

ปีที่ 5 ฉบับที่ 3 กันยายน – ธันวาคม 2567
Vol.5 No.3 September – December 2024

การตอบสนองของพันธุ์มันสำปะหลังต่อการเจริญเติบโตในช่วงต้น ต่อชนิดของปุ๋ยคอกที่แตกต่างกัน
ภากร พันธพาน, ภาณุพงศ์ พลเจริญ และชัชวาล แสงฤทธิ์

การออกแบบระบบพยุ่งน้ำหนักบางส่วนสำหรับช้างบาดเจ็บ
ภาคย์ พรหมณ์แก้ว, ประญา มุงตา, กังสตา สุกุลพงษ์มาลี, ช่างชัย ชูบวา, อธิพัฒน์ รูปคม, กฤษณ์ ไชยวงศ์,
อลงกรณ์ ฉัตรเมืองปัก, บัณฑิตพงษ์ ศรีอำมย์, มหิธร ประภาสโนบล และวัชรชัย ทนทาน

การออกแบบและใช้งานระบบตรวจสอบมลพิษทางอากาศ
ปิยพัฒน์ พานเมือง, อัครกฤษณ์ ศรีทอง, สุรกิจ อภิรักษาร, และกิตติ ภูธรธรรม

ผลของสภาวะการเก็บรักษาต่อการเปลี่ยนแปลงภายหลังการเก็บเกี่ยวของใบฟักโหมสวนสด
สุกัญญา บุญตะนัย, หทัยพร กัมพวงค์, กฤตยา อุทโร และวิโรทย์ อุทโร

ผลของอุณหภูมิและระยะเวลาการทำให้แห้งแบบแช่เยือกแข็งต่อคุณภาพกล้วยหอมทองอบกรอบ
ประกาศ ชมภูทอง, กัญญา รัชตะชัยยศ, บำเพ็ญ นิ่มเขียน และสุภัทรา กล้าสกุล

อิทธิพลของพาสโคไมทราโซลต่อการเจริญเติบโตและวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมี ของดอกสายหยุด
อนันต์ พิริยะภัทรกิจ, พรกมล รูปเลิศ, มาริยาห์ แสนแก้ว, พันธ์ เดชเสย์ และนิรันดร์ วิพันธุ์เงิน

Enhancing water quality monitoring in shrimp ponds using machine learning and bio-inspired optimization
Surasit Songma, Watcharakorn Netharn and Rungkiat Kawpet

อิทธิพลของวัสดุปลูกต่อผลผลิตของฟักทองปัตเตอร์นัท
วินากร ที่รัก, ฉัตรชัย แสนขวัญแก้ว และภาคิน หมั่นทุ่ง

ผลของการใช้วัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรในการเพาะเลี้ยงเห็ดทั้งเห็ดสีทอง
อรลิตา เชื้อจันทร์, นิภาวรรณ จิตโสภาคกุล, อุไรลักษณ์ พงษ์เกษ และหยาดนภา เอนสอน

The study on the adaptation of light spectrum control in broiler barns
Navavit Ponganan, Teerayut Horanont, Autawin Suttiwichienchot, Ravipan Saleepon and Nattaya Prapaipanich

ISSN 3057-0174 (Print)

ISSN 3057-0182 (Online)

คณะเกษตรศาสตร์และเทคโนโลยี
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน วิทยาเขตสุรินทร์



คำนำ

วารสารวิจัยเกษตรศาสตร์และเทคโนโลยี มทร.อีสาน เป็นวารสารที่จัดทำขึ้นเพื่อตีพิมพ์บทความที่เป็นประโยชน์ต่อการวิชาการและบุคคลทั่วไป โดยมีสาขาย่อย 3 สาขา ได้แก่ วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี เกษตรศาสตร์ และวิศวกรรมศาสตร์ โดยวารสารฉบับนี้ได้เผยแพร่ผลงานที่มีเนื้อหาทางด้านวิชาการ การสร้างองค์ความรู้ การบูรณาการ และข้อมูลอันเป็นประโยชน์จากคณาจารย์ นักศึกษา และผู้เชี่ยวชาญในสาขาวิชาต่าง ๆ เพื่อจะนำไปสู่การยกระดับคุณภาพชีวิต รวมทั้งก่อให้เกิดประโยชน์ทางด้านวิชาการแก่ผู้ที่สนใจทั่วไป โดยมีบทความ 10 เรื่อง ที่มีเนื้อหาหลากหลาย ได้แก่ 1) การตอบสนองของพันธุ์มันสำปะหลังต่อการเจริญเติบโตในช่วงต้น ต่อชนิดของปุ๋ยคอกที่แตกต่างกัน 2) การออกแบบระบบพุน้ำหนักบางส่วนสำหรับช้างบาดเจ็บ 3) การออกแบบและการใช้งานระบบตรวจสอบมลพิษทางอากาศ 4) ผลของสภาวะการเก็บรักษาต่อการเปลี่ยนแปลงภายหลังการเก็บเกี่ยวของใบผักโขมสวนสด 5) ผลของอุณหภูมิและระยะเวลาการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็งต่อคุณภาพกล้วยหอมทองอบกรอบ 6) อิทธิพลของพาโคลบิวทราโซลต่อการเจริญเติบโตและวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของดอกสายหยุด 7) Enhancing water quality monitoring in shrimp ponds using machine learning and bio-inspired optimization 8) อิทธิพลของวัสดุปลูกต่อผลผลิตของฟักทองแบตเตอรี่ 9) ผลของการใช้วัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรในการเพาะเลี้ยงเห็ดถั่งเช่าสีทอง 10) The study on the adaptation of light spectrum control in broiler barns

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	สิทธิวงษ์	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน วข.สุรินทร์
รองบรรณาธิการ	ดร.พงศ์ภัทร	เกียรติประเสริฐ	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน วข.สุรินทร์
ผู้ช่วยบรรณาธิการ	ดร.ปวีณา	สาสิทธิ์	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน วข.สุรินทร์
	ดร.อัญวิณ์	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	แทนอมทอง	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.พันธ์วัศ	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	สันติวรการ	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
ผศ.ดร.บัณฑิต	ยวงสร้อย	มหาวิทยาลัยขอนแก่น
ผศ.ดร.พัชริน	สงศรี	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
ดร.ทิวากร	อำพาพล	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน วช.สุรินทร์
ดร.นิตยา	ภูงาม	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน วช.สุรินทร์
ดร.เรวัฒน์	เติมกล้า	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน วช.สุรินทร์
ดร.วิภาสิทธิ์	หิรัญรัตน์	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน วช.สุรินทร์
ดร.สุทธิชาน	นิลฤทธิ์	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน วช.สุรินทร์
ดร.สุริยา	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 5 ฉบับที่ 3

