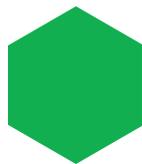
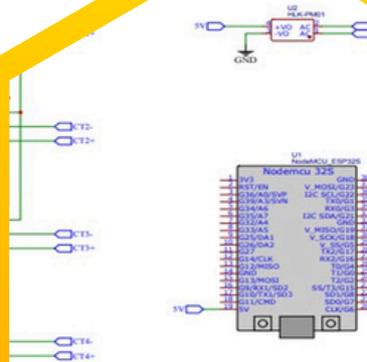


ATRJ

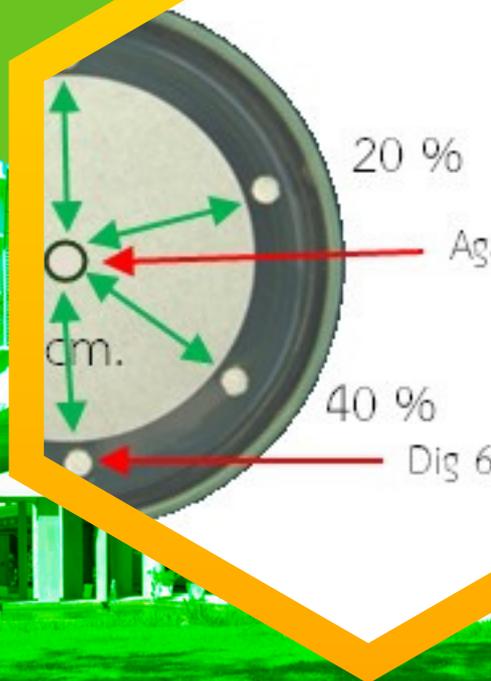


วารสารเกษตรศาสตร์และเทคโนโลยี
มทร.อีสาน



Volume 6

No.2 May-August 2025



ISSN 3057-0174 (Print)
ISSN 3057-0182 (Online)



<https://li01.tci-thaijo.org/index.php/atj>

คณะเกษตรศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน วิทยาเขตสุรินทร์



คำนำ

วารสารวิจัยเกษตรศาสตร์และเทคโนโลยี มทร.อีสาน เป็นวารสารที่จัดทำขึ้นเพื่อตีพิมพ์บทความที่เป็นประโยชน์ต่อวงการวิชาการและบุคคลทั่วไป โดยมีสาขาย่อย 3 สาขา ได้แก่ วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี เกษตรศาสตร์ และวิศวกรรมศาสตร์ โดยวารสารฉบับนี้ได้เผยแพร่ผลงานที่มีเนื้อหาทางด้านวิชาการ การสร้างองค์ความรู้ การบูรณาการ และข้อมูลอันเป็นประโยชน์จากคณาจารย์ นักศึกษา และผู้เชี่ยวชาญในสาขาวิชาต่าง ๆ เพื่อจะนำไปสู่การยกระดับคุณภาพชีวิต รวมทั้งก่อให้เกิดประโยชน์ทางด้านวิชาการแก่ผู้ที่สนใจทั่วไป โดยมีบทความ 11 เรื่อง ที่มีเนื้อหาหลากหลาย ได้แก่ 1) การประเมินความมีชีวิตและวิธีการเก็บรักษาละอองเกสรมะเขือเทศเพื่อการผลิตเมล็ดพันธุ์ 2) ผลของ BA (6-benzyladenine) และน้ำมะพร้าวต่อการเจริญเติบโตของต้นผักเป็ดแดงใบต่าง (*Alternanthera reineckii* 'rosanervig') ในสภาวะปลอดเชื้อ 3) A review on the ethnobotany of exotic species in Thailand III: *Tamarindus indica* L. (Fabaceae) 4) ระบบปัญญาประดิษฐ์สำหรับการคัดแยกขยะ ด้วยการประยุกต์ใช้แบบจำลองการเรียนรู้เชิงลึก 5) ผลของมูลสัตว์ชนิดต่าง ๆ ที่หมักร่วมกับขานอ้อยต่อการเจริญเติบโต และผลผลิตของผักกาดหัวพันธุ์เอเวอเรสต์ ไฮบริด 6) ผลของการใช้กลีเซอรินดิบทดแทนเมล็ดข้าวโพดบดต่อประสิทธิภาพการเจริญเติบโตการย่อยได้ของโภชนะ และพลังงานและการเปลี่ยนแปลงของระบบทางเดินอาหารในสัตว์ปีก 7) ผลของการเสริมวิตามินอีในอาหารต่อคุณภาพน้ำเชื้อและอัตราการผสมติดในไก่พื้นเมือง 8) ประสิทธิภาพของสารกำจัดเชื้อราต่อการควบคุมโรคแอนแทรคโนสในดอกของทุเรียนที่มีสาเหตุจากเชื้อรา *Colletotrichum gloeosporioides* (CGD 5) 9) การพัฒนามอเตอร์ไฟฟ้าแบบ IoT (Internet of Things) 5 หน่วย 10) การกำหนดการออกแบบที่เหมาะสมและมาตรฐานราคาก่อสร้างอาคารขนาดเล็กกับซื้อ-ขายผลิตผลเกษตรในประเทศไทย 11) การออกแบบการตลาดเพื่อหาค่าสถานะที่เหมาะสมของกระบวนการขึ้นรูปถ่านคูดกลั่นจากเปลือกมังคุด

โดยบทความได้ผ่านการพิจารณา และการกลั่นกรอง จากผู้ทรงคุณวุฒิทั้งภายในและภายนอกมหาวิทยาลัย กองบรรณาธิการขอขอบคุณนักวิจัยทุกท่านที่ได้ส่งบทความเข้ามาขอรับการตีพิมพ์ในวารสาร และหวังเป็นอย่างยิ่งว่าบทความในวารสารฉบับนี้จะก่อให้เกิดประโยชน์ทางวิชาการของประเทศไทยต่อไป

กองบรรณาธิการ
วารสารเกษตรศาสตร์และเทคโนโลยี มทร.อีสาน



วารสารเกษตรศาสตร์และเทคโนโลยี มทร.อีสาน
Agriculture & Technology RMUTI Journal

วัตถุประสงค์ เพื่อเผยแพร่ความรู้และผลงานวิชาการทางด้านการเกษตรศาสตร์และเทคโนโลยี รวมทั้งเป็นสื่อกลางในการแลกเปลี่ยนความคิดเห็นทางวิชาการเชิงสร้างสรรค์ เพื่อส่งเสริมอาจารย์ นักวิชาการ นักวิจัย นักศึกษา และผู้ที่เกี่ยวข้องให้มีส่วนร่วมในการถ่ายทอดองค์ความรู้ เทคโนโลยีหรือนวัตกรรมแก่สังคม

เจ้าของ/สำนักงานวารสาร คณะเกษตรศาสตร์และเทคโนโลยี 145 หมู่ 15 ต.นอกเมือง อ.เมืองสุรินทร์ จ.สุรินทร์ 32000
โทร. 044-153093 โทรสาร. 044-153093
E-mail: atj.rmuti@gmail.com
Website: <https://li01.tci-thaijo.org/index.php/atj/index>

ที่ปรึกษาบรรณาธิการ	รศ.ดร.สำเนาวิ	เสาวกุล	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน วช.สุรินทร์
หัวหน้ากองบรรณาธิการ	อ.ทรงยศ	กิตติชนม์ธวัช	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน วช.สุรินทร์
บรรณาธิการ	ผศ.ดร.วุฒิชัย	สิทธิวงษ์	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน วช.สุรินทร์
รองบรรณาธิการ	ดร.พงศ์ภัทร	เกียรติประเสริฐ	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน วช.สุรินทร์
ผู้ช่วยบรรณาธิการ	ดร.ปวีณา	สาสิทธิ์	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน วช.สุรินทร์
	ดร.อัญวีณ์	ไชยวิชระกัมพล	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน วช.สุรินทร์

กองบรรณาธิการผู้ทรงคุณวุฒิ

ศ.ดร.ธเนศ	เสถียรนาม	มหาวิทยาลัยขอนแก่น
ศ.ดร.ปิยะดา	ธีระกุลพิศุทธิ์	มหาวิทยาลัยขอนแก่น (เกษียณอายุ)
ศ.ดร.เมธา	วรรณพัฒน์	มหาวิทยาลัยขอนแก่น (เกษียณอายุ)
ศ.ดร.सनัน	จอกลอย	มหาวิทยาลัยขอนแก่น (เกษียณอายุ)
ศ.ดร.สิงหนาท	พวงจันทร์แดง	มหาวิทยาลัยขอนแก่น
ศ.ดร.อนันต์	พลธานี	มหาวิทยาลัยขอนแก่น (เกษียณอายุ)
ศ.ดร.อลงกลด	แทนอมทอง	มหาวิทยาลัยขอนแก่น
ศ.ดร.อุทัยรัตน์	ณ นคร	มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
ศ.ดร.สุขสันต์	ห่อพิบูลสุข	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี
ศ.ดร.สุวัจน์	อัญรส	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย
ศ.ดร.ทวนทอง	จุฑาเกตุ	มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี
พล.อ.ต.ศ.ดร.สรภฤช ศรีเกษม		โรงเรียนนายเรืออากาศนวมินทกษัตริยาธิราช (เกษียณอายุ)

กองบรรณาธิการ

ศ.ดร.กุลเชษฐ์	เพียรทอง	มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี
ศ.ดร.สุรพล	แสนสุข	มหาวิทยาลัยมหาสารคาม
รศ.ดร.พันธวัศ	สัมพันธ์พานิช	จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

รศ.ดร.สุพรรณ	สุดสนธิ์	มหาวิทยาลัยกาฬสินธุ์
รศ.ดร.ธนิษฐา	ทรรพนันท์	มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
รศ.ดร.บุญเสถียร	บุญสูง	มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
รศ.ดร.อรพินท์	จินตสถาพร	มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
รศ.ดร.ปรเมศ	บรรเทิง	มหาวิทยาลัยขอนแก่น
รศ.ดร.รัชพล	สันติวารากร	มหาวิทยาลัยขอนแก่น
รศ.ดร.สิริภัทร	เชี่ยวชาญวัฒนา	มหาวิทยาลัยขอนแก่น
รศ.ดร.วิศิษฐิพร	สุขสมบัติ	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี
รศ.ดร.กริช	สมกันธา	มหาวิทยาลัยราชภัฏอุดรธานี
รศ.ดร.วีระเวทย์	อุทไธ	มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี
รศ.ดร.บรรจง	บุญชม	สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
รศ.ดร.บัณฑิต	ยวงสร้อย	มหาวิทยาลัยขอนแก่น
รศ.ดร.พัชริน	สงศรี	มหาวิทยาลัยขอนแก่น
รศ.ดร.ภาณุพล	หงษ์ภักดี	มหาวิทยาลัยขอนแก่น
ผศ.ดร.อังคณา	บุญยัด	มหาวิทยาลัยขอนแก่น
ผศ.ดร.สุจินต์	จิระชีวะนันท์	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
ผศ.ดร.อรอนงค์	ภูสีฤทธิ์	มหาวิทยาลัยราชภัฏร้อยเอ็ด
ผศ.ดร.เอื้อมพร	จันทร์สองดวง	มหาวิทยาลัยราชภัฏร้อยเอ็ด
ผศ.ดร.พัชรินทร์	อาตมียะนันท์	มหาวิทยาลัยวงษ์ชวลิตกุล
ผศ.ดร.วิระพันธ์	สีหานาม	มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี
ผศ.ดร.รัตนจิรา	รัตนประเสริฐ	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน วข.สุรินทร์
ผศ.ดร.ศุภลักษณ์	เกตุดากแดด	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน วข.สุรินทร์
ผศ.ดร.น.สพ.สุทธิดล	ปิยะเดชสุนทร	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน วข.สุรินทร์
ผศ.ดร.ปรัชญา	บำรุงกุล	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน วข.สุรินทร์
ผศ.ดร.วิภาสทธิ์	หิรัญรัตน์	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน วข.สุรินทร์
ดร.ทิวากร	อำพาพล	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน วข.สุรินทร์
ดร.นิตยา	ภูงาม	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน วข.สุรินทร์
ดร.เรวัฒน์	เต็มกล้า	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน วข.สุรินทร์
ดร.สุทธิชาน์	นิลฤทธิ์	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน วข.สุรินทร์
ดร.สุริยา	อดด้วง	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน วข.สุรินทร์
ดร.วรรณิสร์	เมืองมาหล้า	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน วข.สุรินทร์

กำหนดออกวารสาร

พิมพ์เผยแพร่ราย 4 เดือน

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

พิมพ์ที่

คณะเกษตรศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน วิทยาเขตสุรินทร์

ต้นฉบับที่ได้รับการตีพิมพ์ถือเป็นลิขสิทธิ์ของวารสารเกษตรศาสตร์และเทคโนโลยีและบทความในวารสารเป็นแนวคิดของผู้แต่งมิใช่เป็นแนวคิดของคณะกรรมการจัดทำวารสาร และมิใช่เป็นความรับผิดชอบของคณะเกษตรศาสตร์และเทคโนโลยี

รายนามผู้ทรงคุณวุฒิพิจารณาบทความ ปีที่ 6 ฉบับที่ 2

ศ.ดร.สุรพล แสนสุข	มหาวิทยาลัยมหาสารคาม
รศ.ดร.รัชตภรณ์ ลุนสิน	มหาวิทยาลัยราชภัฏอุบลราชธานี
รศ.ดร.สจี กัณหาเรียง	มหาวิทยาลัยขอนแก่น
รศ.ดร.กิตติพงษ์ ลาลูน	มหาวิทยาลัยขอนแก่น
ผศ.ดร.พรชัย ทหารโคตร	มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์
ผศ.ดร.นิภาวรรณ จิตโสภาคกุล	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน วข.สุรินทร์
ผศ.ดร.ศักดิ์ชาญ เหลืองมณีโรจน์	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน วข.สุรินทร์
ผศ.ดร.วิลาวัลย์ บุญศรี ประทัยเทพ	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน วข.สุรินทร์
ผศ.ดร.รัชนี พุทธา	มหาวิทยาลัยแม่โจ้
ผศ.ดร.สุบรรณ ฝอยกลาง	มหาวิทยาลัยแม่โจ้
ผศ.ดร.กัมปนาท เกษัชชา	มหาวิทยาลัยนครพนม
ผศ.ดร.ขวัญเดือน รัตนา	มหาวิทยาลัยราชภัฏอุบลราชธานี
ผศ.ดร.จตุพร หงส์ทองคำ	มหาวิทยาลัยราชภัฏร้อยเอ็ด
ผศ.ดร.เอื้อมพร จันทรสองดวง	มหาวิทยาลัยราชภัฏร้อยเอ็ด
ผศ.ดร.ภาสพิชญ์ ชูใจ มิเชล	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
ผศ.ดร.ภาคภูมิ จันทรศรี	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
ผศ.ดร.มงคล นามลักษณะ	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
ผศ.ดร.โอฬาริก สุรินตะ	มหาวิทยาลัยมหาสารคาม
ผศ.ดร.ชนิษฐา เพ็งมีศรี	มหาวิทยาลัยมหาสารคาม
ผศ.ดร.กนกกานต์ ลายสนธิ์	มหาวิทยาลัยราชภัฏสุรินทร์
ผศ.ดร.นิตานาด แก้ววินัด	มหาวิทยาลัยราชภัฏสุรินทร์
ผศ.นราศักดิ์ วงษ์วาสน์	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน วข.สุรินทร์
ผศ.สอนรินทร์ เรืองปรัชญากุล	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน วข.สุรินทร์
ผศ.ดร.วุฒิชัย สิทธิวงษ์	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน วข.สุรินทร์
ดร.พงศ์ภัทร เกียรติประเสริฐ	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน วข.สุรินทร์
ดร.วิโรจน์ เกสรบัว	มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี
ดร.อานนท์ จันทรเกตุ	มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี
ดร.สุพัตรา มหาโกสี	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน
ดร.รำไพ นามพิลา	มหาวิทยาลัยขอนแก่น
ดร.บุญญา ศาวิรักษ์	มหาวิทยาลัยกาฬสินธุ์
ดร.ชัชวาลย์ แสงฤทธิ์	มหาวิทยาลัยนครพนม
สพ.ญ.ดร.พิมพ์ชนก โล่ทองคำ	มหาวิทยาลัยราชภัฏนครราชสีมา

บทบรรณาธิการ



คณะเกษตรศาสตร์และเทคโนโลยี

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน

วิทยาเขตสุรินทร์

วารสารเกษตรศาสตร์และเทคโนโลยี มทร.อีสาน (Agriculture & Technology RMUTI Journal) เป็นวารสารทางวิชาการด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีที่มีผู้ทรงคุณวุฒิ (Peer review) โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อเผยแพร่ความรู้และผลงานวิชาการทางด้านเกษตรศาสตร์และเทคโนโลยี รวมทั้งเป็นสื่อกลางในการแลกเปลี่ยนความคิดเห็นทางวิชาการเชิงสร้างสรรค์ เพื่อส่งเสริมอาจารย์ นักวิชาการ นักวิจัย นักศึกษา และผู้ที่เกี่ยวข้องให้มีส่วนร่วมในการถ่ายทอดองค์ความรู้ เทคโนโลยี หรือนวัตกรรมแก่สังคม ทำการเผยแพร่ในรูปแบบวารสารอิเล็กทรอนิกส์ฐานข้อมูลระบบออนไลน์ และรูปเล่ม จำนวน 3 ฉบับต่อปี ในทุก ๆ 4 เดือน โดยฉบับที่ 1 ระหว่างเดือนมกราคม-เมษายน ฉบับที่ 2 ระหว่างเดือนพฤษภาคม-สิงหาคม และฉบับที่ 3 ระหว่างเดือน กันยายน-ธันวาคม เปิดรับบทความที่เกี่ยวข้อง ได้แก่ เกษตรศาสตร์ วิศวกรรมศาสตร์ วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี ให้เป็นไปตามรูปแบบของวารสาร

คณะเกษตรศาสตร์และเทคโนโลยี ได้เห็นความสำคัญของการพัฒนาและส่งเสริมผลงานวิจัยเพื่อเผยแพร่เชิงบูรณาการให้มีคุณภาพ เกิดประโยชน์อย่างแท้จริง สำหรับฉบับนี้ มีบทความวิจัยด้วยกัน 11 เรื่อง ประกอบด้วยสาขาเกษตรศาสตร์ 4 เรื่อง สาขาวิศวกรรมศาสตร์ 2 เรื่อง สาขาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี 5 เรื่อง โดยวารสารเกษตรศาสตร์และเทคโนโลยี (Agriculture and Technology RMUTI Journal) เป็นวารสารที่มีคุณภาพและมีชื่อในศูนย์ดัชนีการอ้างอิงวารสารไทย (Thai-Journal Citation Index Centre; TCI1)

กองบรรณาธิการขอขอบคุณผู้ทรงคุณวุฒิทุกท่านที่ให้ข้อเสนอแนะสำหรับในแต่ละบทความวิจัย ขอขอบคุณผู้เขียนทุกท่านที่ได้ส่งบทความอันเป็นประโยชน์ เผยแพร่สู่สาธารณะเพื่อพัฒนางานวิจัยของชาติต่อไป

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วุฒิชัย สิทธิวงษ์

บรรณาธิการ



- การประเมินความมีชีวิตและวิธีการเก็บรักษาละอองเกสรมะเขือเทศเพื่อการผลิตเมล็ดพันธุ์ 1
Assessment viability and storage method for tomato pollen for seed production
ศุภลักษณ์ สัตย์สมิทธิสถิต และเปรมจิต ถิ่นคำ
- ผลของ BA (6-benzyladenine) และน้ำมะพร้าวต่อการเจริญเติบโตของต้นผักเป็ดแดงใบต่าง 11
(*Alternanthera reineckii* ‘rosanervig’) ในสภาวะปลอดเชื้อ
The effect of BA (6-benzyladenine) and coconut water on the growth of
variegated red duckweed (*Alternanthera reineckii* ‘rosanervig’) in vitro
รชนิมุข หิรัญสัจจาเลิศ มะลิวัลย์ คุตะโค ปัญญา นิลเกิด คณิน สายอยู่
และภาควรรณ เศรษฐมงคล
- A review on the ethnobotany of exotic species in Thailand III: 19
Tamarindus indica L. (Fabaceae)
Kittiyut Punchay and Prateep Panyadee
- ระบบปัญญาประดิษฐ์สำหรับการคัดแยกขยะด้วยการประยุกต์ใช้แบบจำลองการเรียนรู้เชิงลึก 34
Artificial intelligence for waste sorting using applied deep learning models
ธนโชติ พลศรีพิมพ์ สุนิสา สุโขพันธ์ และเปรม อิงคเวชชากุล
- ผลของมูลสัตว์ชนิดต่าง ๆ ที่หมักร่วมกับขานอ้อยต่อการเจริญเติบโต และผลผลิตของผักกาด 43
หัวพันธุ์เอเวอเรสต์ไฮบริด
Effects of animal manure and bagasse compost on growth and yield of
Chinese Everest hybrid radish
ประภัสสร สมบัติศรี และนิพนธ์ สนธิธรรม

- ผลของการใช้กลีเซอรินดิบทดแทนเมล็ดข้าวโพดบดต่อประสิทธิภาพการเจริญเติบโต
การย่อยได้ของโภชนะและพลังงาน และการเปลี่ยนแปลงของระบบทางเดินอาหารในสัตว์ปีก 50
Effects of using crude glycerin replacement for ground corn on growth efficiency,
digestibility of nutrients and energy, and change of gastrointestinal tract in poultry
มุกดา ประชุมฉลาด อรุณรัตน์ เสียงสนั่น ชยพล มีพร้อม ทรงยศ กิตติชนม์ธวัช
จักรกริช หอมขาว และนันทการณ จันดี
- ผลของการเสริมวิตามินอีในอาหารต่อคุณภาพน้ำเชื้อและอัตราการผสมติดในไก่พื้นเมือง 64
The effect of dietary vitamin E supplementation on semen quality and
fertility rate in native chicken
สุจิตรา ทิพย์ศรีราช อมรรัตน์ สุวรรณโพธิ์ศรี พัชรา บำรุง และทิพย์วดี ประไพวงษ์
- ประสิทธิภาพของสารกำจัดเชื้อราต่อการควบคุมโรคแอนแทรกซ์ในดอกของทุเรียน 75
ที่มีสาเหตุจากเชื้อรา *Colletotrichum gloeosporioides* (CGD 5)
Efficacy of fungicides for controlling anthracnose disease on durian flowers
caused by *Colletotrichum gloeosporioides* (CGD 5)
ธิตี ทองคำงาม ไพรัตน์ อ่ำลอย ธีรโชติ บุญคุ้ม และสุกฤตา อนุตระกูลชัย
- การพัฒนามิเตอร์ไฟฟ้าแบบ IoT (Internet of Things) 5 หน่วย 86
Development of 5-unit IoT-based electricity meters
ณรงค์ชัย ดีสม บุตรดี มะลีย์ทอง ปรัชญา ประยงค์หอม จำนงค์ พันสนิท
และบุญเจตน์ แจ่มจันทร์



การกำหนดการออกแบบที่เหมาะสมและมาตรฐานราคาก่อสร้างอาคารขนาดเล็ก รับซื้อ-ขายผลิตผลเกษตรในประเทศไทย	97
---	----

Determination of appropriate design and standard construction price of
small agricultural product buying-selling building in Thailand

นพกร เกตุบุญชัยพร สุภาหิตานุกุล จงจิตร หิรัญลาภ และโจเซฟ เคดารี

การออกแบบการทดลองเพื่อหาค่าสภาวะที่เหมาะสมของกระบวนการขึ้นรูปถ่านดูดกลิ่น จากเปลือกมังคุด	107
--	-----

Design of experiment for evaluation the optical condition in deodorizing
charcoal forming from mangosteen peel

*วัชนะชัย จุมผา จิตาภา โฮจิ่น พงศกร รอดศิลา สหรัฐ วิโคตร
และสมศักดิ์ แก้วพลอย*

Received: August 21, 2024; Revised: December 6, 2024; Accepted: March 26, 2025

การประเมินความมีชีวิตและวิธีการเก็บรักษาละอองเกสรมะเขือเทศเพื่อการผลิตเมล็ดพันธุ์ Assessment viability and storage method for tomato pollen for seed production

ศุภลักษณ์ สัตยสมิตสถิต^{1*} และเปรมจิต ถิ่นคำ²
Supalak Sattayasamitsathit^{1*} and Premjit Thinkum²

¹ศูนย์วิจัยและพัฒนาเมล็ดพันธุ์พืชพิษณุโลก จังหวัดพิษณุโลก

¹Phitsanulok Seed Research and Development Center, Phitsanulok Province

²ศูนย์วิจัยและพัฒนาเมล็ดพันธุ์พืชขอนแก่น จังหวัดขอนแก่น

²Khonkaen Seed Research and Development Center, Khonkaen Province

*Corresponding Author E-mail Address : supalakus@yahoo.com

บทคัดย่อ

มะเขือเทศเป็นพืชผักทางเศรษฐกิจที่สำคัญ ในกระบวนการปรับปรุงพันธุ์เพื่อให้ได้พันธุ์ใหม่ ๆ และการผลิตเมล็ดพันธุ์มะเขือเทศลูกผสม ต้องใช้ละอองเกสรที่มีคุณภาพ จำเป็นต้องผ่านกระบวนการตรวจสอบคุณภาพของละอองเกสรเริ่มต้นก่อนนำไปผสม โดยงานวิจัยนี้ทำการศึกษาสีย้อมที่เหมาะสมเพื่อประเมินความมีชีวิตของละอองเกสรมะเขือเทศแบบรวดเร็วและประเมินความงอกของละอองเกสรด้วยการหาความเข้มข้นของน้ำตาลซูโครสต่อการชักนำให้เกิดการงอก และศึกษาอุณหภูมิที่เหมาะสมต่อการเก็บรักษาละอองเกสรมะเขือเทศเพื่อยืดอายุละอองเกสร โดยวางแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ประกอบด้วย 4 กรรมวิธี 5 ซ้ำ พบว่า สีย้อมที่เหมาะสมต่อการทดสอบความมีชีวิตที่แยกความแตกต่างระหว่างละอองที่มีชีวิตและไม่มีชีวิตของละอองเกสรมะเขือเทศ คือ สีย้อมไอโอดีน 1 เปอร์เซ็นต์ สามารถย้อมติดละอองเกสรได้ดีที่ระยะเวลาการย้อมเพียง 10 นาที สูตรสารละลายน้ำตาลที่เหมาะสม คือ สารละลายน้ำตาลซูโครสความเข้มข้น 20 เปอร์เซ็นต์ โดยละอองเกสรมะเขือเทศมีการงอกสูงสุดเท่ากับ 67.50 เปอร์เซ็นต์ การเก็บรักษาที่อุณหภูมิ -20 องศาเซลเซียส สามารถเก็บรักษาละอองเกสรได้นานถึง 30 วัน โดยละอองเกสรมะเขือเทศยังคงมีชีวิต 100 เปอร์เซ็นต์ และละอองเกสรมีการงอก 22.5 เปอร์เซ็นต์ และเมื่อนำละอองเกสรที่เก็บรักษาไปทดสอบการติดผลและคุณภาพเมล็ดพันธุ์ พบว่า มะเขือเทศมีการติดผล 42.27 เปอร์เซ็นต์ ให้น้ำหนักผลสดเฉลี่ย 26.50 กรัมต่อผล และน้ำหนักเมล็ดเฉลี่ย 0.09 กรัมต่อผล เมล็ดมีความงอกสูง 99 เปอร์เซ็นต์ ดังนั้นวิธีการเก็บรักษาละอองที่ได้ สามารถนำไปประยุกต์ใช้ในการปรับปรุงพันธุ์หรือการผลิตเมล็ดพันธุ์ต่อไป

คำสำคัญ: มะเขือเทศ การเก็บรักษาละอองเกสร เมล็ดพันธุ์ลูกผสม

Abstract

Tomato is an important economic vegetable crop. In the breeding process to develop new varieties and in the production of hybrid tomato seeds, high-quality pollen must be used. It is essential for the pollen to undergo an initial quality assessment prior to pollination. This study investigated a suitable dye for rapid assessment of tomato pollen viability, evaluated pollen germination by determining the optimal sucrose concentration to induce germination, and examined appropriate storage temperatures to extend pollen longevity. The experiment was conducted using a Completely Randomized Design (CRD) with four

treatments and five replications. The results showed that 1% Acetocarmine was the most effective dye for distinguishing between viable and non-viable tomato pollen, with clear staining achieved in just 10 minutes. The optimal sucrose solution for inducing pollen germination was found to be 20%, resulting in the highest germination rate of 67.50%. Pollen stored at -20°C remained viable for up to 30 days, retaining 100% viability and a germination rate of 22.5%. When this stored pollen was used for pollination, the resulting fruit set was 42.27%, with an average fresh fruit weight of 26.50 grams per fruit and an average seed weight of 0.09 g/fruit. The seeds had a high germination rate of 99%. Therefore, the developed pollen preservation method can be effectively applied to tomato breeding programs and hybrid seed production in the future.

Keywords: Tomato, Pollen storage, Hybrid seed

บทนำ

มะเขือเทศ (*Solanum lycopersicum*) เป็นพืชผักทางเศรษฐกิจที่สำคัญ มีพื้นที่การเพาะปลูกทั่วโลกในปี พ.ศ. 2565 ประมาณ 32 ล้านไร่ มีผลผลิตมากกว่า 186 ล้านตัน (FAOSTAT, 2023) สำหรับประเทศไทยมีการบริโภคมะเขือเทศกันอย่างแพร่หลายทั้งในรูปแบบการบริโภคสดและผลิตภัณฑ์แปรรูป เช่น น้ำมะเขือเทศ ซอสมะเขือเทศ เป็นต้น การผลิตมะเขือเทศสำหรับโรงงานอุตสาหกรรมเป็นการผลิตที่มีพื้นที่มากที่สุด ประมาณ 39,000 ไร่ และผลผลิตรวมประมาณ 139,760 ตัน (Office of Agricultural Economics, 2023) นอกจากการผลิตเพื่อบริโภคสดและอุตสาหกรรมแล้ว การผลิตเพื่อผลิตเมล็ดพันธุ์ก็มีมูลค่าทางเศรษฐกิจสูงเช่นกัน โดยมีมูลค่าการส่งออกเมล็ดพันธุ์มะเขือเทศในปี พ.ศ. 2566 มีมูลค่าสูงถึง 1,457 ล้านบาท (Bureau of plant and agricultural materials control, 2023) โดยเมล็ดพันธุ์ที่ส่งออกส่วนใหญ่จะเป็นเมล็ดพันธุ์ลูกผสมที่มีหลากหลายสายพันธุ์ตามความต้องการของตลาด ในกระบวนการปรับปรุงพันธุ์เพื่อให้ได้พันธุ์ตามความต้องการมีขั้นตอนค่อนข้างยุ่งยากซึ่งหนึ่งในขั้นตอนที่สำคัญคือเรื่องการผสมพันธุ์พืชให้ได้พันธุ์ใหม่ ๆ ปัจจุบันที่เข้ามาเกี่ยวข้องคือการใช้ละอองเกสรของสายพันธุ์พ่อซึ่งมีทั้งการนำเข้าจากต่างประเทศและผลิตเองภายในบริษัท การใช้ละอองเกสรที่มีคุณภาพจึงเป็นจุดเริ่มต้นของกระบวนการต่าง ๆ สำหรับการปรับปรุงพันธุ์พืชและการผลิตเมล็ดพันธุ์พืชลูกผสมที่มีคุณภาพ ละอองเกสรที่มีคุณภาพจำเป็นต้องผ่านกระบวนการตรวจสอบคุณภาพ ตั้งแต่ขั้นตอนการคัดเลือกสายพันธุ์พ่อแม่ เพื่อการผลิตเมล็ดพันธุ์ลูกผสมทั้งปริมาณและความมีชีวิตของละอองเกสร เริ่มต้นก่อนนำไปผสม คุณสมบัติเชิงหน้าที่ของละอองเกสรนี้หลังจากที่ถูกปล่อยจากอับละอองเกสรจะแตกต่างกันไปในแต่ละสายพันธุ์พืช และคุณภาพของละอองเกสรจะถูกประเมินจากควมมีชีวิต ซึ่งเป็นดัชนีบ่งชี้คุณภาพและความแข็งแรงของละอองเกสร เพื่อที่จะรักษาควมมีชีวิตและความสามารถในการปฏิสนธิของละอองเกสรที่ยาวนาน การตรวจสอบทางสรีรวิทยาและชีวเคมีเกี่ยวกับการงอกและการเจริญของหลอดละอองเกสรจึงค่อนข้างยาก ดังนั้นเทคนิคการตรวจสอบควมมีชีวิตและการงอกในหลอดทดลองจึงถูกนำมาใช้ในการประเมินคุณภาพละอองเกสรหลากหลายชนิดพืชอย่างกว้างขวาง นอกจากนี้การเก็บรักษาละอองเกสรเป็นสิ่งจำเป็นสำหรับโปรแกรมการปรับปรุงพันธุ์ การอนุรักษ์พันธุกรรม และการผสมเกสรเทียมของไม้ดอก การเข้ากันไม่ได้ของคู่ผสม หรือดอกที่ตัวผู้เป็นหมัน การเก็บละอองเกสรเป็นระยะเวลานานโดยไม่สูญเสียควมมีชีวิต มีความสามารถในการงอกและปฏิสนธิจะแตกต่างกันอย่างมากขึ้นอยู่กับสายพันธุ์พืชและสภาพการจัดเก็บ (Dafni & Firmage, 2000) ละอองเกสรของพืชจำพวกหญ้า เช่น ข้าว ข้าวสาลี และข้าวโพดมีอายุสั้นมากโดยมีอายุเพียงไม่กี่นาที่จนถึงไม่กี่ชั่วโมง (Luna et al., 2001) เมื่อเปรียบเทียบกับแล้ว ละอองเกสรของกกจะมีอายุยืนยาวสูงสุดประมาณ 120 วัน ที่อุณหภูมิ 24 องศาเซลเซียส เมื่ออยู่ในบรรยากาศที่มีความชื้นสัมพัทธ์ 40 เปอร์เซ็นต์ (van Bilsen & Hoekstra, 1993) สาเหตุหลักประการหนึ่งที่ทำให้ละอองเกสรมีอายุยืนยาวแตกต่างกันในพืชแต่ละชนิดนั้นเกิดจากความแตกต่างในความทนทานต่อความชื้นที่ต่ำของละอองเกสร (Desiccation tolerance) โดยทั่วไปแล้วละอองเกสรของพืชวงศ์ Gramineae จะไม่สามารถอยู่รอดจากอากาศที่แห้งได้ และมีความอ่อนไหวต่อความเสียหายที่เกิดจากการลดความชื้น อย่างไรก็ตามละอองเกสรส่วนใหญ่โดยเฉพาะละอองเกสร Bicellular pollen รวมทั้งละอองเกสรมะเขือเทศจะทนต่อความแห้ง และสามารถเก็บไว้ได้นานโดยไม่สูญเสียควมมีชีวิตภายใต้สภาวะความชื้นต่ำ (Hanna & Towill, 1995) ละอองเกสรของมะเขือเทศที่เก็บไว้ในสภาวะสัมพัทธ์กับอากาศสูญเสียความสามารถในการงอกไปครึ่งหนึ่งภายใน 2 วัน ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส และภายใน 5 วัน ที่อุณหภูมิ 6 องศาเซลเซียส (Abdul-Baki, 1992) ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงทำการศึกษาเทคนิค

การตรวจสอบความมีชีวิตด้วยการย้อมสีและสูตรอาหารที่เหมาะสมในการงอกของละอองเกสรมะเขือเทศพันธุ์ ศก.19 และวิธีการเก็บรักษาเพื่อยืดอายุของละอองเกสร

วัสดุ อุปกรณ์ และวิธีการ

1. การเตรียมพืชที่ใช้ในการทดลอง

เตรียมมะเขือเทศพันธุ์ ศก.19 เพื่อผลิตละอองเกสร โดยทำการปลูกมะเขือเทศในกระถางขนาด 12 นิ้ว เริ่มจากทำการเพาะกล้าและย้ายปลูกเมื่อต้นกล้าอายุ 2 สัปดาห์ หลังจากนั้นดูแลรักษาให้น้ำ ใส่ปุ๋ยอย่างสม่ำเสมอ หลังจากพืชเริ่มออกดอก สุ่มเก็บดอกตูม เลือกดอกที่จะบานในวันถัดไปเก็บไว้ในถุงซิปล็อค และเก็บละอองเกสรในตอนเช้า

2. ศึกษาวิธีการตรวจสอบความมีชีวิตของละอองเกสรโดยการย้อมสี

วางแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ (Completely Randomized Design; CRD) ประกอบด้วย 4 กรรมวิธี 5 ซ้ำ ได้แก่ กรรมวิธีที่ 1 ย้อมละอองเกสรด้วยแอนีลีนบลู (Aniline blue) 2 เปอร์เซ็นต์
กรรมวิธีที่ 2 ย้อมละอองเกสรด้วยอะซิโตนคาร์มิน (Acetocarmine) 1 เปอร์เซ็นต์
กรรมวิธีที่ 3 ย้อมละอองเกสรด้วยเอ็มทีที (3-(4, 5-dimethylthiazolyl-2)-2, 5-diphenyltetrazolium bromide) 0.5 เปอร์เซ็นต์

กรรมวิธีที่ 4 ย้อมละอองเกสรด้วยกรดฟุสซิน (Acid fuchsin) 1 เปอร์เซ็นต์

โดยเขียนละอองเกสรของมะเขือเทศวางบนแผ่นกระจกสไลด์ แล้วหยดด้วยสารละลายสีตามกรรมวิธีทดสอบจำนวน 2 หยด ปิดด้วยกระจกปิดสไลด์นำแผ่นกระจกสไลด์ไปวางในจานแก้วที่มีกระดาษทิชชูเปียกน้ำชุ่มพอประมาณ แล้วปิดฝาจานแก้ว และนำไปเก็บในที่มืดที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง แต่ละซ้ำนับละอองเกสรทั้งหมด 200 ละอองเกสร เมื่อครบกำหนดนำมาตรวจนับความมีชีวิตของละอองเกสรโดยใช้กล้องจุลทรรศน์ กำลังขยาย 10 เท่า ละอองเกสรที่มีชีวิตจะติดสี ส่วนละอองเกสรที่ไม่มีชีวิตจะไม่ติดสี

3. ศึกษาวิธีการตรวจสอบความมีชีวิตของละอองเกสรด้วยการทดสอบการงอก

ทดสอบความงอกโดยเขียนละอองเกสรลงในสไลด์หลุมและหยดสารละลายน้ำตาลซูโครสที่ระดับความเข้มข้น 0, 5, 10, 15 และ 20 เปอร์เซ็นต์ โดยในสารละลายน้ำตาลจะมีองค์ประกอบของกรดบอริก 0.01 กรัม แคลเซียมไนเตรต 0.03 กรัม แมกนีเซียมซัลเฟต 0.02 กรัม โพแทสเซียมไนเตรต 0.01 กรัม (Brewbaker & Kwack, 1963) จากนั้นนำไปวางในที่มืดที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 6 ชั่วโมง แต่ละซ้ำนับละอองเกสรทั้งหมด 200 ละอองเกสร โดยละอองเกสรที่มีชีวิตจะมีความยาวของหลอดละอองเกสรมากกว่าเส้นผ่านศูนย์กลางของละอองเกสร คำนวณความงอกของละอองเกสรจากสมการความงอก (เปอร์เซ็นต์) = (จำนวนละอองเกสรงอก × 100) / จำนวนละอองเกสรทั้งหมด

4. ศึกษาวิธีการเก็บรักษาละอองเกสรมะเขือเทศ

เตรียมมะเขือเทศเพื่อผลิตละอองเกสรโดยดำเนินการในช่วงเดือนพฤศจิกายน - มกราคม โดยปลูกในถาดเพาะแล้วย้ายปลูกเมื่อต้นกล้าอายุ 2 สัปดาห์ หลังจากนั้นดูแลรักษาให้น้ำ ใส่ปุ๋ยอย่างสม่ำเสมอ หลังจากพืชเริ่มออกดอก สุ่มเก็บดอกตูม เลือกดอกที่จะบานในวันถัดไปเก็บไว้ในถุงซิปล็อค ทำการเก็บละอองเกสรในตอนเช้าและนำไปบรรจุลงในหลอด Plastic cryopreservation vial ขนาด 1.8 มิลลิลิตร นำไปเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส อุณหภูมิ -20 องศาเซลเซียส และอุณหภูมิห้อง ทำการสุ่มตัวอย่างละอองเกสรทุก 10 วัน มาตรวจสอบความมีชีวิตด้วยการทดสอบความมีชีวิตด้วยการย้อมสี และทดสอบการงอกจนครบ 30 วัน โดยก่อนการตรวจสอบนำตัวอย่างละอองเกสรมาบ่มในอ่างน้ำควบคุมอุณหภูมิที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที

5. การทดสอบการผสมเกสรมะเขือเทศหลังการเก็บรักษาละอองเกสรเพื่อผลิตเมล็ดพันธุ์

ทำการเลือกดอกที่พร้อมจะผสม และกำจัดเกสรตัวผู้ที่อยู่ภายในดอกตัวเมียออกก่อนโดยใช้ปากคีบขนาดเล็กดึงเกสรตัวผู้ ออกให้หมดเพื่อป้องกันการเกิดการปนเปื้อนของละอองเกสร เมื่อทำการตอนดอกแล้วทำความสะอาดปากคีบ โดยใช้แอลกอฮอล์ 70 เปอร์เซ็นต์ ทำความสะอาดทุกครั้งก่อนที่จะเริ่มทำดอกต่อไป เพื่อป้องกันการปนเปื้อนของละอองเกสร เช่นกัน นำละอองเกสรที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ -20 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 30 วัน มาแตะลงบนปลายยอดเกสรตัวเมียที่ เตรียมไว้ในปริมาณที่มากพอ หลังจากนั้นปิดดอกไว้ตามเดิม หลังจากการผสมเกสรเรียบร้อยแล้ว เขียนป้ายระบุรายละเอียด ได้แก่ วันผสม ชื่อผู้ผสม และอื่น ๆ ที่จำเป็น ดูแลรักษาให้น้ำ ใส่ปุ๋ย กำจัดวัชพืชตลอดการปลูก หลังจากมะเขือเทศสุกแดง เต็มที่ทำการนับการติดผล และเก็บผลนำมาผ่าตามขวางและปับเมล็ดออกจากผล นำไปล้างให้สะอาดจากนั้นนำเมล็ดมาผึ่งให้ แห้ง นำเมล็ดไปตรวจสอบคุณภาพด้านความงอก ความแข็งแรง

6. การตรวจสอบความงอกแบบเพาะเมล็ดบนกระดาษ (Top of paper)

เตรียมวัสดุเพาะโดยตัดกระดาษเพาะขนาดกว้าง 4 นิ้ว x ยาว 4 นิ้ว จำนวน 6 แผ่น มีจำนวนช่องการเพาะเมล็ดพันธุ์ 100 เมล็ด นำกระดาษที่เตรียมไว้ใส่กล่องพลาสติกขนาดเล็กและเทน้ำกลั่นใส่กล่อง 12 มิลลิลิตร ทิ้งไว้ให้กระดาษอืดตัวด้วย น้ำประมาณ 15 นาที ใช้ปากคีบเมล็ดพันธุ์วางบนกระดาษ โดยวางช่องละ 1 เมล็ด จำนวน 100 ช่อง ทำทั้งหมด 4 ซ้ำ จากนั้น ปิดฝาให้สนิทเพื่อป้องกันการสูญเสียความชื้น นำไปเพาะในตู้เพาะที่อุณหภูมิ 20 และ 30 องศาเซลเซียส โดยอุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 16 ชั่วโมง และอุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 8 ชั่วโมง เมื่อครบกำหนด นำตัวอย่างออกจาก ห้องเพาะเพื่อประเมินความงอกครั้งที่ 5 วันและครั้งสุดท้ายที่ 14 วัน หลังการเพาะ ทำการประเมินของต้นอ่อนปกติ ต้นอ่อนผิดปกติ เมล็ดแข็ง เมล็ดสดไม่งอก และเมล็ดตาย นำข้อมูลมาคำนวณเปอร์เซ็นต์ความงอก (ISTA, 2023)

7. การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ

นำข้อมูลมาวิเคราะห์ความแปรปรวน (Analysis of variance) และทดสอบความแตกต่างของค่าเฉลี่ย โดยวิธี Duncan's Multiple Range Test (DMRT) ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ ด้วยโปรแกรมสำเร็จรูป SPSS Statistics 26

ผลการวิจัย และการอภิปรายผล

1. การตรวจสอบความมีชีวิตของละอองเกสรโดยการย้อมสี

จากการตรวจสอบความมีชีวิตของละอองเกสรมะเขือเทศ ละอองเกสรที่มีชีวิตจะย้อมติดสีแดงหรือชมพู เมื่อย้อมด้วย อะซิโตคาร์มิน กรดฟูสซิน ละอองเกสรที่มีชีวิตจะย้อมติดสีน้ำเงินเข้มเมื่อย้อมด้วยแอนีนีลีนบลู และเอ็มทีที ละอองเกสรที่ไม่มี ชีวิตจะไม่พบการติดสี (Figure 1) สีย้อมที่เหมาะสมต่อการทดสอบความมีชีวิตของละอองเกสรมะเขือเทศ พันธุ์ ศก. 19 ได้แก่ Acetocarmine 1 เปอร์เซ็นต์ โดยให้ค่าความมีชีวิตสูงสุด 93.25 เปอร์เซ็นต์ เมื่อใช้ระยะเวลาในการย้อม 10 นาที แต่การใช้สี ย้อมเอ็มทีที ให้ค่าความมีชีวิต 91 เปอร์เซ็นต์ แต่ใช้เวลาในการย้อม 30 นาที ส่วนสีย้อมกรดฟูสซิน 1 เปอร์เซ็นต์ และ แอนีนีลีนบลู 1 เปอร์เซ็นต์ สามารถย้อมติดละอองเกสรได้ดีเช่นเดียวกัน โดยให้ค่าความมีชีวิตไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ มีค่าเท่ากับ 89.12 และ 88.50 เปอร์เซ็นต์ ที่ระยะเวลาการย้อม 10 นาที ตามลำดับ (Table 1) เนื่องจากการย้อมสีละออง เกสรเพื่อดูความมีชีวิตเป็นวิธีการที่ง่ายและรวดเร็ว แต่อย่างไรก็ตามวิธีการย้อมสีอาจจะไม่เหมาะสมกับพืชทุกชนิด ซึ่งการใช้ วิธีการย้อมสีเพื่อดูความแตกต่างของละอองเกสรที่มีชีวิตและไม่มีชีวิตนั้นขึ้นอยู่กับหลายปัจจัย เช่น ความเข้มข้นของสีย้อม ความหนาของผนังละอองเกสร และค่าพีเอชของสารละลายย้อมสี การย้อมสีโปรโตพลาสซึมและสีของละอองเกสรที่มีชีวิตจาก สีแดงเป็นสีแดงเข้มขึ้นอยู่กับชนิดของละอองเกสร ความเข้มข้นของสีย้อม และค่า pH ของสีย้อม (Impe et al., 2020) ความเข้มข้นของสีย้อมบางชนิด เช่น สี Aniline blue หากใช้ความเข้มข้นสูงจะทำให้ผนังของละอองเกสรมีรอยเปื้อนทำให้ แยกความแตกต่างระหว่างละอองที่มีชีวิตและไม่มีชีวิตได้ยากและเมื่อความเข้มข้นลดลง โปรโตพลาสซึมจะติดสีย้อมจากไป นอกจากนี้ยังพบว่าความต่างนั้นขึ้นอยู่กับค่าพีเอชของส่วนผสมของสีย้อม เช่นในสีย้อม Acetocarmine ที่ต้องละลายด้วย กรดอะซิติก ส่วนผสมของสีย้อมมีค่าพีเอชเท่ากับ 3.2 ซึ่งที่ค่าพีเอชนี้จะเห็นเฉพาะสีเขียวของผนังเกสรเท่านั้น เมื่อลดค่าพีเอ ชลงเหลือ 2.8-2.4 โปรโตพลาสซึมของละอองเกสรที่มีผนังบางจะถูกย้อมด้วยสีแดง ซึ่งสามารถมองเห็นได้ผ่าน ผนังละอองเกสร ในกรณีของละอองเกสรที่มีผนังหนาหรือมีหนามหรือทั้งสองอย่างสามารถสร้างความแตกต่างที่ดีได้

โดยการลดค่าพีเอชลงอีกเป็น 2.3 โดยการเติมกรดอะซิติกโปรโตพลาสซึมจะถูกย่อยและเกิดสีแดงเข้มขึ้น การสัมผัสกับกรดแก่ทำให้ผนังละอองเกสรจับตัวกันอย่างรวดเร็ว จากสารละลายที่เป็นของเหลวที่มีฟีนอล แอลกอฮอล์ กลีเซอรอล และคลอโรลไฮเดรต น้ำและแอลกอฮอล์จะระเหยออกไปโดยที่ส่วนประกอบที่ไม่ระเหยไว้ การซีลฝาปิดจึงอาจจะไม่มีความจำเป็นแต่อย่างไรก็ตามอาจจะต้องมีการซีลเพื่อป้องกันไม่ให้เกิดฟองอากาศได้สไลด์

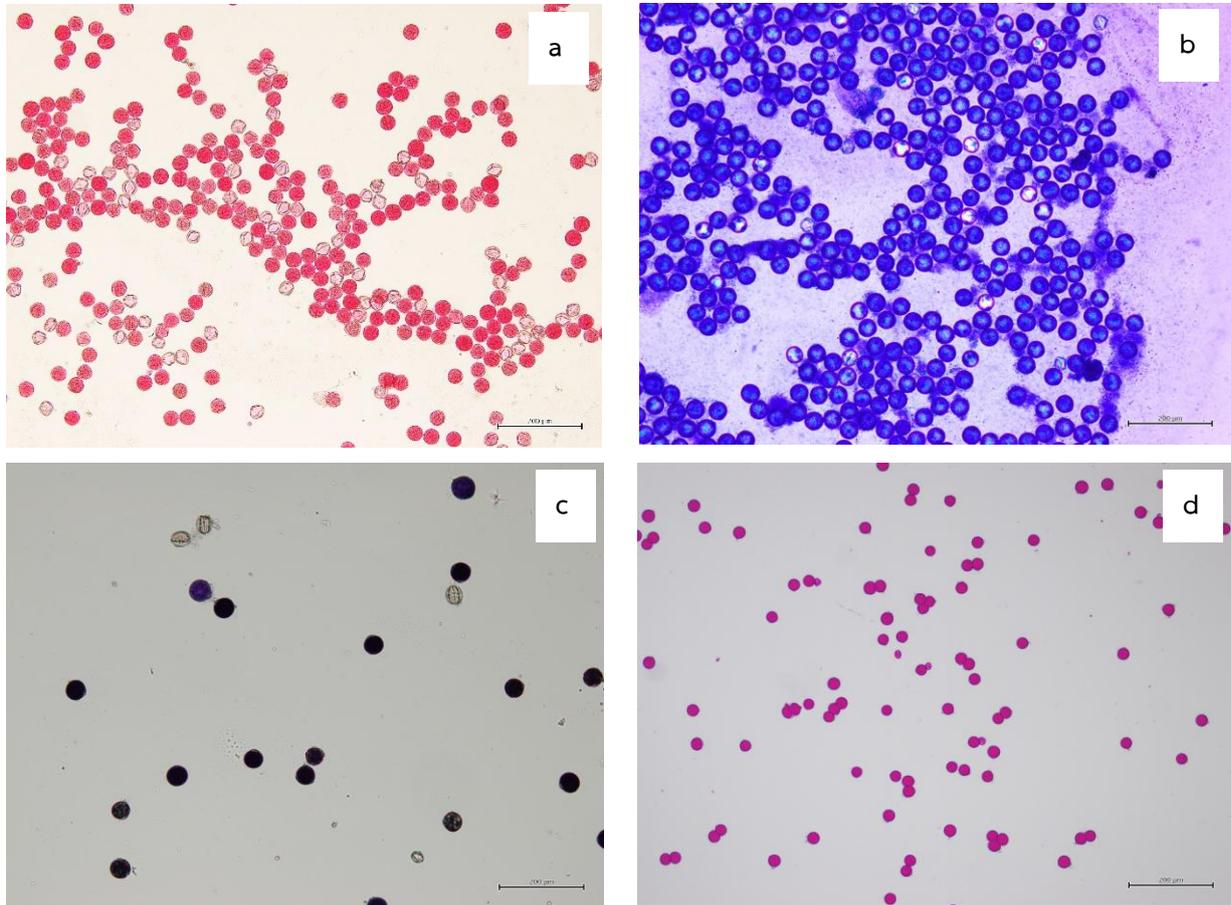


Figure 1 Staining of tomato pollen by different dyes stained with 1% Acetocarmine (a), 2% Aniline blue, 0.5% MTT (c), and 1% Acid fuchsin (d) under a microscope at 10x magnification.

Table 1 Percentage of pollen germination of tomato variety SK19 by staining with different dyes and incubation time

Incubation Time (Min) /dyes	Percentage of pollen germination ¹			
	2% Aniline blue	1% Acetocarmine	0.5% MTT	1% Acid fuchsin
10	88.50±1.22	93.25±1.19a	59.12±3.04a	89.12±2.78
20	90.87±1.18	87.25±1.32c	70.37±2.17b	90.12±1.93
30	87.87±3.97	76.37±3.79b	91.00±0.82d	90.00±2.55
45	90.62±0.85	72.38±1.70a	89.87±1.18d	90.75±2.38
60	90.12±1.70	76.75±2.60b	80.12±3.49c	91.75±0.64
F-test	ns	*	*	ns
CV (%)	16.09	10.15	2.49	2.37

¹ In the same column, means followed by different letters are significantly different at the 95% confidence level by DMRT

* = significant at the 0.05 probability levels

ns = not significantly

2. วิธีการตรวจสอบความมีชีวิตของละอองเกสรด้วยการทดสอบการงอก

จากการศึกษาการงอกของละอองเกสรมะเขือเทศ โดยใช้สารละลายน้ำตาลซูโครสความเข้มข้น 0, 5, 10, 15 และ 20 เปอร์เซ็นต์ พบว่า ละอองเกสรสามารถงอกในสารละลายน้ำตาลซูโครสทุกความเข้มข้น เปอร์เซ็นต์การงอกจะเพิ่มขึ้นตามความเข้มข้นของน้ำตาลที่เพิ่มขึ้น โดยละอองเกสรมะเขือเทศมีการงอกสูงสุดเท่ากับ 67.50 เปอร์เซ็นต์ ที่น้ำตาลซูโครสเข้มข้น 20 เปอร์เซ็นต์ ขณะที่ชุดควบคุมที่ไม่มีการเติมน้ำตาลซูโครส พบว่า ละอองเกสรไม่งอก (Table 2) ซึ่งแสดงให้เห็นว่าน้ำตาลมีผลต่อการงอกของละอองเกสรเป็นอย่างยิ่ง ทั้งนี้มีรายงานว่าซูโครสมีผลต่อการงอกของละอองเกสร 2 ประการได้แก่ ควบคุมแรงดันออสโมติกและเป็นแหล่งพลังงาน ซูโครสเป็นน้ำตาลที่สามารถเคลื่อนย้ายไปยังเนื้อเยื่อที่ไม่สังเคราะห์แสง เช่น ดอก และถูกขับออกทางเกสรตัวเมียและช่องสไตลาร์เพื่อเพิ่มความชื้นให้ละอองเกสรและช่วยส่งเสริมการเจริญเติบโตของท่อละอองเกสร เนื่องจากกิจกรรมของเอนไซม์ Cell wall invertase เป็นตัวควบคุมการงอกและการยืดยาวของละอองเกสรโดยผ่านการย่อยซูโครสที่เป็นแหล่งพลังงานให้เซลล์ ซึ่งสอดคล้องกับรายงานของ Karapanos et al. (2006) พบว่า สารที่สามารถชักนำการงอกของละอองเกสรมะเขือเทศได้ดีได้แก่ น้ำตาลซูโครส 10 เปอร์เซ็นต์ (w/v) PEG-6000 15.1 เปอร์เซ็นต์ (w/v) และวุ้น 1.5 เปอร์เซ็นต์ (w/v) ที่มีการเติมเคอเวอซิติน 5 มิลลิกรัมต่อลิตร และไมริเซติน 5 มิลลิกรัมต่อลิตร ทั้งนี้หากน้ำตาลมีความเข้มข้นสูงเกินไปจะทำให้ละอองเกสรมีอัตราการงอกต่ำเนื่องจากค่าความดันออสโมติก ทำให้เกิดแรงดันเพิ่มขึ้นส่งผลให้ละอองเกสรแตกหรือบิดเบี้ยวจนไม่สามารถงอกได้ อย่างไรก็ตาม Brewbaker & Kwack (1963) ได้รายงานว่าความเข้มข้นของสารละลายที่เหมาะสมในอาหารสังเคราะห์ที่เลี้ยงละอองเกสรนั้นอาจมีความแตกต่างกันตามชนิดพืชและสายพันธุ์ ความแตกต่างในปริมาณโพสเฟอรัสที่ละลายน้ำได้และปริมาณกรดอะมิโนของละอองเกสร ซึ่งส่งผลต่อลักษณะการสังเคราะห์โปรตีนและออสโมติก (Vasil, 1987) นอกจากนี้ยังมีกรดบอริกเป็นสารสำคัญต่อการงอกของหลอดละอองเกสร (Pollen tube) เพราะกรดบอริกมีโบรอนเป็นสารประกอบที่จำเป็นต่อการสร้างสารเพคตินซึ่งเป็นองค์ประกอบของผนังละอองเกสรและเยื่อหุ้มหลอดละอองเกสร

Table 2 Effect of sucrose concentration on pollen germination in tomato variety SK19

Sucrose concentration (%)	Pollen germination (%) ¹
0 (Control)	0.25±0.50a
5	1.75±0.80a
10	16.00±2.72ab
15	22.88±6.41b
20	67.50±23.00c
F-test	*
CV (%)	123.1

¹In the same column, means followed by different letters are significantly different at the 95% confidence level by DMRT

* = significant at the 0.05 probability levels

ns = not significantly

3. วิธีการเก็บรักษาละอองเกสรมะเขือเทศ

จากการศึกษาการเก็บรักษาละอองเกสรที่อุณหภูมิ 4 และ -20 องศาเซลเซียส ที่ระยะเวลา 30 วัน พบว่า ละอองเกสรยังคงมีชีวิต 100 เปอร์เซ็นต์ ในขณะที่การเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้องความมีชีวิตของละอองเกสรลดลงอย่างรวดเร็วเหลือเพียง 35 เปอร์เซ็นต์ ที่ 10 วันของการเก็บรักษา แต่เมื่อทดสอบความงอกพบว่า การเก็บรักษาที่อุณหภูมิ -20 องศาเซลเซียส

ละอองเกสรที่มีความงอกสูงสุดที่ระยะเวลา 10 วัน โดยละอองเกสรที่มีความงอกเท่ากับ 75 เปอร์เซ็นต์ และลดลงตามลำดับเมื่อเก็บที่ระยะเวลานานขึ้น และเมื่อเปรียบเทียบการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส พบว่า ละอองเกสรยังคงมีชีวิต 100 เปอร์เซ็นต์ ที่ระยะเวลาการเก็บ 30 วัน แต่ละอองเกสรกลับไม่งอก (Table 3) ถึงแม้ว่าละอองเกสรจะมีชีวิต อาจเป็นไปได้ว่าละอองเกสรเหล่านั้นยังคงมีระดับขององค์ประกอบทางเคมีภายในเรณุนั้นสูงมากพอที่จะสามารถทำให้ติดสปียม (Beyhan & Serdar, 2008) แต่ก็ไม่สามารถงอกออกมาได้ อาจเนื่องจากสภาพแวดล้อมที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียสไม่เหมาะสม ความชื้นสัมพัทธ์ในที่สูงเกินไปกระบวนการทางชีวเคมีภายในเซลล์ยังมีการเมตาบอลิซึมมีผลต่ออัตราการหายใจและการเจริญของจุลินทรีย์ที่ปนเปื้อนรวมถึงเอนไซม์ Pectate lyase-like (PLL) ที่เกี่ยวข้องในกระบวนการงอกของละอองเกสรสูญเสียกิจกรรม (Song et al., 2002) แต่อย่างไรก็ตามจากผลการทดสอบ พบว่า ความงอกไม่มีความสอดคล้องกับความมีชีวิตของละอองเกสรเมื่อเก็บรักษาตามกรรมวิธีทดลอง อาจเกิดเนื่องจากกระบวนการงอกของละอองเกสรที่มีความซับซ้อนและมีปัจจัยที่เกี่ยวข้องมากมาย มีรายงานว่ากระบวนการงอกของละอองเกสรที่ลดลงในช่วงเวลาที่เก็บรักษานั้นเกี่ยวข้องกับกิจกรรมเอนไซม์ลดลง การสะสมน้ำมันที่ผนังเซลล์ของละอองเกสรเปลี่ยนแปลง และขบวนการเมตาบอลิซึมของสารที่เกี่ยวข้องกับการงอกของละอองเกสรเปลี่ยนแปลงไป ส่วนอุณหภูมิและความชื้นก็เป็นปัจจัยสำคัญที่ส่งผลกระทบต่อความงอกของละอองเกสรพืช มีรายงานว่าละอองเกสรเมื่อเก็บรักษาที่มีความงอกสูงสุดที่อุณหภูมิ 15 องศาเซลเซียส (Karapanos et al., 2006) แต่ละอองเกสรจะยืดอายุได้ดีหากมีอุณหภูมิระหว่าง 22-25 องศาเซลเซียส อุณหภูมิที่สูงกว่า 25 องศาเซลเซียส ทำให้ความยาวท่อละอองเกสรลดลงและอัตราการแตกของละอองเกสรเพิ่มขึ้น จากรายงานของ Buitink and Leprince (2004) พบว่า การเก็บรักษาของละอองเกสรภายใต้สภาวะที่แห้งหรือความชื้นต่ำมีความเกี่ยวข้องกับการเกิดสถานะคล้ายแก้ว (Glassy state) (ความหนืดสูงและมีความสมดุลกึ่งหนึ่งระหว่างของแข็งของเหลว) ในไซโทพลาซึม ความหนืดสูงภายในเซลล์จะเป็นการลดการเคลื่อนที่ของโมเลกุลและขัดขวางการแพร่กระจายภายในไซโทพลาซึม จึงทำให้การเสื่อมสภาพของละอองเกสรระหว่างการเก็บรักษาช้าลง นอกจากนี้การเก็บรักษาที่นานขึ้น การเสื่อมสภาพของละอองเกสรภายในเซลล์จะเพิ่มขึ้นเนื่องจากการทำงานของเอนไซม์ลดลง เช่น เอนไซม์ไซโตโครมออกซิเดส เกิดการสะสมอนุมูลอิสระเพิ่มขึ้น และการเกิดดีเอสเทอร์ฟิเคชันและเปอร์ออกซิเดชันของลิพิดเยื่อหุ้มเซลล์ ส่งผลให้ส่วนประกอบของเซลล์รั่วไหลมากขึ้นเมื่อมีการดูดน้ำกลับเข้าไปใหม่การรั่วไหลของของเหลว (Taylor & Hepler, 1997) ความเสียหายของเยื่อหุ้มละอองเกสรที่เกิดจากความแก่ไม่เกี่ยวข้องกับการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างของโปรตีน (Wolkers & Hoekstra, 1995) นอกจากนี้ปัญหาที่สำคัญอีกประการหนึ่งของละอองเกสรที่งอกต่ำ คือลักษณะความไม่สม่ำเสมอของละอองเกสร สาเหตุเนื่องจากการเก็บรวบรวมละอองเกสรจากดอกหลาย ๆ ดอก และจากหลาย ๆ อับเรณูในดอกเดียวกัน ความไม่สม่ำเสมอดังกล่าวมีผลถึงความแปรปรวนต่อความงอกของละอองเกสรเป็นอย่างมาก ความหนาแน่นของละอองเกสรในอาหารเลี้ยงก็มีผลต่อความงอกและการเติบโตของละอองเกสร (Vasil, 1987) ดังนั้นจึงอาจจะมีการผสมเกสรเข้าด้วยกันก่อนนำมาเพาะเลี้ยง และให้ละอองเกสรมีการกระจายตัวในตัวอาหารเลี้ยงอย่างสม่ำเสมอ ในกรณีที่สำคัญของการเจริญของหลอดละอองเกสรในอาหารซึ่งมีน้ำตาลเป็นองค์ประกอบหลัก คือหยุดการเจริญในระยะเวลา 1-12 ชั่วโมง และจะมีแบคทีเรียและเชื้อราปนเปื้อนแต่สามารถเติมยาปฏิชีวนะลงในอาหารเพื่อป้องกันการปนเปื้อนได้รวมถึงการเก็บตัวอย่างดอกและเกสรจะต้องใช้เทคนิคลดการปนเปื้อน เช่น ทำความสะอาดพื้นผิวของดอกหรือการดูดความชื้นในสภาวะปลอดเชื้อ เป็นต้น

Table 3 Viability and germination of pollen in tomato variety SK19 at various storage temperature

Temperature storage	Viability (%)				Germination (%)			
	0 day	10 day	20 day	30 day	0 day	10 day	20 day	30 day
4°C	100	100a	100a	100a	87.5	0a	0a	0a
-20°C	100	100a	100a	100a	87.5	75b	45b	22.5b
Ambient	100	35b	0b	0b	87.5	0a	0a	0a
F-test	ns	*	*	*	ns	*	*	*

¹ In the same column, means followed by different letters are significantly different at the 95% confidence level by DMRT

* = significant at the 0.05 probability levels

ns = not significantly

4. การทดสอบการผสมเกสรมะเขือเทศหลังการเก็บรักษาละอองเกสรเพื่อผลิตเมล็ดพันธุ์

จากการเปรียบเทียบการผสมละอองเกสรระหว่างการผสมตัวเองโดยธรรมชาติ (Self-pollination) และการผสมด้วยมือจากละอองเกสรที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ -20 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 วัน ด้วยวิธี T-test พบว่า มะเขือเทศมีผลที่สมบูรณ์ไม่แตกต่างกัน (Figure 2) เมื่อนำมาคำนวณการติดผลจากจำนวนดอกที่ได้รับการผสม พบว่า การผสมเกสรทั้ง 2 วิธีให้เปอร์เซ็นต์การติดผลแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ โดยการผสมตัวเองโดยธรรมชาติ (Self-pollination) ให้การติดผลสูงกว่าการผสมด้วยมือจากละอองเกสรที่เก็บรักษา โดยมีการติดผลเท่ากับ 98.40 เปอร์เซ็นต์ และ 42.27 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ เช่นเดียวกับน้ำหนักผลสดเฉลี่ยแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ โดยวิธีผสมตัวเองโดยธรรมชาติ (Self-pollination) ให้น้ำหนักผลสดเฉลี่ยต่ำกว่าการผสมด้วยมือจากละอองเกสรที่เก็บรักษา โดยให้น้ำหนักผลสดเฉลี่ยเท่ากับ 17.50 กรัมต่อผล และ 26.50 กรัมต่อผล ตามลำดับ ทั้งนี้เนื่องจากขนาดผลมีความแตกต่างกันโดยผลมะเขือเทศที่ได้จากการผสมด้วยมือจากละอองเกสรที่เก็บรักษามีขนาดผลที่ใหญ่กว่า รวมทั้งน้ำหนักเมล็ดเฉลี่ยแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ และความงอกของเมล็ดไม่แตกต่างกันทางสถิติโดยเมล็ดมีความงอกระหว่าง 95-98 เปอร์เซ็นต์ (Table 4) ในการนำละอองเกสรที่เก็บรักษาไปผสมมีการติดผลน้อยกว่าการผสมตัวเอง เนื่องจากมีปัจจัยที่เกี่ยวข้องหลายปัจจัย เช่น ความชื้น อุณหภูมิ แสงและระดับไนโตรเจน มีรายงานว่าความชื้นจะมีผลต่อการผสมเกสรโดยตรง โดยความชื้นสัมพัทธ์ประมาณ 70 เปอร์เซ็นต์ จะมีประสิทธิภาพสูงสุดในการผสมเกสร โดยสภาวะที่ความชื้นที่สูงละอองเกสรมีแนวโน้มที่จะคงอยู่ในอับเรณู ในขณะที่ในความชื้นที่ต่ำกว่าละอองเกสรอาจไม่เกาะติดกับพื้นผิวเกสรตัวเมีย โดยความชื้นที่เหมาะสมจะอยู่ในช่วงระหว่าง 50-90 เปอร์เซ็นต์ นอกจากนี้ยังมีปัจจัยเรื่องโครงสร้างของดอกโดยตำแหน่งเกสรตัวผู้ปกติจะอยู่ภายในโคน (Cone) ของเกสรตัวผู้ แต่ถ้ายื่นออกมาเกินโคนของเกสรตัวผู้ การติดผลจะลดลง

ดังนั้นจากผลการทดลองการเก็บรักษาละอองเกสรที่อุณหภูมิ -20 องศาเซลเซียส จึงมีความเหมาะสมต่อการนำละอองไปใช้ในการผลิตเมล็ดพันธุ์ลูกผสมและการปรับปรุงพันธุ์เพื่อพัฒนาพันธุ์ใหม่ได้ต่อไปอีกด้วย



Figure 2 Characteristics of tomato variety SK 19 after self-pollination (a) and hand pollination from pollen stored at -20 °C for 30 days (b).

Table 4 Fruit set percentage and seed quality of tomato variety SK 19 after self-pollination and hand pollination after pollen stored at -20 °C for 30 days.

Pollination	Fruit set (%)	Fresh fruit weight (gram/fruit)	Seed weight (gram/fruit)	Seed germination (%)
Self-pollination	98.40 ± 0.89	17.50 ± 1.58	0.076 ± 0.008	95 ± 0.83
Hand pollination after pollen stored at -20 °C for 30 days	42.27 ± 0.66	26.50 ± 1.22	0.091 ± 0.004	99 ± 1.00

บทสรุป

สีย้อมที่เหมาะสมต่อการทดสอบความมีชีวิตที่แยกความแตกต่างระหว่างละอองที่มีชีวิตและไม่มีชีวิตละอองเกสรละอองเกสรมะเขือเทศ ได้แก่ Acetocarmine 1 เปอร์เซนต์ สามารถย้อมติดละอองเกสรได้ดีที่ระยะเวลาการย้อมเพียง 10 นาที สำหรับสูตรสารละลายน้ำตาลที่เหมาะสมต่อการชักนำการงอกของเกสรมะเขือเทศ ได้แก่ น้ำตาลซูโครสความเข้มข้น 20 เปอร์เซนต์ บอริก 0.01 กรัม แคลเซียมไนเตรด 0.03 กรัม แมกนีเซียมซัลเฟต 0.02 กรัม และ โพแทสเซียมไนเตรด 0.01 กรัม การเก็บรักษาละอองเกสรมะเขือเทศที่อุณหภูมิ -20 องศาเซลเซียส สามารถเก็บรักษาได้นาน 30 วัน โดยละอองเกสรยังสามารถนำไปผสมและมีการติดผลมะเขือเทศและเมล็ดพันธุ์มะเขือเทศพันธุ์ ตก.19 ที่ได้มีความงอกสูงสุด 99 เปอร์เซนต์

กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบคุณเจ้าหน้าที่ของศูนย์วิจัยและพัฒนาเมล็ดพันธุ์พืชพิษณุโลก กรมวิชาการเกษตร ที่ให้ความช่วยเหลือสนับสนุนทำให้การวิจัยสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี และขอขอบคุณ สำนักงานคณะกรรมการส่งเสริมวิทยาศาสตร์ วิจัยและนวัตกรรม (สกสว.) ที่ให้ทุนสนับสนุนการทำวิจัยในครั้งนี้

เอกสารอ้างอิง

- Abdul-Baki, A. (1992). Determination of pollen viability in tomatoes. *Journal of the American Society for Horticultural Science*, 117(3), 473-476. <https://doi.org/10.21273/JASHS.117.3.473>
- Brewbaker, J. L., & Kwack, B. H. (1963). The essential role of calcium ion in pollen germination and pollen tube growth. *American Journal of Botany*, 50(9), 859-865. <https://doi.org/10.2307/2439772>
- Beyhan, N., & Serdar, U. (2008). Assessment of pollen viability and germinability in some European chestnut genotypes (*Castanea sativa* L.). *Horticultural Science*, 35(4), 171-178. <https://doi.org/10.17221/23/2008-hortsci>
- Buitink, J., & Leprince, O. (2004). Glass formation in plant anhydrobiotes: survival in the dry state. *Cryobiology*, 48(3), 215-228. <https://doi.org/10.1016/j.cryobiol.2004.02.011>
- Bureau of plant and agricultural materials control. (2023). Seed export form Thailand in 2023. <https://www.doa.go.th/ard/wp-content/uploads/2024/06/export-2566.pdf> (In Thai)
- Dafni, A., & Firmage, D. (2000). Pollen viability and longevity: practical, ecological and evolutionary implications. *Plant Systematics and Evolution*, 222, 113-132. <https://doi.org/10.1007/BF00984098>
- FAOSTAT. (2023, August 11). Food and agriculture organization of the united nations. <http://www.fao.org/faostat/en/#data/QC>.

