29.09	93.42
Number of ears per plant	1.07	0.76	0.96	0.15	5.61
Ear rotten (%)	18.35	0.00	3.31	7.86	84.71
Shelling percentage (%)	84.8	73.6	80.0	2.28	1.02
Grain moisture (%)	36.10	20.11	28.42	4.51	5.67
Plant aspect	4.00	1.00	2.33	1.85	28.31
Ear aspect	4.00	1.00	2.32	1.32	20.36
Tip filling	3.00	1.00	2.47	1.19	17.16

ns = not significant at the P = 0.05 level

การคัดเลือกพันธุ์ข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ลูกผสมภายใต้สภาพปลูกถี่ ได้มีการกำหนดลักษณะทางการเกษตรที่สำคัญจำนวน 12 ลักษณะเพื่อใช้ในการสร้าง RSI ได้แก่ 1) ผลผลิต ซึ่งเป็นลักษณะเป้าหมายหลักในการคัดเลือกพันธุ์ (Duvick and Cassman, 1999; Hammer et al., 2009) 2) ช่วงห่างระหว่างวันสลัดละออเกสรและวันออกไหม ที่บ่งบอกถึงความทนทานต่อความเครียดและการติดฝัก (Bolaños and Edmeades, 1996) 3) สัดส่วนความสูงฝักต่อความสูงต้น ที่มีความสัมพันธ์กับการหักล้ม (Cheng

et al., 2011) 4) เปอร์เซ็นต์ต้นล้ม 5) เปอร์เซ็นต์ต้นหัก ซึ่งเป็นข้อจำกัดสำคัญต่อผลผลิตภายใต้การปลูกถี่ (Liu et al., 2012) 6) เปอร์เซ็นต์ฝักเสีย 7) จำนวนฝักต่อต้น ที่สัมพันธ์กับผลผลิตและบ่งบอกถึงความทนทานต่อสภาวะเครียด (Edmeades and Daynard, 1979) 8) เปอร์เซ็นต์กระเทาะ 9) ความชื้นเมล็ดขณะเก็บเกี่ยว 10) ลักษณะรูปทรงต้น 11) ลักษณะรูปทรงฝัก ที่ใช้ในการประเมินคุณภาพโดยรวม (Thiraphon, 2025) และ 12) การติดเมล็ดส่วนปลายฝัก ซึ่งสะท้อนความสมบูรณ์ของการผสมเกสรและการติดเมล็ด (Borrás and Otegui, 2001) โดยกำหนดความเข้มข้นในการคัดเลือกที่ 20 เปอร์เซ็นต์ เพื่อคัดเลือกข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ลูกผสมที่มีศักยภาพสูงและทนทานต่อการปลูกในสภาพความหนาแน่นสูงอย่างมีประสิทธิภาพ

การกำหนดค่าน้ำหนักทางเศรษฐกิจ (economic weight) ให้เท่ากันทุกลักษณะ เพื่อให้ RSI มีสัดส่วนที่เท่าเทียมกัน โดยระบุทิศทางการคัดเลือกให้สอดคล้องกับพันธุกรรมในอุดมคติ ได้แก่ ต้องการให้ค่า ผลผลิต จำนวนฝักต่อต้น และเปอร์เซ็นต์กระเทาะ มีทิศทางไปทางบวกและสูงกว่าค่าเฉลี่ย ในขณะที่ช่วงห่างระหว่างวันออกไหมและวันออกดอกตัวผู้ สัดส่วนความสูงฝักต่อความสูงต้น เปอร์เซ็นต์ต้นล้ม เปอร์เซ็นต์ต้นหัก เปอร์เซ็นต์ฝักเสีย ความชื้นเมล็ดขณะเก็บเกี่ยว ลักษณะรูปทรงต้น ลักษณะรูปทรงฝัก และการติดเมล็ดส่วนปลายฝัก ควรมีค่าต่ำหรือมีทิศทางไปทางลบ และกำหนดค่าน้ำหนักเฉพาะช่วงห่างระหว่างวันสลัดละอองเกสรและวันออกไหมตัวผู้เท่ากับศูนย์ เพื่อหลีกเลี่ยงปัญหาความล้มเหลวในการผสมเกสรภายใต้ความเครียดจากการปลูกหนาแน่น แนวทางดังกล่าวสอดคล้องกับผลการศึกษาของ Singamsetti et al. (2023) ที่ใช้ดัชนีแบบหลายลักษณะ (multi-trait index) ในการคัดเลือกพันธุ์ข้าวโพดเขตร้อน ซึ่งสามารถเพิ่มผลผลิตและความทนทานต่อความเครียดในหลากหลายสภาพแวดล้อมได้อย่างมีประสิทธิภาพ

การประเมินสมรรถนะของพันธุ์ข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ลูกผสมภายใต้สภาพปลูกถี่ โดยใช้ RSI ได้แสดงให้เห็นถึงความสามารถในการคัดเลือกพันธุ์ที่มีผลผลิตสูงและลักษณะทางการเกษตรที่เหมาะสมต่อระบบการปลูกที่มีความหนาแน่นของต้นสูง ผลการวิเคราะห์จากข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ทั้งหมด 115 คู่ผสม และพันธุ์การค้า 5 พันธุ์ (Table 2 และ Table 3) พบว่า มีข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ลูกผสมที่ได้รับการคัดเลือกทั้งหมด 24 คู่ผสม/พันธุ์ ประกอบด้วย ข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ลูกผสมดีเด่นจำนวน 22 คู่ผสม และพันธุ์การค้า 2 พันธุ์ มีค่า RSI ระหว่าง 1,016-1,144 โดยพันธุ์ที่มีดัชนีสูงที่สุด 3 อันดับแรก ได้แก่ NSX242048 Pac789 และ NSX242034 มี RSI เท่ากับ 1,144 1,139 และ 1,097 ตามลำดับ (Table 2) ซึ่งแสดงถึงการมีลักษณะที่ดีหลายลักษณะในข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ลูกผสมคู่ผสม/พันธุ์เดียวกัน สอดคล้องกับ Nantachot et al. (2025) ที่ระบุว่า ข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ลูกผสมที่มีค่า Smith index สูง แสดงว่าข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ลูกผสมมีลักษณะตรงกับความต้องการที่จะคัดเลือกมากที่สุด ในด้านผลผลิต พันธุ์ที่ได้รับการคัดเลือกมีผลผลิตเฉลี่ย 1,531 กิโลกรัมต่อไร่ ซึ่งสูงกว่าค่าเฉลี่ยของประชากรทั้งหมดที่ 1,390 กิโลกรัมต่อไร่ แสดงถึงค่าความแตกต่างของค่าเฉลี่ยก่อนและหลังการคัดเลือก เท่ากับ 141 กิโลกรัมต่อไร่ และให้ค่าความก้าวหน้าในการคัดเลือก เท่ากับ 136 กิโลกรัมต่อไร่ (Table 3) สะท้อนให้เห็นถึงศักยภาพของกระบวนการคัดเลือกในการปรับปรุงพันธุ์ข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ลูกผสมภายใต้สภาพปลูกถี่ ซึ่งมีข้อจำกัดด้านพื้นที่และมีการแข่งขันระหว่างต้นสูงได้อย่างมีประสิทธิภาพ

ลักษณะรองที่ใช้ในการคัดเลือก เช่น ช่วงห่างระหว่างวันสลัดละอองเกสรและวันออกไหมพบว่า ลดลงจากค่าเฉลี่ยประชากร 0.06 วัน เหลือ -0.23 วันในข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ลูกผสมที่ถูกคัดเลือก บ่งชี้ถึงประสิทธิภาพการผสมเกสรที่ดีขึ้นภายใต้สภาพปลูกถี่ ส่วนจำนวนฝักต่อต้นเพิ่มจาก 0.96 เป็น 0.99 ซึ่งแสดงถึงการติดฝักที่ดีแม้อยู่ในสภาพเครียดของข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ลูกผสมที่ผ่านการคัดเลือก สำหรับลักษณะด้านความแข็งแรงของต้น เช่น เปอร์เซ็นต์ต้นล้ม และต้นหัก มีแนวโน้มลดลงในพันธุ์ที่คัดเลือก โดยเฉพาะค่า เปอร์เซ็นต์ต้นล้มเฉลี่ยลดจาก 0.46 เหลือ 0.19 ซึ่งแสดงถึงความแข็งแรงของระบบราก และโครงสร้างของต้นภายใต้ความหนาแน่นสูง ส่วนคุณลักษณะฝักและเมล็ด เช่น ความชื้นเมล็ดขณะเก็บเกี่ยว และเปอร์เซ็นต์กระเทาะ มีแนวโน้มที่ดีขึ้นเล็กน้อย

ผลการใช้ RSI แสดงให้เห็นว่าการคัดเลือกลักษณะหลายด้านสามารถทำได้พร้อมกันในการประเมินครั้งเดียว ช่วยลดอคติจากการพิจารณาเฉพาะได้ลักษณะหนึ่งเพียงอย่างเดียว และเหมาะสมกับการคัดเลือกพันธุ์ภายใต้สภาพแวดล้อมที่มีข้อจำกัดและความแปรปรวนสูง ดังนั้น RSI จึงเป็นเครื่องมือที่มีประสิทธิภาพในการคัดเลือกพันธุ์ข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ที่เหมาะสมกับระบบปลูกถี่ โดยสามารถระบุพันธุ์ที่ให้ผลผลิตสูง โครงสร้างต้นเหมาะสม และมีประสิทธิภาพการติดฝักดี ทั้งนี้ควรนำพันธุ์ที่ได้รับการคัดเลือกเข้าสู่การประเมินในขั้นมาตรฐานต่อไป เพื่อยืนยันเสถียรภาพของพันธุ์ภายใต้สภาพแวดล้อมที่หลากหลาย

Table 2 Maize hybrids ranked 1–12 selected under high- density planting using the Restricted Smith Index (RSI)

Pedigree	Entry	GY	ASI	EPH	RL	SL	ER	EPP	SP	GM	PA	EA	TF	Smith index
NSX242048	48	1,603	-0.43	0.55	0.03	1.73	7.11	1.01	82.8	32.7	2.91	2.50	2.98	1,144
Pac789	119	1,604	0.11	0.47	1.00	1.79	1.58	0.99	84.3	32.2	1.82	1.00	1.51	1,139
NSX242034	34	1,633	-0.57	0.56	0.03	0.96	1.72	0.99	82.0	31.7	2.41	2.00	2.99	1,097
NSX242079	79	1,531	-1.45	0.50	0.04	25.06	0.13	1.00	77.8	26.0	2.54	1.50	2.01	1,090
NSX242051	51	1,628	-0.04	0.55	0.04	6.07	1.07	0.98	80.2	31.8	3.00	2.00	2.48	1,071
NSX242010	10	1,598	-0.94	0.49	0.01	0.05	0.66	1.02	79.8	30.4	2.06	2.00	3.04	1,071
NSX242077	77	1,507	0.38	0.48	0.04	25.06	0.23	0.99	78.3	29.8	1.49	2.00	3.01	1,065
NSX242050	50	1,524	0.54	0.59	0.03	0.09	5.37	0.96	81.1	32.7	2.99	2.00	3.01	1,064
NSX242032	32	1,519	-0.07	0.54	0.91	0.41	4.64	1.01	82.6	32.7	2.76	2.50	3.01	1,052
NSX242080	80	1,475	-0.95	0.49	0.07	16.28	0.06	0.95	78.8	26.4	1.95	1.50	2.02	1,049
NSX242040	40	1,482	-1.36	0.56	0.00	15.71	1.61	0.96	81.0	31.4	1.48	2.00	2.50	1,046
NSX242053	53	1,586	-0.07	0.56	0.87	1.53	1.50	1.02	83.6	28.3	2.83	2.00	2.48	1,040

Table 3 Maize hybrids ranked 13–24 selected under high-density planting using the Restricted Smith Index (RSI), including summary statistics and expected genetic gain

Pedigree	Entry	GY	ASI	EPH	RL	SL	ER	EPP	SP	GM	PA	EA	TF	Smith index
P4555	120	1,581	-0.39	0.54	0.03	0.52	1.14	0.95	78.6	29.3	1.73	1.50	2.03	1,035
NSX242061	61	1,484	-0.02	0.51	0.61	0.88	4.78	0.99	81.2	29.4	1.82	2.00	1.99	1,030
NSX242052	52	1,556	-1.53	0.56	0.01	0.09	2.15	1.00	82.7	29.1	2.92	3.00	3.00	1,030
NSX242002	2	1,406	0.00	0.55	0.45	8.87	2.44	0.90	84.1	28.8	3.49	2.00	2.03	1,025
NSX242090	90	1,408	0.59	0.53	0.03	2.53	11.92	1.07	77.7	27.8	2.41	2.50	2.49	1,023
NSX242046	46	1,504	-0.44	0.57	0.02	11.97	2.02	0.97	81.2	33.2	2.12	2.50	3.00	1,020
NSX242099	99	1,575	-0.28	0.54	0.50	15.58	1.90	1.07	81.6	26.0	1.98	2.50	2.02	1,018
NSX242031	31	1,421	-0.08	0.54	0.12	1.06	2.56	0.94	83.4	30.2	1.84	2.00	2.98	1,018
NSX242068	68	1,575	-0.01	0.52	0.15	1.46	2.58	0.97	77.6	27.7	2.24	2.00	1.99	1,018
NSX242070	70	1,534	0.56	0.50	0.17	13.40	0.58	1.01	78.2	25.5	1.81	1.50	2.02	1,018
NSX242045	45	1,517	-0.07	0.54	0.04	18.66	0.25	1.02	80.9	31.1	1.98	2.00	2.48	1,018
NSX242003	3	1,501	0.95	0.51	0.82	0.49	1.79	0.95	84.8	33.0	1.90	2.00	2.01	1,016
Mean of Selected Individuals		1,531	-0.23	0.53	0.19	6.94	2.47	0.99	81.0	29.9	2.27	2.02	2.46	
Mean of all Individuals		1,390	0.06	0.54	0.46	7.13	2.04	0.96	80.0	28.4	2.33	2.32	2.47	
Selection Differential		141	-0.29	-0.01	-0.28	-0.19	0.43	0.02	1.05	1.45	-0.06	-0.30	-0.01	
Expected Genetic Gain for 20%		136	-0.04	0.00	0.02	0.79	0.14	0.01	0.89	1.23	0.03	-0.27	-0.06	

Traits included: grain yield (GY), anthesis-silking interval (ASI), ear height to plant height ratio (EPH), root lodging (RL), stalk lodging (SL), ear rot (ER), ears per plant (EPP), shelling percentage (SP), grain moisture (GM), plant aspect (PA), ear aspect (EA), and tip filling (TF). The bottom rows show the mean values of selected individuals, the overall population mean, the selection differential, and the expected genetic gain when selecting the top 20% of genotypes.