ศ.ดร.เชิดศักดิ์ สุขศิริพัฒน์พงศ์

รศ.ดร.ปรเมศ บรรเทิง

รศ.ดร.โอฬาริก สุรินทร์

รศ.ดร.สำเนา เสาวกุล

รศ.ดร.สมชาย บุตรนนท์

รศ.ดร.วีระเวทย์ อุทโท

รศ.ดร.ปราณีต งามเสน่ห์

ผศ.ดร.น.สพ.สุทธิดล ปิยะเดชสุนทร

ผศ.ดร.วนิดา สำราญรมย์

ผศ.ดร.ปวิวัติ วรามิตร

ผศ.ดร.สุรสิงห์ อารยางค์กูร

ผศ.สุรสิทธิ์ พ่อคำ

ผศ.ดร.ภาสพิชญ์ ชูใจ มิเชล

ผศ.ดร.พิชญ์สินี กิจวัฒนาถาวร

ผศ.ดร.อรลดา เจือจันทร์

ผศ.ดร.สุนิดา เมืองโคตร

สพ.ญ.ดร.พิมพ์ชนก โล่ห์ทองคำ

ดร.เจนจิรา ผกาวัลย์

ดร.อยุธยา คงปั้น

ดร.ชัชวาลย์ แสงฤทธิ์

ดร.สุจิตรา เจาะจง

ดร.สุพัตรา มหาโกสีย์

ดร.สุภัตรา โอกระโทก

ดร.อานนท์ จันทร์เกตุ

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน

มหาวิทยาลัยขอนแก่น

มหาวิทยาลัยมหาสารคาม

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน วข.สุรินทร์

มหาวิทยาลัยราชภัฏสกลนคร

มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี

นักวิจัยอิสระ

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน วข.สุรินทร์

มหาวิทยาลัยราชภัฏบุรีรัมย์

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน

มหาวิทยาลัยราชภัฏสุรินทร์

มหาวิทยาลัยกาฬสินธุ์

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน วข.สุรินทร์

มหาวิทยาลัยราชภัฏอุบลราชธานี

มหาวิทยาลัยราชภัฏนครราชสีมา

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

มหาวิทยาลัยกาฬสินธุ์

มหาวิทยาลัยนครพนม

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี

บทบรรณาธิการ



คณะเกษตรศาสตร์และเทคโนโลยี

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน

วิทยาเขตสุรินทร์

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

คณะเกษตรศาสตร์และเทคโนโลยี ได้เห็นความสำคัญของการพัฒนาและส่งเสริมผลงานวิจัยเพื่อเผยแพร่เชิงบูรณาการให้มีคุณภาพ เกิดประโยชน์อย่างแท้จริง สำหรับฉบับนี้ มีบทความวิจัยด้วยกัน 10 เรื่อง ประกอบด้วยสาขาเกษตรศาสตร์ 4 เรื่อง สาขาวิศวกรรมศาสตร์ 1 เรื่อง สาขาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี 5 เรื่อง โดยวารสารเกษตรศาสตร์และเทคโนโลยี (Agriculture and Technology Journal) เป็นวารสารที่มีคุณภาพและมีชื่อในศูนย์ดัชนีการอ้างอิงวารสารไทย (Thai-Journal Citation Index Centre; TC12)

กองบรรณาธิการขอขอบคุณผู้ทรงคุณวุฒิทุกท่านที่ให้ข้อเสนอแนะสำหรับในแต่ละบทความวิจัย ขอขอบคุณผู้เขียนทุกท่านที่ได้ส่งบทความอันเป็นประโยชน์ เผยแพร่สู่สาธารณะเพื่อพัฒนางานวิจัยของชาติต่อไป

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วุฒิชัย สิทธิวงษ์
บรรณาธิการ

การตอบสนองของพันธุ์มันสำปะหลังต่อการเจริญเติบโตในช่วงต้น ต่อชนิดของปุ๋ยคอกที่แตกต่างกัน Response of cassava varieties (<i>Manihot esculenta</i> Crantz) at early growth to different types of manure ภากร พันธุ์พาน ภาณุพงศ์ ผลเจริญ และชัชวาล แสงฤทธิ์	1
การออกแบบระบบพยุ่งน้ำหนักบางส่วนสำหรับช้างบาดเจ็บ The design of partial weight-support system for injured elephants ภาศย์ พรหมณ์แก้ว ปรัชญา มุขดา กังสตาล สกุลพงษ์มาลี ชวงชัย ชูปวา อิทธิพัฒน์ รูปคม ฤกษ์ชัย ไชยวงศ์ อลงกรณ์ ฉัตรเมืองปัก บัณฑิตพงษ์ ศรีอำนวย มหิศร ประภาสะโนบล และขวัญชัย หนาแน่น	13
การออกแบบและใช้งานระบบตรวจสอบมลพิษทางอากาศ Design and implementation of IoT based air pollution monitoring system ปิยพัฒน์ พานเมือง จักรกฤษณ์ ศรีทอง สุรกิจ อภิรักษากร และกิตติ ทุลธรรม	23
ผลของสภาวะการเก็บรักษาต่อการเปลี่ยนแปลงภายหลังการเก็บเกี่ยวของใบผักโขมสวนสด Effect of storage conditions on postharvest changes of fresh amaranth leaves สุกัญญา บุญตะนัย ททัยพร กัมพวงศ์ กฤตยา อุทโซ และวีรเวทย์ อุทโซ	34
ผลของอุณหภูมิและระยะเวลาการแช่แข็งแบบแช่เยือกแข็งต่อคุณภาพกล้วยหอมทองอบกรอบ Effects of temperature and freeze-drying time on the quality of crispy Hom Thong banana (<i>Musa acuminata</i> (AAA group) 'Gross Michel') ประกาศ ชมภูทอง กัญญา รัชตชัยยศ บำเพ็ญ นิมิเชียน และสุภัทรา กล้าสกุล	47



อิทธิพลของพาโคลบิวทราโซลต่อการเจริญเติบโตและวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมี ของดอกสายหยุด Effect of paclobutrazol on growth and chemical compositions analysis of <i>Desmos chinensis</i> Lour อนันต์ พิริยะภัทรกิจ พรกมล รูปเลิศ มาริยาห์ แสนแก้ว พัทรี เดชเลย์ และนิรันดร์ วิพันธุ์เงิน	59
Enhancing water quality monitoring in shrimp ponds using machine learning and bio-inspired optimization Surasit Songma Watcharakorn Netharn and Rungkiat Kawpet	67
อิทธิพลของวัสดุปลูกต่อผลผลิตของฟักทองบัตเตอร์นัท Effects of potting mixes on Butternut Squash yields วิณกร ที่รัก ฉัตรชัย แสนขวัญแก้ว และภาคิน หมั่นทุ่ง	81
ผลของการใช้วัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรในการเพาะเลี้ยงเห็ดถั่งเช่าสีทอง Effect of agricultural waste materials utilization for <i>Cordyceps militaris</i> cultivation อรลัดดา เจือจันทร์ นิภาวรรณ จิตโสภาคกุล อุไรลักษณ์ พงษ์เกษ และหยาดนภา เจนรอบ	89
The study on the adaptation of light spectrum control in broiler barns Navavit Ponganan Teerayut Horanont Autawin Suttiwichienchot Ravipan Saleepon and Nattaya Prapaipanich	101

Received: September 3, 2023; Revised: March 9, 2024; Accepted: August 25, 2024

การตอบสนองของพันธุ์มันสำปะหลังต่อการเจริญเติบโตในช่วงต้น ต่อชนิดของปุ๋ยคอกที่แตกต่างกัน

Response of cassava varieties (*Manihot esculenta* Crantz) at early growth to different types of manure

ภากร พันธุ์พาน^{1*} ภาณุพงศ์ ผลเจริญ¹ และชัชวาล แสงฤทธิ์¹Phakorn phunthupan^{1*}, Phanupong Phoncharoen¹ and Chadchawarn Sangrit¹¹คณะเกษตรและเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยนครพนม จังหวัดนครพนม¹Faculty of Agriculture and Technology, Nakhon Phanom University, Nakhon Phanom Province^{*}Corresponding Author E-mail Address: Phakorn.p@ms.npu.ac.th

บทคัดย่อ

ปัจจุบันผู้บริโภคให้ความสนใจในอาหารเพื่อสุขภาพมากขึ้น การเลือกชนิดปุ๋ยคอกที่เหมาะสมกับพันธุ์จะเป็นแนวทางในการผลิตอาหารปลอดภัยได้ การศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลของปุ๋ยคอกชนิดต่างๆ ต่อการเจริญเติบโตในช่วงต้นของมันสำปะหลัง 3 พันธุ์ โดยออกแบบการทดลองแบบ factorial in completely randomized design (CRD) ปัจจัยที่ศึกษาได้แก่ ชนิดปุ๋ย 4 ชนิด (ไม่ใส่ปุ๋ยคอก, ปุ๋ยมูลไก่, มูลสุกร, และมูลโค) และพันธุ์มันสำปะหลัง 3 พันธุ์ (ระยอง 9, ระยอง 11 และเกษตรศาสตร์ 50) ทำการทดลองในกระถางจำนวน 4 ซ้ำ ภายใต้สภาพโรงเรือนสาขาวิชาพืชศาสตร์ คณะเกษตรและเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยนครพนม โดยทำการวิเคราะห์คุณสมบัติดินก่อนปลูก และใส่ปุ๋ยคอกในอัตรา 500 กก./ไร่ เมื่อมันสำปะหลังมีอายุ 30 วันหลังปลูก ทำการเก็บข้อมูลที่อายุ 30, 60 และ 90 วันหลังปลูก ผลการทดลองพบว่า การใช้ปุ๋ยมูลไก่ส่งผลให้น้ำหนักแห้งรวมและน้ำหนักรากสะสมอาหารสูงที่สุด พันธุ์ระยอง 9 มีน้ำหนักแห้งรวม น้ำหนักแห้งต้น และน้ำหนักแห้งรากสะสมอาหารสูงที่สุด พบปฏิกริยาสัมพันธ์ระหว่างการใส่ปุ๋ยมูลไก่ในพันธุ์ระยอง 9 โดยส่งผลให้มีมวลชีวภาพ น้ำหนักแห้งรากสะสมอาหารและน้ำหนักแห้งต้น ที่อายุ 60 และ 90 วันหลังปลูก และอัตราการเจริญเติบโตในช่วง 30-60 วันหลังปลูก สูงที่สุด ในขณะที่การใช้ปุ๋ยมูลสุกรในพันธุ์ระยอง 11 ทำให้มีน้ำหนักแห้งใบที่อายุ 60 และ 90 วันหลังปลูก และอัตราการเจริญเติบโตของใบในช่วง 30-60 และ 60-90 วันหลังปลูก สูงที่สุด ข้อมูลเหล่านี้สามารถนำไปใช้เป็นแนวทางในการปลูกมันสำปะหลังแบบอินทรีย์ได้

