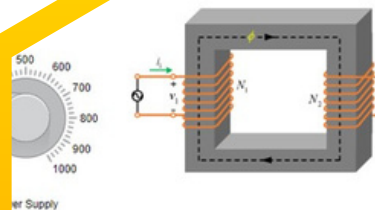
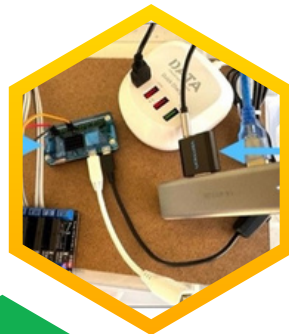


ATRJ



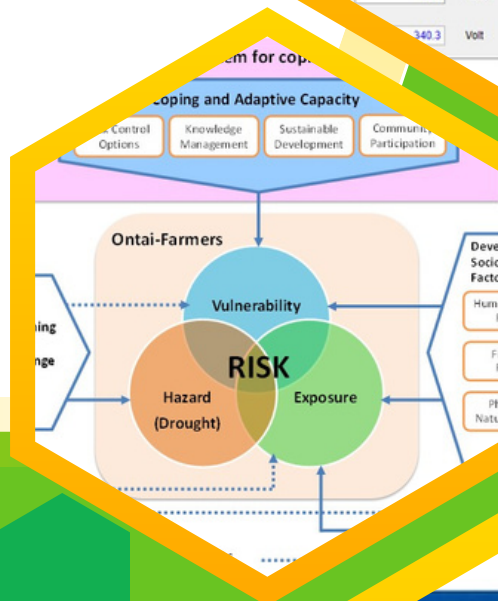
วารสารเกษตรศาสตร์และเทคโนโลยี
มทร.อีสาน



Data Output	
Turn	
Secondary Voltage	
Primary Current	
Secondary Current	

Volume 6

No.1 Jan-Apr 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) ผลของกระบวนการหมักต่อคุณภาพและอายุการเก็บรักษาสับปะรดแช่แข็ง 2) ผลของขนาดกระถางแอโรพอดต่อการเจริญเติบโตทางด้านลำต้นของกล้วย 3) การศึกษาอายุและการเติบโตของปลาหมอขาว (*Yasuhikotakia modesta*) ในแม่น้ำมูล และแม่น้ำชี 4) การคัดแยกเชื้อแบคทีเรียที่ผลิตเอนไซม์เซลลูเลสจากดินที่มีเปลือกทุเรียน 5) ประสิทธิภาพของวัสดุปรับปรุงดินต่อการเปลี่ยนแปลงสมบัติทางเคมีบางประการของดินใต้ทรงพุ่มทุเรียนในชุดดินท่าใหม่ 6) การศึกษาสมรรถนะการทำงานของหม้อแปลงไฟฟ้าด้วย MATLAB App Designer 7) นวัตกรรมการจัดการศัตรูพืชแบบบูรณาการ: คอมพิวเตอร์บอร์ดเดี่ยวขนาดเล็กต้นทุนต่ำสำหรับการไล่หนูด้วยเสียง แสง และการสั่นสะเทือน 8) ระบบชลประทานน้ำหยดเพื่อรับมือกับภัยแล้ง: กรณีศึกษาเทศบาลตำบลออนใต้ จังหวัดเชียงใหม่ 9) การปรับปรุงคุณภาพทางโภชนาการของกากถั่วเหลืองจากการหมักแบบแห้ง (Solid-state fermentation) ด้วยแบคทีเรียชนิด *Bacillus coagulans* และเอนไซม์โบรมิเลนจากสับปะรดเพื่อใช้เป็นวัตถุดิบในอาหารปลานิล 10) โรงเรือนเพาะเลี้ยงจิ้งหรีดระบบปิดโดยใช้เทคโนโลยีทางสถาปัตยกรรมเพื่อเพิ่มศักยภาพการผลิตจิ้งหรีดนอกฤดูกาลสำหรับวิสาหกิจชุมชนและผู้ประกอบการเชิงพาณิชย์จังหวัดสกลนคร 11) การประเมินและเปรียบเทียบประสิทธิภาพการบริการตอบคำถามลูกค้า ที่สร้างขึ้นจากปัญญาประดิษฐ์เชิงสร้างสรรค์

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.สำเนาวั	เสาวกุล	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน วข.สุรินทร์
หัวหน้ากองบรรณาธิการ	อ.ทรงยศ	กิตติชนม์ธวัช	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน วข.สุรินทร์
บรรณาธิการ	ผศ.ดร.วุฒิชัย	สิทธิพงษ์	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน วข.สุรินทร์
รองบรรณาธิการ	ดร.พงศ์ภัทร	เกียรติประเสริฐ	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน วข.สุรินทร์
ผู้ช่วยบรรณาธิการ	ดร.ปวีณา	สาสิทธิ์	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน วข.สุรินทร์
	ดร.อัญวิมล	ไชยวิชระกัมพล	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน วข.สุรินทร์
กองบรรณาธิการผู้ทรงคุณวุฒิ			
	ศ.ดร.ธเนศ	เสถียรนาม	มหาวิทยาลัยขอนแก่น
	ศ.ดร.ปิยะดา	ธีระกุลพิศุทธิ์	มหาวิทยาลัยขอนแก่น (เกษียณอายุ)
	ศ.ดร.เมธา	วรรณพัฒน์	มหาวิทยาลัยขอนแก่น
	ศ.ดร.สนั่น	จอกลอย	มหาวิทยาลัยขอนแก่น (เกษียณอายุ)
	ศ.ดร.สิงหนาท	พวงจันทร์แดง	มหาวิทยาลัยขอนแก่น
	ศ.ดร.อนันต์	พลธานี	มหาวิทยาลัยขอนแก่น
	ศ.ดร.อลงกลด	แทนออมทอง	มหาวิทยาลัยขอนแก่น
	ศ.ดร.อุทัยรัตน์	ณ นคร	มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
	ศ.ดร.สุขสันต์	ห่อพิบูลสุข	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี
	ศ.ดร.สุวัจน์	ธัญรส	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย
	ศ.ดร.ทวนทอง	จุฑาเกตุ	มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี
	พล.อ.ต.ศ.ดร.สรภักข	ศรีเกษม	โรงเรียนนายเรืออากาศนวมินทกษัตริยาธิราช
กองบรรณาธิการ			
	ศ.ดร.กุลเชษฐ์	เพียรทอง	มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี
	ศ.ดร.สุรพล	แสนสุข	มหาวิทยาลัยมหาสารคาม
	รศ.ดร.พนัธวัศ	สัมพันธ์พานิช	จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

รศ.ดร.สุพรรณ	สุดสนธิ์	มหาวิทยาลัยกาฬสินธุ์
รศ.ดร.ธนัชฐา	ทรรพนันท์	มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
รศ.ดร.บุญเสถียร	บุญสูง	มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
รศ.ดร.อรพินท์	จินตสถาพร	มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
รศ.ดร.ปรเมศ	บรรเทิง	มหาวิทยาลัยขอนแก่น
รศ.ดร.รัชพล	สันติวรกร	มหาวิทยาลัยขอนแก่น
รศ.ดร.สิริภัทร	เชี่ยวชาญวัฒนา	มหาวิทยาลัยขอนแก่น
รศ.ดร.วิศิษฐ์พร	สุขสมบัติ	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี
รศ.ดร.กริช	สมกันธา	มหาวิทยาลัยราชภัฏอุดรธานี
รศ.ดร.วีระเวทย์	อุทไธ	มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี
รศ.ดร.บรรจง	บุญชม	สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
รศ.ดร.บัณฑิต	ยวงสร้อย	มหาวิทยาลัยขอนแก่น
ผศ.ดร.พัชริน	ส่งศรี	มหาวิทยาลัยขอนแก่น
ผศ.ดร.ภาณุพล	หงษ์ภักดี	มหาวิทยาลัยขอนแก่น
ผศ.ดร.อังคณา	บุญยิด	มหาวิทยาลัยขอนแก่น
ผศ.ดร.สุจินต์	จิระชีวะนันท์	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
ผศ.ดร.รัตติกาล	เสนน้อย	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก วช.บางพระ
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 วช.สุรินทร์
ผศ.ดร.ศุภลักษณ์	เกตุดากแดด	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน วช.สุรินทร์
ผศ.ดร.น.สพ.สุทธิดิล	ปิยะเดชสุนทร	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน วช.สุรินทร์
ผศ.ดร.ปรัชญา	บำรุงกุล	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน วช.สุรินทร์
ผศ.ดร.วิภาสทิธี	หิรัญรัตน์	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน วช.สุรินทร์
ดร.ทิวากร	อำพาพล	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน วช.สุรินทร์
ดร.นิตยา	ภูงาม	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน วช.สุรินทร์
ดร.เรวัฒน์	เติมกล้า	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน วช.สุรินทร์
ดร.สุทธิชาน์	นิลฤทธิ์	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน วช.สุรินทร์
ดร.สุรียา	อุดด้วง	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน วช.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 และมีใช่เป็นความรับผิดชอบของคณะเกษตรศาสตร์และเทคโนโลยี

รายนามผู้ทรงคุณวุฒิพิจารณาบทความ ปีที่ 6 ฉบับที่ 1

รศ.ดร.สำเนาวิ เสาวกุล	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน วช.สุรินทร์
รศ.ดร.สมชาย บุตรนันท์	มหาวิทยาลัยราชภัฏสกลนคร
ผศ.ดร.ธีระ สารุพันธ์	มหาวิทยาลัยราชภัฏอุบลราชธานี
ผศ.ดร.โอฬาริก สุรินทร์ตะ	มหาวิทยาลัยมหาสารคาม
ผศ.ดร.ไพชยนต์ คงไชย	มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี
ผศ.ดร.อรลัดดา เจือจันทร์	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน วช.สุรินทร์
ผศ.ดร.วนิดา สำราญรัมย์	มหาวิทยาลัยราชภัฏบุรีรัมย์
ผศ.ดร.พรชัย ทาระโคตร	มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์
ผศ.ดร.รุ่งกานต์ กล้าหาญ	มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบุรี
ผศ.ดร.เกตุณภัส ศรีโพธิ์จัน	มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
ผศ.ดร.สาวิกา กัลปพฤกษ์	มหาวิทยาลัยศิลปากร
ผศ.ดร.สุนิดา เมืองโคตร	มหาวิทยาลัยราชภัฏอุบลราชธานี
ผศ.ดร.จุณจระรา พุยไธสง	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน วช.สุรินทร์
ผศ.ดร.รวีภัทร ลามเจริญสุข	สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ผศ.ดร.กิตติวัฒน์ จีบแก้ว	มหาวิทยาลัยราชภัฏสกลนคร
ผศ.ดร.นิวัตร อังควิเศษฐพันธ์	มหาวิทยาลัยมหาสารคาม
ผศ.ดร.วาทัญญู มีศรีสุข	มหาวิทยาลัยราชภัฏนครปฐม
ผศ.ดร.ภาคภูมิ จันทรศรี	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
ผศ.กิตติพร สุพรรณผิว	มหาวิทยาลัยราชภัฏอุบลราชธานี
ผศ.นราศักดิ์ วงษ์วาสน์	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน วช.สุรินทร์
ดร.สุพัตรา มหาโกสี	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน
ดร.ณัฐวุฒิ ศรีวิบูลย์	มหาวิทยาลัยกาฬสินธุ์
ดร.พงศกร พิมพะนิตย์	มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม
ดร.สหภัทร ชลาชัย	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน วช.สุรินทร์
ดร.สิทธิ กุหลาบทอง	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก
ดร.กรทิพย์ กันนิการ	มหาวิทยาลัยพะเยา
ดร.วรรณวิภา พินระ	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน วช.สกลนคร
ดร.เจนจิรา ผกาวัลย์	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

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 เป็รับบทความที่เกี่ยวข้อง ได้แก่ เกษตรศาสตร์ วิศวกรรมศาสตร์ วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี ให้เป็นไปตามรูปแบบของวารสาร

คณะเกษตรศาสตร์และเทคโนโลยี ได้เห็นความสำคัญของการพัฒนาและส่งเสริมผลงานวิจัยเพื่อเผยแพร่เชิงบูรณาการให้มีคุณภาพ เกิดประโยชน์อย่างแท้จริง สำหรับฉบับนี้ มีบทความวิจัยด้วยกัน 11 เรื่อง ประกอบด้วยสาขาเกษตรศาสตร์ 6 เรื่อง สาขาวิศวกรรมศาสตร์ 1 เรื่อง สาขาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี 4 เรื่อง โดยวารสารเกษตรศาสตร์และเทคโนโลยี (Agriculture and Technology RMUTI Journal) เป็นวารสารที่มีคุณภาพและมีชื่อในศูนย์ดัชนีการอ้างอิงวารสารไทย (Thai-Journal Citation Index Centre; TC11)

กองบรรณาธิการขอขอบคุณผู้ทรงคุณวุฒิทุกท่านที่ให้ข้อเสนอแนะสำหรับในแต่ละบทความวิจัย ขอขอบคุณผู้เขียนทุกท่านที่ได้ส่งบทความอันเป็นประโยชน์ เผยแพร่สู่สาธารณะเพื่อพัฒนางานวิจัยของชาติต่อไป

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วุฒิชัย สิทธิวงษ์
บรรณาธิการ

ผลของกระบวนการแช่แข็งต่อคุณภาพและอายุการเก็บรักษาสับประรดแช่อิ่มอบแห้ง Effect of osmosis dehydrated processing on quality and shelf life of dried sweetened pineapple product วิภา ประพินอักษร และนันทา เป็งเนตร	1
ผลของขนาดกระถางแออร์พอตต่อการเจริญเติบโตทางด้านลำต้นของกัญชา Effect of air-pot containers size on vegetative growth of <i>Cannabis sativa</i> L. ทรงศักดิ์ ธรรมจรัส บุญชาติ คติวัฒน์ นันทน์ภัส สุวรรณสินธุ์ กิตติศักดิ์ จันทร์สุข และนัฐพร ชะอุ่มฤทธิ์	14
การศึกษาอายุและการเติบโตของปลาหมอขาว (<i>Yasuhikotakia modesta</i>) ในแม่น้ำมูลและแม่น้ำชี Age and growth of Red tail botia (<i>Yasuhikotakia modesta</i>) in the Mun and Chi rivers ชนิสรา หมดกรรม จรุงจิต กรุดพันธ์ ทวนทอง จุฑาเกตุ และปิยะเทพ อวະกุล	22
การคัดแยกเชื้อแบคทีเรียที่ผลิตเอนไซม์เซลลูเลสจากดินที่มีเปลือกทุเรียน Isolation of cellulase producing bacteria from soils containing durian husks ปฐมาภรณ์ ทิลารักษ์ กรรณิการ์ เจริญสุข พิริยาภรณ์ อันอาตม์งาม พรพนิต ศศิวัฒน์ชุตikul ยุพา บุญมี และอมรรัตน์ สุวรรณโพธิ์ศรี	33
ประสิทธิภาพของวัสดุปรับปรุงดินต่อการเปลี่ยนแปลงสมบัติทางเคมีบางประการ ของดินใต้ทรงพุ่มทุเรียนในชุดดินท่าใหม่ Efficacy of soil amendments on modifying select chemical properties of soil beneath durian canopies in the Tha Mai soil series เจนจิรา นามิ ทรงพลธนฤทธิ์ มฤครัฐอินแปลง วิเชียร พุทธศรี และเอกธนซ์ โชติปัญญา	46

- การศึกษาสมรรถนะการทำงานของหม้อแปลงไฟฟ้าด้วย MATLAB App Designer 54
Study of transformer performance with MATLAB App Designer
วิชากร เสงศรีธวัช และรุจิพรรณ สัมปันณา
- นวัตกรรมการจัดการศัตรูพืชแบบบูรณาการ: คอมพิวเตอร์บอร์ดเดี่ยวขนาดเล็กต้นทุนต่ำ 68
สำหรับการไล่หนูด้วยเสียง แสง และการสั่นสะเทือน
Innovative IPM: A low-cost, small-sized single-board computer for effective rodent repellent using sound, light and vibration
ปิยะวิทย์ ปิยะวัฒน์ และธวัชชัย ปิยะวัฒน์
- ระบบชลประทานน้ำหยดเพื่อรับมือกับภัยแล้ง: กรณีศึกษาเทศบาลตำบลออนใต้ จังหวัดเชียงใหม่ 82
Drip irrigation system for coping with drought: A case study of Ontai subdistrict municipality, Chiangmai province
ปัญญารัตน์ โจลานันท์ ภัทรา วงษ์พันธ์กุล ครรชิต เงินคำคง จิรศักดิ์ ปัญญา
เกศสุดา สิทธิสันติกุล และปรารณา ยศสุข
- การปรับปรุงคุณภาพทางโภชนาการของกากถั่วเหลืองจากการหมักแบบแห้ง (Solid-state fermentation) ด้วยแบคทีเรียชนิด *Bacillus coagulans* และเอนไซม์โบรมิเลนจากสับปะรด 96
เพื่อใช้เป็นวัตถุดิบในอาหารปลานิล
Improvement of nutritional quality of soybean meal by microbial solid-state fermentation with *Bacillus coagulans* and bromelain extract from pineapple (*Ananas comosus* (L.) Merr.) as feed ingredient for Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*)
ทรงทรัพย์ อรุณกุล สุธี วงศ์มณีประทีป ปิ่นสุรางค์ ดีวงศ์ และบัณฑิต ยวงสร้อย

- โรงเรือนเพาะเลี้ยงจิ้งหรีดระบบปิดโดยใช้เทคโนโลยีทางสถาปัตยกรรมเพื่อเพิ่มศักยภาพ
การผลิตจิ้งหรีดนอกฤดูกาลสำหรับวิสาหกิจชุมชนและผู้ประกอบการเชิงพาณิชย์
จังหวัดสกลนคร 110
- Closed-system house cricket using architectural technology for improving
off-season cricket productivity for community enterprise and commercial
entrepreneurs in Sakon Nakhon province
- อานัฐพงษ์ ภาระหัส สิทธิรักษ์ แจ่มใส กิตติวัฒน์ จีบแก้ว กฤษฎา พรหมพินิจ
ภัทรารุธ ศรีคุ้มเก่า พุ่งศรี ภัคดีสุวรรณ จตุรงค์ ศรีทอง ลลิตี ทับทิมทอง
และภาควิชา ชอหนองบัว
- การประเมินและเปรียบเทียบประสิทธิภาพการบริการตอบคำถามลูกค้าที่สร้างขึ้นจาก
ปัญญาประดิษฐ์เชิงสร้างสรรค์ 125
- Evaluation and comparison of customer service performance generated by
Generative AI
- ณัฐฐา ผิวมา และธรรณพ อารีพรรค

Received: March 20, 2024; Revised: September 6, 2024; Accepted: October 9, 2024

ผลของกระบวนการแช่แข็งต่อคุณภาพและอายุการเก็บรักษาสับประรดแช่อิ่มอบแห้ง Effect of osmosis dehydrated processing on quality and shelf life of dried sweetened pineapple product

วิภา ประพินอักษร¹ และนันทา เป็งเนตร^{1*}
Wipa prapinagsorn¹ and Nantha Pengnet^{1*}

¹คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏอุดรดิตถ์ จังหวัดอุดรดิตถ์

¹Faculty of Agriculture, Uttaradit Rajabhat University, Uttaradit Province

*Corresponding Author E-mail Address : nantha.pen@uru.ac.th

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลของกระบวนการผลิตต่อคุณภาพและอายุการเก็บของสับประรดแช่อิ่มอบแห้งของกลุ่มวิสาหกิจชุมชนผลไม้แปรรูป อำเภอสี จันทบุรี โดยการนำสับประรดปัตตาเวียพันธุ์น้ำผึ้งจากแหล่งปลูกในเขตจังหวัดลำปางมาเปรียบเทียบกับกระบวนการผลิตในขั้นตอนการแช่อิ่มโดยใช้ชนิดของสารละลายและสภาวะในการแช่อิ่มต่างกันจำนวน 6 สิ่งทดลอง ผลการวิจัยพบว่า กระบวนการผลิตในขั้นตอนการแช่อิ่มที่ผู้ประกอบการเลือกคือ การใช้สารละลายผสมระหว่างน้ำตาลซูโครสร้อยละ 80 กับกลีเซอรอล ร้อยละ 20 และระยะเวลาแช่อิ่มนาน 3 ชั่วโมงที่อุณหภูมิ 40-60 องศาเซลเซียส ได้สับประรดแช่อิ่มอบแห้งที่มีค่าสี L* สูงที่สุด โดยค่าเท่ากับ 70.44 มีค่าความแข็งเท่ากับ 4.97 N และปริมาณน้ำอิสระ (a_w) เท่ากับ 0.53 ผลการศึกษาอายุการเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง (30 องศาเซลเซียส) ในถุงพลาสติก PET/LLDPE แบบซิปล็อค พบว่า สับประรดแช่อิ่มอบแห้งมีอายุการเก็บรักษานาน 7 เดือน หากเก็บรักษานานเกินกว่า 7 เดือน มีผลทำให้สับประรดแช่อิ่มอบแห้งมีสีเหลืองคล้ำน้ำตาล มีกลิ่นของสับประรดอ่อนลง และเนื้อสัมผัสเหนียว กัดขาดยาก ผลของปริมาณน้ำอิสระและปริมาณความชื้นเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) มีค่าระหว่าง 0.43-0.66 และร้อยละ 4.31-6.87 ตามลำดับ คุณภาพด้านจุลินทรีย์ที่ระยะเวลาการเก็บนาน 8 เดือน พบว่า อยู่ในเกณฑ์ปลอดภัยตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชนผักและผลไม้แช่อิ่ม (161/2558)

คำสำคัญ : กระบวนการออสโมซิส สับประรดแช่อิ่มอบแห้ง เนื้อสัมผัส อายุการเก็บรักษา

Abstract

This research aimed to study the effect on the quality and shelf life of the osmotically dehydrated pineapple process production of The Fruit Processing Community Enterprise Group, Li District, Lamphun, Thailand. Pattavia pineapples (*Ananas comosus* L. Merr) ver. honey ripeness degree harvested from the area crop of Lampang province. These experiments focused on comparing the steps of an osmotic dehydration process production. The varied solutions and optimizations of osmosis conditions were studied. The results showed that the production process in the osmosis process chosen by the operators was to use a solution of 80% sucrose and 20% glycerol and a 3 hr osmosis duration at 40-60°C. Dried pineapple osmosis has the highest L* value, with L to be 70.44. The hardness value and the water activity (a_w) were 4.97 N and 0.53, respectively. Results of shelf-life studies at room temperature (30°C) in a type of zip lock

PET/LLDPE plastic bag found that dried pineapple has a shelf life of 7 months. The product has the effect of causing dried pineapple to be sweetened to have a brownish-yellow color, a milder pineapple aroma, and a cohesive texture that is difficult to bite when the product has been kept for more than seven months. The effect of water activity and moisture content increased statistically significantly ($p \leq 0.05$) between 0.43-0.66 and 4.31-6.87%, respectively. The results microbial quality on shelf-life was found that the product kept at eight months to be safe according to the standards of community products of fruits and vegetable glaze (161/2015)

Keywords: Osmosis, Dried sweetened pineapple, Texture, Shelf-life

บทนำ

สับปะรดปัตตาเวียพันธุ์น้ำผึ้งเป็นพืชเศรษฐกิจที่สำคัญของจังหวัดลำปาง โดยมีการปลูกมากที่สุดในพื้นที่ อำเภอเมืองลำปาง อำเภอแจ้ห่ม อำเภอแม่เมาะ และอำเภอเสริมงาม ตามลำดับ ในอำเภอเมืองลำปางพบว่า ตำบลบ้านเสด็จ ตำบลบ้านแลง และ ตำบลบุญนาพัฒนา เป็นพื้นที่ที่มีการปลูกสับปะรดมากที่สุด รวมพื้นที่ปลูกประมาณ 21,002 ไร่ ผลผลิตรวม 79,808 ตัน (วันไชย และคณะ, 2560) ผลผลิตสับปะรดที่ได้จากการเพาะปลูกถูกส่งขายให้โรงงานอุตสาหกรรมและจำหน่ายเพื่อบริโภคผลสด โดยทั่วไปการซื้อขายสับปะรดแบ่งออกได้เป็น 3 กลุ่ม ได้แก่ 1) สับปะรดคุณภาพเนื้อ 1 ซึ่งมีน้ำหนักตั้งแต่ 1.3 กิโลกรัม มีเนื้อหวานฉ่ำ คัดเลือกผลที่สวยงามเพื่อส่งขายในตลาดทั่วไป 2) สับปะรดคุณภาพเนื้อ 1 เกรดพรีเมียร์ ซึ่งมีน้ำหนักผลตั้งแต่ 1.7 กิโลกรัมขึ้นไปส่งขายให้กับห้างสรรพสินค้า และ 3) สับปะรดคุณภาพเนื้อ 2 ซึ่งมีขนาดผลใหญ่ น้ำหนักเฉลี่ย 1.5-1.7 กิโลกรัม มีรสหวานปานกลาง ส่งให้กับร้านอาหาร ภัตตาคาร และโรงแรม นอกจากนี้ยังมีสับปะรดคุณภาพเนื้อ 3 หรือเรียกว่า สับปะรดเนื้อแกง ซึ่งมีรสอมเปรี้ยวอมหวานเหมาะสำหรับการแปรรูปเป็นอาหาร (เทคโนโลยีชาวบ้าน, 2565) ในด้านราคาสับปะรดปัตตาเวียที่เกษตรกรขายให้กับโรงงานพบว่า มีการปรับตัวสูงขึ้นอย่างต่อเนื่องตั้งแต่ต้นปี 2564 และยังคงเพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ โดยสาเหตุหลักมาจากภาวะภัยแล้งและฝนทิ้งช่วงซึ่งส่งผลให้ผลผลิตออกสู่ตลาดลดลงไม่เพียงพอต่อความต้องการของโรงงานแปรรูปและตลาดต่างประเทศ ในไตรมาสแรกของปี พ.ศ. 2567 ราคาเฉลี่ยของสับปะรดปัตตาเวียที่เกษตรกรขายให้กับโรงงานอยู่ที่ 10.95 บาทต่อกิโลกรัม เพิ่มขึ้นร้อยละ 48.17 เมื่อเทียบกับช่วงเดียวกันของปี พ.ศ. 2566 นอกจากนี้ในเดือนมีนาคม พ.ศ. 2567 ราคาเฉลี่ยอยู่ที่ 11.32 บาทต่อกิโลกรัม เพิ่มขึ้นร้อยละ 4.33 จากเดือนกุมภาพันธ์ พ.ศ. 2567 (สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร, 2567) ทั้งนี้จากภาวะเศรษฐกิจโลกในปี พ.ศ. 2567 ที่มีแนวโน้มการเติบโตชะลอตัวประกอบกับการที่ไทยถูกตัดสิทธิพิเศษทางภาษีศุลกากร (GSP) ส่งผลกระทบต่อส่งออกสับปะรดของไทยในอนาคต ดังนั้นจึงมีความจำเป็นในการขยายตลาดส่งออกเพิ่มเติม รวมทั้งส่งเสริมการวิจัย พัฒนา และนวัตกรรมในการแปรรูปสับปะรดเพื่อเพิ่มมูลค่าและนำสิ่งเหลือใช้จากกระบวนการผลิตมาใช้ประโยชน์อย่างคุ้มค่า

กลุ่มวิสาหกิจชุมชนผลไม้แปรรูป อำเภอเถิน จังหวัดลำพูน ได้พัฒนาการผลิตสับปะรดแช่อิ่มอบแห้งโดยการนำเอาภูมิปัญญาดั้งเดิมมาผสมผสานกับการใช้เทคโนโลยีตู้อบแห้ง การผลิตสับปะรดแช่อิ่มอบแห้งในกระบวนการเดิมใช้เวลาประมาณ 30-36 ชั่วโมงสำหรับการแปรรูปสับปะรดผลสดปริมาณ 1,500 กิโลกรัม ในกระบวนการผลิตแบ่งได้เป็นหลายขั้นตอน ได้แก่ ขั้นตอนการเตรียมชิ้นสับปะรดใช้เวลา 6-8 ชั่วโมง ขั้นตอนการแช่สารเคมีใช้ระยะเวลาอย่างน้อย 4 ชั่วโมง ขั้นตอนการแช่อิ่มในสารละลายน้ำเชื่อมใช้เวลาอย่างน้อย 12 ชั่วโมง และขั้นตอนการอบแห้งใช้เวลาอย่างน้อย 12 ชั่วโมง แม้ว่ากลุ่มวิสาหกิจชุมชนผลไม้แปรรูปจะพยายามพัฒนาผลิตภัณฑ์ แต่สับปะรดแช่อิ่มอบแห้งที่ผลิตได้ยังไม่เป็นที่ยอมรับของผู้บริโภค เนื่องจากมีเนื้อสัมผัสที่แข็งไม่นุ่ม โดยวัดค่าความแข็ง (Hardness) ได้เท่ากับ 11.27 นิวตัน (N) สีของผลิตภัณฑ์ไม่สวยงาม และยังไม่ผ่านเกณฑ์มาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชนผักและผลไม้แช่อิ่ม นอกจากนี้ผลิตภัณฑ์สับปะรดแช่อิ่มอบแห้งยังไม่มีข้อมูลเกี่ยวกับอายุการเก็บรักษาทำให้เกิดปัญหาในการวางแผนการผลิตและการจำหน่าย

กระบวนการผลิตสับปะรดแช่อิ่มอบแห้งนำหลักการของการออสโมซิส (Osmosis) มาใช้ในกระบวนการผลิต โดยการแช่ชิ้นผลไม้ในสารละลายออสโมติกที่มีความเข้มข้นสูง ได้แก่ น้ำตาล (กลูโคส ซูโครส และฟรุคโตส) หรือเกลือ ซึ่งเป็นสารที่มีความสามารถในการละลายสูง ราคาประหยัด และมีประสิทธิภาพที่ดีในการดึงน้ำออกจากชิ้นอาหาร อีกทั้งยังช่วยปรับปรุงรสชาติของอาหารหลังการออสโมซิส นอกจากนี้ยังมีการนำซอร์บิทอล น้ำเชื่อมข้าวโพด น้ำเชื่อมกลูโคส และฟรุคโตโอลิโกแซ็กคาไรด์

มาใช้ร่วมด้วยเพื่อเสริมประสิทธิภาพในกระบวนการ (Sacchetti et al., 2001; Ferrari and Hubinger, 2008; Tortoe, 2010; Qiu et al., 2019; สุนัน และคณะ, 2563) หลักการของออสโมซิสอาศัยความแตกต่างของความดันออสโมติกระหว่างสารละลายกับอาหารทำให้เกิดแรงขับ (Driving force) ซึ่งเป็นตัวกระตุ้นให้เกิดการถ่ายเทมวลสารระหว่างสารละลายและอาหาร โดยในกระบวนการนี้จะเคลื่อนที่ออกจากชั้นอาหารผ่านเยื่อเลือกผ่าน (Semipermeable membrane) ซึ่งเป็นเยื่อหุ้มเซลล์ไปสู่สารละลายที่มีความเข้มข้นสูงที่ล้อมรอบอยู่ ในขณะเดียวกันจะเกิดการแพร่ของของแข็งจากสารละลายเข้าสู่ชั้นอาหารผ่านเยื่อหุ้มเซลล์ กระบวนการนี้เป็นขั้นตอนสำคัญที่ช่วยให้ได้สับปะรดแช่อิ่มอบแห้งที่มีคุณภาพและรสชาติที่ดี (Chandra and Kumari, 2015; สุนัน และคณะ, 2563) ในกรณีที่มีการใช้น้ำตาลซูโครสปริมาณมากเกินไปในกระบวนการแช่อิ่มส่งผลทำให้ผลิตภัณฑ์มีความหวานมากเกินไปและทำให้ผลิตภัณฑ์หลังผ่านกระบวนการอบแห้งมีลักษณะเหนียวและเนื้อสัมผัสแข็ง ซึ่งสาเหตุหลักมาจากการสูญเสียน้ำในผลไม้มากเกินไปจากกระบวนการออสโมซิส ในด้านการปรับปรุงเนื้อสัมผัสของผลไม้แช่อิ่มอบแห้งมีการนำสารดูดความชื้น (Humectant) มาใช้ร่วมกับน้ำตาลซูโครสในขั้นตอนการแช่อิ่ม โดยสารดูดความชื้นที่นิยมใช้คือ กลีเซอรอล ซึ่งมีความหวานน้อยกว่าน้ำตาลซูโครส มีคุณสมบัติในการลดปริมาณน้ำอิสระ (Water activity : a_w) ในอาหารและสามารถยับยั้งการเจริญของจุลินทรีย์ได้ (ไพโรจน์, 2539) ในการเพิ่มอุณหภูมิของสารละลายเป็นปัจจัยที่ส่งผลต่ออัตราการถ่ายเทมวลสารที่สูงขึ้น ในการแช่อิ่มที่อุณหภูมิระหว่าง 30-60 องศาเซลเซียส สามารถดึงน้ำออกจากผลไม้ได้มากขึ้น เนื่องจากความร้อนช่วยลดความหนืดของสารละลายซูโครสและทำให้โครงสร้างบางส่วนของผนังเซลล์ที่ประกอบด้วยเซลลูโลสและเพกติน ซึ่งทำหน้าที่เป็นเยื่อเลือกผ่านอ่อนตัวลง ส่งผลให้สารละลายซูโครสซึมเข้าสู่เนื้อผลไม้ได้มากกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับแช่อิ่มที่อุณหภูมิห้อง (Rahman and Lamb, 1991; Pokharkar, 2001; Ahmed et al., 2016)

ดังนั้นในการวิจัยครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อเปรียบเทียบกระบวนการผลิตในขั้นตอนการแช่อิ่มต่อคุณภาพของสับปะรดแช่อิ่มอบแห้ง และศึกษาอายุการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์สับปะรดแช่อิ่มอบแห้งเพื่อเป็นประโยชน์สำหรับผู้ประกอบการนำไปใช้สำหรับการวางแผนการผลิตและการจำหน่าย รวมถึงงานวิจัยนี้สามารถช่วยแก้ปัญหาเรื่องผลผลิตสับปะรดมีมากเกินความต้องการของตลาดและผลผลิตสับปะรดราคาตกต่ำโดยการนำมาแปรรูปเพื่อเพิ่มมูลค่าของผลผลิตได้

วัสดุ อุปกรณ์ และวิธีการ

1. วัสดุ อุปกรณ์

สับปะรดปัตตาเวียพันธุ์น้ำผึ้ง ซึ่งจากเกษตรกรในจังหวัดลำปาง น้ำตาลทรายขาว กลีเซอรอล มอลโทเดกซ์ทริน และกรดมะนาว (กรดใช้กับอาหาร)

2. วิธีการทดลอง

1) การศึกษาเปรียบเทียบกระบวนการผลิตและคุณภาพของสับปะรดแช่อิ่มอบแห้ง

1.1 ขั้นตอนการเตรียมสับปะรด

สับปะรดปัตตาเวียพันธุ์น้ำผึ้ง เลือกซื้อสับปะรดจากเกษตรกรที่ได้รับการรับรองมาตรฐาน GAP ในจังหวัดลำปาง คัดเลือกสับปะรดที่มีน้ำหนักอยู่ในช่วง 1-1.5 กิโลกรัมต่อลูก มีความสุก 2-3 ตา วัดปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายได้ (Total soluble solids) ระหว่าง ร้อยละ 12-14 เปอร์เซนต์บริกซ์ ด้วยเครื่องรีแฟรคโทมิเตอร์ (Refractometer) ยี่ห้อ Atago รุ่น PAL-1 ประเทศญี่ปุ่น ล้างทำความสะอาดด้วยน้ำที่ผ่านการบำบัด นำมาปอกเปลือกและเจาะแกนกลางด้วยเครื่องเจาะแกนสับปะรด ตัดแต่งและหั่นเป็นแว่นความหนา 1.5-1.8 เซนติเมตร โดยประมาณ ล้างทำความสะอาดด้วยน้ำและพักให้สะเด็ดน้ำ นำไปแช่ในสารละลายโซเดียมเมตาไบซัลไฟต์ที่มีความเข้มข้น ร้อยละ 0.5 (น้ำหนักโดยน้ำหนัก) เป็นเวลา 4 ชั่วโมง จากนั้นนำไปล้างด้วยน้ำสะอาดอีก 1 ครั้ง และนำไปลวกในน้ำเดือดเป็นเวลา 1-2 นาที ผึ่งให้สะเด็ดน้ำเพื่อเตรียมตัวอย่างสำหรับการแช่อิ่ม

1.2 ขั้นตอนการเตรียมสารละลายแช่อิ่ม

นำสารดูดความชื้น ได้แก่ กลีเซอรอล และมอลโทเดกซ์ทริน (DE 10-12) มาทดแทนน้ำตาลซูโครส ร้อยละ 20 ซึ่งสารละลายแช่อิ่มที่นำมาใช้ในการศึกษา ได้แก่ 1) สารละลายน้ำตาลซูโครส ร้อยละ 100 2) สารละลายผสมระหว่างน้ำตาลซูโครสร้อยละ 80 กับกลีเซอรอล ร้อยละ 20 และ 3) สารละลายผสมระหว่างน้ำตาลซูโครส ร้อยละ 80 กับกลีเซอรอล ร้อยละ 15 และมอลโทเดกซ์ทริน ร้อยละ 5.0 นำสารละลายแช่อิ่มทั้ง 3 ชนิด มาเติมกรดซิตริก ร้อยละ 1.0 กวนให้ส่วนผสม

ละลายเข้ากันโดยให้ความร้อนขณะกวนที่อุณหภูมิไม่เกิน 60 องศาเซลเซียส จากนั้นพักให้สารละลายเข้มข้นมีอุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส เตรียมไว้สำหรับแช่ส้ม โดยสารละลายเข้มข้นมีปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายได้อยู่ในช่วง 37-40 เปอร์เซ็นต์บริกซ์

1.3 การศึกษาเปรียบเทียบกระบวนการผลิตและคุณภาพของสับปะรดแช่อิ่มอบแห้ง

นำสารละลายแช่อิ่มแต่ละชนิดที่เตรียมจากข้อ 1.2 มาทำการแช่อิ่มสับปะรด โดยใช้อัตราส่วนระหว่างสับปะรดต่อสารละลายแช่อิ่มเท่ากับ 1:2 ทำการแช่อิ่มที่อุณหภูมิ 40-60 องศาเซลเซียส โดยใช้หม้อต้มสแตนเลสและให้ความร้อนโดยใช้แก๊สหุงต้ม ควบคุมความแรงของไฟที่ระดับไฟอ่อนโดยใช้เทอร์โมมิเตอร์ควบคุมอุณหภูมิของสารละลายแช่อิ่มให้อยู่ในช่วงที่กำหนดตลอดเวลาการแช่อิ่มนาน 3 ชั่วโมง และทำการเปรียบเทียบกับการแช่อิ่มที่อุณหภูมิห้องนาน 12 ชั่วโมง โดยวางแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ (Completely Randomized Design : CRD) (ดังตารางที่ 1) จากนั้นนำสับปะรดที่ผ่านกระบวนการแช่อิ่มครบตามระยะเวลาที่กำหนดไปอบแห้งในตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิ 65 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 12 ชั่วโมง จนแห้งโดยกำหนดความชื้นของสับปะรดอบแห้งไม่เกินร้อยละ 12 เมื่อครบกำหนดระยะเวลาการอบแห้งแล้วนำสับปะรดออกจากตู้อบพักไว้ให้เย็นและเก็บตัวอย่างใส่ถุงออลูมิเนียมฟอยล์ปิดปากถุงให้สนิท ทำการตรวจคุณภาพทางด้านกายภาพ ได้แก่

1.3.1 ค่าสี $L^* a^* b^*$ Chroma และ Hue angle โดยการนำผลิตภัณฑ์สับปะรดแช่อิ่มอบแห้ง มาหั่นให้เป็นชิ้นเล็ก และนำไปวัดค่าด้วยเครื่องวัดสี Hunter Lab ยี่ห้อ Colour Flex รุ่น Miniscan XE plus ค่าที่วัดได้แก่ ค่า $L^* a^* b^*$ และวิเคราะห์ค่าความอิ่มตัวของสี (Chroma) และค่าเฉดสี (Hue) ทำการวัดทั้งหมด 3 ซ้ำ

1.3.2 ค่าเนื้อสัมผัส (Texture) โดยการนำผลิตภัณฑ์สับปะรดแช่อิ่มอบแห้งมาวิเคราะห์เนื้อสัมผัสโดยใช้เครื่อง Texture Analyzer ยี่ห้อ Stable Systems รุ่น TA.XT. plus ด้วยหัววัด (Probe) P/2 สภาวะที่ใช้ในการวัดเนื้อสัมผัส Test mode แบบ Compression โดยมี Pre-test speed เท่ากับ 2.0 มิลลิเมตร/วินาที Test speed เท่ากับ 1.0 มิลลิเมตร/วินาที Post-test speed เท่ากับ 10.0 มิลลิเมตร/วินาที Distance เท่ากับ 2 มิลลิเมตร และ Trigger force เท่ากับ 5 กรัม ค่าที่ได้จากการวัดโดยทดสอบแรงกดสูงสุด (Maximum force) แสดงค่าความแข็ง (Hardness; N) และค่าความเหนียว (Adhesiveness, N.sec) ของผลิตภัณฑ์สับปะรดแช่อิ่มอบแห้ง ทำการวัดจำนวน 3 ซ้ำ

1.3.3 ค่าปริมาณน้ำอิสระ (a_w) โดยนำผลิตภัณฑ์สับปะรดแช่อิ่มอบแห้งมาหั่นให้เป็นชิ้นเล็กใส่ภาชนะใส่ตัวอย่าง และนำไปใส่เครื่องวัดค่า a_w (ยี่ห้อ Aqua Lab รุ่น 3TE ประเทศสหรัฐอเมริกา) บันทึกค่าที่ได้โดยทำการวัดทั้งหมด 3 ซ้ำ

ตารางที่ 1 กระบวนการผลิตในขั้นตอนการแช่อิ่มสับปะรดที่แตกต่างกัน

สิ่งทดลอง	กระบวนการผลิตในขั้นตอนการแช่อิ่ม	
	ชนิดสารละลายแช่อิ่ม	สภาวะการแช่อิ่ม
1	น้ำตาลซูโครส ร้อยละ 100	แช่อิ่มนาน 12 ชั่วโมงที่อุณหภูมิห้อง
2	น้ำตาลซูโครส ร้อยละ 80 กับกลีเซอรอล ร้อยละ 20	แช่อิ่มนาน 12 ชั่วโมงที่อุณหภูมิห้อง
3	น้ำตาลซูโครส ร้อยละ 80 กับกลีเซอรอล ร้อยละ 15 และมอลโทเดกซ์ทริน ร้อยละ 5	แช่อิ่มนาน 12 ชั่วโมงที่อุณหภูมิห้อง
4	น้ำตาลซูโครส ร้อยละ 100	แช่อิ่มนาน 3 ชั่วโมงที่อุณหภูมิ 40-60 องศาเซลเซียส
5	น้ำตาลซูโครส ร้อยละ 80 กับกลีเซอรอล ร้อยละ 20	แช่อิ่มนาน 3 ชั่วโมงที่อุณหภูมิ 40-60 องศาเซลเซียส
6	น้ำตาลซูโครส ร้อยละ 80 กับกลีเซอรอล ร้อยละ 15 และมอลโทเดกซ์ทริน ร้อยละ 5	แช่อิ่มนาน 3 ชั่วโมงที่อุณหภูมิ 40-60 องศาเซลเซียส

2) การศึกษาอายุการเก็บรักษาลิทธิภัณฑ์สับปะรดแช่อิ่มอบแห้ง

นำผลิตภัณฑ์สับปะรดแช่อิ่มอบแห้งจากกระบวนการผลิตที่เหมาะสมมาศึกษาอายุการเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง โดยแยกบรรจุสับปะรดแช่อิ่มอบแห้งปริมาณ 100 กรัมต่อถุง บรรจุในถุงพลาสติก PET/LLDPE แบบซีลล็อก จำนวน 50 ถุง สำหรับวิเคราะห์อายุการเก็บรักษา ศึกษาการเปลี่ยนแปลงคุณภาพทางกายภาพและเคมีในระหว่างการเก็บรักษาทุกเดือน ได้แก่ ลักษณะคุณภาพทางกายภาพด้วยการทดสอบทางด้านประสาทสัมผัสด้าน สี กลิ่น รสชาติ และเนื้อสัมผัส ค่า a_w

ด้วยเครื่องวัด a_w (ยี่ห้อ Aqua Lab รุ่น 3TE ประเทศสหรัฐอเมริกา) ปริมาณความชื้น (AOAC, 2000) คุณภาพจุลินทรีย์ เก็บตัวอย่างวิเคราะห์ทุก 2 เดือน ได้แก่ ปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมด (BAM online, 2001) *Escherichia coli* (BAM online, 2020) *Staphylococcus aureus* (BAM online, 2016) *Salmonella spp.* (ISO 6579 online, 2002) ปริมาณยีสต์และรา (BAM online, 2001)

3) การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ

วางแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ (Completely Randomized Design: CRD) และเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยที่ได้ของแต่ละสิ่งทดลองโดยวิธี Duncan's new Multiple Range Test (DMRT) วิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ด้วยโปรแกรมสถิติ SPSS สำเร็จรูป ทำการทดลอง 3 ซ้ำ

ผลการวิจัย

1. ผลของกระบวนการผลิตต่อคุณภาพทางกายภาพของสับปะรดแช่อิ่มอบแห้ง

จากผลการศึกษากระบวนการผลิตสับปะรดแช่อิ่มทั้ง 6 สิ่งทดลอง พบว่า กระบวนการผลิตในขั้นตอนการแช่อิ่มมีผลต่อค่าสี L^* a^* และ b^* อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) การแช่อิ่มสับปะรดในสารละลายน้ำตาลซูโครส ร้อยละ 80 ร่วมกับกลีเซอรอล ร้อยละ 20 ระยะเวลาแช่อิ่มนาน 3 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิ 40-60 องศาเซลเซียส (สิ่งทดลอง 5) มีค่าสี L^* สูงที่สุดเท่ากับ 70.44 สับปะรดแช่อิ่มอบแห้งมีสีเหลืองออกสว่าง การแช่อิ่มนาน 12 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิห้องให้ค่าความสว่างของสีน้อยกว่าการแช่อิ่มนาน 3 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิ 40-60 องศาเซลเซียส การใช้สารละลายผสมระหว่างน้ำตาลซูโครสร่วมกับกลีเซอรอล และมอลโทเดกซ์ทริน ระยะเวลาแช่อิ่มนาน 3 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิ 40-60 องศาเซลเซียส (สิ่งทดลอง 6) มีผลให้ค่าสี a^* และ ค่า b^* สูงที่สุด โดยมีค่า a^* และ b^* เท่ากับ 6.11 และ 44.93 ตามลำดับ คุณลักษณะทางกายภาพของสับปะรดแช่อิ่มอบแห้งมีสีเหลืองอมน้ำตาลเล็กน้อย ค่าความอิ่มตัวของสี (Chroma) พบว่า การใช้สารละลายผสมและแช่อิ่มนาน 3 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิ 40-60 องศาเซลเซียส ให้ค่า Chroma สูงกว่าการแช่อิ่มนาน 12 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิห้อง ในขณะที่ค่าเฉดสีหรือค่า Hue พบว่า การใช้สารละลายผสมและแช่อิ่มนาน 3 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิ 40-60 องศาเซลเซียส ให้ค่าเฉดสีน้อยกว่าการแช่อิ่มนาน 12 ชั่วโมงที่อุณหภูมิห้อง (ตารางที่ 2) และลักษณะปรากฏของผลิตภัณฑ์สับปะรดแช่อิ่มในแต่ละสิ่งทดลองดังแสดงดังรูปที่ 1

ตารางที่ 2 ผลการวิเคราะห์ค่าสี L^* a^* b^* ค่า Chroma และค่า Hue ของผลิตภัณฑ์สับปะรดแช่อิ่มอบแห้งที่ใช้กระบวนการผลิตต่างกัน

สิ่งทดลอง	ค่าความสว่าง (L^*)	ค่าสีแดง (a^*)	ค่าสีเหลือง (b^*)	ความอิ่มตัวของสี (Chroma)	เฉดสี (Hue)
1	61.20 ^d ±0.82	4.82 ^b ±0.65	41.53 ^b ±1.59	41.81 ^b ±1.65	1.45 ^b ±0.01
2	67.14 ^b ±0.67	2.74 ^c ±0.34	36.38 ^c ±1.61	36.48 ^c ±1.63	1.49 ^a ±0.00
3	56.55 ^e ±0.18	3.27 ^c ±0.05	36.65 ^c ±0.21	36.79 ^c ±0.21	1.48 ^a ±0.00
4	67.59 ^b ±0.22	2.79 ^c ±0.95	36.78 ^c ±1.73	36.89 ^c ±1.79	1.49 ^a ±0.02
5	70.44 ^a ±0.19	5.26 ^{ab} ±0.05	39.63 ^b ±0.48	39.98 ^b ±0.48	1.44 ^b ±0.00
6	63.71 ^c ±0.41	6.11 ^a ±0.09	44.93 ^a ±0.51	45.34 ^a ±0.51	1.44 ^b ±0.00

หมายเหตุ : ^{a, b, c, d} หมายถึง ค่าเฉลี่ยที่มีตัวอักษรที่แตกต่างกันในแนวดิ่งมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)
ค่าเฉลี่ย±ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

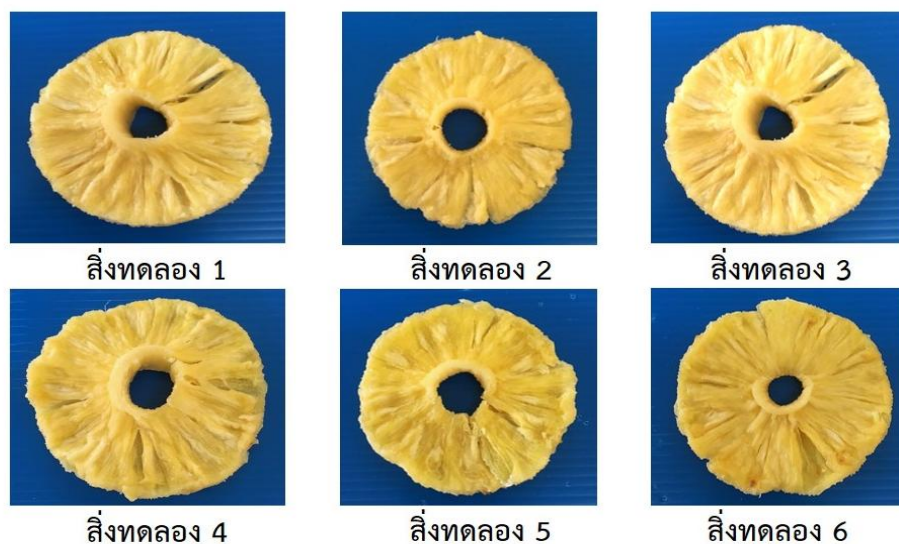
ตารางที่ 3 ผลการวิเคราะห์ค่าเนื้อสัมผัส และค่า a_w ของผลิตภัณฑ์สับปะรดแช่อิ่มที่ใช้กระบวนการผลิตต่างกัน

สิ่งทดลอง	ค่าความแข็ง (นิวตัน)	ความเหนียว (นิวตัน/วินาที) ^{ns}	ค่า a_w
1	5.98 ^a ±0.89	-0.31±0.84	0.47±0.00 ^c

2	2.56 ^c ±0.18	-0.29±0.01	0.45±0.03 ^c
3	2.21 ^c ±0.06	-0.35±0.06	0.41±0.01 ^d
4	6.71 ^a ±0.20	-0.57±0.44	0.62±0.00 ^a
5	4.97 ^b ±0.17	-0.28±0.14	0.53±0.01 ^b
6	4.80 ^b ±0.88	-0.43±0.12	0.47±0.00 ^c

หมายเหตุ: a, b, c, d หมายถึง ค่าเฉลี่ยที่มีตัวอักษรที่ต่างกันในแต่ละแถวมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) ; ค่าเฉลี่ย±ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

กระบวนการผลิตมีผลต่อค่าความแข็ง (Hardness) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) สับปะรดแช่อิ่มในสารละลายน้ำตาลซูโครสอย่างเดียว (สิ่งทดลอง 1 และ 4) มีค่าความแข็งสูงสุด คือ 5.98 และ 6.71 นิวตัน ตามลำดับ สำหรับตัวอย่างที่แช่อิ่มในสารละลายผสมที่ระยะเวลาแช่อิ่มนาน 12 ชั่วโมง พบว่า มีค่าความแข็งน้อยกว่าตัวอย่างที่แช่อิ่มนาน 3 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิ 40-60 องศาเซลเซียส ในด้านของความเหนียว (Adhesiveness) ของสับปะรดแช่อิ่มอบแห้งที่ได้ ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) (ตารางที่ 3) กระบวนการผลิตมีผลต่อค่า a_w พบว่า การใช้สารละลายผสมในการแช่อิ่มส่งผลต่อการลดลงของค่า a_w ($p \leq 0.05$) โดยตัวอย่างสับปะรดแช่อิ่มอบแห้งมีค่า a_w ในช่วง 0.41-0.53 การใช้ระยะเวลาแช่อิ่มนาน 12 ชั่วโมง ตัวอย่างมีค่า a_w น้อยกว่าตัวอย่างที่แช่อิ่มนาน 3 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิ 40-60 องศาเซลเซียส จากลักษณะทางกายภาพของสับปะรดแช่อิ่มอบแห้งที่ได้และจากการประเมินต้นทุนการผลิตของสับปะรดแช่อิ่มอบแห้ง แต่ละกระบวนการผลิต ผู้วิจัยและผู้ประกอบการจึงเลือกกระบวนการผลิตในสิ่งทดลอง 5 คือ การแช่อิ่มสับปะรดในสารละลายผสมระหว่างน้ำตาลซูโครส ร้อยละ 80 กับกลีเซอรอล ร้อยละ 20 ใช้ระยะเวลาแช่อิ่มนาน 3 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิ 40-60 องศาเซลเซียส เนื่องจากได้สับปะรดแช่อิ่มอบแห้งที่มีค่าความสว่างของค่าสี L^* สูงที่สุด มีความแข็ง และค่า a_w น้อยกว่าตัวอย่างที่แช่อิ่มในสารละลายน้ำตาลซูโครสอย่างเดียว การใช้ระยะเวลาแช่อิ่มนาน 3 ชั่วโมง จะมีต้นทุนการผลิตในส่วน of ค่าจ้างแรงงานน้อยกว่าการใช้ระยะเวลาแช่อิ่มนาน 12 ชั่วโมง เนื่องจากการใช้ระยะเวลาแช่อิ่มนาน 3 ชั่วโมง สามารถลดระยะเวลาที่ใช้ในการผลิตทั้งหมดตั้งแต่การเตรียมวัตถุดิบจนได้ผลิตภัณฑ์ให้เหลือประมาณ 24 ชั่วโมง จากเดิมที่ใช้ระยะเวลาในการผลิตทั้งหมดประมาณ 33 ชั่วโมง จึงเลือกกระบวนการผลิตดังกล่าวไปศึกษาอายุการเก็บรักษา



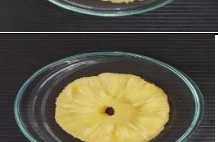
รูปที่ 1 ผลิตภัณฑ์สับปะรดแช่อิ่มอบแห้งจากกระบวนการผลิตในขั้นตอนการแช่อิ่มที่แตกต่างกัน

2. ผลอายุการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์สับปะรดแช่อิ่มอบแห้ง

ผลจากการศึกษาอายุการเก็บรักษาลิถภัณฑ์สับปะรดแช่อิ่มอบแห้งที่บรรจุในถุงพลาสติก PET/LLDPE แบบซิปล็อค และเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง (ประมาณ 28-30 องศาเซลเซียส) ลักษณะคุณภาพทางกายภาพของสับปะรดแช่อิ่มอบแห้งที่ระยะเวลาการเก็บนาน 8 เดือน พบว่า การเก็บรักษานาน 6 เดือน สับปะรดแช่อิ่มอบแห้งยังมีสีเหลือง รสชาติ และกลิ่นปกติ เนื้อสัมผัสกัดขาดง่ายไม่แข็ง และหากเก็บรักษาลิถภัณฑ์สับปะรดแช่อิ่มอบแห้งนานกว่า 7 เดือน สีของสับปะรดแช่อิ่มอบแห้งมีสีเหลืองคล้ำอมน้ำตาล กลิ่นสับปะรดอ่อนลงและเนื้อสัมผัสกัดขาดยาก ดังแสดงในตารางที่ 4

ปริมาณความชื้น และค่า a_w ที่ระยะเวลาการเก็บรักษานาน 8 เดือน พบว่า ปริมาณความชื้นมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น และมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) มีค่าระหว่าง ร้อยละ 4.31-6.87 สำหรับค่า a_w มีแนวโน้มเพิ่มขึ้น ตั้งแต่เดือนที่ 2-7 ของการเก็บรักษา โดยมีค่าระหว่าง 0.43-0.61 ซึ่งค่า a_w ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($p > 0.05$) เมื่อเก็บรักษาลิถภัณฑ์สับปะรดแช่อิ่มอบแห้งนาน 8 เดือน ส่งผลทำให้ค่า a_w เท่ากับ 0.66 (ตารางที่ 5) คุณภาพจุลินทรีย์ของสับปะรดแช่อิ่มอบแห้งที่ระยะเวลาการเก็บนาน 8 เดือน พบว่า มีปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมดในช่วง 2.0×10^1 cfu/g- 1.2×10^2 cfu/g; *Escherichia coli* น้อยกว่า 3 MPN/g, *Staphylococcus aureus* ยีสต์และรา น้อยกว่า 10 CFU/g และตรวจไม่พบ *Salmonella* spp. (ตารางที่ 6)

ตารางที่ 4 ลักษณะคุณภาพทางกายภาพของสับปะรดแช่อิ่มอบแห้งระหว่างเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 8 เดือน

อายุการเก็บรักษา (เดือน)	ลักษณะปรากฏของผลิตภัณฑ์	ลักษณะคุณภาพทางกายภาพ
0		เป็นชิ้นวงกลมตรงกลางมีรู สีเหลือง รสชาติ และกลิ่น ปกติ เนื้อสัมผัสกัดขาดง่าย ไม่แข็ง
1		เป็นชิ้นวงกลมตรงกลางมีรู สีเหลือง รสชาติ และกลิ่น ปกติ เนื้อสัมผัสกัดขาดง่าย ไม่แข็ง
2		เป็นชิ้นวงกลมตรงกลางมีรู สีเหลือง รสชาติ และกลิ่น ปกติ เนื้อสัมผัสกัดขาดง่าย ไม่แข็ง
3		เป็นชิ้นวงกลมตรงกลางมีรู สีเหลือง รสชาติ และกลิ่น ปกติ เนื้อสัมผัสกัดขาดง่าย ไม่แข็ง
4		เป็นชิ้นวงกลมตรงกลางมีรู สีเหลือง รสชาติ และกลิ่น ปกติ เนื้อสัมผัสกัดขาดง่าย ไม่แข็ง
5		เป็นชิ้นวงกลมตรงกลางมีรู สีเหลือง รสชาติ และกลิ่น ปกติ เนื้อสัมผัสกัดขาดง่าย ไม่แข็ง
6		เป็นชิ้นวงกลมตรงกลางมีรู สีเหลือง รสชาติ และกลิ่น ปกติ เนื้อสัมผัสกัดขาดง่าย
7		เป็นชิ้นวงกลมตรงกลางมีรู สีเหลือง รสชาติ และกลิ่น ปกติ เนื้อสัมผัสเริ่มกัดขาดยากขึ้น

8		เป็นชิ้นวงกลมตรงกลางมีรู สีเหลืองคล้ำอม น้ำตาล รสชาติปกติกลิ่นสับปะรดอ่อนลง เนื้อสัมผัสกัดขาดยาก
---	---	--

ตารางที่ 5 ปริมาณความชื้น และค่า a_w ของสับปะรดแช่อิ่มอบแห้ง ระหว่างเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลานาน 8 เดือน

อายุเก็บรักษา (เดือน)	คุณภาพผลิตภัณฑ์	
	ความชื้น (ร้อยละ)	ค่า a_w
0	4.31 ^h ±0.02	0.43 ^c ±0.00
1	4.39 ^h ±0.02	0.45 ^c ±0.01
2	4.92 ^g ±0.02	0.46 ^b ±0.00
3	5.17 ^f ±0.00	0.48 ^b ±0.01
4	5.27 ^e ±0.04	0.51 ^b ±0.00
5	5.36 ^d ±0.02	0.54 ^b ±0.01
6	5.57 ^c ±0.01	0.57 ^b ±0.00
7	6.38 ^b ±0.03	0.61 ^b ±0.01
8	6.87 ^a ±0.03	0.66 ^a ±0.00

หมายเหตุ : a, b, c, d, e, f, g, h หมายถึง ค่าเฉลี่ยที่มีตัวอักษรที่ต่างกันในแต่ละแถวมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$); ค่าเฉลี่ย±ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

ตารางที่ 6 คุณภาพจุลินทรีย์ของสับปะรดแช่อิ่มอบแห้ง ระหว่างเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลานาน 8 เดือน

อายุการเก็บ รักษา (เดือน)	จุลินทรีย์ทั้งหมด* (cfu/g)	<i>E. coli</i> * (MPN/g)	<i>S. aureus</i> * (cfu/g)	<i>Salmonella</i> <i>spp.</i> * (/25 g)	ยีสต์และรา (cfu/g)
0	2.0×10	น้อยกว่า 3	น้อยกว่า 10	Not detected	น้อยกว่า 10
2	1.0×10 ²	ไม่ได้วิเคราะห์	ไม่ได้วิเคราะห์	ไม่ได้วิเคราะห์	น้อยกว่า 10
4	3.5×10	ไม่ได้วิเคราะห์	ไม่ได้วิเคราะห์	ไม่ได้วิเคราะห์	น้อยกว่า 10
6	1.0×10 ²	ไม่ได้วิเคราะห์	ไม่ได้วิเคราะห์	ไม่ได้วิเคราะห์	น้อยกว่า 10
8	1.2×10 ²	น้อยกว่า 3	น้อยกว่า 10	Not detected	น้อยกว่า 10

* Estimated count

ที่มา: ผลการวิเคราะห์โดย สถาบันโภชนาการ มหาวิทยาลัยมหิดล

การอภิปรายผล

จากการศึกษาเปรียบเทียบกระบวนการผลิตในขั้นตอนการแช่อิ่มสับปะรด แสดงให้เห็นว่ากระบวนการผลิตในขั้นตอนการแช่อิ่มมีผลต่อค่าสี L^* a^* b^* ของสับปะรดแช่อิ่มอบแห้ง การแช่อิ่มสับปะรดในสารละลายผสมระหว่างน้ำตาลซูโครส ร้อยละ 80 กับกลีเซอรอล ร้อยละ 20 ระยะเวลาแช่อิ่มนาน 3 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิ 40-60 องศาเซลเซียส ได้สับปะรดแช่อิ่มอบแห้งที่มีค่าสี L^* สูงที่สุด อาจเนื่องจากการใช้กลีเซอรอล ซึ่งเป็นของเหลวใส ไม่มีสี (พิมพ์เพ็ญ และนิธิยา, 2567ก) ประกอบกับใช้ระยะเวลาในการแช่อิ่มสั้นจึงช่วยให้ผลิตภัณฑ์มีความเงาและมีความสว่างเพิ่มขึ้น การใช้สารละลายผสมระหว่างน้ำตาลซูโครสร่วมกับกลีเซอรอล ร้อยละ 15 และมอลโทเดกซ์ทริน ร้อยละ 5 ระยะเวลาแช่อิ่มนาน 3 ชั่วโมงที่อุณหภูมิ 40-60 องศาเซลเซียส ส่งผลต่อค่าสี L^* น้อยลง แต่เพิ่มค่าสี a^* ค่าสี b^* และค่าความอืดตัวของสี เพิ่มขึ้น อาจเนื่องจากการเกิดสีน้ำตาลซึ่งเกิดจากการสลายตัวของโมเลกุลน้ำตาลด้วยความร้อนที่ใช้ในการแช่อิ่มนาน 3 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิ 40-60 องศาเซลเซียส ประกอบกับสับปะรดโดยทั่วไปมีน้ำตาล ร้อยละ 12-15 และโปรตีน ร้อยละ 0.4 (Salvi and Rajput, 1995; สโรบล และชัย

รัตน์, 2554) ซึ่งเป็นปัจจัยสนับสนุนให้เกิดปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลที่ไม่เกี่ยวข้องกับเอนไซม์หรือปฏิกิริยาเมลลาร์ดที่เกิดขึ้นระหว่างกรดอะมิโนและน้ำตาลรีดิวซ์ (พิมพ์เพ็ญ และนิธิยา, 2567) ส่งผลให้ตัวอย่างสับปะรดแช่ห่ออบแห้งมีสีเหลืองเข้มเพิ่มขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของพริ้มเพรา และคณะ (2555) พบว่า สับปะรดพันธุ์ปัตตาเวียที่แช่ห่อด้วยสารละลายน้ำตาลทรายร่วมกับมอลโตเด็คซ์ทรินส่งผลให้ค่าสี L^* น้อยลง และเพิ่มค่า a^* และค่าสี b^* มากขึ้น

การแช่ห่อในสารละลายน้ำตาลซูโครสอย่างเดียวส่งผลให้ผลิตภัณฑ์สับปะรดแช่ห่ออบแห้งมีความแข็งสูงสุด การใช้สารละลายกลีเซอรอลและมอลโทเด็คซ์ทรินสามารถลดความแข็งของผลิตภัณฑ์ลงได้ เนื่องจากกลีเซอรอลมีความสามารถในการจับโมเลกุลของน้ำได้ดี กลีเซอรอลเป็นสารเก็บความชื้นป้องกันไม่ให้ผิวหน้าของอาหารแห้ง (พิมพ์เพ็ญ และนิธิยา, 2567) จึงช่วยให้ผลิตภัณฑ์มีลักษณะเนื้อสัมผัสอ่อนนุ่ม และมอลโทเด็คซ์ทรินเป็นสารอิมเมกเตนท์เพิ่มเนื้อผลิตภัณฑ์และช่วยปรับปรุงเนื้อสัมผัสผลิตภัณฑ์ให้มีลักษณะอ่อนนุ่ม (Surojanametakul, 2003; Quek, 2007; กรรณิการ์, 2564) ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของคณิตดา และนันทวัน (2552) พบว่า การใช้สารละลายซูโครสส่งผลให้ผลิตภัณฑ์สับปะรดแช่ห่ออบแห้งมีความแข็งสูงสุด การใช้สารละลายกลีเซอรอลสามารถปรับปรุงเนื้อสัมผัส โดยการลดความแข็งของผลิตภัณฑ์ลงได้ เนื่องจากกลีเซอรอลมีความสามารถในการดึงน้ำให้อยู่ภายในเนื้อสับปะรดแช่ห่ออบแห้งได้มากทำให้สับปะรดแช่ห่ออบแห้งมีความนุ่มมากขึ้น นอกจากนี้สุริเชษฐ์ และคณะ (2553) พบว่า การใช้สารละลายซูโครสร่วมกับกลีเซอรอลในการแช่ห่อสับปะรดได้ผลิตภัณฑ์สับปะรดอบแห้งที่มีเนื้อสัมผัสนุ่ม และได้รับคะแนนความชอบโดยรวมจากผู้บริโภคมากกว่าการใช้สารละลายซูโครสเพียงอย่างเดียว การแช่ห่อในสารละลายผสมที่ระยะเวลาแช่ห่อ นาน 12 ชั่วโมง พบว่า สับปะรดแช่ห่ออบแห้งมีความแข็งน้อยกว่าตัวอย่างที่แช่ห่อนาน 3 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิ 40-60 องศาเซลเซียส อาจเนื่องมาจากระยะเวลาแช่ห่อนานขึ้นจะช่วยให้กลีเซอรอลมีความสามารถในการดึงน้ำให้อยู่ภายในเนื้อสับปะรดแช่ห่ออบแห้งได้มากขึ้น ทำให้สับปะรดแช่ห่ออบแห้งมีความนุ่มมากขึ้น

การใช้สารละลายผสมระหว่างน้ำตาลซูโครสกับกลีเซอรอลยังส่งผลต่อการลดลงของค่า a_w ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของวรรณนิดา (2552) พบว่า การใช้น้ำตาลซูโครสร่วมกับกลีเซอรอลในการแช่ห่อมะม่วง พบว่า มะม่วงแช่ห่ออบแห้งมีค่า a_w และปริมาณความชื้นลดลง งานวิจัยของคณิตดา และนันทวัน (2552) พบว่า ค่า a_w ของสับปะรดแช่ห่ออบแห้งที่ใช้สารละลายผสมระหว่างซูโครสกับกลีเซอรอลมีค่าต่ำกว่าของสับปะรดแช่ห่ออบแห้งที่ใช้สารละลายซูโครสอย่างเดียว ทั้งนี้เนื่องจากกลีเซอรอลมีความสามารถในการจับกับน้ำอิสระได้ดีกว่าซูโครส และสอดคล้องกับการวิจัยของนิราศ (2546) ที่พบว่า การใช้สารละลายกลีเซอรอลร่วมกับสารละลายซูโครสในการแช่ห่อสับปะรดสามารถลดค่า a_w ของสับปะรดแช่ห่อลงได้ อย่างไรก็ตามงานวิจัยที่ผ่านมาที่มีการนำมอลโตเด็คซ์ทรินมาใช้ในการแช่ห่อสับปะรด พบว่า การใช้ระยะเวลาในการแช่ห่อนาน 18 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิห้อง ส่งผลทำให้สับปะรดแช่ห่ออบแห้งที่ได้มีค่า a_w 0.55 (พริ้มเพรา และคณะ, 2555) ในขณะที่งานวิจัยนี้ใช้สารละลายซูโครสร่วมกับกลีเซอรอลและมอลโตเด็คซ์ทริน โดยทำการแช่ห่อนาน 3 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิ 40-60 องศาเซลเซียส พบว่า สับปะรดแช่ห่ออบแห้งมีค่า a_w 0.47-0.53 ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากในงานวิจัยนี้ใช้ความร้อนร่วมในการแช่ห่อที่อุณหภูมิระหว่าง 30-60 องศาเซลเซียส ซึ่งผลการใช้ความร้อนร่วมทำให้สามารถลดความหนืดของสารละลายที่ใช้แช่ห่อและทำให้โครงสร้างบางส่วนของผนังเซลล์อ่อนตัวลงส่งผลให้สารละลายซึมเข้าสู่เนื้อผลไม้ได้มากกว่า เมื่อเปรียบเทียบกับแช่ห่อที่อุณหภูมิห้อง (Ahmed et al., 2016) การเพิ่มอุณหภูมิจึงสามารถช่วยลดระยะเวลาในการแช่ห่อให้สั้นลงได้ และจากงานวิจัยที่ผ่านมาได้มีการเพิ่มอุณหภูมิแช่ห่อ (สารละลายซูโครสอย่างเดียว) ที่ 60 องศาเซลเซียส สามารถลดเวลาในการแช่ห่อให้เหลือเพียง 5 ชั่วโมง ผู้ทดสอบชิมให้การยอมรับสับปะรดแช่ห่ออบแห้งที่ผ่านการลดเวลาในด้านลักษณะเนื้อสัมผัส กลิ่นรส ความหวาน และความชอบรวมไม่แตกต่างจากแบบธรรมดา (แช่ห่อนาน 96 ชั่วโมงที่อุณหภูมิห้อง) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) แต่แตกต่างในด้านลักษณะปรากฏ ซึ่งสับปะรดแช่ห่ออบแห้งที่ลดเวลามีลักษณะปรากฏเหี่ยว蔫 เสียวร่วน และมีสีคล้ำมากกว่า (สุธีรา, 2540) ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากการใช้สารละลายซูโครสอย่างเดียวในการแช่ห่อ ดังนั้นในงานวิจัยนี้พบว่า การนำสารดูดความชื้น ได้แก่ กลีเซอรอลและมอลโตเด็คซ์ทริน มาใช้ร่วมกับน้ำตาลซูโครสในขั้นตอนการแช่ห่อร่วมกับ การเพิ่มอุณหภูมิสามารถช่วยลดระยะเวลาในขั้นตอนการแช่ห่อให้สั้นลงได้และช่วยลดปัญหาด้านเนื้อสัมผัสและสีของผลิตภัณฑ์ได้

ผลการศึกษาอายุการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์สับปะรดแช่ห่ออบแห้งที่บรรจุในถุงพลาสติก PET/LLDPE แบบซิปล็อค และเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง มีอายุการเก็บรักษาที่ประมาณ 7 เดือน โดยหากเก็บรักษานานกว่า 7 เดือน สีของสับปะรดแช่ห่ออบแห้งมีสีเหลืองคล้ำอมน้ำตาล อาจเนื่องจากสับปะรดมีน้ำตาลและโปรตีนเป็นองค์ประกอบ ร้อยละ 0.4-0.6 สีน้ำตาลที่เกิดขึ้นอาจเกิดจากปฏิกิริยาเมลลาร์ด (Millard reaction) (Salvi and Rajput, 1995; สโรบล และชัยรัตน์, 2554) ซึ่งเป็นปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลชนิดที่ไม่เกี่ยวข้องกับเอนไซม์ เกิดขึ้นระหว่างน้ำตาลรีดิวซ์ (Reducing sugar) กับกรดอะมิโน โปรตีน

หรือสารประกอบไนโตรเจนอื่น ๆ พบว่า ระหว่างการเก็บรักษาทำให้ผลิตภัณฑ์เปลี่ยนเป็นสีน้ำตาลเข้ม (พิมพ์เพ็ญ และนิธิยา, 2567ข) การเลือกใช้ถุงพลาสติก PET/LLDPE แบบซิปล็อคบรรจุสับปะรดแช่อิ่มอบแห้งในระหว่างการเก็บรักษา เนื่องจากสามารถมองเห็นผลิตภัณฑ์และบรรจุภัณฑ์มีราคาถูกอาจพบปัญหาเรื่องการซึมผ่านความชื้นจากบรรยากาศเข้าสู่ผลิตภัณฑ์ได้ และส่งผลให้กลิ่นสับปะรดอ่อนลงและเนื้อสัมผัสกัดคายาก เนื่องจากผลิตภัณฑ์เนื้อสัมผัสเหนียวขึ้น อาหารแห้งที่มีปริมาณน้ำน้อยเป็น Monolayer water เมื่อได้รับความชื้นเพิ่มขึ้นจะเปลี่ยนเป็น Multilayer adsorption และดูดซับน้ำเข้าไปในรูเล็ก ๆ ทำให้เกิดการละลายของตัวถูกละลายได้ น้ำจะถูกจับให้อยู่ในอาหารโดยวิธีทางกลทำให้ค่า a_w เพิ่มขึ้น (นิธิยา, 2545; ณัฐนิชา, 2560) การใช้บรรจุภัณฑ์ที่ปิดสนิท เช่น ถุงอะลูมิเนียมฟอยล์จะเหมาะสมกับอาหารแช่อิ่มอบแห้ง เนื่องจากสามารถป้องกันการดูดความชื้นจากบรรยากาศและลดการปนเปื้อนจากภายนอกได้ โดยทั่วไปผลิตภัณฑ์อาหารแช่อิ่มอบแห้งจะมีอายุการเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้องได้นาน 6 เดือน ถึง 1 ปี (Sagar and Khurdiya, 1999; Ahmed et al., 2016) อย่างไรก็ตามพบว่า ในงานวิจัยนี้ผลิตภัณฑ์สับปะรดแช่อิ่มอบแห้งสามารถเก็บรักษาได้นาน 7 เดือน โดยปริมาณความชื้นในระหว่างการเก็บรักษาไม่เกินมาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชนผักและผลไม้แห้ง (136/2558) ที่กำหนดให้ปริมาณความชื้นต้องไม่เกินร้อยละ 12 โดยน้ำหนัก (สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม, 2558ก) ปริมาณน้ำอิสระมีค่าอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชนผักและผลไม้แช่อิ่ม (161/2558) ที่กำหนดให้ค่า a_w ในผักและผลไม้แช่อิ่มชนิดแห้งต้องไม่เกิน 0.6 (สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม, 2558ข) ซึ่ง a_w เป็นปัจจัยสำคัญต่ออายุการเก็บรักษาของผลิตภัณฑ์อาหารแช่อิ่มอบแห้ง (Ahmed et al., 2016) ค่า a_w น้อยกว่าหรือเท่ากับ 0.60 เป็นตัวบ่งชี้ถึงความปลอดภัยต่อผู้บริโภคและมีผลโดยตรงต่อการกำหนดอายุการเก็บรักษาอาหาร (รัตนกร และคณะ, 2566; พิมพ์เพ็ญ และนิธิยา, 2567ค) คุณภาพด้านจุลินทรีย์ในระยะเวลาเก็บรักษานาน 8 เดือน ได้แก่ ปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมด *Escherichia coli*, *Staphylococcus aureus* ยีสต์และรา และ *Salmonella spp.* พบไม่เกินกว่ามาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชนผักและผลไม้แช่อิ่ม (161/2558) ที่กำหนดให้จุลินทรีย์ทั้งหมดต้องน้อยกว่า 1×10^6 โคโลนีต่อตัวอย่าง 1 กรัม *Escherichia coli* ต้องน้อยกว่า 3 ต่อตัวอย่าง 1 กรัม *Staphylococcus aureus* ต้องน้อยกว่า 10 โคโลนีต่อตัวอย่าง 1 กรัม ยีสต์และราต้องน้อยกว่า 1×10^3 โคโลนีต่อตัวอย่าง 1 กรัม และ *Salmonella spp.* ต้องไม่พบในตัวอย่าง 25 กรัม (สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม, 2558ข) เนื่องมาจากในกระบวนการผลิตใช้กลีเซอรอลเป็นส่วนผสมในการแช่อิ่มซึ่งกลีเซอรอลมีคุณสมบัติในการลดค่า a_w ในอาหารและมีผลในการยับยั้งการเจริญของจุลินทรีย์ (ไพโรจน์, 2539; กรรณิการ์, 2564) และปฏิกิริยาทางชีวเคมีและกิจกรรมของจุลินทรีย์ส่วนใหญ่จะถูกยับยั้งที่ a_w ต่ำกว่า 0.6 (วิไล, 2552; พกาวดี และคณะ, 2566) ซึ่งสับปะรดแช่อิ่มอบแห้งที่เก็บรักษานาน 7 เดือน ในงานวิจัยนี้มีค่าในช่วง 0.43-0.61 อย่างไรก็ตามผลิตภัณฑ์ที่ผ่านการแช่น้ำตาลจะป้องกันการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ได้ (รุ่งโรจน์ และคณะ, 2564)

บทสรุป

จากการศึกษากระบวนการผลิตมีผลต่อคุณภาพของสับปะรดแช่อิ่มอบแห้ง กระบวนการผลิตที่เหมาะสมและผู้ประกอบการเลือก คือ การแช่อิ่มสับปะรดในสารละลายผสมระหว่างน้ำตาลซูโครส ร้อยละ 80 ร่วมกับกลีเซอรอล ร้อยละ 20 ระยะเวลาแช่อิ่มนาน 3 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิ 40-60 องศาเซลเซียส ได้ผลิตภัณฑ์สับปะรดแช่อิ่มอบแห้งที่มีค่าความสว่างสูงสุด ($L^* = 70.44$) เนื้อสัมผัสมีความแข็งน้อยกว่าชุดควบคุม และมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) ผลิตภัณฑ์ที่ได้มีสีเหลืองออกสว่างและมีเนื้อสัมผัสนุ่ม เมื่อนำไปศึกษาอายุการเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง พบว่า ผลิตภัณฑ์มีอายุการเก็บรักษาได้ประมาณ 7 เดือน หากเก็บรักษานานกว่า 7 เดือน สีของสับปะรดแช่อิ่มอบแห้งมีสีเหลืองคล้ำอมน้ำตาล กลิ่นสับปะรดอ่อนลงและเนื้อสัมผัสกัดคายาก ส่วนคุณภาพจุลินทรีย์อยู่ในเกณฑ์ปลอดภัยตามเกณฑ์มาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชนผักและผลไม้แช่อิ่ม (161/2558) จากงานวิจัยนี้วิสาหกิจชุมชนผลไม้แปรรูปอำเภอสี จันทาลำพูน สามารถนำสูตรและกระบวนการผลิตที่ได้จากการวิจัยไปใช้ผลิตและจำหน่ายเชิงพาณิชย์ได้ จากสับปะรดราคาขายส่งกิโลกรัมละ 8-13 บาท เมื่อนำมาแปรรูปเป็นสับปะรดแช่อิ่มอบแห้งจะจำหน่ายได้กิโลกรัมละ 350-400 บาท อย่างไรก็ตามเมื่อคิดต้นทุนค่าวัตถุดิบในการผลิต ได้แก่ สับปะรด น้ำตาลซูโครส กลีเซอรอล วัตถุดิบอาหาร และแก๊สหุงต้มแล้วจะมีต้นทุนการผลิตสับปะรดแช่อิ่มอบแห้งกิโลกรัมละ 150-185 บาท สามารถเพิ่มมูลค่าและสร้างรายได้ให้กับกลุ่มได้มากขึ้น และจากกระบวนการผลิตดังกล่าวสามารถลดระยะเวลาในขั้นตอนการแช่อิ่มจากเดิมที่ใช้ระยะเวลาอย่าง 12 ชั่วโมงให้เหลือเพียง 3 ชั่วโมง รวมระยะเวลาดัง

ใช้ในการผลิตทั้งหมดจาก 33 ชั่วโมง เหลือเพียง 24 ชั่วโมง ส่งผลให้ต้นทุนการผลิตในส่วนของคุณค่าจ้างแรงงานของกลุ่มวิสาหกิจชุมชนผลไม้แปรรูป อำเภอสีลุดลดลงด้วย

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณทุนสนับสนุนการวิจัยแผนงานพัฒนาขีดความสามารถทางเทคโนโลยีและวิจัยของภาคเอกชนในพื้นที่ (Industrial Research and Technology Capacity Development Platform : IRTC) ภายใต้การสนับสนุนตามกลไกอุทยานวิทยาศาสตร์ภาคเหนือ มหาวิทยาลัยราชภัฏอุดรดิตถ์ กลุ่มวิสาหกิจชุมชนผลไม้แปรรูป อำเภอสีลุด จังหวัดลำพูน อาจารย์และนักศึกษาสาขาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหารที่ให้ความร่วมมือในงานวิจัยนี้เป็นอย่างดี

เอกสารอ้างอิง

- กรณิก อ่อนสำลี. (2564). การใช้สารชีวเมกเทนทีนในผลิตภัณฑ์นมเบอร์รี่กวน. วารสารวิชาการและวิจัย มทร.พระนคร. 15(1): 14-25.
- คณิตา พัฒนาภา และนันทวัน เทอดไทย. (2552). อิทธิพลของสารออสโมซิสต่อคุณภาพของส้มสายน้ำผึ้งแช่อิ่มอบแห้ง. ใน การประชุมทางวิชาการของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ครั้งที่ 47 สาขาอุตสาหกรรมเกษตร 17-20 มีนาคม 2552. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. กรุงเทพฯ. 688-695.
- ณัฐนิชา ทวีแสง. (2560). การศึกษาปริมาณผงฟักข้าวและวิธีการอบแห้งที่เหมาะสมในการผลิตปลาแผ่น. วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์. 25(3): 412-423.
- เทคโนโลยีชาวบ้าน. (2565). ชื่อสับปะรดปัตตาเวียเหมือนกัน แต่รสชาติความอร่อยต่างกัน. ค้นเมื่อ 23 พฤศจิกายน 2566. https://www.technologychaoban.com/agricultural-technology/article_205445.
- นิธิยา รัตนพานนท์. (2545). เคมีอาหาร. สำนักพิมพ์โอเดียนสโตร์: กรุงเทพฯ.
- นิราศ กิ่งวาทิ. (2546). การใช้สารดูดความชื้นในการปรับปรุงคุณภาพสับปะรดแช่อิ่มอบแห้ง. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตร์ มหาบัณฑิต สาขาวิทยาศาสตร์การอาหาร คณะอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- ผกาวิ ภูจันทร์, ไพรัช ปรเมย์, ไสรัจ วรชุมอินเขต และอรุณลักษณ์ โชตินาครินทร์. (2566). การพัฒนาผลิตภัณฑ์ผักแผ่นอบกรอบ. วารสารวิชาการมหาวิทยาลัยราชภัฏอุดรดิตถ์. 18(1): 55-67.
- พิมพ์เพ็ญ พรเฉลิมพงศ์ และนิธิยา รัตนพานนท์. (2567ก). กลีเซอรอล. ค้นเมื่อ 7 มกราคม 2567. <http://www.foodnetworksolution.com/wiki/word/0277/Glycerol>
- พิมพ์เพ็ญ พรเฉลิมพงศ์ และนิธิยา รัตนพานนท์. (2567ข). ปฏิกิริยาเมลลาร์ด. ค้นเมื่อ 28 มกราคม 2567. <https://www.foodnetworksolution.com/wiki/word/0397/maillard-reaction>
- พิมพ์เพ็ญ พรเฉลิมพงศ์ และนิธิยา รัตนพานนท์. (2567ค). แอคทิวิตีของน้ำ. ค้นเมื่อ 7 มกราคม 2567. <http://www.foodnetworksolution.com/wiki/word/0277/Water Activity>
- พริ้มเพรา ตะมะพูน, อัจฉราลัย คำฟู และจิราภา พงษ์จันทา. (2555). การพัฒนาผลิตภัณฑ์ข้าวแต่น้ำสับปะรดแช่อิ่ม. วารสารวิจัยและพัฒนาเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี. 35(1): 75-91.
- ไพโรจน์ วิริยจารี. (2539). อาหารกึ่งแห้ง. ภาควิชาเทคโนโลยีการพัฒนาลิขสิทธิ์ คณะอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.
- รุ่งโรจน์ ตั๊กกลาง, บุญทริกา สมะนา และวรรณศิริ หิรัญเกิด. (2564). ผลของอุณหภูมิและเวลาทำแห้งต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์กระเทียมแช่อิ่มอบแห้ง. วารสารวิจัยมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก. 14(1): 1-11.
- รัตนกร แสนทำพล, อภิชาติ สุวรรณชื่น และธรรมศาสตร์ จันทรัตน์. (2566). การพัฒนาผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวเพื่อสุขภาพจากผักเคลที่เหลือทิ้งของกลุ่มวิสาหกิจชุมชนพอเพียงก็เพียงพอ จังหวัดเพชรบูรณ์. วารสารวิชาการมหาวิทยาลัยราชภัฏอุดรดิตถ์. 18(1): 157-172.

- วรรณนิดา แสงปัดสา. (2552). การแปรรูปส้มอบแห้งมะม่วง (*Mangifera Indica* Linn.) ที่เหมาะสมโดยใช้สารแทนไบซัลไฟต์และสารดูดความชื้นชนิดต่าง ๆ. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร คณะเกษตรศาสตร์ทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยนเรศวร.
- วิไล รังสาทอง. (2552). เทคโนโลยีการแปรรูปอาหาร. เท็กซ์แอนด์เจอร์นัล พับลิเคชั่น: กรุงเทพมหานคร.
- วันชัย คำเสน, อำนาจ ผัดวัง, ชูธง สัมมัตตะ, จิรพันธ์ ทาแกง, พงศกร สุรินทร์, สรายุทธ มาลัยพันธ์ุ, สุมิตรา สุป็นราช, ณัฏฐาณิลล ศรเศรษฐปารโมทย์, ปิยะมาสฐ์ ตันท์เจริญรัตน์, ชนิชา จินาการ, ปญจพร ศรีชนาพันธ์ และวิชญ์ ช่างเนียม. (2559). การแปรรูปส้มอบแห้งด้วยรังสีแสงอาทิตย์. วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยนเรศวร. 25(2): 122-130.
- สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม. (2558ก). มาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชน ผักและผลไม้แห้ง. เอกสาร มผช.136/2558. ค้นเมื่อ 7 มกราคม 2567. <https://tcps.tisi.go.th/public/StandardList.aspx>
- สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม. (2558ข). มาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชน ผักและผลไม้แช่อิ่ม. เอกสาร มผช.161/2558. ค้นเมื่อ 7 มกราคม 2567. <https://tcps.tisi.go.th/public/StandardList.aspx>
- สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร. (2567). สับปะรดปัตตาเวียปีนี้ คาดว่าให้ผลผลิต 1.380 ล้านตัน ด้านราคายังสดใส ขยับตัวสูงขึ้นอย่างต่อเนื่อง. ค้นเมื่อ 28 สิงหาคม 2567. <https://www.oae.go.th/view/1/รายละเอียดข่าว/ข่าว%20สศก./44284/TH-TH>.
- สโรบล สโรชวิกิจิต และชัยรัตน์ ตั้งดวงดี. (2554). ผลของอุณหภูมิการอบแห้งและสารช่วยอบแห้งต่อคุณภาพของน้ำสับปะรดผงโดยวิธีอบแห้งแบบพ่นฝอย. วารสารวิจัยและพัฒนา มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี. 34(3): 203-215.
- สุธีรา เลิศวุฒิชัยกุล. (2540). การลดเวลาในการผลิตสับปะรดแช่อิ่มอบแห้ง. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต. สาขาวิชา วิทยาศาสตร์การอาหาร คณะอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- สุนัน ปานสาคร, จตุรงค์ ลังกาพันธ์, ศุภณัฐ พริกบุญจันทร์ และอาทิตย์พัฒน์ ศรีชุมพล. (2563). ผลของความเข้มข้นสารละลายออสโมติกต่อการถ่ายเทมวลสารและคุณภาพของเมล่อนหลังการออสโมซิส. วารสารวิจัยมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี. 19(2): 132-143.
- สุริเชษฐ์ บิลหิมา, สรายุทธ ปลุกใจราษฎร์ และสิริมา ชินสาร. (2553). การกักตุนน้ำบางส่วนในสับปะรดด้วยวิธีออสโมซิสโดยใช้สารละลายซูโครส-กลีเซอรอลภายใต้สภาวะสุญญากาศ. วารสารวิทยาศาสตร์เกษตร. 41(3/1): 41-44.
- Ahmed I., Qazi I. M. and Jamal S. (2016). Developments in osmotic dehydration technique for the preservation of fruits and vegetables. Journal of Innovative Food Science and Emerging Technologies. 34: 29-43.
- AOAC (2000). Official Methods of Analysis. 17th ed. The Association of Official Analytical Chemists. Maryland: USA.
- Bacteriological Analytical Manual (BAM) Online. (2001). BAM Chapter 3 Aerobic Plate Count. Retrieved November 28, 2023. Accessed 7 January 2024. <https://www.fda.gov/food/laboratory-methods-food/bam-chapter-3-aerobic-plate-count>
- Bacteriological Analytical Manual (BAM) Online. (2001). BAM Chapter 18 Yeasts, Molds and Mycotoxins. Retrieved November 28, 2023. Accessed 7 January 2024. <https://www.fda.gov/food/laboratory-methods-food/bam-chapter-18-yeasts-molds-and-mycotoxins>
- Bacteriological Analytical Manual (BAM) Online. (2016). BAM Chapter 12 *Staphylococcus aureus*. Retrieved November 28, 2023. Accessed 7 January 2024. <https://www.fda.gov/food/laboratory-methods-food/bam-chapter-12-staphylococcus-aureus>
- Bacteriological Analytical Manual (BAM) Online. (2020). BAM Chapter 4 Enumeration of *Escherichia coli* and the coliform bacteria. Retrieved November 28, 2023. Accessed 7 January 2024. <https://www.fda.gov/food/laboratory-methods-food/bam-chapter-4-enumeration-escherichia-coli-and-coliform-bacteria>

- Chandra S. and Kumari D. (2015). Recent development in osmotic dehydration of fruit and vegetables: A Review. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*. 55(4): 552-561.
- Ferrari C.C. and Hubinger M.D. (2008). Evaluation of the mechanical properties and diffusion coefficients of osmodehydrated melon cubes. *International Journal of Food Science & Technology*. 43(11): 2065-2074.
- International Organization for Standardization (ISO) Online. (2002). ISO6579 Microbiology of Food and Animal Feeding Stuffs-Horizontal Method for the Detection of *Salmonella* spp. Retrieved November 28, 2023. Accessed 7 January 2024. <https://cdn.standards.iteh.ai/samples/42109/a683834b409e4b0aad71b39a406f9602/ISO-6579-2002-Amd-1-2007.pdf>
- Pokharkar S.M. (2001). Kinetic model for osmotic dehydration of green peas prior to air drying. *Journal of Food Science and Technology*. 38(6): 557-560.
- Qiu L., Zhanga M., Tang J., Adhikari B. and Cao P. (2019). Innovative technologies for producing and preserving intermediate moisture foods: A review. *Food Research International*. 116: 90-102.
- Quek S.Y., Chok N.K. and Swedlund P. (2007). The physicochemical properties of spray-dried watermelon powders. *Chemical Engineering and Processing*. 46(5): 386-392.
- Rahman M.S. and Lamb J. (1991). Air drying behavior of fresh and osmotically dehydrated pineapple. *Journal of Food Process Engineering*. 14: 163-171.
- Sagar V.S. and Khurdiya D.S. (1999). Studies on dehydration of dashehari mango slices. *Indian Food Packer*. 53(1): 5-9.
- Salvi M.J. and Rajput J.C. (1995). Pineapple in handbook of fruit science and technology: production composition, storage and processing in Salunkhe D.K. and Kadam S.S. (Eds.). Macel Dekker: New York. 1-6.
- Surojanametakul V. (2003). Glycerol: Food additives. *Food Journal (Thailand)*. 33(2): 87-89.
- Sacchetti G., Gianotti A. and Dalla R.M. (2001). Sucrose salt combined effect on mass transfer kinetics and product acceptability: Study on apple osmotic treatments. *Journal of Food Engineering*. 49: 163-73.
- Tortoe C. (2010). A review of osmodehydration for the food industry. *African Journal of Food Science*. 4: 303-324.