Table 4 Agronomic traits correlation among traits measured on the 115 crosses with 5 hybrids check under high-density planting at the Nakhon Sawan Field Crops Research Center in the dry season 2025.

Traits	GY	ASI	EPH	RL	SL	ER	EPP	SP	GM	PA	EA	TF
GY	1.00	-0.08	-0.11	0.01	-0.28**	-0.18**	0.42**	0.23**	0.35**	-0.14*	-0.49**	-0.26**
DT		-0.21**	0.05	-0.01	-0.05	0.17**	0.02	-0.18**	0.31**	-0.14*	0.06	0.11
DS		0.41**	-0.05	-0.04	-0.03	0.20**	0.00	-0.15*	0.28**	-0.09	0.05	0.12
ASI		1.00	-0.16*	-0.05	0.03	0.06	-0.03	0.04	-0.02	0.05	0.00	0.03
PH			0.27**	0.13*	0.04	0.16	0.00	0.09	0.44**	0.14*	-0.08	0.11
EH			0.70**	0.14*	0.08	0.19**	-0.06	0.08	0.32**	0.17**	0.02	0.15*
EPH			1.00	0.06	0.09	0.15*	-0.13*	0.04	-0.01	0.13*	0.14*	0.12
RL				1.00	0.01	0.03	-0.10	-0.04	0.04	0.24**	-0.02	-0.08
SL					1.00	-0.15*	-0.23**	-0.21**	-0.33**	0.09	0.09	0.08
ER						1.00	0.08	-0.04	0.17**	0.16*	0.21**	0.15*
EPP							1.00	0.15*	0.03	-0.26**	-0.05	-0.08
SP								1.00	0.15*	0.11	0.08	-0.01
GM									1.00	0.03	-0.14*	0.05
PA										1.00	0.18**	-0.03
EA											1.00	0.46**
TF												1.00

*, ** Significant at the 0.05 and 0.01 probability levels, respectively.

Traits included: grain yield (GY), anthesis-silking interval (ASI), ear height to plant height ratio (EPH), root lodging (RL), stalk lodging (SL), ear rot (ER), ears per plant (EPP), shelling percentage (SP), grain moisture (GM), plant aspect (PA), ear aspect (EA), and tip filling (TF).

นอกจากนี้ยังวิเคราะห์สหสัมพันธ์ระหว่างผลผลิตและลักษณะทางการเกษตรของพันธุ์ข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ลูกผสมภายใต้การปลูกถั่ว (Table 4) พบว่า ผลผลิต (GY) มีความสัมพันธ์เชิงบวกกับ จำนวนฝักต่อต้น (EPP; $r = 0.42^{**}$) เปอร์เซ็นต์กระเทาะ (SP; $r = 0.23^{**}$) และความชื้นเมล็ดขณะเก็บเกี่ยว (GM; $r = 0.35^{**}$) แสดงว่าลูกผสม/พันธุ์ที่มีจำนวนฝักต่อต้นมาก เปอร์เซ็นต์กระเทาะสูง และมีความชื้นขณะเก็บเกี่ยวสูงจะให้ผลผลิตสูงในสภาพปลูกถั่ว ในขณะที่ผลผลิต มีความสัมพันธ์เชิงลบกับเปอร์เซ็นต์ต้นหัก (SL; $r = -0.28^{**}$) เปอร์เซ็นต์ฝักเสีย (ER; $r = -0.18^{**}$) ลักษณะรูปทรงต้น (PA; $r = -0.14^*$) ลักษณะรูปทรงฝัก (EA; $r = -0.49^{**}$) และการติดเมล็ดส่วนปลายฝัก (TF; $r = -0.26^{**}$) ซึ่งชี้ชัดว่าลูกผสม/พันธุ์ที่มีเปอร์เซ็นต์การล้มน้อย เปอร์เซ็นต์ฝักเสียน้อย คะแนนลักษณะรูปทรงต้น ลักษณะรูปทรงฝัก และการติดเมล็ดส่วนปลายฝักน้อย จะให้ผลผลิตสูงในสภาพปลูกถั่ว สอดคล้องกับการศึกษาของ Nantachot et al. (2025) ที่ระบุว่าข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ลูกผสมที่มีผลผลิตสูงภายใต้อัตราการปลูกถั่ว จะมีเปอร์เซ็นต์การกระเทาะสูง และมีเปอร์เซ็นต์ต้นหัก เปอร์เซ็นต์ฝักเสีย คะแนนลักษณะทรงต้น และลักษณะทรงฝักน้อย

สรุปผลการศึกษา

1. จากการประเมินข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ลูกผสมจำนวน 115 คู่ผสม และพันธุ์การค้า 5 พันธุ์ โดยใช้ RSI ซึ่งพิจารณาลักษณะทางการเกษตร 12 ลักษณะ พบว่า สามารถคัดเลือกคู่ผสมที่มีศักยภาพสูงได้จำนวน 22 คู่ผสม และพันธุ์การค้า 2 พันธุ์ โดยมีค่า RSI อยู่ในช่วง 1,016–1,144 คะแนน พันธุ์ที่มีค่า RSI สูงสุด 3 อันดับแรก ได้แก่ NSX242048 (1,144) Pac789 (1,139) และ NSX242034 (1,097) ให้ผลผลิตระหว่าง 1,603–1,633 กิโลกรัมต่อไร่
2. คู่ผสม/พันธุ์ที่ผ่านการคัดเลือกมีผลผลิตเฉลี่ย 1,531 กิโลกรัมต่อไร่ สูงกว่าค่าเฉลี่ยของการทดลองทั้งหมด 141 กิโลกรัมต่อไร่ และให้ค่าการตอบสนองทางพันธุกรรมเท่ากับ 136 กิโลกรัมต่อไร่
3. พันธุ์ที่ได้รับการคัดเลือกยังมีลักษณะทางการเกษตรอื่น ๆ ที่เด่นชัด เช่น ช่วงห่างระหว่างวันออกไหมและวันออกดอก ตัวผู้ต่ำ เปอร์เซ็นต์ต้นล้ม และต้นหักต่ำ คะแนนการติดเมล็ดปลายฝัก รวมถึงคะแนนลักษณะต้น และลักษณะฝักต่ำ ซึ่งสะท้อนถึงความแข็งแรงของต้น ความสม่ำเสมอของฝัก และความเหมาะสมต่อการปลูกในสภาพความหนาแน่นสูง ดังนั้น
4. การใช้ RSI ภายใต้ข้อจำกัดที่กำหนดตามเป้าหมายการคัดเลือกสำหรับสภาพปลูกถั่ว สามารถช่วยคัดเลือกพันธุ์ข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ลูกผสมที่มีลักษณะพึงประสงค์ได้อย่างรอบด้าน ทั้งด้านผลผลิตและลักษณะทางการเกษตร ตอบสนองต่อสภาพแวดล้อมที่มีข้อจำกัดได้อย่างมีประสิทธิภาพ

ผลประโยชน์ทับซ้อน

ผู้เขียนขอประกาศว่าบทความนี้ไม่มีผลประโยชน์ทับซ้อน

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณ ศูนย์วิจัยพืชไร่นครสวรรค์ สถาบันพืชไร่และพืชทดแทนพลังงาน กรมวิชาการเกษตร และโครงการวิจัยและพัฒนาพันธุ์ข้าวโพดเลี้ยงสัตว์เพื่อรองรับการเปลี่ยนแปลงของสภาพแวดล้อม และสภาพการผลิต ตลอดจนเจ้าหน้าที่และผู้เกี่ยวข้องทุกท่านที่สนับสนุนการทำงานวิจัยให้สำเร็จด้วยดีเสมอมา

การมีส่วนร่วมในการเขียนบทความของผู้เขียน

ความคิดริเริ่ม (idea) และ สมมุติฐาน: ชัยวัฒน์ นันทโชติ การปฏิบัติการวิจัย: การทดลอง ชัยวัฒน์ นันทโชติ หัตยา วัฒนพฤกษ์ นันทิพย์ จินจันทร์ การจัดเก็บข้อมูล: บุศริน อิ่มอินทร์ กัลยรัตน์ แดงระย้า การวิเคราะห์ข้อมูล การแปลผล: ชัยวัฒน์ นันทโชติ ทศนีย์ บุตรทอง กชกร โรจน์คำสือ อมรรัตน์ ภูโต การวิพากษ์วิจารณ์ผล: ชัยวัฒน์ นันทโชติ การมีส่วนร่วมในการเขียน manuscript: ชัยวัฒน์ นันทโชติ.

เอกสารอ้างอิง

- Bänzinger, M., Edmeades, G. O., Beck, D., & Bellon, M. R. (2000). **Breeding for Drought and Nitrogen Stress Tolerance in Maize: From Theory to Practice.** International Maize and Wheat Improvement Center (CIMMYT).
- Bolaños, J., & Edmeades, G. O. (1996). The importance of the anthesis-silking interval in breeding for drought tolerance in tropical maize. *Field Crops Research*, 48(1), 65-80. [https://doi.org/10.1016/0378-4290\(96\)00036-6](https://doi.org/10.1016/0378-4290(96)00036-6).