- Hanna, W. W., & Towill, L. E. (1995). Long-term pollen storage. *Plant Breeding Reviews*, 13, 179-207. <https://doi.org/10.1002/9780470650059.ch5>
- Impe, D., Reitz, J., Köpnick, C., Rolletschek, H., Börner, A., Senula, A., & Nagel, M. (2020). Assessment of pollen viability for wheat. *Frontiers in Plant Science*, 10, 1588. <https://doi.org/10.3389/fpls.2019.01588>
- ISTA (International Seed Testing Association). (2023). *International rules for seed testing*. Bassersdorf, Switzerland. 300p.
- Karapanos, I. C., Fasseas, K., Olympios, C., & Passam, H. C. (2006). Factors affecting the efficacy of agar-based substrates for the study of tomato pollen germination. *The Journal of Horticultural Science and Biotechnology*, 81(4), 631-638. <https://doi.org/10.1080/14620316.2006.11512116>
- Office of Agricultural Economics. (2023). Tomato: area production and yield In Thailand 2023. <http://www.oae.go.th/assets/portals/1/fileups/prcaidata/files/> (In Thai)
- Luna, S. V., Fugueroa, J. M., Baltazar, B. M., Gomez, R. L., Townsend, R., & Schoper J. B. (2001). Maize pollen longevity and distance isolation for effective pollen control. *Crop Science*, 41(5), 1551-1557. <https://doi.org/10.2135/cropsci2001.4151551x>
- Song J., & Shoji, T. (2007). Loss of viability of tomato pollen during long-term dry storage is associated with reduced capacity for translating polyamine biosynthetic enzyme genes after rehydration. *Journal of Experimental Botany*, 58(15-16), 4235-4244. <https://doi.org/10.1093/jxb/erm280>.
- Taylor L. P., & Hepler, P. K. (1997). Pollen germination and tube growth. *Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology*, 48, 461-491. <https://doi.org/10.1146/annurev.arplant.48.1.461>
- van Bilsen, D. G. J. L., & Hoekstra, F. A. (1993). Decreased membrane integrity in aging *Typha latifolia* L. pollen (accumulation of lysolipids and free fatty acids). *Plant Physiology*, 101(2), 675-682. <https://doi.org/10.1104/pp.101.2.675>.
- Vasil, I. K. (1987). Physiology and culture of pollen. *International Review of Cytology*, 107, 127-174. [https://doi.org/10.1016/S0074-7696\(08\)61075-X](https://doi.org/10.1016/S0074-7696(08)61075-X)
- Wolkers, W. F., & Hoekstra, F. A. (1995). Aging of dry desiccation tolerant pollen does not affect protein secondary structure. *Plant Physiology*, 109, 907-915. <https://doi.org/10.1104/pp.109.3.907>

Received: June 26, 2024; Revised: January 8, 2025; Accepted: March 26, 2025

ผลของ BA (6-benzyladenine) และน้ำมะพร้าวต่อการเจริญเติบโตของต้นผักเป็ดแดง
ใบต่าง (*Alternanthera reineckii* 'rosanervig') ในสภาวะปลอดเชื้อ

The effect of BA (6-benzyladenine) and coconut water on the growth of
variegated red duckweed (*Alternanthera reineckii* 'rosanervig') in vitro

รชนิมุข หิรัญสัจจาเลิศ¹ มะลิวัลย์ คุดะโค² บัญชา นิลเกิด² คณิน สายออยู่² และภควรรณ เศรษฐมมงคล^{2*}
Rachanimuk Hiransuchalert¹, Maliwan Kutako², Bancha Nilkerd², Kanin Saiyoo²
and Pakawan Setthamongkol^{2*}

¹คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา จังหวัดชลบุรี

¹Faculty of Science, Burapha University, Chonburi Province

²คณะเทคโนโลยีทางทะเล มหาวิทยาลัยบูรพา วิทยาเขตจันทบุรี จังหวัดจันทบุรี

²Faculty of Marine Technology, Burapha University, Chanthaburi Campus, Chanthaburi Province

*Corresponding Author E-mail Address : pakawan-p@buu.ac.th

บทคัดย่อ

การศึกษาผลของไซโตไคนินที่มีต่อการเจริญเติบโตของต้นผักเป็ดแดงใบต่าง (*Alternanthera reineckii* 'rosanervig') โดยการนำชิ้นส่วนบริเวณตา และลำต้นมาเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อบนอาหารสังเคราะห์สูตร MS ที่เติมสารควบคุมการเติบโต BA (6-benzyladenine) ความเข้มข้น 0, 1, 2 และ 4 mg/L และน้ำมะพร้าว 0, 10 และ 15% รวมทั้งหมด 12 ชุดการทดลอง โดยควบคุมอุณหภูมิที่ $25 \pm 2^\circ\text{C}$ และให้ความเข้มแสง 3,000 lux 8 ชั่วโมง/วัน เป็นเวลา 28 วัน พบว่า การเติมน้ำมะพร้าว 10% ร่วมกับ BA 1, 2 และ 4 mg/L ส่งผลให้ต้นอ่อนพืชมีจำนวนใบเฉลี่ยเพิ่มขึ้นไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) โดยมีค่าเฉลี่ยของจำนวนใบเท่ากับ 23.33 ± 9.79 , 22.83 ± 9.91 และ 27.83 ± 2.48 ใบ/ต้น ตามลำดับ สำหรับการเติมน้ำมะพร้าว 0-15% และ BA 0-4 mg/L พบว่า ความยาวใบ และความสูงต้นไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) การเติมน้ำมะพร้าว 10% สามารถชักนำให้เกิดจำนวนราก และความยาวรากมากที่สุด คือ 10.33 ± 4.03 ราก และ 1.13 ± 0.32 cm ตามลำดับ ส่วนอาหารที่เติมน้ำมะพร้าว 10% ร่วมกับ BA 4 mg/L ทำให้เนื้อเยื่อมีจำนวนยอดมากที่สุด 8.00 ± 2.61 ยอด/ต้น แต่เมื่อพิจารณาลักษณะพื้นฐานวิทยา พบว่า จำนวนยอดที่เกิดขึ้นมีลักษณะเป็นแคลลัส ต้นอ่อนแคระแกร็น และมีรากน้อยไม่ยึดเกาะกับอาหาร ในขณะที่การเติมน้ำมะพร้าว 10% เพียงอย่างเดียวทำให้ต้นอ่อนมีรากแข็งแรง ใบมีสีแดงสด และนุ่มไม่แห้งกรอบ ดังนั้นการเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อต้นผักเป็ดแดงใบต่างที่เหมาะสมต่อการส่งออกจึงควรใช้น้ำมะพร้าว 10% เป็นสารควบคุมการเติบโตในอาหารสังเคราะห์สูตร MS

คำสำคัญ: การเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อ ไซโตไคนิน น้ำมะพร้าว ต้นผักเป็ดแดงใบต่าง

Abstract

This study investigated the effects of cytokinin on the growth of red duckweed *Alternanthera reineckii* 'rosanervig' using tissue culture techniques. Explants from the bud and stem sections were cultured on MS (Murashige and Skoog) medium supplemented with the growth regulator BA (6-benzyladenine) at concentrations of 0, 1, 2, and 4 mg/L, combined with coconut water at 0%, 10%, and 15%, resulting in 12

experimental conditions. Tissue cultures were maintained in a controlled environment at a temperature of $25\pm 2^{\circ}\text{C}$ with a light intensity of 3,000 lux for 8 hours per day over 28 days. The results revealed that the addition of 10% coconut water combined with BA at 1, 2, and 4 mg/L did not significantly increase the average number of leaves per plant ($p>0.05$) (23.33 ± 9.79 , 22.83 ± 9.91 , and 27.83 ± 2.48 leaves per plant, respectively). Furthermore, the addition of coconut water at 0–15% and BA at 0–4 mg/L had no significant effect on leaf length or plant height ($p>0.05$). Coconut water at 10% alone induced the highest number of roots (10.33 ± 4.03 roots) and root length (1.13 ± 0.32 cm). The medium supplemented with 10% coconut water and 4 mg/L BA resulted in the highest number of shoots (8.00 ± 2.61 shoots per plant). However, morphological evaluation revealed that these shoots appeared as callus-like structures, with stunted growth and poorly developed roots that did not adhere well to the medium. In contrast, plants grown on medium supplemented with 10% coconut water alone exhibited robust roots, bright red leaves, and smooth, non-brittle foliage. Therefore, the optimal tissue culture condition for propagating *A. reineckii* ‘rosanervig’ under aseptic conditions for export purposes is the use of 10% coconut water as a growth regulator in MS medium.

Keywords: Tissue culture, Cytokinin, Coconut water, *Altemanthera reineckii*

บทนำ

พรรณไม้ในสกุล *Altemanthera* เป็นพรรณไม้ที่กำลังได้รับความนิยมอย่างแพร่หลายไปทั่วโลกเนื่องจากสามารถนำไปประดับตกแต่งในตู้ปลาทั้งขนาดเล็กและขนาดใหญ่ได้อย่างงดงามและเป็นธรรมชาติ พรรณไม้ในสกุลนี้มีปริมาณและมูลค่าการส่งออกสูง 20 อันดับแรกของชนิดพรรณไม้ที่ทำกรส่งออกตั้งแต่ปี พ.ศ. 2557-2561 จากการรวบรวมข้อมูลของกรมประมงในปี พ.ศ. 2560-2561 พบว่า พืชในกลุ่ม *Altemanthera* มีมูลค่าการส่งออกอยู่ในช่วง 577,610-1,144,359 บาท (Rodloy, 2020) ซึ่งส่วนใหญ่มักมีการนำเข้าจากต่างประเทศแล้วนำมาขยายพันธุ์เพื่อจำหน่าย โดยวิธีปักชำและชำน้ำสามารถขยายพันธุ์ได้ง่าย เติบโตเร็ว ราคาไม่สูงมาก แต่มีปริมาณการส่งออกสูง ต้นผักเป็ดหรือต้นผักเป็ดแดงใบต่างหรือ เرنิก “โรซ่าเนอวิส” (*Altemanthera reineckii* “rosanervig”) เป็นพืชในวงศ์ *Amaranthaceae* ใบมีสีชมพูถึงแดงสดพร้อมลายต่างบนใบ ลำต้นตรงหรือเลื้อยไปตามดิน จัดเป็นพรรณไม้ประเภทปลูกประดับกลางแจ้งและหลังตู้ ต้องการแสงมาก แม้จะเติบโตได้อย่างรวดเร็วจากการขยายพันธุ์แบบปักชำแต่ก็ยังไม่เพียงพอต่อความต้องการนอกจากนี้ยังต้องมีการนำเข้ามาจากต่างประเทศอีกด้วย (Rodloy, 2020)

การเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อพืชเป็นการขยายพันธุ์พืชที่มีประสิทธิภาพอีกวิธีหนึ่งที่สามารถผลิต และเพิ่มจำนวนต้นอ่อนปลอดเชื้อที่มีความแข็งแรงได้ในปริมาณมากได้ผลผลิตที่มีความสม่ำเสมอและผลิตได้ทุกฤดูกาล สารควบคุมการเติบโตที่นิยมใช้ในการเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อ คือ ออกซิน (Auxin) และไซโตไคนิน (Cytokinin) โดยไซโตไคนินมีหน้าที่เร่งการแบ่งเซลล์ช่วยในกระบวนการเปลี่ยนแปลงของเซลล์ชักนำให้เกิดยอด ช่วยการขยายตัวของเซลล์ และชักนำการสังเคราะห์รงควัตถุ ซึ่งแบ่งออกได้เป็น 2 กลุ่มคือ ไซโตไคนินจากการสังเคราะห์ ได้แก่ Kinetin (6-Furfurylamino purine), BAP (6-benzylamino purine) และไซโตไคนินจากธรรมชาติ ได้แก่ Zeatin, 2-ip (6-y,y-Dimethylallyl amino purine) (Phongchawee et al., 2014) และน้ำมะพร้าวมีสารไซโตไคนินชนิดทรานส์ซีเอติน (Trans-zeatin) ซึ่งเป็นไซโตไคนินส่วนใหญ่ที่พบในน้ำมะพร้าวที่สามารถช่วยกระตุ้นการแบ่งเซลล์ และการเกิดยอดใหม่ของพืชได้ (Thiangpuk, 2015) โดยมีการนำน้ำมะพร้าวใส่ลงไปในอาหารเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อพืช 10-20% เพื่อชักนำการเกิดต้นพืชได้ (Neera et al., 2014) ดังนั้นวิจัยนี้จึงเป็นการศึกษาชนิด และความเข้มข้นของสารไซโตไคนิน ได้แก่ BA และน้ำมะพร้าวต่อการเติบโตของต้นผักเป็ดแดงใบต่าง (*A. reineckii* ‘rosanervig’) ในสภาวะปลอดเชื้อเพื่อทำให้ทราบชนิดและความเข้มข้นของสารควบคุมการเติบโตที่เหมาะสมต่อการกระตุ้นให้ต้นผักเป็ดแดงใบต่างมีการเติบโตที่ดี มีคุณลักษณะเหมาะสมต่อการจัดจำหน่าย และส่งออกต่อไป

วัสดุ อุปกรณ์ และวิธีการ

นำต้นผักเบ็ดแดงใบต่าง *A. reineckii* 'rosanervig' ปลอดเชื้อที่มีอายุประมาณ 2 เดือน ลักษณะต้นพันธุ์มีความแข็งแรงสูงประมาณ 2 cm มีใบประมาณ 7-10 ใบ และจำนวนราก 7-10 ราก สีของใบไม่ซีดเห็นลายใบต่างชัดเจน มาตัดแต่งเอาใบและรากออกให้เหลือบริเวณตาและลำต้นสูงประมาณ 1 cm จากนั้นนำชิ้นส่วนพืชย้ายลงเลี้ยงในขวดอาหารเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อ สูตร MS (Murashige & Skoog, 1962) ที่เติมสารควบคุมการเติบโต BA ความเข้มข้น 0, 1, 2 และ 4 mg/L และน้ำมะพร้าว (ยี่ห้อ Cocomax ประเทศไทย) 0, 10 และ 15% รวมทั้งหมด 12 ชุดการทดลอง ทำการทดลองชุดละ 6 ซ้ำ วางขวดชุดการทดลองในห้องควบคุมอุณหภูมิประมาณ $25\pm 2^{\circ}\text{C}$ ให้แสง 10 ชั่วโมง/วัน ด้วยหลอดไฟฟลูออโรเรสเซนต์ ความเข้มแสง 3,000 lux บันทึกผลการเติบโตของเนื้อเยื่อ ได้แก่ จำนวนใบ และจำนวนรากทุก 7 วันเป็นเวลา 28 วัน และบันทึกผลความยาวใบ (cm) จำนวนยอด และความสูงต้น (cm) ต่อชิ้นเนื้อเยื่อด้วยเวอร์เนียคาลิเปอร์ (Vernier caliper) ในวันสุดท้ายของการทดลอง (วันที่ 28 ของการทดลอง) ดำเนินการทดลองเดี่ยว โดยการตรวจวัดอย่างต่อเนื่องจนสิ้นสุดการทดลอง

การวางแผนการทดลองแบบสุ่มตลอด (Completely Randomized Design; CRD) และเปรียบเทียบความแตกต่างค่าเฉลี่ยของ จำนวนใบ ความยาวใบ จำนวนราก ความยาวราก จำนวนยอด และความสูงต้นของเนื้อเยื่อต้นผักเบ็ดแดงใบต่าง ด้วยวิธี Duncan's New Multiple Range Test (DMRT) ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

ผลการวิจัย

1. ผลของสารควบคุมการเติบโตของต้นผักเบ็ดแดงใบต่าง

การศึกษาผลของชนิด และปริมาณไซโตไคนินที่แตกต่างกันต่อการชักนำให้เกิดใบของต้นผักเบ็ดแดงใบต่างทุก 7 วันเป็นเวลา 28 วัน พบว่า เมื่อเพาะเลี้ยงเป็นเวลา 7 วัน ต้นผักเบ็ดแดงใบต่างเริ่มมีการชักนำให้เกิดใบ และมีจำนวนใบเพิ่มมากขึ้นในวันสุดท้ายของการทดลองโดยมีจำนวนใบเฉลี่ยในวันที่ 28 ของการทดลองเท่ากับ 13.33 ± 4.46 ถึง 27.83 ± 2.48 ใบ/ต้น การเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อต้นผักเบ็ดแดงใบต่างด้วยน้ำมะพร้าว 10% ร่วมกับสารควบคุมการเติบโต BA 1, 2 และ 4 mg/L (อาหารสูตรที่ 6, 7 และ 8) มีผลทำให้ต้นผักเบ็ดแดงใบต่างมีจำนวนใบเฉลี่ยสูงสุดภายหลังการเพาะเลี้ยงเป็นเวลา 28 วัน เท่ากับ 23.33 ± 9.79 , 22.83 ± 9.91 และ 27.83 ± 2.48 ใบ/ต้น ตามลำดับ เมื่อเปรียบเทียบระหว่างสูตรอาหารที่แตกต่างกัน 3 สูตรดังกล่าว พบว่า มีจำนวนใบไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) (Table 1) ในขณะที่ต้นผักเบ็ดแดงใบต่างเริ่มมีการสร้างรากภายหลังการเพาะเลี้ยงเป็นเวลา 14 วัน และมีจำนวนรากเฉลี่ยสูงสุดภายหลังการเพาะเลี้ยงเป็นเวลา 28 วัน และพบว่า ต้นผักเบ็ดแดงใบต่างที่เพาะเลี้ยงเป็นเวลา 28 วัน ด้วยสูตรอาหารที่ไม่เติมน้ำมะพร้าว และ BA (สูตรอาหารที่ 1) และสูตรอาหารที่เติมน้ำมะพร้าว 10% (สูตรอาหารที่ 5) มีจำนวนรากในวันสุดท้ายของการทดลองสูงแตกต่างกับชุดการทดลองอื่นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) โดยมีค่า 10.33 ± 3.27 และ 10.33 ± 4.03 ราก/ต้น ตามลำดับ นอกจากนี้ พบว่าการเติม BA 4 mg/L ในสูตรอาหารที่ปราศจากน้ำมะพร้าว (สูตรอาหารที่ 4) และสูตรอาหารที่มีส่วนผสมของน้ำมะพร้าว 15% (สูตรอาหารที่ 12) มีผลทำให้ต้นผักเบ็ดแดงใบต่างไม่สามารถสร้างรากจนถึงวันสุดท้ายของการทดลอง (Table 2)

Table 1 The average number of leaves of variegated watercress tissues when cultured in media containing different growth regulators

Formula	Coconut water (%)	BA (mg/L)	Average number of leaves of variegated red watercress plants (Leaves/Stems) (Average \pm SD)			
			Day 7	Day 14	Day 21	Day 28
1	0	0	4.17 \pm 0.41 ^{b,3}	7.00 \pm 3.29 ^{b,23}	10.00 \pm 4.56 ^{b,12}	14.00 \pm 5.44 ^{b,1}
2	0	1	5.00 \pm 2.00 ^{b,3}	8.83 \pm 2.86 ^{ab,23}	11.67 \pm 4.68 ^{b,12}	15.67 \pm 6.65 ^{b,1}
3	0	2	4.17 \pm 2.93 ^{b,2}	7.33 \pm 6.28 ^{b,12}	9.67 \pm 6.44 ^{b,12}	14.83 \pm 9.97 ^{b,1}
4	0	4	6.17 \pm 2.86 ^{b,2}	8.83 \pm 5.04 ^{ab,12}	11.83 \pm 6.15 ^{b,12}	15.83 \pm 8.57 ^{b,1}
5	10	0	6.17 \pm 2.99 ^{b,3}	10.00 \pm 4.10 ^{ab,23}	13.50 \pm 5.32 ^{b,12}	17.33 \pm 7.87 ^{b,1}

6	10	1	7.83±5.19 ^{ab,3}	13.67±6.35 ^{ab,23}	17.50±8.14 ^{ab,12}	23.33±9.79 ^{ab,1}
7	10	2	6.00±4.77 ^{b,3}	12.17±7.83 ^{ab,23}	17.00±9.49 ^{ab,12}	22.83±9.91 ^{ab,1}
8	10	4	10.50±3.02 ^{a,4}	15.17±3.13 ^{a,3}	22.67±1.03 ^{a,2}	27.83±2.48 ^{a,1}
9	15	0	5.17±0.98 ^{b,2}	7.67±3.14 ^{b,2}	9.00±3.03 ^{b,2}	13.33±4.46 ^{b,1}
10	15	1	6.00±4.60 ^{b,1}	10.00±7.59 ^{ab,1}	12.50±8.57 ^{b,1}	15.50±10.41 ^{b,1}
11	15	2	5.67±1.63 ^{b,2}	10.50±6.38 ^{ab,12}	13.17±8.59 ^{b,12}	15.00±9.21 ^{b,1}
12	15	4	6.67±1.21 ^{b,3}	11.00±1.90 ^{ab,23}	13.50±3.38 ^{b,12}	16.67±4.50 ^{b,1}

Note: Different numbers ^{1, 2, 3, 4} in the same row indicate statistically significant difference (p<0.05)

Different letters ^{a, b} in the same column indicate statistically significant difference (p<0.05)

Table 2 The average number of root formation of variegated red watercress tissues when cultured in a medium containing different growth control substances.

Formula	Coconut water (%)	BA (mg/L)	Average number of roots of variegated red watercress (Roots/Stem)			
			(Average±SD)			
			Day 7	Day 14	Day 21	Day 28
1	0	0	0.83±0.98 ^{a,3}	5.50±2.51 ^{a,2}	7.33±1.51 ^{a,2}	10.33±3.27 ^{a,1}
2	0	1	0.00±0.00 ^{b,2}	0.50±0.55 ^{cd,2}	1.17±0.75 ^{bcd,12}	2.17±1.83 ^{cd,1}
3	0	2	0.00±0.00 ^{b,1}	0.67±1.21 ^{bcd,1}	1.00±1.55 ^{bcd,1}	1.33±2.16 ^{cd,1}
4	0	4	0.00±0.00 ^b	0.00±0.00 ^d	0.00±0.00 ^d	0.00±0.00 ^d
5	10	0	0.00±0.00 ^{b,3}	2.83±2.71 ^{b,23}	5.83±3.92 ^{a,2}	10.33±4.03 ^{a,1}
6	10	1	0.00±0.00 ^{b,2}	2.33±1.63 ^{bc,1}	2.83±1.60 ^{bc,1}	3.17±1.33 ^{c,1}
7	10	2	0.00±0.00 ^{b,2}	2.83±2.99 ^{b,12}	3.00±2.83 ^{bc,12}	3.67±3.14 ^{bc,1}
8	10	4	0.33±0.82 ^{b,1}	1.67±1.86 ^{bcd,1}	1.83±1.83 ^{bcd,1}	2.17±2.23 ^{cd,1}
9	15	0	0.00±0.00 ^{b,3}	1.17±1.60 ^{bcd,3}	3.33±1.63 ^{b,2}	6.00±2.61 ^{b,1}
10	15	1	0.00±0.00 ^{b,3}	1.33±1.03 ^{bcd,2}	2.00±0.63 ^{bcd,12}	2.50±0.84 ^{cd,1}
11	15	2	0.00±0.00 ^{b,2}	0.50±0.84 ^{cd,12}	0.83±0.75 ^{cd,12}	1.17±1.17 ^{cd,1}
12	15	4	0.00±0.00 ^b	0.00±0.00 ^d	0.00±0.00 ^d	0.00±0.00 ^d

Note: Different numbers ^{1, 2, 3} in the same row indicate statistically significant difference (p<0.05)

Different letters ^{a, b, c, d} in the same column indicate statistically significant difference (p<0.05)

ผลการศึกษา พบว่า อาหารเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อที่เติมน้ำมะพร้าว 10% ส่งผลให้ต้นผักเป็ดแดงใบต่างมีจำนวนยอดเพิ่มขึ้นไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p>0.05) โดยมีค่าอยู่ในช่วง 4.33±2.80 ถึง 8.00±2.61 ยอด/ต้น ทั้งนี้สูตรอาหารทุกชุดการทดลองไม่มีผลต่อความยาวใบ โดยต้นผักเป็ดแดงใบต่างทุกชุดการทดลองมีความยาวใบไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p>0.05) ซึ่งมีค่าอยู่ในช่วง 0.62±0.26 ถึง 0.90±0.26 cm ส่วนต้นผักเป็ดแดงใบต่างที่เลี้ยงด้วยสูตรอาหารที่ไม่เติมน้ำมะพร้าว และ BA (สูตรอาหารที่ 1) ต้นอ่อนมีความสูง 2.53±3.56 cm ซึ่งส่วนใหญ่มีค่าไม่แตกต่างกับชุดการทดลองอื่นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p>0.05) นอกจากนี้ พบว่า การเติมน้ำมะพร้าว 10 และ 15% (สูตรอาหารที่ 5 และ 9) ทำให้ต้นผักเป็ดแดงใบต่างมีรากยาวสูงสุด 1.13±0.32 และ 0.77±1.3 cm ซึ่งมีค่าแตกต่างกับชุดการทดลองอื่นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p<0.05) (Table 3) โดยสูตรอาหารที่เติมน้ำมะพร้าว 10% ใช้ต้นทุนในการเพาะเลี้ยงต่ำกว่ามะพร้าว 15% และยังคงทำให้ต้นอ่อนมีรากที่ยาว

Table 3 Growth of variegated watercress tissue cultured in medium containing different growth regulators on day 28 of the experiment.

Formula	Coconut water (%)	BA (mg/L)	Growth of variegated red watercress tissue (Average±SD)			
			Leaf length (cm)	Root length (cm)	Trunk height (cm)	Number of peaks (Shoot/Stem)
1	0	0	0.90±0.26 ^a	0.52±0.12 ^{bc}	2.53±3.56 ^a	1.83±1.60 ^d
2	0	1	0.87±0.15 ^a	0.22±0.12 ^{bc}	1.03±0.12 ^b	2.67±0.82 ^{cd}
3	0	2	0.64±0.35 ^a	0.05±0.07 ^c	1.17±0.27 ^{ab}	1.67±0.82 ^d
4	0	4	0.63±0.34 ^a	0.00±0.00 ^c	1.09±0.24 ^{ab}	1.50±1.64 ^d
5	10	0	0.84±0.32 ^a	1.13±0.32 ^a	1.18±0.27 ^{ab}	5.50±3.56 ^{abc}
6	10	1	0.72±0.16 ^a	0.57±0.23 ^{bc}	1.42±0.33 ^{ab}	5.83±2.93 ^{ab}
7	10	2	0.75±0.04 ^a	0.60±0.49 ^{bc}	1.64±0.60 ^{ab}	4.33±2.80 ^{bcd}
8	10	4	0.74±0.10 ^a	0.38±0.33 ^{bc}	1.24±0.30 ^{ab}	8.00±2.61 ^a
9	15	0	0.62±0.26 ^a	0.77±1.32 ^{ab}	1.01±0.16 ^b	3.17±2.93 ^{bcd}
10	15	1	0.69±0.35 ^a	0.23±0.17 ^{bc}	0.97±0.51 ^b	2.50±1.87 ^d
11	15	2	0.88±0.37 ^a	0.12±0.10 ^c	0.90±0.45 ^b	3.33±1.97 ^{bcd}
12	15	4	0.83±0.03 ^a	0.00±0.00 ^c	1.16±0.18 ^{ab}	2.00±1.67 ^d

Note: Different letters ^{a, b, c, d} in the same column indicate statistically significant differences ($p < 0.05$)

2. ลักษณะทางสัณฐานวิทยาของเนื้อเยื่อต้นผักเบ็ดแดงใบต่างที่เพาะเลี้ยงด้วยสารควบคุมการเติบโตที่แตกต่างกัน

การศึกษาลักษณะสัณฐานวิทยาของต้นอ่อนผักเบ็ดแดงใบต่างที่เพาะเลี้ยงเป็นเวลา 28 วัน พบว่า ขึ้นส่วนพืชที่เพาะเลี้ยงบนอาหารที่เติมน้ำมะพร้าว 10% ร่วมกับ BA 4 mg/L (สูตรอาหารที่ 8) มีจำนวนใบมากที่สุดแต่ใบมีลักษณะแคระแกร็น และมีรากน้อยไม่ยึดเกาะกับอาหาร ขณะที่การเพาะเลี้ยงบนอาหารที่ไม่มีการเติมน้ำมะพร้าว และ BA (สูตรอาหารที่ 1) ทำให้ต้นผักเบ็ดแดงใบต่างลำต้นสูงที่สุด ใบมีความยาว และมีรากจำนวนมากออกตามข้อของลำต้น โดยต้นอ่อนที่เพาะเลี้ยงด้วยสูตรอาหารที่ไม่มีส่วนผสมของน้ำมะพร้าวเป็นองค์ประกอบจะมีใบสีเขียว และแห้งกรอบ นอกจากนี้การเพาะเลี้ยงบนอาหารที่เติมน้ำมะพร้าว 10% (สูตรอาหารที่ 5) ส่งผลให้รากต้นผักเบ็ดแดงใบต่างมีความยาวรากมากที่สุด รากยึดเกาะกับอาหารได้ดี ใบสีเขียวสด สีใบไม่ซีด และใบมีความนุ่ม (Figure 1)

เมื่อวัดการเติบโตของเนื้อเยื่อต้นผักเบ็ดแดงใบต่างในสภาวะปราศจากเชื้อเป็นเวลา 28 วัน พบว่า สูตรอาหารที่เติมน้ำมะพร้าว 10% ร่วมกับ BA 1 และ 4 mg/L (สูตรอาหารที่ 6 และ 8 ตามลำดับ) ทำให้ต้นอ่อนมีจำนวนใบเฉลี่ย และจำนวนยอดเฉลี่ยมาก โดยสูตรอาหารที่เติมน้ำมะพร้าว 10% ร่วมกับ BA 4 mg/L ทำให้ต้นอ่อนมีจำนวนใบเฉลี่ยสูง 27.83 ± 2.48 ใบ/ต้น และมีจำนวนยอดเฉลี่ยสูง 8.00 ± 2.61 ยอด/ต้น แต่เมื่อพิจารณาลักษณะสัณฐานวิทยา พบว่า จำนวนใบและยอดที่เกิดขึ้นมากนั้นมีลักษณะเป็นแคลลัส ต้นอ่อนมีลำต้นเตี้ย และแคระแกร็น ไม่เหมาะสมต่อการจำหน่าย ขณะที่การเติมน้ำมะพร้าว 10% เพียงอย่างเดียวทำให้ต้นผักเบ็ดแดงใบต่างมีจำนวนใบ จำนวนยอด และความสูงต้นค่อนข้างมาก รากแข็งแรง ใบมีสีเขียวสดใส และนุ่มไม่แห้งกรอบ ซึ่งเหมาะสมต่อการจัดจำหน่าย และส่งออก

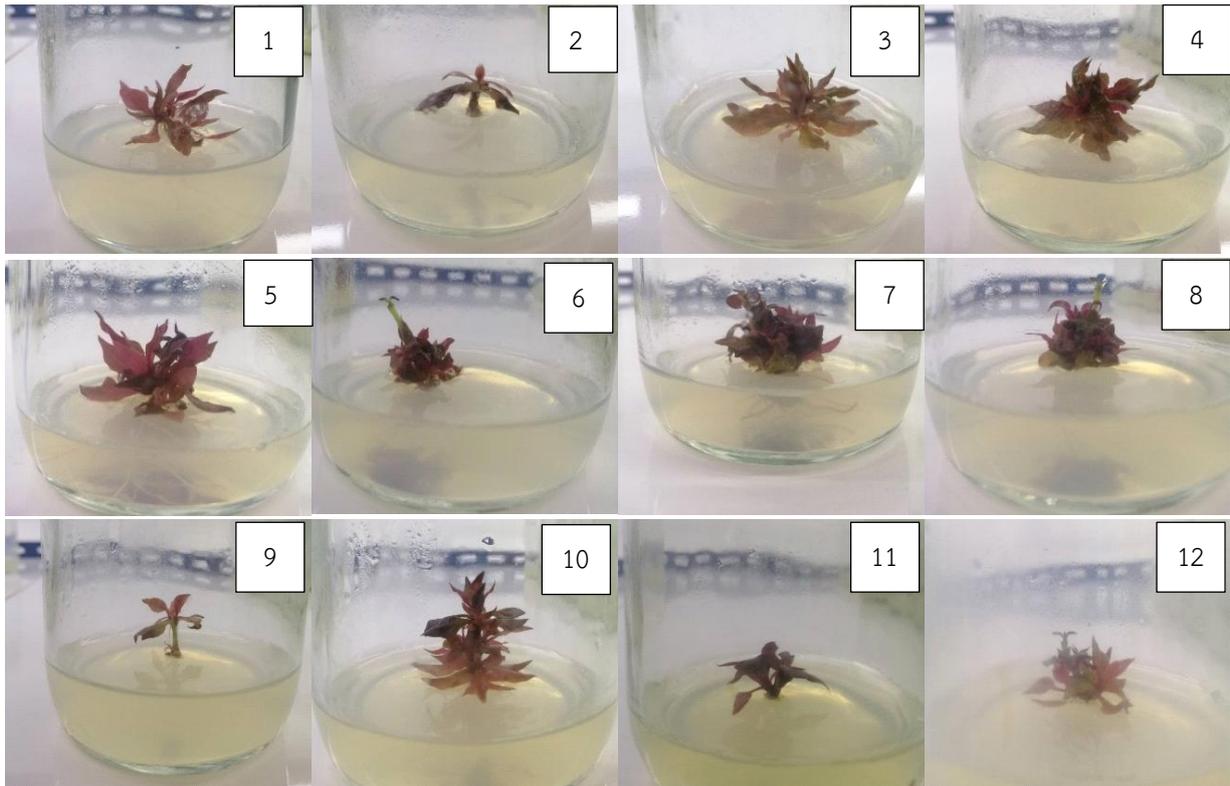


Figure 1 Shoot emergence characteristics of variegated red watercress grown on MS media supplemented with different concentrations of BA and coconut water for 28 days.

Note: The numbers in each image represent plant tissues from different experimental sets grown on different media.

When 1 = Free from plant growth regulators	7 = Coconut water 10% + BA 2 mg/L
2 = BA 1 mg/L	8 = Coconut water 10% + BA 4 mg/L
3 = BA 2 mg/L	9 = Coconut water 15%
4 = BA 4 mg/L	10 = Coconut water 15% + BA 1 mg/L
5 = Coconut water 10%	11 = Coconut water 15% + BA 2 mg/L
6 = Coconut water 10% + BA 1 mg/L	12 = Coconut water 15% + BA 4 mg/L

การอภิปรายผล

การศึกษาผลของสารไซโตไคนินที่มีผลต่อการเติบโตของต้นผักเป็ดแดงใบต่างเมื่อเพาะเลี้ยงบนอาหารสูตร MS ที่เติมน้ำมะพร้าว และ BA ความเข้มข้นที่ต่างกันเป็นเวลา 28 วัน ทั้งนี้เลือกใช้น้ำมะพร้าวสำเร็จรูปเพื่อควบคุมปัจจัยในการผลิตให้มีค่าคงที่ และเกษตรกรสามารถนำวิธีการเพาะเลี้ยงไปใช้ในการผลิตเชิงพาณิชย์ได้ ซึ่งจากผลการทดลอง พบว่า น้ำมะพร้าวเข้มข้น 10% มีผลทำให้เนื้อเยื่อต้นผักเป็ดแดงใบต่างสร้างยอดจำนวนมาก และสูตรอาหารที่เติมน้ำมะพร้าว 10% ร่วมกับสารควบคุมการเติบโต BA 1, 2 และ 4 mg/L ทำให้เกิดการสร้างใบจำนวนมาก ซึ่งผลการศึกษาสอดคล้องกับการขยายพันธุ์ต้น *Cryptocoryne retrospiralis* (Roxburgh) Fischer ในอาหาร MS สภาพปลอดเชื้อที่ พบว่า การใช้ BA ระดับความเข้มข้น 2 และ 4 mg/L สามารถชักนำให้เกิดใบ และยอดอ่อนได้มากที่สุดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) รองลงมา คือ BA 1 mg/L ในขณะที่การไม่เติม BA ลงในอาหารเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อมีผลทำให้ต้นอ่อนสร้างใบ และยอดอ่อนน้อยที่สุดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) (Phongchawee et al., 2014) เนื่องจาก BA เป็นสารควบคุมการเจริญเติบโตของพืชในกลุ่มไซโตไคนินที่มีคุณสมบัติช่วยกระตุ้นการแบ่งตัวของเซลล์ การเกิดยอด การเจริญเติบโตของยอด และกิ่งใบ (Trigiano & Gray, 2000) และในน้ำมะพร้าวยังมีสารอินทรีย์ในกลุ่มไซโตไคนินซึ่งเป็นฮอร์โมนพืชที่มีคุณสมบัติกระตุ้นให้เกิดการแบ่งเซลล์

พืช ควบคุมการขยายตัว และเปลี่ยนแปลงของเซลล์พืช จึงมีการนำน้ำมะพร้าวมาใช้เป็นส่วนประกอบของอาหารเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อพืช โดย Selakorn et al. (2020) ได้ทดสอบเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อต้นกล้วยนก (*Musa* (AAA group) 'Kluai Nak') ด้วยอาหารสูตร MS ผสมน้ำมะพร้าวในอัตราส่วนที่แตกต่างกัน คือ 0, 15, 20 และ 25% พบว่า การใส่น้ำมะพร้าวปริมาณน้อยในอาหารสูตร MS (น้ำมะพร้าว 15%) มีผลทำให้กล้วยมีจำนวนหน่อเฉลี่ยสูงสุด 8.25 หน่อ/ยอดที่เพาะเลี้ยง และมีความยาวยอดเฉลี่ยสูงสุด 7.73 cm ซึ่งมีค่าแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ ($p < 0.01$) เมื่อเปรียบเทียบกับน้ำมะพร้าวระดับความเข้มข้นอื่น ๆ การเสริมน้ำมะพร้าวในอาหารเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อจึงเป็นการเติมอินทรีย์สารที่มีประสิทธิภาพในการส่งเสริมการเติบโตของเนื้อเยื่อพืช สอดคล้องกับงานวิจัยของ Santarunai (2015) ที่ได้ทดสอบเสริมสารอินทรีย์จากวัตถุดิบที่ต่างกัน 4 ชนิด ได้แก่ น้ำมะพร้าว 15% กล้วยหอม 15% มันฝรั่ง 15% และน้ำมะเขือเทศ 15% ในอาหาร MS สำหรับเพาะเลี้ยงกล้วยไม้เหลืองจันทร์บูร (*Dendrobium friedericksianum* Rchb. f.) ในสภาพปลอดเชื้อ พบว่า น้ำมะพร้าว 15% ส่งเสริมการเกิดยอด ความสูงต้น จำนวน และความยาวใบเฉลี่ยสูงสุดเมื่อเปรียบเทียบกับสารอินทรีย์ชนิดอื่น ๆ และสอดคล้องกับงานวิจัยของ Sudhanyaratana et al. (2016) ที่พบว่า การเติมน้ำมะพร้าว 15% ในอาหารสูตร MS ทำให้ต้นกล้วยน้ำว้ามะลิอ่อน (*Musa* (ABB) 'Namwa Mali-Ong') มีร้อยละการเกิดยอดสูงสุด 100% และมีจำนวนยอดเฉลี่ยสูงสุดเท่ากับ 2.00 ยอด/ชิ้นส่วนพืช ซึ่งในการทดลองดังกล่าวหากมีการทดสอบใช้น้ำมะพร้าวที่เข้มข้นต่ำกว่า 15% อาจให้ผลการเติบโตที่แตกต่างจากนี้ได้

การสร้างรากของต้นผักเป็ดแดงใบต่างมีค่าแปรผกผันกับปริมาณ BA โดยอาหารชุดควบคุม และอาหารที่เติมน้ำมะพร้าว 10% มีผลทำให้ต้นผักเป็ดแดงใบต่างสร้างรากจำนวนมาก และอาหารที่เติมน้ำมะพร้าว 10% ทำให้ต้นผักเป็ดแดงใบต่างมีรากยาวสูงสุด แสดงให้เห็นว่าอาหารเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อที่ปราศจาก BA ทำให้ต้นผักเป็ดแดงสร้างรากได้ดี และรากมีความยาวสมบูรณ์ดีกว่าชุดการทดลองที่มีการเติม BA นอกจากนี้การเติม BA ความเข้มข้นสูง 4 mg/L มีผลทำให้ต้นผักเป็ดแดงใบต่างไม่สร้างรากตั้งแต่แรกจนถึงวันสุดท้ายของการทดลอง สอดคล้องกับการศึกษาของ Phongchawee et al. (2014) ที่พบว่า การใส่ BA ลงในอาหารเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อมากกว่า 1 mg/L มีผลยับยั้งการเกิดรากของต้นอ่อนใบพายมวกเหล็กแหลม (*Cryptocoryne retrospiralis* (Roxburgh) Fischer) ได้ เนื่องจากไซโตไคนินเป็นสารควบคุมการเติบโตของพืชที่สร้างจากระบบรากแล้วลำเลียงเข้าสู่เนื้อเยื่อเจริญส่วนยอดช่วยส่งเสริมการแบ่งตัวของยอดและใบพืช อย่างไรก็ตามหากมีปริมาณไซโตไคนินระดับความเข้มข้นที่สูงเกินไปจะส่งผลยับยั้งการเกิดราก และชักนำให้เกิดแคลลัสแทน (Kaweetah, 1997) ทั้งนี้ในน้ำมะพร้าวมีสารไซโตไคนินชนิดทรานส์-ซีตินในปริมาณประมาณ 181.93 นาโนโมลาร์ (Srisukh, 2016) ซึ่งคิดเป็นปริมาณน้อยเมื่อเทียบกับปริมาณ BA ที่นิยมใช้ในการเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อ นอกจากนี้น้ำมะพร้าวยังมีส่วนผสมของน้ำตาลฟรุคโตส กลูโคส และซูโครสเป็นองค์ประกอบอยู่ในปริมาณ 5.25, 7.25 และ 9.18 mg/L ตามลำดับ (Jala, 2010) น้ำตาลปริมาณสูงในน้ำมะพร้าวเป็นแหล่งสารอาหารให้กับพืช และความไม่สมดุลของฮอร์โมนระหว่างไซโตไคนินและออกซินเป็นตัวชักนำทำให้พืชสร้างรากหรือแคลลัสได้ สอดคล้องกับ Neera et al. (2014) ที่ได้ทดสอบเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อต้นแก่นตะวัน (*Helianthus tuberosus* L.) ในสภาพปลอดเชื้อโดยใช้สาร BA Kinetin และน้ำมะพร้าวในอัตราส่วนที่ต่างกัน พบว่า การเติมน้ำมะพร้าว 15% ลงในอาหาร MS สามารถชักนำให้เกิดต้นอ่อน และรากได้สูง 3.34 ต้น/ชิ้นส่วน และ 3.00 ราก/ชิ้นส่วน ตามลำดับ โดยน้ำมะพร้าวมีแนวโน้มชักนำให้พืชเพิ่มจำนวนรากได้ เนื่องจากน้ำมะพร้าวเป็น Weak cytokinin การใส่น้ำมะพร้าวลงในอาหารเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อจึงชักนำให้เกิดได้ทั้งต้นอ่อนและราก ในขณะที่ BA เป็น Strong cytokinin การเติม BA จึงทำให้พืชไม่มีการสร้างราก (Chantha et al., 2004) น้ำมะพร้าวยังมีผลทำให้ต้นผักเป็ดแดงใบต่าง ใบมีใบสีแดงสด สีใบไม่ซีด และอ่อนนุ่ม สอดคล้องกับการศึกษาของ Santarunai (2015). ที่พบว่า การเสริมน้ำมะพร้าว 15% ในอาหารสูตร MS ช่วยทำให้ต้นกล้วยไม้เหลืองจันทร์บูร (*D. friedericksianum* Rchb. f.) มีลำต้นสีเขียวสด มีรากจำนวนมาก และรากยาวแข็งแรง ทั้งนี้พืชแต่ละชนิดมีความต้องการสารควบคุมการเติบโตหรือฮอร์โมนพืชในระดับที่ต่างกัน

บทสรุป

สูตรอาหาร MS ที่มีส่วนผสมของน้ำมะพร้าว 10% เพียงอย่างเดียว และน้ำมะพร้าว 10% ที่เติมสารควบคุมการเติบโตชนิด BA มีผลทำให้ต้นผักเป็ดแดงใบต่างมีจำนวนใบเฉลี่ย และจำนวนยอดเฉลี่ยสูง แต่หากเติม BA ในระดับความเข้มข้นสูงจะส่งผลให้ลำต้นมีลักษณะแคระแกร็น และมีรากน้อยไม่ยึดเกาะกับอาหาร โดยอาหาร MS ที่เติมน้ำมะพร้าว 10% เพียงอย่างเดียวทำให้ต้นผักเป็ดแดงใบต่างมีจำนวนรากมาก รากมีความยาวสูงสุด และรากสามารถยึดเกาะกับอาหารได้ดี ใบมีสีแดงสด

และใบมีความนุ่ม ในขณะที่สูตรอาหารที่ไม่เติมน้ำมะพร้าวจะส่งผลทำให้ใบของต้นผักเป็ดแดงใบต่างมีสีเขียว และแห้งกรอบ ดังนั้นสูตรอาหารเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อต้นผักเป็ดแดงใบต่างที่ให้ผลการเติบโตที่ดี มีลักษณะที่เหมาะสมต่อการจัดจำหน่าย และส่งออก คือสูตรอาหาร MS ที่เติมน้ำมะพร้าว 10%

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณ คุณชนรรค์ เทียนรุ่งศรี กรรมการบริหาร บริษัทไวท์เครนอควาติกพลานท์ จำกัด ที่ให้ความอนุเคราะห์ตัวอย่างพืช และสถานที่ในการทำงานวิจัย และขอขอบคุณคณะเทคโนโลยีทางทะเล มหาวิทยาลัยบูรพา วิทยาเขตจันทบุรี ที่ให้การสนับสนุนการทำงานวิจัยในครั้งนี้

เอกสารอ้างอิง

- Chantha, P., Kongpetchsak, P., & Doksanthia, S. (2004). *Plant hormones* [Unpublished manuscript]. Faculty of Science, Srinakharinwirot University. (In Thai)
- Jala, A. (2010). A tissue culture protocol for propagation of native and rare orchid, *Pecteilis sagarikii* Sedenf. *Journal of Science and Technology*, 18(2), 28-39. (In Thai)
- Kaweetah, R. (1997). *Plant tissue culture: principles and techniques*. Kasetsart University, Promotion and Training Office Printing Division. (In Thai)
- Srisukh, V. (2016, October 13). *Young coconut water, a natural health drink*. Mahidol University. <https://n9.c/b67p6j>. (In Thai)
- Murashige, T., & Skoog, F. (1962). A revised medium for rapid growth and bio assays with tobacco tissue cultures. *Plant Physiology*, 15(1), 473-497. <https://doi.org/10.1111/j.1399-3054.1962.tb08052.x>
- Neera, S., Soonthorn, W., Mongkolpun, P., & Hongpukdee, P. (2014). Effect of cytokinins and coconut water on in vitro shoot induction of Kaentawan (*Helianthus tuberosus* L.). *Khon Kaen Agriculture Journal*, 42(2), 1-7. (In Thai)
- Phongchawee, K., Praditsan, R., Pipatcharoenchai, W., & Srisongkhram, Y. (2014). *In vitro propagation of aquatic plant Cryptocoryne retrospiralis (Roxburgh) fischer*. Freshwater fisheries research and development division Department of Fisheries. (In Thai)
- Rodloy, A. (2020). *Marketing and production management of aquatic plants in Thailand for exported and sustainable use of resources*. Inland Aquaculture Research and Development Division Department of Fisheries. (In Thai)
- Santarunai, N. (2015). Effect of medium and plant growth regulator on development and flowering (*Dendrobium friedericksianum* Rchb. f.) of orchid in vitro. In P. Samreangrum (Ed.), *The National Conference and Research Presentation. Create and Development to Approach ASEAN Community II* (pp. 155-162). Nakhonratchasima College. http://journal.nmc.ac.th/th/admin/Journal/2558Vol3No1_68.pdf. (In Thai)
- Selakorn, O., Sutaphan, S., Phasinam, K., & Kassaruk, T. (2020). The optimal concentration of coconut water on multiple shoot induction of *Musa* (AAA group) 'Kluai Nak' in vitro. *YRU Journal of Science and Technology*, 5(1), 1-6. (In Thai)
- Sudhanyaratana, N., Aoki, S., & Rattana, K. (2016). Tissue culture and the analysis of ploidy stability of *Musa* (ABB) "Namwa Mali-Ong". *Journal of Multidisciplinary in Social Sciences*, 9(3), 1-14. (In Thai)
- Thiangpuk, C. (2015). Coconut juice: great natural food. *Food*, 45(2), 39-42. (In Thai)
- Trigiano, R. N., & Gray, D. J. (2000). *Plant tissue culture concept and laboratory exercises*. CRC Press.

Received: February 13, 2024; Revised: January 22, 2025; Accepted: March 26, 2025

A review on the ethnobotany of exotic species in Thailand III: *Tamarindus indica* L. (Fabaceae)

Kittiyut Punchay¹ and Prateep Panyadee^{1*}

¹The Botanical Garden Organization, Queen Sirikit Botanic Garden, Chiang Mai Province, Thailand.

*Corresponding Author E-mail Address: pt.panyadee@gmail.com

Abstract

This review explored the ethnobotanical uses of tamarind (*Tamarindus indica* L.: Fabaceae), an exotic species with a longstanding presence in Thailand. The study synthesized 199 use-reports from 42 references spanning 1995 to 2022, revealing its multifaceted roles in traditional medicine, food, and other applications across 16 ethnic groups. The plant is most commonly employed for treating digestive system disorders but also finds use in women's healthcare and combating infections. To understand its widespread use, we evaluated three hypotheses: availability, diversification, and versatility. The plant's ubiquity, due in part to its 700-year presence in Thailand, substantiates the availability hypothesis. Although the diversification hypothesis is less compelling in this context due to the existence of other species treating similar ailments, the versatility hypothesis was strongly supported by the plant's broad application across various domains. The review underscores the need for future phytochemical and ethnopharmacological studies to understand *T. indica*'s medicinal efficacy better. It also suggests leveraging ethnobotanical knowledge for community-based conservation efforts.

Keywords: Cultural practices, Ethnomedicine, Herbal therapy, Indigenous knowledge, Tamarind

Introduction

Exotic plant species, also known as non-native or introduced species, are plants that have been introduced to an area outside of their natural range through human activity (Kull et al., 2014). However, the invasion of exotic species can negatively affect forest ecosystem functions and plant diversity (Gaggini et al., 2019; Xu et al., 2022). On the other hand, exotic species play an increasingly significant role in food systems (Chamorro & Ladio, 2020) with well-adapted to local conditions, generating a greater volume of food in different time than native plant (Pilnik et al., 2023). Exploring the utilization of exotic plant species among rural and indigenous communities provides an avenue for understanding how humans have explored a variety of plant resources in their environment to promote health and wellness (Medeiros et al., 2017).

Tamarindus indica L. (Fabaceae) is a tropical fruit tree that is native to Madagascar, but has been introduced in more than 50 tropical countries, and tamarind has become naturalized or established as a wild plant (POWO, 2023). The specific epithet, "*indica*", perpetuates the misconception of its origin. In fact,

T. indica was introduced to India during ancient times, as evidenced by archaeological findings and scriptures (Neumann et al., 2003). Despite its common name being derived from the Persian word "*Tamar-I-hind*", which means "date of India", it is possible that *T. indica* was introduced by Ethiopian traders who had established contact with India and Ceylon before the arrival of Arab traders who raised the common name afterward (Shah, 2014). Indian traders are considered to carry *T. indica* to Southeast Asia in medieval period (Neumann et al., 2003).

Tamarindus indica is considered a multipurpose plant. Various parts of the tree have traditional uses, especially in India and Africa (Havinga et al., 2010; Ebifa-Othieno et al., 2017; Noorunnisa et al., 2017). *T. indica* is a keystone food resource for ring-tailed lemurs (*Lemur catta*), which are endangered species and endemic to Madagascar (Mertl-Millhollen et al., 2011).

In Thailand, *T. indica* was reported to be traded during Ayutthaya period (1687-1688 A.D.) by French priest (Komolabutra, 2005). *T. indica* has since become an important economic crop, with 19 cultivars currently grown in Thailand (Srisuvoramas et al., 2015). Additionally, tamarind has been widely used in agroforestry worldwide, including in Thailand where it has been intercropped with annual plants and other fruit trees (El-Siddig et al., 2006; Orwa et al., 2009). It is one of the most common ingredients in common northeast Thai cuisine and is rich in poly phenol contents (Tantipopipat et al., 2010). Tamarind is an ingredient in several traditional Thai medicines included in Thailand's essential medicines list - *Ya Hom Nawakot*: utilized for digestive issues; *Ya Thai Di Kluea Farang* which: acts as a natural laxative; and *Ya Prakob Samunphrai*: used in herbal compresses soothing muscle and joint inflammation.

To gain a deeper understanding of the ethnobotany of *T. indica* in Thailand, it is imperative to address the fragmentation of primary ethnobotanical data available. Despite the extensive use of tamarind in Thai culinary practices and traditional medicine, there exists a notable gap in the systematic documentation and synthesis of ethnobotanical knowledge. This study aims to bridge this gap by presenting a comprehensive collection of traditional Thai knowledge on *T. indica*, underscoring the significance of this exotic plant in Thai culture. By consolidating scattered ethnobotanical studies, this research provides insights into the diverse ways Thai societies utilize and interact with tamarind, highlighting its integral role in their interaction with natural resources.

Note on *Tamarindus indica* L. characteristics

Tamarindus L. is a monospecific genus, containing only a single species, in the Leguminosae family, subfamily Caesalpinioideae. The genus was established by Linnaeus in 1754. *Tamarindus indica*, the sole species in this genus, is a tree that can grow up to 20 m in height, with paripinnate leaves consisting of 10–18 leaflets. The flowers have four sepals and five petals, which are yellow or cream with red veins. Pods are cylindrical, with irregular constrictions, usually curved, and light brown, 5–15 × 4 cm. The seeds are 3–10, glossy dark brown, and embedded in a brown and sticky pulp.

As an introduced species, *T. indica* is classified as a low-level invasive species in Thailand by the Forest and Plant Conservation Research Office (FPCRO, 2013). Despite this classification in Thailand, the overexploitation of tamarind has caused a decline in the number of trees in Africa (Fandohan et al., 2010). In Madagascar, local people once regarded *T. indica* as sacred, but this traditional knowledge is fading. This cultural shift is exerting additional pressure on tamarind populations (Ranaivoson et al., 2015).

Methodology

Data Collection

Our bibliographic searches employed several sources, utilizing specific keywords relevant to the ethnobotanical study of *T. indica* in Thailand. The keywords used in this review include "*T. indica*," "*ethnobotany*," "Thai ethnobotany," "traditional Thai medicine," and "plant utilization in Thailand." The criteria for the selection of references were as follows (Panyadee, 2022):

1. The scientific name "*Tamarindus indica*" must be specified in the reference.
2. The reference must constitute original research, explicitly including information about the locality and the time of the research.

The search included both English and Thai sources from Thai university libraries, online Thai journals, and international databases (Google Scholar, Scopus, PubMed). The Thai Library Integrated System (www.tdc.thailis.or.th) was also used, covering theses and scientific reports from Thai universities. To avoid duplication, only data from these were included when overlapping with journal articles.

Data analysis

The uses of *Tamarindus indica* were classified into categories—medicine, food, food additives, materials, social uses, and fuels—based on the Economic Botany Data Collection Standard (Cook, 1995). Each use was documented as a "use-report," representing a specific application by an ethnic group from a particular reference. Medicinal uses were further subdivided following the same standard. This approach enables consistent categorization and quantitative analysis of cultural contexts.

Results

Ethnobotanical of *T. indica* in Thailand

A total of 199 use reports were obtained from 42 references spanning the period of 1995 to 2022, encompassing 16 distinct ethnic groups. These references include 2 bachelor research projects, 12 journal articles, 6 reports, and 22 theses, amounting to a total of 42 sources. Of these, 12 references are published in English, while the remaining 30 are published in Thai. Notably, the 12 journal articles were identified using online databases, with 10 found in Google Scholar and 2 retrieved from PubMed.

Among the use reports, the dominant use category was medicinal plants, comprising 43% of the total (Table 1). The remaining use reports were categorized under various other classifications, including food, food additives, materials, fuels, and social uses (Figure 1A). Fruit is the dominant plant part, accounting for more than 50% of the use reports, followed by stems (27%), which include bark and wood.

Within the category of food uses, a total of 47 use reports (24%) were documented (Table 1). It was found that the fruit pulp is commonly consumed (71%) in its raw form, both when unripe and ripe as dessert fruit. Additionally, the tender shoots and flowers were employed in culinary preparations or are incorporated into salads (Table 1). The seeds, on the other hand, were often roasted and enjoyed as snacks (Sutjaritjai, 2019).

For food additives, *Tamarindus indica* was commonly used as a souring agent, particularly the fruit pulps and tender shoots (Table 2). In addition to this, the bark of the plant was utilized by the Shan people in spicy minced fish salad to enhance the taste of the dish (Pongamornkul & Muangyen, 2012).

As a material, *T. indica* wood was used for construction, as reported in studies among the Karen people (Kamwong, 2009; Sutjaritjai, 2019; Georgiadis, 2022) the Tai Lue community (Muangyen, 2013), and other Thai populations (Upho, 2005; Muangyen, 2013). Furthermore, the Karen people utilized bark powder, mixed with water, for beautifying the eyes (Georgiadis, 2022). The pulp was employed as soap (Sutjaritjai, 2019; Georgiadis, 2022), while the fruit fiber was also used by the Karen people to wash dishes (Sutjaritjai, 2019).

The ripened fruit's exocarp of *T. indica* was ground and mixed with tobacco to alleviate the bitterness of smoking among the Shan (Pongamornkul & Muangyen, 2012) and Karen peoples (Trisonthi et al., 2007; Sutjaritjai, 2019; Georgiadis, 2022). Additionally, there were a few reports of the Karen people using tamarind wood as firewood (Sonsupub, 2010; Sutjaritjai, 2019).

Categories of health disorders treated with *T. indica*

A total of 86 ethnomedicinal use reports (43%) were generated for *T. indica* in Thailand (Table 3). These reports were associated with 41 ailments which were classified into 15 use categories. The category of digestive system disorders had the largest number of use reports, with 22 reports covering eight ailments. Other categories with a significant number of reports included pregnancy, birth and puerperium disorders, infections and infestations, and skin and subcutaneous cellular tissue disorders.

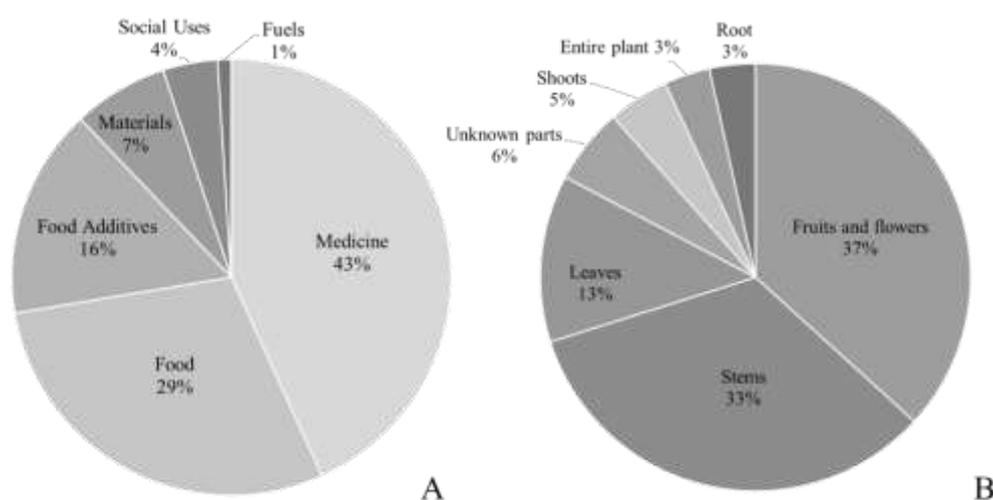


Figure 1 (A) The proportion of different use categories; (B) the proportion of different use parts within the medicinal category of *Tamarindus indica*.

Table 1 Summary of ethnobotanical use reports for *T. indica* across different secondary categories of food

Category	Usages	Ethnicity	Reference
Dessert fruits	The ripe fruit's pulp is consumed as a dessert	Akha	(Inta, 2008), (Srisanga et al., 2011)
		Hmong	(Nuammee, 2012), (Srithi, 2012)
		H'tin	(Tangtragoon, 1998)
		Karen	(Georgiadis, 2022), (Kamwong, 2009), (Khamfachuea, 2008), (Panyadee, 2017), (Pongamornkul, 2003), (Sutjaritjai, 2019)
		Khamu	(Srithi et al., 2012)
		Lahu	(Panyadee, 2017), (Yaso, 1997)
		Lawa	(Borikut, 2019), (Moonjai & Inta, 2016), (Panyadee, 2017), (Ponpim, 1996), (Srithi, 2012), (Tangtragoon, 1998)

Category	Usages	Ethnicity	Reference
		Mien	(Srithi, 2012), (Tovaranonte, 1998)
		Shan	(Panyadee, 2012), (Pongamornkul & Muangyen, 2012), (Tangtragoon et al., 2004)
		Tai Lue	(Inta, 2008)
		Thai	(Phatlamphu et al., 2021)
		Thai (Isaan)	(Numpulsuksant et al., 2021)
		Thai Yuan	(Panyadee, 2017)
		Yunnan Chinese	(Panyadee, 2017), (Ponpim, 1996)
	The young and ripe fruit is consumed as dessert	Karen	(Tovaranonte, 2003)
		Lawa	(Yaso, 2000)
Pulses	The roasted seeds are eaten	Karen	(Sutjaritjai, 2019)
Vegetables	Tender shoots added to a savory mushroom curry	Thai Yuan	(Penpanassak & Inta, 2018)
	Flowers used in curry	Karen	(Sutjaritjai, 2019)
		Shan	(Tangtragoon et al., 2004)
	Shoots are incorporated into salads	Shan	(Pongamornkul & Muangyen, 2012)
	Tender shoots are utilized in culinary preparations	Hmong	(Trisonthi et al., 2007)
		H'tin	(Klamwaewwong, 1996)
		Karen	(Kamwong, 2009), (Pongamornkul, 2003), (Tangjitman, 2017)
		Mien	(Tovaranonte, 1998)
		Shan	(Panyadee, 2012), (Tangtragoon et al., 2004)
		The young fruit is consumed as	Shan

Table 2 Summary of ethnobotanical use reports of *Tamarindus indica* across different secondary categories of food additives

Category	Usages	Part	Ethnicity	Reference
Souring agent	used as a souring agent especially in sour soup	Fruit pulp	Akha	(Srisanga et al., 2011)
			Hmong	(Nuammee, 2012)
			H'tin	(Klamwaewwong, 1996)
			Karen	(Georgiadis, 2022) (Sonsupub, 2010) (Sutjaritjai, 2019)
			Thai	(Upho, 2005)
		Thai Yuan	(Penpanassak & Inta, 2018) (Songsangchun, 2015)	
		Fruit pulp, Tender shoot	Akha	(Inta, 2008)
			Hmong	(Noitana et al., 2013)
			Karen	(Winijchaiyanan, 1995)
			Lawa	(Songsangchun, 2015)
Tai Lue	(Inta, 2008)			

Category	Usages	Part	Ethnicity	Reference
		Tender shoot	Akha	(Thatsaneeyakorn, 1997)
			Karen	(Khamfachuea, 2008), (Tovaranonte, 2003)
			Lahu	(Yaso, 1997)
			Lawa	(Ponpim, 1996)
			Shan	(Pongamornkul & Muangyen, 2012)
			Tai Lue	(Muangyen, 2013)
			Thai (Isaan)	(Numpulsuksant et al., 2021)
			Thai Yuan	(Muangyen, 2013)
			Yunnan Chinese	(Ponpim, 1996)
Other additive types	used in fish larb (spicy minced fish salad)	Bark	Shan	(Pongamornkul & Muangyen, 2012)

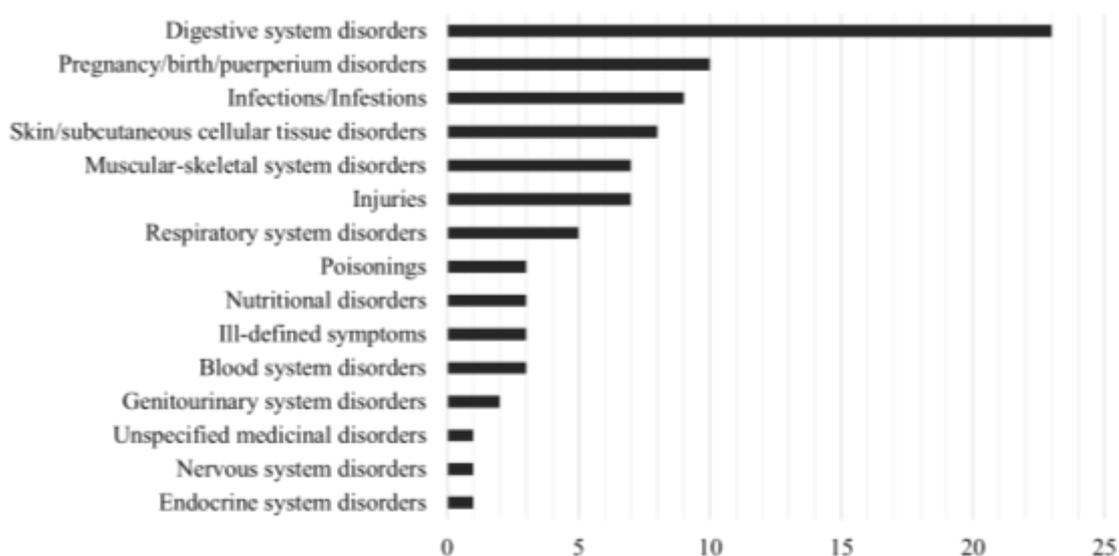


Figure 2 The number of reports used for the ethnomedical use of *T. indica* in each category (Cook, 1995).

Table 3 Ethnomedicinal uses of *Tamarindus indica* in Thailand

Category	Part	Ailments	Preparation /Application	Reference
Blood system disorders	Fruit	Blood flow improvement	Drink aqueous decoction	(Maneenoon et al., 2015), (Pongamornkul & Muangyen, 2012)
	All parts/ whole plant	Blood flow improvement	Boiled then bath	(Pongamornkul & Muangyen, 2012)
Digestive system disorders	Bark	Diarrhea	Potion	(Sutjaritjai, 2019), (Yaso, 2000)
		Aphthous ulcer in cattle	Orally consume	(Sutjaritjai, 2019)

Category	Part	Ailments	Preparation /Application	Reference
		Colic	Drink aqueous decoction	(Tovaranonte, 2001)
	Fruit	Laxative	Orally consume -	(Sonsupub, 2010), (Sutjaritjai, 2019), (Chamratpan & Homchuen, 2005), (Neamsuvan et al., 2016), (Phatlamphu et al., 2021), (Muangyen, 2013), (Muangyen, 2013), (Pongamornkul & Muangyen, 2012), (Sumridpiem, 2017)
			Drink aqueous decoction	(Maneenoon et al., 2015)
	Fruit	Sputum Elimination	Drink aqueous decoction	(Maneenoon et al., 2015)
	Fruit pulp	Laxative	Orally consume	(Pongamornkul & Muangyen, 2013)
		Constipation	Orally consume with salt	(Tovaranonte, 2001), (Sumridpiem, 2017)
	Leaf	Gastroesophageal reflux disease	Drink aqueous Decoction	(Sumridpiem, 2017)
	Tender Shoot	Bloating	Boiled with <i>Lasia spinosa</i> then drink	(Ponpim, 1996)
	NA	Constipation	-	(Noitana et al., 2013)
		Diarrhea	Orally consume	(Sumridpiem, 2017)
Endocrine system disorders	Leaf	Diabetes	-	(Upho, 2005)
Genitourinary system disorders	Root	Urethral stones	Drink aqueous decoction	(Sutjaritjai, 2019)
		Gallstones	-	(Kamwong, 2009)
Ill-defined symptoms	Fruit	Dizziness	Bath Orally consume	(Sutjaritjai, 2019) (Sutjaritjai, 2019)
Infections/Infestations	Bark	Fever	Bath Herbal steam	(Sutjaritjai, 2019) (Sutjaritjai, 2019)
		typhoid fever	boiled with others	(Winijchaiyanan, 1995)
	Fruit	Bilharzia	orally consume	(Neamsuvan et al., 2016)
		Cold in children	Drink aqueous decoction	(Maneenoon et al., 2015)
	Leaf	Malarial fever	-	(Upho, 2005)
	Tender shoot	Convalescence fever	Mixed with other shoots then steamed	(Winijchaiyanan, 1995)
	NA	Deworming	-	(Noitana et al., 2013)
Injuries	Bark	Wound	- Poultices	(Pongamornkul & Muangyen, 2012) (Sutjaritjai, 2019)
	Fruit shell	Wound	Boiled	(Pongamornkul & Muangyen, 2012)
	Leaf	Wound	Pounded	(Tovaranonte, 2001)
	Whole	Wound	Boiled	(Pongamornkul & Muangyen, 2012)
	NA	Wound	Boiled, mixed with water and bathed	(Phatlamphu et al., 2021)

Category	Part	Ailments	Preparation /Application	Reference
Muscular-skeletal system disorders	Bark	Back pain	Drink aqueous decoction	(Sutjaritjai, 2019)
	Fruit	Aches and pains	Herbal steam	(Sumridpiem, 2017)
	Leaf	Hands and feet soreness	Soaked	(Sumridpiem, 2017)
		Aches and pains	Compress ball	(Sumridpiem, 2017)
	Stem	Lumbago	Drink decoction	(Sutjaritjai, 2019)
Nervous system disorders	Fruit	Paralysis	-	(Chamratpan & Homchuen, 2005)
Nutritional disorders	Fruit	Tonic	-	(Sumridpiem, 2017)
			Mixed with others	(Pongamornkul & Muangyen, 2013)
Poisonings	Leafy Branch	Malnutrition	Boiled with other herbs then bathed	(Bunsongthae & Chaiwong, 2010)
	Fruit	Detoxification	Orally consume	(Sutjaritjai, 2019)
Pregnancy/birth/puerperium disorders	Leaf	Detoxification	Soaked	(Sumridpiem, 2017)
	Bark	Postpartum Recovery	Boiled or mixed with herbs	(Pongamornkul & Muangyen, 2012)
	Fruit	Postpartum recovery	-	(Pongamornkul & Muangyen, 2012)
	hardwood	Postpartum recovery	heated by fire	(Phatlamphu et al., 2021)
	Leaf	Postpartum recovery	-	(Pongamornkul & Muangyen, 2012)
	Leafy branch	Postpartum recovery	Boiled	(Bunsongthae & Chaiwong, 2010)
	Root	Postpartum abnormalities	-	(Kamwong, 2009)
	Stem	Puerperium	Drink aqueous decoction	(Sutjaritjai, 2019)
Respiratory system disorders	Bark	Cough	Drink decoction	(Sutjaritjai, 2019)
		Phlegm	Boiled	(Tovaranonte, 2001)
		Sore throat	Drink decoction	(Sutjaritjai, 2019)
	Fruit	Cough	Orally consume/ drink decoction	(Sutjaritjai, 2019)
	NA	Cough	-	(Noitana et al., 2013)
Skin/subcutaneous cellular tissue disorders	Bark	Dark spots, rashes	Made into powder and used as face powder	(Tangjitman, 2017)
		Itching	Bath	(Sutjaritjai, 2019)
		Itching	Boiled then bath	(Pongamornkul & Muangyen, 2012)
		Itching	Applied	(Pongamornkul & Muangyen, 2012)
	Fruit	Dry skin	Liniment	(Sutjaritjai, 2019)
	Inner bark	Pus-filled wounds	Burnt, scraped, and mixed with water	(Sumridpiem, 2017)
	Leaf	Itchy rash	Compress ball	(Sumridpiem, 2017)

Category	Part	Ailments	Preparation /Application	Reference
Unspecified medicinal disorders	Tender shoot	Used as a herbal remedy	-	(Pongamornkul, 2006)

Discussion

Tamarindus indica is widely acknowledged as a versatile tree in Africa, Asia, and Latin America, with significant applications in medicines and foods (Lans, 2007; Ebifa-Othieno et al., 2017; Bibi et al., 2022). It has been reported as the most commonly used species among the Karen community in Thailand, due to its integral role in their culinary traditions, medicinal practices, and sustainable lifestyle (Sutjaritjai et al., 2019). It is also the species with the highest use value among an ethnic group in Indonesia (Al Yamini et al., 2023). While *T. indica* serves various medicinal purposes for treating a range of ailments within 15 used categories, it is notably employed extensively in addressing digestive system disorders as a laxative, much like its utilization in Africa (Havinga et al., 2010). This widespread use can be attributed to its high content of organic acids, dietary fiber, and phytochemicals, which stimulate bowel movements, improve digestion, and alleviate constipation. Its accessibility and effectiveness in traditional medicine systems make it a preferred remedy for digestive issues across various regions. *T. indica* has been report for postpartum recovery in Indonesia as tonic to recover the stamina (Silalahi and Khairiah, 2020), but Thailand was report only for bathing which may related with the anti-inflammatory, wound healing activities and analgesic potential (Havinga et al., 2010; Komakech et al., 2019). The limited use in Thailand could be attributed to cultural differences in postpartum care practices, where herbal remedies are often integrated into external applications rather than internal consumption. *T. indica* is suggested as a potent natural wound-healing phytochemicals including terpenoids, sterols, and fatty acids (Aly et al., 2023).