Received: November 7, 2023; Revised: July 30, 2024; Accepted: October 29, 2024

ผลของขนาดกระถางแอร์พอตต่อการเจริญเติบโตทางด้านลำต้นของกัญชา Effect of air-pot containers size on vegetative growth of *Cannabis sativa* L.

ทรงศักดิ์ ธรรมจรัส¹ บุญชาติ คติวัฒน์^{1*} นันทน์ภัส สุวรรณสินธุ์¹ กิตติศักดิ์ จันทร์สุข¹
และนัฐพร ชะอุ่มฤทธิ์¹

Songsak Thamjumrat¹, Boonchat Kitivat^{1*}, Nanapus Suwansink¹, Kitisat Jansuk¹
and Nattaporn Chaaunlit¹

¹คณะเทคโนโลยีการเกษตร มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบุรี จังหวัดเพชรบุรี

¹Faculty of Agricultural Technology, Phetchaburi Rajabhat University, Phetchaburi Province

*Corresponding Author E-mail Address: boonchart_kt@hotmail.com

บทคัดย่อ

ขนาดของภาชนะปลูกที่แตกต่างกันย่อมส่งผลต่อการเจริญเติบโตของพืช แต่ยังไม่มีการศึกษาขนาดของกระถางแอร์พอตที่แตกต่างกันในกัญชา จึงทำการศึกษาลักษณะของขนาดของกระถางแอร์พอต ที่แตกต่างกันต่อการเจริญเติบโตทางด้านลำต้นของกัญชาสายพันธุ์หางกระรอกภูพาน โดยวางแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์มี 5 กรรมวิธี คือภาชนะปลูกกระถางแอร์พอตขนาด 15x20, 20x20, 30x30, 40x40 และ 50x50 เซนติเมตร ทำ 4 ซ้ำ ๆ ละ 4 ต้น ปลูกในวัสดุผสมประกอบด้วย ดินร่วน: ขุยมะพร้าว: ปุ๋ยหมัก อัตราส่วน 2:1:1 บันทึกข้อมูลการเจริญเติบโตทางด้านลำต้นทุกสัปดาห์ เป็นระยะเวลา 2 เดือน พบว่าภาชนะปลูกขนาด 30x30, 40x40 และ 50x50 เซนติเมตร มีความสูงต้นมากที่สุด ภาชนะปลูกขนาด 30x30 และ 40x40 เซนติเมตร มีจำนวนใบมากที่สุด ภาชนะปลูกขนาด 40x40 เซนติเมตร มีความกว้างและยาวใบมากที่สุด ภาชนะปลูกขนาด 40x40 และ 50x50 เซนติเมตร มีขนาดเส้นรอบวงของลำต้น ความกว้างทรงพุ่ม ความยาวรากมากที่สุด ดังนั้นกระถางแอร์พอต ขนาด 50x50 เซนติเมตร น่าจะเป็นทางเลือกที่ดีสำหรับการปลูกกัญชา เนื่องจากส่งผลให้ต้นกัญชามีแนวโน้มการเจริญเติบโตของลำต้นและรากที่ดี

คำสำคัญ: กัญชา กระถางแอร์พอต การเจริญเติบโตทางด้านลำต้น

Abstract

The difference in growing container size affected plant growth, which is the same as for cannabis, which lacks data about the size of the growing container. Thus, this study was to investigate the different sizes of air pot growing containers on the vegetative growth of *Cannabis sativa* L. (Hang Kra Rog Phu Phan variety). The completely randomized design was used and divided into 5 treatments with sizes of square growing containers (Air pots) (15x20, 20x20, 30x30, 40x40 and 50x50 cm) and 4 replications each of 4 cannabis. The growing media contained a ratio of loam soil, coconut coir and compost of 2:1:1. The data were collected weekly for 2 months. The results showed that the suitable size of the growing container was 30x30, 40x40 and 50x50 cm, which had the highest height, while the container sizes of 30x30 and 40x40 cm showed the most significant number of leaves. Moreover, the container with dimensions of 40x40 cm exhibited the

greatest width and length of the leaves. Additionally, both the 40x40 cm and 50x50 cm containers showed the highest measurements for trunk circumference, canopy width and root length. Consequently, the 50x50 cm air pot emerged as the optimal size for cultivating cannabis.

Keywords: *Cannabis sativa* L., Air-Pot Containers, Vegetative Growth

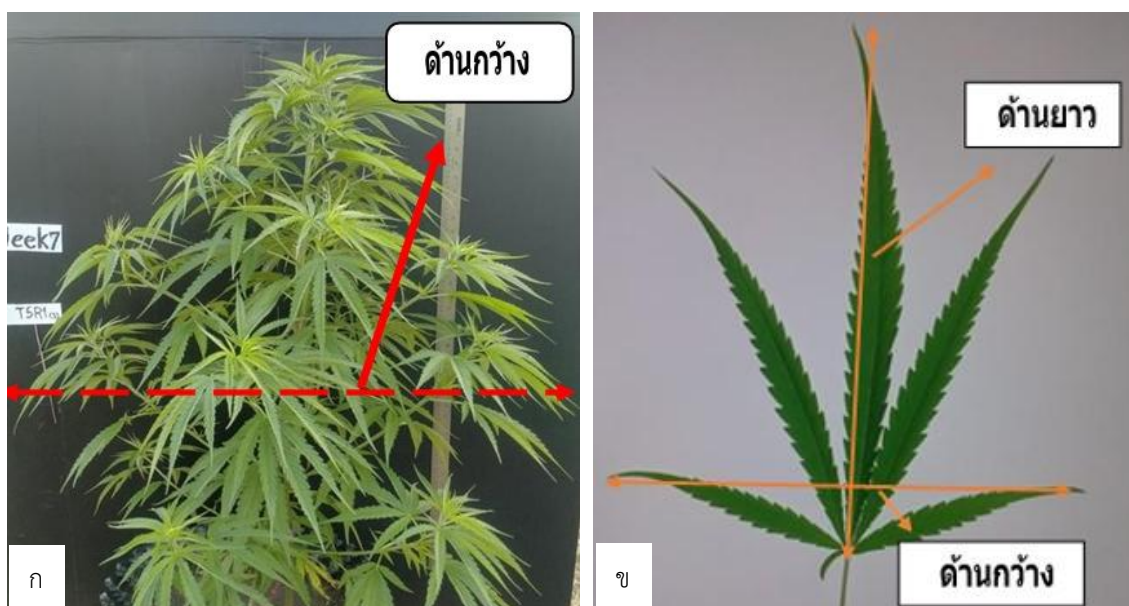
บทนำ

พระราชบัญญัติยาเสพติดให้โทษ (ฉบับที่ 7) พ.ศ.2562 ซึ่งมีผลบังคับใช้เมื่อวันที่ 19 กุมภาพันธ์ 2562 ได้เปิดให้สามารถนำ กัญชา และกัญชง ไปใช้ประโยชน์ในทางการแพทย์และการวิจัยได้ จนถึงปัจจุบันที่ประกาศกระทรวงสาธารณสุข เรื่อง ชื่อยาเสพติดให้โทษประเภท 5 พ.ศ. 2565 มีผลบังคับใช้ในวันที่ 9 มิถุนายน 2565 ส่งผลให้ทุกส่วนของกัญชาที่ปลูกในประเทศ ไม่ใช่ยาเสพติดประเภท 5 ยกเว้นสารสกัดที่มีสาร THC เกิน 0.2% ที่ยังเป็นยาเสพติด ประชาชนสามารถปลูกกัญชาได้อย่างเสรี ทำให้กัญชา และกัญชงได้รับความสนใจจากภาครัฐ ภาคเอกชน ภาคประชาชนเพิ่มมากขึ้น (พทยา, 2566) กัญชาเป็นพืชที่กำลัง ได้รับสนใจ สามารถปลูกได้ในสภาพโรงเรือน และกลางแจ้ง นิยมปลูกในภาชนะปลูกในกระถางหรือภาชนะเนื่องจากการขาดราก ของต้นกัญชาเพื่อนำไปใช้ประโยชน์ทางการแพทย์สามารถทำได้ง่ายกว่าการปลูกลงดิน (หนึ่ง และคณะ, 2564) ขนาดของภาชนะ ปลูกมีอิทธิพลต่อการเติบโตของพืชอย่างมาก และจะส่งผลต่อการเติบโตของรากและลำต้น การสะสมมวลชีวภาพ การสังเคราะห์ แสง ปริมาณคลอโรฟิลล์ในใบ ความสัมพันธ์ของน้ำในพืช การดูดสารอาหาร การหายใจ และการออกดอก (Al-Menaie et al., 2012) ขนาดของภาชนะปลูกเป็นปัจจัยสำคัญสำหรับการเจริญเติบโตของพืชเนื่องจากเกี่ยวข้องกับปริมาณของวัสดุและสภาพของ วัสดุ ซึ่งสัมพันธ์กับการเจริญเติบโตและการทำหน้าที่ของราก จากผลการเปรียบเทียบขนาดกระถางต่อการเจริญเติบโตของผัก สลัดเรดโอ๊ค พบว่า กระถางขนาด 8 นิ้วและ 10 นิ้ว มีการเจริญเติบโตดีที่สุด เนื่องจากขนาดกระถางที่มีพื้นที่มากทำให้ในกระถาง มีดิน และวัสดุในปริมาณมาก จึงสะสมอาหารได้มาก ทำให้พืชดูดไปใช้ในการเจริญเติบโตได้ดี (อภิสิทธิ์ และคณะ, 2565) กระถาง แอร์พอต (Air-pot) เป็นกระถางที่ผลิตจากพลาสติก แข็งแรง ทนทาน ไม่แตกหักง่าย ใช้งานซ้ำได้ ระบายน้ำและอากาศได้รอบ รากแพร่กระจายได้ดี ลดการเกิดโรครากเน่า เพิ่มจำนวนราก และส่งเสริมให้ดูดอาหารได้มากขึ้น ในปัจจุบันระบบการปลูกกัญชาใน กระถางแอร์พอตยังคงเป็นที่นิยมแต่ขนาดของกระถางแอร์พอตที่แตกต่างกันย่อมส่งผลต่อการเจริญเติบโตของต้นกัญชา จึงได้ทำการทดลองเพื่อนำผลทดลองมาเป็นแนวทางในการเลือกขนาดกระถางแอร์พอตให้เหมาะสมสำหรับการปลูกกัญชาต่อไป

วัสดุ อุปกรณ์ และวิธีการ

การศึกษาผลของขนาดกระถางแอร์พอตต่อการเจริญเติบโตทางด้านลำต้นของกัญชา วางแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ (Completely Randomized Design: CRD) จำนวน 5 ทรีทเมนต์ ๑ ละ 4 ซ้ำ ซ้ำละ 3 ต้น โดยใช้จำนวนต้นทั้งหมด 60 ต้น ทรีทเมนต์ต่าง ๆ มีดังนี้ ปลูกในกระถางแอร์พอตขนาด 15x20 เซนติเมตร (ปริมาตร 14.42 ลูกบาศก์เซนติเมตร: T1) ขนาด 20x20 เซนติเมตร (ปริมาตร 25.14 ลูกบาศก์เซนติเมตร: T2) ขนาด 30x30 เซนติเมตร (ปริมาตร 84.85 ลูกบาศก์ เซนติเมตร: T3) ขนาด 40x40 เซนติเมตร (ปริมาตร 201.14 ลูกบาศก์เซนติเมตร: T4) และขนาด 50x50 เซนติเมตร (ปริมาตร 392.86 ลูกบาศก์เซนติเมตร: T5) การปลูกกัญชาทำโดยเตรียมวัสดุปลูกประกอบด้วย ดินร่วน ปุ๋ยหมัก และขุยมะพร้าว ในอัตราส่วน 2:1:1 ใส่ภาชนะปลูกกระถางแอร์พอตขนาดต่าง ๆ ตามทรีทเมนต์ที่กำหนด จากนั้นนำไปวางที่ โถงแจ้ง จัดวางกระถางแอร์พอตระยะห่างระหว่างต้นและแถว เท่ากับ 2x2 เมตร รดน้ำวันละ 2 ครั้ง (เช้าและเย็น) นำต้นกล้า กัญชาพันธุ์หางกระรอกภูพาน อายุ 20 วัน ซึ่งเพาะกล้าด้วยพีทมอส มาปลูกลงกระถางแอร์พอตขนาดต่าง ๆ ดังกล่าว ภาชนะละ 1 ต้น เก็บข้อมูลการเจริญเติบโตของต้นกัญชา นับจำนวนใบ โดยนับจำนวนใบจริงทั้งหมด วัดความสูงของต้นโดย วัดเหนือจากวัสดุปลูก 3 เซนติเมตร จนถึงปลายสุดของยอด วัดขนาดรอบวงลำต้นวัดที่ระดับความสูงจากพื้นดิน ประมาณ 15 เซนติเมตร โดยใช้สายวัด วัดความกว้างของทรงพุ่มด้านข้างโดยใช้ตลับเมตร วัดส่วนที่กว้างที่สุดของทรงพุ่ม (รูปที่ 1ก) วัดการแผ่ออกของใบประกอบด้านกว้างและยาวโดยวัดส่วนที่กว้างที่สุดของใบโดยใช้ไม้บรรทัดและด้านยาววัดตาม แนวเส้นกลางใบตั้งแต่จุดเริ่มต้นของแผ่นใบที่โคนก้านใบถึงปลายใบ โดยใช้ไม้บรรทัด (รูปที่ 1ข) วัดความยาวราก โดยนำต้นกัญชามาตัดแยกรากกับต้นออกจากรากนั้นนำรากไปล้างให้สะอาดแล้วนำ รากมาผึ่งให้แห้งแล้วใช้ตลับเมตร

วัดความยาวราก วัดน้ำหนักแห้งของรากโดยนำรากต้นกัญชา เข้าในตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส จนน้ำหนักคงที่ บันทึกข้อมูลน้ำหนักก่อนอบ-หลังอบ วัดน้ำหนักแห้งของต้นโดยนำต้นกัญชา เข้าในตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส จนน้ำหนักคงที่ บันทึกข้อมูลน้ำหนักก่อนอบ-หลังอบ นำข้อมูลการเจริญเติบโตต่าง ๆ มาวิเคราะห์ข้อมูลโดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูปและเปรียบเทียบทางสถิติโดยวิเคราะห์ความแปรปรวน (Analysis of variance; ANOVA) และเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยในแต่ละทรีทเมนต์โดยวิธี Duncan's new multiple range test (DMRT) ที่ความเชื่อมั่นร้อยละ 95



รูปที่ 1 การวัดขนาดความกว้างของทรงพุ่มด้านข้างของต้นกัญชา (ก) และการวัดการแผ่ออกของใบประกอบของต้นกัญชา (ข)

ผลการวิจัย

1. จำนวนใบต่อต้น

กระถางแอร์พอตทุกขนาดไม่มีผลต่อจำนวนใบของต้นกัญชาในทุกสัปดาห์หลังการย้ายปลูก (ตารางที่ 1)

ตารางที่ 1 จำนวนใบ (ใบ) ของต้นกัญชาอายุต่าง ๆ ที่ปลูกในกระถางแอร์พอตขนาดแตกต่างกัน

สิ่งทดลอง	สัปดาห์หลังย้ายปลูก (สัปดาห์)						
	1	2	3	4	5	6	7
15x20 cm	4.50	5.50	9.83	15.84	22.00	28.34	35.33
20x20 cm	4.34	5.00	10.67	17.17	28.00	34.34	42.88
30x30 cm	4.17	6.33	11.33	17.33	32.17	41.67	46.00
40x40 cm	3.75	5.17	8.67	15.41	31.83	41.17	48.50
50x50 cm	4.50	5.17	10.67	19.33	29.83	37.33	45.34
mean	4.25	5.43	10.23	14.02	28.77	35.57	43.6
F-test	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
C.V.(%)	12.13	21.08	30.03	25.72	23.58	18.94	19.71

หมายเหตุ ns=ไม่มีความแตกต่างทางสถิติ

2. ความสูงต้น

กระถางแอร์พอดทุกขนาดไม่มีผลต่อความสูงของต้นกัญชาที่อายุ 1-5 สัปดาห์หลังย้ายปลูก ในสัปดาห์ที่ 6 และสัปดาห์ที่ 7 หลังย้ายปลูกต้นกัญชาที่ปลูกในกระถางแอร์พอด ขนาด 30x30, 40x40 และ 50x50 เซนติเมตร มีความสูงของต้นกัญชาไม่แตกต่างกันทางสถิติซึ่งมีความสูงมากกว่าต้นกัญชาที่ปลูกในกระถางแอร์พอด ขนาด 15x20 และ 20x20 เซนติเมตร (ตารางที่ 2 รูปที่ 2)

ตารางที่ 2 ความสูง (เซนติเมตร) ของต้นกัญชาอายุต่าง ๆ ที่ปลูกในกระถางแอร์พอดขนาดแตกต่างกัน

สิ่งทดลอง	สัปดาห์หลังย้ายปลูก (สัปดาห์)						
	1	2	3	4	5	6	7
15x20 cm	10.46	18.34	25.00	37.39	51.83	70.67 ^b	86.84 ^b
20x20 cm	10.58	18.46	28.00	39.58	60.17	86.67 ^b	111.18 ^{ab}
30x30 cm	11.75	24.00	36.84	51.50	80.42	109.22 ^a	137.25 ^a
40x40 cm	10.08	18.75	27.59	41.59	68.67	113.00 ^a	141.92 ^a
50x50 cm	10.75	19.25	31.83	49.59	78.50	115.09 ^a	146.67 ^a
mean	10.72	19.76	29.85	43.93	67.38	99.07	124.75
F-test	ns	ns	ns	ns	ns	*	*
C.V. (%)	9.89	18.88	32.42	34.08	29.90	22.68	20.44

หมายเหตุ * = แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

ns=ไม่มีความแตกต่างทางสถิติ ตัวอักษรภาษาอังกฤษพิมพ์เล็กที่อยู่ในแนวตั้งที่ต่างกันมีความแตกต่างกันทางสถิติเมื่อเปรียบเทียบเฉลี่ย โดยวิธี Duncan's multiple range test (DMRT)

3. ขนาดรอบวงลำต้น

กระถางแอร์พอดทุกขนาดไม่มีผลต่อขนาดรอบวงลำต้นของต้นกัญชาที่อายุ 1-4 สัปดาห์หลังย้ายปลูก ในสัปดาห์ที่ 5-7 หลังย้ายปลูกต้นกัญชาที่ปลูกในกระถางแอร์พอด ขนาด 40x40 และ 50x50 เซนติเมตร มีขนาดรอบวงลำต้นของต้นกัญชาไม่แตกต่างกันซึ่งมากกว่าที่ปลูกในกระถางแอร์พอด ขนาด 15x20, 20x20 และ 30x30 เซนติเมตร (ตารางที่ 3)

ตารางที่ 3 ขนาดรอบวงลำต้น (เซนติเมตร) ของต้นกัญชาอายุต่าง ๆ ที่ปลูกในกระถางแอร์พอดขนาดแตกต่างกัน

สิ่งทดลอง	สัปดาห์หลังย้ายปลูก (สัปดาห์)						
	1	2	3	4	5	6	7
15x20 cm	1.00	1.07	1.22	1.50	1.93 ^b	2.20 ^c	2.25 ^c
20x20 cm	1.00	1.20	1.28	1.75	2.34 ^{ab}	2.71 ^{bc}	2.92 ^{bc}
30x30 cm	1.00	1.54	1.57	2.00	2.90 ^{ab}	3.38 ^a	3.53 ^b
40x40 cm	1.00	1.38	1.51	1.86	3.13 ^a	3.96 ^a	4.00 ^a
50x50 cm	1.00	1.30	1.67	2.66	3.19 ^a	4.00 ^a	4.17 ^a
mean	1.00	1.30	1.45	1.96	2.70	3.25	*
F-test	ns	ns	ns	ns	*	**	*
C.V. (%)	0.00	23.23	30.95	28.51	26.34	21.01	21.85

หมายเหตุ ** = แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 99 %

* = แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

ns = ไม่มีความแตกต่างทางสถิติ ตัวอักษรภาษาอังกฤษพิมพ์เล็กที่อยู่ในแนวตั้งที่ต่างกันมีความแตกต่างกันทางสถิติเมื่อเปรียบเทียบเฉลี่ย โดยวิธี Duncan's multiple range test (DMRT)

4. การแผ่อกของใบประกอบ

กระถางแอร์พอตทุกขนาดไม่มีผลต่อการแผ่อกของใบประกอบของต้นกัญชาอายุ 1-5 สัปดาห์หลังย้ายปลูก ในสัปดาห์ที่ 6 หลังย้ายปลูกต้นกัญชาที่ปลูกในกระถางแอร์พอต ขนาด 30x30, 40x40 และ 50x50 เซนติเมตร มีการแผ่อกของใบประกอบในด้านความกว้างและความยาวไม่แตกต่างกันทางสถิติซึ่งมากกว่าต้นกัญชาที่ปลูกในกระถางขนาด 15x20 และ 20x20 เซนติเมตร ในสัปดาห์ที่ 7 ต้นกัญชาที่ปลูกในกระถางแอร์พอต ขนาด 30x30, 40x40 และ 50x50 เซนติเมตร มีการแผ่อกของใบประกอบด้านความกว้างไม่แตกต่างกันทางสถิติ ซึ่งมากกว่าต้นกัญชาที่ปลูกในกระถางขนาด 15x20 และ 20x20 เซนติเมตร และต้นกัญชาที่ปลูกในกระถางแอร์พอต ขนาด 40x40 และ 50x50 เซนติเมตร มีการแผ่อกของใบประกอบด้านความยาวไม่แตกต่างกันทางสถิติ ซึ่งมากกว่าต้นกัญชาที่ปลูกในกระถางขนาด 15x20, 20x20 และ 30x30 เซนติเมตร (ตารางที่ 4)

5. ความกว้างของทรงพุ่มด้านข้าง

ขนาดของกระถางแอร์พอตที่แตกต่างกันมีผลต่อความกว้างของทรงพุ่มด้านข้างของต้นกัญชา พบว่า ต้นกัญชาที่ปลูกในกระถางแอร์พอต ขนาด 40x40 และ 50x50 เซนติเมตร มีความกว้างของทรงพุ่มด้านข้างมากที่สุด รองลงมาคือกระถางแอร์พอต ขนาด 30x30 เซนติเมตร ขนาด 20x20 เซนติเมตร และขนาด 15x20 เซนติเมตร ที่มีความกว้างของทรงพุ่มด้านข้างน้อยที่สุด (ตารางที่ 5 รูปที่ 2)



รูปที่ 2 ลักษณะการเจริญเติบโตของต้นกัญชาที่อายุ 7 สัปดาห์หลังย้ายปลูก กระถางแอร์พอต ขนาด 15x20 เซนติเมตร (ก) 20x20 เซนติเมตร (ข) 30x30 เซนติเมตร (ค) 40x40 เซนติเมตร (ง) และ 50x50 เซนติเมตร (จ)

6. ความยาวราก

ขนาดของกระถางแอร์พอตที่แตกต่างกันมีผลต่อความยาวรากของต้นกัญชา พบว่า ต้นกัญชาที่ปลูกในกระถางแอร์พอต ขนาด 40x40 และ 50x50 เซนติเมตร มีความยาวรากไม่แตกต่างกันทางสถิติซึ่งมากกว่าต้นกัญชาที่ปลูกในกระถางแอร์พอต ขนาด 15x20, 20x20 และ 30x30 เซนติเมตร (ตารางที่ 5)

7. น้ำหนักแห้งของราก

ขนาดของกระถางแอร์พอตที่แตกต่างกันมีผลต่อน้ำหนักแห้งของรากต้นกัญชา พบว่า ต้นกัญชาที่ปลูกในกระถางแอร์พอต ขนาด 50x50 เซนติเมตร มีน้ำหนักแห้งของรากสูงที่สุด เท่ากับ 68.12 กรัม รองลงมา คือ ขนาดแอร์พอตขนาด 30x30 และ 40x40 เซนติเมตร และต้นกัญชาที่ปลูกในกระถางแอร์พอต ขนาด 15x20 และ 20x20 เซนติเมตร มีน้ำหนักแห้งของรากน้อยที่สุด (ตารางที่ 6)

8. น้ำหนักแห้งของต้น

ต้นกัญชาที่ปลูกในกระถางแอร์พอต ขนาด 40x40 และ 50x50 เซนติเมตร มีน้ำหนักแห้งของต้นไม่แตกต่างกันทางสถิติ และมีน้ำหนักแห้งของต้นมากที่สุด รองลงมาคือกระถางแอร์พอต ขนาด 30x30 เซนติเมตร และ 20x20 เซนติเมตร และต้นกัญชาที่ปลูกในกระถางแอร์พอต ขนาด 15x20 เซนติเมตร มีน้ำหนักแห้งของต้นน้อยที่สุด (ตารางที่ 6)

ตารางที่ 4 การแผ่อกของใบประกอบ (เซนติเมตร) ของต้นกล้วยอายุต่าง ๆ ที่ปลูกในกระถางแอร์พอตขนาดแตกต่างกัน

สิ่งทดลอง	สัปดาห์หลังย้ายปลูก (สัปดาห์)													
	1		2		3		4		5		6		7	
	กว้าง	ยาว	กว้าง	ยาว	กว้าง	ยาว	กว้าง	ยาว	กว้าง	ยาว	กว้าง	ยาว	กว้าง	ยาว
15x20 cm	9.30	15.20	13.63	16.31	18.58	18.67	33.29	28.85	38.42	30.66	38.92 ^b	30.83 ^b	40.33 ^b	34.08 ^b
20x20 cm	9.67	16.80	15.71	18.67	15.58	19.04	29.33	25.59	39.83	34.25	40.42 ^b	67.67 ^b	45.33 ^b	39.50 ^b
30x30 cm	10.46	17.08	21.91	22.21	25.29	23.67	42.13	35.69	56.08	43.54	58.83 ^a	44.92 ^a	60.61 ^a	47.50 ^b
40x40 cm	10.71	17.00	17.71	21.21	21.00	22.29	39.67	32.62	49.84	41.34	57.09 ^a	49.17 ^a	59.75 ^a	57.17 ^a
50x50 cm	10.75	17.00	18.71	18.75	21.54	23.55	47.58	41.83	49.58	42.13	49.68 ^a	43.68 ^a	56.92 ^a	50.37 ^a
mean	10.18	16.62	17.53	19.43	20.40	21.44	38.40	32.92	46.75	38.38	48.99	47.25	52.59	45.72
F-test	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	*	*	**	***
C.V. (%)	8.72	10.35	29.22	20.10	28.89	25.81	36.87	38.29	23.29	22.49	20.50	19.54	13.34	15.90

หมายเหตุ *** = แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 99.9%

** = แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 99%

* = แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

ns = ไม่มีความแตกต่างทางสถิติ ตัวอักษรภาษาอังกฤษพิมพ์เล็กที่อยู่ในแนวตั้งที่ต่างกันมีความแตกต่างกันทางสถิติเมื่อเปรียบเทียบเฉลี่ย โดยวิธี Duncan's multiple range test (DMRT)

ตารางที่ 5 ความกว้างทรงพุ่ม (เซนติเมตร) ความยาวราก (เซนติเมตร) น้ำแห้งราก (กรัม) น้ำหนักแห้งลำต้น (กรัม) ของต้น
กล้วยอายุต่าง ๆ ที่ปลูกในกระถางแอร์พอดขนาดแตกต่างกัน

สิ่งทดลอง	ความกว้างทรงพุ่ม (เซนติเมตร)	ความยาวราก (เซนติเมตร)	น้ำแห้งราก (กรัม)	น้ำหนักแห้งลำต้น (กรัม)
15x20 cm	44.17 ^d	37.00 ^b	13.77 ^c	63.47 ^c
20x20 cm	56.75 ^c	43.17 ^b	18.54 ^c	118.31 ^b
30x30 cm	72.17 ^b	52.17 ^b	37.98 ^b	227.76 ^b
40x40 cm	87.67 ^a	75.83 ^a	56.15 ^b	387.02 ^a
50x50 cm	89.25 ^a	77.00 ^a	68.12 ^a	489.91 ^a
mean	70.00	57.03	38.91	257.29
F-test	***	**	***	***
C.V. (%)	11.28	22.86	32.78	29.28

หมายเหตุ: *** = แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 99.9%

** = แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 99% ตัวอักษรภาษาอังกฤษพิมพ์เล็กที่อยู่ในแนวตั้งที่ต่างกันมีความแตกต่างกันทางสถิติ เมื่อเปรียบเทียบเฉลี่ย โดยวิธี Duncan's multiple range test (DMRT)

การอภิปรายผล

การศึกษามูลของขนาดกระถางแอร์พอดที่แตกต่างกันต่อการเจริญเติบโตทางลำต้นของกล้วยสายพันธุ์หางกระรอกภูพานที่อายุต่าง ๆ หลังย้ายปลูก กระถางแอร์พอดทุกขนาดไม่มีผลต่อจำนวนใบของกล้วยในทุกลำต้นหลังย้ายปลูก ในช่วงแรกของการเจริญเติบโตของต้นกล้วยที่อายุ 1-5 สัปดาห์หลังย้ายปลูก กระถางแอร์พอดทุกขนาดไม่มีผลต่อจำนวนใบ ความสูง ขนาดรอบวงของลำต้น การแผ่ออกของใบประกอบ ความกว้างทรงพุ่มด้านข้างของต้นกล้วย ยกเว้นต้นกล้วยที่ปลูกในกระถางแอร์พอดขนาด 40x40 เซนติเมตร และ 50x50 เซนติเมตร ในสัปดาห์ที่ 5 หลังย้ายปลูกมีขนาดรอบวงของลำต้นมากที่สุด เช่นเดียวกับในสัปดาห์ที่ 6-7 หลังย้ายปลูก ต้นกล้วยมีความสูงเพิ่มขึ้นตามขนาดของภาชนะปลูกซึ่ง พบว่า กล้วยที่ปลูกในกระถางแอร์พอด ขนาด 50x50 เซนติเมตร มีแนวโน้มความสูงของต้นมากที่สุดแต่ไม่แตกต่างกันทางสถิติกับต้นกล้วยที่ปลูกในกระถางแอร์พอด ขนาด 30x30 เซนติเมตร และ 40x40 เซนติเมตร สอดคล้องกับ Otsoseng et al. (2016) ที่ พบว่า ต้นมะเขือเทศพันธุ์ Rodade อายุ 4 สัปดาห์หลังการพัฒนาของใบจริงที่ปลูกในภาชนะปลูกขนาด 18.5, 65.0 และ 170.0 ลูกบาศก์เซนติเมตร มีความสูงเท่ากับ 23.67, 28.87 และ 33.56 เซนติเมตร ตามลำดับ ซึ่งความสูงเพิ่มขึ้นตามขนาดของภาชนะปลูก ในสัปดาห์ที่ 6 หลังย้ายปลูกต้นกล้วยที่ปลูกในกระถางแอร์พอด ขนาด 30x30, 40x40 และ 50x50 เซนติเมตร มีการแผ่ออกของใบประกอบด้านความกว้างและความยาวของมากที่สุด ให้ผลทำนองเดียวกับต้นกล้วยในสัปดาห์ที่ 7 หลังย้ายปลูก ยกเว้นกระถางแอร์พอด ขนาด 30x30 เซนติเมตร ที่มีการแผ่ออกของใบประกอบด้านความยาวน้อยกว่ากระถางแอร์พอด ขนาด 40x40 และ 50x50 เซนติเมตร ตามลำดับ กระถางแอร์พอด ขนาด 40x40 และ 50x50 เซนติเมตร มีขนาดทรงพุ่มมากที่สุด เนื่องจากแอร์พอดที่มีปริมาตรมากจะช่วยเพิ่มพื้นที่ให้รากสามารถชอนไชได้มากขึ้นและดูดอาหารส่งไปยังลำต้นได้ดี แต่หากกระถางมีพื้นที่น้อยเกินไปรากจะเกิดการสานกันจนแน่นเป็นแพ (Rootbound) ทำให้รากไม่สามารถดูดน้ำและสารอาหารเพื่อไปเลี้ยงส่วนต่าง ๆ ของลำต้นได้อย่างมีประสิทธิภาพ ส่งผลให้ต้นกล้วยเจริญเติบโตได้ไม่ดี สอดคล้องกับรายงานของ Boland et al. (2000) พบว่า ขนาดของภาชนะปลูกที่มีปริมาตรดินเพิ่มขึ้น มีผลทำให้ต้นท้อที่ปลูกมีขนาดใบ พื้นที่ใบและทรงพุ่ม และปริมาตรทรงพุ่มและพื้นที่ใบเพิ่มสูงขึ้น และกระถางแอร์พอดขนาดเล็กจะสามารถเก็บความชื้นและน้ำได้ในปริมาณน้อยไม่เพียงพอต่อความต้องการของต้นกล้วยส่งผลให้ต้นกล้วยชะงักการเจริญเติบโตได้ เพราะน้ำเป็นปัจจัยที่สำคัญต่อการเจริญเติบโตของพืช กระถางแอร์พอด ขนาด 40x40 และ 50x50 เซนติเมตร มีความยาวรากมากที่สุด เนื่องจากกระถางแอร์พอดที่มีปริมาตรมากและมีพื้นที่ขนาดใหญ่ส่งผลให้รากสามารถเจริญเติบโตได้เต็มที่ สอดคล้องกับการทดลองของ มงคล และคณะ (2545) ซึ่งทำการศึกษามูลของขนาดภาชนะปลูกต่อการเติบโตของต้นลองกองกิ่งชำ อายุ 2 ปี ในถุงพลาสติกขนาดบรรจุ ดิน 20, 30, 40 และ 90 ลิตร วัดการเจริญเติบโตเป็นระยะเวลา 12 เดือน พบว่า ขนาดภาชนะปลูก 90 ลิตร ทำให้ต้นลองกองมีการเพิ่มของขนาดลำต้น และความยาวรากสูงสุด กระถางแอร์พอด ขนาด 50x50 เซนติเมตร ที่มีขนาดใหญ่ที่สุดให้น้ำหนัก

แห้งรากของต้นกล้วยามากที่สุด ซึ่งให้ผลเช่นเดียวกับน้ำหนักแห้งของต้นกล้วยที่ พบว่า กระถางแอร์พอต ขนาด 50x50 เซนติเมตร ให้น้ำหนักแห้งของต้นกล้วยมากมากที่สุด ไม่แตกต่างกับกระถางแอร์พอต ขนาด 40x40 เซนติเมตร และพบว่า น้ำหนักแห้งของลำต้นและรากเพิ่มขึ้นตามขนาดของกระถางแอร์พอต สอดคล้องกับ Mary and Bruce (2004) ทำการศึกษา ขนาดภาชนะปลูกต่อการเจริญเติบโตของหญ้าประดับที่ปลูกในภาชนะปลูกขนาด 480 มิลลิลิตร 2.7 ลิตร และ 6.4 ลิตร พบว่า ต้นหญ้าประดับมีการเพิ่มขึ้นของน้ำหนักแห้งยอด และรากตามขนาดของภาชนะปลูกที่เพิ่มขึ้น

บทสรุป

จากผลการศึกษาพบว่า กระถางแอร์พอตทุกขนาดไม่มีผลต่อจำนวนใบของต้นกล้วยา กระถางแอร์พอต ขนาด 30x30, 40x40 และ 50x50 เซนติเมตร มีความสูงของต้นกล้วยาดีที่สุด กระถางแอร์พอต ขนาด 40x40 และ 50x50 เซนติเมตร มีขนาดรอบวงลำต้น การแผ่ออกของใบประกอบด้านความกว้างและความยาว ความกว้างทรงพุ่ม ความยาวราก และน้ำหนักแห้งของลำต้นดีที่สุด และกระถางแอร์พอต ขนาด 50x50 เซนติเมตร ต้นกล้วยามีน้ำหนักแห้งรากมากที่สุด ข้อมูลจากงานวิจัยนี้จึงขอเสนอแนะในเบื้องต้นว่ากระถางแอร์พอต ขนาด 50x50 เซนติเมตร น่าจะเหมาะสมสำหรับใช้เป็นภาชนะปลูกกล้วยา เนื่องจากต้นกล้วยาที่ปลูกในกระถางแอร์พอต ขนาด 50x50 เซนติเมตร มีน้ำหนักแห้งของรากมากที่สุด และมีน้ำหนักแห้งของต้นที่สูงมากกว่า 100 กรัมต่อกระถาง ซึ่งรากกล้วยามีประโยชน์ทางการแพทย์และมีมูลค่าสูง หากเปรียบเทียบความคุ้มค่ากับรายจ่ายที่ต้องเพิ่มปริมาณวัสดุจากขนาดกระถาง 40x40 เซนติเมตร เพียงเล็กน้อยย่อมเป็นทางเลือกที่ดีกว่าสำหรับเกษตรกร นอกจากนี้วัสดุที่นำมาใช้ยังสามารถหาได้ง่ายในท้องถิ่นและมีราคาไม่แพง ทั้งนี้ควรมีการศึกษาเพิ่มเติมในด้านของขนาดกระถางแอร์พอตต่อการเจริญเติบโตทางด้านส่วนสืบพันธุ์เพื่อให้ทราบการเจริญเติบโตครบชีวิจักรของต้นกล้วยา

เอกสารอ้างอิง

- พัทยา หวังสุข. (2566). การพัฒนาศักยภาพประชาชนที่สนใจปลูกกล้วยากัญชงพืชเศรษฐกิจจังหวัดอำนาจเจริญ. วารสาร คัมภีร์ผู้บริโภคด้านสุขภาพ. 3(1): 204-219.
- มงคล แซ่หลิม, สายันต์ สดุดี และสุภาณี ชนะวีระวรรณ. (2545) การควบคุมขนาดต้นและการใช้การปลูกระยะชิดในการผลิต ลองกอง. รายงานการวิจัย. ภาควิชาพืชศาสตร์ คณะทรัพยากรธรรมชาติ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขต หาดใหญ่ สงขลา.
- หนึ่ง เตียอำรุง, นันทกร บุญเกิด และพรณลดา ติตตะบุตร. (2564) การผลิตและการใช้ประโยชน์จากกล้วยา. รายงานการ วิจัย. สาขาวิชาเทคโนโลยีชีวภาพ สำนักวิชาเทคโนโลยีการเกษตร มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี นครราชสีมา.
- อภิสิทธิ์ สมหวัง, กษิณีเดช อ่อนศรี, กัญตนา หลอดทองกลาง, เกศินี ศรีปฐมกุล, ธนัชยา เกณฑ์ขุนทด และอภิเดช เอ็มเอี่ยม. (2565). ผลของขนาดภาชนะปลูกต่อการเจริญเติบโตของผักสลัดเรดโอ๊ค. ใน การประชุมวิชาการระดับชาติ วิทยาศาสตร์ วิศวกรรมศาสตร์ เกษตรศาสตร์และเทคโนโลยี ครั้งที่ 2 เรื่องสร้างสรรค์งานวิจัยและนวัตกรรมเชิง พานิชย์ ครั้งที่ 2 27 กรกฎาคม 2565. คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม มหาสารคาม. หน้า 38.
- Al-Menaie H.S., Al-Ragam O., Al Dosery N., Zalzaleh M., Mathew M. and Suresh N. (2012). Effect of pot size on plant growth and multiplication of water lilies (*Nymphaea* spp.). American-Eurasian Journal of Agriculture Environmental Science. 12(2): 148-153.
- Boland A.M., Jerie P.H., Mitchell P.D. and Goodwin I. (2000). Long-term effects of restricted root volume and regulated deficit irrigation on peach: growth and mineral nutrition. Journal American Society of Horticulture Science. 125(1): 135-142.
- Mary H.M. and Bruce A.C. (2004). Effect of media porosity and container size on overwintering and growth of Ornamental Grasses. HortScience. 39(2): 248-250.
- Otsoseng O., Pitso G., Christinah M. and Thembinkosi M. (2016). Effect of container size on the growth and development of tomato seedling. International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences. 5(4): 890-896.

Received: July 8, 2024; Revised: September 5, 2024; Accepted: October 29, 2024

การศึกษาอายุและการเติบโตของปลาหมอขาว (*Yasuhikotakia modesta*)
ในแม่น้ำมูล และแม่น้ำชี
Age and growth of Red tail botia (*Yasuhikotakia modesta*)
in the Mun and Chi rivers

ชนิสรา หมดกรรม¹ จรุงจิต กรุดพันธ์¹ ทวนทอง จูทาเกต¹ และปิยะเทพ อาวะกุล^{2*}
Chanisara Modkham¹, Jarungjit Grudpan¹, Tuantong Jutagate¹ and Piyathap Avakul^{2*}

¹คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี จังหวัดอุบลราชธานี

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

²โครงการจัดตั้งวิทยาเขตนครสวรรค์ มหาวิทยาลัยมหิดล จังหวัดนครสวรรค์

²Academic and Curriculum Division, Mahidol University, Nakhonsawan Campus, Nakhonsawan Province

*Corresponding Author E-mail Address : piyathap.ava@mahidol.edu

บทคัดย่อ

ปลาหมอขาว (*Yasuhikotakia modesta*, (Bleeker, 1864)) เป็นปลาที่มีความสำคัญทางเศรษฐกิจ นิยมนำมาประกอบอาหารและเพาะเลี้ยงเป็นปลาสวยงาม การศึกษาครั้งนี้ได้ศึกษาอายุและการเติบโตของปลาหมอขาวด้วยกระดูกหู จากแม่น้ำสายหลัก 2 สาย (แม่น้ำมูล และแม่น้ำชี) ในพื้นที่จังหวัดอุบลราชธานี ใช้ตัวอย่างปลา 120 ตัวอย่าง ในแม่น้ำมูล ความยาวเฉลี่ยตั้งแต่ 3.4 ถึง 20.0 cm และใช้ตัวอย่างปลาหมอขาวในแม่น้ำชี 120 ตัวอย่าง ความยาวเฉลี่ยตั้งแต่ 3.5 ถึง 18.0 cm นำมาศึกษาอายุด้วยวิธีการอ่านวงวันที พบในกระดูกหู ผลการศึกษาการเติบโตจากแบบจำลอง von Bertalanffy พบว่า ปลาหมอขาวแม่น้ำมูล มีค่าความยาวอนันต์ เท่ากับ 26.36 cm ค่าสัมประสิทธิ์การเติบโต เท่ากับ 1.20 y^{-1} และค่าดัชนีประสิทธิภาพการเติบโต เท่ากับ 1.85 ในขณะที่ปลาหมอขาวแม่น้ำชี พบค่าความยาวอนันต์ เท่ากับ 18.51 cm ค่าสัมประสิทธิ์การเติบโต เท่ากับ 1.44 y^{-1} และค่าดัชนีประสิทธิภาพการเติบโต เท่ากับ 1.62 และในการศึกษาขนาดของกระดูกหู พบว่า ปลาหมอขาวแม่น้ำมูลมีขนาดใหญ่มากกว่าปลาหมอขาวในแม่น้ำชี ซึ่งพบว่า แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) และการศึกษารูปร่างของกระดูกหู พบว่า มีลักษณะคล้ายคลึงกัน ยกเว้นบริเวณส่วนหน้ากระดูกหูของปลาหมอขาวในแม่น้ำมูลจะยื่นยาวกว่า

คำสำคัญ: ปลาหมอขาว อายุ การเติบโต กระดูกหู

Abstract

The red tail botia (*Yasuhikotakia modesta*, (Bleeker, 1864)) is an economically important fish as for food and ornamental purpose. This age and growth of red tail botia from 2 rivers (Mun and Chi rivers) in the Ubon Ratchathani Province, Thailand, were examined. There were 120 fish samples from the Mun River, ranging between 3.4 to 20.0 cm total length (TL). Meanwhile, the samples from the Chi river were 120 fish, ranging in length from 3.5 to 18.0 cm TL. Age was estimated by counting daily ring from otolith, i.e. ear bone. The growth was conducted by von Bertalanffy model. For the Mun-river stock, the asymptotic length

was 26.36 cm TL and the relative growth rate parameter was 1.20 y^{-1} with the growth performance index, i.e. ϕ' , was 1.85. For the Chi-river stock, the asymptotic length was 18.51 cm with the relative growth rate parameter of 1.44 per year and ϕ' value of 1.62. The otolith size of the Mun-river samples were statistically bigger than the samples from Chi-river ($p < 0.05$) as well as the longer anterior portion.

Keywords: Red tail botia, Age, Growth, Otolith

บทนำ

แม่น้ำมูล และแม่น้ำชี เป็นแม่น้ำที่มีขนาดใหญ่ที่สุดในภาคตะวันออกเฉียงเหนือของประเทศไทย และยังเป็นลุ่มน้ำย่อยของแม่น้ำโขง ซึ่งแม่น้ำมูลและแม่น้ำชีมีความยาวทั้งสิ้น 690 และ 765 km ตามลำดับ (Angvanich et al., 1998) ไหลไปรวมกับแม่น้ำมูลที่อำเภอวารินชำราบ จังหวัดอุบลราชธานี และไหลไปบรรจบกับแม่น้ำโขงอีกครั้งที่อำเภอโขงเจียม จังหวัดอุบลราชธานี (Duangswasdi and Chookajorn, 1991; Floch and Molle, 2009) มีรายงานปริมาณผลจับสัตว์น้ำจากธรรมชาติจากแม่น้ำชี ในปี พ.ศ. 2563 อยู่ที่ 11,644 ton ในขณะที่แม่น้ำมูล มีปริมาณผลจับดังกล่าวอยู่ที่ 15,413 ton (Department of Fisheries, 2020) โดยทั้งสองลุ่มน้ำเป็นแหล่งน้ำที่มีความหลากหลายของสิ่งมีชีวิต รวมทั้งเป็นแหล่งอาหารและแหล่งสร้างรายได้ให้กับชาวประมงในพื้นที่ (De Silva, 2001) จากการรายงานความหลากหลายของชนิดพันธุ์ปลาในแม่น้ำชี พบว่า ส่วนใหญ่เป็นวงศ์ปลาตะเพียน หรือ Cyprinidae อย่างน้อย 171 ชนิด มีปริมาณผลจับสัตว์น้ำอยู่ที่ $1.03 \pm 0.20 \text{ kg day}^{-1}$ (Satahporn et al., 2022) ซึ่งในแม่น้ำมูล พบชนิดพันธุ์ปลามากกว่า 270 สายพันธุ์ (Yuka, 2020) ซึ่งในความหลากหลายของชนิดพันธุ์ปลาเหล่านั้นพบปลาหมอ (Botiidae) 57 ชนิด และได้รับความนิยมในการนำมาเพาะเลี้ยงเป็นปลาสวยงาม โดยเฉพาะปลาหมอในสกุล *Botia*, *Syccrossus* และ *Yasuhikotakia* (Saengsitthisak et al., 2021)

สำหรับปลาหมอสกุล *Yasuhikotakia* พบว่า มีอยู่ทั้งหมด 7 ชนิด โดย *Yasuhikotakia modesta* หรือปลาหมอขาวเป็นชนิดที่พบการแพร่กระจายพันธุ์มากที่สุดในประเทศไทย โดยอยู่รวมกันเป็นฝูง นิยมหากินซากพืช ซากสัตว์ในเวลากลางคืนตามบริเวณพื้นที่ตอไม้ที่เป็นทรายหรือกรวด และเป็นแหล่งน้ำไหลที่ใสสะอาด (Bardach, 1959; Rainboth, 1996; Baird et al., 1999; Khamtorn, 1999; Poulsen et al., 2004) พบว่า ชุกชุมในช่วงฤดูฝนหลังจากเดือนเมษายนไปจนถึงเดือนพฤษภาคม และวางไข่ในช่วงเดือนพฤษภาคม ถึงเดือนสิงหาคม ซึ่งมักจะถูกจับจากการทำการประมงในช่วงเวลาดังกล่าว (Poulsen et al., 2004; Viravong, 2006) จากรายงานการสำรวจปลาหมอขาวในบริเวณประเทศไทย สาธารณรัฐประชาธิปไตยประชาชนลาว พบที่มีความยาวเหยียดตั้งแต่ 3-15 cm และพบความยาวสูงสุดที่ 25 cm โดยที่ลูกปลาวัยอ่อนจะพบจุดสีดำกระจายอยู่บริเวณส่วนหัว ด้านข้างลำตัวมีแถบสีดำ 7-9 แถบ แต่ในปลาโตเต็มวัยจะไม่พบจุดสีดำ และแถบสีดำดังกล่าว ครีบทูครีบมีสีส้ม (Termvidchakorn and Hurtle, 2013; Nagao Natural Environment Foundation, 2021) ความผันแปรของสีลำตัว และครีบขึ้นอยู่กับสภาพแวดล้อม ปลาที่พบในภาคตะวันออกเฉียงเหนือจะมีสีส้ม ในขณะที่ปลาในแม่น้ำเจ้าพระยาครีบทูจะมีสีเหลือง (Khamtorn, 1999) การวิเคราะห์ระดับโมเลกุลเปรียบเทียบระหว่างปลาที่ไม่มีแถบสีดำข้างลำตัว และปลาที่มีแถบ พบว่า ไม่มีความแตกต่างกัน ในการศึกษาพันธุกรรมระหว่างปลาที่มีครีบทูสีส้ม และครีบทูสีเหลือง พบว่า ไม่มีความแตกต่างกัน (Šlechtová et al., 2007) ซึ่งการใช้ประโยชน์ของปลากลุ่มนี้ นอกจากเพื่อการบริโภคและยังเป็นเพื่อการพักผ่อนหย่อนใจในการนำไปเป็นปลาสวยงาม ทั้งนี้เอเชียเป็นภูมิภาคที่มีชื่อเสียงในการส่งออกปลาสวยงาม โดยเฉพาะประเทศไทย (Baoprasertkul and Kaenchan, 2019; Evers et al., 2019; Saengsitthisak et al., 2021) โดยปลาสวยงามร้อยละ 90 เป็นปลาน้ำจืดที่ถูกจับจากธรรมชาติประกอบไปด้วยวงศ์ Cyprinodontiformes, Perciformes, Characiformes และ Siluriformes รวมทั้ง Botiidae (Evers et al., 2019) อย่างเช่นในโตเนเลสาบ กัมพูชา มีปริมาณผลจับปลาหมอขาว ตั้งแต่ปี 2557-2562 เพิ่มขึ้นจากปีที่ผ่านมาถึง 6.3 เท่า (Thapa et al., 2023) จะเห็นได้ว่าความต้องการที่เพิ่มขึ้นของผู้บริโภคส่งผลต่อสต็อกสัตว์น้ำและความยั่งยืนทางการประมง

การศึกษาอายุและการเติบโตของประชากรสัตว์น้ำ ถือเป็นสิ่งสำคัญอย่างยิ่งต่อการทำความเข้าใจถึงระบบนิเวศ และแหล่งที่อยู่อาศัยของสัตว์น้ำ โดยอาศัยข้อมูลทางชีววิทยา พลวัตประชากร เพื่อการประเมินทรัพยากรประมง (Denechaud et al.,

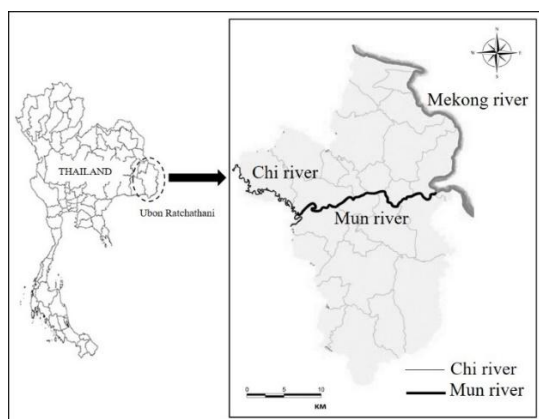
2020) สำหรับการประเมินพลวัตประชากรจะต้องมีค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ เข้ามาเกี่ยวข้อง เช่น อัตราการตาย อัตราการเกิด และอัตราการทดแทนที่ รวมไปถึงผลการศึกษายาวของสัตว์น้ำที่สามารถนำมาประยุกต์ใช้เป็นข้อมูลพื้นฐานในการกำหนดมาตรการต่าง ๆ เพื่อการอนุรักษ์ทรัพยากรทางประมง (Denechaud et al., 2020; Ohlberger et al., 2022) วิธีการศึกษายาวและการเติบโตของปลาสามารถศึกษาได้จากการทำเครื่องหมาย การวิเคราะห์ความถี่ของความยาว และการวิเคราะห์ทางกายวิภาคของส่วนแข็งของร่างกาย ได้แก่ เกสต์ กระดูกสันหลัง ก้านครีบแข็ง กระดูกหาง และกระดูกหู (Morales-Nin, 1989; Kishore and Ramsundar, 2007) ทั้งนี้ ในส่วนของกระดูกหู (Otolith) ประกอบไปด้วย 3 ชั้นส่วน ได้แก่ ซากิตตา (Sagitta) ลาฟิลลัส (Lapillus) และแอสเตอร์ริคัส (Astericus) มีโครงสร้างเป็นแคลเซียมคาร์บอเนต (Hong et al., 2019) ภายในกระดูกหูจะเกิดวงแหวนการเติบโตที่ทึบ (Hyaline rings) และสว่าง (Opaque rings) สลับกันไปมา ซึ่งเกิดจากการสะสมสารอนินทรีย์ในรอบวัน มีลักษณะคล้ายวงปีในต้นไม้ (Elsdon et al., 2008) ความแปรปรวนของรูปร่างกระดูกหู มีปัจจัยด้านสิ่งแวดล้อมเข้ามาเกี่ยวข้อง เช่น ระดับน้ำ อุณหภูมิ และวัสดุพื้นท้องน้ำ รวมถึงลักษณะทางสัณฐาน พันธุกรรม (Lombarte et al., 2003; Monteiro et al., 2004) ซึ่งขนาดของกระดูกหู มีความสัมพันธ์กับการเพิ่มขึ้นของขนาดตัวปลา (Chilton and Beamish, 1982; Yilmaz et al., 2014; Bostanci et al., 2017) นอกจากนี้ กระดูกหูยังนิยมนำมาศึกษาชีวประวัติ และสต็อกสัตว์น้ำ (Nazir and Khan, 2021; Santos and Santos, 2022).

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อประมาณอายุและตรวจสอบพารามิเตอร์การเติบโต โดยใช้กระดูกหูของปลาหมอขาวในแม่น้ำมูล และแม่น้ำชี จังหวัดอุบลราชธานี ที่เป็นผลมาจากการถูกนำไปใช้ประโยชน์อย่างหนักในพื้นที่ศึกษาทั้งเพื่อการบริโภคและการนำไปเป็นปลาสวยงาม ผลการศึกษาค้นคว้าครั้งนี้สามารถนำมาใช้เป็นข้อมูลพื้นฐานเพื่อการประเมินสต็อกของประชากรปลา และนำไปประยุกต์ใช้เพื่อการจัดการทรัพยากรอย่างยั่งยืน

วัสดุ อุปกรณ์ และวิธีการ

1. พื้นที่ศึกษา การเก็บตัวอย่าง และเตรียมตัวอย่าง

เก็บรวบรวมตัวอย่างปลาหมอขาวจากชาวประมงพื้นบ้าน ช่วงเดือนตุลาคม 2564 ถึง มกราคม 2565 ซึ่งเป็นฤดูกาลที่พบปลาหมอขาวได้อย่างชุกชุม (Viravong, 2006) ในแม่น้ำมูล ($15^{\circ}16'23.0''\text{N}$ $105^{\circ}26'05.7''\text{E}$) และแม่น้ำชี ($15^{\circ}18'00.5''\text{N}$ $104^{\circ}29'40.0''\text{E}$) แสดงในรูปที่ 1 และรวบรวมตัวอย่างพื้นที่ละ 120 ตัวอย่าง



รูปที่ 1 พื้นที่ศึกษา เก็บรวบรวมตัวอย่างปลาหมอขาวจากแม่น้ำมูล (Mun river) และแม่น้ำชี (Chi river) จังหวัดอุบลราชธานี

หลังจากนั้นนำมาศึกษาต่อที่ห้องปฏิบัติการภาควิชาประมง คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี ด้วยวิธีการวัดขนาดความยาวเหียด ตั้งแต่จงอยปากจนถึงปลายหาง (Total Length; TL) ด้วยเวอร์เนียคาร์ลิเปอร์ (Vernier caliper) ทศนิยม 1 ตำแหน่ง และชั่งน้ำหนักตัวรวม (Total Weight; TW) ด้วยเครื่องชั่งทศนิยม 2 ตำแหน่ง ทำการจดบันทึกข้อมูล

และนำมาผ่าเปิดกระโหลกจนพบกับช่องว่างที่มีชื่อว่า “Cranial cavity” นำกระดูกหูทั้งสองข้างมาล้างด้วยน้ำสะอาด ตากให้แห้งก่อนนำเก็บ ลงในถุงซิปล็อค พร้อมระบุหมายเลขกำกับ ซึ่งกระดูกหูข้างขวาจะถูกนำมาศึกษาขนาดและรูปร่าง ขณะที่กระดูกหูข้างซ้ายจะถูกนำมาศึกษาอายุ โดยวิธีการฝังลงในเรซิน และเก็บไว้ให้แห้งสนิทในอุณหภูมิห้องเป็นเวลา 24 hour ตัดขวาง (Cross section) ด้วยเครื่องเลื่อยเพชรความเร็วต่ำ (South Bay Technology Inc., รุ่น: 650) จากนั้นนำมาขัดด้วยกระดาษทรายความละเอียดสูงเบอร์ 1,500-2,500 จนกระทั่งพบวงแหวนการเติบโตปรากฏชัดขึ้น ส่วนกระดูกหูที่ได้จากปลาที่มีขนาดน้อยกว่า 4 cm จะถูกนำมาแช่ในกลีเซอรินเข้มข้น เป็นเวลาไม่น้อยกว่า 20 min หรือจนกระทั่งพบเข้ากับวงแหวนการเติบโตดังกล่าว

2. การวิเคราะห์ข้อมูล

2.1 ความสัมพันธ์ระหว่างความยาวและน้ำหนัก

การศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักรวม (TW) และความยาวเหยียด (TL) ถูกประมาณการด้วยสมการความยาว-น้ำหนักในรูปของฟังก์ชันพลังงาน (Eq. 1) และ (Eq. 2) การถดถอยเชิงเส้นของลอการิทึมถูกใช้เพื่อประมาณค่าพารามิเตอร์ของสมการ (จุดตัดแกน (a) และความชัน (b)) โดยค่าพารามิเตอร์ b (ความชัน) ใช้การทดสอบทางสถิติ t-test ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 หากมีค่าเท่ากับ 3 จะมีการเติบโตในรูปแบบ Isometric growth

$$TW = aTL^b \quad (\text{Eq. 1})$$

$$\log(TW) = \log a + b \log(TL) \quad (\text{Eq. 2})$$

2.2 การอ่านค่าอายุ

นำกระดูกหูที่ได้จากขั้นตอนข้างต้น มาส่องภายใต้กล้องจุลทรรศน์ที่มีความละเอียด 40x ทำให้พบวงแหวนการเติบโตเป็นวงวัน (Daily ring) จึงต้องทำการศึกษาตามวิธี Ageing based on increment thickness (Ralston, 1976, 1985; Ralston and Miyamoto, 1981, 1983) ด้วยโปรแกรม ImageJ (Rasband, 1997) คำนวณอายุตามสมการ Eq. 3 และ Eq. 4 ทำการเปรียบเทียบอายุของปลาขนาด 3.4-3.5 cm กับรายงานของ Termvidchakorn and Hortle (2013)

$$n\left(\frac{dr}{dt}\right) = \alpha - \beta r + \varepsilon \quad (\text{Eq. 3})$$

$$\hat{T} = (e^\alpha \beta)^{-1} (e^{\beta R} - 1) \quad (\text{Eq. 4})$$

กำหนดให้ dr คือ ระยะทางตามพื้นที่การนับ; dt คือ จำนวนของวงวันที่นับได้ระหว่างพื้นที่; r คือระยะทางจากแกนกลางไปจนถึงจุดศูนย์กลาง; α และ β คือสัมประสิทธิ์ของสมการการถดถอย; $\hat{T}$ คือ อายุ (day) ของปลาแต่ละตัว และ R คือระยะทางทั้งหมดจากแกนกลางจนถึงขอบ (Morales-Nin, 1992)

2.3 การประมาณอายุและการเติบโต

การประมาณค่าอายุและการเติบโต เพื่อเปรียบเทียบระหว่างปลาหมอขาวแม่น้ำมูล และปลาหมอขาวแม่น้ำชี ด้วยแบบจำลอง von Bertalanffy หรือ VBGF ตามสมการ Eq. 5

$$L_t = L_\infty(1 - e^{-k(t-t_0)}) \quad (\text{Eq. 5})$$

กำหนดให้ L_t คือ ความยาวของปลา (cm); L_∞ คือ ความยาวเฉลี่ยสูงสุดที่ปลาสามารถเติบโตได้ (cm); k คือ ค่าสัมประสิทธิ์การเติบโต (y^{-1}); t คือ อายุของปลา (day) และ t_0 คือ อายุของปลาเมื่อมีความยาวเท่ากับศูนย์ โดยการประมาณค่าด้วยวิธีการวิเคราะห์การถดถอยแบบเส้นโค้งการกระจายของข้อมูลระหว่างอายุ (day) และความยาว (cm) ที่ได้จากการศึกษานำมาวิเคราะห์ข้อมูลภายใต้ Package FSA (Ogle et al., 2021) และ fishmethods (Nelson, 2021) โดยใช้สถิติ R (R core team, 2020) และการประเมินดัชนีประสิทธิภาพการเติบโต (Phi-prime value, Φ') (Pauly and Munro, 1984) เพื่อเปรียบเทียบดัชนีประสิทธิภาพการเติบโตตามสมการ Eq. 6

$$\emptyset' = \log(k) + 2\log(L_\infty) \quad (\text{Eq. 6})$$

2.4 การศึกษารูปร่างและขนาดของกระดูกหู

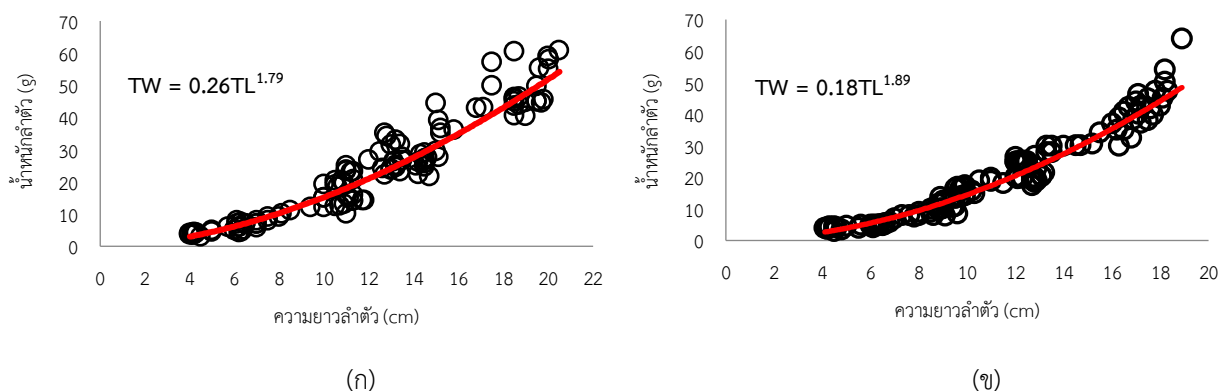
นำกระดูกหูข้างขวาที่ได้จากตัวอย่างปลา มาทำการศึกษาภายใต้กล้องจุลทรรศน์ Primo Star Carl Zeiss, Binocular microscope ที่ความละเอียด 40x จากนั้นถ่ายภาพ นำมาวิเคราะห์ข้อมูลด้วยโปรแกรม ImageJ เพื่อจำแนกรูปร่าง และวัดขนาดความกว้างของกระดูกหู (Otolith Length; OL) ความสูง (Otolith Height; OH) มีหน่วยเป็น mm นำมาวิเคราะห์ข้อมูลเพื่อหาค่าอัตราส่วน หรือ Aspect ratio ดังสมการ Eq. 7 (Tuset et al., 2003; Bascinar, 2018)

$$\text{Aspect Ratio} = \frac{\text{length}}{\text{height}} \quad (\text{Eq. 7})$$

ผลการวิจัย

1. ความสัมพันธ์ระหว่างความยาวและน้ำหนัก

จากตัวอย่างปลาหมอขาวทั้งหมด 240 ตัวอย่าง ขนาดความยาวเฉลี่ยและน้ำหนักเฉลี่ยของปลาหมอขาวแม่น้ำมูล คือ 12.26 ± 4.48 cm และ 22.57 ± 13.73 g ตามลำดับ ในขณะที่ปลาหมอขาวแม่น้ำชี มีขนาดความยาวเฉลี่ยและน้ำหนักเฉลี่ย เท่ากับ 11.36 ± 4.10 cm และ 21.32 ± 16.01 g ความสัมพันธ์ระหว่างความยาวและน้ำหนักของปลาหมอขาวทั้งสองชนิด แสดงในรูปที่ 2 และมีค่าสหสัมพันธ์ ($r > 0.90$) ค่าสัมประสิทธิ์ “b” ของปลาทั้งสองชนิดต่ำกว่า 3 อย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) ซึ่งบ่งชี้การเจริญเติบโตแบบ Negative allometric growth กล่าวคือ การเจริญเติบโตค่อนข้างช้า และมีรูปร่างพอมเมื่อความยาวเพิ่มขึ้น



รูปที่ 2 ความสัมพันธ์ระหว่างความยาว และน้ำหนักของปลาหมอขาวแม่น้ำมูล (ก) และแม่น้ำชี (ข)

2. การอ่านค่าอายุ

ศึกษาอายุจากกระดูกหูข้างซ้ายในปลาหมอขาวทุก ๆ ตัวอย่าง พบวงแหวนการเติบโตเป็นวงวัน ปลาหมอขาวแม่น้ำมูล พบว่ามีอายุน้อยที่สุด 50 day ในปลาขนาด 3.4 cm และมีอายุมากที่สุด 400 day (20 cm) ในขณะที่ปลาหมอขาวแม่น้ำชี ขนาด 3.5 cm อายุน้อยที่สุด 60 day และอายุมากที่สุด 350 day ในปลาขนาด 18 cm (ตารางที่ 1)

3. การประมาณอายุและการเติบโต

การประมาณอายุและการเติบโตจากแบบจำลอง von Bertalanffy ของปลาหมอขาวแม่น้ำมูลและแม่น้ำชี ดังสมการ Eq. 8 และ Eq. 9 ความยาวอนันต์ (Asymptotic length; L_∞) ที่ปลาสามารถเจริญเติบโตได้ของแม่น้ำมูลสูงกว่าแม่น้ำชี ค่าสัมประสิทธิ์การเติบโต (Growth coefficient; K) และอายุของปลาเมื่อมีความยาวเท่ากับศูนย์ (Age when length is

theoretically zero, t_0) (รูปที่ 3) และค่าดัชนีประสิทธิภาพการเติบโต (Phi-prime value, Φ') ของปลาหมอขาวแม่น้ำมูล และแม่น้ำชี คือ 1.85 และ 1.62 ตามลำดับ

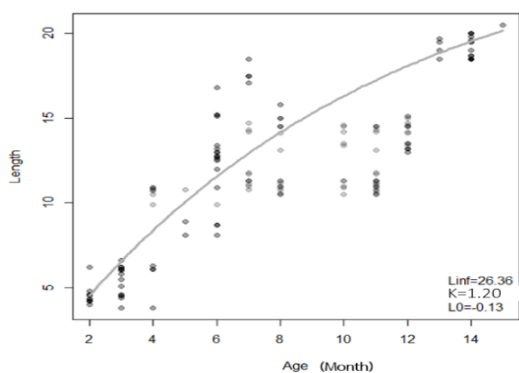
$$L_t = 26.26(1 - e^{-1.20(t+0.05)}) \quad (\text{Eq. 8})$$

$$L_t = 18.51(1 - e^{-1.44(t+0.09)}) \quad (\text{Eq. 9})$$

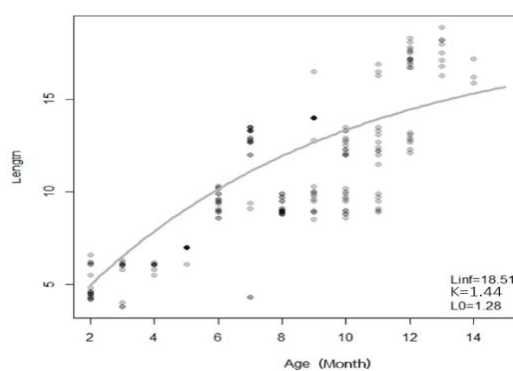
ตารางที่ 1 อายุปลาหมอขาว แม่น้ำมูล และแม่น้ำชี

ความยาวเหยียด (cm)	อายุ (day)								จำนวน วันรวม
	50-60	70-100	110-150	160-200	210-250	260-300	310-350	360-400	
3.4	30,30								60
6		10,11	2,1						24
8			3,1	0,2					5
10			0,1	14,12					27
12				5,3	0,5				13
14				2,2	8,8				20
16				1,1	1,2	9,0	0,7		21
18						5,12	12,23		52
20								18,0	18

หมายเหตุ: ตัวเลขในแต่ละช่องที่ได้จากการศึกษาอายุปลาหมอขาวแม่น้ำมูล และแม่น้ำชี



(ก)

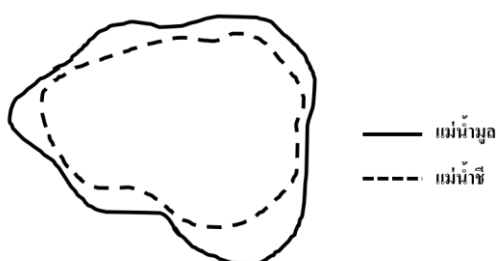


(ข)

รูปที่ 3 แบบจำลองการเติบโต von Bertalanffy ของปลาหมอขาวแม่น้ำมูล (ก) และแม่น้ำชี (ข)

4. การศึกษารูปร่างและขนาดของกระดุกหู

การศึกษารูปร่างของกระดุกหู จากตัวอย่างปลาหมอขาวจะถูกแบ่งออกเป็น 3 ขนาด ได้แก่ ขนาดเล็ก 3.4–10 cm ขนาดกลาง 11–15 cm และขนาดใหญ่ มากกว่า 16 cm พบว่า กระดุกหูมีรูปร่างโดยรวมเป็นวงรี และในปลาหมอขาวแม่น้ำมูล ส่วนหน้าของกระดุกหู (Anterior) มีปลายยื่นยาวออกมา แต่ปลาหมอขาวแม่น้ำชี ส่วนหน้าจะโค้งมน (รูปที่ 4)



รูปที่ 4 รูปร่างของกระดุกหูปลาหมอขาว

การศึกษาขนาดของกระดูกหู จากการวัดค่า Aspect ratio ด้วยโปรแกรม ImageJ เพื่อวัดค่าความกว้าง OL (Otolith Length) และความสูง OH (Otolith Height) จากการเปรียบเทียบความแตกต่างโดยการวิเคราะห์ค่าเฉลี่ยของสองกลุ่มตัวอย่างที่เป็นอิสระจากกัน ใช้สถิติทดสอบ (t-test) ซึ่งผลการทดสอบของข้อมูลไม่เป็นแบบปกติ (Shapiro-Wilk test, $p < 0.05$) จึงต้องใช้วิธีของวิลคอกซัน แมนน์วิทนี (The Wilcoxon-Mann-Whitney test) ที่ความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ผลการศึกษาพบว่า กระดูกหูปลาหมอขาวแม่น้ำมูลมีขนาดใหญ่กว่าปลาหมอขาวแม่น้ำชี อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) (ตารางที่ 2)

ตารางที่ 2 ขนาดของกระดูกหู ปลาหมอขาวแม่น้ำมูล และแม่น้ำชี

แหล่งน้ำ	ขนาดของกระดูกหู (mm)		Aspect ratio (mm)
	ความกว้าง ค่าต่ำสุด-ค่าสูงสุด (ค่าเฉลี่ย $\pm$ ส่วนเบี่ยงเบน มาตรฐาน)	ความสูง ค่าต่ำสุด-ค่าสูงสุด (ค่าเฉลี่ย $\pm$ ส่วนเบี่ยงเบน มาตรฐาน)	ค่าต่ำสุด-ค่าสูงสุด (ค่าเฉลี่ย $\pm$ ส่วนเบี่ยงเบน มาตรฐาน)
แม่น้ำมูล	1.21–2.44 (1.85 $\pm$ 1.22)	0.89–1.89 (1.45 $\pm$ 1.37)	1.07–2.57 (1.86 $\pm$ 0.44)
แม่น้ำชี	1.09–2.35 (1.66 $\pm$ 1.10)	0.77–1.68 (1.22 $\pm$ 1.15)	0.95–2.36 (1.41 $\pm$ 0.20)

การอภิปรายผล

ปลาหมอขาว (*Yasuhikotakia modesta*, (Bleeker, 1864)) นิยมนำมาบริโภค และเพาะเลี้ยงเป็นปลาสวยงาม เก็บรวบรวมตัวอย่างจากแม่น้ำมูล และแม่น้ำชี ในจังหวัดอุบลราชธานี ผลการศึกษาพบว่า ในแม่น้ำมูลมีขนาดใหญ่กว่าปลาหมอขาวแม่น้ำชี ความสัมพันธ์ระหว่างความยาวและน้ำหนัก มีการเจริญเติบโตแบบ Negative allometric growth คือ ปลาที่มีรูปร่างผอมลงเมื่อความยาวเพิ่มขึ้น ในขณะที่ Froese and Pauly (2023) รายงานค่าความชัน (b) ระหว่าง 2.82–3.18 ซึ่ง Viravong (2006) รายงานค่าความชัน (b) 2.90–3.03 มีการเจริญเติบโตแบบ Isometric และ Hanjavanit et al. (2013) รายงานการสำรวจ ปลาหมอขาวในฤดูร้อน และฤดูหนาว พบการเจริญเติบโตแบบ Positive allometric growth ($b=4.05$) และ Negative allometric growth (2.19) ตามลำดับ ค่าความชัน (b) ของความสัมพันธ์ระหว่างความยาวและน้ำหนัก มีความผันแปรตามปัจจัยสิ่งแวดล้อม เช่น อุณหภูมิ น้ำ อาหาร และประเภทของระบบนิเวศ (Wootton, 1992) นอกจากนี้ Qasim (1973) รายงานค่าจุดตัดแกน y (a) และค่าความชัน (b) ไม่เพียงแต่แตกต่างกันระหว่างชนิดเท่านั้น แต่ยังแตกต่างกันภายในชนิดเดียวกัน ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับเพศ ความสมบูรณ์เพศ และแหล่งอาหาร

การประมาณอายุและการเติบโตตามแบบจำลอง von Bertalanffy ความยาวอนันต์ (Asymptotic length) ของปลาหมอขาวแม่น้ำมูลมากกว่าแม่น้ำชี ที่เกิดจากความแตกต่างของแหล่งที่อยู่อาศัย และกลุ่มสต็อก (Santos et al., 2022) ในขณะที่ Viravong (2006) รายงานค่าพารามิเตอร์การเติบโตของปลาหมอขาวที่พบใน สาธารณรัฐประชาธิปไตยประชาชนลาว มีค่าความยาวสูงสุด 31.1 cm ค่าสัมประสิทธิ์การเติบโต 0.69 y^{-1} โดยมีอิทธิพลของสภาพน้ำ อาหาร สภาพการประมง และแหล่งที่อยู่อาศัยเข้ามาเกี่ยวข้อง (Sparre and Venema, 1998; Santos et al., 2022) ในทางตรงกันข้าม พบว่า ดัชนีประสิทธิภาพการเติบโต (ϕ') มีความคล้ายคลึงกันในปลาชนิดเดียวกัน (Pauly, 1979; Pauly and Munro, 1984; Schwamborn et al., 2018; Santos et al., 2022)

จากการศึกษาพบว่า รูปร่างและขนาดกระดูกหูของปลาหมอขาวทั้งสองแตกต่างกัน ซึ่งความแปรปรวนของรูปร่างกระดูกหูมีความเกี่ยวข้องกับปัจจัยด้านสิ่งแวดล้อม เช่น ระดับน้ำ อุณหภูมิ และประเภทวัสดุพื้นท้องน้ำ (Lombarte et al., 2003; Monteiro et al., 2004; Dehghani et al., 2016) รวมไปถึงลักษณะทางสัณฐานวิทยา พันธุกรรม ที่มีผลต่อรูปร่างกระดูกหู (Chilton and Beamish, 1982) ขณะที่ขนาดกระดูกหูจะมีความสัมพันธ์กับขนาดของตัวปลา (Yilmaz et al., 2014; Bostanci et al., 2017)

บทสรุป

การศึกษาอายุและการเติบโตของปลาหมอขาว จากแบบจำลองการเติบโต von Bertalanffy แสดงให้เห็นว่าปลาหมอขาวแม่น้ำมูลมีขนาดใหญ่กว่าปลาหมอขาวแม่น้ำชี จากการศึกษาขนาดและรูปร่างกระดูกหู มีขนาดและรูปร่างที่แตกต่างกัน ปลาหมอขาวพบได้ในฤดูฝน และชุกชุมในฤดูหนาว ข้อมูลพื้นฐานเกี่ยวกับพารามิเตอร์การเจริญเติบโตมีความสำคัญต่อการประเมินสภาพทรัพยากรปลา และกำหนดขนาดแรกจับเบื้องต้น ควรหลีกเลี่ยงการจับปลาในช่วงฤดูผสมพันธุ์และวางไข่ หรือควรใช้ขนาดตาข่ายที่ใหญ่กว่าขนาดแรกสืบพันธุ์เพื่อความยั่งยืนของทรัพยากรปลา

เอกสารอ้างอิง

- Angvanich W., Chinrasri W. and Chinrasri A. (1998). Ichthyofauna and taxonomy of the Chi River's fish in Maha Sarakham Province. Research paper. Faculty of Technology Mahasarakham University Mahasarakham.
- Baird I.G., Inthaphaisy V., Kisouvannalath P., Phylavanh B. and Mounsouphom B. (1999). The Fishes of Southern Lao. Lao Community Fisheries and Dolphin Protection Project: Vientiane.
- Bardach J. (1959). Report on fisheries in Cambodia. United States Operations Mission (USOM): Phnom Penh.
- Bascinar N.S. (2018). Evaluation of otolith shape variability in hatchery reared brook trout (*Salvelinus fontinalis*), Black Sea trout (*Salmo trutta labrax*) and their hybrid. Iranian Journal of Fisheries Sciences. 19(2): 726-734.
- Baoprasertkul P. and Kaenchan N. (2019). Distribution and detection of megalocytivirus in ornamental fish in Thailand. Journal of Fisheries and Environment. 34(1): 11-24.
- Bostanci D., Yedier S., Kontas S., Kurucu G. and Polat N. (2017). Regional variation of relationship between total length and otolith sizes in the three *Atherina boyeri* Risso, 1810 populations. Journal of Fisheries and Aquatic Sciences. 34(1): 11-16.
- Chilton D.E. and Beamish R.J. (1982). Age determination methods for fishes studied by the ground fish program at the Pacific Biological Station. Government of Canada Fisheries and Oceans: Vancouver.
- Dehghani M., Kamrani E., Salarpouri A. and Kamali E. (2016). Age and growth of Sind sardine (*Sardinella sindensis*) using otolith from Qeshm Island (Persian Gulf). Iranian Journal of Fisheries Sciences. 14(1): 217-31.
- Denechaud C., Smolinski S., Geffen A.J., Godiksen J.A. and Campana S.E. (2020). A century of fish growth in relation to climate change, population dynamics and exploitation. Global Change Biology. 26(10): 5661-5678.
- Department of Fisheries. (2020). Statistics of freshwater animals captured from a natural source in 2019. Fisheries Development Policy and Planning Division: Bangkok.
- De Silva S.S. (2001). Reservoir fisheries: broad strategies for enhancing yields. Accessed 14 Dec. 2023. <https://www.aciar.gov.au>.
- Duangswasdi S. and Chookajorn T. (1991). Fisheries characteristic, species and distribution of fishes in the Mun River. Accessed 14 Jan. 2024. <https://elibonline.fisheries.go.th/elib>.
- Elsdon T.S., Wells B.K., Campana S.E., Gillanders B.M., Jones C.M., Limburg K.E., Secor D.H., Thorrold S.R. and Walther B.D. (2008). Otolith chemistry to describe movements and life-history parameters of fishes: hypotheses, assumptions, limitations and inferences. Oceanography and Marine Biology. 46(1): 297-330.

- Evers H.G., Pinnegar J.K. and Taylor M.I. (2019). Where are they all from? sources and sustainability in the ornamental freshwater fish trade. *Journal of Fishbiology*. 20(19): 1-8.
- Floch P. and Molle F. (2009). Water traps: The elusive quest for water storage in the Chi-Mun Basin Thailand. University of Natural Resources and Applied Life Sciences: Chiang Mai.
- Froese R. and Pauly D. (2023). Fishbase. Accessed 15 Apr. 2023. <http://fishbase.org/search.php>.
- Hanjavanit C., Buomra S. and Sangpradub N. (2013). The length-weight relationships condition factors and gut contents of *Syncrossus helodes* (Sauvage, 1876) and *Yasuhikotakia modesta* (Bleeker, 1864) from the Mekong River, Muang District, Nong Khai Province, Northeastern Thailand. Accessed 14 Nov. 2023. https://academicjournals.org/article/article1385040022_Hanjavanit%20et%20al.
- Hong P., Katayama S.K., Yamamoto M., Ishii M., Baba T., Saeki M., Suzuki M., Nakaya M. and Yagi Y. (2019). Comparison of age and growth of the marbled flounder *Pseudopleuronectes yokohamae* (Günther, 1877) in the coastal waters of Japan. *Asian Fisheries Science*. 32(1): 72–80.
- Khamtorn C. (1999). Some aspects of biology, behavior and ecology of Yellow-tail botia (*Yasuhikotakia modesta* Bleeker, 1865). M.Sc. Thesis. Department of Fisheries, Faculty of Fisheries, Kasetsart University.
- Kishore R. and Ramsundar H. (2007). Community based fisheries management from Ortoire to Guayaguayare. *Gulf and Caribbean fisheries institute*. 59(2): 99-110.
- Lombarte A., Gabriel T. and Morales-nin B. (2003). Specific merluccius otolith growth patterns related to phylogenetic and environmental factors. *Journal of the Marine Biological Association*. 83(2): 277–281.
- Monteiro L.R., Guillermo L.H., Rivera L.A. and Di-Beneditto A.P.M. (2004). Geometric methods combining contour and landmark information in the statistical analysis of biological shape. In *Proceedings of the Third Brazilian Symposium on Mathematical and Computational Biology* 1-2 March 2004. Rio De Janeiro. Brazil.
- Morales-Nin B. (1989). Growth determination of tropical marine fishes by means of otolith interpretation and length frequency analysis. *Aquatic living resources*. 2(1): 241-253.
- Morales-Nin B. (1992). Determination of growth in bony fish from otolith microstructure. Accessed 15 Feb. 2024. <https://www.fao.org/4/t0529e/T0529E00.htm>.
- Nagao Natural Environment Foundation. (2021). *Fishes of the Indochinese Mekong*. Nagao Natural Environment Foundation: Tokyo.
- Nazir A. and Khan M.A. (2021). Using otoliths for fish stock discrimination. *Acta Ichthyologica et Piscatoria*. 51(2): 199-218.
- Nelson G. (2021). *Fishery science methods and models of R package version 1.11-2*. Accessed 10 Feb. 2024. <https://CRAN.R-project.org/package=fishmethods>.
- Ogle D.H., Doll J.C., Wheeler A.P. and Dinno A. (2021). *Fisheries stock analysis (R package version 0.9.1.)*. Accessed 10 Feb. 2024. <http://www.CRAN.R-project.org/package=FSA>.
- Ohlberger J., Øystein L. and Leif C.S. (2022). Age structure affects population productivity in an exploited fish species. *Ecological Applications*. 32(5): 14-26.
- Pauly D. and Munro J.L. (1984). Once more on the comparison of growth in fish and invertebrates. *ICLARM Fishbyte*. 2(2): 1-21.
- Pauly D. (1979). Gill size and temperature as governing factors in fish growth: A generalization of von Bertalanffy's growth formula. Accessed 1 Mar. 2024. <https://oceans.ubc.ca/2024/06/03/new-fcrr-gill-size-and-temperature-as-governing-factors-in-fish-growth-a-generalization-of-von-bertalanffys-growth-formula-2nd-edition>.

- Poulsen A.F., Hortle K.G., Valbo-Jørgensen J., Chan S., Chhuon C.K., Viravong S., Bouakhamvongsa K., Suntornratana U., Yoorong N., Nguyen T.T. and Tran B.Q. (2004). Distribution and ecology of some important riverine fish species of the Mekong River basin. Accessed 1 Mar. 2024.
https://archive.iwlearn.net/mrcmekong.org/download/free_download/Technical_paper10.pdf
- Qasim S.Z. (1973). An appraisal of the studies on maturation and spawning in marine telosts from the Indian water. *Indian Journal Fish.* 20(1): 166-181.
- Rainboth W.J. (1996). *Fishes of the Cambodian Mekong*. Food and Agriculture Organization of the United Nations: Rome.
- Ralston S. (1976). Age determination of a tropical reef butterfly fish utilizing daily growth rings of otolith. *Fishery Bulletin*: NY.
- Ralston S. and Miyamoto G.T. (1981). Estimation of the age of a tropical reef fish using the density of daily growth increments. In the Fourth International Coral Reef Symposium Proceeding 18-22 May 1981. Marine Sciences Center. Quezon. 83-88.
- Ralston S. and Miyamoto G.T. (1983). Analyzing the width of daily otolith increment to age the Hawaiian snapper *Pristipomoides filamentosus*. *Fishery Bulletin*. 81(3): 523-535.
- Ralston S. (1985). A novel approach to ageing tropical fish. *ICLARM Newsletter*. 8(1): 14-18.
- Rasband W.S. (1997). *ImageJ*. National Institute of Health: NY.
- R core team. (2020). R: a language and environment for statistical computing. Accessed 9 May. 2024.
<http://www.r-project.org/index.html>.
- Saengsitthisak B., Punyapornwithaya V., Chair W., Mektrirat R., Bernard J.K. and Pikulkaew S. (2021). The current state of biosecurity and welfare of ornamental fish population in pet fish stores in Chiang Mai Province, Thailand. *Veterinary Integrative Sciences*. 19(2): 277-294.
- Santo L. and Vaz-dos-Santos A.M. (2022). Insights of otoliths morphology to reveal patterns of teleostean fishes in the Southern Atlantic. *Fishes*. 8(1): 1-21.
- Sathapor C., Jarungjit G. and Tuantong J. (2022). Structure of fish communities in Chi River categorized by trophic levels: trend and variation. *Journal of science and technology*. 24(3): 20-29.
- Sparre P. and Venema S.C. (1998). *Introduction to tropical fish stock assessment*. Accessed 3 Feb. 2024.
<https://openknowledge.fao.org/server/api/core/bitstreams/bc7c37b6-30df-49c0-b5b4-8367a872c97e/content>.
- Schwamborn R., Mildenerberger T.K. and Taylor M.H. (2018). Bootstrap-based methods for the study of fish stocks and aquatic populations. Accessed 12 Feb. 2024.
<https://github.com/rschwamborn/fishboot>.
- Šlechtová V., Bohlen J. and Tan H.H. (2007). Families of Cobitoidea (Teleostei: Cypriniformes) as revealed from nuclear genetic data and the position of the mysterious genera *Barbucca*, *Psilorhynchus*, *Serpenticobitis* and *Vailantella*. *Molecular Phylogenetics and Evolution*. 44(2007): 1358-1365.
- Termvidchakornm A. and Hortle K.G. (2013). *A guide to larvae and juveniles of some common fish species from the Mekong River Basin*. Mekong River Commission: Phnom Penh.
- Thapa J., English M., Ou C., Lanoue J. and Walker R.H. (2023). Assessment of the floodplain fishery of Tonle Sap Lake in Cambodia. *Fisheries Management and Ecology*. 31(3): 1-9. DOI: 10.1111/fme.12683.
- Tuset V., Lozano I., Gonzalez J., Pertusa J. and García-Díaz M. (2003). Shape indices to identify regional differences in otolith morphology of comber, *Serranus cabrilla* (L., 1758). *Journal of Applied Ichthyology*. 19(2): 88-93. DOI: 10.1046/j.1439-0426.2003.00344.

- Viravong S. (2006). Observations of the fisheries of the Mekong with notes on the life history strategies of four fish species (*Botia modesta*, *Henicorhynchus siamensis*, *Helicophagus waandersii* and *Probarbus jullieni*). Ph.D. Thesis. Hull International Fisheries Institute, University of Hull.
- Wootton R.J. (1992). Fish ecology. Blackie Academic and Professional: London.
- Yilmaz S., Semra A.S. and Nazmi P. (2014). Relationships of otolith dimensions with body length of European perch, *Perca fluviatilis* L., 1758 from Lake Ladik Turkey. Pakistan Journal of Zoology. 46(1): 1231-1238.
- Yuka k. (2020). Learning about fish in the Mun river basin. Accessed 20 Jan. 2024.
<http://www.mekongwatch.org/PDF/FishofMun2020-Eng.pdf>.