- Borrás, L., & Otegui, M. E. (2001). Maize kernel weight response to post flowering source–sink ratio. *Crop Science*, 41(6), 1816-1822. <https://doi.org/10.2135/cropsci2001.1816>.
- Céron-Rojas, J. J., & Crossa, J. (2018). *Linear Selection Indices in Modern Plant Breeding*. Springer Nature.
- Cheng, F., Du, X., Liu, M., Jin, X., & Cui, Y. (2011). Lodging of summer maize and the effects on grain yield. *Journal of Maize Sciences*, 19(1), 105–108. <http://www.ymkx.com.cn/jms/article/abstract/20110123?st=search>.
- Department of Agriculture. (2025). *High-profit Maize Cultivation after Rice*. Retrieved from: <https://www.doa.go.th/fcri/wp-content/uploads/2024/01/2-KMข้าวโพดหลังนา62-สพพ.2.pdf>. (in Thai).
- Department of Agriculture. (2023). *Guidelines for Preparing Documentation for the Submission of Certified and Recommended Varieties*. Department of Agriculture. (in Thai).
- Dong, Y., Feng, Z., Li, T., Farhan, A., Tian, X., Lao, Y., Duan, Y., Si, L., Zhang, X., Xue, J., & Xu, S. (2022). Performance and stability of yield in response to plant density, year and location in maize hybrids of Northwest China. *Technology in Agronomy*, 2(1), 3. <https://doi.org/10.48130/TIA-2022-0003>.
- Duvick, D. N., & Cassman, K. G. (1999). Post–green revolution trends in yield potential of temperate maize in the North-Central United States. *Crop Science*, 39(6), 1622-1630. <https://doi.org/10.2135/cropsci1999.3961622x>.
- Edmeades, G. O., & Daynard, T. B. (1979). The development of plant-to-plant variability in maize at different planting densities. *Canadian Journal of Plant Science*, 59(3), 561-576. <https://doi.org/10.4141/cjps79-095>.
- Hazel, L. N. (1943). The genetic basis for constructing selection indexes. *Genetics*, 28(6), 476-490.
- Hammer, G. L., Dong, Z., McLean, G., Doherty, A., Messina, C., Schussler, J., Zinselmeier, C., Paszkiewicz, S., & Cooper, M. (2009). Can changes in canopy and/or root system architecture explain historical maize yield trends in the US Corn Belt?. *Crop Science*, 49(1), 299-312. <https://doi.org/10.2135/cropsci2008.03.0152>.
- Liu, S., Song, F., Liu, F., Zhu, X., & Xu, H. (2012). Effect of planting density on root lodging resistance and its relationship to nodal root growth characteristics in maize (*Zea mays* L.). *Journal of Agricultural Science*, 4(12), 182–189. <http://doi.org/10.5539/jas.v4n12p182>.
- Maddonni, G. A., & Otegui, M. E. (2006). Intra-specific competition in maize: Contribution of extreme plant hierarchies to grain yield, grain yield components and kernel composition. *Field Crops Research*, 97(2-3), 155-166.
- Nantachot, C., Thaitad, S., & Kerdsri, C. (2025). Selection of maize hybrids for high yield and tolerance to high plant density using Smith’s selection index. In *Proceedings of the 41st National Corn and Sorghum Conference*, pp. 159-165. Department of Agriculture, Thailand. (in Thai).
- Mastrodomenico, A. T., Haegele, J. W., Seebauer, J. R., & Below, F. E. (2018). Yield stability differs in commercial maize hybrids in response to changes in plant density, nitrogen fertility, and environment. *Crop Science*, 58(1), 230-241.
- Office of Agricultural Economics. (2024). *Production and Marketing Situation*. Retrieved from: <https://www.opsmoac.go.th/chumphon-dwl-files-471091791226>. (in Thai).
- Reuters. (2025). *Thailand will Cut Tariffs on U.S. Corn Imports, Minister Says*. Retrieved from <https://www.reuters.com/markets/commodities/thailand-will-cut-tariffs-us-corn-imports-minister-says-2025-04-11/>.
- Rosielle, A. A., & Frey, K. J. (1975). Application of Restricted Selection Indices for Grain Yield Improvement in Oats. *Crop Science*, 15(4), 544-547. <https://doi.org/10.2135/cropsci1975.0011183X001500040028x>.
- Shao, H., Xia, T., Wu, D., Chen, F., & Mi, G. (2018). Root growth and root system architecture of field-grown maize in response to high planting density. *Plant and Soil*, 430(1/2), 395-411.
- Singamsetti, A., Zaidi, P. H., Seetharam, K., Vinayan, M. T., Olivoto, T., Mahato, A., Madankar, K., Kumar, M., & Shikha, K. (2023). Genetic gains in tropical maize hybrids across moisture regimes with multi-trait-based index selection. *Frontiers in Plant Science*, 14(1), 1147424.
- Smith, H. F. (1936). A discriminant function for plant selection. *Annals of Eugenics*, 7(3), 240-250.
- Thai Feed Mill Association. (2024). *Feed Business Magazine, Issue 216*. Retrieved from: <https://www.thaifeedmill.org/ipages/flipbook/27>. (in Thai).
- Thiraphon, R. (1996). *Corn*. Kasetsart University. (in Thai).
- Thiraphon, R. (2025). *Corn On-farm Research*. Kasetsart University. (in Thai).
- Zhao, J. R., Wang, R. H. (2009). Factors promoting the steady increase of American maize production and their enlightenments for China. *Journal of Maize Sciences*, 17(5), 156–159. <http://www.ymkx.com.cn/jms/article/abstract/20090538>.

การรับรู้ภาพลักษณ์ตราสินค้าที่ส่งผลต่อการตัดสินใจซื้อแบรนด์ผักปลอดสารในซูเปอร์มาร์เก็ตของผู้บริโภคใน เขตกรุงเทพมหานคร

The Influence of Brand Image Perception on Consumer Purchase Decisions for Organic Vegetables in Supermarkets in Bangkok

นภสร ม่วงทอง¹ และพัชรา เอี่ยมกิจการ สบายใจ^{1*}

Naphasorn Mounthong¹ and Phatchara Eamkijarn Sabaijai^{1*}

Received date: 31 ต.ค. 68 Revised date: 17 ก.พ. 69 Accepted date: 18 ก.พ. 69

DOI: <https://doi.org/10.55003/kmaj.2026.269072>

บทคัดย่อ

การวิจัยครั้งนี้มีมุ่งนำเสนอผลการศึกษเกี่ยวกับการรับรู้ภาพลักษณ์ตราสินค้าที่เกี่ยวข้องกับการตัดสินใจซื้อแบรนด์ผักปลอดสารในซูเปอร์มาร์เก็ตของผู้บริโภคในเขตกรุงเทพมหานคร เป็นการวิจัยเชิงปริมาณ เก็บรวบรวมข้อมูลจากผู้บริโภคผักปลอดสารในซูเปอร์มาร์เก็ต จำนวน 400 คน วิเคราะห์ข้อมูลด้วยสถิติเชิงพรรณนา ได้แก่ ความถี่ ร้อยละ ค่าเฉลี่ย และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน ผลการศึกษาพบว่าผู้ตอบแบบสอบถามส่วนใหญ่เป็นเพศชาย อายุ 29–43 ปี มีสถานภาพสมรสและมีบุตร จบการศึกษาระดับปริญญาตรี ทำงานบริษัทเอกชน มีรายได้เฉลี่ยต่อเดือน 20,000–40,000 บาท และมีประสบการณ์ในการเลือกซื้อผักปลอดสารจากซูเปอร์มาร์เก็ตอย่างสม่ำเสมอ ผู้บริโภคมีการรับรู้ภาพลักษณ์ตราสินค้าแบรนด์ผักปลอดสารในซูเปอร์มาร์เก็ตโดยรวมอยู่ในระดับมากที่สุด เมื่อพิจารณาเป็นรายด้าน พบว่าด้านวัฒนธรรมมีค่าเฉลี่ยสูงสุด รองลงมาคือด้านบุคลิกภาพ ด้านคุณค่า ด้านคุณสมบัติ ด้านผู้ใช้ และด้านคุณสมบัติ ตามลำดับ ในด้านการตัดสินใจซื้อแบรนด์ผักปลอดสารในซูเปอร์มาร์เก็ต พบว่าผู้บริโภคมีระดับการตัดสินใจซื้อโดยรวมอยู่ในระดับมากที่สุดเช่นเดียวกัน ซึ่งทุกขั้นตอนของกระบวนการตัดสินใจซื้อ ได้แก่ การรับรู้ถึงความต้องการ การแสวงหาข้อมูล การประเมินทางเลือก การตัดสินใจซื้อ และพฤติกรรมการหลังการซื้อ มีค่าเฉลี่ยอยู่ในระดับมากที่สุด และนอกจากนี้ ผลการวิเคราะห์ความถดถอยพหุคูณพบว่า การรับรู้ภาพลักษณ์ตราสินค้าโดยรวมมีอิทธิพลต่อการตัดสินใจซื้อแบรนด์ผักปลอดสารในซูเปอร์มาร์เก็ตของผู้บริโภคในเขตกรุงเทพมหานคร ตัวแปรด้านผู้ใช้ ด้านวัฒนธรรม ด้านคุณสมบัติ ด้านบุคลิกภาพ ด้านคุณค่า และด้านคุณสมบัติ สามารถร่วมกันอธิบายการตัดสินใจซื้อได้ในระดับที่มีนัยสำคัญทางสถิติ

คำสำคัญ: ภาพลักษณ์ตราสินค้า การตัดสินใจซื้อ ผักปลอดสาร แบรนด์

Abstract

The purpose of this study is to report the findings on how Bangkok customers perceive brand image in relation to their shopping decisions for organic vegetable brands in supermarkets. This is a quantitative research study in which data were collected from 400 consumers. The study found that the majority of consumers were male, aged 29–43 years, married with children, held a bachelor's degree, worked in private companies, and earned a monthly income of 20,000–40,000 THB. This sample group had experience regularly purchasing organic vegetables from supermarkets. The data were analyzed using descriptive statistics such as frequency, percentage, mean, and standard deviation. The findings revealed that consumers had the most positive overall perceptions of organic vegetable brand images in supermarkets. When considering individual characteristics, the cultural factor had the highest mean, followed by personality, value, benefits, user, and attributes, respectively. Consumers made the most purchase decisions for organic vegetable brands in supermarkets. All stages of the purchasing decision process had the highest mean ratings, indicating that brand image is critical to customers' decisions to buy organic veggies in Bangkok. Furthermore, multiple regression analysis revealed that overall brand image perception significantly influenced consumers' purchasing decisions for organic vegetable brands in supermarkets in Bangkok. The variables related to user, culture, benefits, personality, features, and value collectively explained these purchasing decisions at a statistically significant level.

Keywords: brand image, purchase decision, organic vegetables, brand

¹ ภาควิชาวิศวกรรมสื่อสารและการพัฒนาการเกษตร คณะเทคโนโลยีการเกษตร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง กรุงเทพฯ 10520

¹ Department of Communication Innovation and Agricultural Development, School of Agricultural Technology, King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang, Bangkok 10520

* Corresponding author: 67046023@kmitl.ac.th

คำนำ

ในยุคที่ผู้บริโภคให้ความสำคัญต่อสุขภาพและสิ่งแวดล้อมมากขึ้น ผักปลอดสารได้กลายเป็นที่นิยมอย่างต่อเนื่องจนสามารถครองความสนใจในตลาดหลัก ส่งผลให้ภาคธุรกิจนี้มีการขยายตัวอย่างรวดเร็ว โดยมีซูเปอร์มาร์เก็ตทำหน้าที่เป็นช่องทางจำหน่ายสำคัญของตราสินค้าที่ผ่านการรับรองมาตรฐาน ทั้งนี้ ความเข้มข้นของการแข่งขันภายในตลาดดังกล่าวได้ผลักดันให้ผู้ประกอบการจำเป็นต้องปรับใช้กลยุทธ์ทางการตลาดอย่างเป็นระบบ เพื่อสร้างและเสริมความเชื่อมั่นที่มั่นคงแก่ผู้บริโภค โดยเฉพาะในกรุงเทพมหานครซึ่งเป็นตลาดขนาดใหญ่และมีพฤติกรรมผู้บริโภคที่หลากหลาย ขณะเดียวกัน ความความวิตกกังวลเกี่ยวกับสารเคมีตกค้างในผักได้กลายเป็นปัจจัยสำคัญที่ส่งผลต่อการตัดสินใจซื้อของผู้บริโภค ส่งผลให้ความต้องการบริโภคผักปลอดสารพิษเพิ่มสูงขึ้นอย่างชัดเจนและต่อเนื่อง ดังนั้นกลุ่มผู้บริโภคที่มีรายได้สูงมักมีพฤติกรรมการใช้จ่ายมากกว่าโดยมักไม่พิจารณาปัจจัยด้านราคาอย่างละเอียดหากสินค้านั้นถูกใจก็พร้อมที่จะตัดสินใจซื้อทันที (Witchachutakul, 2015) นอกจากนี้องค์การอาหารและเกษตรแห่งสหประชาชาติระบุว่า ความเชื่อมั่นด้านความปลอดภัยของอาหารสดเป็นปัจจัยสำคัญที่มีอิทธิพลต่อการตัดสินใจเลือกซื้อของผู้บริโภค โดยเฉพาะสินค้าเกษตรที่เกี่ยวข้องโดยตรงกับสุขภาพ ผู้บริโภคมักใช้ข้อมูลการรับรองและภาพลักษณ์ของแหล่งจำหน่ายเป็นเกณฑ์ในการตัดสินใจ (Food and Agriculture Organization of the United Nations, 2025)

ในบริบทที่ผู้บริโภคใส่ใจสุขภาพและสิ่งแวดล้อมมากขึ้นการรับรู้ภาพลักษณ์ของตราสินค้าจึงกลายเป็นปัจจัยสำคัญที่ส่งผลต่อการตัดสินใจเลือกซื้อผักปลอดสาร และภาพลักษณ์ดังกล่าวถูกสร้างขึ้นผ่านการสื่อสารการตลาดแบบบูรณาการ (IMC) ที่มีการส่งสารอย่างสอดคล้องและต่อเนื่องในทุกช่องทาง (Kotler and Keller, 2016; Schivinski and Dabrowski, 2016) โดยภาพลักษณ์ตราสินค้า (Brand Image) หมายถึงการสร้างและถ่ายทอดความรู้สึกหรือการรับรู้ของผู้บริโภคที่มีต่อแบรนด์หรือผลิตภัณฑ์ มีอิทธิพลต่อการตัดสินใจซื้อและการสร้างความไว้วางใจในคุณภาพของสินค้า ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของ Srinien, S. (2018) ที่สนับสนุนแนวคิดการรับรู้ภาพลักษณ์ตราสินค้าในผลิตภัณฑ์ปลอดสาร ซึ่งประกอบด้วยการรับรู้ด้านสุขภาพ สิ่งแวดล้อม ความน่าเชื่อถือของฉลาก และความคุ้มค่าของราคา ซึ่งมีอิทธิพลอย่างมีนัยสำคัญต่อการตัดสินใจซื้อและความเต็มใจที่จะจ่ายของผู้บริโภค ดังนั้น การพัฒนาแบรนด์ผักปลอดสารให้มีภาพลักษณ์ที่ชัดเจน น่าเชื่อถือ และสื่อสารคุณค่าเหล่านี้อย่างมีประสิทธิภาพ จึงเป็นกลยุทธ์สำคัญในการกระตุ้นการตัดสินใจซื้อของผู้บริโภคในเขตกรุงเทพมหานครในเชิงวิชาการและเชิงนโยบาย การสร้างภาพลักษณ์ที่ชัดเจนและน่าเชื่อถือจึงช่วยให้ผู้บริโภคตัดสินใจเลือกซื้อจากแบรนด์ได้อย่างมั่นใจ ซึ่งทั่วไปภาพลักษณ์ของแบรนด์ผักปลอดสารในซูเปอร์มาร์เก็ตมักถูกสื่อออกมาในลักษณะของความบริสุทธิ์ ความปลอดภัย และปลอดสารเคมี