According to traditional dietary practices, *Tamarindus indica* is consumed as a food source and food additive, and it can also be prepared as a pleasantly acidic beverage (De Caluwé et al., 2010). The ripened fruits of *T. indica* are rich in essential minerals such as Zn, Fe, Ca and Mg and have a long shelf life of up to eight weeks (Nattaporn & Krittika, 2010; Okello et al., 2017). The fruit and its extract are utilized by the food industry as preservatives and for the production of ready-to-eat foods (Mansingh et al., 2021).

Although there is a preference for exotic species over native species in traditional uses, there is low redundancy observed between exotic and native species (Alencar et al., 2014). Exotic species are incorporated into pharmacopoeias to address gaps that are not fulfilled by native species (Medeiros et al., 2017). The utilization of exotic plants in traditional medicine can be attributed to the hypotheses of versatility, availability, and diversification, which aim to explain the increasing number of exotic plants being used. These hypotheses provide a potential explanation for the popularity of utilizing exotic plants (Gaoue et al., 2017).

The availability hypothesis posits that the significant incorporation of *T. indica* in Thai ethnobotany may be attributed to its greater abundance or accessibility compared to native plant species. It is noteworthy that this species has been introduced to Thailand for more than 700 years since Sukhothai period and is widely distributed across the country, thereby reinforcing its accessibility. Our study confirms this notion to a certain extent; the plant's uses spanned multiple ethnic groups and domains, suggesting widespread availability. Furthermore, its diverse utilization for non-medicinal purposes, such as food and construction material, may be indicative of its abundance in the Thai landscape. The availability of a plant species can

indeed influence its value in traditional medicine, as demonstrated by previous research (Medeiros, 2013; Panyadee, 2022).

The diversification hypothesis suggests that introduced species like *T. indica* may fill therapeutic vacancies due to their novel bioactivity. However, in the context of Thai ethnobotany, this hypothesis appears to be less compelling for explaining the plant's widespread use. While our results do show that *T. indica* has a significant role in ethnomedicine, particularly in treating digestive system disorders (Tangjitman et al., 2015; Panyadee et al. 2019), it is worth noting that Thailand has a rich repertoire of native species also employed for digestive ailments. Therefore, the plant's extensive use may not be solely attributed to filling a therapeutic gap but could also be influenced by cultural factors, traditional knowledge, or synergistic effects when used in polyherbal formulations. Future phytochemical and ethnopharmacological studies could provide more nuanced insights into this aspect.

The versatility hypothesis posits that introduced species are more likely to be incorporated as medicines due to their broader range of uses. This is vividly supported by our data, which demonstrates that *T. indica* is not only used medicinally but also in diverse non-medicinal categories like food, materials, and social uses. Furthermore, within the medicinal domain, *T. indica* is employed for a broad spectrum of ailments. Such versatile use-profiles are consistent with other ethnobotanical studies that found a high correlation between versatility and plant utilization (Bennett & Prance, 2000).

Conclusion

The ethnobotanical profile of *Tamarindus indica* in Thailand is a compelling tapestry woven from biological availability, cultural preferences, and medicinal versatility. This study complements global research underscoring the plant's multifaceted applications, particularly in traditional medicine. Our review provides an in-depth ethnobotanical analysis of *T. indica* in Thailand, revealing its expansive utility across various domains and ethnic groups. While the plant's applications share some commonalities with practices in other countries, unique local uses underscore the critical role of cultural context in ethnobotanical research.

Our findings contribute substantively to the existing body of knowledge, demonstrating how exotic species like *T. indica* can become deeply embedded within local pharmacopoeias and cultural norms. The utilization of nearly all parts of the plant for a range of medical conditions-including digestive system disorders, women's healthcare, and infections-is particularly noteworthy. Moreover, the plant's recognized nutritional value aligns with scientific substantiation, adding another layer to its importance.

Future investigations should focus on elucidating the phytochemical properties of *T. indica*, exploring its synergistic effects in polyherbal formulations, and assessing its role in sustainable development and biodiversity conservation. Additionally, strategies to leverage ethnobotanical knowledge for both economic and environmental benefits should be considered, as they could incentivize communities to preserve their traditional practices and knowledge.

Acknowledgement

This work was supported by the Thailand Academy of Social Sciences, Humanities and Arts (TASSHA), under the Suvarnabhumi Project, funded by the Ministry of Higher Education, Science, Research and Innovation, Thailand.

References

- Al Yamini, T. H., Djuita, N. R., Chikmawati, T., & Purwanto, Y. (2023). Ethnobotany of wild and semi-wild edible plants of the Madurese Tribe in Sampang and Pamekasan Districts, Indonesia. *Biodiversitas*, 24(2), 947–957.
- Alencar, N. L., Santoro, F. R., & Albuquerque, U. P. (2014). What is the role of exotic medicinal plants in local medical systems? A study from the perspective of utilitarian redundancy. *Revista Brasileira de Farmacognosia*, 24(5), 506-515.
- Aly, S. H., El-Hassab, M. A., Elhady, S. S., & Gad, H. A. (2023). Comparative Metabolic study of *Tamarindus indica* L. & various organs based on GC/MS analysis, In silico and in vitro anti-inflammatory and wound healing activities. *Plants*, 12(1), 87. <https://www.mdpi.com/2223-7747/12/1/87>
- Bennett, B. C., & Prance, G. T. (2000). Introduced plants in the indigenous pharmacopoeia of northern South America. *Economic Botany*, 54(1), 90-102. [http://www.jstor.org/stable/4256252\(102\)](http://www.jstor.org/stable/4256252(102))
- Bibi, F., Abbas, Z., Harun, N., Perveen, B., & Bussmann, R. W. (2022). Indigenous knowledge and quantitative ethnobotany of the Tanawal area, Lesser Western Himalayas, Pakistan. *PLOS ONE*, 17(2), e0263604. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0263604>
- Borikut, M. (2019). *Ethnobotany of Lua in Ban Num Phae Bo Kluea District, Nan Province*. [Thesis, Chiang Mai University]. Chiang Mai, Thailand.
- Bunsongthae, A., & Chaiwong, C. (2010). Conservation and utilization of ethnic plants in some areas of Maehongson province. *The Northern Region Journal of Science and Technology*, 3(1), 22–43.
- Chamorro, M. F., & Ladio, A. (2020). Native and exotic plants with edible fleshy fruits utilized in Patagonia and their role as sources of local functional foods. *BMC Complementary Medicine and Therapies*, 20(1), 155. <https://doi.org/10.1186/s12906-020-02952-1>
- Chamratpan, S., & Homchuen, S. A. (2005). Ethnobotany in upper northeastern Thailand. *Acta Horticulturae*, 675: 67-74. <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2005.675.8>
- Cook, F. E. M. (1995). *Economic botany data collection standard*. Royal Botanic Gardens, Kew. https://books.google.co.th/books?id=z_dGAQAIAAJ
- De Caluwé, E., Halamouá, K., & Van Damme, P. (2010). *Tamarindus indica* L. - A review of traditional uses, phytochemistry and pharmacology. *Afrika Focus*, 23(1), 53–83. <https://doi.org/10.1163/2031356X-02301006>
- Ebifa-Othieno, E., Mugisha, A., Nyeko, P., & Kabasa, J. D. (2017). Knowledge, attitudes and practices in tamarind (*Tamarindus indica* L.) use and conservation in Eastern Uganda. *Journal of Ethnobiology and Ethnomedicine*, 13(1), 5. <https://doi.org/10.1186/s13002-016-0133-8>
- El-Siddig, K., Gunasena, H. P. M., Prasad, B. A., Pushpakumara, D. K. N. G., Ramana, K. V. R., Vijayanand, P., & Williams, J. T. (2006). *Tamarind, Tamarindus indica* L. Southampton Centre for Underutilised Crops.
- Fandohan, A. B., Assogbadjo, A. E., Glele Kakai, R. L., Sinsin, B., & Van Damme, P. (2010). Impact of habitat type on the conservation status of tamarind (*Tamarindus indica* L.) populations in the W National Park of Benin. *Fruits*, 65(1), 11-19. <https://doi.org/10.1051/fruits/2009037>
- Gaggini, L., Rusterholz, H.-P., & Baur, B. (2019). The invasion of an annual exotic plant species affects the above- and belowground plant diversity in deciduous forests to a different extent. *Perspectives in Plant Ecology, Evolution and Systematics*, 38, 74-83. <https://doi.org/10.1016/j.ppees.2019.04.004>

- Gaoue, O. G., Coe, M. A., Bond, M., Hart, G., Seyler, B. C., & McMillen, H. (2017). Theories and Major Hypotheses in Ethnobotany. *Economic Botany*, 71(3), 269-287. <https://doi.org/10.1007/s12231-017-9389-8>
- Georgiadis, P. (2022). Ethnobotanical knowledge against the combined biodiversity, poverty and climate crisis: A case study from a Karen community in Northern Thailand. *Plants People Planet*, 4, 382-391. [https://doi.org/10.1002/ppp3.10259\(10\)](https://doi.org/10.1002/ppp3.10259(10))
- Havinga, R. M., Hartl, A., Putscher, J., Prehler, S., Buchmann, C., & Vogl, C. R. (2010). *Tamarindus indica* L. (Fabaceae): patterns of use in traditional African medicine. *Journal of Ethnopharmacology*, 127(3), 573-588. <https://doi.org/10.1016/j.jep.2009.11.028>
- Inta, A. (2008). *Ethnobotany and Crop Diversity of Tai Lue and Akha Communities in the Upper Northern Thailand and the Xishuangbanna Dai Autonomous Prefecture, China* [Unpublished doctoral dissertation]. Chiang Mai University.
- Kamwong, K. (2009). *Ethnobotany of Karens at Ban Mai Sawan and Ban Huay Pu Ling, Ban Luang Sub-District, Chom Thong District, Chiang Mai Province* [Unpublished master's thesis]. Chiang Mai University.
- Khamfachuea, K. (2008). *Ethnobotany of the Karen at Ban Chan and Chaem Luang Subdistricts, Mae Chaem District, Chiang Mai Province* [Unpublished master's thesis]. Chiang Mai University.
- Klamwaewwong, C. (1996). *Ethnobotanical study of H'tin hill tribe at Wangsao village, Nan* [Unpublished master's thesis]. Chiang Mai University.
- Komakech, R., Kim, Y. G., Matsabisa, G. M., & Kang, Y. (2019). Anti-inflammatory and analgesic potential of *Tamarindus indica* Linn. (Fabaceae): a narrative review. *Integrative Medicine Research*, 8(3), 181-186. <https://doi.org/10.1016/j.imr.2019.07.002>
- Komolabutra, S. T. (2005). *A new historical relation of the kingdom of Siam by Monsieur Fe La Loubere*. Sirpanya. F.L for Tho. Horne
- Kull, C. A., Tassin, J., & Carrière, S. M. (2014). Approaching invasive species in Madagascar. *Madagascar Conservation and Development*, 9(2), 60-70.
- Lans, C. (2007). Comparison of plants used for skin and stomach problems in Trinidad and Tobago with Asian ethnomedicine. *Journal of Ethnobiology and Ethnomedicine*, 3(1), 1-12. <https://doi.org/10.1186/1746-4269-3-3>
- Maneenoon, K., Khuniad, C., Teanuan, Y., Seadan, N., Prom-in, S., Rukleng, N., Kongpool, W., Pinsook, P., & Wongwiwat, W. (2015). Ethnomedicinal plants used by traditional healers in Phatthalung Province, Peninsular Thailand. *Educational Technology and Society*, 11, 1-20. [https://doi.org/10.1186/s13002-015-0031-5\(20\)](https://doi.org/10.1186/s13002-015-0031-5(20))
- Mansingh, B. B., Binoj, J. S., Sai, N. P., Hassan, S. A., Siengchin, S., Sanjay, M. R., & Liu, Y. C. (2021). Sustainable development in utilization of *Tamarindus indica* L. and its by-products in industries: A review. *Current Research in Green and Sustainable Chemistry*, 4, 100207. <https://doi.org/10.1016/j.crgsc.2021.100207>
- Medeiros, P. M. (2013). Why is change feared? Exotic species in traditional pharmacopoeias. *Ethnobiology and Conservation*, 2(3), 1-5 <https://doi.org/10.15451/ec2013-8-2.3-1-05>
- Medeiros, P. M. d., Ferreira Júnior, W. S., Ramos, M. A., Silva, T. C. d., Ladio, A. H., & Albuquerque, U. P. (2017). Why do people use exotic plants in their local medical systems? A systematic review based on Brazilian local communities. *PLOS ONE*, 12(9), e0185358. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0185358>

- Mertl-Millhollen, A. S., Blumenfeld-Jones, K., Raharison, S. M., Tsaramanana, D. R., & Rasamimanana, H. (2011). Tamarind tree seed dispersal by ring-tailed lemurs. *Primates*, 52(4), 391–396. <https://doi.org/10.1007/s10329-011-0253-7>
- Moonjai, J., & Inta, A. (2016). Ethnobotany of Lawa in La-Oob Village, Mae La Noi District, Mae Hong Son Province. *Thai Journal of Botany*, 8, 181–199.
- Muangyen, N. (2013). *Ethnobotany of Tai Lue and Tai Yuan in Samoeng District, Chiang Mai Province* [Unpublished master's thesis]. Chiang Mai University.
- Nattaporn, J., & Krittika, T. (2010). Effect of storage time and relative humidity on transportability of sweet tamarind. *Acta Horticulturae*, 875, 151–156. <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2010.875.18>
- Neamsuvan, O., Phumchareon, T., Bunphan, W., & Kaosaeng, W. (2016). Plant materials for gastrointestinal diseases used in Chawang District, Nakhon Si Thammarat Province, Thailand. *Journal of Ethnopharmacology*, 194, 179–187. [https://doi.org/10.1016/j.jep.2016.09.001\(187\)](https://doi.org/10.1016/j.jep.2016.09.001(187))
- Neumann, K., Butler, A., Kahlheber, S., & Kuper, R. (2003). *Food, fuel and fields: Progress in African archaeobotany*. Heinrich-Barth-Institut. <https://books.google.co.th/books?id=LUOWDwAAQBAJ>
- Noitana, P., Saipara, S., & Khoomput, K. (2013). Ethnobotany of the Hmong at Nanoi District, Nan Province. *Naresuan Phayao Journal*, 6(3), 213–219.
- Noorunnisa, S. B., Ravikumar, K., & Ved, D. K. (2017). Ethnobotanical of the Western Ghats. In T. Pullaiah, K. V. Krishnamurthy, & B. Bahadur (Eds.), *Ethnobotany of India Volume 2*, (pp. 368) *Western Ghats and West Coast of Peninsular India*. Apple Academic Press Inc.
- Nuammee, A. (2012). *Ethnobotany of Hmong in Ban Pang Chang, Tambon Pong, Amphoe Santisuk, Changwat Nan* [Unpublished master's thesis] Chulalongkorn University.
- Numpulsuksant, W., Saensouk, S., & Saensouk, P. (2021). Diversity and ethnobotanical study of medicinal plants in Ban Hua Kua, Kae Dam District, Thailand. *Biodiversitas*, 22(10), 4349–4357. <https://doi.org/10.13057/biodiv/d221027>
- Okello, J., Okullo, J. B. L., Eilu, G., Nyeko, P., & Obua, J. (2017). Mineral composition of *Tamarindus indica* LINN (tamarind) pulp and seeds from different agro-ecological zones of Uganda. *Food Science & Nutrition*, 5(5), 959–966. <https://doi.org/https://doi.org/10.1002/fsn3.490>
- Orwa, C., Mutua, A., Kindt, R., Jamnadass, R., & Simons, A. (2009, 14 May). *Agroforestry Database: a tree reference and selection guide version 4.0*. World Agroforestry Centre. <http://apps.worldagroforestry.org/treedb2/>
- Panyadee, P. (2012). *Plant diversity in homegardens of Tai Yai communities in Pang Mapha district, Mae Hong Son province* [Unpublished master's thesis]. Chiang Mai University.
- Panyadee, P. (2017). *Comparison of Plants Composition and Structure of Homegardens of Ethnic Groups in Chiang Mai Province, Thailand* [Doctoral dissertation]. Chiang Mai University Digital Collections (CMUDC). <https://cmudc.library.cmu.ac.th/frontend/Info/item/dc:126658>
- Panyadee, P. (2022). A review on the ethnobotany of exotic species in Thailand I: *Mimosa pudica* L. (Leguminosae). *Thai Journal of Botany*, 14(2), 79–94.
- Panyadee, P., Balslev, H., Wangpakapattanawong, P., & Inta, A. (2019). Medicinal plants in homegardens of four ethnic groups in Thailand. *Journal of Ethnopharmacology*, 239, 111927. <https://doi.org/10.1016/j.jep.2019.111927>
- Penpanassak, T., & Inta, A. (2018). Use of local vegetables in Phayao province. *Thai Journal of Botany*, 10, 93–108.

- Phatlamphu, N., Saensouk, S., Saensouk, P., & Junsongduang, A. (2021). Ethnobotany of edible plants in Muang district, Kalasin province, Thailand. *Biodiversitas*, 22(12), 5432–5444. [https://doi.org/10.13057/biodiv/d221225\(5444\)](https://doi.org/10.13057/biodiv/d221225(5444))
- Pilnik, M. S., Argentim, T., Kinupp, V. F., Haverroth, M., & Ming, L. C. (2023). Traditional botanical knowledge: food plants from the Huni Kuĩ indigenous people, Acre, western Brazilian Amazon. *Rodriguésia*, 74. <https://doi.org/10.1590/2175-7860202374016>
- Pongamornkul, W. (2003). *An Ethnobotanical study of the Karen at Ban Yang Pu Toh and Ban Yang Thung Pong, Chiang Dao district, Chiang Mai Province* [Unpublished master's thesis]. Chiang Mai University.
- Pongamornkul, W. (2006). *An ethnobotanical study of Lua in Royal Project areas, Mae Hong Son province* [Unpublished master's thesis]. Chiang Mai University.
- Pongamornkul, W., & Muangyen, N. (2012). *Ethnobotany of Tai Yai in Khun Yuam District, Mae Hong Son Province*. The Botanical Garden Organization.
- Pongamornkul, W., & Muangyen, N. (2013). *Ethnobotany of Karen in Sop Moei District, Mae Hong Son Province*. The Botanical Garden Organization.
- Ponpim, Y. (1996). *Ethnobotany of the hill tribes in Kaenoy's and Nongkheuw's Royal Project in Chiang Mai* [Unpublished master's thesis]. Chiang Mai University.
- POWO. (2023, 11 May). *Plants of the World Online. Facilitated by the Royal Botanic Gardens, Kew.* <http://www.plantsoftheworldonline.org/>
- Ranaivoson, T., Brinkmann, K., Rakouth, B., & Buerkert, A. (2015). Distribution, biomass and local importance of tamarind trees in south-western Madagascar. *Global Ecology and Conservation*, 4, 14–25. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.gecco.2015.05.004>
- Shah, N. C. (2014). *Tamarindus indica* – Introduction in India and Culinary, Medicinal, and Industrial Uses. *Asian Agri-History*, 18(4), 343–355.
- Silalahi, M., & Khairiah, A. (2020). Ethnomedicinal plants and practices related to pregnancy, childbirth, and postpartum healthcare of Minangkabau ethnic group, West Sumatra, Indonesia. *Biodiversitas*, 21(10), 4597–4605. <https://doi.org/10.13057/biodiv/d211018>
- Songsangchun, A. (2015). *Plants Usages of Khon Muang and Lawa in Phu Fah Subdistrict, Bo Klua District, Nan Province* [Unpublished master's thesis]. Chiang Mai University.
- Sonsupub, B. (2010). *Ethnobotany of Karen Community in Raipa Village, Huaykhayeng Subdistrict, Thongphaphume District, Kanchanaburi Province* [Unpublished master's thesis]. Kasetsart University.
- Srisanga, P., Wongpakam, S., Kamkuan, W., Pekthong, T., Tovanaronte, J., Yaso, T., & Nontachaiyapoom, S. (2011). Ethnobotany of Akha in Huay Yuak Pa So village, Mae Fah Luang district and Ban Mai Patthana village, Mae Suai district, Chiang Rai province. *Thai Journal of Botany*, 3, 93–114.
- Srisuvoramas, B., Aiumsamang, S., Piamalung, T., Sansenya, S., & Sripanom, L. (2015, 4-6 Nov.). *DNA barcodes for cultivar identification of Thailand Tamarindus indica L.* 2015 International Conference on Science and Technology (TICST), Pathum Thani Province, Thailand.
- Srithi, K. (2012). *Comparative Ethnobotany in Nan Province, Thailand* [Unpublished doctoral dissertation]. Chiang Mai University.
- Srithi, K., Trisonthi, C., Wangpakapattanawong, P., & Balslev, H. (2012). Medicinal plants used in Hmong women's healthcare in northern Thailand. *Journal of Ethnopharmacology*, 139, 119–135. [https://doi.org/10.1016/j.jep.2011.10.028\(135\)](https://doi.org/10.1016/j.jep.2011.10.028(135))

- Sumridpiem, P. (2017). *Utilization Analysis of Medicinal Plants Among Tai Yong And Tai Yuan in Lamphun Province* [Unpublished master's thesis]. Chiang Mai University
- Sutjaritjai, N. (2019). *Quantitative Ethnobotany of Fabaceae of Karen Communities in Chiang Mai Province, Thailand* [Unpublished doctoral dissertation]. Chiang Mai University.
- Sutjaritjai, N., Wangpakapattanawong, P., Balslev, H., & Inta, A. (2019). Traditional Uses of Leguminosae among the Karen in Thailand. *Plants*, 8(12), 600. <https://www.mdpi.com/2223-7747/8/12/600>
- Tangjitman, K. (2017). Ethnobotany of the Karen at Huay Nam Nak village, Tanaostri subdistrict, Suanpheng district, Ratchaburi province. *Thai Journal of Botany*, 9, 253–272.
- Tangjitman, K., Wongsawad, C., Kamwong, K., Sukkho, T., & Trisonthi, C. (2015). Ethnomedicinal plants used for digestive system disorders by the Karen of northern Thailand. *Journal of Ethnobiology and Ethnomedicine*, 11, 1–13. <https://doi.org/10.1186/s13002-015-0011-9>
- Tangtragoon, T. (1998). *Ethnobotany of the Khamu, Lawa and H'tin in Some Areas of Nan Province* [Unpublished master's thesis]. Chiang Mai University
- Tangtragoon, T., Tarachai, Y., Hongwittayakorn, P., Prokati, V., & Phreechawattanakon, P. (2004). *Ethnobotany Studies in Ban Pong, Sansai District, Chiang Mai Province*. Maejo University. <https://shorturl.asia/DUZNi>
- Tantipopipat, S., Jr., Boonpraderm, A., Charoenkiatkul, S., Wasantwisut, E., & Winichagoon, P. (2010). Dietary intake of spices and herbs in habitual northeast Thai diets. *Malaysian Journal of Nutrition*, 16(1), 137–148.
- Thatsaneeyakorn, J. (1997). *Ethnobotanical study of the Akha at Doi Sa-ngo village, Chiang Rai* [Unpublished special project]. Chiang Mai University.
- Tovaranonte, J. (1998). *Ethnobotanical Study of the Tai Lue, Hmong and Yao in Some Areas of Nan Province* [Unpublished master's thesis]. Chiang Mai University
- Tovaranonte, J. (2001). *Ethnobotany in surroundings area of Mae Fah Luang University*. Mae Fah Luang University. <https://archives.mfu.ac.th/database/items/show/1761>
- Tovaranonte, J. (2003). *Ethnobotany of Tai Lue in Chiang Rai Province*. Mae Fah Luang University. Mae Fah Luang University. <https://archives.mfu.ac.th/database/items/show/1434>
- Trisonthi, C., Trisonthi, P., Wangpakapattanawong, P., & Srisanga, P. (2007). *Research Project on Gathering of Highland Traditional Biodiversity- and Ethnobiology-Based Knowledge*. Highland Research and Development Institute (Public Organization).
- Upho, U. (2005). *Ethnobotany of Buddhist and Muslim Thais in some locations in the lower part of southern Thailand* [Unpublished doctoral dissertation]. Chiang Mai University.
- Winijchaiyanan, P. (1995). *Ethnobotany of Karen in Chiang Mai* [Unpublished master's thesis]. Chiang Mai University.
- Xu, H., Liu, Q., Wang, S., Yang, G., & Xue, S. (2022). A global meta-analysis of the impacts of exotic plant species invasion on plant diversity and soil properties. *Science of the Total Environment*, 810, 152286. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.152286>
- Yaso, T. (1997). *Ethnobotany of Black Lahu in Huai Pong Village, Wiang Pa Pao District, Chiang Mai Province* [Unpublished special project]. Chiang Mai University.
- Yaso, T. (2000). *Ethnobotany of the H'tin and Lua in Phuphaa Subdistrict, Baugleua District, Nan Province* [Unpublished master's thesis]. Chiang Mai University.

Received: April 24, 2024; Revised: January 6, 2025; Accepted: March 26, 2025

ระบบปัญญาประดิษฐ์สำหรับการคัดแยกขยะด้วยการประยุกต์ใช้แบบจำลองการเรียนรู้เชิงลึก Artificial intelligence for waste sorting using applied deep learning models

ธนโชติ พลศรีพิมพ์¹ สุนิสา สุขโพพันธ์¹ และเปรม อิงคเวชชากุล^{1*}
Tanachod Pholsripim¹, Sunisa Sukhophan¹ and Prem Enkvetchakul^{1*}

¹คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏบุรีรัมย์ จังหวัดบุรีรัมย์

¹Faculty of Science, Buriram Rajabhat University, Buriram Province

*Corresponding Author E-mail Address : prem.ev@bru.ac.th

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์ในการพัฒนาและประยุกต์ใช้ระบบปัญญาประดิษฐ์เพื่อการคัดแยกประเภทขยะ โดยนำเทคโนโลยีการเรียนรู้เชิงลึกมาใช้ในการวิเคราะห์และจำแนกขยะชนิดต่าง ๆ โดยการประยุกต์ใช้โครงข่ายประสาทเทียมแบบคอนโวลูชัน (Convolutional Neural Networks: CNN) ซึ่งเป็นเทคนิคที่มีประสิทธิภาพสูงในการประมวลผลภาพ ผ่านแพลตฟอร์มการเรียนรู้เชิงลึกแบบไม่ต้องเขียนโค้ด (No-code machine learning platform) ซึ่งช่วยให้การพัฒนาโมเดลการเรียนรู้เชิงลึกเป็นไปอย่างสะดวกขึ้น กระบวนการวิจัยถูกแบ่งออกเป็น 3 ขั้นตอนหลักได้แก่ การรวบรวมข้อมูล การฝึกสอนโมเดล และการทดสอบโมเดล โดยรวบรวมรูปภาพของขยะจำนวน 2,000 รูป ซึ่งแบ่งออกเป็นสี่ประเภทหลัก ได้แก่ ประเภททั่วไป ประเภทอินทรีย์หรือเปียก ประเภทรีไซเคิล ประเภทอันตราย รูปภาพดังกล่าวถูกนำมาใช้ในการฝึกสอนและทดสอบโมเดล การจำแนกขยะ ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าระบบสามารถจำแนกประเภทของขยะด้วยความแม่นยำเฉลี่ยสูงถึง 91.50% โดยมีประสิทธิภาพสูงสุดในการจำแนกขยะประเภททั่วไปและรีไซเคิลที่มีความแม่นยำถึง 100% และต่ำสุดในการจำแนกขยะอันตรายที่มีความแม่นยำ 86%

คำสำคัญ: ปัญญาประดิษฐ์ การเรียนรู้เชิงลึก การคัดแยกขยะ โครงข่ายประสาทเทียม

Abstract

This research aimed to develop and apply an artificial intelligence system for waste classification by utilizing deep learning technology to analyze and categorize various types of waste. Specifically, it employed Convolutional Neural Networks (CNN), a highly efficient technique for image processing, through a no-code deep learning platform, which facilitates easier development of deep learning models. The research process was divided into three main stages: data collection, model training, and model testing. A total of 2,000 waste images were collected, categorized into four main types: general waste, organic or wet waste, recyclable waste, and hazardous waste. These images were used to train and test the waste classification model. The experimental results demonstrated that the system could classify waste types with an average accuracy as high as 91.5%. The system achieved the highest efficiency in classifying general and recyclable waste with an accuracy of up to 100%, and the lowest efficiency in classifying hazardous waste with an accuracy of 86%.

Keywords: Artificial intelligence, Deep learning, Waste sorting, Neural networks

บทนำ

ปัญหาขยะในประเทศไทยทวีความรุนแรงขึ้นทุกปี จากการขยายตัวของเศรษฐกิจ การเพิ่มขึ้นของประชากร และความก้าวหน้าทางเทคโนโลยี ขยะเหล่านี้มีทั้งขยะจากครัวเรือน ภาคอุตสาหกรรม ภาคการเกษตร และสารเคมีอันตราย ส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมและสุขภาพของประชาชน ตัวอย่างคือ กรุงเทพมหานคร มีปัญหาการจัดเก็บขยะในตลาดบริการไม่รวดเร็วทันต่อเวลา ขาดการพัฒนา ประชาชนไม่พึงพอใจ ส่งผลให้หน่วยงานขาดความน่าเชื่อถือ บุคลากรขาดขวัญประชาชนเดือดร้อน ตลาดสกปรก เกิดมลพิษ แหล่งแพร่เชื้อโรค มาตรฐานตลาดต่ำ ทางแก้ไขคือ เพิ่มขีดความสามารถในการบริหารจัดการขยะ พัฒนาระบบการจัดเก็บขยะให้มีประสิทธิภาพ รมรณรงค์ให้ประชาชนลดปริมาณขยะ (Jaratwichakom, 2019)

ระบบปัญญาประดิษฐ์ (Artificial Intelligence: AI) ได้เข้ามามีบทบาทสำคัญในการแก้ปัญหาการคัดแยกขยะ โดยมีการพัฒนาเทคโนโลยีที่หลากหลาย Fang et al. (2023) ได้พัฒนาระบบการมองเห็นของคอมพิวเตอร์และแบบจำลองการตรวจจับวัตถุเพื่อระบุและจัดเรียงขยะประเภทต่าง ๆ โดยใช้เทคนิคการเรียนรู้เชิงลึก (Deep Learning) ในการจำแนกประเภทขยะ ในขณะที่ Fahmi and Lubis (2022) ได้พัฒนาบรูคตัดแยกขยะอัตโนมัติที่ขับเคลื่อนด้วย AI ซึ่งสามารถลดเวลาในการคัดแยกขยะลงได้ถึง 60% เมื่อเทียบกับการคัดแยกด้วยแรงงานคน การประยุกต์ใช้โครงข่ายประสาทเทียมแบบคอนโวลูชัน (Convolutional Neural Networks: CNN) ในการคัดแยกขยะได้รับความสนใจอย่างมาก Baojun et al. (2022) ได้พัฒนาแบบจำลอง YOLO สำหรับระบุวัตถุที่ไม่ใช่อินทรีย์ในขยะที่เน่าเสียง่าย ซึ่งช่วยเพิ่มความแม่นยำในการคัดแยกขยะที่บุงส่งของเสียอัจฉริยะ Zheng et al. (2023) ได้พัฒนาระบบ CNN โดยใช้โมเดล MobileNet_V3_Large ร่วมกับเทคนิคการเรียนรู้แบบถ่ายโอน (Transfer learning) ในการจำแนกมัดเศษโลหะ (Scrap bundles) ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าระบบสามารถทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพสูง โดยมีความแม่นยำในการทดสอบเฉลี่ย 99.80% บนชุดข้อมูล RSBL และใช้เวลาฝึกฝนเพียง 89.78 วินาทีต่อรอบ ซึ่งแสดงให้เห็นถึงศักยภาพของการใช้เทคนิค Transfer learning ในการพัฒนาระบบจำแนกประเภทวัสดุที่มีความซับซ้อน

งานวิจัยนี้มีจุดมุ่งหมายเพื่อแก้ไขปัญหาดังกล่าวโดยการพัฒนาและประยุกต์ใช้ระบบปัญญาประดิษฐ์ในการคัดแยกขยะด้วยการนำเทคโนโลยีการเรียนรู้เชิงลึก และ CNN มาใช้ในการทำนายและจำแนกประเภทของขยะ งานวิจัยนี้มีส่วนสำคัญในการช่วยให้กระบวนการจัดการขยะเป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพมากขึ้น โดยเพิ่มความแม่นยำในการคัดแยกขยะ ลดการปนเปื้อนระหว่างขยะประเภทต่าง ๆ ทำให้สามารถนำขยะบางประเภทไปแปรรูปหรือนำกลับมาใช้ใหม่ได้ นอกจากนี้การพัฒนาแพลตฟอร์มการเรียนรู้เชิงลึกที่ไม่ต้องเขียนโค้ดยังช่วยให้ผู้ที่ไม่มีความรู้เฉพาะทางสามารถนำเทคโนโลยีนี้ไปใช้งานจริงได้อย่างสะดวก งานวิจัยนี้ยังได้พัฒนาระบบการจัดการข้อมูลขยะผ่านเว็บแอปพลิเคชันซึ่งช่วยเพิ่มความสะดวกในการติดตามและวิเคราะห์ข้อมูล ทำให้การจัดการขยะในอนาคตมีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น

วัสดุ อุปกรณ์ และวิธีการ

1. วิธีดำเนินการวิจัย

1.1 ข้อมูลที่ใช้ในการวิจัยใช้รูปภาพของขยะต่าง ๆ ทั้งหมด 4 ประเภท ได้แก่ ประเภททั่วไป ประเภทอินทรีย์หรือเปียก ประเภทรีไซเคิล และประเภทอันตราย ดังแสดงใน Figure 1 จำนวนอย่างละ 500 รูป รวมทั้งสิ้น 2,000 รูป โดยการถ่ายด้วยกล้องโทรศัพท์มือถือ และค้นจากเว็บไซต์ google.com



Figure 1 Examples of images for the four types of waste in the dataset

1.2 การพัฒนาโมเดลที่ใช้ในการคัดแยกประเภทขยะ ใช้ CNN (Zheng et al., 2023) เป็นสถาปัตยกรรมของโครงข่ายประสาทเทียมที่ได้รับกรอกแบบมาเพื่อประมวลผลข้อมูลภาพโดยเฉพาะ มีองค์ประกอบสำคัญ 4 ส่วน ได้แก่

1.2.1 Convolutional layer เป็นชั้นที่ทำหน้าที่สกัดคุณลักษณะ (Feature extraction) จากภาพอินพุต โดยใช้ตัวกรอง (Filter หรือ Kernel) ขนาดต่าง ๆ เลื่อนไปบนภาพ เพื่อตรวจจบบรรูปแบบต่าง ๆ เช่น ขอบ เส้น หรือรูปร่างพื้นฐาน ในกรณีการตรวจจบบรรูปแบบนี้ ขั้นนี้จะเรียนรู้การจดจำลักษณะเฉพาะของหมวดหมู่ เช่น รูปทรงโค้งมน ขอบด้านบน และพื้นผิวที่เป็นเอกลักษณ์

1.2.2 Pooling layer เป็นชั้นที่ทำหน้าที่ลดขนาดของข้อมูล (Downsampling) โดยยังคงรักษาคุณลักษณะสำคัญไว้ ทำให้แบบจำลองประมวลผลได้เร็วขึ้นและลดปัญหา Overfitting วิธีที่นิยมใช้คือ Max pooling ซึ่งจะเลือกค่าสูงสุดจากพื้นที่ที่กำหนด

1.2.3 Activation function ฟังก์ชันกระตุ้นที่นิยมใช้ใน CNN คือ ReLU (Rectified Linear Unit) ซึ่งจะแปลงค่าลบให้เป็นศูนย์ และคงค่าบวกไว้เหมือนเดิม ช่วยให้แบบจำลองสามารถเรียนรู้คุณลักษณะที่ไม่เป็นเชิงเส้นได้

1.2.4 Fully connected layer เป็นชั้นสุดท้ายที่ทำหน้าที่จำแนกประเภท โดยนำคุณลักษณะที่สกัดได้มาประมวลผล และทำนายว่าภาพนั้นเป็นประเภทใด ในกรณีนี้จะทำนายว่าเป็นภาพผู้สวมหมวกนิรภัยหรือไม่สวมหมวกนิรภัย Teachable machine (Charan et al., 2022) ใช้หลักการของ CNN ในการสร้างแบบจำลอง แต่ซ่อนความซับซ้อนทางเทคนิคไว้ ทำให้ผู้ใช้สามารถฝึกฝนแบบจำลองได้โดยไม่ต้องเขียนโค้ด โดยใช้เทคนิค Transfer learning ซึ่งนำแบบจำลอง CNN ที่ผ่านการฝึกฝนมาก่อนมาปรับแต่งใหม่ให้เหมาะกับงานเฉพาะทาง ช่วยลดเวลาและทรัพยากรในการฝึกฝนแบบจำลอง

1.3 การพัฒนาเว็บไซต์สำหรับใช้ในการแสดงผล โดยใช้ภาษา PHP, HTML, CSS และ Java Script

2. ขอบเขตและการทำงานของระบบ

2.1 ระบบสามารถคัดแยกประเภทของขยะได้ 4 ประเภท ได้แก่ ประเภททั่วไป ประเภทอินทรีย์หรือเปียก ประเภทรีไซเคิล ประเภทอันตราย

2.2 ระบบสามารถนับจำนวนของขยะแต่ละประเภทได้

2.3 ระบบสามารถบันทึกข้อมูลลงฐานข้อมูล ได้แก่ วัน/เดือน/ปี สถานที่ และจำนวนขยะของแต่ละประเภท

2.4 ระบบสามารถแสดงภาพรวมของข้อมูลผ่านทางเว็บแอปพลิเคชัน

3. เครื่องมือที่ใช้ในการตรวจสอบประสิทธิภาพโมเดล

เครื่องมือที่ใช้ในการตรวจสอบประสิทธิภาพโมเดล คือ Confusion matrix เป็นเครื่องมือที่ใช้ในการจำแนกประเภท เพื่อประเมินประสิทธิภาพของแบบจำลองการเรียนรู้ของเครื่องโดยการเปรียบเทียบค่าที่คาดการณ์ไว้กับค่าจริงช่วยในการทำ ความเข้าใจความแม่นยำความแม่นยำการเรียกคืนและตัวชี้วัดอื่น ๆ ของแบบจำลอง (Bozic et al., 2023) ดังใน Table 1

Table 1 Confusion Matrix.

	Actually Positive (1)	Actually Negative (0)
Predicted Positive (1)	True Positives (TPs)	False Positives (FPs)
Predicted Negative (0)	False Negatives (FNs)	True Negatives (TNs)

โดย TP, TN, FP และ FN ในตารางจะแทนด้วยค่าความถี่ และสามารถใช้ Confusion matrix มาคำนวณการประเมินประสิทธิภาพของการทำนายด้วย Model ในรูปแบบค่าต่าง ๆ ได้หลายค่า ได้แก่ Accuracy (ความถูกต้องที่ทายได้ตรงกับสิ่งที่เกิดขึ้นจริง) (Chorakhe & Noppitak, 2023) ดังสมการ Eq.1

$$Accuracy = \frac{TP + TN}{TP + TN + FP + FN} \quad (Eq.1)$$

- True positive (TP) = สิ่งที่ทำนายตรงกับสิ่งที่เกิดขึ้นจริง ในกรณี ทำนายว่า จริง และสิ่งที่เกิดขึ้น ก็คือ จริง
 True negative (TN) = สิ่งที่ทำนายตรงกับสิ่งที่เกิดขึ้น ในกรณี ทำนายว่า เท็จ และสิ่งที่เกิดขึ้น ก็คือ เท็จ
 False positive (FP) = สิ่งที่ทำนายไม่ตรงกับสิ่งที่เกิดขึ้น คือทำนายว่า จริง แต่สิ่งที่เกิดขึ้น คือ เท็จ
 False negative (FN) = สิ่งที่ทำนายไม่ตรงกับที่ที่เกิดขึ้นจริง คือทำนายว่า เท็จ แต่สิ่งที่เกิดขึ้น คือ จริง

ผลการวิจัย

การวิจัยเรื่องระบบปัญญาประดิษฐ์สำหรับการคัดแยกขยะ ด้วยการประยุกต์ใช้แบบจำลองการเรียนรู้เชิงลึก สามารถแสดงผลการศึกษาได้ดังนี้

1. ผลการพัฒนาาระบบปัญญาประดิษฐ์สำหรับการคัดแยกขยะ ด้วยการประยุกต์ใช้แบบจำลองการเรียนรู้เชิงลึก

ใช้เทคนิค CNN และ Teachable machine ที่เป็นระบบ No-code machine learning platform ช่วยให้สามารถทำแบบจำลองการเรียนรู้เชิงลึก ดังใน Figure 3

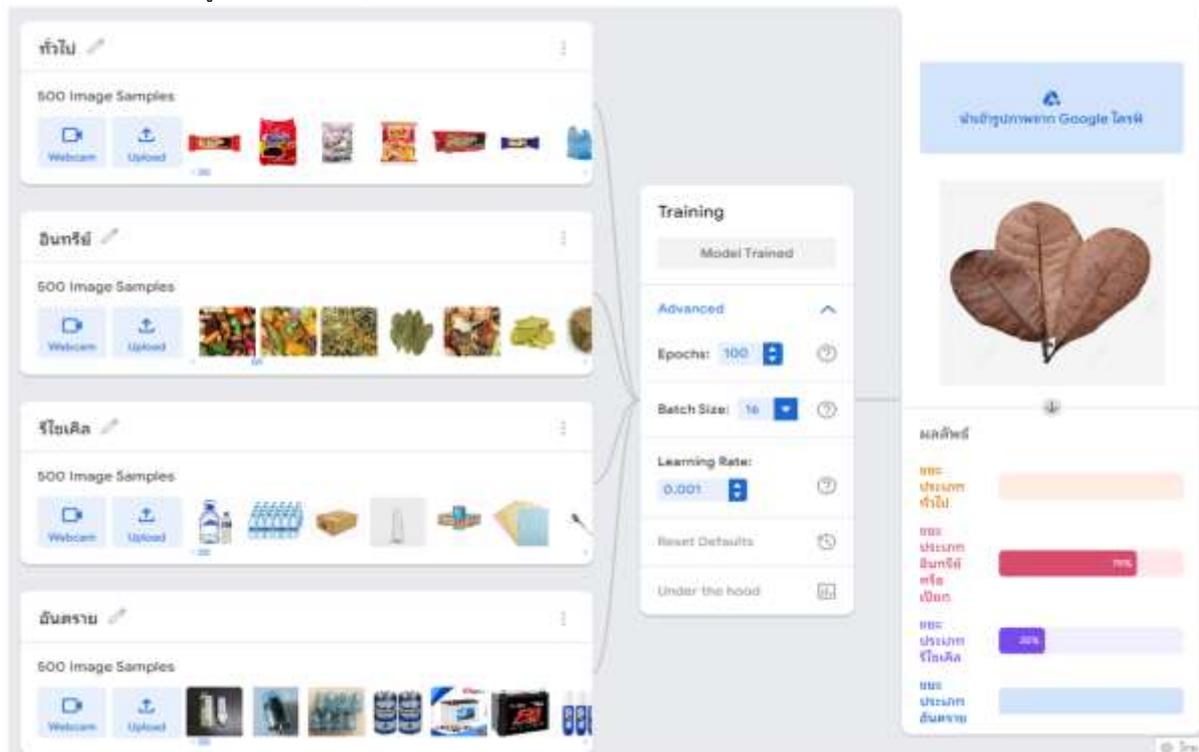


Figure 2 Screenshot of the waste classification model being trained using google teachable machine

จาก Figure 3 เป็นการแสดงการสร้างแบบจำลองการเรียนรู้รูปภาพขยะแต่ละประเภทด้วย Teachable machine ในขั้นตอนการปรับพารามิเตอร์โมเดล มีการปรับ Learning rate ซึ่งตั้งค่าเป็น 0.001 เพื่อช่วยให้โมเดลเรียนรู้ได้ในอัตราที่เหมาะสม และ Batch size ตั้งค่าเป็น 16 เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการประมวลผลและลดการใช้หน่วยความจำ โดยใช้รูปภาพขยะ 4 ประเภท ประกอบด้วย ประเภททั่วไป ประเภทอินทรีย์หรือเปียก ประเภทรีไซเคิล และประเภทอันตราย การแบ่งข้อมูลออกเป็นชุดฝึกสอน 85% และชุดทดสอบ 15% เพื่อประเมินประสิทธิภาพโดยผลของการทำนายแสดงด้วย Confusion matrix ดัง Figure 4 และประสิทธิภาพในการคัดแยกขยะในแต่ละประเภทอยู่ที่ 80% ถึง 100% จากชุดข้อมูลทดสอบ ดังแสดงใน Table 1

Table 2 Performance of the classification model for each waste type based on 75 test images per category.

Waste type	Precision	Recall	F1-score	Accuracy
General waste	85.23%	100%	92.02%	100%
Organic waste	95.24%	80%	86.96%	80%
Recyclable waste	92.59%	100%	96.15%	100%
Hazardous waste	95.59%	86.67%	90.91%	86%

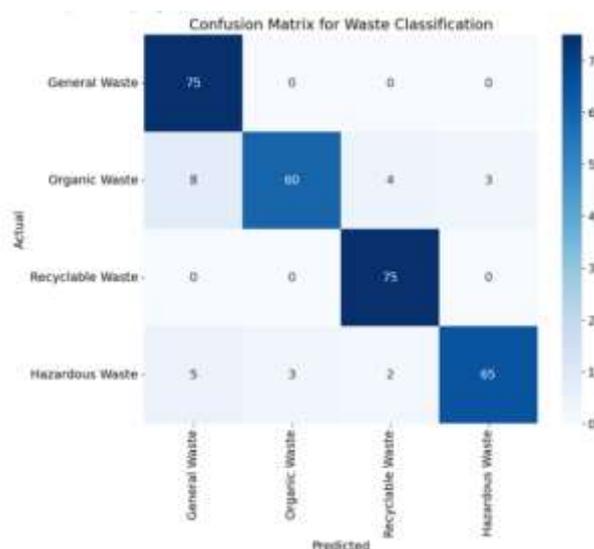


Figure 3 Confusion matrix showing the performance of the waste classification model across the four waste categories: general, organic, recyclable, and hazardous waste

จาก Figure 4 พบว่า ระบบมีความแม่นยำโดยรวม 91.50% โดยสามารถวิเคราะห์ประสิทธิภาพการทำงานของแบบจำลองได้จากค่าสถิติต่าง ๆ ตาม Table 1 ดังนี้ สำหรับขยะทั่วไป มีค่า Precision 85.23%, Recall 100% และ F1-score 92.02% แสดงให้เห็นว่าแบบจำลองสามารถตรวจจับขยะทั่วไปได้ครบถ้วน แต่มีการทำนายขยะประเภทอื่นเป็นขยะทั่วไปอยู่บ้าง ในส่วนของขยะอินทรีย์มีค่า Precision 95.24%, Recall 80% และ F1-score 86.96% บ่งชี้ว่าแม้แบบจำลองจะมีความแม่นยำสูงในการระบุขยะอินทรีย์ แต่ยังมีขยะอินทรีย์บางส่วนที่ถูกจำแนกผิดประเภท สำหรับขยะรีไซเคิลซึ่งมีประสิทธิภาพดีที่สุด มีค่า Precision 92.59%, Recall 100% และ F1-score 96.15% แสดงถึงความสามารถในการตรวจจับขยะรีไซเคิลได้อย่างครบถ้วนและแม่นยำ และสำหรับขยะอันตรายมีค่า Precision 95.59%, Recall 86.67% และ F1-score 90.91% แสดงให้เห็นถึงความสมดุลระหว่างความแม่นยำและความครบถ้วนในการตรวจจับ

2. การพัฒนาเว็บไซต์ที่ใช้ในการแสดงผล

หน้าเว็บไซต์แสดงผลจำนวนขยะประเภททั่วไป จำนวนขยะประเภทอินทรีย์หรือเปียก จำนวนขยะประเภทรีไซเคิล และจำนวนขยะประเภทอันตราย สามารถแสดงเป็นกราฟเปรียบเทียบจำนวนได้ ดังใน Figure 5



Figure 4 Screenshot of the web interface showing the output of the waste classification system.

หน้าโปรแกรมที่ใช้คัดแยกประเภทของขยะ โดยเมื่อใช้ขยะที่กล้อง โมเดลจะทำการทำนายผล ประเภทของขยะแต่ละประเภท แสดงออกมาเป็นค่าความน่าจะเป็นของขยะแต่ละประเภท แล้วใช้ความน่าจะเป็นของค่าที่สูงที่สุดมาใช้ในการแสดงสัญลักษณ์ของถังขยะแต่ละประเภท โดยค่าความน่าจะเป็นต้องมากกว่า 50% จึงสรุปได้ว่าเป็นขยะประเภทใด จากนั้นทำการนับจำนวนและช่วงเวลา 10 วินาทีต่อการนับ 1 ครั้ง เมื่อกดบันทึก (Save) จะทำการบันทึกข้อมูลของจำนวนขยะแต่ละประเภทที่แสดง ณ ตอนนั้นลงฐานข้อมูล แล้วจะทำการนับเริ่มที่ 0 ใหม่ ดังใน Figure 6



Figure 5 Screenshot of the program interface developed for classifying different types of waste

3. ผลการทดลองใช้ระบบปัญญาประดิษฐ์สำหรับการคัดแยกขยะด้วยการประยุกต์ใช้แบบจำลองการเรียนรู้เชิงลึก

ผู้วิจัยดำเนินการทดลองใช้ระบบปัญญาประดิษฐ์สำหรับการคัดแยกขยะ ด้วยการประยุกต์ใช้แบบจำลองการเรียนรู้เชิงลึก ขึ้น โดยให้ผู้เชี่ยวชาญจำนวน 3 ท่าน พิจารณาและประเมินประสิทธิภาพในระบบปัญญาประดิษฐ์สำหรับการคัดแยกขยะด้วยการประยุกต์ใช้แบบจำลองการเรียนรู้เชิงลึกโดยใช้แบบประเมินคุณภาพ และนำมาวิเคราะห์ด้วยค่าสถิติพื้นฐานเทียบกับเกณฑ์และสรุปผล แสดงดัง Table 2

Table 3 Evaluation results of the artificial intelligence system for waste classification using deep learning model application

Item	Mean	Standard deviation	Level of satisfaction
1. System performance	3.67	0.58	Good
2. Deep learning model processing performance	4.00	0.00	Good
3. Display interface	4.00	0.00	Good
4. System security	4.33	0.58	Good
5. Suitability of the devices used	4.00	1.00	Good
6. User convenience	4.00	0.00	Good
7. Feasibility of real-world implementation	4.00	1.00	Good
8. System processing speed	4.00	0.00	Good
9. Accuracy of waste classification using the deep learning model	4.33	0.58	Good
10. Appropriateness of system design	4.67	0.58	Very Good
Overall Average	4.10	0.43	Good

จาก Table 2 ผลการประเมินคุณภาพของระบบปัญญาประดิษฐ์สำหรับการคัดแยกขยะด้วยการประยุกต์ใช้แบบจำลองการเรียนรู้เชิงลึก โดยผู้เชี่ยวชาญมีค่าเฉลี่ยรวม 4.10 อยู่ในระดับดี ด้านที่ได้รับค่าเฉลี่ยสูงสุดคือการใช้งานและความสวยงามของส่วนผู้ใช้ และประสิทธิภาพของการออกแบบระบบโดยรวมค่าเฉลี่ย 4.67 ซึ่งอยู่ในระดับดีมาก ด้านที่มีค่าเฉลี่ยรองลงมาคือ ความแม่นยำในการจำแนกขยะของโมเดลการเรียนรู้เชิงลึกและความปลอดภัยและความเสถียรของระบบค่าเฉลี่ย 4.33 แสดงถึงประสิทธิภาพที่ดีของโมเดลการเรียนรู้เชิงลึกในการจำแนกขยะและความน่าเชื่อถือของระบบ ด้านที่มีค่าเฉลี่ยน้อยที่สุดคือ ด้านประสิทธิภาพของระบบค่าเฉลี่ย 3.67 บ่งชี้ว่าควรมีการปรับปรุงเพิ่มเติมในด้านการทำงานร่วมกันระหว่างซอฟต์แวร์และฮาร์ดแวร์เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพของระบบโดยรวม

การอภิปรายผล

จากวัตถุประสงค์การวิจัยในการพัฒนาและประยุกต์ใช้ระบบปัญญาประดิษฐ์สำหรับการคัดแยกขยะโดยการประยุกต์ใช้แบบจำลองการเรียนรู้เชิงลึก โดยเฉพาะการใช้โครงข่ายประสาทเทียมแบบคอนโวลูชันเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการจำแนกประเภทขยะที่แตกต่างกัน ผลการวิจัยพบว่า ระบบที่พัฒนาขึ้นสามารถจำแนกประเภทของขยะได้ด้วยความแม่นยำเฉลี่ยสูงถึง 91.5% โดยมีประสิทธิภาพสูงสุดในการจำแนกขยะประเภททั่วไปและรีไซเคิลที่มีความแม่นยำถึง 100% และต่ำสุดในการจำแนกขยะอันตรายที่มีความแม่นยำ 86% นอกจากนี้ ผลการประเมินคุณภาพของระบบโดยผู้เชี่ยวชาญมีค่าเฉลี่ยรวม 4.10 อยู่ในระดับดี โดยด้านที่ได้รับคะแนนสูงสุดคือ ความเหมาะสมและประสิทธิภาพของการออกแบบระบบโดยรวมค่าเฉลี่ย 4.67 ทั้งนี้อาจเป็นเพราะโครงข่ายประสาทเทียมแบบคอนโวลูชันมีความสามารถในการประมวลผลและวิเคราะห์ภาพ ทำให้ระบบสามารถจำแนกขยะประเภททั่วไปและรีไซเคิลที่มีลักษณะเฉพาะได้อย่างแม่นยำ สอดคล้องกับ Chorakhe and Noppitak (2023) กับ Zulhusni et al. (2024) ที่พบว่า การใช้โครงข่ายประสาทเทียมแบบคอนโวลูชันในการจำแนกและคัดแยกขยะสามารถให้ผลลัพธ์ที่มีความแม่นยำสูง นอกจากนี้ Phachanai et al. (2022) ยังได้ระบุว่าการใช้ระบบ AI ในการคัดแยกขยะช่วยเพิ่มประสิทธิภาพและความรวดเร็วในการจัดการขยะ

ระบบที่พัฒนาขึ้นมีข้อดีในด้านความง่ายต่อการใช้งานและการปรับใช้ เนื่องจากใช้ No-code machine learning platform อย่าง Teachable machine อย่างไรก็ตามข้อจำกัดของแพลตฟอร์มนี้คือไม่สามารถปรับแต่งพารามิเตอร์ของโมเดลได้อย่างละเอียด และไม่รองรับการทำ Data augmentation ที่ซับซ้อนซึ่งอาจช่วยเพิ่มความสามารถในการทำงานของแบบจำลองได้ เพื่อปรับปรุงประสิทธิภาพของระบบ ควรมีการเพิ่มจำนวนและความหลากหลายของภาพในชุดข้อมูลฝึกฝน โดยเฉพาะภาพที่ถ่ายจากสภาพแวดล้อมจริง นอกจากนี้ควรพิจารณาการใช้เทคนิค Transfer learning จากโมเดลที่ซับซ้อนกว่า เพื่อเพิ่มความสามารถในการจดจำลักษณะเฉพาะที่ซับซ้อนของขยะแต่ละประเภท

บทสรุป

การวิจัยนี้มุ่งพัฒนาระบบปัญญาประดิษฐ์เพื่อการคัดแยกขยะอัตโนมัติ โดยประยุกต์ใช้เทคโนโลยีการเรียนรู้เชิงลึกร่วมกับโครงข่ายประสาทเทียมแบบคอนโวลูชันผ่านแพลตฟอร์ม Teachable machine ระบบได้รับการพัฒนาให้สามารถจำแนกขยะออกเป็น 4 ประเภทหลัก ได้แก่ ขยะทั่วไป ขยะอินทรีย์ ขยะรีไซเคิล และขยะอันตราย โดยใช้ชุดข้อมูลภาพขยะจำนวนทั้งสิ้น 2,000 ภาพ โดยภาพเหล่านี้ถูกนำมาใช้ในกระบวนการฝึกสอนและทดสอบประสิทธิภาพของโมเดล

ในด้านวิธีการดำเนินการวิจัย ผู้วิจัยได้พัฒนาระบบโดยใช้เทคนิค CNN ผ่านแพลตฟอร์ม Teachable machine ซึ่งเป็นเครื่องมือที่ออกแบบมาสำหรับผู้ทั่วไปที่ไม่มีพื้นฐานด้านการเขียนโปรแกรม ระบบประกอบด้วยสองส่วนหลัก คือ ส่วนการจำแนกประเภทขยะที่ใช้แบบจำลองการเรียนรู้เชิงลึก และส่วนการแสดงผลผ่านเว็บแอปพลิเคชันที่พัฒนาด้วย HTML, CSS, JavaScript และ PHP ซึ่งสามารถแสดงผลการจำแนก บันทึกข้อมูล และสร้างรายงานสรุปได้

ผลการทดสอบประสิทธิภาพของระบบพบว่า มีความแม่นยำโดยรวม 91.50% โดยมีค่า Precision เฉลี่ย 92.16%, Recall เฉลี่ย 91.67% และ F1-score เฉลี่ย 91.51% เมื่อพิจารณาแต่ละประเภทขยะ พบว่าระบบมีประสิทธิภาพสูงสุดในการจำแนกขยะรีไซเคิล (F1-score 96.15%) และขยะทั่วไป (F1-score 92.02%) ขณะที่การจำแนกขยะอินทรีย์มีประสิทธิภาพต่ำที่สุด (F1-score 86.96%) การวิเคราะห์ Confusion matrix แสดงให้เห็นว่ามีความสับสนในการจำแนกขยะอินทรีย์และขยะประเภทอื่น โดยเฉพาะขยะทั่วไป

ข้อเสนอแนะ ระบบปัจจุบันยังมีข้อจำกัดในการจำแนกประเภทขยะที่อยู่ภายในถุงขยะ ซึ่งสามารถปรับปรุงได้ด้วยการใช้เทคนิคการตรวจจับวัตถุ (Object detection) เพื่อช่วยให้ระบบสามารถจำแนกขยะภายในถุงได้อย่างมีประสิทธิภาพมากขึ้น ระบบควรพัฒนาให้สามารถจำแนกประเภทขยะหลายประเภทพร้อมกันได้เพื่อเพิ่มความสามารถในการทำงานและลดเวลาในการคัดแยกขยะในครั้งเดียว

เอกสารอ้างอิง

- Baojun, G., Wei, Z., Zhebin, S., Qiucheng, H., & Dongping, Z. (2022). AI-based detection system of resident's behaviors in automatic trash sorting booths: A background computing-based solution. *Proceedings of the China Automation Congress (CAC)*, 756–1760. <https://doi.org/10.1109/CAC57257.2022.10055608>
- Bozic, D., Runje, B., Lisjak, D., & Kolar, D. (2023). Metrics related to confusion matrix as tools for conformity assessment decisions. *Applied Sciences*, 13(14), 8187. <https://doi.org/10.3390/app13148187>
- Charan, P. V. S., Anand, P. M., Shukla, S. K., Selvan, N., & Chunduri, H. (2022). DOTMUG: A threat model for target specific APT attacks–Misusing Google Teachable Machine. *Proceedings of the 10th International Symposium on Digital Forensics and Security (ISDFS)*, 1–8. <https://doi.org/10.1109/ISDFS55398.2022.9800780>
- Chorakhe, T., & Noppitak, S. (2023). Comparison of deep learning approach for water bottle waste classification. *Kalasin University Journal of Science Technology and Innovation*, 2(2), 53–65. <https://doi.org/10.14456/ksti.2023.10>. [In Thai].

- Fahmi, F., & Lubis, B. P. (2022). Identification and sorting of waste using artificial intelligence based on convolutional neural network. *Proceedings of the 6th International Conference on Electrical, Telecommunication and Computer Engineering (ELTICOM)*, 222–226.
<https://doi.org/10.1109/ELTICOM57747.2022.10038044>
- Fang, B., Liu, Y., Chen, Z., Wei, X., Li, J., Zou, D., Chen, C., Xue, S., Chen, S., Liu, J., Wu, L., Wang, B., Han, Z., Zhai, Y., Zhu, J., Yi, Z., Wang, Y., & Wu, J. (2023). Artificial intelligence for waste management in smart cities: A review. *Environmental Chemistry Letters*, 21(4), 1959–1989.
- Jaratwichakorn, N. (2019). Increasing management capacity to provide garbage services in the Bangkok metropolitan markets. *UMT Poly Journal*, 16(1), 361–370. [In Thai].
- Phachanai, T., Panngoen, C., Khongam, K., Srisamoodkham, W., & Wongsas, W. (2022). Recyclable waste sorting machine with image processing. *PSRU Journal of Industrial Technology and Engineering*, 4(2), 242–253. [In Thai].
- Zheng, X., Zhu, Z., Xiao, Z., Huang, D., Yang, C., He, F., Zhou, X., & Zhao, T. (2023). CNN-based transfer learning in intelligent recognition of scrap bundles. *ISIJ International*, 63(8), 1383–1393.
<https://doi.org/10.2355/isijinternational.ISIJINT-2023-064>.
- Zulhusni, M., Sari, C. A., & Rachmawanto, E. H. (2024). Implementation of DENSENET121 architecture for waste type classification. *Advance Sustainable Science, Engineering and Technology*, 6(3), 1–9.
<https://doi.org/10.26877/asset.v6i3.673>

Received: December 10, 2023; Revised: January 8, 2025; Accepted: March 26, 2025

ผลของมูลสัตว์ชนิดต่าง ๆ ที่หมักร่วมกับขานอ้อยต่อการเจริญเติบโต
และผลผลิตของผักกาดหัวพันธุ์เอเวอเรสต์ไฮบริด
Effects of animal manure and bagasse compost on growth
and yield of Chinese Everest hybrid radish

ประภัสสร สมบัติศรี^{1*} และนิพนธ์ สนธิธรรม¹
Prapatsorn Sombatsri^{1*} and Nipon Sontetom¹

¹คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏอุบลราชธานี จังหวัดอุบลราชธานี

¹Faculty of Agriculture, Ubon Ratchathani Rajabhat University, Ubon Ratchathani Province

*Corresponding Author E-mail Address : prapatsorn.n@ubru.ac.th

บทคัดย่อ

การวิจัยผลของมูลสัตว์ชนิดต่าง ๆ ที่นำมาทำปุ๋ยหมักร่วมกับขานอ้อยต่อการเจริญเติบโตและผลผลิตของผักกาดหัวพันธุ์เอเวอเรสต์ไฮบริด วางแผนการทดลองแบบ Randomized Complete Block Design (RCBD) จำนวน 5 กลุ่มทดลอง ประกอบด้วย กลุ่มทดลองที่ 1 ปุ๋ยเคมีสูตร 16-16-16 และปุ๋ยเคมีสูตร 13-13-21 กลุ่มทดลองที่ 2 ขานอ้อยหมักร่วมกับมูลไก่ กลุ่มทดลองที่ 3 ขานอ้อยหมักร่วมกับมูลโค กลุ่มทดลองที่ 4 ขานอ้อยหมักร่วมกับมูลสุกร และกลุ่มทดลองที่ 5 ขานอ้อยหมักร่วมกับมูลแพะ พบว่า กลุ่มทดลองที่ 1 ปุ๋ยเคมีสูตร 16-16-16 และปุ๋ยเคมีสูตร 13-13-21 มีประสิทธิภาพมากที่สุด เนื่องจากให้น้ำหนักผลผลิตเฉลี่ยกรัมต่อหัวมากที่สุด คือ 813 กรัมต่อหัว (41 กิโลกรัมต่อแปลง และ 6,560 กิโลกรัมต่อไร่) ในขณะที่เดียวกันก็มีเส้นผ่าศูนย์กลางของหัว และความยาวเฉลี่ยของหัว เท่ากับ 7.11 เซนติเมตร และ 29.68 เซนติเมตร ตามลำดับ ซึ่งให้ผลไม่แตกต่างกันทางสถิติกับกลุ่มทดลองอื่น การเจริญเติบโตและผลผลิตของผักกาดหัวที่ได้รับปุ๋ยเคมีพืชจะได้รับธาตุอาหารที่ครบถ้วนและสม่ำเสมอ ทำให้มีการเจริญเติบโตและผลผลิตที่ดี อย่างไรก็ตามการใช้ปุ๋ยเคมีอาจก่อให้เกิดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมได้ในอนาคต

คำสำคัญ: มูลสัตว์ ขานอ้อย ผักกาดหัว

Abstract

Research on the Effects of animal manure and bagasse compost on growth and yield of Everest hybrid radish. The experimental design adopted was Randomized Complete Block Design (RCBD) with 5 treatments; Treatment 1: chemical fertilizer formula 16-16-16 and chemical fertilizer formula 13-13-21, Treatment 2: sugarcane bagasse mixed with chicken manure, Treatment 3: Fermented sugarcane bagasse with cow manure, Treatment 4: sugarcane bagasse composted with pig manure, and Treatment 5: sugarcane bagasse fermented with goat manure. The results demonstrated that Treatment 1, chemical fertilizer formula 16-16-16 and chemical fertilizer formula 13-13-21, was the most effective. It resulted in the highest average yield weight in grams per head of 813 grams per head (41 kilograms per plot and 6,560 kilograms per rai).

Also, the diameter and the average length of the head were 7.11 centimeters and 29.68 centimeters, respectively, which were not statistically different from other treatments. Everest hybrid radish treated with chemical fertilizers received complete and consistent nutrients, resulting in good growth and productivity. However, the use of chemical fertilizers may cause environmental impacts in the future.