Received: March 27, 2024; Revised: October 29, 2024; Accepted: November 4, 2024

การคัดแยกเชื้อแบคทีเรียที่ผลิตเอนไซม์เซลลูเลสจากดินที่มีเปลือกทุเรียน Isolation of cellulase producing bacteria from soils containing durian husks

ปฐมาภรณ์ ทิลารักษ์¹ สุจิตรา ทิพย์ศรีราช¹ กรรณิการ์ เจริญสุข¹ ปิริยาภรณ์ อันอามมงาม¹
พรพนิต ศศิวัฒน์ชุติกุล¹ ยุพา บุญมี¹ และอมรรัตน์ สุวรรณโพธิ์ศรี^{1*}
Patamaporn Tilarux¹, Sujitra Thipsrirach¹, Kannikar Charoensuk¹, Piriyaaporn Anartngam¹,
Pronpanit Sasivatchutikool¹, Yupha Boonme¹ and Amornrat Suwanposri^{1*}

¹คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม การเกษตร มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก วิทยาเขตจันทบุรี จังหวัดจันทบุรี

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

*Corresponding Author E-mail Address: amornrat_su@rmutto.ac.th

บทคัดย่อ

การศึกษาในครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อคัดแยกแบคทีเรียที่ผลิตเอนไซม์เซลลูเลสจากตัวอย่างดินที่มีการทับถมกันของเปลือกทุเรียน จำนวน 3 จุด ในบริเวณมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก วิทยาเขตจันทบุรี เพื่อประโยชน์ในการย่อยสลายอินทรีย์วัตถุและผลิตปุ๋ยชีวภาพ โดยคัดเลือกแบคทีเรียตัวแทนได้ทั้งหมดจำนวน 17 ไอโซเลท และจากการวัดความสามารถในการย่อยสลายเซลลูโลสโดยการเกิดโซไน (Hydrolytic Capacity; HC) บนอาหารแข็ง Carboxymethyl cellulose (CMC) สามารถคัดแยกแบคทีเรียที่ผลิตเอนไซม์เซลลูเลสได้จำนวน 11 ไอโซเลท มีค่า HC อยู่ระหว่าง 1.44 ± 0.19 ถึง 7.63 ± 2.63 ไอโซเลท S1-5, S2-4 และ S3-3 เป็นไอโซเลทที่มีประสิทธิภาพสูงสุดในการย่อยสลายเซลลูโลสจากตัวอย่างดินแต่ละชนิดเมื่อทำการจัดจำแนกโดยใช้ลักษณะทางสัณฐานวิทยาและการตรวจสอบลำดับนิวคลีโอไทด์ของ 16S rRNA gene พบว่าไอโซเลท S1-5 เซลล์มีรูปร่างเป็นท่อน ติดสีแกรมบวก คือเชื้อ *Bacillus stercoris* ไอโซเลท S2-4 และ S3-3 เซลล์มีรูปร่างเป็นเส้น ติดสีแกรมบวก คือ เชื้อ *Streptomyces osmaniensis* จากการศึกษาการผลิตเอนไซม์เซลลูเลสในอาหารเหลว CMC ค่าพีเอช 7 ที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส พบว่าไอโซเลท S1-5 ผลิตเอนไซม์เซลลูเลสได้สูงที่สุด (0.41 ± 0.03 ยูนิต/มิลลิลิตร) อย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) รองลงมาคือ S2-4 (0.19 ± 0.02 ยูนิต/มิลลิลิตร) และ S3-3 (0.17 ± 0.01 ยูนิต/มิลลิลิตร) ตามลำดับ ผลการศึกษาที่ได้แสดงให้เห็นว่าแบคทีเรียที่คัดแยกได้มีศักยภาพในการย่อยสลายเซลลูโลส และเป็นข้อมูลในการนำไปประยุกต์ใช้ในการย่อยสลายเศษซากอินทรีย์จากพืชซึ่งเป็นองค์ประกอบหลักสำหรับการผลิตปุ๋ยชีวภาพได้

คำสำคัญ: การคัดแยกเชื้อแบคทีเรีย แบคทีเรียผลิตเซลลูเลส กิจกรรมเอนไซม์เซลลูเลส เปลือกทุเรียน ปุ๋ยชีวภาพ

Abstract

The objective of this study was to isolate of cellulase producing bacteria from three soil samples underneath durian husks at Rajamangala University of Technology Tawan-ok, Chanthaburi campus, for the utilization in organic matter decomposition and biofertilizer production. The 17 isolates were selected and analysis of cellulose degradation with the Hydrolytic Capacity (HC) on carboxymethyl cellulose (CMC) agar was determined. The 11 cellulase producing isolates were obtained with HC in the range of 1.44 ± 0.19 -

7.63±2.63. The isolate S1-5, S2-4 and S3-3 exhibited the highest cellulase-producing activity from each soil samples. Morphological characteristics and 16s rRNA gene sequencing analysis were performed. The results showed that isolate S1-5 was Gram-positive bacteria with short rod shape and identified as *Bacillus stercoris* while the isolate S2-4 and S3-3 were Gram-positive with filamentous shape and identified as *Streptomyces osmaniensis*. The production of cellulase in CMC broth pH 7 at 30°C indicated that isolate S1-5 produced the highest cellulase yield (0.41±0.03 Unit/ml) with statistical significance ($p \leq 0.05$) followed by isolate S2-4 (0.19±0.02 Unit/ml) and S3-3 (0.17±0.01 Unit/ml), respectively. From the obtained results, it was revealed that the isolated cellulase producing bacteria had the potential to degrade cellulose. These findings provide information that can be applied in the hydrolysis of organic debris from plants, which are the main component for biofertilizer production.

Keywords: Microbial isolation, Cellulase producing microorganism, Cellulase activity, Durian husk, Biofertilizer

บทนำ

ในปัจจุบันประชาชนหันมาสนใจในเรื่องของสุขภาพมากยิ่งขึ้น โดยการเลือกซื้อผลิตภัณฑ์อาหารที่ปลอดภัยและปราศจากสารเคมีที่เป็นพิษต่อร่างกาย ทำให้ผลิตภัณฑ์ทางการเกษตร ได้แก่ ธัญพืช ผัก และผลไม้ ที่ผลิตโดยใช้เกษตรอินทรีย์ (Organic agriculture) เป็นที่ต้องการของผู้บริโภคมากยิ่งขึ้น การทำเกษตรอินทรีย์นั้นเป็นการผลิตผลผลิตทางการเกษตรที่เน้นการใช้วัสดุธรรมชาติ ไม่ใช้วัตถุดิบที่มาจากการสังเคราะห์ และพืช สัตว์ หรือจุลินทรีย์ที่ผ่านการดัดแปรพันธุกรรม (Genetically modified microorganism) ทำให้ผลผลิตที่ได้ปราศจากสารพิษและสารเคมีตกค้าง มีความปลอดภัยต่อผู้บริโภคและเป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม (สำนักงานมาตรฐานสินค้าเกษตรและอาหารแห่งชาติ, 2564) โดยแนวโน้มของตลาดเกษตรอินทรีย์นั้นกำลังเป็นที่นิยมของทั่วโลก ซึ่งมีมูลค่าตลาดโลกสูงถึงปีละ 3.55 ล้านล้านบาท และขยายตัวต่อเนื่องทุกปี ในปัจจุบันไทยมีมูลค่าตลาดเกษตรอินทรีย์ ประมาณ 3,000 ล้านบาท โดยเป็นการบริโภคในประเทศ 900 ล้านบาท และตลาดต่างประเทศ 2,100 ล้านบาท คิดเป็นมูลค่าส่งออกประมาณร้อยละ 0.06 ของมูลค่าตลาดโลก (สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร, 2563) จากการขยายตัวของตลาดเกษตรอินทรีย์ ส่งผลให้ปริมาณความต้องการในการใช้ปุ๋ยที่ผลิตจากวัสดุธรรมชาติ เช่น ปุ๋ยชีวภาพ (Biofertilizer) สูงขึ้น เนื่องจากเป็นปัจจัยการผลิตที่สามารถนำมาใช้ทดแทนปุ๋ยเคมีได้

ปุ๋ยชีวภาพเป็นปุ๋ยที่ประกอบด้วยจุลินทรีย์ที่มีชีวิตที่เป็นประโยชน์ต่อพืชและดิน โดยปุ๋ยชีวภาพจะช่วยรักษาความอุดมสมบูรณ์ของดินทำให้ดินประกอบด้วยสารอาหารหลัก (Macro-nutrient) และสารอาหารรอง (Micro-nutrient) ผ่านการตรึงไนโตรเจน ช่วยละลายฟอสเฟตและโพแทสเซียมหรือแร่ธาตุในดิน ปลดปล่อยสารที่ช่วยส่งเสริมการเจริญเติบโตของพืช สร้างสารปฏิชีวนะและทำให้เกิดการย่อยสลายทางชีวภาพของสารอินทรีย์ในดิน (Sinha et al., 2010) การผลิตปุ๋ยชีวภาพสามารถทำได้โดยการนำไปไม้ เศษผัก หรือเปลือกผลไม้มาหมักกับจุลินทรีย์ จากนั้นจุลินทรีย์จะย่อยวัตถุดิบเหล่านั้นให้เป็นสารที่เป็นประโยชน์ต่อพืช ซึ่งองค์ประกอบหลักของเชื้ออินทรีย์จากพืชที่ใช้ในการผลิตปุ๋ยชีวภาพคือเซลลูโลส มีมากถึงร้อยละ 97-99 ของสารอินทรีย์ทั้งหมด สะสมอยู่ในผนังเซลล์ของพืช การย่อยสลายเซลลูโลสสามารถทำได้ 2 วิธี ได้แก่ 1) วิธีการทางเคมีซึ่งเป็นการย่อยสลายด้วยกรดภายใต้อุณหภูมิสูง มีข้อดีคือใช้เวลาสั้น แต่มีข้อเสียคือได้น้ำตาลกลูโคสในปริมาณต่ำและเกิดผลิตภัณฑ์ชนิดอื่น ๆ ที่ไม่ต้องการ 2) วิธีการทางชีวภาพจะเป็นการย่อยด้วยเอนไซม์เซลลูเลสที่ผลิตโดยจุลินทรีย์ ซึ่งมีข้อดีคือสามารถเกิดการย่อยสลายเซลลูโลสได้ภายใต้สภาวะที่ไม่รุนแรง ใช้อุณหภูมิต่ำ เอนไซม์มีความจำเพาะเจาะจงกับเซลลูโลสมาก ทำให้ไม่เกิดการสูญเสียน้ำตาลกลูโคสในระหว่างการผลิตและไม่เกิดผลิตภัณฑ์อื่น ๆ ที่ไม่ต้องการ (Fan et al., 1987) ข้อเสียใช้เวลานาน เอนไซม์เซลลูเลสเป็นกลุ่มเอนไซม์เชิงซ้อน (Complex enzyme) ประกอบด้วยเอนไซม์ 3 ชนิด คือ 1) เอนโด-เบต้า-1,4 กลูคาเนส (Endo-β-1,4 glucanase) ทำหน้าที่ย่อยโมเลกุลของเซลลูโลสในส่วนที่ไม่เป็นระเบียบ (Amorphous) หรือย่อยอนุพันธ์ของเซลลูโลส 2) เซลโลไบโอไฮโดรเลส (Cellulohydrolase) ทำหน้าที่ย่อยสลายเซลลูโลสจากปลายด้านที่ไม่มือน้ำตาลรีดิวซ์ (Non-reducing sugar) รวมถึงย่อยสลายเซลลูโลสที่จัดตัวอย่างเป็นระเบียบ (Microcrystalline cellulose) ได้ผลิตภัณฑ์ส่วนใหญ่เป็นน้ำตาลเซลโลไบโอส (Cellobiose) และ 3) เบต้า-ดี-กลูโคซิเดส

(β -D-glucosidase) ทำหน้าที่ย่อยสลายน้ำตาลเซลโลไบโอสเป็นน้ำตาลกลูโคส (Juturu and Wu, 2014) ในการผลิตปุ๋ยชีวภาพจะนิยมย่อยสลายเซลลูโลสโดยใช้เอนไซม์เซลลูเลสจากจุลินทรีย์

จุลินทรีย์ที่มีความสามารถในการผลิตเอนไซม์เซลลูเลสมีหลายชนิด ยกตัวอย่าง เช่น เชื้อรา ได้แก่ *Aspergillus*, *Penicillium* และ *Trichoderma* (Li et al., 2020b) เป็นต้น แบคทีเรีย ได้แก่ *Bacillus*, *Clostridium* และ *Pseudomonas* เป็นต้น (Lynd et al., 2002) และแบคทีเรียแอคติโนมัยสิท ได้แก่ *Actinoplanes*, *Microbispora* และ *Streptomyces* เป็นต้น (Nurkanto, 2009; Saini et al., 2015) ซึ่งเรียกจุลินทรีย์เหล่านี้ว่า จุลินทรีย์ผลิตเซลลูเลส (Cellulase producing microorganism) จากการศึกษาค้นคว้า พบว่าแบคทีเรียจะเป็นจุลินทรีย์ที่ได้รับความสนใจในการนำมาศึกษาการผลิตเอนไซม์เซลลูเลสเป็นอย่างมากเมื่อเปรียบเทียบกับการผลิตเอนไซม์เซลลูเลสจากเชื้อรา เนื่องจากหากเพาะเลี้ยงเชื้อจุลินทรีย์ทั้งสองชนิดในอาหารที่ใช้วัตถุดิบชนิดเดียวกัน เชื้อแบคทีเรียจะสามารถสร้างและปลดปล่อยเอนไซม์เซลลูเลสที่มีความซับซ้อนมากกว่า ซึ่งเอนไซม์เซลลูเลสที่หลั่งออกมาสามารถช่วยในการส่งเสริมประสิทธิภาพให้กับเอนไซม์ที่อยู่ในตระกูลเดียวกันทำให้สามารถย่อยเซลลูโลสได้ดีกว่า นอกจากนี้เชื้อแบคทีเรีย้นี้มีความหลากหลาย เจริญเติบโตได้อย่างรวดเร็ว ปรับตัวให้เข้ากับสภาพแวดล้อมได้ดีกว่า รวมถึงเอนไซม์เซลลูเลสที่หลั่งออกมาก็มีความเสถียรมากกว่า (Bilal and Iqbal, 2020) มีงานวิจัยรายงานว่าสามารถคัดแยกแบคทีเรียที่ผลิตเอนไซม์เซลลูเลสได้จากสิ่งแวดล้อมที่หลากหลาย เช่น ดิน เศษวัตถุอินทรีย์ ลำไ้สุกร กระเพาะหมักและมูลของโค เป็นต้น (ชนิดาภา และคณะ, 2561; Das et al., 2010; Yang et al., 2014)

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก วิทยาเขตจันทบุรี ตั้งอยู่ในจังหวัดจันทบุรี ซึ่งเป็นจังหวัดที่มีทรัพยากรธรรมชาติอุดมสมบูรณ์และมีความหลากหลายทางชีวภาพของจุลินทรีย์ ประชากรส่วนใหญ่นิยมประกอบอาชีพเกษตรกรรม ทำสวนผลไม้และแปรรูปผลไม้ ทุเรียนเป็นไม้ผลเศรษฐกิจที่สำคัญชนิดหนึ่งของจังหวัดจันทบุรี ซึ่งปริมาณความต้องการในการบริโภคทุเรียนทั้งในรูปของผลสดและแปรรูปนั้นเพิ่มสูงขึ้นในทุกปี โดยส่วนของเนื้อทุเรียนที่สามารถรับประทานได้คิดเป็นร้อยละ 10-30 และมีส่วนเหลือทิ้ง เช่น เปลือกร้อยละ 50-60 และเมล็ดร้อยละ 10-20 (Purnomo et al., 2016) ส่งผลให้มีส่วนของเปลือกทุเรียนเหลือทิ้งเป็นจำนวนมาก ในโรงงานอุตสาหกรรมที่ผลิตทุเรียนแปรรูป จะมีปริมาณของเหลือทิ้งจากทุเรียนสูงถึง 1,000 ตัน ต่อปี โดยวิธีการในการกำจัดส่วนใหญ่คือการนำไปถมที่หรือเผา ซึ่งก่อให้เกิดปัญหาด้านสิ่งแวดล้อม ในเรื่องของกลิ่น คับ และแมลงรบกวน แต่อย่างไรก็ตามในเปลือกทุเรียนมีธาตุโพแทสเซียมสูง จะช่วยส่งเสริมการเจริญเติบโตพืช การติดดอกและทำให้ผลผลิตมีคุณภาพสูงขึ้น มีรายงานถึงการนำเปลือกทุเรียนไปใช้คลุมโคนต้นทุเรียนหรือผลิตเป็นปุ๋ยหมัก (กรมพัฒนาที่ดิน, 2551) โดยนำไปผสมกับมูลโคในอัตราส่วน 3:1 โดยปริมาตร เพื่อใช้ในการผลิตปุ๋ยหมัก พบว่าปุ๋ยหมักที่ได้มีความเหมาะสมในการนำไปใช้ เนื่องจากคุณสมบัติปุ๋ยหมักที่ได้ส่วนใหญ่มีค่าผ่านเกณฑ์มาตรฐานปุ๋ยอินทรีย์ของกรมวิชาการเกษตร (วัชร และคณะ, 2565) แสดงให้เห็นว่าเปลือกทุเรียนน่าจะสมารถนำมาใช้เป็นวัตถุดิบในการผลิตปุ๋ยชีวภาพได้ โดยผู้วิจัยคาดหวังว่าหากนำดินที่มีการทับถมกันของเปลือกทุเรียนมาใช้ในการคัดแยกเชื้อแบคทีเรียที่ผลิตเอนไซม์เซลลูเลสจะทำให้ได้แบคทีเรียที่สามารถผลิตเอนไซม์เซลลูเลสซึ่งมีประสิทธิภาพในการย่อยสลายเซลลูโลสของเปลือกทุเรียนได้สูง ส่งผลให้สามารถนำเปลือกทุเรียนมาใช้เป็นวัตถุดิบในการผลิตปุ๋ยชีวภาพได้ยิ่งขึ้น ดังนั้นการศึกษาในครั้งนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อคัดแยกเชื้อแบคทีเรียที่มีอยู่ในท้องถิ่นที่มีประสิทธิภาพสูงซึ่งสามารถย่อยสลายเซลลูโลสได้จากดินที่มีการทับถมกันของซากเปลือกทุเรียน เพื่อนำไปประยุกต์ใช้ในการผลิตปุ๋ยชีวภาพ เป็นการช่วยลดปัญหามลพิษด้านสิ่งแวดล้อม ลดปัญหาขยะอินทรีย์ พัฒนาทรัพยากรที่สามารถนำมาใช้ประโยชน์ใหม่ได้ เพิ่มมูลค่าและเป็นแนวทางในการนำเปลือกผลไม้เหลือทิ้งไปใช้ประโยชน์อย่างยั่งยืน

วัสดุ อุปกรณ์ และวิธีการ

1. การเก็บตัวอย่างดิน

เก็บตัวอย่างดินในบริเวณมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก วิทยาเขตจันทบุรี ตำบลพลวง อำเภอเขาคิชฌกูฏ จังหวัดจันทบุรี โดยทำการเก็บตัวอย่างดินบริเวณที่มีการทิ้งเปลือกทุเรียนไว้นาน 1 เดือน อุณหภูมิของดินประมาณ 35-40 องศาเซลเซียส กำหนดพื้นที่ของความกว้าง×ยาว×ลึก คือ 10×10×10 เซนติเมตร เก็บตัวอย่างทั้งหมด 3 จุด โดยแต่ละตัวอย่างมีระยะห่างกันที่ 10 เมตร และนำดินตัวอย่างที่ได้ไปใช้ในการคัดแยกเชื้อแบคทีเรียผลิตเอนไซม์เซลลูเลส

2. การคัดแยกแบคทีเรียจากดินตัวอย่าง

นำตัวอย่างดินน้ำหนัก 10 กรัม ใส่ลงในขวดรูปชมพู่ที่อยู่ในบรรจุสารละลายโซเดียมคลอไรด์ความเข้มข้นร้อยละ 0.85 ซึ่งผ่านการฆ่าเชื้อแล้ว ปริมาตร 90 มิลลิลิตร ทำการเจือจางสารละลายตัวอย่างให้อยู่ในช่วง 10^{-1} - 10^{-8} จากนั้นนำมาเพาะเลี้ยงเชื้อด้วยวิธีการ Spread plate โดยปิเปตสารละลายตัวอย่างปริมาตร 0.1 มิลลิลิตร ลงบนอาหารแข็ง Nutrient agar (NA) บ่มที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24-48 ชั่วโมง สังเกตและนับจำนวนโคโลนีที่มีการเจริญ คัดเลือกแบคทีเรียตัวแทนที่มีลักษณะโคโลนีที่แตกต่างกัน รวมถึงการศึกษาลักษณะโคโลนีของเชื้อที่แยกได้บนอาหารเลี้ยงเชื้อ จากนั้นนำไปทำให้บริสุทธิ์ด้วยวิธีการ Cross streak plate ดัดแปลงจากวรศิลป์ และคณะ (2562) และเก็บเชื้อแบคทีเรียที่คัดแยกได้ในอาหาร NA slant เก็บไว้ที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส เพื่อใช้ในการศึกษาขั้นต่อไป

3. การคัดเลือกแบคทีเรียที่มีความสามารถในการผลิตเอนไซม์เซลลูเลส

ตรวจสอบความสามารถในการผลิตเอนไซม์เซลลูเลสของเชื้อแบคทีเรียที่คัดแยกได้โดยใช้วิธี Congo red นำไอโซเลทที่คัดแยกได้ไปเพาะเลี้ยงด้วยวิธีการ Point inoculation technique บนอาหาร Carboxymethyl cellulose (CMC) agar ประกอบด้วยเปปโตน ร้อยละ 1.0, CMC ร้อยละ 1.0, K_2HPO_4 ร้อยละ 0.2, วุ้น ร้อยละ 1.0, $MgSO_4 \cdot 7H_2O$ ร้อยละ 0.3, $(NH_4)_2SO_4$ ร้อยละ 0.5, เจลาตินร้อยละ 0.2 และปรับพีเอชให้เป็น 7.0 ซึ่งเป็นอาหารจำเพาะที่ใช้ในการคัดแยกจุลินทรีย์ที่มีความสามารถในการผลิตเอนไซม์เซลลูเลส บ่มที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 48 ชั่วโมง (Irfan et al., 2012) จากนั้นย้อมด้วย Congo red ความเข้มข้นร้อยละ 0.1 เป็นเวลา 20 นาที และล้างด้วยโซเดียมคลอไรด์ความเข้มข้น 1 โมลาร์ เป็นเวลา 15 นาที สังเกตการผลิตเอนไซม์เซลลูเลสจากขนาดของโซนใสที่เกิดขึ้นและคำนวณความสามารถในการผลิตเอนไซม์เซลลูเลส (Hydrolysis capacity; HC) ดังสมการ (Sreeja et al., 2013)

$$\text{Hydrolysis capacity (HC)} = \frac{\text{เส้นผ่านศูนย์กลางโซนใส (เซนติเมตร)}}{\text{เส้นผ่านศูนย์กลางของโคโลนี (เซนติเมตร)}} \quad (1)$$

4. การศึกษากิจกรรมของเอนไซม์เซลลูเลสของแบคทีเรียที่คัดแยกได้

นำแบคทีเรียที่คัดแยกได้มาศึกษากิจกรรมของเอนไซม์เซลลูเลส โดยเฉพาะเลี้ยงในอาหารเหลว CMC นำไปเลี้ยงบนเครื่องเขย่า (4000, Innova, USA) ความเร็ว 180 รอบต่อนาที ที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง จากนั้นปั่นเหวี่ยงด้วยเครื่องปั่นเหวี่ยง (4K15, Sartorius, Germany) ที่ความเร็ว 14,000 รอบต่อนาทีเป็นเวลา 10 นาที ที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส ดัดแปลงจากชนิดานา และคณะ (2561) นำส่วนใส (Supernatant) ที่ได้จากการปั่นเหวี่ยงไปวิเคราะห์กิจกรรมของเอนไซม์เซลลูเลสที่เกิดขึ้นจากปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ที่ผลิตได้ ด้วยวิธี Dinitrosalicylic acid (DNS) (Miller, 1959) โดยการนำส่วนใส ปริมาตร 0.5 มิลลิลิตร เติมสารละลาย CMC ความเข้มข้น ร้อยละ 1 ปริมาตร 0.5 มิลลิลิตร ที่อยู่ในสารละลายโซเดียมซิเตรทบัฟเฟอร์ ความเข้มข้น 0.05 โมลาร์ บ่มที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที หลังจากนั้นหยุดปฏิกิริยาโดยการเติมสารละลาย DNS ปริมาตร 1.5 มิลลิลิตร และต้มที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส ใน Water bath เป็นเวลา 5 นาที วัดค่าดูดกลืนแสงด้วยเครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ (Libra S22, Biochrom, England) ที่ความยาวคลื่น 540 นาโนเมตร และนำค่าที่ได้เทียบกับกราฟมาตรฐานของกลูโคส กำหนดให้ 1 ยูนิตของเอนไซม์ เท่ากับ 1 มิลลิกรัมของกลูโคส/มิลลิลิตร

5. การจัดจำแนกแบคทีเรียที่ผลิตเอนไซม์เซลลูเลส

จัดจำแนกแบคทีเรียที่ผลิตเอนไซม์เซลลูเลสโดยการศึกษาลักษณะของโคโลนี จากนั้นจัดจำแนกถึงระดับสปีชีส์ด้วยการศึกษาลำดับนิวคลีโอไทด์ 16S rRNA โดยนำโคโลนีของไอโซเลทที่มีความสามารถในการผลิตเอนไซม์เซลลูเลสได้สูงที่สุดมาทำการสกัดดีเอ็นเอ และเพิ่มปริมาณยีน 16S rRNA ด้วยไพรเมอร์ 27F 5'(AGA GTT TGA TCM TGG CTC AG) 3' และ 1492R 5' (TAC GGY TAC CTT GTT ACG ACT T) 3' โดยใช้ Polymerase chain reaction (PCR) จากนั้นนำ PCR product ที่ได้ไปวิเคราะห์หาลำดับนิวคลีโอไทด์ (DNA sequencing) โดยใช้ไพรเมอร์ 785F 5' (GGA TTA GAT ACC TGG TA) 3' และ 907R 5' (CCG TCA ATT CMT TTR AGT TT) 3' (Macrogen Inc, Korea) และผลที่ได้มาจัดเรียงด้วยโปรแกรม

BioEdit (Ibis Bioscience) เปรียบเทียบกับลำดับนิวคลีโอไทด์ในฐานข้อมูล EZBioCloud (www.ezbiocloud.net/identify; Yoon et al., 2017) และหาความสัมพันธ์เชิงวิวัฒนาการของแบคทีเรียที่ผลิตเอนไซม์เซลลูเลสโดยการสร้างแผนภูมิต้นไม้วงศ์วานความสัมพันธ์ทางพันธุกรรม (Phylogenetic tree) ด้วยวิธี Neighbor-joining (Saitou and Nei, 1987) โดยใช้โปรแกรม MEGA 11 software (Tamura et al., 2021)

6. การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ

โดยวางแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ (Completely Randomized Design) การทดลองละ 3 ซ้ำ ผลการทดลองที่ได้แสดงในรูปของค่าเฉลี่ย±ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน นำผลการทดลองที่ได้มาวิเคราะห์ความแปรปรวนด้วยวิธี One-way Analysis of Variance (ANOVA) และเปรียบเทียบค่าเฉลี่ย ด้วยวิธี Duncan's multiple range test (DMRT) ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

ผลการวิจัย

1. การคัดแยกแบคทีเรียจากดิน

จากการศึกษาการคัดแยกแบคทีเรียจากตัวอย่างดินที่มีการทับถมกันของเปลือกทุเรียนที่เก็บรวบรวมได้ในบริเวณมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก วิทยาเขตจันทบุรี จำนวน 3 จุด มาแยกเชื้อบนอาหาร NA พบการเจริญของเชื้อแบคทีเรียของตัวอย่างดินทั้ง 3 จุด และสามารถคัดแยกแบคทีเรียได้มากที่สุดจากตัวอย่างดินจุดที่ 2 รองลงมาคือตัวอย่างดินจุดที่ 3 และ 1 ตามลำดับ จากนั้นคัดเลือกแบคทีเรียตัวแทนจากดินแต่ละจุด โดยใช้ความเหมือนและความแตกต่างทางสัณฐานวิทยาของโคโลนี รูปร่างของเซลล์และการติดสีแกรม สามารถคัดแยกแบคทีเรียตัวแทนได้ทั้งหมด จำนวน 17 ไอโซเลทจากตัวอย่างดินจุดที่ 1 จำนวน 7 ไอโซเลท ดินจุดที่ 2 จำนวน 5 ไอโซเลท และดินจุดที่ 3 จำนวน 5 ไอโซเลท (ตารางที่ 1) โดยมีลักษณะดังนี้ โคโลนีมีรูปร่างกลม ไม่แน่นอน และ Rhizoid ขอบหยักหรือเรียบ ผิวมันขรุขระ สีขาวขุ่น ครีมน และเหลือง มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 0.04-0.43 เซนติเมตร

ตารางที่ 1 ลักษณะโคโลนีของแบคทีเรียที่คัดแยกได้

ตัวอย่างดิน	ไอโซเลท	โคโลนี			
		สี	ขอบ	รูปร่าง	การยกตัว
1	S1-1	ขาวขุ่น	หยัก	ไม่แน่นอน	flat
	S1-2	ครีม	เรียบ	กลม	convex
	S1-3	ขาวขุ่น	เรียบ	กลม	flat
	S1-4	ขาวขุ่น	เรียบ	กลม	convex
	S1-5	ขาวขุ่น	หยัก	กลม	flat
	S1-6	ขาวขุ่น	หยัก	ไม่แน่นอน	convex
	S1-7	ครีม	เรียบ	กลม	flat
2	S2-1	ขาวขุ่น	คลื่น	ไม่แน่นอน	flat
	S2-2	ครีม	คลื่น	ไม่แน่นอน	flat
	S2-3	เหลือง	เรียบ	กลม	convex
	S2-4	ขาวขุ่น	หยัก	ไม่แน่นอน	convex
	S2-5	ครีม	คลื่น	ไม่แน่นอน	flat
3	S3-1	ขาวขุ่น	เรียบ	กลม	flat
	S3-2	ขาวขุ่น	เรียบ	กลม	convex
	S3-3	ขาวขุ่น	หยัก	ไม่แน่นอน	convex
	S3-4	เหลือง	หยัก	ไม่แน่นอน	convex
	S3-5	ครีม	หยัก	ไม่แน่นอน	convex

2. การคัดเลือกแบคทีเรียที่มีความสามารถในการผลิตเอนไซม์เซลลูเลส

ผลการตรวจสอบความสามารถในการผลิตเอนไซม์เซลลูเลสของไอโซเลทที่คัดแยกได้บนอาหารแข็ง CMC ด้วยวิธี Congo red แสดงในตารางที่ 2 คัดแยกแบคทีเรียที่สามารถผลิตเอนไซม์เซลลูเลสได้จากการพบวงไฮโดรไลซิสทั้งหมดจำนวน 11 ไอโซเลท (ร้อยละ 64.71) จากดินจุดที่ 1 จำนวน 4 ไอโซเลท (S1-1, S1-2, S1-5 และ S1-7) คิดเป็นร้อยละ 23.52 มีค่า HC อยู่ระหว่าง 1.44 ± 0.19 ถึง 7.63 ± 2.13 ดินจุดที่ 2 จำนวน 3 ไอโซเลท (S2-2, S2-3 และ S2-4) คิดเป็นร้อยละ 17.65 มีค่า HC อยู่ระหว่าง 1.43 ± 0.06 ถึง 3.63 ± 0.78 และดินจุดที่ 3 จำนวน 4 ไอโซเลท (S3-1, S3-3, S3-4 และ S3-5) คิดเป็นร้อยละ 23.52 มีค่า HC อยู่ระหว่าง 1.44 ± 0.19 ถึง 3.04 ± 0.86 โดยแบ่งค่า HC ออกเป็น 3 ระดับ ดังนี้ ระดับที่ 1 ประสิทธิภาพต่ำ ($HC=0.01-1.49$) ระดับที่ 2 ประสิทธิภาพปานกลาง ($HC=1.50-2.99$) และระดับที่ 3 ประสิทธิภาพสูง ($HC \geq 3.00$) พบแบคทีเรียที่สามารถผลิตเอนไซม์เซลลูเลสได้ในระดับต่าง ๆ ดังนี้ ระดับสูงจำนวน 3 ไอโซเลท ระดับปานกลางจำนวน 3 ไอโซเลท และระดับต่ำจำนวน 5 ไอโซเลท ซึ่งไอโซเลท S1-5, S2-4 และ S3-3 เป็นไอโซเลทที่มีประสิทธิภาพสูงอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) ในการย่อยสลายเซลลูโลสในตัวอย่างดินจุดที่ 1 จุดที่ 2 และจุดที่ 3 ตามลำดับ

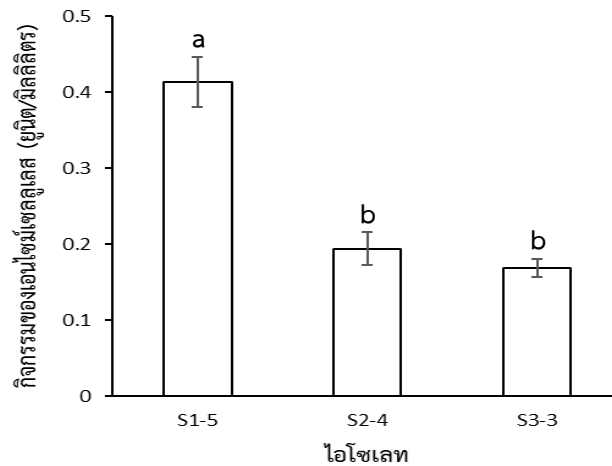
ตารางที่ 2 ความสามารถในการย่อยสลายเซลลูโลสของไอโซเลทที่คัดแยกได้

ไอโซเลท	ขนาดของโซนใส (เซนติเมตร)	ขนาดของโคโลนี (เซนติเมตร)	Hydrolysis capacity (HC)
S1-1	0.30 ± 0.04	0.21 ± 0.00	1.44 ± 0.19^b
S1-2	0.22 ± 0.02	0.14 ± 0.00	1.58 ± 0.44^b
S1-3	0.00 ± 0.00	0.15 ± 0.03	0.00 ± 0.00^b
S1-4	0.00 ± 0.00	0.30 ± 0.01	0.00 ± 0.00^b
S1-5	3.13 ± 0.10	0.43 ± 0.01	7.63 ± 2.13^a
S1-6	0.00 ± 0.00	0.17 ± 0.05	0.00 ± 0.00^b
S1-7	0.35 ± 0.05	0.25 ± 0.00	1.44 ± 0.19^b
S2-1	0.00 ± 0.00	0.23 ± 0.07	0.00 ± 0.00^c
S2-2	0.23 ± 0.02	0.14 ± 0.00	1.58 ± 0.14^b
S2-3	0.48 ± 0.04	0.34 ± 0.04	1.43 ± 0.06^b
S2-4	1.18 ± 0.04	0.33 ± 0.07	3.63 ± 0.78^a
S2-5	0.00 ± 0.00	0.31 ± 0.05	0.00 ± 0.00^c
S3-1	0.17 ± 0.02	0.12 ± 0.00	1.44 ± 0.19^b
S3-2	0.00 ± 0.00	0.22 ± 0.02	0.00 ± 0.00^c
S3-3	0.46 ± 0.04	0.16 ± 0.05	3.04 ± 0.86^a
S3-4	0.21 ± 0.03	0.14 ± 0.00	1.44 ± 0.19^b
S3-5	0.27 ± 0.02	0.16 ± 0.00	1.67 ± 0.14^b

หมายเหตุ: ^{a-c} หมายถึง ตัวอักษรในคอลัมน์ที่ต่างกัน แสดงถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

3. การศึกษากิจกรรมของเอนไซม์เซลลูเลสของไอโซเลทตัวแทน

จากการนำไอโซเลทตัวแทนซึ่งคัดเลือกจากประสิทธิภาพในการย่อยสลาย (ค่า HC) สูงที่สุดของตัวอย่างดินแต่ละจุด มาศึกษากิจกรรมของเอนไซม์เซลลูเลสในอาหารเหลว CMC พบว่า ไอโซเลท S1-5 มีกิจกรรมของเอนไซม์เซลลูเลสสูงอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) เท่ากับ 0.41 ± 0.03 ยูนิต/มิลลิลิตร รองลงมาคือไอโซเลท S2-4 เท่ากับ 0.19 ± 0.02 ยูนิต/มิลลิลิตร แต่ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญกับไอโซเลท S3-3 ที่มีกิจกรรมของเอนไซม์เซลลูเลส เท่ากับ 0.17 ± 0.01 ยูนิต/มิลลิลิตร (รูปที่ 1)



รูปที่ 1 กิจกรรมของเอนไซม์เซลลูเลสที่ผลิตจากไอโซเลทตัวแทน

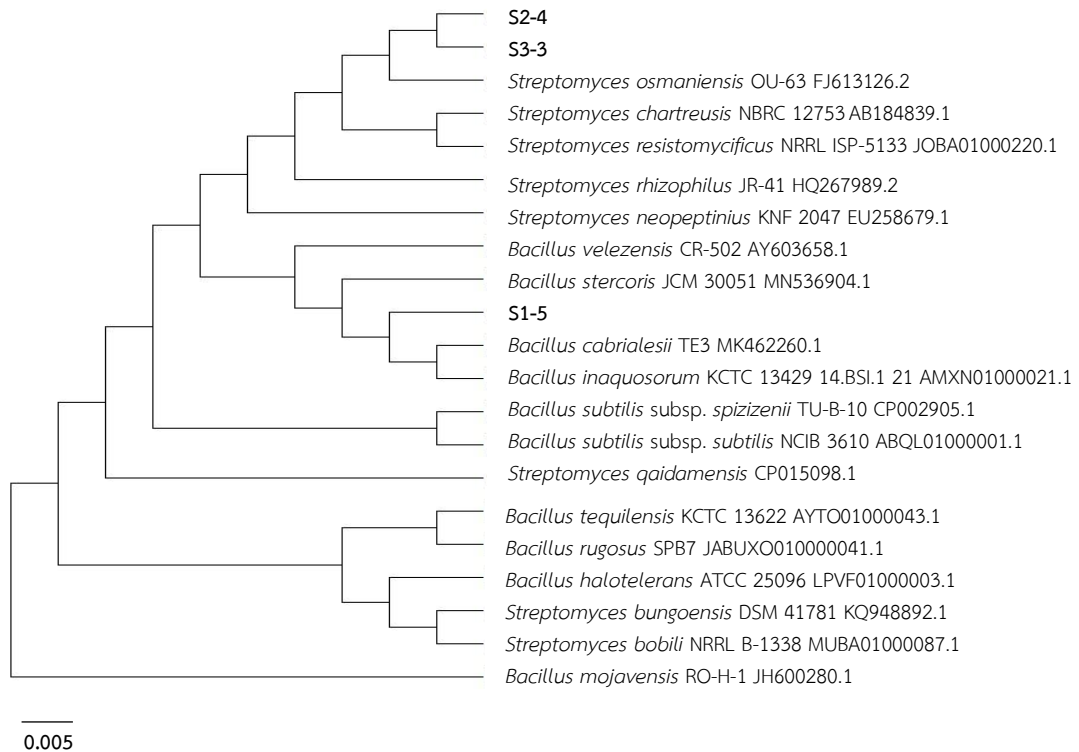
4. การจัดจำแนกไอโซเลทตัวแทนที่มีประสิทธิภาพสูงในการผลิตเอนไซม์เซลลูเลส

จากผลการนำลำดับนิวคลีโอไทด์บริเวณยีน 16S rRNA ของไอโซเลทตัวแทนเปรียบเทียบกับลำดับนิวคลีโอไทด์ในฐานข้อมูล EZBiocloud พบว่า ไอโซเลท S1-5 สามารถจัดจำแนกได้เป็นกลุ่ม *Bacillus* โดยมีความคล้ายคลึงกับ *B. tequilensis*, *B. cabrialesii*, *B. inaquosorum*, *B. rugosus* และ *B. stercoris* ร้อยละ 99.93, 99.93, 99.93, 99.86 และ 99.86 ตามลำดับ และไอโซเลท S2-4 และ S3-3 สามารถจัดจำแนกได้เป็นกลุ่ม *Streptomyces* โดยไอโซเลท S2-4 มีความคล้ายคลึงกับ *S. chartreusis*, *S. osmaniensis*, *S. resistomycificus*, *S. rhizophilus* และ *S. neopeptinius* ร้อยละ 99.38, 99.01, 98.83, 98.83 และ 98.78 ตามลำดับ และไอโซเลท S3-3 มีความคล้ายคลึงกับ *S. chartreusis*, *S. osmaniensis*, *S. resistomycificus*, *S. neopeptinius* และ *S. kunmingensis* ร้อยละ 99.21, 98.83, 98.79, 98.77 และ 98.72 ตามลำดับ (ตารางที่ 4) จากการวิเคราะห์แผนภูมิต้นไม้ความสัมพันธ์ทางพันธุกรรมของไอโซเลท S1-5, S2-4 และ S3-3 ด้วยโปรแกรม MEGA11 โดยใช้ Neighbor-Joining algorithm ผลการวิเคราะห์สนับสนุนผลการเปรียบเทียบกับลำดับนิวคลีโอไทด์ของแบคทีเรียที่เรียกฐานข้อมูล EZBiocloud ซึ่งแสดงความใกล้ชิดทางวิวัฒนาการของยีน 16S rRNA มากกว่าร้อยละ 99 ดังนั้นจึงสามารถสรุปได้ว่าไอโซเลท S1-5 มีความใกล้ชิดมากที่สุดกับ *B. stercoris* และไอโซเลท S2-4 และไอโซเลท S3-3 ใกล้ชิดมากที่สุดกับ *S. osmaniensis* (รูปที่ 2)

ตารางที่ 4 ผลการเปรียบเทียบลำดับนิวคลีโอไทด์ของไอโซเลทตัวแทนกับลำดับนิวคลีโอไทด์ในฐานข้อมูล EZBiocloud

ไอโซเลท	สายพันธุ์	Accession No.	Similarity (%)
S1-5	<i>Bacillus tequilensis</i>	AYTO01000043	99.93
	<i>Bacillus cabrialesii</i>	MK462260	99.93
	<i>Bacillus inaquosorum</i>	AMXN01000021	99.93
	<i>Bacillus rugosus</i>	ABQL01000001	99.86
	<i>Bacillus stercoris</i>	JABUXO010000041	99.86
S2-4	<i>Streptomyces chartreusis</i>	AB184839.1	99.38
	<i>Streptomyces osmaniensis</i>	FJ613126.2	99.01
	<i>Streptomyces resistomycificus</i>	JOBA01000220.1	98.83
	<i>Streptomyces rhizophilus</i>	HQ267989.2	98.83
	<i>Streptomyces neopeptinius</i>	EU258679.1	98.78
S3-3	<i>Streptomyces chartreusis</i>	AB184839.1	99.21
	<i>Streptomyces osmaniensis</i>	FJ613126.2	98.83

<i>Streptomyces resistomycificus</i>	JOBA01000220.1	98.79
<i>Streptomyces neopeptinius</i>	EU258679.1	98.77
<i>Streptomyces kunmingensis</i>	AB184597.1	98.72



รูปที่ 2 แผนภูมิต้นไม้วงศ์วานความสัมพันธ์ทางพันธุกรรมของไอโซเลท S1-5, S2-4 และ S3-3 วิเคราะห์ด้วยโปรแกรม MEGA11 โดยใช้ Neighbor-Joining algorithm

การอภิปรายผล

แบคทีเรียที่ย่อยสลายเซลลูโลสนั้นสามารถคัดแยกได้จากแหล่งที่หลากหลาย ได้แก่ ปุ๋ยคอก เศษใบไม้ ขอนไม้ มูลสัตว์ และโดยเฉพาะอย่างยิ่งดินซึ่งเป็นแหล่งที่มีความอุดมสมบูรณ์และมีจุลินทรีย์หลากหลายชนิดที่อาศัยอยู่ในดิน ก่อนหน้านี้นักวิจัยหลายงานที่ทำการคัดแยกเชื้อแบคทีเรียที่ผลิตเอนไซม์เซลลูเลสจากดิน (วรศิลป์ และคณะ, 2562; พรพรรณ และอุษณีย์, 2563; Inan et al., 2023) โดยการศึกษาในครั้งนี้ทำการคัดแยกเชื้อแบคทีเรียที่ผลิตเอนไซม์เซลลูเลสจากดินที่มีการทับถมกันของซากเปลือกทุเรียน ซึ่งเป็นพืชเศรษฐกิจหลักของจังหวัดจันทบุรี เนื่องจากต้องการนำไปประยุกต์ใช้ในการผลิตปุ๋ยชีวภาพที่ใช้เปลือกทุเรียนและเปลือกผลไม้ต่าง ๆ เป็นวัตถุดิบ ในการคัดแยกแบคทีเรียที่ย่อยสลายเซลลูโลสจากดินทั้ง 3 จุด สามารถคัดแยกไอโซเลทตัวแทนได้ทั้งหมดจำนวน 17 ไอโซเลท โดยใช้ความเหมือนและความแตกต่างของโคโลนี ซึ่งไอโซเลทตัวแทนนั้นมีโคโลนีรูปร่างกลมและไม่แน่นอน ขอบหยักหรือเรียบ สีขาวขุ่น ครีมน และเหลือง มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 0.04-0.43 เซนติเมตร เซลล์มีรูปร่างเป็นท่อนสั้น รูปกลม และเส้นใยติดสีแกรมบวก สอดคล้องกับการศึกษาของ Dewiyanti et al. (2022) ที่ทำการคัดแยกแบคทีเรียที่ย่อยสลายเซลลูโลสจากดินป่าชายเลนในชายฝั่งทางตอนเหนือของจังหวัดอาเจะห์ ประเทศอินโดนีเซีย โดยดินที่นำมาศึกษามี 2 ชนิดได้แก่ ดินจากป่าชายเลนที่ระบบนิเวศน์ไม่ถูกรบกวนจากสึนามิในปี พ.ศ. 2547 และดินจากป่าชายเลนที่ได้รับการฟื้นฟูโดยการปลูกพืชทดแทนหลังเกิดสึนามิ สามารถคัดแยกได้แบคทีเรียที่มีลักษณะที่หลากหลาย ได้โคโลนีรูปร่างไม่แน่นอน รูปกลม และเป็นเส้นใย ขอบเรียบ หยัก รูปคลื่นและเป็นเส้นใย โคโลนีสีครีมและขาว ตัวเซลล์รูปท่อน รูปกลม ติดสีแกรมบวกและแกรมลบ เมื่อทำการทดสอบความสามารถในการผลิตเอนไซม์เซลลูเลสพบว่า มีทั้งหมด 11 ไอโซเลท ที่มีความสามารถในการผลิตเอนไซม์เซลลูเลส โดยจำนวนของแบคทีเรียที่ผลิตเซลลูเลสซึ่งคัดแยกได้ใน

ครั้งนี้ใกล้เคียงกับรายงานของ Ahmed et al. (2018) ที่คัดแยกแบคทีเรียผลิตเอนไซม์เซลลูเลสจากดินใต้ต้นไม้ที่มีการเนาเปื้อนของซากพืชในพื้นที่เขตเกษตรกรรมของเมือง Mafikeng ประเทศแอฟริกาใต้ ได้จำนวน 10 ไอโซเลท ซึ่งแตกต่างจากรายงานของ Irfan et al. (2012) ที่ทำการคัดแยกจากดินในประเทศปากีสถาน ได้จำนวน 7 ไอโซเลท และพรพรรณ และอุษณีย์ (2563) ที่คัดแยกจากดินนาข้าวในจังหวัดอยุธยาได้จำนวน 4 ไอโซเลท อาจเป็นผลเนื่องมาด้วยที่ดินที่ใช้ในการศึกษามีสมบัติและองค์ประกอบที่แตกต่างกัน เช่น ชนิดของดิน โครงสร้างของดิน ค่าความเป็นกรด-ด่าง ปริมาณการใช้สารเคมีและสภาพแวดล้อม ซึ่งปัจจัยเหล่านี้มีผลต่อจำนวนและชนิดของแบคทีเรีย ทำให้จำนวนของแบคทีเรียผลิตเอนไซม์เซลลูเลสที่คัดแยกได้นั้นมีความแตกต่างกันด้วย (จริณทร์, 2557)

การศึกษาในครั้งนี้สามารถคัดแยกแบคทีเรียที่มีค่า HC ที่ต่างกัน บางไอโซเลทมีค่า HC ที่ต่ำแต่บางไอโซเลทมีค่า HC ที่สูง ซึ่งอาจเป็นผลมาจากความแตกต่างทางสัณฐานวิทยาหรือแหล่งที่มาของดิน โดยสามารถคัดแยกแบคทีเรียที่มีค่า HC สูงสุดเท่ากับ 7.63 ซึ่งแตกต่างจากการคัดแยกของ Bamrungpanichtavorn et al. (2023) ที่มีค่า HC สูงสุดเท่ากับ 3.55 และการคัดแยกแบคทีเรียผลิตเอนไซม์เซลลูเลสจากกากน้ำมันปาล์มที่มีค่า HC สูงสุดเท่ากับ 4.14 (Khianngam et al., 2014) การที่มีค่า HC แตกต่างกันนั้นเนื่องจากความสามารถในการผลิตเอนไซม์เซลลูเลสที่ขึ้นอยู่กับสายพันธุ์ของแบคทีเรีย จากการศึกษาของชนธิรัฐ และสิรินภา (2562) รายงานว่าค่า HC มีความสัมพันธ์กับประสิทธิภาพในการผลิตเอนไซม์เซลลูเลส หากมีค่า HC สูง ประสิทธิภาพในการผลิตเอนไซม์เซลลูเลสก็จะสูงตามด้วย ดังนั้นจึงได้คัดเลือกไอโซเลท S1-5, S2-4 และ S3-3 ซึ่งเป็นไอโซเลทที่ให้ค่า HC สูงในตัวอย่างดินแต่ละจุดเป็นไอโซเลทตัวแทนสำหรับนำไปใช้ในการศึกษาการผลิตเอนไซม์เซลลูเลสในอาหารเหลว และพบว่ากิจกรรมของเอนไซม์เซลลูเลสที่ตรวจพบนั้นมีความสัมพันธ์กับค่า HC มีค่าอยู่ในช่วง 0.17 ถึง 0.41 ยูนิต/มิลลิลิตร โดยกิจกรรมของเอนไซม์เซลลูเลสที่สอดคล้องกับการศึกษาก่อนหน้านี้ที่พบกิจกรรมของเอนไซม์อะไมเลสอยู่ในช่วง 0.22 ถึง 0.37 ยูนิต/มิลลิลิตร ซึ่งคัดแยกจากดิน (ทิพยัณญา และคณะ, 2556; วรศิลป์ และคณะ, 2562) แต่แตกต่างจากการศึกษาของ Li et al. (2020a) ที่คัดแยกแบคทีเรียจากสุกรมิน (Min pig) ซึ่งเป็นสุกรพันธุ์พื้นเมืองของประเทศจีน พบกิจกรรมของเอนไซม์เซลลูเลสที่ค่อนข้างสูง อยู่ในช่วง 24.06-33.03 ยูนิต/มิลลิลิตร ซึ่งกิจกรรมของเอนไซม์เซลลูเลสของแบคทีเรียที่คัดแยกได้มีค่าแตกต่างกันนั้น เนื่องจากความแตกต่างของแหล่งที่มา ชนิดของอาหารที่ใช้ในการคัดแยก สภาพที่ใช้ในการบ่มเชื้อ ได้แก่ พีเอชของอาหารเลี้ยงเชื้อ อุณหภูมิ แหล่งคาร์บอน แหล่งไนโตรเจน ปริมาณของหัวเชื้อเริ่มต้น การให้อากาศ ตัวกระตุ้น และปัจจัยอื่น ๆ รวมถึงสายพันธุ์ของแบคทีเรียที่คัดแยกได้ หากต้องการทำให้กิจกรรมของเอนไซม์เซลลูเลสของเชื้อที่คัดแยกได้สูงขึ้น สามารถทำได้โดยการหาสภาวะที่เหมาะสมในการเจริญและการผลิตเอนไซม์เซลลูเลส ซึ่งเป็นสิ่งจำเป็นที่สามารถทำให้ผลิตเอนไซม์เซลลูเลสได้ในปริมาณสูงขึ้น โดยเฉพาะอย่างยิ่งการนำไปใช้ประโยชน์ในระดับอุตสาหกรรม ช่วยลดการใช้พลังงานและเพิ่มประสิทธิภาพในการผลิต Bhagat and Kokitkar (2021) รายงานว่าในการหาสภาวะที่เหมาะสม ได้แก่ ค่าพีเอชเริ่มต้นของอาหารเลี้ยงเชื้อ อุณหภูมิ และแหล่งคาร์บอน ของการผลิตเอนไซม์เซลลูเลสของไอโซเลทที่คัดแยกได้จากดินจำนวน 7 ไอโซเลท ซึ่งทั้งหมดระบุเป็น *Bacillus* sp. นั้นพบว่าทุกไอโซเลทเป็นจุลินทรีย์กลุ่ม Mesophile พีเอชที่เหมาะสมอยู่ในช่วง 6.0-8.0 และสารพอลิเมอร์ เช่น แป้ง และ CMC นั้นทำหน้าที่เป็นตัวกระตุ้นให้เกิดการผลิตเอนไซม์เซลลูเลสได้สูงขึ้น Zhang et al. (2023) คัดแยกเชื้อแบคทีเรียผลิตเอนไซม์เซลลูเลสที่ทนกรดได้จากดินและศึกษาสภาวะที่เหมาะสมโดยใช้วิธีพื้นผิวตอบสนอง (Response surface methodology) พบว่าสภาวะที่เหมาะสมคือระยะเวลาในการหมัก 3.1 วัน อุณหภูมิ 29.9 องศาเซลเซียส ค่าพีเอช 4.1 ความเข้มข้นของหัวเชื้อร้อยละ 1.50 ในสภาวะนี้ทำให้ไอโซเลทที่คัดแยกได้มีกิจกรรมของเอนไซม์เซลลูเลสสูงถึง 13.503 ยูนิต/มิลลิลิตร ซึ่งมีค่าสูงกว่าร้อยละ 140 เมื่อเปรียบเทียบกับก่อนที่ยังไม่มีการผลิตเอนไซม์เซลลูเลสในสภาวะที่เหมาะสม

จากรายงานการวิจัยหลายงานก่อนหน้านี้ที่ศึกษาแบคทีเรียที่ต้องการอากาศในการเจริญจำนวน 22 สายพันธุ์ ซึ่งมีความสามารถในการย่อยสลายเซลลูโลส พบว่าสามารถแบ่งออกเป็นทั้งหมด 10 สกุล ได้แก่ *Burkholderia* (ร้อยละ 36.36), *Bacillus* (ร้อยละ 13.65), *Citrobacter* (ร้อยละ 13.65), *Arthrobacter* (ร้อยละ 9.10), *Enterobacter* (ร้อยละ 4.54), *Chryseobacterium* (ร้อยละ 4.54), *Pandora* (ร้อยละ 4.54), *Paenibacillus* (ร้อยละ 4.54), *Dyella* (ร้อยละ 4.54) และ *Pseudomonas* (ร้อยละ 4.54) (Liang et al., 2014) ซึ่งไอโซเลทที่ผลิตเอนไซม์เซลลูเลสที่คัดแยกได้ในครั้งนี้ พบว่าไอโซเลท S1-5 มีความใกล้เคียงมากที่สุดกับ *B. stercoris* โดยแบคทีเรียในสกุล *Bacillus* sp. เป็นสายพันธุ์ที่มีศักยภาพสูงในการผลิตเอนไซม์เซลลูเลส Biswas et al. (2020) ศึกษาการคัดแยกและจัดจำแนกเชื้อแบคทีเรียที่ผลิตเอนไซม์เซลลูเลสจากดินในป่าชายเลนของประเทศบังกลาเทศ พบว่าแบคทีเรียที่คัดแยกได้และมีประสิทธิภาพในการผลิตเอนไซม์เซลลูเลสได้สูงสุดคือ *Bacillus* sp. เช่นเดียวกับ Kognou et al. (2022) คัดแยกและจัดจำแนกแบคทีเรียที่ย่อยสลายเซลลูโลสจากดินทั้งหมด 6 สายพันธุ์ ซึ่งจัดอยู่ในสกุล *Bacillus*, *Hymenobacter*, *Chryseobacterium*, *Paenarthrobacter*, *Mycobacterium*

และ *Stenotrophomonas* หลังจากที่ทำการศึกษาหาสภาวะที่เหมาะสมในการผลิตเอนไซม์เซลลูเลสของเชื้อทั้งหมด พบว่า *Bacillus* เป็นสายพันธุ์ที่ผลิตเอนไซม์เซลลูเลสได้สูงที่สุด Pengproh et al. (2023) รายงาน *B. stercoris* สายพันธุ์ B.PNR1 ซึ่งคัดแยกได้จากดินภูเขาไฟของประเทศไทย พบว่ามีความสามารถในการผลิตกรดอินโดลอะซิติก เอนไซม์ละลายฟอสเฟต เอนไซม์อะไมเลส และเอนไซม์เซลลูเลส และให้ผลบวกต่อการควบคุมทางชีวภาพด้านการเหี่ยวเฉาเนื่องจาก *Fusarium* ในมะเขือเทศ นอกจากนี้ยังแสดงให้เห็นถึงความสามารถในการผลิต Indole-3 acetic acid (IAA) และการละลายฟอสเฟตซึ่งมีส่วนทำให้พืชเจริญเติบโตได้ดี นอกจากนี้ยังสามารถคัดแยกแอสโคดีโนไมซีตได้จำนวน 2 ไอโซเลท ได้แก่ ไอโซเลท S2-4 และ S3-3 มีความใกล้เคียงมากที่สุดกับ *S. osmaniensis* ซึ่ง Herrera et al. (2021) ได้ทำการคัดแยกเชื้อแอสโคดีโนไมซีต *Streptomyces* sp. สายพันธุ์ CC48 ได้จากสภาพแวดล้อมที่มีความเข้มข้นของไนโตรเจน เหล็ก ฟอสเฟต และคาร์บอนต่ำมาก (Oligotrophic environment) ซึ่งให้กิจกรรมของการย่อยสลายเซลลูโลสที่สูงเท่ากับ 0.76 ยูนิท/มิลลิลิตร เมื่อเพาะเลี้ยงในอาหารที่มีการเสริมด้วยคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลส พีเอช 7.0 และบ่มที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เมื่อเปรียบเทียบกับ *Streptomyces* สายพันธุ์อื่น ๆ การเติมแมกนีเซียมไอออนช่วยเพิ่มกิจกรรมของเอนไซม์เซลลูเลสให้สูงขึ้นร้อยละ 23 นอกจากนี้ยังพบว่าเชื้อที่คัดแยกได้มีความสามารถในการย่อยข้าวโพดและข้าวสาลี ซึ่งแสดงให้เห็นถึงจุลินทรีย์ทั้ง 3 ไอโซเลทที่คัดแยกและจำแนกได้จากงานวิจัยนี้มีศักยภาพในการผลิตเอนไซม์เซลลูเลส สอดคล้องกับวัตถุประสงค์ของการศึกษาในครั้งนี้ ที่ต้องการคัดแยกเชื้อแบคทีเรียที่สามารถผลิตเอนไซม์เซลลูเลสที่มีประสิทธิภาพสูงจากดินที่มีการทับถมกันของเปลือกทุเรียน เพื่อประโยชน์ในการย่อยสลายอินทรีย์วัตถุและผลิตปุ๋ยชีวภาพ และข้อมูลที่ได้นี้ สามารถนำไปใช้ในการพัฒนาผลิตภัณฑ์เป้าหมายสำหรับการเกษตรแบบยั่งยืนได้อย่างมีประสิทธิภาพ เช่น การผลิตปุ๋ยชีวภาพ การกำจัดขยะอินทรีย์ หรือการพัฒนาเทคโนโลยีเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการย่อยสลาย

บทสรุป

การศึกษาคัดแยกแบคทีเรียที่ผลิตเอนไซม์เซลลูเลสจากดินที่มีการทับถมกันของเปลือกทุเรียนเพื่อใช้ในการผลิตปุ๋ยชีวภาพ ได้ทั้งหมดจำนวน 11 ไอโซเลท จากตัวอย่างดิน 3 จุด เมื่อนำไอโซเลทตัวแทนที่สามารถผลิตเอนไซม์เซลลูเลสได้สูงที่สุดในตัวอย่างดินแต่ละชนิดมาจัดจำแนก พบว่าเป็นแบคทีเรียและแอสโคดีโนไมซีตในสกุล *Bacillus* (ไอโซเลท S1-5) และ *Streptomyces* (ไอโซเลท S2-4 และ S3-3) ตามลำดับ โดยพบว่าไอโซเลท S1-5 ซึ่งมีความใกล้เคียงกับเชื้อ *Bacillus stercoris* มีประสิทธิภาพในการย่อยสลายเซลลูโลสได้ดีที่สุด เนื่องจากสามารถผลิตเอนไซม์เซลลูเลสได้สูงที่สุด (0.41 ± 0.03 ยูนิท/มิลลิลิตร) โดยสามารถนำเชื้อจุลินทรีย์ที่คัดแยกได้ไปประยุกต์ใช้ในการย่อยสลายเศษอินทรีย์จากพืช เช่น เศษผัก ใบไม้ และเปลือกผลไม้เพื่อการผลิตปุ๋ยชีวภาพได้ ผลจากการศึกษาที่ได้สามารถช่วยลดปริมาณขยะอินทรีย์และมีศักยภาพในการพัฒนาปุ๋ยชีวภาพเพื่อเกษตรอินทรีย์อย่างยั่งยืน รวมถึงการนำเชื้อแบคทีเรียที่คัดแยกได้ไปพัฒนาในอุตสาหกรรมผลิตปุ๋ยชีวภาพหรือการนำไปทดลองในสภาวะแวดล้อมที่แตกต่างกันเพื่อให้ได้เอนไซม์เซลลูเลสที่มีประสิทธิภาพสูงมากยิ่งขึ้น

กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้วิจัยขอขอบคุณ สาขาวิชาเทคโนโลยีการผลิตพืชและภูมิทัศน์ คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรมการเกษตร มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก วิทยาเขตจันทบุรี จังหวัดจันทบุรี ที่ให้ความอนุเคราะห์ในด้านเครื่องมือและอุปกรณ์ในการปฏิบัติการวิจัยครั้งนี้

เอกสารอ้างอิง

กรมพัฒนาที่ดิน. (2551). คู่มือการจัดการอินทรีย์วัตถุเพื่อปรับปรุงบำรุงดินและเพื่อเพิ่มความอุดมสมบูรณ์ของดิน.

กระทรวงเกษตรและสหกรณ์: กรุงเทพฯ.

จรินทร์ พุดงาม. (2557). การแยกและคัดเลือกเชื้อแอสโคดีโนไมซีตที่สามารถย่อยสลายสารประกอบลิกโนเซลลูโลสได้จากดินบริเวณอุทยานแห่งชาติน้ำตกโยง. วารสารวิชาการ มทร. สุวรรณภูมิ. 2(2): 109-120.

- ชนัฐ วงษ์ชีวะสกุล และสิรินภา ช่วงโอภาส. (2562). การคัดเลือกแบคทีเรียที่มีประสิทธิภาพในการย่อยสลายกากมันสำปะหลังและกากตะกอนเยื่อกระดาษ. วารสารดินและปุ๋ย. 41(1): 14-23.
- ชนิดาภา ณะศรีราษฎร์, เพชรดา ปินใจ และพิลาณี ไฉนอมสัต์ย์. (2561). การคัดเลือกแบคทีเรียผลิตเซลลูโลสและประสิทธิภาพในการย่อยสลายวัสดุลิกโนเซลลูโลส. วารสารเกษตรพระจอมเกล้า. 36(3): 1-12.
- ทิพย์นา วงษ์คุณ, โสภณ บุญลือ และนันทวัน ฤทธิ์เดช. (2556). การคัดแยกจุลินทรีย์ย่อยสลายเซลลูโลสเพื่อกระตุ้นการออกของเมล็ดพันธุ์ข้าว (*Oryza sativa* L.) และข้าวโพดหวาน (*Zea mays* L. var. *saccharata*). วารสารวิทยาศาสตร์ มช. 41(4): 954-966.
- พรพรรณ รัตนกิจจะ และอุษณีย์ ทองดี. (2563). การคัดแยกแบคทีเรียที่ผลิตเซลลูโลสจากตัวอย่างดินนาข้าวในจังหวัดพระนครศรีอยุธยา. วารสารวิชาการ มทร. สุวรรณภูมิ. 8(2): 165-175.
- วรศิลป์ มาลัยทอง, ดุจดาว คนยัง, พิชิตร์ วรรณคา, มรกต วงศ์หน่อ, ศุภรี อยู่สุข, สุรพงษ์ ทองเรือง และอภิรดี เสี่ยงสืบชาติ. (2562). การคัดแยกแบคทีเรียที่ผลิตเอนไซม์ย่อยซังข้าวโพดเพื่อผลิตเป็นวัตถุดิบอาหารสัตว์. วารสารวิทยาศาสตร์ และนวัตกรรมเกษตร. 50(1): 426-431.
- วัชร รัยริน, นรานันท์ ขำมณี และพงษ์ศักดิ์ นพรัตน์. (2565). การผลิตและคุณสมบัติของปุ๋ยหมักจากเศษวัสดุเหลือทิ้งในสวนเกษตร. Science, Technology, and Social Sciences Procedia. 2022(4): rspg028.
- สำนักงานมาตรฐานสินค้าเกษตรและอาหารแห่งชาติ. (2564). คู่มือความรู้และแนวทางตามมาตรฐานเกษตรอินทรีย์. พิมพ์ครั้งที่ 1. สำนักงานมาตรฐานสินค้าเกษตรและอาหารแห่งชาติ: กรุงเทพฯ.
- สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร. (2563). ผลักดันเกษตรอินทรีย์ไทย ยืนหนึ่งอาเซียน เดินหน้าแผนปฏิบัติการขยายพื้นที่เกษตรอินทรีย์ 1.3 ล้านไร่ ในปี 65. ค้นเมื่อ 12 มีนาคม 2566. <https://www.oae.go.th/view/1>.
- Ahmed A.A.O., Babalola O.O. and McKay T. (2018). Cellulase-and xylanase-producing bacterial isolates with the ability to saccharify wheat straw and their potential use in the production of pharmaceuticals and chemicals from lignocellulosic materials. Waste and Biomass Valorization. 9: 765-775.
- Bhagat S.A. and Kokitkar S.S. (2021). Isolation and identification of bacteria with cellulose-degrading potential from soil and optimization of cellulase production. Journal of Applied Biology and Biotechnology. 9(6): 154-161.
- Bilal M. and Iqbal H.M. (2020). State-of-the-art strategies and applied perspectives of enzyme biocatalysis in food sector-current status and future trends. Critical Reviews in Food Science and Nutrition. 60(12): 2052-2066.
- Biswas S., Saber M.A., Tripty I.A., Karim M.A., Islam M.A., Hasan M.S., Alam A.S.M.R., Jahid M.I.K. and Hasan M.N. (2020). Molecular characterization of cellulolytic (endo-and exoglucanase) bacteria from the largest mangrove forest (Sundarbans), Bangladesh. Annals of Microbiology. 70: 1-11.
- Bamrungpanichtavorn T., Ungwiwatkul S., Boontanom P. and Chantarasiri A. (2023). Diversity and cellulolytic activity of cellulase-producing bacteria isolated from the soils of two mangrove forests in Eastern Thailand. Biodiversitas Journal of Biological Diversity. 24(7): 3891-3902.
- Das A., Bhattacharya S. and Murali L. (2010). Production of cellulase from a thermophilic *Bacillus* sp. isolated from cow dung. American-Eurasian Journal of Agricultural & Environmental Sciences. 8: 685-691.
- Dewiyanti I., Darmawi D., Muchlisin Z.A., Helmi T.Z., Arisa I.I., Rahmiati R., Destri E. and Fanisha S. (2022). Characteristic and activity of cellulolytic bacteria isolated from mangrove soil in Northern coast of Aceh Province, Indonesia. Biodiversitas Journal of Biological Diversity. 23(12): 6587-6599.
- Fan L.T., Gharpuray M.M. and Lee Y.H. (1987). Cellulose hydrolysis. Biotechnology monographs. Volume 3. Springer Science & Business Media: Germany.

- Herrera C.S., Vázquez C.L.E., Vazquez V.I., Gómez B.F. and Corona B.J.E. (2021). A cellulolytic *Streptomyces* sp. isolated from a highly oligotrophic niche shows potential for hydrolyzing agricultural wastes. *BioEnergy Research*. 14: 333-343.
- Inan B.K., Nalcaoğlu A., Ceylan E., Colak D.N., Caglar P., Agirman S., Sivri N.S., Gunes S., Kaya A., Canakci S. and Belduz A.O. (2023). Isolation and characterization of detergent-compatible amylase-, protease-, lipase-, and cellulase-producing bacteria. *Brazilian Journal of Microbiology*. 54(2): 725-737.
- Irfan M., Safdar A., Syed Q. and Nadeem A. (2012). Isolation and screening of cellulolytic bacteria from soil and optimization of cellulase production and activity. *Turkish Journal of Biochemistry*. 37(3): 287-293.
- Juturu V. and Wu J.C. (2014). Microbial cellulases: Engineering, production and applications. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 33: 188-203.
- Khiangnam S., Pootaeng-on Y., Techakriengkrai T. and Tanasupawat S. (2014). Screening and identification of cellulase producing bacteria isolated from oil palm meal. *Journal of Applied Pharmaceutical Science*. 4(4): 090-096.
- Kognou A.L.M., Chio C., Khatiwada J.R., Shrestha S., Chen X., Han S., Li H., Jiang Z.H., Xu C.C. and Qin W. (2022). Characterization of cellulose-degrading bacteria isolated from soil and the optimization of their culture conditions for cellulase production. *Applied Biochemistry and Biotechnology*. 194(11): 5060-5082.
- Li F., Xie Y., Gao X., Shan M., Sun C., Niu Y.D. and Shan A. (2020a). Screening of cellulose degradation bacteria from Min pigs and optimization of its cellulase production. *Electronic Journal of Biotechnology*. 48: 29-35.
- Li J.X., Zhang F., Wang W. and Zhao X.Q. (2020b). Diversity of cellulase-producing filamentous fungi from Tibet and transcriptomic analysis of a superior cellulase producer *Trichoderma harzianum* LZ117. *Frontiers in Microbiology*. 11: 1-15.
- Liang Y.L., Zhang Z., Wu M., Wu Y. and Feng J.X. (2014). Isolation, screening, and identification of cellulolytic bacteria from natural reserves in the subtropical region of China and optimization of cellulase production by *Paenibacillus terrae* ME27-1. *BioMed Research International*. Article ID 512497. <http://dx.doi.org/10.1155/2014/512497>.
- Lynd L.R., Weimer P.J., Van Z.W.H. and Pretorius I.S. (2002). Microbial cellulose utilization: fundamentals and biotechnology. *Microbiology and Molecular Biology Reviews*. 66(3): 506-577.
- Miller G. (1959). Use of dinitrosalicylic acid reagent for determination of reducing sugar. *Analytical Chemistry*. 31(3): 426-429.
- Nurkanto A. (2009). Cellulolytic activities of actinomycetes isolated from soil rhizosphere of Waigeo, Raja Ampat, West Papua. *Journal of Tropical Soils*. 14(3): 239-244.
- Pengproh R., Thanyasiriwat T., Sangdee K., Saengprajak J., Kawicha P. and Sangdee A. (2023). Evaluation and genome mining of *Bacillus stercoris* Isolate B.PNR1 as potential agent for *Fusarium* wilt control and growth promotion of tomato. *The Plant Pathology Journal*. 39(5):430-448.
- Purnomo A., Yudiantoro Y.A.W., Putro J.N., Nugraha A.T., Irawaty W. and Ismadji S. (2016). Subcritical water hydrolysis of durian seeds waste for bioethanol production. *International Journal of Industrial Chemistry*. 7: 29-37.

- Saini A., Aggarwal N.K., Sharma A. and Yadav A. (2015). Actinomycetes: a source of lignocellulolytic enzymes. *Enzyme Research*. 1: 279381.
- Saitou N. and Nei M. (1987). The neighbor-joining method: a new method for reconstructing phylogenetic trees. *Molecular Biology and Evolution*. 4(4): 406-425.
- Sinha R.K., Valani D., Chauhan K. and Agarwal S. (2010). Embarking on a second green revolution for sustainable agriculture by vermiculture biotechnology using earthworms: reviving the dreams of Sir Charles Darwin. *Journal of Agricultural Biotechnology and Sustainable Development*. 2(7): 113-128.
- Sreeja S.J., Jeba M.P.W., Sharmila J.F.R., Steffi T., Immanuel G. and Palavesam A. (2013). Optimization of cellulase production by *Bacillus altitudinis* APS MSU and *Bacillus licheniformis* APS2 MSU, gut isolates of fish *Etroplus suratensis*. *International Journal of Advanced Research and Technology*. 2(4): 401-406.
- Tamura K., Stecher G. and Kumar S. (2021). MEGA11: Molecular evolutionary genetics analysis version 11. *Molecular Biology and Evolution*. 38(7): 3022-3027.
- Yang W., Meng F., Peng J., Han P., Fang F., Ma L. and Cao B. (2014). Isolation and identification of a cellulolytic bacterium from the Tibetan pig's intestine and investigation of its cellulase production. *Electronic Journal of Biotechnology*. 17(6): 262-267.
- Yoon S.H., Ha S.M., Kwon S., Lim J., Kim Y., Seo H. and Chun J. (2017). Introducing EzBioCloud: A taxonomically united database of 16S rRNA gene sequences and whole-genome assemblies. *International Journal of Systematic and Evolutionary Microbiology*. 67(5): 1613-1617.
- Zhang S., Wang Z., Shen J., Chen X. and Zhang J. (2023). Isolation of an acidophilic cellulolytic bacterial strain and its cellulase production characteristics. *Agriculture*. 13(7): 1290-1309.

Received: January 25, 2024; Revised: July 25, 2024; Accepted: November 5, 2024

ประสิทธิภาพของวัสดุปรับปรุงดินต่อการเปลี่ยนแปลงสมบัติทางเคมีบางประการของดิน
ใต้ทรงพุ่มทุเรียนในชุดดินท่าใหม่

Efficacy of soil amendments on modifying select chemical properties of soil
beneath durian canopies in the Tha Mai soil series

เจนจิรา นามิ^{1*} ทรงพลธนฤทธิ์ มฤครัฐอินแปลง¹ วิเชียร พุทธศรี¹ และเอกรณัช โชติบัญชา²
Janejira Namee^{1*}, Songpoltanarit Maruekaratinplang¹, Vichian Putthasri¹
and Ekthanat Chotbancha²

¹คณะเทคโนโลยีการเกษตร มหาวิทยาลัยราชภัฏวไลยอลงกรณ์ ในพระบรมราชูปถัมภ์ จังหวัดปทุมธานี

¹Faculty of Agricultural Technology, Valaya Alongkorn Rajabhat University under the Royal Patronage,
Pathum Thani Province

²สำนักวิชาทรัพยากรการเกษตร จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย กรุงเทพมหานคร

²School of Agricultural Resources Chulalongkorn University Bangkok

*Corresponding Author E-mail Address : Janejira.na@vru.ac.th

บทคัดย่อ

การศึกษาประสิทธิภาพของวัสดุปรับปรุงดินต่อการเปลี่ยนแปลงสมบัติทางเคมีดินใต้ทรงพุ่มทุเรียนในชุดดินท่าใหม่ ทำการศึกษาระหว่างเดือน กุมภาพันธ์ 2566-มกราคม 2567 โดยวัสดุปรับปรุงดินที่ใช้ในการทดลองมีส่วนประกอบหลัก ได้แก่ แกลบเผา (จากโรงไฟฟ้าชีวมวล) มูลไส้เดือน มูลโค มูลไก่ ขุยมะพร้าว และแกลบดิบ ในอัตราส่วน 2:1:1:1:1:1 ทำการเก็บ ตัวอย่างดินที่ระดับความลึก 15 เซนติเมตร วางแผนการทดลองแบบ Randomized Complete Block Design (RCBD) ประกอบด้วย 6 กรรมวิธี ดังนี้ 1) ควบคุม (ไม่ใส่วัสดุปรับปรุงดิน) 2-6) ใส่วัสดุปรับปรุงดินใน อัตรา 2.5, 5, 10, 15 และ 20 กิโลกรัมต่อต้น ตามลำดับ จากนั้นศึกษาสมบัติทางเคมีบางประการของวัสดุปรับปรุงดินและดินใต้ทรงพุ่มทุเรียนก่อนและหลัง การใส่วัสดุปรับปรุงดิน เป็นระยะเวลา 6 เดือน ผลการทดลองพบว่า ภายหลังการใส่วัสดุปรับปรุงดินที่ระยะเวลา 6 เดือน ในอัตรา 20 กิโลกรัมต่อต้น ทำให้ค่าความเป็นกรด-ด่างในดินเพิ่มสูงขึ้นจาก 4.2 เป็น 6.0 อย่างมีนัยสำคัญ ($p<0.05$) และยัง ส่งผลให้ปริมาณอินทรีย์วัตถุ ฟอสฟอรัส โพแทสเซียม แคลเซียม แมกนีเซียม เหล็ก ทองแดง และสังกะสีเพิ่มขึ้นด้วย แต่ปริมาณทองแดง แมงกานีส และสังกะสีที่แลกเปลี่ยนได้ในดินไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($p>0.05$) โดยผลการทดลอง แสดงให้เห็นว่า การใช้วัสดุปรับปรุงดินในอัตรา 20 กิโลกรัมต่อต้น สามารถปรับปรุงค่าความเป็นกรด-ด่าง และเพิ่มปริมาณธาตุ อาหารในดินภายใต้ทรงพุ่มทุเรียนได้

คำสำคัญ: วัสดุปรับปรุงดิน, สมบัติทางเคมี, ทุเรียน, ชุดดินท่าใหม่

Abstract

Study on the efficacy of soil amendments on modifying selected chemical properties of soil beneath durian canopies in the Tha Mai soil series. This research was conducted from February 2023 to January 2024. The soil amendment utilized in the experiment primarily consisted of rice husk biochar (sourced from a biomass power plant), vermicompost, cow manure, chicken manure, coconut coir, and raw rice husks, mixed in a ratio of 2:1:1:1:1:1, respectively. Soil samples were collected at a depth of 15 centimeters. The experimental design employed was a Randomized Complete Block Design (RCBD) comprising six treatments: 1) Control (no soil amendment), 2-6) Soil amendment applications at rates of 2.5, 5, 10, 15, and 20 kilograms per tree, respectively. Selected chemical properties of both the soil amendment and the soil beneath durian canopies were analyzed before and six months after the application of the soil amendment. Results indicated that after six months, the addition of soil amendment at a rate of 20 kilograms per tree significantly increased soil pH from 4.2 to 6.0 ($p < 0.05$). Furthermore, this treatment led to increases in organic matter content, phosphorus, potassium, calcium, magnesium, iron, copper, and zinc. However, no statistically significant differences were observed in the levels of exchangeable copper, manganese, and zinc in the soil ($p > 0.05$). The findings demonstrate that the application of soil amendment at a rate of 20 kilograms per tree can effectively improve soil pH and enhance nutrient content in the soil beneath durian canopies.