คำสำคัญ: ปุ๋ยอินทรีย์ พืชพลังงาน มันสำปะหลัง อัตราการเจริญเติบโต

Abstract

Consumers are increasingly concerned with health. Selecting appropriate cassava varieties for specific types of manure is a guide to growing organic cassava and producing safe food. This study aimed to assess the effects of different manure types on early growth in three cassava varieties. A factorial in completely randomized design (CRD) was used, with two factors: four types of manure (no manure, chicken, pig, and cattle manure) and three cassava varieties (Rayong 9, Rayong 11 and Kasetart 50). The experiment was conducted in pots with four replicates under greenhouse conditions at the Department of Plant Science,

Faculty of Agriculture and Technology, Nakhon Phanom University. Soil characteristics were analyzed before planting, and manure was applied at a rate of 500 kg/rai at 30 days after planting (DAP). Data on growth were collected at 30, 60 and 90 (DAP). The results found that the chicken manure resulted in the highest total and storage root dry weights Rayong 9 had the highest total, stem, and storage root dry weights. The combination of chicken manure $\times$ Rayong 9 (F2 $\times$ G1) resulted in the highest biomass, storage root and stem dry weights at 60 and 90 DAP, as well as the crop growth rate (CGR) during 30–60 DAP. Whereas the pig manure $\times$ Rayong 11 combination (F3 $\times$ G2) showed the highest leaf dry weight at 60 and 90 DAP and the leaf growth rate (LGR) during 30–60 and 60–90 DAP. These findings can be applied to guide cassava production in organic farming systems.

Keywords: Organic fertilizer, Energy crop, *Manihot esculenta*, Crop growth rate

บทนำ

มันสำปะหลัง (Cassava; *Manihot esculenta* L. Crantz) เป็นพืชหัวชนิดหนึ่งที่มีปริมาณแป้งในรากสะสมอาหารสูง เป็นแหล่งคาร์โบไฮเดรตที่สำคัญ ซึ่งมีมากกว่าข้าว และข้าวโพด จัดเป็นพืชอาหารที่มีความสำคัญของโลก ปัจจุบันมันสำปะหลังเป็นพืชที่ทำรายได้ให้กับเกษตรกรในประเทศไทย การปลูกส่วนใหญ่ปลูกในเขตร้อน นำไปใช้ผลิตเป็นอาหารเพื่อบริโภค และผลิตภัณฑ์ทางการแพทย์ ฯลฯ นอกจากนี้ ยังรวมไปถึงผลิตภัณฑ์อาหารเลี้ยงสัตว์อีกด้วย (Howeler, 2013; Phuntupan and Banterng, 2017) มันสำปะหลังเป็นพืชที่มีศักยภาพในการให้ผลผลิตและเปอร์เซ็นต์แป้งสูง จึงถูกนำมาใช้เป็นวัตถุดิบในการผลิตเอทานอล เพื่อใช้เป็นแหล่งเชื้อเพลิง และมีแนวโน้มในการนำมาใช้เป็นพืชพลังงาน (สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร, 2566) ประเทศไทยมีมูลค่าการส่งออกมันสำปะหลังสูง ซึ่งส่งออกในรูปของมันเส้น มันสำปะหลังอัดเม็ด แป้งมันสำปะหลัง และสา쿠 ซึ่งมีปริมาณการส่งออกทั้งหมดประมาณ 8.0 ล้านตัน คิดเป็นมูลค่าประมาณ 9.8 หมื่นล้านบาท (สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร, 2565; Food and Agriculture Organization of the United Nations, 2018)

การปลูกมันสำปะหลังโดยทั่วไปจะใช้ปุ๋ยเคมีซึ่งหาได้ง่ายตามท้องตลาด แต่อย่างไรก็ตาม การใช้ปุ๋ยเคมีติดต่อกันเป็นระยะเวลายาวนานจะส่งผลเสียต่อความอุดมสมบูรณ์ของดิน (Diacono and Montemurro, 2011) นอกจากนี้ ผู้บริโภคปัจจุบันหันมาให้ความสนใจอาหารเพื่อสุขภาพและอาหารปลอดภัยกันมากขึ้น ซึ่งการใช้ปุ๋ยอินทรีย์ในรูปมูลสัตว์หรือปุ๋ยคอกเป็นอีกแนวทางหนึ่งในผลิตพืชอินทรีย์และอาหารปลอดภัย อีกทั้งยังช่วยในการปรับปรุงดินให้ดีขึ้น (ไพฑูรย์, 2557) และการผลิตมันสำปะหลังในรูปแบบอินทรีย์สามารถนำไปใช้เป็นวัตถุดิบตั้งต้นในการสร้างผลิตภัณฑ์และอาหารปลอดภัยต่อไป รวมทั้งลดความเสี่ยงต่อสุขภาพของเกษตรกรและการใช้สารเคมีในการผลิตมันสำปะหลังได้ มีรายงานการใช้ปุ๋ยคอกในการผลิตมันสำปะหลัง โดย Mathias and Kabambe (2015) รายงานว่าการใช้ปุ๋ยมูลโคอัตรา 800 กก./ไร่ ทำให้ทรงพุ่มและผลผลิตของมันสำปะหลังที่ปลูกที่ประเทศมาลาวี (94.8 ซม. และ 4.4 ตัน/ไร่) สูงกว่าการการไม่ใส่ปุ๋ย (87.8 ซม. และ 3.5 ตัน/ไร่) แต่ไม่แตกต่างกับการใช้ปุ๋ยอัตรา 1,600 กก./ไร่ (96.8 ซม. และ 3.4 ตัน/ไร่) Biratu et al. (2018a, 2018b) รายงานว่าการใช้ปุ๋ยมูลไก่อัตราสูง (672 กก./ไร่) ทำให้มันสำปะหลังมีชีวมวลและผลผลิตสูงที่สุด (8.7 และ 4.3 ตัน/ไร่ ตามลำดับ) เมื่อเทียบกับอัตราอื่นๆ และการไม่ใส่ปุ๋ย และ Odedina et al. (2011) ได้ทำการศึกษาชนิดของปุ๋ยคอก ได้แก่ ปุ๋ยมูลสัตว์ปีก แพะ หมู และโค อัตรา 1,600 กก./ไร่ เปรียบเทียบกับปุ๋ยเคมีอัตรา 32 กก./ไร่ ที่ประเทศไนจีเรีย และพบว่าการใช้ปุ๋ยมูลสัตว์ปีกส่งผลให้มีผลผลิตสูงกว่าปุ๋ยมูลสัตว์ชนิดอื่น (4.4 ตัน/ไร่) และไม่แตกต่างจากการใช้ปุ๋ยเคมี (3.4 ตัน/ไร่)

อย่างไรก็ตาม การศึกษาผลของการใช้ปุ๋ยคอกชนิดต่าง ๆ ต่อการเจริญเติบโตของมันสำปะหลังพันธุ์หลักของประเทศไทยในช่วงต้น เช่น พันธุ์เกษตรศาสตร์ 50 ระยะ 9 และ ระยะ 11 เป็นต้น ยังมีข้อมูลน้อยและเพื่อเป็นข้อมูลยืนยันหลักฐานการเจริญเติบโตของมันสำปะหลังพันธุ์หลัก การวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลของชนิดของปุ๋ยคอกต่อการเจริญเติบโตในช่วงต้นของมันสำปะหลัง 3 พันธุ์ องค์ความรู้ที่ได้จะเป็นข้อมูลพื้นฐานสำหรับการปลูกมันสำปะหลังในระบบการปลูกแบบอินทรีย์