Keywords: Animal manure, Bagasse, Radish

บทนำ

ผักกาดหัวเป็นพืชที่มีความสำคัญทางเศรษฐกิจที่ปลูกเพื่อการบริโภค สำหรับสายพันธุ์ลูกผสมเอเวอร์เรสต์ ลักษณะหัวมีขนาดใหญ่ เนื้อแน่น ฟามช้า มีอายุตั้งแต่ปลูกจนถึงเก็บเกี่ยวประมาณ 50-55 วัน อายุเก็บเกี่ยวโดยทั่วไปจะขึ้นอยู่กับสายพันธุ์ ซึ่งสามารถจำแนกสายพันธุ์ออกได้คือ พันธุ์เบาอายุเก็บเกี่ยว 40 วัน พันธุ์กลางอายุเก็บเกี่ยว 55 วัน และพันธุ์หนักอายุเก็บเกี่ยว 70 วัน คุณภาพของผลผลิตขึ้นอยู่กับปัจจัย เช่น สายพันธุ์ สภาพอากาศ การดูแลรักษาและการเก็บเกี่ยว ทั้งนี้ในการปลูกผักกาดหัว ควรปลูกในดินร่วนปนทราย ในบริเวณที่มีแสงเต็มที่ตลอดวัน ช่วงอุณหภูมิที่เหมาะสม คือ 18-25 องศาเซลเซียส นอกจากนี้ผักกาดหัวเป็นพืชที่มีระบบรากลึก ดังนั้น จึงควรพรวนดินให้เพียงพอจึงจะให้ผลผลิตได้ตรงตามสายพันธุ์ การปลูกผักกาดหัวในปัจจุบัน เกษตรกรส่วนใหญ่เลือกใช้ปุ๋ยเคมีในการปลูกเป็นจำนวนมาก เนื่องจากช่วยทำให้ได้ผลผลิตสูงและคุณภาพดี (Thai-Chinese Herb Information Center, 2010) อย่างไรก็ตาม การใช้ปุ๋ยเคมีในระยะยาวนั้นก่อให้เกิดปัญหาต่าง ๆ ตามมา เช่น ต้นทุนการผลิตของเกษตรกรสูงขึ้น ความอุดมสมบูรณ์ของดินลดลง ดินเสื่อมสภาพ แฉก แข็ง และเป็นกรด ส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม รวมทั้งอาจส่งผลกระทบต่อสุขภาพของผู้บริโภคและผู้ผลิตเอง ซึ่งชานอ้อยเป็นวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรและอุตสาหกรรมเกษตรและมีในปริมาณที่มากเพียงพอต่อการนำมาใช้ประโยชน์ต่อได้หลายด้าน ไม่ว่าจะเป็นการผลิตก้อนเชื้อเห็ด วัสดุก่อสร้าง ทำปุ๋ยหมัก หรือการนำไปทำเป็นเชื้อเพลิง การเลือกใช้ชานอ้อยหมักร่วมกับมูลสัตว์เพื่อผลิตเป็นปุ๋ยหมักจึงเป็นทางเลือกหนึ่งที่น่าสนใจ เนื่องจากเป็นวิธีการหนึ่งในการเพิ่มประสิทธิภาพในการเพาะปลูกทดแทนการใช้ปุ๋ยเคมี เนื่องจากสามารถเพิ่มปริมาณธาตุอาหาร เพิ่มความอุดมสมบูรณ์ของดิน ลดการใช้ปุ๋ยเคมี เพิ่มผลผลิตและสร้างสภาพแวดล้อมที่เหมาะสมสำหรับการเจริญเติบโตของพืช และมีความสำคัญในการพัฒนาการเกษตรที่ยั่งยืนและเป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม

ดังนั้นงานวิจัยนี้ จึงศึกษาการนำมูลสัตว์ชนิดต่าง ๆ มาทำปุ๋ยหมักร่วมกับชานอ้อย ในการปลูกผักกาดหัวพันธุ์เอเวอร์เรสต์ไฮบริด เพื่อทดแทนการใช้ปุ๋ยเคมีและปรับปรุงดินให้กลับมามีความอุดมสมบูรณ์อีกครั้ง เพื่อเป็นประโยชน์แก่ผู้บริโภคต่อไป

วัสดุ อุปกรณ์ และวิธีการ

1. การวางแผนการทดลอง

วางแผนการทดลองแบบ Randomized Complete Block Design ประกอบด้วย 5 กลุ่มทดลอง ๆ ละ 3 ซ้ำ โดยใช้แปลงปลูกขนาด 1x10 เมตร จำนวนทั้งหมด 15 แปลง ประกอบด้วย กลุ่มทดลองที่ 1 ปุ๋ยเคมีสูตร 16-16-16 และปุ๋ยเคมีสูตร 13-13-21 กลุ่มทดลองที่ 2 ชานอ้อยหมักร่วมกับมูลไก่ กลุ่มทดลองที่ 3 ชานอ้อยหมักร่วมกับมูลโค กลุ่มทดลองที่ 4 ชานอ้อยหมักร่วมกับมูลสุกร กลุ่มทดลองที่ 5 ชานอ้อยหมักร่วมกับมูลแพะ

2. การทำปุ๋ยหมักชานอ้อย

ทำกองปุ๋ยขนาด 1x2 เมตร มีทั้งหมด 4 กอง แต่ละกองประกอบด้วยชานอ้อย 100 กิโลกรัม มูลสัตว์ตามกลุ่มทดลอง ๆ ละ 20 กิโลกรัม ปุ๋ยยูเรียสูตร 46-0-0 จำนวน 200 กรัม และสารเร่งซูเปอร์ พด.1 (Super PD1) 1 ของ โดยในแต่ละกองเริ่มจากการนำชานอ้อยมารองพื้นกองปุ๋ยตามด้วยมูลสัตว์ ทำเป็นชั้นสลับประมาณ 5 ชั้น มีลักษณะเป็นรูปสามเหลี่ยมสูง 100 เซนติเมตร จากนั้นใส่ปุ๋ยยูเรียสูตร 46-0-0 จำนวน 200 กรัม โดยกระจายให้ทั่วแปลง แล้วรดด้วยน้ำที่ผสมกับ พด.1 ให้กองปุ๋ยมีความชื้นประมาณ 60 เปอร์เซ็นต์ จากนั้นคลุมด้วยฟางข้าว กลบกองปุ๋ยทุก ๆ 7 วัน พร้อมกับรดน้ำ

3. การปลูกและการดูแลรักษา

เตรียมแปลงปลูกขนาด 1x10 เมตร จำนวน 15 แปลง ทำการหยอดเมล็ดผักกาดหัวพันธุ์เอเวอร์เรสต์ ไฮบริด ลงในแปลงที่เตรียมไว้โดยหยอดเป็นแถวจำนวน 2 แถว แต่ละแถวห่างกัน 50x40 เซนติเมตร หยอดเมล็ดผักกาดหัวจำนวน 2 เมล็ดต่อหลุม จากนั้นเมื่อผักกาดหัวงอกได้ 10 วันหลังจากการเพาะเมล็ด จึงทำการถอนแยกต้นกล้าให้เหลือ 1 ต้นต่อหลุม การดูแลรักษาโดยรดน้ำ เช้า-เย็น หรือเมื่อดินขาดความชุ่มชื้น และให้ปุ๋ยตามวิธีของกลุ่มทดลอง โดยปุ๋ยเคมีแบ่งใส่ปุ๋ย 2 ครั้ง ครั้งแรกใช้ปุ๋ยเคมีสูตร 16-16-16 อัตรา 50 กิโลกรัมต่อไร่สำหรับรองพื้น และครั้งที่ 2 เมื่อต้นกล้ามีอายุประมาณ 25 วันหลังการเพาะเมล็ด ใส่ปุ๋ยเคมีสูตร 13-13-21 อัตรา 25 กิโลกรัมต่อไร่ ส่วนปุ๋ยหมักแต่ละชุดทดลองใส่รองพื้นในอัตรา 4,000 กิโลกรัมต่อไร่ ทำการเก็บเกี่ยวผลผลิตเมื่ออายุ 55 วันหลังการเพาะเมล็ด

4. การบันทึกข้อมูล

ทำการบันทึกข้อมูลจำนวนใบเฉลี่ยต่อต้น (ใบ) ความกว้างและความยาวของใบเฉลี่ย (เซนติเมตร) น้ำหนักของผลผลิตเฉลี่ยต่อหัว (กรัม) เส้นผ่าศูนย์กลางเฉลี่ยของหัว (เซนติเมตร) น้ำหนักสดและน้ำหนักแห้งของส่วนที่เหลือหลังการเก็บเกี่ยว โดยนำไปอบที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 48 ชั่วโมง เพื่อนำมาหาค่าเปอร์เซ็นต์วัตถุแห้ง นำข้อมูลที่ได้มาวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติ ตามแผนการทดลองที่กำหนดและเปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างค่าเฉลี่ยของแต่ละกลุ่มทดลองโดยวิธี Least Significant Difference (LSD)

ผลการวิจัย และการอภิปรายผล

1. การเจริญเติบโตของผักกาดหัว

เมื่อผักกาดหัวอายุได้ 42 วันหลังเพาะเมล็ด ทำการนับจำนวนใบครั้งสุดท้าย พบว่า ทุกกลุ่มทดลองมีจำนวนใบเฉลี่ยไม่แตกต่างกันทางสถิติ แต่กลุ่มทดลองที่ 2 ขานอ้อยหมักร่วมกับมูลไก่ มีแนวโน้มให้จำนวนใบเฉลี่ยมากที่สุดคือ 12.14 ใบต่อต้น รองลงมาคือกลุ่มทดลองที่ 1 ปุ๋ยเคมี กลุ่มทดลองที่ 5 ขานอ้อยหมักร่วมกับมูลแพะ กลุ่มทดลองที่ 3 ขานอ้อยหมักร่วมกับมูลโค และกลุ่มทดลองที่ 4 ขานอ้อยหมักร่วมกับมูลสุกร มีจำนวนใบเฉลี่ยเท่ากับ 12.00, 11.96, 11.70 และ 11.46 ใบต่อต้นตามลำดับ (Table 1) สอดคล้องกับ Alhadad, et al., (2015) ที่พบว่า มูลไก่มีประสิทธิภาพมากกว่าวัสดุอินทรีย์อื่น ๆ ที่ทำให้มีการเพิ่มขึ้นในความสูง น้ำหนักแห้งของยอดและหัวของพืช รวมถึงการเพิ่มขึ้นของปริมาณธาตุอาหารไนโตรเจนและหัว และงานวิจัยของ Keshar, et al., (2019) ที่วิจัยประเมินผลกระทบของปุ๋ยอินทรีย์ต่าง ๆ ต่อการเจริญเติบโตและผลผลิตหัวไชเท้าในเนปาล โดยพบว่า มูลสัตว์ปีกเพิ่มความสูงของพืช จำนวนใบ ความยาวราก และผลผลิตชีวมวลอย่างมีนัยสำคัญเมื่อเทียบกับปุ๋ยอื่น ๆ สำหรับความกว้างของใบ เมื่อผักกาดหัวอายุได้ 42 วันหลังเพาะเมล็ด ทำการวัดความกว้างใบเฉลี่ยครั้งสุดท้าย พบว่า ทุกกลุ่มทดลองมีความกว้างใบเฉลี่ยไม่แตกต่างกันทางสถิติ แต่กลุ่มทดลองที่ 5 ขานอ้อยหมักร่วมกับมูลแพะ มีแนวโน้มที่จะส่งผลให้ผักกาดหัวมีความกว้างใบเฉลี่ยมากที่สุดคือ 17.17 เซนติเมตร รองลงมาคือ กลุ่มทดลองที่ 2 ขานอ้อยหมักร่วมกับมูลไก่ กลุ่มทดลองที่ 1 ปุ๋ยเคมี กลุ่มทดลองที่ 4 ขานอ้อยหมักร่วมกับมูลสุกร และกลุ่มทดลองที่ 3 ขานอ้อยหมักร่วมกับมูลโค มีความกว้างใบเฉลี่ยเท่ากับ 16.37, 16.07, 16.07 และ 14.97 เซนติเมตร ตามลำดับ สำหรับความยาวเฉลี่ยของใบผักกาดหัว เมื่อผักกาดหัวอายุได้ 42 วันหลังเพาะเมล็ดทำการวัดครั้งสุดท้าย พบว่า ทุกกลุ่มทดลองมีความยาวใบเฉลี่ยไม่แตกต่างกันทางสถิติ แต่กลุ่มทดลองที่ 2 ขานอ้อยหมักร่วมกับมูลไก่ มีแนวโน้มให้ความยาวใบเฉลี่ยมากที่สุดคือ 28.42 เซนติเมตร รองลงมาคือ กลุ่มทดลองที่ 5 ขานอ้อยหมักร่วมกับมูลแพะ กลุ่มทดลองที่ 1 ปุ๋ยเคมี กลุ่มทดลองที่ 3 ขานอ้อยหมักร่วมกับมูลโค และกลุ่มทดลองที่ 4 ขานอ้อยหมักร่วมกับมูลสุกร มีความยาวใบเฉลี่ยเท่ากับ 28.33, 27.50, 27.33 และ 27.29 เซนติเมตร ตามลำดับ ดัง Table 1

Table 1 The average number of leaves per plant and the average leaf width and length (centimeters) of radish

Type of compost	Average number of leaves (Leaves per plant)	Leaf width (cm)	Leaf length (cm)
Chemical fertilizer	12.00	16.07	27.50
Sugarcane bagasse mixed with chicken manure	12.14	16.37	28.42
Sugarcane bagasse mixed with cattle manure	11.70	14.97	27.33
Sugarcane bagasse mixed with pig manure	11.46	16.07	27.29
Sugarcane bagasse mixed with goat manure	11.96	17.17	28.33
F-test	ns	ns	ns
CV. (%)	2.81	4.05	2.09

Note: Means in each column are not significantly different.

2. ปริมาณและคุณภาพผลผลิต

ปริมาณและคุณภาพผลผลิตผักกาดหัว ที่ปลูกในดินที่มีปุ๋ยมูลสัตว์ต่างชนิดกันหมักร่วมกับขานอ้อย เมื่อผักกาดหัวอายุได้ 55 วันหลังเพาะ ทำการเก็บเกี่ยวผลผลิต พบว่า หน่วยน้ำหนักกรัมต่อหัว มีความแตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) โดยกลุ่มทดลองที่ 1 ปุ๋ยเคมี มีน้ำหนักผลผลิตเฉลี่ยมากที่สุดคือ 813 กรัมต่อหัว รองลงมาคือ กลุ่มทดลองที่ 4 ขานอ้อยหมักร่วมกับมูลสุกร กลุ่มทดลองที่ 2 ขานอ้อยหมักร่วมกับมูลไก่ และกลุ่มทดลองที่ 5 ขานอ้อยหมักร่วมกับมูลแพะ มีน้ำหนักผลผลิตเฉลี่ยเท่ากับ 777, 776 และ 716 กรัมต่อหัว ตามลำดับ ในขณะที่กลุ่มทดลองที่ 3 ขานอ้อยหมักร่วมกับมูลโค มีน้ำหนักผลผลิตเฉลี่ยน้อยที่สุดคือ 650 กรัมต่อหัว (Table 2) เนื่องจากผักกาดหัวที่ได้รับปุ๋ยเคมีสูตร 16-16-16 และ 13-13-21 จะมีไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียมอย่างเพียงพอและต่อเนื่อง และอยู่ในรูปที่พืชสามารถดูดซึมไปใช้ได้ทันทีเมื่อละลายน้ำ โดยธาตุไนโตรเจนทำหน้าที่เสริมสร้างการเจริญเติบโตทางลำต้น กระตุ้นให้มีการแตกกิ่ง ก้านใบ รวมถึงการสร้างคลอโรฟิลล์ ทำให้พืชสามารถสังเคราะห์แสงได้อย่างเต็มที่ ในขณะที่เดียวกันเมื่อพืชได้รับปริมาณฟอสฟอรัสที่เหมาะสมจะทำให้รากของพืชมีการเจริญเติบโตที่ดี สามารถดูดน้ำและอาหารได้อย่างมีประสิทธิภาพมากขึ้น (Gahoonia & Nielsen, 2022) และช่วยให้พืชดูดใช้ธาตุไนโตรเจนได้ดีขึ้นด้วย นอกจากนี้ไนโตรเจนและฟอสฟอรัสที่เป็นธาตุอาหารหลักที่สำคัญของพืชแล้ว โพแทสเซียมก็เป็นธาตุอาหารหลักที่สำคัญต่อพืชเช่นกัน โดยโพแทสเซียมหน้าที่รักษาสมดุลของเอนไซม์ และควบคุมแรงดันต่าง ๆ ในเซลล์พืชและที่สำคัญยังสามารถส่งเสริมการเจริญเติบโตของพืช (Marschner, 1995) ดังนั้นเมื่อพืชได้รับธาตุอาหารที่จำเป็นครบทุกธาตุ จึงสามารถให้การเจริญเติบโตและผลผลิตได้ดี ส่งผลให้กลุ่มทดลองที่ใช้ปุ๋ยเคมีสูตร 16-16-16 และปุ๋ยเคมีสูตร 13-13-21 มีน้ำหนักผลผลิตเฉลี่ยมากที่สุด

Table 2 Average yield weight of radish at 55 days after sowing: comparison between soil amended with various types of animal manure composted with sugarcane bagasse and chemical fertilizer application

Type of compost	Average yield weight ¹ (g/head)	Average head diameter (cm)	Average head length (cm)
Chemical fertilizer	813 ^a	7.11	29.68
Sugarcane bagasse mixed with chicken manure	776 ^b	6.97	27.49
Sugarcane bagasse mixed with cattle manure	650 ^d	6.64	27.84
Sugarcane bagasse mixed with pig manure	777 ^b	7.23	28.37
Sugarcane bagasse mixed with goat manure	716 ^c	6.38	28.87
F-test	**	ns	ns
CV. (%)	5.11	12.01	7.07

Note: ¹ Means in the same column with different lowercase-letter subscripts are significantly different at $p < 0.05$.

เส้นผ่าศูนย์กลางเฉลี่ยของหัว พบว่า กลุ่มทดลองที่ 4 ขานอ้อยหมักร่วมกับมูลสุกร มีแนวโน้มให้เส้นผ่าศูนย์กลางเฉลี่ยของหัวมากที่สุด คือ 7.23 เซนติเมตร รองลงมาคือกลุ่มทดลองที่ 1 ปุ๋ยเคมี กลุ่มทดลองที่ 2 ขานอ้อยหมักร่วมกับมูลไก่ กลุ่มทดลองที่ 3 ขานอ้อยหมักร่วมกับมูลโค และกลุ่มทดลองที่ 5 ขานอ้อยหมักร่วมกับมูลแพะ มีเส้นผ่าศูนย์กลางเฉลี่ยของหัวเท่ากับ 7.11, 6.97, 6.64 และ 6.38 เซนติเมตร ตามลำดับ และไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ (Table 2) เนื่องจากมูลสุกรถือเป็นวัสดุที่มีธาตุอาหารรอง และจุลธาตุอาหารในปริมาณที่สูงกว่ามูลสัตว์ชนิดอื่น ๆ ทั้งนี้เพราะอาหารสัตว์ยุคใหม่มีการเสริมวิตามินและแร่ธาตุต่าง ๆ ในปริมาณสูง เพื่อให้สุกรเจริญเติบโตได้ตามปกติ ซึ่งแร่ธาตุเหล่านั้น ไม่สามารถถูกนำไปใช้ประโยชน์ได้หมด และถูกขับถ่ายออกมาทางมูล อีกทั้งตัวแร่ธาตุเองจะถูกแปรสภาพ ให้อยู่ในรูปละลายน้ำได้มากขึ้น จึงเป็นประโยชน์ต่อต้นพืชมากขึ้น พืชสามารถดูดธาตุอาหารไปใช้ได้เร็วกว่า ซึ่งจะช่วยให้เพิ่มอัตราในการสังเคราะห์แสง และการเจริญเติบโตของพืช ทำให้พืชมีผลผลิตที่มีคุณภาพมากขึ้น (Chattupompong et al., 2011)

ความยาวเฉลี่ยของหัว เมื่อสิ้นสุดการทดลองเก็บเกี่ยวผลผลิตที่อายุ 55 วัน หลังเพาะเมล็ด พบว่า ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ แต่กลุ่มทดลองที่ 1 ปุ๋ยเคมี มีแนวโน้มความยาวเฉลี่ยของหัวมากที่สุด คือ 29.68 เซนติเมตร รองลงมาคือกลุ่มทดลองที่ 5 ขานอ้อยหมักร่วมกับมูลแพะ กลุ่มทดลองที่ 4 ขานอ้อยหมักร่วมกับมูลสุกร กลุ่มทดลองที่ 3 ขานอ้อยหมักร่วมกับมูลโค และกลุ่มทดลองที่ 2 ขานอ้อยหมักร่วมกับมูลไก่ มีความยาวเฉลี่ยของหัวเท่ากับ 28.87, 28.37, 27.84 และ 27.49 เซนติเมตร ตามลำดับ (Table 2) เนื่องจากผักกาดหัวที่ได้รับปุ๋ยเคมีสูตร 16-16-16 ในระยะแรก และ 13-13-21 ในระยะที่สอง ทำให้ได้ปริมาณไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียมอย่างเพียงพอและต่อเนื่อง ช่วยส่งเสริมกระบวนการสร้างแป้ง และน้ำตาลในลำต้น ใบ ผลหรือเมล็ด เร่งการดูดซับไนโตรเจนและการสังเคราะห์แสง (Gahoonia & Nielsen, 2022) ทำให้ได้ผลผลิตที่ดีและมีคุณภาพสูง ส่งผลให้มีแนวโน้มความยาวเฉลี่ยของหัวมากกว่ากลุ่มทดลองอื่น ๆ

3. เปอร์เซ็นต์น้ำหนักแห้งของส่วนที่เหลือหลังการเก็บเกี่ยว

หลังจากเก็บเกี่ยวผลผลิต นำส่วนที่เหลือหลังการเก็บเกี่ยวมาชั่งน้ำหนักสด พบว่า ทุกกลุ่มทดลองมีน้ำหนักสดเฉลี่ยไม่แตกต่างกันทางสถิติ แต่กลุ่มทดลองที่ 1 ปุ๋ยเคมี มีแนวโน้มให้น้ำหนักสดเฉลี่ยมากที่สุดคือ 357.80 กรัม รองลงมาคือกลุ่มทดลองที่ 4 ขานอ้อยหมักร่วมกับมูลสุกร กลุ่มทดลองที่ 3 ขานอ้อยหมักร่วมกับมูลโค และกลุ่มทดลองที่ 5 ขานอ้อยหมัก

ร่วมกับมูลแพะ มีน้ำหนักสดเฉลี่ยเท่ากับ 345.65, 342.69 และ 335.25 กรัม ตามลำดับ ในขณะที่กลุ่มทดลองที่ 2 ขานอ้อยหมักร่วมกับมูลไก่ มีแนวโน้มให้น้ำหนักสดเฉลี่ยน้อยที่สุด คือ 333.95 กรัม

นำตัวอย่างส่วนที่เหลือหลังการเก็บเกี่ยวที่ได้ไปอบที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 48 ชั่วโมง เพื่อหาน้ำหนักแห้ง พบว่า ทุกกลุ่มทดลองมีน้ำหนักแห้งเฉลี่ยไม่แตกต่างกันทางสถิติ โดยกลุ่มทดลองที่ 5 ขานอ้อยหมักร่วมกับมูลแพะ มีแนวโน้มให้น้ำหนักแห้งเฉลี่ยมากที่สุดคือ 72.05 กรัม รองลงมาคือ กลุ่มทดลองที่ 1 ปุ๋ยเคมี กลุ่มทดลองที่ 4 ขานอ้อยหมักร่วมกับมูลสุกร และกลุ่มทดลองที่ 2 ขานอ้อยหมักร่วมกับมูลไก่ มีน้ำหนักแห้งเฉลี่ยเท่ากับ 71.88, 70.36 และ 69.82 กรัม ตามลำดับ ในขณะที่กลุ่มทดลองที่ 3 ขานอ้อยหมักร่วมกับมูลโค มีแนวโน้มให้น้ำหนักแห้งเฉลี่ยน้อยที่สุดคือ 69.80 กรัม (Table 3)

หลังจากนั้นนำค่าน้ำหนักสดและน้ำหนักแห้งที่ได้ไปวิเคราะห์หาเปอร์เซ็นต์น้ำหนักแห้ง พบว่า กลุ่มทดลองที่ 1 ปุ๋ยเคมี มีแนวโน้มให้เปอร์เซ็นต์น้ำหนักแห้งเฉลี่ยมากที่สุดคือ 79.91 เปอร์เซ็นต์ รองลงมาคือ กลุ่มทดลองที่ 4 ขานอ้อยหมักร่วมกับมูลสุกร กลุ่มทดลองที่ 3 ขานอ้อยหมักร่วมกับมูลโค และกลุ่มทดลองที่ 2 ขานอ้อยหมักร่วมกับมูลไก่ มีเปอร์เซ็นต์น้ำหนักแห้งเฉลี่ยเท่ากับ 79.64, 79.63 และ 79.09 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ในขณะที่กลุ่มทดลองที่ 5 ขานอ้อยหมักร่วมกับมูลแพะ มีแนวโน้มให้เปอร์เซ็นต์น้ำหนักแห้งเฉลี่ยน้อยที่สุดคือ 78.51 เปอร์เซ็นต์ (Table 3) สาเหตุที่การใช้ปุ๋ยเคมี มีแนวโน้มให้เปอร์เซ็นต์น้ำหนักแห้งเฉลี่ยมากที่สุด เนื่องจากในปุ๋ยเคมีมีธาตุไนโตรเจนที่ช่วยในการส่งเสริมการเจริญเติบโตทางกิ่ง ก้าน ใบ รวมถึงเป็นองค์ประกอบของคลอโรฟิลล์ที่เป็นรงควัตถุที่ช่วยในกระบวนการสังเคราะห์แสงและสร้างอาหาร ในขณะที่เดียวกันก็มีฟอสฟอรัส และโพแทสเซียมเป็นองค์ประกอบ หากมีในปริมาณที่เหมาะสมก็จะเป็นแหล่งพลังงานและช่วยในการลำเลียงสารอาหารต่าง ๆ (Gahoonia & Nielsen, 2022) และปริมาณธาตุอาหารทั้ง 3 ชนิด พืชได้รับ 2 ครั้ง คือช่วงแรกของการเจริญเติบโตได้รับปุ๋ยเคมีสูตร 16-16-16 และช่วงกลางของการเจริญเติบโตได้รับปุ๋ยเคมีสูตร 13-13-21 และปุ๋ยทั้ง 2 อยู่ในรูปที่พืชสามารถนำไปใช้ได้ทันทีเมื่อละลายน้ำ ทำให้พืชได้รับสารอาหารอย่างต่อเนื่องและเพียงพอทั้งจากปุ๋ยและการสังเคราะห์แสง ดังนั้นเมื่อพืชได้รับธาตุอาหารที่จำเป็นครบทุกธาตุจึงสามารถให้การเจริญเติบโตและผลผลิตได้ดี ซึ่งเปอร์เซ็นต์วัตถุแห้ง คือส่วนที่เหลือจากการนำเอาชิ้นส่วนพืชไปอบจนได้น้ำหนักคงที่ ที่มีสารอาหารเป็นองค์ประกอบอยู่ 2 กลุ่มคือ 1. พวกที่มีองค์ประกอบเป็นสารอินทรีย์ ได้แก่ คาร์โบไฮเดรต โปรตีน ไขมัน วิตามิน และ 2. พวกที่มีองค์ประกอบเป็นสารอนินทรีย์ ได้แก่ พวกแร่ธาตุ ที่เป็นอาหารสะสมในผล โครงสร้างของพืชและแร่ธาตุที่รวมอยู่เป็นองค์ประกอบของสารอินทรีย์ (Phongphianchan, 2000).

Table 3 Average percentage of dry weight of radish residues after harvest at the end of the experiment.

Type of compost	Fresh weight (g)	Dry weight (g)	Weight (%)
Chemical fertilizer	357.80	71.88	79.91
Sugarcane bagasse mixed with chicken manure	333.95	69.82	79.09
Sugarcane bagasse mixed with cattle manure	342.69	69.80	79.63
Sugarcane bagasse mixed with pig manure	345.65	70.36	79.64
Sugarcane bagasse mixed with goat manure	335.25	72.05	78.51
F-test	ns	ns	ns
CV. (%)	16.83	8.51	2.47

Note: Means in each column are not significantly different.

บทสรุป

จากการศึกษาสรุปได้ว่า การนำมูลสัตว์ชนิดต่าง ๆ มาหมักร่วมกับขานอ้อยในการปลูกผักกาดหัวพันธุ์เอเวอเรสต์ ไฮบริด ด้านการเจริญเติบโต พบว่า ทุกกลุ่มทดลองให้ผลไม่แตกต่างกันทางสถิติ ส่วนด้านปริมาณและคุณภาพผลผลิต พบว่า การใช้ปุ๋ยเคมีมีประสิทธิภาพมากที่สุด เนื่องจากให้น้ำหนักผลผลิตเฉลี่ยกรัมต่อหัวมากที่สุด คือ 813 กรัมต่อหัว (41 กิโลกรัมต่อแปลง และ 6,560 กิโลกรัมต่อไร่) ในขณะที่เดียวกันก็มีเส้นผ่านศูนย์กลางของหัวและความยาวเฉลี่ยของหัว เท่ากับ 7.11 เซนติเมตร และ 29.68 เซนติเมตร ตามลำดับ ซึ่งให้ผลไม่แตกต่างกันทางสถิติกับกลุ่มทดลองอื่น ๆ

กิตติกรรมประกาศ

การวิจัยเรื่องนี้สำเร็จด้วยดี ต้องขอขอบคุณคณะกรรมการ มหาวิทยาลัยราชภัฏอุบลราชธานี ที่อนุเคราะห์สถานที่ในการทำการทดลอง และขอขอบคุณแหล่งทุนจากโครงการสนับสนุนส่งเสริมและสนับสนุนศักยภาพนักวิจัย ประจำปีงบประมาณ 2566

เอกสารอ้างอิง

- Alhadad, I. I., & Abou, W. A. A. (2015). Effect of organic materials and inorganic fertilizers on the growth, mineral composition, and soil fertility of radish plants (*Raphanus sativus*) grown in sandy soil. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition*, 15(2), 123–130.
- Chattupornpong, S., Kantho, U., & Usungnoen, P. (2011). *Pig manure extract: Efficient use of animal manure as fertilizer for crops: Extension document, Vol. 54(1)*. Kasetsart University, Office of Extension and Training, Division of Extension and Publications. (in Thai)
- Gahoonia, T. S., & Nielsen, N. E. (2003). Phosphorus uptake and growth of a root hairless barley mutant (Bald Root Barley, BRB) and wild type in low- and high-P soils. *Plant, Cell & Environment*, 26(7), 845–853.
- Keshar, Bahadur, Khatri., Roshan, Babu, Ojha., Keshab, Raj, Pande., Babu, Ram, Khanal. (2019). The Effects of Different Sources of Organic Manures in Growth and Yield of radish (*Raphanus sativus* L.). *International Journal of Applied Sciences and Biotechnology*, 7(1):39-42.
- Marschner, H. (1995). *Mineral nutrition of higher plants* (2nd ed.). London: Academic Press.
- Mahmood, F., Khan, I., Ashraf, U., Shahzad, T., Hussain, S., Shahid, M., Abid, M., & Ullah, S. (2017). Effects of organic and inorganic manures on maize and their residual impact on soil physicochemical properties. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition*, 17(1), 22-32.
- Phongphianchan, P. (2000). *Principles of animal nutrition, Vol. 1: Nutrients (Revised edition)* Odeon Store Publishing. (In Thai).
- Thai-Chinese Herb Information Center, Huachiew Chalermprakiet University. (2010). *White radish* (In Thai). <https://tchic.hcu.ac.th/>

Received: April 26, 2024; Revised: February 6, 2025; Accepted: March 31, 2025

ผลของการใช้กลีเซอรินดิบทดแทนเมล็ดข้าวโพดต่อประสิทธิภาพการเจริญเติบโต การย่อย
ได้ของโภชนะและพลังงาน และการเปลี่ยนแปลงของระบบทางเดินอาหารในสัตว์ปีก
Effects of using crude glycerin replacement for ground corn on
growth efficiency, digestibility of nutrients and energy, and change of
gastrointestinal tract in poultry

มุกดา ประชุมฉลาด¹ อรุณรัตน์ เสียงสนัน¹ ชยพล มีพร้อม¹
ทรงยศ กิตติชนม์ธวัช¹ จักรกริช หอมขาว² และนันทการณ จันดี^{1*}
Mookda Prachumchalad¹, Arunrat Siangsanun¹, Chayapol Meeprom¹,
Songyot Kittichontawat¹, Jukkrit Homkhao² and Nantakarn Jandee^{1*}

¹คณะเกษตรศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน วิทยาเขตสุรินทร์ จังหวัดสุรินทร์

¹Faculty of Agriculture and Technology Rajamangala University of Technology Isan Surin Campus, Surin Province

²คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย วิทยาเขตนครศรีธรรมราช จังหวัดนครศรีธรรมราช

²Faculty of Agriculture Rajamangala University of Technology Srivijaya Nakorn Si Thammarat Campus, Nakorn Si Thammarat Province

*Corresponding Author E-mail Address : Nantakarn.ja@rmuti.ac.th

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาการใช้กลีเซอรินดิบทดแทนเมล็ดข้าวโพดต่อประสิทธิภาพการเจริญเติบโต การย่อย
ได้ของโภชนะและพลังงาน และการเปลี่ยนแปลงของระบบทางเดินอาหารในสัตว์ปีก แบ่งการทดลองออกเป็น 2 การทดลอง
ได้แก่ การทดลองที่ 1 การศึกษาประสิทธิภาพการเจริญเติบโตของสัตว์ปีก ใช้ไก่พื้นเมืองไทย อายุเฉลี่ย 11 สัปดาห์ จำนวน
84 ตัว การทดลองที่ 2 ศึกษาการย่อยได้ของโภชนะ พลังงาน และการเปลี่ยนแปลงระบบทางเดินอาหารในสัตว์ปีก
ใช้ไก่ลูกผสมพื้นเมืองคลองเตย อายุเฉลี่ย 7 สัปดาห์ จำนวน 30 ตัว และในการศึกษาการเปลี่ยนแปลงระบบทางเดินอาหารใน
สัตว์ปีก ใช้ไก่ลูกผสมพื้นเมืองคลองเตย อายุเฉลี่ย 7 สัปดาห์ จำนวน 24 ตัว โดยผ่านการให้อาหารที่ใช้กลีเซอรินดิบในระดับที่
0, 4 และ 8 เปอร์เซ็นต์ในสูตรอาหาร มาแล้ว 8 สัปดาห์ ใช้แผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ จากการศึกษา พบว่า การใช้
กลีเซอรินดิบที่ระดับ 0, 4 และ 8 เปอร์เซ็นต์ในอาหาร ไม่ส่งผลกระทบต่ออัตราการเจริญเติบโต และต้นทุนการผลิตตลอดระยะเวลา
ทดลอง อย่างไรก็ตาม การใช้กลีเซอรินดิบต่อไก่เล็กในช่วงสัปดาห์ที่ 2 ของการทดลอง พบว่า การใช้กลีเซอรินดิบที่ระดับ
8 เปอร์เซ็นต์ ทำให้อัตราการเจริญเติบโตเฉลี่ยต่อวันลดลง การกินได้ของไขมัน การกินได้ของเยื่อใยหยาบ และการย่อยได้ที่
แท้จริงของเยื่อใยหยาบสูงขึ้น ในขณะที่เดียวกันการย่อยได้ที่แท้จริงของคาร์โบไฮเดรต ปริมาณไนโตรเจนที่ไก่ได้รับและสมดุล
ไนโตรเจนลดลง นอกจากนี้การใช้กลีเซอรินดิบที่ระดับ 4 และ 8 เปอร์เซ็นต์ในอาหารส่งผลให้กระเพาะปัสสาวะมีน้ำหนักเพิ่มขึ้น แต่
ส่งผลให้ความยาวของตับ และน้ำหนักของไส้ติ่งด้านขวาลดลง

คำสำคัญ: กลีเซอรินดิบ การย่อยได้ของโภชนะ ระบบทางเดินอาหาร ประสิทธิภาพการเจริญเติบโต

Abstract

The purpose of this study was to evaluate the utilization of crude glycerin in replacement for ground corn on the growth performance, nutrient and energy digestibility, and the change of digestive tract. This study was divided into two experiments. The first experiment was a study on the growth performance by using mixed-gender eighty-four Thai indigenous chickens with an average age of 11 weeks. The second study focused on nutrients and energy digestibility and conducted using mixed-gender thirty Thai indigenous chickens with an average age of 7 weeks. The study on the change of digestive tract was used mixed genders twenty-four Thai indigenous chickens with an average age of 8 weeks. The experiments were assigned using completely randomized design. The levels of crude glycerin in the diet at 0, 4, and 8% resulted in no significant difference on the overall growth performance and production cost. However, during the second week of the experiment, the use of 8% crude glycerin affected the growth of the chicken including the decreases of the average daily gain, fat intake, crude fiber intake while truly digestible crude fiber increased. Meanwhile, truly digestible carbohydrate, nitrogen intake, and nitrogen balance declined. In addition, the utilization of crude glycerin at 4 and 8% in diet significantly increased the crop weight but the right ceca weight and liver length were decreased.

Keywords: Crude glycerin, Nutrients digestibility, Gastrointestinal tract, Growth efficiency

บทนำ

ปัจจุบันอุตสาหกรรมการเลี้ยงไก่เนื้อมีการขยายตัวเพิ่มมากขึ้นตามความต้องการของผู้บริโภค เนื่องจากอุตสาหกรรมการเลี้ยงสัตว์ปีกเป็นห่วงโซ่อาหารที่สำคัญของมนุษย์ และในขณะเดียวกันต้นทุนค่าอาหารสัตว์กลับมีราคาเพิ่มสูงขึ้นเรื่อยๆ ซึ่งคิดเป็นต้นทุนค่าอาหารประมาณ 60-70 เปอร์เซ็นต์ ของการผลิตทั้งหมด (FAO, 2014) โดยเฉพาะวัตถุดิบอาหารสัตว์ประเภทพลังงาน เช่น ข้าวโพดบด และปลายข้าว ซึ่งถือว่าเป็นแหล่งที่สำคัญมาก โดยในอาหารสัตว์ปีกไม่สามารถขาดวัตถุดิบอาหารสัตว์ที่เป็นแหล่งพลังงานได้ เนื่องจากหากมีการขาดพลังงานอาจส่งผลให้สัตว์มีการเจริญเติบโตที่ช้าลง การกินได้ต่ำลง รวมไปถึงการใช้ประโยชน์ของโปรตีนอาจต่ำลงอีกด้วย และในปัจจุบันนี้ประเทศทั่วโลกยังประสบกับปัญหาการขาดน้ำมันเชื้อเพลิงที่มีมูลค่าเพิ่มมากขึ้น เนื่องจากปริมาณการใช้เชื้อเพลิงเพื่อการดำรงชีพของมนุษย์มีปริมาณเพิ่มมากขึ้น จึงส่งผลให้น้ำมันเชื้อเพลิงปรับราคาสูงขึ้นตาม รวมไปถึงน้ำมันเชื้อเพลิงภายในประเทศไทยก็ปรับราคาสูงขึ้นตามไปด้วย จึงส่งผลให้มีการแสวงหาพลังงานทดแทนรูปแบบใหม่มาทดแทนพลังงานจากเชื้อเพลิงฟอสซิล (Fossil fuel) โดยไบโอดีเซล (Biodiesel) เป็นเชื้อเพลิงทดแทนชนิดหนึ่ง ที่ได้รับความนิยมมากในปัจจุบันและมีผลพลอยได้เป็นกลีเซอรินดิบจำนวนมากประมาณ 70-80 เปอร์เซ็นต์ (Zavarize et al., 2014) และมีคุณค่าในการให้พลังงานสูง ซึ่งกลีเซอรินดิบให้พลังงานรวม (Gross energy) สูงถึง 4,100 กิโลแคลอรีต่อกิโลกรัม (Brambilla & Hill, 1966) และมีค่าพลังงานที่ใช้ประโยชน์ได้ ตั้งแต่ 3,069-4,839 กิโลแคลอรีต่อกิโลกรัม (Batista, 2010) โดยในไก่ไขพบว่า พลังงานที่ใช้ประโยชน์มีค่าประมาณ 3,929 กิโลแคลอรีต่อกิโลกรัม และในไก่เนื้อมีค่าประมาณ 3,993 กิโลแคลอรีต่อกิโลกรัม และมีการรายงานว่าพลังงานที่ใช้ประโยชน์ได้ที่แท้จริงของกลีเซอรินมีค่าประมาณ 3,312 กิโลแคลอรีต่อกิโลกรัม (Abd-Elsamee et al., 2010) อย่างไรก็ตาม กลีเซอรินเป็นวัตถุดิบที่มีราคาถูก สามารถนำมาใช้เป็นแหล่งพลังงานทดแทนวัตถุดิบอาหารสัตว์ และสามารถเพิ่มสมรรถภาพในการผลิตด้านปศุสัตว์ ดังนั้นจึงมีแนวคิดในการนำกลีเซอรินดิบมาใช้ในอุตสาหกรรมการผลิตสัตว์ปีก เพื่อช่วยลดต้นทุนการผลิตโดยเฉพาะต้นทุนทางด้านวัตถุดิบอาหารสัตว์ โดยกลีเซอรินได้รับการยอมรับว่าปลอดภัยสำหรับใช้เป็นอาหารสัตว์ (Leite et al., 2017) และนอกจากนี้ยังเป็นการใช้ประโยชน์และเป็นการเพิ่มมูลค่าของกลีเซอรินดิบที่เป็นผลพลอยได้จากกระบวนการผลิตไบโอดีเซลได้อีกทางหนึ่ง จากการผลิตไบโอดีเซล 100 ลิตร จะได้กลีเซอรินดิบประมาณ 0.35 กิโลกรัม (Thompson & He, 2006) ที่สามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้หลายด้าน เช่น นำไปกลั่นเพื่อนำเมทานอลกลับมาใช้ใหม่เป็นเชื้อเพลิงแก๊สซิงค์ นำไปใช้ในอุตสาหกรรมเครื่องสำอาง และนำไปผสมในอาหารสัตว์เพื่อทดแทนอาหารพลังงานเพื่อเพิ่มสมรรถภาพในการผลิตด้านปศุสัตว์ อย่างไรก็ตาม

ตาม กลีเซอรินมีองค์ประกอบที่หลากหลายซึ่งส่งผลต่อคุณค่าทางโภชนาการเนื่องจากลักษณะของสารประกอบที่ใช้ในกระบวนการผลิตไบโอดีเซล ซึ่งใช้กระบวนการทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชัน ซึ่งเกิดจากการกระทำของเมทานอลกับน้ำมันพืช จากนั้นจึงเติมเกลือลงไป และเมื่อเกลือมากเกินไปจึงอาจปัญหาในการใช้กลีเซอรินในการผลิตอาหารสัตว์ปีก (Silva et al., 2012) และในปี 2565 มีการคาดการณ์ว่าการผลิตไบโอดีเซลจะได้รับกลีเซอรินดิบประมาณ 0.47 กิโลกรัม (Yang et al., 2012) นอกจากนี้ ความสามารถในการย่อยได้ของกลีเซอรินดิบในสัตว์ปีกอาจแตกต่างกันออกไป ซึ่งขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายประการ เช่น ความเข้มข้นของกลีเซอรอลในกลีเซอรินดิบ อายุของสัตว์ ระดับการใช้ และสุขภาพของสัตว์ (Batista, 2010) อย่างไรก็ตามการใช้กลีเซอรินยังมีข้อจำกัดหลายอย่าง เช่น อาจทำให้การย่อยได้ของโปรตีนลดลงและเพิ่มการขับออกของไนโตรเจน (McLea et al., 2011) และหากใช้ในปริมาณมากอาจก่อให้เกิดอาการไขมันพอกตับเนื่องจากกลีเซอรอลสามารถปลดปล่อยไตรกลีเซอไรด์ได้มากขึ้น (Emami et al., 2020) โดยปัญหาเหล่านี้ขึ้นอยู่กับกระบวนการ แหล่งที่มา รวมไปถึงปริมาณเมทานอลของกลีเซอรินอีกด้วย (Luo et al., 2016)

ดังนั้น การนำกลีเซอรินดิบไปใช้เพื่อเป็นส่วนผสมในอาหารสัตว์ปีกเพื่อทดแทนวัตถุดิบอาหารสัตว์ประเภทพลังงาน จึงมีความจำเป็นจะต้องศึกษาถึงระดับการใช้กลีเซอรินดิบในอาหารสัตว์ต่อการเจริญเติบโต การย่อยได้ของโภชนะและพลังงาน รวมไปถึงการเปลี่ยนแปลงของระบบทางเดินอาหาร เพื่อหาปริมาณที่เหมาะสมในการใช้เป็นส่วนผสมในอาหารของสัตว์ปีก

วัตถุประสงค์ และวิธีการ

1. สัตว์ อาหาร และแผนการทดลอง

1.1 การทดลองที่ 1 การศึกษาประสิทธิภาพการเจริญเติบโตของสัตว์ปีก

การศึกษาประสิทธิภาพการเจริญเติบโตของสัตว์ปีก ใช้ไก่พื้นเมืองไทย อายุเฉลี่ย 11 สัปดาห์ มีน้ำหนักเริ่มต้นในช่วง 440–1,700 กรัม แบบคณะเพศ จำนวน 84 ตัว เลี้ยงในคอก คอกละ 7 ตัว ทำการจัดแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ (Completely Randomized Design; CRD) แบ่งเป็น 3 กลุ่ม กลุ่มละ 4 ซ้ำ ๆ ละ 7 ตัว โดยแบ่งอาหารเป็น 3 กลุ่มการทดลอง ดังนี้ กลุ่มการทดลองที่ 1 ไม่ใช้กลีเซอรินดิบในสูตรอาหารควบคุม กลุ่มการทดลองที่ 2 ใช้กลีเซอรินดิบในสูตรอาหาร 4 เปอร์เซ็นต์ และกลุ่มการทดลองที่ 3 ใช้กลีเซอรินดิบในสูตรอาหาร 8 เปอร์เซ็นต์

1.2 การทดลองที่ 2 การศึกษาการย่อยได้ของโภชนะและพลังงาน และการเปลี่ยนแปลงระบบทางเดินอาหารในสัตว์ปีก

การศึกษาการย่อยได้ของโภชนะและพลังงาน และการเปลี่ยนแปลงระบบทางเดินอาหารในสัตว์ปีก ใช้ไก่พื้นเมืองลูกผสมคณะเพศ อายุเฉลี่ย 7 สัปดาห์ จำนวน 30 ตัว ถูกนำมาจัดกลุ่มออกเป็น 3 กลุ่ม โดยใช้แผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ (Completely Randomized Design; CRD) โดยแบ่งกลุ่มทดลอง 3 กลุ่ม ดังนี้ กลุ่มการทดลองที่ 1 ไม่ใช้กลีเซอรินดิบในสูตรอาหารควบคุม กลุ่มการทดลองที่ 2 ใช้กลีเซอรินดิบในสูตรอาหาร 4 เปอร์เซ็นต์ และกลุ่มการทดลองที่ 3 ใช้กลีเซอรินดิบในสูตรอาหาร 8 เปอร์เซ็นต์ ในแต่ละกลุ่มจะใช้ไก่จำนวน 10 ตัว โดยใช้ตัวไก่เป็นซ้ำ ไก่แต่ละตัวจะอยู่อย่างอิสระต่อกันในกรงเมแทบอลิซึมขนาด 30x40x40 เซนติเมตร ในโรงเรือนแบบเปิด มีการเปิดไฟให้แสงสว่างเป็นเวลา 16 ชั่วโมง ดำเนินการให้อาหารไก่กินอย่างเต็มที่ในการศึกษาแรก และให้อาหารอย่างจำกัดในการศึกษาที่สอง อาหารที่ไก่ได้รับจะมีโปรตีน 15 เปอร์เซ็นต์ มีพลังงานที่ใช้ประโยชน์ได้จากการคำนวณ 2,900 กิโลแคลอรีต่อกิโลกรัม ทำการให้อาหารจำนวน 2 มื้อในสัดส่วนที่เท่า ๆ กัน ไก่ทุกตัวจะมีน้ำให้กินอย่างอิสระ ระยะเวลาของการทดลองทั้งสิ้น 37 วัน แบ่งการทดลองออกเป็น 3 ช่วง คือ ในช่วงแรกวันที่ 1-7 ของการทดลองจะเป็นระยะการปรับตัวเพื่อให้สัตว์มีความคุ้นเคยกับกรงและอาหารที่ใช้ในการทดลอง ในช่วงที่สองวันที่ 8-28 ของการทดลองเป็นการศึกษาประสิทธิภาพการใช้ประโยชน์ของอาหาร และในช่วงสุดท้ายวันที่ 29-37 ของการทดลองเป็นการศึกษาการย่อยได้ที่แท้จริงของอาหารทั้ง 3 สูตร ซึ่งอาหารทั้ง 3 สูตรมีส่วนการใช้วัตถุดิบอาหารสัตว์ ดัง Table 1 และในการศึกษาการเปลี่ยนแปลงของระบบทางเดินอาหารในสัตว์ปีก จะใช้ไก่พื้นเมืองลูกผสมคณะเพศ อายุเฉลี่ย 8 สัปดาห์ จำนวน 24 ตัว โดยผ่านการให้อาหารที่มีการใช้กลีเซอรินดิบในระดับที่ 0, 4 และ 8 เปอร์เซ็นต์ มาแล้ว 8 สัปดาห์

2. ขั้นตอนและวิธีการดำเนินงาน

เตรียมคอกและอุปกรณ์ในการเลี้ยงสัตว์ทดลอง โดยเริ่มจากการทำความสะอาดคอก ทำการซังน้ำหนักไก่ก่อนเริ่มการทดลองและสามารถเริ่มทำการทดลองได้ โรงเรือนเลี้ยงไก่เป็นแบบระบบเปิด มีม่านกันลมและกันฝนด้านหน้าคอกและด้านหลังคอก ซึ่งในช่วงเวลากลางวันสัตว์จะได้แสงสว่างจากธรรมชาติ และในช่วงเวลากลางคืนจะได้แสงสว่างจากการเปิดไฟ

ในเวลา 18.00-06.00 นาฬิกา ในการให้อาหารจะทำการให้อาหารทั้งหมด 2 มื้อต่อวันในปริมาณที่เท่ากัน โดยให้ในเวลา 06.00 นาฬิกา และ 16.00 นาฬิกา ทำการจดบันทึกปริมาณอาหารที่เหลือทุกครั้งก่อนทำการให้อาหารไปในครั้งถัดไปและมีการให้น้ำแบบเต็มทีและกินอย่างอิสระตลอดระยะเวลาการทดลอง และจะทำการชั่งน้ำหนักตัวไก่ ทุก ๆ 2 สัปดาห์เพื่อวัดน้ำหนักที่เพิ่มขึ้น

อาหารสัตว์ที่ใช้ในการทดลองประกอบไปด้วยปลาป่น (55%CP) กากถั่วเหลือง รำละเอียด เมล็ดข้าวโพดบด กลีเซอรินดิบ ความบริสุทธิ์ 80 เปอร์เซ็นต์ กากปาล์มเนื้อใน รำหยาบ เกลือ โมโนไดแคลเซียมฟอสเฟต P-21 ไดแคลเซียมฟอสเฟต P-16 แร่ธาตุผสมสำเร็จรูป สารผสมลวงหน้า และ DL-Methionine (Table 1)

Table 1 Feed ingredient of experiment

Ingredient	Crude glycerin (kg/100 kg)			Feed ingredient prices (Baht)
	0	4	8	
Fish meal (55%CP)	2.00	2.00	2.00	35.00
Soybean meal	14.25	14.25	14.25	22.00
Rice bran	10.00	10.00	10.00	10.50
Ground corn meal	64.75	60.75	56.75	10.00
Crude glycerin	0.00	4.00	8.00	6.50
Palm kernel cake	3.20	3.20	3.20	7.00
Rough rice bran	2.00	2.00	2.00	3.00
Salt	0.25	0.25	0.25	4.00
Monocalcium phosphate P-21	1.00	1.00	1.00	16.00
Dicalcium phosphate P-16	1.00	1.00	1.00	16.00
Mixed minerals ¹	1.00	1.00	1.00	42.00
Medicated premix ²	0.50	0.50	0.50	12.00
DL-Methionine	0.05	0.05	0.05	23.00
Total (kg)	100	100	100	
Protein (%) ³	15	15	15	
Energy (kcal/kg) ³	2900	2900	2900	
Cost (Baht/kg)	12.47	12.33	12.19	

Note: ¹ Calcium 216.48 g; Iron 20.35 g; Manganese 0.93 g; Iodine 0.14 g; Selenium 0.01 g; phosphorus 32.04 g; Zine 49.79 g; Copper 2.47 g; Cobalt 0.02 g; Feed additive for preservation 0.08 g; Diluent added to adjust the total weight to 1.00 kg.

² Manganese 5.4 g; Iron 14.2 g; Copper 1.0 g; Zine 2.9 g; Sodium 3.9 g; Iodine 19.0 mg; Potassium 0.9 mg; Cobalt 1.1 g; Diluent added to adjust the total weight to 1.00 kg.

³ The nutrient values were determined by calculation.

3. การเก็บรวบรวมข้อมูลและการบันทึกข้อมูล

3.1 การทดลองที่ 1 การศึกษาประสิทธิภาพการเจริญเติบโตของสัตว์ปีก

1. ทำการชั่งน้ำหนักไก่พื้นเมืองไทยก่อนการทดลอง เมื่อเริ่มต้นการทดลองและสิ้นสุดการทดลอง โดยจะทำการชั่งน้ำหนักทุก ๆ 2 สัปดาห์เพื่อดูน้ำหนักตัวที่เพิ่มขึ้นจนระยะถึงสิ้นสุดการทดลองสัปดาห์ที่ 8 ซึ่งทำทั้ง 3 กลุ่มการทดลอง แล้วนำไปวิเคราะห์ข้อมูล ได้แก่ น้ำหนักตัว น้ำหนักตัวที่เพิ่มขึ้น การเจริญเติบโตเฉลี่ยต่อวัน อัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นน้ำหนักตัว และต้นทุนการผลิต

2. ทำการชั่งน้ำหนักปริมาณอาหารที่ให้ไก่กินทุกวันเช้าและเย็น และทำการชั่งอาหารที่เหลือก่อนการให้อาหารใหม่ทุกครั้ง

3.2 การทดลองที่ 2 การศึกษาการย่อยได้ของโภชนะและพลังงาน และการเปลี่ยนแปลงระบบทางเดินอาหารในสัตว์ปีก

1. การศึกษาการย่อยได้ที่แท้จริงของโภชนะและพลังงาน

1.1 การกินได้ของโภชนะและพลังงาน บันทึกปริมาณอาหารที่กินในช่วง 4 วันสุดท้ายของการศึกษาในช่วงนี้พร้อมกับนำตัวอย่างอาหารไปในแต่ละกลุ่มไปอบเพื่อวิเคราะห์หาเปอร์เซ็นต์วัตถุแห้ง เพื่อนำมาคำนวณหาปริมาณการกินได้ของวัตถุแห้ง นอกจากนี้ทำการสุ่มนำอาหารที่ใช้ในการทดลองในแต่ละกลุ่มการทดลองประมาณ 200 กรัม เพื่อนำไปวิเคราะห์หาโปรตีนหยาบ ไขมัน เยื่อใยหยาบ คาร์โบไฮเดรต และพลังงานรวมของอาหาร โดยการวิเคราะห์แบบประมาณ (Proximate analysis)

1.2 การขับออกของโภชนะและพลังงาน เก็บมูลและปัสสาวะทั้งหมดของไก่รายตัวต่อวันในช่วงเช้าของวันที่ 5 และ 7 ของการทดลอง เพื่อประเมินการย่อยได้แท้จริงของโภชนะและพลังงาน ซึ่งเมื่อเก็บมูลและปัสสาวะจะต้องพ่นด้วยกรดไฮโดรคลอริก 0.2 เปอร์เซ็นต์ ให้ทั่วเพื่อยับยั้งการทำงานของจุลินทรีย์ก่อนนำไปอบที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 72 ชั่วโมง บันทึกน้ำหนักมูลและปัสสาวะแล้วนำตัวอย่างมูลและปัสสาวะรายตัวในแต่ละวันมารวมกัน จากนั้นนำไปวิเคราะห์หาโปรตีนหยาบ ไขมัน เยื่อใย และพลังงานรวมของมูลรวมปัสสาวะ

1.3 การศึกษาการเปลี่ยนแปลงระบบทางเดินอาหารในไก่พื้นเมือง

1. บันทึกน้ำหนักอวัยวะภายในจากการฆ่าชำแหละโดยชั่งน้ำหนักกระเพาะแท้ กระเพาะพัก ตับอ่อน กิ่ง ลำไส้เล็ก ส่วนต้น ลำไส้เล็กส่วนปลาย ไส้ตั้งด้านซ้าย ไส้ตั้งด้านขวา และลำไส้ใหญ่

2. บันทึกความยาวโดยวัดตามแนวอนของอวัยวะภายใน ได้แก่ กระเพาะแท้ กระเพาะพัก ตับอ่อน กิ่ง ลำไส้เล็ก ส่วนต้น ลำไส้เล็กส่วนปลาย ไส้ตั้งด้านซ้าย ไส้ตั้งด้านขวา และลำไส้ใหญ่ ด้วยเครื่องวัดขนาดเวอร์เนียร์คาลิปเปอร์ (มิลลิเมตร)

3. บันทึกความกว้างของกระเพาะแท้ กระเพาะพัก ตับอ่อน กิ่ง ลำไส้เล็กส่วนต้น ลำไส้เล็กส่วนปลาย ไส้ตั้งด้านซ้าย ไส้ตั้งด้านขวา และลำไส้ใหญ่ โดยนำอวัยวะมาผ่าครึ่งแล้วคลี่ออกและวัดด้วยเครื่องวัดขนาดเวอร์เนียร์คาลิปเปอร์ (มิลลิเมตร)

4. บันทึกเส้นผ่านศูนย์กลางของกระเพาะแท้ กระเพาะพัก ตับอ่อน กิ่ง ลำไส้เล็กส่วนต้น ลำไส้เล็กส่วนปลาย ไส้ตั้งด้านซ้าย ไส้ตั้งด้านขวา และลำไส้ใหญ่ โดยนำอวัยวะมาผ่าครึ่งแล้วคลี่ออกเพื่อนำมาวัดจุดกึ่งกลางของอวัยวะและวัดด้วยเครื่องวัดขนาดเวอร์เนียร์คาลิปเปอร์ (มิลลิเมตร)

4. การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ

นำข้อมูลทั้งหมดที่ได้จากการบันทึกระหว่างการทดลอง มาวิเคราะห์ความแตกต่างของค่าเฉลี่ยแต่ละกลุ่มการทดลองตามแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ (Completely randomized design; CRD) และทำการวิเคราะห์แนวโน้มแบบ Linear และ Quadratic ในวิธีการ Orthogonal Polynomial กำหนดระดับนัยสำคัญเพื่อบ่งบอกถึงความแตกต่างทางสถิติที่ระดับ $p < 0.05$ และระดับที่จะบ่งบอกแนวโน้มว่ามีความแตกต่างทางสถิติที่ระดับ $0.10 < p > 0.05$ ด้วยวิธีการหาค่าเฉลี่ยเชิงซ้อนระหว่างกลุ่มการทดลองโดยใช้วิธีการ Duncan's New Multiple Range Test โดยใช้โปรแกรม SAS ; Statistical Analysis System (SAS® OnDemand for Academics)

ผลการวิจัย

1. องค์ประกอบทางเคมีของอาหารที่ใช้ในการทดลอง

องค์ประกอบทางเคมีของอาหารที่ใช้ในการทดลองดังแสดงใน Table 2 โดยไก่พื้นเมืองไทยทั้ง 3 กลุ่มได้รับอาหารชั้นที่มีคุณค่าทางโภชนะแตกต่างกัน โดยอาหารชั้นจะมีวัตถุแห้งระหว่าง 90.11 ถึง 91.23 เปอร์เซ็นต์ โปรตีนหยาบระหว่าง 16.80 ถึง 18.18 เปอร์เซ็นต์ และคาร์โบไฮเดรตระหว่าง 60.61 ถึง 63.31 เปอร์เซ็นต์ ในส่วนของค่าพลังงานที่ใช้ประโยชน์ได้ปรากฏมีค่าระหว่าง 3.60 ถึง 3.63 กิโลแคลอรีต่อกรัม

Table 2 Feed chemical compositions used

Item	Crude glycerin (%)		
	0	4	8
Dry matter (%)	90.11	91.23	90.57
Crude protein (%)	17.49	18.18	16.80
Ether extract (%)	4.09	4.55	5.01
Crude fiber (%)	6.19	5.62	8.14
Ash (%)	8.92	9.05	9.44
Organic matter (%)	91.08	90.95	90.56
Nitrogen-free extract (%)	63.31	61.96	60.61
Apparent metabolizable energy (kcal/g)	3.63	3.60	3.60

Note: The chemical composition of the experimental feed was determined by laboratory analysis using the proximate analysis method for animal feed.

2. สมรรถนะการเจริญเติบโตของไก่พื้นเมืองไทยตลอดการทดลอง

จากการศึกษาการเลี้ยงไก่พื้นเมืองไทยโดยการใช้กลีเซอรินดิบที่ระดับ 0, 4 และ 8 เปอร์เซ็นต์ในสูตรอาหาร พบว่า ไม่ส่งผลต่อปริมาณอาหารที่กินเฉลี่ยต่อวัน โดยมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 78.79, 78.17 และ 77.58 กรัมต่อวัน ในส่วนของอัตราการเจริญเติบโตเฉลี่ยต่อวันพบว่า ไม่มีความแตกต่างเช่นเดียวกัน ($p>0.05$) นอกจากนี้การใช้กลีเซอรินดิบที่ระดับ 0, 4 และ 8 เปอร์เซ็นต์ในสูตรอาหาร ยังไม่ส่งผลต่ออัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นน้ำหนักตัว อัตราการตาย และต้นทุนค่าอาหารต่อการผลิตตลอดการทดลอง ($p>0.05$) ดังแสดงใน Table 3

Table 3 Growth performance of native chickens

Item	Crude glycerin (%)			SEM	p-Value		
	0	4	8		Trt	L	Q
Average daily feed intake (g/d)	78.79	78.17	77.58	2.74	0.9528	0.7624	0.9965
Average daily gain (g/d)	12.94	12.21	12.40	0.68	0.7404	0.5879	0.5937
Feed conversion ratio	6.15	6.41	6.27	0.28	0.8125	0.7753	0.5750
Mortality rate (%)	3.57	3.57	3.57	3.57	1.0000	1.0000	1.0000
Feed cost per gain (baht/kilogram)	76.76	79.09	76.49	3.50	0.9092	0.9586	0.5810

Note: Trt = Treatment; L = Linear; Q = Quadratic

3. สมรรถภาพการผลิตของไก่พื้นเมืองไทยที่ได้รับอาหารที่ใช้กลีเซอรินดิบในสูตรอาหาร

จากการศึกษาการใช้กลีเซอรินดิบที่ระดับ 0, 4 และ 8 เปอร์เซ็นต์ในสูตรอาหาร พบว่า น้ำหนักตัวในช่วงการทดลองที่ 4 ถึง 8 สัปดาห์ ไม่มีความแตกต่างกัน ($p>0.05$) แต่การทดลองในช่วงสัปดาห์ที่ 2 พบว่า การใช้กลีเซอรินดิบที่ระดับ 8 เปอร์เซ็นต์ ทำให้อัตราการเจริญเติบโตเฉลี่ยต่อวันลดลง อย่างไรก็ตามการใช้กลีเซอรินดิบที่ 8 เปอร์เซ็นต์ มีแนวโน้มว่าค่าของอัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นน้ำหนักตัวจะเพิ่มขึ้น นอกจากนี้ การใช้กลีเซอรินดิบที่ระดับ 0, 4 และ 8 เปอร์เซ็นต์ในสูตรอาหาร ยังไม่ส่งผลต่อปริมาณอาหารที่กินเฉลี่ยต่อวัน ดังแสดงใน Table 4

Table 4 Productive performance of Thai native chickens fed diets containing crude glycerin

Item	Crude glycerin (%)			SEM	p-Value		
	0	4	8		Trt	L	Q
Body weight (g)							
Week 0	773.57	775.11	767.36	5.61	0.6032	0.4536	0.5161
Week 2	1004.21 ^a	1007.79 ^a	956.50 ^b	14.26	0.0561	0.0422	0.1507
Week 4	1232.86	1197.57	1191.00	24.24	0.4544	0.2532	0.6402
Week 6	1383.74	1360.24	1351.97	32.41	0.7777	0.4773	0.8773
Week 8	1498.09	1458.68	1461.60	41.20	0.7592	0.5467	0.6847
Average daily gain (g)							
Week 0-2	16.47 ^a	16.62 ^a	13.51 ^b	0.73	0.0239	0.0182	0.1012
Week 3-4	16.33	13.56	16.75	1.58	0.3441	0.8562	0.1578
Week 5-6	10.77	11.62	11.32	1.00	0.8370	0.7108	0.6527
Week 7-8	8.16	7.03	8.01	1.10	0.7407	0.9220	0.4546
Average daily feed intake (g)							
Week 0-2	68.24	68.16	65.84	1.47	0.4532	0.2767	0.5481
Week 3-4	79.27	77.98	80.64	2.83	0.8064	0.7400	0.5833
Week 5-6	83.05	78.76	79.90	4.56	0.7939	0.6390	0.6373
Week 7-8	84.57	87.76	83.93	3.45	0.7130	0.8988	0.4291
Feed conversion ratio							
Week 0-2	4.15	4.11	4.96	0.26	0.0738	0.0512	0.1899
Week 3-4	4.86	6.44	4.88	0.81	0.3292	0.9829	0.1468
Week 5-6	7.98	6.91	7.09	0.70	0.5339	0.3897	0.4850
Week 7-8	11.84	13.13	10.59	1.92	0.6605	0.6579	0.4377

Note: ^{a,b} Means in the same row with different superscript differ significantly ($p < 0.05$)

SEM = Standard error of the mean; Trt = Treatment; L = Linear; Q = Quadratic

4. การกินได้และการขับออกของโภชนะและพลังงานของอาหารที่ผสมกลีเซอรินดิบทดแทนเมล็ดข้าวโพดบด

การกินได้ของโภชนะและพลังงานของอาหารที่ผสมกลีเซอรินดิบที่ระดับ 0, 4 และ 8 เปอร์เซ็นต์ในสูตรอาหาร พบว่า การใช้กลีเซอรินดิบผสมในอาหารที่ระดับ 8 เปอร์เซ็นต์ ทำให้การกินได้ของวัตถุดิบ โปรตีนหยาบ อินทรียัดตุ้ คาร์โบไฮเดรต และพลังงานรวมลดลงจากกลุ่มควบคุม ($p < 0.05$) นอกเหนือจากนั้นยังพบว่า การกินได้ของไขมันและเยื่อใยหยาบสูงขึ้น ในส่วนการขับออกของโภชนะและพลังงานในช่วงอดอาหาร พบว่า การใช้กลีเซอรินดิบผสมในอาหารไม่ส่งผลต่อการอดอาหารของวัตถุดิบ โปรตีนหยาบ ไขมัน เยื่อใยหยาบ อินทรียัดตุ้ คาร์โบไฮเดรต และพลังงานรวม ($p > 0.05$) (Table 5)

Table 5 Effects of replacing ground corn with crude glycerin on nutrients and energy intake

Item	Crude glycerin (%)			SEM	p-Value
	0	4	8		
Nutrient and energy intake					
Dry matter (g/d)	75.20 ^a	72.42 ^{ab}	70.52 ^b	0.99	0.0078
Crude protein (g/d)	13.15 ^a	13.17 ^a	11.85 ^b	0.17	<.0001
Ether extract (g/d)	3.07 ^c	3.29 ^b	3.54 ^a	0.04	<.0001
Crude fiber (g/d)	4.65 ^b	4.07 ^c	5.74 ^a	0.06	<.0001
Organic matter (g/d)	68.49 ^a	65.87 ^{ab}	63.86 ^b	0.90	0.0040

Item	Crude glycerin (%)			SEM	p-Value
	0	4	8		
Nitrogen-free extract (g/d)	47.61 ^a	44.75 ^b	42.74 ^c	0.62	<.0001
Gross energy (kcal/kg)	318.85 ^a	309.24 ^{ab}	300.40 ^b	4.18	0.0140
Excretion of nutrients and energy during fasting					
Dry matter (g/d)	2.78	3.50	3.00	0.37	0.4014
Crude protein (g/d)	1.66	2.09	1.86	0.22	0.4267
Ether extract (g/d)	0.12	0.11	0.14	0.01	0.3077
Crude fiber (g/d)	0.37	0.42	0.27	0.04	0.0623
Organic matter (g/d)	2.43	2.83	2.53	0.30	0.6515
Nitrogen-free extract (g/d)	0.29	0.21	0.24	0.03	0.1521
Gross energy (kcal/kg)	13.14	15.30	13.89	1.66	0.6694

Note: ^{a, b, c} Means in the same row with different superscript differ significantly ($p < 0.05$)

5. การขับออกของโภชนะและพลังงานในช่วงการกินอาหารและการย่อยได้ที่แท้จริงของโภชนะของอาหารที่ผสมกลีเซอรินดิบทดแทนเมล็ดข้าวโพดบดในไก่พื้นเมือง

จาก Table 6 การขับออกของโภชนะและพลังงานในช่วงการกินอาหารในช่วงทดลองของอาหารที่ผสมกลีเซอรินดิบที่ระดับ 0, 4 และ 8 เปอร์เซ็นต์ในสูตรอาหาร พบว่า การใช้กลีเซอรินดิบผสมในอาหารไม่ส่งผลต่อการขับออกในช่วงการกินได้ของวัตถุดิบ โปรตีนหยาบ ไขมัน เยื่อใยหยาบ อินทรีย์วัตถุ คาร์โบไฮเดรต และพลังงานรวม ($p > 0.05$) นอกจากนี้ การใช้กลีเซอรินดิบที่ระดับ 0, 4 และ 8 เปอร์เซ็นต์ในสูตรอาหาร ยังไม่ส่งผลต่อการย่อยได้ที่แท้จริงของโภชนะ ได้แก่ วัตถุดิบ โปรตีนหยาบ ไขมัน และอินทรีย์วัตถุ ($p > 0.05$) อย่างไรก็ตาม การย่อยได้ที่แท้จริงของเยื่อใยหยาบ พบว่า มีปริมาณสูงขึ้นเมื่อมีการใช้กลีเซอรินที่ระดับ 8 เปอร์เซ็นต์ ($p < 0.05$) ในส่วนของการย่อยได้ที่แท้จริงของคาร์โบไฮเดรต พบว่า มีปริมาณลดลงเมื่อเทียบกับกลุ่มควบคุม ($p < 0.05$)

Table 6 Nutrient excretion and digestibility in native chickens

Item	Crude glycerin (%)			SEM	p-Value
	0	4	8		
Excretion of nutrients and energy during the feeding period					
Dry matter (g/d)	13.37	14.33	13.80	1.85	0.5705
Crude protein (g/d)	2.75	2.71	2.54	0.12	0.4241
Ether extract (g/d)	0.18	0.19	0.18	0.01	0.8503
Crude fiber (g/d)	2.82	3.01	2.90	0.13	0.5983
Organic matter (g/d)	10.10	10.73	10.25	0.46	0.6279
Nitrogen-free extract (g/d)	4.36	4.82	4.64	0.21	0.3025
Gross energy (kcal/kg)	46.01	48.65	46.41	2.09	0.6548
True nutrient digestibility					
Dry matter (g/d)	78.14	75.35	76.17	1.15	0.2466
Crude protein (g/d)	66.46	63.55	62.87	2.26	0.5087
Ether extract (g/d)	90.22	90.88	90.96	0.57	0.6001
Crude fiber (g/d)	31.40 ^b	15.72 ^c	44.77 ^a	2.98	<.0001
Organic matter (g/d)	81.70	79.41	80.00	0.95	0.2466
Nitrogen-free extract (g/d)	90.23 ^a	88.76 ^b	88.58 ^b	0.47	0.0357

Note: ^{a, b, c} Means in the same row with different superscript differ significantly ($p < 0.05$)

6. การประเมินไนโตรเจนที่ใช้ประโยชน์ได้ และการประเมินพลังงานที่ใช้ประโยชน์ได้ในอาหารไก่ที่ผสมกลีเซอรินดิบทดแทนเมล็ดข้าวโพดบดในไก่พื้นเมือง

การประเมินไนโตรเจนที่ใช้ประโยชน์ได้ โดยการผสมกลีเซอรินดิบที่ระดับ 0, 4 และ 8 เปอร์เซ็นต์ในสูตรอาหาร พบว่าปริมาณไนโตรเจนที่ไก่ได้รับและการปรับสมดุลไนโตรเจนมีปริมาณสูงขึ้นเมื่อมีการใช้กลีเซอรินดิบผสมในอาหารที่ 0 และ 4 เปอร์เซ็นต์ ($p < 0.05$) แต่ไม่ส่งผลต่อปริมาณไนโตรเจนที่ขับออก ($p > 0.05$) อย่างไรก็ตาม การประเมินพลังงานที่ใช้ประโยชน์ได้ในอาหาร พบว่า ไม่ส่งผลต่อพลังงานที่ใช้ประโยชน์ได้ปรากฏ พลังงานที่ใช้ประโยชน์ปรากฏปรับสมดุลไนโตรเจน พลังงานที่ใช้ประโยชน์ได้แท้จริง และพลังงานที่ใช้ประโยชน์ได้แท้จริงปรับสมดุลไนโตรเจน ($p > 0.05$) ดังแสดงใน Table 7

Table 7 Evaluation of nitrogen and energy utilization in Thai native chickens fed diets containing crude glycerin

Item	Crude glycerin (%)			SEM	p-Value
	0	4	8		
Nitrogen balance					
Nitrogen intake (g)	2.11 ^a	2.11 ^a	1.89 ^b	0.03	<.0001
Nitrogen excretion (g)	0.44	0.43	0.40	0.02	0.4128
Nitrogen balance (g)	1.67 ^a	1.68 ^a	1.49 ^b	0.03	0.0002
Metabolizable energy					
Apparent metabolizable energy (kcal/g)	3.63	3.60	3.60	0.03	0.7209
Apparent metabolizable energy corrected nitrogen balance (kcal/g)	3.44	3.41	3.43	0.03	0.6258
True metabolizable energy (kcal/g)	3.62	3.62	3.63	0.03	0.9928
True metabolizable energy corrected nitrogen balance (kcal/g)	3.59	3.58	3.59	0.03	0.9465

Note: ^{a, b} Means in the same row with different superscript differ significantly ($p < 0.05$)

7. ผลของกลีเซอรินดิบต่อน้ำหนักของอวัยวะในสัตว์ปีก

จากการศึกษาการใช้กลีเซอรินดิบในอาหารที่ระดับ 0, 4 และ 8 เปอร์เซ็นต์ พบว่า การใช้กลีเซอรินดิบที่ระดับ 4 และ 8 เปอร์เซ็นต์ ส่งผลให้กระเพาะพิกมีน้ำหนักที่เพิ่มขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับกลุ่มควบคุม ($p < 0.05$) อย่างไรก็ตามการใช้กลีเซอรินดิบในอาหารไม่ส่งผลต่อน้ำหนักของกระเพาะพิก กระเพาะแท้ ตับอ่อน กิน ลำไส้เล็กส่วนต้น ลำไส้เล็กส่วนกลาง ลำไส้เล็กส่วนท้าย ลำไส้ติ่งด้านซ้าย และลำไส้ใหญ่ ($p > 0.05$) นอกจากนี้ ยังพบว่า ลำไส้ติ่งด้านขวามีแนวโน้มที่ปริมาณน้ำหนักจะลดลงอีกด้วย (Table 8)

Table 8 Effect of crude glycerin on organ weights in poultry

Item	Crude glycerin (%)			SEM	p-Value
	0	4	8		
Crop (g)	3.40 ^b	4.39 ^{ab}	5.36 ^a	0.38	0.0060
Stomach (g)	5.50	5.53	5.57	0.34	0.7542
Pancreas (g)	2.86	2.29	2.31	0.44	0.5930
Gizzard (g)	41.51	37.82	33.73	3.44	0.5253
Duodenum (g)	10.56	9.83	9.51	0.92	0.7127
Jejunum (g)	15.88	16.11	12.81	1.77	0.3582
Ileum (g)	7.01	6.11	8.11	1.11	0.4568
Left cecum (g)	5.32	4.83	4.33	0.34	0.1531

Item	Crude glycerin (%)			SEM	p-Value
	0	4	8		
Right cecum (g)	4.65	4.36	3.65	0.42	0.0741
Large intestine (g)	3.03	2.63	2.49	0.39	0.5975

Note: ^{a,b} Means in the same row with different superscript differ significantly ($p < 0.05$)

8. ผลของกลีเซอรินดิบต่อความยาวของอวัยวะในสัตว์ปีก

จากการศึกษาการใช้กลีเซอรินดิบในอาหารที่ระดับ 0, 4 และ 8 เปอร์เซ็นต์ พบว่า การใช้กลีเซอรินดิบที่ระดับ 4 และ 8 เปอร์เซ็นต์ ส่งผลให้ตับอ่อนมีความยาวที่ลดลงเมื่อเปรียบเทียบกับกลุ่มควบคุม ($p < 0.05$) อย่างไรก็ตามการใช้กลีเซอรินดิบในอาหารไม่ส่งผลต่อน้ำหนักของกระเพาะพัก กระเพาะแท้ ตับอ่อน กิ่ง ลำไส้เล็กส่วนต้น ลำไส้เล็กส่วนกลาง ลำไส้ติ่งด้านซ้าย ลำไส้ติ่งด้านขวา และลำไส้ใหญ่ ($p > 0.05$) นอกจากนี้ ยังพบว่า การใช้กลีเซอรินดิบที่ระดับ 8 เปอร์เซ็นต์ มีแนวโน้มทำให้ลำไส้เล็กส่วนท้ายมีความยาวเพิ่มมากขึ้นอีกด้วย (Table 9)