Keywords: Soil amendment, Chemical properties, Durian, Tha Mai soil series

บทนำ

ชุดดินใหม่เป็นหนึ่งในชุดดินเนื้อเหนียวที่เกิดจากตะกอนลำนํ้า มีการระบายน้ำดีถึงดีปานกลาง ความอุดมสมบูรณ์ต่ำ เป็นกลุ่มชุดดินที่พบในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ เกิดจากหินชนิดต่าง ๆ เช่น หินอัคนี หินตะกอน หรือหินแปร พบบริเวณพื้นที่ตอนมีลักษณะเป็นลูกคลื่นจนถึงพื้นที่เนินเขา เนื้อดินเป็นดินเหนียว สีน้ำตาล สีเหลืองหรือสีแดง มีความเป็นกรดจัดมากถึงกรดปานกลาง (กรมพัฒนาที่ดิน, 2551) เนื่องจากชุดดินใหม่มีสภาพดินกรดจึงเป็นปัญหาสำคัญต่อการเพาะปลูกพืช ทำให้คุณสมบัติทางเคมีและชีวภาพของดินไม่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของพืช โดยเฉพาะอย่างยิ่งคุณสมบัติทางเคมีส่งผลให้ธาตุอาหารบางตัวเปลี่ยนแปลงไปอยู่ในรูปที่พืชไม่สามารถใช้ประโยชน์ได้ และทำให้ธาตุอะลูมิเนียม เหล็ก และแมงกานีสในดินสูงเกินไปจนเป็นพิษต่อพืช (ปิยะ, 2553) สำหรับชุดดินใหม่พบในพื้นที่จังหวัดจันทบุรีจะมีการเพาะปลูกพืชเศรษฐกิจกลุ่มไม้ผล เช่น ทุเรียน มังคุด เงาะ หรือลำไย พบปัญหาธาตุอาหารในดินต่ำ เช่น ธาตุไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียม (Chittamart et al., 2016) ในการแก้ปัญหาดินกรดเพื่อให้เหมาะสมต่อการเพาะปลูกพืชอาจทำได้โดยใช้วัสดุปรับปรุงดิน เพื่อช่วยเพิ่มคุณสมบัติทางเคมีและสมบัติทางกายภาพของดินให้อยู่ในระดับที่เหมาะสมสำหรับการปลูกพืช ปริมาณอินทรีย์วัตถุในดินน้อย ส่งผลกระทบให้ดินขาดธาตุอาหารหลักโดยเฉพาะฟอสฟอรัสและไนโตรเจน ซึ่งเป็นผลมาจากการตกตะกอนของธาตุอาหารบางชนิดในดินกรด-ด่างสูง

ในปัจจุบันมีการใช้วัสดุอินทรีย์และวัสดอนินทรีย์หลายชนิดในการปรับปรุงดินเพื่อให้เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของพืช เช่น ปุ๋ยหมัก ปุ๋ยคอก ปุ๋ยพืชสด ปิทมอส แกลบดิบ แกลบเผา ชี้เลื่อย ฟางข้าว กากตะกอนอ้อย หินโดโลไมท์ ยิปซัม แร่ซีโอไลท์ พัมมิช ปูนไลม์ และเวอร์มิคิวไลท์ (Rastija et al., 2014; Rana et al., 2018) การรายงานของ Jindo et al. (2014) วัสดุปรับปรุงดินที่มีส่วนผสมหลักเป็นแกลบเผาสามารถช่วยปรับสภาพความเป็นกรด-ด่าง เนื่องจากแกลบเผามีองค์ประกอบของซิลิกา มีสภาพเป็นด่าง เช่นเดียวกับการใส่ถ่านชีวภาพได้ทรงพุ่มมะม่วงช่วยปรับปรุงความเป็นกรด-ด่างในดินลดลง และทำให้ปริมาณโพแทสเซียมและแมกนีเซียมในดินเพิ่มขึ้น (สุทธิภัทร และจิราภรณ์, 2563) สำหรับพื้นที่ดินด่างมักจะมีการปลูกพืชเศรษฐกิจในกลุ่มพืชไร่ เช่น ข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ พืชตระกูลถั่ว หรืออ้อยเป็นหลัก ซึ่งมักพบว่า มีการขาดธาตุอาหารบางชนิดได้แก่ ธาตุสังกะสี และเหล็ก สอดคล้องกับการศึกษาของ Bouajila and Sanaa (2011) พบว่า การใช้แกลบเผาและปุ๋ยคอกจากครัวเรือนช่วยเพิ่มปริมาณอินทรีย์คาร์บอนและไนโตรเจน เนื่องจากการเพิ่มอินทรีย์วัตถุช่วยปรับปรุงโครงสร้างดิน และยังสามารถจัดการความ

อุดมสมบูรณ์ของดินได้ในระยะยาว ในการแก้ไขปัญหาดินต่าง-กรดเพื่อให้เหมาะสมต่อการปลูกพืชอาจแก้ไขได้โดยใช้วัสดุปรับปรุงดินควบคู่ไปกับการจัดการปุ๋ยที่เหมาะสม เพื่อให้สมบัติทางกายภาพและเคมีของดินเหมาะสมกับการปลูกพืช

จากปัญหาดังกล่าวผู้วิจัยจึงสนใจแนวทางการปรับปรุงคุณสมบัติทางเคมีของชุดดินทำใหม่ โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อปรับปรุงความเป็นกรด-ด่างของดิน และเพิ่มปริมาณธาตุอาหารบริเวณใต้ทรงพุ่มทุเรียนหลังจากใส่วัสดุปรับปรุงดิน เพื่อเป็นแนวทางในการจัดการดินอย่างมีประสิทธิภาพ

วัสดุ อุปกรณ์ และวิธีการ

1. การเก็บตัวอย่างดินและวิเคราะห์สมบัติทางเคมีของดิน

เก็บตัวอย่างดินจากพื้นที่การปลูกทุเรียนในสวนทุเรียนวัชร ต่าบลเขาบายศรี อำเภอนาโพธิ์ จังหวัดจันทบุรี พิกัด 12°45'39.3"N 102°09'49.1"E ลักษณะเป็นดินร่วนเหนียวปนทราย ทำการทดลองในช่วงเดือน กุมภาพันธ์ 2566 - มกราคม 2567 วัสดุปรับปรุงดินที่ใช้ในการทดลองมีส่วนประกอบหลัก ได้แก่ แกลบเผา (จากโรงไฟฟ้าชีวมวล) มูลไส้เดือน มูลโค มูลไก่ ขุยมะพร้าว และแกลบดิบ ในอัตราส่วน 2:1:1:1:1 โดยวางแผนการทดลองแบบ Randomized Complete Block Design (RCBD) ประกอบด้วย 6 กรรมวิธี จำนวน 10 ซ้ำ ดังนี้ 1) ควบคุม (ไม่ใส่วัสดุปรับปรุงดิน) 2) ใส่วัสดุปรับปรุงดินในอัตรา 2.5 กิโลกรัมต่อต้น 3) ใส่วัสดุปรับปรุงดินในอัตรา 5.0 กิโลกรัมต่อต้น 4) ใส่วัสดุปรับปรุงดินในอัตรา 10.0 กิโลกรัมต่อต้น 5) ใส่วัสดุปรับปรุงดินในอัตรา 15.0 กิโลกรัมต่อต้น และ 6) ใส่วัสดุปรับปรุงดินในอัตรา 20.0 กิโลกรัมต่อต้น ต้นทุเรียนที่ใช้ในการทดลองมีอายุประมาณ 1 ปี มีขนาดทรงพุ่ม 3x3 ตารางเมตร นำวัสดุปรับปรุงดินชั่งน้ำหนักตามแต่ละกรรมวิธีใส่บริเวณใต้ทรงพุ่ม (Top dressing) รอบโคนต้นทุเรียนเป็นระยะเวลา 6 เดือน หลังจากนั้นเก็บตัวอย่างดินบริเวณใต้ทรงพุ่มทุเรียนมาทำการวิเคราะห์สมบัติทางเคมีบางประการของดินเก็บที่ระดับความลึก 15 เซนติเมตร โดยเก็บตัวอย่างดินแบบสุ่ม (Random sampling) โดยเก็บตัวอย่างดินบริเวณใต้ทรงพุ่มทุเรียน จำนวน 3 จุด นำตัวอย่างดินที่เก็บคลุกเคล้าผสมให้เข้ากันแล้วนำมาผึ่งให้แห้งในที่ร่ม (Air dried) นำมาบดให้ละเอียด และร่อนผ่านตะแกรงขนาด 0.5 และ 2.0 มิลลิเมตร เพื่อทำการวิเคราะห์สมบัติทางเคมี

2. การวิเคราะห์ปริมาณธาตุอาหารในวัสดุปรับปรุงดิน

นำตัวอย่างวัสดุปรับปรุงดินมาผึ่งให้แห้งร่อนผ่านตะแกรงร่อนขนาด 0.5 และ 2.0 มิลลิเมตร วิเคราะห์ความเป็นกรด-ด่างของดิน (Soil pH) โดยการวัดด้วยเครื่อง pH meter, ค่าการนำไฟฟ้า (Electrical conductivity : EC) โดยการวัดด้วยเครื่อง Electrical conductivity meter, ปริมาณอินทรีย์วัตถุในดิน (Soil organic matter) โดยการนำมาวิเคราะห์ด้วยวิธี Walkley and Black (1934), ปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ (Available P) โดยวิธี Bray and Kurtz (1945), ปริมาณโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ (Exchangeable K), แคลเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ (Exchangeable Ca), แมกนีเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ (Exchangeable Mg), โซเดียมที่แลกเปลี่ยนได้ (Exchangeable Na) โดยนำไปสกัดด้วย NH_4OAc (พัชรี, 2549), ปริมาณเหล็กที่แลกเปลี่ยนได้ (Exchangeable Fe), แมงกานีสที่แลกเปลี่ยนได้ (Exchangeable Mn), สังกะสีที่แลกเปลี่ยนได้ (Exchangeable Zn) และทองแดงที่แลกเปลี่ยนได้ (Exchangeable Cu) โดยวิธีสกัดด้วยน้ำยาสกัด DTPA (Diethylene Triamine Penta Acetic acid) (กรมพัฒนาที่ดิน, 2553)

3. การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ

การวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติ (Analysis of variance) ตามแผนการทดลองแบบ Randomized Complete Block Design (RCBD) เมื่อพบความแตกต่างกันในทางสถิติจึงทำการเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ย โดยวิธีการจัดกลุ่มของสิ่งทดลอง (Least Significant Difference ; LSD)

ผลการวิจัย และการอภิปรายผล

1. สมบัติทางเคมีบางประการของดินและวัสดุปรับปรุงดินก่อนการทดลอง

จากการศึกษาสมบัติทางเคมีบางประการของดินก่อนการทดลอง โดยการเก็บตัวอย่างดินจากใต้ทรงพุ่มทุเรียน แล้วนำมาวิเคราะห์ พบว่า ดินมีลักษณะเป็นดินร่วนเหนียวปนทราย มีค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) เท่ากับ 4.2 (ตารางที่ 1) (ดินเป็นกรดจัดมาก) ซึ่งค่ามาตรฐานอยู่ที่ 5.5-6.5 ค่าการนำไฟฟ้า (Electrical conductivity : EC) เท่ากับ 0.05 dS/m อยู่ในระดับที่ไม่เค็ม ซึ่งไม่เป็นอันตรายต่อพืชที่ปลูก และปริมาณค่าอินทรีย์วัตถุ (OM) เท่ากับ 2.64% อยู่ในระดับที่เหมาะสมเมื่อเปรียบเทียบกับค่าที่เหมาะสมที่ 2.0% ปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ที่สกัดได้จากดินเท่ากับ 12.99 mg/kg อยู่ในระดับต่ำ ค่าที่เหมาะสม 35-60 mg/kg และปริมาณโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ เท่ากับ 39.50 mg/kg อยู่ในระดับต่ำเทียบกับค่าที่เหมาะสม 100-120 mg/kg และปริมาณแคลเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ เท่ากับ 73.50 mg/kg อยู่ในระดับต่ำเทียบกับค่าที่เหมาะสม 800-1500 mg/kg และปริมาณแมกนีเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ เท่ากับ 60.00 mg/kg อยู่ในระดับต่ำ เมื่อเทียบกับค่าที่เหมาะสม 250-450 mg/kg ในส่วนปริมาณธาตุอาหารเสริมในดินใต้ทรงพุ่มทุเรียนก่อนทำการทดลอง พบว่า มีปริมาณโซเดียม เหล็ก ทองแดง แมงกานีส และสังกะสีที่สกัดได้ในดินมีค่าเท่ากับ 19.00, 43.70, 1.01, 9.45 และ 0.64 mg/kg ตามลำดับ

ตารางที่ 1 สมบัติทางเคมีของดินก่อน และวัสดุปรับปรุงดิน

Chemical properties	Standard *	Soil samples	Soil amendment
pH: 1:1 H ₂ O	5.5-6.5	4.2	8.5
EC: 1:5 H ₂ O (dS/m)	<2	0.05	5.20
Organic matter (%)	2.0-3.0	2.64	11.54
Total N (%)	2.0-2.3	-	0.02
Total P ₂ O ₅ (%)	-	-	1.34
Available P (mg/kg)	35-60	12.99	-
Exchangeable K (mg/kg)	100-120	39.50	2.58
Exchangeable Ca (mg/kg)	800-1500	73.50	12.92
Exchangeable Mg (mg/kg)	250-450	60.00	0.83
Exchangeable Na (mg/kg)	-	19.00	-
Exchangeable Fe (mg/kg)	50-120	43.70	0.15
Exchangeable Cu (mg/kg)	10-25	1.01	0.64
Exchangeable Mn (mg/kg)	40-100	9.45	0.07
Exchangeable Zn (mg/kg)	10-30	0.64	0.02
Total S (%)	-	-	0.50

หมายเหตุ: * Ankerman and Large (1988)

เมื่อพิจารณาคุณสมบัติของวัสดุปรับปรุงดินเปรียบเทียบกับค่าที่เหมาะสมสำหรับการเจริญของทุเรียน พบว่า วัสดุปรับปรุงดินมีลักษณะร่วนซุย มีน้ำหนักเบา มีความพรุนมาก มีค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) เท่ากับ 8.5 (ด่างจัด) ค่าการนำไฟฟ้า (Electrical conductivity : EC) เท่ากับ 5.2 dS/m อยู่ในระดับเค็มปานกลาง สำหรับปริมาณค่าอินทรีย์วัตถุ (OM) เท่ากับ 11.54 g/kg อยู่ในระดับอินทรีย์วัตถุสูงมาก ซึ่งมีประโยชน์ต่อพืชค่อนข้างมาก และปริมาณธาตุอาหารหลักในวัสดุปรับปรุงดิน ได้แก่ ไนโตรเจนทั้งหมด ฟอสฟอรัสทั้งหมด และโพแทสเซียมทั้งหมด มีค่าเท่ากับ 0.02, 1.34 และ 2.58% ตามลำดับ ปริมาณธาตุอาหารเสริม ได้แก่ แคลเซียม แมกนีเซียม ซัลเฟอร์ เหล็ก สังกะสี และแมงกานีส ที่สกัดได้จากวัสดุปรับปรุงดินมีค่าเท่ากับ 12.92, 0.83, 0.50, 0.15, 0.02 และ 0.07% ตามลำดับ และปริมาณค่าทองแดงมีค่าเท่ากับ 0.64 mg/kg (ตารางที่ 1) สำหรับธาตุอาหารหลักและธาตุอาหารรองในวัสดุปรับปรุงดินมีลักษณะคล้ายคลึงกันคือ อยู่ในระดับที่ต่ำกว่าค่าที่เหมาะสมต่อการเจริญของทุเรียน (จรรย์ธร และคณะ, 2565)

ส่วนประกอบหลักในวัสดุปรับปรุงดิน คือ แกลบเผาจากโรงงานไฟฟ้าชีวมวล ซึ่งแกลบเผาสามารถนำมาใช้เป็นวัสดุปรับปรุงดินได้ เนื่องจากมีโครงสร้างที่มีรูพรุน น้ำหนักเบา อุ่นน้ำได้ดีทำให้ช่วยปรับปรุงโครงสร้างของดิน ช่วยทำให้ดินร่วนซุย

(ศิริณี และบัญชา, 2556) นอกจากนี้แกลบเผายังมีธาตุอาหารหลักที่จำเป็นต่อการเจริญเติบโตของพืช ได้แก่ โพแทสเซียม ซึ่งสอดคล้องกับการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของวัสดุปรับปรุงดินที่พบปริมาณโพแทสเซียมทั้งหมดอยู่ที่ 2.58% ในส่วนของมูลไส้เดือน มูลโค และมูลไก่ที่เป็นส่วนประกอบมีส่วนช่วยในการปรับปรุงสมบัติทางกายภาพของดินโดยการเพิ่มอินทรีย์วัตถุในรูปของปุ๋ยคอกทำให้ดินที่เกาะตัวเป็นก้อน ร่วนซุย ส่งผลให้ดินมีช่องว่างเพิ่มมากขึ้น เนื่องจากชุดดินท่าใหม่เป็นดินเหนียวมีสัดส่วนของดินเหนียวมากที่สุด เกิดจากการทับถมของดินตะกอนซึ่งมีช่องว่างระหว่างดินน้อย (อภิศรา และคณิตา, 2565) ในการทดลองครั้งนี้จะเห็นว่า วัสดุปรับปรุงดินที่ใช้จะเป็นส่วนประกอบของแกลบเผา มูลไส้เดือน มูลโค และมูลไก่ ที่ช่วยในการปรับปรุงคุณภาพของดินในการปลูกทุเรียนได้เป็นอย่างดี

2. สมบัติบางประการของดินบริเวณใต้ทรงพุ่มทุเรียนหลังทำการทดลอง

จากการศึกษาวัสดุปรับปรุงดินต่อการเปลี่ยนแปลงสมบัติทางเคมีบางประการของดินใต้ทรงพุ่มทุเรียนหลังการใส่วัสดุปรับปรุงดินที่ระยะเวลา 6 เดือน พบว่า ดินในแต่กรรมวิธีมีค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) ที่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($p < 0.05$) ในกรรมวิธีที่ 4 ใส่วัสดุปรับปรุงดินในอัตรา 10 กิโลกรัมต่อต้น และกรรมวิธีที่ 5 ใส่วัสดุปรับปรุงดินในอัตรา 15 กิโลกรัมต่อต้น และกรรมวิธีที่ 6 ใส่วัสดุปรับปรุงดินในอัตรา 20.0 กิโลกรัมต่อต้น มีค่าความเป็นกรด-ด่างอยู่ที่ 5.5, 5.6 และ 6.0 ตามลำดับ ลักษณะของดินที่มีความเหมาะสมในการปลูกทุเรียนควรเป็นดินร่วน ที่หน้าดินระดับความลึกที่ 15 เซนติเมตร ดินไม่ควรมีค่าความเป็นกรดและด่างมากเกินไป ควรมีค่าความเป็นกรด-ด่างอยู่ที่ 5.5-6.0 ซึ่งมีความเหมาะสมสำหรับปลูกทุเรียนมากที่สุด (นิรันดร์, 2556) แสดงให้เห็นว่า การใส่วัสดุปรับปรุงดินภายใต้ทรงพุ่มทุเรียนทำให้ระดับค่าความเป็นกรด-ด่างเพิ่มขึ้น ซึ่งในวัสดุปรับปรุงดินได้มีส่วนประกอบหลักเป็นแกลบเผาจากโรงไฟฟ้าชีวมวล ในแกลบเผามีสมบัติเป็นด่าง (pH) อยู่ในระดับที่สูงกว่า 8 จากผลการทดลองใส่วัสดุปรับปรุงดินภายหลัง 6 เดือน พบว่า ค่าความเป็นกรด-ด่างในดินภายใต้ทรงพุ่มทุเรียนมีค่าเพิ่มขึ้นจาก 4.2 เพิ่มขึ้นเป็น 5.4-6.0 ในแต่ละกรรมวิธี และส่งผลให้รากแขนงของต้นทุเรียนแตกรากฝอยเพิ่มขึ้นภายหลังจากการใส่วัสดุปรับปรุงดิน 6 เดือน (รูปที่ 1) สอดคล้องกับผลการทดลองของ เกศวดี และคณะ (2561) ที่ใช้ขี้เถ้าแกลบปรับปรุงดินที่ปลูกมันสำปะหลังพันธุ์ห้วยบง 80 ในชุดดินสติก พบว่า การวิเคราะห์ดินก่อนการปลูกมันสำปะหลังพันธุ์ห้วยบง 80 มีค่าความเป็นกรด-ด่างอยู่ที่ 5.17 หลังจากใส่ขี้เถ้าแกลบผ่านไป 1 ฤดู ทำให้ค่าความเป็นกรด-ด่างของดินเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ เมื่อเปรียบเทียบกับกรรมวิธีควบคุมโดยมีค่าความเป็นกรด-ด่างเพิ่มขึ้นเป็น 5.6 (กรดปานกลาง) สอดคล้องกับการทดลองของ จีราภรณ์ และคณะ (2566) พบว่า หลังจากการใส่กากตะกอนอ้อยในอัตรา 4,500 กิโลกรัมต่อไร่ ช่วยปรับปรุงคุณภาพของชุดดินที่ 35 ในจังหวัดเชียงใหม่ ให้มีค่าความเป็นกรด-ด่างเพิ่มขึ้นจากเดิม 4.18 เพิ่มขึ้นเป็น 4.43 เช่นเดียวกับ Srinarong and Panchaban (2003) ในการใส่กากตะกอนอ้อยในการผลิตข้าว 5 สายพันธุ์ พบว่า เมื่อใส่กากตะกอนอ้อยในปริมาณ 3,000 กิโลกรัมต่อไร่ ทำให้ค่าความเป็นกรด-ด่างของดินเพิ่มขึ้นจาก 6.2-6.8 สอดคล้องกับ Dee et al. (2002) โดยนำของเสียจากโรงงานน้ำตาลมาใช้เป็นวัสดุปรับปรุงดินในประเทศแอฟริกาส่งผลให้ค่าความเป็นกรด-ด่างในดินเพิ่มขึ้นจาก 4.6 เป็น 5.4 จากการใส่ในอัตรา 20 มิลลิกรัมต่อกรัม



(ก) เริ่มใส่วัสดุปรับปรุงดิน



(ข) หลังใส่วัสดุปรับปรุงดิน 6 เดือน
รากฝอยแตกแขนงเพิ่มมากขึ้น

รูปที่ 1 การใส่วัสดุปรับปรุงดินในอัตรา 15 กิโลกรัมต่อต้น

ในส่วนของคุณสมบัติอินทรีย์วัตถุ ปริมาณฟอสฟอรัส และโพแทสเซียมที่เป็นประโยชน์ในดินสูงที่สุดในกรรมวิธีที่ 6 ใส่วัสดุปรับปรุงดินในอัตรา 20.0 กิโลกรัมต่อต้น มีค่าอยู่ที่ 6.85%, 16.01 mg/kg และ 50.87 mg/kg ซึ่งมีความแตกต่างกันทางสถิติกับทุกกรรมวิธีการทดลอง ($p < 0.05$) ธาตุอาหารรองได้แก่ ปริมาณแคลเซียม แมกนีเซียม และเหล็กที่สามารถแลกเปลี่ยนได้ในดินสูงที่สุดพบในกรรมวิธีที่ 6 ใส่วัสดุปรับปรุงดินในอัตรา 20.0 กิโลกรัมต่อต้น คือ 8.75, 15.42 และ 8.22 mg/kg ตามลำดับ ซึ่งมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) อย่างไรก็ตามปริมาณทองแดง แมงกานีส และสังกะสีที่แลกเปลี่ยนได้ในดินไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($p > 0.05$) (ตารางที่ 2) จากผลการทดลองพบว่า หลังจากใส่วัสดุปรับปรุงดิน 15-20 กิโลกรัมต่อต้น ปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ในชุดดินท่าใหม่เพิ่มขึ้นจากไม่ใส่วัสดุปรับปรุงดิน และมีสภาพความเป็นกรดต่าง 5.4-6.0 จากเดิมค่ากรดต่าง 4.2 เมื่อค่าความเป็นกรดต่างของดินเพิ่มขึ้นจะส่งเสริมความเป็นประโยชน์ของฟอสฟอรัสที่อยู่ในดิน ซึ่งสอดคล้องกับปริมาณเหล็กที่เป็นประโยชน์ในกรรมวิธีที่ 4 และ 5 โดยค่าที่เหมาะสมเมื่อดินมี pH อยู่ระหว่าง 6.0-7.0 จะมีฟอสฟอรัสที่อยู่ในรูปที่พืชใช้ประโยชน์ได้มากที่สุด แต่ถ้าดินมีความเป็นกรดต่างลดลงจะส่งเสริมการตรึงฟอสเฟตให้อยู่ในรูปของเหล็กและอะลูมิเนียมฟอสเฟตซึ่งยากแก่พืชที่จะใช้ประโยชน์ (คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา, 2548)

ตารางที่ 2 สมบัติทางเคมีบางประการของดินหลังใส่วัสดุปรับปรุงดิน 6 เดือน

Treatments	pH	OM %	P	K	Ca	Mg	Fe	Cu	Mn	Zn
หน่วย mg/kg										
T1	4.20 ^b	2.64 ^b	12.45 ^c	40.07 ^c	73.26 ^d	59.99 ^b	43.69 ^c	1.01	9.44	0.64
T2	4.22 ^b	2.62 ^b	13.01 ^{bc}	48.00 ^b	78.50 ^{cd}	61.06 ^b	44.85 ^b	1.01	9.46	0.69
T3	5.40 ^{ab}	2.74 ^b	13.11 ^{bc}	48.81 ^{ab}	83.03 ^c	63.61 ^b	44.98 ^b	1.01	9.45	0.69
T4	5.50 ^{ab}	6.65 ^a	14.15 ^b	49.41 ^a	88.31 ^c	68.11 ^b	46.67 ^{ab}	1.02	9.47	0.73
T5	5.60 ^{ab}	6.65 ^a	16.50 ^a	50.64 ^a	92.52 ^b	85.00 ^a	48.42 ^a	1.01	9.46	0.77
T6	6.00 ^a	6.85 ^a	16.01 ^a	50.87 ^a	104.42 ^a	86.14 ^a	48.75 ^a	1.02	9.46	0.78
F-test	*	*	*	*	*	*	*	ns	ns	ns
CV	4.58	15.21	18.27	15.24	8.75	15.42	8.22	2.32	1.02	5.33

หมายเหตุ: ns, * ไม่มีความแตกต่างทางสถิติและมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ $p < 0.05$ ตามลำดับค่าเฉลี่ยในแนวนั่งกำกับด้วยตัวอักษรอังกฤษเหมือนกันไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติโดยวิธี Least Significant Difference (LSD)

บทสรุป

ผลการศึกษาสามารถสรุปได้ว่าการใส่วัสดุปรับปรุงดินที่มีส่วนประกอบของแกลบเผา (จากโรงไฟฟ้าชีวมวล) มูลไส้เดือน มูลโค มูลไก่ ขุยมะพร้าว และแกลบดิบ ในชุดดินท่าใหม่ที่ใช้ในการปลูกทุเรียนมีแนวโน้มทำให้ค่าความเป็นกรดต่างเพิ่มสูงขึ้นหลังจากการใส่วัสดุปรับปรุงดินเป็นเวลา 6 เดือน เมื่อเปรียบเทียบกับกรรมวิธีที่ไม่ใส่วัสดุปรับปรุงดิน แต่อย่างไรก็ตามการทดลองนี้เป็นเพียงระยะเวลาสั้น ๆ ควรมีการทดลองในระยะยาว แต่ในภาพรวมปริมาณอินทรีย์วัตถุ ปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ ปริมาณโพแทสเซียมที่สามารถแลกเปลี่ยนได้ของดินภายใต้ทรงพุ่มทุเรียนก็เพิ่มขึ้นเพียงเล็กน้อยหลังจากใส่วัสดุปรับปรุงดินในอัตราส่วนดังกล่าว ซึ่งรวมไปถึงปริมาณแคลเซียม แมกนีเซียม เหล็ก ทองแดง และสังกะสีที่เป็นประโยชน์เพิ่มขึ้นเพียงเล็กน้อยยังคงอยู่ในระดับต่ำ จากผลการทดลองในครั้งนี้แสดงให้เห็นว่า การใส่วัสดุปรับปรุงดินในอัตรา 15-20 กิโลกรัมต่อต้น มีคุณสมบัติในการปรับปรุงสมบัติของดินภายใต้ทรงพุ่มต้นทุเรียน

จากการทดลองในครั้งนี้ขอเสนอแนะคือ ควรศึกษาการเติมวัสดุปรับปรุงดินอย่างต่อเนื่องและสม่ำเสมอเพื่อวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติของดินใต้ทรงพุ่มทุเรียนในระยะยาว

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณ ร้ายยังวัฒนาการเกษตร จังหวัดจันทบุรี ที่ให้การสนับสนุนงบประมาณวิจัย

เอกสารอ้างอิง

- กรมพัฒนาที่ดิน. (2551). การใช้สารปรับปรุงดินในพื้นที่เกษตรกรรม. สำนักเทศและถ่ายทอดเทคโนโลยีการพัฒนาดิน กระทรวงเกษตรและสหกรณ์: กรุงเทพฯ.
- กรมพัฒนาที่ดิน. (2553). คู่มือการปฏิบัติงานกระบวนการวิเคราะห์ตรวจสอบดินทางเคมี. กรมพัฒนาที่ดิน กระทรวงเกษตรและสหกรณ์: กรุงเทพฯ.
- เกศวดี พิงเกษม, สมชัย อนุสนธิ์พรเพิ่ม, ศุภิมา ธนะจิตต์, เอิบ เขียวรีรัมย์ และปรีชา เพชรประไพ. (2561). ผลของซีเถ้า แกลบและโพแทสเซียมต่อสมบัติดินและมันสำปะหลังพันธุ์ห้วยบง 80 ที่ปลูกในชุดดินสตึก. วารสารแก่นเกษตร. 46(5): 911-920.
- จรรย์ธร บุญญาภาพ, กัญจน์ชญา เม้าสัว, ปทมกร มุลทะสิทธิ์ และทยุต สุท่าแปง. (2565). การประเมินความยั่งยืนเชิงเปรียบเทียบระหว่างระบบสวนทุเรียนพื้นเมืองแบบวนเกษตรและสวนทุเรียนผสมเชิงพาณิชย์บริเวณพื้นที่ต้นน้ำ ตำบลบ้านดำนานาขาม จังหวัดอุดรธานี. วารสารวิทยาการสารสนเทศและเทคโนโลยีประยุกต์. 4(1): 13-31.
- จิราภรณ์ อินทสาร, ธัญจิรา สุวรรณพิงคา และฉัตรปวีณ์ เดชจิรัตน์ศิริ. (2566). ผลของกากตะกอนอ้อยต่อสมบัติทางเคมีดิน บางประการในกลุ่มชุดดินที่ 35 ของจังหวัดเชียงใหม่. วารสารเกษตร. 39(1): 59-70.
- คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา. (2548). ปฐพีวิทยาเบื้องต้น. ภาควิชาปฐพีวิทยา คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์: กรุงเทพฯ.
- นิรันดร์ ทังสุคดี. (2556). ทดสอบการปลูกทุเรียนพันธุ์หมอนทองในระบบเกษตรอินทรีย์ของจังหวัดตราด. รายงานการวิจัย. สำนักงานพัฒนาที่ดินเขต 2 กรมพัฒนาที่ดิน ตราด.
- ปิยะ ดวงพัตรา. (2553). สารปรับปรุงดิน. สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์: กรุงเทพฯ.
- พัชร ธีรจินดาจร. (2549). การประเมินความอุดมสมบูรณ์ของดินโดยการวิเคราะห์ดิน. มหาวิทยาลัยขอนแก่น: ขอนแก่น.
- ศิราณี วงศ์กระจำ และบัญชา รัตน์ทุ. (2556). การจัดการดินทรายเพื่อใช้ประโยชน์ทางการเกษตร. วารสารมหาวิทยาลัยนราธิวาสราชนครินทร์. 5: 184-194.
- สุทธิภัทร แซ่ย่าง และจิราภรณ์ อินทสาร. (2563). ผลของวัสดุปรับปรุงดินต่อสมบัติทางกายภาพของดินบางประการได้ทรงพุ่ม มะม่วงอำเภอนครชัยศรี จังหวัดสระบุรี. วารสารวิจัยและส่งเสริมการเกษตร. 37(3): 9-17.
- อภิศรา เตชะเชวงกุล และคณิตา ตั้งคณานุรักษ์. (2565). การใช้ประโยชน์มูลสัตว์เพื่อเป็นทางเลือกของการใช้ปุ๋ยเคมีอย่างเข้มข้นในการเกษตรของชุดดินรือเสาะ. วารสารวิจัย มช. (ฉบับบัณฑิตศึกษา). 22(1): 156-167.
- Ankerman D. and Large R. (1988). Agronomy handbook. In Ankerman D. and Large R., Editor. Soil and plant analysis. Midwest Laboratories: Omaha. 110-132.
- Bouajila K. and Sanaa M. (2011). Effects of organic amendments on soil physico-chemical and biological. Journal of Materials and Environmental Science. 2(1): 485-490.
- Bray R.H. and Kurtz L.T. (1945). Determination of total organic and available form of phosphorus in soils. Soil Science. 59: 39-45.
- Chittamart N., Inkam J., Ketrot D. and Darunsontaya T. (2016). Geochemical fractionation and adsorption characteristics of zinc in Thai major calcareous soils. Communications in Soil Science and Plant Analysis. 47(20): 2348-2363.
- Dee B.M., Haynes R.J. and Meyer J.H. (2002). Sugar mill wastes can be important soil amendments. Proceedings of South African Sugar Technologists Association. 76: 51-60.
- Jindo K., Mizumoto H., Sawada Y., Sanchez-Monedero M.A. and Sonoki T. (2014). Physical and chemical characterization of biochars derived from different agricultural residues. Biogeosciences. 11(23): 6613-6621.
- Rana G.K., Singh Y., Mishra S.P. and Rahangdale H.K. (2018). Potential use of banana and its byproducts: A review. International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences. 7(6): 1827-1832.

- Rastija D., Zebec V. and Rastija M. (2014). Impacts of liming with dolomite on soil pH and phosphorus and potassium availabilities. *Environmental Science, Agricultural and Food Sciences*. 63: 193-196.
- Srinarong S. and Panchaban S. (2003). Effect of filter cake, sludge cake and chemical fertilizer on growth and yield of five rice cultivars (*Oryza sativa* L.) grown on saline soil. *Pakistan Journal of Biological Sciences*. 6(5): 432-436.
- Walkley A.J. and Black I.A. (1934). Estimation of soil organic carbon by the chromic acid titration method. *Soil Science*. 37: 29-38.

Received: December 2, 2023; Revised: October 29, 2024; Accepted: November 12, 2024

การศึกษาสมรรถนะการทำงานของหม้อแปลงไฟฟ้าด้วย MATLAB App Designer Study of transformer performance with MATLAB App Designer

วิชชากร เฮงศรีธวัช¹ และรุจิพรรณ สัมปันนา^{2*}Vichakorn Hengsritawat¹ and Rujipan Sampanna^{2*}¹คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีปทุม กรุงเทพมหานคร¹Faculty of Engineering, Sripatum University, Bangkok²คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยกรุงเทพ จังหวัดปทุมธานี²Faculty of Engineering, Bangkok University, Pathum Thani Province

*Corresponding Author E-mail Address : rujipan.s@bu.ac.th

บทคัดย่อ

บทความนี้นำเสนอ การออกแบบโปรแกรม MATLAB App Designer เพื่อศึกษาสมรรถนะการทำงานของหม้อแปลงไฟฟ้า ตามขอบเขตการเรียนรู้ที่สำคัญของนักศึกษาสาขาวิศวกรรมไฟฟ้า ระดับปริญญาตรี เช่น การทำงานของหม้อแปลงไฟฟ้าเฟสเดียว แบบจำลองทางไฟฟ้า การทดสอบหม้อแปลง คุณลักษณะการจ่ายโหลด ประสิทธิภาพการทำงาน การควบคุมแรงดัน หม้อแปลงไฟฟ้าสามเฟส และกลุ่มเวกเตอร์ เป็นต้น ซึ่งโปรแกรมที่ถูกพัฒนาขึ้นจะมีลักษณะการเชื่อมต่อกับผู้ใช้งานเชิงรูปภาพ ทำให้มีความสะดวกและง่ายสำหรับผู้เรียนใช้เป็นเครื่องมือ ช่วยในการเรียนรู้หลักการทำงานและการวิเคราะห์หม้อแปลงไฟฟ้าของการเรียนรายวิชาเครื่องจักรกลไฟฟ้าได้ โดยผู้เรียนสามารถเลือกหัวข้อที่สนใจศึกษา และป้อนข้อมูลจำเพาะตามคุณลักษณะการทำงานของหม้อแปลง โปรแกรมจะคำนวณผลตามขอบเขตที่ออกแบบไว้ และถูกแสดงทั้งแบบตัวเลขและแบบกราฟ ซึ่งสามารถใช้เปรียบเทียบกับผลการคำนวณด้วยมือ โดยจะทำให้เกิดความเข้าใจหลักการทำงานของหม้อแปลงไฟฟ้ามากขึ้น ผลสำรวจความพึงพอใจของผู้เรียนเชิงสถิติ พบว่า ส่วนใหญ่เห็นว่าการใช้โปรแกรม ทำให้การเรียนรู้มีความน่าสนใจ (คะแนนเฉลี่ย 3.84) รวมถึงช่วยตรวจสอบผลคำนวณได้ดี (คะแนนเฉลี่ย 3.97) และทำให้เกิดความเข้าใจการทำงานของหม้อแปลงไฟฟ้ามากขึ้น (คะแนนเฉลี่ย 3.97) จนสามารถใช้เป็นแนวทางการวิเคราะห์ผล หรืออาจนำไปประยุกต์ใช้สำหรับการทำงานในอนาคตได้

คำสำคัญ: MATLAB App Designer สมรรถนะการทำงานของหม้อแปลง การทดสอบหม้อแปลง

Abstract

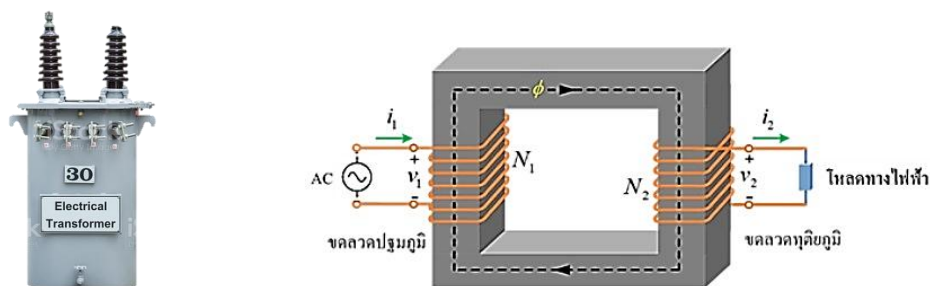
This article presents the design of a MATLAB App Designer program for studying the performance of electrical transformers. The program was designed to meet the important learning objectives of undergraduate electrical engineering students, such as the operation of single-phase transformers, electrical models, transformer testing, load characteristics, efficiency, voltage regulation, three-phase transformers and vector groups. The developed program featured a user-friendly graphical interface, making it easy for students to use as a tool to learn the principles of operation and analysis of transformers in the electrical machinery course. Students could select the topic they were interested in studying and entered the specifications according to the performance characteristics of the transformer. The program produced both

numerical and graphical outputs for the calculated results. These results could be used to compare with the results of manual calculations, leading to a better understanding of the principles of operation of electrical transformers. Statistical results of a student satisfaction survey showed that most students believed that the use of the program makes learning more interesting (average score 3.84), helps to check calculation results well (average score 3.97) and leads to a better understanding of the operation of transformers (average score 3.97). This can be used as a guideline for result analysis or applied to future work.

Keywords: MATLAB App Designer, Transformer performance, Transformer testing

บทนำ

วิชาทฤษฎีเครื่องจักรกลไฟฟ้า นับเป็นวิชาที่มีความสำคัญวิชาหนึ่งตามแผนการเรียนของหลักสูตรวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ ระดับปริญญาตรี เนื่องจากมีเนื้อหาเกี่ยวข้องกับหลักการทำงานและการวิเคราะห์เครื่องจักรกลไฟฟ้าที่สำคัญทางภาคอุตสาหกรรมหลายประเภท อาทิ หม้อแปลงไฟฟ้า เครื่องกำเนิดไฟฟ้า และมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง รวมถึงเครื่องกำเนิดไฟฟ้า และมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับ เป็นต้น ประกอบกับการเรียนเชิงปฏิบัติที่มีเนื้อหาสอดคล้องกัน เพื่อให้ นักศึกษามีทักษะ มีความรู้ความเข้าใจจนสามารถนำไปประกอบอาชีพทางด้านวิศวกรรมได้ ทั้งนี้เนื้อหาส่วนหนึ่งของการเรียน วิชาเครื่องจักรกลไฟฟ้าได้กล่าวถึงการทำงานของหม้อแปลงไฟฟ้า ซึ่งถือว่าเป็นเครื่องจักรกลที่มีความสำคัญมากในระบบไฟฟ้า กำลัง ทำหน้าที่รับส่งจ่ายกำลังไฟฟ้าจากวงจรด้านหนึ่งไปยังอีกด้านหนึ่งโดยอาศัยการเหนี่ยวนำของสนามแม่เหล็ก ทำให้ สามารถปรับเปลี่ยนค่าระดับแรงดันไฟฟ้าตามความเหมาะสมของการใช้งานได้ โครงสร้างทั่วไปของหม้อแปลงไฟฟ้าหนึ่งเฟส แสดงตามรูปที่ 1 ภายในประกอบด้วยแกนเหล็กทรงสี่เหลี่ยม โดยมีขดลวดตัวนำพันร่วมกันบนแกนจำนวน 2 ชุด ขดลวดที่รับ พลังงานไฟฟ้ามีชื่อเรียกว่าขดลวดปฐมภูมิ (Primary winding) ขดลวดที่ส่งพลังงานไฟฟ้าให้โหลดเรียกว่าขดลวดทุติยภูมิ (Secondary winding) ทั้งนี้ ปริมาณการส่งจ่ายกำลังไฟฟ้าจะถูกกำหนดจากโหลด รวมถึงกำลังสูญเสียของหม้อแปลงซึ่ง ประกอบด้วย การสูญเสียในแกนและการสูญเสียในขดลวดตัวนำ โดยในสภาพการทำงานปกติการใช้กำลังงานของโหลดไม่ควร เกินค่าพิกัดของหม้อแปลง (Transformer rating) เพราะอาจทำให้เกิดความเสียหายของขดลวดจากกระแสสูงเกินได้



รูปที่ 1 โครงสร้างหม้อแปลงไฟฟ้าหนึ่งเฟส

ปัญหาสำคัญที่มักได้รับจากผู้เรียนบ่อยครั้ง คือ การทำความเข้าใจเนื้อหาได้ค่อนข้างยาก เนื่องจากหลักการทำงานของ หม้อแปลงเกี่ยวข้องกับการเหนี่ยวนำทางแม่เหล็กไฟฟ้า ซึ่งในทางทฤษฎี การศึกษาสมรรถนะการทำงานของหม้อแปลง ค่าการ ทำงานต่าง ๆ จะถูกคำนวณผลจากแบบจำลองทางไฟฟ้า หรือวงจรสมมูล (Equivalent circuit) ของหม้อแปลง ซึ่ง ประกอบด้วยค่าความต้านทาน (Resistance) และค่ารีแอคแตนซ์ (Reactance) ของขดลวดทั้ง 2 ด้าน รวมถึงแกนเหล็ก อาศัยหลักการวิเคราะห์วงจรไฟฟ้าตามสภาวะเงื่อนไขของโหลด ทำให้สามารถคำนวณค่าพารามิเตอร์ในการทำงานได้ทั้งหมด อย่างไรก็ตาม วิธีการคำนวณดังกล่าวด้วยมือ อาจเกิดความไม่สะดวก ลำบาก และมีข้อผิดพลาดได้ง่าย เนื่องจากระบบการ แก้วสมการของจำนวนเชิงซ้อนที่มีหลายขั้นตอน รวมถึงการคำนวณอาจพิจารณาจากวงจรสมมูลที่มีหลายแบบ ทั้งที่เป็นวงจร

การทำงานจริง และวงจรแบบประมาณที่มีการอ้างอิงกับด้านใดด้านหนึ่งของหม้อแปลงก็ได้ ทำให้ผู้เรียนอาจเกิดความสับสน คำนวณค่าการทำงานผิดพลาด ส่งผลให้การวิเคราะห์และประเมินสมรรถนะการทำงานไม่ถูกต้อง

ดังนั้น ในมุมมองความช่วยเหลือด้านการเรียนรู้ผ่านเครื่องมือช่วยจำลองและคำนวณผลจึงมีประโยชน์มาก เช่น การใช้โปรแกรม MATLAB ซึ่งเป็นที่นิยมและยอมรับด้านความสามารถในการคำนวณทางวิศวกรรมมากขึ้น (Jose et al., 2017; Thomas et al., 2020; Ruslan et al., 2022; Ngo et al., 2023) บทความนี้จึงนำเสนอการพัฒนาโปรแกรม MATLAB App Designer เพื่อออกแบบใช้เป็นเครื่องมือช่วยในการคำนวณ รวมถึงการศึกษาและวิเคราะห์สมรรถนะการทำงานของหม้อแปลง ในประเด็นที่สำคัญ โดยมีความครอบคลุมตามขอบเขตการศึกษาซึ่งต่างจากงานวิจัยที่ผ่านมา (วิชกร และคณะ, 2563; Suryasen et al., 2014; Nileema et al., 2015; Sunny et al., 2016; Praveen et al., 2019) ดังนี้

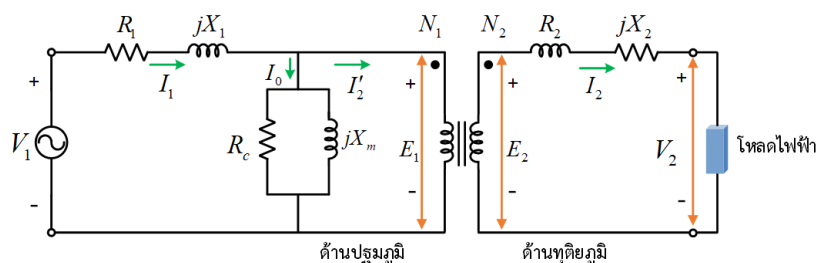
1. หม้อแปลงอุดมคติ (Ideal transformer)
2. แบบจำลองทางไฟฟ้าของหม้อแปลง (Transformer electrical model)
3. การทดสอบหม้อแปลง (Transformer testing)
4. คุณสมบัติการจ่ายโหลดของหม้อแปลง (Transformer loading characteristic)
5. ประสิทธิภาพตลอดวัน (All-day efficiency)
6. ขั้วสายของหม้อแปลง (Transformer polarity)
7. กลุ่มเวกเตอร์ (Vector groups)
8. หม้อแปลงไฟฟ้า 3 เฟส (Three-phase transformer)

วัตถุประสงค์หลัก เพื่อให้ให้นักศึกษาสามารถตรวจสอบหรือเปรียบเทียบผลการคำนวณ รวมถึงสังเกตการเปลี่ยนแปลงค่าต่าง ๆ ได้ง่ายจากลักษณะของโปรแกรมที่มีการติดต่อกับผู้ใช้งานเชิงภาพ (Graphic user interface: GUI) โดยสามารถป้อนข้อมูลได้โดยสะดวก และมีการแสดงผลได้ทั้งแบบตัวเลขและกราฟ ซึ่งจะช่วยให้ผู้เรียนเกิดความรู้ความเข้าใจยิ่งขึ้น

วัสดุ อุปกรณ์ และวิธีการ

1. แบบจำลองทางไฟฟ้าของหม้อแปลง

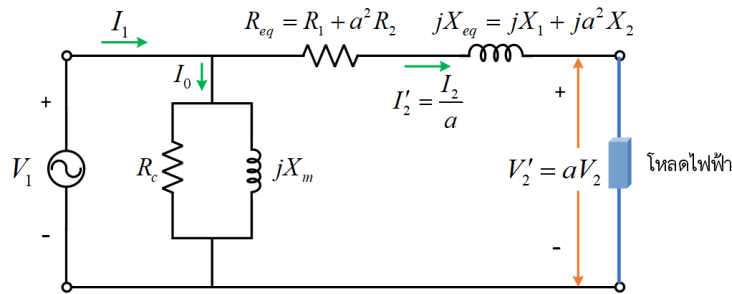
จากหลักการทำงานของหม้อแปลงไฟฟ้าหนึ่งเฟส (Stephen, 1976; Charles, 1991; Arthur et al., 1992; Peter, 1994) ตามโครงสร้างในรูปที่ 1 สามารถเขียนวงจรสมมูลทางไฟฟ้าจริงของหม้อแปลงได้ดังรูปที่ 2 ซึ่งประกอบด้วยวงจรทางไฟฟ้าของขดลวดทั้งสองด้าน รวมถึงแบบจำลองแกนหม้อแปลงด้านปฐมภูมิ



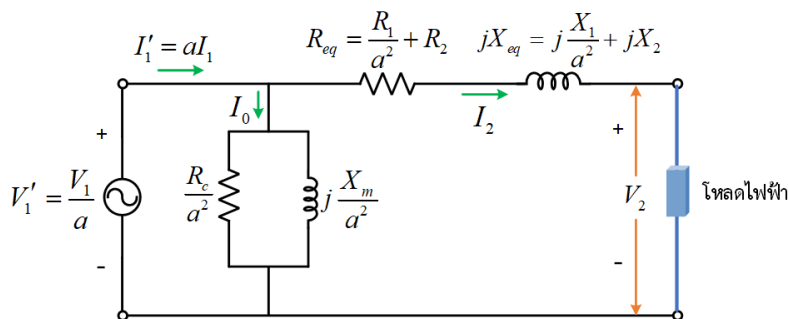
รูปที่ 2 วงจรสมมูลทางไฟฟ้าจริงต่อเฟสของหม้อแปลง

โดยที่	V_1, V_2	คือ แรงดันไฟฟ้าด้านปฐมภูมิและทุติยภูมิ
	E_1, E_2	คือ แรงดันไฟฟ้าเหนี่ยวนำด้านปฐมภูมิและทุติยภูมิ
	I_1, I_2	คือ กระแสไฟฟ้าด้านปฐมภูมิและทุติยภูมิ
	N_1, N_2	คือ จำนวนรอบขดลวดด้านปฐมภูมิและทุติยภูมิ
	R_1, jX_1	คือ ความต้านทานและรีแอกแตนซ์ของขดลวดด้านปฐมภูมิ
	R_2, jX_2	คือ ความต้านทานและรีแอกแตนซ์ของขดลวดด้านทุติยภูมิ
	R_C, jX_m	คือ ความต้านทานและรีแอกแตนซ์แม่เหล็กของแกนหม้อแปลง

หน้าที่หลักของหม้อแปลง คือการรับส่งจ่ายพลังงานไฟฟ้าจากด้านปฐมภูมิไปยังด้านทุติยภูมิ ซึ่งอาจมีระดับแรงดันที่สูงกว่าหรือต่ำกว่าก็ได้ขึ้นกับวัตถุประสงค์ของการใช้งาน โดยหากแรงดันมีค่าสูงขึ้นจะเรียกว่า หม้อแปลงยกระดับแรงดัน แต่หากแรงดันมีค่าต่ำลงจะเรียกว่า หม้อแปลงลดระดับแรงดัน ซึ่งโดยทั่วไปการหาค่าสมรรถนะการทำงานของหม้อแปลง จะใช้วงจรสมมูลทางไฟฟ้าแบบประมาณที่มีการย้ายพารามิเตอร์ไปอ้างอิงอยู่ที่ด้านใดด้านหนึ่งของขดลวด ตามหลักการเหนี่ยวนำของสนามแม่เหล็กไฟฟ้าที่ถูกพิจารณาจากการทำงานของหม้อแปลงไฟฟ้าอุดมคติที่มีอัตราส่วนจำนวนรอบ (Turn ratio: a) สัมพันธ์กับค่าแรงดันและกระแสตามสมการที่ (1) ซึ่งผลคำนวณที่ได้จากวงจรสมมูลประมาณ จะมีความแตกต่างจากการใช้วงจรสมมูลจริงไม่มากนัก โดยการประมาณนี้จะย้ายแบบจำลองของแกนหม้อแปลงไปยังด้านหน้า ทำให้ค่าอิมพีแดนซ์ของขดลวดสามารถรวมกันได้ ดังแสดงวงจรสมมูลแบบประมาณอ้างอิงด้านปฐมภูมิ ในรูปที่ 3 และอ้างอิงด้านทุติยภูมิในรูปที่ 4



รูปที่ 3 วงจรสมมูลแบบประมาณอ้างอิงด้านปฐมภูมิของหม้อแปลงไฟฟ้า



รูปที่ 4 วงจรสมมูลแบบประมาณอ้างอิงด้านทุติยภูมิของหม้อแปลงไฟฟ้า

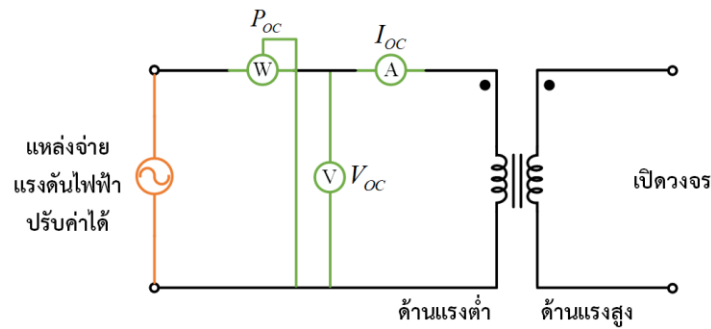
$$\text{Turn ratio: } a = \frac{N_1}{N_2} = \frac{V_1}{V_2} = \frac{I_2}{I_1} \quad (1)$$

2. การทดสอบหม้อแปลงไฟฟ้า

การทดสอบหม้อแปลงไฟฟ้า เป็นกระบวนการที่สำคัญอย่างหนึ่งสำหรับการศึกษาคูณลักษณะเฉพาะทางไฟฟ้าของหม้อแปลง โดยทั่วไปจะแบ่งการทดสอบออกเป็น 2 แบบคือ การทดสอบแบบเปิดวงจร เพื่อหาค่ากำลังสูญเสียที่แกน (Core losses) หรือกำลังสูญเสียในขณะที่ยังไม่มีโหลด (No-load losses) และการทดสอบแบบลัดวงจร (Short-circuit test) เพื่อใช้หาค่ากำลังสูญเสียในขดลวดทั้งหมดของหม้อแปลง (Copper losses) นอกจากนี้ยังสามารถนำผลการทดสอบดังกล่าวมาใช้หาค่าอิมพีแดนซ์หรือค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ อันเป็นส่วนประกอบในวงจรสมมูลทางไฟฟ้าของหม้อแปลง

2.1 การทดสอบแบบเปิดวงจร (Open-circuit test)

การทดสอบแบบนี้ คือการให้หม้อแปลงไฟฟ้าทำงานในลักษณะที่ไม่มีโหลด โดยทั่วไปจะให้ขดลวดทางด้านแรงต่ำต่อกับแหล่งจ่ายเพื่อจ่ายแรงดันไฟฟ้าตามพิกัดของหม้อแปลงไฟฟ้า ส่วนขดลวดทางด้านแรงสูงให้เปิดวงจรไว้ โดยมีเครื่องวัดทางไฟฟ้าที่สำคัญต่ออยู่ด้วยประกอบด้วย วัตต์มิเตอร์ แอมป์มิเตอร์ และโวลต์มิเตอร์ ดังรูปที่ 5



รูปที่ 5 การทดสอบหม้อแปลงไฟฟ้าในสภาวะเปิดวงจร

จากรูปที่ 5 วิธีการทดสอบจะเริ่มจากการค่อย ๆ ปรับแรงดันไฟฟ้าทางด้านแรงต่ำให้ได้ตามค่าพิกัดแรงดันของหม้อแปลง หลังจากนั้นบันทึกค่าที่ได้จากวัตต์มิเตอร์ซึ่งจะหมายถึงค่ากำลังไฟฟ้าสูญเสียในแกนเหล็ก (P_{oc}) ส่วนค่าที่ได้จากโวลต์มิเตอร์จะหมายถึงแรงดันไฟฟ้าพิกัดด้านแรงต่ำ (V_{oc}) และค่าที่ได้จากแอมป์มิเตอร์ที่จะหมายถึงกระแสไฟฟ้าขณะที่ไม่มีโหลด (I_{oc}) ซึ่งจากข้อมูลการทดสอบแบบเปิดวงจรทำให้สามารถคำนวณหาค่า R_c และ X_m ของแกนหม้อแปลงในวงจรสมมูลแบบประมาณได้ตามสมการที่ (2) ถึง (5)

$$|Y_c| = G_c - jB_m = \frac{I_{oc}}{V_{oc}} \quad (2)$$

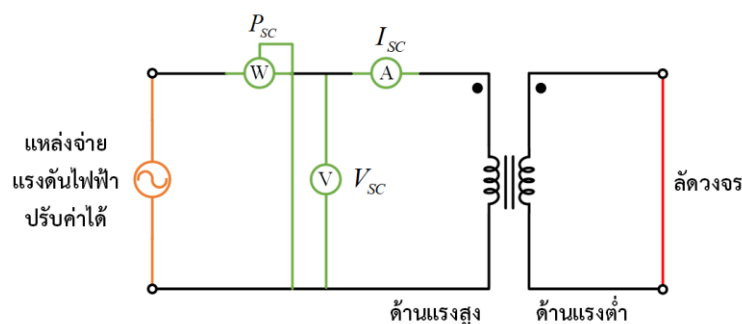
$$PF_{oc} = \cos \theta = \frac{P_{oc}}{V_{oc} I_{oc}} \quad (3)$$

$$R_c = \frac{1}{G_c} = \frac{1}{|Y_c| \cos \theta} \quad (4)$$

$$X_m = \frac{1}{B_m} = \frac{1}{|Y_c| \sin \theta} \quad (5)$$

2.2 การทดสอบแบบลัดวงจร (Short-circuit test)

วิธีการทดสอบหม้อแปลงไฟฟ้าในสภาวะลัดวงจรคือ การให้ขดลวดทางด้านแรงสูงต่อกับแหล่งจ่ายแรงดันไฟฟ้าแล้วปรับแรงดันให้ได้กระแสเท่ากับค่ากระแสพิกัดด้านแรงสูงของหม้อแปลง โดยขดลวดทางด้านแรงต่ำให้ลัดวงจรไว้ ซึ่งยังคงใช้เครื่องวัดทางไฟฟ้าเหมือนเดิมคือ วัตต์มิเตอร์ แอมป์มิเตอร์ และโวลต์มิเตอร์ ดังรูปที่ 6 ดังนั้นค่ากระแสที่ได้จากแอมป์มิเตอร์จะหมายถึงกระแสลัดวงจร (I_{sc}) ซึ่งมีค่าเท่ากับกระแสพิกัดของหม้อแปลงด้านแรงสูงนั่นเอง ส่วนค่าที่ได้จากวัตต์มิเตอร์จะเป็นกำลังไฟฟ้าสูญเสียรวมทั้งหมดในขดลวดทั้งสองด้านของหม้อแปลง (P_{sc}) ส่วนค่าที่ได้จากโวลต์มิเตอร์จะหมายถึงแรงดันไฟฟ้าขณะลัดวงจร (V_{sc})



รูปที่ 6 การทดสอบหม้อแปลงไฟฟ้าในสภาวะลัดวงจร

ในการทำนองเดียวกันจากข้อมูลการทดสอบแบบลัดวงจร สามารถคำนวณค่าอิมพีแดนซ์โดยรวมของหม้อแปลงแบบประมาณได้ตามสมการที่ (6) ถึง (8)

$$|Z_{eq}| = \frac{V_{sc}}{I_{sc}} \quad (6)$$

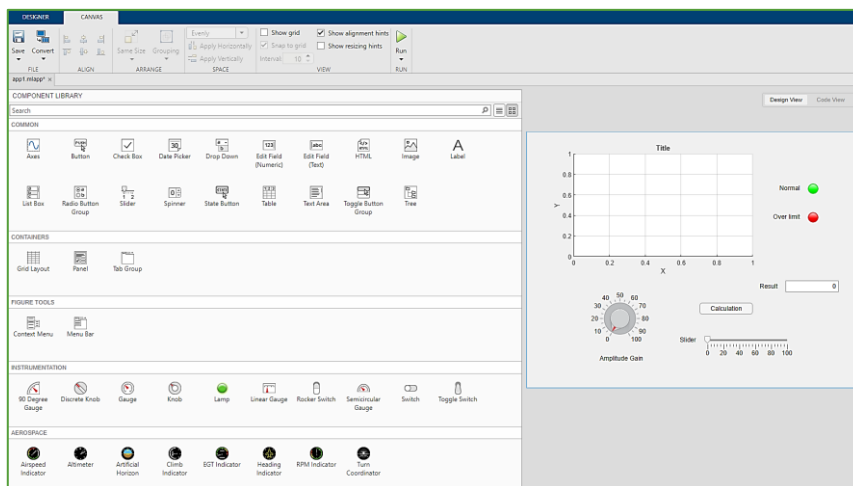
$$R_{eq} = \frac{P_{sc}}{I_{sc}^2} \quad (7)$$

$$X_{eq} = \sqrt{|Z_{eq}|^2 - R_{eq}^2} \quad (8)$$

โดยที่ R_{eq}, X_{eq} คือ ความต้านทานและรีแอคแตนซ์รวมของขดลวดด้านแรงสูง
 Z_{eq} คือ อิมพีแดนซ์รวมของขดลวดด้านแรงสูง

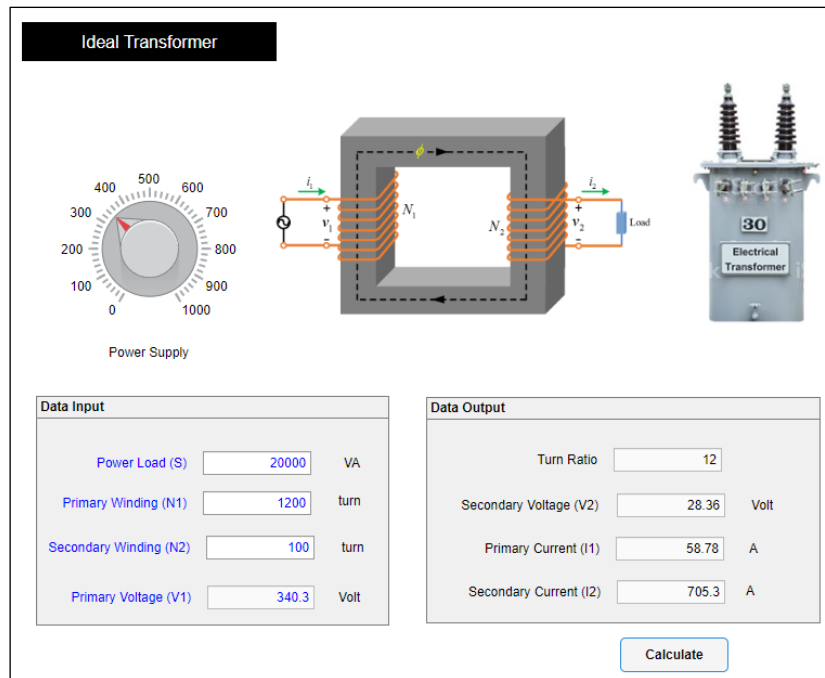
3. การออกแบบด้วยโปรแกรม MATLAB App Designer

การพัฒนาจากโปรแกรม MATLAB GUI เดิมมาเป็น App Designer ทำให้สามารถสร้างงานได้ง่ายและสะดวกขึ้น โดยไม่จำเป็นต้องเป็นนักพัฒนาซอฟต์แวร์มืออาชีพ ด้วยการลากวัตถุและวางส่วนประกอบภาพเพื่อจัดวางการออกแบบส่วนติดต่อผู้ใช้แบบกราฟิกได้อย่างรวดเร็ว และด้วยฟังก์ชันการคำนวณที่มีประสิทธิภาพของ MATLAB ทำให้โปรแกรมที่สร้างด้วย App Designer นอกจากจะมีความสวยงามแล้ว ยังคงใช้ศักยภาพของฟังก์ชันเหล่านี้ในการช่วยคำนวณผลได้อย่างถูกต้องและมีประสิทธิภาพ ดังแสดงหน้าต่างอุปกรณ์ต่าง ๆ ที่มีในโปรแกรม ตามรูปที่ 7



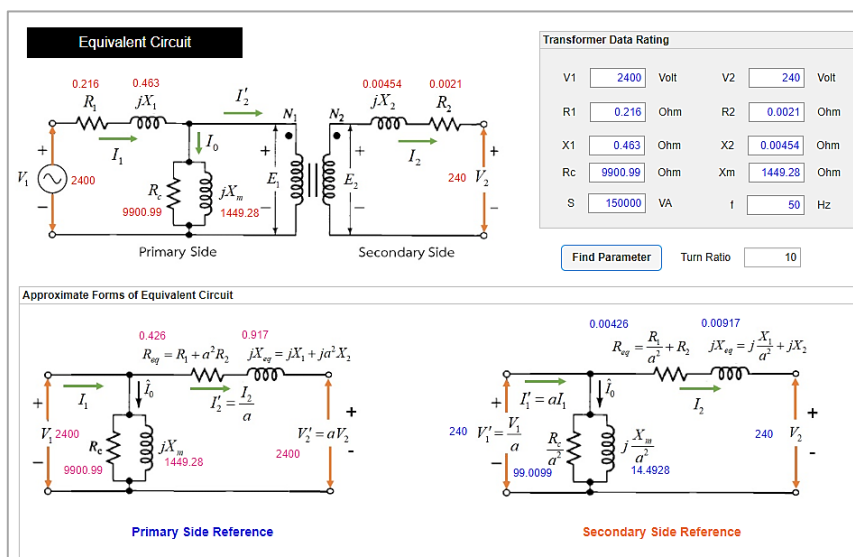
รูปที่ 7 หน้าต่างอุปกรณ์เครื่องมือของโปรแกรม MATLAB App Designer

หัวข้อการศึกษาหม้อแปลงไฟฟ้า จะเริ่มจากคุณลักษณะสมบัติของหม้อแปลงอุดมคติ ซึ่งละเลยค่ากำลังสูญเสียทั้งหมด ทำให้การผลิตแรงดันไฟฟ้าที่โหลดจะเป็นไปตามอัตราส่วนจำนวนรอบ ดังนั้นผู้เรียนจะเห็นการเปลี่ยนแปลงของระดับแรงดันและกระแสได้ จากการป้อนข้อมูลจำนวนรอบขดลวดของหม้อแปลง รวมถึงค่ากำลังงานพิกัด และแรงดันด้านปฐมภูมิเพื่อสังเกตค่าแรงดันด้านโหลดได้ ตามรูปที่ 8



รูปที่ 8 หน้าต่างการเรียนรู้หม้อแปลงอุดมคติ

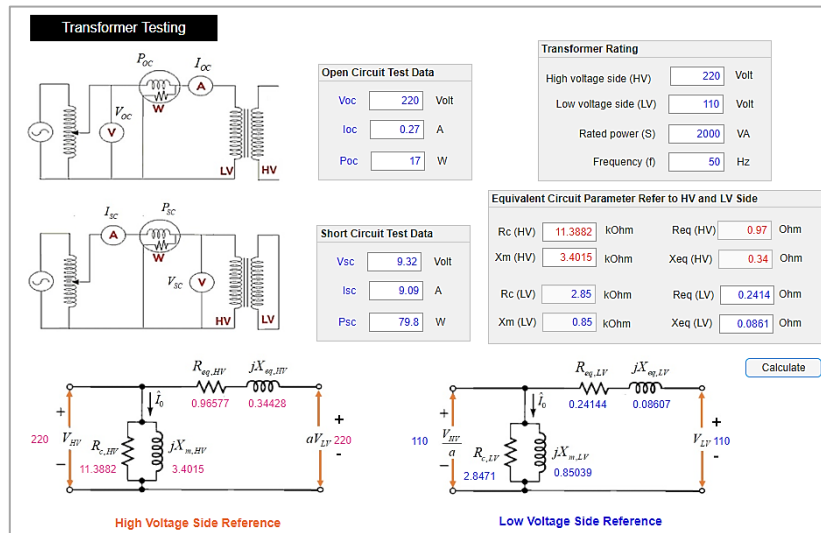
ในส่วนการวิเคราะห์สมรรถนะการทำงานของหม้อแปลง จะต้องใช้แบบจำลองทางไฟฟ้าที่มีความถูกต้อง ซึ่งการออกแบบโปรแกรมในส่วนนี้ เมื่อผู้เรียนป้อนข้อมูลพารามิเตอร์พิกัดของหม้อแปลง โปรแกรมจะแสดงจรรยาบรรณจริง และวงจรแบบประมาณที่อ้างอิงทั้งด้านปฐมภูมิและทุติยภูมิ โดยจะแสดงค่าตัวเลขประกอบบนรูปภาพให้เห็นตำแหน่งอย่างชัดเจน เพื่อนำไปใช้ในการคำนวณต่อไปได้ ตามรูปที่ 9



รูปที่ 9 หน้าต่างการเรียนรู้วงจรสมมูลหม้อแปลงไฟฟ้า

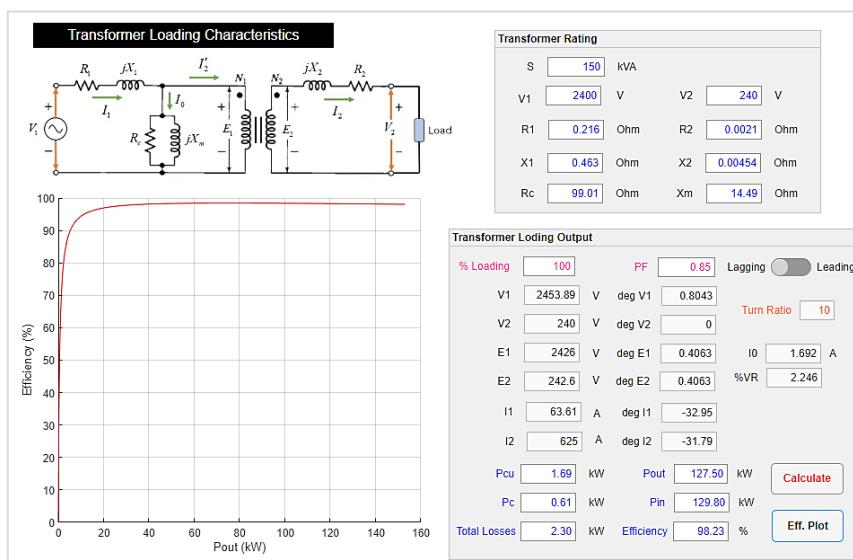
การหาพารามิเตอร์ของหม้อแปลงเพื่อสร้างแบบจำลองทางไฟฟ้า จะใช้วิธีการทดสอบหม้อแปลงทั้งการทดสอบแบบเปิดวงจรและลัดวงจร ซึ่งการออกแบบโปรแกรมส่วนนี้ ผู้เรียนเพียงป้อนข้อมูลค่าแรงดัน กระแส และกำลังไฟฟ้าที่ได้จากการทดสอบ รวมถึงค่าพิกัดของหม้อแปลง โปรแกรมจะประมวลผลและแสดงค่าพารามิเตอร์บนรูปวงจรสมมูลแบบประมาณที่มี

การอ้างอิงทั้งด้านแรงสูงและด้านแรงต่ำ เพื่อให้ผู้เรียนสามารถเลือกนำไปใช้สำหรับการวิเคราะห์ได้อย่างถูกต้อง และมีความสะดวก ตามรูปที่ 10



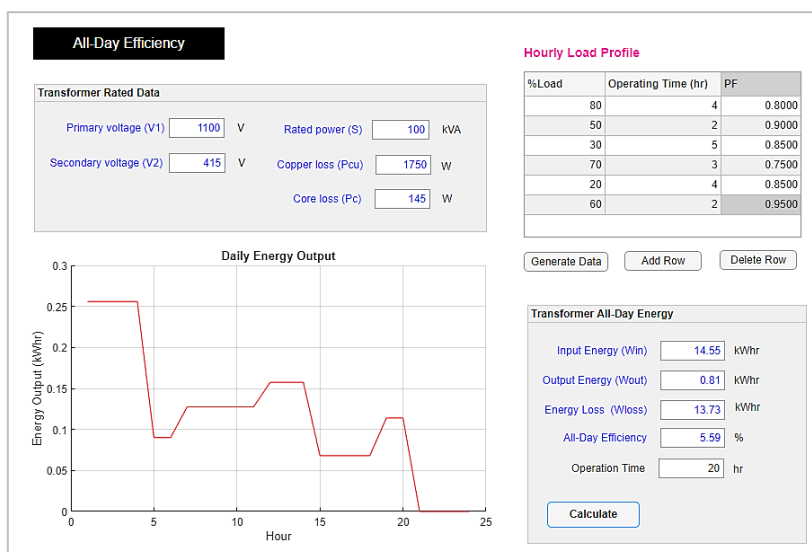
รูปที่ 10 หน้าต่างการเรียนรู้การทดสอบหม้อแปลงไฟฟ้า

คุณลักษณะที่บอกถึงสมรรถนะการทำงานของหม้อแปลงเมื่อมีการจ่ายโหลดทางไฟฟ้า ก็คือ ค่ากำลังไฟฟ้าที่จ่ายให้โหลด ค่ากำลังสูญเสีย ค่าประสิทธิภาพ ค่ากระแสทำงาน รวมถึงค่าแรงดันด้านเข้า และอัตราการเปลี่ยนแปลงแรงดัน การประมวลผลของโปรแกรมส่วนนี้ จะคำนวณค่าการทำงานดังกล่าวตามขนาดและเงื่อนไขของโหลดที่กำหนด รวมถึงค่าแรงดันกระแสทางเฟสเซอร์ในส่วนต่าง ๆ ของแบบจำลอง และยังแสดงกราฟประสิทธิภาพการทำงาน เมื่อหม้อแปลงมีการจ่ายโหลดที่ระดับต่าง ๆ ของค่าพิกัด เพื่อให้ผู้เรียนสังเกตเห็นความสัมพันธ์ระหว่างค่าประสิทธิภาพที่มีการเปลี่ยนแปลงตามขนาดโหลดที่มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นและเริ่มลดลงเมื่อหม้อแปลงทำงานบริเวณใกล้ค่าพิกัด ดังรูปที่ 11



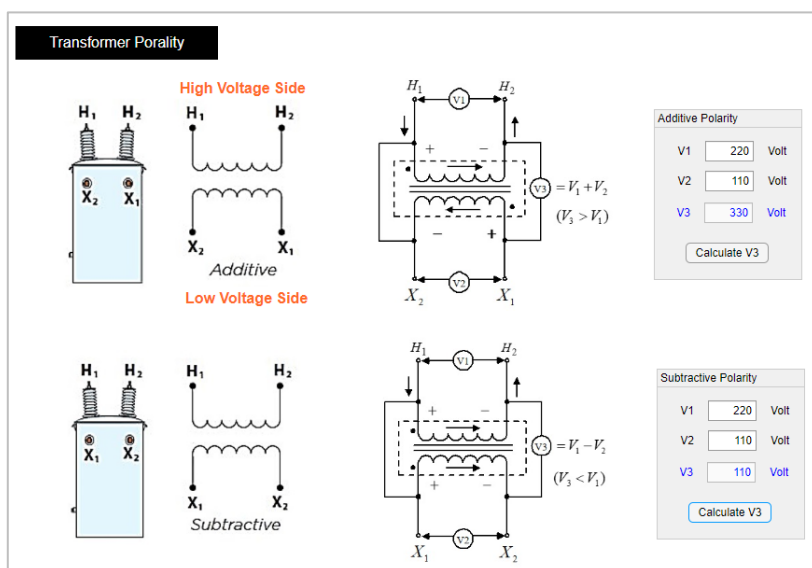
รูปที่ 11 หน้าต่างการเรียนรู้คุณลักษณะการจ่ายโหลดของหม้อแปลงไฟฟ้า

ความสามารถในการทำงานตลอดวันของหม้อแปลง จะพิจารณาจากค่าพลังงานรายชั่วโมง (Hourly energy) ซึ่งหม้อแปลงอาจมีการจ่ายโหลดที่มีระดับความต้องการของกำลังงาน ค่าตัวประกอบกำลัง (Power factor) และจำนวนชั่วโมงในการทำงานแตกต่างกัน การศึกษาในเรื่องนี้ โปรแกรมจะคำนวณค่าประสิทธิภาพตลอดวัน รวมถึงค่าพลังงานในการทำงาน พลังงานสูญเสีย และแสดงกราฟการใช้พลังงานทั้งวันของหม้อแปลง เมื่อผู้เรียนป้อนข้อมูลค่าพิกัดหม้อแปลง และโหลดรายชั่วโมงซึ่งสามารถเพิ่มระดับการทำงานได้ตามต้องการ ดังรูปที่ 12



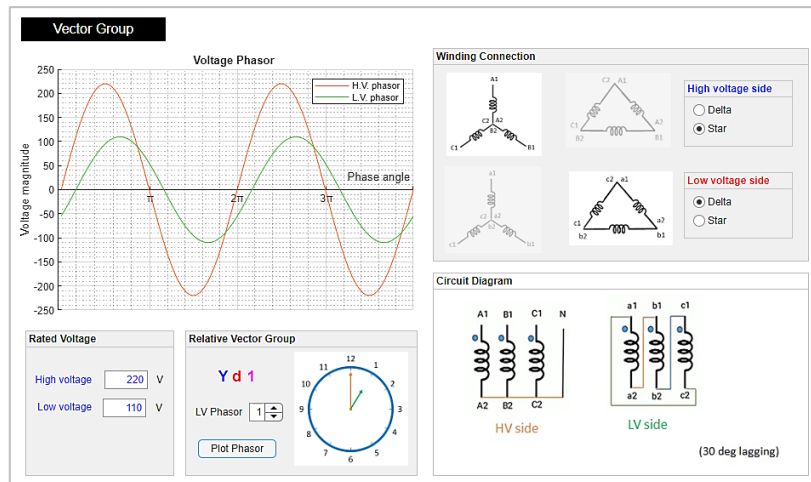
รูปที่ 12 หน้าต่างการเรียนรู้ประสิทธิภาพตลอดวันของหม้อแปลงไฟฟ้า

การทดสอบหม้อแปลงเพื่อดูลักษณะการต่อขั้วสาย เป็นเรื่องสำคัญด้านความปลอดภัยในการทำงาน กรณีที่ต้องใช้หม้อแปลงมากกว่าหนึ่งตัวต่อขนานกันเพื่อเพิ่มความสามารถในการจ่ายกำลังงาน ซึ่งมี 2 แบบคือ ขั้วสายแบบเสริมกัน (Additive polarity) และขั้วสายแบบหักล้างกัน (Subtractive polarity) การศึกษาส่วนนี้ โปรแกรมจะแสดงรูปการต่อวงจรทดสอบ รวมถึงค่าแรงดันที่วัดระหว่างขดลวดด้านแรงสูงและแรงต่ำ ซึ่งจะมีความสัมพันธ์ตามลักษณะของขั้วสาย ดังรูปที่ 13



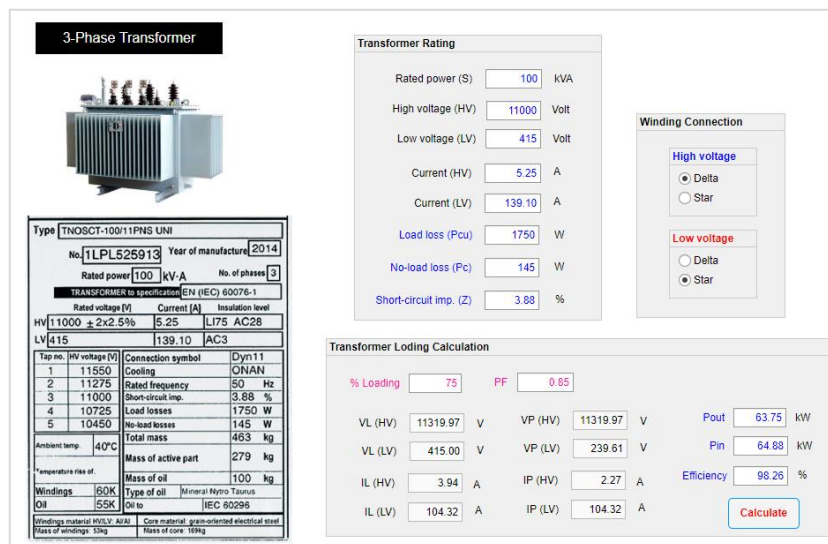
รูปที่ 13 หน้าต่างการเรียนรู้ขั้วสายหม้อแปลงไฟฟ้า

การศึกษากรุปเวกเตอร์ของหม้อแปลงไฟฟ้าสามเฟส เป็นอีกเรื่องหนึ่งที่มีสร้างความสับสนให้กับผู้เรียน ดังนั้นการออกแบบโปรแกรมส่วนนี้ จะช่วยให้มีความเข้าใจการต่อขดลวดหม้อแปลงสามเฟสแบบวายน์ (Wye) และเดลต้า (Delta) ตามกรุปเวกเตอร์ต่าง ๆ ซึ่งโดยทั่วไปจะเป็นกรุป Yy0, Yy6, Yd1, Yd11, Dd0, Dd6, Dy1 และ Dy11 เป็นต้น โปรแกรมจะแสดงภาพลักษณะการต่อขดลวด ความสัมพันธ์เมื่อเทียบกับนาฬิกา รวมถึงเฟสเซอร์ของแรงดันไฟฟ้าด้านแรงสูงและแรงต่ำที่มีความสัมพันธ์ตามกรุปเวกเตอร์ ซึ่งอาจตรงกันหรือมีการนำหน้า (Leading) และล่าหลัง (Lagging) ได้ ตามรูปที่ 14



รูปที่ 14 หน้าต่างการเรียนรู้กรุปเวกเตอร์ของหม้อแปลงไฟฟ้าสามเฟส

หม้อแปลงไฟฟ้าสามเฟส มีบทบาทหน้าที่สำคัญในการส่งจ่ายกำลังไฟฟ้าของระบบไฟฟ้ากำลังสามเฟส ซึ่งทั่วไปการใช้งานเป็นหม้อแปลงลดแรงดันจะต่อขดลวดแบบเดลต้า-วายน์ ($\Delta - Y$) สำหรับการใช้งานเป็นหม้อแปลงเพิ่มแรงดันจะต่อแบบวายน์-เดลต้า ($Y - \Delta$) โดยหลักการทำงานยังคงคล้ายกับหม้อแปลงไฟฟ้าเฟสเดียว ต่างกันที่การคำนวณจะพิจารณาเป็นระบบสามเฟส ดังนั้นในหัวข้อการเรียนรู้นี้ ผู้เรียนสามารถใช้ผลคำนวณเป็นแนวทางศึกษาคุณลักษณะการทำงานของหม้อแปลง จากค่าขนาดแรงดัน กระแส ทั้งที่เฟส (Phase) และที่สาย (Line) ของขดลวดแรงต่ำและแรงสูงตามลักษณะการต่อขดลวดที่กำหนด รวมถึงค่าประสิทธิภาพ ซึ่งจำเป็นต้องใช้ข้อมูลพิกัดของหม้อแปลง 3 เฟส ดังรูปที่ 15



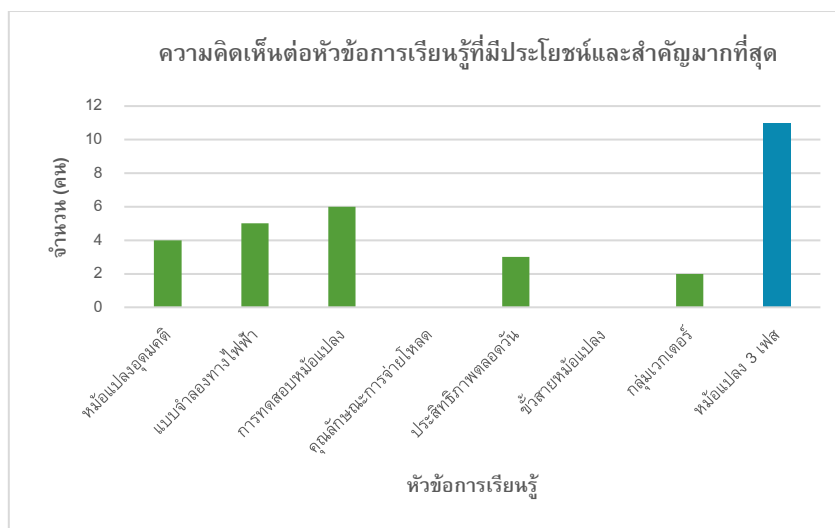
รูปที่ 15 หน้าต่างการเรียนรู้หม้อแปลงไฟฟ้าสามเฟส

ผลการวิจัย

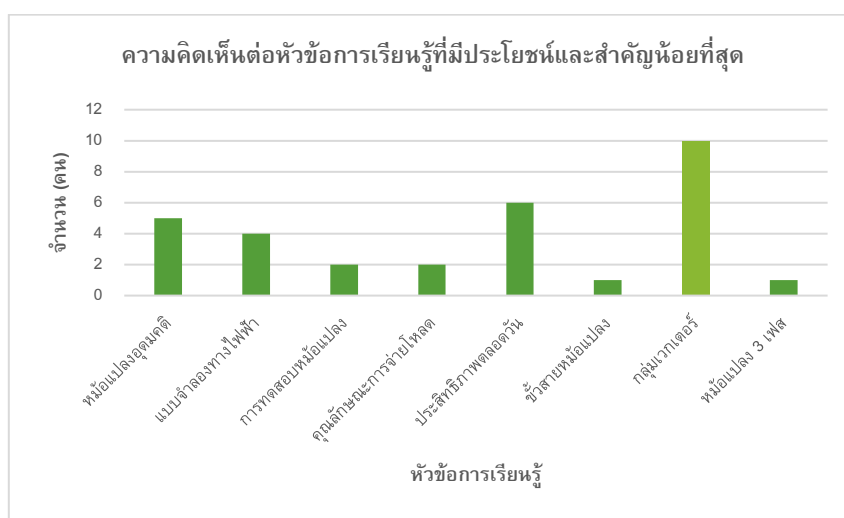
ผลสำรวจความคิดเห็นของนักศึกษา สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ ชั้นปีที่ 3 และ 4 จำนวน 31 คน ที่มีต่อการใช้โปรแกรม MATLAB App Designer สำหรับการเรียนรู้สมรรถนะการทำงานของหม้อแปลงไฟฟ้า มีวัตถุประสงค์เพื่อรับทราบความคิดเห็นของนักศึกษา ในการใช้เป็นแนวทางพัฒนาเครื่องมือสนับสนุนการเรียนรู้รายวิชาเครื่องจักรกลไฟฟ้า ด้วยการวิเคราะห์ผลตอบของคะแนนจากคำถามที่ออกแบบไว้ทางสถิติเชิงพรรณนา (มนัสนันท์ และคณะ, 2564; อโรชา และคณะ, 2564) ประกอบด้วย ค่าความถี่ ร้อยละ ค่าเฉลี่ย และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน ดังตารางที่ 1 โดยผลสำรวจข้อมูลเบื้องต้นแสดงให้เห็นว่านักศึกษาส่วนใหญ่มีคอมพิวเตอร์ส่วนตัว (29 คน) โดยมีคนที่รู้จักและเคยใช้งานโปรแกรม MATLAB จำนวน 2 คน รู้จักแต่ไม่เคยใช้งาน จำนวน 12 คน และไม่เคยรู้จัก จำนวน 17 คน

ตารางที่ 1 ผลสำรวจความคิดเห็นของนักศึกษาที่มีต่อการใช้โปรแกรม

คำถาม	จำนวน (ร้อยละ)					ค่าเฉลี่ย	SD
	1	2	3	4	5		
1. การใช้โปรแกรมทำให้การเรียนรู้มีความน่าสนใจมากขึ้น	1 (3.2)	3 (9.7)	4 (12.9)	15 (48.4)	8 (25.8)	3.84	1.04
2. การใช้โปรแกรมสามารถช่วยตรวจสอบผลคำนวณได้ดี	1 (3.2)	3 (9.7)	4 (12.9)	11 (35.5)	12 (38.7)	3.97	1.11
3. การใช้โปรแกรมทำให้เกิดความเข้าใจการทำงานของหม้อแปลงไฟฟ้ามากขึ้น	2 (6.5)	2 (6.5)	3 (9.7)	12 (38.7)	12 (38.7)	3.97	1.17
4. สามารถนำผลจากโปรแกรมไปวิเคราะห์และสรุปผลได้ตามหลักวิชาการ	2 (6.5)	3 (9.7)	4 (12.9)	8 (25.8)	14 (45.2)	3.94	1.26
5. สามารถประยุกต์ใช้โปรแกรมในการทำงานด้านวิชาชีพได้ในอนาคต	2 (6.5)	2 (6.5)	4 (12.9)	13 (41.9)	10 (32.3)	3.87	1.15
6. การใช้โปรแกรมมีประโยชน์ต่อการเรียนรู้	2 (6.5)	1 (3.2)	5 (16.1)	10 (32.3)	13 (41.9)	4.00	1.15
7. การใช้โปรแกรมมีความจำเป็นต่อการเรียนรู้	1 (3.2)	3 (9.7)	6 (19.4)	13 (41.9)	8 (25.8)	3.77	1.06
8. โปรแกรมที่ออกแบบสวยงาม มีลักษณะการใช้งานง่ายและสะดวก	1 (3.2)	3 (9.7)	4 (12.9)	13 (41.9)	10 (32.3)	3.90	1.08
9. โปรแกรมแสดงผลตอบโต้แบบเข้าใจง่ายและชัดเจน	2 (6.5)	3 (9.7)	4 (12.9)	10 (32.3)	12 (38.7)	3.87	1.23
10. ควรมีโปรแกรมในลักษณะนี้กับหัวข้อการเรียนรู้เครื่องจักรกลไฟฟ้าอื่นด้วย	3 (9.7)	1 (3.2)	4 (12.9)	11 (35.5)	12 (38.7)	3.90	1.25



รูปที่ 16 ความคิดเห็นต่อหัวข้อการเรียนรู้ที่มีประโยชน์และสำคัญมากที่สุด



รูปที่ 17 ความคิดเห็นต่อหัวข้อการเรียนรู้ที่มีประโยชน์และสำคัญน้อยที่สุด

นอกจากนี้ นักศึกษายังให้ความคิดเห็นที่มีต่อหัวข้อการเรียนรู้ต่าง ๆ ของโปรแกรม ซึ่งมองว่าเป็นประโยชน์และมีความสำคัญมากที่สุดคือ เรื่องหม้อแปลงไฟฟ้า 3 เฟส ดังรูปที่ 16 โดยให้เหตุผลว่า เป็นเครื่องจักรกลไฟฟ้าหลักที่มีการใช้งานในระบบไฟฟ้ากำลังของทุกภาคส่วนตั้งแต่ระบบการผลิต ระบบส่งจ่าย รวมถึงระบบจำหน่ายให้กับภาคอุตสาหกรรม อาคารสำนักงาน และบ้านพักอาศัย เป็นต้น ประกอบกับการคำนวณค่าการทำงานในเรื่องนี้มีความซับซ้อนมากกว่าเรื่องอื่น สำหรับหัวข้อที่เห็นว่าไม่ประโยชน์และมีความสำคัญน้อยที่สุดคือ เรื่องกลุ่มเวกเตอร์ ดังรูปที่ 17 โดยให้เหตุผลว่า ไม่เข้าใจว่าเรื่องนี้สอนถึงอะไร และจะนำไปใช้ประโยชน์อย่างไรในการทำงานจริง

บทสรุป

การศึกษามรรณะการทำงานของหม้อแปลงไฟฟ้า ด้วยการพัฒนาโปรแกรม MATLAB App Designer สามารถช่วยให้ผู้เรียนมีความรู้ความเข้าใจ หลักการวิเคราะห์คำนวณผลการทำงานของหม้อแปลง ตามขอบเขตเนื้อหาการเรียนในวิชาเครื่องจักรกลไฟฟ้า และด้วยคุณลักษณะของโปรแกรมแบบ GUI ทำให้ผู้เรียนสามารถป้อนข้อมูลในเรื่องที่ต้องการศึกษา รวมถึงสามารถปรับเปลี่ยนข้อมูลได้ตลอดเวลา เพื่อสังเกตผลลัพธ์การทำงานของหม้อแปลงได้อย่างสะดวกและรวดเร็ว โดย

ผลสำรวจความคิดเห็นของนักศึกษา ส่วนใหญ่เห็นด้วยว่าการใช้โปรแกรมทำให้การเรียนรู้มีความน่าสนใจ (คะแนนเฉลี่ย 3.84) รวมถึงช่วยตรวจสอบผลคำนวณได้ดี (คะแนนเฉลี่ย 3.97) และทำให้เกิดความเข้าใจการทำงานของหม้อแปลงไฟฟ้ามากขึ้น (คะแนนเฉลี่ย 3.97) จนสามารถใช้เป็นแนวทางการวิเคราะห์ผล (คะแนนเฉลี่ย 3.94) หรืออาจนำไปประยุกต์ใช้สำหรับการทำงานในอนาคตได้ (คะแนนเฉลี่ย 3.87) อย่างไรก็ตาม นักศึกษาส่วนใหญ่เห็นว่าโปรแกรมมีประโยชน์โดยให้คะแนนมากที่สุด (คะแนนเฉลี่ย 4.00) แต่อาจไม่จำเป็นต่อการเรียนรู้ซึ่งมีคะแนนต่ำสุด (คะแนนเฉลี่ย 3.77) โดยให้เหตุผลว่าโปรแกรมเป็นเพียงเครื่องมือสนับสนุนเท่านั้น ผู้เรียนคาดหวังความรู้ที่จะได้รับจากผู้สอนมากกว่า รวมถึงการมีทักษะและความเข้าใจมากขึ้นในเรื่องหม้อแปลงไฟฟ้าจากการทดลองในห้องปฏิบัติการ นอกจากนี้ ยังเห็นว่าโปรแกรมที่ออกแบบมีลักษณะการใช้งานง่ายและสะดวก มีการแสดงผลตอบที่ชัดเจน และเสนอให้ควรมีการพัฒนาโปรแกรมสำหรับการเรียนรู้ในเรื่องอื่น ๆ ที่เกี่ยวข้องกับเครื่องจักรกลไฟฟ้าด้วย

ดังนั้น อาจกล่าวได้ว่าผู้เรียนสามารถใช้โปรแกรมนี้เป็นเครื่องมือสนับสนุนด้านการเรียนรู้ เรื่องการทำงานของหม้อแปลงไฟฟ้าได้อย่างมีประสิทธิภาพ แม้บางคนไม่เคยรู้จักหรือเคยใช้โปรแกรม MATLAB มาก่อน ด้วยคุณลักษณะของโปรแกรมที่ถูกออกแบบมาให้มีการใช้งานง่าย มีการติดต่อกับผู้ใช้เชิงภาพ ทำให้สามารถป้อนข้อมูลได้สะดวกและมีการแสดงผลที่ชัดเจน ซึ่งจะทำให้ผู้เรียนเกิดความรู้ความเข้าใจยิ่งขึ้น นอกจากนี้ ในมุมมองของผู้สอนก็สามารถนำมาใช้ประโยชน์ในการอธิบายประกอบการสอนได้ เพื่อให้เห็นผลคำนวณที่รวดเร็วจากกรณีศึกษาต่าง ๆ

เอกสารอ้างอิง

- มนัสนันท์ หัตถศักดิ์ และปิยวัฒน์ ดิลกสัมพันธ์. (2564). การศึกษาสภาพปัญหาและความพึงพอใจในการเรียนรู้แบบออนไลน์ในสถานการณ์การแพร่ระบาดของโรคติดเชื้อไวรัสโคโรนา 2019 (โควิด19) ของนิสิตมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ บางเขน. วารสารวิจัยทางการศึกษา. 16(1): 202-213.
- วิชชากร เสงศรีธวัช, พศวีร์ ศรีโหมด, เต็มพงษ์ ศรีเทศ และมณฑล ดาลี. (2563). การจำลองการทำงานของหม้อแปลงไฟฟ้าโดยใช้ MATLAB/Simulink สำหรับการสอนรายวิชาปฏิบัติการเครื่องจักรกลไฟฟ้าแบบออนไลน์. ใน การประชุมวิชาการระดับชาติและนานาชาติ มหาวิทยาลัยศรีปทุม ครั้งที่ 15. วันที่ 18 ธันวาคม 2563. กรุงเทพฯ. 1684-1693.
- อโรชา ทองลาว, พัลลภ สุวรรณฤกษ์, สมเกียรติ ไทยปรีชา และศศิน เทียนดี. (2564). การศึกษาความพึงพอใจของนิสิตมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน ต่อการจัดการเรียนการสอนรูปแบบออนไลน์ ประจำปีภาคต้นปีการศึกษา 2563. วารสารศิลปศาสตร์และอุตสาหกรรมบริการ. 4(2): 617-632.
- Arthur E.F., Charles K.Jr. and Stephen D.U. (1992). Electric Machinery. 5th Edition. McGraw-Hill Inc.
- Charles L.H. (1991). Electric Machines. Prentice Hall Inc.
- Fei L., Xiao M., Dajun L. and Xiangyan H. (2021). Design of DC motor operation monitoring system based on Matlab GUI. In 2021 IEEE 5th Advanced Information Technology. Electronic and Automation Control Conference (IAEAC), 12-14 March 2021. Chongqing China. 1211-1215.
- Jose M.G.V., Juan C.C.G. and Enrique R.C. (2017). Electric vehicle monitoring system by using MATLAB/App Designer. In 2017 International Young Engineers Forum (YEF-ECE). 5 May 2017. Costa da Caparica. Portugal. 65-68.
- Ngo M.K. and Doan D.T. (2023). Design and implementation of real-time fault location experimental system for teaching and training university students. International Journal of Electrical and Computer Engineering Systems. 14(1): 109-118.
- Nileema P. and Jagadish. H.P. (2015). Design and analysis of transformer using MATLAB. International Journal of Scientific Research. 4(1): 122-124.
- Peter F.R. (1994). Electric Machinery. 2^{ed} Edition Prentice Hall Inc.
- Praveen G., Sudip B.D., Shishir A., Shailes S., Shahabuddin K. and Menaka K. (2019). Transformer Design using MATLAB. Proceedings of IOE Graduate Conference 2019 Winter December. Volume 7. 53-58.

- Ruslan M.M. and Nikita A.D. (2022). Creating a virtual semiconductor inverter laboratory with Matlab App Designer. In 2022 Conference of Russian Young Researchers in Electrical and Electronic Engineering (ElConRus). 25-28 January 2022. Saint Petersburg. Russian Federation. 772-775.
- Stephen J.C. (1976). Electric Machinery Fundamentals. 2^{ed} Edition. McGraw-Hill Inc.
- Sunny K. and Sunny K.G. (2016). Simulink analysis of vector groups of transformers installed at 132kV grid station Qasimabad, Hyderabad and their effects on system operation. International Journal of Scientific and Research. 5(1): 1697–1701.
- Suryasen K., Devadas K.V. and Harish A. (2014). GUI based testing tool for transformer. International Journal of Electrical and Computer Engineering (IJECE). 4(3): 359–365.
- Thomas M. and Christopher W. (2020). Development of a MATLAB App for improving student learning of the use of arrays. In 2020 ASEE Southeastern Section Conference 8-10 March 2020. Auburn University. Auburn. Alabama. USA.

Received: July 31, 2024; Revised: November 19, 2024; Accepted: November 22, 2024

นวัตกรรมการจัดการศัตรูพืชแบบบูรณาการ: คอมพิวเตอร์บอร์ดเดี่ยวขนาดเล็กต้นทุนต่ำ
สำหรับการไล่หนูด้วยเสียง แสง และการสั่นสะเทือน
Innovative IPM: A low-cost, small-sized single-board computer for effective
rodent repellent using sound, light and vibration

ปิยะวิษญ์ ปิยะวัฒน์^{1*} และธวัชชัย ปิยะวัฒน์²
Piyawish Piyawat^{1*} and Thawatchai Piyawat²

¹โรงเรียนหาดใหญ่วิทยาลัย จังหวัดสงขลา

¹Hatyaiwittayalai School, Songkhla Province

²คณะวิทยาการจัดการ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ จังหวัดสงขลา (ผู้ช่วยศาสตราจารย์เกษียณอายุราชการ)

²Faculty of Management Sciences, Prince of Songkla University, Songkhla Province (Retired Assistant Professor)

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

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาต้นแบบและประเมินประสิทธิภาพของอุปกรณ์ขับไล่หนูแบบหลายประสาทสัมผัสที่ใช้เสียง แสง และการสั่น โดยเน้นถึงประโยชน์ของการใช้วิธีการผสมผสานซึ่งให้ผลดีกว่าการใช้วิธีขับไล่เพียงวิธีใดวิธีหนึ่ง อุปกรณ์พัฒนาขึ้นโดยใช้ Raspberry Pi ที่มีขนาดเล็กและต้นทุนต่ำ และได้รับการทดสอบในด้านประสิทธิภาพในการลดการบุกรุกของหนูโดยใช้การวิเคราะห์ทางสถิติแบบ One-Way ANOVA และ Tukey's HSD อีกทั้งใช้สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์แบบเพียร์สัน ซึ่งพบว่า การผสมผสานเสียง แสง และการสั่นช่วยลดการบุกรุกของหนูและความเสียหายต่อพืชผลได้อย่างมีนัยสำคัญเมื่อเทียบกับการใช้วิธีใดวิธีหนึ่งเพียงอย่างเดียว ผลการศึกษาเน้นความสำคัญของการจัดการศัตรูพืชแบบบูรณาการ (Integrated Pest Management; IPM) ซึ่งสนับสนุนการผสมผสานวิธีการควบคุมศัตรูพืชที่หลากหลาย การรวมการขับไล่หลายประสาทสัมผัสเข้าด้วยกันสอดคล้องกับหลักการ IPM โดยการสร้างอุปสรรคที่ประสิทธิภาพสูงขึ้นในการป้องกันการปรับตัวของหนูและช่วยลดความเสี่ยงที่หนูจะชินต่อการขับไล่ และการพบความสัมพันธ์เชิงบวกระหว่างระยะเวลาการทำงานของอุปกรณ์กับความถี่การบุกรุกของหนู อาจบ่งชี้ถึงการปรับตัวของหนูเมื่อได้รับการขับไล่เป็นเวลานาน แสดงให้เห็นถึงความจำเป็นในการใช้กลยุทธ์ IPM ที่สามารถปรับเปลี่ยนได้ เพื่อให้การขับไล่หนูมีประสิทธิภาพในระยะยาว ผลการวิจัยนี้ช่วยสนับสนุนการประยุกต์ใช้นวัตกรรมที่มีขนาดเล็กต้นทุนต่ำและกลยุทธ์การควบคุมศัตรูพืชเพื่อการพัฒนาต่อไปในด้านเทคโนโลยีการจัดการศัตรูพืชแบบ IPM ซึ่งสอดคล้องกับเป้าหมายของการเกษตรที่ยั่งยืนและความมั่นคงทางอาหาร

คำสำคัญ: คอมพิวเตอร์บอร์ดเดี่ยว การขับไล่ศัตรูพืช อินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่ง การจัดการศัตรูพืชแบบบูรณาการ สัตว์ฟันแทะ

Abstract

This research aimed to develop a prototype and evaluate the effectiveness of a multi-sensory rat repellent device that uses sound, light, and vibration, emphasizing the benefits of using a combined approach which yields better results than using any single repellent method. The device was developed using a small and low-cost Raspberry Pi and was tested for its effectiveness in reducing rat intrusion using One-Way ANOVA and Tukey's HSD statistical analysis, along with Pearson's correlation coefficient. It was found that the combination of sound, light, and vibration significantly reduced rat intrusion and crop damage compared to the use of any single method alone. The study results emphasized the importance of Integrated Pest Management (IPM), which supports the integration of various pest control methods. The combination of multi-sensory repellents aligns with IPM principles by creating more effective barriers to prevent rat adaptation and help reduce the risk of rats becoming habituated to repellents. The discovery of a positive relationship between device operation duration and rat intrusion frequency could indicate rat adaptation when exposed to repellents for extended periods, demonstrating the need for adaptable IPM strategies to maintain long-term effectiveness in rat control. This research supports the application of small-scale, low-cost innovations and pest control strategies for further development in IPM pest management technology, which aligns with the goals of sustainable agriculture and food security.