การสร้างภาพลักษณ์ที่ติดแบรนด์ผักปลอดสารในซูเปอร์มาร์เก็ตถือเป็นแรงผลักดันสำคัญที่นำไปสู่กระบวนการตัดสินใจซื้อของผู้บริโภค ประกอบด้วยขั้นตอนต่าง ๆ ได้แก่ การถูกกระตุ้นให้เกิดความต้องการหรือการตระหนักถึงปัญหา (Need Arousal หรือ Problem Recognition) การค้นหาข้อมูล (Information Search) การพิจารณาและเปรียบเทียบทางเลือก (Evaluation of Alternatives) การตัดสินใจเลือกซื้อ (Purchase Decision) และพฤติกรรมภายหลังการซื้อ (Post-Purchase Behavior) ดังนั้นภาพลักษณ์จึงเป็นองค์ประกอบที่ธุรกิจต้องให้ความสำคัญอย่างยิ่ง เมื่อผู้บริโภคเกิดความเชื่อมั่นต่อภาพลักษณ์ของสินค้าและแหล่งจำหน่ายแล้ว จะนำไปสู่การตัดสินใจซื้อซ้ำและการบอกต่อ เป็นกลไกสำคัญที่ช่วยเสริมสร้างความยั่งยืนให้แก่ธุรกิจผักปลอดสาร (Ananchaitawat et al., 2025)

ด้วยเหตุผลจากความสำคัญดังกล่าวผู้วิจัยจึงมุ่งศึกษาการรับรู้ภาพลักษณ์ตราสินค้าที่ส่งผลต่อการตัดสินใจซื้อแบรนด์ผักปลอดสารในซูเปอร์มาร์เก็ตของผู้บริโภคในเขตกรุงเทพมหานครเพื่อทำความเข้าใจพฤติกรรมผู้บริโภคที่หันมาใส่ใจสุขภาพและความปลอดภัยด้านอาหารมากขึ้นตลอดจนวิเคราะห์แนวทางการสื่อสารภาพลักษณ์ตราสินค้าของซูเปอร์มาร์เก็ตที่ส่งผลต่อการตัดสินใจซื้อแบรนด์ผักปลอดสาร ผลการศึกษาค้นคว้าครั้งนี้จะเป็นแนวทางในการวางกลยุทธ์การสื่อสารตราสินค้าผักปลอดสารให้มีประสิทธิภาพและตอบสนองต่อความต้องการของผู้บริโภคในเขตกรุงเทพมหานคร ทั้งนี้ ข้อมูลที่ได้จากการศึกษาจะช่วยสะท้อนภาพรวมของการรับรู้และพฤติกรรมการเลือกซื้อผักปลอดสารในบริบทของตลาดซูเปอร์มาร์เก็ต ซึ่งสามารถนำไปใช้เป็นข้อมูลพื้นฐานในการพัฒนาการดำเนินงานและแนวทางทางการสื่อสารการตลาดให้สอดคล้องกับความต้องการของผู้บริโภคได้อย่างเหมาะสม

วิธีการศึกษา

การวิจัยนี้เป็นเชิงปริมาณเป็นการศึกษาการรับรู้ภาพลักษณ์ตราสินค้าที่ส่งผลต่อการตัดสินใจซื้อแบรนด์ผักปลอดสารในซูเปอร์มาร์เก็ตของผู้บริโภคในกรุงเทพมหานคร ผู้วิจัยได้ทำการศึกษาตามขั้นตอนดังต่อไปนี้

1. ศึกษาเอกสารต่างๆ และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง ในการดำเนินการวิจัยครั้งนี้ผู้วิจัยได้อ้างอิงและนำแนวคิดตลอดจนทฤษฎีที่เกี่ยวข้องหลายประการมาใช้เป็นกรอบในการกำหนดทิศทางการศึกษาประกอบด้วย แนวคิดเกี่ยวกับผักปลอดสาร แนวคิดด้าน

การสื่อสารทางการตลาดแบบบูรณาการ แนวคิดเกี่ยวกับภาพลักษณ์ตราสินค้าและแบรนด์ผักปลอดสารที่จำหน่ายในซูเปอร์มาร์เก็ต ตลอดจนแนวคิดที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการตัดสินใจซื้อ การทบทวนวรรณกรรมดังกล่าวถูกนำมาใช้เป็นฐานในการสร้างกรอบแนวคิดการวิจัยผู้วิจัยได้สังเคราะห์แนวคิดจากทฤษฎีภาพลักษณ์ตราสินค้าของ Keller (2013) อธิบายว่าภาพลักษณ์แบรนด์ประกอบด้วย ด้านวัฒนธรรม ด้านบุคลิกภาพ ด้านคุณค่า ด้านคุณประโยชน์ ด้านผู้ใช้ และด้านคุณสมบัติ เกิดจากการรับรู้ ความเชื่อ และประสบการณ์ของผู้บริโภคควบคู่กับงานวิจัยด้านพฤติกรรมผู้บริโภคอาหารอินทรีย์ที่ชี้ให้เห็นว่าการรับรู้ การประเมินทางเลือก พฤติกรรมหลังการซื้อ ขั้นตอนการตัดสินใจซื้อ และการแสวงหาข้อมูล มีอิทธิพลโดยตรงต่อการตัดสินใจซื้อ (Rana and Paul, 2020) นอกจากนี้ยังมีการพิจารณางานวิจัยที่เกี่ยวข้องของ Srisnieng and Kongsataya (2023) ที่มุ่งศึกษาปัจจัยมีผลต่อการตัดสินใจเลือกซื้อผักสดอินทรีย์ในเขตกรุงเทพมหานคร ผลการศึกษาพบว่ากลุ่มผู้บริโภคที่เป็นคนรุ่นใหม่มีรายได้ค่อนข้างสูงและมีสมาชิกภายในครัวเรือนที่ประสบปัญหาด้านสุขภาพรวมถึงผู้ที่มีความรู้และความเข้าใจเกี่ยวกับเกษตรอินทรีย์

2. กำหนดขนาดของประชากรและกลุ่มตัวอย่าง ประชากรที่ใช้ในการวิจัยครั้งนี้คือผู้บริโภคที่อาศัยอยู่ในเขตกรุงเทพมหานคร จำนวนทั้งสิ้น 5,494,932 คน โดยไม่สามารถระบุจำนวนที่แน่ชัดของผู้บริโภคที่ตัดสินใจเลือกซื้อผักปลอดสารในซูเปอร์มาร์เก็ตได้ ดังนั้น ผู้วิจัยจึงอาศัยสูตรการคำนวณขนาดกลุ่มตัวอย่างของ Cochran ที่เหมาะสมกับกรณีไม่ทราบขนาดประชากรที่แท้จริง ซึ่งกำหนดระดับความเชื่อมั่นที่ 95% และกำหนดค่าความคลาดเคลื่อนที่ 5% ผลจากการคำนวณทำให้ได้จำนวนกลุ่มตัวอย่าง 385 คน และได้สำรองเผื่อความคลาดเคลื่อนเพิ่มอีก 15 คน รวมเป็นกลุ่มตัวอย่างทั้งสิ้น 400 คน ใช้วิธีการสุ่มตัวอย่างแบบหลายขั้นตอน (Multi-stage Sampling) โดยในขั้นแรกเป็นการสุ่มแบบกำหนดโควตาตามจำนวนเขตในการแบ่งเขตการปกครองของกรุงเทพมหานครที่แบ่งออกเป็น 6 กลุ่มพื้นที่ (Office of the Permanent Secretary for the Bangkok Metropolitan Administration, 2009) ได้แก่ กลุ่มกรุงเทพมหานครชั้นใน จำนวน 9 เขต กำหนดกลุ่มตัวอย่างจำนวน 72 คน กลุ่มกรุงเทพมหานครฝั่งใต้ จำนวน 10 เขต กำหนดกลุ่มตัวอย่างจำนวน 80 คน กลุ่มกรุงเทพมหานครฝั่งเหนือ จำนวน 7 เขต กำหนดกลุ่มตัวอย่างจำนวน 56 คน กลุ่มกรุงเทพมหานครฝั่งตะวันออก จำนวน 9 เขต กำหนดกลุ่มตัวอย่างจำนวน 72 คน กลุ่มกรุงเทพมหานครฝั่งตะวันออกเฉียงเหนือ จำนวน 8 เขต กำหนดกลุ่มตัวอย่างจำนวน 64 คน และกลุ่มกรุงเทพมหานครฝั่งตะวันตก จำนวน 7 เขต กำหนดกลุ่มตัวอย่างจำนวน 56 คน รวมจำนวนเขตทั้งสิ้น 50 เขต และจำนวนกลุ่มตัวอย่างรวมทั้งสิ้น 400 คน และในขั้นที่สองเป็นการสุ่มเลือกผู้บริโภคที่เข้าใช้บริการภายในซูเปอร์มาร์เก็ตดังกล่าวตามเกณฑ์คุณสมบัติที่กำหนดไว้ ได้แก่ บุคคลที่เคยมีประสบการณ์ในการซื้อหรือบริโภคผักปลอดสารแบรนด์ในซูเปอร์มาร์เก็ตอย่างน้อยเดือนละ 1 ครั้ง และอาศัยอยู่ในกรุงเทพมหานคร

3. เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัยครั้งนี้เป็นแบบสอบถามสำหรับการเก็บรวบรวมข้อมูลแบ่งออกเป็น 3 ตอน ได้แก่ ตอนที่ 1 เกี่ยวกับข้อมูลด้านประชากรศาสตร์ ตอนที่ 2 เกี่ยวกับการรับรู้ภาพลักษณ์ตราสินค้าของแบรนด์ผักปลอดสารในซูเปอร์มาร์เก็ต และ ตอนที่ 3 เกี่ยวกับการตัดสินใจซื้อแบรนด์ผักปลอดสารในซูเปอร์มาร์เก็ต โดยตรวจสอบคุณภาพความถูกต้องของเนื้อหาในแบบสอบถามผ่านการพิจารณาจากผู้เชี่ยวชาญ จำนวน 3 ท่าน ที่มีการประเมินค่าดัชนีความสอดคล้อง (IOC: Index of Item-Objective Congruence) ของข้อคำถามจำนวน 40 ข้อ พบว่า ข้อคำถามที่มีค่าดัชนีความสอดคล้องตั้งแต่ 0.50 ขึ้นไป ซึ่งถือว่าผ่านเกณฑ์การพิจารณา มีจำนวน 32 ข้อ และข้อคำถามที่ไม่ผ่านเกณฑ์มีจำนวน 8 ข้อ ทั้งนี้ผู้วิจัยได้ดำเนินการปรับปรุงและแก้ไขข้อคำถามที่ไม่ผ่านเกณฑ์ดังกล่าวตามข้อเสนอแนะของผู้เชี่ยวชาญเพื่อให้มีความถูกต้องและสมบูรณ์ และตรวจสอบความเที่ยงของแบบสอบถามโดยการเก็บรวบรวมข้อมูลจากกลุ่มใกล้เคียงกลุ่มตัวอย่างได้ค่าสัมประสิทธิ์แอลฟาของครอนบาค (Cronbach's Alpha) เท่ากับ 0.72 ก่อนที่จะปรับปรุงและพัฒนาเป็นแบบสอบถามฉบับสมบูรณ์ที่นำไปใช้เก็บรวบรวมข้อมูลจริง ซึ่งตัวแปรที่ใช้ในการวิจัยแบ่งออกเป็น 2 ประเภท ได้แก่ (1) ตัวแปรอิสระคือ การรับรู้ภาพลักษณ์ตราสินค้าแบรนด์ผักปลอดสารในซูเปอร์มาร์เก็ต ประกอบด้วย 6 มิติ ได้แก่ ด้านวัฒนธรรม ด้านบุคลิกภาพ ด้านคุณค่า ด้านคุณประโยชน์ ด้านผู้ใช้ และด้านคุณสมบัติ และ (2) ตัวแปรตาม คือ การตัดสินใจซื้อแบรนด์ผักปลอดสารในซูเปอร์มาร์เก็ต ได้แก่ การรับรู้ถึงความต้องการ การแสวงหาข้อมูล การประเมินทางเลือก การตัดสินใจซื้อ และพฤติกรรมหลังการซื้อ โดยทุกตัวแปรได้ใช้แบบสอบถามมาตราประมาณค่า 5 ระดับเช่นเดียวกัน