วัสดุ อุปกรณ์ และวิธีการ

การปลูกและการเตรียมแปลงทดลอง

ทำการออกแบบการทดลองแบบ factorial in completely randomized design (factorial in CRD) ซึ่งปัจจัยแรก คือ ชนิดของปุ๋ย มี 4 ชนิด ได้แก่ การไม่ใส่ปุ๋ยคอก การใส่ปุ๋ยมูลไก่ มูลสุกร และมูลโค อัตรา 500 กก./ไร่ และปัจจัยที่สอง คือ พันธุ์มันสำปะหลัง มี 3 พันธุ์ ประกอบด้วย พันธุ์ระยอง 9 พันธุ์ระยอง 11 และพันธุ์เกษตรศาสตร์ 50 ซึ่งทั้ง 3 พันธุ์เป็นพันธุ์ที่ถูกรับรองโดยกรมวิชาการเกษตรและมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ทำการทดลอง 4 ซ้ำ ที่โรงเรียน สาขาวิชาพืชศาสตร์ คณะเกษตรและเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยนครพนม จ.นครพนม (17°17'29"N, 104°46'59"E, ความสูงจากระดับน้ำทะเล 152 ม.) ระหว่างเดือนพฤศจิกายน พ.ศ. 2562 ถึง เดือนมีนาคม พ.ศ. 2563

ทำการเตรียมดินปลูกโดยผสมดินและกลบในอัตราส่วน 1 ต่อ 1 จากนั้นชั่งน้ำหนักดินประมาณ 12 กก./กระถางแล้วกรอกดินลงในกระถางเส้นผ่านศูนย์กลาง 40 ซม. จำนวน 12 กระถาง/หน่วยทดลอง (ทั้งหมด 576 กระถาง) ใช้ท่อนพันธุ์มันสำปะหลังที่มีอายุ 270 วันหลังปลูก โดยคัดเลือกต้นที่มีสภาพสมบูรณ์และปราศจากโรคและแมลง นำมาตัดเป็นท่อนพันธุ์ให้มีความยาว 15 ซม. แล้วปลูกลงในกระถาง ทำการใส่ปุ๋ยมูลไก่ มูลสุกร และมูลโค อัตรา 500 กก./ไร่ ในกรรมวิธีที่กำหนด เมื่อมันสำปะหลังอายุ 30 วันหลังปลูก ให้น้ำตลอดการทดลอง และทำการจัดการวัชพืชและโรคแมลงตามความจำเป็น

การเก็บข้อมูล

ทำการสุ่มเก็บตัวอย่างดินแล้วนำไปวิเคราะห์คุณสมบัติทางกายภาพของดินซึ่งประกอบไปด้วย อนุภาคขนาดทราย (% sand) ทรายแป้ง (% silt) และดินเหนียว (% clay) ซึ่งวัดโดยวิธี hydrometer method และคุณสมบัติทางเคมีของดินซึ่งประกอบด้วย ปริมาณอินทรีย์วัตถุในดิน (Organic matter) ซึ่งวัดโดยวิธี Walkley and Black (1947) ความเป็นกรด-ด่างของดิน (pH) วัดโดยใช้ pH meter ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด (Total nitrogen) วัดโดยวิธี Kjeldahl method (Bremner, 1965) ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ (Available phosphorus) วัดโดยวิธี Bray II method (Bray and Kurtz, 1945) โพแทสเซียมที่สามารถแลกเปลี่ยนได้ (Exchangeable potassium) วัดด้วยเครื่อง Flame photometer (Jackson, 1973) ค่าการนำไฟฟ้าของดิน (Electrical conductivity, EC) วัดโดยใช้ Conductivity meter (Rhoades and van Schilfhaarde, 1976) และค่าความสามารถในการแลกเปลี่ยนประจุบวกของดิน (Cation exchange capacity, CEC) วัดโดยวิธี Ammonium acetate extraction (Chapman, 1965)

ทำการเก็บตัวอย่างมันสำปะหลังจำนวน 4 กระถาง/หน่วยทดลอง เมื่อมันสำปะหลังมีอายุ 30, 60 และ 90 วันหลังปลูก โดยนำมันสำปะหลังมาแยกแต่ละส่วน ได้แก่ รากสะสมอาหาร ราก ลำต้น ใบ และก้านใบ แล้วนำไปชั่งน้ำหนักสด ทำการสุมน้ำหนักสดจากแต่ละส่วนประมาณ 10% ของน้ำหนักสดทั้งหมด จากนั้นนำไปอบที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 72 ชั่วโมง หรือจนกว่าน้ำหนักแห้งจะคงที่ และจึงนำมาชั่งน้ำหนักแห้งของแต่ละส่วน จากนั้นนำค่าน้ำหนักแห้งที่ได้มาคำนวณหาอัตราการเจริญเติบโต (Crop growth rate, CGR) อัตราการเจริญเติบโตของลำต้น (Stem growth rate, SGR) และอัตราการเจริญเติบโตของใบ (Leaf growth rate, LGR) ในช่วง 30-60 และ 60-90 วันหลังปลูก และอัตราการเจริญเติบโตของรากสะสมอาหาร (Storage root growth rate, SRGR) ในช่วง 60-90 วันหลังปลูก โดยมีสมการ ดังนี้

- 1) อัตราการเจริญเติบโต (Crop growth rate; CGR) มีหน่วยเป็นน้ำหนักแห้งพืชต่อเวลา

$$CGR = (W2-W1)/(T2-T1) \quad (1)$$

เมื่อ W คือ น้ำหนักแห้งของพืชทั้งต้น มีหน่วยเป็นกิโลกรัม T คือ จำนวนเวลาหลังวันที่ปลูกพืชหรือออกพ้นผิวดิน มีหน่วยเป็นวัน W2 และ W1 คือน้ำหนักแห้งของต้นพืชที่เวลา T2 และ T1 ตามลำดับ

- 2) อัตราการเจริญเติบโตของรากสะสมอาหาร (storage root growth rate; SRGR) มีหน่วยเป็นน้ำหนักแห้งรากสะสมอาหารต่อเวลา

$$SRGR = (SRW2- SRW1)/(T2-T1) \quad (2)$$

เมื่อ SR คือ น้ำหนักแห้งของหัวมีหน่วยเป็นกิโลกรัม T คือ จำนวนเวลาหลังวันที่ปลูกพืชหรือออกพ้นผิวดิน มีหน่วยเป็นวัน SRW2 และ SRW1 คือน้ำหนักแห้งของหัวที่เวลา T2 และ T1 ตามลำดับ

- 3) อัตราการเจริญเติบโตของลำต้น (stem growth rate: SGR) มีหน่วยเป็นน้ำหนักแห้งลำต้นต่อเวลา

$$SGR = (SW2- SW1)/(T2-T1) \quad (3)$$

เมื่อ S คือ น้ำหนักแห้งของลำต้น มีหน่วยเป็นกิโลกรัม T คือ จำนวนเวลาหลังจากวันที่ปลูกพืชหรือออกพันธุ์ผิวดิน มีหน่วยเป็นวัน SW2 และ SW1 คือ น้ำหนักแห้งของลำต้นที่เวลา T2 และ T1 ตามลำดับ

4) อัตราการเจริญเติบโตของใบ (Leaf growth rate: LGR) มีหน่วยเป็นน้ำหนักแห้งใบต่อเวลา

$$LGR = (LW2 - LW1) / (T2 - T1) \quad (4)$$

เมื่อ L คือ น้ำหนักแห้งของใบ มีหน่วยเป็นกิโลกรัม T คือ จำนวนเวลาหลังจากวันที่ปลูกพืชหรือออกพันธุ์ผิวดิน มีหน่วยเป็นวัน LW2 และ LW1 คือ น้ำหนักแห้งของใบที่เวลา T2 และ T1 ตามลำดับ

การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ

วิเคราะห์ความแปรปรวน (analysis of variance, ANOVA) ของทุกลักษณะพืช ตามแผนการทดลอง factorial in CRD และเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยโดยวิธี least significant difference (LSD) (Gomez and Gomez, 1984) โดยใช้โปรแกรม โดยใช้โปรแกรม Statistix 10 (Analytical Software, 2013)

ผลการวิจัย

จากการตรวจสอบคุณสมบัติทางกายภาพและทางเคมีของดินในพื้นที่ทำการทดลองก่อนการปลูก พบว่า ดินมีอนุภาคขนาดทราย ทรายแป้ง และดินเหนียว เท่ากับ 71.57, 17.52 และ 10.92% ตามลำดับ ซึ่งมีเนื้อดินเป็นดินร่วนทราย (Sandy loam) สำหรับคุณสมบัติทางเคมีของดิน มีค่า pH อินทรีย์วัตถุ ไนโตรเจนทั้งหมด ฟอสฟอรัสที่แลกเปลี่ยนได้ โพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ ค่าการนำไฟฟ้าของดิน และค่าความสามารถในการแลกเปลี่ยนประจุบวกของดิน เท่ากับ 4.89, 0.71%, 0.01%, 84.38 มก./กก., 58.10 มก./กก., 0.05 เดซิซีเมน/ม. และ 7.50 เซนติโมล/กก. ตามลำดับ (ตารางที่ 1)

ตารางที่ 1 คุณสมบัติทางกายภาพและทางเคมีของดินก่อนการปลูก

ลักษณะ	ค่า
<u>คุณสมบัติทางกายภาพ</u>	
อนุภาคทราย (%)	71.57
อนุภาคทรายแป้ง (%)	17.52
อนุภาคดินเหนียว (%)	10.92
<u>คุณสมบัติทางเคมี</u>	
pH	4.89
อินทรีย์วัตถุ (%)	0.71
ไนโตรเจนทั้งหมด (ก./กก.)	0.01
ฟอสฟอรัสที่แลกเปลี่ยนได้ (มก./กก.)	84.38
โพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ (มก./กก.)	58.10
ค่าการนำไฟฟ้าของดิน (เดซิซีเมน/ม.)	0.05
ค่าความสามารถในการแลกเปลี่ยนประจุบวกของดิน (เซนติโมล/กก.)	7.50

จากผลการศึกษา ผลของการใช้ปุ๋ยคอกต่อการเจริญเติบโตของมันสำปะหลัง 3 พันธุ์ พบว่า ชนิดของปุ๋ยคอก มีผลทำให้น้ำหนักแห้งรวมที่อายุ 30, 60 และ 90 วันหลังปลูก และน้ำหนักแห้งรากสะสมอาหาร ที่อายุ 60 และ 90 วันหลังปลูก มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.01$) โดยการใช้ปุ๋ยมูลไก่ ทำให้มันสำปะหลังมีน้ำหนักแห้งรวม (99.02, 327.66 และ 441.87 ก./ต้น ตามลำดับ) และน้ำหนักแห้งรากสะสมอาหาร (161.90 และ 227.06 ก./ต้น) สูงที่สุดในทุกอายุการเจริญเติบโต (ตารางที่ 2) แต่การใช้ปุ๋ยมูลโคส่งผลให้น้ำหนักแห้งรวมและน้ำหนักแห้งรากสะสมอาหารที่อายุ 60 และ 90 วันหลังปลูก มีค่าต่ำที่สุดซึ่งไม่แตกต่างจากการไม่ใส่ปุ๋ยคอก

ตารางที่ 2 น้ำหนักแห้งรวม ที่อายุ 30, 60 และ 90 วันหลังปลูก และน้ำหนักแห้งรากสะสมอาหารที่อายุ 60 และ 90 วันหลังปลูก ของการใส่ปุ๋ยอินทรีย์ที่แตกต่างกันในมันสำปะหลัง 3 พันธุ์

ปัจจัย	น้ำหนักแห้งรวม (ก./ต้น)			น้ำหนักแห้งรากสะสมอาหาร (ก./ต้น)	
	30	60	90	60	90
ไม่ใส่ปุ๋ย (F1)	74.07 ^b	194.52 ^c	305.79 ^c	88.35 ^c	153.21 ^c
ปุ๋ยมูลไก่ (F2)	99.02 ^a	327.66 ^a	441.87 ^a	161.90 ^a	227.06 ^a
ปุ๋ยมูลสุกร (F3)	71.99 ^b	272.27 ^b	397.87 ^b	123.34 ^b	191.62 ^b
ปุ๋ยมูลโค (F4)	74.95 ^b	193.34 ^c	312.03 ^c	85.04 ^c	154.28 ^c
F-test	**	**	**	**	**
ระยะยง 9 (G1)	89.91 ^a	288.28 ^a	401.05 ^a	145.69 ^a	211.89 ^a
ระยะยง 11 (G2)	68.42 ^c	196.08 ^c	321.35 ^c	68.54 ^c	138.56 ^c
เกษตรศาสตร์ 50 (G3)	81.69 ^b	256.48 ^b	370.77 ^b	129.75 ^b	194.18 ^b
F-test	**	**	**	**	**
F1 × G1	88.76 ^b	219.27 ^{de}	328.83 ^{cd}	108.10 ^{de}	173.02 ^{de}
F1 × G2	55.89 ^e	161.60 ^f	279.14 ^e	64.68 ^g	132.19 ^{gh}
F1 × G3	77.56 ^c	202.70 ^e	309.40 ^{de}	92.28 ^{ef}	154.44 ^{efg}
F2 × G1	103.58 ^a	394.15 ^a	498.69 ^a	209.97 ^a	268.98 ^a
F2 × G2	84.38 ^{bc}	238.15 ^d	358.16 ^c	94.41 ^{ef}	163.32 ^{ef}
F2 × G3	109.09 ^a	350.67 ^b	468.75 ^a	181.33 ^b	248.88 ^{ab}
F3 × G1	86.40 ^{bc}	299.12 ^c	416.51 ^b	136.74 ^c	207.86 ^c
F3 × G2	67.09 ^d	217.09 ^{de}	358.20 ^c	62.04 ^g	132.82 ^{gh}
F3 × G3	62.47 ^{de}	300.61 ^c	418.90 ^b	171.23 ^b	234.19 ^b
F4 × G1	80.90 ^{bc}	240.58 ^d	360.18 ^c	127.96 ^{cd}	197.69 ^{cd}
F4 × G2	66.30 ^d	167.49 ^f	289.88 ^e	53.01 ^g	125.93 ^h
F4 × G3	77.65 ^c	171.95 ^f	286.03 ^e	74.16 ^{fg}	139.21 ^{gh}
F-test	**	**	**	**	**
C.V. (%)	6.74	6.08	1.15	10.56	7.43

หมายเหตุ: ตัวอักษรภาษาอังกฤษที่ต่างกันและอยู่ในคอลัมน์เดียวกัน แสดงถึงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ;

** หมายถึง มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.01$)

พันธุ์มันสำปะหลังที่ต่างกัน มีน้ำหนักแห้งรวมที่อายุ 30, 60 และ 90 วันหลังปลูก และน้ำหนักแห้งรากสะสมอาหารที่อายุ 60 และ 90 วันหลังปลูก แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.01$) โดยพันธุ์ระยะยง 9 เป็นพันธุ์ที่มีน้ำหนักแห้งรวม (89.91, 288.28 และ 401.05 ก./ต้น ตามลำดับ) และน้ำหนักแห้งรากสะสมอาหาร (145.69 และ 211.89 ก./ต้น) สูงที่สุดทุกอายุ (ตารางที่ 2) รองลงมาคือ พันธุ์เกษตรศาสตร์ 50 และพันธุ์ระยะยง 11 เป็นพันธุ์ที่มีน้ำหนักแห้งรวมและน้ำหนักแห้งรากสะสมอาหารต่ำที่สุดทุกอายุ