Keywords: Single-board computer, Pest deterrence, IoT, IPM, Rodents

บทนำ

ปัญหาหนูในภาคเกษตรกรรมและครัวเรือนเป็นประเด็นสำคัญที่ส่งผลกระทบต่อสุขภาพของประชาชนและเศรษฐกิจของประเทศไทย โดยเฉพาะในพื้นที่เกษตรกรรมที่เป็นรากฐานสำคัญของประเทศ แม้จะมีโครงการตามแนวพระราชดำริที่ส่งเสริมการพึ่งพาตนเองด้านอาหาร เช่น โครงการ "บ้านนี้มีรัก ปลูกผักกินเอง" ตามแนวพระราชดำริของสมเด็จพระกนิษฐาธิราชเจ้า กรมสมเด็จพระเทพรัตนราชสุดาฯ สยามบรมราชกุมารี ซึ่งมุ่งส่งเสริมให้ทุกครัวเรือนมีผักสะอาดปลอดภัยเพื่อการบริโภคอย่างยั่งยืน แต่ปัญหาหนูยังคงเป็นอุปสรรคสำคัญ ข้อมูลจากกรมส่งเสริมการเกษตร (2567) ระบุว่า ในปี 2567 พบการระบาดของหนูในนาข้าวและไร่ข้าวโพด จังหวัดเชียงราย สร้างความเสียหายรวมกว่า 11,095 ไร่ นอกจากนี้ งานวิจัยของ Singleton (2003) ยังชี้ให้เห็นว่า ความเสียหายจากหนูต่อการผลิตข้าวในเอเชีย รวมถึงประเทศไทย เป็นปัญหาที่ร้ายแรง โดยเกษตรกรประสบกับการสูญเสียผลผลิต 20-30% ต่อปี และในบางฤดูกาลอาจเพิ่มขึ้นถึง 50% หรือทำให้ผลผลิตสูญหายทั้งหมด

ในด้านสุขภาพ หนูเป็นพาหะของโรคที่สามารถถ่ายทอดสู่มนุษย์ได้หลายชนิด เช่น โรคฉี่หนู โรคไข้รากสาดใหญ่ กาฬโรค และโรคท้องร่วง โดยในปี 2567 โรคฉี่หนูยังคงเป็นปัญหาสาธารณสุขที่สำคัญของประเทศไทย มีอัตราการเกิดโรคเฉลี่ยต่อปีอยู่ที่ 2.13 รายต่อประชากร 100,000 ราย และมีอัตราการเสียชีวิตอยู่ที่ 0.02 รายต่อประชากร 100,000 ราย โดยเฉพาะในพื้นที่ภาคตะวันออกเฉียงเหนือและภาคใต้ของประเทศ (สำนักระบาดวิทยา, 2567) ในด้านเศรษฐกิจ ข้อมูลจากสำนักงานเศรษฐกิจการเกษตรแสดงให้เห็นว่า ครัวเรือนเกษตรกรในประเทศไทยกว่า 4.5 ล้านครัวเรือน มีหนี้สินมากกว่า 200,000 บาท และ 20% มีหนี้สินมากกว่า 400,000 บาท แม้ว่าปัญหานี้จะมีหลายสาเหตุ แต่ความเสียหายจากศัตรูพืชรวมถึงหนูมีส่วนสำคัญที่ทำให้ผลผลิตและรายได้ของเกษตรกรลดลง (พลากร, 2565) นอกจากนี้ การใช้สารเคมีเกษตรอย่างไม่เหมาะสมเพื่อกำจัดศัตรูพืชยังส่งผลต่อสิ่งแวดล้อมและสุขภาพของเกษตรกร โดยพบว่าประเทศไทยนำเข้าสารเคมีทางการเกษตร 1.66 ล้านตันในช่วงปี 2551-2561 และมีผู้ป่วยจากพิษสารเคมีเกษตรกว่า 3,067 รายในปี 2562 (จักรพันธ์, 2565) จากสถานการณ์ดังกล่าว การพัฒนานวัตกรรมการขับไล่หนูที่มีประสิทธิภาพจึงมีความจำเป็นอย่างยิ่ง โดยเฉพาะการพัฒนาเทคโนโลยีที่มีต้นทุนต่ำและเป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม (Young, 2017) หนึ่งในเทคโนโลยีที่น่าสนใจคือการใช้ระบบอุปกรณ์ที่ขับไล่หนูด้วยการใช้เสียง แสง และการสั่นสะเทือน ซึ่งสามารถผนวกรวมกับเทคโนโลยีอินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่ง (IoT) เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการตรวจสอบและควบคุมแบบเรียลไทม์

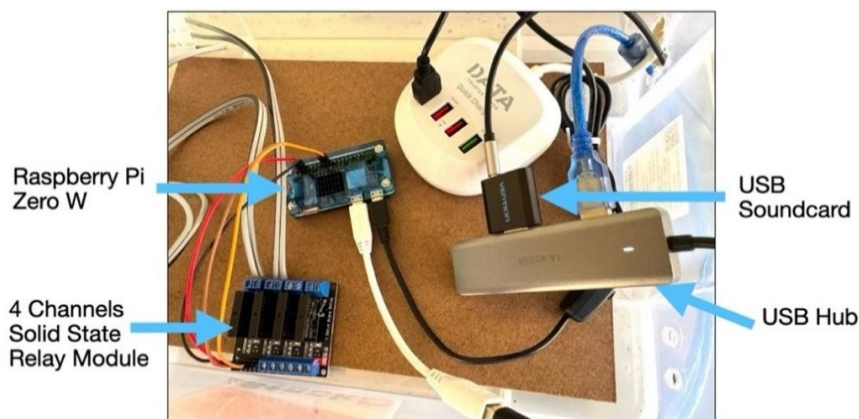
งานวิจัยนี้มุ่งเน้นการพัฒนาระบบขับไล่หนูโดยใช้ Raspberry Pi ซึ่งเป็นคอมพิวเตอร์บอร์ดเดี่ยวขนาดเล็กที่มีราคาไม่แพง มีความสามารถในการประมวลผลข้อมูล และสามารถเชื่อมต่อกับอุปกรณ์อื่น ๆ ได้หลากหลาย (มาโนชญ์, 2562) ทั้งนี้ Raspberry Pi ได้ถูกนำมาใช้ในการพัฒนาระบบเกษตรอัจฉริยะในหลายรูปแบบ เช่น การควบคุมการใช้น้ำและติดตามการเจริญเติบโตของสมุนไพร (Rahman et al., 2020) การตรวจสอบและวิเคราะห์สภาพแวดล้อมในฟาร์มเลี้ยงไก่ (Jindarat and Wuttidittachotti, 2015) และการพัฒนาระบบปัญญาประดิษฐ์เพื่อระบุประเภทของศัตรูพืช (Albanese et al., 2021) อีกทั้งการพัฒนาแบบขับไล่หนูในงานวิจัยนี้จะเน้นการใช้วัสดุอุปกรณ์ที่มีต้นทุนต่ำและหาได้ง่าย โดยผนวกกับความสามารถของ Raspberry Pi เพื่อสร้างระบบที่มีประสิทธิภาพและยั่งยืน สอดคล้องกับแนวทางการพัฒนาเกษตรอัจฉริยะตามนโยบายเกษตร 4.0 (สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ, 2563)

วัตถุประสงค์ของงานวิจัยนี้คือเพื่อออกแบบและพัฒนาต้นแบบอุปกรณ์ขับไล่หนูด้วยคอมพิวเตอร์บอร์ดเดี่ยวต้นทุนต่ำ Raspberry Pi ที่ใช้วิธีการขับไล่ด้วยเสียง การส่องสว่าง และการสั่นสะเทือน และเพื่อประเมินประสิทธิภาพของอุปกรณ์ขับไล่หนูที่พัฒนาขึ้นในการปกป้องสภาพเพาะปลูกต้นอ่อนทานตะวัน โดยการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยและหาความสัมพันธ์ของจำนวนครั้งที่หนูบุกรุก จำนวนต้นอ่อนทานตะวันที่เสียหาย และจำนวนวินาทีของการทำงานของอุปกรณ์ขับไล่ สมมติฐานของการวิจัยคือ จำนวนครั้งที่หนูบุกรุกแตกต่างกันในการใช้การขับไล่แต่ละแบบและแบบที่ไม่ใช้ระบบขับไล่ จำนวนต้นอ่อนทานตะวันที่ถูกทำลายแตกต่างกันในการใช้การขับไล่แต่ละแบบและแบบที่ไม่ใช้ระบบขับไล่ จำนวนวินาทีของการทำงานของอุปกรณ์ขับไล่แตกต่างกันในการขับไล่แต่ละแบบ และจำนวนครั้งที่หนูบุกรุก จำนวนต้นอ่อนทานตะวันที่เสียหาย และจำนวนวินาทีของการทำงานของอุปกรณ์ขับไล่มีความสัมพันธ์กัน งานวิจัยนี้ดำเนินการทดสอบประสิทธิภาพของอุปกรณ์ขับไล่หนูด้วยวิธีวิจัยเชิงทดลอง โดยศึกษาตัวแปรจำนวน 4 รายการ ประกอบด้วย ตัวแปรต้น คือ วิธีการขับไล่หนู (เสียง แสงสว่าง การสั่นสะเทือน) และตัวแปรตามคือ จำนวนครั้งที่หนูบุกรุก จำนวนต้นอ่อนทานตะวันที่เสียหาย และจำนวนวินาทีของการทำงานของอุปกรณ์ขับไล่ ผลการวิจัยนี้เป็นประโยชน์ต่อทั้งภาคเกษตรกรรมและครัวเรือน รวมถึงเป็นแนวทางในการพัฒนานวัตกรรมการจัดการศัตรูพืชที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อมต่อไป

วัสดุ อุปกรณ์ และวิธีการ

ชุดอุปกรณ์ที่ใช้ในการพัฒนาอุปกรณ์ขับไล่หนู

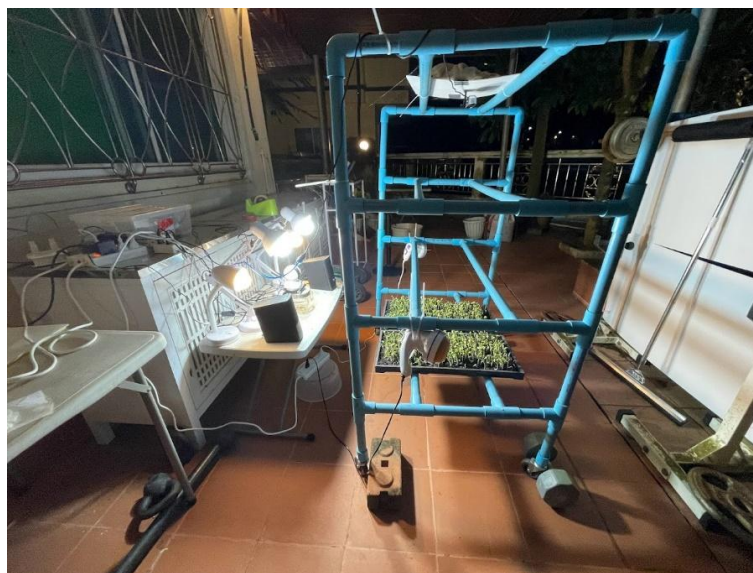
ชุดอุปกรณ์ที่ใช้ในการพัฒนาอุปกรณ์ขับไล่หนูที่ใช้เสียง แสง และการสั่นสะเทือน ได้แก่ Raspberry Pi Zero 2 W ติดตั้ง Ubuntu 22.04.3 server LTS, 4 Channels Solid State Relay module, USB camera, USB soundcard, USB hub, โคมไฟและหลอดไฟ มอเตอร์สั่นสะเทือน ลำโพง กล้องบันทึกภาพการทำงานของอุปกรณ์ และอุปกรณ์เบ็ดเตล็ดอื่น ๆ อาทิ สายไฟ ปลั๊กไฟ เต้าเสียบไฟ ดังแสดงในรูปที่ 1 โดย Raspberry Pi Zero 2 W มีความเหมาะสมด้วยจุดเด่นหลายประการ คือ เป็นไมโครคอมพิวเตอร์แบบบอร์ดเดี่ยว (Single Board Computer; SBC) ที่มาพร้อมกับหน่วยประมวลผล ARM Cortex-A53 แบบ 4 แกนที่ความเร็ว 1 GHz และหน่วยความจำ RAM ขนาด 512 MB ต่างจากบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ทั่วไปที่มีความเร็วและหน่วยความจำจำกัด ทำให้สามารถติดตั้งระบบปฏิบัติการ Ubuntu server 22.04.3 LTS บน microSD card ขนาด 32 GB ได้อย่างสมบูรณ์ บอร์ดนี้มาพร้อมโมดูล Wi-Fi และ Bluetooth ในตัว พร้อมพอร์ต GPIO 40 ขาสำหรับรองรับการขยายระบบด้วยเซ็นเซอร์และอุปกรณ์ต่อพ่วงจำนวนมากในอนาคต ด้วยหน่วยประมวลผลแบบหลายแกนทำให้สามารถจัดการข้อมูลจากเซ็นเซอร์หลายชุดได้อย่างมีประสิทธิภาพ ด้วยต้นทุนประมาณหนึ่งพันบาท จึงเป็นทางเลือกที่คุ้มค่าสำหรับการพัฒนาโครงการที่ต้องการทั้งประสิทธิภาพการประมวลผล การจัดการระบบไฟล์ การเชื่อมต่อเครือข่าย และความยืดหยุ่นในการขยายระบบ



รูปที่ 1 Raspberry Pi Zero 2 W และอุปกรณ์ต่อเชื่อม

หลักการทำงานของอุปกรณ์ขับไล่หนู

ชุดอุปกรณ์ขับไล่หนูที่พัฒนาขึ้นแสดงไว้ในรูปที่ 2 โดยอุปกรณ์ทำงานดังนี้ ส่วนแรกคือการตรวจจับการเคลื่อนไหว โดยระบบจะใช้กล้องเว็บแคมถ่ายภาพอย่างต่อเนื่อง เมื่อมีวัตถุเคลื่อนที่ผ่านหน้ากล้อง ระบบจะทำการเปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างภาพปัจจุบันกับภาพก่อนหน้า หากตรวจพบการเคลื่อนไหวที่มีขนาดใหญ่เพียงพอ ซึ่งเป็นการป้องกันการตรวจจับผิดพลาดจากสิ่งเล็ก ๆ ระบบจะเริ่มทำงานในขั้นตอนต่อไป ส่วนที่สองคือการตอบสนองเมื่อตรวจพบการเคลื่อนไหว ระบบจะเริ่มจากการบันทึกภาพถ่ายของวัตถุที่เคลื่อนไหวโดยอัตโนมัติ จากนั้นจะเปิดใช้งานอุปกรณ์ป้องกันสามอย่างพร้อมกันได้แก่ การเล่นเสียงรบกวนแบบสุ่มจากไฟล์เสียงที่เตรียมไว้ การเปิดไฟกระพริบ และการเปิดเครื่องสั่นสะเทือน ส่วนที่สาม คือ การบันทึกข้อมูล ระบบจะทำการบันทึกเวลาที่ตรวจพบการเคลื่อนไหวลงใน Log File พร้อมทั้งบันทึกระยะเวลาที่ตรวจพบการเคลื่อนไหวจนกระทั่งไม่พบการเคลื่อนไหว และจัดเก็บภาพถ่ายพร้อมระบุวันและเวลาที่ถ่าย ระบบนี้ถูกออกแบบมาให้ทำงานต่อเนื่องโดยอัตโนมัติ และหากเกิดปัญหากับกล้อง ระบบจะทำการรีบูตคอมพิวเตอร์เพื่อแก้ไขปัญหาโดยอัตโนมัติ จึงเหมาะสำหรับการใช้งานในการเฝ้าระวังและป้องกันพื้นที่โดยไม่ต้องมีเจ้าหน้าที่คอยดูแลตลอดเวลา



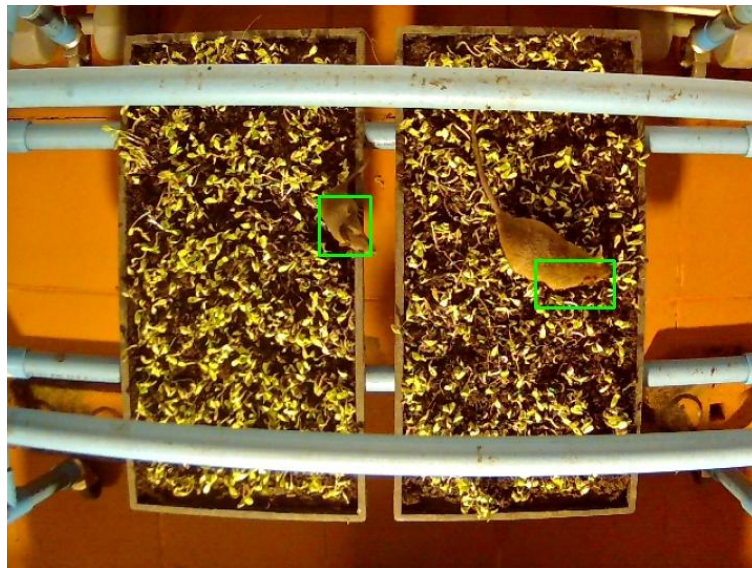
รูปที่ 2 ชุดอุปกรณ์ขับไล่หนูที่พัฒนาขึ้น

โปรแกรมคอมพิวเตอร์เพื่อควบคุมอุปกรณ์ขับไล่หนู

เนื่องจาก Raspberry Pi Zero 2 W เป็นคอมพิวเตอร์เต็มรูปจึงสามารถติดตั้งระบบปฏิบัติการ Ubuntu 22.04.3 server LTS ได้ โดยระบบปฏิบัติการนี้เป็นระบบปฏิบัติการเทียบเท่ายูนิกซ์ (Unix-like) ที่สมบูรณ์ โปรแกรมคอมพิวเตอร์ของอุปกรณ์ขับไล่หนูเขียนด้วยภาษา Python โดยใช้ Visual Studio Code เป็น Integrated Development Environment (IDE)

ในการพัฒนาโปรแกรม และใช้ Git ในการเก็บรักษาไฟล์โปรแกรม ระบบขับไล่หนูแบบอัตโนมัตินี้เป็นการผสมผสานเทคโนโลยีหลายด้านเข้าด้วยกัน โดยมีองค์ประกอบหลักคือการใช้กล้องเพื่อตรวจจับการเคลื่อนไหว การควบคุมอุปกรณ์เพื่อป้องกันการบุกรุก และการบันทึกข้อมูลเพื่อการตรวจสอบย้อนหลัง ระบบได้รับการออกแบบให้ทำงานได้อย่างต่อเนื่องและมีประสิทธิภาพ โดยไม่ต้องมีผู้ดูแลตลอดเวลา

การตรวจจับการเคลื่อนไหวในระบบนี้ใช้หลักการประมวลผลภาพดิจิทัลด้วยเทคนิค Frame differencing ซึ่งเป็นการเปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างภาพปัจจุบันกับภาพก่อนหน้า โดยใช้ฟังก์ชัน absdiff ของ OpenCV ซึ่งเป็นไลบรารีที่เป็น Open source สำหรับการประมวลผลภาพและวิดีโอ ระบบจะแปลงภาพสีให้เป็นภาพระดับสีเทา (Grayscale) และใช้การเบลอภาพ (Gaussian blur) เพื่อลดสัญญาณรบกวนที่อาจทำให้เกิดการตรวจจับผิดพลาด โดยรูปที่ 3 แสดงตัวอย่างภาพการตรวจจับการบุกรุกของหนูในแปลงผักทดลอง



รูปที่ 3 ตัวอย่างการตรวจจับการบุกรุกของหนูในแปลงผักทดลอง

เมื่อระบบตรวจพบการเคลื่อนไหว โปรแกรมจะทำการวิเคราะห์ขนาดของวัตถุที่เคลื่อนไหวโดยใช้เทคนิค Contour detection โดยใช้ฟังก์ชัน findContours ของ OpenCV ซึ่งเป็นการหาขอบเขตของวัตถุในภาพ หากขนาดของวัตถุที่เคลื่อนไหวมีขนาดใหญ่มากกว่าค่าที่กำหนดในโปรแกรมแต่ไม่เกิน 10% ของขนาดภาพทั้งหมด ระบบจะถือว่ามีการเคลื่อนไหวที่ต้องตรวจสอบ วิธีนี้ช่วยกรองการเคลื่อนไหวขนาดเล็กที่ไม่สำคัญและการเคลื่อนไหวขนาดใหญ่เกินไปซึ่งอาจเกิดจากความผิดพลาดของกล้องออกไป อีกทั้งระบบได้ถูกออกแบบให้ทำงานแบบขนานโดยใช้เทคโนโลยี Multi-threading ซึ่งทำให้สามารถทำงานหลายอย่างพร้อมกันได้ เมื่อตรวจพบการเคลื่อนไหว ระบบจะเริ่มกระบวนการป้องกันสามส่วนพร้อมกัน ได้แก่ การเล่นเสียงรบกวนแบบสุ่มจากไฟล์เสียงที่แบ่งเป็นส่วนละ 6 วินาที การควบคุมรีเลย์เพื่อเปิดไฟกระพริบ และการควบคุมอุปกรณ์สั่นสะเทือน โดยใช้การควบคุมผ่าน GPIO (General Purpose Input/Output) บอร์ดของ Raspberry Pi โดยใช้ไลบรารี gpiozero ซึ่งออกแบบมาสำหรับการควบคุม GPIO โดยเฉพาะ และใช้รีเลย์สองตัวสำหรับควบคุมไฟกระพริบและอุปกรณ์สั่นสะเทือน รีเลย์เหล่านี้ทำหน้าที่เหมือนสวิตช์ไฟฟ้าที่ควบคุมด้วยคอมพิวเตอร์ เมื่อเริ่มต้นระบบ อุปกรณ์ทั้งหมดจะอยู่ในสถานะปิด และจะทำงานเฉพาะเมื่อตรวจพบการเคลื่อนไหวเท่านั้น

นอกจากนี้ ระบบยังมีการบันทึกข้อมูลอย่างเป็นระบบโดยใช้กลไก Logging ของ Python ซึ่งเป็นมาตรฐานในการจัดการ Log file ระบบบันทึกข้อมูลลงในไฟล์ field.log ดังแสดงในรูปที่ 4 การบันทึกข้อมูลนี้ช่วยให้สามารถตรวจสอบย้อนหลังได้ว่าเกิดเหตุการณ์อะไรขึ้นในช่วงเวลาใด รูปแบบการบันทึกประกอบด้วยเวลาที่เกิดเหตุการณ์และรายละเอียดของเหตุการณ์ นอกจากนี้ ระบบยังบันทึกภาพถ่ายของเหตุการณ์โดยอัตโนมัติ โดยใช้ฟังก์ชัน imwrite ของ OpenCV เพื่อบันทึกภาพในรูปแบบ JPEG พร้อมระบุวันและเวลาในชื่อไฟล์ตามรูปแบบ YYYY-MM-DD-HH-MM-SS อีกทั้งการจัดการความผิดพลาดในระบบได้รับการออกแบบอย่างรอบคอบ มีการตรวจสอบสถานะการทำงานของกล้องอย่างต่อเนื่อง หากพบว่ากล้องไม่สามารถจับภาพได้ ระบบจะส่งรีบูทคอมพิวเตอร์โดยอัตโนมัติ นอกจากนี้ยังมีการจัดการทรัพยากรระบบอย่างมีประสิทธิภาพ โดยใช้

context manager และการลงทะเบียนฟังก์ชัน exit_handler ผ่าน atexit เพื่อให้แน่ใจว่าจะมีการปิดการเชื่อมต่อกล้องอย่างถูกต้องเมื่อโปรแกรมถูกปิด

```
2024-01-08 19:51:39,387 Running Field Protector
2024-01-08 19:51:41,294 Motion is detected.
2024-01-08 19:53:04,269 No motion. Elapsed time is 83 seconds.
2024-01-08 19:56:15,372 Motion is detected.
2024-01-08 19:57:16,771 No motion. Elapsed time is 61 seconds.
2024-01-08 20:16:47,631 Motion is detected.
2024-01-08 20:18:25,364 No motion. Elapsed time is 98 seconds.
2024-01-08 20:42:20,432 Motion is detected.
2024-01-08 20:43:21,814 No motion. Elapsed time is 61 seconds.
2024-01-08 20:56:32,967 Motion is detected.
2024-01-08 20:57:58,556 No motion. Elapsed time is 86 seconds.
2024-01-08 21:31:06,564 Motion is detected.
2024-01-08 21:31:31,500 No motion. Elapsed time is 25 seconds.
```

รูปที่ 4 ตัวอย่าง Log file เก็บเวลาการจับภาพการเคลื่อนไหวที่ถาดเพาะ

ขั้นตอนการทดลอง

- 1) การเตรียมตัวอย่าง วางถาดปลูกต้นอ่อนทานตะวันเหมือนกันในสภาพแวดล้อมที่มีการควบคุม ตรวจสอบให้แน่ใจว่าแต่ละถาดมีการใช้ดิน พันธุ์ทานตะวัน การรดน้ำ และการดูแลรักษาที่เหมือนกัน
- 2) การจัดกลุ่ม สุ่มกำหนดถาดเป็นสี่กลุ่ม เสี่ยง การส่องสว่าง การสั่น และการผสมผสานทั้งสามวิธีร่วมกัน รวมถึงกลุ่มควบคุมที่ไม่มีระบบขับไล่
- 3) การติดตั้งระบบ จัดเตรียมกลไกการขับไล่ที่กำหนดให้กับแต่ละกลุ่ม ซึ่งเชื่อมโยงกับคอมพิวเตอร์บอร์ดเดียวสำหรับการทำงานและการรวบรวมข้อมูลเวลาและรูปภาพการตรวจพบความเคลื่อนไหว ใช้รูปแบบการขับไล่ครั้งละรูปแบบจำนวน 5 วัน
- 4) การรวบรวมข้อมูล ติดตั้งเซ็นเซอร์ตรวจจับความเคลื่อนไหวและกล้องเพื่อบันทึกกิจกรรมของหนูกับถาดเพาะต้นอ่อนทานตะวัน บันทึกจำนวนทานตะวันที่ได้รับความเสียหาย ความถี่และระยะเวลาของการกระตุ้นการใช้อุปกรณ์การขับไล่
- 5) กำหนดการขับไล่ เปิดโปรแกรมในคอมพิวเตอร์บอร์ดเดียวให้เปิดใช้งานอุปกรณ์ขับไล่ตามกำหนดเวลาที่กำหนดประมาณ 17.00-07.00 น.
- 6) ระยะเวลาสังเกต ทำการทดลองในระยะเวลาประมาณ 2 วันในการเตรียมเมล็ดทานตะวัน และอีก 5 วันในการปลูกต้นอ่อนทานตะวัน ซึ่งเพียงพอเพื่อให้ทานตะวันเจริญเติบโตและมีศัตรูพืชเข้ามารบกวน

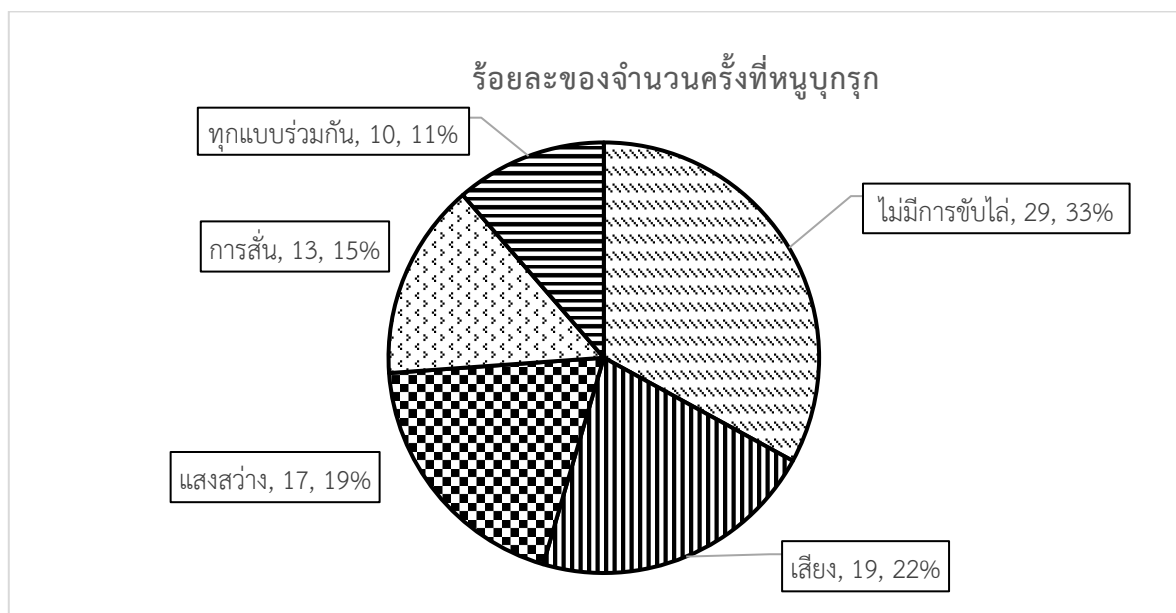
การวิเคราะห์ข้อมูล

การวิเคราะห์ข้อมูลการทดลองมีการใช้ค่าสถิติดังนี้คือ คำนวณความถี่ ร้อยละ ค่าเฉลี่ย และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานในทุกกลุ่มของตัวแปรต่อไปนี้ คือ จำนวนครั้งที่หนูบุกรุก จำนวนต้นอ่อนทานตะวันที่ถูกทำลาย และระยะเวลาของการใช้อุปกรณ์ ใช้ค่าสถิติ One-Way ANOVA เพื่อเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยระหว่างกลุ่มที่ใช้อุปกรณ์ขับไล่ที่แตกต่างกันและกลุ่มควบคุม กำหนดระดับนัยสำคัญ 0.05 ในการทดสอบสมมติฐาน ทำการเปรียบเทียบหลังการทดสอบด้วย Tukey's HSD หากพบความแตกต่างที่มีนัยสำคัญ และใช้ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์แบบเพียร์สัน (Pearson correlation) เพื่อหาว่าระหว่าง 2 ตัวแปรในด้านการบุกรุกของหนู ความเสียหายต่อต้นอ่อนทานตะวัน และการทำงานของอุปกรณ์ขับไล่ ว่าจะมีความสัมพันธ์กันหรือไม่ ในทิศทางใดและมีขนาดเท่าไร และกำหนดระดับนัยสำคัญ 0.05 ในการทดสอบสมมติฐาน

ผลการวิจัย

เพื่อเป็นการประเมินประสิทธิภาพของอุปกรณ์ขับไล่หนูดังกล่าว งานวิจัยนี้จึงได้ทำการทดสอบอุปกรณ์ในรูปแบบของการทดลอง โดยแบ่งการเสนอผลวิเคราะห์เป็นดังนี้

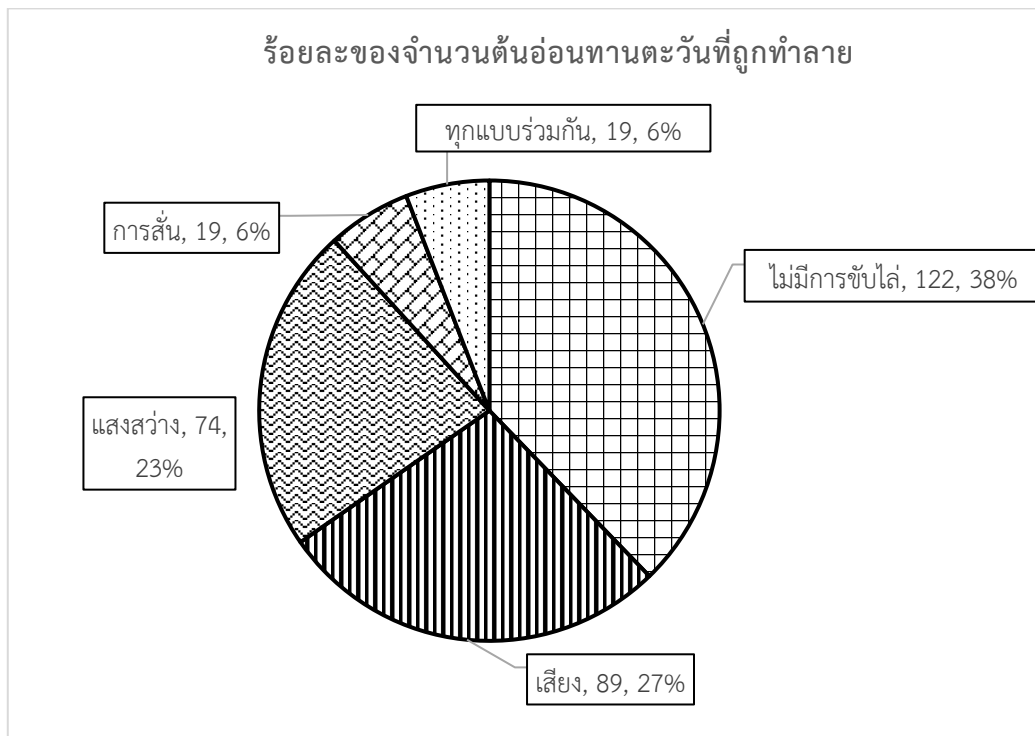
ร้อยละของจำนวนครั้งที่หนูบุกรุก



รูปที่ 5 ร้อยละของจำนวนครั้งที่หนูบุกรุก

จากรูปที่ 5 พบว่า ตลอดระยะเวลา 5 วันในการเพาะปลูกต้นอ่อนทานตะวัน ถาดเพาะที่ไม่มีการใช้อุปกรณ์ขับไล่ใด ๆ มีการบุกรุกของหนูปอยที่สุด จำนวน 29 ครั้ง คิดเป็นร้อยละ 32.95 ตามมาด้วยถาดเพาะที่มีอุปกรณ์ขับไล่หนูด้วยเสียง จำนวน 19 ครั้ง คิดเป็นร้อยละ 21.59 ถาดเพาะที่ใช้อุปกรณ์ให้แสงสว่างในการขับไล่หนู จำนวน 17 ครั้ง คิดเป็นร้อยละ 19.32 ถาดเพาะที่ใช้การสั่นสะเทือนเป็นการขับไล่หนู มีหนูบุกรุกจำนวน 13 ครั้ง คิดเป็นร้อยละ 14.77 และถาดเพาะที่ใช้ อุปกรณ์ขับไล่ร่วมกันทุกแบบ มีหนูบุกรุก 10 ครั้ง คิดเป็นร้อยละ 11.36 แสดงให้เห็นว่า วิธีการขับไล่ที่ใช้ทุกแบบร่วมกันมีประสิทธิภาพมากที่สุด ซึ่งเน้นให้เห็นถึงความจำเป็นในการปรับปรุงระบบขับไล่แบบหลายมิติ ผลการศึกษายังสะท้อนถึงความสำคัญของวิธีการขับไล่ที่ไม่ทำลายล้าง และการตอบสนองของหนูต่อสิ่งเร้าต่าง ๆ แสดงให้เห็นถึงผลกระทบทางจิตวิทยา ซึ่งสอดคล้องกับประเด็นด้านจริยธรรมในการควบคุมศัตรูพืช อีกทั้งจากการสังเกต พบว่า วิธีการขับไล่มีประสิทธิภาพลดลงในระยะเวลาต่อมา ซึ่งแสดงให้เห็นว่าสัตว์อาจปรับตัวหรือได้รับผลกระทบน้อยลงเมื่อเวลาผ่านไป การค้นพบนี้เน้นถึงความสำคัญของการนำเสนอสิ่งเร้าที่มีความหลากหลายและไม่สามารถคาดการณ์ได้ในกลยุทธ์ IPM เพื่อรักษาประสิทธิภาพการขับไล่

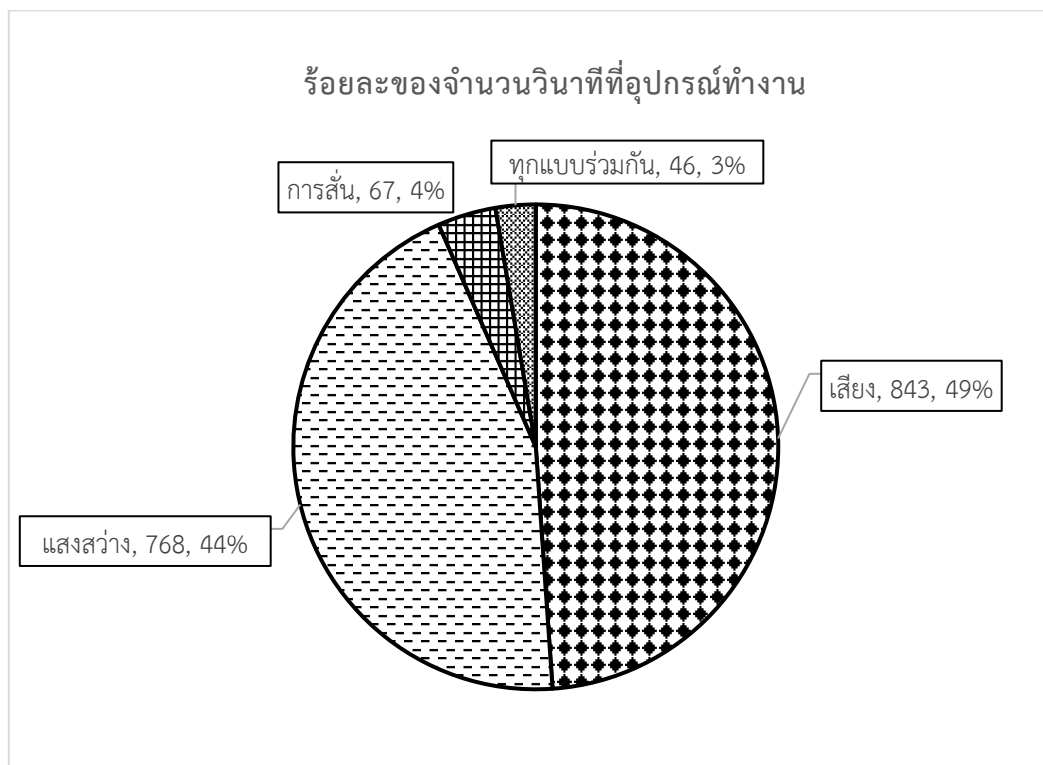
ร้อยละของจำนวนต้นอ่อนทานตะวันที่ถูกหนูทำลาย



รูปที่ 6 ร้อยละของจำนวนต้นอ่อนทานตะวันที่ถูกทำลาย

จากรูปที่ 6 แสดงให้เห็นว่าตลอดระยะเวลา 5 วันของการเพาะปลูกต้นอ่อนทานตะวัน ภายใต้อุปกรณ์ขบไล่ใด ๆ มีต้นอ่อนทานตะวันที่เสียหายมากที่สุด จำนวน 122 ต้น คิดเป็นร้อยละ 37.77 ซึ่งชี้ให้เห็นว่าหนูสามารถแสดงพฤติกรรมทำลายล้างได้โดยไม่มีข้อจำกัดเมื่อไม่มีมาตรการป้องกัน สำหรับอุปกรณ์ขบไล่แบบเดี่ยว อุปกรณ์เสียงมีประสิทธิภาพในระดับปานกลาง โดยมีต้นอ่อนเสียหาย 89 ต้น (คิดเป็นร้อยละ 27.55) ตามมาด้วยอุปกรณ์ที่ใช้แสงสว่างซึ่งมีต้นอ่อนเสียหาย 74 ต้น (คิดเป็นร้อยละ 22.91) ส่วนอุปกรณ์แบบสั่นสะเทือนมีความเสียหายน้อยที่สุด จำนวน 19 ต้น (คิดเป็นร้อยละ 5.88) ซึ่งเป็นจำนวนเท่ากับอัตราเพาะที่ใช้อุปกรณ์ขบไล่แบบบูรณาการระหว่างเสียง แสง และการสั่นสะเทือน ซึ่งแสดงให้เห็นว่าเป็นวิธีการที่มีประสิทธิภาพสูงสุด ความสำเร็จของวิธีการผสมผสานเน้นถึงความสามารถในการสร้างสิ่งแวดล้อมที่ซับซ้อนและไม่สามารถคาดการณ์ได้ ซึ่งช่วยรบกวนพฤติกรรมของหนูและป้องกันการปรับตัว และการที่อุปกรณ์แสงมีประสิทธิภาพมากกว่าอุปกรณ์เสียงชี้ให้เห็นว่าแสงอาจกระตุ้นพฤติกรรมหลักเสียงได้มากกว่า ในขณะที่ประสิทธิภาพสูงของอุปกรณ์สั่นสะเทือนเพียงอย่างเดียวอาจเกิดจากการสั่นสะเทือนที่กระทบต่อการทรงตัวและเคลื่อนไหวของหนูมากกว่าแบบอื่น ผลลัพธ์นี้ชี้ให้เห็นว่าการขบไล่แบบหลายมิติสามารถลดการพึ่งพาสารเคมีในการจัดการศัตรูพืชแบบบูรณาการ (IPM) ได้อย่างมีนัยสำคัญ โดยลดความเสียหายของพืชผลอย่างมีประสิทธิภาพและสอดคล้องกับประเด็นทางจริยธรรม

ร้อยละของจำนวนวินาทีที่อุปกรณ์ขับไล่ทำงาน



รูปที่ 7 ร้อยละของจำนวนวินาทีที่อุปกรณ์ทำงาน

จากรูปที่ 7 พบว่า ในการเพาะปลูกต้นอ่อนทานตะวันในภาคเป็นเวลา 5 วัน ภาคเพาะปลูกที่ใช้อุปกรณ์ขับไล่หนูด้วยเสียงมีการทำงานนานที่สุด (843 วินาที คิดเป็นร้อยละ 48.90) อาจสะท้อนถึงประสิทธิภาพที่น้อยกว่าที่คาด เนื่องจากหนูไม่ได้ตอบสนองต่อเสียงในลักษณะที่แสดงความตื่นกลัวหรือหลีกเลี่ยงอย่างชัดเจน ซึ่งอาจหมายความว่าเสียงที่ใช้ไม่ได้ก่อให้เกิดผลกระทบทางจิตวิทยาหรือการกระตุ้นที่เพียงพอในการเปลี่ยนแปลงพฤติกรรมของหนู ในขณะเดียวกัน อุปกรณ์แสงสว่างที่มีการทำงานรองลงมา (768 วินาที คิดเป็นร้อยละ 44.55) อาจแสดงถึงผลกระทบที่ดีกว่าเล็กน้อย แต่ยังไม่สามารถลดการปรากฏตัวของหนูได้อย่างมีนัยสำคัญ ในทางกลับกัน อุปกรณ์การสั่นสะเทือนที่มีการทำงานเพียง 67 วินาที (คิดเป็นร้อยละ 3.89) และอุปกรณ์บูรณาการที่ทำงานเพียง 46 วินาที (คิดเป็นร้อยละ 2.67) อาจบ่งชี้ว่าหนูตอบสนองต่อสิ่งเร้าเหล่านี้ได้รวดเร็วกว่า ผลลัพธ์นี้แสดงให้เห็นว่าการใช้อุปกรณ์ขับไล่แบบเสียงเพียงอย่างเดียวอาจไม่เหมาะสมสำหรับการจัดการศัตรูพืช เนื่องจากไม่ได้สร้างผลกระทบที่เด่นชัดต่อพฤติกรรมของหนู การลดลงของเวลาการทำงานของอุปกรณ์บูรณาการยังอาจชี้ว่าหนูได้รับผลกระทบจากสิ่งเร้าที่หลากหลายมากกว่า ทำให้พฤติกรรมหลีกเลี่ยงเกิดขึ้นเร็วกว่าการใช้เสียงหรือแสงสว่างเพียงอย่างเดียว

ค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

ตารางที่ 1 ค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน ของจำนวนครั้งที่หนูบุกรุก จำนวนต้นอ่อนทานตะวันที่ถูกทำลาย และจำนวนวินาทีที่อุปกรณ์ขับไล่ทำงานเปรียบเทียบในแต่ละกลุ่มการทดลอง

ผลการใช้เครื่องขับไล่	กลุ่ม	ค่าเฉลี่ย	S.D.	df	F	P
จำนวนครั้งที่ หนูบุกรุก	ไม่มีการขับไล่	5.80	2.49	4	2.40	0.08
	เสียง	3.80	1.94			
	แสงสว่าง	3.40	2.33			
	การสั่น	2.60	1.36			
	ทุกแบบรวมกัน	2.00	1.26			
จำนวนทานตะวัน ที่เสียหาย	ไม่มีการขับไล่	24.40	18.96	4	2.26	0.10
	เสียง	17.80	13.70			
	แสงสว่าง	14.80	12.70			
	การสั่น	3.80	1.94			
	ทุกแบบรวมกัน	3.80	2.71			
จำนวนวินาทีที่อุปกรณ์ ขับไล่ทำงาน	เสียง	168.60	122.90	3	3.58	0.04*
	แสงสว่าง	153.60	135.77			
	การสั่น	13.40	7.71			
	ทุกแบบรวมกัน	9.20	6.18			

หมายเหตุ: * ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05

จากตารางที่ 1 พบว่า ถาดเพาะที่ไม่มีอุปกรณ์การขับไล่ โดยมีค่าเฉลี่ยของจำนวนครั้งที่หนูบุกรุกคือ 5.80 ครั้งต่อวัน (ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน = 2.49) กลุ่มนี้ทำหน้าที่เป็นกลุ่มพื้นฐานในการเปรียบเทียบ ถาดเพาะที่ใช้อุปกรณ์เสียงมีค่าเฉลี่ยของหนูบุกรุกลดลงเหลือ 3.80 ครั้งต่อวัน (ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน = 1.94) ถาดเพาะที่ใช้อุปกรณ์ขับไล่ด้วยแสงสว่างมีหนูบุกรุกโดยเฉลี่ย 3.40 ครั้งต่อวัน (ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน = 2.33) ส่วนถาดเพาะที่ใช้อุปกรณ์ขับไล่แบบสั่นมีหนูบุกรุกโดยเฉลี่ย 2.60 ครั้งต่อวัน (ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน = 1.36) และถาดที่ใช้อุปกรณ์ขับไล่ทุกแบบรวมกันมีการบุกรุกโดยเฉลี่ยเพียง 2.00 ครั้งต่อวัน (ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน = 1.26) อย่างไรก็ตามไม่พบว่า กลุ่มการทดลองต่างกันจะมีจำนวนครั้งที่หนูบุกรุกแตกต่างกันที่ระดับนัยสำคัญทางสถิติ 0.05 แสดงให้เห็นว่าค่าเฉลี่ยของจำนวนครั้งที่หนูบุกรุกลดลงอย่างต่อเนื่องจากกลุ่มที่ไม่มีอุปกรณ์ขับไล่ ไปจนถึงกลุ่มที่ใช้อุปกรณ์ขับไล่แบบบูรณาการ แม้ผลลัพธ์นี้จะแสดงให้เห็นถึงแนวโน้มที่ดีขึ้นของประสิทธิภาพการขับไล่ แต่ความแตกต่างดังกล่าวไม่มีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 ซึ่งบ่งชี้ว่าอุปกรณ์ขับไล่อาจมีผลต่อพฤติกรรมของหนู แต่ประสิทธิภาพอาจได้รับอิทธิพลจากปัจจัยอื่น ๆ เช่น ความแตกต่างเฉพาะตัวของหนูหรือสภาพแวดล้อม

ในด้านความเสียหายของต้นอ่อนทานตะวัน แนวโน้มของผลลัพธ์เป็นไปในทิศทางเดียวกับความถี่ของการบุกรุก โดยกลุ่มที่ไม่มีอุปกรณ์ขับไล่มีต้นอ่อนเสียหายสูงสุด (ค่าเฉลี่ย = 24.40, ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน = 18.96) และลดลงในกลุ่มที่ใช้อุปกรณ์สั่นสะเทือน (ค่าเฉลี่ย = 3.80, ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน = 1.94) และกลุ่มที่ใช้อุปกรณ์บูรณาการ (ค่าเฉลี่ย = 3.80, ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน = 2.71) อย่างไรก็ตาม ความแตกต่างระหว่างกลุ่มไม่มีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 ซึ่งแสดงให้เห็นว่า แม้อุปกรณ์ขับไล่จะลดความเสียหายได้ แต่ยังคงมีความแปรปรวนในผลลัพธ์ที่ชี้ให้เห็นถึงความซับซ้อนของปฏิสัมพันธ์ระหว่างหนูกับอุปกรณ์ขับไล่

ในด้านระยะเวลาการทำงานของอุปกรณ์ขับไล่เมื่อมีหนูบุกรุก พบความแตกต่างที่มีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 โดยกลุ่มที่ใช้อุปกรณ์เสียงมีระยะเวลาการทำงานเฉลี่ยนานที่สุด (ค่าเฉลี่ย = 168.60 วินาที, ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน = 122.90) รองลงมาคือกลุ่มแสงสว่าง (ค่าเฉลี่ย = 153.60 วินาที, ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน = 135.77) ส่วนกลุ่มการสั่นสะเทือน (ค่าเฉลี่ย = 13.40 วินาที, ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน = 7.71) และกลุ่มบูรณาการ (ค่าเฉลี่ย = 9.20 วินาที, ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน = 6.18) มีระยะเวลาการทำงานน้อยที่สุด แม้ว่าผลการวิเคราะห์แบบ Tukey's HSD Test จะไม่พบคู่ใดที่แตกต่างกัน

อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ แต่รูปแบบของผลลัพธ์แสดงให้เห็นว่าหนูอาจตอบสนองต่อสิ่งเร้าจากอุปกรณ์บูรณาการได้เร็วกว่าเนื่องจากสิ่งเร้าที่หลากหลายอาจสร้างผลกระทบทางจิตวิทยา ทำให้หนูหลีกเลี่ยงพื้นที่ได้อย่างรวดเร็ว

ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์

ตารางที่ 2 ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (r) ระหว่างจำนวนวินาทีที่อุปกรณ์ทำงาน จำนวนต้นอ่อนทานตะวันที่ถูกทำลาย และจำนวนครั้งที่หนูบุกรุก

	จำนวนวินาทีที่อุปกรณ์ทำงาน	จำนวนครั้งที่หนูบุกรุก	จำนวนต้นอ่อนที่ถูกทำลาย
จำนวนวินาทีที่อุปกรณ์ทำงาน	1.000	-	-
จำนวนครั้งที่หนูบุกรุก	0.807**	1.000	-
จำนวนต้นอ่อนที่ถูกทำลาย	0.885**	0.811**	1.000

หมายเหตุ: ** ที่ระดับนัยสำคัญ 0.01

ตารางที่ 2 แสดงผลการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนวินาทีที่อุปกรณ์ขับไล่ทำงาน จำนวนครั้งที่หนูบุกรุก และจำนวนต้นอ่อนที่ถูกทำลาย พบว่า ตัวแปรทั้งหมดมีความสัมพันธ์ในทิศทางบวกอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.01 การค้นพบนี้ชี้ให้เห็นถึงปฏิสัมพันธ์เชิงระบบระหว่างพฤติกรรมของหนูกับการทำงานของอุปกรณ์ขับไล่ และผลกระทบต่อการสูญเสียในแง่ของพืชผล ความสัมพันธ์เชิงบวกที่สูงมากระหว่างจำนวนครั้งที่หนูบุกรุกกับเวลาทำงานของอุปกรณ์ขับไล่ ($r = 0.807$) อาจสะท้อนถึงความท้าทายที่อุปกรณ์ขับไล่ยังไม่สามารถยับยั้งพฤติกรรมของหนูได้อย่างมีประสิทธิภาพ เมื่อจำนวนการบุกรุกเพิ่มขึ้น อุปกรณ์จึงจำเป็นต้องทำงานนานขึ้นเพื่อตอบสนองต่อการบุกรุกของหนูในพื้นที่เป้าหมาย ความสัมพันธ์นี้ยังชี้ให้เห็นถึงข้อจำกัดในการออกแบบหรือปรับตั้งค่าของอุปกรณ์ เช่น การตอบสนองของอุปกรณ์อาจไม่เพียงพอต่อการยับยั้งการบุกรุกซ้ำ ๆ ของหนู ในขณะที่ความสัมพันธ์เชิงบวกที่สูงมากระหว่างจำนวนต้นอ่อนที่ถูกทำลายกับเวลาทำงานของอุปกรณ์ขับไล่ ($r = 0.885$) แสดงให้เห็นถึงความซับซ้อนในพฤติกรรมของหนูที่อาจยังคงทำลายต้นอ่อนอยู่ แม้ว่าอุปกรณ์จะทำงานอย่างต่อเนื่อง อาจเป็นเพราะอุปกรณ์ไม่สามารถสร้างแรงกระตุ้นเชิงลบที่เพียงพอ หรือหนูสามารถปรับตัวต่อสิ่งเร้าที่อุปกรณ์สร้างขึ้น นอกจากนี้ ความสัมพันธ์เชิงบวกระหว่างจำนวนครั้งที่หนูบุกรุกกับจำนวนต้นอ่อนที่ถูกทำลาย ($r = 0.811$) บ่งบอกว่าความถี่ของการบุกรุกส่งผลโดยตรงต่อความเสียหายต่อพืชผล โดยที่การป้องกันที่ไม่เพียงพอจากอุปกรณ์ขับไล่ทำให้เกิดการสูญเสียที่ชัดเจนขึ้น

การอภิปรายผล

การจัดการศัตรูพืชแบบบูรณาการ (IPM) ได้รับการพิสูจน์ว่าเป็นวิธีการที่มีประสิทธิภาพในการควบคุมศัตรูพืช โดยเฉพาะอย่างยิ่งในการจัดการปัญหาการรบกวนจากหนูในพื้นที่เพาะปลูก ผลการวิจัยในครั้งนี้ได้แสดงให้เห็นว่าการบูรณาการวิธีการควบคุมหลายรูปแบบ ทั้งการใช้เสียง แสงสว่าง และการสั่นสะเทือน สามารถให้ผลลัพธ์ที่ดีกว่าการใช้วิธีการใดวิธีการหนึ่งเพียงอย่างเดียวอย่างมีนัยสำคัญ จากการวิเคราะห์ความแปรปรวนทางเดียวและการทดสอบ Tukey's HSD พบว่า วิธีการควบคุมแบบบูรณาการสามารถลดจำนวนการบุกรุกและความเสียหายต่อต้นอ่อนทานตะวันได้อย่างมีประสิทธิภาพ สอดคล้องกับแนวทางของ United States Environmental Protection Agency (EPA) (2023) ที่กล่าวว่าการใช้วิธีการควบคุมที่หลากหลายจะมีประสิทธิภาพมากกว่าการพึ่งพาวิธีการเดียว โดยเฉพาะอย่างยิ่งในการจัดการกับศัตรูพืชที่มีความสามารถในการปรับตัวสูงเช่นหนู

นอกจากนี้งานวิจัยพบความสัมพันธ์เชิงบวกอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติระหว่างระยะเวลาการทำงานของอุปกรณ์ขับไล่ จำนวนครั้งของการบุกรุก และความเสียหายที่เกิดขึ้น ซึ่งชี้ให้เห็นถึงความสำคัญของการพัฒนาระบบ IPM ที่มีความยืดหยุ่น และสามารถปรับเปลี่ยนได้ตามสถานการณ์ เนื่องจากหนูมีแนวโน้มที่จะพัฒนาความทนทานต่อวิธีการควบคุมเมื่อเวลาผ่านไป และในด้านประสิทธิภาพของวิธีการควบคุมแต่ละแบบ พบว่า การสั่นสะเทือนให้ผลดีที่สุด ตามด้วยแสงสว่าง และเสียงตามลำดับ ข้อค้นพบนี้สอดคล้องกับงานวิจัยของ Carman et al. (2007) ที่เน้นย้ำถึงความสำคัญของการสั่นสะเทือนในการควบคุมสัตว์ฟันแทะ ข้อมูลนี้มีความสำคัญอย่างยิ่งต่อการออกแบบระบบ IPM ที่มีประสิทธิภาพ โดยสามารถนำไปใช้ในการจัดลำดับความสำคัญของวิธีการควบคุมและการจัดสรรทรัพยากรได้อย่างเหมาะสม นอกจากนี้ ผลการวิจัยยังแสดงให้เห็นว่า

วิธีการควบคุมแบบบูรณาการใช้เวลาในการขับไล่แมลงน้อยที่สุด ซึ่งมีนัยสำคัญต่อการพัฒนาระบบ IPM ที่มีประสิทธิภาพทางต้นทุน การลดระยะเวลาในการควบคุมไม่เพียงแต่ช่วยประหยัดพลังงานและทรัพยากรเท่านั้น แต่ยังช่วยลดโอกาสที่ศัตรูพืชจะพัฒนาความต้านทานต่อวิธีการควบคุมอีกด้วย

การพัฒนาต้นแบบอุปกรณ์ขับไล่แมลงโดยใช้ Raspberry Pi ในการศึกษาครั้งนี้ยังแสดงให้เห็นถึงศักยภาพของการประยุกต์ใช้เทคโนโลยีดิจิทัลในระบบ IPM สมัยใหม่ สอดคล้องกับงานวิจัยของ Ghorse et al. (2022) ที่เน้นการใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ในการควบคุมศัตรูพืช การผสมผสานเทคโนโลยีดิจิทัลเข้ากับหลักการ IPM อาจนำไปสู่การพัฒนาระบบควบคุมศัตรูพืชที่มีความแม่นยำและประสิทธิภาพสูงขึ้น การศึกษานี้ยังสนับสนุนแนวคิดของ IPM ในด้านการลดการใช้สารเคมีกำจัดศัตรูพืช โดยแสดงให้เห็นว่าวิธีการทางกายภาพที่ไม่ใช้สารเคมีสามารถมีประสิทธิภาพสูงในการควบคุมศัตรูพืชเมื่อใช้ร่วมกันอย่างเหมาะสม ซึ่งสอดคล้องกับเป้าหมายด้านความยั่งยืนและการรักษาสีเขียวของ IPM

ในแง่ของผลกระทบทางจิตวิทยาต่อพฤติกรรมของหนู การวิจัยพบว่า การใช้วิธีการขับไล่แบบบูรณาการส่งผลกระทบต่อพฤติกรรมการกินของหนู โดยการสัมผัสกับกลิ่นมีผลกระทบทางจิตวิทยาที่รุนแรงที่สุด ซึ่งสอดคล้องกับทฤษฎีวิวัฒนาการของระบบประสาทสัมผัสในสัตว์ฟันแทะที่พัฒนาขึ้นเพื่อตอบสนองต่อภัยคุกคามในธรรมชาติ (Fernández-Jurícic, 2016) การที่หนูยังคงพยายามบุกรุกแม้จะเผชิญกับสิ่งรบกวนเป็นเวลานาน แสดงให้เห็นถึงความสามารถในการพัฒนาความทนทานต่อสิ่งเร้าที่ไม่พึงประสงค์ โดยเฉพาะเมื่อมีแรงจูงใจทางด้านอาหารที่มากพอ อย่างไรก็ตาม วิธีการขับไล่แบบบูรณาการสร้างสภาพแวดล้อมที่ทำลายความสามารถในการปรับตัวของหนูมากที่สุด เนื่องจากต้องรับมือกับสิ่งเร้าหลายรูปแบบพร้อมกัน ข้อค้นพบที่น่าสนใจอีกประการหนึ่งคือการที่หนูตอบสนองต่อแสงสว่างได้ดีกว่าเสียงเล็กน้อย ซึ่งอาจสะท้อนถึงลำดับความสำคัญของระบบประสาทสัมผัสในการประเมินภัยคุกคาม ความสัมพันธ์ระหว่างระยะเวลาการทำงานของอุปกรณ์กับความเสียหายที่เพิ่มขึ้น ยังเน้นย้ำถึงความซับซ้อนของกระบวนการตัดสินใจในสมองของหนูภายใต้ภาวะความเครียด

อย่างไรก็ตาม งานวิจัยนี้มีข้อจำกัดบางประการที่ควรพิจารณาในการพัฒนาระบบ IPM ในอนาคต เช่น การไม่ได้ศึกษาผลกระทบระยะยาวต่อพฤติกรรมของประชากรหนู และการไม่ได้ทดสอบในสภาพแวดล้อมที่หลากหลาย นอกจากนี้ ยังไม่ได้มีการวัดระดับความเครียดทางสรีรวิทยาของหนูโดยตรง การวิจัยในอนาคตควรศึกษาตัวชี้วัดทางสรีรวิทยาของความเครียดและติดตามการเปลี่ยนแปลงพฤติกรรมของประชากรหนูในระยะยาว โดยสรุป งานวิจัยนี้ได้ให้ข้อมูลเชิงลึกที่มีคุณค่าเกี่ยวกับประสิทธิภาพของการจัดการศัตรูพืชแบบบูรณาการและผลกระทบทางจิตวิทยาของวิธีการควบคุมต่อพฤติกรรมของหนู ผลการวิจัยสนับสนุนการใช้วิธีการควบคุมหลายรูปแบบร่วมกัน และชี้ให้เห็นถึงความสำคัญของการพัฒนาระบบที่มีความยืดหยุ่นและสามารถปรับเปลี่ยนได้ การบูรณาการเทคโนโลยีดิจิทัลเข้ากับหลักการ IPM อาจเป็นก้าวสำคัญในการพัฒนาวิธีการควบคุมศัตรูพืชที่มีประสิทธิภาพและยั่งยืนมากขึ้นในอนาคต

บทสรุป

การวิจัยนี้นำเสนอความก้าวหน้าที่สำคัญในการจัดการศัตรูพืชแบบบูรณาการ (IPM) โดยเฉพาะในการควบคุมหนูที่สร้างความเสียหายในพื้นที่เกษตรกรรม ผลการศึกษาแสดงให้เห็นว่าการผสมผสานวิธีการควบคุมสามรูปแบบ ได้แก่ การใช้แสงสว่าง และการสัมผัสกลิ่น มีประสิทธิภาพสูงกว่าการใช้วิธีการใดวิธีการหนึ่งเพียงอย่างเดียว ประโยชน์ที่โดดเด่นของระบบนี้คือการนำเทคโนโลยี Raspberry Pi มาประยุกต์ใช้ ซึ่งแสดงให้เห็นถึงศักยภาพในการพัฒนาเป็นอุปกรณ์ที่มีต้นทุนต่ำและสามารถนำไปใช้ได้อย่างแพร่หลาย นอกจากภาคการเกษตรแล้ว เทคโนโลยีนี้ยังสามารถประยุกต์ใช้ในการควบคุมหนูในสภาพแวดล้อมอื่น ๆ เช่น คลังสินค้า โรงงานอุตสาหกรรม และพื้นที่จัดเก็บอาหาร ในด้านผลกระทบทางเศรษฐกิจ ระบบนี้แสดงให้เห็นถึงความคุ้มค่าที่โดดเด่น เนื่องจากสามารถลดความเสียหายต่อผลผลิตและทรัพย์สินจากการรบกวนของหนูได้อย่างมีประสิทธิภาพ อีกทั้งยังช่วยประหยัดทรัพยากรและพลังงานเพราะใช้เวลาในการขับไล่แมลงน้อยกว่าวิธีการดั้งเดิม นอกจากนี้ ยังช่วยลดการพึ่งพาสารเคมีกำจัดศัตรูพืชซึ่งมีราคาแพงและอาจส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม ความยืดหยุ่นของระบบที่สามารถปรับเปลี่ยนการทำงานได้ตามสถานการณ์ยังเพิ่มประสิทธิภาพในการควบคุมศัตรูพืชในระยะยาว ที่สำคัญการศึกษานี้สอดคล้องกับแนวทางขององค์การพิทักษ์สิ่งแวดล้อมแห่งสหรัฐอเมริกา (EPA) และแนวโน้มการเกษตรยั่งยืน โดยนำเสนอทางเลือกที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมในการจัดการศัตรูพืช การผสมผสานเทคโนโลยีดิจิทัลเข้ากับหลักการ IPM ยังเปิดโอกาสในการพัฒนาระบบควบคุมศัตรูพืชที่มีความแม่นยำและประสิทธิภาพสูงขึ้นในอนาคต อย่างไรก็ตาม การวิจัยในอนาคตควรมุ่งเน้นการศึกษาผลกระทบระยะยาวและการทดสอบในสภาพแวดล้อมที่หลากหลายมากขึ้น เพื่อยืนยันประสิทธิภาพของ

ระบบในการใช้งานจริง ทั้งนี้ศักยภาพของเทคโนโลยีนี้ในการลดความเสียหายทางเศรษฐกิจจากหนูและศัตรูพืชอื่น ๆ ถือเป็นก้าวสำคัญในการพัฒนาวิธีการควบคุมศัตรูพืชที่ยั่งยืนและมีประสิทธิภาพสูง โดยสรุป นวัตกรรมนี้ไม่เพียงแต่นำเสนอวิธีการควบคุมหนูที่มีประสิทธิภาพเท่านั้น แต่ยังแสดงให้เห็นถึงโอกาสในการพัฒนาเทคโนโลยีการเกษตรที่ทันสมัย คุ่มค่าทางเศรษฐกิจ และเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม ซึ่งสามารถนำไปประยุกต์ใช้ในวงกว้างเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตในภาคการเกษตรและอุตสาหกรรมของประเทศ

เอกสารอ้างอิง

- กรมส่งเสริมการเกษตร. (2567). ปลุกข้าว-ข้าวโพด ช่วงนี้เริ่มให้ผล ระวังหนูทำลายเสียหาย. ค้นเมื่อ 14 พฤศจิกายน 2567. <https://doanews.doae.go.th/archives/24307>.
- จักรพันธ์ นาน่วม. (2565). ความ (ไม่) ยั่งยืนของการทำนาข้าวในภาคตะวันออกของประเทศไทย. วารสารวิจัยสังคม. 45(2): 34-58.
- พลากร ดวงเกิด. (2565). หนี้สินครัวเรือนเกษตรกรของประเทศไทย: ความท้าทายที่ต่อเนื่อง. วารสารประชากรศาสตร์. 38(1): 60-71.
- มาโนชญ์ แสงศิริ. (2562). Raspberry Pi คอมพิวเตอร์ขนาดเล็กสำหรับด้านการศึกษา. ค้นเมื่อ 10 ธันวาคม 2566. <https://www.scimath.org/article-technology/item/9104-raspberry-pi>.
- สำนักกระบวนวิทยา. (2567). รายงานโรคในระบบเผ่าละว้าง. ค้นเมื่อ 20 มิถุนายน 2567. http://doe.moph.go.th/surdata/506wk/y67/d43_2367.pdf.
- สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ (สวทช). (2563). Smart Farming การเกษตรอัจฉริยะ. ค้นเมื่อ 25 กันยายน 2566. <https://waa.inter.nstda.or.th/stks/pub/2020/20200313-smart-farming.pdf>.
- Albanese A., Nardello M. and Brunelli D. (2021). Automated pest detection with DNN on the edge for precision agriculture. Accessed 6 August 2023. <https://arxiv.org/abs/2108.00421>.
- Carman R.A., Quimby F.W. and Glickman G.M. (2007). The effect of vibration on pregnant laboratory mice. In INTER-NOISE and NOISE-CON Congress and Conference Proceedings. Istanbul, Turkey. 1722-1731.
- Fernández-Juricic E. (2016). The role of animal sensory perception in behavior-based management. Accessed 20 September 2023. <https://estebanfbio.purdue.edu/papers/Ch6ConservBehav.pdf>.
- Ghorse V., Kene J. and Agrawal R. (2022). Arduino based insect & rodent repeller for living & working spaces. Accessed 20 September 2023. https://www.researchgate.net/publication/368314978_Arduino_based_insect_rodent_repeller_for_living_working_spaces.
- Jindarat S. and Wuttidittachotti P. (2015). Smart farm monitoring using Raspberry Pi and Arduino. In International Conference on Computer, Communications, and Control Technology (I4CT) Proceeding 2-4 September 2014. Kuching. Malaysia. 284-288.
- Rahman W., Hossain E., Islam R. and Rashid H.A. (2020). Real-time and low-cost IoT based farming using Raspberry Pi. Indonesian Journal of Electrical Engineering and Computer Science. 17(1): 197-204.
- Singleton G. (2003). Impacts of rodents on rice production in Asia. Accessed 15 November 2024. http://books.irri.org/971220183X_content.pdf.
- United States Environmental Protection Agency (EPA). (2023). Integrated pest management (IPM) principles. Accessed 20 September 2023. <https://www.epa.gov/safepestcontrol/integrated-pest-management-ipm-principles>.

Young S.L. (2017). A systematic review of the literature reveals trends and gaps in integrated pest management studies conducted in the United States. *Pest Management Science*. 73(8): 1553-1558.

Received: April 27, 2024; Revised: October 29, 2024; Accepted: December 6, 2024

ระบบชลประทานน้ำหยดเพื่อรับมือกับภัยแล้ง: กรณีศึกษาเทศบาลตำบลออนใต้ จังหวัดเชียงใหม่

Drip irrigation system for coping with drought: A case study of Ontai subdistrict municipality, Chiangmai province

บุญจรัตน์ โจนันท์^{1*}, ภัทรา วงษ์พันธุ์กมล¹, ครรชิต เงินคำคง¹, จิรศักดิ์ ปัญญา¹, เกศสุดา ลิทธิสันติกุล²
และปรารถนา ยศสุข³

Banjarata Jolanun^{1*}, Patra Wongpankamol¹, Khanchit Ngoenkhamkhong¹, Jirasak Panya¹,
Ketsuda Sitthisuntikul² and Pradtana Yossuck³

¹คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา จังหวัดเชียงใหม่

¹Faculty of Engineering, Rajamangala University of Technology Lanna, Chiang Mai Province

²คณะเศรษฐศาสตร์ มหาวิทยาลัยแม่โจ้ จังหวัดเชียงใหม่

²Faculty of Economic, Maejo University, Chiang Mai Province

³วิทยาลัยบริหารศาสตร์ มหาวิทยาลัยแม่โจ้ จังหวัดเชียงใหม่

³School of Administrative Studies, Maejo University, Chiang Mai Province

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

บทคัดย่อ

การจัดการความรู้ระบบชลประทานน้ำหยดเชิงปฏิบัติการแบบมีส่วนร่วมเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการใช้น้ำและการรับมือกับภัยแล้งให้แก่เกษตรกรออนใต้ อำเภอสันกำแพง จังหวัดเชียงใหม่ โดยศึกษาเปรียบเทียบประสิทธิผลระหว่างระบบชลประทานน้ำหยด (เทปน้ำหยด) และระบบร่องคูเล็ก (วิธีดั้งเดิม) ในการปลูกพริกกระด้างแปลงสาธิต ผลการศึกษา พบว่า กระบวนการที่สำคัญต่อความสำเร็จของการจัดการความรู้ ได้แก่ 1) การระบุปัญหาและความรู้ที่เกษตรกรต้องการนำมาปรับใช้ 2) การคัดเลือกองค์ความรู้และเทคนิคที่เหมาะสมในการจัดการความรู้ 3) การสร้างความรู้และการปรับใช้เทคโนโลยีแบบมีส่วนร่วมทุกขั้นตอน และ 4) การรวบรวมและจัดเก็บความรู้อย่างเป็นระบบ นอกจากนี้ยังพบปัจจัย (6 ประเด็น) ที่มีอิทธิพลต่อความสำเร็จในการจัดการความรู้การปลูกพริก พบว่า การใช้น้ำของระบบเทปน้ำหยดมีค่าเฉลี่ย 0.59-0.79 ลิตร/ต้น/เดือน ส่วนการใช้น้ำของระบบร่องคูเล็กมีค่าเฉลี่ย 1.62-2.72 ลิตร/ต้น/เดือน การให้น้ำแบบเทปน้ำหยดส่งผลให้ความสูงและจำนวนใบต่อต้นของพริกมากกว่าการให้น้ำแบบร่องคูเล็กร้อยละ 25.15 และ ร้อยละ 121.10 อย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) ระบบเทปน้ำหยดให้ผลผลิตพริก (นอกฤดู) สูงกว่าระบบร่องคูเล็กเฉลี่ย 2.3 เท่า ระยะเวลาในการคืนทุนของระบบเทปน้ำหยดและระบบร่องคูเล็กเฉลี่ย 0.19 ปี และ 0.35 ปี ตามลำดับ ประเด็นความพึงพอใจในการขยายผล ได้แก่ การประหยัดน้ำ การประหยัดเวลา การสร้างรายได้เสริม ความมั่นคงด้านอาหาร รวมทั้งการผ่อนแรงเกษตรกรผู้สูงอายุ

คำสำคัญ: ชลประทานน้ำหยด ภัยแล้ง การจัดการความรู้ การมีส่วนร่วม

Abstract

Knowledge management of the drip irrigation system through the participatory action research aimed to increase water-use efficiency and help farmers cope with drought at Ontai Sub-District, Sankampang District, Chiang Mai Province. The effectiveness of using the drip irrigation system (drip tape) and the ditch groove system (conventional technique) for growing pepper in a demonstration plot was also investigated and compared. The result indicated that the important processes to success in knowledge management were 1) identify problem and knowledge that farmers need to be adopted; 2) select appropriate knowledge and technique for management; 3) create knowledge and apply technology by participatory process and 4) collect and curate knowledge systematically. In addition, there were six factors found to influence successful knowledge management. In growing pepper, the drip tape system used water on average 0.59-0.79 liter/stem/month while the ditch groove system used water on average 1.62-2.72 liter/stem/month. The drip tape system also enhanced a growth of pepper by providing higher stem and number of leaves than the ditch groove system of about 25.15% and 121.10% significantly ($p < 0.05$). The amount of harvested pepper (Out-of-season growing) by using the drip tape system was 2.3 times higher than the ditch groove system. The period of return was 0.19 years and 0.35 years for the drip tape system and ditch groove system, respectively. The satisfaction issues in expanding results for practical application included saving in water and time, creating extra income and food security, and relieving the burden of elderly farmers.

Keywords: Drip irrigation, Drought, Knowledge Management, Participation

บทนำ

ปัจจุบันประเทศไทยกำลังประสบกับความตึงเครียดในการบริหารจัดการน้ำ เพื่อตอบสนองความต้องการใช้น้ำและลดความขัดแย้งของผู้ใช้น้ำทุกภาคส่วนในประเทศ ทั้งทางด้านอุปโภคบริโภค อุตสาหกรรม เกษตรกรรม การเลี้ยงสัตว์ เป็นต้น สืบเนื่องจากปัญหาโลกร้อนและการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ (Climate change) ที่ส่งผลให้ปริมาณฝนลดน้อยลง ภาวะฝนตกทั้งช่วงและเกิดปัญหาลำแล้งที่ยาวนานยิ่งขึ้น โดยเฉพาะเขตภาคเหนือของประเทศไทย ศูนย์ปฏิบัติการน้ำอัจฉริยะ กรมชลประทาน (2567) ได้รายงานการเปรียบเทียบข้อมูลปริมาณน้ำไหลลงอ่างขนาดใหญ่ของภาคเหนือล่าสุด โดยพิจารณาในช่วงแคบรายเดือน (มกราคม-กุมภาพันธ์) พบว่า ปริมาณน้ำในอ่างขนาดใหญ่ของภาคเหนือรวมทั้งสิ้น 331 ล้านลูกบาศก์เมตร (พ.ศ. 2566) ได้ลดลงจากเดิมเหลือเพียง 220 ล้านลูกบาศก์เมตร (พ.ศ. 2567) คิดเป็นปริมาณน้ำลดลงจากเดิมสูงถึงประมาณร้อยละ 34 นอกจากนี้ ศูนย์ปฏิบัติการน้ำอัจฉริยะ กรมชลประทาน (2567) ยังได้ฉายภาพการเปลี่ยนแปลงปริมาณน้ำในเขื่อนสำคัญของประเทศ โดยรายงานปริมาณน้ำไหลลงอ่างของเขื่อน ภูมิพล สิริภักดิ์ แควน้อย และป่าสักฯ ในปี พ.ศ. 2554 พบว่า ทุกเขื่อนมีปริมาณน้ำรวมทั้งสิ้น 24,006 ล้านลูกบาศก์เมตร และปัจจุบัน (พ.ศ. 2566) ปริมาณน้ำลดลงเหลือเพียง 11,134.3 ล้านลูกบาศก์เมตร บ่งชี้ว่า ปริมาณน้ำในเขื่อนสำคัญของประเทศลดลงจากเดิมสูงถึงประมาณร้อยละ 54 รวมทั้งปัญหาลำแล้งเป็นวิกฤติหนึ่งที่จำเป็นต้องได้รับการบริหารจัดการ แก้ไข หรือรับมือในระดับชาติอย่างเร่งด่วน

เทศบาลตำบลออนใต้ อำเภอสันกำแพง จังหวัดเชียงใหม่ เป็นพื้นที่หนึ่งที่ประชากรในพื้นที่ส่วนใหญ่ประกอบอาชีพเกษตรกรรมและเลี้ยงสัตว์ เนื่องจากพื้นที่ส่วนใหญ่ของชุมชนออนใต้อยู่นอกเขตชลประทาน (เขื่อนแม่งวง) ดังนั้นแหล่งน้ำที่สำคัญของชุมชนในการกักเก็บน้ำฝน ได้แก่ อ่างเก็บน้ำห้วยลาน (ความจุ 4.89 ล้านลูกบาศก์เมตร) และอ่างเก็บน้ำแม่ผาแหน (ความจุ 3.12 ล้านลูกบาศก์เมตร) ซึ่งเป็นอ่างเก็บน้ำโครงการอันเนื่องมาจากพระราชดำริทั้งสองแห่ง อย่างไรก็ตามในช่วงเวลาเกือบ 10 ปีที่ผ่านมา ชุมชนเทศบาลตำบลออนใต้ต้องเผชิญกับปัญหาลำแล้งและทำให้ปริมาณน้ำในอ่างเก็บน้ำห้วยลานและอ่างเก็บน้ำแม่ผาแหนในบางปีลดลงมากกว่าร้อยละ 60 นอกจากนี้พื้นที่เทศบาลตำบลออนใต้เคยถูกประกาศเป็นเขตการให้ความช่วยเหลือภัยพิบัติกรณีฉุกเฉิน (ภัยแล้ง) ของอำเภอสันกำแพง จังหวัดเชียงใหม่ (บัญญัติ และมนฤดี, 2557 สถาบันสารสนเทศทรัพยากรน้ำและการเกษตร องค์การมหาชน, 2566) ผลกระทบที่สำคัญจากภัยแล้งต่อชุมชนและเทศบาลตำบลออนใต้ เช่น

1) การขาดแคลนน้ำสำหรับการผลิตประปาเพื่อใช้ในการอุปโภคบริโภค 2) การขาดแคลนน้ำด้านการเกษตรและการเลี้ยงสัตว์ 3) การสูญเสียรายได้ อาชีพ และโอกาสของคนในชุมชน 4) การสูญเสียงบประมาณและเสียโอกาสในการพัฒนาท้องถิ่นของเทศบาลตำบลออนใต้ 5) ภัยแล้งส่งผลให้ดินและป่าไม้ในชุมชนขาดความชุ่มชื้นและเสื่อมโทรมลง และ 6) ความขัดแย้งและการแย่งชิงการใช้น้ำของคนในชุมชน ซึ่งผลกระทบที่เกิดขึ้นสอดคล้องกับ Watkins (2006) ระบุว่า การขาดแคลนน้ำเป็นสาเหตุสำคัญสาเหตุหนึ่งของปัญหาเศรษฐกิจ ความยากจน ทรัพยากรธรรมชาติ และความขัดแย้งกันทางสังคม

ระบบชลประทานน้ำหยด (Drip irrigation system) ถือเป็นเทคโนโลยีทางเลือกสำหรับเกษตรกรในการปลูกพืชแบบประหยัดน้ำและใช้น้ำอย่างมีประสิทธิภาพ โดยปกติแล้วการให้น้ำพืชด้วยวิธีการรดน้ำจะทำให้ปริมาณน้ำไหลผ่านชั้นรากพืชไปอย่างรวดเร็วจนรากพืชอาจดูดซับไ้ไม่ทัน ขณะที่ระบบชลประทานน้ำหยดเป็นการให้น้ำด้วยวิธีการปล่อยน้ำผ่านระบบน้ำหยดให้น้ำค่อย ๆ ไหลซึมลงไป ทำให้รากพืชจึงมีเวลาดูดซับน้ำได้ทัน ดังนั้นการสูญเสียน้ำจึงน้อยมากหรือแทบไม่มีเลย แต่กลับให้ผลผลิตต่อไร่ค่อนข้างสูง อย่างไรก็ตามชุมชนหรือกลุ่มเกษตรกรที่ต้องการนำระบบชลประทานน้ำหยดมาปรับประยุกต์ใช้ภายใต้วิกฤตแล้งจำเป็นต้องมีความรู้ มีทักษะ และมีความเข้าใจถึงข้อดีและข้อจำกัดของการใช้ระบบชลประทานน้ำหยดดังกล่าวพอสมควร (สำนักพัฒนาคุณภาพสินค้าเกษตร, 2557) จากสภาพปัญหาภัยแล้งและผลกระทบที่เกิดขึ้นภายในพื้นที่เทศบาลตำบลออนใต้ พบว่านอกจากการจัดทำฐานข้อมูลสภาพรวมของทรัพยากรน้ำ (น้ำต้นทุน) และ ความต้องการใช้น้ำของทุกภาคส่วนภายในพื้นที่อย่างเป็นทางการเพื่อนำไปสู่การบริหารจัดการน้ำแบบบูรณาการของท้องถิ่นแล้ว การเพิ่มขีดความสามารถในการรับมือหรือการปรับตัวกับปัญหาภัยแล้งให้แก่เกษตรกรระดับชุมชนท้องถิ่นถือว่ามีความสำคัญอย่างมากทั้งในปัจจุบันและในอนาคต (บุญจรรย์ และ มนฤดี, 2557) ดังนั้นการศึกษานี้จึงจัดการความรู้ระบบชลประทานน้ำหยดร่วมกับกลุ่มเกษตรกรปลอดสารพิษ บ้านแม่ผาแพน เทศบาลตำบลออนใต้ อำเภอสันกำแพง จังหวัดเชียงใหม่ โดยดำเนินการวิจัยเชิงปฏิบัติการแบบมีส่วนร่วมทุกขั้นตอนอย่างเป็นรูปธรรม เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการจัดการและการใช้น้ำในระบบการผลิตด้านเกษตรกรรม ทั้งยังเป็นการเสริมศักยภาพการรับมือจากความเสี่ยงภัยแล้งให้แก่ชุมชนเกษตรกรในระยะยาวสืบไป

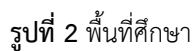
วัสดุ อุปกรณ์ และวิธีการ

1. กรอบแนวคิด

การศึกษานี้ดำเนินการวิจัยเชิงปฏิบัติการแบบมีส่วนร่วมทุกขั้นตอน เพื่อจัดการความรู้ระบบชลประทานน้ำหยดร่วมกับกลุ่มเกษตรกรปลอดสารพิษ บ้านแม่ผาแพน เทศบาลตำบลออนใต้ อำเภอสันกำแพง จังหวัดเชียงใหม่ โดยกรอบแนวคิดหลัก (รูปที่ 1) ของการวิจัยนี้เน้นความสำคัญในการจัดการความรู้สู่การใช้ประโยชน์ของกลุ่มเป้าหมายอย่างเป็นรูปธรรม เพื่อเสริมสร้างความสามารถในการรับมือและการปรับตัวของเกษตรกรเทศบาลตำบลออนใต้ต่อความเสี่ยงภัยแล้งเนื่องจากปัญหาโลกร้อนและการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ

2. พื้นที่ศึกษา

เทศบาลตำบลออนใต้ อำเภอสันกำแพง จังหวัดเชียงใหม่ (รูปที่ 2) พื้นที่ศึกษาดังอยู่ทางทิศตะวันออกของอำเภอสันกำแพง มีเนื้อที่ทั้งหมดประมาณ 43,682.50 ไร่ หรือ 69.892 ตารางกิโลเมตร ลักษณะภูมิประเทศของพื้นที่ตำบลออนใต้เป็นที่ราบลุ่มและที่ราบเชิงเขา โดยอ่างเก็บน้ำสำคัญจากโครงการอันเนื่องมาจากพระราชดำรินในพื้นที่ได้แก่ อ่างเก็บน้ำห้วยลาน และอ่างเก็บน้ำแม่ผาแพน (เทศบาลตำบลออนใต้, 2566) ในการพิจารณาคัดเลือกพื้นที่ต้นแบบสำหรับการดำเนินงานวิจัยเชิงปฏิบัติการ ของเทศบาลตำบลออนใต้ ได้อาศัยกระบวนการมีส่วนร่วมรวมทั้งการสอบถามข้อมูลเชิงลึกร่วมกับตัวแทนของชุมชน เกษตรกรผู้ใช้น้ำ กลุ่มเกษตรกรปลอดสารพิษ และผู้บริหารเทศบาลตำบลออนใต้ พบว่า ในเบื้องต้นทุกฝ่ายร่วมพิจารณากำหนดให้กลุ่มเกษตรกรปลอดสารพิษ บ้านแม่ผาแพน (หมู่ 6) เป็นพื้นที่ศึกษานำร่องที่มีความเหมาะสม เนื่องจากสภาพพื้นที่ทางการเกษตรตั้งอยู่นอกเขตชลประทานเขื่อนแม่กวงอุดมธารา เชียงใหม่ นอกจากนี้บ้านแม่ผาแพนเป็นพื้นที่หนึ่งของเทศบาลตำบลออนใต้ที่มีกประสบปัญหาการขาดแคลนน้ำด้านการเกษตรและเกิดภัยแล้งติดต่อกันรวมถึงปัจจัยด้านความพร้อมของเกษตรกรที่ต้องการเรียนรู้และร่วมดำเนินการประยุกต์ใช้ระบบชลประทานน้ำหยดเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการใช้น้ำด้านการเกษตร รวมทั้งการขยายผลการใช้ประโยชน์จากงานวิจัย



การวิจัยนี้มุ่งเน้นการวิจัยเชิงปฏิบัติการแบบมีส่วนร่วม (Participatory action research) เพื่อจัดการความรู้สู่การใช้ประโยชน์ของกลุ่มเป้าหมายอย่างเป็นรูปธรรม ดังนั้น รูปแบบของการวิจัยจึงมีลักษณะผสมผสานโดยใช้เทคนิคการวิจัยเชิงคุณภาพ การวิจัยเชิงสำรวจ และการทดลองปฏิบัติในภาคสนาม ในการดำเนินงานประกอบด้วย 5 ขั้นตอนหลัก ได้แก่ 1) การประสานงานในพื้นที่เป้าหมาย 2) การเตรียมความพร้อมเกษตรกรต้นแบบ 3) การลงมือปฏิบัติในภาคสนาม 4) การติดตามและประเมินผลแบบมีส่วนร่วม และ 5) การถ่ายทอดความรู้และการขยายผลเทคโนโลยีชลประทานน้ำหยดในพื้นที่เทศบาลตำบลอนันต์

4. แผนทดลองปฏิบัติในภาคสนาม

แม้ว่าวิธีการให้น้ำพืชอย่างมีประสิทธิภาพและประหยัดมีหลากหลายวิธี เช่น ระบบการให้น้ำพืชแบบน้ำหยด (Drip irrigation) แบบสเปรย์ หรือ แบบพ่นฝอย (Spray or sprinkler irrigation) เป็นต้น สำหรับการศึกษาครั้งนี้ จากการแลกเปลี่ยนความรู้และข้อคิดเห็น ตลอดจนแนวทางการปฏิบัติและการประยุกต์ใช้ในภาคสนามโดยเน้นการมีส่วนร่วมกับเกษตรกรต้นแบบ พบว่า การประยุกต์ใช้ระบบเทปน้ำหยดในแปลงสาธิตเป็นเทคโนโลยีใช้น้ำน้อยที่ตรงกับความต้องการของเกษตรกร เนื่องด้วยเกษตรกรเคยได้รับความรู้ผ่านการศึกษาดูงานจึงมีความคุ้นเคยและเข้าใจระดับหนึ่ง นอกจากนี้ ระบบเทปน้ำหยดในปัจจุบันยังสามารถติดตั้งและใช้งานง่าย รวมทั้งสามารถกำหนดจุดที่ปล่อยน้ำเข้าสู่รากพืชได้ จึงประหยัดน้ำกว่าระบบอื่น ดังนั้นระบบเทปน้ำหยด จึงเป็นเทคโนโลยีที่เหมาะสมเทคโนโลยีหนึ่ง ซึ่งชุมชนท้องถิ่นสามารถนำมาปรับประยุกต์ใช้เพื่อการรับมือกับปัญหาและผลกระทบจากภัยแล้ง

สำหรับแผนการทดลองปลูกพริกในภาคสนาม ตัวแปรที่ศึกษา ได้แก่ กรรมวิธีการให้น้ำจำนวน 2 กรรมวิธี คือ แบบร่องคูเล็ก (เป็นวิธีดั้งเดิมของเกษตรกร) และระบบเทปน้ำหยด โดยเปรียบเทียบประสิทธิภาพการใช้น้ำและประสิทธิผลการเจริญเติบโตรวมทั้งผลผลิตของพริก ทั้งนี้เพื่อให้เห็นผลการทดสอบประสิทธิภาพการใช้น้ำในแปลงสาธิตที่ชัดเจน จึงได้กำหนดช่วงเวลาดำเนินการทดสอบตั้งแต่เดือนพฤษภาคม-สิงหาคม (ช่วงนอกฤดูปลูกพริกของเกษตรกรอินใต้) โดยเกษตรกรต้นแบบได้ร่วมดำเนินงานในทุกขั้นตอน ได้แก่ การเตรียมแปลงทดลอง การคลุมแปลงทดลอง การเตรียมหลุมปลูกกล้าพริก การติดตั้งระบบสูบน้ำและการจ่ายน้ำ การปลูกพริก และการบันทึกข้อมูลในแปลงทดลองปลูกพริก เป็นต้น ซึ่งแปลงทดสอบปลูกพริกมีขนาด 0.80x12.00 เมตร (กว้างxยาว) จำนวน 6 แปลงต่อกรรมวิธี ทั้งนี้การปลูกพริกเป็นแบบสลับแถว จำนวน 2 แถวต่อแปลง ปลูกแถวละ 30 ต้น ดังนั้นจำนวนต้นพริกต่อแปลงเท่ากับ 60 ต้น และจำนวนต้นพริกรวมทั้งหมดเท่ากับ 360 ต้นต่อกรรมวิธีการให้น้ำ ในระหว่างดำเนินการได้ทำการควบคุมปัจจัยในช่วงเริ่มต้นการปลูกและช่วงหลังการปลูกให้เหมือนกันในทุกกรรมวิธีที่ศึกษา (ตารางที่ 1)

ตารางที่ 1 แผนการทดลองปลูกพริกในภาคสนาม

การทดลองที่	กรรมวิธีการให้น้ำ	ปัจจัยควบคุม ¹	พารามิเตอร์ที่ตรวจวัด
1	แบบร่องคูเล็ก (วิธีดั้งเดิม)	กรรมวิธีการปลูกโดยแบ่งออกเป็น 4 ระยะ <u>ช่วงเริ่มต้นการปลูก</u> รองกันหลุมด้วยปุ๋ยหมักประมาณ 100 กรัม/หลุม <u>หลังปลูก 1-2 สัปดาห์</u> รดน้ำปุ๋ยเคมี (15-15-15) ปริมาณ 250 มล./ต้น <u>หลังปลูก 6-7 สัปดาห์</u> ใส่ปุ๋ยเคมีฟอส 1 ช้อน/ต้น <u>หลังปลูก 2 เดือน</u> ฉีดพ่นน้ำฮอร์โมนเร่งเสริมทางใบ	-สมบัติทางกายภาพและเคมี ของดิน -อุณหภูมิสิ่งแวดล้อม (°C) -ความชื้นสัมพัทธ์ (%) -อัตราการใช้น้ำ (ลิตร/ต้น/ เดือน)
2	ระบบเทปน้ำหยด ²	กรรมวิธีการปลูกโดยแบ่งออกเป็น 4 ระยะ <u>ช่วงเริ่มต้นการปลูก</u> รองกันหลุมด้วยปุ๋ยหมักประมาณ 100 กรัม/หลุม <u>หลังปลูก 1-2 สัปดาห์</u> รดน้ำปุ๋ยเคมี (15-15-15) ปริมาณ 250 มล./ต้น <u>หลังปลูก 6-7 สัปดาห์</u> ใส่ปุ๋ยเคมีฟอส 1 ช้อน/ต้น <u>หลังปลูก 2 เดือน</u> ฉีดพ่นน้ำฮอร์โมนเร่งเสริมทางใบ	-ความสูงต้น (เซนติเมตร) -จำนวนใบต่อต้น -ผลผลิต (กรัม/ต้น)

หมายเหตุ :¹แนวปฏิบัติในการปลูกพริกและวิธีการใส่ปุ๋ยของเกษตรกรอินใต้ โดยเกษตรกรประมาณการใส่ปุ๋ยคอกหรือปุ๋ยหมักในอัตรา 3,00-4,000 กิโลกรัม/ไร่ และการใช้ปุ๋ยเคมีสูตร 15-15-15 ในอัตราประมาณ 50 กิโลกรัม/ไร่