4. การเก็บรวบรวมข้อมูล ในการวิจัยครั้งนี้ใช้วิธีการสุ่มตัวอย่างแบบหลายขั้นตอน (Multi-stage Sampling) เริ่มจากการแบ่งพื้นที่การเก็บข้อมูลตามเขตการปกครองของกรุงเทพมหานครออกเป็น 6 กลุ่มพื้นที่ จากนั้นกำหนดจำนวนกลุ่มตัวอย่างในแต่ละพื้นที่ตามสัดส่วนเพื่อให้การกระจายตัวของกลุ่มตัวอย่างมีความเหมาะสม และจึงสุ่มเลือกผู้บริโภคที่เข้าใช้บริการในซูเปอร์มาร์เก็ตตามคุณสมบัติที่กำหนดไว้ และภายหลังการเก็บรวบรวมข้อมูลจะทำการตรวจสอบความสมบูรณ์ของแบบสอบถามที่มีการตอบคำถามครบถ้วนสมบูรณ์

5. การวิเคราะห์และสรุปผลทางการวิจัยด้วยโปรแกรมสำเร็จรูป โดยใช้สถิติค่าร้อยละ (Percentage) ค่าเฉลี่ย (Mean) ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard Deviation) และสถิติถดถอยพหุคูณ (Multiple Regression)

ผลการศึกษาและวิจารณ์

ส่วนที่ 1 ข้อมูลลักษณะทางประชากรศาสตร์

ผู้ตอบแบบสอบถามมากที่สุด ได้แก่ เพศชาย จำนวน 206 คน (ร้อยละ 51.50) มีค่าเฉลี่ยช่วงอายุ 29-43 ปี (Generation Y) จำนวน 232 คน (ร้อยละ 58.00) สถานภาพสมรสและมีบุตร จำนวน 176 คน (ร้อยละ 44.00) มีระดับการศึกษาปริญญาตรี จำนวน 270 คน (ร้อยละ 67.50) โดยส่วนใหญ่ประกอบอาชีพพนักงานบริษัทเอกชน จำนวน 151 คน (ร้อยละ 37.8) และมีรายได้เฉลี่ยต่อเดือน 20,000-40,000 บาท จำนวน 156 คน (ร้อยละ 39.00) จากการศึกษาข้อมูลลักษณะทางประชากรศาสตร์เหล่านี้สะท้อนให้เห็นถึงกลุ่มผู้บริโภคหลักของแบรนด์ผักปลอดสารในซูเปอร์มาร์เก็ต ส่วนใหญ่อยู่ในวัยทำงาน มีระดับการศึกษาค่อนข้างสูง และมีรายได้ปานกลางถึงค่อนข้างดี สอดคล้องกับลักษณะทางประชากรศาสตร์ของผู้บริโภคผักปลอดสารพิษตามผลการศึกษาของ Khongwarin and Ruesue (2020) ที่ได้ทำการวิจัยเกี่ยวกับการตัดสินใจบริโภคผักปลอดสารพิษของผู้บริโภคในเขตอำเภอเมืองสุราษฎร์ธานี จังหวัดสุราษฎร์ธานี ผลการศึกษาพบว่า กลุ่มผู้บริโภคส่วนใหญ่เป็นเพศหญิง อยู่ในช่วงอายุระหว่าง 31-40 ปี มีสถานภาพสมรส สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาตรี ประกอบอาชีพธุรกิจส่วนตัวและมีรายได้เฉลี่ยต่อเดือนตั้งแต่ 21,001 บาทขึ้นไป

ส่วนที่ 2 การรับรู้ภาพลักษณ์ตราสินค้าที่เกี่ยวข้องกับแบรนด์ผักปลอดสารในซูเปอร์มาร์เก็ต ผลจากการศึกษาพบข้อมูลในด้านต่าง ๆ ดังต่อไปนี้

Table 1 การรับรู้ภาพลักษณ์ตราสินค้าที่เกี่ยวข้องกับแบรนด์ผักปลอดสารในซูเปอร์มาร์เก็ต พบว่าผู้บริโภคผักปลอดสารในซูเปอร์มาร์เก็ตในกรุงเทพมหานครให้ความสำคัญด้านภาพลักษณ์โดยรวมอยู่ในระดับมากที่สุด โดยมีค่าเฉลี่ย 4.52 (S.D. = 0.165) เมื่อพิจารณาแต่ละด้านพบว่า ด้านวัฒนธรรมมีค่าเฉลี่ย 4.55 (S.D. = 0.229) อยู่ในระดับมากที่สุด รองลงมาคือ ด้านบุคลิกภาพมีค่าเฉลี่ย 4.53 (S.D. = 0.246) ด้านคุณค่ามีค่าเฉลี่ย 4.53 (S.D. = 0.229) ด้านคุณประโยชน์มีค่าเฉลี่ย 4.51 (S.D. = 0.219) ด้านผู้ใช้มีค่าเฉลี่ย 4.51 (S.D. = 0.258) และด้านคุณสมบัติมีค่าเฉลี่ย 4.50 (S.D. = 0.238) ตามลำดับ จึงสรุปได้ว่าผู้บริโภคในกรุงเทพมหานครมีการรับรู้ภาพลักษณ์ตราสินค้าของแบรนด์ผักปลอดสารที่จำหน่ายในซูเปอร์มาร์เก็ตอยู่ในระดับสูงสุดในทุกมิติ โดยเฉพาะในด้านวัฒนธรรม บุคลิกภาพ และคุณค่า ถือเป็นปัจจัยสำคัญที่ช่วยสร้างความแตกต่างและก่อให้เกิดความภักดีต่อแบรนด์ในตลาดอาหารเพื่อสุขภาพที่มีการแข่งขันอย่างเข้มข้น ทั้งนี้ผลการศึกษาดังกล่าวสอดคล้องกับงานวิจัยของ Jongkrajak (2018) ที่ได้ทำการศึกษาประเด็นเกี่ยวกับส่วนประสมทางการตลาด คุณค่าของตราสินค้า และทัศนคติที่มีอิทธิพลต่อการตัดสินใจซื้อผักปลอดสารพิษของผู้บริโภค พบว่าปัจจัยด้านคุณค่าของตราสินค้าเป็นตัวแปรที่ส่งผลต่อการตัดสินใจซื้อผักปลอดสารมากที่สุด ขณะเดียวกัน Srinieang (2018) ระบุว่าความน่าเชื่อถือของฉลาก และความคุ้มค่าของราคา มีอิทธิพลอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติต่อการตัดสินใจซื้อและความเต็มใจที่จะจ่ายของผู้บริโภคในซูเปอร์มาร์เก็ต สะท้อนคุณค่าทางวัฒนธรรมและความรับผิดชอบต่อสุขภาพของผู้บริโภค จะช่วยเสริมสร้างความแตกต่างทางการแข่งขันและเพิ่มโอกาสในการตัดสินใจซื้อซ้ำ สอดคล้องกับผลการวิจัยครั้งนี้ที่พบว่าผู้บริโภคให้ความสำคัญต่อภาพลักษณ์แบรนด์ผักปลอดสารในทุกมิติในระดับสูงสุด

Table 1 Brand image perception related to organic vegetables in supermarkets

Ranking	Items	Statistical Value		Meaning
		$\bar{X}$	S.D.	
1	Perception of Features	4.50	0.238	highest
2	Perception of Benefits	4.51	0.219	highest
3	Perception of Value	4.53	0.229	highest
4	Perception of Personality	4.53	0.246	highest
5	Perception of Culture	4.55	0.229	highest
6	Perception of Users	4.51	0.258	highest
Total Average		4.52	0.165	highest

4.21 - 5.00 = highest; 3.41 - 4.20 = high; 2.61 - 3.40 = moderate; 1.81 - 2.60 = low; 1.00 - 1.80 = lowest.

ส่วนที่ 3 การตัดสินใจซื้อแบรนด์ผักปลอดสารในซูเปอร์มาร์เก็ต มีดังนี้

Table 2 การตัดสินใจซื้อแบรนด์ผักปลอดสารในซูเปอร์มาร์เก็ต พบว่าภาพรวมมีค่าเฉลี่ยโดยรวมอยู่ในระดับมากที่สุด โดยมีค่าเฉลี่ย 4.48 (S.D. = 0.160) เมื่อพิจารณาแต่ละด้านพบว่า ด้านการรับรู้ถึงความต้องการมีค่าเฉลี่ย 4.51 (S.D. = 0.225) รองลงมาคือ การประเมินทางเลือกมีค่าเฉลี่ย 4.50 (S.D. = 0.251) พฤติกรรมหลังการซื้อมีค่าเฉลี่ย 4.48 (S.D. = 0.250) การ

ตัดสินใจซื้อมีค่าเฉลี่ย 4.45 (S.D. = 0.241) และการแสวงหาข้อมูลมีค่าเฉลี่ย 4.43 (S.D. = 0.240) สรุปได้ว่าผู้บริโภคมีความตระหนักรู้และตอบสนองต่อความต้องการของตนเองในการเลือกซื้อผักปลอดสารในซูเปอร์มาร์เก็ตอย่างชัดเจน โดยกระบวนการในการตัดสินใจแต่ละขั้นตอนอยู่ในระดับมากที่สุด สอดคล้องกับงานวิจัย Chuenwattanapong (2019) ที่ได้ศึกษา ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อทัศนคติและพฤติกรรมการซื้อผลิตภัณฑ์อาหารออร์แกนิกของผู้บริโภคในกรุงเทพมหานคร พบว่า ความรู้เกี่ยวกับผลิตภัณฑ์อาหารออร์แกนิกมีผลต่อความตั้งใจซื้อและพฤติกรรมการซื้อผลิตภัณฑ์อาหารออร์แกนิก จึงสะท้อนให้เห็นว่าผู้บริโภคที่มีความตระหนักถึงความสำคัญของสุขภาพและความปลอดภัยของอาหารจึงให้ความสำคัญต่อการรับรู้ความต้องการที่นำไปสู่การเริ่มค้นหาข้อมูลเกี่ยวกับแหล่งที่มา มาตรฐานการรับรอง คุณภาพสินค้า และภาพลักษณ์ของอาหารสุขภาพ และนำข้อมูลมาประเมินทางเลือก (Evaluation of Alternatives) โดยผู้บริโภคจะนำข้อมูลที่ได้รับมาเปรียบเทียบระหว่างแบรนด์แต่ละแบรนด์ก่อนการตัดสินใจซื้อ ในส่วนด้านการตัดสินใจซื้อ (Purchase Decision) ผู้บริโภคจะเลือกซื้อแบรนด์ผักปลอดสารที่สามารถตอบสนองความต้องการด้านสุขภาพ ความปลอดภัย และความเชื่อมั่นในคุณภาพสินค้าได้ดีที่สุด ค่าเฉลี่ยที่อยู่ในระดับมากที่สุดสะท้อนให้เห็นว่าภาพลักษณ์ของแบรนด์ผักปลอดสารในซูเปอร์มาร์เก็ตมีบทบาทสำคัญในการโน้มน้าวให้ผู้บริโภคตัดสินใจเลือกซื้อสินค้าในขั้นตอนนี้ และด้านพฤติกรรมหลังการซื้อ (Post-Purchase Behavior) ผู้บริโภคจะประเมินความพึงพอใจหลังจากการบริโภคผักปลอดสาร หากสินค้ามีคุณภาพตรงตามความคาดหวัง เช่น มีความสด สะอาด ปลอดภัย และสอดคล้องกับภาพลักษณ์ของแบรนด์ จะส่งผลให้ผู้บริโภคเกิดความพึงพอใจ มีแนวโน้มในการซื้อซ้ำ และบอกต่อแก่ผู้อื่น ซึ่งผลการศึกษาที่พบว่าด้านนี้มีค่าเฉลี่ยอยู่ในระดับมากที่สุด แสดงให้เห็นว่าประสบการณ์หลังการซื้อเป็นปัจจัยสำคัญที่ช่วยเสริมสร้างความภักดีต่อแบรนด์ผักปลอดสารในซูเปอร์มาร์เก็ต

Table 2 Purchase decision organic vegetables in decision to buy organic vegetables in supermarkets

Ranking	Items	Statistical Value		Meaning
		$\bar{X}$	S.D.	
1	Need Recognition Information Seeking	4.51	0.225	highest
2	Alternative	4.43	0.240	highest
3	Evaluation	4.50	0.251	highest
4	Purchase Decision	4.45	0.241	highest
5	Post-Purchase Behavior	4.48	0.250	highest
Total Average		4.48	0.160	highest

4.21 - 5.00 = highest; 3.41 - 4.20 = high; 2.61 - 3.40 = moderate; 1.81 - 2.60 = low; 1.00 - 1.80 = lowest.