Table 9 Effect of crude glycerin on the length of organs in poultry

Item	Crude glycerin (%)			SEM	p-Value
	0	4	8		
Crop (mm)	50.50	51.14	53.37	5.53	0.8635
Stomach (mm)	37.16	37.07	37.79	2.85	0.7800
Pancreas (mm)	175.98 ^a	134.45 ^b	125.38 ^b	12.85	0.0252
Gizzard (mm)	52.92	152.72	51.86	4.25	0.8499
Duodenum (mm)	420.53	453.53	409.80	47.26	0.7947
Jejunum (mm)	610.90	646.85	582.42	27.53	0.2746
Ileum (mm)	249.91	217.11	311.35	26.58	0.0594
Left cecum (mm)	172.50	168.65	162.25	9.59	0.7503
Right cecum (mm)	177.94	158.95	152.91	12.73	0.3665
Large intestine (mm)	94.46	82.14	94.52	8.56	0.5109

Note: ^{a,b} Means in the same row with different superscript differ significantly ($p < 0.05$)

9. ผลของกลีเซอรินดิบต่อความกว้างของอวัยวะในสัตว์ปีก

การใช้กลีเซอรินดิบในอาหารที่ระดับ 0, 4 และ 8 เปอร์เซ็นต์ พบว่า ไม่ส่งผลต่อความกว้างของกระเพาะพัก กระเพาะแท้ ตับอ่อน กิ่ง ลำไส้เล็กส่วนต้น ลำไส้เล็กส่วนกลาง ลำไส้เล็กส่วนท้าย ลำไส้ติ่งด้านซ้าย ลำไส้ติ่งด้านขวา และลำไส้ใหญ่ ($p > 0.05$) (Table 10)

Table 10 Effect of crude glycerin on the width of organs in poultry

Item	Crude glycerin (%)			SEM	p-Value
	0	4	8		
Crop (mm)	47.27	45.70	49.17	4.55	0.8653
Stomach (mm)	21.50	22.18	26.12	3.05	0.5490
Pancreas (mm)	6.56	7.21	7.65	0.60	0.4483
Gizzard (mm)	52.33	49.94	54.40	4.76	0.6896
Duodenum (mm)	20.16	18.97	22.03	1.12	0.1749
Jejunum (mm)	18.48	19.70	16.70	1.13	0.1937
Ileum (mm)	17.44	22.22	18.90	2.67	0.4469
Left cecum (mm)	9.73	8.65	8.94	0.85	0.6528

Right cecum (mm)	7.30	8.16	7.30	0.92	0.8027
Large intestine (mm)	11.77	13.75	11.70	2.06	0.7323

10. ผลของกลีเซอรินดิบต่อเส้นผ่านศูนย์กลางของอวัยวะในสัตว์ปีก

การใช้กลีเซอรินดิบในอาหารที่ระดับ 0, 4 และ 8 เปอร์เซ็นต์ พบว่า ไม่ส่งผลต่อเส้นผ่านศูนย์กลางของอวัยวะในสัตว์ปีก ได้แก่ กระเพาะพัก กระเพาะแท้ ตับอ่อน กึ้น ลำไส้เล็กส่วนต้น ลำไส้เล็กส่วนกลาง ลำไส้เล็กส่วนท้าย ไส้ตั้งด้านซ้าย ไส้ตั้งด้านขวา และลำไส้ใหญ่ ($p>0.05$) (Table 11)

Table 11 Effect of crude glycerin on the diameter of organs in poultry

Item	Crude glycerin (%)			SEM	p-Value
	0	4	8		
Crop (mm)	23.63	22.84	24.58	2.28	0.8655
Stomach (mm)	11.05	11.09	13.06	1.50	0.5178
Pancreas (mm)	3.28	3.61	3.68	0.32	0.6575
Gizzard (mm)	26.16	24.96	27.20	2.83	0.5769
Duodenum (mm)	10.088	9.36	11.01	1.12	0.1749
Jejunum (mm)	9.24	9.84	8.35	0.56	0.1942
Ileum (mm)	8.72	11.11	9.41	1.33	0.4401
Left cecum (mm)	4.86	4.32	4.46	0.42	0.6520
Right cecum (mm)	3.92	4.08	3.65	0.46	0.8019
Large intestine (mm)	5.88	6.87	5.84	1.03	0.7314

การอภิปรายผล

จากการศึกษาการใช้กลีเซอรินดิบที่ระดับ 0, 4 และ 8 เปอร์เซ็นต์ พบว่า ไม่ส่งผลต่ออัตราการเจริญเติบโตของไก่ในช่วง 4 ถึง 8 สัปดาห์ของการทดลอง ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Boonwong et al. (2013) ศึกษาการใช้กลีเซอรินดิบที่ระดับ 0, 2.5, 5, 7.5 เปอร์เซ็นต์ ในอาหารไก่เนื้อต่อการเปลี่ยนแปลงของน้ำหนักตัว ปริมาณการกินอาหาร ประสิทธิภาพการใช้ อาหาร และอัตราการเจริญเติบโตของไก่กระทง พบว่า ปริมาณการกินได้ไม่มีความแตกต่างกัน ($p>0.05$) อย่างไรก็ตาม การใช้กลีเซอรินดิบที่ระดับ 8 เปอร์เซ็นต์ในสัปดาห์ที่ 2 ของการทดลอง พบว่า อัตราการเจริญเติบโตเฉลี่ยต่อวันมีปริมาณลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) เนื่องจากปริมาณกลีเซอรินที่เพิ่มสูงขึ้นและใช้ภายในไก่เล็กจึงมีแนวโน้มที่อัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นน้ำหนักตัวสูงขึ้นตามไปด้วย นอกจากนี้ยังมีการศึกษาของ Settapong (2013) รายงานว่าไก่ในช่วงอายุที่ 2-3 สัปดาห์ ที่ได้รับกลีเซอรินดิบ 10 เปอร์เซ็นต์ มีปริมาณการกินได้ของอาหารที่สูงกว่ากลุ่มการทดลองอื่นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) อย่างไรก็ตาม ประสิทธิภาพการเจริญเติบโตไม่มีความแตกต่างกัน ($p>0.05$) โดยไก่ในช่วงอายุ 4-7 สัปดาห์ ที่ได้รับอาหารผสมกลีเซอรินดิบ 10 เปอร์เซ็นต์ มีปริมาณการกินได้ของอาหารและประสิทธิภาพการเจริญเติบโตสูงกว่ากลุ่มการทดลองอื่นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) แต่ไม่พบความแตกต่างในกลุ่มการทดลองที่ได้รับอาหารที่ใช้กลีเซอรินดิบที่ระดับ 0 และ 5 เปอร์เซ็นต์ เมื่อดูภาพรวมของไก่ในช่วงอายุ 2-7 สัปดาห์ พบว่า กลุ่มที่ได้รับอาหารผสมกลีเซอรินดิบ 10 เปอร์เซ็นต์ มีปริมาณการกินได้ของอาหารและประสิทธิภาพการเจริญเติบโตดีกว่ากลุ่มควบคุมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) แต่ไม่พบความแตกต่างทางสถิติระหว่างกลุ่มที่ได้รับอาหารผสมกลีเซอรินดิบ 5 เปอร์เซ็นต์ และกลุ่มควบคุม ($p>0.05$) อย่างไรก็ตาม Silva et al. (2012) ศึกษาการใช้กลีเซอรินดิบที่ระดับ 0, 2.5, 5, 7.5 และ 10 เปอร์เซ็นต์ พบว่า น้ำหนักสุดท้าย อัตราการกินได้ต่อวัน และอัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นน้ำหนักตัว สมรรถภาพการผลิตโดยรวมไม่มีความแตกต่างกัน ซึ่งเป็นไปในแนวทางเดียวกับ Silva et al. (2019) ที่รายงานว่าการเสริมกลีเซอรินดิบในสูตรอาหารไก่ที่ระดับ 0, 2.4 และ 6 เปอร์เซ็นต์ น้ำหนักตัวที่เพิ่มขึ้น และน้ำหนักสุดท้ายในผลการทดลองไม่มีความแตกต่างกัน ($p>0.05$) นอกจากนี้ Topal และ Ozdogan (2013) แนะนำให้ใช้กลีเซอรินที่ระดับ 4 และ 8 เปอร์เซ็นต์ ในการเลี้ยงไก่เนื้อตั้งแต่ 0 ถึง 21 วัน

เนื่องจากน้ำหนักตัวเพิ่มขึ้นและอัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นน้ำหนักตัวดีขึ้น อย่างไรก็ตามมีการศึกษาการใช้กลีเซอรินดิบเพื่อทดแทนข้าวโพดที่ระดับ 0, 5, 10 และ 15 เปอร์เซ็นต์ พบว่า ไม่ส่งผลกระทบต่อประสิทธิภาพการเจริญเติบโต การย่อยได้ น้ำหนักอวัยวะ ผลผลิตซาก รวมไปถึงการเผาผลาญอาหารของไก่ จึงอาจกล่าวได้ว่ากลีเซอรินสามารถใช้ได้ถึง 15 เปอร์เซ็นต์ (Carvalho et al., 2024)

ในส่วนของการศึกษาการใช้กลีเซอรินดิบต่อการย่อยได้ของโภชนะและพลังงานที่ระดับ 0, 4 และ 8 เปอร์เซ็นต์ในอาหาร พบว่า ไม่ส่งผลต่อการย่อยได้ที่แท้จริงของวัตถุดิบ โปรตีนหยาบ อินทรีย์วัตถุ และพลังงานรวม ซึ่งไม่สอดคล้องกับ Sopian et al. (2019) ศึกษาผลการใช้กลีเซอรินดิบในสูตรอาหารต่อค่าพลังงานและสัมประสิทธิ์การย่อยได้ที่ใช้กลีเซอรินดิบแตกต่างกัน 3 ระดับ คือ 0, 5 และ 10 เปอร์เซ็นต์ พบว่า การใช้ที่ระดับ 10 เปอร์เซ็นต์ ในสูตรอาหาร ไม่มีผลทำให้ค่าเมแทบอลิซึมที่ปรากฏ วัตถุดิบ โปรตีน อินทรีย์วัตถุ และพลังงานรวมแตกต่างกัน ($p>0.05$) แต่การใช้ในสูตรอาหาร 10 เปอร์เซ็นต์ มีผลทำให้เอนไซม์ที่มีค่าสัมประสิทธิ์ของการย่อยได้ที่ปรากฏของไขมันสูงกว่ากลุ่มควบคุมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) อย่างไรก็ตาม การใช้กลีเซอรินดิบสามารถใช้งานได้ถึง 5 เปอร์เซ็นต์ โดยไม่มีผลต่อค่าสัมประสิทธิ์การย่อยได้ที่ปรากฏของอาหาร โดยผลกระทบของการใช้กลีเซอรินดิบที่มากขึ้นในอาหารอาจเกี่ยวข้องกับกระบวนการดูดซึมกลีเซอรินและการเมแทบอลิซึมโดยสังเกตการย่อยได้ที่เพิ่มขึ้น นอกจากนี้การเพิ่มกลีเซอรินในอาหารอาจทำให้สัตว์ใช้ประโยชน์ได้ไม่เต็มประสิทธิภาพเมื่อให้ในปริมาณที่มากขึ้น เนื่องจากเกิดความอึดตัวของเอนไซม์ อย่างไรก็ตามความสามารถในการย่อยได้ของอาหารยังได้รับอิทธิพลจากอายุที่เพิ่มขึ้น ระดับการใช้กลีเซอริน และสุขภาพอีกด้วย และจากการศึกษาพบว่า กลีเซอรินดิบที่เป็นแหล่งพลังงานสำหรับสัตว์ปีกมีการย่อยได้สูง โดยมีค่าพลังงานที่ใช้ประโยชน์ได้ตั้งแต่ 3,069 ถึง 4,839 กิโลแคลอรีต่อกิโลกรัม (Batista, 2010) นอกจากนี้กลีเซอรินที่สัตว์ได้รับในระดับสูงจะนำไปสู่การย่อยได้ที่ลดลง เนื่องจากกลีเซอรินจะถูกเผาผลาญอย่างรวดเร็ว โดยกลีเซอรอลส่วนใหญ่จะถูกเปลี่ยนเป็นกลูโคสในตับ ซึ่งกลีเซอรอลมีบทบาทสำคัญในการเผาผลาญพลังงานของร่างกายโดยการสร้างกลูโคเจนและไขมัน และการสร้างไขมัน (Lammers et al., 2008) และในส่วนของการใช้กลีเซอรินดิบทดแทนเมล็ดข้าวโพดต่อการเปลี่ยนแปลงระบบทางเดินอาหารสัตว์ปีกที่ระดับ 0, 4 และ 8 เปอร์เซ็นต์ พบว่า ในการใช้กลีเซอรินดิบที่ระดับ 4 และ 8 เปอร์เซ็นต์ ไม่ส่งผลกระทบต่อกระเพาะแท้ ตับอ่อน ก้น ลำไส้เล็กส่วนต้น ลำไส้เล็กส่วนกลาง ลำไส้เล็กส่วนปลาย ลำไส้ติ่งด้านซ้าย ลำไส้ติ่งด้านขวา และลำไส้ใหญ่ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) และนอกเหนือจากนั้นยังพบว่า การใช้กลีเซอรินดิบที่ระดับ 8 เปอร์เซ็นต์ส่งผลให้ลำไส้เล็กส่วนปลายมีความยาวเพิ่มมากขึ้น เนื่องจากกลีเซอรินสามารถดูดซึมที่ลำไส้เล็กได้โดยตรงและลำไส้เล็กยังเป็นส่วนแรกในการได้รับสารอาหาร ซึ่งอาจมีส่วนทำให้ลำไส้เล็กส่วนปลายมีขนาดที่ยาวขึ้นจากการเติมกลีเซอรินในระดับที่สูงขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Ozdogan et al. (2014) ศึกษาการเสริมกลีเซอรินดิบที่ระดับ 0, 4 และ 8 เปอร์เซ็นต์ เป็นเวลา 42 วัน พบว่า ไม่ส่งผลกระทบต่อความหนาของลำไส้ส่วนต้นและลำไส้ส่วนปลาย และในขณะเดียวกัน Kokoszynski et al. (2017) รายงานว่าความยาวของหลอดอาหาร ลำไส้เล็ก ลำไส้ติ่ง และลำไส้ใหญ่ไม่มีความแตกต่างกัน นอกจากนี้การใช้กลีเซอรินดิบที่ระดับ 4 และ 8 เปอร์เซ็นต์ ส่งผลให้ความยาวของตับลดลง ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Bras (2019) ที่ศึกษาการเสริมกลีเซอรินดิบที่ระดับ 0, 2, 4 และ 6 เปอร์เซ็นต์ ในอาหารไก่เนื้อเป็นเวลา 42 วัน พบว่า น้ำหนักหรือความยาวของลำไส้ ตับ และก้นลดลง ในขณะเดียวกันมีการรายงานว่า การเติมกลีเซอรินในอาหารไม่มีผลต่อน้ำหนักของอวัยวะภายในของไก่เนื้อตัวผู้และตัวเมีย ยกเว้นน้ำหนักหัวใจของไก่ตัวผู้ในกลุ่มที่เติมกลีเซอริน 8 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งพบว่า กลีเซอรินที่มากเกินไปในอาหารสามารถกระตุ้นให้อวัยวะต่าง ๆ ปรับตัวทางกายวิภาค สรีรวิทยา และชีวเคมีได้ (Kim et al., 2013) อย่างไรก็ตามกลีเซอรินสามารถดูดซึมในลำไส้ของสัตว์ปีกมากกว่า 97 เปอร์เซ็นต์ (Bartlet & Schneider, 2002) และเมื่อถูกดูดซึมในลำไส้แล้วจะถูกเปลี่ยนเป็นกลูโคสโดยกระบวนการกลูโคเจนซิส (Emmanuel et al., 1983) หรือการนำไปออกซิเดชันเพื่อผลิตพลังงานผ่านกระบวนการไกลโคไลซิสและวัฏจักรซิตริก (Belizário et al., 2018)

บทสรุป

การใช้กลีเซอรินดิบที่ระดับ 0, 4 และ 8 เปอร์เซ็นต์ในสูตรอาหาร ไม่ส่งผลต่ออัตราการเจริญเติบโต และต้นทุนการผลิตตลอดระยะเวลาทดลอง อย่างไรก็ตาม การใช้กลีเซอรินดิบต่อไก่เล็กในช่วงสัปดาห์ที่ 2 ของการทดลอง พบว่า การใช้กลีเซอรินดิบที่ระดับ 8 เปอร์เซ็นต์ ส่งผลให้อัตราการเจริญเติบโตเฉลี่ยต่อวันลดลง นอกจากนี้พบว่า การกินได้ของไขมัน การกินได้ของเยื่อใยหยาบ และการย่อยได้ที่แท้จริงของเยื่อใยหยาบสูงขึ้น ในขณะเดียวกันการย่อยได้ที่แท้จริงของคาร์โบไฮเดรต

ปริมาณไนโตรเจนที่ไก่ได้รับ และสมดุลไนโตรเจนลดลง อย่างไรก็ตามการใช้กลีเซอรินดิบที่ระดับ 4 และ 8 เปอร์เซ็นต์ส่งผลให้กระเพาะปัสสาวะมีน้ำหนักที่เพิ่มมากขึ้น แต่ส่งผลให้ความยาวของตับ และน้ำหนักของไส้ติ่งด้านขวาลดลง ผลการศึกษานี้แสดงให้เห็นว่าถ้าหากใช้กลีเซอรินดิบเกิน 8 เปอร์เซ็นต์ในสูตรอาหาร อาจส่งผลกระทบต่อประสิทธิภาพการเจริญเติบโตได้ โดยผลกระทบของการใช้กลีเซอรินดิบในอาหารอาจเกี่ยวข้องกับอายุ ระดับการใช้ สายพันธุ์ และสุขภาพ ดังนั้นควรมีศึกษาปริมาณการใช้ที่เหมาะสมกับสัตว์แต่ละช่วงอายุ

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณแผนกไก่พื้นเมือง สาขาสัตวศาสตร์ คณะเกษตรศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน วิทยาเขตสุรินทร์ ซึ่งได้อำนวยความสะดวกด้านสถานที่ในการทำการทดลอง ขอขอบคุณบริษัท วีรสุวรรณ จำกัด ที่อนุเคราะห์กลีเซอรินดิบ และขอขอบคุณศูนย์วิจัยและพัฒนาอาหารสัตว์นครราชสีมา สำนักพัฒนาอาหารสัตว์ กรมปศุสัตว์ ซึ่งได้อำนวยความสะดวกด้านตรวจสอบวิเคราะห์ค่าโภชนะในอาหารของสัตว์

เอกสารอ้างอิง

- Abd-Elsamee, M. O., Abdo, Z. M. A., El-Manyawi, M. A. F., & Salim, I. H. (2010). Use of crude glycerine in broiler diets. *Egyptian Poultry Science*, 30(1), 281–295.
- Bartlet, J., & Schneider, D. (2002). Investigation on the energy value of glycerol in the feeding of poultry and pig. Union for the promotion of oilseeds. *Schriften Heft*, 17(17), 15–36.
- Batista, E. (2010). Nutritional evaluation of glycerol from biodiesel in growing quails (*Coturnix coturnix* sp) (Unpublished master's thesis, State University of Maringá).
- Belizário, J. E., Faintuch, J., & Garay-Malpartida, M. (2018). Gut microbiome dysbiosis and immunometabolism: New frontiers for treatment of metabolic diseases. *Mediators of Inflammation*, 1–12.
- Boonwong, N., Jarusjarungkait, C., Chanta, T., Tongprasom, S., & Wattanachant, C. (2013). Effect of crude glycerin supplementation on growth performance and carcass characteristics. *Agricultural Sci. J.* 44(Suppl 1), 151-154. (In Thai)
- Brambilla, S., & Hill, F. W. (1966). Composition of neutral fat and free fatty acids in high lipid low carbohydrates diets for growing chicken. *The Journal of Nutrition*, 88, 84-92.
- Bras, R. (2019). Purified glycerin in balanced diets of broiler chickens treated from 1 to 42 days of age. *Brazilian Journal of Animal Science*, 48, e20180205.
- Carvalho, E. D. A., Silva, W. J. D., Rodrigues, D. R., Santos, L. F. D., Rezende, C. F., Vieites, F. M., dos Santos, F. R., Silva, F. G., & Minafra, C.S. (2024). Effects of increasing glycerin levels in broiler chickens. *Metabolites*, 14(6), 308-323.
- Emami, N. K., Jung, U., Voy, B., & Dridi, S. (2020). Radical response: Effects of heat stress-induced oxidative stress on lipid metabolism in the avian liver. *Antioxidants*, 10(1), 35.
- Emmanuel, B., Berzins, R., & Robblee, A. R. (1983). Rates of entry of alanine and glycerol and their contribution to glucose synthesis in fasted chickens. *British Poultry Science*, 24(4), 565–571.
- FAO (Food and Agriculture Organization). (2014). *Poultry and nutrition and feed*. http://www.fao.org/ag/againfo/themes/en/poultry/AP_nutrition.html.
- Kim, J. H., Seo, S., Kim, C. H., Kim, J. W., Lee, B. B., Lee, G. I., Shin, H. S., Kim, M. C., & Kil, D. Y. (2013). Effect of dietary supplementation of crude glycerol or tallow on intestinal transit time and utilization of energy and nutrients in diets fed to broiler chickens. *Livestock Science*, 154, 165–168.

- Kokoszynski, D., Bernacki, Z., Saleh, M., Steczny, K., & Binkowska, M. (2017). Body conformation and internal organs characteristics of different commercial broiler lines. *Brazilian Journal of Poultry Science*, 19, 47-52.
- Lammers, P. J., Kerr, B. J., Honeyman, M. S., Stalder, K., Dozier, W. A., Weber, T. E., Kidd, M. T., & Bregendahl, K. (2008). Nitrogen-corrected apparent metabolizable energy value of crude glycerol for laying hens. *Poultry Science*, 87(1), 104–107.
- Leite, R. G., Corassa, A., Silva, D. R., & Santos, T. I. S. (2017). Implicações do uso da glicerina na alimentação de suínos em terminação: Revista. *Scientia Agraria Paranaensis*, 16, 13–20.
- Luo, X., Ge, X., Cui, S., & Li, Y. (2016). Value-added processing of crude glycerol into chemicals and polymers. *Bioresource Technology*, 215, 144–154.
- McLea, L., Ball, M. E. E., Kilpatrick, D., & Elliott, C. (2011). The effect of glycerol inclusion on broiler performance and nutrient digestibility. *British Poultry Science*, 52(3), 368–375.
- Ozdogan, M., Topal, E., Paksuz, E. P., & Kirkan, S. (2014). Effect of different levels of crude glycerol on the morphology and some pathogenic bacteria of the small intestine in male broilers, *Animal*, 8(1), 36-42.
- Settapon, A. (2013). The use of crude glycerin in broiler as feed ingredient (Master's thesis, Prince of Songkhla University). PSU Knowledge Bank. Prince of Songkhla University Library. (In Thai). Retrieved from <https://core.ac.uk/reader/32429132>
- Silva, C. L. S., Menten, J. F. M., Traldi, A. B., Pereira, R., Zavarize, K. C., & Santarosa, J. (2012). Glycerin derived from biodiesel production as a feedstuff for broiler diets. *Brazilian Journal of Poultry Science*, 14, 193-202.
- Silva, M. C., Vaz, R. G. M. V., Rodrigues, K. F., Stringhini, J. H., Sousa, L. F., Fonseca, F. L. R., Augusto, W. F., & Bezerra, L. S. (2019). Purified glycerin in balanced diets of broiler chickens treated from 1 to 42 days of age. *Brazilian Journal of Animal Science*, 48, e2018-02-05.
- Sopian, Y., Wattanasit, S., & Wattanachant, C. (2019). Effect of crude glycerin supplementation on energy and nutrient digestibility diets fed to Betong chickens. *Khon Kaen Agriculture Journal*, 47(1), 429-434.
- Thompson, J. C., & He, B. B. (2006). Characteristics of crude glycerol from biodiesel production from multiple feed stock. *Applied Engineering in Agriculture*, 22, 261-265.
- Topal, E., & Ozdogan, M. (2013). Effects of glycerol on the growth performance, internal organ weights, and drumstick muscle of broilers. *Journal of Applied Poultry Research*, 22(1), 146–151.
- Yang, F., Hanna, M. A., & Sun, R. (2012). Value-added uses for crude glycerol- a by- product of biodiesel production. *Biotechnology for Biofuels*, 5(1), 1–10.
- Zavarize, K. C., Menten, J. F. M., Pereira, R., Freitas, L. W., Romano, G. G., Bernardino, M., & Rosa, A. S. (2014). Metabolizable energy of different glycerin sources derived from national biodiesel production for broilers. *Brazilian Journal of Poultry Science*, 16(4), 411–416.

Received: October 2, 2024; Revised: March 4, 2025; Accepted: March 31, 2025

ผลของการเสริมวิตามินอีในอาหารต่อคุณภาพน้ำเชื้อและอัตราการผสมติดในไก่พื้นเมือง
The effect of dietary vitamin E supplementation on semen quality
and fertility rate in native chicken

สุจิตรา ทิพย์ศรีราช¹ อมรรัตน์ สุวรรณโพธิ์ศรี¹ พัชรา บำรุง¹และทิพย์วดี ประไพวงษ์^{1*}Sujitra Thipsrirach¹, Amornrat Suwanposri¹, Patchara Bamrung¹and Tipwadee Prapaiwong^{1*}

¹คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรมและการเกษตร มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก วิทยาเขตจันทบุรี จังหวัดจันทบุรี

¹Faculty of Agro-industrial Technology, Rajamangala University of Technology Tawan-ok, Chanthaburi campus, Chanthaburi Province

*Corresponding Author E-mail Address : Tipwadee_pr@mutto.ac.th

บทคัดย่อ

การทดลองในครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลของวิตามินอีต่อคุณภาพน้ำเชื้อและอัตราการผสมติดในไก่พื้นเมือง แบ่งการทดลองออกเป็น 2 ส่วน ดังนี้ ส่วนที่ 1 ผลของการเสริมวิตามินอีในอาหารต่อคุณภาพน้ำเชื้อ ใช้ไก่พื้นเมืองพ่อพันธุ์อายุ 1-2 ปี จำนวน 12 ตัว ทำการรีดน้ำเชื้อสัปดาห์ละ 2 ครั้ง เป็นเวลา 12 สัปดาห์ แบ่งเป็น 3 กลุ่มทดลอง ดังนี้ การเสริมวิตามินอีที่ระดับ 0, 50 และ 100 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมอาหาร จากการศึกษาพบว่า การเคลื่อนที่ไปข้างหน้า อสุจิมีชีวิต และความเข้มข้นของน้ำเชื้อ ในกลุ่มที่มีการเสริมวิตามินอีทุกระดับมีค่ามากกว่ากลุ่มควบคุม ($p < 0.05$) อสุจิรูปร่างผิดปกติของกลุ่มที่เสริมวิตามินอีทุกระดับมีค่าน้อยกว่ากลุ่มควบคุม ($p < 0.05$) และปริมาณน้ำเชื้อของกลุ่มที่เสริมวิตามินอีที่ระดับ 100 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมอาหาร มีปริมาณมากที่สุด ส่วนที่ 2 ผลของการเสริมวิตามินอีในอาหารต่ออัตราการผสมติด ใช้แม่พันธุ์ไก่พื้นเมืองอายุ 8-12 เดือน จำนวน 36 ตัว แบ่งเป็น 3 กลุ่มทดลอง ดังนี้ การเสริมวิตามินอีที่ระดับ 0, 50 และ 100 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมอาหาร และแต่ละกลุ่มจะได้รับการผสมจากน้ำเชื้อที่ได้จากพ่อพันธุ์ที่ได้รับการเสริมวิตามินอีในระดับเดียวกัน จากการศึกษาพบว่า อัตราการผสมติด และอัตราการฟักออกของไข่มีเชื้อทั้งหมดในกลุ่มที่มีการเสริมวิตามินอีที่ระดับ 100 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมอาหาร มีค่ามากกว่าทุกกลุ่ม ($p < 0.05$) ในขณะที่ไข่เชื้อตายมีเปอร์เซ็นต์น้อยที่สุด จากการทดลองแสดงให้เห็นว่าการเสริมวิตามินอีส่งผลให้ประสิทธิภาพทางการสืบพันธุ์ของไก่พื้นเมืองเพิ่มขึ้นทั้งในเพศผู้และเพศเมีย

คำสำคัญ: วิตามินอี คุณภาพน้ำเชื้อ อัตราการผสมติด ไก่พื้นเมือง

Abstract

The objective of this study was to investigate the effect of vitamin E supplementation on semen quality and fertility rate in Thai native chickens. The experiment was divided into two parts as follows: Part 1: The effect of dietary vitamin E supplementation on semen quality. Twelve Thai native roosters aged 1–2 years were used. Semen was collected twice a week for 12 weeks. The roosters were divided into three treatment groups receiving dietary vitamin E at levels of 0, 50, and 100 mg/kg of feed. The results showed that forward

motility, sperm viability, and semen concentration were significantly higher in all vitamin E-supplemented groups compared to the control group ($p < 0.05$). The percentage of abnormal sperm was significantly lower in all vitamin E-supplemented groups ($p < 0.05$). Moreover, the semen volume was highest in the group supplemented with 100 mg/kg of vitamin E. Part 2: The effect of dietary vitamin E supplementation on fertility rate. Thirty-six Thai native hens aged 8–12 months were used. They were divided into three treatment groups receiving vitamin E at levels of 0, 50, and 100 mg/kg of feed. Each group was inseminated with semen obtained from roosters that had been supplemented with the same level of vitamin E. The study found that the fertility rate and hatchability of fertile eggs were significantly higher in the group supplemented with 100 mg/kg of vitamin E ($p < 0.05$), while the percentage of embryonic mortality was the lowest. In conclusion, the results of this study indicate that vitamin E supplementation enhances reproductive performance in both male and female Thai native chickens.

Keywords: Vitamin E, Semen quality, Fertility rate, Native chicken

บทนำ

ไก่พื้นเมือง (Indigenous chicken หรือ Native chicken) มีชื่อวิทยาศาสตร์ว่า *Gallus gallus domesticus* หรือ *Gallus domesticus* เป็นสัตว์เศรษฐกิจที่มีความสำคัญต่อวิถีชีวิตของคนไทยมาช้านาน ทั้งในด้านเศรษฐกิจ วัฒนธรรม และความหลากหลายทางชีวภาพ ไก่พื้นเมืองถูกเลี้ยงอย่างแพร่หลายในเกือบทุกครัวเรือน โดยเฉพาะในชนบท เนื่องจากเลี้ยงง่าย ต้นทุนต่ำ ทนทานต่อโรค และสามารถปรับตัวเข้ากับสภาพแวดล้อมท้องถิ่นได้ดี ประกอบกับเนื้อไก่พื้นเมืองมีรสชาติที่เป็นเอกลักษณ์และเป็นที่ยอมรับโดยทั่วไป ทำให้ไก่พื้นเมืองเป็นแหล่งรายได้สำคัญของเกษตรกรในระดับครัวเรือน เกษตรกรรายย่อยส่วนใหญ่ยังนิยมเลี้ยงไก่พื้นเมืองแบบปล่อยตามธรรมชาติ ทำให้ประสบปัญหาในเรื่องอัตราการผสมติดต่ำ โดยใน 1 ปี ไก่พื้นเมืองให้ผลผลิตไข่ 3-5 ชุด ไข่เฉลี่ย 39.14 ฟอง หรือ 10-15 ฟองต่อชุด โดยเฉพาะในช่วงฤดูร้อนจะพบว่าความสามารถในการผลิตลูกไก่มีปริมาณน้อยกว่าช่วงอื่น ๆ โดยแม่ไก่ 1 ตัว มีจำนวนลูกไก่ 24.84 ตัว คิดเป็น 63.46 เปอร์เซ็นต์ มีอัตราการฟักออก 61.17 เปอร์เซ็นต์ (Tangtaweewipat et al., 2004; Pimcomelai et al., 2006) และได้มีงานวิจัยที่ศึกษาระบบการเลี้ยงต่อการให้ผลผลิตเพื่อส่งเสริมให้เกษตรกรเลี้ยงเชิงการค้าเพิ่มมากขึ้น เช่น การศึกษาของ Tangtaweewipat et al. (2004) ที่รายงานว่า การเลี้ยงแบบขังให้ไก่พื้นเมืองกินอาหารไก่ไข่ การเลี้ยงแบบปล่อยพื้นหากินตามธรรมชาติแล้วเสริมด้วยปลายข้าวและรำ พบว่า ไก่ให้ไข่จำนวน 10.30 ± 1.20 และ 9.80 ± 1.10 ฟองต่อชุด และมีอัตราการฟักออก 72.10 ± 11.80 และ 75.70 ± 8.70 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ และ Lertsansiri et al. (2015) ทำการศึกษาการเลี้ยงไก่สายพันธุ์ประดู่หางดำ มช.55 โดยการเปรียบเทียบการเลี้ยงแบบปล่อยธรรมชาติ เลี้ยงแบบขังกรง และเลี้ยงแบบกึ่งขังกึ่งปล่อย พบว่า ไก่พื้นเมืองมีอัตราการให้ไข่ 82.50, 88.25 และ 92.25 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ แต่มีค่าอัตราการผสมติดเพียง 65.97, 54.86 และ 63.89 เปอร์เซ็นต์ นอกจากนี้แล้วสำหรับเกษตรกรโดยทั่วไปที่เลี้ยงไก่แบบปล่อยธรรมชาติมักจะใช้ข้าวเปลือกและปลายข้าวเป็นอาหารหลักในการเลี้ยงไก่ ไม่ได้มีการเสริมโปรตีน วิตามิน และแร่ธาตุแต่อย่างใด (Tangtaweewipat et al., 2004; Laopaiboon and Duangjinda, 2012) อีกทั้งในช่วงฤดูร้อนปริมาณอาหารตามธรรมชาติมักจะมีน้อยทำให้ไก่ได้รับสารอาหารไม่เพียงพอ โดยเฉพาะวิตามินที่มีความสำคัญในการพัฒนาระบบสืบพันธุ์ของสัตว์ ได้แก่ วิตามินเอ และวิตามินอี วิตามินสองชนิดนี้เป็นสารต้านอนุมูลอิสระ (Antioxidant) ซึ่งมีส่วนสำคัญที่ทำให้เซลล์ในน้ำเชื้อมีความแข็งแรง โดยวิตามินเอจะมีความสำคัญในกระบวนการสร้างอสุจิ (Khan, 2011) ส่วนวิตามินอีพบว่า ถ้าขาดแล้วจะทำให้สัตว์นั้นเป็นหมัน (Sriboonlue et al., 1997)

วิตามินอีหรือ โทโคเฟอรอล (Tocopherol) สามารถพบในธรรมชาติได้ 4 รูปแบบ คือ แอลฟา (α), บีตา (β), แกมมา (γ) และเดลตา (δ) โดยรูปแบบที่ว่องไว (Active) ที่สุดคือ α (Sriboonlue et al., 1997) แอลฟา-โทโคเฟอรอลเป็นรูปแบบที่มีฤทธิ์ทางชีวภาพมากที่สุดและพบว่า มีปริมาณสูงในน้ำมันพืช ธัญพืชที่ไม่ผ่านการแปรรูป และถั่ว (Horwitt, 1986) วิตามินอีเป็น

สารอาหารที่มีบทบาทสำคัญต่อการทำงานของระบบสืบพันธุ์ของสัตว์ โดยเฉพาะในด้านการส่งเสริมความแข็งแรงและคุณภาพของเซลล์สืบพันธุ์ การทำหน้าที่เป็นสารต้านอนุมูลอิสระของวิตามินอีช่วยป้องกันเยื่อหุ้มเซลล์มิให้ถูกออกซิไดซ์และปกป้องเซลล์ต่าง ๆ ในร่างกาย รวมถึงเซลล์สืบพันธุ์จากการถูกทำลาย ทำให้อสุจิในไก่ตัวผู้มีความแข็งแรงและมีชีวิตชีวา นอกจากนี้ยังช่วยเพิ่มอัตราการผสมติดและการพัฒนาของระบบสืบพันธุ์ในไก่ตัวเมีย การขาดวิตามินอีอาจทำให้ไก่ประสบปัญหาในการสืบพันธุ์ทั้งเพศผู้และเพศเมีย เช่น การผลิตอสุจิลดลง ความสามารถในการฟักไข่ต่ำลง หรือแม้กระทั่งทำให้เป็นหมัน การที่สัตว์ปีกได้รับวิตามินอีในปริมาณปานกลางจะช่วยปกป้องคุณภาพของน้ำเชื้อในเพศผู้และคุณภาพของไข่ในเพศเมีย โดยทำให้การเกิดลิฟต์เปอร์ออกซิเดชันในน้ำเชื้อและไข่ลดลง (Rengaraj & Hong, 2015) จากการศึกษาของ Surai et al. (1997) พบว่า ไก่โรดไอแลนด์เรดเพศผู้อายุ 6 เดือน ที่ได้รับอาหารที่มีอัลฟา-โทโคฟีรอลอะซิเตทในปริมาณ 0, 20, 200 หรือ 1,000 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม เป็นเวลา 8 สัปดาห์ ในช่วงสองสัปดาห์สุดท้าย ไก่ที่ได้รับอัลฟา-โทโคฟีรอลอะซิเตท 200 มิลลิกรัม จะมีระดับความเข้มข้นของวิตามินอีในน้ำเชื้อเพิ่มขึ้นเป็นสองเท่า และความไวต่อการเกิดลิฟต์เปอร์ออกซิเดชันของอสุจิลดลง และ Zanini et al. (2003) ศึกษาการเสริมวิตามินอีที่ระดับ 0, 30, 200 และ 400 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ในไก่พันธุ์ไวท์เล็กฮอร์นอายุ 30 สัปดาห์ เป็นเวลา 8 สัปดาห์ พบว่า ปริมาณน้ำเชื้อ การเคลื่อนที่ และความแข็งแรงของอสุจิ ของกลุ่มที่เสริมวิตามินอีเพิ่มขึ้นสูงกว่ากลุ่มที่ไม่ได้เสริมวิตามินอี จากงานวิจัยข้างต้นแสดงให้เห็นว่า วิตามินอีมีความสำคัญอย่างยิ่งในการส่งเสริมการสืบพันธุ์ที่มีประสิทธิภาพในไก่ โดยช่วยปกป้องคุณภาพของน้ำเชื้อ โดยเฉพาะอย่างยิ่งการป้องกันการสลายตัวของกรดไขมันไม่อิ่มตัวเชิงซ้อน ซึ่งอาจทำให้เกิดความเสียหายจากออกซิเดชัน การเสริมวิตามินอีในอาหารจึงเป็นอีกวิธีหนึ่งในการพัฒนาคุณภาพการผลิต โดยเฉพาะในการเพาะพันธุ์ไก่พื้นเมืองเพื่อการค้า อีกทั้งในปัจจุบันยังไม่พบงานวิจัยในเรื่องการเสริมวิตามินอีต่อประสิทธิภาพการสืบพันธุ์ในไก่พื้นเมืองไทยเลย ดังนั้นผู้วิจัยจึงสนใจศึกษาในประเด็นนี้ โดยการศึกษาครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลของการเสริมวิตามินอีต่อคุณภาพน้ำเชื้อและอัตราการผสมติดในไก่พื้นเมือง เนื่องจากการเพิ่มประสิทธิภาพในการให้ผลผลิตของไก่พื้นเมือง ได้แก่ จำนวนไข่ อัตราการผสมติด อัตราการฟักออก และอัตราการรอดของลูกไก่ ถือเป็นประเด็นที่มีความสำคัญต่อการพัฒนาอุตสาหกรรมการเลี้ยงไก่พื้นเมืองเชิงพาณิชย์ เพราะผลผลิตที่ดีจะช่วยเพิ่มความสามารถในการแข่งขันของเกษตรกรไทยต่อไปในอนาคต

วัสดุ อุปกรณ์ และวิธีการ

1. การศึกษาด้านคุณภาพน้ำเชื้อ

1.1 สัตว์ทดลอง ใช้ไก่พื้นเมืองพ่อพันธุ์โคลอสายพันธุ์ อายุ 1-2 ปี จำนวน 12 ตัว เลี้ยงในสุ่มไก่ขนาด 104-107x70 เซนติเมตร ในโรงเรือนระบบเปิด ไก่พื้นเมืองพ่อพันธุ์จะได้รับอาหารไก่พื้นเมืองสำเร็จรูปทางการค้าที่มีองค์ประกอบดังนี้ โปรตีน 14 เปอร์เซ็นต์ ไขมันไม่น้อยกว่า 2 เปอร์เซ็นต์ กากไม่มากกว่า 7 เปอร์เซ็นต์ ความชื้นไม่มากกว่า 13 เปอร์เซ็นต์ โดยมีส่วนผสมของข้าวโพดปน ฟางข้าว กากน้ำตาล น้ำมันพืช แร่ธาตุ กรดอะมิโน โคลีน และคลอไรด์ เป็นอาหารพื้นฐาน และทำการเสริมวิตามินอีตามกลุ่มทดลองที่กำหนดไว้ ไก่จะได้รับอาหาร 125 กรัมต่อตัวต่อวัน วันละ 2 ครั้ง (เช้า-เย็น) และได้รับน้ำสะอาดตลอดเวลา อุณหภูมิและแสงสว่างเป็นไปตามธรรมชาติ ไก่ทุกตัวที่ใช้ในการทดลองนี้ได้รับการฝึกให้คุ้นเคยกับการรีดน้ำเชื้อเป็นเวลา 2 สัปดาห์ และต้องสามารถรีดน้ำเชื้อได้ทุกตัวก่อนเข้างานทดลอง

1.2 แผนการทดลอง ทำการสุ่มสัตว์เข้าแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ (Completely Randomize Design; CRD) โดยแบ่งไก่พื้นเมืองพ่อพันธุ์ออกเป็น 3 กลุ่ม ๆ ละ 4 ตัว (ไก่พื้นเมือง 1 ตัวต่อตัว) โดยกลุ่มทดลอง 3 กลุ่ม ประกอบด้วย การเสริมวิตามินอีที่ระดับ 0, 50 และ 100 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมอาหาร ทำการทดลองเป็นเวลา 12 สัปดาห์

1.3 การรีดน้ำเชื้อ ก่อนทำการรีดน้ำเชื้อจะใช้กระดาษทิชชูชุบน้ำทำความสะอาดบริเวณกันไก่อีกก่อนเพื่อป้องกันไม่ให้มีมูลไก่อ้วงหล่นลงไปใ้ในอุปกรณ์เก็บน้ำเชื้อ ใช้วิธีการรีดเก็บน้ำเชื้อแบบ 2 คน โดยคนแรกทำหน้าที่อุ้มบังคับไก่พื้นเมืองคนที่สองทำหน้าที่ในการรีดเก็บน้ำเชื้อ โดยการกระตุ้นด้วยการลูบหลังตามบริเวณแนวกระดูกสันหลังจากบนลงล่างไปทางด้านกันไก่อซึ่งบริเวณนี้เป็นตำแหน่งที่อั้นตะแวนลอยอยู่ ในขณะที่ลูบหลังไก่อจะสังเกตเห็นไก่อกระดกหางขึ้นจากนั้นใช้นิ้วหัวแม่มือกับนิ้วชี้หรือนิ้วกลางบีบบริเวณโคนกันไก่อเพื่อรองเก็บน้ำเชื้อด้วยหลอดเก็บน้ำเชื้อที่มีฝาปิดขนาด 1.5 มิลลิลิตร สำหรับการรีดเก็บ

น้ำเชื้อจะทำสัปดาห์ละ 2 ครั้ง (Lukaszewicz, 2001) ทุกสัปดาห์ เป็นเวลา 12 สัปดาห์ เพื่อนำมาตรวจคุณภาพน้ำเชื้อ ได้แก่ เปอร์เซ็นต์อสุจิเคลื่อนที่แบบตรง อสุจิรูปร่างปกติ อสุจิมีชีวิต และความเข้มข้นของน้ำเชื้อ พร้อมทั้งบันทึกปริมาณของน้ำเชื้อ ขณะทำการตรวจจะอุ่นน้ำเชื้อไว้ที่อุณหภูมิ 41 องศาเซลเซียส (Birkett, 1981)

1.4 การตรวจคุณภาพน้ำเชื้อ

1.4.1 การเคลื่อนที่แบบตรงไปข้างหน้าโดยสังเกตรายตัว (Proportion of progressive motile sperm) โดยการหยดน้ำเชื้อลงบนแผ่นสไลด์แล้วปิดด้วยแผ่นปิดสไลด์ ตรวจภายใต้กล้องจุลทรรศน์กำลังขยาย 400 เท่า ด้วยการนับ การเคลื่อนที่ไปข้างหน้าของอสุจิเป็นรายตัว โดยการสังเกตการเคลื่อนที่เข้าขอบ จำนวน 300 ตัว แล้วนำมาคำนวณค่าเป็น เปอร์เซ็นต์

1.4.2 การตรวจรูปร่างลักษณะของตัวอสุจิ (Morphology) โดยการย้อมสี Eosin-nigrosin การย้อมสีจะทำการหยดน้ำเชื้อลงบนแผ่นสไลด์ 1 หยด แล้วหยดสีย้อม 2 หยด ผสมสีย้อมให้เข้ากับน้ำเชื้อทิ้งไว้ 3 นาที แล้วทำการสเมียร์ ตามด้วยการเป่าให้แห้งอย่างรวดเร็วด้วยไดร์เป่าผม จากนั้นตรวจนับจำนวนอสุจิที่มีรูปร่างผิดปกติ ได้แก่ ความผิดปกติส่วนหัว (รูปร่างของหัว มีสองหัว) ส่วนกลาง (โค้งงอ หัก มีสองหาง) และส่วนหาง (ม้วนงอ มีหางสองแฉก) ตรวจภายใต้กล้องจุลทรรศน์ กำลังขยาย 1,000 เท่า จำนวน 300 ตัว โดยนับรวมกันทั้งอสุจิที่มีรูปร่างปกติ (Normal sperm) และผิดปกติ (Abnormal sperm) แล้วนำมาคำนวณค่าเป็นเปอร์เซ็นต์ของอสุจิที่มีรูปร่างผิดปกติ

1.4.3 ตรวจนับจำนวนของอสุจียังมีชีวิต (Sperm viability) ใช้น้ำเชื้อที่มีการย้อมสีแล้วจากข้อ 1.4.2 มาตรวจนับจำนวนอสุจิมีชีวิตภายใต้กล้องจุลทรรศน์กำลังขยาย 1,000 เท่า จำนวน 300 ตัว โดยนับรวมกันทั้งอสุจิมีชีวิตและไม่มีชีวิต อสุจิมีชีวิต (Live sperm) จะย้อมไม่ติดสี Eosin-nigrosin ส่วนอสุจิที่ตาย (Dead sperm) แล้วผนังเซลล์จะถูกทำลายทำให้สี Eosin-nigrosin ซึมผ่านเข้าไปในเซลล์ได้ทำให้ย้อมติดสี

1.4.4 ความเข้มข้นของน้ำเชื้อ (Semen concentration) ตรวจนับด้วยเครื่องวัดความเข้มข้นของน้ำเชื้อ อัตโนมัตินี้ (Spermacure) โดยใช้ไมโครไปเปตดูตุน้ำเชื้อหยดลงที่ไมโครคิวเวต (Microcuvett) แล้วนำไปตรวจที่เครื่องวัดความเข้มข้นน้ำเชื้ออัตโนมัติ โดยเครื่องจะคำนวณความเข้มข้นของน้ำเชื้อเป็นล้านตัวต่อมิลลิลิตร

1.4.5 ปริมาตรของน้ำเชื้อ (Semen volume) ใช้ไซริงค์ขนาด 1 มิลลิลิตร ดูตุน้ำเชื้อจากหลอดเก็บน้ำเชื้อ เพื่อดูปริมาตรของน้ำเชื้อ

2. การศึกษาด้านการผสมติด

2.1 สัตว์ทดลอง ใช้ไก่พื้นเมืองแม่พันธุ์คละสายพันธุ์ อายุ 8-12 เดือน จำนวน 36 ตัว เลี้ยงในกรงขนาดกว้าง 30 เซนติเมตร ลึก 40 เซนติเมตร สูง 45 เซนติเมตร ภายในโรงเรือนระบบเปิด อุณหภูมิและแสงเป็นไปตามธรรมชาติ ไก่พื้นเมืองแม่พันธุ์จะได้รับอาหารสำเร็จรูปทางการค้าเป็นอาหารพื้นฐานเช่นเดียวกับพ่อพันธุ์ และทำการเสริมวิตามินอีตามกลุ่มทดลองที่กำหนดไว้ ไก่จะได้รับอาหาร 120 กรัมต่อตัวต่อวัน วันละ 2 ครั้ง (เช้า-เย็น) และได้รับน้ำสะอาดตลอดเวลา

2.2 แผนการทดลอง ใช้แผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ภายในบล็อก โดยแบ่งไก่พื้นเมืองแม่พันธุ์ออกเป็น 3 กลุ่ม ๆ ละ 12 ตัว แบ่งเป็น 3 กลุ่มทดลอง ดังนี้ กลุ่มที่ไม่มีการเสริมวิตามินอีและผสมด้วยน้ำเชื้อที่ได้จากพ่อพันธุ์ที่ไม่ได้รับการเสริมวิตามินอี กลุ่มที่ได้รับการเสริมวิตามินอีที่ระดับ 50 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมอาหาร และผสมด้วยน้ำเชื้อที่ได้จากพ่อพันธุ์ที่ได้รับการเสริมวิตามินอีในระดับเดียวกัน และกลุ่มที่ได้รับการเสริมวิตามินอีที่ระดับ 100 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมอาหาร และผสมด้วยน้ำเชื้อที่ได้จากพ่อพันธุ์ที่ได้รับการเสริมวิตามินอีในระดับเดียวกัน ทำการทดลอง 4 ซ้ำ โดยใช้จำนวนครั้งที่นำไข่เข้าฟักเป็นซ้ำ ซึ่งจะนำไข่เข้าฟัก สัปดาห์ละครั้งเป็นเวลา 4 สัปดาห์

2.3 การผสมเทียมไก่พื้นเมือง ใช้การผสมเทียมแบบ 2 คน โดยคนที่ 1 ทำหน้าที่ในการปรีนกันไก่พื้นเมืองแม่พันธุ์ คนที่ 2 ทำหน้าที่ในการฉีดน้ำเชื้อให้กับไก่แม่พันธุ์ สำหรับน้ำเชื้อใช้ในการผสมเทียมมีวิธีการดำเนินการดังนี้ ทำการรวมน้ำเชื้อ (Pool) ของไก่พื้นเมืองพ่อพันธุ์ (Barnes et al., 1996) ที่ได้รับอาหารที่มีการเสริมวิตามินอี 3 ระดับ คือ 0, 50 และ 100 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมอาหาร เพื่อลดความแปรปรวนจากพ่อพันธุ์แต่ละตัว แล้วนำไปผสมเทียมกับแม่พันธุ์ หลังจากนั้นนำน้ำเชื้อที่ Pool แล้วไปทำการเจือจางด้วยน้ำยาเจือจาง Beltsville Poultry Semen Extender (BPSE) (Sexton, 1977) โดยการ

ค่อย ๆ เติมน้ำยาเจือจางลงไปในน้ำเชื้อในอัตราส่วน 1:2 (น้ำเชื้อ 1 ส่วน น้ำยาเจือจาง 2 ส่วน) จากนั้นทำการฉีดน้ำเชื้อ ปริมาตร 0.047 ml/dose จำนวน 2 ครั้งต่อสัปดาห์

2.4 การนำไข่เข้าฟัก หลังจากผสมเทียมไปแล้ว 2 วัน จะทำการเก็บทุกวันแล้วนำไปเก็บไว้ที่ห้องที่มีอุณหภูมิปกติ (30 องศาเซลเซียส) เพื่อรวบรวมไข่เข้าไปเข้าฟักทุก ๆ 7 วัน (Voorst & Leenstra, 1995) เป็นเวลา 4 สัปดาห์ ทำการส่องไข่ ด้วยไฟฉายภายในห้องมืดทุก 7 และ 18 วัน (Voorst and Leenstra, 1995; Barnes et al., 1996) เพื่อหาอัตราการผสมติด (Fertility) โดยพิจารณาจากเปอร์เซ็นต์ไข่มีเชื้อ (Eq.1) และเมื่อครบ 21 วัน จะนับจำนวนลูกไก่ที่เกิดจากจำนวนไข่มีเชื้อ ทั้งหมดเพื่อนำไปคำนวณหาอัตราการฟักออกของไข่ฟัก (Hatchability) (Eq. 2)

$$\text{เปอร์เซ็นต์ไข่มีเชื้อ} = \frac{\text{จำนวนไข่มีเชื้อ}}{\text{จำนวนไข่ที่นำเข้าฟักทั้งหมด}} \times 100 \quad (\text{Eq.1})$$

$$\text{อัตราการฟักออก} = \frac{\text{จำนวนไข่ฟักออก}}{\text{จำนวนไข่มีเชื้อทั้งหมด}} \times 100 \quad (\text{Eq.2})$$

3. การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ

ข้อมูลที่บ้านที่กักด้านคุณภาพน้ำเชื้อและอัตราการผสมติด นำมาวิเคราะห์หาความแปรปรวน (Analysis of variance) และทำการทดสอบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยด้วยวิธี Duncan's New Multiple Range Test (Chantalakhana, 1997)

ผลการวิจัย

1. คุณภาพน้ำเชื้อของไก่พื้นเมือง

น้ำเชื้อของไก่พื้นเมืองที่ได้รับการเสริมวิตามินอีทุกระดับมีคุณภาพดีกว่ากลุ่มที่ไม่ได้เสริม โดยจากการทดลองพบว่าการเคลื่อนที่ไปข้างหน้าและความเข้มข้นของน้ำเชื้อของกลุ่มที่เสริมที่ระดับ 100 มิลลิกรัมต่อ กิโลกรัมอาหาร มีค่ามากที่สุด คือ 84.50 ± 0.93 เปอร์เซ็นต์ และ 825.76 ± 0.56 ล้านตัวต่อมิลลิลิตร ตามลำดับ แต่ไม่แตกต่างกันกับกลุ่มที่เสริมที่ระดับ 50 มิลลิกรัมต่อ กิโลกรัมอาหาร ส่วนอสุจิมีชีวิตของกลุ่มที่เสริมที่ระดับ 50 มิลลิกรัมต่อ กิโลกรัมอาหาร มีค่ามากที่สุด คือ 96.79 ± 0.37 เปอร์เซ็นต์ แต่ไม่แตกต่างกับกลุ่มที่เสริมที่ระดับ 100 มิลลิกรัมต่อ กิโลกรัมอาหาร และอสุจิรูปร่างผิดปกติของกลุ่มที่เสริมที่ระดับ 50 มิลลิกรัมต่อ กิโลกรัมอาหาร มีค่าน้อยที่สุดเมื่อเทียบกับกลุ่มอื่น ($p < 0.05$) นอกจากนี้ยังพบว่า ปริมาตรของน้ำเชื้อของไก่พื้นเมืองกลุ่มที่เสริมวิตามินอีที่ระดับ 100 มิลลิกรัมต่อ กิโลกรัมอาหาร มีปริมาณมากที่สุด คือ 0.54 ± 0.02 มิลลิลิตร รองลงมาคือ กลุ่มควบคุมและกลุ่มที่เสริมที่ระดับ 50 มิลลิกรัมต่อ กิโลกรัมอาหาร ตามลำดับ ดังแสดงใน Table 1

Table 1 Effect of vitamin E supplementation on semen quality (Mean±SD) of native chickens.

The level of vitamin E (mg/kg feed)	Progressive motility (Percentage)	Abnormal sperm (Percentage)	Live sperm (Percentage)	Semen concentration (Million sperm per milliliter)	Semen volume (Milliliter)
0	75.92 ± 1.26^b	11.54 ± 1.01^a	90.73 ± 0.42^b	785.97 ± 0.35^b	0.46 ± 0.01^b
50	81.82 ± 0.75^a	6.47 ± 0.39^c	96.79 ± 0.37^a	820.86 ± 0.65^a	0.41 ± 0.01^b
100	84.50 ± 0.93^a	9.86 ± 0.45^b	94.00 ± 0.62^{ab}	825.76 ± 0.56^a	0.54 ± 0.02^a

Note: ^{a, b, c} Means with different superscripts in a column differ significantly ($p < 0.05$).

2. การผสมติดในไก่พื้นเมือง

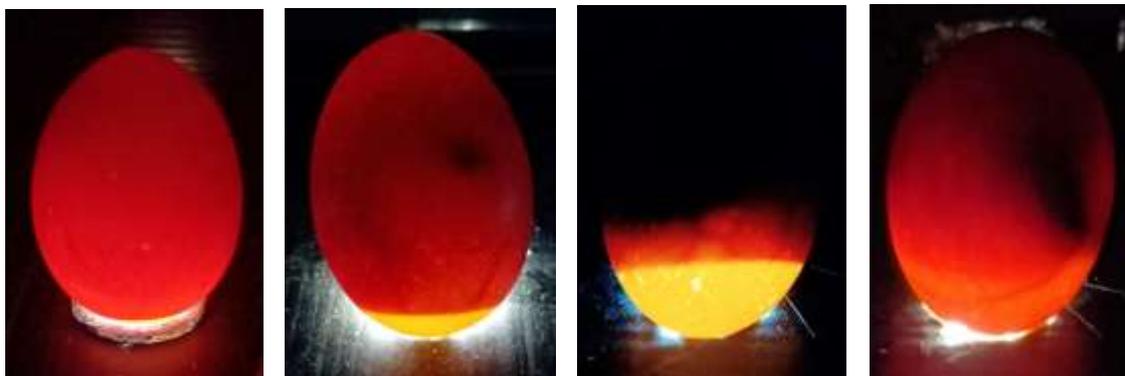
การนำน้ำเชื้อของไก่พื้นเมืองพ่อพันธุ์ที่ได้รับการเสริมวิตามินที่ระดับ 0, 50 และ 100 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมอาหาร มาใช้ในการผสมเทียมให้กับแม่พันธุ์เพื่อศึกษาอัตราการผสมติดโดยประเมินจากเปอร์เซ็นต์ไข่มีเชื้อ ไข่ไม่มีเชื้อ และไข่เชื้อตาย (Figure 1) จากการศึกษาพบว่า เปอร์เซ็นต์ไข่มีเชื้อของไก่แม่พันธุ์ที่ได้รับการผสมจากน้ำเชื้อไก่พ่อพันธุ์ที่ได้รับการเสริมวิตามินอีมีค่าสูงกว่ากลุ่มที่ไม่เสริม ($p < 0.05$) โดยการเสริมที่ระดับ 100 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมอาหาร มีค่ามากที่สุด คือ 93.33 ± 0.50 เปอร์เซ็นต์ แต่ไม่แตกต่างกันกับการเสริมที่ระดับ 50 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมอาหาร ส่วนเปอร์เซ็นต์ไข่ไม่มีเชื้อและไข่เชื้อตายพบว่า การผสมจากน้ำเชื้อของไก่พ่อพันธุ์ที่ได้รับการเสริมวิตามินอีที่ระดับ 100 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมอาหาร มีค่าน้อยที่สุดเมื่อเทียบกับกลุ่มอื่น ๆ ($p < 0.05$) ดังแสดงใน Table 2

Table 2 Effect of vitamin E supplementation on fertility rate (Mean \pm SD) in native chickens.

The level of vitamin E (mg/kg feed)	Number of eggs	Number of fertile eggs; Percentage	Number of infertile eggs; Percentage	Number of dead fertilized eggs; Percentage
0	29	24; 82.76 ± 0.82^b	5; 17.24 ± 0.50^a	4; 16.67 ± 0.82^b
50	36	32; 88.89 ± 0.82^a	4; 11.11 ± 0.82^b	4; 18.18 ± 0.00^a
100	30	28; 93.33 ± 0.50^a	2; 6.67 ± 0.58^c	5; 15.52 ± 0.50^b

Note : - ^{a, b, c} Means with different superscripts in a column differ significantly ($p < 0.05$).

- Dead fertilized eggs, calculated by dividing the total number of dead fertilized eggs by the total number of fertilized eggs, then multiplying by 100.



(A) Infertile egg (B) Day 3-7, fertile egg (C) Day 15-20, fertile egg (D) Early embryonic death

Figure 1 Candling of eggs after 7 and 18 days of incubation was performed to assess the fertility rate.

สำหรับอัตราการฟักออกเป็นอัตราการฟักออกจากไข่มีเชื้อทั้งหมด พบว่า ไข่ฟักที่ได้จากการผสมเทียมจากน้ำเชื้อของพ่อพันธุ์ที่ได้รับการเสริมวิตามินอีที่ระดับ 100 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมอาหาร ส่งผลให้ไข่ฟักมีอัตราการฟักออกมากที่สุด คือ 85.19 ± 0.31 เปอร์เซ็นต์ รองลงมาคือการเสริมที่ระดับ 50 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมอาหาร และกลุ่มที่ไม่เสริม โดยมีค่าเท่ากับ 81.82 ± 0.19 และ 78.57 ± 0.47 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ($p < 0.05$) ดังแสดงใน Figure 2

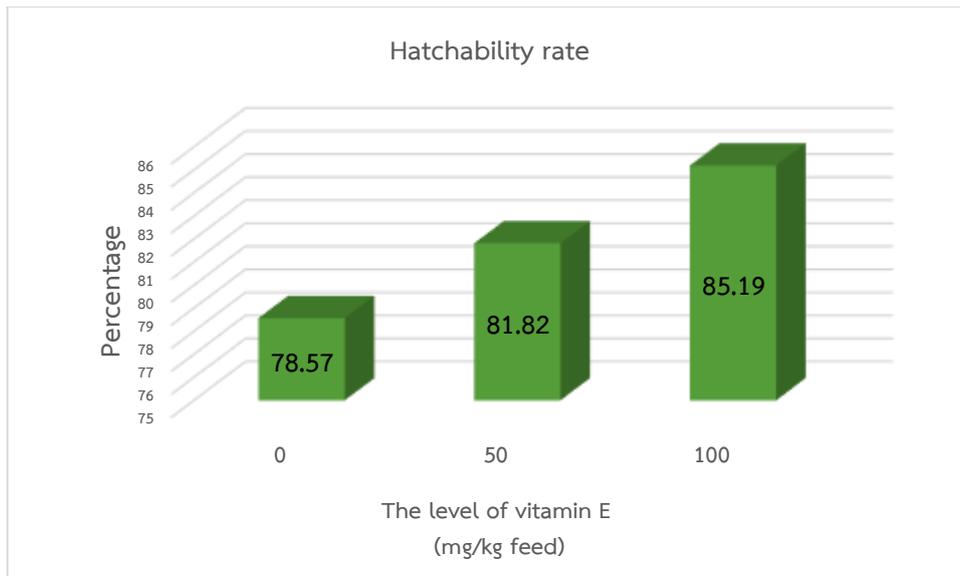


Figure 2 The effect of vitamin E supplementation on the hatchability rate in native chickens.