²เลือกใช้เทปน้ำหยดที่มีระยะห่างรูน้ำหยด เท่ากับ 20 เซนติเมตร และอัตราการไหลของน้ำหยดที่ 3 ลิตรต่อชั่วโมง ซึ่งพิจารณาจากชนิดดินในพื้นที่เกษตรกร (ดินปนทราย) และเป็นอัตราการไหลของน้ำหยดที่นิยมใช้กับพืชผักทั่วไป รวมทั้งและหาซื้อได้ง่ายตามท้องตลาด

5. การรวบรวมและการวิเคราะห์ข้อมูล

การรวบรวมข้อมูลปฐมภูมิแบ่งออกเป็น 2 ส่วน ได้แก่ 1) การรวบรวมข้อมูลเชิงคุณภาพ มีความหลากหลายของเครื่องมือที่ใช้ในการรวบรวมข้อมูล ได้แก่ การสำรวจพื้นที่ศึกษา การประชุมกลุ่มย่อย การสังเกตและการสัมภาษณ์เชิงลึก และการจัดเวทีถอดบทเรียน เป็นต้น และ 2) การรวบรวมข้อมูลในแปลงทดลองหรือแปลงสาธิตของเกษตรกร (ตารางที่ 1) ซึ่งศึกษาเปรียบเทียบประสิทธิภาพการใช้น้ำและการเจริญเติบโตของพืชทดสอบ (พริก) ภายใต้กรรมวิธีการให้น้ำที่แตกต่างกัน คือ แบบร่องคูเล็ก (วิธีดั้งเดิมของเกษตรกร) และแบบระบบเทปน้ำหยดในภาคสนาม ส่วนการรวบรวมข้อมูลทุติยภูมิ ได้แก่ องค์ความรู้จากผลงานทางวิชาการที่ผ่านมา รวมทั้งข้อมูลบนระบบสารสนเทศของหน่วยงานต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้อง

สำหรับการวิเคราะห์ข้อมูลปฐมภูมิและทุติยภูมิ ข้อมูลทั้งหมดถูกนำมาพิจารณารายละเอียด ทำการจัดกลุ่มข้อมูลและวิเคราะห์ รวมทั้งมีการนำเสนอผลการวิเคราะห์ในรูปแบบของการเขียนเชิงพรรณนาโดยมีข้อมูลรูปภาพรวมทั้งแผนภูมิต่าง ๆ ประกอบการอธิบาย การวิเคราะห์ข้อมูลในแปลงทดลอง จะถูกนำเสนอผลวิเคราะห์ข้อมูลในรูปแบบของการเขียนเชิงพรรณนาโดยใช้แผนภูมิหรือตารางประกอบการอธิบาย สถิติที่ใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูล ได้แก่ ค่าร้อยละ ค่าเฉลี่ย ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานและสถิติวิเคราะห์ Paired t-Test ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 เป็นต้น

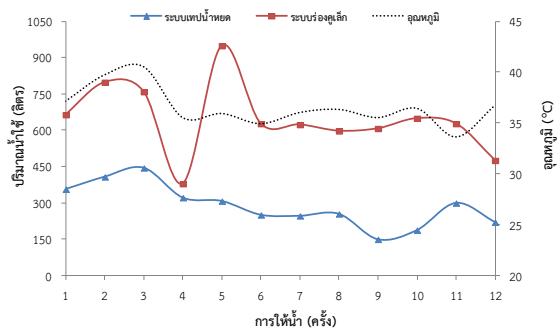
ผลการวิจัย

1. ประสิทธิภาพระบบเทปน้ำหยดในการปลูกพริกระดับแปลงสาธิต

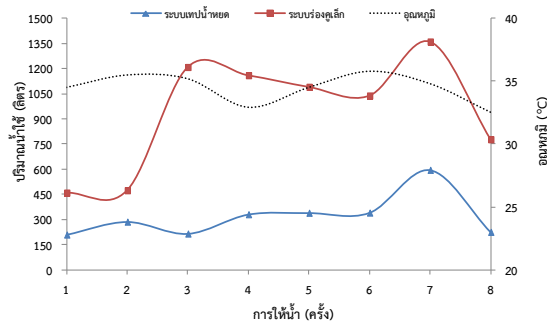
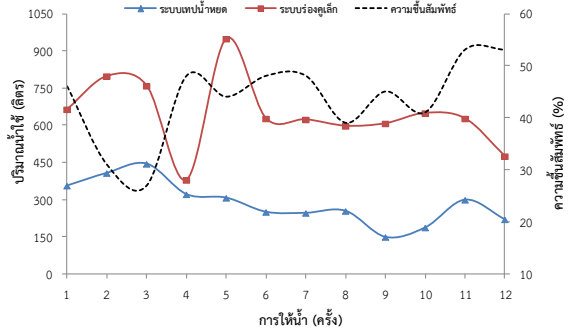
จากการทดลองปลูกพริกระดับแปลงสาธิตโดยเกษตรกรต้นแบบบ้านแม่ผาแหน เทศบาลตำบลอนันต์ อำเภอสันกำแพง จังหวัดเชียงใหม่ และผลการวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพและทางเคมีของดิน พบว่า ชนิดของดินในแปลงปลูกมีลักษณะเนื้อดินเป็นดินปนทราย ปริมาณค่าอินทรีย์วัตถุ ค่าไนโตรเจนทั้งหมด ค่าฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ และโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ พบว่า มีค่าเฉลี่ยประมาณ 2.52%, 0.17%, 79.11 และ 117.46 มิลลิกรัม/กิโลกรัม ตามลำดับ นอกจากนี้ผลการวิเคราะห์ค่าปฏิกิริยาของดินและค่าการนำไฟฟ้าจำเพาะ บ่งชี้ว่า ดินในแปลงทดลองมีค่าเป็นกรดเล็กน้อย (pH 5.81) และปราศจากความเค็ม ($EC=0.34 \text{ ds/m} < 0.4 \text{ ds/m}$)

ในการประเมินประสิทธิภาพของระบบเทปน้ำหยดโดยเปรียบเทียบกับวิธีการให้น้ำแบบดั้งเดิมของเกษตรกร (แบบร่องคูเล็ก) ผลการศึกษา พบว่า ค่าอุณหภูมิสิ่งแวดล้อมและความชื้นสัมพัทธ์ในแปลงทดลองตลอดช่วงการศึกษา (พฤษภาคม-สิงหาคม) มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ $28.5-40.5^{\circ}\text{C}$ และ 27-79% ตามลำดับ สำหรับปริมาณการใช้น้ำในการปลูกพริกตลอดช่วงการศึกษา พบว่า ปริมาณการใช้น้ำของระบบเทปน้ำหยดในเดือนพฤษภาคม มิถุนายน กรกฎาคม และสิงหาคม มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 288, 316, 292 และ 311 ลิตร/ครั้ง/เดือน หรือคิดเป็นอัตราการใช้น้ำเฉลี่ยต่อต้น (พริก) อยู่ในช่วง 0.59-0.79 ลิตร/ต้น/เดือน ตามลำดับ ขณะที่ปริมาณการใช้น้ำของระบบร่องคูเล็กในเดือนพฤษภาคม มิถุนายน กรกฎาคม และสิงหาคม มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 647, 945, 793 และ 1,071 ลิตร/ครั้ง/เดือน หรือคิดเป็นอัตราการใช้น้ำเฉลี่ยต่อต้น (พริก) อยู่ในช่วง 1.62-2.72 ลิตร/ต้น/เดือน ตามลำดับ (รูปที่ 3)

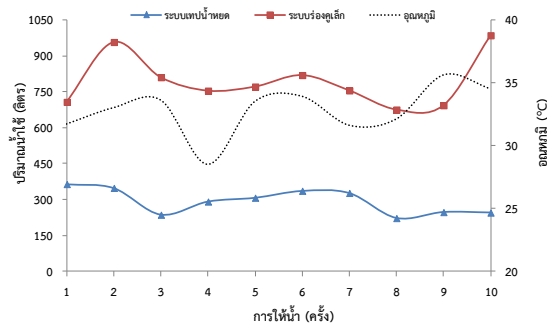
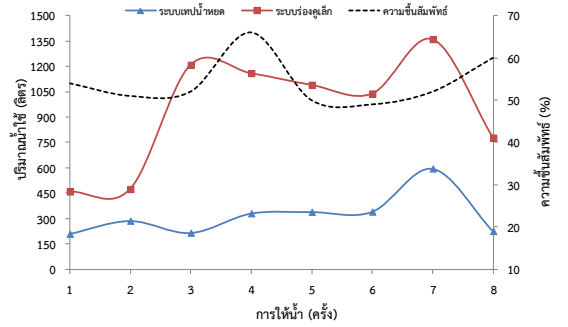
จากการติดตามและประเมินผลการเจริญเติบโตและปริมาณผลผลิตพริก (รูปที่ 4) ที่เก็บเกี่ยวจากแปลงทดลองภายใต้เงื่อนไขกรรมวิธีการให้น้ำในแปลงที่แตกต่างกัน โดยทำการตรวจวัดค่าเฉลี่ยความสูงต้น จำนวนใบ และปริมาณผลผลิตพริกต่อต้น (ตารางที่ 2) ผลการศึกษา พบว่า ความสูงของต้นพริกในแปลงสาธิตที่สิ้นสุดการสังเกตการณ์ ของกรรมวิธีการให้น้ำแบบเทปน้ำหยด มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ $56.01 \pm 13.94-64.64 \pm 14.86$ เซนติเมตร ขณะที่กรรมวิธีการให้น้ำแบบร่องคูเล็ก พบว่า ความสูงต้นพริกในแปลงสาธิต มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ $33.61 \pm 11.82-60.23 \pm 14.80$ เซนติเมตร ตามลำดับ สำหรับผลการวิเคราะห์ข้อมูลจำนวนใบต่อต้น (ความกว้างใบ ≥ 1 เซนติเมตร) ที่สิ้นสุดการสังเกตการณ์ ของกรรมวิธีการให้น้ำแบบเทปน้ำหยด มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ $47.11 \pm 10.11-63.08 \pm 17.40$ ใบต่อต้น ขณะที่กรรมวิธีการให้น้ำแบบร่องคูเล็ก พบว่า ความสูงต้นพริกในแปลงสาธิต มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ $11.07 \pm 7.62-45.93 \pm 19.25$ ใบต่อต้น ตามลำดับ



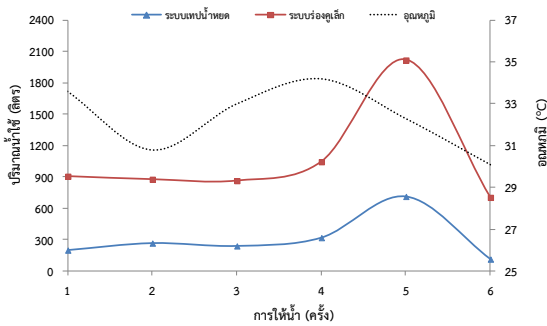
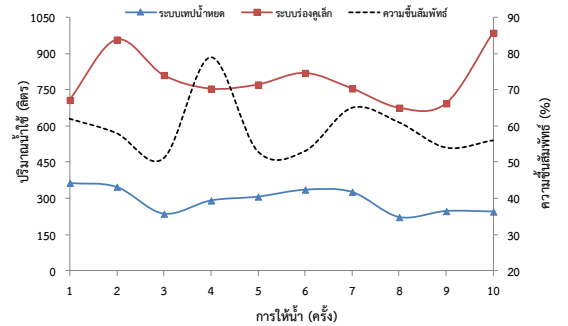
(ก)



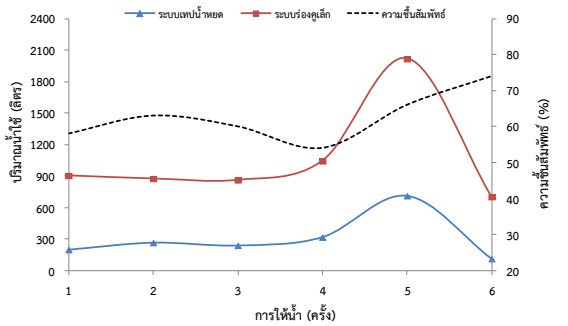
(ข)



(ค)



(ง)



รูปที่ 3 ปริมาณน้ำใช้ อุณหภูมิ และความชื้นสัมพัทธ์ในการปลูกพริก (แปลงสาธิต) โดยกรรมวิธีระบบเทปน้ำหยดและระบบร่องคูเล็ก (ก) พฤษภาคม (ข) มิถุนายน (ค) กรกฎาคม และ (ง) สิงหาคม

ตารางที่ 2 การเจริญเติบโตและปริมาณผลผลิตของพริกที่ทดสอบในแปลง

พารามิเตอร์	กรรมวิธีการให้น้ำ	
	ระบบเทน้ำหดยด	ระบบร่องคูเล็ก
ความสูงต้น (เซนติเมตร) ¹	56.01±13.94-64.64±14.86	33.61±11.82-60.23±14.80
จำนวนใบต่อต้น ¹	47.11±10.11-63.08±17.40	11.07±7.62-45.93±19.25
ผลผลิตรอบที่ 1 (กรัมต่อต้น) ²	12±2.06	10±1.52
ผลผลิตรอบที่ 2 (กรัมต่อต้น) ³	98±10.90	43±9.43

หมายเหตุ : ¹ค่าในตารางรายงาน ค่าเฉลี่ยต่ำสุด±SD -สูงสุด ±SD ที่สิ้นสุดการสังเกตการณ์

²รอบที่ 1 สัปดาห์ที่ 13

³รอบที่ 2 สัปดาห์ที่ 20

สำหรับการเก็บเกี่ยวผลผลิตพริกตลอดช่วงปฏิบัติการในแปลงทดลอง สามารถเก็บเกี่ยวผลผลิตพริกได้จำนวน 2 รอบ (สัปดาห์ที่ 13/สัปดาห์ที่ 20) พบว่า กรรมวิธีการให้น้ำแบบเทน้ำหดยดให้ผลผลิตพริกเฉลี่ยต่อต้น ในรอบที่ 1 และ 2 เท่ากับ 12±2.06 และ 98±10.90 กรัมต่อต้น ตามลำดับ ขณะที่กรรมวิธีการให้น้ำแบบร่องคูเล็กให้ผลผลิตพริกเฉลี่ยต่อต้น ในรอบที่ 1 และ 2 เท่ากับ 10±1.52 และ 43±9.43 กรัมต่อต้น ตามลำดับ นอกจากนี้การศึกษานี้พบว่ เกษตรกรผู้เข้าร่วมโครงการสามารถขายผลผลิต (นอกฤดู) และมีรายได้มากกว่าการขายผลผลิตในฤดู คือ ราคาขายประมาณ 100-120 บาทต่อกิโลกรัม



รูปที่ 4 การเจริญเติบโตและปริมาณผลผลิตพริกในแปลงสาธิต

2. ความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์เบื้องต้น

การประเมินผลทางเศรษฐศาสตร์เบื้องต้น โดยเปรียบเทียบความคุ้มค่าระหว่างกรรมวิธีการให้น้ำแบบระบบเทน้ำหดยด และแบบร่องคูเล็ก สำหรับการปลูกพริกต่อพื้นที่ 1 ไร่ การคำนวณจะทำการเปรียบเทียบรอบการปลูก จำนวน 1 รอบต่อปี และได้คำนวณติดต่อกันเป็นระยะเวลา 2 ปี ทั้งนี้ขอบเขตข้อมูลเบื้องต้นที่ใช้ประกอบการประเมิน ได้แก่

- ต้นทุนวัสดุอุปกรณ์ของระบบน้ำหดยด (อายุการใช้งานประมาณ 5 ปี)
- ค่าต้นทุนในการปลูกพริกในปีที่ 1 ได้แก่ ค่าต้นพันธุ์พริก ค่าเตรียมดิน ค่าแรงงานในการเก็บเกี่ยว ค่าปุ๋ยเคมี/ปุ๋ยหมัก ค่าสารป้องกันศัตรูพืช ค่าพลาสติกคลุมแปลง (ถ้ามี)
- กำหนดให้การปลูกพริก 1 ไร่ ปลูกได้จำนวนเฉลี่ยประมาณ 3,200 ต้น (กรมส่งเสริมการเกษตร, 2560)
- ผลผลิตพริกที่ได้จากระบบน้ำหดยดเฉลี่ยเท่ากับ 98 กรัมต่อต้น (ผลการวิจัยนี้) และผลผลิตพริกที่ได้จากระบบร่องคูเล็กเฉลี่ยเท่ากับ 43 กรัมต่อต้น (ผลการวิจัยนี้)
- ราคาพริกนอกฤดูเฉลี่ย 100 บาทต่อกิโลกรัม (ผลการวิจัยนี้) ราคาพริกทั่วไปเฉลี่ย 50 บาทต่อกิโลกรัม และเกษตรกรสามารถเก็บเกี่ยวได้เฉลี่ย 4-5 ครั้งต่อรอบปลูก (ข้อมูลจากเกษตรกรที่เข้าร่วมโครงการ)

จากการประเมินความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์เบื้องต้น พบว่า กรณีการให้น้ำแบบระบบเทน้ำหดยด ในรอบปีที่ 1 ระบบเทน้ำหดยดมีระยะเวลาการคืนทุนอยู่ในช่วง 0.15 ปี (นอกฤดู) ถึง 0.30 ปี (ในฤดู) และมีต้นทุนการผลิตเฉลี่ยประมาณ 14.90 บาทต่อกิโลกรัม สำหรับในรอบปีที่ 2 ระบบเทน้ำหดยดมีระยะเวลาการคืนทุนอยู่ในช่วง 0.10 ปี (นอกฤดู) ถึง 0.20 ปี (ในฤดู) และมีต้นทุนการผลิตเฉลี่ยประมาณ 10.14 บาท/กิโลกรัม ส่วนกรณีการให้น้ำแบบร่องคูเล็ก พบว่า ทั้งในรอบปีที่ 1

และ รอบปีที่ 2 ระบบร่องคูเล็กมีระยะเวลาการคืนทุนอยู่ในช่วง 0.46 ปี (ในฤดู) ถึง 0.23 ปี (นอกฤดู) และมีต้นทุนการผลิตเฉลี่ยประมาณ 23.10 บาท/กิโลกรัม

3. บทเรียนการจัดการความรู้และการปรับใช้เทคโนโลยีระบบเทปน้ำหยด

ในการจัดการความรู้และถ่ายทอดเทคโนโลยีระบบชลประทานน้ำหยดให้แก่เกษตรกรออนไลน์ เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการใช้น้ำและการรับมือกับปัญหาภัยแล้งด้านการเกษตร โดยเน้นปฏิบัติการแบบมีส่วนร่วมในทุกขั้นตอน เช่น ขั้นตอนการถ่ายทอดความรู้และเทคนิคการติดตั้ง การประยุกต์ใช้ และการบำรุงรักษาระบบเทปน้ำหยด ขั้นตอนการแลกเปลี่ยนเรียนรู้ระดับแปลงสาธิต (ปลูกพริก) ในภาคสนาม และการถอดบทเรียนโดยเกษตรกรต้นแบบและการขยายผล เป็นต้น พบว่า เกษตรกรออนไลน์ที่ได้รับผลกระทบและมีความเสี่ยงจากภัยแล้ง โดยเฉพาะเกษตรกรต้นแบบสามารถนำผลงานวิจัยไปใช้ประโยชน์ได้อย่างมีประสิทธิภาพและขยายผลเป็นรูปธรรม เนื่องจากสภาพดินในพื้นที่เกษตรของเทศบาลตำบลออนใต้โดยส่วนใหญ่เป็นดินทราย ดังนั้นจากข้อมูลเชิงประจักษ์ (แปลงสาธิต) พบว่า การให้น้ำด้วยระบบร่องคูเล็กซึ่งเกษตรกรนิยมใช้ในปัจจุบันมักทำให้เนื้อดินอัดตัวและมีความแน่นตัวสูง ซึ่งแตกต่างจากการให้น้ำแบบระบบเทปน้ำหยด พบว่า ดินในแปลงยังคงสภาพความร่วนซุยได้มากกว่า จึงส่งผลให้รากและต้นพริกเจริญเติบโตได้ดีกว่า

นอกจากนี้ เกษตรกรต้นแบบค้นพบว่ากรรมวิธีการให้น้ำด้วยระบบเทปน้ำหยดทำให้การเจริญเติบโตและปริมาณผลผลิตของพริกสูงกว่ากรรมวิธีการให้น้ำแบบร่องคูเล็กอย่างชัดเจน ในทางตรงกันข้าม การให้น้ำด้วยระบบร่องคูเล็กใช้ปริมาณน้ำมากกว่าระบบเทปน้ำหยดเกือบ 3 เท่า แต่กลับให้ผลผลิตที่น้อยกว่า ดังการนำเสนอในเวทีถอดบทเรียนโดยเกษตรกรต้นแบบ (ถอดบทเรียนโดย จำรัส วงษา, วันที่ 24 มกราคม 2561) ว่า “สภาพพื้นที่การเกษตรของเรามีความแห้งแล้งมาก การกักเก็บหรือดึงแหล่งน้ำมาใช้เป็นไปได้น้อย แหล่งน้ำที่ใกล้ที่สุดอยู่ต่ำกว่าพื้นที่สวนมาก ต้องสูบน้ำขึ้นมาใช้รดน้ำ แต่ต้นไม้และพืชผักก็ไม่สามารถเจริญเติบโตได้ดี ต้นลำไยที่มีอยู่ดูเหมือนว่าจะไปไม่รอด เวลาปลูกพืชผักแล้วรดน้ำแบบร่องคูเล็กแค่ 1-2 ครั้ง ดินก็จะแน่นแล้ว ช่วงที่ทดลอง ได้มีการจับเวลาและเปรียบเทียบดูการใช้น้ำทั้งระบบชลประทานน้ำหยดและแบบร่องคูเล็ก พบว่า ปริมาณการใช้น้ำแตกต่างกันมากในแต่ละครั้งของการรดน้ำ การรดน้ำแบบร่องคูเล็กต้องสูญเสียน้ำไปส่วนหนึ่ง เพราะเวลาสาธิต น้ำมันจะไหลทิ้งออกนอกไปหมด ต้นพริกขึ้นไม่ได้ใช้น้ำทั้งหมด ไม่ได้ประหยัดน้ำ จากการวัดความสูงและนับใบต้นพริกขึ้นหนึ่สัปดาห์ละ 1 ครั้ง พบว่า การเจริญเติบโตของต้นพริกขึ้นหนึ่ มีความแตกต่างระหว่างการใช้ระบบชลประทานน้ำหยดและแบบร่องคูเล็ก ระบบชลประทานน้ำหยดทำให้ใบออกก่อนการให้น้ำแบบร่องคูเล็ก เพราะต้นพริกขึ้นหนึ่ได้รับน้ำสม่ำเสมอ ความสูง จำนวนใบ จำนวนดอก และการแตกกิ่งของต้นพริกขึ้นหนึ่ในแปลงของระบบชลประทานน้ำหยดมีมากกว่าในแปลงของการรดน้ำแบบร่องคูเล็ก ระบบร่องคูเล็กทำให้ต้นพริกขึ้นหนึ่เจริญเติบโตไม่เท่ากัน เพราะการรดน้ำทำให้ต้นพริกได้รับน้ำบ้างไม่ได้บ้าง ต้นที่ได้น้ำก็เจริญเติบโตได้ดี ต้นที่ได้น้ำไม่พอก็แคระแกรนหรือเอนไป ส่วนผลผลิตที่ได้จากแปลงของระบบชลประทานน้ำหยดมีมากกว่าแปลงของการรดน้ำแบบร่องคูเล็ก ประมาณเท่าตัว ราคาขายพริกขึ้นหนึ่นอกฤดูประมาณกิโลกรัมละ 120 บาท”

สำหรับด้านการใช้งานและการดูแลรักษาระบบชลประทานน้ำหยด เกษตรกรต้นแบบให้ความเห็นว่า การให้น้ำด้วยระบบเทปน้ำหยดค่อนข้างสะดวก ไม่พบความยุ่งยากหรือปัญหาระหว่างการใช้งาน และไม่เป็นการเพิ่มภาระงาน สำหรับวิธีแก้ไขในกรณีน้ำไหลช้าเนื่องจากตะกอน คือ การล้างกรอง (กรองดีสก์) ซึ่งเป็นวิธีการล้างที่ไม่ยุ่งยากและไม่ซับซ้อน เริ่มโดยการหมุนเกลียวกรองออก ทำการล้างตัวกรองด้วยแปรงให้สะอาด (เศษตะกอนหลุดออก) หลังจากนั้นนำตัวกรองประกอบให้เข้าที่และหมุนเกลียวปิดในสภาพเดิม อย่างไรก็ตาม ข้อเสนอแนะการใช้งานระบบเทปน้ำหยด ปัจจัยที่เกี่ยวข้องและเกษตรกรควรให้ความสำคัญ ได้แก่ พื้นฐานความรู้ของชนิดพืชที่ปลูก การเลือกพื้นที่ปลูก ระบบน้ำ (ง่ายตรงหรือผ่านถังกักเก็บ) และสิ่งสำคัญคือ ความสนใจและความใส่ใจของเกษตรกรในการเรียนรู้และดูแลระบบน้ำหยดอย่างสม่ำเสมอ ดังนั้น อาจกล่าวได้ว่าผลลัพธ์ที่เกิดขึ้นจากการจัดการความรู้และปรับใช้ระบบชลประทานน้ำหยดในพื้นที่เกษตร เทศบาลตำบลออนใต้ ส่งผลบวกทั้งทางด้านอาชีพ สังคม และเศรษฐกิจ เช่น การประหยัดน้ำ ประหยัดแรงงาน และประหยัดเวลาในการทำการเกษตร การเสริมสร้างความสามารถในการรับมือต่อภัยแล้งและการยกระดับความรู้ของชุมชนเกษตรกร รวมทั้งการสร้างรายได้เสริมให้แก่เกษตรกรเนื่องจากเกษตรกรสามารถปลูกพืชได้ทุกฤดูโดยเฉพาะพืชนอกฤดูที่ได้รับราคาค่อนข้างสูง เป็นต้น

ด้านการขยายผลความสำเร็จ พบว่า เกษตรกรต้นแบบได้ปรับปรุงและทำการเดินระบบท่อน้ำโดยต่อจากท่อประปาภูเขาเพื่อจ่ายตรงเข้าสู่ระบบเทปน้ำหยด รวมทั้งการเพิ่มชนิดพืช (มะเขือม่วง มะเขือยาว และมะเขือพวง) ที่ปลูกในแปลงของเกษตรกร นอกจากนี้ เกษตรกรต้นแบบได้เป็นผู้ถ่ายทอดให้ความรู้และขยายผลการปรับใช้ระบบชลประทานเทปน้ำหยดร่วมกับกลุ่มเกษตรกรที่สนใจในพื้นที่เทศบาลตำบลออนใต้ จำนวน 8 หมู่บ้าน ทั้งด้านการสำรวจพื้นที่ การติดตั้งระบบ

การทดสอบระบบ และการให้ความรู้ด้านการใช้งานและการดูแลระบบเทปน้ำหยด (คู่มือการใช้งาน) อย่างครบวงจร จากการสัมภาษณ์เชิงลึกและการให้ข้อมูลโดยเกษตรกรผู้ขยายผล (จำนวน 8 หมู่บ้าน) พบว่า การปรับวิธีการให้น้ำแบบในแปลงปลูก (คะน้าฮ่องกง ถั่วฝักยาว มะเขือ พริก และกะหล่ำ) ด้วยระบบเทปน้ำหยดก่อให้เกิดประโยชน์หลายด้าน นอกจากการประหยัดน้ำหรือการใช้น้ำอย่างมีประสิทธิภาพโดยตรงแล้ว ยังพบว่าประเด็นสำคัญที่เกษตรกรพึงพอใจ ได้แก่ การผ่อนแรงเกษตรกรผู้สูงอายุ การประหยัดเวลา การสร้างรายได้เสริม และการปลูกพืชผักปลอดสารสำหรับการบริโภคได้ทุกฤดู เป็นต้น ดังนั้นจากการติดตามและประเมินผลในเบื้องต้นนี้ อาจกล่าวได้ว่า การจัดการความรู้และการประยุกต์ใช้ระบบชลประทานน้ำหยดในพื้นที่เทศบาลตำบลออนใต้ ก่อให้เกิดผลลัพธ์ทางบวกในมิติด้านความมั่นคงอาหาร อาหารปลอดภัย รวมทั้งการพัฒนาคุณภาพชีวิตของเกษตรกรผู้สูงอายุได้อีกแนวทางหนึ่ง

การอภิปรายผล

โดยปกติแล้วปฏิทินการเพาะปลูกของเกษตรกรออนใต้จะเริ่มเพาะกล้าและปลูกพริกตั้งแต่เดือนกรกฎาคมเป็นต้นไป โดยอาศัยน้ำฝนในการปลูกเป็นหลัก หลังจากนั้นเกษตรกรจะเริ่มเก็บเกี่ยวผลผลิตพริกตั้งแต่ปลายเดือนตุลาคมเป็นต้นไป ประจำปี อย่างไรก็ตามหากเกษตรกรออนใต้ต้องประสบกับปัญหาภัยแล้งจะพักดินค่อนข้างนาน (ช่วงเดือนมกราคม - มิถุนายน) เนื่องจากไม่สามารถทำการเพาะปลูกได้ (บุญจรัตน์ และมนฤดี, 2557) กรณีการศึกษานี้ เกษตรกรได้ทดสอบประสิทธิภาพของระบบชลประทานน้ำหยดและปลูกพริกในช่วงฤดูแล้ง (นอกฤดูการปลูกพริกของเกษตรกร) ทั้งนี้ เนื่องจากเกษตรกรต้องการเรียนรู้และประเมินผลเทคโนโลยีประหยัดน้ำ (เทปน้ำหยด) อย่างชัดเจนในการรับมือกับปัญหาภัยแล้ง นอกจากนี้ พริกเป็นพืชที่ทนความแห้งแล้งได้ดี สามารถปลูกได้ทุกฤดูกาล เติบโตได้ดีที่อุณหภูมิประมาณ 21-35°C และสามารถเจริญเติบโตได้ในดินทุกชนิด (วีระ และเยาวรัตน์, 2557) โดยทั่วไป การเจริญเติบโตของพืชทุกชนิด นอกเหนือจากปัจจัยภายในหรือปัจจัยด้านพันธุกรรมของพืชแล้ว ยังพบว่าปัจจัยภายนอกหรือปัจจัยด้านสิ่งแวดล้อม ได้แก่ ดิน น้ำ ธาตุอาหาร สภาพภูมิอากาศ และโรคและศัตรูพืช ถือว่ามีความสำคัญต่อพัฒนาการ การเจริญเติบโต และผลผลิตของพืช ในระหว่างการทดสอบปลูกพริกในแปลงสาธิต เห็นได้ว่าในช่วงเดือนพฤษภาคม-มิถุนายน สภาพภูมิอากาศค่อนข้างร้อนถึงร้อนจัด ค่าอุณหภูมิสิ่งแวดล้อมพบว่ามีความสูงที่สุด (>32°C-40.5°C) ซึ่งแปรผกผันกับค่าความชื้นสัมพัทธ์มีค่าต่ำสุดอยู่ในช่วงประมาณ 27%-49% จึงสอดคล้องกับความต้องการใช้น้ำของพืชทดสอบ (พริก) ซึ่งพบว่า จำนวนครั้ง (8-12 ครั้งต่อเดือน) และปริมาณการให้น้ำในการปลูกพริกตลอดช่วงเดือนพฤษภาคม-มิถุนายน ทั้งระบบเทปน้ำหยด (2,538-3,456 ลิตร/เดือน) และระบบร่องคูเล็ก (7,560-7,764 ลิตร/เดือน) มีค่าสูงสุด ทั้งนี้สภาพภูมิอากาศซึ่งรวมหมายถึง ลม ฝน อุณหภูมิ ความชื้น และแสงแดดล้วนมีผลโดยตรงต่อการเจริญเติบโตของพืช กรณีที่ค่าความชื้นสัมพัทธ์ต่ำกว่า 49% ถือว่าอยู่ในสภาวะแห้งและมีความเสี่ยงสามารถทำให้ต้นพริกเหี่ยวเฉาตายได้ ปริมาณน้ำที่ใช้อย่างช่วยเพิ่มความชื้นให้แก่ดินและทำให้ต้นพริกเจริญเติบโตได้ (วีระ และเยาวรัตน์, 2557)

จากข้อมูลเชิงประจักษ์ในแปลงสาธิต (พริก) พบว่า การปรับใช้ระบบชลประทานน้ำหยด (เทปน้ำหยด) สามารถช่วยลดความเสี่ยงในการขาดแคลนน้ำด้านการเกษตรและช่วยลดความแปรปรวนทั้งด้านสังคมและฐานเศรษฐกิจครัวเรือนให้แก่เกษตรกรออนใต้เพื่อรับมือกับปัญหาภัยแล้งได้อย่างมีประสิทธิภาพและประสิทธิผล เนื่องจากวิธีการให้น้ำด้วยระบบแบบเทปน้ำหยดสามารถประหยัดน้ำให้แก่เกษตรกรในการปลูกพริกและใช้น้ำน้อยกว่าระบบร่องคูเล็ก (วิธีดั้งเดิม) ลดลงได้ถึงร้อยละ 68.20 หรือประมาณ 3.14 เท่า ขณะที่การเจริญเติบโตของต้นพริกเมื่อเปรียบเทียบวิธีการให้น้ำทั้งสองวิธี กลับพบว่า วิธีการให้น้ำแบบเทปน้ำหยดส่งผลให้ต้นพริกเจริญเติบโตได้ดีกว่าวิธีการให้น้ำแบบร่องคูเล็กและแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ เช่น ความสูงของต้นพริกและจำนวนใบพริกต่อต้นมีค่าเฉลี่ยสูงกว่าประมาณร้อยละ 25.15 ($p < 0.05$) และ 121.10 ($p < 0.05$) ตามลำดับ นอกจากนี้ผลผลิตพริกที่เก็บเกี่ยวได้ พบว่า วิธีการให้น้ำแบบระบบเทปน้ำหยดให้ผลผลิตพริก (นอกฤดู) ที่สูงกว่าวิธีการให้น้ำแบบร่องคูเล็กเฉลี่ยประมาณ 2.3 เท่า และเกษตรกรสามารถจำหน่ายได้ราคาอยู่ในช่วง 100-120 บาท/กิโลกรัม ดังนั้นการประยุกต์ใช้ระบบเทปน้ำหยดเป็นเทคโนโลยีหนึ่งที่เหมาะสมสำหรับการปรับใช้ เพื่อรับมือกับปัญหาภัยแล้งให้แก่เกษตรกรออนใต้ การให้น้ำแบบเทปน้ำหยดลดปริมาณการสูญเสียน้ำในการเพาะปลูกอย่างมีประสิทธิภาพโดยเฉพาะพื้นที่ที่เป็นดินปนทราย (แปลงสาธิต) เพิ่มประสิทธิภาพการใช้น้ำด้านการเกษตรให้เกิดประโยชน์สูงสุด เช่น การเจริญเติบโตและการให้ผลผลิตของพริกที่สูงกว่าวิธีการให้น้ำแบบร่องคูเล็ก ซึ่งการให้น้ำแบบร่องคูเล็กส่งผลให้การอัดตัวของดินแน่นมากยิ่งขึ้นเมื่อเวลาผ่านไปนานขึ้น ดังนั้นสภาพดินที่แน่นตัวจึงส่งผลเสียต่อการเจริญเติบโตของพริก ตามลำดับ แม้ว่าข้อจำกัดของระบบการให้น้ำแบบ

ประหยัดซึ่งรวมถึงระบบเทปน้ำหยดในอดีตที่ผ่านมา เช่น ค่าลงทุนในการติดตั้ง คุณภาพน้ำดิบ และปัญหาการอุดตันที่หัวจ่าย อย่างไรก็ตามในปัจจุบันพบว่าการใช้เทคโนโลยีและอุปกรณ์ระบบการให้น้ำแบบประหยัดแบบต่าง ๆ นิยมใช้กันอย่างแพร่หลายทั้งระดับครัวเรือนและแปลงเกษตร จึงทำให้ค่าใช้จ่ายด้านอุปกรณ์มีราคาถูกลงมากและการบำรุงรักษาค่อนข้างง่ายและสะดวกขึ้น จากการศึกษาเห็นได้ว่าระยะเวลาในการคืนทุนเฉลี่ยของการปลูกพริกในฤดูและนอกฤดูของวิธีการให้น้ำแบบเทปน้ำหยด (0.19 ปี) สั้นกว่าวิธีการให้น้ำแบบร่องคูเล็ก (0.35 ปี) ประมาณ 1.84 เท่า ดังนั้น กล่าวได้ว่าการประยุกต์ใช้ระบบชลประทานน้ำหยด (เทปน้ำหยด) เป็นทางเลือกที่เหมาะสมทางเลือกหนึ่งให้แก่เกษตรกรรอนใต้ในการจัดการระบบการผลิตในการเกษตร นอกจากนี้เป็นการใช้ทรัพยากรน้ำอย่างคุ้มค่ายังส่งผลให้เกษตรกรโดยเฉพาะพื้นที่ประสบภัยแล้งมีรายได้เพิ่มสูงขึ้นเนื่องจากเกษตรกรสามารถปลูกพืชได้ทุกฤดูและยังสามารถขายผลผลิตในราคาที่สูงช่วงนอกฤดูได้ สอดคล้องกับรายงานโดยจักรกฤษณ์ (2551) ว่าการปลูกอ้อยด้วยระบบน้ำหยดให้ผลตอบแทนที่สูงกว่าการปลูกแบบดั้งเดิม (ปล่อยน้ำบนผิวดิน) ประมาณ 2 เท่า ในทำนองเดียวกัน ธรวิณ (2557) รายงานว่าการให้น้ำผ่านระบบน้ำหยดแก่พืชหรือไม้ผลโดยเฉพาะพื้นที่เป็นดินทรายหรือพื้นที่ลาดชันในฤดูแล้ง เป็นการใช้น้ำอย่างคุ้มค่า น้ำจะถูกปล่อยเข้าสู่เขตรากพืชทีละน้อย รากพืชก็จะมีเวลาดูดซับน้ำได้ทัน การสูญเสียน้ำจึงน้อยมากหรือแทบไม่มีเลย นอกจากนี้ยังช่วยรักษาระดับความชื้นในดินซึ่งทำให้พืชเจริญเติบโตได้ดี ลดความเสียหายของผลผลิต แต่กลับให้ผลผลิตต่อไร่ค่อนข้างสูง ดังนั้น ระบบชลประทานแบบน้ำหยดจึงช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการทำเกษตรในฤดูแล้งได้อีกแนวทางหนึ่ง

การจัดการความรู้เชิงปฏิบัติการแบบมีส่วนร่วมโดยมีเป้าหมายเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการใช้น้ำด้านการเกษตร และเสริมสร้างความสามารถในการรับมือกับปัญหาภัยแล้งให้แก่เกษตรกรรอนใต้ด้วยการปรับใช้เทคโนโลยีระบบชลประทานน้ำหยด พบว่า กระบวนการสำคัญที่ส่งผลต่อความสำเร็จในการประยุกต์ใช้ระบบชลประทานน้ำหยดรวมทั้งการต่อยอดขยายผลอย่างเป็นรูปธรรม ได้แก่ (1) การระบุปัญหาและความรู้ที่เกษตรกรต้องการนำมาปรับใช้ เนื่องจากรูปแบบการจัดการความรู้จำเป็นต้องวางบนพื้นฐานของสภาพปัญหาอย่างแท้จริงและสอดคล้องกับความต้องการของชุมชน เช่น ปัญหาภัยแล้งของชุมชนเกษตรกรรอนใต้ได้ส่งผลกระทบต่อฐานเศรษฐกิจครัวเรือนและความมั่นคงด้านอาชีพเกษตรกรค่อนข้างรุนแรงทั้งในอดีตต่อเนื่องถึงปัจจุบัน ดังนั้น ประเด็นปัญหาภัยแล้งในพื้นที่เทศบาลตำบลออนใต้จึงเปิดโอกาสให้เกษตรกรมีความสนใจ เปิดรับและพร้อมแลกเปลี่ยนเรียนรู้เทคนิคระบบชลประทานน้ำหยดในการเกษตรร่วมกัน เพื่อใช้เป็นแนวทางหรือทางเลือกในการรับมือกับปัญหาภัยแล้งทั้งปัจจุบันและในอนาคต ซึ่งสอดคล้องกับรายงานโดย ชมกฤษ และคณะ (2560) ว่า การสร้างความรู้โดยให้ความสำคัญกับการพัฒนาที่สอดคล้องกับสภาพปัญหา ความต้องการ ข้อเท็จจริงและสภาพบริบทของชุมชน ถือเป็นปัจจัยหนึ่งต่อความสำเร็จในการจัดการความรู้ ในทางตรงกันข้ามหากองค์ความรู้ใหม่ไม่สอดคล้องกับสภาพบริบทของพื้นที่รวมถึงแนวปฏิบัติบางประเด็นเป็นการเพิ่มต้นทุนและไม่คุ้มค่าในการผลิตอาจทำให้เกิดปัญหา อุปสรรค และขาดการมีส่วนร่วมในการสร้างความเข้มแข็งของชุมชนด้วยกระบวนการจัดการความรู้ (2) การคัดเลือกองค์ความรู้และเทคนิคที่เหมาะสมมาปรับใช้ในการจัดการความรู้ เนื่องจากการคัดเลือกความรู้ เทคนิค และวิธีการในการแก้ไขปัญหา ถือเป็นปัจจัยสำคัญปัจจัยหนึ่งของการจัดการความรู้ (สุพจน์, 2559; ชมกฤษ และคณะ, 2560; สุเมษย์, 2561) โดยเฉพาะการแลกเปลี่ยนเรียนรู้จากการลงมือปฏิบัติจริง การลองผิดลองถูก รวมทั้งการปรับใช้ความรู้ที่เหมาะสมภายใต้บริบทของเกษตรกร กรณีนี้ พบว่า องค์ความรู้และการประยุกต์ใช้ระบบชลประทานน้ำหยด (เทปน้ำหยด) เป็นทางเลือกหนึ่งที่เหมาะสมและตรงกับความต้องการของเกษตรกร เนื่องจากระบบเทปน้ำหยดสามารถลดปริมาณน้ำใช้ในแปลงเกษตรได้อย่างมีประสิทธิภาพจึงเหมาะสมต่อพื้นที่ภัยแล้งของเทศบาลตำบลออนใต้ นอกจากนี้ ระบบเทปน้ำหยดไม่ยุ่งยากหรือซับซ้อน เกษตรกรสามารถปรับใช้ความรู้เชิงเทคนิคได้ทุกขั้นตอน (การติดตั้งและการดูแลรักษา) รวมถึงค่าใช้จ่ายด้านอุปกรณ์และการติดตั้งในปัจจุบันถือว่าไม่สูงมากและมีแนวโน้มลดต่ำลงมากยิ่งขึ้นในอนาคต (3) การสร้างความรู้และการปรับใช้เทคโนโลยีแบบมีส่วนร่วมทุกขั้นตอน โดยเน้นวิธีการแลกเปลี่ยนเรียนรู้ การลองผิดลองถูก การลงมือปฏิบัติจริง การติดตามและการประเมินผล รวมทั้งการถอดบทเรียนเพื่อสะท้อนผลลัพธ์ที่เกิดขึ้นร่วมกัน ซึ่งลักษณะการจัดการความรู้รูปแบบนี้สอดคล้องกับกระบวนการจัดการความรู้ในการทำเกษตรอินทรีย์ในจังหวัดนครปฐม (ชมกฤษ และคณะ, 2560) และการพัฒนากระบวนการจัดการความรู้ด้านภูมิปัญญาท้องถิ่นกรณีศึกษากลุ่มโอท็อป ภาคตะวันออก ที่รายงานโดย ปาริชาติ (2560) พบว่า เป็นการส่งมอบความรู้ที่ไม่จำกัดรูปแบบและไม่เน้นเป็นทางการแต่กลับให้ผลลัพธ์เชิงบวก อาทิ 1) เกษตรกรสามารถสกัดความรู้จากผู้เชี่ยวชาญผ่านการสื่อสารแลกเปลี่ยนและการให้ข้อมูลป้อนกลับ 2) เกษตรกรได้รับการถ่ายทอดความรู้แบบชัดเจนเนื่องจากได้ลงมือปฏิบัติจริงทุกขั้นตอน และ 3) เกษตรกรสามารถรวบรวม คัดสรร และปรับใช้ความรู้เพื่อนำไปพัฒนาต่อยอดให้สอดคล้องกับสภาพปัญหาและความต้องการของตน และ (4) การรวบรวมและจัดเก็บความรู้อย่างเป็นระบบ สำหรับการวิจัยนี้ได้ผลิต คู่มือการเพิ่มประสิทธิภาพ

การใช้น้ำโดยระบบเทปน้ำหยดเพื่อการเกษตรชุมชนออนไลน์ สำหรับการใช้งานและการพัฒนาปรับปรุงความรู้ในอนาคต เป็นต้น

นอกจากกระบวนการสำคัญที่กล่าวมาข้างต้น ปัจจัยและองค์ประกอบที่มีอิทธิพลต่อความสำเร็จในการจัดการความรู้ระบบชลประทานน้ำหยดผ่านการวิจัยเชิงปฏิบัติการแบบมีส่วนร่วมสามารถวิเคราะห์เพิ่มเติมได้แก่ 1) การได้รับความรู้จากภายนอกและการปรับใช้ ซึ่งเป็นการนำความรู้และเทคโนโลยีที่เกษตรกรได้รับจากผู้เชี่ยวชาญภายนอกมาเรียนรู้ผ่านการปฏิบัติและปรับใช้จริง 2) ผู้ที่ได้รับการถ่ายทอดความรู้ (เกษตรกรต้นแบบ) เป็นบุคคลที่มีความสนใจ ให้ความร่วมมือ และมุ่งมั่นในการเรียนรู้ โดยอาศัยกระบวนการเตรียมความพร้อมแบบมีส่วนร่วมกับเกษตรกรในการวางแผนงานและการคิดวิเคราะห์ในการถ่ายทอดความรู้ เพื่อให้เกษตรกรเกิดความตระหนักถึงการเรียนรู้และเกิดการซึมซับความรู้ที่เกิดการเปลี่ยนแปลงไปภายในตน 3) การทดลอง การทดสอบ และการให้ข้อมูลป้อนกลับร่วมกัน เพื่อพิสูจน์ความรู้ใหม่ที่จะสามารถนำไปประยุกต์ใช้ให้เกิดประโยชน์ได้จริงและเป็นรูปธรรม เช่น การศึกษาเปรียบเทียบประสิทธิภาพและประสิทธิผลระหว่างวิธีการให้น้ำแบบชลประทานน้ำหยด (แบบเทปน้ำหยด) กับวิธีการให้น้ำแบบร่องคูเล็ก (วิธีดั้งเดิมของเกษตรกร) ในการทดลองปลูกพริกกระด้างแปลงสาธิต 4) การเชื่อมโยงและการปรับใช้ความรู้ภายนอกเข้ากับภูมิปัญญาดั้งเดิมของเกษตรกร เป็นการหาจุดเชื่อมระหว่างความรู้ที่ฝังในตัวเกษตรกร (Tacit knowledge) กับองค์ความรู้ใหม่จากการแลกเปลี่ยนเรียนรู้อย่างเป็นรูปธรรม (Explicit knowledge) เพื่อช่วยให้เกษตรกรสามารถต่อยอดองค์ความรู้และทักษะในการแก้ไขปัญหาได้ เช่น การประยุกต์ใช้ระบบเทปน้ำหยดควบคู่ไปกับกรรมวิธีการปลูกและการดูแลพริก (ดินและปุ๋ย) ในแปลงแบบดั้งเดิม 5) การรวบรวมและจัดเก็บข้อมูลอย่างเป็นระบบเพื่อให้ง่ายต่อการเข้าถึงความรู้และการได้รับข้อมูลสะท้อนกลับ โดยความรู้ที่นำมาจัดทำเอกสารรายงานและคู่มือ (ไฟล์เอกสาร และดิจิทัลไฟล์) ได้แก่ ความรู้ที่เกิดจากการแลกเปลี่ยนเรียนรู้ ความรู้ที่ฝังในตัวเกษตรกร และความรู้ที่ผ่านการลงมือปฏิบัติร่วมกัน เช่น การบันทึกข้อมูลในภาคสนาม (ปริมาณการใช้น้ำ การเจริญเติบโตของพริก ปริมาณผลผลิตพริก ปัญหาและอุปสรรค แนวทางแก้ไข และข้อสังเกต) เป็นต้น และ 6) กระบวนการถ่ายทอดความรู้ที่ชัดเจนและการฝึกฝนความรู้โดยการลงมือปฏิบัติระดับแปลงสาธิต ซึ่งถือเป็นแหล่งเรียนรู้สนับสนุนการจัดการความรู้ระบบชลประทานน้ำหยดของเทศบาลตำบลออนใต้ได้อย่างเป็นรูปธรรม อันเป็นประโยชน์ต่อการขยายผลในวงกว้างรวมทั้งเป็นการสร้างเครือข่ายความร่วมมือทั้งภายในและภายนอกชุมชน ตามลำดับ (วิจารณ์, 2549; เยาวรัชย์ และคณะ, 2557; สุพจน์, 2559; ชมกฤษ และคณะ, 2560; ปาริชาติ, 2560)

จากผลลัพธ์ทั้งในแง่ของการยกระดับความรู้และการเพิ่มขีดความสามารถให้แก่เกษตรกรบ้านแม่ผาแพน เทศบาลตำบลออนใต้ อำเภอสันกำแพง จังหวัดเชียงใหม่ ต่อการรับมือกับปัญหาล้างด้วยเทคโนโลยีใช้น้ำน้อยโดยการประยุกต์ใช้ระบบเทปน้ำหยดระดับแปลงสาธิต (ปลูกพริก) สู่ความสำเร็จในการขยายผลอย่างเป็นรูปธรรมโดยครอบคลุมพื้นที่ของเทศบาลตำบลออนใต้ในเบื้องต้น จำนวน 8 หมู่บ้าน ทั้งนี้อาจเป็นผลเนื่องจากการนำปัญหาที่มีผลกระทบสูง (ภัยแล้ง) ของเกษตรกรออนใต้มาเข้าสู่กระบวนการแก้ไขปัญหาโดยเน้นการลงมือปฏิบัติจริง (Learning by doing) ควบคู่กับการจัดการความรู้แบบมีส่วนร่วมในทุกขั้นตอน ซึ่งสอดคล้องกับลักษณะหรือองค์ประกอบที่สำคัญของการเรียนรู้จากการลงมือปฏิบัติ รายงานโดย อำนาจ (2560) คือ 1) เป็นการเรียนรู้ที่มีการนำปัญหามาเป็นโจทย์ในการเรียนรู้ 2) เป็นการเรียนรู้จากประสบการณ์จริงในการปฏิบัติการและต้องมีการคิดค้นวิธีในการแก้ไขปัญหาหรือการพัฒนา 3) เป็นการเรียนรู้โดยมีการแลกเปลี่ยนประสบการณ์และการทำงานร่วมกันอย่างต่อเนื่องตลอดกระบวนการ เพื่อแสวงหาวิธีการที่ดีและเหมาะสมในการดำเนินการ และ 4) เป็นการเรียนรู้ที่เปิดกว้าง ปราศจากอคติ มีการรับฟังข้อคิดเห็นและข้อเสนอแนะในการปรับปรุงการปฏิบัติร่วมกัน โดยผลสำเร็จเป็นเป้าหมายหลักของการดำเนินงาน

บทสรุป

ในการเพิ่มประสิทธิภาพการใช้น้ำด้านการเกษตรและขีดความสามารถในการรับมือกับปัญหาล้างให้แก่เกษตรกรโดยการปรับใช้เทคโนโลยีระบบชลประทานน้ำหยด (เทปน้ำหยด) เชิงปฏิบัติการแบบมีส่วนร่วม รวมทั้งทำการศึกษาเปรียบเทียบประสิทธิภาพและประสิทธิผลระหว่างวิธีการให้น้ำระบบชลประทานน้ำหยด (เทปน้ำหยด) และวิธีการให้น้ำแบบร่องคูเล็ก (วิธีดั้งเดิมของเกษตรกร) ในการปลูกพริกกระด้างแปลงสาธิตของเกษตรกรต้นแบบบ้านแม่ผาแพน เทศบาลตำบลออนใต้ อำเภอสันกำแพง จังหวัดเชียงใหม่ สรุปได้ว่า ระบบเทปน้ำหยดเป็นเทคโนโลยีหนึ่งที่เหมาะสมในการปรับใช้เพื่อรับมือกับภัยแล้งให้แก่เกษตรกรออนใต้ การให้น้ำแบบเทปน้ำหยดลดปริมาณการสูญเสีย (เปรียบเทียบกับระบบร่องคูเล็ก)

ในการเพาะปลูกได้อย่างมีประสิทธิภาพ (ลดลง 68.20% หรือ 3.14 เท่า) โดยเฉพาะพื้นที่ที่เป็นดินปนทราย (แปลงสาธิต) รวมถึงผลผลิตการเจริญเติบโตของพืช (พริก) และปริมาณผลผลิตพริกที่สูงกว่า (2.3 เท่า) เมื่อเปรียบเทียบกับวิธีการให้น้ำแบบร่องคูเล็ก ดังนั้นระบบเทปน้ำหยดจึงให้ประสิทธิภาพต่อการใช้น้ำด้านการเกษตรและการเพาะปลูกค่อนข้างสูง ประกอบกับระยะเวลาต้นทุนเฉลี่ยของวิธีการให้น้ำแบบเทปน้ำหยด (กรณีศึกษา) ค่อนข้างสั้นประมาณ 0.19 ปี จึงส่งผลให้ผลตอบแทนในการปลูกพริกทั้งในฤดูและนอกฤดูคุ้มค่ากว่าวิธีการให้น้ำแบบร่องคูเล็ก (วิธีดั้งเดิมของเกษตรกร) โดยเฉพาะเกษตรกรในพื้นที่ประสบภัยแล้งให้มีรายได้เพิ่มสูงขึ้น เนื่องจากเกษตรกรสามารถปลูกพืชได้ทุกฤดูและยังสามารถขายผลผลิตในราคาที่สูงช่วงนอกฤดูได้อีกแนวทางหนึ่ง นอกจากนี้ ผลการประเมินด้านการยอมรับและการปรับใช้เทคโนโลยี (ระบบเทปน้ำหยด) รวมทั้งการประเมินเศรษฐศาสตร์เบื้องต้น สรุปได้ว่าการประยุกต์ใช้ระบบแบบเทปน้ำหยดเป็นทางเลือกหนึ่งที่เกษตรกรออนใต้ให้การยอมรับสู่การขยายผลจำนวน 8 หมู่บ้านและนำไปปรับใช้กับพืชหลากหลายชนิด (คะน้าฮ่องกง ถั่วฝักยาว มะเขือ พริก และกะหล่ำ ฯลฯ) ตามบริบทของตน การประยุกต์ใช้วิธีการให้น้ำแบบเทปน้ำหยดในการเกษตรก่อให้เกิดผลลัพธ์ทางบวกทั้งทางตรงและทางอ้อมหลากหลาย อาทิ การใช้ทรัพยากรน้ำอย่างคุ้มค่า การประหยัดเวลา การสร้างรายได้เสริม ความมั่นคงด้านอาหาร รวมทั้งการพัฒนาคุณภาพชีวิตของเกษตรกรผู้สูงอายุ (การผ่อนคลายเกษตรกรผู้สูงอายุ) เป็นต้น อย่างไรก็ตาม การศึกษานี้มีข้อเสนอแนะที่สำคัญ คือ 1) ท้องถิ่น (เทศบาลตำบลออนใต้) ควรบูรณาการกับหน่วยงานรัฐที่เกี่ยวข้องในพื้นที่ในการวางแผน จัดทำ และพัฒนาแหล่งน้ำต้นทุน (ผิวดินและใต้ดิน) เพื่อการส่งเสริมด้านการเกษตร และถือเป็นการขยายผลการปรับใช้ระบบชลประทานน้ำหยดในวงกว้างมากยิ่งขึ้น 2) การส่งเสริมและขยายผลในอนาคต เกษตรกรอาจพิจารณาเทคนิคการปลูกพืชสมัยใหม่ร่วมกับการประยุกต์ใช้ระบบชลประทานน้ำหยด เช่น การให้น้ำปุ๋ย สารอาหาร หรือฮอร์โมนทางใบผ่านระบบเทปน้ำหยด เป็นต้น รวมทั้งควรส่งเสริมการใช้ระบบน้ำหยดในการปลูกพืชไร่พืชสวนหลากหลายชนิด และ 3) เทศบาลตำบลออนใต้ควรมีบทบาทสำคัญในการผลักดันนโยบาย แผนงาน และงบประมาณ รวมถึงการจัดทำระบบเทคโนโลยีสารสนเทศด้านการบริหารจัดการน้ำควบคู่กัน เพื่อใช้เป็นเครื่องมือในการเพิ่มประสิทธิภาพการจัดการน้ำด้านการเกษตรภาพรวมของเทศบาลตำบลออนใต้ รวมทั้งการสนับสนุนการรับมือต่อภัยแล้งของชุมชนเกษตรกรออนใต้ให้บรรลุเป้าหมายอย่างมีประสิทธิภาพ

กิตติกรรมประกาศ

โครงการวิจัยนี้สำเร็จลงได้ภายใต้การได้รับทุนอุดหนุนการพัฒนาศักยภาพการวิจัยการเกษตร จากสำนักงานพัฒนาการวิจัยการเกษตร ประจำปีงบประมาณ 2560 ทางคณะผู้วิจัยขอขอบพระคุณมา ณ โอกาสนี้

เอกสารอ้างอิง

- จักรกฤษณ์ มีเฒ. (2551). การจัดการการผลิตอ้อยระบบน้ำหยดใต้ดิน : กรณีศึกษา ไร่ตั้งจิตร์พืชผล ตำบลบ้านดุง อำเภอบ้านดุง จังหวัดอุดรธานี. รายงานการศึกษาระยะ ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาธุรกิจเกษตร บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยขอนแก่น.
- ชมภูษ ทุนนาค, ศิริวัฒน์ เป็เลียนบางยาง และวรรณรัตน์ อัครเดชาชาญยุทธ์. (2560). การสร้างชุมชนเข้มแข็งด้วยกระบวนการจัดการความรู้ในการทำเกษตรอินทรีย์ในจังหวัดนครปฐม. วารสารวิทยบริการ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์. 28(2): 58-166.
- เทศบาลตำบลออนใต้. (2566). ข้อมูลและสภาพทั่วไป. ค้นเมื่อ 22 พฤศจิกายน 2566. <https://www.ontai.go.th/>.
- บุญจรัตน์ โกลานันท์ และมนฤดี ม่วงรุ่ง. (2557). การเสริมสร้างความสามารถในการปรับตัวต่อการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศของชุมชนเกษตรกรออนใต้ อำเภอสันกำแพง จังหวัดเชียงใหม่. วารสารวิจัย มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก. 7(2): 14-22.
- ปาริชาติ คุณปลื้ม. (2560). การพัฒนาระบบการจัดการความรู้ด้านภูมิปัญญาท้องถิ่น: กรณีศึกษากลุ่มโอท็อปภาคตะวันออก. วารสารการเมือง การบริหาร และกฎหมาย. 9(3): 273-295.
- เยาวรัชย์ พรประสิทธิ์, เทพศักดิ์ บุญยรัตน์ และสุพร เสียนสลาย. (2567). ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อความสำเร็จในการจัดการความรู้ของกรุงเทพมหานคร: กรณีศึกษา สำนักงานเขตกลุ่มกรุงเทพใต้. วารสารการจัดการสมัยใหม่. 12(1): 50-61.

- ระวิน สืบคำ. (2557). การให้น้ำแบบหยดแก่ไม้ผลที่ปลูกเชิงแถบอนุรักษ์ในระบบเกษตรน้ำฝนบนที่ลาดชัน. วารสารนเรศวรพะเยา. 7(3): 233-241.
- วีระ ภาคอุทัย และเยาวรัตน์ ศรีวรานนท์. (2557). พริก ปลูกอย่างไรในภาวะโลกกำลังร้อน. สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย: กรุงเทพฯ.
- วิจารณ์ พานิช. (2549). การจัดการความรู้: ฉบับนักปฏิบัติ. พิมพ์ครั้งที่ 3. สำนักพิมพ์สุภาพใจ. สำนักงานส่งเสริมวิสาหกิจขนาดกลางและขนาดย่อม กระทรวงอุตสาหกรรม: กรุงเทพฯ.
- ศูนย์ปฏิบัติการน้ำอัจฉริยะ กรมชลประทาน. (2567). สรุปสถานการณ์น้ำ. ค้นเมื่อ 9 มกราคม 2567.
<http://water.rid.go.th/flood/plan.html>.
- สถาบันสารสนเทศทรัพยากรน้ำและการเกษตร (องค์การมหาชน). (2566). คลังข้อมูลน้ำแห่งชาติ. ค้นเมื่อ 6 พฤศจิกายน 2566.
<https://www.hii.or.th/>.
- สุพจน์ ทนทาน. (2560). การจัดการความรู้เพื่อพัฒนากลยุทธ์การจัดการพลังงานชุมชนในเขตภาคเหนือตอนบน. วิทยานิพนธ์ปริญญาปรัชญาดุษฎีบัณฑิต สาขาวิชายุทธศาสตร์การพัฒนากุมิภาค บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงใหม่.
- สุเมษฐ์ หนกหลัง. (2561). การวิจัยปฏิบัติการแบบมีส่วนร่วมเพื่อการจัดการความรู้ภูมิปัญญาท้องถิ่น เรื่อง การใช้ประโยชน์จากต้นจากในชุมชนเกาะหยงสตาร์ จังหวัดตรัง. วารสารด้านการบริหารรัฐกิจและการเมือง. 7(1): 179-208.
- สำนักพัฒนาคุณภาพสินค้าเกษตร. (2557). ระบบให้น้ำพืช. ค้นเมื่อ 2 ธันวาคม 2557. www.agriqua.doe.go.th.
- อำนาจ วัดจินดา. (2560). การพัฒนาการองค์กรแห่งการเรียนรู้. ค้นเมื่อ 17 สิงหาคม 2560. www.hrcenter.co.th.
- Watkins K. (2006). Human development report 2006 - beyond scarcity: power, poverty and the global water crisis. Accessed 15 May 2015. http://papers.ssrn.com/sol3/papers.cfm?abstract_id=2294691.

Received: November 14, 2024; Revised: November 15, 2024; Accepted: December 6, 2024

การปรับปรุงคุณภาพทางโภชนาการของกากถั่วเหลืองจากการหมักแบบแห้ง (Solid-state fermentation) ด้วยแบคทีเรียชนิด *Bacillus coagulans* และเอนไซม์โบรมิเลนจาก
สับปะรดเพื่อใช้เป็นวัตถุดิบในอาหารปลานิล

Improvement of nutritional quality of soybean meal by microbial solid-state fermentation with *Bacillus coagulans* and bromelain extract from pineapple (*Ananas comosus* (L.) Merr.) as feed ingredient for Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*)

ทรงทรัพย์ อรุณกมล¹ สุธี วงศ์มณีประทีป¹ ปิ่นสุรางค์ ดิวงษ์² และบัณฑิต ยวงสร้อย^{1*}
Songsut Arungamol¹, Sutee Wongmaneeprateep¹, Pinsurang Deevong²
and Bundit Yuangsoi^{1*}

¹คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น จังหวัดขอนแก่น

¹Faculty of Agriculture, Khon Kaen University, Khon Kaen Province

²คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ กรุงเทพมหานคร

²Faculty of Science, Kasetsart University, Bangkok

*Corresponding Author E-mail Address : bundyu@kku.ac.th

บทคัดย่อ

การปรับปรุงคุณภาพทางโภชนาการของกากถั่วเหลืองในการศึกษานี้ได้เปรียบเทียบคุณสมบัติทางเคมีของกากถั่วเหลือง 2 วิธี คือการปรับปรุงคุณภาพโดยใช้ *Bacillus coagulans* หมักแบบแห้งบนอาหารแข็ง (Solid state fermentation) ที่ความชื้น 50 เปอร์เซ็นต์ ปริมาณเชื้อ 10^7 cfu/ml อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส ที่ 48 ชั่วโมง และการปรับปรุงคุณภาพโดยการย่อยด้วยเอนไซม์โบรมิเลน (Pre-digestion) จากน้ำคั้นสับปะรดที่มีกิจกรรมเอนไซม์ที่ $4,925.30 \pm 445.26$ CDU/ml ที่ 90 นาที จากการศึกษา พบว่า ปริมาณโปรตีนจากกากถั่วเหลืองที่หมักด้วย *B. coagulans* มีโปรตีนเพิ่มสูงสุด คือมีปริมาณโปรตีน 51.67 เปอร์เซ็นต์ และมีปริมาณสารยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ทริปซินลดลง โดยมีปริมาณน้อยที่สุด 1.39 ± 1.12 mg/g โดยมีความแตกต่างในทางสถิติ ($p < 0.05$) เมื่อเทียบกับกากถั่วเหลืองที่ยังไม่ผ่านการปรับปรุงคุณภาพ ส่วนคุณสมบัติในการเป็นสารต้านอนุมูลอิสระ พบว่า กากถั่วเหลืองที่ย่อยด้วยโบรมิเลนจากน้ำคั้นสับปะรดมีความสามารถเป็นสารต้านอนุมูลอิสระที่ดีที่สุด โดยมีปริมาณสารประกอบฟีนอลิก 157.75 ± 1.13 mg GAE/100g และมีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี DPPH 34.1 ± 2.69 เปอร์เซ็นต์ ส่วนประสิทธิภาพการย่อยได้ของโปรตีนด้วยเทคนิค In vitro protein digestibility พบว่า กากถั่วเหลืองที่หมักด้วย *B. coagulans* มีประสิทธิภาพการย่อยของโปรตีนสูงสุดโดยมีค่า 3.48 ± 1.85 μ mol DL-Alanine/100 μ g และแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) กับชุดการทดลองอื่น จากการศึกษาครั้งนี้พบว่า การปรับปรุงคุณภาพกากถั่วเหลืองด้วยวิธีการหมักด้วยเชื้อแบคทีเรีย *B. coagulans* ส่งผลให้สารต้านอนุมูลอิสระที่พบในกากถั่วเหลืองลดลง และประสิทธิภาพการย่อยได้ของโปรตีนดีขึ้น ซึ่งสามารถนำมาใช้เป็นวัตถุดิบสำหรับการผลิตอาหารปลานิลได้

คำสำคัญ: กากถั่วเหลือง *Bacillus coagulans* โบรมิเลน การหมัก

Abstract

This study investigated the enhancement of soybean meal nutritional quality through a comparative analysis of chemical properties utilizing two distinct methods. The first method involved solid-state fermentation of soybean meal using *Bacillus coagulans* at 50% moisture content, 10^7 cfu/ml inoculum concentration, and 40°C for 48 hours. The second method focused on the quality improvement using bromelain decomposition where soybean meal was pre-digested for 90 minutes using pineapple juice containing the enzyme activity of $4,925.30 \pm 445.26$ CDU/ml. The results showed that fermented soybean meal with *B. coagulans* obtained the highest protein content at 51.67%. Trypsin inhibitor level in the fermented soybean meal was significantly reduced to 1.39 ± 1.12 mg/g ($p < 0.05$) compared to the control group. Antioxidant properties were also evaluated, with bromelain-digested soybean meal exhibited the highest antioxidant capacity. Phenolic compound content was at 157.75 ± 1.13 mg GAE/100 g, while antioxidant activity assessed by the DPPH method was $34.1 \pm 2.69\%$. In vitro protein digestibility revealed that fermented soybean meal with *B. coagulans* had the highest protein digestibility at 3.48 ± 1.85 mol DL-Alanine/100 μ g, suggested significant difference ($p < 0.05$) from other experimental groups. This study demonstrates that *B. coagulans* solid-state fermentation improves soybean meal quality while reducing antinutritional factors, potentially enhancing its suitability for tilapia feed formulation.

Keywords: Soybean meal, *Bacillus coagulans*, Bromelain, Fermentation

บทนำ

อุตสาหกรรมการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำในปัจจุบันเป็นอุตสาหกรรมที่มีการเติบโตอย่างก้าวกระโดดจากความต้องการบริโภคของประชากรโลก เมื่อพิจารณาจากแนวโน้มปริมาณการผลิตสัตว์น้ำทั้งหมดของโลกในปี 2020 ที่มีปริมาณเท่ากับ 87.5 ล้านตัน ที่มีปริมาณการผลิตเพิ่มขึ้นถึง 4 เท่า จากค่าเฉลี่ยตั้งแต่ปี ค.ศ. 1990-1999 ที่มีปริมาณการผลิตเท่ากับ 21.8 ล้านตัน (FAO, 2022) โดยเฉพาะอย่างยิ่งปลาที่มีการเพาะเลี้ยงอย่างแพร่หลายซึ่งมีปริมาณการผลิตสูงขึ้นอย่างต่อเนื่อง โดยมีปริมาณการผลิตทั้งหมดประมาณ 4.5 ล้านตันจากการเพาะเลี้ยงในปี 2020 (FAO, 2021) อย่างไรก็ตามปัญหาที่สำคัญในด้านการผลิตสัตว์น้ำในปัจจุบันและอนาคต คือปัญหาด้านต้นทุนค่าอาหารสัตว์น้ำ โดยมีต้นทุนด้านค่าอาหารไม่ต่ำกว่าร้อยละ 60-70 ของต้นทุนการผลิตทั้งหมด (สิทธิชัย และคณะ, 2563; ณัฏฐ์ธินัน และช่อพกา, 2564; Sirikasemsuk et al., 2023) ซึ่งแหล่งโปรตีนหลักที่อยู่ในอาหารสัตว์น้ำคือปลาป่นที่พบว่า มีราคาสูงขึ้นอย่างต่อเนื่อง แต่อย่างไรก็ตามมีการรายงานการผลิตที่พบว่า มีการผลิตลดลงอย่างต่อเนื่องจากรายงานของ Murthy et al. (2023) พบว่า แนวโน้มจากการใช้ปลาป่นในการผลิตสัตว์เพื่อใช้เป็นอาหารมนุษย์ทั่วโลกมีแนวโน้มการผลิตลดลงอย่างต่อเนื่องโดยในช่วงปี 2001-2010 ปริมาณการผลิตปลาป่นอยู่ที่ปีละ 5.5 ล้านตัน และในช่วงปี 2011-2020 มีปริมาณการผลิตลดลงเหลือปีละประมาณ 5.0 ล้านตัน ซึ่งสวนทางกับราคาของปลาป่นที่มีแนวโน้มสูงขึ้นอย่างต่อเนื่อง

ดังนั้นการหาวัตถุดิบอาหารสัตว์เพื่อลดปริมาณการใช้ปลาป่นในสูตรอาหารเป็นสิ่งสำคัญในการลดต้นทุนด้านการผลิตสัตว์น้ำ และแก้ไขปัญหาลดลงของปลาป่นในอนาคต ซึ่งปัจจุบันนักวิจัยส่วนใหญ่มุ่งเน้นการศึกษาการใช้โปรตีนจากกากถั่วเหลืองเพื่อทดแทนปลาป่นในอาหารสัตว์น้ำ แต่อย่างไรก็ตามกากถั่วเหลืองเป็นแหล่งโปรตีนคุณภาพสูงซึ่งมีข้อจำกัดในปริมาณการใช้เนื่องจากกากถั่วเหลืองมีสารต้านโภชนาการที่ลดการดูดซึม และการใช้ประโยชน์จากอาหารที่กิน เช่น สารยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ทริปซิน (Trypsin inhibitor) เลคติน (Lectin) และกรดไฟติก (Phytic acid) เป็นต้น การปรับปรุงคุณภาพกากถั่วเหลืองก่อนนำไปเป็นวัตถุดิบอาหารสัตว์น้ำ จึงเป็นทางเลือกหนึ่งของการใช้กากถั่วเหลืองเป็นอาหารสัตว์น้ำ การนำกากถั่วเหลืองย่อยด้วย

เอนไซม์จากผลไม้หรือวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรบางชนิด เช่น เอนไซม์โบรมิเลนที่ได้จากสับปะรด หรือกากสับปะรด และเอนไซม์ปาเปนจากมะละกอ โดยเอนไซม์โบรมิเลนและเอนไซม์ปาเปน เป็นเอนไซม์ในกลุ่มโปรตีเอสจึงมีความสามารถในการตัดพันธะเพปไทด์ ซึ่งเป็นพันธะเคมีที่เชื่อมระหว่างกรดอะมิโนในโปรตีน เมื่อพันธะเพปไทด์ถูกตัด โปรตีนจะถูกแยกออกเป็นโพลีเปปไทด์ หรือกรดอะมิโนสายสั้น ๆ (ทรงทรัพย์ และคณะ, 2561; Hamid et al., 2022) การปรับปรุงคุณภาพกากถั่วเหลืองด้วยเอนไซม์จากธรรมชาติเหล่านี้เป็นวิธีการปรับปรุงคุณภาพที่สามารถทำได้ง่าย และประหยัดต้นทุนการผลิต นอกจากการใช้เอนไซม์จากผลไม้ การนำกากถั่วเหลืองหมักด้วยจุลินทรีย์ชนิดต่าง ๆ ก็สามารถช่วยปรับปรุงคุณภาพกากถั่วเหลืองได้เช่นเดียวกัน จุลินทรีย์ที่นำมาใช้ในกระบวนการดังกล่าว เช่น แบคทีเรียชนิด *Lactobacillus plantarum*, *Bacillus subtilis*, *Bacillus licheniformis*, *Pediococcus acidilactic* หรือยีสต์ชนิด *Saccharomyces cerevisiae* และ *Candida utilis* รวมถึงการหมักด้วยเชื้อราชนิด *Aspergillus oryzae* (Kim et al., 2009; Zhou et al., 2011; Ding et al., 2015; Shiu et al., 2015; Lee et al., 2016; Sharawy et al., 2016; Wang et al., 2016) ซึ่งจากรายงานการวิจัย พบว่า การหมักสามารถย่อยโปรตีนให้เป็นกรดอะมิโนที่มีขนาดเล็ก และสามารถลดปริมาณสารต้านโภชนาที่มีอยู่ในกากถั่วเหลืองได้ดี จากข้อมูลเบื้องต้นในการปรับปรุงคุณภาพกากถั่วเหลืองก่อนนำไปใช้เป็นวัตถุดิบอาหารสัตว์เป็นอีกวิธีการในการใช้ประโยชน์จากโปรตีนที่ได้จากพืช และเป็นแนวทางในการลดการใช้ปลาป่นในอาหารสัตว์ (วราพันธุ์ และคณะ, 2547; ทรงทรัพย์ และคณะ, 2561)

ดังนั้นในการศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพของวิธีการปรับปรุงคุณภาพกากถั่วเหลือง 2 วิธี คือการหมักกากถั่วเหลืองด้วยเชื้อ *B. coagulans* และการใช้เอนไซม์โบรมิเลนจากสับปะรด โดยพิจารณาจากคุณค่าทางโภชนาการ ปริมาณสารยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ทริปซิน และคุณสมบัติการเป็นสารต้านอนุมูลอิสระของกากถั่วเหลืองที่ได้จากการหมักทั้ง 2 วิธี การหมักกากถั่วเหลืองด้วยเชื้อ *B. coagulans* ใช้วิธีการหมักแบบแห้งบนอาหารแข็ง (Solid state fermentation) โดยเชื้อ *B. coagulans* เป็นแบคทีเรียกลุ่มบาซิลลัส เจริญได้ดีในอุณหภูมิสูงตั้งแต่ 30 ถึง 55 องศาเซลเซียส และทนความเค็มได้ดี (Yadav and Yadav, 2003) และสามารถผลิตสารที่มีชื่อว่า Coagulin ซึ่งเป็นสารที่อยู่ในกลุ่ม แบคเทอริโอซิน (Bacteriocin) สามารถยับยั้งการเจริญเติบโตของแบคทีเรียชนิดอื่นได้ (Sharifi et al., 2021) นอกจากนั้นแล้วยังสามารถสร้างกรดแลคติกและสร้างเอนไซม์ Protease ที่สามารถย่อยโปรตีนที่เป็นวัตถุดิบอาหารสัตว์ รวมถึงสามารถใช้เป็นจุลินทรีย์ที่เป็นโปรไบโอติกได้อีกด้วย (Mukherjee et al., 2016; Zhang et al., 2021) การปรับปรุงคุณภาพกากถั่วเหลืองดังกล่าวมีจุดประสงค์เพื่อนำกากถั่วเหลืองที่ผ่านการปรับปรุงแล้วมาใช้เป็นวัตถุดิบโปรตีนหลักในอาหารปลานิล ซึ่งข้อมูลที่ได้จากการศึกษาในครั้งนี้จะทำให้ทราบถึงความเป็นไปได้ในการใช้วัตถุดิบทางเลือกอื่น ๆ มาทดแทนปลาป่นในอาหารสัตว์น้ำ

วัสดุ อุปกรณ์ และวิธีการ

1. การปรับปรุงคุณภาพกากถั่วเหลืองเพื่อใช้เป็นวัตถุดิบอาหารปลานิล

ศึกษาวิธีการและรูปแบบการหมักกากถั่วเหลือง 2 วิธีดังนี้

1.1 การหมักกากถั่วเหลืองด้วยวิธีการหมักแบบแห้งบนอาหารแข็ง (Solid state fermentation) โดยใช้เชื้อ *B. coagulans* โดยดัดแปลงตามวิธีการของ Kim et al. (2009); Ding et al. (2015); Shiu et al. (2015) และ Wang et al. (2016) โดยจุลินทรีย์ที่ใช้ในการศึกษานี้เป็นสายพันธุ์แยกได้จากถั่วเน่า โดยได้รับเชื้อจากศูนย์จุลินทรีย์ สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย จังหวัดปทุมธานี ที่เชื้อความเข้มข้นประมาณ 1×10^7 cfu/ml ทำการหมักกากถั่วเหลือง อัตราส่วนเชื้อแบคทีเรีย 1 ส่วน และกากถั่วเหลืองบดที่ผ่านการฆ่าเชื้อจุลินทรีย์แล้ว 2 ส่วน ความชื้นในการหมัก 50 เปอร์เซ็นต์ อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 48 ชั่วโมง ตรวจวัดปริมาณเชื้อแบคทีเรีย และค่า pH ทุก 12 ชั่วโมง เพื่อเป็นการยืนยันการคงอยู่ของแบคทีเรียที่ใช้ในการหมัก หลังจากครบเวลาที่กำหนดแล้ว นำกากถั่วเหลืองที่ผ่านการหมักไปอบที่ 60 องศาเซลเซียส ด้วยเครื่องอบลมร้อนให้ความชื้นต่ำกว่า 10 เปอร์เซ็นต์ และเก็บที่อุณหภูมิ -4 องศาเซลเซียส เพื่อรอการทดสอบต่อไป

1.2 การย่อยกากถั่วเหลือง โดยวิธีการย่อยด้วยเอนไซม์โบรมีเลนจากน้ำคั้นสับปะรด (Pre-digestion) ดัดแปลงวิธีการจาก ทรงทรัพย์ และคณะ (2561) และ วราพันธุ์ และคณะ (2547) โดยใช้สับปะรดสายพันธุ์ภูเก็ต ซึ่งจากการศึกษาขั้นต้นพบว่า มีปริมาณ Bromelain activity ประมาณ $4,925.30 \pm 445.26$ Casein Digestion Unit/ml โดยนำน้ำคั้นสับปะรดมาผสมโดยคลุกเคล้ากับกากถั่วเหลือง ให้ทั่วภายในภาชนะ ในสภาพที่ปลอดเชื้อ โดยใช้อัตราส่วนกากถั่วเหลือง 1 ส่วนต่อน้ำคั้นสับปะรด 2 ส่วน เป็นเวลา 90 นาทีที่อุณหภูมิห้อง เมื่อครบเวลาที่กำหนดแล้วนำกากถั่วเหลืองดังกล่าวไปอบในตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส ให้ความชื้นต่ำกว่า 10 เปอร์เซ็นต์ และเก็บที่อุณหภูมิ -4 องศาเซลเซียส เพื่อรอการทดสอบต่อไป

2. วิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมี และปริมาณกรดอะมิโนของกากถั่วเหลืองหมัก

นำกากถั่วเหลืองหมักที่ผ่านการปรับปรุงคุณภาพทั้ง 2 วิธีข้างต้น เปรียบเทียบกับกากถั่วเหลืองที่ไม่ผ่านการปรับปรุงคุณภาพไปวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมี ได้แก่ โปรตีน ไขมัน เยื่อใย เถ้า และความชื้น ตามวิธีของ AOAC (1990) และวิเคราะห์ปริมาณกรดอะมิโน โดย Reversed-Phase High-Performance Liquid Chromatography (RP-HPLC) ตามวิธีการของ GB/T 18246-2000 โดยบริษัท National Feed Product Quality Supervision and Inspection Center กรุงปักกิ่ง ประเทศจีน

3. ศึกษาสารยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ทริปซิน (Trypsin inhibitor)

ศึกษาการยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ทริปซินของกากถั่วเหลืองที่ยังไม่ผ่านการหมัก และถั่วเหลืองที่ผ่านการหมักทั้ง 2 วิธีข้างต้น วิเคราะห์ปฏิกิริยาการยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ทริปซิน โดยการดัดแปลงวิธีการจาก Kumar et al. (2019) ซึ่งใช้ BAPNA (Benzoyl-DL-Arginine-p-Nitroanilide Hydrochloride) เป็นซับสเตรท วัดโดยการให้ Trypsin inhibitor ในตัวอย่างทำปฏิกิริยากับทริปซิน หลังจากนั้นใช้ BAPNA เป็นซับสเตรทเพื่อใช้ในการวัดทริปซินที่เหลือจากปฏิกิริยาโดยใช้ค่าดูดกลืนแสงที่ 410 นาโนเมตร

4. วิเคราะห์คุณสมบัติในการเป็นสารต้านอนุมูลอิสระ (Antioxidant properties)

วิเคราะห์คุณสมบัติในการเป็นสารต้านอนุมูลอิสระ ตามวิธีการของสุริยา และประสพอร (2559) โดยเตรียมตัวอย่างกากถั่วเหลืองที่ไม่ผ่านการหมัก และกากถั่วเหลืองที่ผ่านการปรับปรุงคุณภาพทั้ง 2 วิธีข้างต้นปริมาณ 10 กรัม เติมน้ำเมทานอลปริมาตร 300 มิลลิลิตร และสกัดสารออกฤทธิ์แบบไหลย้อนกลับ (Reflux) ที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส 30 นาที นำของเหลวที่ได้นำไปประเหยแห้งด้วย Water bath ที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส นำไป Freeze dryer จนได้สารสกัดแห้งและนำไปวิเคราะห์ต่อไป

4.1 วิเคราะห์ปริมาณสารประกอบฟีนอลิก (Total phenolic content)

ทำการวิเคราะห์สารประกอบฟีนอลิก ด้วยวิธี Folin-Ciocalteu Colorimetric เทียบกับสารมาตรฐานของกรดแกลลิก โดยใช้ค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 760 นาโนเมตร และคำนวณหาปริมาณสารประกอบฟีนอลิก เทียบกับกราฟมาตรฐานกรดแกลลิกในหน่วยมิลลิกรัมสมมูลของกรดแกลลิกต่อกรัมสารสกัด (mg of Gallic acid equivalent/g extract)

4.2 การทดสอบฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี DPPH (2,2 Diphenyl-1-picrylhydrazyl assay)

ทำการวิเคราะห์ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระโดยมีวิธีการคือ นำสารสกัดกากถั่วเหลืองหมักจากการเตรียมข้างต้นละลายใน DPPH และบ่มในที่มืด 20 นาทีที่อุณหภูมิห้อง นำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 517 นาโนเมตร โดยใช้เมทานอลเป็น blank และใช้วิตามินซีเป็นสารละลายมาตรฐาน

5. การศึกษาประสิทธิภาพการย่อยโปรตีนในหลอดทดลอง (In vitro protein digestibility) ของปลานิล

การทดสอบความสามารถในการย่อยโปรตีนจากกากถั่วเหลืองหมักของปลานิลในหลอดทดลอง โดยใช้ปลานิลขนาดประมาณ 35 กรัม เก็บตัวอย่างลำไส้ทั้งหมดของปลานิลใส่ ในหลอดทดลอง จำนวน 3 กรัม เติมน้ำ Tris HCl pH 8.2 อัตราส่วน 1:3 w/v บดด้วยเครื่อง Homogenizer จากนั้นนำไปปั่นเหวี่ยงที่ 15,000 รอบต่อนาที ที่ 4 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 20 นาที และเก็บเอนไซม์สกัด (Crude enzyme extract) ไว้ที่ -20 องศาเซลเซียส เพื่อทำการทดลองประสิทธิภาพการย่อยของโปรตีนในหลอดทดลองต่อไป

ศึกษากิจกรรมการทำงานของเอนไซม์ทริปซิน ตามวิธีการของ Rungruangsak-Torrissen et al. (2006) จากเอนไซม์สกัดโดยใช้ N α -Benzoyl-L-arginine 4-nitroanilide hydrochloride (BAPNA) เป็นซับสเตรท ที่ละลายใน 0.2 M Tris-HCl buffer pH 8.4 ในสารละลายของ 5% dimethylformamide และใช้เอนไซม์สกัด 10 ไมโครลิตร ที่ 50 องศาเซลเซียส วัดค่าดูดกลืนแสงด้วยเครื่อง Double-Beam Spectrophotometer, Hitachi UH5300 ที่ 410 นาโนเมตร และอ่านค่าการเปลี่ยนแปลงของการดูดกลืนแสง (Absorbance) ทุก 10 วินาที เป็นเวลา 90 วินาที หลังจากนั้นสร้างกราฟค่าการดูดกลืนแสง

หาความชัน (Slope) นำค่าความชันที่ได้มาเทียบกราฟมาตรฐานของ p-nitroaniline โดยค่าเอนไซม์ที่พบซึ่งได้แสดงหน่วยเป็น μmol p-nitroaniline ที่เกิดขึ้นต่อชั่วโมงต่อมิลลิกรัมโปรตีน

วิเคราะห์หาปริมาณโปรตีนในเอนไซม์สกัดจากข้างต้น ด้วยวิธี Bradford protein assay โดยชุดทดสอบ Bio-Rad protein assay เริ่มจากการเจือจาง Coomassie Blue G-250 1 ส่วนในน้ำที่ปราศจากไอออน (Deionized water) 4 ส่วน เทียบกับมาตรฐานของโปรตีนโดยใช้ Bovine Serum Albumin (BSA) เป็นกราฟมาตรฐานแปลค่า Protein content โดยใช้หน่วย mg/ml

ทำการศึกษาประสิทธิภาพการย่อยของโปรตีนในหลอดทดลอง โดยดัดแปลงวิธีการจาก Rungruangsak-Torrissen et al. (2006) โดยซึ่งวัตถุดิบคือกากถั่วเหลืองที่ผ่านการหมักด้วยเชื้อ *B. coagulans* กากถั่วเหลืองที่ย่อยด้วยเอนไซม์โบรมิเลน จากนั้นคั้นสับปะรด และกากถั่วเหลืองที่ไม่ผ่านการปรับปรุงคุณภาพที่ทราบระดับโปรตีน โดยซึ่งตามระดับโปรตีนที่ปลาต้องการ คือ ระดับโปรตีนที่ปลานิขนาด 35 กรัม ซึ่งวัตถุดิบแต่ละชนิดตามปริมาณโปรตีนที่กำหนดผสมกับ 10 mM phosphate buffer (pH8) ปริมาตร 40 มิลลิลิตร และยาปฏิชีวนะชนิด Chloramphenicol 100 ไมโครลิตรใน 96% Ethanol เขย่าด้วยเครื่องเขย่าควบคุมอุณหภูมิที่ 120 รอบต่อนาทีเป็นเวลา 24 ชั่วโมง จากนั้นเติมเอนไซม์สกัด 500 ไมโครลิตร นำไปเขย่าต่อด้วยเครื่องเขย่าควบคุมอุณหภูมิที่ 120 รอบต่อนาที เป็นเวลา 24 ชั่วโมง เพื่อให้เอนไซม์สกัดย่อยกากถั่วเหลืองหยุดปฏิกิริยาโดยการต้มที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส นาน 5 นาที วัดค่า Free amino group จากการย่อยด้วย Trinitrobenzene sulphonic acid (TNBS) โดยเทียบกับกราฟมาตรฐานของ DL-Alanine และค่าที่ได้แสดงเป็น μmol DL-Alanine equivalent feed per trypsin activity

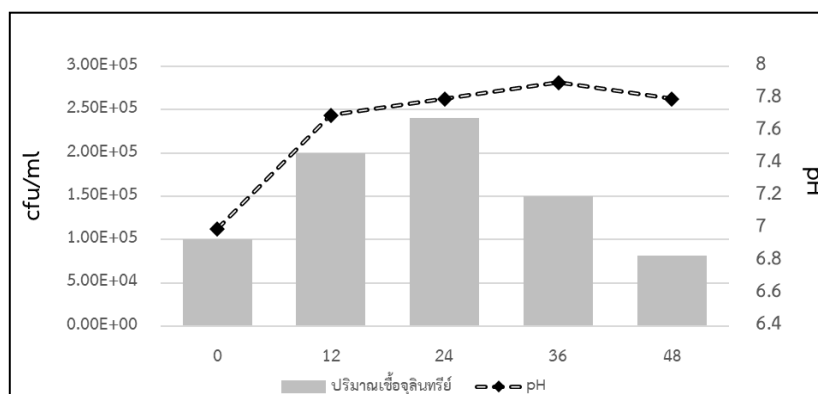
6. การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ

ทำการวิเคราะห์ข้อมูลโดยเปรียบเทียบข้อมูลทุกการวิเคราะห์ในแต่ละชุดทดลอง และวิเคราะห์ความแตกต่างทางสถิติ โดยใช้การวิเคราะห์ความแปรปรวน (Analysis of variances) เปรียบเทียบความต่างของค่าเฉลี่ยด้วยวิธีของ Duncan's New Multiple Range Test ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ด้วยโปรแกรมสำเร็จรูปทางสถิติ SAS

ผลการวิจัย

1. องค์ประกอบทางเคมีในกากถั่วเหลืองที่ผ่านการปรับปรุงคุณภาพ

จากการปรับปรุงคุณภาพกากถั่วเหลืองด้วยวิธีต่าง ๆ ด้วยการหมักกากถั่วเหลืองด้วยแบคทีเรีย *B. coagulans* แบบแห้งบนอาหารแข็ง โดยมีปริมาณเชื้อ 1.3×10^7 cfu/ml ในสารละลาย โดยใช้อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส เมื่อนำสารละลายเชื้อดังกล่าวมาหมักกากถั่วเหลือง พบว่า เชื้อที่เจริญเริ่มต้นในกากถั่วเหลืองมีปริมาณ 1.04×10^5 cfu/ml พบว่าเมื่อผ่านไป 12 ชั่วโมง พบปริมาณเชื้อเพิ่มขึ้นเป็น 2.01×10^5 cfu/ml เมื่อผ่านไป 24 ชั่วโมง พบว่า มีปริมาณเชื้อ *B. coagulans* สูงสุดคือมีปริมาณ 2.44×10^5 cfu/ml และปริมาณเชื้อแบคทีเรียจะลดปริมาณลงเหลือ 1.52×10^5 และ 8.08×10^4 cfu/ml ที่ชั่วโมงที่ 36 และ 48 ตามลำดับ ส่วนค่า pH ที่เกิดขึ้นระหว่างกระบวนการย่อย พบว่า มีค่าอยู่ในช่วง 7.03-7.91 โดย พบว่า จะมีค่า pH สูงสุดที่ชั่วโมงที่ 36 คือมีค่า 7.91 ซึ่งในระหว่างการหมักไม่พบเชื้อแบคทีเรียชนิดอื่นปลอมปนในกากถั่วเหลือง (รูปที่ 1)