ส่วนที่ 4 การรับรู้ภาพลักษณ์ตราสินค้าที่ส่งผลต่อการตัดสินใจซื้อแบรนด์ผักปลอดสารในซูเปอร์มาร์เก็ตของผู้บริโภคในกรุงเทพมหานคร

จากผลการทดสอบสมมติฐานเกี่ยวกับความสัมพันธ์ระหว่างการรับรู้ภาพลักษณ์ตราสินค้ากับการตัดสินใจซื้อแบรนด์ผักปลอดสารในซูเปอร์มาร์เก็ตของผู้บริโภคในกรุงเทพมหานคร พบว่า ตัวแปรทุกด้านมีความสัมพันธ์กับการตัดสินใจซื้อผักปลอดสารในซูเปอร์มาร์เก็ตของผู้บริโภคในกรุงเทพมหานครไปในทิศทางเดียวกัน เมื่อพิจารณาแต่ละด้านจะพบว่า ด้านวัฒนธรรมกับการตัดสินใจซื้อแบรนด์ผักปลอดสารในซูเปอร์มาร์เก็ตในกรุงเทพมหานครมีความสัมพันธ์กันมากที่สุด โดยมีค่าสหสัมพันธ์ทางบวกอยู่ในระดับสูงสุด ($r = 0.515$) รองลงมาคือด้านผู้ที่ใช้กับการตัดสินใจซื้อแบรนด์ผักปลอดสารในซูเปอร์มาร์เก็ตในกรุงเทพมหานครโดยมีค่าสหสัมพันธ์อยู่ในระดับสูงสุด ($r = 0.513$) ด้านบุคลิกภาพกับการตัดสินใจซื้อแบรนด์ผักปลอดสารในซูเปอร์มาร์เก็ตในกรุงเทพมหานครโดยมีค่าสหสัมพันธ์อยู่ในระดับสูงสุด ($r = 0.464$) ด้านคุณค่ากับการตัดสินใจซื้อแบรนด์ผักปลอดสารในซูเปอร์มาร์เก็ตในกรุงเทพมหานครโดยมีค่าสหสัมพันธ์อยู่ในระดับปานกลาง ($r = 0.438$) ด้านคุณสมบัติกับการตัดสินใจซื้อแบรนด์ผักปลอดสารในซูเปอร์มาร์เก็ตในกรุงเทพมหานครโดยมีค่าสหสัมพันธ์อยู่ในระดับปานกลาง ($r = 0.417$) และด้านคุณสมบัติกับการตัดสินใจซื้อแบรนด์ผักปลอดสารในซูเปอร์มาร์เก็ตในกรุงเทพมหานครโดยมีค่าสหสัมพันธ์อยู่ในระดับปานกลาง ($r = 0.392$) สรุปได้ว่าทุกองค์ประกอบของการรับรู้ภาพลักษณ์ตราสินค้ามีความสัมพันธ์ทางบวกกับการตัดสินใจซื้อแบรนด์ผักปลอดสารในซูเปอร์มาร์เก็ตในกรุงเทพมหานครอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.01

การทดสอบสมมติฐานของการรับรู้ภาพลักษณ์ตราสินค้ากับการตัดสินใจซื้อแบรนด์ผักปลอดสารในซูเปอร์มาร์เก็ตในกรุงเทพมหานคร ผู้วิจัยสามารถสรุปได้ดัง Table 3 ต่อไปนี้

ตัวแปรอิสระทุกตัวมีความสัมพันธ์เชิงบวกต่อกัน โดยค่าความสัมพันธ์สหสัมพันธ์ไม่เกิน 0.80 แสดงให้เห็นว่าความสัมพันธ์ของตัวแปรอิสระทั้งหมดอยู่ในระดับปานกลางถึงสูงของตัวแปรอิสระทุกตัวจึงไม่ส่งผลให้เกิดปัญหาความซ้ำซ้อนของตัวแปร ดังนั้นตัวแปรทุกตัวสามารถนำมาใช้ในการสร้างแบบจำลองเพื่อพยากรณ์การตัดสินใจซื้อแบรนด์ผักปลอดสารในซูเปอร์มาร์เก็ตของผู้บริโภคในกรุงเทพมหานครได้

Table 3 The relationship between perceived brand image and purchasing decisions of organic vegetable brands in supermarkets among consumers in Bangkok

Items	Purchasing decision	Features	Benefits	Value	Personality	Cultural	Users
Purchasing decision	-	0.392**	0.417**	0.438**	0.464**	0.515**	0.513**
Features		-	0.347**	0.366**	0.324**	0.373**	0.248**
Benefits			-	0.451**	0.369**	0.282**	0.369**
Value				-	0.460**	0.395**	0.342**
Personality					-	0.441**	0.438**
Cultural						-	0.517**
Users							-

** Significant at the 0.01 level (2-tailed).

ค่าสถิติทดสอบเอฟ เท่ากับ 51.495 และค่า Sig. มีค่า 0.000 น้อยกว่าระดับนัยสำคัญ ($\alpha = 0.01$) สามารถปฏิเสธสมมติฐานหลัก (H_0) และทำการยอมรับสมมติฐานรอง (H_1) จึงอธิบายได้ว่าการรับรู้ภาพลักษณ์ตราสินค้าส่งผลต่อการตัดสินใจซื้อแบรนด์ผักปลอดสารในซูเปอร์มาร์เก็ตในกรุงเทพมหานคร อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.01 จึงนำไปสร้างเป็นสมการพยากรณ์เชิงเส้นตรง

Table 4 ผลการทดสอบอิทธิพลโดยรวมของการรับรู้ภาพลักษณ์ตราสินค้าที่มีต่อการตัดสินใจซื้อแบรนด์ผักปลอดสารในซูเปอร์มาร์เก็ต พบว่า ค่า F (F-statistic) เท่ากับ 51.495 และค่า Sig. เท่ากับ 0.000 ซึ่งมีค่าน้อยกว่าระดับนัยสำคัญทางสถิติที่กำหนดไว้ (0.05) แสดงให้เห็นว่า โมเดลการถดถอยโดยรวมมีนัยสำคัญทางสถิติ กล่าวคือ ตัวแปรอิสระ ได้แก่ การรับรู้ภาพลักษณ์ตราสินค้าในด้านคุณสมบัติ ด้านคุณประโยชน์ ด้านคุณค่า ด้านบุคลิกภาพ ด้านวัฒนธรรม และด้านผู้ใช้ สามารถอธิบายการตัดสินใจซื้อแบรนด์ผักปลอดสารในซูเปอร์มาร์เก็ตของผู้บริโภคในเขตกรุงเทพมหานครได้อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ผลการวิเคราะห์ดังกล่าวทำให้สามารถปฏิเสธสมมติฐานหลัก (H_0) ที่ระบุว่า การรับรู้ภาพลักษณ์ตราสินค้าไม่มีอิทธิพลต่อการตัดสินใจซื้อแบรนด์ผักปลอดสารในซูเปอร์มาร์เก็ต และยอมรับสมมติฐานทางเลือก (H_1) ที่ระบุว่า การรับรู้ภาพลักษณ์ตราสินค้ามีอิทธิพลต่อการตัดสินใจซื้อแบรนด์ผักปลอดสารในซูเปอร์มาร์เก็ต ทั้งนี้ ผลการทดสอบชี้ให้เห็นว่า การสร้างและสื่อสารภาพลักษณ์ตราสินค้าที่เหมาะสมมีบทบาทสำคัญต่อการตัดสินใจซื้อแบรนด์ผักปลอดสารในซูเปอร์มาร์เก็ตของผู้บริโภค

Table 4 Overall influence of brand image perception on consumers' decision to purchase organic vegetables in supermarkets

	Model	Σ^2	df	$\bar{x}^2$	F	Sig.
1	Regression	4.513	6	0.752	51.495	0.000
	Residual	5.741	393	0.015		
	Total	10.254	399			

a. Dependent Variable: Decision-Making on Organic Vegetables

b. Predictors: (Constant), Purchasing decision, Features, Benefits, Value, Personality, Cultural, Users

จากผลการวิเคราะห์ใน Table 5 พบว่า ตัวแปรอิสระด้านการรับรู้ภาพลักษณ์ตราสินค้าสามารถอธิบายความแปรปรวนของการตัดสินใจซื้อแบรนด์ผักปลอดสารในซูเปอร์มาร์เก็ตของผู้บริโภคในเขตกรุงเทพมหานครได้ร้อยละ 44.0 ($R^2 = 0.440$) ซึ่งอยู่

ในระดับปานกลางถึงค่อนข้างสูง แสดงให้เห็นว่าแบบจำลองที่พัฒนาขึ้นสามารถอธิบายการตัดสินใจแบรนด์ผักปลอดสารในซูเปอร์มาร์เก็ตได้ในระดับที่เหมาะสม นอกจากนี้ ค่า R เท่ากับ 0.663 บ่งชี้ว่าตัวแปรอิสระทั้งหมดมีความสัมพันธ์เชิงบวกกับการตัดสินใจซื้อในระดับค่อนข้างสูง ขณะที่ค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐานของการประมาณการ (Standard Error of the Estimate: SEE) เท่ากับ 0.12086 สะท้อนให้เห็นว่าแบบจำลองมีความแม่นยำในการพยากรณ์การตัดสินใจซื้อแบรนด์ผักปลอดสารในซูเปอร์มาร์เก็ตของผู้บริโภคในระดับหนึ่ง

Table 5 Model summary of brand image perception affecting consumers' purchasing decision on organic vegetables in supermarkets in Bangkok

Model	R	R ²	R ² Adj	SEE
1	0.663	0.440	0.432	0.12086

a. Predictors: (Constant), Purchasing decision, Features, Benefits, Value aspect, Personality, Cultural aspect, Users

Table 6 พบว่า ค่าคงที่ (Constant) ตัวแปรด้านการรับรู้ภาพลักษณ์ตราสินค้า ด้านคุณสมบัติ คุณประโยชน์ ด้านคุณค่าด้านบุคลิกภาพ ด้านวัฒนธรรม และด้านผู้ใช้ สามารถอธิบายร่วมกันจากความแปรผันของการตัดสินใจซื้อแบรนด์ผักปลอดสารในซูเปอร์มาร์เก็ตได้อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.01 ดังนั้นจึงนำค่าคงที่ (Constant) ตัวแปรด้านการรับรู้ภาพลักษณ์ตราสินค้าข้างต้นมาสร้างเป็นสมการคำนวณพยากรณ์เชิงเส้นตรง โดยตัวด้านผู้ใช้ สามารถอธิบายการตัดสินใจซื้อแบรนด์ผักปลอดสารในซูเปอร์มาร์เก็ตในกรุงเทพมหานครได้เป็นอันดับหนึ่ง ($\beta = 0.230$) รองลงมาคือตัวแปรด้านวัฒนธรรมสามารถอธิบายการตัดสินใจซื้อแบรนด์ผักปลอดสารในซูเปอร์มาร์เก็ตในกรุงเทพมหานคร ($\beta = 0.211$) ตัวแปรด้านคุณประโยชน์สามารถอธิบายการตัดสินใจซื้อแบรนด์ผักปลอดสารในซูเปอร์มาร์เก็ตในกรุงเทพมหานคร ($\beta = 0.131$) ตัวแปรด้านบุคลิกภาพสามารถอธิบายการตัดสินใจซื้อแบรนด์ผักปลอดสารในซูเปอร์มาร์เก็ตในกรุงเทพมหานคร ($\beta = 0.130$) ตัวแปรด้านคุณสมบัติสามารถอธิบายการตัดสินใจซื้อแบรนด์ผักปลอดสารในซูเปอร์มาร์เก็ตในกรุงเทพมหานคร ($\beta = 0.129$) และตัวแปรด้านคุณค่าสามารถอธิบายการตัดสินใจซื้อแบรนด์ผักปลอดสารในซูเปอร์มาร์เก็ตในกรุงเทพมหานคร ($\beta = 0.110$) เป็นอันดับสุดท้าย

Table 6 Coefficients of brand image perception affecting consumers' purchasing decision on organic vegetables in supermarkets in Bangkok