นอกจากนี้ ยังพบปฏิกริยาสัมพันธ์ระหว่างการจัดการปุ๋ยและพันธุ์มันสำปะหลัง ($p < 0.01$) สำหรับน้ำหนักแห้งรวมที่อายุ 30, 60 และ 90 วันหลังปลูก และน้ำหนักแห้งรากสะสมอาหารที่อายุ 60 และ 90 วันหลังปลูก (ตารางที่ 2) โดยพบว่าการใช้ปุ๋ยมูลไก่ในพันธุ์ระยะยง 9 ($F2 \times G1$) ส่งผลให้น้ำหนักแห้งรวม ที่อายุ 30, 60 และ 90 วันหลังปลูก (103.58, 394.15 และ 498.69 ก./ต้น ตามลำดับ) และน้ำหนักแห้งรากสะสมอาหารที่อายุ 60 และ 90 วันหลังปลูก (209.97 และ 268.98 ก./ต้น ตามลำดับ) มีค่าสูงที่สุด เมื่อเทียบกับตำรับการทดลองอื่น ๆ แต่การไม่ใส่ปุ๋ยในพันธุ์ระยะยง 11 ($F1 \times G2$) มีค่าน้ำหนักแห้งรวมและน้ำหนักแห้งรากสะสมอาหารต่ำที่สุดทุกอายุ ซึ่งไม่แตกต่างจากการใช้ปุ๋ยมูลโค ในพันธุ์ระยะยง 11 ($F4 \times G2$) และการใช้ปุ๋ยมูลโคในพันธุ์เกษตรศาสตร์ 50 ($F4 \times G3$) ที่ทำให้น้ำหนักแห้งรวมที่อายุ 60 และ 90 วันหลังปลูกมีค่าต่ำที่สุด และการใช้

ปุ๋ยมูลสุกรในพันธุ์ระยอง 11 ($F3 \times G2$) การใช้ปุ๋ยมูลโคในพันธุ์ระยอง 11 ($F4 \times G2$) และการใช้ปุ๋ยมูลโคในพันธุ์เกษตรศาสตร์ 50 ($F4 \times G3$) ยังทำให้น้ำหนักแห้งรากสะสมอาหาร ที่อายุ 60 วันหลังปลูก มีค่าต่ำที่สุดด้วยเช่นกัน

ชนิดของปุ๋ยคอกที่แตกต่างกันส่งผลให้มันสำปะหลังมีน้ำหนักแห้งใบ มีความแตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง ($p < 0.01$) (ตารางที่ 3) โดยการใช้ปุ๋ยมูลสุกรทำให้มีน้ำหนักแห้งใบ ที่อายุ 60 และ 90 วันหลังปลูก สูงที่สุด (33.21 และ 50.70 ก./ต้น ตามลำดับ) และที่อายุ 90 วันหลังปลูก การใช้ปุ๋ยมูลโคทำให้มีน้ำหนักแห้งใบน้อย ซึ่งไม่แตกต่างจากการไม่ใช้ปุ๋ย (26.45 และ 29.68 ก./ต้น ตามลำดับ) พันธุ์มันสำปะหลัง 3 พันธุ์ให้น้ำหนักใบที่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ (ตารางที่ 3) โดยพันธุ์ระยอง 9 และเกษตรศาสตร์ 50 มีน้ำหนักใบสูงที่สุด ที่อายุ 30 วันหลังปลูก (12.83 และ 13.12 ก./ต้น ตามลำดับ) แต่พันธุ์ระยอง 11 มีน้ำหนักแห้งใบสูงที่สุด (27.01 และ 42.21 ก./ต้น ตามลำดับ) และพันธุ์ระยอง 9 มีค่าน้อยที่สุด (20.73 และ 31.68 ก./ต้น ตามลำดับ) ที่อายุ 60 และ 90 วันหลังปลูก และพบปฏิกิริยาสัมพันธ์ระหว่างปุ๋ยมูลไก่และมูลสุกร ในมันสำปะหลังพันธุ์เกษตรศาสตร์ 50 ($F2 \times G3$ และ $F3 \times G3$) ($p < 0.01$) สำหรับน้ำหนักแห้งใบ ที่อายุ 30, 60 และ 90 วันหลังปลูก (ตารางที่ 3) โดยมีน้ำหนักแห้งใบที่อายุ 30 วันหลังปลูก สูงที่สุด (15.67 และ 14.79 ก./ต้น ตามลำดับ) การใช้ปุ๋ยมูลสุกรในพันธุ์ระยอง 11 ($F3 \times G2$) มีน้ำหนักแห้งใบที่อายุ 60 และ 90 วันหลังปลูก สูงที่สุด (39.64 และ 69.75 ก./ต้น ตามลำดับ) และการใช้มูลโคในพันธุ์ระยอง 11 และเกษตรศาสตร์ 50 ($F4 \times G2$ และ $F4 \times G3$) มีน้ำหนักแห้งใบที่อายุ 30, 60 และ 90 วันหลังปลูก น้อยที่สุด

จากผลการศึกษานี้แสดงให้เห็นว่าน้ำหนักแห้งในช่วงต้น (0-90 วันหลังปลูก) มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ ($p < 0.01$) สำหรับชนิดของปุ๋ยคอกทั้ง 4 ชนิด ที่อายุ 30, 60 และ 90 วันหลังปลูก (ตารางที่ 3) โดยปุ๋ยมูลไก่ให้น้ำหนักแห้งต้นสูงที่สุดในทุกช่วงอายุ (64.86, 126.24 และ 158.67 ก./ต้น) สำหรับพันธุ์มันสำปะหลังที่แตกต่างกัน พบว่า มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ ($p < 0.01$) ซึ่งพันธุ์ที่มีน้ำหนักแห้งต้นสูงที่สุด ที่อายุ 30, 60 และ 90 วันหลังปลูก ได้แก่ พันธุ์ระยอง 9 ซึ่งมีค่ากับ 57.88, 112.11 และ 141.75 ก./ต้น ตามลำดับ นอกจากนี้ ยังพบปฏิกิริยาสัมพันธ์ระหว่างปุ๋ยมูลไก่ในพันธุ์ระยอง 9 ($F2 \times G1$) ($p < 0.01$) ส่งผลให้มันสำปะหลังแห้งต้น สูงที่สุด (71.35, 152.50 และ 180.25 ก./ต้น ตามลำดับ)

ชนิดของปุ๋ยคอกที่แตกต่างกันส่งผลให้อัตราการเจริญเติบโตของมันสำปะหลังมีความแตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ ($p < 0.01$) ในช่วง 30-60 และ 60-90 วันหลังปลูก (ตารางที่ 4) โดยการใช้ปุ๋ยมูลไก่ส่งผลให้อัตราการเจริญเติบโตมีค่าสูงที่สุดในช่วงอายุ 30-60 วันหลังปลูก (60.65 ก./ตร.ม./วัน) และการใช้ปุ๋ยมูลสุกรและมูลโค ทำให้อัตราการเจริญเติบโตรวม มีค่าสูงไม่แตกต่างกัน ในช่วงอายุ 60-90 วันหลังปลูก (33.31 และ 31.48 ก./ตร.ม./วัน ตามลำดับ) และพบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ ($p < 0.01$) สำหรับอัตราการเจริญเติบโตในพันธุ์มันสำปะหลังที่แตกต่างกันทั้ง 2 ช่วงอายุ โดยพันธุ์ระยอง 9 ในช่วงอายุ 30-60 และระยอง 11 ในช่วงอายุ 60-90 วันหลังปลูก มีอัตราการเจริญเติบโตสูงที่สุด (52.62 และ 33.23 ก./ตร.ม./วัน) และพบปฏิกิริยาสัมพันธ์ระหว่างปุ๋ยมูลไก่ ในพันธุ์ระยอง 9 ($F2 \times G1$) ($p < 0.01$) มีอัตราการเจริญเติบโต สูงที่สุด ในช่วงอายุ 30-90 วันหลังปลูก สูงที่สุด (77.08 ก./ตร.ม./วัน) มี แต่ไม่พบปฏิกิริยาสัมพันธ์ระหว่างปุ๋ยคอกและพันธุ์มันสำปะหลัง ($p > 0.05$) สำหรับอัตราการเจริญเติบโตของต้นและอัตราการเจริญเติบโตของรากสะสมอาหาร ในช่วง 60-90 วันหลังปลูก

ตารางที่ 3 น้ำหนักเหง้าใบและน้ำหนักแห้งต้นที่อายุ 30, 60 และ 90 วันหลังปลูก ของการใส่ปุ๋ยอินทรีย์ที่ต่างกัน
ในมันสำปะหลัง 3 พันธุ์