รูปที่ 1 ปริมาณของเชื้อแบคทีเรีย *B. coagulans* และค่า pH จากกากถั่วเหลืองที่ผ่านการหมัก

เมื่อนำกากถั่วเหลืองที่ผ่านการปรับปรุงคุณภาพทั้ง 2 วิธี และกากถั่วเหลืองที่ยังไม่ผ่านการปรับปรุงคุณภาพ วิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมี และปริมาณกรดอะมิโน (ตารางที่ 1) พบว่า การหมักกากถั่วเหลืองด้วย *B. coagulans* มีปริมาณโปรตีนเพิ่มขึ้นหลังผ่านการหมักโดยมีค่าเท่ากับ 51.67 เปอร์เซ็นต์ และมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) กับกากถั่วเหลืองที่ย่อยด้วยโบรมิเลนจากน้ำคั้นสับปะรด และกากถั่วเหลืองที่ไม่ผ่านการปรับปรุงคุณภาพ ซึ่งมีค่าเท่ากับ 47.92 ± 0.11 เปอร์เซ็นต์ และ 47.82 ± 0.24 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ส่วนการวิเคราะห์เยื่อใยของกากถั่วเหลืองที่ผ่านการปรับปรุงคุณภาพทั้ง 2 วิธี คือการหมักกากถั่วเหลืองด้วย *B. coagulans* และกากถั่วเหลืองที่ย่อยด้วยเอนไซม์โบรมิเลนจากน้ำคั้นสับปะรด และกากถั่วเหลืองปกติ มีค่าเท่ากับ 4.77 ± 0.44 เปอร์เซ็นต์, 4.95 ± 0.45 เปอร์เซ็นต์ และ 4.48 ± 0.26 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ส่วนปริมาณเถ้า พบว่า กากถั่วเหลืองที่ย่อยด้วยโบรมิเลนจากน้ำคั้นสับปะรด พบว่า มีค่ามากที่สุด คือเท่ากับ 6.45 ± 0.09 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) กับกากถั่วเหลืองที่หมักด้วย *B. coagulans* และกากถั่วเหลืองที่ไม่ผ่านการปรับปรุงคุณภาพ มีค่าเท่ากับ 5.69 ± 0.05 เปอร์เซ็นต์ และ 5.45 ± 0.08 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ และส่วนปริมาณไขมันพบว่า ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) ในทุกชุดการทดลอง (ตารางที่ 1)

ในส่วนของกรดอะมิโน พบว่า กากถั่วเหลืองที่ผ่านกระบวนการปรับปรุงคุณภาพมีปริมาณกรดอะมิโนที่เพิ่มขึ้นทั้งกรดอะมิโนที่จำเป็นและกรดอะมิโนที่ไม่จำเป็น เมื่อพิจารณาจากปริมาณกรดอะมิโนที่วัดได้ โดยกากถั่วเหลืองที่ไม่ผ่านกระบวนการปรับปรุงคุณภาพ พบว่า มีกรดอะมิโนรวมเท่ากับ 39.99 กรัม/100 กรัม ส่วนกากถั่วเหลืองที่ย่อยด้วยเอนไซม์โบรมิเลนจากน้ำคั้นสับปะรดมีค่าเท่ากับ 42.43 กรัม/100 กรัม และกากถั่วเหลืองที่หมักด้วย *B. Coagulans* มีค่าเท่ากับ 43.57 กรัม/100 กรัม เมื่อพิจารณากรดอะมิโนที่มีความสำคัญต่อการเจริญเติบโตของสัตว์น้ำคือ Lysine และ Methionine พบว่า หลังจากผ่านกระบวนการปรับปรุงคุณภาพทั้ง 2 รูปแบบมีแนวโน้มปริมาณกรดอะมิโนทั้ง 2 ชนิดเพิ่มขึ้น โดยกรดอะมิโนชนิด Lysine เพิ่มขึ้นร้อยละ 9.25 ส่วนกากถั่วเหลืองที่ย่อยด้วยเอนไซม์โบรมิเลนจากน้ำคั้นสับปะรด และเพิ่มขึ้นร้อยละ 6.61 ในชุดกากถั่วเหลืองที่หมักด้วย *B. Coagulans* และกรดอะมิโนชนิด Methionine เพิ่มขึ้นร้อยละ 6.56 ในกากถั่วเหลืองที่ย่อยด้วยเอนไซม์โบรมิเลนจากน้ำคั้นสับปะรด และเพิ่มขึ้นร้อยละ 9.84 ในกากถั่วเหลืองที่หมักด้วย *B. Coagulans* (ตารางที่ 1)

การศึกษาปริมาณสารยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ทริปซินในกากถั่วเหลืองที่ผ่านการปรับปรุงคุณภาพทั้ง 2 วิธี เปรียบเทียบกับกากถั่วเหลืองที่ยังไม่ผ่านการปรับปรุงคุณภาพ พบว่า ปริมาณสารยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ทริปซินในกากถั่วเหลืองที่ยังไม่ผ่านการปรับปรุงคุณภาพ พบว่า มีปริมาณ Trypsin inhibitor สูงที่สุด คือ 4.44 ± 2.11 มิลลิกรัมต่อกรัม ซึ่งมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) กับกากถั่วเหลืองที่ย่อยด้วยโบรมิเลนจากน้ำคั้นสับปะรด ที่มีค่าเท่ากับ 4.12 ± 3.95 มิลลิกรัมต่อกรัม และกากถั่วเหลืองที่หมักด้วย *B. coagulans* ที่มีค่า Trypsin inhibitor ต่ำที่สุด คือมีค่า 1.39 ± 1.12 มิลลิกรัมต่อกรัม และมีความแตกต่างทางสถิติในทุกชุดทดลอง ($p < 0.05$) (ตารางที่ 1)

ตารางที่ 1 องค์ประกอบทางเคมี และกรดอะมิโนของกากถั่วเหลืองที่ผ่านการปรับปรุงคุณภาพในรูปแบบต่าง ๆ

องค์ประกอบทางเคมี	กากถั่วเหลืองที่ไม่ผ่านการปรับปรุงคุณภาพ	กากถั่วเหลืองที่ย่อยด้วยเอนไซม์โบรมิเลนจากน้ำคั้นสับปะรด	กากถั่วเหลืองที่หมักด้วย <i>B. coagulans</i>	p-value
โปรตีน	47.82 ± 0.24^b	47.92 ± 0.11^b	51.67 ± 0.13^a	< 0.001
ไขมัน	4.12 ± 0.14	4.11 ± 0.11	4.01 ± 0.13	0.150
เยื่อใย	4.77 ± 0.044^b	4.95 ± 0.45^a	4.48 ± 0.26^c	0.020
เถ้า	5.45 ± 0.08^c	6.45 ± 0.09^a	5.69 ± 0.05^b	< 0.001
ความชื้น	10.71 ± 0.56	10.82 ± 0.89	11.01 ± 0.94	0.083
Trypsin Inhibitor	4.44 ± 2.11^a	4.12 ± 3.95^b	1.39 ± 1.12^c	< 0.001

องค์ประกอบทางเคมี	กากถั่วเหลืองที่ไม่ผ่านการปรับปรุงคุณภาพ	กากถั่วเหลืองที่ย่อยด้วยเอนไซม์โบรมิเลนจากน้ำคั้นสับปะรด	กากถั่วเหลืองที่หมักด้วย <i>B. coagulans</i>	p-value
(mg/g dry basis)				
ปริมาณกรดอะมิโน				
กรดอะมิโนที่จำเป็น (กรัม/100 กรัม)				
Histidine	1.17	1.25	1.27	-
Isoleucine	1.99	2.11	2.22	-
Leucine	3.41	3.59	3.73	-
Lysine	2.27	2.48	2.42	-
Methionine	0.61	0.65	0.67	-
Phenylalanine	2.31	2.45	2.55	-
Threonine	1.86	1.95	2.05	-
Valine	1.90	2.00	2.08	-
Sum EAA	15.52	16.48	16.99	-
กรดอะมิโนที่ไม่จำเป็น (กรัม/100 กรัม)				
Alanine	2.03	2.09	2.18	-
Aspartic acid	5.09	5.44	5.64	-
Cystine	0.68	0.70	0.74	-
Glutamic Acid	7.18	7.67	7.66	-
Glycine	2.02	2.10	2.19	-
Proline	2.25	2.39	2.48	-
Serine	2.44	2.59	2.67	-
Tyrosine	1.49	1.62	1.61	-
Methionine + Cystine	1.29	1.35	1.41	-
Sum NEAA	23.18	24.6	25.17	-
Total amino acid	39.99	42.43	43.57	-

หมายเหตุ: ค่าที่แสดงคือค่าเฉลี่ย $\pm$ ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (SD) และค่าเฉลี่ยในแนวนอนที่กำกับด้วยตัวอักษรที่ต่างกันมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

2. คุณสมบัติในการเป็นสารต้านอนุมูลอิสระในกากถั่วเหลืองที่ผ่านการปรับปรุงคุณภาพ

การวิเคราะห์คุณสมบัติในการเป็นสารต้านอนุมูลอิสระของกากถั่วเหลืองหมักด้วย *B. coagulans* และกากถั่วเหลืองที่ย่อยด้วยเอนไซม์โบรมิเลนจากน้ำคั้นสับปะรด และกากถั่วเหลืองยังไม่ผ่านการปรับปรุงคุณภาพ โดยวิเคราะห์ Total phenolic content และ DPPH Assay ซึ่งมีผลการทดสอบดังนี้ การวิเคราะห์ปริมาณ Total phenolic content พบว่ากากถั่วเหลืองที่ย่อยด้วยเอนไซม์จากน้ำคั้นสับปะรด มีปริมาณ Total phenolic content สูงสุด คือ 157.75 ± 1.13 μg GAE/100g ซึ่งแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) กับกากถั่วเหลืองที่หมักด้วย *B. coagulans* โดยมีค่า 104.16 ± 0.99 μg GAE /100g และในกากถั่วเหลืองไม่ผ่านการปรับปรุงคุณภาพ มีค่าต่ำสุดคือมีค่า 73.50 ± 2.63 μg GAE /100g (ตารางที่ 2)

ส่วนฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี DPPH Assay ให้ผลไปในทิศทางเดียวกันกับค่า Total phenolic content ที่พบว่า ค่าความเข้มข้นของสารตัวอย่างที่สามารถยับยั้งอนุมูลอิสระได้ 50 เปอร์เซ็นต์ (Inhibitory Concentration: IC50) ด้วยวิธี DPPH Assay มีค่าสูงที่สุดในกากถั่วเหลืองที่ผ่านการย่อยด้วยเอนไซม์จากน้ำคั้นสับปะรด คือมีค่าเท่ากับ 34.1 ± 2.69 เปอร์เซ็นต์ และแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับทุกชุดทดลองอื่น ($p < 0.05$) รองลงมาคือกากถั่วเหลืองที่ผ่านการหมักด้วย *B. coagulans* ด้วยวิธีหมักแบบแห้งบนอาหารแข็งโดยมีค่าการยับยั้งที่ 28.9 เปอร์เซ็นต์ ส่วนในกากถั่วเหลืองที่ไม่ผ่านการปรับปรุงคุณภาพมีค่าการยับยั้งที่ 17.7 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ (ตารางที่ 2)

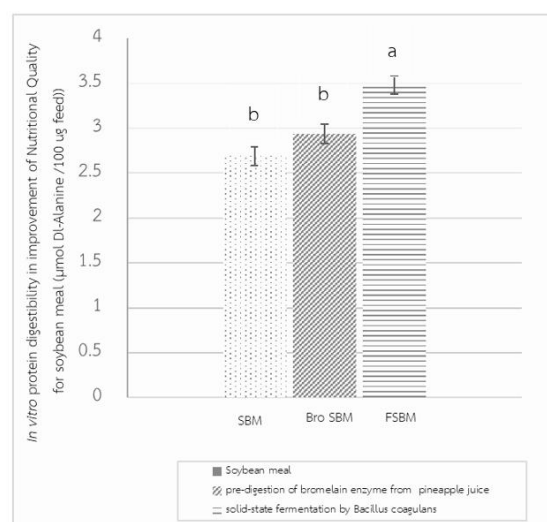
ตารางที่ 2 คุณสมบัติในการเป็นสารต้านอนุมูลอิสระของกากถั่วเหลืองที่ปรับปรุงคุณภาพในรูปแบบต่าง ๆ

คุณสมบัติในการเป็น สารต้านอนุมูลอิสระ	กากถั่วเหลืองที่ไม่ ผ่านการปรับปรุง คุณภาพ	กากถั่วเหลืองที่ย่อยด้วย โบรมิเลนจากน้ำคั้นสับปะรด	กากถั่วเหลืองที่หมัก ด้วย <i>B. coagulans</i>	P-value
Total phenolic content (μg GAE/100g)	73.50 ± 2.63^a	157.75 ± 1.13^c	104.16 ± 0.99^b	<0.001
DPPH Assay (%)	17.75 ± 0.23^a	34.11 ± 2.69^c	28.90 ± 2.98^b	<0.001

หมายเหตุ: ค่าที่แสดงคือค่าเฉลี่ย $\pm$ ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (SD) และค่าเฉลี่ยในแนวนอนที่กำกับด้วยตัวอักษรที่ต่างกัน มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

3. ประสิทธิภาพการย่อยโปรตีนในกากถั่วเหลืองที่ผ่านการปรับปรุงคุณภาพ

การศึกษาประสิทธิภาพการย่อยโปรตีนของกากถั่วเหลืองผ่านการปรับปรุงคุณภาพทั้ง 2 วิธี พบว่า กากถั่วเหลืองที่ผ่านการหมักด้วย *B. coagulans* มีปริมาณกรดอะมิโนอิสระจากกระบวนการย่อยสูงสุดมีค่า 3.48 ± 1.85 μmol DL-Alanine equivalent feed per Trypsin activity และมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับชุดทดลองอื่น ($p < 0.05$) รองลงมาคือ กากถั่วเหลืองที่ผ่านการย่อยด้วยเอนไซม์โบรมิเลนน้ำคั้นจากสับปะรดมีค่า 2.94 ± 1.85 μmol DL-Alanine equivalent feed per Trypsin activity ซึ่งมีค่าเฉลี่ยไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) กับกากถั่วเหลืองที่ไม่ผ่านการปรับปรุงคุณภาพที่มีค่าเท่ากับ 2.69 ± 1.83 μmol DL-Alanine equivalent feed per Trypsin activity (รูปที่ 2)



รูปที่ 2 ประสิทธิภาพการย่อยโปรตีนของกากถั่วเหลืองที่ผ่านการปรับปรุงคุณภาพด้วยรูปแบบต่าง ๆ

การอภิปรายผล

กากถั่วเหลืองเป็นวัตถุดิบอาหารสัตว์ที่ได้มาจากขั้นตอนการสกัดเอาน้ำมันออกจากเมล็ด ซึ่งปัจจุบันเป็นแหล่งโปรตีนจากพืชที่สำคัญ เนื่องจากมีปริมาณโปรตีนที่สูง และมีกำลังผลิตที่สามารถผลิตได้ทั้งปี มีผลผลิตเฉลี่ยที่ประมาณ 350 ล้านตันต่อปี ในปี ค.ศ. 2019-2021 และคาดการณ์ว่าจะมีผลผลิตสูงถึง 411 ล้านตันในปี ค.ศ. 2031 โดยประเทศที่มีศักยภาพการผลิตอย่างต่อเนื่องและสูงสุดคือประเทศสหรัฐอเมริกา (OECD/FAO, 2021) ปัจจุบันการนำกากถั่วเหลืองมาปรับปรุงคุณภาพด้วยวิธีการต่าง ๆ โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อให้มีคุณภาพมากขึ้น เช่น การนำจุลินทรีย์ชนิดต่าง ๆ มาเพื่อย่อยหรือหมักด้วยวิธีต่าง ๆ เช่น ใช้เชื้อรา *Aspergillus oryzae* (Kim et al., 2009) เชื้อแบคทีเรีย *Bacillus subtilis* (Shiu et al., 2015) และ *Lactobacillus plantarum* (Wang et al., 2016) ยีสต์ *Saccharomyces cerevisiae* (Sharawy et al., 2016) หรือการย่อยด้วยเอนไซม์จากผลไม้ เช่น เอนไซม์โบรมิเลนจากสับปะรด (ทรงทรัพย์ และคณะ, 2561) และเอนไซม์ปาเปนจากมะละกอ (Hamid et al., 2022) เพื่อการปรับปรุงคุณภาพของกากถั่วเหลืองเพื่อให้ใช้ประโยชน์และมีประสิทธิภาพสูงสุด จากผลการทดลองด้วยวิธีการปรับปรุงคุณภาพกากถั่วเหลืองด้วย 2 วิธี คือการปรับปรุงคุณภาพโดยใช้แบคทีเรียชนิด *Bacillus coagulans* และการย่อยด้วยเอนไซม์โบรมิเลน (Pre-digestion) จากน้ำคั้นสับปะรด พบว่า การหมักกากถั่วเหลืองด้วย *B. coagulans* ส่งผลทำให้ปริมาณโปรตีนเพิ่มขึ้นสูงสุดจากเดิมเท่ากับ 47.82 เปอร์เซ็นต์ เป็น 51.67 เปอร์เซ็นต์ เมื่อเทียบกับกากถั่วเหลืองที่ผ่านการย่อยด้วยเอนไซม์น้ำคั้นสับปะรด โดยมีปริมาณโปรตีนเพิ่มขึ้นคือ 47.92 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของ Chi and Cho (2016) ซึ่งได้ทดลองการหมักกากถั่วเหลืองด้วยจุลินทรีย์ 4 ชนิด คือ *L. acidophilus*, *B. amyloliquefaciens*, *L. plantarum* และ *S. cerevisiae* ด้วยวิธีหมักบนอาหารแห้งที่ความชื้นที่ 45 เปอร์เซ็นต์ อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24-48 ชั่วโมง ใน Humidity test chamber ซึ่งผลการทดลอง พบว่า กากถั่วเหลืองที่ผ่านการหมักด้วยจุลินทรีย์มีปริมาณโปรตีนที่สูงขึ้นทุกชุดการทดลองอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) โดยการหมักกากถั่วเหลืองด้วย *B. amyloliquefaciens* มีปริมาณโปรตีนเพิ่มขึ้นสูงสุดที่ 11.80 เปอร์เซ็นต์ รองลงมาคือกากถั่วเหลืองที่หมักด้วยยีสต์ *S. cerevisiae* ซึ่งเพิ่มขึ้น 10.31 เปอร์เซ็นต์ ส่วนกากถั่วเหลืองที่หมักด้วยแบคทีเรีย *L. plantarum* และ *L. acidophilus* มีโปรตีนเพิ่มขึ้น 3.51 และ 1.74 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ และมีผลการทดลองที่เป็นไปในทิศทางเดียวกันกับการศึกษาของ Cheng et al. (2017) ที่ได้ศึกษาวิธีการเพิ่มประสิทธิภาพของกากถั่วเหลืองโดยการหมักด้วย *B. subtilis* ที่แยกได้จากถั่วเน่าญี่ปุ่น (Natto) ที่เป็นอาหารประจำชาติญี่ปุ่น โดยใช้การหมักด้วยวิธีหมักบนอาหารแห้ง ใช้ความชื้นในการหมักที่ 50 เปอร์เซ็นต์ อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 72 ชั่วโมง ซึ่งผลการทดลอง พบว่า กากถั่วเหลืองที่ผ่านการหมักดังกล่าวมีระดับโปรตีนเพิ่มขึ้น 19 เปอร์เซ็นต์ มีปริมาณกรดอะมิโนอิสระเพิ่มขึ้น 374.9 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งให้ผลการทดลองที่เป็นไปในทิศทางเดียวกันกับการรายงานของ Chen et al. (2013), Li et al. (2020) และ Mukherjee et al. (2016) ที่ได้ศึกษาข้อมูลการเพิ่มคุณค่าทางโภชนาการของกากถั่วเหลืองด้วยวิธีต่าง ๆ ซึ่งได้รายงานว่าสาเหตุที่ปริมาณโปรตีนจากกากถั่วเหลืองหลังการหมักมีโปรตีนสูงขึ้น มีสาเหตุมาจากการเปลี่ยนแปลงทางชีวเคมีของกิจกรรมการหมักของกิจกรรมการทำงานของเอนไซม์ Alkaline protease จากจุลินทรีย์ที่ปล่อยออกมาซึ่งเป็นกระบวนการทางชีวเคมีในระบบการย่อยภายนอกเซลล์ (Extracellular digestion) และจำนวนเซลล์ที่เพิ่มขึ้นของจุลินทรีย์ จากการเจริญเติบโตของแบคทีเรียในอาหารหมัก

ชนิดและปริมาณของกรดอะมิโนในกากถั่วเหลืองที่ผ่านการปรับปรุงคุณภาพทั้ง 2 วิธี พบว่า กากถั่วเหลืองที่ผ่านการย่อยด้วยเอนไซม์จากน้ำคั้นสับปะรด มีปริมาณกรดอะมิโนรวมเพิ่มมากขึ้น 6.85 เปอร์เซ็นต์ และกากถั่วเหลืองที่หมักด้วย *B. coagulans* มีปริมาณกรดอะมิโนรวมเพิ่มมากถึง 9.11 เปอร์เซ็นต์ เอนไซม์โบรมิเลนจากน้ำคั้นสับปะรด และเอนไซม์โปรติเอสจากแบคทีเรีย *B. coagulans* จะทำหน้าย่อยโดยตัดพันธะเปปไทด์ในโมเลกุลของโปรตีนทำให้เกิดเปปไทด์สายสั้นและอะมิโนอิสระเพิ่มสูงขึ้น ซึ่งผลการศึกษาเป็นไปในทิศทางเดียวกันกับการทดลองของนักวิจัยหลายท่าน ได้แก่ การศึกษาของ วราพันธุ์ และคณะ (2547) ที่ทำการทดสอบการย่อยกากถั่วเหลืองด้วยน้ำคั้นจากสับปะรดแล้วพบว่า ขนาดของโปรตีนของกากถั่วเหลืองที่ผ่านการย่อยด้วยน้ำคั้นจากสับปะรด มีขนาดที่เล็กลงจากการทดสอบแบบ SDS-PAGE ที่พบว่า ปริมาณโปรตีน

ขนาด 30 kDa มีปริมาณลดลงหลังผ่านกระบวนการย่อย และในทางกลับกันปริมาณโปรตีนขนาด 15 kDa มีปริมาณเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ และจากการรายงานของ Mukherjee et al. (2016) และ Dai et al. (2017) พบว่า การหมักกากถั่วเหลืองด้วย *B. subtilis* พบว่า ปริมาณกรดอะมิโนรวมมีค่าสูงขึ้นเล็กน้อย แต่อย่างไรก็ตามเมื่อพิจารณากรดอะมิโนที่จำเป็นต่อการเจริญเติบโตของปลา พบว่า มีแนวโน้มเช่นเดียวกับการทดลองครั้งนี้ โดยกรดอะมิโนที่มีปริมาณเพิ่มขึ้นคือ Leucine, Methionine, Threonine และ Phenylalanine ซึ่งการเพิ่มขึ้นของปริมาณกรดอะมิโนดังกล่าวเกิดจากขบวนการย่อยและการเจริญเติบโตของแบคทีเรียโดยการหลั่งเอนไซม์ Alkaline protease ที่เป็นเอนไซม์ในกิจกรรมการเจริญเติบโตของแบคทีเรียในสกุล *Bacillus* sp.

นอกจากนั้นแล้วการหมักกากถั่วเหลืองด้วย *B. coagulans* ส่งผลทำให้สารต้านอนุมูลอิสระ โดยเฉพาะอย่างยิ่งสารยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ทริปซิน (Trypsin inhibitor) ที่ขัดขวางการทำงานของเอนไซม์ทริปซินซึ่งเกี่ยวข้องกับระบบการย่อยอาหารโดยตรงจากวิธีการปรับปรุงคุณภาพ ในการศึกษานี้ พบว่า กากถั่วเหลืองที่ยังไม่ผ่านการปรับปรุงคุณภาพมีปริมาณ Trypsin inhibitor สูงสุด คือ 4.44 ± 2.11 มิลลิกรัมต่อกรัม เมื่อกากถั่วเหลืองผ่านการปรับปรุงคุณภาพด้วยวิธีการย่อยด้วยเอนไซม์โบรมิเลนจากน้ำคั้นสับปะรดแล้ว พบว่า มีปริมาณ Trypsin inhibitor ลดลงโดยมีค่าเท่ากับ 4.12 ± 3.95 มิลลิกรัมต่อกรัม ส่วนการหมักกากถั่วเหลืองด้วย *B. coagulans* พบว่า มีปริมาณ Trypsin inhibitor ลดลงสูงที่สุดคือเท่ากับ 1.39 ± 1.12 มิลลิกรัมต่อกรัม โดยเมื่อเทียบเป็นร้อยละแล้ว พบว่า วิธีการย่อยกากถั่วเหลืองด้วยเอนไซม์โบรมิเลนจากน้ำคั้นสับปะรดสามารถลด Trypsin inhibitor ได้ 7.21 เปอร์เซ็นต์ ส่วนการหมักกากถั่วเหลืองด้วย *B. coagulans* สามารถลด Trypsin inhibitor ได้ถึง 68.69 เปอร์เซ็นต์ โดยสาเหตุที่ปริมาณ Trypsin inhibitor ลดลง เนื่องจากเป็นกระบวนการเกี่ยวเนื่องกับขบวนการย่อยทั้งจากเอนไซม์โบรมิเลน และเอนไซม์โปรตีเอสจากการหมักด้วย *B. coagulans* เป็นเอนไซม์ย่อยโปรตีนที่มีความเข้มข้นสูง ซึ่งสามารถตัดโครงสร้างของ Trypsin inhibitor ที่มีโครงสร้างเป็นโปรตีนทำให้เสียสภาพและไม่สามารถทำงานได้ (Phengnuam and Suntornsuk, 2013)

ผลการวิเคราะห์คุณสมบัติในการเป็นสารต้านอนุมูลอิสระของกากถั่วเหลืองที่ผ่านการปรับปรุงคุณภาพด้วยวิธีต่าง ๆ พบว่า ปริมาณ Total phenolic content ในกากถั่วเหลืองหมักด้วย *B. coagulans* มีค่า 104.16 ± 0.99 mg GAE/100g โดยมีค่าสูงกว่ากากถั่วเหลืองที่ไม่ผ่านกระบวนการปรับปรุงคุณภาพ ซึ่งมีค่า Total phenolic content 73.50 ± 2.63 µg GAE/100g โดยสาเหตุที่ทำให้กากถั่วเหลืองที่ผ่านการหมักมี Total phenolic content ค่าสูงขึ้นมาจากขบวนการย่อยของแบคทีเรียทำให้โครงสร้างต่าง ๆ ในวัตถุดิบที่ย่อยเล็กลง และทำลายโครงสร้างที่เป็นผนังเซลล์พืช ส่งผลให้มีการปลดปล่อย Bioactive compound ที่ถูกห่อหุ้มโดยผนังเซลล์พืชได้ปลดปล่อยออกมา (Gao et al., 2013; Balli et al., 2021) และกากถั่วเหลืองที่ผ่านการย่อยด้วยเอนไซม์โบรมิเลนจากน้ำคั้นสับปะรด มีค่า Total phenolic content สูงที่สุดคือ 157.75 ± 1.13 mg GAE/100g โดยสาเหตุที่มีค่าสูงนั้นอาจมาจากปริมาณ Total phenolic content ที่อยู่ในน้ำคั้นสับปะรดปะปนมาระหว่างการย่อย ทำให้มีค่าสูง ส่วนคุณสมบัติการเป็นสารต้านอนุมูลอิสระจากการวิเคราะห์ด้วยวิธีการ DPPH Assay เป็นวิธีที่นิยมใช้เบื้องต้นในการทดสอบฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระจากธรรมชาติ ยกเว้นสารกลุ่มแคโรทีนอยด์ วิธีการ DPPH เป็นวิธีที่มีความคมชัดไม่ไวต่อปฏิกิริยาเหมือนอนุมูลที่เกิดในเซลล์ร่างกายมนุษย์ จากผลการทดสอบ พบว่า กากถั่วเหลืองที่ผ่านการย่อยด้วยเอนไซม์โบรมิเลนจากน้ำคั้นสับปะรดมีการยับยั้งสูงสุดคือ 34.1 เปอร์เซ็นต์ ส่วนกากถั่วเหลืองที่หมักด้วย *B. coagulans* มีค่า 28.9 เปอร์เซ็นต์ และกากถั่วเหลืองปกติมีค่า 17.7 เปอร์เซ็นต์ และค่า ABTS assay พบว่า กากถั่วเหลืองที่ผ่านการย่อยด้วยเอนไซม์โบรมิเลนจากน้ำคั้นสับปะรดมีค่า IC50 เท่ากับ 0.36 ± 0.009 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร และกากถั่วเหลืองที่หมักด้วย *B. coagulans* มีค่า IC50 เท่ากับ 0.39 ± 0.009 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร และกากถั่วเหลืองปกติมีค่า IC50 เท่ากับ 0.48 ± 0.010 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร โดยผลการทดลองให้ผลไปในทิศทางเดียวกันกับนักวิจัยหลายท่าน เช่น Gao et al. (2013) ที่ได้ศึกษาการเพิ่มฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระในกากถั่วเหลือง โดยการหมักด้วยแบคทีเรียชนิด *Lactobacillus brevis* และเชื้อรา *Aspergillus oryzae* ด้วยวิธีหมักบนอาหารแห้ง และ Li et al. (2020) ที่ได้ศึกษาผลของการหมักแบบของแข็งโดยใช้ *Lactobacillus casei* ต่อคุณค่าทางโภชนาการ ปริมาณไอโซฟลาโวน ปริมาณกรดฟีนอลิก และฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ

ของแป้งหัวเหลือง ซึ่งพบว่า สามารถเพิ่มปริมาณไอโซฟลาโวน ปริมาณกรดฟีนอลิก ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระสูงขึ้นจากกระบวนการหมัก

ในส่วนของคุณภาพการย่อยได้โปรตีน (In vitro protein digestibility) ของกากหัวเหลืองที่ผ่านการปรับปรุงคุณภาพทั้ง 2 วิธี โดยทำการย่อยกากหัวเหลืองและจำลองการย่อยจากเอนไซม์สกัดหยาบจากปลาน้ำหนักเฉลี่ย 35 กรัม/ตัว และทำการวัดกรดอะมิโนอิสระ โดยเทียบกับ DL-alanine จากผลการทดลอง พบว่า กากหัวเหลืองที่หมักด้วย *B. coagulans* มีค่าประสิทธิภาพการย่อยได้ของโปรตีนสูงสุดโดยมีปริมาณกรดอะมิโนอิสระ $3.48 \pm 1.85 \mu\text{mol DL-alanine}/100 \mu\text{g feed}$ ส่วนกากหัวเหลืองที่ผ่านการย่อยด้วยเอนไซม์โบรมิเลนจากน้ำคั้นสับประรดมีปริมาณกรดอะมิโนอิสระ $2.94 \pm 1.85 \mu\text{mol DL-alanine} /100 \mu\text{g feed}$ และกากหัวเหลืองที่ไม่ผ่านการปรับปรุงคุณภาพ ค่าปริมาณกรดอะมิโนอิสระ $2.69 \pm 1.83 \mu\text{mol DL-alanine} /100 \mu\text{g feed}$ โดยเมื่อพิจารณาแล้ว พบว่า กากหัวเหลืองที่หมักด้วย *B. coagulans* มีประสิทธิภาพการย่อยได้โปรตีนเพิ่มขึ้น 26.39 เปอร์เซ็นต์ ส่วนการปรับปรุงคุณภาพโดยการย่อยด้วยเอนไซม์โบรมิเลนจากน้ำคั้นสับประรด มีประสิทธิภาพการย่อยได้โปรตีนเพิ่มขึ้น 9.29 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งการปรับปรุงคุณภาพทั้ง 2 วิธี เป็นการปรับปรุงคุณภาพทำให้เกิดการเปลี่ยนรูปจากโปรตีนเป็นเปปไทด์สายสั้น และกรดอะมิโนอิสระ นอกจากนี้ยังเกิดการสลายพันธะที่ยึดโครงสร้างโปรตีนระดับต่าง ๆ ทั้งโครงสร้างปฐมภูมิ ทติยภูมิ ตติยภูมิ และจตุรภูมิ ส่งผลให้โครงสร้างที่ซับซ้อนถูกทำลาย (Denaturation) โปรตีนแตกตัวเป็นหน่วยย่อยขนาดเล็กลง และเกิดการคลายตัวของโครงสร้าง ทำให้เอนไซม์ในระบบย่อยอาหารของปลาสามารถเข้าถึงและย่อยโปรตีนได้ดียิ่งขึ้น (Mukherjee et al., 2016; Wang et al., 2016) ซึ่งให้ผลการศึกษาคล้ายคลึงกับ Shiu et al. (2015) ที่รายงานว่า การใช้กากหัวเหลืองหมักด้วย *B. subtilis* E20 เพื่อทดแทนปลาป่นในสูตรอาหารเลี้ยงปลากะพงแดง หลังจากผ่านการปรับปรุงคุณภาพโดยการหมักพบว่า มีกรดอะมิโนอิสระมากขึ้น 21.27 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งจะส่งผลต่อการดูดซึมของปลา โดยวิธีการดังกล่าวเป็นวิธีที่สามารถประเมินและคาดการณ์การเจริญเติบโตล่วงหน้าได้จากความสามารถในการย่อยอาหารและการใช้ประโยชน์ได้จากสารอาหารได้อย่างมีประสิทธิภาพ (บัณฑิต และศิริภาวี, 2554; Rungruangsak-Torrissen et al., 2006)

บทสรุป

จากการศึกษาการปรับปรุงคุณภาพกากหัวเหลืองด้วยวิธีหมักแบบแห้งบนอาหารแข็ง (Solid state fermentation) โดยใช้เชื้อ *B. coagulans* และวิธีการย่อยด้วยเอนไซม์โบรมิเลนจากน้ำคั้นสับประรด สามารถสรุปได้ว่าคุณภาพของกากหัวเหลืองจากการหมักด้วยเชื้อ *B. coagulans* มีคุณภาพที่ดี โดยพิจารณาจากปริมาณโปรตีน และปริมาณกรดอะมิโนที่เพิ่มขึ้น ปริมาณสารต้านอนุมูลอิสระที่ลดลง โดยเฉพาะอย่างยิ่งสารยังยั้งการทำงานของเอนไซม์ทริปซิน มีคุณสมบัติในการเป็นสารต้านอนุมูลอิสระและประสิทธิภาพการย่อยได้ของโปรตีน (In vitro digestibility) ที่เพิ่มขึ้น ดังนั้นกากหัวเหลืองที่ผ่านการหมักด้วยเชื้อ *B. coagulans* สามารถใช้แทนกากหัวเหลืองที่ไม่ได้ผ่านการปรับปรุงคุณภาพได้อย่างมีประสิทธิภาพ ทั้งในด้านการใช้ประโยชน์จากสารอาหารและการเป็นแหล่งโปรตีนจากพืชในวัตถุดิบอาหารปลานิล ซึ่งมีศักยภาพในการลดการใช้ปลาป่นในสูตรอาหารปลาได้ในอนาคต

เอกสารอ้างอิง

ณัฐธินัน เอื้อศิลป์ และช่อพกา ดวงมณี. (2564). ต้นทุนและผลตอบแทนของการเพาะเลี้ยงปลานิลในกระชังในแม่น้ำโขง (จังหวัดหนองคาย) ระหว่างปีการผลิต 2562. วารสารบริหารธุรกิจเศรษฐศาสตร์และการสื่อสาร. 16(3): 144-162.

- ทรงทรัพย์ อรุณกมล, นราวุธ ธารพันธ์คำ และนพรัตน์ พัทธินัย. (2561). ผลของการใช้กากถั่วเหลืองที่หย่อยด้วยน้ำคั้นจากสับปะรดในสูตรอาหารปลานิลต่อการเจริญเติบโต ความทนทานต่อสภาพเครียดและเชื้อก่อโรค. วารสารแก่นเกษตร. 42 (ฉบับพิเศษ): 1011-1018.
- บัณฑิต ยวงสร้อย และศิริภาวี เจริญวัฒนศักดิ์. (2554). การใช้ประโยชน์จากใบมะรุมต่อการเจริญเติบโต และประสิทธิภาพการย่อยโปรตีนของปลานิล. ใน การประชุมทางวิชาการของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ครั้งที่ 49: สาขาประมง. 1-4 กุมภาพันธ์ 2554. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. กรุงเทพมหานคร. 317-326.
- วรพันธุ์ จินตณวิชัย, อุทัย คันโธ, สุกัญญา จิตตพรพงษ์ และปณทริกา หะรินสุต. (2547). การศึกษาปริมาณเอนไซม์โบรมิเลน องค์ประกอบทางเคมีจากน้ำคั้นสับปะรดและการนำไปใช้ประโยชน์ย่อยโปรตีนในกากถั่วเหลือง. ใน การประชุมทางวิชาการของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ครั้งที่ 42: สาขาสัตว สาขาสัตวแพทยศาสตร์. 3-6 กุมภาพันธ์ 2547. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. กรุงเทพมหานคร. 26-32.
- สิทธิชัย สะทะโชติ, เกตุณัฐ ศรีโพธิ์โรจน์, อรพินท์ จินตสถาพร และศรีน้อย ชุ่มคำ. (2563). ต้นทุนผลตอบแทนการเลี้ยงปลานิล (*Oreochromis niloticus*) ในจังหวัดสกลนคร. วารสารแก่นเกษตร. 48(4): 727-732.
- สุธีรา มณีฉาย และประสพอร รินทอง. (2559). ปริมาณ สารประกอบฟีนอลิกและฟลาโวนอยด์ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระและฤทธิ์ยับยั้งเอนไซม์ไทโรซิเนสของสารสกัดเมทานอลจากดอกถั่วแระและดอกส้มป่อย. วารสารวิทยาศาสตร์มหาวิทยาลัยขอนแก่น. 44(1): 142-152.
- AOAC (Association of Official Analytical Chemists). (1990). Official methods of analysis. Washington D.C.
- Balli D., Cecchi L., Innocenti M., Bellumori M. and Mulinacci N. (2021). Food by-products valorisation: Grape pomace and olive pomace as sources of phenolic compounds and fiber for enrichment of tagliatelle pasta. Food Chemistry. 355: 129642-129642.
- Chen L., Madl R.L. and Vadlani P.V. (2013). Nutritional enhancement of soy meal via *Aspergillus oryzae* solid-state fermentation. Cereal Chemistry. 90(6): 529-534.
- Cheng A.C., Lin H.L., Shiu Y.L., Tyan Y.C. and Liu C.H. (2017). Isolation and characterization of antimicrobial peptides derived from *Bacillus subtilis* E20-fermented soybean meal and its use for preventing *Vibrio* infection in shrimp aquaculture. Fish and Shellfish Immunology. 67: 270-279.
- Chi C.H. and Cho S.J. (2016). Improvement of bioactivity of soybean meal by solid-state fermentation with *Bacillus amyloliquefaciens* versus *LactoBacillus* spp. and *Saccharomyces cerevisiae*. LWT-Food Science and Technology. 68: 619-625.
- Dai C., Ma H., He R., Huang L., Zhu S., Ding Q. and Luo L. (2017). Improvement of nutritional value and bioactivity of soybean meal by solid-state fermentation with *Bacillus subtilis*. LWT-Food Science and Technology. 86: 1-7.
- Ding Z., Zhang Y., Ye J., Du Z. and Kong Y. (2015). An evaluation of replacing fish meal with fermented soybean meal in the diet of *Macrobrachium nipponense*: Growth, nonspecific immunity, and resistance to *Aeromonas hydrophila*. Fish and Shellfish Immunology. 44(1): 295-301.
- FAO. (2021). Fishery and aquaculture statistics. Global production by production source 1950-2019 (FishstatJ). Rome, Italy.
- FAO. (2022). The state of world fisheries and aquaculture 2022. Towards Blue Transformation. Rome, Italy.
- Gao Y.L., Wang C.S., Zhu Q.H. and Qian G.Y. (2013). Optimization of solid-state fermentation with *LactoBacillus brevis* and *Aspergillus oryzae* for trypsin inhibitor degradation in soybean meal. Journal of Integrative Agriculture. 12(5): 869-876.

- Hamid N.K.A., Somdare P.O., Harashid K.A.M., Othman N.A., Kari Z.A., Wei L.S. and Dawood M.A. (2022). Effect of papaya (*Carica papaya*) leaf extract as dietary growth promoter supplement in Red hybrid tilapia (*Oreochromis mossambicus* × *Oreochromis niloticus*) diet. Saudi Journal of Biological Sciences. 29(5): 3911-3917.
- Kim S.S., Galaz G.B., Pham M.A., Jang J.W., Oh D.H. and Yeo I.K. (2009). Effects of dietary supplementation of a meju, fermented soybean meal, and *Aspergillus oryzae* for juvenile parrot fish (*Oplegnathus fasciatus*). Asian-Australasian Journal of Animal Sciences. 22(6): 849-856.
- Kumar V., Rani A., Mittal P. and Shuaib M. (2019). Kunitz trypsin inhibitor in soybean: Contribution to total trypsin inhibitor activity as a function of genotype and fate during processing. Journal of Food Measurement and Characterization. 13(2): 1583-1590.
- Lee S.M., Azarm H.M. and Chang K.H. (2016). Effects of dietary inclusion of fermented soybean meal on growth, body composition, antioxidant enzyme activity and disease resistance of rockfish (*Sebastes schlegeli*). Aquaculture. 459: 110-116.
- Li S., Jin Z., Hu D., Yang W., Yan Y., Nie X., Lin J., Zhang Q., Gai D., Ji Y. and Chen X. (2020). Effect of solid-state fermentation with *LactoBacillus casei* on the nutritional value, isoflavones, phenolic acids and antioxidant activity of whole soybean flour. LWT-Food Science and Technology. 125: 1-8.
- Mukherjee R., Chakraborty R. and Dutta A. (2016). Role of fermentation in improving nutritional quality of soybean meal-a review. Asian-Australasian journal of Animal Sciences. 29(11): 1523.
- Murthy L.N., Phadke G.G., Jeyakumari A. and Vijayakumar S. (2023). Secondary raw material and low-cost fish for fish meal production and its implications in the animal feed industry. In Majumder R.K. and Balange A.K. Editor. Advances in Fish Processing Technologies. Apple Academic Press. FL. 183-200.
- OECD/FAO. (2021). OECD/FAO Agricultural Outlook 2023-2035. OECD Publishing: Paris
<https://doi.org/10.1787/08801ab7-en>.
- Phengnuam T. and Suntornsuk W. (2013). Detoxification and anti-nutrients reduction of *Jatropha curcas* seed cake by *Bacillus* fermentation. Journal of Bioscience and Bioengineering. 115(2): 168-172.
- Rungruangsak-Torrissen K., Moss R., Andresen L.H., Berg A. and Waagbø R. (2006). Different expressions of trypsin and chymotrypsin in relation to growth in Atlantic salmon (*Salmo salar* L.). Fish Physiology and Biochemistry. 32(1): 7-23.
- Sirikasemsuk K., Kittipanya-ngam P. and Rintachai N. (2023). Red tilapia (*Oreochromis niloticus*) farming in Thailand using a split-plot experiment design to improve feeding frequency and feed intake: weight gain and profit return. Journal of Survey in Fisheries Sciences. 10(25): 2009-2020.
- Sharawy Z., Goda A.M.S. and Hassaan M.S. 2016. Partial or total replacement of fish meal by solid state fermented soybean meal with *Saccharomyces cerevisiae* in diets for Indian prawn shrimp, *Fenneropenaeus indicus*, postlarvae. Animal Feed Science and Technology. 212: 90-99.

- Sharifi M., Ajodani F.H., Pahlevanlo A. and Hosseinienezhad M. (2021). The first report of bacteriocin production by the *Bacillus coagulans* IS2 and its antibacterial effects. Egyptian Journal of Veterinary Sciences. 52(2): 195-202.
- Shiu Y.L., Hsieh S.L., Guei W.C., Tsai Y.T., Chiu C.H. and Liu C.H. (2015). Using *Bacillus subtilis* E20 fermented soybean meal as replacement for fish meal in the diet of orange spotted grouper (*Epinephelus coioides*, Hamilton). Aquaculture Research. 46(6): 1403-1416.
- Wang L., Zhou H., He R., Xu W., Mai K. and He G. (2016). Effects of soybean meal fermentation by *Lactobacillus plantarum* P8 on growth, immune responses, and intestinal morphology in juvenile turbot (*Scophthalmus maximus* L.). Aquaculture. 464: 87-94.
- Yadav N. and Yadav V.K. (2003). *Bacillus coagulans*, a highly salt tolerant bacterium isolated from native soil of Rajasthan. Indian Journal of Microbiology. 43(4): 243-246.
- Zhang B., Zhang H., Yu Y., Zhang R., Wu Y., Yue M. and Yang C. (2021). Effects of *Bacillus coagulans* on growth performance, antioxidant capacity, immunity function, and gut health in broilers. Poultry Science. 100(6): 101168.
- Zhou F., Song W., Shao Q., Peng X., Xiao J. and Hua Y. (2011). Partial replacement of fish meal by fermented soybean meal in diets for black sea bream, juveniles. Journal of the World Aquaculture Society. 42(2): 184-197.

Received: September 28, 2024; Revised: December 6, 2024; Accepted: December 23, 2024

โรงเรือนเพาะเลี้ยงจิ้งหรีดระบบปิดโดยใช้เทคโนโลยีทางสถาปัตยกรรมเพื่อเพิ่มศักยภาพการผลิตจิ้งหรีดนอกฤดูกาลสำหรับวิสาหกิจชุมชนและผู้ประกอบการเชิงพาณิชย์จังหวัดสกลนคร
Closed-system house cricket using architectural technology for improving off-season cricket productivity for community enterprise and commercial entrepreneurs in Sakon Nakhon province

อาณัฐพงษ์ ภาระหัส¹ สิทธิรักษ์ แจ่มใส^{1*} กิตติวัฒน์ จีบแก้ว^{1*} กฤษฎา พรหมพินิจ¹ ภัทรารุณ ศรีคุ้มเก่า¹
ฟุ้งศรี ภัคดิสุวรรณ¹ จตุรงค์ ศรีทอง¹ ลลิตี ทับทิมทอง¹ และภาคภูมิ ซอหนองบัว²
Arnuttapong Parahas¹, Sittiruk Jamsai^{1*}, Kittiwath Jeebkaew^{1*}, Krisada Prompinit¹,
Pattarawut Srikomkao¹, Foongsri Pakdeesuwan¹, Jaturong Srithong¹,
Lalineee Tubtimthog¹ and Pakphum Sonongbua²

¹คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏสกลนคร จังหวัดสกลนคร

¹Faculty of Industrial Technology, Sakon Nakhon Rajabhat University, Sakon Nakhon province

²คณะเทคโนโลยีการเกษตร มหาวิทยาลัยราชภัฏสกลนคร จังหวัดสกลนคร

²Faculty of Agricultural Technology, Sakon Nakhon Rajabhat University, Sakon Nakhon province

*Corresponding Author E-mail Address : sittiruk2516@gmail.com and j_kittiwath@hotmail.com

บทคัดย่อ

การวิจัยครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อออกแบบและพัฒนาโรงเรือนเลี้ยงจิ้งหรีดระบบอัจฉริยะ โดยใช้หลักการออกแบบทางสถาปัตยกรรมเพื่อประหยัดพลังงาน สร้างสภาพที่เหมาะสมต่อการขยายพันธุ์ของจิ้งหรีด เพิ่มผลผลิตนอกฤดูกาล และให้ได้มาตรฐาน GAP ร่วมกับการพัฒนาระบบอินเทอร์เน็ตทุกสรรพสิ่ง (Internet of Things: IoT) เพื่อควบคุมอุณหภูมิในโรงเรือนอัจฉริยะ การออกแบบโรงเรือนเน้นการควบคุมสภาพแวดล้อมด้วยการติดตั้งเซนเซอร์วัดอุณหภูมิและความชื้น พัดลมดูดพัดลมเป่า ป้อนน้ำพ่นหมอก และระบบแสงสว่าง ผลการทดสอบแสดงให้เห็นว่าระบบสามารถควบคุมสภาพแวดล้อมในโรงเรือนและปรับตั้งค่าการทำงานผ่านหน้าจอควบคุมและโทรศัพท์มือถือได้ นอกจากนี้ยังช่วยในการรับรู้ข้อมูลเพื่อแก้ไขปัญหาได้อย่างรวดเร็ว กลุ่มเป้าหมายคือเกษตรกรผู้เพาะเลี้ยงจิ้งหรีดในตำบลนาแก้ว อำเภอโพธิ์นาแก้ว จังหวัดสกลนคร จากการทดลองเลี้ยงจิ้งหรีดในโรงเรือนต้นแบบ พบว่า ในช่วงฤดูร้อนอุณหภูมิภายในโรงเรือนจะสูงกว่าอุณหภูมิภายนอก ข้อมูลก่อนการติดตั้งระบบควบคุมอุณหภูมิ พบว่า อุณหภูมิต่ำสุดอยู่ที่ 22.13°C และสูงสุดที่ 42.92°C การควบคุมด้วยมือแสดงให้เห็นถึงช่วงเวลาทำงานของอุปกรณ์ต่าง ๆ ซึ่งแตกต่างจากการควบคุมด้วยระบบอัตโนมัติ โดยการควบคุมด้วยแอปพลิเคชัน Blynk สามารถควบคุมพัดลมและปั๊มพ่นละอองหมอกได้ดี การถ่ายทอดเทคโนโลยีให้กับกลุ่มเกษตรกรเน้นการประยุกต์ใช้เทคโนโลยีในการเลี้ยงจิ้งหรีด การใช้เครื่องมือทันสมัยในการควบคุมอุณหภูมิ เพิ่มประสิทธิภาพในการเลี้ยงจิ้งหรีด และแนะนำเรื่องการจัดการธุรกิจและการตลาดสินค้า การพัฒนานี้เชื่อมโยงกับแนวคิดการพัฒนาที่ยั่งยืน โดยสร้างชุมชนที่มีการแลกเปลี่ยนความรู้และสนับสนุนนวัตกรรมใหม่ ๆ เพื่อเพิ่มมูลค่าให้กับผลผลิตของกลุ่มเลี้ยงจิ้งหรีดในระยะยาว

คำสำคัญ: โรงเรือนอัจฉริยะ สถาปัตยกรรม สภาพอากาศ จิ้งหรีด อินเทอร์เน็ตทุกสรรพสิ่ง

Abstract

The objective of this research was to 1) design and develop an intelligent cricket house using architectural design principles to save energy, 2) create suitable conditions for the reproduction of crickets, 3) increase off-season production and 4) achieve GAP standards in conjunction with the development of the Internet of Things (IoT) system to control temperature in smart greenhouses. The design of the greenhouse emphasized controlling the environment by installing temperature and humidity sensors, suction fans, blowing fans, and misting water pumps. and lighting system. Test results showed that the system could control the greenhouse environment and adjust operating settings through the control screen and mobile phone. It also helped in recognizing information to solve problems quickly. The target group was farmers who breed crickets in Na Kaeo Subdistrict, Phon Na Kaeo District, Sakon Nakhon Province. From an experiment in raising crickets in a prototype greenhouse. It was found that during the summer, the temperature inside the greenhouse was higher than the temperature outside. Data prior to the installation of the temperature control system revealed a minimum temperature of 22.13°C and a maximum temperature of 42.92°C. Manual controls showed a different uptime for the equipment than automatic controls. By controlling it with the Blynk app, the fan and mist pump could be controlled well by the users. The results of technology transferred to farmer groups emphasized the application of technology in raising crickets. Using modern tools to control temperature, increase efficiency in raising crickets and provide advice on business management and product marketing. This development is linked to the concept of sustainable development by creating a community that exchanges knowledge and supports new innovations to add value to the products of the cricket farming group in the long run.

Keywords: Smart house, Architecture, Weather, Cricket, Internet of thing

บทนำ

ในปัจจุบัน เกษตรกรผู้เพาะเลี้ยงจิ้งหรีดในประเทศไทย โดยเฉพาะในพื้นที่ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ เช่น อำเภอนาแก จังหวัดสกลนคร เกษตรกรที่เพาะเลี้ยงจิ้งหรีดมักประสบปัญหาหลายประการที่ส่งผลกระทบต่อผลผลิตไม่เป็นไปตามที่คาดหวัง ซึ่งส่งผลให้ผลผลิตไม่สม่ำเสมอและไม่สามารถตอบสนองความต้องการของตลาดได้ ปัญหาหลักคือการจัดการโรงเรือนที่ไม่เหมาะสม ซึ่งทำให้เกิดการตายและเน่าเสียภายในบ่อเลี้ยง และการเลี้ยงในช่วงฤดูหนาวที่อุณหภูมิต่ำทำให้จิ้งหรีดเคลื่อนไหวและกินอาหารน้อยลง ส่งผลให้การเจริญเติบโตช้าลงและไม่สามารถเพิ่มจำนวนได้อย่างมีประสิทธิภาพ (อนุสรณ์, 2561; ชลดา, 2562) สภาพอากาศที่ไม่เอื้ออำนวยและการควบคุมสภาพแวดล้อมในโรงเรือนที่ยังไม่เหมาะสมทำให้ผลผลิตไม่สม่ำเสมอ โดยเฉพาะในฤดูหนาวที่อุณหภูมิลดลง ส่งผลให้มีอัตราการตายของจิ้งหรีดสูงขึ้น นอกจากนี้ปัญหาความไม่สม่ำเสมอของผลผลิตยังคงเป็นอุปสรรคที่สำคัญในการเพิ่มรายได้จากการเพาะเลี้ยงจิ้งหรีด ปัจจัยต่าง ๆ เช่น ความไม่แน่นอนในสภาพอากาศในแต่ละฤดูกาล อาจส่งผลให้การเก็บผลผลิตไม่ตรงตามฤดูกาล หรือในบางช่วงอาจมีปริมาณผลผลิตที่ลดลง เนื่องจากปัญหาด้านการจัดการอุณหภูมิในโรงเรือน การไม่สามารถควบคุมสภาพแวดล้อมให้เหมาะสมอาจทำให้เกิดการตายของจิ้งหรีดในปริมาณที่สูง และมีผลกระทบต่อการขยายผลผลิตในระยะยาว

การนำเทคโนโลยีสมัยใหม่มาใช้ในการจัดการระบบเพาะเลี้ยงจิ้งหรีดได้รับการศึกษาและพัฒนาอย่างต่อเนื่อง งานวิจัยจาก Ahmad et al. (2020) และ Liu et al. (2021) ได้เสนอแนวทางในการใช้ระบบอินเทอร์เน็ตทุกสรรพสิ่ง (Internet of Things: IoT) เพื่อควบคุมและตรวจสอบสภาพแวดล้อมภายในโรงเรือนอย่างมีประสิทธิภาพ ซึ่งสามารถแก้ไขปัญหาที่เกิดจากการควบคุมอุณหภูมิและความชื้นในโรงเรือน รวมถึงการลดการพึ่งพาแรงงานคนในการควบคุมสภาพแวดล้อมได้ ระบบ IoT ที่ใช้โมดูล DHT22 เป็นเซนเซอร์ตรวจจับอุณหภูมิและความชื้นในตัวเดียว เชื่อมต่อกับไมโครคอนโทรลเลอร์ เช่น Arduino และแพลตฟอร์ม IoT อย่าง Blynk ช่วยให้เกษตรกรสามารถควบคุมและตรวจสอบระบบการเพาะเลี้ยงจากระยะไกลผ่าน

โทรศัพท์มือถือได้ตลอดเวลา เทคโนโลยีนี้ยังช่วยให้การบันทึกข้อมูลและการวิเคราะห์สภาพแวดล้อมได้อย่างแม่นยำ โดยสามารถปรับค่าอุณหภูมิให้เหมาะสมกับความต้องการของจังหวัดในแต่ละช่วงเวลา การพัฒนาระบบ IoT ดังกล่าวไม่ได้ช่วยแค่เพียงเพิ่มผลผลิตและลดการตายของจังหวัดเท่านั้น แต่ยังช่วยให้การจัดการพลังงานในโรงเรือนมีประสิทธิภาพมากขึ้น โดยการควบคุมอุปกรณ์ที่ใช้พลังงาน เช่น พัดลมดูดอากาศ ปั๊มน้ำพ่นหมอก และระบบแสงสว่าง ที่ทำงานตามเงื่อนไขที่ตั้งไว้ นอกจากนี้ยังสามารถช่วยลดต้นทุนการผลิตได้อีกด้วย (Wang et al., 2020)

คณะผู้วิจัยเล็งเห็นความสำคัญในการนำหลักการออกแบบทางสถาปัตยกรรมเพื่อประหยัดพลังงานมาประยุกต์ใช้ในการพัฒนาโรงเรือนเพาะเลี้ยงจิ้งหรีดอัจฉริยะ พร้อมทั้งพัฒนาระบบการเพาะเลี้ยงจิ้งหรีดในโรงเรือนอัจฉริยะที่ใช้เทคโนโลยี IoT เพื่อแก้ไขปัญหาที่พบในการเลี้ยงจิ้งหรีดในพื้นที่ต่าง ๆ โดยเฉพาะในช่วงที่มีปัญหาอุณหภูมิไม่เหมาะสม ระบบที่นำเสนอจะใช้โมดูล DHT22 เป็นเซนเซอร์วัดค่าอุณหภูมิในโรงเรือน และไมโครคอนโทรลเลอร์ Arduino ที่ทำหน้าที่ประมวลผลข้อมูลและควบคุมการทำงานของอุปกรณ์ต่าง ๆ เช่น พัดลมดูดอากาศ ปั๊มน้ำพ่นหมอก และระบบแสงสว่าง ระบบจะสามารถทำงานได้ในโหมด 'Manual' ที่ให้ผู้ใช้ควบคุมด้วยตนเอง และโหมด 'Auto' ที่สามารถทำงานอัตโนมัติภายใต้เงื่อนไขที่ตั้งไว้ เช่น หากอุณหภูมิสูงเกินไป ระบบจะเปิดพัดลมดูดอากาศและปั๊มน้ำพ่นหมอกเพื่อทำให้สภาพแวดล้อมในโรงเรือนเหมาะสมกับการเพาะเลี้ยง โดยระบบทั้งหมดนี้เชื่อมต่อกับแพลตฟอร์ม Blynk ซึ่งสามารถควบคุมและตรวจสอบข้อมูลต่าง ๆ ผ่านโทรศัพท์มือถือได้ทุกที่ทุกเวลา นอกจากนี้ยังมีการบันทึกข้อมูลจากเซนเซอร์ลงใน Google Sheets ที่รองรับการจัดการข้อมูลเพื่อทำการวิเคราะห์ประสิทธิภาพของระบบและปรับปรุงการทำงานในอนาคต ข้อมูลจากระบบจะช่วยให้เกษตรกรสามารถติดตามสภาพแวดล้อมในโรงเรือนและตัดสินใจในการปรับปรุงการเลี้ยงจิ้งหรีดได้ทันเวลา โดยไม่ต้องพึ่งพาแรงงานคนในการควบคุมระบบ

วัสดุ อุปกรณ์ และวิธีการ

การเลี้ยงสัตว์จะประสบความสำเร็จหรือไม่นั้น การจัดการด้านโรงเรือนและอุปกรณ์ในการเลี้ยงถือเป็นปัจจัยสำคัญ โรงเรือนเพาะเลี้ยงเปรียบเสมือนที่พักพิงของสัตว์ หากจัดการโรงเรือนดี สัตว์จะสบาย ไม่เครียด และให้ผลผลิตสูง ในทางกลับกัน หากโรงเรือนไม่เหมาะสม สัตว์จะเครียด ผลผลิตลดลง หรืออาจเกิดโรค การสร้างโรงเรือนควรคำนึงถึงความเหมาะสมกับชนิดพันธุ์ เพศ และอายุของสัตว์ การเลือกพื้นที่สร้างโรงเรือนก็สำคัญเช่นกัน หากเลือกพื้นที่เหมาะสม ปัญหาต่าง ๆ จะลดลง ทำให้การเลี้ยงสัตว์ประสบความสำเร็จ โดยคณะผู้วิจัยได้อธิบายถึงวัสดุ อุปกรณ์ และวิธีการดำเนินการวิจัย ดังต่อไปนี้

1. โรงเรือนและอุปกรณ์สำหรับสัตว์

การจัดการด้านโรงเรือนและอุปกรณ์เป็นปัจจัยสำคัญในการเลี้ยงสัตว์ให้ประสบความสำเร็จ โรงเรือนเป็นที่พักพิงและหลบซ่อนของสัตว์ ซึ่งถ้าโรงเรือนได้รับการจัดการดี สัตว์จะอยู่อย่างสบาย ไม่เครียด และให้ผลผลิตสูง (อนุสรณ์, 2558; ชลดา, 2562) ในทางกลับกัน หากการจัดการโรงเรือนไม่ดี ไม่ถูกสุขลักษณะ สัตว์จะไม่สบายตัว เครียด ผลผลิตลดลง หรืออาจเกิดโรคได้ (บงกช และสุฤดี, 2550)

การสร้างโรงเรือนเพื่อเลี้ยงสัตว์ต้องพิจารณาลักษณะและรูปแบบของโรงเรือนให้เหมาะสมกับชนิด พันธุ์ เพศ และอายุของสัตว์เลี้ยง โรงเรือนต้องสร้างให้เหมาะสม คุ่มค่า ราคาถูก และประหยัดค่าใช้จ่าย สัตว์ต้องอยู่ได้อย่างสบาย โดยการพิจารณาพื้นที่ในการสร้างโรงเรือนเป็นสิ่งสำคัญ มีหลักการสร้างดังนี้ 1) ห่างไกลจากแหล่งชุมชน เพื่อป้องกันปัญหากลิ่นรบกวน และสะดวกในการควบคุมและป้องกันโรค 2) ควรเป็นที่ดอน น้ำท่วมไม่ถึง เพื่อป้องกันความเสียหายและสะดวกในการระบายถ่ายเทของเสีย 3) มีแหล่งน้ำอุดมสมบูรณ์ตลอดปี เพื่อใช้ในการกินและการทำความสะอาด 4) การคมนาคมสะดวก เพื่อสะดวกในการขนส่งอาหารและการซื้อขายผลผลิต แต่ไม่ควรอยู่ติดถนนใหญ่เพื่อป้องกันการแพร่ระบาดของโรค และ 5) สภาพแวดล้อมและภูมิอากาศเหมาะสม สถานที่ต้องเหมาะสมต่อการเลี้ยงสัตว์ชนิดนั้นๆ และไม่เป็นแหล่งของโรคระบาดมาก่อน

2. หลักการออกแบบอาคารอนุรักษ์พลังงาน

งานวิจัยนี้เกี่ยวกับการออกแบบอาคารเพื่อการใช้สอยที่มีการใช้พลังงานอย่างมีประสิทธิภาพ โดยพิจารณาถึงการใช้งานและประโยชน์ที่เกิดขึ้นจากทิศทางของอาคารและวัสดุที่เลือกใช้ โดยสรุปได้ดังนี้

การออกแบบรูปทรงที่เหลื่อมผืนผ้าของอาคารที่ทำให้ด้านสั้นหันไปทางทิศตะวันออกและตะวันตก เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการรับความร้อนจากแสงอาทิตย์เข้าสู่อาคารน้อยที่สุด เป็นส่วนที่สำคัญที่ทำให้อาคารมีการใช้พลังงานอย่างมีประสิทธิภาพ โดยมีการวางแผนพื้นที่ใช้สอยชั่วคราว เช่น บันไดและทางหนีไฟไว้ทางทิศตะวันออกและตะวันตก พื้นที่ใช้สอยหลักอยู่ทางทิศเหนือ และทิศใต้ถูกออกแบบให้เป็นระเบียงทางเดินแบบเปิดโล่ง เพื่อให้สร้างความสะดวกและเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมของผู้ใช้งานอาคาร

ในส่วนของกรอบอาคาร การออกแบบหลังคาที่มีความหนาแน่นสูงเพื่อป้องกันความร้อนจากแสงอาทิตย์ ด้วยการใช้หลังคา 2 ชั้นและการบุฉนวนอย่างดีในพื้นที่ภายใน ทั้งยังมีการวางแผนให้มีช่องว่างระหว่างชั้นเพื่อการระบายอากาศ และการใช้วัสดุผนังที่มีความจุความร้อนจำเพาะสูง เช่น อิฐบล็อกหรืออิฐมอญ เพื่อชะลอความร้อนไม่ให้เข้าอาคารได้มีการพิจารณาการเลือกใช้กระจกที่มีคุณสมบัติให้คลื่นรังสีอาทิตย์ที่ตามนุษย์มองเห็นผ่านได้แต่ไม่ยอมให้คลื่นรังสีความร้อนเข้าไป เช่น กระจก Low-e ที่ใช้เฉพาะทิศตะวันออก ตะวันตก และทิศใต้ ส่วนทิศเหนือใช้กระจกทั่วไปร่วมกับอุปกรณ์บังแดด เพื่อป้องกันรังสีตรงจากดวงอาทิตย์ (บริษัท เอ็นโซล จำกัด, 2554; รจเรศ, 2563; สุจิตรา, 2567)

การออกแบบช่องเปิดที่ติดตั้งตามทิศทางลมธรรมชาติ เพื่อให้ลมช่วยระบายความร้อนของอาคารตลอดปี และออกแบบให้มีความสูงเต็มพื้นที่ผนังเพื่อให้เกิดการระบายอากาศจากความแตกต่างของอุณหภูมิในขณะลมนิ่ง ทั้งนี้การออกแบบที่คำนึงถึงทิศทางและวัสดุที่เหมาะสมทั้งหลายนี้อาจเพิ่มประสิทธิภาพการใช้พลังงานและสร้างสภาพแวดล้อมที่อยู่อาศัยที่สบายและเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม (ชลดา, 2561)

3. สภาพแวดล้อมที่เหมาะสมต่อการขยายพันธุ์ของจิ้งหรีด

ศึกษาข้อมูลการอยู่อาศัยและรูปแบบการเลี้ยงจิ้งหรีดในรูปแบบต่าง ๆ เพื่อวิเคราะห์ข้อมูลที่ส่งผลต่อการขยายพันธุ์ อัตราการรอดชีวิต และการเจริญเติบโตของจิ้งหรีด การเลี้ยงจิ้งหรีดให้ประสบความสำเร็จและให้ผลผลิตสูงนั้น จำเป็นต้องมีสภาพแวดล้อมที่เหมาะสมหลายด้าน ได้แก่ อุณหภูมิ 25-35°C (วีรญา, 2565) เพื่อให้จิ้งหรีดออกหากินและวางไข่เต็มที่ พื้นที่เลี้ยงควรเป็นที่ดอน น้ำไม่ท่วมขัง มีร่มเงาและเงียบสงบ น้ำที่ใช้เลี้ยงต้องสะอาดปราศจากสิ่งปนเปื้อน และดินที่ใช้ในการวางไข่ควรเป็นดินร่วนปนทราย ไม่เหนียวจนเกินไป ซึ่งจะช่วยให้จิ้งหรีดเจริญเติบโตได้ดี มีอัตราการรอดสูง และเพิ่มผลผลิตอย่างมีประสิทธิภาพ

4. ระบบอินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่ง

ระบบอินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่ง (Internet of Things: IoT) หมายถึงการพัฒนาและขยายขีดความสามารถของอินเทอร์เน็ต โดยการเชื่อมโยงอุปกรณ์และวัตถุต่างๆ ในสภาพแวดล้อมให้สามารถสื่อสารและแลกเปลี่ยนข้อมูลกันได้ทุกที่ทุกเวลา การเชื่อมต่อดังกล่าวทำให้เกิดความสามารถในการสื่อสารระหว่าง “สิ่งของกับสิ่งของ” และ “มนุษย์กับสิ่งของ” ซึ่งส่งผลให้การสื่อสารและการให้บริการมีประสิทธิภาพและความซับซ้อนมากขึ้น แนวคิดนี้ได้รับการเสนอครั้งแรกในปี 1999 โดย Kevin Ashton

งานวิจัยนี้คณะผู้วิจัยเลือกใช้ระบบ IoT ในการพัฒนาโรงเรือนเพาะเลี้ยงจิ้งหรีดผสมผสานกับการออกแบบทางสถาปัตยกรรมหลัก เนื่องจากมีข้อดี คือ การเชื่อมต่อและการสื่อสารที่มีประสิทธิภาพ ทำให้เครื่องจักรและอุปกรณ์ต่าง ๆ สามารถเชื่อมต่อและทำงานร่วมกันได้อย่างมีประสิทธิภาพมากขึ้น ที่สำคัญคือ การเพิ่มประสิทธิภาพในการบริหารจัดการ และปฏิบัติงาน ซึ่งสามารถเพิ่มประสิทธิภาพกระบวนการและระบบอัตโนมัติได้เป็นอย่างดี นอกจากนี้ IoT ยังช่วยให้สามารถวิเคราะห์ข้อมูลและตัดสินใจได้อย่างถูกต้องมากขึ้นด้วยข้อมูลที่มีความแม่นยำสูง

5. วิธีการดำเนินงานวิจัย

คณะผู้วิจัยได้ดำเนินการตามรูปแบบของกิจกรรมและเก็บรวบรวมข้อมูลเพื่อวิเคราะห์ผลการวิจัย โดยมีกิจกรรมและขั้นตอนดังนี้ 1) เครื่องมือในการศึกษาวิจัย 2) การดำเนินการวิจัยตามแผนงาน 3) การพัฒนาระบบควบคุมค่าอุณหภูมิ

5.1 เครื่องมือในการดำเนินกิจกรรม

งานวิจัยนี้ใช้เครื่องมือหลายชนิดในการเก็บรวบรวมข้อมูลและถ่ายทอดองค์ความรู้และเทคโนโลยีแก่ชุมชนและผู้สนใจ เพื่อสร้างความยั่งยืนในท้องถิ่น เครื่องมือที่ใช้รวมถึงการถอดบทเรียนจากกิจกรรม การประชุมทีมวิจัยกับเกษตรกร การใช้แบบสอบถาม การบันทึกและเผยแพร่ข้อมูล และการสังเกต นอกจากนี้ ยังใช้การสื่อสารผ่าน Line Group Facebook

และโทรศัพท์ เพื่อให้เกิดการพัฒนาและถ่ายทอดความรู้ด้านการเพาะเลี้ยงจิ้งหรีดเชิงพาณิชย์อย่างมีประสิทธิภาพ โดยการดำเนินกิจกรรมทั้งหมดจะช่วยเพิ่มศักยภาพตามวัตถุประสงค์ของโครงการ

5.2 การดำเนินการวิจัยตามแผนงาน

การดำเนินโครงการ “การพัฒนาโรงเรือนเพาะเลี้ยงจิ้งหรีดระบบอัจฉริยะด้วยเทคโนโลยีอินเทอร์เน็ตทุกสรรพสิ่ง” ทางคณะผู้วิจัยได้กำหนดกิจกรรมและแผนดำเนินงานตามขั้นตอนดังต่อไปนี้ 1) ศึกษาบริบทชุมชน 2) ออกแบบและพัฒนาโรงเรือนเพาะเลี้ยงจิ้งหรีดระบบปิด 3) ติดตั้งระบบเลี้ยงจิ้งหรีดด้วยเทคโนโลยีอินเทอร์เน็ตทุกสรรพสิ่ง 4) ทดสอบสมรรถนะโรงเรือนเพาะเลี้ยงจิ้งหรีดระบบปิด 5) กิจกรรมถ่ายทอดและส่งเสริมนวัตกรรมและเทคโนโลยี และ 6) วิเคราะห์และสรุปงานวิจัย

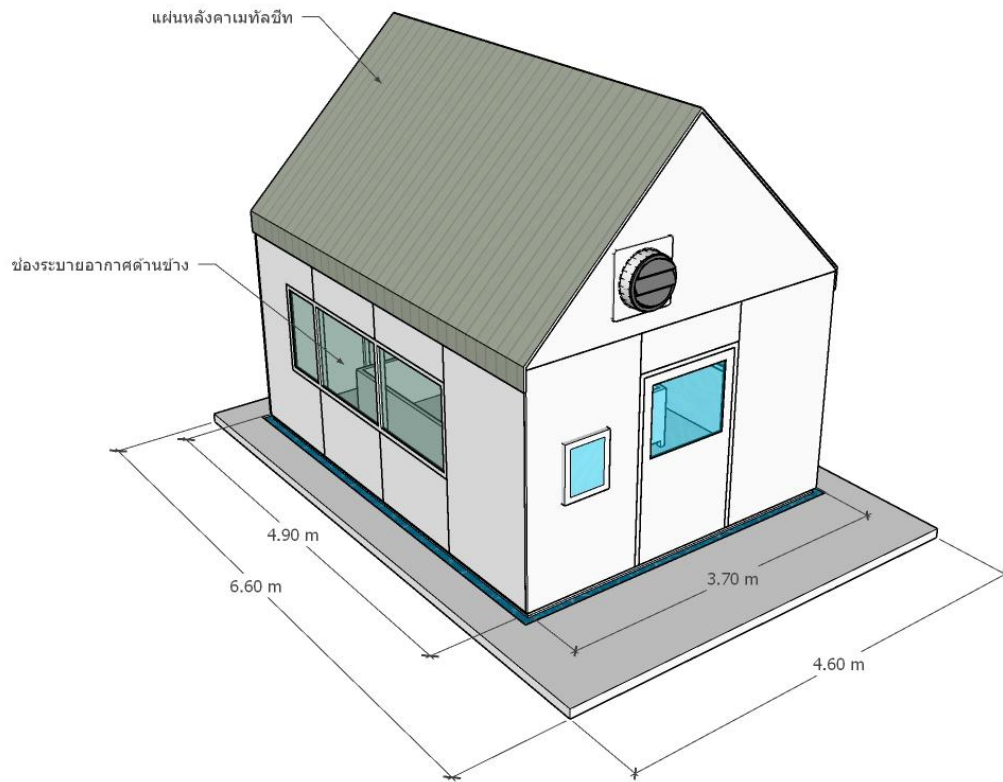
5.2.1 กิจกรรมชี้แจงวัตถุประสงค์ของโครงการและศึกษาบริบทชุมชน

โดยมีการประชุมคณะนักวิจัยโครงการ “การพัฒนาโรงเรือนเพาะเลี้ยงจิ้งหรีดระบบอัจฉริยะด้วยเทคโนโลยีอินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่ง” เพื่อเสนอแผนการลงพื้นที่และส่งเสริมการเข้าถึงข้อมูลสำหรับชุมชนท้องถิ่น การประชุมดังกล่าวเน้นการให้ข้อมูลและการฝึกอบรมเกี่ยวกับเทคโนโลยีใหม่ ๆ รวมถึงการสร้างพื้นที่สาธารณะสำหรับการแลกเปลี่ยนความรู้และประสบการณ์ของชุมชน นอกจากนี้ ยังเน้นการรวบรวมความคิดเห็นและแผนการดำเนินงานในอนาคตเพื่อให้โครงการมีประสิทธิภาพและความยั่งยืน โดยการเชื่อมโยงกับหน่วยงานที่เกี่ยวข้องและสร้างพันธมิตรกับภาคส่วนท้องถิ่นเป็นสำคัญ

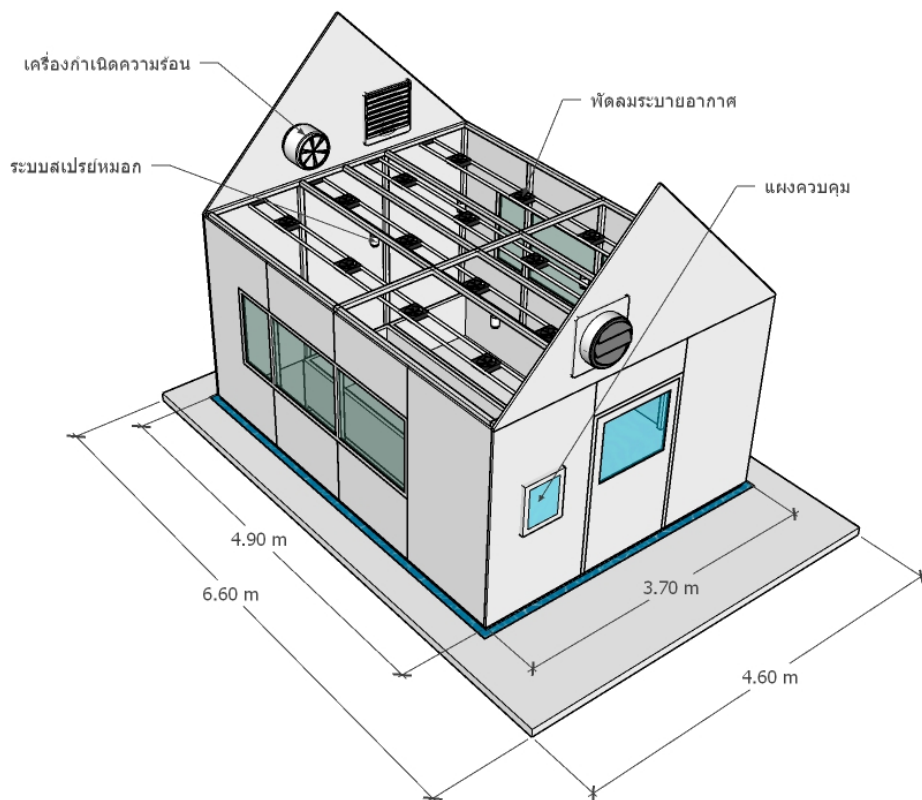
5.2.2 กิจกรรมออกแบบโรงเรือนและบ่อเพาะเลี้ยงจิ้งหรีด

โดยมุ่งเน้นการออกแบบโรงเรือนที่ใช้เทคโนโลยีและหลักการทางสถาปัตยกรรมเพื่อเพิ่มศักยภาพการผลิตจิ้งหรีดนอกฤดูกาล ออกแบบให้พึ่งพิงธรรมชาติ วางแนวอาคารตามทิศทางเหนือ-ใต้ มีช่องเปิดขนาดใหญ่ในทิศตะวันออกและทิศตะวันตก ภายในโรงเรือนยังมีเซ็นเซอร์ควบคุมอุณหภูมิและความชื้นอัตโนมัติ เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการเลี้ยงและดูแลจิ้งหรีด รวมถึงการใช้ Blynk และ Arduino ในการควบคุมและจัดการระบบต่างๆ ภายในโรงเรือนผ่านโทรศัพท์มือถือ วัสดุที่ใช้สร้างโรงเรือน เช่น แผ่นรีวบอร์ดและหลังคาเมทัลชีท ถูกเลือกเพื่อประสิทธิภาพในการประหยัดพลังงานและลดค่าใช้จ่าย ทั้งนี้ การออกแบบยังคำนึงถึงการบันทึกข้อมูลแบบเรียลไทม์และการปรับเปลี่ยนวิธีการเพาะเลี้ยงแบบดั้งเดิมให้ใช้เทคโนโลยีสมัยใหม่อย่างมีประสิทธิภาพและยั่งยืน ดังแสดงในรูปที่ 1 และรูปที่ 2

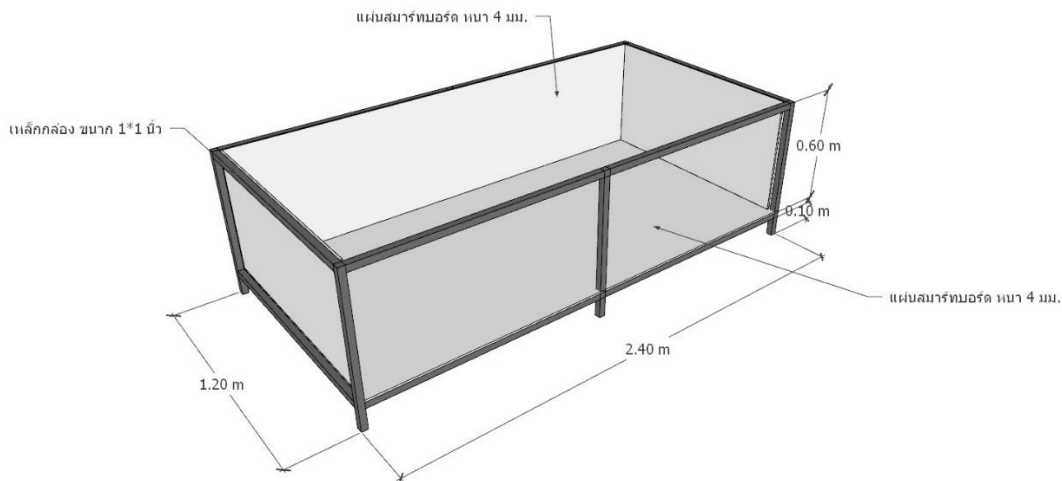
การออกแบบบ่อเลี้ยงจิ้งหรีดออกแบบให้มีขนาด 1.20x2.40 เมตร โครงสร้างเหล็กกล่องขนาด 1x1 นิ้ว บุดด้วยแผ่นสเมิร์ทบอร์ด จำนวน 2 บ่อ โดยปกติจิ้งหรีดจะจับขายเมื่อเลี้ยงได้ 30-45 วัน บ่อเลี้ยง 1 บ่อจะได้จิ้งหรีดประมาณ 15-18 กิโลกรัม และในช่วงอากาศหนาวจัดจิ้งหรีดไม่ค่อยออกมากินอาหาร อาจต้องใช้เวลาเลี้ยงนานขึ้นถึง 60 วัน จึงจะจับขายได้ และ 1 บ่อจะได้เพียง 10-15 กิโลกรัม ดังแสดงในรูปที่ 3



รูปที่ 1 โครงสร้างภายนอกโรงเรือนเพาะเลี้ยงจิ๋ว



รูปที่ 2 โครงสร้างภายในโรงเรือนเพาะเลี้ยงจิ๋ว



รูปที่ 3 บ่อเลี้ยงจิ้งหรีดพื้นและผนังบุด้วยแผ่นสปรตบอร์ด

5.3 การพัฒนาระบบควบคุมค่าอุณหภูมิ

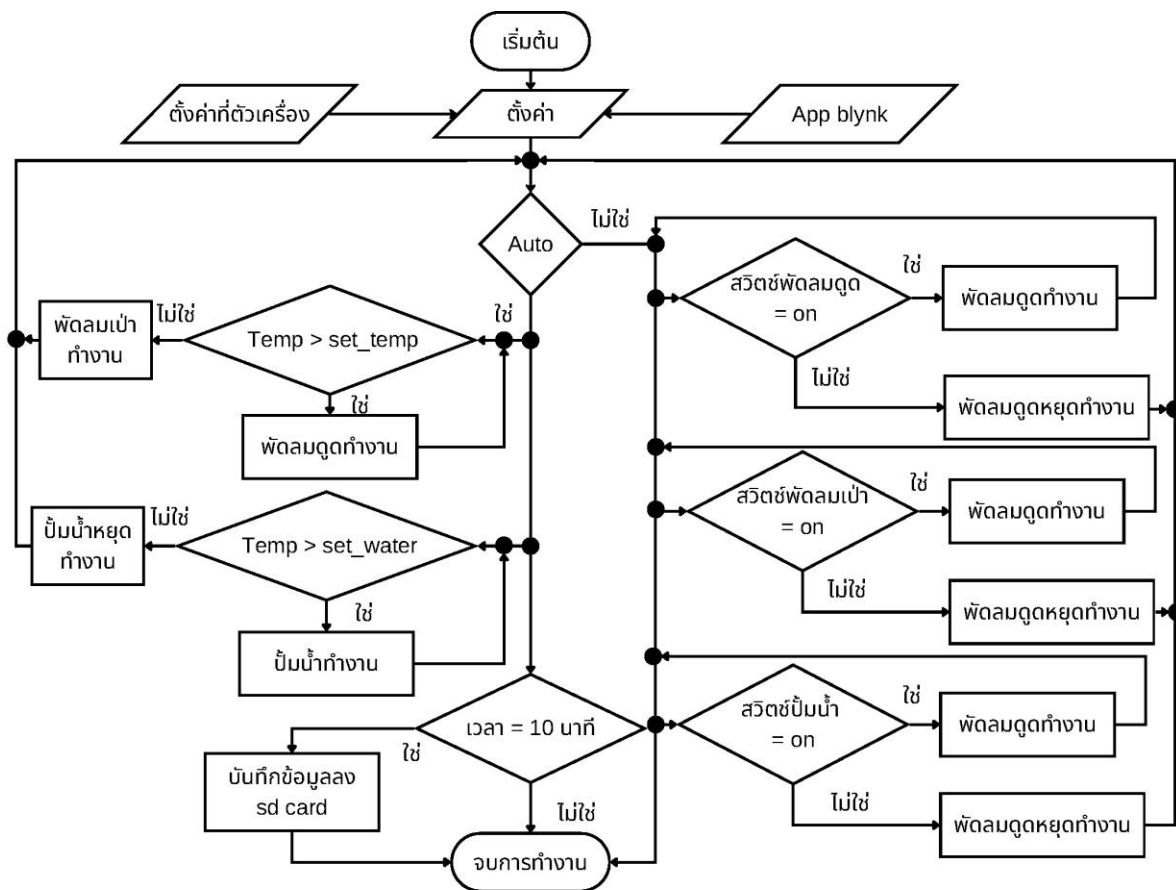
งานวิจัยส่วนนี้จะเน้นการวิเคราะห์ค่าอุณหภูมิเป็นหลัก โดยใช้ DHT22 เป็นเซ็นเซอร์วัดค่าอุณหภูมิร่วมกับไมโครคอนโทรลเลอร์ Arduino และแอปพลิเคชัน Blynk ควบคุมอุปกรณ์ผ่านโทรศัพท์มือถือ ระบบที่สร้างขึ้นสามารถบันทึกข้อมูลแบบเรียลไทม์และส่งไปยัง Arduino เพื่อประมวลผลข้อมูล โดยเปรียบเทียบกับค่าที่กำหนดไว้ เช่น อุณหภูมิที่เหมาะสมในการเลี้ยงจิ้งหรีดซึ่งอยู่ระหว่าง 25-35°C หากอุณหภูมิสูงหรือต่ำกว่าค่าที่ตั้งไว้ ระบบจะสั่งการทำงานของอุปกรณ์ต่าง ๆ เช่น พัดลมดูด พัดลมเป่า และปั้มน้ำพ่นหมอก โดยมีลำดับขั้นตอนการติดตั้งและการควบคุมผ่านแอปพลิเคชัน คือ ขั้นตอนที่ 1 การติดตั้งอุปกรณ์: เชื่อมต่อเซ็นเซอร์อุณหภูมิและความชื้นกับ Arduino และติดตั้งอุปกรณ์ควบคุม เช่น พัดลมและปั้มน้ำพ่นหมอกกับรีเลย์หรือทรานซิสเตอร์ ขั้นตอนที่ 2 การเชื่อมต่อ Wi-Fi: ใช้โมดูล Wi-Fi ESP32 เชื่อมต่อระบบกับเครือข่ายอินเทอร์เน็ต ขั้นตอนที่ 3 การโปรแกรม Arduino: เขียนโปรแกรมใน Arduino IDE เพื่อตรวจจับข้อมูลจากเซ็นเซอร์และควบคุมอุปกรณ์ต่าง ๆ โดยอ้างอิงเงื่อนไขการทำงาน ขั้นตอนที่ 4 การตั้งค่าแอป Blynk: ดาวน์โหลดแอป Blynk และสร้างงานใหม่เพื่อควบคุมและตรวจสอบระบบจากโทรศัพท์มือถือ ขั้นตอนที่ 5 การควบคุมจากระยะไกล: ผู้ใช้งานสามารถควบคุมการทำงานของอุปกรณ์และดูข้อมูลต่าง ๆ ผ่านแอป Blynk ได้จากทุกที่ ขั้นตอนที่ 6 การบันทึกข้อมูล: ข้อมูลจากเซ็นเซอร์และอุปกรณ์ควบคุมจะถูกบันทึกใน Google Sheets เพื่อทำการวิเคราะห์และปรับปรุงประสิทธิภาพของระบบในอนาคต

ในส่วนของการควบคุมอุณหภูมิ ผู้ใช้สามารถเลือกโหมดการทำงานได้ 2 แบบ คือ 'Manual' และ 'Auto' โดยในโหมด 'Manual' ผู้ใช้จะควบคุมการเปิดปิดอุปกรณ์ต่าง ๆ เช่น พัดลมดูด พัดลมเป่า ปั้มน้ำพ่นหมอก และระบบแสงสว่างตามความต้องการ ส่วนในโหมด 'Auto' ระบบจะทำงานโดยอัตโนมัติเมื่ออุณหภูมิผิดปกติ โดยมีเงื่อนไขการทำงานและที่ตั้งไว้ล่วงหน้าดังต่อไปนี้

เงื่อนไขที่ 1 ถ้าอุณหภูมิเฉลี่ย TEMP สูงกว่า SET_TEMP_OFF (35°C) พัดลมดูดอากาศทำงาน จนกว่าอุณหภูมิจะเท่ากับ SET_TEMP_ON (25°C) พัดลมดูดอากาศจึงจะหยุดทำงาน

เงื่อนไขที่ 2 ถ้าอุณหภูมิเฉลี่ย TEMP ต่ำกว่า SET_TEMP_ON (25°C) พัดลมเป่าอากาศทำงาน จนกว่าอุณหภูมิจะเท่ากับ SET_TEMP_OFF (35°C) พัดลมเป่าอากาศจึงจะหยุดทำงาน

เงื่อนไขที่ 3 ถ้าอุณหภูมิเฉลี่ย TEMP สูงกว่า SET_WATER_ON (45°C) ปั้มน้ำพ่นหมอกทำงาน จนกว่าอุณหภูมิจะเท่ากับ SET_WATER_OFF (40°C) พัดลมเป่าอากาศจึงจะหยุดทำงาน



รูปที่ 4 ผังงานขั้นตอนการควบคุมค่าอุณหภูมิ

ผลการวิจัย

จากการดำเนินโครงการวิจัยและพัฒนาโรงเรือนเพาะเลี้ยงจิ้งหรีดระบบปิดโดยใช้เทคโนโลยีทางสถาปัตยกรรมเพื่อเพิ่มศักยภาพการผลิตจิ้งหรีดนอกฤดูกาลสำหรับวิสาหกิจชุมชนและผู้ประกอบการเชิงพาณิชย์จังหวัดสกลนคร ผู้ใช้ประโยชน์ คือ กลุ่มเกษตรกรและวิสาหกิจชุมชนผู้เพาะเลี้ยงจิ้งหรีด ตำบลนาแก้ว อำเภอโพนนาแก้ว จังหวัดสกลนคร ซึ่งผลการดำเนินโครงการจะนำเสนอตามรายวัตถุประสงค์ดังต่อไปนี้

1. ผลการก่อสร้างโรงเรือนเพาะเลี้ยงจิ้งหรีดระบบปิดโดยใช้เทคโนโลยีทางสถาปัตยกรรม

การวิจัยเรื่องโรงเรือนเพาะเลี้ยงจิ้งหรีดระบบปิดโดยใช้เทคโนโลยีทางสถาปัตยกรรมที่ดำเนินการในพื้นที่ของสมาชิกกลุ่มผู้เพาะเลี้ยงจิ้งหรีดบ้านนาแก้ว จังหวัดสกลนคร พบว่า โรงเรือนถูกออกแบบให้มีขนาดกว้าง 3.7 เมตร ยาว 4.9 เมตร และสูง 2.40 เมตร โดยนำหลักการทางสถาปัตยกรรมธรรมชาติมาประยุกต์ใช้ และวางแผนตามทิศเหนือ-ใต้ เพื่อให้การระบายอากาศเป็นไปอย่างเหมาะสมต่อการเพาะเลี้ยงจิ้งหรีด เน้นการใช้วัสดุราคาไม่แพงและหาได้ง่ายในท้องถิ่น รูปที่ 5 (ก) คือ โครงสร้างภายนอกโรงเรือนเพาะเลี้ยงจิ้งหรีด และ (ข) คือ โครงสร้างภายในโรงเรือนเพาะเลี้ยงจิ้งหรีด