Model		Unstandardized	Coefficients	Standardized	t	Sig.
		β	SE	β		
1	Constant	1.608	0.169		9.529	0.000
	Features	0.087	0.029	0.129	2.996	0.003
	Benefits	0.096	0.033	0.131	2.926	0.004
	Value	0.077	0.033	0.110	2.352	0.019
	Personality	0.085	0.030	0.130	2.781	0.006
	Cultural	0.147	0.033	0.211	4.404	0.000
	Users	0.142	0.029	0.230	4.896	0.000

a. Dependent variable: Difficult decision making

โดยสรุปการวิเคราะห์การรับรู้ภาพลักษณ์ตราสินค้าผักปลอดสารในซูเปอร์มาร์เก็ตในกรุงเทพมหานคร พบว่า ด้านผู้ใช้ ด้านวัฒนธรรม ด้านคุณประโยชน์ ด้านบุคลิกภาพ ด้านคุณสมบัติ และด้านคุณค่า มีอิทธิพลต่อการตัดสินใจซื้อแบรนด์ผักปลอดสารในซูเปอร์มาร์เก็ตในกรุงเทพมหานคร โดยสามารถร่วมกันอธิบายความผันแปรของการตัดสินใจซื้อแบรนด์ผักปลอดสารในซูเปอร์มาร์เก็ตในกรุงเทพมหานครได้ที่ ร้อยละ 44.0 ($R^2 = 0.440$) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.01 สามารถสร้างสมการพยากรณ์เชิงเส้นตรงได้ดังนี้

$$Y = 1.608 + 0.142X_1 + 0.147X_2 + 0.096X_3 + 0.085X_4 + 0.087X_5 + 0.077X_6$$

X_1 = ด้านผู้ใช้

X_2 = ด้านวัฒนธรรม

X_3 = ด้านคุณสมบัติ

X_4 = ด้านบุคลิกภาพ

X_5 = ด้านคุณสมบัติ

X_6 = ด้านคุณค่า

จากสมการสามารถอธิบายการรับรู้ภาพลักษณ์ตราสินค้าแบรนด์ผักปลอดสารในซูเปอร์มาร์เก็ตที่มีอิทธิพลต่อการตัดสินใจซื้อแบรนด์ผักปลอดสารในซูเปอร์มาร์เก็ต กล่าวคือ การรับรู้ภาพลักษณ์ตราสินค้าแบรนด์ผักปลอดสารในซูเปอร์มาร์เก็ตในด้านผู้ใช้ ด้านวัฒนธรรม ด้านคุณสมบัติ ด้านบุคลิกภาพ ด้านคุณสมบัติ และด้านคุณค่ามีผลต่อการตัดสินใจซื้อแบรนด์ผักปลอดสารในซูเปอร์มาร์เก็ตเพิ่มมากยิ่งขึ้น

ดังนั้น จากผลการศึกษาพบว่า การรับรู้ภาพลักษณ์ของแบรนด์ผักปลอดสารในซูเปอร์มาร์เก็ตที่มีอิทธิพลต่อการตัดสินใจซื้อของผู้บริโภคในกรุงเทพมหานคร ผลที่ได้มีความสอดคล้องกับงานวิจัยของ Pahurak and Taweesak (2024) ที่ได้ทำการศึกษาเกี่ยวกับอิทธิพลของภาพลักษณ์สินค้าต่อการตัดสินใจซื้อผักและผลไม้แปรรูปในร้านค้าปลีกสมัยใหม่ กรณีศึกษาจังหวัดนนทบุรี ผลการวิจัยพบว่า ภาพลักษณ์ตราสินค้าในมิติของเครื่องหมายการค้าหรือเครื่องหมายสินค้าเป็นปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการตัดสินใจซื้อมากที่สุด (ค่าเฉลี่ย = 4.18, S.D. = 0.35) เห็นได้ว่าเครื่องหมายการค้าช่วยให้ผู้บริโภคสามารถจดจำและแยกแยะความแตกต่างของสินค้าของธุรกิจจากสินค้าหรือบริการอื่น ๆ ของคู่แข่งได้ อีกทั้งยังมีผลต่อการสร้างความเชื่อมั่นและความพึงพอใจต่อสินค้าในเชิงบวก นอกจากนี้ ผลการศึกษายังสอดคล้องกับงานวิจัยของ Kaewtuptim and Tancho (2020) ที่ชี้ว่า ปัจจัยด้านภาพลักษณ์สินค้ามีผลต่อการตัดสินใจซื้อซ้ำของผู้บริโภคในกรุงเทพมหานคร โดยพบว่า ภาพลักษณ์ตราสินค้าในมิติของคุณสมบัติ คุณค่า วัฒนธรรมและผู้ใช้เป็นตัวแปรสำคัญที่ส่งผลต่อการตัดสินใจการซื้อซ้ำของผู้บริโภค สรุปได้ว่า ภาพลักษณ์ของตราสินค้ามีอิทธิพลเชิงบวกอย่างมีนัยสำคัญต่อการตัดสินใจการซื้อของผู้บริโภค เนื่องจากภาพลักษณ์เป็นปัจจัยที่สามารถผลักดันและเปลี่ยนแปลงการตัดสินใจการซื้อในเชิงบวกได้ โดยเฉพาะในกลุ่มวัยทำงานที่ให้ความสำคัญต่อสุขภาพ มีแนวโน้มที่จะเชื่อมั่นว่าแบรนด์ผักปลอดสารที่วางจำหน่ายในซูเปอร์มาร์เก็ตมีคุณภาพและปลอดภัย จากการรับรู้ภาพลักษณ์ตราสินค้าแบรนด์ผักปลอดสารในซูเปอร์มาร์เก็ตทำให้พบว่า

ด้านผู้ใช้มีอิทธิพลต่อการตัดสินใจซื้อแบรนด์ผักปลอดสารในซูเปอร์มาร์เก็ตของผู้บริโภคในกรุงเทพมหานคร ไม่ว่าจะเป็นกลุ่มผู้รักสุขภาพ ครอบครัวที่ให้ความสำคัญกับอาหารปลอดภัย หรือบุคคลที่ใส่ใจสิ่งแวดล้อม ทั้งนี้สอดคล้องกับแนวคิดของ Kotler (2003) ที่อธิบายว่า บุคลิกภาพของผู้ใช้สะท้อนถึงบุคลิกภาพของสินค้า มักจะเชื่อมโยงกับรสนิยมของผู้บริโภค รวมถึงรูปแบบการดำเนินชีวิต และถูกนำมาใช้ในการวางแผนกลยุทธ์เพื่อสร้างอิทธิพลต่อความภักดีต่อสินค้า การกำหนดกลยุทธ์ทางการตลาดที่มุ่งเน้นการสื่อสารภาพลักษณ์ผู้ใช้ให้เหมาะสม เช่น การนำเสนอแบรนด์ผักปลอดสารเชื่อมโยงกับวิถีชีวิตคนเมืองที่ห่วงใยสุขภาพ หรือการสื่อสารแบรนด์ไปกับครอบครัวยุคใหม่ที่ใส่ใจความปลอดภัยของอาหาร จะทำให้ผู้บริโภครู้สึกว่าการแบรนด์สามารถสะท้อนตัวตนของตนเองได้อย่างชัดเจน และนำไปสู่การสร้าง ความภักดีต่อแบรนด์ (Brand Loyalty) ตลอดจนการตัดสินใจซื้อซ้ำในระยะยาว

ด้านวัฒนธรรมมีอิทธิพลต่อการตัดสินใจซื้อแบรนด์ผักปลอดสารในซูเปอร์มาร์เก็ตของผู้บริโภคในกรุงเทพมหานคร เช่น การให้ความสำคัญกับการผลิตจากเกษตรกรท้องถิ่น การเพาะปลูกที่ยั่งยืน รวมถึงการสนับสนุนวิถีเกษตรแบบไทย ทั้งนี้สอดคล้องกับงานของ Phunphon et al. (2023) ที่ระบุว่า การสร้างความเชื่อมั่นในตลาดอาหารอินทรีย์ของไทยจำเป็นต้องมีการเชื่อมโยงกับชุมชนและผู้ผลิตในท้องถิ่น จึงจะสามารถเสริมสร้างความไว้วางใจและกระตุ้นให้เกิดการซื้อได้ ดังนั้น มิติทางวัฒนธรรมไม่ได้เป็นเพียงปัจจัยเสริมในการรับรู้ภาพลักษณ์ของผักปลอดสารเท่านั้น แต่ยังทำหน้าที่เป็นกลไกในการสร้างความแตกต่าง (Differentiation Mechanism) ที่ทำให้แบรนด์ผักปลอดสารในซูเปอร์มาร์เก็ตมีศักยภาพในการแข่งขันในตลาดเมืองหลวง ผู้บริโภคในกรุงเทพมหานครจำนวนไม่น้อยเลือกซื้อเพราะมองว่าการบริโภคดังกล่าวมีคุณค่าและมีความหมายต่อสังคมและสิ่งแวดล้อมมากกว่าการซื้อเพื่อประโยชน์ของตนเองเพียงอย่างเดียว

ด้านคุณสมบัติมีอิทธิพลต่อการตัดสินใจซื้อแบรนด์ผักปลอดสารในซูเปอร์มาร์เก็ตของผู้บริโภคในกรุงเทพมหานคร เช่น ความปลอดภัยจากสารเคมีตกค้าง คุณค่าด้านโภชนาการ และความสดใหม่ของสินค้า สอดคล้องกับแนวคิดของ Odin et al. (2001) ที่อธิบายว่า การวัดการตัดสินใจการซื้อซ้ำของผู้บริโภคขึ้นอยู่กับหลายปัจจัย โดยเฉพาะปัจจัยด้านความปลอดภัยและ

คุณภาพของผลิตภัณฑ์ที่ผู้บริโภคสามารถรับรู้ได้จากคุณประโยชน์ที่สินค้าเสนอ หากผู้บริโภคตระหนักว่าการเลือกซื้อผักปลอดสารสามารถตอบสนองประโยชน์ต่อสุขภาพและความปลอดภัยได้จริง ย่อมส่งผลให้มีแนวโน้มในการซื้อซ้ำและก่อให้เกิดความภักดีต่อแบรนด์ในที่สุด

ด้านบุคลิกภาพมีอิทธิพลต่อการตัดสินใจซื้อแบรนด์ผักปลอดสารในซูเปอร์มาร์เก็ตของผู้บริโภคในกรุงเทพมหานคร เช่น ความน่าเชื่อถือ การใส่ใจสุขภาพ ความทันสมัย ความรับผิดชอบต่อสังคม และความเป็นมิตร สอดคล้องกับแนวคิดของ Kotler (2003) ที่ระบุว่า บุคลิกภาพของผู้ใช้สามารถสะท้อนบุคลิกภาพของสินค้าได้ โดยผู้บริโภคมักเลือกแบรนด์ที่สอดคล้องกับรสนิยมและวิถีชีวิตของตนเอง ดังนั้น หากแบรนด์ผักปลอดสารสามารถสร้างบุคลิกภาพที่แสดงถึงความจริงใจ ความโปร่งใส และการมีความรับผิดชอบต่อสิ่งแวดล้อม ก็จะช่วยเสริมสร้างการยอมรับ ความผูกพัน และความภักดีต่อแบรนด์ในระยะยาว (Brand Loyalty) นอกจากนี้ บุคลิกภาพของแบรนด์ยังเป็นปัจจัยสำคัญในการสร้างความแตกต่างเชิงกลยุทธ์ (Strategic Differentiation) ในตลาดที่มีการแข่งขันสูงอย่างซูเปอร์มาร์เก็ตในกรุงเทพมหานคร เนื่องจากผักปลอดสารจากหลายแหล่งอาจมีคุณสมบัติพื้นฐานใกล้เคียงกัน แต่แบรนด์ที่สามารถถ่ายทอดบุคลิกภาพให้ผู้บริโภครับรู้และเชื่อมโยงกับวิถีชีวิตของพวกเขาได้ จะมีความได้เปรียบทางการแข่งขันและได้รับการตัดสินใจซื้อซ้ำอย่างต่อเนื่อง

ด้านคุณสมบัติเป็นอีกหนึ่งปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการตัดสินใจซื้อแบรนด์ผักปลอดสารในซูเปอร์มาร์เก็ตของผู้บริโภคในกรุงเทพมหานคร เช่น ความสดและความสะอาด สีสันตามธรรมชาติ รสชาติ รวมถึงบรรจุภัณฑ์ที่เอื้อต่อความสะดวกในการใช้งาน สอดคล้องกับแนวคิดของ Jacoby and Chestnut (1978) ที่กล่าวว่า คุณสมบัติของผลิตภัณฑ์ส่งผลโดยตรงต่อความภักดีในตราสินค้า (Brand Loyalty) เนื่องจากผู้บริโภคมักใช้การเปรียบเทียบคุณสมบัติ อาทิ ความสดใหม่ รสชาติ และคุณภาพที่สามารถรับรู้ได้ เป็นเกณฑ์ในการเลือกซื้อ หากสินค้ามีคุณสมบัติที่ตอบสนองความต้องการได้ดีกว่า ก็จะช่วยสร้างการยอมรับและนำไปสู่การซื้อซ้ำในระยะยาว ดังนั้น คุณสมบัติของผลิตภัณฑ์จึงไม่เพียงเป็นปัจจัยแรกที่ดึงดูดให้ผู้บริโภคเลือกซื้อแบรนด์ผักปลอดสาร แต่ยังเป็นพื้นฐานที่เสริมสร้างความมั่นใจและความภักดีต่อแบรนด์ได้อย่างต่อเนื่องในตลาดที่มีการแข่งขันสูงอย่างซูเปอร์มาร์เก็ตในกรุงเทพมหานคร