ปัจจัย	น้ำหนักเหง้าใบ (ก./ต้น)			น้ำหนักแห้งต้น (ก./ต้น)		
	30	60	90	30	60	90
ไม่ใส่ปุ๋ย (F1)	12.24 ^b	20.20 ^c	29.68 ^c	48.45 ^b	77.72 ^d	108.65 ^d
ปุ๋ยมูลไก่ (F2)	14.34 ^a	28.16 ^b	38.79 ^b	64.86 ^a	126.24 ^a	158.67 ^a
ปุ๋ยมูลสุกร (F3)	13.27 ^{ab}	33.21 ^a	50.70 ^a	41.24 ^c	103.38 ^b	137.20 ^b
ปุ๋ยมูลโค (F4)	10.17 ^c	14.96 ^d	26.45 ^c	49.51 ^b	88.00 ^c	119.97 ^c
F-test	**	**	**	**	**	**
ระยะ 9 (G1)	12.83 ^a	20.73 ^c	31.68 ^c	57.88 ^a	112.11 ^a	141.75 ^a
ระยะ 11 (G2)	11.58 ^b	27.01 ^a	42.21 ^a	44.36 ^c	91.09 ^b	125.13 ^b
เกษตรศาสตร์ 50 (G3)	13.12 ^a	24.66 ^b	35.33 ^b	50.80 ^b	93.30 ^b	126.49 ^b
F-test	**	**	**	**	**	**
F1 × G1	12.15 ^{cd}	20.48 ^{de}	29.92 ^{ef}	61.15 ^b	80.80 ^d	110.00 ^{ef}
F1 × G2	11.85 ^d	21.27 ^{de}	30.23 ^{ef}	32.11 ^f	67.01 ^e	102.08 ^f
F1 × G3	12.73 ^{cd}	18.85 ^e	28.88 ^{ef}	52.08 ^{cd}	85.36 ^d	113.87 ^e
F2 × G1	13.14 ^{cd}	20.99 ^{de}	32.76 ^e	71.35 ^a	152.50 ^a	180.25 ^a
F2 × G2	14.22 ^{abc}	34.12 ^b	44.40 ^{bc}	55.38 ^c	96.94 ^c	131.77 ^c
F2 × G3	15.67 ^a	29.38 ^c	39.22 ^{cd}	67.86 ^a	129.28 ^b	163.98 ^b
F3 × G1	13.01 ^{bcd}	23.15 ^d	34.54 ^{de}	52.12 ^{cd}	128.86 ^b	157.74 ^b
F3 × G2	12.03 ^{cd}	39.83 ^a	69.75 ^a	42.48 ^e	102.31 ^c	136.73 ^c
F3 × G3	14.79 ^{ab}	36.64 ^{ab}	47.81 ^b	29.12 ^f	78.97 ^d	117.13 ^e
F4 × G1	13.02 ^{bcd}	18.30 ^e	29.48 ^{ef}	46.91 ^{de}	86.29 ^d	118.99 ^{de}
F4 × G2	8.23 ^e	12.83 ^f	24.45 ^f	47.46 ^{de}	98.08 ^c	129.92 ^{cd}
F4 × G3	9.28 ^e	13.77 ^f	25.41 ^f	54.17 ^c	79.62 ^d	110.99 ^{ef}
F-test	**	**	**	**	**	**
C.V. (%)	9.32	8.58	9.02	5.65	4.32	4.63

หมายเหตุ: ตัวอักษรภาษาอังกฤษที่ต่างกันและอยู่ในคอลัมน์เดียวกัน แสดงถึงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ;

** หมายถึง มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.01$)

ตารางที่ 4 อัตราการเจริญเติบโต (CGR), อัตราการเจริญเติบโตของใบ (LGR) และอัตราการเจริญเติบโตของต้น (SGR) ระหว่าง 30–60 และ 60–90 วันหลังปลูก และอัตราการเจริญเติบโตของรากสะสมอาหาร (SRGR) ระหว่าง 60–90 วันหลังปลูก ของการใส่ปุ๋ยอินทรีย์ที่แตกต่างกันในมันสำปะหลัง 3 พันธุ์

ปัจจัย	CGR (ก./ตร.ม./วัน)		LGR (ก./ตร.ม./วัน)		SGR (ก./ตร.ม./วัน)		SRGR (ก./ตร.ม./วัน)
	30–60	60–90	30–60	60–90	30–60	60–90	60–90
ไม่ใส่ปุ๋ย (F1)	31.95 ^c	29.51 ^b	2.11 ^c	2.51 ^b	7.77 ^c	8.20	17.21
ปุ๋ยมูลไก่ (F2)	60.65 ^a	30.30 ^b	3.67 ^b	2.82 ^b	16.28 ^a	8.60	17.28
ปุ๋ยมูลสุกร (F3)	53.13 ^b	33.31 ^a	5.29 ^a	4.64 ^a	16.48 ^a	8.97	18.11
ปุ๋ยมูลโค (F4)	31.40 ^c	31.48 ^{ab}	1.27 ^d	3.04 ^b	10.21 ^b	8.48	18.36
F-test	**	**	**	**	**	ns	ns
ระยะยอ 9 (G1)	52.62 ^a	29.91 ^b	2.10 ^c	2.90 ^b	14.39 ^a	7.86	17.56 ^b
ระยะยอ 11 (G2)	33.87 ^c	33.23 ^a	4.09 ^a	4.03 ^a	12.40 ^b	9.03	18.58 ^a
เกษตรศาสตร์ 50 (G3)	46.37 ^b	30.32 ^b	3.06 ^b	2.83 ^b	11.27 ^b	8.80	17.09 ^b
F-test	**	**	**	**	**	ns	*
F1 × G1	34.62 ^{efg}	29.06	2.21 ^{def}	2.50 ^b	5.22 ^g	7.75	17.22
F1 × G2	28.04 ^{ghi}	31.18	2.50 ^{de}	2.38 ^b	9.26 ^e	9.30	17.91
F1 × G3	33.20 ^{fgh}	28.30	1.62 ^{efg}	2.66 ^b	8.83 ^{ef}	7.56	16.49
F2 × G1	77.08 ^a	27.73	2.08 ^{d-g}	3.13 ^b	21.53 ^a	7.36	15.65
F2 × G2	40.79 ^{de}	31.84	5.28 ^b	2.73 ^b	11.03 ^{de}	9.24	18.28
F2 × G3	64.08 ^b	31.32	3.64 ^c	2.61 ^b	16.29 ^b	9.20	17.92
F3 × G1	56.42 ^c	31.14	2.69 ^{cd}	3.02 ^b	20.36 ^a	7.66	18.87
F3 × G2	39.79 ^{def}	37.43	7.38 ^a	7.94 ^a	15.87 ^{bc}	9.13	18.78
F3 × G3	63.17 ^b	31.38	5.80 ^b	2.96 ^b	13.23 ^d	10.12	16.70
F4 × G1	42.36 ^d	31.73	1.40 ^{fg}	2.97 ^b	10.45 ^e	8.68	18.49
F4 × G2	26.84 ^{hi}	32.47	1.22 ^{fg}	3.08 ^b	13.43 ^{cd}	8.45	19.35
F4 × G3	25.02 ⁱ	30.26	1.19 ^g	3.09 ^b	6.75 ^{fg}	8.33	17.26
F-test	**	ns	**	**	**	ns	ns
C.V. (%)	7.87	7.04	17.23	18.97	10.08	17.13	7.8

หมายเหตุ: ตัวอักษรภาษาอังกฤษที่ต่างกันและอยู่ในคอลัมน์เดียวกัน แสดงถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ;

*, ** หมายถึง มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 ($p < 0.05$) และ 99% ($p < 0.01$) ตามลำดับ; ns หมายถึงไม่มีความแตกต่างทางสถิติ ($p > 0.05$)