รูปที่ 5 โรงเรือนเพาะเลี้ยงจิ้งหรีดต้นแบบ

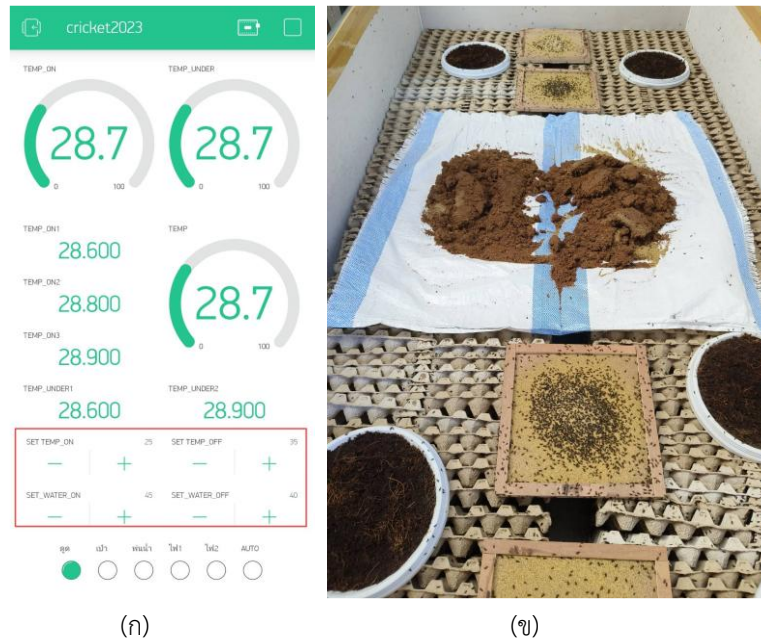
2. ผลการพัฒนาระบบควบคุมพัดลมระบายอากาศ เครื่องเป่าลมร้อน และเครื่องสเปรย์หมอกภายในโรงเรือนเลี้ยงจิ้งหรีดแบบอัตโนมัติยกระดับโรงเรือนสู่มาตรฐาน GAP

ผลการติดตั้งระบบควบคุมการเลี้ยงจิ้งหรีดแบบอัตโนมัติ (ก) การติดตั้งชุดอุปกรณ์ควบคุมเข้ากับแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสสลับขนาด 220 Vac เชื่อมต่อกับสัญญาณการควบคุมและบันทึกข้อมูลลง Google Sheet แบบเรียลไทม์ผ่านเครือข่าย WiFi (ข) การติดตั้งและทดสอบการใช้งานอุปกรณ์เซนเซอร์ตรวจวัดค่าอุณหภูมิและความชื้น (ค) ตำแหน่งที่ติดตั้งพัดลมดูดพัดลมเป่า เซนเซอร์ตรวจวัดค่าอุณหภูมิและความชื้น ป้อนน้ำพ่นหมอก และระบบแสงสว่าง (ง) การโหลดโปรแกรมและหน้าต่างกำหนดค่าเริ่มต้นใช้งาน ดังแสดงในรูปที่ 6



รูปที่ 6 การติดตั้งระบบควบคุมพัดลมระบายอากาศ เครื่องเป่าลมร้อน และเครื่องสเปรย์หมอกภายในโรงเรือนเลี้ยงจิ้งหรีด

ผลการทดสอบการควบคุมระบบควบคุมพัดลมระบายอากาศ เครื่องเป่าลมร้อน และปั้มน้ำพ่นหมอก ดังรูปที่ 7 พบว่า ผู้ใช้งานสามารถสังเกตการทำงานของพัดลมว่าเปิดหรือปิดอยู่ และสามารถตั้งค่าการทำงานของอุปกรณ์แต่ละตัวได้ทั้งแบบ Manual และแบบ Auto ผ่านหน้าจอควบคุมที่ติดตั้งบนตู้ควบคุม โดยการทดสอบนี้ยังแสดงให้เห็นถึงความสามารถในการควบคุม และแสดงการทำงานของระบบผ่านทางโทรศัพท์มือถือได้ ซึ่งเป็นการเพิ่มความสะดวกสบายในการตรวจสอบและควบคุมระบบจากระยะไกล อีกทั้งยังช่วยให้ผู้ใช้งานหรือกลุ่มผู้เพาะเลี้ยงจึงหรีดสามารถรับรู้ข้อมูลเกี่ยวกับการทำงานของระบบได้ทันทีและทำการปรับปรุงหรือแก้ไขปัญหาได้อย่างรวดเร็วและมีประสิทธิภาพมากขึ้น



รูปที่ 7 การแสดงผลของหน้าจอโทรศัพท์มือถือผ่านแอปพลิเคชัน Blynk

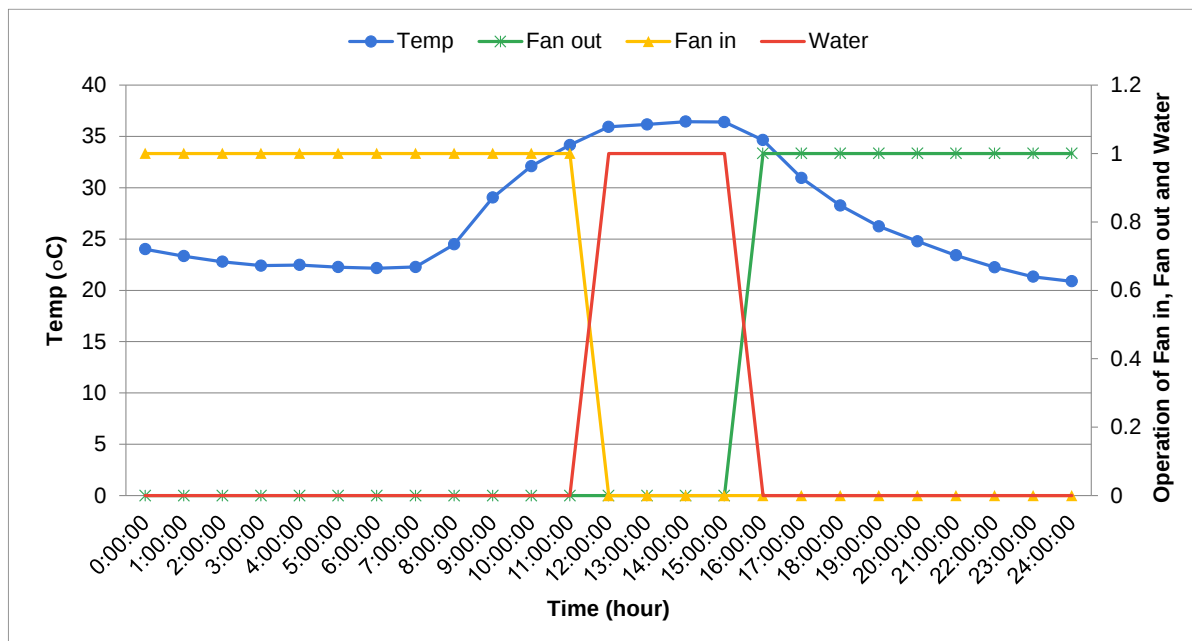
3. ผลการเพิ่มประสิทธิภาพในการควบคุมการไหลเวียนสภาพอากาศภายในโรงเรือนเลี้ยงจิ้งหรีด

ผลการทดสอบควบคุมด้วยมือ (Manual) แบบเต็มวัน เมื่อกดสั่งให้พัดลมดูดทำงาน พบว่า พัดลมดูด (Fan out) เส้นสีเขียว จะทำงาน ณ เวลา 16:00:00 น. ถึง 24:00:00 น. มีค่าเท่ากับ 1 และหยุดการทำงาน มีค่าเท่ากับ 0 ณ เวลา 0:00:00 น. ถึง 16:00:00 น. เมื่อกดสั่งให้พัดลมเป่าทำงาน พบว่า พัดลมเป่า (Fan in) เส้นสีเหลือง จะทำงาน ณ เวลา 0:00:00 น. ถึง 11:00:00 น. มีค่าเท่ากับ 1 และ หยุดการทำงาน มีค่าเท่ากับ 0 ณ เวลา 11:00:00 น. ถึง 0:00:00 น. และเมื่อกดสั่งให้ปั้มน้ำพ่นละอองหมอกทำงาน พบว่า ระบบพ่นละอองหมอกจะทำงาน ณ เวลา 12:00:00 น. ถึง 15:00:00 น. มีค่าเท่ากับ 1 และหยุดการทำงาน มีค่าเท่ากับ 0 ณ เวลา 16:00:00 น. ถึง 11:00:00 น. ดังแสดงในรูปที่ 8

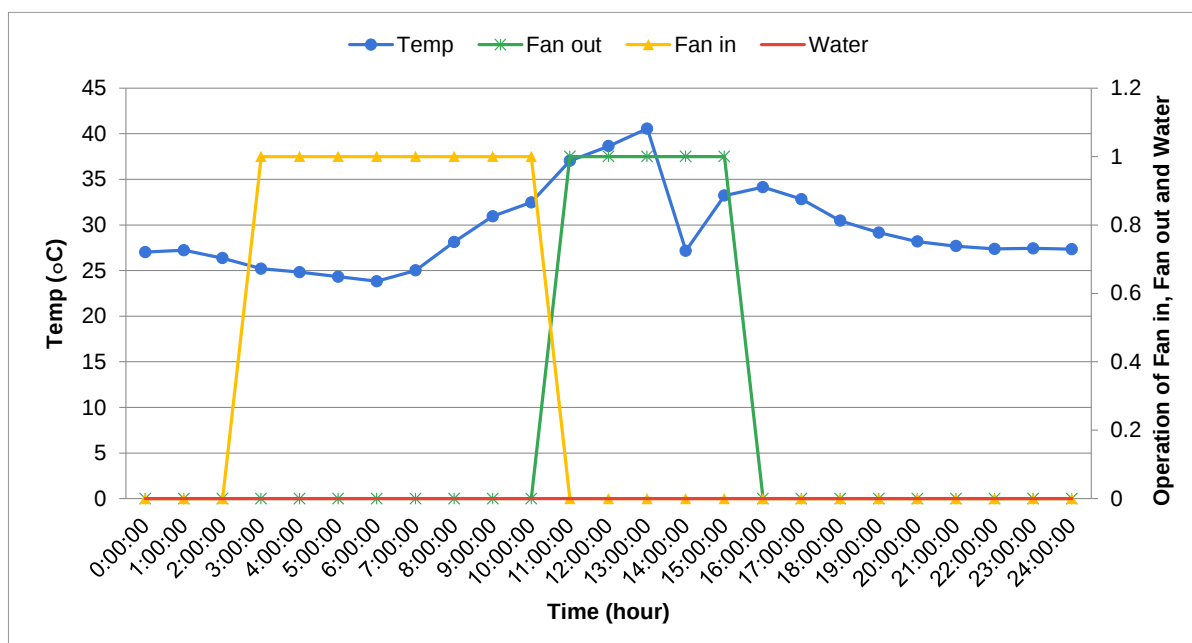
ผลการทดสอบการควบคุมอัตโนมัติ (Automatic) แบบเต็มวัน ดังแสดงในรูปที่ 9 เมื่อกดปุ่ม Auto พัดลมดูด (Fan out) จะทำงานแบบอัตโนมัติ พบว่า พัดลมดูดจะเริ่มทำงาน ณ เวลา 11:00:00 น. ถึง 15:00:00 น. มีค่าเท่ากับ 1 อุณหภูมิเฉลี่ยจะอยู่ระหว่าง 38.95, 40.6, 42.45 และ 27.8°C ตามลำดับ และยังพบว่า พัดลมดูดจะหยุดทำงาน ณ เวลา 00:00:00 น. จนถึง 10:00:00 น. และเวลาหลัง 15:00:00 น. เป็นต้นไป ซึ่งมีค่าเท่ากับ 0 หรือจนกว่าอุณหภูมิเฉลี่ยจะเท่ากับ SET_TEMP_ON ที่ 25°C ตามเงื่อนไขกำหนด

การทำงานของพัดลมเป่าอากาศ (Fan in) พบว่า พัดลมเป่าอากาศจะเริ่มทำงาน ณ เวลา 03:00:00 น. ถึง 10:00:00 น. มีค่าเท่ากับ 1 อุณหภูมิเฉลี่ยจะอยู่ระหว่าง 25, 24.7, 24.2, 23.6, 24.9, 28.1, 31.6 และ 33.6°C ตามลำดับ และยังพบว่า พัดลมเป่าอากาศจะหยุดทำงาน ณ เวลา 00:00:00 น. จนถึง 2:00:00 น. และเวลาหลัง 11:00:00 น. เป็นต้นไป ซึ่งมีค่าเท่ากับ 0 หรือจนกว่าอุณหภูมิเฉลี่ยจะเท่ากับ SET_TEMP_OFF ที่ 35°C ตามเงื่อนไขกำหนด

การทำงานของปั๊มพ่นหมอก (WATER) พบว่า ปั๊มพ่นหมอกจะหยุดการทำงาน ซึ่งมีค่าเท่ากับ 0 ตลอดเวลา เนื่องจากอุณหภูมิเฉลี่ย TEMP ไม่สูงเกินกว่า SET_WATER_ON ที่ 45°C ซึ่งเป็นไปตามเงื่อนไขกำหนด



รูปที่ 8 ผลทดสอบการทำงานของพัดลมดูด พัดลมเป่า และพ่นน้ำ แบบควบคุมด้วยมือ



รูปที่ 9 ผลทดสอบการทำงานของพัดลมดูด พัดลมเป่า และพ่นน้ำ แบบอัตโนมัติ

4. ผลการถ่ายทอดเทคโนโลยีความรู้ให้กับกลุ่มเกษตรกรและวิสาหกิจชุมชนผู้เลี้ยงจิ้งหรีดเชิงพาณิชย์

คณะผู้วิจัยและนักศึกษานิเทศศาสตร์ปฏิบัติงานในพื้นที่เพื่อการถ่ายทอดเทคโนโลยีให้กับกลุ่มเกษตรกรและวิสาหกิจชุมชนที่เลี้ยงจิ้งหรีดเชิงพาณิชย์ มีความสำคัญในการพัฒนาและเสริมสร้างฐานรากให้กลุ่มเหล่านี้มีทักษะและความรู้ในการเลี้ยงจิ้งหรีดที่มีประสิทธิภาพมากขึ้น โดยเน้นการอบรมเชิงปฏิบัติการใช้เทคโนโลยีที่เหมาะสมในการควบคุมอุณหภูมิและการจัดการธุรกิจเพื่อเพิ่มมูลค่าผลผลิตของกลุ่มนี้อย่างยั่งยืนและสร้างโอกาสในการเติบโตของกลุ่มนี้ในอนาคต



(ก)

(ข)

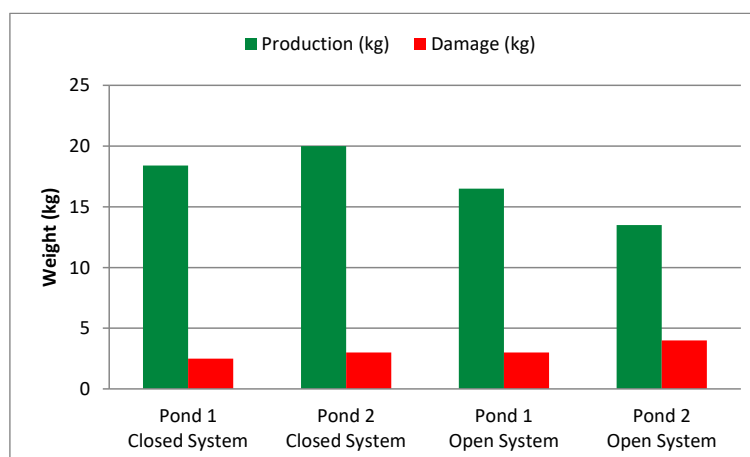
(ค)

รูปที่ 10 การส่งมอบชุดเพาะเลี้ยงและถ่ายทอดความรู้ให้กลุ่มเกษตรกรผู้เลี้ยงจิ้งหรีด

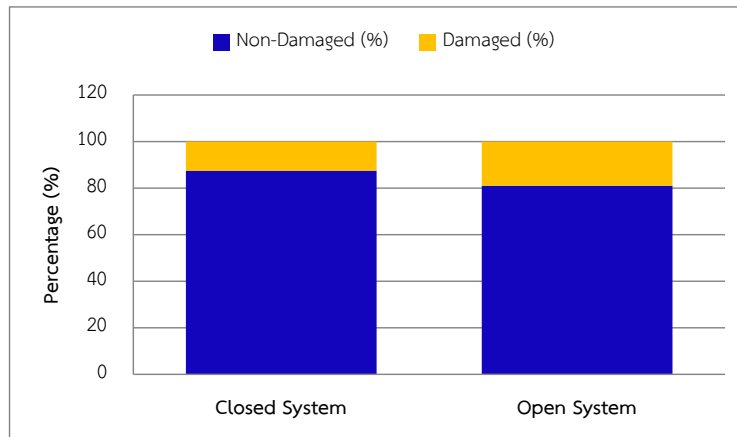
5. ผลการเปรียบเทียบผลผลิตการเลี้ยงในโรงเรือนเพาะเลี้ยงจิ้งหรีดระบบปิดโดยใช้เทคโนโลยีทางสถาปัตยกรรมกับการเลี้ยงในระบบเปิด

การทดลองเลี้ยงในโรงเรือนเพาะเลี้ยงจิ้งหรีดระบบปิดโดยใช้เทคโนโลยีทางสถาปัตยกรรมกับการเลี้ยงในระบบเปิด ทำการทดลองเลี้ยงในโรงเรือนต้นแบบจำนวน 2 บ่อเลี้ยง และเลี้ยงในระบบเปิดจำนวน 2 บ่อเลี้ยง โดยในแต่ละบ่อเลี้ยงใส่จำนวนไข่จิ้งหรีดบ่อละ 5 ขัน เลี้ยงด้วยอาหารจิ้งหรีดชนิดเดียวกัน เป็นระยะเวลา 45 วัน พบว่า การเลี้ยงในโรงเรือนต้นแบบ บ่อเลี้ยงที่ 1 ได้ผลผลิตจิ้งหรีด 18.40 กิโลกรัม เสียหาย 2.50 กิโลกรัม บ่อเลี้ยงที่ 2 ได้ผลผลิตจิ้งหรีด 20.00 กิโลกรัม เสียหาย 3.00 กิโลกรัม รวมได้ผลผลิต 38.40 กิโลกรัม เสียหาย 5.50 กิโลกรัม และการเลี้ยงในระบบเปิด บ่อเลี้ยงที่ 1 ได้ผลผลิตจิ้งหรีด 16.50 กิโลกรัม เสียหาย 3.00 กิโลกรัม บ่อเลี้ยงที่ 2 ได้ผลผลิตจิ้งหรีด 13.50 กิโลกรัม เสียหาย 4.00 กิโลกรัม รวมได้ผลผลิต 30.00 กิโลกรัม เสียหาย 7 กิโลกรัม ดังแสดงในรูปที่ 11

สามารถสรุปผลได้ว่า ระบบปิดมีผลผลิตที่ไม่เสียหายอยู่ที่ 87.48% และผลผลิตเสียหาย 12.52% ระบบเปิดมีผลผลิตที่ไม่เสียหายอยู่ที่ 81.08% และผลผลิตเสียหาย 18.92% ดังนั้น จากการเปรียบเทียบ พบว่า ระบบปิดสามารถให้ผลผลิตที่ไม่เสียหายสูงกว่าระบบเปิดอย่างชัดเจน ดังแสดงในรูปที่ 12



รูปที่ 11 ผลผลิตและความเสียหายจิ้งหรีดต่อระบบเพาะเลี้ยง



รูปที่ 12 เปอร์เซนต์การผลิตจิ้งหรีดต่อระบบเพาะเลี้ยง

การอภิปรายผล

จากผลการวิจัยเรื่องโรงเรือนเพาะเลี้ยงจิ้งหรีดระบบปิดที่ใช้เทคโนโลยีทางสถาปัตยกรรมเพื่อเพิ่มศักยภาพการผลิตจิ้งหรีดนอกฤดูกาลสำหรับวิสาหกิจชุมชนและผู้ประกอบการเชิงพาณิชย์จังหวัดสกลนคร พบว่า เทคโนโลยีที่ได้รับการถ่ายทอดนี้สามารถควบคุมสภาพแวดล้อมภายในโรงเรือนได้อย่างแม่นยำ ช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตและลดการสูญเสียได้อย่างมีนัยสำคัญ การควบคุมอุณหภูมิอัตโนมัติทำให้สภาพแวดล้อมภายในโรงเรือนเหมาะสมต่อการเลี้ยงจิ้งหรีดตลอดปี โดยเฉพาะในช่วงที่สภาพอากาศภายนอกเปลี่ยนแปลง เช่น ฤดูร้อนและฤดูหนาว

นอกจากนี้ การใช้แอปพลิเคชัน Blynk ในการควบคุมผ่านโทรศัพท์มือถือทำให้การจัดการโรงเรือนสะดวกขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Ahmad et al. (2020) ที่พบว่า การใช้แอปพลิเคชันในการจัดการฟาร์มอัจฉริยะช่วยลดต้นทุนด้านแรงงานและเพิ่มความแม่นยำในการควบคุมสภาพแวดล้อมในฟาร์ม อีกทั้งระบบการควบคุมอัตโนมัติยังช่วยลดอัตราการเสียหายของจิ้งหรีดและเพิ่มผลผลิตในแต่ละรอบการผลิตได้อย่างชัดเจน ซึ่งสอดคล้องกับผลการศึกษาในด้านการใช้ IoT เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตสัตว์เลี้ยงในหลายงานวิจัย เช่น Liu et al. (2021)

ในด้านของการประหยัดพลังงานการใช้เทคโนโลยี IoT ยังช่วยในการประหยัดพลังงาน ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Chen et al. (2019) ที่พบว่าการใช้ IoT ในฟาร์มอัจฉริยะสามารถลดการใช้พลังงานไฟฟ้าและน้ำได้อย่างมีประสิทธิภาพ นอกจากนี้ระบบอัตโนมัติยังช่วยตรวจจับปัญหาที่เกิดขึ้นได้อย่างรวดเร็ว ทำให้สามารถแก้ไขได้ทันเวลา ส่งผลให้การเลี้ยงจิ้งหรีดมีความสม่ำเสมอและมีคุณภาพดีขึ้น

ในด้านผลกระทบทางเศรษฐกิจและการพัฒนาที่ยั่งยืน การใช้เทคโนโลยี IoT ในฟาร์มจิ้งหรีดช่วยลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมและทรัพยากรธรรมชาติ เช่น การลดการใช้พลังงานไฟฟ้าและน้ำ ทำให้เกิดการพัฒนาที่มีความยั่งยืนในระยะยาว ซึ่งสอดคล้องกับแนวคิดที่กล่าวถึงในงานวิจัยของ Wang et al. (2020) ที่เน้นความสำคัญของเทคโนโลยีดิจิทัลในการพัฒนาอุตสาหกรรมเกษตรให้มีความยั่งยืนมากขึ้น

บทสรุป

จากการทดลองเลี้ยงจิ้งหรีดในโรงเรือนต้นแบบและเก็บบันทึกข้อมูลอุณหภูมิภายในโรงเรือน พบว่า อุณหภูมิภายในโรงเรือนจะสูงกว่าอุณหภูมิภายนอกโรงเรือน ในช่วงฤดูร้อนภายในโรงเรือนอุณหภูมิสูงสุดอยู่ที่ 43.04°C และค่อย ๆ ลดลงเมื่อระบบพัดลมดูดอากาศทำงานไม่ส่งผลเสียต่อการเจริญเติบโตของจิ้งหรีด

การพัฒนาโรงเรือนเพาะเลี้ยงจิ้งหรีดระบบปิดที่ใช้เทคโนโลยีทางสถาปัตยกรรมมุ่งเน้นการออกแบบโรงเรือนเพื่อให้ใช้ประโยชน์จากอุณหภูมิและควบคุมสภาพแวดล้อมภายในโรงเรือน เช่น การติดตั้งเซนเซอร์วัดอุณหภูมิและความชื้น พร้อมกับพัดลมดูด พัดลมเป่า และระบบแสงสว่าง ผลการทดสอบแสดงให้เห็นถึงความสามารถในการควบคุมโรงเรือนเพาะเลี้ยงจิ้งหรีดระบบอัจฉริยะและปรับตั้งค่าการทำงานผ่านหน้าจอควบคุมและโทรศัพท์มือถือได้

ผลการพัฒนาระบบควบคุมอัตโนมัติสำหรับโรงเรือนเลี้ยงจิ้งหรีดโดยใช้เทคโนโลยีอินเทอร์เน็ตของทุกสรรพสิ่ง พบว่า ช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการจัดการสภาพอากาศภายในโรงเรือน เช่น การควบคุมอุณหภูมิ การทำงานของพัดลม บิมน้ำพ่นหมอก และระบบแสงสว่าง ผลการทดสอบแสดงให้เห็นถึงความสามารถในการควบคุมและปรับการทำงานของอุปกรณ์ในโรงเรือนได้เป็นอย่างดี

ผลการถ่ายทอดเทคโนโลยีแก่กลุ่มเกษตรกรและวิสาหกิจชุมชนที่เลี้ยงจิ้งหรีดเชิงพาณิชย์ พบว่า ช่วยเพิ่มศักยภาพในการพัฒนาและเสริมสร้างฐานรากของกลุ่มเพาะเลี้ยงจิ้งหรีดให้เข้มแข็ง โดยการส่งเสริมความเข้าใจและการประยุกต์ใช้เทคโนโลยีที่เหมาะสมในการเลี้ยงจิ้งหรีด นอกจากนี้ยังมุ่งเน้นการแนะนำเรื่องการจัดการธุรกิจและการตลาดสินค้าเพื่อเสริมสร้างความเข้าใจและการแก้ไขปัญหาเกี่ยวกับการเลี้ยงจิ้งหรีดในเชิงพาณิชย์

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบพระคุณกองทุนส่งเสริมวิทยาศาสตร์ วิจัยและนวัตกรรม ที่ได้จัดสรรงบประมาณเพื่อสนับสนุนงานมูลฐาน (Fundamental Fund; FF) สำหรับโครงการวิจัยนี้ โดยการสนับสนุนในครั้งนี้จะมีส่วนสำคัญในการพัฒนาความรู้และนวัตกรรมในสาขาวิทยาศาสตร์และการวิจัย ซึ่งจะช่วยเสริมสร้างศักยภาพและความก้าวหน้าของประเทศ นอกจากนี้ขอขอบคุณศูนย์ความเป็นเลิศด้านเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏสุราษฎร์ธานี ที่ให้การสนับสนุนเครื่องมือและอุปกรณ์ การติดต่อประสานงานระหว่างมหาวิทยาลัยกับชุมชน รวมถึงบุคลากรที่เกี่ยวข้องในด้านอุตสาหกรรม ขอขอบคุณเกษตรกรผู้เพาะเลี้ยงจิ้งหรีดในตำบลนาแก้ว ที่ให้ความร่วมมือด้านการฝึกอบรมและมีส่วนสำคัญในการดำเนินโครงการวิจัยนี้ให้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

เอกสารอ้างอิง

- ชลดา ยอดยิ่ง. (2561). การออกแบบและพัฒนาโครงสร้างโลกอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์แบบเรือนกระจกโดยการควบคุมอุณหภูมิและความชื้นอัตโนมัติเพื่อใช้ในการผลิตอาหารแห้งเพื่อการพาณิชย์. รายงานการวิจัย. คณะเทคโนโลยีการเกษตร มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม มหาสารคาม.
- ชลดา ยอดยิ่ง. (2562). การออกแบบและพัฒนาเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์สำหรับผลิตผลทางการเกษตร. รายงานการวิจัย. คณะเทคโนโลยีการเกษตร มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม มหาสารคาม.
- บงกช ประสิทธิ์ และสุชฤดี นาถกรณกุล. (2550). การใช้เครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์แบบอุโมงค์แปรรูปผลิตผลทางการเกษตร. วิทยาลัยพลังงานทดแทน มหาวิทยาลัยนเรศวร จังหวัดพิษณุโลก.
- บริษัท เอ็นโซล จำกัด. (2554). โครงการสนับสนุนการลงทุนติดตั้งใช้งานระบบอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์. กระทรวงพลังงาน: กรุงเทพฯ.
- จรเจต พรจันทร์. (2563). การศึกษาและพัฒนาโรงอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์สำหรับการแปรรูปอาหาร. วารสารวิจัยการเกษตรไทย. 10(1): 45-52.
- วีรญา นาคพนม. (2565). การศึกษาผลกระทบของการใช้ระบบอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ต่อคุณภาพผลิตผลทางการเกษตร. วารสารเกษตรกรรมไทย. 14(3): 123-130.
- สุจิตรา พันธุ์ทอง. (2567). การประเมินประสิทธิภาพของระบบอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์แบบดัดแปลง. วารสารพลังงานทดแทน. 11(2): 85-92.
- อนุสรณ์ แสงเจริญ. (2558). การพัฒนาระบบควบคุมการทำงานของโรงอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์แบบเรือนเรือนกระจกหลังคารูปทรงคาโบล่า. มหาวิทยาลัยศิลปากร.
- อนุสรณ์ แสงเจริญ. (2561). การพัฒนาระบบอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์แบบควบคุมอุณหภูมิและความชื้น. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาฟิสิกส์ ภาควิชาฟิสิกส์ บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศิลปากร.
- Ahmad I., Chen K., Wang Y. and Ullah I. (2020). Smart farming: Internet of things (IoT)-based sustainable agriculture. Agriculture. 12(10): 1745. <https://doi.org/10.3390/agriculture12101745>.

- Liu Y., Shen Y. and Wu Z. (2021). Internet of things for the future of smart agriculture: A comprehensive survey of emerging technologies. *Journal of Agricultural Systems*. 15(1): 23-135. <https://doi.org/10.1109/JAS.2021.3051174>.
- Chen Y., Wang H. and Zhou X. (2019). IoT applications in agriculture: Sustainable resource management in farming. *Journal of Smart Agriculture*. 9(4): 395-420. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2017.09.015>
- Wang X., Zhao L. and Tao W. (2020). Internet of things (IoT) for sustainable smart agriculture. *Transactions on Agricultural Systems*. 20(7): 189-205. <https://doi.org/10.1109/TAS.2020.106352>.

Received: November 28, 2024; Revised: March 17, 2025; Accepted: March 24, 2025

การประเมินและเปรียบเทียบประสิทธิภาพการบริการตอบคำถามลูกค้า
ที่สร้างขึ้นจากปัญญาประดิษฐ์เชิงสร้างสรรค์
Evaluation and comparison of customer service performance
generated by Generative AI

ณัฐภา ฬิวมา¹ และธรรณพ อารีพรรค^{2*}
Nattha Phiwma¹ and Thannob Aribarg^{2*}

¹คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยสวนดุสิต กรุงเทพมหานคร

¹Faculty of Science and Technology Suan Dusit University Bangkok, Bangkok

²วิทยาลัยนวัตกรรมการดิจิทัลเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยรังสิต ปทุมธานี

²College of Digital Innovation Technology Rangsit University Pathum Thani, Pathum Thani Province

*Corresponding Author E-mail Address : thannob.a@rsu.ac.th

บทคัดย่อ

ปัญญาประดิษฐ์เชิงสร้างสรรค์มีความสามารถในการโต้ตอบแบบสนทนาและเข้าใจภาษาธรรมชาติซึ่งมีหลากหลายโปรแกรม หากใช้ปัญญาประดิษฐ์เชิงสร้างสรรค์ที่มีประสิทธิภาพการตอบคำถามได้ใกล้เคียงกับมนุษย์ก็ยังสามารถสร้างความประทับใจให้กับผู้ใช้ได้และเป็นประโยชน์ต่อการใช้ในการบริการตอบคำถามลูกค้า ดังนั้นงานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อประเมินและเปรียบเทียบประสิทธิภาพการบริการตอบคำถามลูกค้าที่สร้างขึ้นจาก Generative AI ได้แก่ แชทจีพีที คลอดด์ และ เจมีไน ขั้นตอนการดำเนินการวิจัย คือ เตรียมข้อมูลคำถามและคำตอบที่ถูกต้อง สร้างคำตอบโดย Generative AI คือ แชทจีพีที คลอดด์ และ เจมีไน ทำการประเมินคำตอบด้วยการใช้อัลกอริทึม ROUGE-L และผู้เชี่ยวชาญ เพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการตอบคำถาม โดย แชทจีพีที คลอดด์ และ เจมีไน ทำการตอบคำถาม 2 รูปแบบ ได้แก่ รูปแบบปกติและรูปแบบบทบาทสมมติตอบคำถามรูปแบบละ 3 ครั้ง ผลการวิจัย พบว่า 1) ผลการประเมินการตอบคำถามด้วย Generative AI โดยใช้อัลกอริทึม ROUGE-L รูปแบบปกติ ผลการประเมินคำตอบที่คล้ายคลึงกับคำตอบที่ถูกต้องมากที่สุด ได้แก่ แชทจีพีที มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.26547 ผลการประเมินการตอบคำถามด้วย Generative AI และรูปแบบบทบาทสมมติ ผลการประเมินคำตอบที่คล้ายคลึงกับคำตอบที่ถูกต้องมากที่สุด ได้แก่ แชทจีพีที มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.29307 2) ผลการประเมินการตอบคำถามด้วย Generative AI โดยผู้เชี่ยวชาญในรูปแบบปกติ ผลการประเมินคำตอบที่คล้ายคลึงกับคำตอบที่ถูกต้องมากที่สุด ได้แก่ แชทจีพีทีมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 4.1556 และผลการประเมินการตอบคำถามด้วย Generative AI รูปแบบบทบาทสมมติ ผลการประเมินคำตอบที่คล้ายคลึงกับคำตอบที่ถูกต้องมากที่สุด ได้แก่ แชทจีพีที มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 4.2867

คำสำคัญ: ปัญญาประดิษฐ์เชิงสร้างสรรค์ ปัญญาประดิษฐ์ แชทจีพีที การบริการตอบคำถาม โมเดลภาษาขนาดใหญ่

Abstract

Generative AI has the ability to interact in a conversational manner and understand natural language, where there are a variety of programs available. If Generative AI is high-performance with the ability to answer questions similar to humans, it will impress users and be useful for customer service applications. Therefore, the objective of this research was to evaluate and compare the effectiveness of customer

questioning-answering services generated by Generative AI models, namely ChatGPT, Claude, and Gemini. The research procedure involved preparing a dataset of questions and accurate answers, generating responses using Generative AI models (ChatGPT, Claude, and Gemini), and assessing these responses using the ROUGE-L algorithm and the evaluation of experts to compare the efficiency of each model's answers. ChatGPT, Claude, and Gemini were used to answer questions in two formats: the standard prompt format and a roleplay prompt format, with each question answered three times per format. The results of this study were as follows: 1) According to the standard format evaluation using the ROUGE-L algorithm, the answers generated by ChatGPT were most similar to the correct answers, with an average score of 0.26547. In the roleplay format, ChatGPT also produced answers most similar to the correct ones, with an average score of 0.29307; 2) Regarding the expert evaluations of the standard format responses, ChatGPT's answers were rated the closest to the correct ones, with an average score of 4.1556. In the roleplay prompt format, ChatGPT again scored the highest similarity, with an average of 4.2867.

Keywords: Generative artificial intelligence, Artificial intelligence, ChatGPT, Customer service, Large language models

บทนำ

แนวโน้มการใช้ปัญญาประดิษฐ์ (Artificial Intelligence; AI) ในการทำงานมีอย่างต่อเนื่องโดยมีการผสมรวมปัญญาประดิษฐ์เข้ากับกระบวนการทำงาน มีการใช้ประโยชน์จาก AI ในรูปแบบต่าง ๆ เช่น รูปแบบแชทบอทเสมือนเป็นผู้ช่วยส่วนตัว แม้ว่าแชทบอทจะถูกนำไปใช้งานเป็นผู้ช่วยส่วนตัวเพื่อวัตถุประสงค์ต่าง ๆ แต่ก็มีบทบาทสำคัญในการให้ข้อมูลทั้งในด้านการศึกษ การวิจัย การตลาด และการให้บริการผ่านการตอบคำถาม ผ่านการโต้ตอบของผู้ใช้ ในช่วงไม่กี่ปีที่ผ่านมาการใช้งานแชทบอทเพิ่มมากขึ้น กลุ่มแชทบอทที่น่าสนใจที่ใช้อยู่ในปัจจุบัน ได้แก่ แชทบอทแบบโมเดลภาษาขนาดใหญ่ (Large Language Models; LLMs) ที่ได้รับการฝึกอบรมจากข้อมูลจำนวนมาก เป็นโมเดลการเรียนรู้ของเครื่องที่สามารถทำความเข้าใจและสร้างข้อความภาษาของมนุษย์ได้ ปัญญาประดิษฐ์เชิงสร้างสรรค์ (Generative AI) และปัญญาประดิษฐ์เชิงสนทนา (Conversational AI) ซึ่งเป็นรูปแบบของการนำเทคโนโลยี AI มาใช้งานที่ช่วยอำนวยความสะดวกให้คนกับคอมพิวเตอร์สามารถพูดคุยกันได้ (Lins dos Santos, 2023)

ปัจจุบันมีการใช้ Generative AI ซึ่งเป็นเทคโนโลยีที่ครอบคลุมโมเดลภาษาที่กว้างขวางและมีบทบาทอย่างยิ่งในการทำงาน Generative AI เป็นเทคโนโลยีที่มีความสามารถในการสร้างเนื้อหาหลากหลายประเภท ช่วยเพิ่มประสิทธิภาพและลดภาระงานของมนุษย์ได้อย่างมีนัยสำคัญ ในด้านการสร้างข้อความ เทคโนโลยีนี้สามารถสร้างเนื้อหาที่สอดคล้องกับบริบทต่าง ๆ นอกจากนี้ AI ยังสามารถสร้างภาพและวิดีโอที่มีความสมจริง ส่วนด้านเสียงและดนตรี AI สามารถสังเคราะห์เสียงธรรมชาติและสร้างเพลงที่เลียนแบบสไตล์มีโอชิฟได้อย่างแม่นยำ ในการพัฒนาซอฟต์แวร์ AI ช่วยสร้างและแก้ไขโค้ด อีกทั้ง AI ยังมีบทบาทในการสร้างงานออกแบบศิลปะและยังช่วยสร้างข้อมูลสังเคราะห์เพื่อใช้ในการวิจัย เทคโนโลยีนี้จึงกลายเป็นเครื่องมือสำคัญที่สนับสนุนการทำงานและสร้างเนื้อหาในหลากหลายสาขา ช่วยให้ผู้เชี่ยวชาญสามารถมุ่งเน้นไปที่งานที่ต้องใช้ความคิดสร้างสรรค์มากขึ้น (Stryker and Scapicchio, 2024) นอกจากนี้การใช้ Generative AI ซึ่งเป็นโมเดลภาษาขนาดใหญ่ที่มาพร้อมกับทักษะที่หลากหลายสามารถสร้างเนื้อหาใหม่เป็นผลลัพธ์ เนื้อหาใหม่นี้อาจมีลักษณะเป็นข้อความ รูปภาพ และเสียงคุณภาพสูงตามโมเดลภาษาขนาดใหญ่ที่ได้รับการฝึกอบรมมา อินเทอร์เน็ตแชทบอทกับ AI เชิงสร้างสรรค์สามารถจดจำ สรุป แปล คัดการณ์ และสร้างเนื้อหาเพื่อตอบสนองต่อคำถามของผู้ใช้โดยไม่ต้องมีปฏิสัมพันธ์กับมนุษย์ (IBM, 2023) ตัวอย่าง Generative AI ประเภท แชทบอท AI ที่ใช้ในปัจจุบัน เช่น ChatGPT พัฒนาโดย OpenAI มีฐานข้อมูลที่ใช้ในการตอบคำถามปรับปรุงล่าสุดเดือนตุลาคม ปี 2023 ส่วน Claude ที่พัฒนาโดย Anthropic ฐานข้อมูลปรับปรุงล่าสุดเดือนเมษายน 2024 และ Gemini ที่พัฒนาขึ้นโดย Google AI สามารถเชื่อมต่อกับแหล่งข้อมูลภายนอกที่เป็นแบบเรียลไทม์ได้ เช่น Google search เพื่อดึงข้อมูลล่าสุดมาใช้ในการตอบคำถาม

แชทบอท AI ใช้เทคโนโลยีความเข้าใจภาษาธรรมชาติ (Natural Language Processing; NLP) เพื่อเข้าใจความหมายของข้อความที่ผู้ใช้ป้อนเข้าไปและใช้ AI สร้างการตอบกลับที่เหมาะสม เทคโนโลยีเหล่านี้ใช้ทั้งการเรียนรู้ของเครื่อง (Machine learning) การเรียนรู้เชิงลึก (Deep Learning) เพื่อพัฒนาฐานความรู้จากการโต้ตอบกับผู้ใช้ และ Transformer

Models เช่น GPT และ BERT ทำให้สามารถสร้างบทสนทนาเชิงลึกได้ใกล้เคียงมนุษย์มากขึ้น เทคโนโลยีนี้จึงมีบทบาทสำคัญในธุรกิจและชีวิตประจำวัน เนื่องจากการเพิ่มประสิทธิภาพการทำงาน ลดภาระงานพนักงาน ช่วยในการทำงานซ้ำ ๆ ให้บริการที่เป็นส่วนตัวและตรงใจลูกค้ามากขึ้น เข้าถึงกลุ่มลูกค้าได้กว้างขึ้นสามารถให้บริการลูกค้าได้หลายภาษาและหลายช่องทาง ลูกค้าสามารถติดต่อได้ทุกที่ทุกเวลา บริการลูกค้าตอบคำถามและแก้ปัญหาได้รวดเร็วตลอด 24 ชั่วโมง เช่น ChatGPT, Claude หรือ Gemini เป็นต้น ซึ่งคุณลักษณะทางอารมณ์จะช่วยเพิ่มประสิทธิภาพของบริการแชทบอท รวมทั้งการโต้ตอบ ความเห็นอกเห็นใจจะช่วยเพิ่มความพึงพอใจของลูกค้า การใช้แชทบอทต้องปรับปรุงการตอบสนองเพื่อเสริมสร้างความสัมพันธ์กับลูกค้า แชทบอทที่มีค่าแสดงถึงอารมณ์จะช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการสื่อสารกับลูกค้า ความน่าเชื่อถือและความมั่นใจส่งผลในเชิงบวกต่อความพึงพอใจของลูกค้า (Yun and Park, 2022) การประยุกต์ใช้ Generative AI ในปัจจุบันเข้ามามีบทบาทในการทำงาน เช่น ด้านการแพทย์ ด้านการศึกษา ภาคธุรกิจและการตลาด ช่วยวิเคราะห์พฤติกรรมผู้บริโภค สร้างเนื้อหาการตลาด และให้บริการลูกค้าผ่านระบบอัตโนมัติ ด้านความบันเทิงและงานสร้างสรรค์ เปิดมิติใหม่ในการสร้างภาพ ดนตรี วิดีโอ และงานเขียน ด้านการเงิน ช่วยวิเคราะห์ความเสี่ยง ตรวจสอบการฉ้อโกง และให้คำแนะนำด้านการลงทุน อย่างไรก็ตาม ยังมีความท้าทายด้านจริยธรรม ความเป็นส่วนตัว และความปลอดภัยของข้อมูลที่ต้องคำนึงถึง ทั้งนี้ Generative AI ถือเป็นนวัตกรรมสำคัญที่จะช่วยยกระดับคุณภาพชีวิตและขับเคลื่อนเศรษฐกิจในยุคดิจิทัล (McKinsey and Company, 2023; MIT Technology Review, 2023; World Economic Forum, 2023; Gartner, 2024)

ในยุคดิจิทัลปัจจุบันการใช้เทคโนโลยีแชทบอทได้รับความนิยมมากขึ้นในกลุ่มธุรกิจขนาดย่อม ขนาดกลาง และขนาดเล็ก (MSME) เพื่อปรับปรุงการให้บริการลูกค้า ผลการศึกษาแสดงให้เห็นว่าการสำรวจศักยภาพของ ChatGPT ในการพัฒนาบริการลูกค้าใน MSMEs นั้นมีความหวังและมีประโยชน์มากมาย ในแวดวงขององค์กร MSME คุณภาพของการบริการลูกค้าเป็นสิ่งที่ต้องให้ความสำคัญสูงสุด ChatGPT ช่วยให้ MSMEs เพิ่มประสิทธิภาพและคุณภาพในการให้บริการลูกค้า ส่งผลให้ประสบการณ์โดยรวมของลูกค้าดีขึ้น (Subagja et al., 2023) อิทธิพลของเทคโนโลยีแชทบอทที่ขับเคลื่อนด้วย AI เช่น ChatGPT เป็นตัวแทนการสนทนาอัตโนมัติเหล่านี้มีผลกระทบเชิงบวกต่อการตลาดดิจิทัลและการดำเนินงานอีคอมเมิร์ซ ความสามารถในการประมวลผลคำถามของลูกค้าอย่างรวดเร็วและสร้างคำตอบที่ปรับให้เป็นรายบุคคลตามข้อมูลที่ได้รับจากลูกค้าทำให้ธุรกิจสามารถสร้างความสัมพันธ์ที่แข็งแกร่งขึ้นกับลูกค้าได้ ขณะเดียวกันก็ส่งเสริมการเพิ่มการเปลี่ยนแปลงยอดขายในระยะยาว แชทบอทยังช่วยปรับปรุงการดูแลลูกค้าและมีความพึงพอใจอย่างมีนัยสำคัญ ซึ่งระบบอัตโนมัติช่วยลดต้นทุนและเพิ่มประสิทธิภาพในการดำเนินงาน การตอบสนองที่เร็วขึ้นนำไปสู่ความภักดีของลูกค้าที่เพิ่มขึ้น (Chowdhury, 2023) จากงานวิจัยของ นันทน์ภัส (2560) ที่ได้ทำการศึกษาแนวทางการปรับใช้แชทบอทสำหรับงานบริการลูกค้า ผลการวิจัย พบว่า ความสำคัญของแชทบอทไม่ได้อยู่เพียงแค่ประโยชน์การใช้งานและสามารถช่วยสนับสนุนการทำงานของบุคลากรในธุรกิจได้เพียงเท่านั้น แต่ยังรวมถึงการที่แชทบอทสามารถทำให้ธุรกิจสามารถได้รับข้อมูลของผู้ใช้อีกด้วย เหตุผลหลักที่ทำให้ธุรกิจปรับใช้แชทบอทสำหรับงานบริการลูกค้ามาจากการที่ธุรกิจไม่มีบุคลากรที่ทำหน้าที่ตอบลูกค้าโดยเฉพาะธุรกิจไม่สามารถตอบกลับลูกค้าได้ตลอด 24 ชั่วโมง หรือผู้ดูแลของธุรกิจไม่สามารถตอบคำถามได้อย่างทั่วถึงและรวดเร็วจากการที่มีข้อความของลูกค้าที่ส่งเข้ามาจำนวนมากในแต่ละวัน Generative AI ช่วยเพิ่มปฏิสัมพันธ์กับลูกค้านอกเหนือจากการแก้ปัญหาอย่างง่าย และช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการดำเนินงานบริการลูกค้า และงานวิจัยของสมพงษ์ และรชพร (2566) ได้ทำการวิจัยเรื่องประสิทธิภาพระบบตอบรับอัตโนมัติที่ส่งผลต่อคุณภาพบริการด้านการสื่อสารของธุรกิจสายการบินที่ทำการบินภายในประเทศ ได้ทำการวิเคราะห์ประสิทธิภาพระบบตอบรับอัตโนมัติที่ส่งผลต่อคุณภาพการบริการด้านการสื่อสารของธุรกิจสายการบินที่ทำการบินในประเทศไทย ผลการวิจัย พบว่า ประสิทธิภาพระบบตอบรับอัตโนมัติส่งผลต่อคุณภาพการบริการด้านการสื่อสารของธุรกิจสายการบินที่ทำการบินภายในประเทศไทยโดยส่งผลร้อยละ 68 และมีระดับนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 นอกจากนี้งานวิจัยของสุทธิภาส และวศิณ (2563) ได้ทำการวิจัยเรื่องการประเมินประสิทธิภาพ ประสิทธิผล และความพึงพอใจในการใช้โปรแกรมแชทบอทธนาคารในประเทศไทย มีวัตถุประสงค์เพื่อประเมินประสิทธิภาพ ประสิทธิผล พฤติกรรมการใช้โปรแกรมแชทบอทและพัฒนาตัวแบบอิทธิพลของตัวแปรที่เกี่ยวข้องที่ส่งผลต่อความพึงพอใจในการใช้โปรแกรมแชทบอทของธนาคารผ่านมุมมองผู้ใช้โปรแกรม ผลการทดสอบสมมติฐาน พบว่า ประสิทธิภาพของแชทบอทมีผลต่อระดับการมีส่วนร่วมของลูกค้าธนาคารในการใช้แชทบอท ($R^2=.33$) ประสิทธิภาพของผลโปรแกรมแชทบอทมีผลต่อระดับความรู้สึกเป็นมิตรในขณะทำธุรกรรม ($R^2=.431$) และพฤติกรรมการใช้แชทบอทมีผลต่อระดับการรับรู้ทางอารมณ์ขณะใช้งาน ($R^2=.326$) การใช้แชทบอทช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการบริการลูกค้าและการมีส่วนร่วมมีการลงทุนน้อยกว่าตัวแทนมนุษย์แต่มีข้อจำกัดในการจัดการสถานการณ์ทางอารมณ์ที่ซับซ้อน เพิ่มการมีส่วนร่วมเมื่อเทียบกับการตลาดทางอีเมลแบบดั้งเดิม แชทบอทสามารถจัดการกับลูกค้าหลายคนพร้อมกัน (Boruah, 2024) การประมวลผลภาษาธรรมชาติ (NLP) มีความสำคัญสำหรับการใช้งาน AI แบบสร้างสรรค์

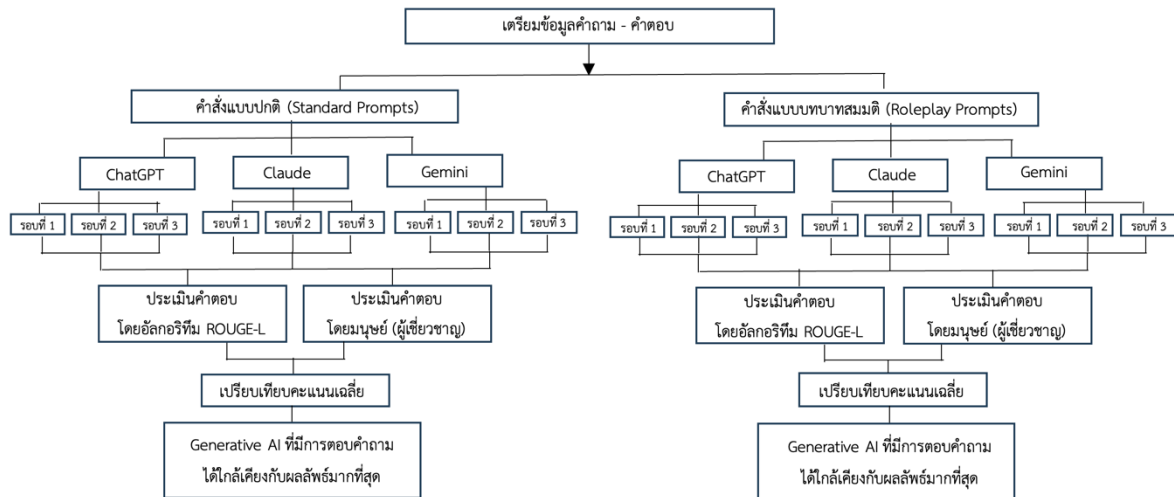
สามารถเปลี่ยนแปลงประสบการณ์การบริการลูกค้าได้อย่างมีนัยสำคัญ (ศรุต, 2567) แต่ยังมีข้อจำกัดสำคัญในบริบทการบริการลูกค้า ได้แก่ ความยากในการเข้าใจบริบทที่ซับซ้อนและเชื่อมโยงข้อมูลที่หลากหลาย โดยเฉพาะกรณีที่ต้องอ้างอิงเหตุการณ์ล่าสุดหรือข้อมูลเฉพาะทาง อีกทั้งยังมีข้อจำกัดด้านความแม่นยำ เนื่องจาก AI สร้างข้อมูลใหม่โดยไม่มีการตรวจสอบความถูกต้อง และการที่ AI ไม่สามารถอัปเดตข้อมูลได้ทันทีหลังการฝึกอบรม ส่งผลให้ข้อมูลบางส่วนล้าสมัย ขาดความละเอียดอ่อนในการตอบคำถามซึ่งอาจนำไปสู่ข้อความที่ไม่เหมาะสมในบางบริบท ดังนั้นการใช้งาน Generative AI ควรทำควบคู่กับการตรวจสอบและความเชี่ยวชาญของมนุษย์เพื่อให้ได้ผลลัพธ์ที่ถูกต้องและเหมาะสมที่สุด

จากข้อมูลที่ทำการศึกษาจะเห็นได้ว่าการใช้แชทบอทในงานด้านการบริการตอบคำถามให้กับลูกค้ามีประโยชน์ในการใช้งานบริการ นอกจากนี้มีการนำมาใช้โมเดลภาษาขนาดใหญ่ร่วมกับวิธีการผสานระบบดึงข้อมูลสำหรับการตอบคำถามทางการศึกษาโดยมีผลลัพธ์คะแนน ROGUE สูงขึ้น 67.8% เมื่อเทียบกับ ChatGPT แบบมาตรฐาน (Wu et al., 2023) จากงานวิจัยของ Poonprasaetporn et al. (2023) พบว่า การส่งคำสั่งแบบบทบาทสมมติ (Roleplay prompt) กับ ChatGPT มีความถูกต้องของคำตอบด้านสมุนไพรอยู่ที่ 86.67% มากกว่าแบบไร้ตัวอย่างอ้างอิง (Zero-shot prompt) ที่ 77.48% ในการศึกษา 6 แบบการใช้คำสั่งสำหรับแบบจำลอง GPT-4 สำหรับคำอธิบายเกี่ยวกับปรากฏการณ์ทางฟิสิกส์และเคมี พบว่า Chain of Thought prompts (CoT prompts) รวมกับโจทย์และเกณฑ์การให้คะแนน จะช่วยเพิ่มความแม่นยำของผลลัพธ์ได้อย่างมีนัยสำคัญโดยเพิ่มขึ้น 13.44% และ 3.7% เมื่อเทียบกับ Zero-shot prompts และ Few-shot prompts (Lee, G.-G. et.al., 2024) ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงมุ่งเน้นไปที่ Generative AI สำหรับการโต้ตอบแบบสนทนาและเข้าใจภาษาธรรมชาติ ที่สร้างความประทับใจคล้ายคลึงกับการสนทนาของมนุษย์ สำหรับช่วยตอบคำถามที่พบบ่อยในอุตสาหกรรมบริการ โดยทำการเปรียบเทียบประสิทธิภาพการบริการตอบคำถามลูกค้าโดยใช้ Generative AI โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อประเมินและเปรียบเทียบประสิทธิภาพการบริการตอบคำถามลูกค้าที่สร้างขึ้นจาก ChatGPT, Claude และ Gemini ซึ่งเป็นแชทบอทที่ได้รับความนิยมในปัจจุบัน อีกทั้งการวิจัยนี้มุ่งประเมินและเปรียบเทียบประสิทธิภาพรูปแบบการคำสั่งแบบปกติกับคำสั่งแบบบทบาทสมมติเพื่อศึกษารูปแบบการคำสั่งที่เหมาะสมสำหรับการบริการตอบคำถามให้กับลูกค้า เพื่อให้ นักพัฒนาสามารถนำจากการวิจัยนี้ไปต่อยอดในการพัฒนาแชทบอทเพื่อคัดเลือกแบบจำลองจาก Generative AI ที่เหมาะสมกับรูปแบบการคำสั่งสำหรับการตอบคำถามเพื่อบริการให้กับลูกค้าได้อย่างมีประสิทธิภาพ

วัสดุ อุปกรณ์ และวิธีการ

วิธีการดำเนินการวิจัย

การวิจัยนี้เป็นการวิจัยแบบเชิงปริมาณ โดยทำประเมินการตอบคำถามด้วย Generative AI ได้แก่ ChatGPT, Claude และ Gemini ทั้งคำสั่งแบบปกติ (Standard prompt) เป็นการสั่งงานโดยตรง โดยระบุสิ่งที่ต้องการให้ Generative AI ทำอย่างชัดเจน และคำสั่งแบบบทบาทสมมติ (Roleplay prompt) เป็นการกำหนดบทบาทหรือหน้าที่ให้กับ Generative AI เพื่อให้ตอบสนองตามบริบทที่กำหนด การใช้คำสั่งแบบปกติและคำสั่งแบบบทบาทสมมติเพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการตอบคำถามว่าการใช้ Prompt รูปแบบใดจะมีความเหมาะสมและใกล้เคียงกับคำตอบต้นฉบับ โดยใช้อัลกอริทึม ROUGE-L และมนุษย์



รูปที่ 1 ขั้นตอนการดำเนินการประเมินการตอบคำถามด้วย Generative AI

กลุ่มตัวอย่าง

กลุ่มตัวอย่างที่ใช้ในการศึกษาครั้งนี้ ได้แก่ ผู้เชี่ยวชาญจำนวน 5 ท่าน โดยวิธีการสุ่มแบบเจาะจง (Purposive sampling) เป็นการเลือกกลุ่มตัวอย่างเพื่อความเหมาะสมในการวิจัยและเป็นผู้ที่มีประสบการณ์ในการสอบถามเกี่ยวกับข้อมูลโรงแรมผ่านเว็บไซต์ที่มีการตอบกลับแบบอัตโนมัติ

เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

1. คำถามและคำตอบของโรงแรมแห่งหนึ่งซึ่งเป็นแหล่งข้อมูลที่เผยแพร่สู่สาธารณะ ชุดข้อมูลนี้ประกอบด้วยคำถามที่พบบ่อย (FAQ) จำนวน 50 ข้อ พร้อมคำตอบที่จัดเตรียมไว้จากเว็บไซต์ของโรงแรม ใช้สำหรับการประเมินและเปรียบเทียบประสิทธิภาพการตอบคำถามระหว่าง Generative AI และผู้เชี่ยวชาญกับคำตอบต้นฉบับจากเว็บไซต์ของโรงแรม ตัวอย่างคำถามและคำตอบที่ใช้ในการทดลอง เช่น

คำถาม โรงแรมมีสระว่ายน้ำของโรงแรมหรือไม่

คำตอบ โรงแรมมีสระว่ายน้ำตั้งอยู่ที่ชั้น 5 และชั้น 17

คำถาม โรงแรมรับชำระเงินแบบใดบ้าง?

คำตอบ โรงแรมรับชำระเงินด้วยบัตรเครดิตและเงินสดเท่านั้น

2. แบบประเมินการให้คะแนนการตอบคำถามด้วย Generative AI ได้แก่ ChatGPT, Claude และ Gemini ทั้งแบบปกติ (Standard prompt) และแบบบทบาทสมมติ (Roleplay prompt) ด้วยมนุษย์ (ผู้เชี่ยวชาญ)
3. Generative AI โมเดลที่ใช้ในการสร้างคำตอบ ได้แก่ ChatGPT, Claude และ Gemini
4. Python Programming สำหรับการคำนวณ ROUGE-L Score

การเก็บรวบรวมข้อมูล

1. ทำการประเมินประสิทธิภาพการตอบคำถามด้วย Generative AI ได้แก่ ChatGPT (GPT4o-mini), Claude (3.5 Sonnet) และ Gemini (1.5 Flash) ทำการประเมิน 2 รูปแบบ แบบปกติ (Standard prompt) และแบบบทบาทสมมติ (Roleplay prompt) โดยใช้อัลกอริทึม ROUGE-L

1.1 การเตรียมข้อมูลและกำหนดคำถาม

1) สร้างชุดคำถามโดยใช้ชุดคำถามที่พบบ่อยจากจากโรงแรมแห่งหนึ่งจำนวน 50 คำถาม จากเว็บไซต์ของโรงแรม

2) กำหนดคำตอบอ้างอิงสำหรับแต่ละคำถามซึ่งเป็นคำตอบต้นฉบับจากเว็บไซต์ของโรงแรม เพื่อใช้เป็นเกณฑ์ในการเปรียบเทียบ

3) การสร้างคำตอบด้วย Generative AI ได้แก่ ChatGPT, Claude และ Gemini ทั้งแบบปกติ (Standard prompt) และแบบบทบาทสมมติ (Roleplay prompt) โดยใช้คำสั่งดังตารางต่อไปนี้

ตารางที่ 1 คำสั่งสำหรับการสร้างคำตอบด้วย Generative AI แบบปกติ และบทบาทสมมติ

รูปแบบ	คำสั่ง
ปกติ	ตอบคำถามโดยใช้รายละเอียดใน INFO แท็ก <INFO>{ข้อมูลของโรงแรม}</INFO> คำถาม คือ {คำถาม}
บทบาทสมมติ	สวมบทบาทเป็นพนักงานต้อนรับ ตอบคำถามโดยใช้รายละเอียดใน INFO แท็ก <INFO>{ข้อมูลของโรงแรม}</INFO> คำถาม คือ {คำถาม}

1.2 ใช้ Generative AI แต่ละโปรแกรม สร้างคำตอบสำหรับคำถามเดียวกัน 3 ครั้ง (Iteration 1, Iteration 2, และ Iteration 3) เพื่อให้ได้คำตอบหลายรูปแบบจากคำถามเดียวกัน และทำการบันทึกคำตอบที่สร้างขึ้นทั้งหมด

1.3 การประเมินคำตอบด้วยอัลกอริทึม ROUGE-L

ประเมินคำตอบโดยใช้อัลกอริทึม ROUGE-L F1 เพื่อเปรียบเทียบคำตอบที่ได้จาก Generative AI กับคำตอบอ้างอิง ROUGE จะวัดความสอดคล้องของคำตอบตามลำดับประโยคและการจับคู่คำตามบริบทที่ใกล้เคียงมากที่สุด (Longest Common Subsequence; LCS) ทำการคำนวณ ROUGE สำหรับคำตอบแต่ละรอบที่สร้างจาก Generative AI โดยทำการคำนวณจาก ROUGE-L recall และ ROUGE-L precision ดังต่อไปนี้

$$ROUGE - L recall = \frac{\text{ข้อความร่วมกันที่ยาวที่สุด (LCS)}}{\text{จำนวนคำในคำตอบอ้างอิง}} \quad (1)$$

$$ROUGE - L precision = \frac{\text{ข้อความร่วมกันที่ยาวที่สุด (LCS)}}{\text{จำนวนคำในคำตอบที่ได้จาก Generative AI}} \quad (2)$$

$$ROUGE - L F1 = \frac{2 * ROUGE - L recall * ROUGE - L precision}{ROUGE - L recall + ROUGE - L precision} \quad (3)$$

งานวิจัยนี้ใช้ ROUGE-L เป็นตัววัดที่ใช้พิจารณาความเหมือนของลำดับคำ ซึ่งจะช่วยให้สามารถประเมินความคล้ายคลึงของคำตอบที่ได้จาก Generative AI กับคำตอบอ้างอิงได้อย่างยืดหยุ่นมากกว่าการเปรียบเทียบแบบคำต่อคำหรือกลุ่มของคำ อีกทั้งในบทสนทนาเดียวกันอาจมีรูปแบบของคำตอบที่ถูกต้องหลากหลายรูปแบบ ดังนั้นการใช้ ROUGE-L จึงช่วยให้สามารถวัดความคล้ายคลึงเชิงโครงสร้างได้โดยไม่ต้องอาศัยการเรียงลำดับคำที่แน่นอนได้อย่างยืดหยุ่น โดยค่า ROUGE-L จะอยู่ระหว่าง 0 ถึง 1 โดยคะแนนที่สูงกว่า (ใกล้ 1) บ่งชี้ว่าคำตอบที่สร้างขึ้นและคำตอบที่อ้างอิงมีความคล้ายคลึงกัน (Lin, 2004)

1.4 การวิเคราะห์ผลเปรียบเทียบคะแนนที่ได้จากอัลกอริทึม ROUGE ของคำตอบที่สร้างขึ้นจาก Generative AI แต่ละโปรแกรมทั้ง 3 ครั้ง บันทึกผลลัพธ์และวิเคราะห์ความแตกต่างระหว่าง Iterations เพื่อหาว่ารูปแบบใดของการสร้างคำตอบสอดคล้องกับมาตรฐานที่สุด โดยพิจารณาจากผลการให้คะแนน ROUGE ของแต่ละ Iteration จากทั้ง 3 รอบ แล้วนำมาหาค่าเฉลี่ยและค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

2. ประเมินการให้คะแนนการตอบคำถามด้วย Generative AI ได้แก่ ChatGPT (GPT4o-mini), Claude (3.5 Sonnet) และ Gemini (1.5 Flash) ทำการประเมิน 2 รูปแบบ แบบปกติ (Standard prompt) และแบบบทบาทสมมติ (Roleplay prompt) ด้วยมนุษย์ (ผู้เชี่ยวชาญ)

ในการเก็บรวบรวมข้อมูลการวิจัย ได้ดำเนินการตามลำดับขั้นตอน ดังนี้

2.1 สร้างแบบประเมินการให้คะแนนการตอบคำถามจากคำถามที่พบบ่อยของโรงแรม ด้วย Generative AI ได้แก่ ChatGPT, Claude และ Gemini ทั้งแบบปกติ และแบบบทบาทสมมติ

2.2 นำคำตอบที่สร้างโดย Generative AI ได้แก่ ChatGPT, Claude และ Gemini ทั้งแบบปกติและแบบบทบาทสมมติ มาใช้ในการประเมินคำตอบทั้งหมดโดยผู้เชี่ยวชาญ

2.3 ประเมินคำตอบที่สร้างจาก Generative AI ได้แก่ ChatGPT, Claude และ Gemini ทั้งแบบปกติ และแบบบทบาทสมมติ ด้วยแบบประเมินที่ผู้วิจัยได้พัฒนาขึ้น โดยผู้เชี่ยวชาญจะทำการให้คะแนนคำตอบทุกข้อ โดยมีคะแนน ตั้งแต่ 1–5 คะแนน โดยที่ค่า 1 แสดงว่าคำตอบมีความใกล้เคียงกับคำตอบอ้างอิงที่น้อย จากนั้นไล่ระดับไปจนถึง 5 ซึ่งแสดงถึง ว่าคำตอบมีความใกล้เคียงของคำตอบอ้างอิงที่มาก

2.4 ทำการวิเคราะห์ผลเปรียบเทียบคะแนนที่ได้จากผู้เชี่ยวชาญโดยใช้ค่าเฉลี่ยและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

3. เปรียบเทียบคะแนนเฉลี่ยที่ได้จากการประเมินโดยแบ่งเป็น 2 กลุ่มที่เป็นอิสระต่อกัน คือ 1) ประเมินโดย อัลกอริทึม ROUGE-L และ 2) ประเมินโดยผู้เชี่ยวชาญ โดยคะแนนที่ได้จะถูกนำมาเปรียบเทียบเฉพาะภายในกลุ่มเดียวกัน เท่านั้นเพื่อศึกษาความแตกต่างของการตอบคำถาม

การวิเคราะห์ข้อมูล

การวิเคราะห์ข้อมูลเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการตอบคำถามของ Generative AI ที่ประเมินการให้คะแนนโดยใช้ อัลกอริทึม ROUGE-L และมนุษย์ (ผู้เชี่ยวชาญ) โดยใช้คะแนนเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

ผลการวิจัย

การตอบคำถามของ Generative AI ได้แก่ ChatGPT, Claude และ Gemini ทั้งแบบปกติ (Standard prompt) และ แบบบทบาทสมมติ (Roleplay prompt) ได้ผลลัพธ์ดังตารางที่ 2 และตารางที่ 3

ตารางที่ 2 ตัวอย่างการตอบคำถามของ Generative AI ได้แก่ ChatGPT, Claude และ Gemini แบบปกติ

คำถาม	คำตอบ		
	ChatGPT	Claude	Gemini
โรงแรมมีสระว่ายน้ำของโรงแรมหรือไม่?	มีค่ะ โรงแรมมีสระว่ายน้ำ ตั้งอยู่ที่ชั้น 5 และชั้น 17 ของโรงแรม	มีค่ะ โรงแรมมีสระว่ายน้ำ 2 แห่ง ตั้งอยู่ที่ชั้น 5 และชั้น 17	มีค่ะ สระว่ายน้ำของโรงแรมตั้งอยู่ที่ชั้น 5 และชั้น 17
โรงแรมรับชำระเงินแบบใดบ้าง	โรงแรมรับการชำระเงินด้วย: บัตรเครดิต เงินสด ไม่สามารถใช้ค่าเงินอื่นในการชำระเงินได้ และราคาห้องพักที่แสดงบนเว็บไซต์รวมภาษี และค่าบริการแล้ว	โรงแรมรับชำระเงินเฉพาะ 2 วิธีคือ: บัตรเครดิต เงินสด โรงแรมรับเฉพาะเงินไทย บาทเท่านั้น ไม่สามารถจ่ายค่าห้องพักด้วยสกุลเงินอื่นได้	โรงแรมรับชำระเงินด้วยบัตรเครดิตและเงินสดเท่านั้น

ตารางที่ 3 ตัวอย่างการตอบคำถามของ Generative AI ได้แก่ ChatGPT, Claude และ Gemini แบบบทบาทสมมติ

คำถาม	คำตอบ		
	ChatGPT	Claude	Gemini
โรงแรมมีสระว่ายน้ำของโรงแรมหรือไม่?	โรงแรมมีสระว่ายน้ำให้บริการ คะ สระว่ายน้ำของเราตั้งอยู่บน ชั้น 5 และชั้น 17 คะ ท่าน สามารถเลือกใช้บริการตาม สะดวกเลยนะคะ หากต้องการ ข้อมูลเพิ่มเติมหรือความ ช่วยเหลืออื่น ๆ สามารถแจ้ง ดิฉันได้ค่ะ	ครับ โรงแรมของเรามีสระ ว่ายน้ำให้บริการ 2 แห่งครับ ตั้งอยู่ที่: ชั้น 5 ชั้น 17 ท่านสามารถเลือกใช้บริการ สระว่ายน้ำได้ตามความ สะดวก ซึ่งแต่ละสระก็จะมี บรรยากาศและทัศนียภาพที่ แตกต่างกันไปครับ มีอะไร เพิ่มเติมที่ต้องการทราบ เกี่ยวกับสระว่ายน้ำหรือสิ่ง อำนวยความสะดวกอื่น ๆ ของโรงแรมไหมครับ?	มีค่ะ โรงแรมของเรามีสระว่ายน้ำ ให้บริการ 2 สระด้วยกันนะคะ สระแรกอยู่ที่ชั้น 5 และอีกสระอยู่ ที่ชั้น 17 คะ ท่านสามารถเลือกใช้ บริการได้ตามความสะดวกเลยคะ
โรงแรมรับชำระเงินแบบใดบ้าง	ทางโรงแรมรับชำระเงินด้วย บัตรเครดิตและเงินสดเท่านั้นคะ สำหรับบัตรเครดิตสามารถใช้ เพื่อยืนยันการจองและชำระ ค่าใช้จ่ายได้ ส่วนสกุลเงินที่รับ เฉพาะเงินบาทเท่านั้นคะ ไม่ สามารถชำระด้วยสกุลเงินอื่นได้ หากมีคำถามเพิ่มเติมหรือข้อ สงสัยใด ๆ สามารถสอบถามได้ เลยนะคะ ยินดีให้บริการคะ	โรงแรมของเรารับชำระเงิน เป็นบัตรเครดิตและเงินสด เท่านั้นครับ โดยเรารับ เฉพาะสกุลเงินไทยบาทนะ ครับ ไม่สามารถชำระด้วย สกุลเงินอื่นได้ครับ หากคุณ มีคำถามเพิ่มเติมเกี่ยวกับ การชำระเงิน ผมยินดีให้ ข้อมูลเพิ่มเติมครับ	โรงแรมรับชำระเงินแบบบัตร เครดิตและเงินสดเท่านั้นคะ

ตารางที่ 4 จำนวนคำเฉลี่ยจากคำตอบทั้งหมดที่ได้จาก Generative AI จากแบบปกติ และแบบบทบาทสมมติ

Generative AI	Standard prompt	Roleplay prompt	เปลี่ยนแปลง(%)
ChatGPT	41.28	58.11	40.77
Claude	77.76	79.38	2.08
Gemini	110.83	123.39	11.33

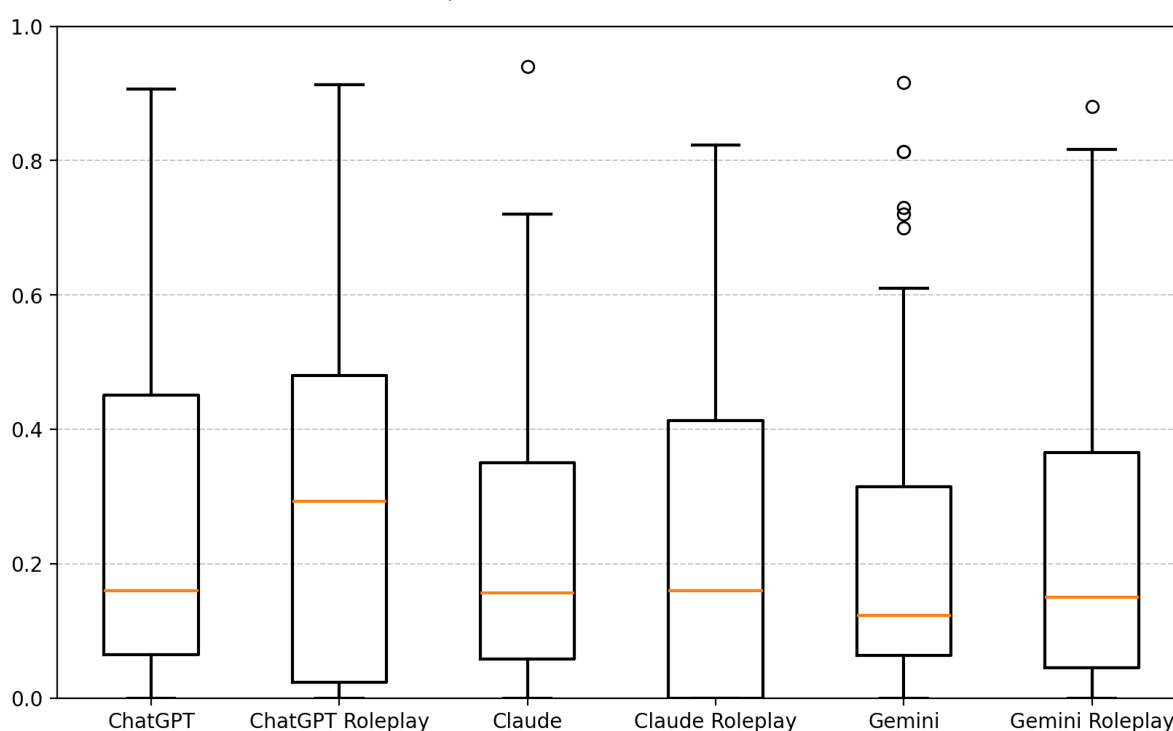
จากตารางที่ 2 และ 3 จะพบว่า การคำสั่งแบบบทบาทสมมติส่งผลให้คำตอบจาก Generative AI มีจำนวนข้อความที่ยาวขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับตารางที่ 4 ที่แสดงให้เห็นว่าคำตอบจากคำสั่งแบบบทบาทสมมติมีจำนวนคำเฉลี่ยมากกว่าคำตอบจากคำสั่งแบบปกติ โดย ChatGPT มีอัตราการเพิ่มขึ้นสูงสุด 40.77% จาก 41.28 คำเป็น 58.11 คำ รองลงมาคือ Gemini เพิ่มขึ้น 11.33% จาก 110.83 คำเป็น 123.39 คำ และ Claude เพิ่มขึ้นเพียง 2.08% จาก 77.76 คำเป็น 79.38 คำ จากผลลัพธ์นี้แสดงให้เห็นว่าคำสั่งแบบบทบาทสมมติมีส่วนช่วยกระตุ้นให้ AI สร้างคำตอบที่ละเอียดและยาวขึ้น โดยเฉพาะในกรณีของ ChatGPT ซึ่งมีการเพิ่มขึ้นของจำนวนคำมากที่สุด

ผู้วิจัยได้รวบรวมข้อมูลจากการประเมินการตอบคำถามด้วย Generative AI ได้แก่ ChatGPT, Claude และ Gemini ทั้งแบบปกติ (Standard prompt) และแบบบทบาทสมมติ (Roleplay prompt) โดยใช้อัลกอริทึม ROUGE-L และมนุษย์ (ผู้เชี่ยวชาญ) สรุปผลการประเมินการตอบคำถามด้วย Generative AI ดังนี้

ตารางที่ 5 ผลการประเมินการตอบคำถามด้วย Generative AI ได้แก่ ChatGPT, Claude และ Gemini ทั้งแบบปกติ (Standard prompt) และแบบบทบาทสมมติ (Roleplay prompt) โดยใช้อัลกอริทึม ROUGE-L

Generative AI	Standard prompt		Roleplay prompt	
	$\bar{x}$	S.D.	$\bar{x}$	S.D.
ChatGPT	0.26547	0.23861	0.29307	0.27855
Claude	0.22400	0.20983	0.22993	0.23479
Gemini	0.23213	0.24761	0.23747	0.23288

จากตารางที่ 5 พบว่า ผลการประเมินการตอบคำถามด้วย Generative AI ทั้งในแบบปกติและแบบบทบาทสมมติ พบว่า ผลการประเมินคำตอบที่คล้ายคลึงกับคำตอบที่ถูกต้องมากที่สุด ได้แก่ ChatGPT มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.26547 รองลงมาคือ Gemini มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.23213 และ Claude มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.22400 สำหรับผลการประเมินการตอบคำถามด้วย Generative AI แบบบทบาทสมมติ พบว่า ผลการประเมินคำตอบที่คล้ายคลึงกับคำตอบที่ถูกต้องมากที่สุดยังคงเป็น ChatGPT ซึ่งมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.29307 รองลงมาคือ Gemini มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.23747 และคะแนนประเมินต่ำที่สุด ได้แก่ Claude ซึ่งมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.22993 ทั้งนี้เมื่อพิจารณาจำนวนค่าเฉลี่ยของคำตอบจาก Generative AI ในตารางที่ 4 โดยเปรียบเทียบกับคำสั่งแบบปกติและแบบบทบาทสมมติ พบว่า การมีจำนวนข้อความที่ยาวขึ้นอาจส่งผลต่อการได้ค่า ROUGE-L ให้ที่สูงขึ้น แต่เมื่อพิจารณา Generative AI ทั้ง 3 พบว่า ChatGPT จะให้คำตอบที่มีค่าเฉลี่ยจำนวนคำที่น้อยกว่า Claude และ ChatGPT แต่กลับได้ค่า ROUGE-L ที่สูงกว่า ซึ่งแสดงให้เห็นว่าคำตอบของ ChatGPT มีความสอดคล้องกับคำตอบอ้างอิงมากกว่า ดังนั้นจำนวนคำอาจไม่ใช่ปัจจัยที่ส่งผลโดยตรงต่อคุณภาพของคำตอบ



รูปที่ 2 เปรียบเทียบการกระจายของผลการประเมินการตอบคำถามของ ChatGPT Claude และ Gemini แบบปกติ และแบบบทบาทสมมติด้วยแผนภาพกล่อง

จากรูปที่ 2 แสดงการกระจายของผลการประเมินการตอบคำถามของ ChatGPT Claude และ Gemini แบบปกติ และแบบบทบาทสมมติด้วยแผนภาพกล่อง พบว่า ChatGPT แบบบทบาทสมมติมีประสิทธิภาพการตอบคำถามสูงที่สุดโดยมีค่ามัธยฐาน (Median) และควอไทล์ที่สาม (Q3) สูงกว่า Generative AI อื่นอย่างชัดเจน สะท้อนถึงความสามารถในการตอบคำถามได้ใกล้เคียงกับคำตอบที่ถูกต้อง Claude มีประสิทธิภาพรองลงมา ในขณะที่ Gemini มีค่ามัธยฐานที่ต่ำที่สุด อีกทั้งยังพบว่าการตอบคำถามแบบบทบาทสมมติมีค่ามัธยฐานที่สูงกว่าแบบปกติในทุก Generative AI นอกจากนี้เมื่อพิจารณาส่วนของค่าสุดโต่ง (Outlier) จะพบมากที่สุดที่ Gemini และรองลงมา คือ Claude และ Gemini Roleplay

ตารางที่ 6 ผลการประเมินการตอบคำถามด้วย Generative AI ได้แก่ ChatGPT, Claude และ Gemini ทั้งแบบปกติ (Standard prompt) และแบบบทบาทสมมติ (Roleplay prompt) จากผู้เชี่ยวชาญ

Generative AI	Standard prompt		Roleplay prompt	
	$\bar{x}$	S.D.	$\bar{x}$	S.D.
ChatGPT	4.1556	0.32126	4.2867	0.21670
Claude	3.8733	0.32887	4.0178	0.31534
Gemini	3.9622	0.43125	4.0222	0.31190

จากตารางที่ 6 พบว่า ผลการประเมินการตอบคำถามด้วย Generative AI แบบปกติและแบบบทบาทสมมติจากผู้เชี่ยวชาญ ผลการประเมินคำตอบที่คล้ายคลึงกับคำตอบที่ถูกต้องมากที่สุด ได้แก่ ChatGPT มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 4.1556 รองลงมาได้แก่ Gemini มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 3.9622 และ Claude มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 3.8733 และผลการประเมินการตอบคำถามด้วย Generative AI แบบบทบาทสมมติ (Roleplay prompt) ผลการประเมินคำตอบที่คล้ายคลึงกับคำตอบที่ถูกต้องมากที่สุด ได้แก่ ChatGPT มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 4.2867 รองลงมาได้แก่ Gemini มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 4.0222 และคะแนนประเมินน้อยที่สุด ได้แก่ Claude มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 4.0178

การอภิปรายผล

ผลการวิจัยแสดงให้เห็นว่า ChatGPT มีประสิทธิภาพในการตอบคำถามที่ดีที่สุดในคำสั่ง แบบปกติ และ บทบาทสมมติ ซึ่งสะท้อนถึงความสามารถของ ChatGPT ในการตีความของคำถามและสร้างคำตอบได้ใกล้เคียงกับคำตอบที่ถูกต้องมากที่สุด โดยเฉพาะการตอบคำถามในรูปแบบ บทบาทสมมติ พบว่า ChatGPT มีค่าเฉลี่ย ROUGE-L สูงที่สุดที่ 0.29307 และสอดคล้องกับคะแนนจากผู้เชี่ยวชาญสูงสุดที่ 4.2867 ขณะที่ Gemini และ Claude มีประสิทธิภาพรองลงมาตามลำดับ นอกจากนี้พบว่า เมื่อใช้คำสั่งแบบบทบาทสมมติ ทำให้ ChatGPT มีค่าเฉลี่ยของจำนวนคำในคำตอบเพิ่มขึ้น 40.77% เมื่อเทียบกับคำสั่งแบบปกติ ซึ่งเป็นอัตราการเพิ่มขึ้นที่สูงกว่าทั้ง Gemini (11.33%) และ Claude (2.08%) แม้ว่าคำสั่งแบบบทบาทสมมติจะทำให้คำตอบยาวขึ้น แต่ ChatGPT ยังคงมีจำนวนคำเฉลี่ยน้อยที่สุดที่ 58.11 คำ เมื่อเทียบกับ Claude (79.38 คำ) และ Gemini (123.39 คำ) แสดงให้เห็นว่า ChatGPT สามารถตอบคำถามได้ กระชับและตรงประเด็นมากกว่า Claude และ Gemini ดังนั้นจำนวนคำที่มากกว่าอาจไม่ใช่ปัจจัยที่ส่งผลโดยตรงต่อคุณภาพของคำตอบ แต่ความถูกต้องและความสอดคล้องกับคำตอบอ้างอิงจะเป็นปัจจัยที่มีความสำคัญมากกว่า จากนั้นเมื่อพิจารณาค่าสุดโต่ง (Outlier) พบว่า มีจำนวนมากใน Gemini ซึ่งอาจเป็นผลมาจากการที่ Gemini มีความสามารถในการเชื่อมต่อหรือสืบค้นข้อมูลจากแหล่งข้อมูลภายนอกหรือเว็บไซต์ต่าง ๆ ทำให้มีโอกาสให้คำตอบนอกเหนือเนื้อหาที่ระบุไว้ เช่น มีการให้คำตอบที่นอกเหนือจากบริบทของโรงแรม หรือ ข้อมูลของโรงแรมแต่จากเว็บไซต์อื่นที่มีข้อมูลไม่ตรงกัน เป็นต้น นอกจากนี้ ยังพบว่า การกำหนดบทบาทสมมติ หรือการสร้างบทบาทที่ชัดเจนให้กับ Generative AI ทำให้การตีความและตอบคำถามมีความถูกต้องและแม่นยำยิ่งขึ้นมากกว่าการถามตอบแบบปกติ

อย่างไรก็ตาม การวิจัยนี้ยังมีข้อจำกัดในการตอบคำถามจากบริบทของโรงแรมอย่างเดียว ซึ่งอาจจะไม่ครอบคลุมในการตอบคำถามในบริบทอื่น ๆ อีกทั้งยังทำการศึกษาเฉพาะภาษาไทยเท่านั้น ซึ่งในอนาคตผู้วิจัยจะมีการศึกษาความสามารถในบริบทอื่น ๆ รวมทั้งเพิ่มเติมรูปแบบของคำสั่ง และรูปแบบของคำถามที่ซับซ้อนกว่านี้

บทสรุป

งานวิจัยนี้เป็นการประเมินและเปรียบเทียบประสิทธิภาพการบริการตอบคำถามลูกค้าที่สร้างขึ้นจาก Generative AI ได้แก่ ChatGPT, Claude และ Gemini โดยทำการประเมินคำตอบจากการใช้อัลกอริทึม ROUGE-L และมนุษย์ เพื่อวิเคราะห์ถึงความแม่นยำของการตอบสนองในบริบทของการให้บริการลูกค้า ซึ่งทำการทดสอบโดยใช้คำถาม 50 คำถาม และทำการทดสอบโดยการเปรียบเทียบค่าคะแนนเฉลี่ยของการตอบคำถามในเรื่องความถูกต้องในการตอบคำถาม ผลการวิจัยพบว่า ChatGPT ให้ค่าคะแนนเฉลี่ยมากที่สุดในการให้คำตอบที่ใกล้เคียงกับคำตอบที่ถูกต้องมากที่สุดทั้ง 2 รูปแบบคือการประมวลผลคำตอบในรูปแบบปกติ (Standard prompt) และรูปแบบบทบาทสมมติ (Roleplay prompt) สามารถนำไปเป็นทางเลือกเพื่อนำไปประยุกต์ใช้ในการเป็นแชทบอทหรือเป็นผู้ช่วยในการตอบคำถามอัตโนมัติในธุรกิจหรือหน่วยงานต่าง ๆ ได้ เพื่อสนับสนุนงานบริการลูกค้า ให้การบริการตอบคำถามได้แม่นยำใกล้เคียงกับคำตอบที่ถูกต้อง ซึ่งการประยุกต์ใช้ Generative AI ในการตอบคำถามลูกค้าช่วยลดเวลาที่ใช้ในการให้บริการและเพิ่มความพึงพอใจของลูกค้าได้ มีความยืดหยุ่นในการตอบคำถามที่ซับซ้อนและมีรายละเอียดมากขึ้น

เอกสารอ้างอิง

- นันทน์ภัส ประจกการ. (2560). แนวทางการปรับใช้แชทบอทสำหรับงานบริการลูกค้า. การค้นคว้าอิสระสาขาวิชาวิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต สาขาวิชาการบริหารการตลาด คณะพาณิชยศาสตร์และการบัญชี มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์.
- ศรุต จรูญเมธี. (2567). 5 เหตุผลที่ช่วย Generative AI จำเป็นกับงานบริการลูกค้า. ค้นเมื่อ 10 กันยายน 2567.
<https://www.amitysolutions.com/th/blogs/5-ways-Generative-ai-assistants-master-customer-service>
- สมพงษ์ อัครวิธิปัติ และรชพร จันทร์สว่าง. (2566). ประสิทธิภาพระบบตอบรับอัตโนมัติที่ส่งผลกระทบต่อคุณภาพบริการด้านการสื่อสารของธุรกิจสายการบินที่ทำการบินภายในประเทศ. วารสารวิจัยรำไพพรรณี. 17(3): 77-89.
- สุทธิภาส ขาญชัยประสิทธิ์ และวศิน ชูประยูร. (2563). การประเมินประสิทธิภาพ ประสิทธิผล และความพึงพอใจในการใช้โปรแกรม Chatbot ธนาคารในประเทศไทย. วารสารรังสิตสารสนเทศ. 26(1): 117-136.
- Boruah M. (2024). Chatbots vs. Humans: Which one should you choose and why?. Accessed 11 Oct. 2024.
<https://www.kommunicate.io/blog/chatbots-vs-humans/>
- Chowdhury N.M. (2023). Improving customer care with ChatGPT: A case study. Bachelor of Science Computer Science and Technology. Chongqing University of Posts and Telecommunications Chongqing China.
- Gartner. (2024). Top strategic technology trends 2024: Advancing business value with AI trust and sustainability. Accessed 11 Oct. 2024. <https://www.gartner.com/en/articles/gartner-top-10-strategic-technology-trends-for-2024>
- IBM. (2023). 5 types of chatbot and how to choose the right one for your business. Accessed 6 Jul. 2024.
<https://www.ibm.com/think/topics/chatbot-types>
- Lee, G.-G., Latif, E., Wu, X., Liu, N., and Zhai, X. (2024). Applying large language models and chain-of-thought for automatic scoring. Computers and Education: Artificial Intelligence, 6, 100213.
- Lin C.Y. (2004). ROUGE: A Package for automatic evaluation of summaries. Text Summarization Branches Out. Barcelona. Spain.
- Lins dos Santos, L.F. (2023). Evaluating and comparing generative-based chatbots based on process requirements. Master of Mathematics Thesis. Computer Science, University of Waterloo.
- McKinsey and Company. (2023). The state of AI in 2023: Generative AI's breakout year. McKinsey Digital. Accessed 11 Oct. 2024. <https://www.mckinsey.com/capabilities/quantumblack/our-insights/the-state-of-ai-in-2023-Generative-ais-breakout-year>

- MIT Technology Review. (2019). The AI issue: The state of artificial intelligence. Massachusetts Institute of Technology. Accessed 6 Sep. 2024. <https://www.technologyreview.com/2019/01/08/137912/the-state-of-artificial-intelligence/>
- Poonpresartporn A., Uttarakorn P. and Chuaybamroong R. (2023). "Comparing the accuracy and referencing of ChatGPT's responses to herbal medicine queries: A zero-shot versus roleplay prompting approach. *The Thai Journal of Pharmaceutical Sciences*. 47(4): 1-11.
- Stryker C. and Scapicchio M. (2024). What is Generative AI. Accessed 6 Sep. 2024. <https://www.ibm.com/topics/Generative-ai>
- Subagja A.D., Ausat A.MA., Sari A.R., Wanof M.I and Suherlan. (2023). Improving customer service quality in MSMEs through the use of ChatGPT. *Jurnal Minfo Polgan*. 12(2): 380-386.
- World Economic Forum. (2023). The future of jobs report 2023. World Economic Forum. Accessed 6 Sep. 2024. <https://www.weforum.org/publications/the-future-of-jobs-report-2023/>
- Wu Y., Henriksson A., Duneld M. and Nouri J. (2023). Towards improving the reliability and transparency of chatgpt for educational question answering. In *European Conference on Technology Enhanced Learning* 28 August 2023. Switzerland. 475-488.
- Yun J. and Park J. (2022). The effects of chatbot service recovery with emotion words on customer satisfaction, repurchase intention, and positive word-of-mouth. Accessed 6 Sep. 2024. <https://www.frontiersin.org/journals/psychology/articles/10.3389/fpsyg.2022.922503/full>

ATRJ



วารสารเกษตรศาสตร์และเทคโนโลยี
มทร.อีสาน



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

คณะเกษตรศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน วิทยาเขตสุรินทร์