และด้านคุณค่าเป็นอีกปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการตัดสินใจซื้อแบรนด์ผักปลอดสารในซูเปอร์มาร์เก็ตของผู้บริโภคในกรุงเทพมหานคร ไม่ว่าจะเป็นแรงจูงใจด้านสุขภาพ ความตระหนักต่อสิ่งแวดล้อม ปัจจัยส่วนบุคคล ความพึงพอใจในระดับราคา รวมถึงความคุ้นเคยกับสินค้า ทั้งนี้สอดคล้องกับงานของ Srisnieng and Kongsataya (2023) ที่ชี้ว่า ผู้บริโภคที่มีการตระหนักถึงผลกระทบด้านสุขภาพในระดับสูง มักเลือกซื้อผักปลอดสารมากขึ้น เนื่องจากมองว่าคุณค่าของผลิตภัณฑ์ไม่ได้อาศัยเพียงความสดหรือรสชาติเท่านั้น แต่ยังเป็นการลงทุนในสุขภาพระยะยาว พร้อมทั้งเป็นการมีส่วนร่วมในการอนุรักษ์สิ่งแวดล้อมไปพร้อมกัน ด้วยเหตุนี้ด้านคุณค่าจึงทำหน้าที่เป็นกลไกเชื่อมโยงระหว่างแรงจูงใจภายในของผู้บริโภคกับภาพลักษณ์ของแบรนด์ และเป็นแรงผลักดันให้เกิดการซื้อซ้ำ รวมถึงการสร้างความภักดีต่อแบรนด์ผักปลอดสารในซูเปอร์มาร์เก็ตได้อย่างต่อเนื่องและยั่งยืน

ดังนั้น ผู้ประกอบการจึงจำเป็นต้องให้ความสำคัญกับการรับรู้ภาพลักษณ์ของตราสินค้า เนื่องจากมีความเชื่อมโยงกับความภักดีต่อแบรนด์ โดยควรเน้นการสื่อสารแบรนด์อย่างมีทิศทางที่ชัดเจน พร้อมทั้งทำการวิเคราะห์กลุ่มเป้าหมายอย่างละเอียด อาทิ ครอบครัวในเขตเมือง กลุ่มคนรุ่นใหม่ที่ใส่ใจสุขภาพ หรือกลุ่มผู้สูงอายุที่มองหาผลิตภัณฑ์ที่ปลอดภัยและสามารถตรวจสอบได้ เครื่องมือที่เหมาะสมในการสื่อสารแบรนด์ ได้แก่ การตลาดผ่านสื่อดิจิทัล การรีวิวจากผู้ใช้งานจริง การใช้ผู้ทรงอิทธิพล (Influencer) ที่มีภาพลักษณ์ด้านสุขภาพที่ดี การออกแบบบรรจุภัณฑ์ที่สะท้อนบุคลิกภาพของแบรนด์ และการเล่าเรื่องราวของแบรนด์ (Brand Storytelling) ผ่านหลายช่องทาง เพื่อสร้างการจดจำและความเชื่อมั่นอย่างต่อเนื่อง การวางกลยุทธ์โดยใช้ข้อมูลเชิงลึกจากการตัดสินใจของผู้บริโภคจึงถือเป็นแนวทางสำคัญในการสร้างความแข็งแกร่งให้กับแบรนด์ผักปลอดสารในตลาดซูเปอร์มาร์เก็ตยุคใหม่ สามารถผลักดันให้เกิดการเปลี่ยนแปลงการตัดสินใจซื้อของผู้บริโภคในเชิงบวก โดยเฉพาะกลุ่มที่ให้ความสำคัญกับสุขภาพ เนื่องจากพวกเขามีความเชื่อมั่นว่าแบรนด์ผักปลอดสารที่จำหน่ายในซูเปอร์มาร์เก็ตมีคุณภาพและความปลอดภัย นี่สะท้อนให้เห็นภาพลักษณ์ที่แท้จริงของสังคมว่า ภาพลักษณ์ของแบรนด์มีบทบาทอย่างยิ่งต่อการเปลี่ยนแปลงการตัดสินใจซื้อของผู้บริโภค

สรุปผลการศึกษา

การศึกษาการรับรู้ภาพลักษณ์ตราสินค้าที่ส่งผลต่อการตัดสินใจซื้อแบรนด์ผักปลอดสารในซูเปอร์มาร์เก็ตของผู้บริโภคในเขตกรุงเทพมหานคร ดำเนินการกับกลุ่มผู้บริโภคจำนวน 400 คน พบว่า ผู้ตอบแบบสอบถามส่วนใหญ่เป็นเพศชาย (ร้อยละ 51.5) มีอายุระหว่าง 29–43 ปี (ร้อยละ 58.0) มีสถานภาพสมรสและมีบุตร (ร้อยละ 44.0) มีการศึกษาในระดับปริญญาตรี (ร้อยละ 67.5) ประกอบอาชีพพนักงานบริษัทเอกชน (ร้อยละ 37.8) และมีรายได้เฉลี่ยต่อเดือนระหว่าง 20,000–40,000 บาท (ร้อยละ 39.0) โดยผู้ตอบส่วนมากมีประสบการณ์ในการซื้อหรือบริโภคผักปลอดสารจากซูเปอร์มาร์เก็ตอย่างน้อยเดือนละ 1 ครั้ง

ในส่วนของการรับรู้ภาพลักษณ์ตราสินค้าที่เกี่ยวข้องกับผักปลอดสารในซูเปอร์มาร์เก็ต พบว่าผู้บริโภคให้ความสำคัญโดยรวมอยู่ในระดับมากที่สุด และเมื่อพิจารณาเป็นรายด้านก็พบว่าทุกมิติอยู่ในระดับมากที่สุดเช่นเดียวกัน ได้แก่ ด้านวัฒนธรรม (ค่าเฉลี่ย 4.55, S.D. = 0.229) ด้านบุคลิกภาพ (ค่าเฉลี่ย 4.53, S.D. = 0.246) ด้านคุณค่า (ค่าเฉลี่ย 4.53, S.D. = 0.229) ด้านคุณประโยชน์ (ค่าเฉลี่ย 4.51, S.D. = 0.219) ด้านผู้ใช้ (ค่าเฉลี่ย 4.51, S.D. = 0.258) และด้านคุณสมบัติ (ค่าเฉลี่ย 4.50, S.D. = 0.238)

สำหรับการตัดสินใจซื้อแบรนด์ผักปลอดสารในซูเปอร์มาร์เก็ต พบว่าผู้บริโภคในกรุงเทพมหานครให้ความสำคัญโดยรวมอยู่ในระดับมากที่สุดเช่นกัน และเมื่อแยกพิจารณาเป็นรายด้าน พบว่าทุกด้านมีค่าเฉลี่ยอยู่ในระดับมากที่สุด ได้แก่ การรับรู้ถึงความต้องการ (ค่าเฉลี่ย 4.51, S.D. = 0.225) การประเมินทางเลือก (ค่าเฉลี่ย 4.50, S.D. = 0.251) พฤติกรรมหลังการซื้อ (ค่าเฉลี่ย 4.48, S.D. = 0.250) การตัดสินใจซื้อ (ค่าเฉลี่ย 4.45, S.D. = 0.241) และการแสวงหาข้อมูล (ค่าเฉลี่ย 4.43, S.D. = 0.240)

และผลการทดสอบสมมติฐาน พบว่า การรับรู้ภาพลักษณ์ตราสินค้า ทั้งด้านผู้ใช้ ด้านวัฒนธรรม ด้านคุณประโยชน์ ด้านบุคลิกภาพ ด้านคุณสมบัติ และด้านคุณค่า ล้วนมีอิทธิพลต่อการตัดสินใจซื้อแบรนด์ผักปลอดสารในซูเปอร์มาร์เก็ตของผู้บริโภคในกรุงเทพมหานคร

ผลประโยชน์ทับซ้อน

ผู้เขียนขอประกาศว่าบทความนี้ไม่มีผลประโยชน์ทับซ้อน

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณผู้บริโภคผักปลอดสารของเขตกรุงเทพมหานครที่ให้ความช่วยเหลือในด้านข้อมูลเป็นอย่างดี อาจารย์ประจำภาควิชาที่ให้ความช่วยเหลือในการดำเนินงานต่างๆ จนกระทั่งทำให้งานวิจัยชิ้นนี้สำเร็จ

การมีส่วนร่วมในการเขียนบทความของผู้เขียน

ความคิดริเริ่ม การตั้งสมมติฐาน การมีส่วนร่วมในการออกแบบ การทดสอบเครื่องมือวัด วิธีการเก็บข้อมูล การจัดเก็บข้อมูล การวิเคราะห์ข้อมูล การแปลผล การวิพากษ์วิจารณ์ผล และการมีส่วนร่วมในการเขียนต้นฉบับบทความ: นกสร ม่วงทอง, พัทธรา เอี่ยมกิจการ สบายใจ.

เอกสารอ้างอิง

- Ananchaitawat, V., Teeyabun, N., Linruesee, T., Jensonboon, S., Tananchai, T., Jiranantharaporn, R., Chaimoon, W., Suyarat, S., Punsuwan, W., Sutar, S., Yothaitiang, W., Puanya, W., & Junttee, J. (2025). Customer journey model for pesticide-free vegetables and longan from the Baan Pa-Hget-Tee agricultural group in Nong Phueng Subdistrict, Saraphi District, Chiang Mai Province, from the farmers' perspective. *Research and Development Journal, Loei Rajabhat University*, 20(73), 79-89. (in Thai).
- Chuenwattanapong, N. (2019). *Factors Influencing the Attitudes and Behavior of Consumers Purchasing Organic Food Products in Bangkok*. Master's Thesis. Bangkok University. (in Thai).
- Food and Agriculture Organization of the United Nations. (2025). *The State of Food and Agriculture 2025*. Retrieved from: <https://www.fao.org/publications/fao-flagship-publications/the-state-of-food-and-agriculture/en>.
- Jacoby, J., & Chestnut, R. W. (1978). *Brand Loyalty: Measurement and Management*. John Wiley & Sons.
- Jongkrajak, C. (2017). *The Impacts of Marketing Mix, Brand Equity, and Attitude on Consumers Purchase Decision to Organic Vegetables in Bangkok*. Master's Thesis. Bangkok University. (in Thai).
- Kaewtuptim, D., & Tancho, N. (2020). The effect of brand image and integrated marketing communication on the purchase decision of drinking water among consumers in Bangkok. *RMUTT Global Business and Economics Review*, 15(1), 58-74. (in Thai).
- Keller, K. L. (2013). *Strategic Brand Management: Building, Measuring, and Managing Brand Equity*. Pearson Education.
- Khongwarin, K., & Ruesue, J. (2020). Consumer's behavior in pesticide – free vegetables and produce consumption in Suratthani province. *Journal of Management Sciences*, 7(1), 50–77. (in Thai).
- Kotler, P. (2003). *Marketing Management*. 11th Ed. Upper Saddle River, Prentice Hall.
- Kotler, P., & Keller, K. L. (2016). *Marketing Management*. Pearson Education.
- Odin, Y., Odin, N., & Valette-Florence, P. (2001). Conceptual and operational aspects of brand loyalty: An empirical investigation. *Journal of Business Research*, 53(2), 75–84. [https://doi.org/10.1016/S0148-2963\(99\)00076-4](https://doi.org/10.1016/S0148-2963(99)00076-4).

- Office of the Permanent Secretary for the Bangkok Metropolitan Administration. (2009). **The Division of Operational Groups within District Offices**. Retrieved from: <https://acrobat.adobe.com/id/urn:aaid:sc:AP:fc251a5c-9bf8-4a22-bf94-b71438506193>. (in Thai).
- Pahurak, K., & Taweesuk, P. (2024). The influence of brand image on purchasing decisions of processed fruits and vegetables in modern trade: A case study of Nonthaburi province. **Journal of Management and Development Ubon Ratchathani Rajabhat University**, 11(2), 349-366. (in Thai).
- Phunphon, T., Yongphet, P., & Nakpibal, P. (2023). Design thinking for participatory organic farming community product development. **Phranakhon Rajabhat Research Journal: Humanities and Social Sciences**, 18(1), 255-275. (in Thai).
- Rana, J., & Paul, J. (2020). Health motive and the purchase of organic food: A meta-analytic review. **International Journal of Consumer Studies**, 44(2), 162–171. <https://doi.org/10.1111/ijcs.12556>.
- Schivinski, B., & Dabrowski, D. (2016). The effect of social media communication on consumer perceptions of brands. **Journal of Marketing Communications**, 22(2), 189–214. <https://doi.org/10.1080/13527266.2013.871323>.
- Srinieng, S. (2018). **Consumption of Organic Vegetables in Bangkok, Thailand**. Doctoral Thesis. Asian Institute of Technology.
- Srinieng, S., & Kongsataya, C. (2023). Factors influencing the purchasing decision of organic salad vegetables in Bangkok. **Journal of Academic Management Science, Phetchabun Rajabhat University**, 5(2), 73–87. (in Thai).
- Witchachutakul, A. (2015). **Segmentation of Pesticide-Free Vegetable Consumers Based on Lifestyle Patterns, Opinions on Marketing Mix Needs, and Purchasing Behavior**. Master's Independent Study. University of the Thai Chamber of Commerce. (in Thai).