การอภิปรายผล

จากการศึกษาผลของการเสริมวิตามินอี 3 ระดับ คือ 0, 50 และ 100 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมอาหาร ต่อคุณภาพน้ำเชื้อไก่พื้นเมือง พบว่า เปอร์เซ็นต์การเคลื่อนที่ไปข้างหน้าของอสุจิ อสุจิมีชีวิต ความเข้มข้นของน้ำเชื้อ และปริมาตรของน้ำเชื้อ ของกลุ่มที่เสริมวิตามินอีทุกกลุ่มมีเปอร์เซ็นต์สูงกว่ากลุ่มที่ไม่เสริมวิตามินอี ส่วนอสุจิรูปร่างผิดปกติของกลุ่มที่เสริมวิตามินอีทุกกลุ่มมีเปอร์เซ็นต์ต่ำกว่ากลุ่มที่ไม่เสริมวิตามินอี สอดคล้องกับ Mangiagalli et al. (2004) ที่รายงานว่าการใช้วิตามินอีที่ระดับ 50 และ 500 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมอาหาร ต่อคุณภาพน้ำเชื้อพ่อพันธุ์ไก่ที่มีอายุระหว่าง 40 และ 43 สัปดาห์ มีผลทำให้น้ำเชื้อมีความสามารถในการเคลื่อนที่ไปข้างหน้าเพิ่มขึ้น เช่นเดียวกับ Surai et al. (1998) ที่ทำงานทดลองในไก่พันธุ์โรดไอแลนด์เรดเพศผู้โดยการให้อาหารที่มีการเสริมด้วยซีลีเนียม (0.3 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมอาหาร) และวิตามินอี พบว่าการเสริมซีลีเนียมร่วมกับวิตามินอีที่ระดับ 200 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมอาหาร ส่งผลให้การทำงานของกลูตาไธโอนเปอร์ออกซิเดสในอณูไข่ น้ำอสุจิ และอสุจิเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ และ Surai et al. (2005) ได้ศึกษาการเสริมวิตามินอีที่ระดับ 40 และ 200 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมอาหาร ในไก่เนื้อพ่อพันธุ์ที่มีอายุ 32, 42 และ 52 สัปดาห์ มีผลทำให้ความเข้มข้นของน้ำเชื้อ และการเคลื่อนที่ของอสุจิเพิ่มขึ้น ในทำนองเดียวกับ Lin et al. (2005) ที่รายงานว่าการเสริมวิตามินอีที่ระดับ 0, 20, 40, 80 และ 160 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมอาหาร ในไก่พื้นเมืองได้หวนอายุ 23-52 สัปดาห์ พบว่าการเสริมวิตามินอีที่ระดับ 40-160 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมอาหาร ทำให้อสุจิเคลื่อนที่ดีที่สุด และการเสริมที่ระดับ 80 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมอาหาร ทำให้น้ำเชื้อมีความเข้มข้นมากที่สุด และการเสริมวิตามินอีที่ระดับ 160 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมอาหาร มีผลทำให้อัตราการผสมติดดีที่สุด แต่ Danikowski et al. (2002) รายงานว่าการเสริมวิตามินอี ที่ระดับ 0, 100, 1,000, 10,000 และ 20,000 IU alpha-tocopherol ต่อกิโลกรัมอาหาร ในไก่อายุประมาณ 12 เดือน พบว่า น้ำหนักของอณูไข่ลดลงตามระดับของวิตามินอี แต่ไม่มีผลต่อปริมาตรของน้ำเชื้อ ความเป็นกรดเป็นด่าง และการเคลื่อนที่ของอสุจิ และจากการทดลองของ Donoghue and Donoghue (1997) พบว่า อัตราการเคลื่อนที่ของตัวอสุจิในช่วงเวลา 24 และ 48 ชั่วโมง มีการเคลื่อนที่ของตัวอสุจิลดลง ในไก่พ่อพันธุ์ที่ได้รับวิตามินอีที่ระดับ 0 IU โดยมีอัตราการเคลื่อนที่ของตัวอสุจิ 56.4 และ 17.8 เปอร์เซ็นต์ ที่ 24 และ 48 ชั่วโมง ตามลำดับ และสำหรับไก่พ่อพันธุ์ที่เสริมวิตามินอีระดับ 10 IU ตลอดการผสมพันธุ์มีการเคลื่อนที่ของตัวอสุจิเพิ่มขึ้น คือ 76.0 และ 73.5 เปอร์เซ็นต์ ที่ 24 และ 48 ชั่วโมง ตามลำดับ เช่นเดียวกับ Abioja et al. (2023) ทำการเสริมวิตามินอีในอาหารไก่เนื้อพ่อพันธุ์อาร์เบอร์เอเคอร์สที่ระดับ 0, 50, 100 และ 150 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมอาหาร พบว่าการเคลื่อนที่ของอสุจิ ปริมาตรของน้ำเชื้อ อสุจิมีชีวิต และความเข้มข้นของน้ำเชื้อ มีค่าเพิ่มขึ้นตามระดับของการเสริมวิตามินอี ส่วนอสุจิที่ผิดปกติมีค่าลดลงตามระดับการเสริมวิตามินอี

ส่วน Biswas et al. (2009) ทำการทดลองเสริมวิตามินอี (DL-alpha-Tocopherol acetate) ที่ระดับ 15 IU (10 มิลลิกรัม) 150 IU (100 มิลลิกรัม) และ 300 IU (200 มิลลิกรัม) ต่อ กิโลกรัมอาหาร ในไก่พันธุ์ Kadaknath เพศผู้ อายุ 1 วัน เลี้ยงจนกระทั่งเป็นพ่อพันธุ์ จากการศึกษาพบว่า ปริมาณน้ำเชื้อ ความเข้มข้นของน้ำเชื้อ การเคลื่อนที่ของอสุจิ และเปอร์เซ็นต์ของอสุจิที่มีชีวิต ของการเสริมวิตามินอีทุกระดับไม่แตกต่างกัน สำหรับลักษณะทางชีวเคมี ได้แก่ ปริมาณโปรตีนและไนตริกออกไซด์ (NO) ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ในขณะที่ปริมาณกลูโคส กรดฟอสฟาเทส (ACP) และวิตามินอีมีค่าสูงขึ้นอย่างมีนัยสำคัญในกลุ่มที่มีการเสริมวิตามินอีที่ระดับ 150 IU ต่อ กิโลกรัมอาหาร และจากการศึกษาของ Khan et al. (2012) นำเสนอว่า การเสริมสังกะสีออกไซด์ 3,000 มิลลิกรัมต่อ กิโลกรัมอาหาร เป็นเวลา 2 สัปดาห์ ในไก่ไข่ที่เล็กฮอร์นเพศผู้ที่มีการผลิตขน แล้วหลังจากนั้นเสริมด้วยวิตามินอี 100 IU ต่อ กิโลกรัมอาหาร เป็นเวลา 3 สัปดาห์ ทำให้ปริมาณของน้ำเชื้อ การเคลื่อนที่ของอสุจิ และกระบวนการที่อสุจิเกิดการเปลี่ยนแปลงเพื่อให้สามารถเจาะไข่แล้วทำให้เกิดการปฏิสนธิ (Sperm capacitation) เพิ่มขึ้นเมื่อเทียบกับกลุ่มควบคุม ดังนั้นวิตามินอีจึงมีส่วนส่งเสริมการทำงานของระบบสืบพันธุ์ของไก่พื้นเมืองเพศผู้ โดย Amevor et al. (2022) รายงานว่า การใช้เคอร์ซีติน (Quercetin) ร่วมกับวิตามินอีสามารถกระตุ้นจำนวนและการเคลื่อนที่ของอสุจิได้อย่างมีนัยสำคัญ รวมถึงสามารถเพิ่มระดับฮอร์โมนเทสโตโรน (Testosterone) ฟอลลิเคิลสติมูเลตติ้งฮอร์โมน (Follicle stimulating hormone; FSH) และฮอร์โมนลูทีไนซิง (Luteinizing hormone; LH) ซึ่งเป็นกลุ่มของฮอร์โมนที่เกี่ยวข้องกับการพัฒนาและสร้างเซลล์สืบพันธุ์ในเพศผู้ และยังช่วยเพิ่ม เอนไซม์ที่ต้านอนุมูลอิสระ (Superoxide dismutase, Glutathione and Total antioxidant capacity) ด้วย

สำหรับในแง่ของอัตราการผสมติดในไก่พื้นเมืองเพศเมียนั้นพบว่า กลุ่มที่มีการเสริมวิตามินอีทุกระดับ (50 และ 100 มิลลิกรัมต่อ กิโลกรัมอาหาร) มีเปอร์เซ็นต์ไข่มีเชื้อ (อัตราการผสมติด) และอัตราการฟักออก สูงกว่ากลุ่มที่ไม่ได้เสริมวิตามินอี ในทางตรงข้ามกลุ่มที่เสริมวิตามินอีทุกระดับส่งผลให้เปอร์เซ็นต์ไข่เชื้อตายน้อยกว่ากลุ่มที่ไม่ได้เสริมวิตามินอี สอดคล้องกับ Gore and Qureshi (1997) ที่รายงานว่า ไก่แม่พันธุ์ที่ให้วิตามินอีที่ระดับ 0, 10 และ 20 IU จากความต้องการปกติ 12 IU (NRC, 1994 อ้างโดย Gore & Qureshi, 1997) โดยการฉีดเข้ากล้ามเนื้อ 4 วัน ก่อนการผสมพันธุ์ พบว่า ไก่ที่ได้รับวิตามินอีที่ระดับ 10 IU มีอัตราการฟักออกเพิ่มขึ้นเมื่อเทียบกับกลุ่มควบคุม (91.7 เทียบกับ 90.0 เปอร์เซ็นต์) แต่เมื่อได้รับวิตามินอีระดับ 20 IU จะทำให้อัตราฟักออกลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) โดยระดับของวิตามินอีในซีรัมจะเพิ่มตามระดับวิตามินอีที่เพิ่มขึ้น โดย Amevor et al. (2021) รายงานว่าการเสริมเคอร์ซีติน 0.4 กรัมต่อ กิโลกรัม ร่วมกับวิตามินอี 0.2 กรัมต่อ กิโลกรัม ในไก่เนื้อเพศเมียอายุ 435 วัน จะส่งผลให้ตัวมีความแข็งแรง และยังเพิ่มสารต้านอนุมูลอิสระในซีรัม และรังไข่ ($p < 0.05$) มากกว่าการเสริมเพียงแคเคอร์ซีติน (0.4 กรัมต่อ กิโลกรัม) หรือวิตามินอี (0.2 กรัมต่อ กิโลกรัม) นอกจากนี้ยังพบว่าการเสริมสารสองตัวนี้ร่วมกันส่งผลให้การพัฒนาและการทำงานของตัวและรังไข่ดีขึ้นซึ่งเป็นการทำงานที่สัมพันธ์กันโดยเฉพาะในไก่ที่มีอายุมาก นอกจากนี้ Hemly et al. (2023) ยังรายงานว่าการให้อาหารพื้นฐานที่มีวิตามินอี 100 มิลลิกรัมต่อ กิโลกรัมอาหาร ร่วมกับการเสริมซีลีเนียมในรูปแบบต่าง ๆ ได้แก่ โซเดียมซีลีไนด์ ยีสต์ซีลีเนียม และ VADS18 ส่งผลในการช่วยปรับปรุงคุณภาพไข่และการให้ผลผลิตไข่ดีขึ้น และ Liu et al. (2004) ทำการศึกษาการเสริมวิตามินอีที่ระดับ (dl-alpha-tocopherol acetate) 0, 40, 80, 120 และ 160 มิลลิกรัมต่อ กิโลกรัมอาหาร ในไก่พื้นเมืองได้หวนตั้งแต่อายุ 1 วัน จนกระทั่งให้ไข่ จากการศึกษาพบว่า ในช่วงไข่สาวหรือช่วงระยะให้ไข่การเสริมวิตามินอีที่ระดับ 80 มิลลิกรัมต่อ กิโลกรัมอาหาร สามารถปรับปรุงประสิทธิภาพการสืบพันธุ์ได้ดีที่สุด ส่งผลให้ผลผลิตเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) สำหรับผลของวิตามินอีในทุกระดับต่อคุณภาพของไข่จะให้ผลเหมือนกันคือจะลดลงตามอายุของไก่ และการเสริมวิตามินอี 80 มิลลิกรัมต่อ กิโลกรัมอาหาร เมื่อเปรียบเทียบกับกลุ่มควบคุมแล้วจะพบว่า ความสมบูรณ์พันธุ์และความสามารถในการฟักออกของไข่ทั้งหมดจะเพิ่มขึ้น 7.7 และ 13.4 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ดังนั้นจะเห็นได้ว่าวิตามินอีนั้นก็มีส่วนช่วยส่งเสริมประสิทธิภาพการสืบพันธุ์ในเพศเมียเช่นกัน โดย Abd El-Ghany (2022) ได้กล่าวว่า วิตามินอีเป็นสารต้านอนุมูลอิสระที่มีประสิทธิภาพ สามารถกระตุ้นการทำงานของระบบภูมิคุ้มกันได้ หากมีการเสริมวิตามินอีให้กับไก่เพศเมียในช่วงฤดูร้อนจะสามารถช่วยลดความเครียด ทำให้สุขภาพไก่ดีขึ้นส่งผลให้การให้ผลผลิตและคุณภาพไข่ดีขึ้นตามลำดับ สอดคล้องกับ Liu et al. (2019) ที่รายงานว่าการเสริมวิตามินอีที่ระดับ 30 IU ต่อ กิโลกรัมอาหาร ในไก่ช่วงให้ไข่จะช่วยลดความเครียดและทำให้การทำงานของระบบภูมิคุ้มกันดีขึ้น

บทสรุป

จากการศึกษา พบว่า การเสริมวิตามินอีที่ระดับ 50-100 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมอาหาร ส่งผลให้น้ำเชื้อไก่พื้นเมืองมีคุณภาพดีขึ้น สำหรับในเพศเมียการเสริมวิตามินอีที่ระดับ 100 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมอาหาร ทำให้มีอัตราการผสมติดและการฟักออกดีที่สุด ผลจากงานทดลองนี้จึงบรรลุวัตถุประสงค์ที่ตั้งไว้ว่า วิตามินอีมีส่วนช่วยเพิ่มประสิทธิภาพด้านการสืบพันธุ์ของไก่พื้นเมืองทั้งเพศผู้และเพศเมีย และองค์ความรู้ที่ได้จากการศึกษาในครั้งนี้จึงเป็นข้อมูลที่เป็นประโยชน์ในการนำไปประยุกต์ใช้เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพทางการสืบพันธุ์ของสัตว์ชนิดอื่นต่อไป

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออกที่ให้ทุนสนับสนุนการวิจัยในครั้งนี้

เอกสารอ้างอิง

- Abd El-Ghany, W. (2022). Vitamin E and its impact on poultry production: An update. *Journal of the Hellenic Veterinary Medical Society*, 73(1), 3571-3582. <https://doi.org/10.12681/jhvms.25836>
- Abioja, M.O., Apuu, S., Daramola, J.O., Wheto, M., & Akinjute, O.F. (2023). Semen quality and sperm characteristics in broiler breeder cockerels fed vitamin E during hot season. *Acta Scientiarum. Animal Sciences*, 45, 1-9. <https://doi.org/10.4025/actascianimsci.v45i1.56848>
- Amevor, F.K., Cui, Z., Du, X., Ning, Z., Shu, G., Jin, N., Deng, X., Tian, Y., Zhang, Z., Kang, X., Xu, D., You, G., Zhang, Y., Li, D., Wang, Y., Zhu, Q., & Zhao, X. (2021). Combination of quercetin and vitamin E supplementation promotes yolk precursor synthesis and follicle development in aging breeder hens via liver-blood-ovary signal axis. *Animals*, 11(1915), 1-24. <https://doi.org/10.3390/ani11071915>
- Amevor, F.K., Cui, Z., Du, X., Ning, Z., Shu, G., Du, X., Jin, N., Deng, X., Xu, D., Tian, Y., Zhang, Y., Li, D., Wang, Y., Du, X., & Zhao, X. (2022). Dietary quercetin and vitamin E supplementation modulates the reproductive performance and antioxidant capacity of aged male breeder chickens. *Poultry Science*, 101, 101851. <https://doi.org/10.1016/j.psj.2022.101851>
- Barnes, D.A., Thurston, T.R., Scott, T.R., & Korn, N. (1996). Effect of added spermiphages in pooled turkey semen on fertility, embryonic mortality, and hatchability. *Poultry Science*, 75(7-9), 943-948. <https://doi.org/10.3382/ps.0750943>
- Birkett, J.R. (1981). Preservation of the fertilizing capacity of cock semen incubated *In Vitro*. At 41 °C. *Poultry Science*, 60(5-6), 1075-1078. <https://doi.org/10.3382/ps.0601075>
- Biswas, A., Mohan, J., & Sastry, K.V. (2009). Effect of higher dietary vitamin E concentrations on physical and biochemical characteristics of semen in Kadaknath cockerels. *British Poultry Science*, 50(6), 733-738. <https://doi.org/10.1080/00071660903264369>
- Chantalakhana, C. (1997). *Experimental principles. Statistics, analysis methods and research design*. Department of Animal Science, Faculty of Agriculture, Kasetsart University. (In Thai)
- Danikowski, S., Sallmann, H.P., Hallo, I., & Flachowsky, G. (2002). Influence of high levels of vitamin E on semen parameters of cocks. *Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition (Berl)*, 86(11-12), 376-82. <https://doi.org/10.1046/j.1439-0396.2002.00396.x>

- Donoghue, A.M., & Donoghue, D.J. (1997). Effect of water-and lipid-soluble antioxidants on turkey sperm viability, membrane integrity, and motility during liquid storage. *Poultry Science*, 76(10), 1440-1455. <https://doi.org/10.1093/ps/76.10.1440>
- Gore, A.B., & Qureshi, M.A. (1997). Enhancement of humoral and cellular immunity by vitamin E after embryonic exposure. *Poultry Science*, 76(7), 984-991. <https://doi.org/10.1093/ps/76.7.984>
- Hemly, N.I.M., Zainuddin, N.N., Muhammad, A.I., Chwen, L.T., & Samsudin, A.A. (2023). Supplementation of different sources of selenium on laying performance, egg quality traits, and shell calcification expressions in 50 weeks Lohmann Brown layer hen reproductive tract. *Veterinary Integrative Sciences*, 21(3), 677-692. <https://doi.org/10.12982/VIS.2023.049>
- Horwitt, M.K. (1986). The promotion of vitamin E. *The Journal of Nutrition*, 116(7), 1371-1377. <https://doi.org/10.1093/jn/116.7.1371>
- Khan, R.U. (2011). Antioxidants and poultry semen quality. *World's Poultry Science Journal*, 67(2), 297-308. <https://doi.org/10.1017/S0043933911000316>
- Khan, R.U., Rahman, Z.U., Javed, I., & Muhammad, F. (2012). Effect of vitamins, probiotics and protein on semen traits in post-molt male broiler breeders. *Animal Reproduction Science*, 135(1-4), 85-90. <https://doi.org/10.1016/j.anireprosci.2012.09.005>
- Laopaiboon, B., & Duangjinda, M. (2012). Thai native chicken: Past, present and future. *Khon Kaen Agriculture Journal*, 40, 309-312. (In Thai)
- Lertsansiri, K., Haitook, T., Khammeng, T., & Phaengphairee, P. (2015). Effect of raising systems and locations on reproduction performance of native chickens in rural condition. *Khon Kaen Agriculture Journal*, 43(Suppl. 1), 20-25. (In Thai)
- Lin, Y.F., Chang, S.J., & Hsu, A.L. (2004). Effects of supplemental vitamin E during the laying period on the reproductive performance of Taiwan native chickens. *British Poultry Science*, 45(6), 807-814. <https://doi.org/10.1080/00071660400012717>
- Lin, Y.F., Chang, S.J., Yang, J.R., Lee, Y.P., & Hsu, A.L. (2005). Effects of supplemental vitamin E during the mature period on the reproduction performance of Taiwan native chicken cockerels. *British Poultry Science*, 46(3), 366-373. <https://doi.org/10.1080/00071660500098186>
- Liu, Y.J., Zhao, L.H., Mosenthin, R., Zhang, J.Y., Ji, C., & Ma, Q.G. (2019). Protective effect of vitamin E on laying performance, antioxidant capacity, and immunity in laying hens challenged with *Salmonella enteritidis*. *Poultry Science*, 98(11), 5847-5854. <https://doi.org/10.3382/ps/pez227>
- Lukaszewicz, E. (2001). Effects of semen filtration and dilution rate on morphology and fertility of frozen gander spermatozoa. *Theriogenology*, 55(9), 1819-1829. [https://doi.org/10.1016/S0093-691X\(01\)00524-6](https://doi.org/10.1016/S0093-691X(01)00524-6)
- Mangiagalli, M.G., Bava, L., Toschi, I., Roveda, P., Vezzoli, G., & Castrovilli, C. (2004). Effect of addition to the diet of linseed oil and vitamin E on semen quality in cock. *Rivista di Avicoltura*, 73(1), 38-40.
- Pimcomelai, O., Prapasawat, C., & Leotaragul, A. (2006). Production performance of native chickens in village. *Journal of Agriculture*, 22(2), 171-177. (In Thai)
- Rengaraj, D., & Hong, Y.H. (2015). Effects of dietary vitamin E on fertility functions in poultry species. *International Journal of Molecular Sciences*, 16, 9910-9921. <https://doi.org/10.3390/ijms16059910>
- Sexton, T.J. (1977). A new poultry semen extender, effect of extender on the fertility of chicken semen. *Poultry Science*, 56(5), 1443-1446. <https://doi.org/10.3382/ps.0561443>

- Sriboonlue, P. (1997). Vitamins and coenzymes. In P. Sriboonlue, S. Wongkham, P. Boonsiri & P. Koonanuwatchaidet (Eds.), *Biochemistry textbook*. Department of Biochemistry, Faculty of Medicine, Khon Kaen University. (In Thai)
- Surai, P.F., Kostjuk, I., Wishart, G., Macpherson, A., Speake, B., Noble, R., Ionov, I., & Kutz, E. (1998). Effect of vitamin E and selenium supplementation of cockerel diets on glutathione peroxidase activity and lipid peroxidation susceptibility in sperm, testes and liver. *Biological Trace Element Research*, 64(1-3), 119-132. <https://doi.org/10.1007/BF02783329>
- Surai, P.F., Kutz, E., Wishart, G.J., Noble, R.C., & Speake, B.K. (1997). The relationship between the dietary provision of α -tocopherol and the concentration of this vitamin in the semen of chicken: effects on lipid composition and susceptibility to peroxidation. *Journal Reproduction and Fertility*, 110(1), 47-51.
- Surai, P.F., Sparks, N.H.C., Speake, B.K., & Cerolini, S. (2005). Dietary fish and evening primrose oil with vitamin E effects on semen variables in cockerels. *British Poultry Science*, 46(2), 214-222. <https://doi.org/10.1080/00071660500065839>
- Tangtaweewipat, S., Cheva-Isarakul, B., Panyachatraksa, K., Panyavi, S., Nachiangmai, P., Sangdaoruang, S., & Siririsawut, B. (2004). The production improvement of native chickens: commercial production system. Complete Research Report. Chiang Mai University. (In Thai)
- Voorst, A.V., & Leenstra, F.R. (1995). Fertility rate of daily collected and cryopreserved fowl semen. *Poultry Science*, 74(1), 136-140. <https://doi.org/10.3382/ps.0740136>
- Zanini, S.F., Torres, C.A., Bragagnolo, N., Turatti, J.M., Silva, M.G., & Zanini, M.S. (2003). Evaluation of the ratio of omega6 : omega3 fatty acids and vitamin E levels in the diet on the reproductive performance of cockerels. *Archives of Animal Nutrition*, 57(6), 429-442. <https://doi.org/10.1080/0003942032000161072>

Received: June 29, 2024; Revised: March 6, 2025; Accepted: March 31, 2025

ประสิทธิภาพของสารกำจัดเชื้อราต่อการควบคุมโรคแอนแทรกคโนสในดอกของทุเรียน
ที่มีสาเหตุจากเชื้อรา *Colletotrichum gloeosporioides* (CGD 5)

Efficacy of fungicides for controlling anthracnose disease on durian flowers
caused by *Colletotrichum gloeosporioides* (CGD 5)

จิติ ทองคำงาม¹ ไพรัตน์ อมลอย¹ อธิชิต บัญคุ้ม¹ และสุกฤตา อนุตระกูลชัย^{1*}
Titi Thongkamngam¹, Pairat Amloy¹, Therachot Boonkhum¹
and Sukritta Anutrakunchai^{1*}

¹คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก วิทยาเขตจันทบุรี จังหวัดจันทบุรี

¹Faculty of Agro-industrial Technology, Rajamangala University of Technology Tawan-ok, Chanthaburi campus, Chanthaburi Province

*Corresponding Author E-mail Address : sukritta_an@mutto.ac.th

บทคัดย่อ

ปัญหาการแพร่ระบาดของโรคแอนแทรกคโนสในดอกทุเรียนสร้างความเสียหายอย่างรุนแรงให้กับเกษตรกรผู้ปลูกทุเรียนอย่างมาก เพราะทำให้ดอกทุเรียนแห้งและร่วงหล่น ไม่ติดผล ส่งผลโดยตรงต่อผลผลิตทุเรียน จำเป็นต้องหาวิธีการป้องกันกำจัดโรคแอนแทรกคโนสในดอกทุเรียน โดยงานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาประสิทธิภาพของสารกำจัดเชื้อรา 5 ชนิด คือ Carbendazim, Prochloraz, Hymexazol, Pyraclostrobin และ Difenoconazole + Azoxystrobin ต่อการควบคุมเชื้อรา *Colletotrichum gloeosporioides* สาเหตุโรคแอนแทรกคโนสในดอกทุเรียน เริ่มต้นจากแยกเชื้อราสาเหตุโรคจากส่วนดอกทุเรียนที่แสดงอาการของโรค หลังจากแยกเชื้อราและจัดจำแนกทางชีวโมเลกุลแล้ว พบว่า เป็นเชื้อรา *C. gloeosporioides* จำนวน 5 ไอโซเลท คือ CGD1, CGD2, CGD3, CGD4 และ CGD5 ต่อมาได้ทดสอบการเกิดโรครักับดอกทุเรียน 2 ระยะ คือ หัวก่าไล และดอกเหลือง พบว่า ไอโซเลท CGD5 ก่อให้เกิดโรครุนแรงที่สุดถึง 100 เปอร์เซ็นต์ จากนั้นทดสอบกับสารกำจัดเชื้อรา 5 ชนิด ด้วยวิธี Agar well diffusion พบว่า Carbendazim และ Prochloraz สามารถควบคุมเชื้อรา *C. gloeosporioides* (CGD5) ได้ประมาณ 75-80 เปอร์เซ็นต์ เมื่อนำเชื้อสาเหตุโรคที่ทดสอบกับสารกำจัดเชื้อรา Prochloraz ส่องภายใต้กล้องจุลทรรศน์ พบความผิดปกติของเส้นใย มีลักษณะอาการบวมและขยายออก เกิดการบิดเบี้ยวผิดรูปร่าง โดยสรุปผลการทดลองการใช้สารกำจัดเชื้อรา Carbendazim และ Prochloraz เหมาะสมที่สุดที่จะนำมาใช้ในการควบคุมโรคแอนแทรกคโนสที่เกิดกับดอกทุเรียน

คำสำคัญ: สารกำจัดเชื้อรา โรคแอนแทรกคโนส เชื้อรา *Colletotrichum gloeosporioides* ดอกทุเรียน

Abstract

Anthraco disease in durian flowers has severely harmed farmers. The disease can cause durian flowers to dry out and fall off, leading to a direct impact on durian production. Therefore, it is essential to find preventive measures that can help reduce the problem of anthracnose disease in durian flowers. This research aimed to study the effectiveness of five types of fungicides: Carbendazim, Prochloraz, Hymexazol,

Pyraclostrobin, and Difenoconazole + Azoxystrobin; in controlling anthracnose disease in durian flowers caused by the fungus *Colletotrichum gloeosporioides*. The fungal pathogen was first isolated from durian flower that showed the symptoms of the disease. After isolating the fungus and conducting molecular classification, it was identified as the fungus *C. gloeosporioides*, with five isolates namely: CGD1, CGD2, CGD3, CGD4, and CGD5. These were then tested for pathogenicity on durian flowers at two stages: the "bracelet" stage and the "yellow flower" stage. Results indicated that the CGD5 isolate caused the most severe disease, with an infection rate of 100%. Subsequently, tests were conducted with five types of fungicides using the agar well diffusion method. It was found that two fungicides, Carbendazim and Prochloraz, effectively controlled the *C. gloeosporioides*, inhibiting the growth of the pathogen by approximately 75-80%. When the pathogen treated with Prochloraz was observed under the microscope, abnormalities in the fungal hyphae of *C. gloeosporioides* (CGD5) were noted, showing swelling, expansion, and distortion. In conclusion, the experiment determined that Carbendazim and Prochloraz are the most suitable fungicides for controlling anthracnose disease in durian flowers.

Keywords: Fungicides, Anthracnose disease, *Colletotrichum gloeosporioides*, Durian flowers

บทนำ

ทุเรียน (*Durio zibethinus* L.) เป็นไม้ผลเศรษฐกิจหลักที่สำคัญของประเทศไทย เพราะสามารถผลิตและส่งออกไปขายยังต่างประเทศได้หลายประเทศ เช่น จีน เวียดนาม ฮองกง ไต้หวัน สหรัฐอเมริกา และอินเดีย เป็นต้น โดยในปี พ.ศ. 2566 มีพื้นที่ต้นทุเรียนที่ให้ผลผลิต 1,057,574 ไร่ ได้ผลผลิตประมาณ 1,476,174 ตัน และผลผลิตต่อไร่ 1,396 กิโลกรัม เพิ่มขึ้นจากปี พ.ศ. 2565 มีพื้นที่ 978,799 ไร่ ผลผลิต 1,335,728 ตัน และผลผลิตต่อไร่ 1,365 กิโลกรัม (Office of Agricultural Economics, 2023) โดยทุเรียนจะมีการเพาะปลูกมากที่สุดในพื้นที่ภาคตะวันออกของประเทศไทย ได้แก่ จังหวัดระยอง จันทบุรี และตราด (Ek-Amnuay, 2021; Office of Agricultural Economics, 2023) ในพื้นที่จังหวัดดังกล่าวเกษตรกรยังคงเพิ่มพื้นที่การเพาะปลูกทุเรียนมากขึ้น ส่งผลให้สภาพแวดล้อมมีความเหมาะสมต่อการเกิดโรคพืชในทุเรียนมากขึ้นตามไปด้วย ทำให้ผลผลิตที่จะส่งไปยังผู้บริโภคมีปริมาณลดลง แต่ในทางกลับกันปริมาณความต้องการบริโภคทุเรียนของผู้บริโภคมีแนวโน้มที่จะเพิ่มมากขึ้น เช่นเดียวกัน โรคพืชในทุเรียนจึงเป็นปัญหาสำคัญในการผลิตให้มีปริมาณเพียงพอต่อความต้องการของผู้บริโภค ซึ่งโรคพืชที่สร้างความเสียหายให้กับเกษตรกรในปัจจุบันก็มีอยู่หลากหลายชนิด เช่น โรครากเน่าโคนเน่า ราสีชมพู ใบติดผลเน่า ดอกร่วง และใบจุด เป็นต้น (Ek-Amnuay, 2016) และในขณะเดียวกันก็ยังมีรายงานว่ามีการแพร่ระบาดของโรคแอนแทรคโนสที่เข้าทำลายบริเวณส่วนของดอกทุเรียนได้ทุกระยะ (9 ระยะ คือ 1. ระยะไข่ปลา 2. ระยะตาปู 3. ระยะเหยียดดินหนู 4. ระยะมะเขือพวงอ่อน (หรือระยะกระดุม) 5. ระยะเม็ดมะเขือพวง 6. ระยะหัวกำไล 7. ระยะดอกเหลือง (หรือระยะดอกขาว) 8. ระยะดอกบาน และ 9. ระยะหางแย้) ซึ่งในระยะหัวกำไล และระยะดอกเหลือง จะเป็นระยะที่พบการพัฒนาการของเชื้อสาเหตุโรคได้ชัดเจนที่สุด โดยสังเกตเห็นลักษณะกลีบดอกส่วนด้านใน (เกสร) และกลีบเลี้ยงด้านนอกมีผลสีน้ำตาลจนถึงดำแพร่กระจายทั่วทั้งดอก ถ้าเกิดมีการแพร่ระบาดรุนแรงก็จะทำให้ดอกนั้นแห้งไหม้และร่วงลงสู่พื้นในที่สุดทำให้ทุเรียนไม่สามารถติดผลผลิตได้ ซึ่งลักษณะอาการของโรคที่กล่าวมาแล้วข้างต้นมีสาเหตุจากโรคแอนแทรคโนส (Zakaria, 2021)

ปัจจุบันเกษตรกรหันมาใช้สารกำจัดเชื้อราหลากหลายกลุ่ม เช่น กลุ่มที่ 1, 3, 11, 32 และ 40 ซึ่งมีฤทธิ์ในการยับยั้งเชื้อราชั้นสูง เช่น เชื้อรา *Fusarium* sp., *Rhizoctonia* sp. และ *Colletotrichum* sp. เป็นต้น โดยในกลุ่มนี้ประกอบด้วยสารกำจัดเชื้อรา Carbendazim, Prochloraz, Hymexazol, Pyraclostrobin และ Difenoconazole + Azoxystrobin เป็นต้น (Swart et al., 2009; Mora-Aguilera et al., 2021; Piasai et al., 2021; Kun et al., 2024) เกษตรกรยังไม่มั่นใจว่าสารกำจัดเชื้อราชนิดใดสามารถควบคุมโรคแอนแทรคโนสในดอกทุเรียนได้ จึงจำเป็นต้องศึกษาหาสารที่มีประสิทธิภาพอย่างชัดเจนเพื่อลดความเสี่ยงในการติดต่อสารกำจัดเชื้อราของเชื้อราสาเหตุโรค ดังนั้นงานวิจัยครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อทดสอบประสิทธิภาพของสารกำจัดเชื้อรา 5 ชนิด (Carbendazim, Prochloraz, Hymexazol, Pyraclostrobin และ

Difenoconazole + Azoxystrobin) ในการควบคุมโรคแอนแทรกโนสในดอกทุเรียนที่มีสาเหตุจากเชื้อรา *Colletotrichum gloeosporioides* ภายใต้ห้องปฏิบัติการ

วัสดุ อุปกรณ์ และวิธีการ

การแยกเชื้อราสาเหตุโรคแอนแทรกโนส

เก็บตัวอย่างดอกทุเรียนที่แสดงอาการโรคแอนแทรกโนส จากตำบลวังแซ้ม อำเภอมะขาม จังหวัดจันทบุรี และตำบลรำพัน อำเภอท่าใหม่ จังหวัดจันทบุรี (Figure 1 A-B) มาแยกเชื้อโดยวิธี Tissue transplanting method เริ่มจากนำตัวอย่างดอกทุเรียนมาล้างทำความสะอาดบริเวณพื้นผิวด้วยโซเดียมไฮโปคลอไรท์ 10 เปอร์เซ็นต์ และแอลกอฮอล์ 95 เปอร์เซ็นต์ จากนั้นล้างผ่านน้ำนิ่งฆ่าเชื้อ ซับตัวอย่างดอกด้วยกระดาษทิชชู ทิ้งไว้ให้แห้งแล้วนำชิ้นตัวอย่างเลี้ยงลงบนอาหารเลี้ยงเชื้อ Water Agar (WA) เป็นเวลา 3 วัน หลังจากนั้นนำเส้นใยที่เจริญออกมาจากชิ้นตัวอย่างย้ายมาเลี้ยงบนอาหาร Potato Dextrose Agar (PDA) เมื่อเวลาผ่านไป 7 วัน นำมาจัดจำแนกและศึกษาลักษณะทางสัณฐานวิทยาภายใต้กล้องจุลทรรศน์และจัดจำแนกในระดับชีวโมเลกุล จากนั้นสกัดดีเอ็นเอโดยใช้ชุดน้ำยาสำเร็จรูป Prep man ultra (Applied biosystems) โดยส่งตัวอย่างดีเอ็นเอไปวิเคราะห์ที่บริษัท Macrogen กรุงโซล ประเทศเกาหลีใต้ ใช้ Universal primer ITS4 และ ITS5 คือ Primer ITS4 (5'-TCCTCCGCTTATTGATATGC-3') ITS5 (5'-TCCGTAGGTGAACCTGCGG-3') (White et al., 1990) หลังจากได้ข้อมูลนำมาทำการ BLAST ในฐานข้อมูล GeneBank นำค่าที่ได้มาวิเคราะห์ด้วยวิธี Maximum Likelihood (ML) ด้วยโปรแกรม MEGA 11.0 กำหนดค่า Bootstrap analysis ให้มีค่าเท่ากับ 1000 พร้อมรายงานผลเป็น Phylogenetic tree

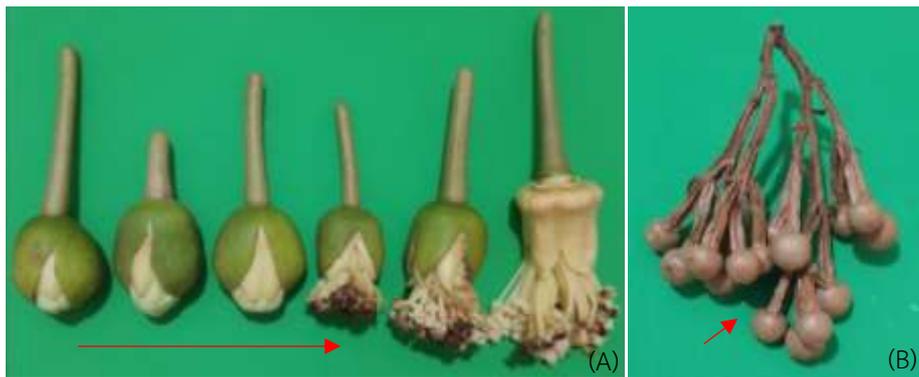


Figure 1 Anthracnose disease of durian flower: A) Development of durian flowers after infection begins from the pre-bloom stage to the post-bloom stage and B) Symptoms include flower desiccation and abscission, causing them to fall to the ground

การทดสอบการก่อให้เกิดโรคในดอกทุเรียน (Pathogenicity test)

นำเชื้อรา *C. gloeosporioides* สาเหตุโรคแอนแทรกโนสที่ได้จากการแยกเชื้อและจัดจำแนกในระดับชีวโมเลกุล จำนวน 5 ไอโซเลท คือ CGD1, CGD2, CGD3, CGD4 และ CGD5 โดยเตรียมเป็น Spore suspension ความเข้มข้น 1×10^6 สปอร์ต่อมิลลิลิตร จากนั้นเตรียมดอกทุเรียนโดยคัดเลือกดอกทุเรียนที่ยังไม่บานเต็มที่ (ระยะห้วงกำลังและระยะดอกเหลืองหรือดอกขาว) (Figure 2 A-C) วางแผนการทดลองแบบ Completely Randomized Design (CRD) จำนวน 5 กรรมวิธี ๆ ละ 3 ซ้ำ นำดอกทุเรียนทั้ง 2 ระยะ ย้ายใส่ในจานแก้วเลี้ยงเชื้อขนาด 9 เซนติเมตร จานละ 3 ดอก หลังจากนั้นฉีดพ่นสปอร์เชื้อรา *C. gloeosporioides* แต่ละไอโซเลท ลงไปบริเวณส่วนของดอกให้ทั่วทั้งดอก ปริมาณ 1 มิลลิลิตรต่อดอก จากนั้นใส่สำลีชุบน้ำนิ่งฆ่าเชื้อวางไว้ในจานแก้วเพื่อสภาพแวดล้อมให้เหมาะสมต่อการเกิดโรคกับดอกทุเรียน ปิดฝาจานอาหารเลี้ยงเชื้อ บันทึกผลการทดลองโดยสังเกตจากเปอร์เซ็นต์การเกิดโรคที่พบบริเวณดอกที่แสดงอาการของโรคแอนแทรกโนส กำหนดระดับการเกิดโรค 4 ระดับ ดังนี้ ระดับ 0= ไม่พบอาการของโรคที่ดอก, 1= เกิดโรคที่ส่วนดอกบริเวณกลีบดอกและฐานของดอกเป็นจุดสีน้ำตาลขนาดเล็ก 25 เปอร์เซ็นต์, ระดับ 2= ดอกเป็นจุดสีน้ำตาลขนาดใหญ่ 26-50 เปอร์เซ็นต์, ระดับ 3= ดอกเริ่มพบเส้นใย

ของเชื้อราเจริญอยู่ที่ส่วนของกลีบดอกและฐานดอก 51-75 เปอร์เซ็นต์ และระดับ 4 = ดอกเน่าพบเส้นใยเชื้อราเจริญปกคลุมทั่วทั้งดอก 76-100 เปอร์เซ็นต์ โดยคำนวณความรุนแรงของโรค Disease severity (% DS) ดังต่อไปนี้ (Eq.1)

$$\text{Disease severity (\%)} = \frac{\sum (\text{จำนวนแผลที่ส่วนของดอก} \times \text{ระดับความรุนแรงของโรค}) \times 100}{\text{จำนวนแผลทั้งหมด} \times \text{ระดับความรุนแรงของโรคสูงสุด}} \quad (\text{Eq.1})$$

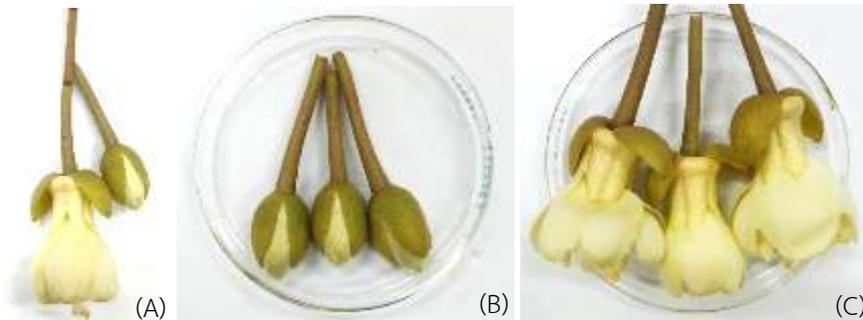


Figure 2 Durian flowers used in the experiment at both stages: A) Durian inflorescences with no visible symptoms B) Bracelet stage and C) White flower stage or yellow flower stage

ประสิทธิภาพของการใช้สารกำจัดเชื้อราต่อการควบคุมเชื้อรา *C. gloeosporioides* สาเหตุโรคแอนแทรคโนสในดอกของทุเรียน

การทดสอบประสิทธิภาพของสารกำจัดเชื้อรา 5 ชนิด คือ Carbendazim, Prochloraz, Hymexazol, Pyraclostrobin และ Difenoconazole + Azoxystrobin ในการควบคุมเชื้อรา CGD5 ซึ่งเป็นไอโซเลทที่ก่อให้เกิดโรครุนแรงที่สุดจากการทดสอบการก่อให้เกิดโรคแอนแทรคโนสในดอกทุเรียน (Pathogenicity test) โดยเริ่มจากการเลี้ยงเชื้อราสาเหตุโรคแอนแทรคโนส CGD5 ตรงกลางจานอาหารเลี้ยงเชื้อ ทิ้งไว้ 2 วัน รอจนกว่าเส้นใยของเชื้อราเจริญออกมา ขนาด 2 เซนติเมตร เมื่อได้ขนาดที่ต้องการใช้ Cork borer ขนาด 0.5 เซนติเมตร เจาะหลุมอาหารจากบริเวณขอบของจานอาหารเลี้ยงประมาณ 1.5 เซนติเมตร โดยเจาะจำนวน 6 หลุมให้มีขนาดห่างกันพอประมาณ (Figure 3) เพื่อเตรียมไว้สำหรับหดยากำจัดเชื้อรา ทั้ง 5 ชนิด ที่ได้เตรียมเจือจางสารกำจัดเชื้อราไว้เป็น Stock solution ไว้แล้ว จำนวน 6 ระดับความเข้มข้น คือ 0, 20, 40, 60, 80 และ 100 เปอร์เซ็นต์ หดยาหลุมละ 20 ไมโครลิตร โดยวางแผนการทดลองแบบ Completely Randomized Design (CRD) ประกอบด้วย 5 กรรมวิธี ๆ ละ 5 ซ้ำ ดังนี้

- กรรมวิธีที่ 1 Carbendazim + เชื้อรา CGD5
- กรรมวิธีที่ 2 Prochloraz + เชื้อรา CGD5
- กรรมวิธีที่ 3 Hymexazol + เชื้อรา CGD5
- กรรมวิธีที่ 4 Pyraclostrobin + เชื้อรา CGD5
- กรรมวิธีที่ 5 Difenoconazole + Azoxystrobin + เชื้อรา CGD5

บันทึกผลการทดลองโดยการวัดการเจริญของเส้นใยเชื้อรา CGD5 ที่เจริญจากส่วนตรงกลางของจานอาหารเลี้ยงเชื้อไปยังหลุมที่ได้หดยาในทุก ๆ ความเข้มข้นของสารกำจัดเชื้อราทั้ง 5 ชนิด (การเจริญเติบโตของเส้นใย (เซนติเมตร) = การเจริญเติบโตของเส้นใยของเชื้อราสาเหตุโรคในแต่ละกรรมวิธี/จำนวนซ้ำทั้งหมด) (Eq.2) N_1-N_5 = การเจริญเติบโตของเส้นใยของเชื้อราสาเหตุโรค (จำนวนซ้ำ); 5 = จำนวนซ้ำทั้งหมด

$$\frac{(N_1 + N_2 + N_3 + N_4 + N_5)}{5} \quad (\text{Eq.2})$$

และคำนวณเปอร์เซ็นต์การยับยั้งการเจริญของเส้นใยเชื้อราเปรียบเทียบกับกรรมวิธีที่ 1 Carbendazim + เชื้อรา CGD5 ดังต่อไปนี้ (Eq.3) D_1 = ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของเชื้อราสาเหตุโรคในกรรมวิธีควบคุม; D_2 = ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของ

เชื้อราสาเหตุโรคในกรรมวิธีที่เลี้ยงร่วมกันกับเชื้อราปฏิปักษ์ จากนั้นนำข้อมูลที่ได้ไปวิเคราะห์ค่าทางสถิติ โดยวิธี Duncan's New Multiple Range Test (DMRT) ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ และถ่ายภาพ

$$\frac{D_1 - D_2}{D_1} \times 100 \quad (\text{Eq.3})$$

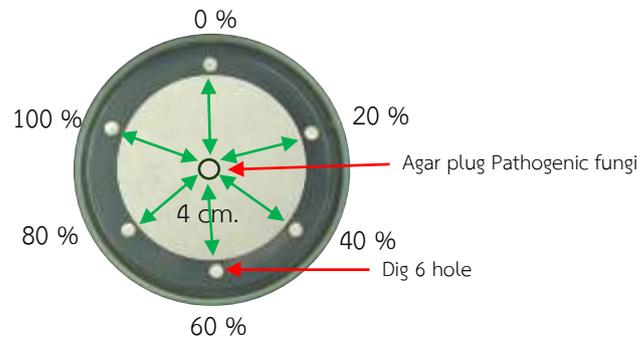


Figure 3 Agar well diffusion method

ผลการวิจัย และการอภิปรายผล

การแยกเชื้อราสาเหตุโรคแอนแทรคโนส

จากการแยกเชื้อราสาเหตุโรคแอนแทรคโนสจากดอกทุเรียน จากตำบลงิ้วงาม อำเภอมะขาม จังหวัดจันทบุรี และตำบลรำพัน อำเภอน้ำใหม่ จังหวัดจันทบุรี สามารถแยกเชื้อรา *Colletotrichum* spp. ได้ จำนวน 5 ไอโซเลท คือ CGD1, CGD2, CGD3, CGD4 และ CGD5 เป็นต้น (Figure 4) โดยลักษณะเส้นใยมีสีขาวเจริญอยู่บนอาหารเลี้ยงเชื้อ บางไอโซเลท (CGD4 และ CGD5) จะพบส่วนขยายพันธุ์สืบพันธุ์เป็นวงกลมอยู่ตรงกลางของจานอาหารเลี้ยงเชื้อ (Spore masses) เจริญเต็มจานอาหารเลี้ยงเชื้อรวมเวลา 7 วัน หลังจากนั้นเมื่อส่องใต้กล้องจุลทรรศน์ พบส่วนขยายพันธุ์ลักษณะคล้ายเมล็ดข้าวสาร (Conidia) มีสีใส (Figure 4) เมื่อตรวจสอบระดับชีวโมเลกุลโดยใช้ Primer ในส่วนของ rDNA อยู่ในช่วง 500–600 bp (ITS5 และ ITS4) คือ primer ITS5 (5'-TCCGTAGGTGAACCTGCGG-3')-ITS4 (5'-TCCTCCGCTTATTGATATGC-3') ทำการวิเคราะห์ ITS เปรียบเทียบกับเชื้อ *Colletotrichum* spp. สายพันธุ์อื่น ๆ สามารถจัดจำแนกได้ว่าเป็นเชื้อรา *C. gloeosporioides* ทั้ง 5 ไอโซเลท คือ CGD1, CGD2, CGD3, CGD4 และ CGD5 ถึง 96-100 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ (Figure 5) สอดคล้องกับงานวิจัยของ Nuchnuanrat and Bunroj (2015) ที่จัดจำแนกเชื้อราสาเหตุโรคแอนแทรคโนส ด้วยวิธี ITS พบว่า มีสาเหตุจากเชื้อ *C. gloeosporioides*



Figure 4 Morphological characteristics of *C. gloeosporioides* 5 isolate (CGD1, CGD2, CGD3, CGD4 and CGD5) and conidia.

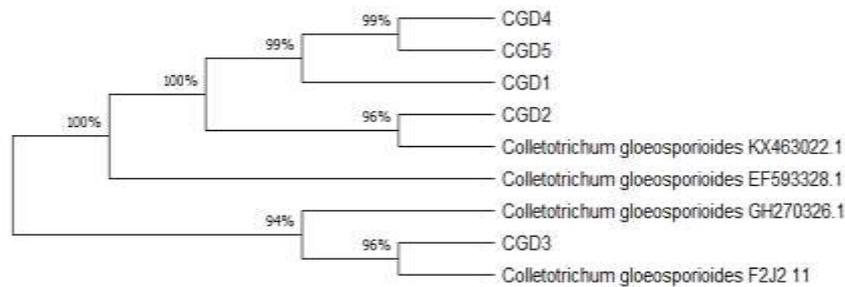


Figure 5 Classification of *C. gloeosporioides* (CGD1, CGD2, CGD3, CGD4 และ CGD5) phylogenetic tree obtained from the analysis of the nucleotide sequence in the ITS by Maximum Likelihood (ML) on MEGA 11.0 configure bootstrap analysis to value equal to 1000

การทดสอบการก่อให้เกิดโรคในดอกทุเรียน (Pathogenicity test)

จากการทดสอบการก่อให้เกิดโรคในดอกทุเรียน (Pathogenicity test) โดยนำเชื้อรา *C. gloeosporioides* สาเหตุโรคแอนแทรคโนสที่ผ่านการแยกเชื้อและจัดจำแนกในระดับชีวโมเลกุล จำนวน 5 ไอโซเลท คือ CGD1, CGD2, CGD3, CGD4 และ CGD5 ตามลำดับ มาทดสอบกับดอกทุเรียนทั้ง 2 ระยะ คือ ระยะหัวกำไลและระยะดอกเหลืองหรือดอกขาว พบว่าเชื้อรา *C. gloeosporioides* ทั้ง 5 ไอโซเลท สามารถก่อให้เกิดโรคกับดอกทุเรียนได้ โดยในระยะหัวกำไล ในกรรมวิธีที่ 5 ที่ปลูกเชื้อรา CGD5 มีเปอร์เซ็นต์การเกิดโรคมามากที่สุดคือ 100 เปอร์เซ็นต์ ตั้งแต่ช่วงแรกของการทดลอง (3 วันหลังการปลูกเชื้อ) จนกระทั่งวันสุดท้ายของการทดลอง (9 วันหลังการปลูกเชื้อ) รวมไปถึงแนวโน้มของเปอร์เซ็นต์ความรุนแรงของโรคก็เป็นไปในทิศทางเดียวกันกับเปอร์เซ็นต์การเกิดโรค โดยในช่วงแรกของการปลูกเชื้อ พบเปอร์เซ็นต์ความรุนแรงของโรค เท่ากับ 84 เปอร์เซ็นต์ และเมื่อระยะเวลาผ่านไปจนถึงสิ้นสุดการทดลองก็พบว่า เปอร์เซ็นต์ความรุนแรงของโรคเพิ่มสูงขึ้นถึง 100 เปอร์เซ็นต์ (Table 1; Figure 6) รองลงมาคือ กรรมวิธีที่ 3 ปลูกเชื้อ CGD 3 ที่พบเปอร์เซ็นต์ความรุนแรงของโรค เท่ากับ 82 เปอร์เซ็นต์ ส่วนในกรรมวิธีที่ 1, 2 และ 4 พบเปอร์เซ็นต์การเกิดโรค เท่ากับ 80 เปอร์เซ็นต์ และความรุนแรงของโรคอยู่ในช่วง 52-60 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ สอดคล้องกับงานวิจัยของ Wang et al. (2024) ทดสอบการเกิดโรคแอนแทรคโนสกับดอกส้ม พบว่าเชื้อรา *C. gloeosporioides* จาก 32 ไอโซเลท สามารถก่อให้เกิดโรครุนแรงได้ถึง 100 เปอร์เซ็นต์

ส่วนในระยะดอกเหลืองหรือดอกขาว พบว่าเชื้อรา *C. gloeosporioides* ทั้ง 5 ไอโซเลท สามารถก่อให้เกิดโรคกับดอกทุเรียนได้ เป็นไปในทิศทางเดียวกันกับการทดสอบกับดอกทุเรียนในระยะหัวกำไล กล่าวคือในกรรมวิธีที่ 5 ที่ปลูกเชื้อรา CGD5 มีเปอร์เซ็นต์การเกิดโรคมามากที่สุดคือ 100 เปอร์เซ็นต์ ตั้งแต่ช่วงแรกจนถึงสิ้นสุดการทดลอง (3-9 วันหลังการปลูกเชื้อ) และเปอร์เซ็นต์ความรุนแรงของโรคก็จะมีความสัมพันธ์กันกับเปอร์เซ็นต์การเกิดโรค คือมีการพัฒนาเพิ่มสูงขึ้นตั้งแต่ 56 เปอร์เซ็นต์ จนครบ 100 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ (Table 1; Figure 6) ส่วนกรรมวิธีที่ 1-4 พบว่ามีเปอร์เซ็นต์การเกิดโรคอยู่ในช่วง 40-80 เปอร์เซ็นต์ และเปอร์เซ็นต์ความรุนแรงของโรค อยู่ในช่วง 32-52 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ



Figure 6 Pathogenicity test on durian flowers of *C. gloeosporioides* (CGD5) at 3, 5, 7 and 9 Day after inoculation

Table 1 Pathogenicity test on durian flowers of *C. gloeosporioides* (CGD1, CGD2, CGD3, CGD4 and CGD5)

Treatments	Disease incidence (DI) ¹ : Disease severity (DS) (%)			
<i>Bracelet stage</i>	3 DAI ²	5 DAI	7 DAI	9 DAI
CGD1	20:12 ^{c3}	40:24 ^b	60:32 ^c	80:52 ^b
CGD2	20:24 ^b	40:24 ^b	80:52 ^{ab}	80:60 ^b
CGD3	60:32 ^{ab}	60:32 ^{ab}	80:52 ^{ab}	80:82 ^{ab}
CGD4	40:24 ^b	40:32 ^{ab}	60:48 ^b	80:52 ^b
CGD5	100:84 ^a	100:92 ^a	100:100 ^a	100:100 ^a
C.V. (%)	9.8	7.1	6.7	4.2
F-value	*	*	*	*
<i>White and yellow flower stage</i>	3 DAI	5 DAI	7 DAI	9 DAI
CGD1	20:6 ^c	40:12 ^c	40:32 ^b	40:32 ^b
CGD2	40:12 ^b	60:24 ^b	80:48 ^{ab}	80:52 ^{ab}
CGD3	60:24 ^{ab}	60:32 ^{ab}	60:36 ^b	60:36 ^b
CGD4	40:24 ^{ab}	40:32 ^{ab}	60:32 ^b	60:32 ^b
CGD5	100:56 ^a	100:68 ^a	100:84 ^a	100:100 ^a
C.V. (%)	14.3	12.1	9.6	7.3
F-value	*	*	*	*

Note: ¹Disease incidence (% DI) = [(0) no symptoms flower 0 %; (1) petal area and the flower base show small brown spots 25%; (2) flower exhibits large brown spots. 26-50%; (3) fungal hyphae begin to grow on the petals and the base of the flower 51-75%; (4) rotten flower is completely covered with fungal hyphae 76-100%]

²DAI: Day after inoculation

³Means followed by the same English letter in the same column are not significantly different at $P < 0.05$ according to the Duncan's Multiple Range Test (DMRT)

ผลของการใช้สารกำจัดเชื้อราต่อการควบคุมเชื้อรา *C. gloeosporioides* (CGD5) สาเหตุโรคแอนแทรคโนสในดอกของทุเรียน

จากการทดสอบประสิทธิภาพของสารกำจัดเชื้อรา 5 ชนิด คือ Carbendazim, Prochloraz, Hymexazol, Pyraclostrobin และ Difenoconazole + Azoxystrobin ในการควบคุมเชื้อรา CGD5 สาเหตุโรคแอนแทรคโนสในดอกทุเรียน พบว่า สารกำจัดเชื้อราทั้งหมดสามารถควบคุมเชื้อรา CGD5 ได้แตกต่างกัน ซึ่งสามารถจัดกลุ่มเปอร์เซ็นต์การยับยั้งได้ 3 กลุ่ม คือ กลุ่มยับยั้งสูง ปานกลาง และน้อยหรืออาจไม่สามารถยับยั้งได้ โดยในสารกำจัดเชื้อรา Carbendazim และ Prochloraz เป็นกลุ่มยับยั้งสูง โดยมีการเจริญของเส้นใยแตกต่างกันขึ้นอยู่กับความเข้มข้นของสารกำจัดเชื้อรา กล่าวคือ การเจริญของเส้นใยเชื้อรา CGD5 จะลดลงเมื่อความเข้มข้นของสารกำจัดเชื้อราเพิ่มขึ้น โดยเห็นผลชัดเจนตั้งแต่ความเข้มข้น 60 เปอร์เซ็นต์ ขึ้นไป ซึ่งมีการเจริญของเส้นใย เท่ากับ 1 และ 0.9 เซนติเมตร ตามลำดับ (Table 2; Figure 7) หลังจากนั้นเมื่อประเมินผลถึงเปอร์เซ็นต์การยับยั้งการเจริญของเชื้อรา CGD5 พบว่า ผลการทดลองสอดคล้องกับค่าการเจริญของเส้นใย กล่าวคือยิ่งความเข้มข้นเพิ่มขึ้นเปอร์เซ็นต์การยับยั้งการเจริญของเชื้อราสาเหตุโรคก็เพิ่มสูงขึ้น โดยใน สารกำจัดเชื้อรา Carbendazim และ Prochloraz พบเปอร์เซ็นต์การยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อรา CGD5 สูงที่สุด เท่ากับ 80 และ 75 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ สอดคล้องกับการรายงานของ Nuchnuanrat and Bunroj (2015) ที่ทดสอบสารกำจัดเชื้อรา Prochloraz และ Mancozeb ด้วยวิธี Poisoned food technique สามารถยับยั้งได้ถึง 100 เปอร์เซ็นต์ และงานวิจัยของ Mpeluza et al. (2023) ทดสอบสารไพโรคลอราซ สามารถยับยั้งการเจริญของเส้นใยของเชื้อรา *C. gloeosporioides* ได้มากกว่า 90 เปอร์เซ็นต์ ส่วนในสารกำจัดเชื้อรา Hymexazol เป็นกลุ่มยับยั้งปานกลาง พบการเจริญของเส้นใยเชื้อรา CGD5 เท่ากับ 3 เซนติเมตร และเมื่อนำมาคำนวณเป็นเปอร์เซ็นต์การยับยั้ง สามารถยับยั้งได้เพียง 25 เปอร์เซ็นต์ และในสารกำจัดเชื้อรา Pyraclostrobin และ Difenoconazole + Azoxystrobin เป็นกลุ่มยับยั้งน้อยหรืออาจไม่สามารถยับยั้งได้ โดยในกลุ่มนี้จะเห็นว่าการเจริญของเส้นใยของเชื้อรา CGD5 เท่ากับ 3.8-4.0 เซนติเมตร ใกล้เคียงกับกรรมวิธีควบคุมที่ไม่ได้ใส่สารกำจัดเชื้อรา และเมื่อประเมินถึงเปอร์เซ็นต์การยับยั้ง พบว่า มีเปอร์เซ็นต์การยับยั้งเท่ากับ 5 เปอร์เซ็นต์ หรือไม่พบเปอร์เซ็นต์การยับยั้ง (Table 2; Figure 7)

หลังจากสิ้นสุดการทดลองได้นำเส้นใยของเชื้อ CGD5 ในทุกความเข้มข้นของสารกำจัดเชื้อรา 5 ชนิด คือ Carbendazim, Prochloraz, Hymexazol, Pyraclostrobin และ Difenoconazole + Azoxystrobin ไปส่องภายใต้กล้องจุลทรรศน์เพื่อสังเกตความผิดปกติของเส้นใยเชื้อรา พบว่า มีเพียงสารกำจัดเชื้อรา Prochloraz ชนิดเดียวที่พบความผิดปกติของเส้นใยเชื้อรา CGD5 ในทุกระดับความเข้มข้น (0, 20, 40, 60, 80 และ 100 เปอร์เซ็นต์) โดยลักษณะความผิดปกติของเส้นใย คือ มีอาการบวมและพองออก แตกหัก และบิดเบี้ยวผิดรูปร่างไปจากเดิม (Figure 8) สอดคล้องกับงานวิจัยของ Hori et al. (2000) ที่ทดสอบประสิทธิภาพของสาร Imidazole เป็นสารป้องกันกำจัดเชื้อราออกฤทธิ์ชนิดแทรกซึม (Translaminal) พบว่า สามารถหยุดกระบวนการต่าง ๆ ของเชื้อรา เช่น ทำลายเซลล์และเยื่อหุ้มเซลล์โดยตรง ยับยั้งการสังเคราะห์ Ergosterol และทำให้ผนังเซลล์ของเชื้อราหยุดการเจริญเติบโต รวมไปถึงงานวิจัยของ Chand et al. (2013) ทดสอบเชื้อรา *C. gloeosporioides* กับสารกำจัดเชื้อราอีก 8 ชนิด คือ Carbendazim, Thiophanate methyl, Mancozeb, Chlorothalonil, Propineb, Captan, Tricyclazole และ Hexaconazole พบว่า สารกำจัดเชื้อรา Carbendazim สามารถควบคุมโรคได้ 63 เปอร์เซ็นต์ นอกจากนั้นยัง พบว่า มีการใช้สารกำจัดเชื้อราดังกล่าวในการควบคุมเชื้อราชนิดอื่น ๆ อีกด้วย เช่น เชื้อรา *Microsporum* sp., *Aspergillus* sp. และ *Candida* sp. เป็นต้น (Omar et al., 2015; Mpeluza et al., 2023) จากผลการทดลองเมื่อเปรียบเทียบอัตราการใช้สารเคมีกำจัดเชื้อราทั้ง 5 ชนิด คือ Carbendazim, Prochloraz, Hymexazol, Pyraclostrobin และ Difenoconazole + Azoxystrobin เกษตรกรส่วนใหญ่จะใช้อัตราตามคำแนะนำข้างฉลากประมาณ 30-60 มิลลิลิตร ต่อน้ำ 20 ลิตร ซึ่งถ้าเทียบกับกับอัตราที่ใช้ในการทดสอบ (จานอาหารเลี้ยงเชื้อ) ก็จะเห็นว่าอัตราความเข้มข้นที่สูง เพียงพอต่อการนำไปใช้ในการฉีดพ่นของเกษตรกรกับต้นทุเรียน จนถึงระยะที่ต้นทุเรียนติดดอกเพราะอัตราความเข้มข้นที่ใช้เป็นอัตราที่สามารถควบคุมโรคแอนแทรคโนสในดอกทุเรียนได้

Table 2 Percentage of mycelial growth inhibition of *C. gloeosporioides* (CGD5) causing anthracnose on durian flower by 5 fungicides (Carbendazim Prochloraz Hymexazol Pyraclostrobin and Difenoconazole + Azoxystrobin) at 6 concentrations (0, 20, 40, 60, 80 and 100 %)

Fungicide	<i>Colletotrichum gloeosporioides</i> (CGD5)											
	Mycelial growth (cm.)						Growth inhibition (%)					
	0 ¹	20	40	60	80	100	0	20	40	60	80	100
Carbendazim	4.0	1.5 ^{a2}	1.3 ^a	1.0 ^a	0.8 ^a	0.8 ^a	-	62.5 ^a	67.5 ^a	75.0 ^a	80.0 ^a	80.0 ^a
Prochloraz	4.0	1.8 ^{ab}	1.4 ^a	0.9 ^a	0.9 ^a	0.9 ^a	-	55.0 ^{ab}	65.0 ^a	77.5 ^a	77.5 ^a	77.5 ^a
Hymexazol	4.0	3.8 ^b	3.6 ^{ab}	3.4 ^{ab}	3.0 ^{ab}	3.0 ^{ab}	-	5.00 ^b	10.0 ^{ab}	15.0 ^{ab}	25 ^{ab}	25.0 ^{ab}
Pyraclostrobin	4.0	4.0 ^c	3.9 ^b	3.8 ^b	3.8 ^b	3.8 ^b	-	0.00 ^c	2.50 ^b	5.00 ^b	5.00 ^b	5.00 ^b
Difenoconazole + Azoxystrobin	4.0	4.0 ^c	4.0 ^b	4.0 ^b	4.0 ^b	4.0 ^b	-	0.00 ^c	0.00 ^c	0.00 ^c	0.00 ^c	0.00 ^c
F-value	ns	*	*	*	*	*	-	*	*	*	*	*
C.V. (%)	8.93	5.85	11.22	9.71	7.92	8.73	-	6.63	5.47	8.44	10.4	9.57

Note: ¹ Chemicals used in the experiment on 6 concentrations (0, 20, 40, 60, 80 and 100 %)

² Means followed by the same English letter in the same column are not significantly different at $P < 0.05$ according to the Duncan's Multiple Range Test (DMRT)

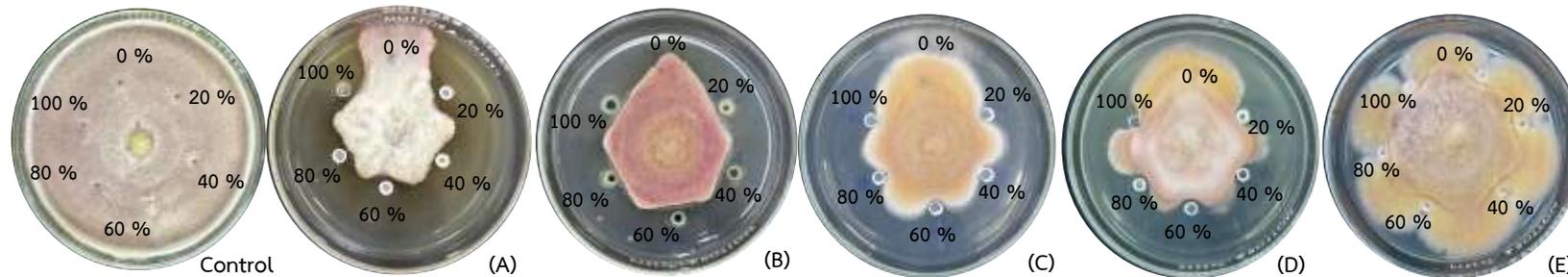


Figure 7 Efficacy of 5 fungicides (Carbendazim (A), Prochloraz (B), Hymexazol (C), Pyraclostrobin (D), and Difenoconazole + Azoxystrobin (E)) at 6 concentrations (0, 20, 40, 60, 80 and 100 %) on inhibiting fungal mycelial growth *C. gloeosporioides* (CGD5) on 7 Day

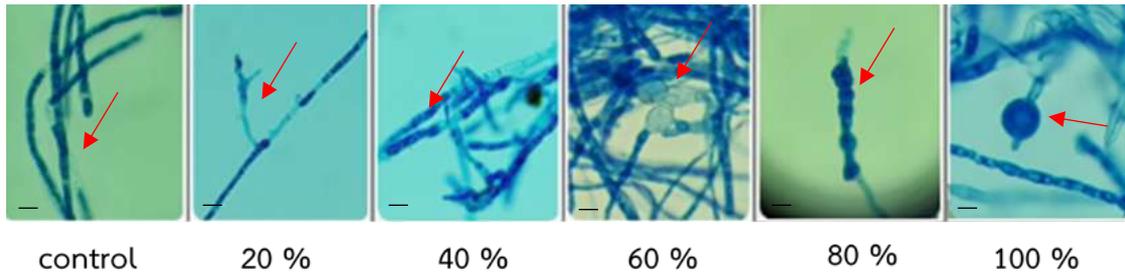


Figure 8 Abnormalities of mycelium *C. gloeosporioides* (CGD5) with the Prochloraz at 6 concentrations (0, 20, 40, 60, 80 and 100 %) on 7 Day

บทสรุป

จากการทดสอบประสิทธิภาพของสารกำจัดเชื้อรา 5 ชนิด คือ Carbendazim, Prochloraz, Hymexazol, Pyraclostrobin และ Difenoconazole + Azoxystrobin ในการควบคุมเชื้อรา *C. gloeosporioides* สาเหตุโรคแอนแทรคโนสในดอกทุเรียน เริ่มจากการแยกเชื้อราสาเหตุโรคจากส่วนของดอกทุเรียนที่แสดงอาการของโรค หลังจากแยกเชื้อราและจัดจำแนกทางชีวโมเลกุลแล้ว พบว่า เป็นเชื้อรา *C. gloeosporioides* จำนวน 5 ไอโซเลท คือ CGD1, CGD2, CGD3, CGD4 และ CGD5 จึงได้นำมาพิสูจน์การเกิดโรคกับดอกทุเรียน 2 ระยะ คือ หัวก่าไล และดอกเหลือง พบว่า ไอโซเลท CGD5 ก่อให้เกิดโรครุนแรงที่สุดถึง 100 เปอร์เซ็นต์ ในดอกทั้ง 2 ระยะ ต่อมาจึงได้นำมาทดสอบกับสารกำจัดเชื้อรา 5 ชนิด ด้วยวิธี Agar well diffusion พบว่า สารกำจัดเชื้อรา 2 ชนิด คือ Carbendazim และ Prochloraz สามารถควบคุมเชื้อรา *C. gloeosporioides* ได้ทุกความเข้มข้น โดยความเข้มข้นเริ่มที่ 60 เปอร์เซ็นต์ เป็นต้นไป สามารถยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อราสาเหตุได้ประมาณ 75-80 เปอร์เซ็นต์ หลังจากนั้นเมื่อนำเชื้อมาส่งภายใต้กล้องจุลทรรศน์ พบความผิดปกติของเส้นใยเชื้อรา CGD5 มีลักษณะอาการบวมและขยายออก เกิดการบิดเบี้ยวผิดรูปร่าง โดยสรุปสามารถยืนยันได้เพียงเบื้องต้นเท่านั้นถึงประสิทธิภาพในการควบคุมเชื้อราสาเหตุโรคแอนแทรคโนสในดอกทุเรียน เพราะทดสอบในสภาพที่มีการควบคุมปัจจัยได้ ถ้าหากจะให้ผลการทดลองแน่ชัดอาจจะต้องมีการทดลองขยายไปยังแปลงปลูกทุเรียนของเกษตรกรผู้ปลูกทุเรียน

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณห้องปฏิบัติการโรคพืชวิทยา ของสาขาเทคโนโลยีการผลิตพืชและภูมิทัศน์ คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม การเกษตร มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก วิทยาเขตจันทบุรี ที่สนับสนุนสถานที่ในการทำวิจัยในครั้งนี้

เอกสารอ้างอิง

- Chand, G., Srivastava, J. N., Kumar, S., & Kumar, S. (2013). Efficacy of different fungicides against anthracnose of mango (*Mangifera indica* L.) in Eastern Bihar. *International Journal of Agriculture Sciences*, 9(1), 204-206. <https://doi.org/10.5555/20133276920>
- Hori, K., Sakaguchi, A., Kudoh, M., Ishida, K., Aoyama, Y., & Yoshida, Y. (2000). Structure-activity relationships of a new antifungal imidazole, AFK-108, and related compounds. *Chemical and Pharmaceutical Bulletin*, 48(1), 60-64. <https://doi.org/10.1248/cpb.48.60>

- Kun, F., Yu-Kun, Q., Li, F., Li, L., Xing-Hong, L., Jian-Lu, Q., De-Wei, L., Ai-Xin, D., Yi-Ji, P., & Qing-Hai, W. (2024). Identification and fungicide screening of fungal species associated with walnut anthracnose in Shaanxi and Liaoning provinces, China. *Plant Disease*, 108(3), 599-607. <https://doi.org/10.1094/PDIS-05-23-0967-RE>
- Mora-Aguilera, J. A., Erendira, G. R., Matin, Y. Z., Rebollar-Alviter, A., Nava, C., Leyva-Mir, S. G., Sandoval-Islas, J. S., & Tovar-Pedraza, J. M. (2021). Sensitivity to MBC fungicides and prochloraz of *Colletotrichum gloeosporioides* species complex isolates from mango orchards in Mexico. *Journal of Plant Diseases and Protection*, 128(33), 481-491. <https://doi.org/10.1007/s41348-020-00412-z>
- Mpeluza, A. S., Akinola, S. A., Shoko, T., Remize, F., & Sivakumar, D. (2023). Efficacy of lactic acid bacteria as a biocontrol agent against Anthracnose (*Persea americana* Miller.) decay in avocado (*Persea americana*) cv. fuerte fruit. *Agriculture*, 13, 269-285. <https://doi.org/10.3390/agriculture13020269>
- Office of Agricultural Economics. (2023, December 19). *Important agricultural product situations and trends in 2024*. Office of Agricultural Economics. <https://oaezone.oae.go.th/assets/portals/26/fileups/202567.pdf>.
- Omar, M., Shaaban, A. M., Abbas, A. M., Moharram, M. M., Farhan, I., & Hassanen, H. (2015). Does vaginal douching affect the type of *Candidal vulvovaginal* infection. *Medical Mycology*, 53, 817-827. <https://doi.org/10.1093/mmy/myv042>
- Piasai, R., Chalmers, P., Piasai, O., & Khewhom, N. (2021). Postharvest fungicide dips to control fruit rot of 'Monthong' durian (*Durio zibethinus*). *European Journal of Plant Pathology*, 160(2), 325-336. <https://doi.org/10.1007/s10658-021-02246-3>
- Nuchnuanrat, P., & Bunroj, A. (2015). Effect of Prochloraz, Benomyl, Carbendazim, Azoxystrobin, Mancozeb and Copper oxychloride for controlling anthracnose disease of dragon fruit. *Rajabhat Rambhai Barni Research Journal*, 9(2), 15-20. <https://so05.tci-thaijo.org/index.php/RRBR/article/view/247029> (In Thai)
- Ek-Amnuay, P. (2016). *Diseases and pests of economic importance*. Amarin Printing and Publishing. (In Thai)
- Ek-Amnuay, P. (2021). *Durian, King of fruits*. Amarin Printing and Publishing. (In Thai)
- Swart, S. H., Serfontein, J. J., Swart, G., & Labuschagne, C. (2009). Chemical control of post-harvest diseases of mango: the effect of fludioxonil and prochloraz on soft brown rot, stem-end rot and anthracnose. *ISHS Acta Horticulturae*, 820, 503-510. <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2009.820.64>
- Wang, W., Taylor, A. S., Tongson, E., Edwards, J., Vaghefi, N., Ades, P. K. Crous, P. W., & Taylor, P. W. J. (2024). Identification and pathogenicity of *Colletotrichum* species associated with twig dieback of citrus in Western Australia. *Plant pathology*, 73, 1194-1212. <https://doi.org/10.1111/ppa.13888>
- White, T. J., Bruns, T. D., Lee, S. B., & Taylor, J. W. (1990). Amplification and direct sequencing of fungal ribosomal RNA genes for phylogenetics. In M. A. Innis, D. H. Gelfand, J. J. Sninsky & T. J. White (Eds.), *PCR Protocols: A guide to methods and applications*. Academic Press.
- Zakaria, L. (2021). Diversity of *Colletotrichum* species associated with anthracnose disease in tropical fruit crops- A Review. *Agriculture*, 11(4), 297-302. <https://doi.org/10.3390/agriculture11040297>

Received: January 22, 2025; Revised: March 6, 2025; Accepted: March 31, 2025

การพัฒนามิเตอร์ไฟฟ้าแบบ IoT (Internet of Things) 5 หน่วย Development of 5-unit IoT-based electricity meters

ณรงค์ชัย ดีสม^{1*} บุตรีดี มะลัยทอง¹ ปรัชญา ประยงค์หอม¹ จำนงค์ พันสนิท¹ และบุญเจตน์ แจ่มจันทร์²
Narongchai Deesom^{1*}, Buddee Malaithohg¹, Prachya Prayonghorm¹,
Chamnong Pansanit¹ and Boonjet Jamjan²

¹แผนกวิชาช่างไฟฟ้ากำลัง วิทยาลัยเทคนิคสุรินทร์ จังหวัดสุรินทร์

¹Department of Electrical Engineering, Surin Technical College, Surin Province

²แผนกวิชาช่างอิเล็กทรอนิกส์ วิทยาลัยเทคนิคสุรินทร์ จังหวัดสุรินทร์

²Department of Electronics Engineering, Surin Technical College, Surin Province

*Corresponding Author: Email Address : narong.deesom@gmail.com

บทคัดย่อ

การพัฒนามิเตอร์ไฟฟ้าแบบ IoT (Internet of Things) 5 หน่วย มีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาและตรวจสอบคุณลักษณะของมิเตอร์ไฟฟ้าแบบ IoT 5 หน่วย และพัฒนาระบบส่งข้อมูลไปยังคลาวด์และแสดงผ่านแดชบอร์ด โดยมิเตอร์ไฟฟ้าที่พัฒนาสามารถอ่านค่าปริมาณทางไฟฟ้า โดยใช้โมดูลวัดพลังงานไฟฟ้า PZEM 004t v3.0 และส่งข้อมูลไปยังบอร์ด ESP32S ประมวลผลส่งข้อมูลไปยังคลาวด์ผ่านเครือข่ายอินเทอร์เน็ต มิเตอร์ไฟฟ้าใช้แรงดันไฟฟ้าขนาด 230 V สำหรับเลี้ยงวงจร ผลการวิจัยพบว่า มิเตอร์ไฟฟ้าแบบ IoT โดยใช้โมดูลวัดปริมาณไฟฟ้า (PZEM 004t) จำนวน 5 ตัว สามารถวัดปริมาณทางไฟฟ้า ประกอบด้วย แรงดันไฟฟ้า (V) กระแสไฟฟ้า (A) กำลังไฟฟ้า (W) ความถี่ (Hz) เพาเวอร์แฟกเตอร์ (PF) และพลังงานไฟฟ้า (Wh) มีความคลาดเคลื่อนการวัดแรงดันไฟฟ้ามีค่าความคลาดเคลื่อน $\pm 0.16\%$ กระแสไฟฟ้ามีค่าความคลาดเคลื่อน $\pm 0.91\%$ และกำลังไฟฟ้ามีค่าความคลาดเคลื่อน $\pm 0.80\%$ อยู่ในเกณฑ์มาตรฐานที่การไฟฟ้าส่วนภูมิภาคกำหนดเกณฑ์การสอบเทียบมิเตอร์คลาดเคลื่อนไม่เกิน $\pm 2.5\%$ สำหรับมิเตอร์ที่ติดตั้งในระบบแรงดันไม่เกิน 33 kV และผลการตรวจสอบการส่งข้อมูลไปยังคลาวด์ การแสดงผลผ่านแดชบอร์ดถูกต้องและแม่นยำตรงแบบเวลาจริง สามารถดูข้อมูลการใช้พลังงานไฟฟ้าย้อนหลังได้ผ่าน Web browser และสามารถนำข้อมูลการใช้พลังงานไฟฟ้าไปใช้วิเคราะห์และบริหารจัดการได้

คำสำคัญ : มิเตอร์ไฟฟ้า ปริมาณทางไฟฟ้า คลาวด์

Abstract

The development of five-unit IoT-based (Internet of Things) electricity meters aimed to design, evaluate, and verify their characteristics, also to develop a data transmission system to the cloud and display the information via a dashboard. The developed electricity meters could measure electrical quantities using the PZEM-004T v3.0 energy measurement module and transmit data to an ESP32 board for processing before sending it to the cloud via an internet network. The electricity meters operated at a voltage of 230V to power the circuit. The research results indicated that the five IoT-based electricity meters, utilizing PZEM-004T energy measurement modules and communicating via the Modbus protocol, could accurately measure electrical quantities, including voltage (V), current (A), power (W), frequency (Hz), power factor

(PF), and energy consumption (Wh). The measurement errors observed were $\pm 0.16\%$ for voltage, $\pm 0.91\%$ for current, and $\pm 0.80\%$ for power. All were within the accuracy standard limit set by the Provincial Electricity Authority at $\pm 2.5\%$ error for the meter installed in lower than 33 kV voltage system. Additionally, data transmission to the cloud and the dashboard display was accurate and real-time precise. In conclusion, the development of five-unit IoT-based electricity meters demonstrated acceptable measurement accuracy and reliable data presentation through the dashboard. Historical electricity consumption data could be accessed via a web browser, and the data could be utilized for analysis and management purposes.

Keywords: Electricity meter, Electrical quantities, Cloud

บทนำ

อุตสาหกรรมไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ของไทยส่วนใหญ่ ยังคงพึ่งพาการลงทุนโดยตรงจากต่างประเทศ และผู้ประกอบการไทยเป็นเพียงผู้รับจ้างประกอบที่ไม่มีเทคโนโลยีเป็นของตนเอง ทั้งยังขาดความเชื่อมโยงระหว่างการผลิตเชิงพาณิชย์ โดยการมีโครงสร้างการผลิตที่พึ่งพาแรงงานสูงและใช้เงินลงทุนต่ำ ส่งผลให้อุตสาหกรรมไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ของไทยยังไม่สามารถก้าวเป็นผู้นำตลาดของอาเซียน และไม่สามารถสร้างมูลค่าเพิ่มทางเศรษฐกิจให้แก่ประเทศได้เท่าที่ควร (National Economic and Social Development Council, 2022)

พลังงานไฟฟ้า คือ ปัจจัยที่มีความสำคัญที่สุดปัจจัยหนึ่งในการดำรงชีวิตประจำวัน นอกจากการให้แสงสว่างในยามค่ำคืน ให้ความร้อนในการหุงต้มและรีดผ้า ให้พลังงานที่ใช้ในการหมุนมอเตอร์ เช่น เครื่องดูดฝุ่น เครื่องปั่น เครื่องทำความเย็น และเครื่องใช้ไฟฟ้าประเภทอื่น ๆ แล้ว พลังงานไฟฟ้ายังมีความจำเป็นต่อการสื่อสาร การคมนาคม เศรษฐกิจ อุตสาหกรรม เกษตรกรรม ฯลฯ โดย “ไฟฟ้า” เป็นตัวแปรสำคัญในการพัฒนาเศรษฐกิจ การเพิ่มผลผลิตทางการเกษตร รวมถึงการยกระดับอุตสาหกรรมให้ทัดเทียมอารยประเทศ ซึ่งส่งผลโดยตรงต่อการกระจายรายได้ การสร้างขีดความสามารถในการแข่งขันในด้านการผลิตและการขายสินค้า ซึ่งเป็นเป้าหมายสำคัญในการพัฒนาเศรษฐกิจ (NPS Public Company Limited, 2024)

ในประเทศไทยได้มีรูปแบบการคิดค่าไฟฟ้าตามช่วงเวลา ซึ่งจำเป็นต้องใช้มาตรแบบอิเล็กทรอนิกส์มากกว่าสิบปีแล้ว แต่ผู้ใช้ไฟฟ้าที่เลือกคิดค่าไฟฟ้าแบบนี้มีจำนวนไม่ถึงแสนราย มาตรอิเล็กทรอนิกส์ส่วนใหญ่ยังไม่มีความสามารถถึงขั้นมาตรอัจฉริยะ การไฟฟ้าส่วนภูมิภาคได้ประกาศแผนที่นำทางโครงข่ายอัจฉริยะ (Smart grid road map) ในปี พ.ศ. 2554 ซึ่งในแผนได้กำหนดให้มีโครงการนำร่องที่จะติดตั้งมาตรอัจฉริยะ ประมาณ 400,000 ตัว ภายในเวลา 5 ปีข้างหน้า และจะเปลี่ยนมาตรที่ติดตั้งอยู่ทั้งหมดประมาณ 12 ล้านตัว ให้เป็นมาตรอัจฉริยะเกือบทั้งหมด อนึ่ง ปัจจุบันนี้ทางการไฟฟ้าส่วนภูมิภาคได้ติดตั้งมาตรอิเล็กทรอนิกส์ที่มีความสามารถในการอ่านหน่วยไฟฟ้าจากระยะไกล โดยใช้การสื่อสารแบบ GPRS แก่ผู้ใช้ไฟฟ้ารายใหญ่ ประมาณ 8 หมื่นรายอยู่แล้ว การไฟฟ้านครหลวงกำลังศึกษาแผนที่นำทางโครงข่ายอัจฉริยะ และมีโครงการนำร่องที่จะติดตั้งมาตรอัจฉริยะจำนวนมากในอนาคตเช่นกัน (Pora, 2024) ในวันที่ 1 พฤษภาคม พ.ศ. 2561 หน่วยงานหลักในการคุ้มครองผู้บริโภคหรือ สคบ. ได้ออกประกาศควบคุมสัญญาเรื่องธุรกิจให้เช่า ซึ่งมีเนื้อหาใจความสำคัญด้วยกันหลายประการ อาทิ การห้ามเก็บค่าเช่าล่วงหน้าเกิน 1 เดือน การยกเลิกสัญญาเช่าโดยต้องแจ้งล่วงหน้าก่อน 30 วัน การผิดสัญญาเช่า เป็นต้น โดยทั้งหมดนี้เป็นเพียงส่วนหนึ่งในการควบคุมสัญญาเท่านั้น โดยในเนื้อหายังมีอีกข้อควบคุมหนึ่งที่หอพัก อพาร์ทเมนต์ต้องปฏิบัติตามอย่างเคร่งครัด และเป็นหนึ่งเรื่องที่ผู้เช่าไม่ควรพลาดเช่นกันก็คือ “ห้ามหอพัก อพาร์ทเมนต์ เรียกเก็บค่าน้ำ ค่าไฟ ค่าโทรฯ เกินกว่าอัตราที่ผู้ให้บริการกระแสไฟฟ้าและน้ำประปาเรียกเก็บจากผู้ประกอบการ” ซึ่งหมายความว่านับตั้งแต่บัดนี้ไป ผู้เช่ามีสิทธิในการจ่ายค่าน้ำค่าไฟตามอัตราที่การไฟฟ้าและการประปาเรียกเก็บ โดยผู้ให้เช่าต้องนำใบเสร็จหรือแสดงหลักฐานในการเรียกเก็บค่าใช้จ่ายในส่วนนี้อย่างชัดเจน ดังนั้นจึงเป็นข้อกฎหมายที่ผู้เช่าหอพัก/อพาร์ทเมนต์ทุกคนควรจะต้องรู้ เพื่อป้องกันการเรียกเก็บค่าน้ำ ค่าไฟ ที่เกินความเป็นจริงจากผู้ให้เช่า ทั้งนี้ก่อนที่จะมีการออกประกาศควบคุมเรื่องการเก็บค่าน้ำค่าไฟจากหอพักหรืออพาร์ทเมนต์นั้น ผู้เช่าหลาย ๆ คนคงเห็นว่าระบบการเก็บค่าน้ำค่าไฟของหอพักและอพาร์ทเมนต์ต่าง ๆ จะมี 2 รูปแบบ คือ 1) การเก็บค่าน้ำค่าไฟโดยคิดเป็นหน่วยตามที่ใช้จริง แต่ค่าใช้บริการต่อหน่วยเป็นราคาที่ทางหอพักกำหนดเอง ซึ่งส่วนใหญ่จะมีการเก็บค่าไฟอยู่ที่หน่วยละ 5-8 บาท และค่าน้ำอยู่ที่หน่วยละ 20-25 บาท 2) การเรียกเก็บค่าน้ำค่าไฟแบบเหมาจ่ายต่อเดือน ซึ่งส่วนใหญ่จะเฉลี่ยจากการใช้น้ำ ใช้ไฟ ของผู้ใช้งานต่อเดือน (Natni, 2024)

มิเตอร์ไฟฟ้าแบบ IoT (Internet of Things) กำลังเป็นที่นิยมมากขึ้นในประเทศไทย เนื่องจากสามารถเชื่อมต่อและสื่อสารข้อมูลการใช้ไฟฟ้าแบบเรียลไทม์ ช่วยให้ทั้งผู้ให้บริการและผู้ใช้ไฟฟ้าสามารถติดตามและจัดการการใช้พลังงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ งานวิจัยระบบอ่านมิเตอร์ไฟฟ้า 3 เฟส แบบอัตโนมัติและแสดงผลด้วย ThingsBoard นำเสนอวิธีการอ่านค่าพลังงานไฟฟ้าจากเครื่องวัดพลังงานไฟฟ้าแบบ 3 เฟส ด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์ ESP32S ซึ่งเชื่อมต่อผ่านช่องทางสื่อสาร RS-485 โดยใช้โปรโตคอล Modbus RTU และส่งข้อมูลที่อ่านได้ผ่านเครือข่ายอินเทอร์เน็ตเพื่อแสดงค่าการใช้พลังงานไฟฟ้าแบบเวลาจริงที่ ThingsBoard Server จากการทดลองสามารถตรวจสอบการใช้พลังงานไฟฟ้าได้อย่างถูกต้องและแม่นยำ ตรงแบบเวลาจริง สามารถดูข้อมูลการใช้พลังงานไฟฟ้าย้อนหลังได้ผ่าน Web browser และสามารถนำข้อมูลการใช้พลังงานไฟฟ้าไปใช้วิเคราะห์และบริหารจัดการได้ (Teejanthuek et al., 2021) และงานวิจัยต้นแบบมิเตอร์ไฟฟ้าอัจฉริยะ 3 เฟส สำหรับระบบโครงข่ายไฟฟ้าสมัยใหม่ สามารถนำไปใช้งานได้ในระบบไฟฟ้ากระแสสลับ 50 Hz ที่พิกัดแรงดันไฟฟ้า 220 V +10% และพิกัดกระแสไฟฟ้า (30)100 A โดยใช้ไอซี ADE7880 ในการแปลงสัญญาณอนาล็อกให้เป็นสัญญาณดิจิทัลและคำนวณค่าพลังงานไฟฟ้า และใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ MCU ARM7 เบอร์ LPC2148 เป็นตัวประมวลผลและควบคุมการทำงานต่าง ๆ จากผลการทดลองพบว่า มิเตอร์ไฟฟ้าอัจฉริยะ มีเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดสูงสุดในการตรวจวัดไม่เกิน +4% โดยมีมิเตอร์ไฟฟ้าอัจฉริยะที่สร้างขึ้น สามารถตรวจวัดค่าพารามิเตอร์ทางไฟฟ้าได้ดังนี้ แรงดันไฟฟ้า กระแสไฟฟ้า กำลังไฟฟ้าจริง กำลังไฟฟ้าเสมือน กำลังไฟฟ้าปรากฏ พลังงานไฟฟ้า (kWh, kVARh และ kVAh) และ ตัวประกอบกำลังไฟฟ้า และสามารถแสดงผลได้แบบเรียลไทม์ผ่านหน้าจอ LCD อีกทั้งยังใช้ Zigbee เป็นอุปกรณ์ในการสร้างโครงข่ายของระบบการสื่อสารแบบไร้สาย สำหรับการรับส่งข้อมูลเพื่อบันทึกและแสดงผลระยะไกลผ่านหน้าจอคอมพิวเตอร์ ด้วยโปรแกรม Visual studio (GUI) ที่สร้างขึ้น โดยรับส่งข้อมูลที่ย่านความถี่ 2.4 GHz ตามมาตรฐาน IEEE 802.15.4 ด้วยคุณสมบัติของมิเตอร์ไฟฟ้าอัจฉริยะดังกล่าว จะช่วยให้ผู้ใช้สามารถตรวจสอบข้อมูลและพฤติกรรมการใช้พลังงานได้ด้วยตนเองผ่านช่องทางที่สะดวกและง่ายขึ้น ซึ่งจะช่วยให้สามารถบริหารจัดการการใช้งานพลังงานไฟฟ้าได้อย่างมีประสิทธิภาพและคุ้มค่ามากขึ้น (Chanput, 2013)

คณะผู้วิจัยมีความสนใจพัฒนามิเตอร์ไฟฟ้าแบบ IoT 5 หน่วย ที่สามารถวัดปริมาณทางไฟฟ้าได้ครั้งละ 5 หน่วย ด้วยโมดูลวัดพลังงานไฟฟ้า Pzem-004t v3.0 จำนวน 5 ตัว ส่งข้อมูลผ่านโปรโตคอล Modbus ให้ ESP32S ประมวลผลส่งข้อมูลเครือข่ายอินเทอร์เน็ตไปยังระบบคลาวด์และติดตามตรวจสอบข้อมูลผ่านหน้าเว็บแอป ซึ่งระบบนี้สามารถนำมาใช้ทดแทนหรือต่อร่วมกับมิเตอร์ไฟฟ้าแบบจานหมุนเดิมที่ติดตั้งอยู่แล้ว เพื่ออำนวยความสะดวกและให้การจัดการจัดเก็บค่าใช้จ่ายพลังงานไฟฟ้าของผู้ประกอบการที่คิดกับลูกค้ามีความยุติธรรมและเป็นไปตามที่กฎหมายกำหนด เพิ่มความแม่นยำและประสิทธิภาพในการจัดการพลังงานไฟฟ้า งานวิจัยนี้สามารถนำไปประยุกต์ใช้จัดการและการติดตามการใช้พลังงานไฟฟ้าของ อาคารชุด อพาร์ทเมนต์ คอนโดมิเนียม อย่างมีประสิทธิภาพต่อไป

วัสดุ อุปกรณ์ และวิธีการ

1. การพัฒนาและตรวจสอบคุณลักษณะของมิเตอร์ไฟฟ้าแบบ IoT 5 หน่วย

การพัฒนามิเตอร์ไฟฟ้าแบบ IoT 5 หน่วย ครั้งนี้ ได้ออกแบบโครงสร้างและหลักการทำงาน เพื่อให้อุปกรณ์ที่ใช้วัดปริมาณที่ไฟฟ้าส่งข้อมูลผ่านไวไฟและเครือข่ายอินเทอร์เน็ตไปยังคลาวด์ (Figure 1)

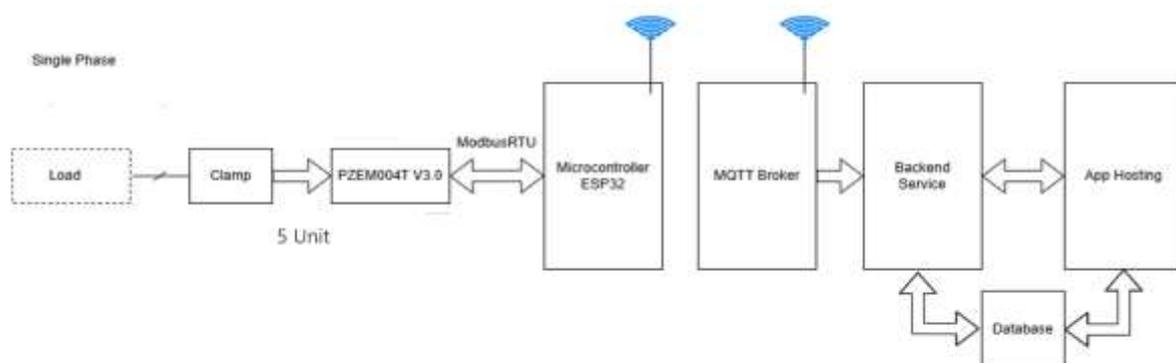


Figure 1 Structure and working principle of 5-unit IoT electricity meter

1.1 การสร้างมิเตอร์ไฟฟ้าแบบ IoT 5 หน่วย

1.1.1 ศึกษาข้อมูลพื้นฐาน การออกแบบวงจรไฟฟ้าของมิเตอร์ไฟฟ้าแบบ IoT 5 หน่วย กำหนดขาใช้งานของบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ ESP32S กับจอแสดงผล LCD 16X2 I2C และ PZEM 004t จำนวน 5 ตัว (Figure 2)

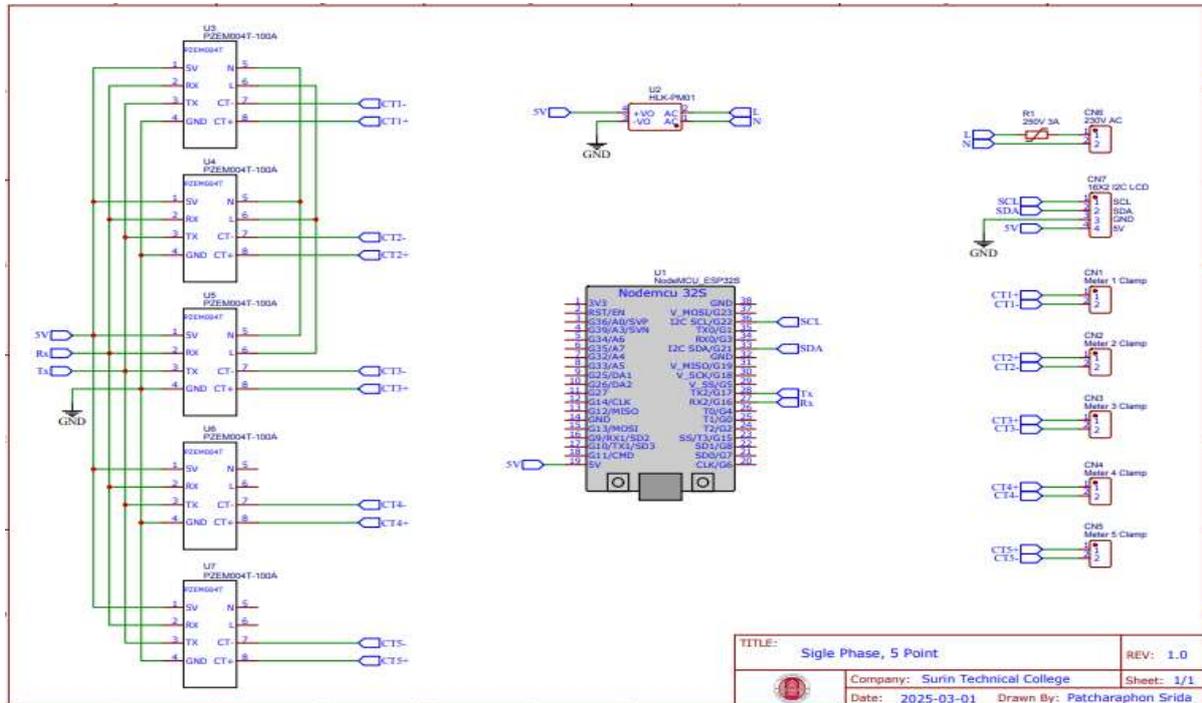


Figure 2 Five-unit IoT electricity meter circuit diagram

1.1.2 ออกแบบและจัดทำแผ่น PCB มิเตอร์ไฟฟ้าแบบ IoT 5 หน่วย (Figure 3) มีอุปกรณ์เช่น บอร์ด ESP32S โมดูลวัดพลังงานไฟฟ้า PZEM 004t v3.0

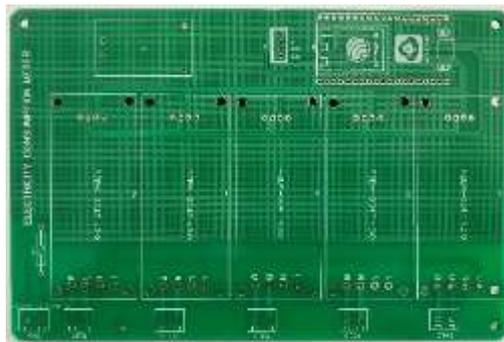


Figure 3 Five-unit IoT electricity meter PCB board

1.1.3 บอร์ด ESP32S เป็นไมโครคอนโทรลเลอร์ที่พัฒนาโดย Espressif systems ซึ่งเป็นชิปที่ได้รับการปรับปรุงจากรุ่น ESP8266 โดยเพิ่มความสามารถในการเชื่อมต่อ Wi-Fi และ Bluetooth (ทั้ง Classic และ BLE) พร้อมกับทรัพยากรที่แรงขึ้น เช่น ซีพียูแบบดิวอัลคอร์, แรมมากขึ้น, GPIO มากขึ้น และรองรับการเข้ารหัสข้อมูล ทำให้ ESP32S เหมาะสำหรับ IoT, ระบบสมาร์ตโฮม, อุปกรณ์ไร้สาย และแอปพลิเคชันที่ต้องการการสื่อสารระยะไกล ดัง Figure 4



Figure 4 ESP32S board

1.1.4 โมดูลเซนเซอร์วัดปริมาณไฟฟ้าเลือกใช้ PZEM-004 มีคุณสมบัติรองรับแรงดันไฟฟ้าที่ 80-260 VAC (50/60 Hz) กระแสสูงสุด 100 A (ขึ้นอยู่กับ CT ที่ใช้) พลังงานที่สามารถวัดได้ แรงดันไฟฟ้า (Voltage) กระแสไฟฟ้า (Current) กำลังไฟฟ้า (Power) พลังงานสะสม (Energy) มีความแม่นยำ แรงดันไฟฟ้า: $\pm 0.5\%$ กระแสไฟฟ้า: $\pm 0.5\%$ กำลังไฟฟ้า: $\pm 1\%$ พลังงานสะสม: $\pm 1\%$ การเชื่อมต่อสื่อสารใช้ RS-485 (Modbus RTU) หรือ UART (TTL 5V) เหมาะสำหรับเชื่อมต่อกับไมโครคอนโทรลเลอร์ เช่น Arduino, ESP8266, ESP32S, Raspberry Pi การใช้พลังงานต่ำสามารถใช้ในการตรวจสอบพลังงานต่อเนื่องได้ การออกแบบที่กะทัดรัด ขนาดเล็ก ติดตั้งง่าย เหมาะกับการใช้ในกล่องควบคุมไฟฟ้าต่าง ๆ การนำไปใช้งานใช้วัดการใช้พลังงานของอุปกรณ์ไฟฟ้าใช้ในระบบ Home automation และ IoT ใช้ตรวจสอบและวิเคราะห์การใช้พลังงานไฟฟ้าในโรงงานหรืออาคาร ดัง Figure 5



Figure 5 Electrical measurement module PZEM 004t v3.0

1.1.5 เขียนโปรแกรมให้โมดูลวัดปริมาณไฟฟ้า (PZEM 004t) จำนวน 5 ตัว ใช้ขาสื่อสาร RX/TX ของ ESP32S เชื่อมกับ PZEM-004T โดยตรงด้วยการสื่อสารด้วย Modbus โพรโตคอล เพื่อส่งคำสั่งไปยัง PZEM-004T วัดปริมาณทางไฟฟ้า ประกอบด้วย แรงดันไฟฟ้า (V) กระแสไฟฟ้า (A) กำลังไฟฟ้า (W) ความถี่ (Hz) เพาเวอร์แฟกเตอร์ (PF) และพลังงานไฟฟ้า (Wh) และส่งข้อมูลกลับไปยังบอร์ด ESP32S เพื่อประมวลผลไปยังระบบคลาวด์ ผ่านไวไฟและเครือข่ายอินเทอร์เน็ต

1.2 การตรวจสอบคุณลักษณะมิเตอร์ไฟฟ้า IoT 5 หน่วย

1.2.1 การตรวจสอบความคลาดเคลื่อนการวัดค่าปริมาณทางไฟฟ้าของมิเตอร์ไฟฟ้าแบบ IoT 5 หน่วย โดยการวัดปริมาณทางไฟฟ้าขณะที่ทำการจ่ายกระแสไฟฟ้าให้กับโหลดไฟแบบ PAR38 ขนาด 120 W ได้แก่ แรงดันไฟฟ้า กระแสไฟฟ้า และกำลังไฟฟ้า ที่อ่านได้จากมิเตอร์ไฟฟ้าแบบ IoT 5 หน่วย เปรียบเทียบกับอิล็กทรอนิกส์กิโลวัตต์ฮาวมิเตอร์ หาค่าความคลาดเคลื่อนสัมพัทธ์ (Relative error) ดังสูตร Eq.1 และ Eq.2 (Nunak & Suesut, 2012)

$$\text{ค่าความคลาดเคลื่อนสัมพัทธ์} = \frac{\text{ค่าที่วัดได้} - \text{ค่าจริง}}{\text{ค่าจริง}} \quad (\text{Eq.1})$$

$$\text{ความคลาดเคลื่อน (\%)} = \text{ค่าความคลาดเคลื่อนสัมพัทธ์} \times 100 \quad (\text{Eq.2})$$

1.2.2 เกณฑ์คลาดเคลื่อนการวัดค่าปริมาณทางไฟฟ้าของมิเตอร์ไฟฟ้า ดำเนินการหาค่าความคลาดเคลื่อนของมิเตอร์ไฟฟ้าแบบ IoT 5 หน่วย เปรียบเทียบกับอิล็กทรอนิกส์กิโลวัตต์ฮาวมิเตอร์ ตามเกณฑ์การสอบเทียบมิเตอร์คลาดเคลื่อนไม่เกิน $\pm 2.5\%$ สำหรับมิเตอร์ที่ติดตั้งในระบบแรงดันไม่เกิน 33 kV (Provincial Electricity Authority, 2019)

2. เพื่อพัฒนาระบบส่งข้อมูลไปยังคลาวด์และแสดงผ่านแดชบอร์ด

2.1 เขียนโปรแกรมสร้างหน้าตาเว็บแอป ชื่อ Smart Canteen ติดตั้งที่ <http://35.197.134.127> เขียนโดยใช้ภาษา TypeScript กำหนดโครงสร้าง 3 ส่วน ประกอบด้วย จ่ายบิลค่าไฟ มิเตอร์และผู้ดูแล

2.2 เขียนโปรแกรมด้วยภาษา C++ ให้บอร์ด ESP32S สามารถส่งข้อมูลไปจัดเก็บบนฐานข้อมูลด้วยโปรโตคอล MQTT (Message Queuing Telemetry Transport) เป็นโปรโตคอลสื่อสารแบบ publish/subscribe ที่ออกแบบมาสำหรับ IoT และระบบที่ต้องการส่งข้อมูลแบบเรียลไทม์โดยใช้พลังงานต่ำและแบนด์วิดท์ต่ำ เหมาะสำหรับเซ็นเซอร์, สมาร์ทโฮม, ระบบอัตโนมัติ และ IoT แสดงข้อมูลปริมาณทางไฟฟ้าที่วัดด้วยมิเตอร์ไฟฟ้าแบบ IoT 5 หน่วย จำนวน 3 ชุด และสามารถดูการใช้พลังงานไฟฟ้าด้วยพีเจอร์กราฟแบบรายเดือน

2.3 ทดสอบระบบส่งข้อมูลไปยังคลาวด์และแสดงผ่านแดชบอร์ด การทดสอบระบบส่งข้อมูลเพื่อติดตามปริมาณทางไฟฟ้าผ่านเว็บแอป ดำเนินการโดยการทดลองอ่านค่าปริมาณทางไฟฟ้าผ่านเว็บไซต์ <http://35.197.134.127> ทำการทดสอบซ้ำ 3 ครั้ง และบันทึกผล

ผลการวิจัย

1. ผลการพัฒนาและตรวจสอบคุณลักษณะของมิเตอร์ไฟฟ้าแบบ IoT 5 หน่วย

1.1 ผลการพัฒนามิเตอร์ไฟฟ้าแบบ IoT 5 หน่วย มิเตอร์ไฟฟ้าที่พัฒนาสามารถอ่านค่าปริมาณทางไฟฟ้า โดยใช้โมดูลวัดพลังงานไฟฟ้า PZEM 004t v3.0 และส่งข้อมูลไปยังบอร์ด ESP32S ประมวลผลส่งข้อมูลไปยังคลาวด์ผ่านเครือข่ายอินเทอร์เน็ต มิเตอร์ไฟฟ้าใช้แรงดันไฟฟ้าขนาด 230 V สำหรับเลี้ยงวงจร ดัง Figure 6



Figure 6 Five-unit IoT electricity meter

1.2 ผลตรวจสอบคุณลักษณะของมิเตอร์ไฟฟ้าแบบ IoT 5 หน่วย

1.2.1 ด้านคุณลักษณะ มิเตอร์ไฟฟ้าแบบ IoT 5 หน่วยที่พัฒนาสามารถอ่านค่าปริมาณทางไฟฟ้าประกอบด้วย แรงดันไฟฟ้า (V) กระแสไฟฟ้า (A) กำลังไฟฟ้า (W) ความถี่ (Hz) เพาเวอร์แฟกเตอร์ (PF) และพลังงานไฟฟ้า (Wh)

1.2.2 การตรวจสอบความคลาดเคลื่อนของมิเตอร์ไฟฟ้าแบบ IoT 5 หน่วย ดำเนินการวัดปริมาณทางไฟฟ้าเมื่อจ่ายกระแสไฟฟ้าให้กับหลอดไฟแบบ PAR38 ขนาด 120 W ประกอบด้วย แรงดันไฟฟ้า (V) กระแสไฟฟ้า (A) และกำลังไฟฟ้า (W) ด้วยอิเล็กทรอนิกส์กิโลวัตต์ฮาวมิเตอร์เปรียบเทียบกับมิเตอร์ไฟฟ้าแบบ IoT 5 หน่วย จำนวน 3 ครั้ง ผลการทดสอบดัง Table 1-4

Table 1 The results of voltage, current, and power measurement of electronic kilowatt-hour meter and 5-unit IoT electricity meter from the first test

list	Electrical meter	5-unit IoT electricity meter					Average	The error value of electronic kilowatt-hour meter, 5-unit IoT
		No. 1	No. 2	No. 3	No. 4	No. 5		
Voltage (V)	Electronic kilowatt-hour meter,	231	230	229	230	230	230.00	-0.09%
	5-unit IoT power meter	230	230	230	230	229	229.80	
Electric current (A)	Electronic kilowatt-hour meter,	0.51	0.51	0.51	0.51	0.52	0.51	1.95%
	5-unit IoT power meter	0.52	0.52	0.52	0.52	0.53	0.52	
Electrical power (W)	Electronic kilowatt-hour meter,	117	118	117	117	118	117.40	1.02%
	5-unit IoT power meter	119	118	118	119	119	118.60	

จาก Table 1 ผลการทดสอบวัดปริมาณทางไฟฟ้าที่วัดได้จากมิเตอร์ไฟฟ้าแบบ IoT 5 หน่วย เปรียบเทียบกับอิเล็กทรอนิกส์กิโลวัตต์ชั่วโมงเตอร์ของการไฟฟ้าครั้งที่ 1 พบว่า ค่าความคลาดเคลื่อนการวัดแรงดันไฟฟ้า (V) เท่ากับ 0.09% การวัดกระแสไฟฟ้า (A) เท่ากับ 1.95% และ กำลังไฟฟ้า (W) เท่ากับ 1.02%

Table 2 The results of voltage, current, and power measurement of electronic kilowatt-hour meter and 5-unit IoT electricity meter from the third test

list	Electrical meter	5-unit IoT electricity meter					Average	The error value of electronic kilowatt-hour meter, 5-unit IoT
		No. 1	No. 2	No. 3	No. 4	No. 5		
Voltage (V)	Electronic kilowatt-hour meter,	231	230	230	230	230	230.20	0.17%
	5-unit IoT power meter	231	230	230	231	231	230.60	
Electric current (A)	Electronic kilowatt-hour meter,	0.52	0.51	0.51	0.51	0.52	0.51	1.56%
	5-unit IoT power meter	0.52	0.52	0.52	0.52	0.53	0.52	
Electrical power (W)	Electronic kilowatt-hour meter,	118	118	117	117	118	117.60	0.85%
	5-unit IoT power meter	119	118	118	119	118	118.60	

จาก Table 2 ผลการทดสอบวัดปริมาณทางไฟฟ้าที่วัดได้จากมิเตอร์ไฟฟ้าแบบ IoT 5 หน่วย เปรียบเทียบกับอิเล็กทรอนิกส์กิโลวัตต์ชั่วโมงเตอร์ของการไฟฟ้าครั้งที่ 2 พบว่า ค่าความคลาดเคลื่อนการวัดแรงดันไฟฟ้า (V) เท่ากับ 0.17% การวัดกระแสไฟฟ้า (A) เท่ากับ 1.56% และ กำลังไฟฟ้า (W) เท่ากับ 0.85%

Table 3 The results of voltage, current, and power measurement of electronic kilowatt-hour meter and 5-unit IoT electricity meter from the third test

list	Electrical meter	5-unit IoT electricity meter					Average	The error value of electronic kilowatt-hour meter, 5-unit IoT
		No. 1	No. 2	No. 3	No. 4	No. 5		
Voltage (V)	Electronic kilowatt-hour meter,	231	230	229	230	230	230.00	-0.52%
	5-unit IoT power meter	228	228	230	229	229	228.80	
Electric current (A)	Electronic kilowatt-hour meter,	0.51	0.51	0.51	0.51	0.52	0.51	1.39%
	5-unit IoT power meter	0.50	0.52	0.52	0.50	0.53	0.51	
Electrical power (W)	Electronic kilowatt-hour meter,	117	118	117	117	118	117.40	0.51%
	5-unit IoT power meter	119	117	117	119	118	118.00	

จาก Table 3 ผลการทดสอบวัดปริมาณทางไฟฟ้าที่วัดได้จากมิเตอร์ไฟฟ้าแบบ IoT 5 หน่วย เปรียบเทียบกับอิเล็กทรอนิกส์กิโลวัตต์ชั่วโมงมิเตอร์ของการไฟฟ้าครั้งที่ 3 พบว่า ค่าความคลาดเคลื่อนการวัดแรงดันไฟฟ้า (V) เท่ากับ -0.52% การวัดกระแสไฟฟ้า (A) เท่ากับ 1.39% และ กำลังไฟฟ้า (W) เท่ากับ 0.51%

Table 4 The average voltage, current, and power measurement of electronic kilowatt-hour meters and 5-unit IoT electricity meters from Table 1-3.

list	Electrical meter	Order			Average	The error value of electronic kilowatt-hour meter, 5-unit IoT
		1	2	3		
Voltage (V)	Electronic kilowatt-hour meter,	230.00	230.20	230.00	230.07	0.16%
	5-unit IoT power meter	229.80	230.60	228.80	229.73	
Electric current (A)	Electronic kilowatt-hour meter,	0.51	0.51	0.51	0.51	0.91%
	5-unit IoT power meter	0.52	0.52	0.51	0.52	
Electrical power (W)	Electronic kilowatt-hour meter,	117.40	117.60	117.40	117.47	0.80%
	5-unit IoT power meter	118.60	118.60	118.00	118.40	

จาก Table 4 ผลการทดสอบวัดปริมาณทางไฟฟ้าที่วัดได้จากมิเตอร์ไฟฟ้าแบบ IoT 5 หน่วย เปรียบเทียบกับอิเล็กทรอนิกส์กิโลวัตต์ชั่วโมงมิเตอร์ของการไฟฟ้า จำนวน 3 ครั้ง พบว่า ค่าเฉลี่ยของแรงดันไฟฟ้ามีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 229.80 V, 230.60 V และ 228.80 V ค่าเฉลี่ยของกระแสไฟฟ้า 0.52 A, 0.52 A และ 0.51 A และค่าเฉลี่ยของกำลังไฟฟ้า 118.60 W, 118.60 W และ 118.40 W ตามลำดับ ผลการตรวจสอบ พบว่า ความคลาดเคลื่อนในการวัดปริมาณไฟฟ้าของมิเตอร์ไฟฟ้าแบบ IoT 5 หน่วย การวัดแรงดันไฟฟ้ามีค่าความคลาดเคลื่อน $\pm 0.16\%$, กระแสไฟฟ้ามีค่าความคลาดเคลื่อน $\pm 0.91\%$ และ กำลังไฟฟ้า มีค่าความคลาดเคลื่อน $\pm 0.80\%$

2. ผลการพัฒนาระบบส่งข้อมูลไปยังคลาวด์และแสดงผ่านแดชบอร์ด

2.1 การพัฒนาเว็บแอป ภายใต้ชื่อ Smart Canteen ติดตั้งที่ <http://35.197.134.127> (Figure 7) ประกอบด้วย 3 ส่วน คือ

2.1.1 จ่ายบิลค่าไฟ ระบบชำระค่าไฟฟ้าออนไลน์

2.1.2 คู่มือการใช้พลังงานไฟฟ้าแบบเรียลไทม์ แสดงข้อมูลปริมาณทางไฟฟ้าทางแดชบอร์ด

(Figure 8) และกราฟแสดงข้อมูลการใช้พลังงานไฟฟ้ารายเดือน (Figure 9)

2.1.3 ผู้ดูแล สำหรับผู้ดูแลและจัดการข้อมูล

2.2 การพัฒนาระบบส่งข้อมูลไปยังคลาวด์และแสดงผลผ่านแดชบอร์ดดำเนินการทดสอบระบบติดตามปริมาณทางไฟฟ้าผ่านเว็บแอป Smart canteen ผลการทดสอบดัง Table 5

Table 5 Test results of the data transmission system to the cloud and dashboard display results

Testing reading values via web app (Order)	Electrical quantity display results	
	Has the electrical quantity changed?	Is the electricity usage display correct?
1	✓	✓
2	✓	✓
3	✓	✓

Note: The ✓ symbol means that the answer can be done correctly. The X symbol means that the answer cannot be done.

จาก Table 5 พบว่า ระบบติดตามปริมาณทางไฟฟ้าผ่านเว็บแอป มีการเปลี่ยนแปลงไปตามปริมาณทางไฟฟ้าที่เกิดขึ้นจริงในขณะนั้น ซึ่งจากการทดสอบทั้ง 3 ครั้ง ระบบติดตามปริมาณทางไฟฟ้าผ่านเว็บแอป สามารถแสดงการเปลี่ยนแปลงของปริมาณทางไฟฟ้าได้ถูกต้องทั้ง 3 ครั้ง

การอภิปรายผล

จากการดำเนินการวิจัยพบว่า มิเตอร์ไฟฟ้าแบบ IoT 5 หน่วย สามารถวัดปริมาณทางไฟฟ้าและแสดงผลได้อย่างถูกต้อง อีกทั้งระบบติดตามข้อมูลสามารถทำงานได้จริง ผลการดำเนินการด้านการทดสอบประสิทธิภาพ พบว่า มิเตอร์ไฟฟ้าแบบ IoT 5 หน่วย การวัดแรงดันไฟฟ้ามีความคลาดเคลื่อน $\pm 0.16\%$, กระแสไฟฟ้ามีความคลาดเคลื่อน $\pm 0.91\%$ และกำลังไฟฟ้ามีความคลาดเคลื่อน $\pm 0.80\%$ อยู่ในเกณฑ์มาตรฐานที่การไฟฟ้าส่วนภูมิภาคกำหนด เกณฑ์การสอบเทียบมิเตอร์คลาดเคลื่อนไม่เกิน $\pm 2.5\%$ สำหรับมิเตอร์ที่ติดตั้งในระบบแรงดันไม่เกิน 33 kV และสอดคล้องกับงานวิจัย Wongsachua (2012) เรื่อง ระบบอ่านมิเตอร์ไฟฟ้าแบบอัตโนมัติผ่านสายไฟฟ้ากำลัง (Automatic electrical meter reading system via power line) ซึ่งค่าพลังงานไฟฟ้าที่วัดได้จากการทดลองมีความคลาดเคลื่อนไม่เกิน 2% ผลการตรวจสอบการส่งข้อมูลไปยังคลาวด์และแสดงผลผ่านแดชบอร์ดถูกต้อง 100%

บทสรุป

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์ในการพัฒนามิเตอร์ไฟฟ้าแบบ IoT (Internet of Things) จำนวน 5 หน่วย โดยออกแบบให้สามารถวัดปริมาณทางไฟฟ้า เช่น แรงดันไฟฟ้า กระแสไฟฟ้า กำลังไฟฟ้า ความถี่ เพาเวอร์แฟกเตอร์ และพลังงานไฟฟ้า โดยใช้โมดูล PZEM-004T v3.0 และส่งข้อมูลผ่านบอร์ด ESP32S ไปยังคลาวด์ผ่านเครือข่ายอินเทอร์เน็ต ผลการทดสอบพบว่า มิเตอร์ไฟฟ้าแบบ IoT ที่พัฒนาขึ้นสามารถวัดค่าทางไฟฟ้าได้อย่างแม่นยำ โดยมีค่าความคลาดเคลื่อนอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานที่การไฟฟ้าส่วนภูมิภาคกำหนด (Provincial Electricity Authority, 2019) นอกจากนี้ ระบบสามารถส่งข้อมูลไปยังคลาวด์และแสดงผลผ่านแดชบอร์ดได้อย่างถูกต้อง จากผลการศึกษานี้สามารถสรุปได้ว่า มิเตอร์ไฟฟ้าแบบ IoT 5 หน่วยที่พัฒนาขึ้น มีความแม่นยำในการวัดค่าทางไฟฟ้า และสามารถนำไปใช้ในงานที่เกี่ยวข้องกับการบริหารจัดการพลังงานไฟฟ้าได้อย่างมีประสิทธิภาพ ทั้งยังสามารถพัฒนาต่อยอดเพื่อใช้ในอาคารชุด อพาร์ทเมนต์ หรือระบบไฟฟ้าอัจฉริยะในอนาคต

เอกสารอ้างอิง

- Chanput, E. (2013). *A prototype of a 3-phase smart electric meter for modern power grid systems* (Master's thesis). King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang. (In Thai)
- Electricity Generating Authority of Thailand (Provincial Electricity Authority). (2019). *Regulations of the Provincial Electricity Authority on the Practices Concerning Meters B.E. 2562 (2019)* (p. 69, Section 55.4). <https://infocenter.oic.go.th/FILEWEB/CABINFOCENTER8/DRAWER048/GENERAL/DATA0001/00001913.PDF> (In Thai)
- National Economic and Social Development Council. (2022). *The 13th National Economic and Social Development Plan B.E. 2566–2570 (2023–2027)* (p. 72). https://www.ratchakitcha.soc.go.th/DATA/PDF/2565/E/258/T_0001.PDF (In Thai)
- Natni, P. (2024, October 1). *Electricity and water bill collection laws in apartments: Important matters tenants need to know*. RentHub Blog. <https://blog.renthub.in.th/930--กฎหมายเรียกเก็บค่าน้ำค่าไฟ-ในอพาร์ทเมนท์-เรื่องสำคัญที่ผู้เช่าต้องรู้> (In Thai)
- NPS Public Company Limited. (2024, October 1). *Energy and renewable energy business company*. <https://www.npsplc.com/th/updates/blog/606>
- Nunak, N., & Suesut, T. (2012). *Measurement and measuring instruments applied in the food industry*. <https://www.foodnetworksolution.com/books/item/0068-measurement-and-instrumentation>. (In Thai)
- Pora, W. (2024, December 23). Basic knowledge on smart meters and guidelines for developing smart meter specifications. Energy Research Institute, Chulalongkorn University. <https://www.eri.chula.ac.th/eri-main/wp-content/uploads/2014/03/Paper-3-of-3-Smart-Meter.pdf> (In Thai)
- Teejanthuek, A., Jarataku, P., & Siangmai, N. (2021). Automatic 3-phase electric meter reading system with ThingsBoard monitoring. In *Proceedings of the 44th Electrical Engineering Conference*, November 17–19, 2021 (pp. 696–699). King Mongkut's University of Technology North Bangkok. (In Thai)
- Wongsaichua, W. (2012). Automatic electrical meter reading system via power line. In *Proceedings of the 6th Ubon Ratchathani University Research Conference*, July 25–27, 2012 (pp. 280–289). Ubon Ratchathani University. (In Thai)

Received: January 27, 2025; Revised: April 17, 2025; Accepted: May 1, 2025

การกำหนดการออกแบบที่เหมาะสมและมาตรฐานราคาก่อสร้างอาคารขนาดเล็ก รับซื้อ-ขายผลิตผลเกษตรในประเทศไทย

Determination of appropriate design and standard construction price of small agricultural product buying-selling building in Thailand

นพกร เกตุบุญ^{1*} ชัยพร สุภาหิตานุกูล¹ จงจิตร์ หิรัญลามภ² และโจเซฟ เคดารี²
Noppakorn Ketnui^{1*}, Chaiporn Suphahitanukool¹, Jongjit Hirunlabh²
and Joseph Khedari²

¹คณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยปทุมธานี จังหวัดปทุมธานี

¹Faculty of Engineering and Technology, Pathumthani University, Pathumthani Province

²คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยกรุงเทพธนบุรี กรุงเทพมหานคร

²Faculty of Sciences and Technology, Bangkokthonburi University, Bangkok

*Corresponding Author E-mail Address : j_friends58@yahoo.com

บทคัดย่อ

บทความวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์ 1) เพื่อศึกษาและสำรวจความต้องการเกี่ยวกับรูปแบบและราคาของอาคารขนาดเล็กรับซื้อ-ขายผลิตผลเกษตร 2) เพื่อเป็นแนวทางการกำหนดแบบอาคารขนาดเล็กรับซื้อ-ขายผลิตผลเกษตรให้ตรงกับความต้องการของกลุ่มตัวอย่าง 3) เพื่อกำหนดมาตรฐานราคาก่อสร้างที่สอดคล้องกับแบบอาคารขนาดเล็กรับซื้อ-ขายผลิตผลเกษตร ศึกษาแนวคิดและทฤษฎีการออกแบบและราคาก่อสร้างอาคารโดยเก็บข้อมูลเชิงปริมาณจากกลุ่มเกษตรกรภายในจังหวัดจันทบุรี จำนวน 110 คน และข้อมูลเชิงคุณภาพจาก ผู้เชี่ยวชาญ นักวิชาการ ผู้ประกอบการธุรกิจรับเหมาก่อสร้าง และเจ้าหน้าที่ภาครัฐ รวมไม่น้อยกว่า 18 คน คัดเลือกแบบเฉพาะเจาะจง เครื่องมือที่ใช้ 1) แบบสอบถามเชิงปริมาณ 2) แบบสัมภาษณ์เชิงลึก วิเคราะห์ข้อมูลโดยการประมวลผลด้วยโปรแกรมสถิติของข้อมูลเชิงปริมาณ ส่วนข้อมูลเชิงคุณภาพบรรยายเชิงพรรณนา ผลการวิจัยพบว่า 1) คุณลักษณะแบบและราคามีรายละเอียดดังนี้ ขนาดพื้นที่ใช้สอย โครงสร้างเสา ลักษณะพื้นอาคาร ผนังอาคาร โครงสร้างหลังคา ราคาต่อตารางเมตร และลักษณะห้องน้ำพบว่า ทุกรายการมีความต้องการที่สอดคล้องไปในทิศทางเดียวกันทั้งหมด 2) ความคิดเห็นของเกษตรกรมีความต้องการแบบและราคาพบว่า ปัจจัยด้านรูปแบบอาคาร การเงินและการลงทุน ผลตอบแทนทางเศรษฐกิจและการใช้งานทุกด้านมีผลต่อความต้องการในระดับมากที่สุด จากงานวิจัยนี้การกำหนดการออกแบบที่เหมาะสมและมาตรฐานราคาก่อสร้างอาคารขนาดเล็กรับซื้อ-ขายผลิตผลเกษตรในประเทศไทยควรมุ่งเน้นไปที่การตอบสนองต่อความต้องการของเกษตรกรเป็นหลักโดยคำนึงถึงการใช้งานจริงและความคุ้มค่าในระยะยาว ทั้งนี้ควรสอดคล้องกับกฎหมายและมาตรฐานที่เกี่ยวข้องเพื่อให้สามารถใช้งานได้มีประสิทธิภาพ

คำสำคัญ: อาคารรับซื้อ-ขายผลิตผลเกษตร การออกแบบอาคารขนาดเล็ก มาตรฐานราคาก่อสร้างอาคาร

Abstract

This research aimed to (1) study and explore the demand for design and pricing models of small-scale agricultural product buying-selling building; (2) establish guidelines for designing such buildings to align with the needs of the target groups; and (3) determine standardized construction costs corresponding to the proposed building designs. The study integrated theoretical concepts on architectural design and construction costs and utilized quantitative data collected from 110 farmers in Chanthaburi Province and qualitative data from at least 18 key informants, including experts, academics, construction business operators, and government officials, selected through purposive sampling. The research instruments comprised (1) a structured quantitative questionnaire and (2) in-depth interviews. Quantitative data were analyzed using statistical software, while qualitative data were examined through descriptive analysis. The findings revealed that: (1) the design and pricing requirements encompassed key elements such as usable area, column structure, flooring, wall characteristics, roof structure, cost per square meter, and restroom design, all of which show consistent demand trends; (2) farmers' perspectives indicated that architectural design, financial investment, economic returns, and functional aspects are critical factors influencing demand at the highest level. Based on this study, the appropriate design and standardized construction cost for Thailand's small-scale agricultural product buying-selling building should prioritize farmers' practical needs and functionality, cost-effectiveness, and long-term value. Furthermore, compliance with relevant regulations and industry standards is essential to enhance the buildings' efficiency and sustainability.

Keywords: Agricultural product buying-selling building, Small-scale building design, Standardized construction costs

บทนำ

ประเทศไทยเป็นประเทศเกษตรกรรมที่มีผลิตผลทางการเกษตรหลากหลาย การเกษตรถือเป็นกิจกรรมหลักของประชากรมากที่สุดในประเทศไทย และมีบทบาทสำคัญในเศรษฐกิจและการอาหารสำหรับประชากรท้องถิ่นและส่งออกไปยังตลาดต่างประเทศ เกษตรกรรมในประเทศไทย การเพาะปลูกพืชอายุสั้นและอายุยาว รวมถึงการเลี้ยงสัตว์ เพื่อผลิตพืชและสินค้าเกษตรกรรมต่าง ๆ อาทิ ข้าวสาลี ข้าวโพด สวนผลไม้ เช่น ทุเรียน มังคุด เงาะ ลองกอง ลำไย และสินค้าเกษตรกรรมอื่น ๆ เช่น ปาล์มน้ำมัน ยางพารา และกาแฟ เป็นต้น

การบริหารจัดการผลไม้ โดยคณะกรรมการพัฒนาและบริหารจัดการผลไม้ (Fruit board) ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2562 เป็นต้นมาได้เข้าสู่ยุคแห่งการเปลี่ยนแปลงให้แตกต่างจากสินค้าเกษตรชนิดอื่น โดยเน้นการแก้ไขปัญหาที่ต้นเหตุ ด้วยการดำเนินงานให้แล้วเสร็จภายในแหล่งผลิตก่อนเป็นลำดับแรก แนวทางดังกล่าวสะท้อนให้เห็นผ่านแนวโน้มการเติบโตของราคาผลผลิตที่เกษตรกรสามารถจำหน่ายได้ดีขึ้นอย่างต่อเนื่องตั้งแต่ปี พ.ศ. 2562 จนถึงปัจจุบัน สำหรับก้าวต่อไปของ Fruit board คือการรักษาความเป็น มืออาชีพในการบริหารจัดการผลไม้ โดยใช้แผนระยะยาว เพื่อพัฒนาและบริหารจัดการผลไม้ของประเทศไทยตามแนวทางพัฒนาผลไม้ไทย พ.ศ. 2565-2570 เป็นแผนแม่บทสำหรับการพัฒนาผลไม้ไทยที่ครอบคลุมทั้ง Supply chain และ Value chain รวมถึงแผนระยะสั้น (ประจำฤดูกาล) โดยมีการบูรณาการกับคณะกรรมการเพื่อแก้ไขปัญหาเกษตรกรอันเนื่องมาจากผลิตผลการเกษตรระดับจังหวัด (คพจ.) ในการปรับสมดุลข้อมูลของอุปทาน (Supply) และอุปสงค์ (Demand) ผลไม้ (Department of Agriculture and Cooperative, 2022) การส่งเสริมการพัฒนาภาคเกษตรกรรมในประเทศไทยเป็นหนึ่งในยุทธศาสตร์สำคัญที่ช่วยเพิ่มศักยภาพการแข่งขันในตลาดโลก อย่างไรก็ตาม ปัญหาที่พบในปัจจุบันคือการขาดโครงสร้างพื้นฐานที่เอื้อต่อการกระจายผลผลิตเกษตร โดยเฉพาะอาคารรับซื้อ-ขายผลิตผลเกษตรที่มีมาตรฐานและสอดคล้องกับความต้องการของเกษตรกรในแต่ละพื้นที่ งานวิจัยที่ผ่านมาชี้ให้เห็นว่า การออกแบบและการพัฒนาอาคารเพื่อการเกษตร มีบทบาทสำคัญในการเพิ่มประสิทธิภาพการกระจายสินค้า ตัวอย่างเช่น การวิจัยของ Smith et al. (2020) ได้แสดงให้เห็นว่า การกำหนดมาตรฐานราคาก่อสร้างที่เป็นปัจจัยสำคัญในการ

สนับสนุนผู้ประกอบการขนาดเล็กและเกษตรกร แต่การนำความรู้เหล่านี้มาปรับใช้ในบริบทของประเทศไทยยังมีช่องว่างสำคัญ เนื่องจากข้อจำกัดด้านข้อมูลการออกแบบที่สอดคล้องกับลักษณะพื้นที่และความต้องการของเกษตรกร

จังหวัดจันทบุรีเป็นหนึ่งในพื้นที่เศรษฐกิจสำคัญของภาคตะวันออกของประเทศไทย พื้นที่กว่า 6,338 ตารางกิโลเมตร และประชากร 536,337 คน (ข้อมูลปี พ.ศ. 2566) จังหวัดนี้ถือเป็นแหล่งเพาะปลูกผลไม้ที่สำคัญ เช่น ทุเรียน มังคุด เงาะ ลองกอง และลำไย ซึ่งมีบทบาทสำคัญในการสร้างรายได้ให้กับเกษตรกรและสนับสนุนเศรษฐกิจของประเทศ อย่างไรก็ตาม เกษตรกรในพื้นที่ประสบปัญหาสำคัญเกี่ยวกับการก่อสร้างอาคารศูนย์กลางสำหรับจัดเก็บและรับซื้อผลผลิตทางการเกษตร เช่น ทุเรียนและมังคุด ซึ่งเป็นผลิตภัณฑ์หลักในการส่งออก จากการศึกษาภาคสนามในจังหวัดจันทบุรีระหว่างปี พ.ศ. 2559-2564 พบว่า เกษตรกรหลายรายได้รับความเสียหายจากการก่อสร้างอาคารที่ไม่แล้วเสร็จเนื่องจากการเสนอราคาก่อสร้างต่ำกว่าความเป็นจริง โดยข้อมูลจากกลุ่มเกษตรกรภายในเขตจังหวัดจันทบุรีพบว่า กลุ่มเกษตรกรที่ได้รับความเสียหายแบ่งออกเป็น 3 กลุ่มหลักแบ่งจากปริมาณงานได้ดังนี้:

- กลุ่มที่ 1 เกษตรกรผู้เสียหายจำนวน 6 ราย เฉลี่ยรายละ 1 ล้านบาท ก่อสร้างประมาณร้อยละ 25
- กลุ่มที่ 2 เกษตรกรผู้เสียหายจำนวน 4 ราย เฉลี่ยรายละ 1.5 ล้านบาท ก่อสร้างประมาณร้อยละ 50
- กลุ่มที่ 3 เกษตรกรผู้เสียหายจำนวน 10 ราย เฉลี่ยรายละ 2 ล้านบาท ก่อสร้างประมาณร้อยละ 25

เทียบเป็นค่าเสียหายเบื้องต้นโดยประมาณสูงถึง 32 ล้านบาท ส่งผลกระทบต่อเกษตรกรทั้งในด้านเศรษฐกิจ การใช้งานอาคาร และความเชื่อมั่นในระบบการจัดจ้าง การแก้ปัญหาดังกล่าวจึงจำเป็นต้องมีแนวทางการออกแบบอาคารที่เหมาะสมและการกำหนดมาตรฐานราคาก่อสร้าง

การวิจัยครั้งนี้เน้นศึกษาเกษตรกรในจังหวัดจันทบุรีเป็นกรณีศึกษา เนื่องจากนักวิจัยมีประสบการณ์ทำงานในพื้นที่และเข้าใจปัญหาเชิงลึกของเกษตรกร การศึกษานี้มุ่งหวังที่จะช่วยให้เกษตรกรสามารถพิจารณาเลือกแบบอาคารที่เหมาะสมรวมทั้งราคาที่เหมาะสมและผู้รับจ้างที่ดี สามารถที่จะทำการก่อสร้างอาคารขนาดเล็กรับซื้อ-ขายผลผลิตเกษตรได้สำเร็จ ก่อให้เกิดผลดีต่อเกษตรกร ส่งผลต่อเศรษฐกิจท้องถิ่น และเศรษฐกิจของประเทศในภาพรวม

บทความวิจัยนี้นำเสนอการกำหนดการออกแบบที่เหมาะสมและมาตรฐานราคาก่อสร้างอาคารขนาดเล็กรับซื้อ-ขายผลผลิตเกษตรในประเทศไทยโดยทำการเก็บข้อมูลจากกลุ่มตัวอย่างซึ่งใช้แบบสอบถามเพื่อให้ได้ข้อมูลมาวิเคราะห์หาข้อสรุปในทุกประเด็นที่เกี่ยวข้องกับวัตถุประสงค์ในการวิจัยเพื่อให้ได้ผลการวิจัยที่ใกล้เคียงกับความต้องการของเกษตรกรที่ต้องการมีอาคารที่เหมาะสมและราคาที่เป็นมาตรฐานเพื่อใช้ประโยชน์จากอาคารในการคัดแยกผลผลิตทางการเกษตรส่งผลให้มีรายได้ที่เพิ่มขึ้นซึ่งจะช่วยยกระดับคุณภาพชีวิตของเกษตรกร และช่วยส่งเสริมความเชื่อมั่นในการจัดจ้างเกี่ยวกับการก่อสร้างในประเทศไทยเพิ่มมากขึ้นด้วย

วัสดุ อุปกรณ์ และวิธีการ

งานวิจัยนี้เป็นงานวิจัยแบบผสมผสานโดยมุ่งเน้นการกำหนดการออกแบบที่เหมาะสมและมาตรฐานราคาก่อสร้างอาคารขนาดเล็กรับซื้อ-ขายผลผลิตเกษตรในประเทศไทย พื้นที่วิจัยคือจังหวัดจันทบุรี ซึ่งเป็นแหล่งเพาะปลูกผลไม้สำคัญของประเทศ โดยใช้จำนวนเกษตรกรในเขตจังหวัดจันทบุรี กลุ่มตัวอย่าง คือ กลุ่มตัวอย่างเชิงปริมาณ: เกษตรกรในพื้นที่จังหวัดจันทบุรี จำนวน 110 คน โดยใช้วิธีการสุ่มตัวอย่างแบบสัดส่วน คำนวณตามสูตรของ Yamane กำหนดความคลาดเคลื่อน ± 0.05 และสุ่มแบบหลักความน่าจะเป็น ซึ่งได้คัดเลือกจากเกษตรกรกลุ่มเป้าหมาย จำนวน 152 คน ในพื้นที่ 10 อำเภอ กลุ่มตัวอย่างเชิงคุณภาพ: ผู้ทรงคุณวุฒิ จำนวน 18 คน ประกอบด้วยผู้เชี่ยวชาญและนักวิชาการ 3 คน ผู้รับเหมาก่อสร้าง 14 คน และเจ้าหน้าที่ภาครัฐ 1 คน โดยใช้วิธีการคัดเลือกแบบเฉพาะเจาะจง คัดเลือกจากคุณสมบัติของผู้เชี่ยวชาญที่มีประสบการณ์ด้านการออกแบบและก่อสร้างอาคารรับซื้อ-ขายผลผลิตเกษตรไม่น้อยกว่า 5 ปี

เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัยมี 2 ชนิด ได้แก่

1. แบบสอบถามมีลักษณะแบ่งออกเป็น 5 ส่วน ได้แก่ ข้อมูลส่วนบุคคล ลักษณะพื้นที่ผลิตผล คุณลักษณะอาคาร ความต้องการ และข้อเสนอแนะ โดยคำถามในส่วนความคิดเห็นใช้มาตราส่วน Likert scale 5 ระดับ การสร้างแบบสอบถามนี้อ้างอิงตามแนวคิดของ Sinjaru (2014) เพื่อประเมินความคิดเห็นของเกษตรกรเกี่ยวกับการออกแบบและราคาของอาคาร สำหรับการตรวจสอบค่าความเชื่อมั่นของเครื่องมือวิจัย ผู้วิจัยใช้วิธี Alpha coefficient ซึ่งได้ค่าความเชื่อมั่นรวมเท่ากับ 0.81 ถือว่าอยู่ในระดับที่ยอมรับได้ แบบสอบถามนี้ใช้สำหรับศึกษาและวิเคราะห์ความคิดเห็นและความต้องการของเกษตรกรในด้านแบบและราคาของอาคารรับซื้อ-ขายผลผลิตเกษตร

2. แบบสัมภาษณ์กึ่งโครงสร้าง ที่ใช้ในการวิจัยนี้แบ่งออกเป็น 4 ส่วน ได้แก่ ข้อมูลทั่วไป สภาพปัจจุบันและปัญหา ปัจจัยในการเลือกรูปแบบอาคาร และข้อเสนอแนะ การสร้างแบบสัมภาษณ์นี้อ้างอิงตามแนวคิดของ Macmillan (1971) และผ่านการตรวจสอบเนื้อหาโดยอาจารย์ที่ปรึกษา เพื่อให้ครอบคลุมและสอดคล้องกับวัตถุประสงค์ของการวิจัย สำหรับการตรวจสอบค่าความเชื่อมั่นของแบบสัมภาษณ์ ใช้หลักการตรวจสอบความตรงเชิงเนื้อหา โดยคำนวณค่า IOC ซึ่งได้ผลรวมค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.64 อยู่ในระดับที่ยอมรับได้ แบบสัมภาษณ์นี้ใช้สำหรับศึกษาและวิเคราะห์สภาพปัญหา ปัจจัยที่มีผลต่อการออกแบบ และข้อเสนอแนะจากผู้ทรงคุณวุฒิที่เกี่ยวข้องในการวิจัยครั้งนี้

รวบรวมข้อมูลโดยใช้ แบบสอบถามและแบบสัมภาษณ์ ระหว่างเดือน กุมภาพันธ์-ธันวาคม พ.ศ. 2567

- ข้อมูลเชิงปริมาณ: วิเคราะห์โดยสถิติและเชิงพรรณนา เช่น ค่าเฉลี่ย ร้อยละและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน
- ข้อมูลเชิงคุณภาพ: วิเคราะห์โดยการวิจัยเอกสาร สังเคราะห์ข้อมูล และเขียนบรรยายเชิงพรรณนา

ผลการวิจัย

ส่วนที่ 1 คุณลักษณะของผู้ตอบแบบสอบถามของกลุ่มตัวอย่าง

ผลการวิเคราะห์คุณลักษณะของผู้ตอบแบบสอบถาม ประกอบด้วย 1) เพศ 2) อายุ 3) ระดับการศึกษาสูงสุด 4) อาชีพ 5) ประสบการณ์ในการเกษตร 6) รายได้ต่อเดือน (รวมเงินเดือนประจำและรายได้อื่น ๆ) โดยใช้การสรุปผลในรูปแบบตารางข้อมูลและร้อยละของผู้ตอบแบบสอบถาม ซึ่งแสดงรายละเอียดตาม Table 1

Table 1 Demographic characteristics of the respondents in the sample group

Personal information		Number (Persons)	Percentage (%)
1. Gender	Male	85	77.27
	Female	25	22.73
	Other	0	0.00
2. Age (Years)	Under 30	11	10.00
	30-40	11	10.00
	41-50	55	50.00
	Over 50	33	30.00
3. Education Level	Below bachelor's degree	55	50.00
	Bachelor's degree or equivalent	45	40.91
	Master's or higher	10	9.09
4. Occupation	Government/ State enterprise	20	18.18
	Private sector employees	15	13.64
	Own business	10	9.09
	Farmer	65	59.09
	Other	0	0.00
5. Agricultural Experience (Years)	Less than 2 years	5	4.55
	2-5 years	30	27.27
	5-10 years	36	32.73
	over 10 years	39	35.45
6. Monthly income (THB)	Below 10,000 THB	0	0.00
	10,001-20,000 THB	0	0.00
	20,001-30,000 THB	5	4.55

Personal information	Number (Persons)	Percentage (%)
30,001–40,000 THB	30	27.27
Over 40,000 THB	75	68.18
Total	110	100

สรุปผลการวิเคราะห์ข้อมูลเบื้องต้นในภาพรวมของส่วนที่ 1

จากผลการวิเคราะห์ข้อมูลพบว่า กลุ่มตัวอย่างส่วนใหญ่เป็นเพศชาย อายุระหว่าง 41-50 ปี และมีระดับการศึกษาต่ำกว่าปริญญาตรี อาชีพหลักคือเกษตรกรที่มีประสบการณ์ในการทำเกษตรมากกว่า 10 ปีขึ้นไป และมีรายได้ต่อเดือนมากกว่า 40,000 บาทขึ้นไป

ส่วนที่ 2 คำถามเกี่ยวกับลักษณะของพื้นที่ผลิตผลเกษตร

ผลการวิเคราะห์คุณลักษณะของพื้นที่ผลิตผลเกษตร ประกอบด้วย 1) ที่ตั้งของพื้นที่เพาะปลูก 2) จำนวนพื้นที่เพาะปลูก 3) จำนวนผลิตผล 4) อายุของการเพาะปลูก 5) ชนิดของผลิตผล โดยสรุปข้อมูลจากกลุ่มตัวอย่างจำนวน 110 คน ซึ่งแสดงรายละเอียดตาม Table 2

Table 2 Information on the characteristics of agricultural production areas

Agricultural land and produce		Number (Persons)	Percentage (%)
1. Location of Plantation area	Northern	0	0.00
	Western	0	0.00
	Central	0	0.00
	Northeastern	0	0.00
	Eastern	110	100
	Southern	0	0.00
	Other	0	0.00
2. Cultivated area (Rai)	Less than 5 Rai	5	4.55
	5-10 Rai	10	9.09
	11-15 Rai	34	30.91
	More than 15 Rai	61	55.45
3. Production volume (Tons)	Less than 5 tons	5	4.55
	5-10 tons	10	9.09
	11-15 tons	20	18.18
	More than 15 tons	75	68.18
4. Years of cultivation (Years)	Less than 5 years	5	4.55
	5-10 years	13	11.82
	11-15 years	47	42.73
	More than 15 years	45	40.91
5. Type of produce	Monthong durian	80	72.73
	Chanee durian	15	13.64
	Kanyao durian	8	7.27
	Kradum durian	7	6.36
Total		110	100

สรุปผลการวิเคราะห์ข้อมูลเบื้องต้นในภาพรวมของส่วนที่ 2

จากผลการศึกษาพบว่า พื้นที่เพาะปลูกทั้งหมดอยู่ในภาคตะวันออกเฉียงเหนือของประเทศไทย โดยส่วนใหญ่มีขนาดพื้นที่เพาะปลูกมากกว่า 15 ไร่ และมีผลผลิตมากกว่า 15 ตันต่อปี นอกจากนี้ อายุของการเพาะปลูกส่วนใหญ่อยู่ในช่วง 11-15 ปี และพันธุ์ทุเรียนที่ได้รับความนิยมสูงสุดคือพันธุ์หมอนทอง ข้อมูลดังกล่าวเป็นปัจจัยสำคัญที่สะท้อนถึงศักยภาพและแนวโน้มของการผลิตผลเกษตรในพื้นที่ดังกล่าว

ส่วนที่ 3 คำถามเกี่ยวกับคุณลักษณะแบบและราคาอาคารขนาดเล็กรับซื้อ-ขายผลิตผลเกษตร

ผลการวิเคราะห์คุณลักษณะของแบบและราคาอาคารขนาดเล็กรับซื้อ-ขายผลิตผลเกษตร ประกอบด้วย 1) ขนาดพื้นที่ใช้สอยของอาคาร 2) ลักษณะโครงสร้างเสาอาคาร 3) ลักษณะของพื้นอาคาร 4) ลักษณะแบบของผนังอาคาร 5) ลักษณะโครงสร้างหลังคา 6) ราคาต่อตารางเมตร (ปีปัจจุบัน) 7) ลักษณะห้องน้ำ ซึ่งแสดงรายละเอียดตาม Table 3

Table 3 Information on the characteristics, design, and cost of small-scale agricultural product trading buildings

Design features and construction cost of small-scale agricultural product trading buildings		Number (Persons)	Percentage (%)
1. Usable area of building	Less than 200 square meter (Type 1)	15	13.64
	200-400 square meter (Type 2)	20	18.18
	400-600 square meter (Type 3)	75	68.18
	More than 600 square meter	0	0.00
2. Column structure	Steel column	105	95.45
	Wood column	2	1.82
	Concrete column	3	2.73
3. Floor type	Concrete	105	95.45
	Crushed stone	3	2.73
	Laterite soil	2	1.82
4. Wall type	Roof with fully open walls	105	95.45
	Roof with 2 closed walls	3	2.73
	Roof with 3 closed walls	2	1.82
	Other	0	0.00
5. Roof structure	Steel	110	100.00
	Wood	0	0.00
6. Construction cost per meter (A.D. 2024)	Not exceeding 4,500 THB	35	31.82
	4,501-5,000 THB	40	36.36
	5,001-5,500 THB	20	18.18
	5,501-6,000 THB	15	13.64
	Exceeding 6,001 THB	0	0.00
7. Restroom presence	None	101	91.82
	Attached to the main building	5	4.55
	Detached	4	3.64
Total		110	100

สรุปผลการวิเคราะห์ข้อมูลเบื้องต้นในภาพรวมของส่วนที่ 3

จากผลการวิเคราะห์ข้อมูลพบว่า เกษตรกรส่วนใหญ่นิยมอาคารที่มีขนาด 400-600 ตารางเมตร. และใช้โครงสร้างเสาเหล็กเป็นหลัก (ร้อยละ 95.45) นอกจากนี้ ยังนิยมใช้พื้นคอนกรีตและโครงสร้างหลังคาเหล็กเกือบทั้งหมด ผนังอาคารส่วนใหญ่ ออกแบบให้มีหลังคาคลุมและเปิดโล่งด้านข้าง ซึ่งเหมาะสมกับการใช้งานด้านการค้าขายผลิตผลเกษตร ในด้านราคา พบว่า ผู้ตอบแบบสอบถามส่วนใหญ่อยู่ในช่วงราคาต่อตารางเมตรที่ 4,501-5,000 บาท (ร้อยละ 36.36) สำหรับลักษณะห้องน้ำ เกษตรกรส่วนใหญ่ (ร้อยละ 91.82) ไม่ต้องการให้มีห้องน้ำภายในอาคาร แสดงให้เห็นว่าความต้องการของตลาดเน้นไปที่ โครงสร้างที่เรียบง่ายแต่มีความแข็งแรงและคุ้มค่าการลงทุน

ส่วนที่ 4 คำถามเกี่ยวกับความคิดเห็นของเกษตรกรที่มีความต้องการแบบและราคาอาคารขนาดเล็กรับซื้อ-ขายผลิตผลเกษตร

ระดับความคิดเห็นของเกษตรกรเกี่ยวกับรูปแบบและราคาอาคารขนาดเล็กรับซื้อ-ขายผลิตผลเกษตร โดยการสำรวจความคิดเห็นของกลุ่มตัวอย่างเกษตรกร (n=110) เพื่อประเมินระดับความต้องการและปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการตัดสินใจเลือกใช้แบบอาคาร ซึ่งการศึกษาจำแนกเป็น 4 ด้านหลัก ได้แก่ 1) การใช้งาน 2) การเงินและการลงทุน 3) รูปแบบอาคาร และ 4) ผลตอบแทนทางเศรษฐกิจ ทั้งนี้ ผลการวิเคราะห์นำเสนอในรูปแบบค่าเฉลี่ย \bar{X} และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (S.D.) ซึ่งแสดงรายละเอียดตาม Table 4

Table 4 Information on farmers' opinions regarding the preferred design and price of small-scale agricultural product trading buildings

Preferred design and price	\bar{X}	S.D.	Level of agreement
1. Functionality	4.52	0.657	Highest
2. Financial and investment feasibility	4.77	0.560	Highest
3. Building design	4.80	0.544	Highest
4. Economic return	4.75	0.614	Highest
Total	4.71	0.620	Highest

ผลการวิจัยตามวัตถุประสงค์ข้อที่ 1 การศึกษาพบว่า เกษตรกรในจังหวัดจันทบุรีมีความต้องการที่ชัดเจนเกี่ยวกับรูปแบบอาคารรับซื้อ-ขายผลิตผลเกษตรที่สามารถตอบสนองความต้องการใช้งานในหลากหลายมิติ เช่น การจัดเก็บ การคัดแยก และการซื้อขายผลิตผล โดยผลการวิเคราะห์ข้อมูลเชิงปริมาณจากกลุ่มตัวอย่าง 110 คน มีรายละเอียดดังนี้:

1. ลักษณะขนาดพื้นที่ใช้สอยของอาคาร เกษตรกรส่วนใหญ่ (ร้อยละ 68.18) เลือกขนาดพื้นที่ใช้สอยอาคารในช่วง 400-600 ตารางเมตร ซึ่งเพียงพอสำหรับการจัดเก็บผลิตผลในปริมาณมากและรองรับการดำเนินงานที่จำเป็น เช่น การคัดแยก การจัดบรรจุ และการขนถ่าย
2. ลักษณะโครงสร้างเสาอาคาร เกษตรกรส่วนใหญ่ ต้องการเสาเหล็ก (ร้อยละ 95.45)
3. พื้นอาคาร เกษตรกรส่วนใหญ่ต้องการพื้นคอนกรีต (ร้อยละ 95.45)
4. ผนังอาคาร เกษตรกรส่วนใหญ่ต้องการผนังด้านข้างเปิดโล่ง (ร้อยละ 95.45) เพื่อความสะดวกในการระบายอากาศและการขนถ่ายสินค้า
5. ลักษณะโครงสร้างหลังคา เกษตรกรส่วนใหญ่เน้นให้หลังคามีความแข็งแรง ทนทานต่อสภาพอากาศในพื้นที่ ซึ่งพบว่า ร้อยละ 100 ของกลุ่มตัวอย่างต้องการหลังคาเป็นโครงสร้างเหล็ก
6. ราคาต่อตารางเมตร (ปี พ.ศ. 2567) เกษตรกรส่วนใหญ่ (ร้อยละ 36.36) ต้องการในช่วงราคา 4,501-5,000 บาท
7. ลักษณะห้องน้ำ เกษตรกรส่วนใหญ่ (ร้อยละ 91.82) ไม่ต้องการมี

ข้อเสนอแนะเพิ่มเติมจากการศึกษา

1. ควรมีการออกแบบอาคารให้สามารถดัดแปลงและขยายพื้นที่ได้ในอนาคต เพื่อรองรับความต้องการที่เพิ่มขึ้น
2. การออกแบบควรให้ความสำคัญกับความปลอดภัย เช่น การติดตั้งกล้องวงจรปิดและระบบดับเพลิง
3. วัสดุที่ใช้ควรคำนึงถึงความคุ้มค่าในระยะยาว โดยเลือกวัสดุที่มีอายุการใช้งานนานและบำรุงรักษาได้ง่าย
4. การออกแบบต้องรองรับการทำงานหลายขั้นตอน เช่น การจัดเก็บผลิตผล การคัดแยก การจัดบรรจุ และการขนส่ง

5. การออกแบบที่เหมาะสมกับพื้นที่ ผู้เชี่ยวชาญเสนอให้ใช้อุปกรณ์และวัสดุในท้องถิ่นเพื่อลดต้นทุนและเพิ่มความคุ้นชินต่อสภาพแวดล้อม

6. การระบายอากาศ ควรออกแบบให้มีการระบายอากาศที่ดีเพื่อป้องกันความชื้นสะสม ซึ่งอาจส่งผลกระทบต่อคุณภาพของผลิตผลเกษตร

7. การประหยัดพลังงาน แนะนำการติดตั้งแผงโซลาร์เซลล์เพื่อรองรับระบบไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์

ผลการวิจัยตามวัตถุประสงค์ข้อนี้ชี้ให้เห็นว่า การออกแบบอาคารรับซื้อ-ขายผลิตผลเกษตรในประเทศไทยควรตอบสนองความต้องการของเกษตรกรในด้านการใช้งาน ความคุ้มค่า และความเหมาะสมกับสภาพแวดล้อมในพื้นที่ นอกจากนี้ การพัฒนาด้านโครงสร้างและการจัดการพื้นที่ภายในจะช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการดำเนินงานและรองรับการเติบโตในอนาคตได้.

ผลการวิจัยตามวัตถุประสงค์ข้อที่ 2 เพื่อเป็นแนวทางการกำหนดแบบอาคารขนาดเล็กรับซื้อ-ขายผลิตผลเกษตรให้ตรงกับความต้องการของกลุ่มตัวอย่าง ซึ่งให้ความสำคัญกับ ความแข็งแรงของโครงสร้าง วัสดุที่ทนทาน การใช้งานที่สะดวก และความสามารถในการขยายพื้นที่ในอนาคต

ผลการวิจัยตามวัตถุประสงค์ข้อที่ 3 ผลการวิจัยชี้ให้เห็นว่าการกำหนดมาตรฐานราคาก่อสร้างอาคารขนาดเล็กรับซื้อ-ขายผลิตผลเกษตรในประเทศไทยควรพิจารณาปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับต้นทุนการก่อสร้าง วัสดุ และค่าแรง โดยอ้างอิงจากข้อมูลทั้งเชิงปริมาณและเชิงคุณภาพดังนี้:

ข้อมูลเชิงปริมาณ

1. ราคาต่อตารางเมตร

จากการสำรวจความคิดเห็นของเกษตรกร จำนวน 110 คน พบว่า ราคาต่อตารางเมตรที่เหมาะสมสำหรับการก่อสร้างอาคารขนาดเล็กอยู่ในช่วง 4,501-5,000 บาท โดยมีผู้ตอบแบบสอบถาม ร้อยละ 36.36 เห็นด้วยกับช่วงราคานี้ มากที่สุด

2. ต้นทุนวัสดุ

เกษตรกรและผู้รับเหมาก่อสร้างให้ความเห็นว่าการเลือกวัสดุควรคำนึงถึงทั้งความคุ้มค่าและความทนทาน โดยวัสดุหลักที่นิยมใช้ได้แก่:

- เสาคอนกรีต ราคาเฉลี่ยขึ้นอยู่กับขนาดและคุณภาพ
- พื้นคอนกรีต ค่าใช้จ่ายเฉลี่ยต่อตารางเมตร
- หลังคาโครงสร้างเหล็ก ราคาต่อตารางเมตร

3. ค่าแรงงาน

ค่าแรงงานเฉลี่ยในจังหวัดจันทบุรีสำหรับงานก่อสร้างขนาดเล็กอยู่ที่ประมาณ 400-500 บาทต่อวันต่อคน ราคาทั้งโครงการจะคิดเป็นค่าแรงงานประมาณ ร้อยละ 25-30 ของค่างานทั้งโครงการ

ข้อมูลเชิงคุณภาพจากผู้ทรงคุณวุฒิ

1. ปัจจัยที่ส่งผลต่อการกำหนดราคา

ผู้ทรงคุณวุฒิ 18 คนเห็นว่า การกำหนดราคาควรมีความโปร่งใส โดยพิจารณาจากราคากลางที่น่าเชื่อถือ (เช่น ตารางราคากลางวัสดุก่อสร้าง) ของหน่วยงานราชการ เพื่อป้องกันปัญหาการตั้งราคาที่สูงเกินไปหรือต่ำเกินไปจนส่งผลกระทบต่อคุณภาพของงานก่อสร้าง

2. การใช้เทคโนโลยีลดต้นทุน

• แนะนำการใช้เทคโนโลยีการก่อสร้างสำเร็จรูป (Prefabricated construction) ซึ่งช่วยลดเวลาการก่อสร้างและลดต้นทุนวัสดุ

- การติดตั้งระบบพลังงานแสงอาทิตย์ช่วยลดค่าใช้จ่ายในการใช้งานอาคารในระยะยาว

3. การสนับสนุนจากภาครัฐ

• ภาครัฐควรเข้ามามีบทบาทในการสนับสนุน เช่น การให้ข้อมูลราคากลางอย่างละเอียด การออกนโยบายเกี่ยวกับการเงินในการลงทุนสำหรับเกษตรกร

แนวทางการกำหนดมาตรฐานราคาก่อสร้าง

1. กำหนดต้นทุนขั้นต่ำและขั้นสูง
 - ต้นทุนก่อสร้างขั้นต่ำควรอยู่ที่ 4,500 บาทต่อตารางเมตร ซึ่งครอบคลุมวัสดุพื้นฐานที่มีมาตรฐานและคุณภาพดี
 - ต้นทุนสูงสุดไม่ควรเกิน 5,000 บาทต่อตารางเมตร ซึ่งรวมถึงการใช้วัสดุที่มีคุณภาพสูง
2. สร้างความโปร่งใสในกระบวนการประเมินราคา
 - การประเมินราคาตามมาตรฐานราคากลางและมีการตรวจสอบจากบุคคลที่สาม เช่น เจ้าหน้าที่จากหน่วยงานรัฐ
3. การกำหนดข้อกำหนดการก่อสร้าง
 - ควรมีการกำหนดข้อกำหนดสำหรับวัสดุ โครงสร้าง และการใช้งานที่ชัดเจน เพื่อให้เกษตรกรสามารถตัดสินใจเลือกผู้รับจ้างที่เหมาะสม

การอภิปรายผล

งานวิจัยนี้พบว่า การออกแบบอาคารรับซื้อ-ขายผลิตผลเกษตรในพื้นที่จังหวัดจันทบุรีควรเน้นความเหมาะสมกับการใช้งานของเกษตรกร โดยขนาดพื้นที่ที่เหมาะสมที่สุดอยู่ที่ 400-600 ตารางเมตร ใช้โครงสร้างเสาเหล็ก พื้นคอนกรีต และผนังด้านข้างเปิดโล่งเพื่อความสะดวกในการขนถ่ายสินค้าและระบายอากาศ ข้อค้นพบดังกล่าวสอดคล้องกับแนวคิดเรื่องการออกแบบที่ยึดผู้ใช้งานเป็นศูนย์กลาง (Human-centered design) ของ Alexander (1977) ที่เน้นว่าการออกแบบควรตอบสนองต่อความต้องการที่แท้จริงของผู้ใช้งาน อย่างไรก็ตาม สิ่งที่ได้จากการวิจัยนี้แตกต่างจากแนวคิดเรื่องการออกแบบเพื่อความยืดหยุ่น (Flexible design) ของ Macmillan (1971) ที่เน้นการออกแบบอาคารให้สามารถปรับเปลี่ยนได้ในอนาคต อาจเป็นเพราะเกษตรกรในพื้นที่ให้ความสำคัญกับการลดต้นทุนและความสะดวกในการใช้งานในปัจจุบันมากกว่าการปรับเปลี่ยนในอนาคต ทั้งนี้ งานวิจัยของ Smith et al. (2020) ที่ระบุว่าโครงสร้างอาคารที่เรียบง่ายและเหมาะสมกับภูมิอากาศในพื้นที่ช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการใช้งาน นอกจากนี้เกษตรกรยังแสดงความพึงพอใจในระดับสูงสุดต่อการออกแบบที่ตอบโจทย์การใช้งานจริง โดยให้ความสำคัญกับความสะดวก ความคุ้มค่า และความเหมาะสมของราคาก่อสร้าง ซึ่งผลการศึกษานี้สอดคล้องกับแนวคิดเรื่องความพึงพอใจของผู้บริโภค (Consumer satisfaction) ของ Kotler (2000) ที่ระบุว่า ความพึงพอใจเกิดขึ้นเมื่อผลิตภัณฑ์หรือบริการสามารถตอบสนองต่อความคาดหวังของผู้บริโภคได้อย่างเหมาะสม แนวโน้มที่ปรากฏนี้ยังสอดคล้องกับงานของ Smith et al. (2020) ซึ่งชี้ให้เห็นว่า ความเรียบง่ายและความชัดเจนในกระบวนการออกแบบและการกำหนดราคาส่งผลโดยตรงต่อความเชื่อมั่นของเกษตรกร ดังนั้น การออกแบบอาคารในบริบทของพื้นที่ชนบทควรมุ่งเน้นความคุ้มค่า ความสะดวกในการใช้งาน และการตอบสนองต่อความต้องการเฉพาะของเกษตรกรในพื้นที่ เพื่อให้เกิดประโยชน์สูงสุดทั้งในด้านการใช้งานและการลงทุน โดยการพิจารณางบประมาณในการก่อสร้างและบำรุงรักษาอาคารรับซื้อ-ขายผลิตผลเกษตรมีผลอย่างยิ่งต่อการกำหนดรูปแบบอาคาร ซึ่งงบประมาณมีบทบาทในการเลือกวัสดุและเทคโนโลยีที่เหมาะสม การออกแบบจึงควรสอดคล้องกับการใช้งานจริงและสร้างสมดุลระหว่างต้นทุนระยะสั้นและระยะยาว รวมถึงรองรับการขยายตัวในอนาคต เพื่อเพิ่มความยืดหยุ่นและสนับสนุนการพัฒนาอย่างยั่งยืนของเกษตรกร นอกจากนี้ปัจจัยทางสิ่งแวดล้อมมีบทบาทสำคัญต่อการกำหนดรูปแบบ โดยช่วยป้องกันความเสียหายจากภัยธรรมชาติ รักษาคุณภาพผลผลิตทางการเกษตรและลดต้นทุนการบำรุงรักษา อีกทั้งควรออกแบบให้เหมาะสมกับภูมิประเทศ เพื่อยืดอายุการใช้งาน และต้องสอดคล้องกับมาตรฐานทางกฎหมายที่เกี่ยวข้อง

ส่วนการกำหนดมาตรฐานราคากับการก่อสร้างอาคารขนาดเล็กพบว่า ราคาก่อสร้างอาคารขนาดเล็กที่เหมาะสมอยู่ในช่วง 4,501-5,000 บาทต่อตารางเมตร ซึ่งสะท้อนถึงต้นทุนที่เป็นธรรมและคุ้มค่าในการลงทุน ผลลัพธ์ดังกล่าวสอดคล้องกับแนวคิดเรื่องการกำหนดราคาตามต้นทุน (Cost-based pricing) ของ Porter (1985) ซึ่งเน้นว่าการกำหนดราคาควรครอบคลุมต้นทุนการผลิตที่แท้จริงและสอดคล้องกับความต้องการของตลาด อย่างไรก็ตาม แนวทางนี้แตกต่างจากแนวคิดเรื่องการกำหนดราคาตามคุณค่า (Value-based pricing) ที่มุ่งเน้นการกำหนดราคาตามมูลค่าเพิ่มที่ผลิตภัณฑ์หรือบริการสร้างให้กับผู้บริโภค อาจเป็นเพราะผู้ประกอบการและเกษตรกรในพื้นที่ยังให้ความสำคัญกับต้นทุนที่ประหยัดและการลงทุนที่สามารถคืนทุนได้ในระยะสั้น นอกจากนี้งานวิจัยของ Chan and Wang (2019) พบว่า การใช้วัสดุในท้องถิ่นและเทคโนโลยีก่อสร้างสำเร็จรูปช่วยลดต้นทุนการก่อสร้างได้ ดังนั้น การกำหนดมาตรฐานราคาก่อสร้างควรพิจารณาจากต้นทุนที่แท้จริงและความเหมาะสมในแต่ละพื้นที่ รวมถึงการสร้างระบบราคากลางที่โปร่งใสและสนับสนุนการพัฒนาโครงสร้างพื้นฐานในชุมชน

บทสรุป

การกำหนดมาตรฐานราคาก่อสร้างที่ใกล้เคียงกับต้นทุนจริงและสอดคล้องกับแบบอาคารจะช่วยให้เกษตรกรสามารถวางแผนงบประมาณได้อย่างมีประสิทธิภาพและลดความเสี่ยงจากการตั้งราคาที่ไม่โปร่งใสหรือการก่อสร้างที่ไม่แล้วเสร็จ ผลการวิจัยนี้ยังเน้นถึงความสำคัญของการใช้วัสดุและเทคโนโลยีที่เหมาะสมกับพื้นที่ รวมถึงการสนับสนุนจากภาครัฐในการสร้างมาตรฐานราคาก่อสร้างที่เป็นธรรมและโปร่งใส ซึ่งจะส่งผลให้การพัฒนาแบบอาคารในภาคเกษตรกรรมให้เกิดประสิทธิภาพสูงสุดและใช้งานได้อย่างยั่งยืน

เอกสารอ้างอิง

- Alexander, C. (1977). *A pattern language: Towns, buildings, construction*. Oxford University Press: New York.
- Chan, T., & Wang, H. (2019). Flexible agricultural building systems: A review of global practices. *Journal of Agricultural Studies*, 22(8), 234–249.
- Department of Agricultural Extension. (2022). *Annual report on agricultural promotion and development 2022*. Ministry of Agriculture and Cooperatives: Bangkok. (In Thai)
- Kotler, P. (2000). *Marketing management*. Prentice Hall: Upper Saddle River, NJ.
- Macmillan, S. (1971). Flexible design strategies. *Journal of Building and Construction*, 25(4), 345–360.
- Porter, M. E. (1985). *Competitive advantage: Creating and sustaining superior performance*. Free Press: New York.
- Sinjaru, T. (2014). *Research and statistical data analysis using SPSS and AMOS* (15th ed.). V. Interprint Co., Ltd. (In Thai)
- Smith, J., Chan, T., & Wang, H. (2020). Sustainable agricultural infrastructure: Building designs and cost analysis. *International Journal of Agricultural Engineering*, 33(7), 567–580.

Received: March 5, 2025; Revised: May 13, 2025; Accepted: May 22, 2025

การออกแบบการทดลองเพื่อหาค่าสภาวะที่เหมาะสมของกระบวนการขึ้นรูปถ่านดูดกลิ่น จากเปลือกมังคุด

Design of experiment for evaluation the optical condition in deodorizing charcoal forming from mangosteen peel

วัชนะชัย จูมผา^{1*} จิดาภา โฮจัน¹ พงศกร รอดศิลา¹ สหรัฐ วิโคตร¹ และสมศักดิ์ แก้วพลอย^{2*}
Watchanachai Joompha^{1*}, Jidapha Hojeen¹, Pongsakorn Rodsila¹, Saharat Wikhot¹
and Somsak Kaewploy^{2*}

¹คณะวิศวกรรมศาสตร์บูรณาการและเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก วิทยาเขตจันทบุรี จังหวัดจันทบุรี

¹Faculty of Integrated Engineering and Technology, Rajamanga University of Technology Tawan-ok, Chanthaburi campus, Chanthaburi Province.

²คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏสงขลา จังหวัดสงขลา

²Faculty of Industrial Technology, Songkhla Rajabhat University, Songkhla Province.

*Corresponding Author E-mail Address: watchanachai_jo@rmutto.ac.th, somsak.ka@skru.ac.th

บทคัดย่อ

เนื่องจากถ่านดูดกลิ่นจากเปลือกมังคุดเป็นการนำวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรมาสร้างมูลค่าเพิ่ม ซึ่งสอดคล้องกับแนวคิดเศรษฐกิจหมุนเวียนและยังช่วยส่งเสริมผลิตภัณฑ์ชุมชนอีกด้วย โดยการนำมาจัดทำเป็นสินค้าหนึ่งตำบลหนึ่งผลิตภัณฑ์ แต่เนื่องจากเป็นกลุ่มชาวบ้านที่รวมตัวกัน ซึ่งจะใช้วิธีการลองผิดลองถูกจนได้อัตราส่วนที่เหมาะสม ทำให้ไม่สามารถควบคุมคุณภาพของถ่านดูดกลิ่นได้ ส่งผลให้ถ่านดูดกลิ่นขึ้นรา ซึ่งมีสาเหตุมาจากมีความชื้นสูง งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อค่าความชื้น และเพื่อหาอัตราส่วนที่เหมาะสมในการขึ้นรูปถ่านดูดกลิ่นจากเปลือกมังคุด โดยการออกแบบการทดลอง ซึ่งมีทั้งหมด 3 ปัจจัย คือ ชนิดของตัวประสาน อัตราส่วนผสม และเวลาที่ใช้ในการอบ โดยชนิดของตัวประสานมี 2 ระดับ ได้แก่ แป้งมันสำปะหลัง และแป้งข้าวเจ้า อัตราส่วนผสมระหว่างตัวประสานต่อเปลือกมังคุดมี 3 ระดับ ได้แก่ 80, 100 และ 120 กรัม และ เวลาที่ใช้ในการอบ มี 3 ระดับ ได้แก่ 8, 10 และ 12 ชั่วโมง และมีการทดลองซ้ำ 3 ครั้ง ผลจากการศึกษาวิจัยพบว่า เวลาที่ใช้ในการอบ เป็นปัจจัยที่มีผลต่อค่าความชื้น ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ และความผิดพลาดไม่เกิน 5 เปอร์เซ็นต์ และพบว่าอัตราส่วนที่ทำให้ถ่านดูดกลิ่นจากเปลือกมังคุดมีความชื้นน้อยที่สุด ได้แก่ เปลือกมังคุด 80 กรัม แป้งข้าวเจ้า 100 กรัม และ เวลาที่ใช้ในการอบ 12 ชั่วโมง

คำสำคัญ: การอบแห้ง ถ่านดูดกลิ่น เปลือกมังคุด การออกแบบการทดลอง

Abstract

Mangosteen peel odor-absorbing charcoal adds value to agricultural waste, aligning with the circular economy and supporting community products through the One Tambon One Product initiative (OTOP). However, due to the trial-and-error methods used by OTOP groups, quality control is inconsistent, leading to mold growth caused by high moisture content. This research aimed to address this problem by

investigating factors affecting moisture levels and identifying the optimal formulation through an experimental design involving three factors: starch type (Tapioca starch and rice flour), mixing ratio (80, 100, and 120 grams), and aging time (8, 10, and 12 hours), with three experimental replicates. The results revealed that only aging time significantly influenced moisture content at a 95% confidence level with an error margin of 5%, and the best formulation consists of 800 grams of mangosteen peel, 100 grams of rice flour, and aging time of 12 hours.

Keywords: Drying, Deodorizing charcoal, Mangosteen peel, Design of experiment

บทนำ

เนื่องจากประเทศไทยเป็นประเทศเกษตรกรรมมาอย่างยาวนาน ประชากรของประเทศโดยส่วนใหญ่มีอาชีพเกษตรกรรม เช่น ทำนา ทำสวน ทำไร่ และเลี้ยงสัตว์ เป็นต้น ทำให้มีผลผลิตทางการเกษตรเป็นจำนวนมาก เช่น ข้าว ยางพารา ข้าวโพด อ้อย มันสำปะหลัง ทูเรียน และมังคุด เป็นต้น นอกจากผลผลิตทางการเกษตรแล้วยังมีวัสดุที่เหลือใช้ทางการเกษตรเป็นจำนวนมากเช่นเดียวกัน เช่น ฟางข้าว ชังข้าวโพด เปลือกทุเรียน เปลือกมังคุด เมล็ดมะม่วงหิมพานต์ และเปลือกมังคุด เป็นต้น โดยจะมีความแตกต่างกันไปตามพื้นที่ หลังฤดูการเก็บเกี่ยวจะมีการเผาหรือทำลายวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร ซึ่งส่วนใหญ่จะใช้วิธีการเผาทำลาย เนื่องจากง่ายและสะดวก รวมทั้งเห็นผลเร็ว แต่การเผาวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรส่งผลทำให้เกิดมลภาวะทางอากาศ โดยเฉพาะฝุ่น PM_{2.5} ที่ส่งผลกระทบต่อสุขภาพของประชาชนที่อาศัยอยู่ในเมืองใหญ่ ๆ รวมทั้งทำให้เกิดความสูญเสียทางด้านเศรษฐกิจ เนื่องจากการใช้ทรัพยากรไม่คุ้มค่า

การนำผลผลิตทางการเกษตรหรือวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรที่มีอยู่จำนวนมากมาแปรรูปหรือทำให้เป็นสินค้าหนึ่งตำบลหนึ่งผลิตภัณฑ์ (OTOP) เป็นวิธีการหนึ่งที่จะใช้ให้มีการใช้ทรัพยากรที่มีอยู่อย่างคุ้มค่า รวมทั้งเป็นการช่วยให้คนในชุมชนหรือเกษตรกรในท้องถิ่นมีรายได้และเป็นการสร้างมูลค่าเพิ่มให้ผลผลิตทางการเกษตร ดังเช่นงานวิจัยของ Jittabut et al. (2020) ได้นำวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตร ซึ่งได้แก่ ฟางข้าว และใบอ้อย มาทำเป็นแผ่นวัสดุเพื่อใช้เป็นบรรจุภัณฑ์ และงานวิจัยของ Namee and Seak (2023) ได้นำวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตร ซึ่งได้แก่ ชี้เลื่อย ไม้ยางพารา ฟางข้าว และใบอ้อย มาจัดทำเป็นวัสดุสำหรับเพาะเห็ด และงานวิจัยของ Mongkoldhumrongkul (2024) ได้นำวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตร ซึ่งได้แก่ เปลือกทุเรียน และเปลือกมังคุด มาทำเป็นถ่านอัดแท่งจากชีวมวล รวมทั้งงานวิจัยของ Kumpapai et al. (2020) ได้เปรียบเทียบประสิทธิภาพของเชื้อเพลิงอัดแท่งจากวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรจำนวน 6 ชนิด ได้แก่ กากอ้อย ชี้เลื่อยยางพารา ชังข้าวโพด ฟางข้าว ใบไม้ยางพารา และเศษไม้ยางพารา ผสมกับตัวประสาน ได้แก่ ตะกอนแป้งมันสำปะหลัง ผลจากการศึกษาพบว่าเศษไม้ยางพาราผสมกับตะกอนแป้งมันสำปะหลังที่อัตราส่วน 0.50:0.50 เป็นเชื้อเพลิงที่มีประสิทธิภาพสูงสุด

ถ่านดุดกลั่นเป็นสินค้าหนึ่งตำบลหนึ่งผลิตภัณฑ์ (OTOP) ชนิดหนึ่งที่เกิดจากภูมิปัญญาของชาวบ้านและมีการสืบทอดมาตั้งแต่อดีต โดยใช้เป็นผลิตภัณฑ์ในการดูดซับกลิ่นเหม็นอับต่าง ๆ เช่น ตู้เย็น ตู้กับข้าว ตู้รองเท้า และตู้เสื้อผ้า เป็นต้น นอกจากสร้างมูลค่าเพิ่มให้กับวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรแล้ว การนำเปลือกมังคุดมาทำเป็นถ่านดุดกลั่นยังเป็นการสร้างรายได้ให้กับคนในท้องถิ่น โดยนำผลไม้ที่ไม่ได้คุณภาพหรือวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรชนิดต่าง ๆ มาเผาจนเป็นถ่าน แล้วนำถ่านมาบดให้มีความละเอียด อาจเติมสมุนไพรที่มีคุณสมบัติในการดูดกลิ่นเพิ่มเติม เช่น ชา และ สะเดา เป็นต้น แล้วบรรจุลงในภาชนะหรืออัดเป็นรูปทรงต่าง ๆ ซึ่งถ่านดุดกลั่นมีหลากหลายรูปแบบขึ้นอยู่กับผลผลิตทางการเกษตร หรือวัสดุเหลือใช้ของแต่ละท้องถิ่นนั้น ๆ ดังเช่นงานวิจัย Srihawatanakul et al. (2017) ได้นำถ่านไม้โกงกางมาทำเป็นถ่านดุดกลั่น งานวิจัยของ Piyang and Khuawaraphan (2019) ได้นำก้านและใบจากมาทำถ่านดุดกลั่น และงานวิจัย Khiaomang (2024) ได้นำเหง้ามันสำปะหลังทำเป็นถ่านดุดกลั่น รวมทั้งงานวิจัยของ Pianjing et al. (2023) ได้นำผลจากที่แก่จัดและกะลาจาก มาทำเป็นถ่านดุดกลั่น

การนำเปลือกมังคุดมาทำเป็นถ่านดุดกลั่นจึงนับว่าเป็นการนำวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรมาใช้อย่างคุ้มค่า เนื่องจากประเทศไทยมีพื้นที่ในการเพาะปลูกมังคุดจำนวนมาก โดยเฉพาะจังหวัดจันทบุรี แต่ละปีจะมีมังคุดร่วงหรือมังคุดต่ำกว่ามาตรฐานเป็นจำนวนมาก นอกจากนั้นบางปีราคาตกต่ำ เนื่องจากมีผลผลิตออกมาเป็นจำนวนมาก รวมทั้งการนำเปลือกมังคุดมาทำเป็นถ่านดุดกลั่นของกลุ่มผู้ประกอบการ OTOP ที่ผ่านมานั้นอาศัยประสบการณ์ โดยการลองผิดลองถูกทำให้ถ่านดุดกลั่นที่ได้ไม่มีประสิทธิภาพและไม่ได้มาตรฐาน เนื่องจากปัจจัยที่มีผลต่อการขึ้นรูปของถ่านดุดกลั่นจากเปลือกมังคุดนั้นมีอยู่หลายปัจจัย เช่น ชนิดของตัวประสาน อัตราส่วนผสม และเวลาที่ใช้ในการอบ เป็นต้น ดังนั้นผู้วิจัยจึงมีแนวคิดที่จะทำการ

ออกแบบการทดลอง (Design of Experiment; DOE) เพื่อหาปัจจัยและสภาวะที่เหมาะสมในการขึ้นรูปถ่านดูดกลิ่น เนื่องจากการออกแบบการทดลองเป็นการทดลองเพียงครั้งเดียวหรือต่อเนื่อง โดยเปลี่ยนแปลงของตัวแปรนำเข้า (Input variables) ในระบบที่สนใจ เพื่อที่จะสามารถทำให้สังเกตและชี้ถึงสาเหตุต่าง ๆ ที่ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของผลลัพธ์ (Responses) (Sudasma-Na-Ayudhya and Luangpaiboon, 2008) ซึ่งจะช่วยหาปัจจัยหรือสภาวะที่เหมาะสม ดังเช่นงานวิจัยของ Khwunsakun (2022) ที่ได้ทดลองหาแปลงผักกักพื้นที่มีประสิทธิภาพ โดยการประยุกต์ใช้การออกแบบการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ (Completety Randomized Design; CRD) โดยกำหนดให้มี 4 การทดลอง แต่ละการทดลองมี 3 ซ้ำ ผลจากการทดลองทำให้ได้แปลงผักที่มีความเหมาะสม และงานวิจัยของ Wongsuwan et al. (2020) ที่ได้ทดลองหาสูตรของบล็อกปูพื้นและอัตราส่วนผสมที่เหมาะสมของวัสดุที่ใช้ทำบล็อกปูพื้นระหว่างพลาสติกชนิด Polyethylene Terephthalate (PET) ต่อทรายหรือหิน ผลจากการทดลองทำให้ได้รูปทรงบล็อกปูพื้นและอัตราส่วนผสมที่เหมาะสม และงานวิจัยของ Sittiwong et al. (2023) ที่ได้ทดลองหาอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงของเครื่องยนต์ดีเซลขนาด 1 สูบ 4 จังหวะ ที่ความเร็วรอบต่าง ๆ ผลจากการทดลองทำให้ความเร็วรอบที่มีอัตราสิ้นเปลืองต่ำที่สุด จึงสามารถสรุปได้ว่าการทดลองจะช่วยให้สามารถศึกษาสภาวะหรือปัจจัยที่เหมาะสมได้ การขึ้นรูปถ่านดูดกลิ่นก็เช่นเดียวกันที่ต้องทดลองหาสภาวะและอัตราส่วนผสมที่เหมาะสม เนื่องจากที่ผ่านมาได้มีการศึกษาวิจัยเกี่ยวกับการนำเปลือกมังคุดไปจัดทำเป็นถ่านดูดกลิ่นค่อนข้างน้อย แต่มีการศึกษาเกี่ยวกับการนำเปลือกมังคุดไปทำถ่านอัดแท่ง ดังเช่นงานวิจัยของ Boonchom et al. (2020) ได้ศึกษาสมบัติทางกายภาพและอัตราการดูดซับความชื้นของถ่านจากผลไม้ 6 ชนิด คือ สับปะรด เปลือกทุเรียน ข้าวโพด กล้วย มังคุด และเงาะ และงานวิจัยของ Pansuwan et al. (2012) ที่ได้ศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อประสิทธิภาพของแผ่นยางดูดซับกลิ่น โดยได้ศึกษาผงถ่านไม้ 3 ชนิด ได้แก่ ไม้มะขาม ไม้ไผ่ และไม้ผสม ผลการศึกษาพบว่าปริมาณผงถ่านที่เพิ่มขึ้นและอนุภาคของผงถ่านที่ใหญ่ขึ้นส่งผลให้ประสิทธิภาพในการดูดซับกลิ่นเพิ่มขึ้นด้วย รวมทั้งงานวิจัยของ Jahmah et al. (2020) ได้ศึกษาอัตราส่วนในการผลิตเชื้อเพลิงอัดแท่งที่เหมาะสมระหว่างเปลือกมังคุดต่อกะลา และผักตบชวาต่อกะลา

ดังนั้นเพื่อเป็นหาค่าสภาวะที่เหมาะสมในการขึ้นรูปถ่านดูดกลิ่นจากเปลือกมังคุด ผู้วิจัยจึงมีแนวคิดที่จะศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อค่าความชื้นของถ่านดูดกลิ่นและเพื่อหาอัตราส่วนที่เหมาะสมในการขึ้นรูปถ่านดูดกลิ่น โดยอาศัยหลักการออกแบบการทดลอง (DOE) ซึ่งกำหนดให้มี 3 ปัจจัยได้แก่ ชนิดของตัวประสาน อัตราส่วนผสม และเวลาที่ใช้ในการอบ โดยชนิดของตัวประสาน มี 2 ระดับ ได้แก่ แป้งมันสำปะหลัง และแป้งข้าวเจ้า ส่วนอัตราส่วนผสม มี 3 ระดับ ได้แก่ 80, 100 และ 120 กรัม และเวลาที่ใช้ในการอบ มี 3 ระดับ ได้แก่ 6, 10 และ 12 ชั่วโมง โดยกำหนดให้ตัวแปรตอบสนองคือค่าความชื้นของถ่านดูดกลิ่นจากเปลือกมังคุด แล้วนำถ่านดูดกลิ่นจากเปลือกมังคุดที่มีค่าความชื้นน้อยที่สุดไปทดสอบค่าไอโอดีน เพื่อตรวจสอบความสามารถในการดูดซับกลิ่นของถ่านดูดกลิ่นจากเปลือกมังคุด

วัสดุ อุปกรณ์ และวิธีการ

การศึกษาทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

เนื่องจากปัจจัยที่มีผลต่อการขึ้นรูปถ่านดูดกลิ่นจากเปลือกมังคุดนั้นมีอยู่หลายปัจจัย เช่น ตัวประสาน อัตราส่วนผสม และเวลาที่ใช้ในการอบ เป็นต้น ดังนั้นจึงต้องมีการศึกษาทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องจากแหล่งข้อมูลต่าง ๆ รวมทั้งสอบถามปัญหาและอุปสรรคในการขึ้นรูปถ่านดูดกลิ่นจากกลุ่มผู้ประกอบการ OTOP ถ่านดูดกลิ่นจากเปลือกมังคุด เพื่อนำข้อมูลที่ได้มาวางแผนและออกแบบการทดลอง

การออกแบบการทดลอง (DOE)

เป็นการกำหนดปัจจัยและระดับของปัจจัยที่ใช้ในการทดลอง รวมทั้งตัวแปรตอบสนอง ซึ่งจากการศึกษาและทบทวนงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง ทำให้สามารถกำหนดปัจจัยและระดับของปัจจัย รวมทั้งตัวแปรตอบสนอง ได้ดัง Table 1

Table 1 Factor and level of factor, and responses

No	Factor	Unit	Level of factor	Responses
1	Type of flour	-	Tapioca starch, Rice flour	Moisture and iodine value
2	Percentage of binder	gram	80, 100, 120	
3	Aging time	hour	8, 10, 12	

การทดลอง

1. เตรียมวัตถุดิบที่ใช้ในการทดลอง ได้แก่ ถ่านเปลือกมังคุด แป้งมันสำปะหลัง และแป้งข้าวเจ้า ดัง Figure 1



(A) Mangosteen peel charcoal



(B) Tapioca starch



(C) Rice flour

Figure 1 Raw materials used in the experiment

2. การเตรียมถ่านมังคุด โดยการนำถ่านมังคุดมาบดด้วยเครื่องบด แล้วนำไปร่อนด้วยตะแกรงเบอร์ 0.25 มิลลิเมตร
3. การเตรียมตัวประสาน ซึ่งได้แก่ กาวแป้งเปียกที่ทำมาจากมันสำปะหลัง และกาวแป้งเปียกที่ทำมาจากแป้งข้าวเจ้า
 - 1) นำแป้งมันสำปะหลังหรือแป้งข้าวเจ้า มาชั่งในปริมาณ 80, 100 และ 120 กรัม ตามที่กำหนดไว้ จากนั้นนำไปผสมกับน้ำเปล่า 100 กรัม แล้วคนให้เข้ากัน
 - 2) เปิดเตาแก๊สและตั้งหม้อ หลังจากนั้นเทน้ำ 900 กรัม ลงในหม้อ โดยใช้ไฟอ่อนปานกลาง
 - 3) รอจนน้ำร้อน แล้วนำตัวประสานที่ผสมกับน้ำ เทลงในหม้อ กวนให้เข้ากันจนเป็นแป้งเปียก
4. การผสมวัตถุดิบ นำถ่านมังคุดที่บดละเอียดแล้วมาชั่งน้ำหนักตามปริมาณที่กำหนด แล้วนำมาผสมกับกาวแป้งเปียกทำการคลุกเคล้าให้เข้ากันจนมีลักษณะเป็นเนื้อเดียวกันทั้งหมด
5. การขึ้นรูปถ่านดูดกลิ่น โดยกรอกลงในแม่พิมพ์ซิลิโคน แล้วปล่อยให้แห้งที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 2 วัน ดัง Figure 2
6. นำถ่านดูดกลิ่นจากเปลือกมังคุดที่ได้มาอบในตู้อบตามอุณหภูมิและเวลาที่กำหนด



(A) Molding with silicone molds



(B) Deodorizing charcoal

Figure 2 Deodorizing charcoal from mangosteen peel

การทดสอบค่าความชื้นของถ่านดูดกลิ่นจากเปลือกมังคุด

นำถ่านดูดกลิ่นจากเปลือกมังคุดมาวัดค่าความชื้น ด้วยเครื่องวัดความชื้น (Moisture analyzer) ยี่ห้อ Sartorius รุ่น MA45 ผลิตจากประเทศเยอรมัน โดยมีหลักการการทำงานคือวัดปริมาณความชื้นของถ่านดูดกลิ่นจากเปลือกมังคุด โดยให้ความร้อนแก่ตัวอย่างด้วยระบบ Halogen lamp ซึ่งมีขั้นตอนการทำงานเริ่มจากการให้ความร้อนแก่ตัวอย่างด้วยหลอดฮาโลเจน และบันทึกการสูญเสียน้ำหนักอย่างต่อเนื่อง จนกระทั่งเกิดการอบแห้งอย่างเสร็จสมบูรณ์ หลังจากนั้นเครื่องจะคำนวณปริมาณความชื้นโดยอัตโนมัติจากความแตกต่างของน้ำหนักก่อนและหลังการให้ความร้อน และคำนวณค่าปริมาณความชื้นจาก

น้ำหนักที่ลดลง ซึ่งจะแสดงผลการคำนวณออกมาในรูปของร้อยละของน้ำหนักที่ลดลง (%L) ดัง Figure 3 โดยทดลองตามเงื่อนไขใน Table 1 และมีการทดลอง 3 ซ้ำ ทำให้มีการทดลองทั้งหมดเท่ากับ $2 \times 3 \times 3 \times 3 = 54$ การทดลอง



Figure 3 Moisture analyzer model MA45

การทดสอบค่าไอโอดีน

นำถ่านดูดกลิ่นจากเปลือกมังคุดที่มีค่าความชื้นน้อยที่สุดไปทดสอบค่าไอโอดีน (Iodine value) ตามมาตรฐาน AWWAB604 ซึ่งมาตรฐานที่กำหนดโดย American Water Works Association (AWWA) ตามข้อกำหนดของมาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชน (มผช.180/2563) (Thai industrial standard institute, 2020)

ผลการวิจัย

การทดสอบค่าความชื้น

ผลการทดสอบค่าความชื้นของถ่านดูดกลิ่นจากเปลือกมังคุดที่ใช้แป้งมันสำปะหลังและแป้งข้าวเจ้าเป็นตัวประสาน โดยมีอัตราส่วนระหว่างถ่านเปลือกมังคุดต่อแป้งมันสำปะหลังและแป้งข้าวเจ้าเป็น 80, 100 และ 120 กรัม โดยใช้เวลาที่ใช้ในการอบ 8, 10 และ 12 ชั่วโมง ซึ่งมีผลการทดลองดัง Figure 4 และ Figure 5

ค่าความชื้นของถ่านดูดกลิ่นจากเปลือกมังคุดที่ทำมาแป้งมันสำปะหลัง

ผลการทดสอบค่าความชื้นของถ่านดูดกลิ่นด้วยเครื่องวัดความชื้น (Moisture analyzer) พบว่า ถ่านดูดกลิ่นจากเปลือกมังคุดที่ใช้แป้งมันสำปะหลังเป็นตัวประสานทั้ง 9 การทดลองนั้นมีค่าความชื้นเป็นไปตามมาตรฐานที่กำหนด และมีแนวโน้มที่ค่าความชื้นจะลดลงหากเพิ่มเวลาที่ใช้ในการอบให้นานขึ้น ดัง Figure 4

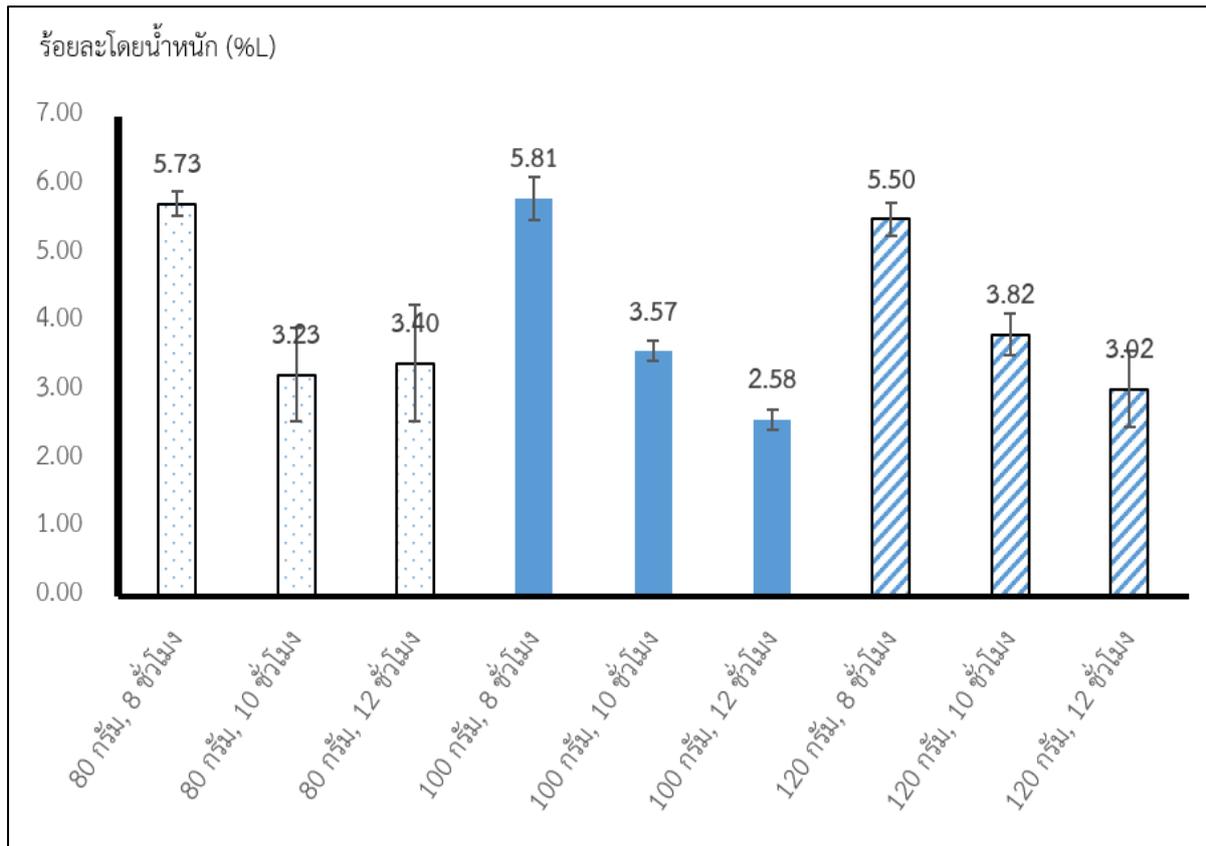


Figure 4 Moisture test results of odor absorbing charcoal from tapioca starch

จาก Figure 4 พบว่า ถ่านดูดกลิ่นจากเปลือกมันคุดที่มีอัตราส่วนผสมของแป้งมันสำปะหลัง 100 กรัม และมีเวลาที่ใช้ในการอบ 12 ชั่วโมงนั้นมีค่าความชื้นน้อยที่สุด โดยมีค่าความชื้นเท่ากับ 2.58%L ลำดับถัดไป ได้แก่ ที่มีอัตราส่วนผสมของแป้งมันสำปะหลัง 120 กรัม และเวลาที่ใช้ในการอบ 12 ชั่วโมง ที่มีอัตราส่วนผสมของแป้งมันสำปะหลัง 80 กรัม และเวลาที่ใช้ในการอบ 10 ชั่วโมง ที่มีอัตราส่วนผสมของแป้งมันสำปะหลัง 80 กรัม และเวลาที่ใช้ในการอบ 12 ชั่วโมง และที่มีอัตราส่วนผสมของแป้งมันสำปะหลัง 100 กรัม และเวลาที่ใช้ในการอบ 10 ชั่วโมง โดยมีค่าความชื้นเท่ากับ 3.02, 3.23, 3.40 และ 3.57%L (ตามลำดับ)

ค่าความชื้นของถ่านดูดกลิ่นจากเปลือกมันคุดที่ทำมาแป็งข้าวเจ้า

ผลการทดสอบค่าความชื้นของถ่านดูดกลิ่นด้วยเครื่องวัดความชื้น (Moisture analyzer) รุ่น MA45 พบว่า ถ่านดูดกลิ่นจากเปลือกมันคุดที่ใช้แป้งมันสำปะหลังเป็นตัวประสานทั้ง 9 การทดลองนั้นมีค่าความชื้นเป็นไปตามมาตรฐานที่กำหนด และมีแนวโน้มที่ค่าความชื้นจะลดลงหากเพิ่มเวลาในการอบให้นานขึ้น ดัง Figure 5

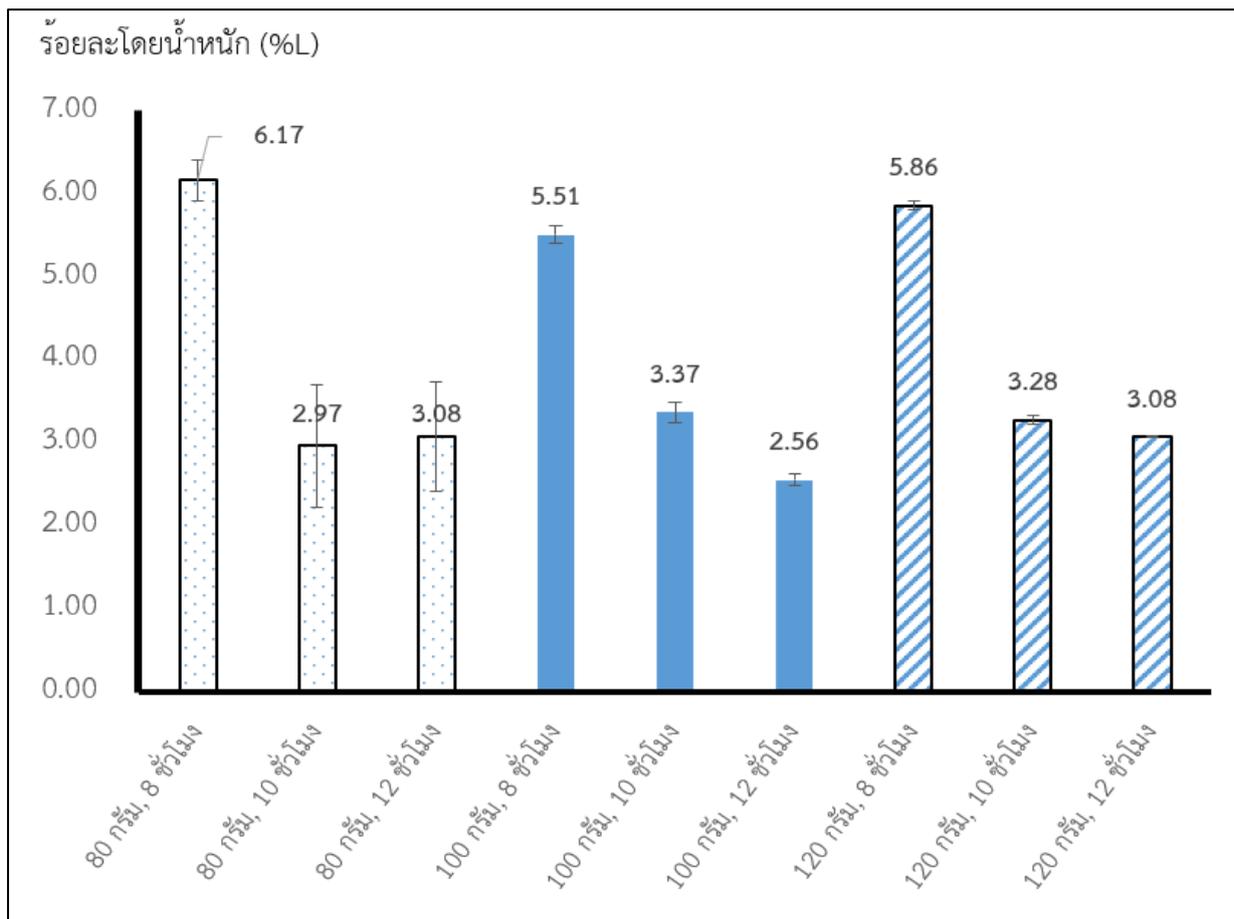


Figure 5 Moisture test results of odor absorbing charcoal from rice flour

จาก Figure 5 พบว่า ถ่านดูดกลิ่นจากเปลือกมังคุดที่มีส่วนผสมของแป้งข้าวเจ้า 100 กรัม และเวลาที่ใช้ในการอบ 12 ชั่วโมง นั้นมีค่าความชื้นน้อยที่สุด โดยมีค่าความชื้นเท่ากับ 2.56%L ลำดับถัดไปได้แก่ที่มีอัตราส่วนผสมของแป้งข้าวเจ้า 80 กรัม และเวลาที่ใช้ในการอบ 10 ชั่วโมง ที่มีอัตราส่วนผสมของแป้งข้าวเจ้า 80 กรัม และเวลาที่ใช้ในการอบ 12 ชั่วโมง ที่มีอัตราส่วนผสมของแป้งข้าวเจ้า 120 กรัม และเวลาที่ใช้ในการอบ 12 ชั่วโมง และที่มีอัตราส่วนผสมของแป้งข้าวเจ้า 120 กรัม และเวลาที่ใช้ในการอบ 10 ชั่วโมง โดยมีค่าความชื้นเท่ากับ 2.97, 3.08, 3.08 และ 3.28%L (ตามลำดับ)

การวิเคราะห์การทดลอง

1. การตรวจสอบความเหมาะสมและความถูกต้องของข้อมูล

เป็นการตรวจสอบความเหมาะสมและความถูกต้องของข้อมูลก่อนที่จะวิเคราะห์ความแปรปรวน (Analysis of variance; ANOVA) ซึ่งประกอบไปด้วย (1) การตรวจสอบการกระจายตัวของข้อมูลว่าเป็นแบบปกติหรือไม่ โดยวิเคราะห์ผ่าน Normal probability plot ว่ามีแนวโน้มเป็นเส้นตรงหรือไม่ และวิเคราะห์รูปทรงของ Histogram ว่ามีรูปทรงเป็นแบบปกติหรือไม่ (2) การตรวจสอบความเสถียรของความแปรปรวนหรือไม่ โดยวิเคราะห์ผ่าน Versus fits ว่าข้อมูลมีการกระจายตัวเท่า ๆ กันรอบค่าศูนย์ (0) หรือไม่ และ (3) การตรวจสอบข้อมูลว่ามีการกระจายตัวแบบสุ่มหรือไม่ โดยวิเคราะห์ผ่าน Versus order ว่าข้อมูลมีการกระจายตัวขึ้นลงรอบค่าศูนย์ (0) ดัง Figure 6

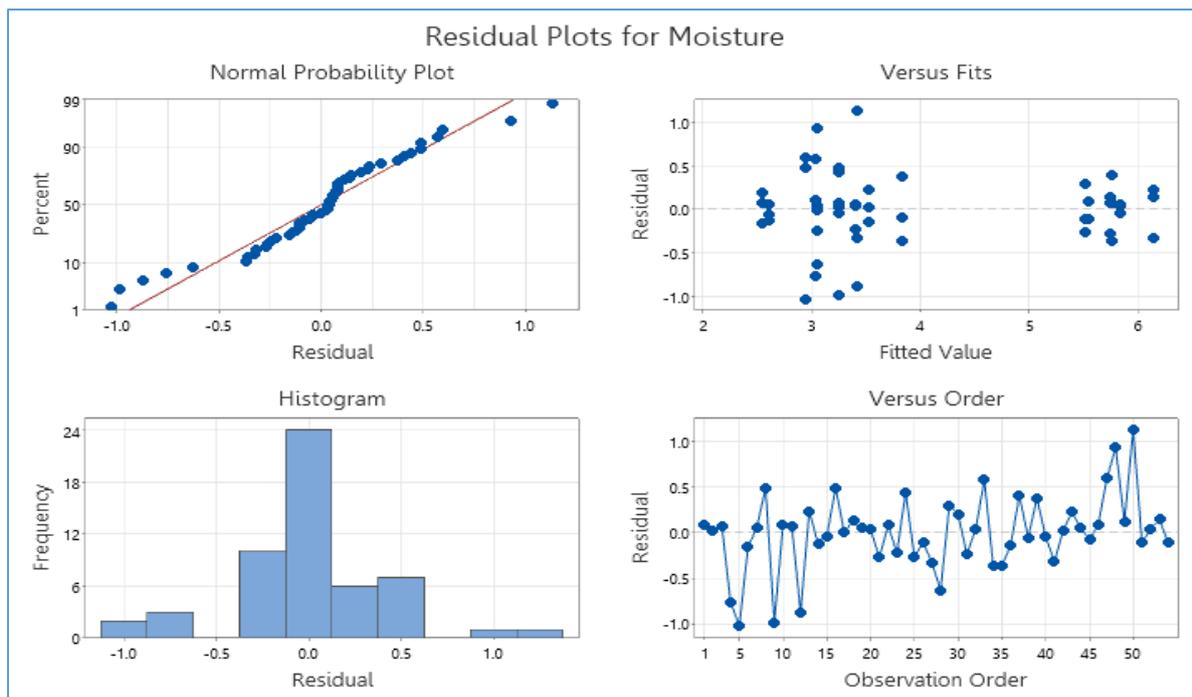


Figure 6 Validation of the appropriateness and validity of the experimental data

จาก Figure 6 พบว่า การกระจายตัวของข้อมูลว่าเป็นแบบปกติ ผ่าน Normal probability plot และ Histogram ซึ่งพบว่า การกระจายตัวของข้อมูลว่าเป็นแบบปกติ เนื่องจาก Normal probability plot มีแนวโน้มเป็นเส้นตรง ส่วน Histogram ก็มีรูปร่างแบบปกติ ข้อมูลจาก Versus fits พบว่า ข้อมูลมีการกระจายตัวเท่า ๆ กันรอบค่าศูนย์ (0) แสดงว่าข้อมูลมีการกระจายตัวหรือความแปรปรวนไม่แตกต่างกัน จาก Versus order นั้นพบว่า ข้อมูลมีการกระจายตัวขึ้นลงรอบค่าศูนย์ (0) แสดงว่าข้อมูลมีการกระจายตัวแบบสุ่ม ดังนั้นจึงสามารถสรุปได้ว่าข้อมูลมีความเหมาะสมและความถูกต้อง

2. การวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA)

เป็นการวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) โดยเริ่มจากการวิเคราะห์ความมีนัยสำคัญของอิทธิพลร่วมระหว่างปัจจัย (Interaction effect) ก่อน แล้วจึงวิเคราะห์ความมีนัยสำคัญของอิทธิพลหลัก (Main effect) โดยพิจารณาจากค่า P-value ซึ่งพบว่า อิทธิพลร่วมระหว่างปัจจัยไม่มีผลต่อค่าความชื้นอย่างมีนัยสำคัญ ส่วนอิทธิพลหลัก ซึ่งได้แก่ เวลาที่ใช้ในการอบ มีผลต่อค่าความชื้นอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ 0.05 ดัง Table 2

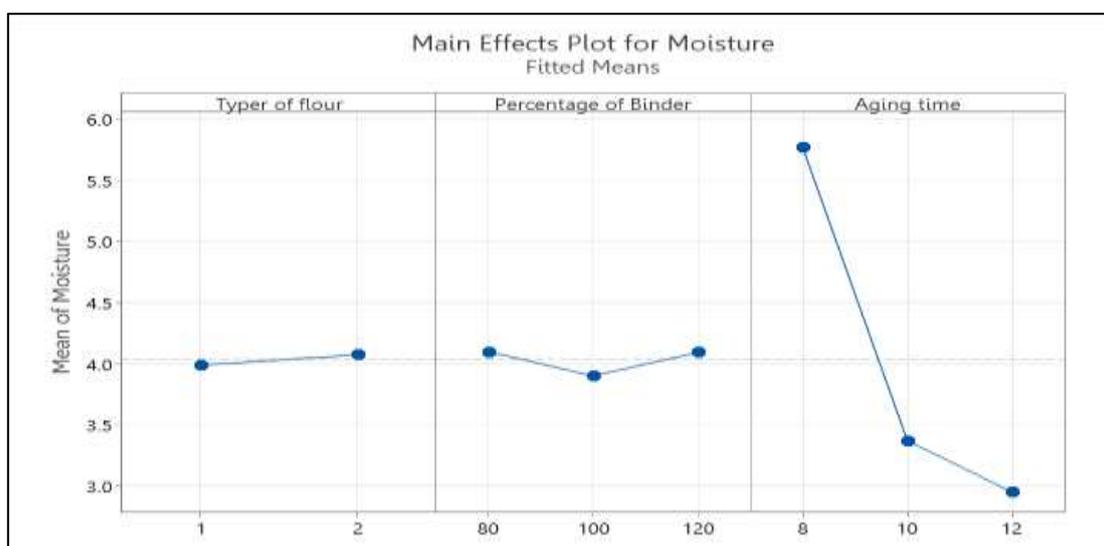
Table 2 Result of analysis of variance (ANOVA)

Source	DF	SS	MS	F	P
Typor of flour (A)	1	0.0988	0.0988	0.43	0.515
Percentage of binder (B)	2	0.4578	0.2289	1.00	0.378
Aging time (C)	2	82.6777	41.3388	180.49	0.000
2 factor Interaction	6	2.5277	0.4213	1.84	0.117
3 factor Interaction	4	0.6526	0.1632	0.17	0.589
Error	38	8.7035	0.2290		

S = 4.78582, R-Sq = 90.85%, R-Sq(adj) = 87.24% R-sq(pred) = 81.52%

จาก Table 2 พบว่า ค่าสัมประสิทธิ์ความสัมพันธ์ หรือ R-Sq (adj) มีค่าอยู่ที่ 87.24 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งมากกว่า 70 เปอร์เซ็นต์ ถือว่ายอมรับได้ จึงมีความเชื่อมั่นได้ว่าจำนวนข้อมูลมีความเพียงพอที่จะนำมาวิเคราะห์ผลการทดลอง หลังจากนั้นจึงได้วิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) โดยเริ่มจากการวิเคราะห์อิทธิพลร่วมระหว่างปัจจัย (Interaction) พบว่ามีค่า p-value มีค่าเท่ากับ 0.589 ซึ่งมีค่ามากกว่าระดับนัยสำคัญที่มีค่าเท่ากับ 0.05 ในส่วนอิทธิพลหลัก (Main effect) พบว่าเวลาที่ใช้ในการอบ มีค่า p-value เท่ากับ 0.000 ซึ่งมีค่าน้อยกว่าระดับนัยสำคัญที่มีค่าเท่ากับ 0.05 ดังนั้นจึงสามารถสรุปได้ว่าอิทธิพลร่วม (Interaction) ไม่มีผลต่อค่าความชื้นของถ่านดูดกลิ่นจากเปลือกมังคุด ส่วนอิทธิพลหลัก (Main effect) ซึ่งประกอบไปด้วยชนิดของตัวประสาน (A) และ อัตราส่วนผสม (B) ไม่มีผลต่อค่าความชื้นของถ่านดูดกลิ่นจากเปลือกมังคุดอย่างมีนัยสำคัญ ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ และค่าผิดพลาดไม่เกิน 5 เปอร์เซ็นต์

เมื่อพิจารณาค่าที่เหมาะสมของแต่ละปัจจัยนั้นพบว่า ชนิดของตัวประสาน (Type of flour) และอัตราส่วนผสม (Percentage of binder) ไม่มีผลต่อค่าความชื้นอย่างมีนัยสำคัญ ส่วนเวลาที่ใช้ในการอบ (Aging time) เป็นปัจจัยที่มีผลต่อการทดลองอย่างมีนัยสำคัญ ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ และค่าผิดพลาดไม่เกิน 5 เปอร์เซ็นต์ โดยพบว่าที่เวลาที่ใช้ในการอบ 12 ชั่วโมง นั้นจะทำให้ได้ถ่านดูดกลิ่นจากเปลือกมังคุดมีค่าความชื้นน้อยที่สุด ดัง Figure 7



Remark : 1 = Tapioca starch, 2 = Rice flour, 80 = Percentage of binder, 100 = Percentage of binder, 120 = Percentage of binder, 8 = Aging time, 10 = Aging time and 12 = Aging time

Figure 7 Main effects plot for moisture

การทดสอบค่าไอโอดีน

นำถ่านดูดกลิ่นจากเปลือกมังคุดที่ทำมาจากแป้งมันสำปะหลังและแป้งข้าวเจ้าที่อัตราส่วน 100:12 ชั่วโมง ซึ่งมีค่าความชื้นน้อยที่สุดไปทดสอบค่าไอโอดีน ที่บริษัทห้องปฏิบัติการกลาง (ประเทศไทย) จำกัด สาขาขอนแก่น ตามมาตรฐาน AWWAB604 จำนวน 2 ตัวอย่าง ผลการทดสอบค่าไอโอดีนพบว่า ถ่านดูดกลิ่นจากเปลือกมังคุดที่มีตัวประสานทำมาจากแป้งมันสำปะหลังมีค่าไอโอดีนเท่ากับ 812.81 มิลลิกรัม/กรัม และถ่านดูดกลิ่นที่ทำจากเปลือกมังคุดที่มีตัวประสานทำมาจากแป้งข้าวเจ้ามีค่าไอโอดีนเท่ากับ 836.46 มิลลิกรัม/กรัม

การอภิปรายผล

ผลการทดสอบคุณสมบัติของถ่านดูดกลิ่นจากเปลือกมังคุดพบว่า ถ่านดูดกลิ่นจากเปลือกมังคุดที่ทำจากแป้งมันสำปะหลังมีค่าความชื้นเฉลี่ย 4.07% ส่วนถ่านดูดกลิ่นจากเปลือกมังคุดที่ทำจากแป้งข้าวเจ้ามีค่าความชื้นเฉลี่ย 3.99% และพบว่าชนิดของตัวประสาน และอัตราส่วนผสมไม่มีผลต่อค่าความชื้นของถ่านดูดกลิ่นจากเปลือกมังคุด โดยพบว่า ทุกเงื่อนไขของการทดลองมีค่าความชื้นเป็นไปตามข้อกำหนดของมาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชน (มผช.180/2563) โดยมีค่าความชื้นไม่เกินร้อยละ 8

โดยน้ำหนัก จากนั้นนำถ่านดูดกลิ่นจากเปลือกมังคุดที่อัตราส่วน 100:12 ชั่วโมง ซึ่งมีค่าความชื้นน้อยที่สุด ไปทดสอบค่าไอโอดีน ตามมาตรฐาน AWWAB604 ที่ บริษัทห้องปฏิบัติการกลาง (ประเทศไทย) จำกัด สาขาขอนแก่น จำนวน 2 ตัวอย่าง ผลการทดสอบค่าไอโอดีนพบว่า ถ่านดูดกลิ่นจากเปลือกมังคุดที่ทำจากแป้งมันสำปะหลังมีค่าไอโอดีนเท่ากับ 812.81 มิลลิกรัม/กรัม และถ่านดูดกลิ่นที่ทำจากเปลือกมังคุดแป้งข้าวเจ้า มีค่าไอโอดีนเท่ากับ 836.46 มิลลิกรัม/กรัม ซึ่งถ่านดูดกลิ่นที่ทำมาจากตัวประสานทั้งสองชนิดมีค่าไอโอดีนเป็นไปตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชน (มผช. 180/2563) โดยกำหนดให้ถ่านดูดกลิ่นต้องมีค่าไอโอดีนไม่น้อยกว่า 150 มิลลิกรัม/กรัม ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Boonchom (2020) ได้ศึกษาสมบัติทางกายภาพและอัตราการดูดซับความชื้นของถ่านจากผลไม้ 6 ชนิด คือ ถ่านสับปะรด ถ่านเปลือกทุเรียน ถ่านข้าวโพด ถ่านกล้วย ถ่านมังคุด และถ่านเงาะ ผลจากการศึกษาวิจัยพบว่า ถ่านมังคุดมีค่าความชื้นเฉลี่ยร้อยละ 2.85 และเวลาที่ใช้ในการอบนานขึ้นจะทำให้ความชื้นลดลงด้วย และสอดคล้องกับงานวิจัย Neamsawag (2010) ที่ได้ศึกษาและเปรียบเทียบความสามารถในการดูดซับของถ่านกัมมันต์ที่ได้รับจากวิธีการผลิตและวัสดุที่แตกต่างกัน ผลจากการศึกษาวิจัยเปลือกมังคุดที่เผาที่อุณหภูมิ 800 องศาเซลเซียส จะทำให้ได้ค่าไอโอดีนเท่ากับ 802.44 มิลลิกรัม/กรัม

บทสรุป

การหาค่าสภาวะที่เหมาะสมในการขึ้นรูปถ่านดูดกลิ่นจากเปลือกมังคุด โดยวิธีการออกแบบการทดลองเพื่อหาค่าความชื้นให้ได้ตามมาตรฐาน โดยการออกแบบการทดลองแบบแฟกตอเรียลเต็มรูปแบบ (General full factorial design) ซึ่งกำหนดให้ปัจจัยที่มีผลต่อการทดลองมี 3 ปัจจัย คือ ชนิดของตัวประสาน อัตราส่วนผสม และเวลาที่ใช้ในการอบ โดยชนิดของตัวประสาน มี 2 ระดับ ได้แก่ แป้งมันสำปะหลัง และแป้งข้าวเจ้า อัตราส่วนผสมมี 3 ระดับ ได้แก่ 80, 100 และ 120 กรัม และเวลาที่ใช้ในการอบ มี 3 ระดับ ได้แก่ 8, 10 และ 12 ชั่วโมง และมีการทดลองซ้ำทั้งหมด 3 ครั้ง ทำให้มีการจำนวนครั้งในการทดลอง 54 ครั้ง ผลจากการทดลองพบว่า ปัจจัยที่มีผลต่อค่าความชื้นอย่างมีนัยสำคัญ ได้แก่ เวลาที่ใช้ในการอบ ส่วนชนิดของตัวประสาน และอัตราส่วนผสม ไม่มีนัยสำคัญ ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ และความผิดพลาดไม่เกิน 5 เปอร์เซ็นต์ เมื่อพิจารณาค่าที่เหมาะสมของแต่ละปัจจัยนั้นพบว่า แป้งมันสำปะหลังที่อัตราส่วน 100 กรัม และเวลาที่ใช้ในการอบ 12 ชั่วโมง มีค่าความชื้นน้อยที่สุด ส่วนแป้งข้าวเจ้านั้นพบว่าที่อัตราส่วน 100 กรัม และเวลาที่ใช้ในการอบ 12 ชั่วโมง มีค่าความชื้นน้อยที่สุดเช่นกัน และพบว่าชนิดของตัวประสานที่ทำจากแป้งข้าวเจ้ามีค่าไอโอดีนสูงกว่าแป้งมันสำปะหลังเล็กน้อย ส่วนผลการทดสอบค่าไอโอดีนพบว่า ถ่านดูดกลิ่นจากเปลือกมังคุดที่มีตัวประสานทำมาจากแป้งข้าวเจ้ามีค่าไอโอดีนเท่ากับ 836.46 มิลลิกรัม/กรัม ส่วนถ่านดูดกลิ่นจากเปลือกมังคุดที่มีตัวประสานทำมาจากแป้งมันสำปะหลังมีค่าไอโอดีนเท่ากับ 812.81 มิลลิกรัม/กรัม ผลจากการศึกษาวิจัยช่วยให้กลุ่มผู้ประกอบการ OTOP ถ่านดูดกลิ่นจากเปลือกมังคุดสามารถนำไปเป็นแนวทางในการเลือกชนิดของตัวประสานที่มีราคาถูกกว่าเพื่อเป็นการลดต้นทุนการผลิตของกลุ่มผู้ประกอบการ OTOP เนื่องจากตัวประสานทั้ง 2 ชนิด ไม่ว่าจะเป็นแป้งข้าวเจ้าหรือแป้งมันสำปะหลังให้ค่าไอโอดีนสูงกว่าเกณฑ์มาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชน รวมทั้งนำข้อมูลที่ได้ไปใช้ในการขึ้นรูปถ่านดูดกลิ่นจากเปลือกมังคุดให้มีประสิทธิภาพมากขึ้น

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้สำเร็จลงได้ขอขอบพระคุณกลุ่ม OTOP ถ่านดูดกลิ่นจากเปลือกมังคุดที่กรุณาให้ข้อมูลและให้คำปรึกษาเกี่ยวกับกรรมวิธีการขึ้นรูปถ่านดูดกลิ่นจากเปลือกมังคุด และปัญหาของถ่านดูดกลิ่นจากเปลือกมังคุด รวมทั้งคณาจารย์และเจ้าหน้าที่สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม และคณาจารย์และเจ้าหน้าที่คณะวิศวกรรมศาสตร์บูรณาการและเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก วิทยาเขตจันทบุรี ที่ให้คำแนะนำและช่วยเหลือให้การดำเนินงานบรรลุผลสำเร็จตามวัตถุประสงค์และเป้าหมาย

เอกสารอ้างอิง

- Boonchom, K., Thewsakun, J., & Thipawan, K. (2020). Physical properties and moisture adsorption rate of fruit charcoal. *VRU Research and Development Journal Science and Technology*, 15(2), 77-89. (In Thai)
- Jahmah, N., Thoman, L., & Madahae, S. (2020). The study production of fuel briquette from mangosteens peel and water. In The 5th Nation Science and Technology Conference. *Science Technology and Social Innovation. Rajamangala University of Technology Srivijaya*. (pp.1445-1452). <https://profile.yru.ac.th/storage/academic-articles/September2020/3ltRnntYB8p3ynziivAH.pdf> (In Thai)
- Jittabut, P., Piyasri, S., & Piasanthia, S. (2020). Materials plate for food packaging development by using agricultural waste. *Science and Technology Research Journal Nakhon Ratchasima Rajabhat University*, 5(1), 43-52. (In Thai)
- Khiaomang, K. (2024). Activated carbon from cassava rhizomes to design odor absorbing products. *Academic Journal of Industrial Technology Innovation*, 2(2), 32-43. (In Thai)
- Khwunsakun, C. (2022). Research and development of growing bench for quality vegetables production. *Agriculture and Technology Journal*, 3(1), 60-74. (In Thai)
- Kumpapai, C., Boonthanom, N., Rodjananon, T., & Wongthanate, J. (2020). The efficiency comparison of fuel briquettes from agricultural wastes. *The Journal of Industrial Technology*, 16(3), 28-38. <https://doi:10.14416/j.ind.tech.2020.12.003>. (In Thai)
- Mongkoldhumrongkul, K. (2024). Development of a biomass briquette machine from agricultural waste in rayong province. *The Journal of KMUTNB*, 34(1), 1-12. (In Thai)
- Namee, J., & Seak, P. (2023). Utilization of local agricultural wastes for the production of oyster mushrooms (*Pleurotus ostreatus*). *Journal of Agricultura Production*, 5(1), 203-215. (In Thai)
- Neamsawag, P. (2010). Comparison of adsorption capacity of activated carbon obtained from production methods and materials. *Science and Technology Nakhon Sawan Rajabhat University Journal*, 2(2), 11-18. (In Thai)
- Pansuwan, J., Onwong, J., & Intharapat, P. (2012). A study of factors affecting on the efficiency of an odor absorbing rubber. In *The 6th Ubon Ratchathani University Research Conference. Ubon Ratchathani University*. (pp.36-45). <https://www.ubu.ac.th/web/research/content/UBRCL>. (In Thai)
- Pianjing, P., Punyakhom, P., Prapreud, W., Kitprathaung, N., Phromsat, P., & Wites, J. (2023). Development of odor absorbed charcoal lump product. *Phranakhon Rajabhat Research Journal (Science and Technology)*, 18(2), 14-29. (In Thai)
- Piyang, T., & Khuawaraphan, R. (2019). By-product synergy from nipa palm frond processing waste ban laem community, Trang province. *Area Based Development Research Journal*, 11(6), 503-517. (In Thai)
- Sittiwong, W., Homchampa, T., Prachumcharat, P., Waengern, T., & Kaewtumla, N. (2023). Fuel consumption of diesel engines combined with producer gas. *Agriculture and Technology Journal*, 4(3), 45-58. (In Thai)

- Srihawattanakul, P., Jaiton, A., Yordon, K., & Yunsan, A. (2017). *Production of deodorizing charcoals from mangrove charcoal: an applied local wisdom of "pleakmai group" at baan Khaoyeesarn, Amphawa, Samut Songkram province*. Faculty of Home Economics Technology, Rajamangala University of Technology Phra Nakhon. (In Thai)
- Sudasna-Na-Ayudhya, P., & Luangpaiboon, P. (2008). *Design and Analysis of Experiment*. Top Publishing. Bangkok. (In Thai)
- Thai industrial standard institute. (2020). *Thai community product standard of deodorizing charcoal (180/2563)*. <https://tcps.tisi.go.th/public/StandardList.aspx>. (In Thai)
- Wongsuwan, S., Inla, K., & Sittiwong, W. (2020). Effects of plastic ratio on compressive stress. *Agriculture and Technology Journal*, 1(1), 1-11. (In Thai)

ATRJ



วารสารเกษตรศาสตร์และเทคโนโลยี
มทร.อีสาน



<https://li01.tci-thaijo.org/index.php/atj>

คณะเกษตรศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน วิทยาเขตสุรินทร์