สำหรับอัตราการเจริญเติบโตของใบ พบว่าชนิดของปุ๋ยคอกมีผลทำให้มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ในช่วง 30–60 และ 60–90 วันหลังปลูก ($p < 0.01$) โดยการใช้ปุ๋ยมูลสุกรทำให้อัตราการเจริญเติบโตของใบในช่วง 30–60 และ 60–90 วันหลังปลูก สูงที่สุด (5.29 และ 4.64 ก./ตร.ม./วัน ตามลำดับ) พันธุ์มันสำปะหลังทั้ง 3 พันธุ์ มีอัตราการเจริญเติบโตของใบที่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ทั้ง 2 ช่วงอายุ ($p < 0.01$) ซึ่งพันธุ์ระยะยอ 11 เป็นพันธุ์ที่มีอัตราการเจริญเติบโตของใบสูงที่สุดในช่วง 30–60 และ 60–90 วันหลังปลูก (4.09 และ 4.03 ก./ตร.ม./วัน ตามลำดับ) และพบปฏิกริยาสัมพันธ์ระหว่างชนิด ของการจัดการปุ๋ยและพันธุ์มันสำปะหลัง ($p < 0.01$) สำหรับอัตราการเจริญเติบโตของใบ โดยการใช้ปุ๋ยมูลโคในพันธุ์ระยะยอ 11 (F3 × G2) มีค่าสูงที่สุดในช่วง 30–60 และ 60–90 วันหลังปลูก (7.38 และ 7.94 ก./ตร.ม./วัน ตามลำดับ)

ชนิดของปุ๋ยคอกทั้ง 4 ชนิดส่งผลให้มันสำปะหลังมีอัตราการเจริญเติบโตของต้นมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติในช่วง 30–60 วันหลังปลูก ($p < 0.01$) (ตารางที่ 4) โดยปุ๋ยมูลไก่และมูลสุกร (16.28 และ 16.48 ก./ตร.ม./วัน ตามลำดับ)

ทำให้อัตราการเจริญเติบโตของต้นสูงกว่ากรรมวิธีอื่น และพันธุ์ทั้ง 3 พันธุ์มีความแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญยิ่งที่ระดับความเชื่อมั่น 99% ซึ่งพันธุ์ระยอง 9 เป็นพันธุ์ที่มีอัตราการเจริญเติบโตของต้นสูงที่สุดในช่วง 30–60 วันหลังปลูก (14.39 ก./ตร.ม./วัน) และพบปฏิกิริยาสัมพันธ์ ซึ่งมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ ($p < 0.01$) ระหว่างการใช้ปุ๋ยคอก และพันธุ์มันสำปะหลัง สำหรับอัตราการเจริญเติบโต ในช่วง 30–60 วันหลังปลูก โดยพบว่าการใช้ปุ๋ยมูลสุกรในพันธุ์ระยอง 9 ($F_3 \times G_1$) ส่งผลให้อัตราการเจริญเติบโตของต้นสูงที่สุด (20.36 ก./ตร.ม./วัน) อย่างไรก็ตาม ไม่พบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) ของชนิดปุ๋ยและพันธุ์ สำหรับอัตราการเจริญเติบโตของต้นในช่วง 60–90 วันหลังปลูก

จากผลการศึกษาไม่พบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) ระหว่างชนิดของปุ๋ยคอกและพันธุ์ สำหรับอัตราการเจริญเติบโตของรากสะสมอาหารในช่วง 60–90 วันหลังปลูก แต่พบความแตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญสำหรับมันสำปะหลัง 3 พันธุ์ ($p < 0.05$) โดยพันธุ์ระยอง 11 เป็นพันธุ์ที่มีค่าอัตราการเจริญเติบโตของรากสะสมอาหารสูงที่สุด (18.58 ก./ตร.ม./วัน)

การอภิปรายผล

จากการศึกษาการใช้ชนิดปุ๋ยคอกที่แตกต่างกัน 4 ชนิดในพันธุ์มันสำปะหลังที่แตกต่างกัน 3 พันธุ์ ต่อการเจริญเติบโตในช่วงต้น ชี้ให้เห็นว่า การตอบสนองของพันธุ์มันสำปะหลังในแต่ละชนิดของปุ๋ยก็มีความแตกต่างกัน โดยจากการวิเคราะห์ปฏิกิริยาสัมพันธ์ พบว่าการใช้ปุ๋ยมูลไก่ในพันธุ์ระยอง 9 ($F_2 \times G_1$) มีน้ำหนักแห้งรวมและรากสะสมอาหารสูงที่สุด ในขณะที่การใช้ปุ๋ยมูลสุกรในพันธุ์ระยอง 11 ($F_3 \times G_2$) ส่งผลให้มีน้ำหนักแห้งใบที่อายุ 90 วันหลังปลูกและอัตราการเจริญเติบโตของใบในช่วง 30–60 และ 60–90 วันหลังปลูก สูงที่สุด หากเปรียบเทียบระหว่างการจัดการปุ๋ย พบว่า การใช้ปุ๋ยมูลไก่ส่งผลให้น้ำหนักแห้งรวมและน้ำหนักแห้งรากสะสมอาหารสูงที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับปุ๋ยชนิดอื่น ๆ ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Odedina et al. (2011) ที่รายงานว่าการใช้ปุ๋ยมูลสัตว์ปีก (Poultry manure) ส่งผลให้มันสำปะหลังพันธุ์ TMS 30572 ที่ปลูกที่เมืองอาบูเระ ประเทศไนจีเรีย มีมวลชีวภาพและผลผลิตสูงที่สุด และสอดคล้องกับรายงานของ Biratu et al. (2018a, 2018b) ที่แสดงให้เห็นว่าการใช้ปุ๋ยมูลไก่อัตรา 672 กก./ไร่ ส่งผลให้น้ำหนักแห้งรวมและรากสะสมอาหารสูงที่สุด โดย Bakayoko et al. (2009) ได้ศึกษาปริมาณอินทรีย์วัตถุ (Organic matter) ในดินหลังจากการใช้ปุ๋ยมูลโคและปุ๋ยมูลสัตว์ปีกในดินทรายที่ปลูกมันสำปะหลัง โดยใช้ปุ๋ยคอกอัตรา 1,600 กก./ไร่ พบว่า ปุ๋ยมูลสัตว์ปีกทำให้ดินมีปริมาณอินทรีย์วัตถุและค่าความสามารถในการแลกเปลี่ยนประจุบวกของดิน (Cation exchange capacity) สูงกว่าการใช้ปุ๋ยมูลโค ซึ่งทำให้สามารถดูดซับธาตุอาหารที่มีประจุบวก เช่น แคลเซียมไอออน (Ca^{2+}) แมกนีเซียมไอออน (Mg^{2+}) และโพแทสเซียมไอออน (K^+) ไว้ในอนุภาคของดินได้สูงกว่า และการใช้มูลโคมีผลให้น้ำหนักแห้งรวมและน้ำหนักแห้งรากสะสมอาหารน้อยกว่าการใช้ปุ๋ยคอกชนิดอื่น ๆ เนื่องจากปุ๋ยมูลโคมีปริมาณธาตุอาหาร ได้แก่ ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียมต่ำกว่าปุ๋ยมูลสัตว์ปีกและมูลสุกร จึงทำให้มันสำปะหลังที่ใช้ปุ๋ยชนิดนี้มีน้ำหนักน้อยกว่าการใช้ปุ๋ยคอกชนิดอื่น ๆ (Bakayoko et al., 2009; Odedina et al., 2011) การกำหนดชนิดของปุ๋ยเพื่อใช้ในการปลูกมันสำปะหลังเป็นการประเมินความเหมาะสมจากปุ๋ยมูลสัตว์ที่มีในท้องถิ่นและหาได้ง่าย

มันสำปะหลังพันธุ์ระยอง 9 เป็นพันธุ์ที่มีน้ำหนักแห้งรวมและรากสะสมอาหารสูงกว่าพันธุ์ระยอง 11 และเกษตรศาสตร์ 50 แต่มีน้ำหนักแห้งใบต่ำกว่าอีก 2 พันธุ์ ชี้ให้เห็นว่าพันธุ์ระยอง 9 เป็นพันธุ์ที่มีศักยภาพในการแบ่งสรรปันส่วนอาหาร (Partitioning) ที่ได้จากการสังเคราะห์ด้วยแสงไปสู่รากสะสมอาหารได้สูง แม้จะมีใบหรือแหล่งสร้างอาหารน้อยกว่าพันธุ์อื่น โดยมีรายงานว่าพันธุ์ระยอง 9 เป็นพันธุ์ที่มีอัตราการสังเคราะห์ด้วยแสงที่สูง (Vongcharoen et al., 2018, 2019; Mahakosee et al., 2019; Santanoo et al., 2019, 2022; Wongnoi et al., 2020) และยังมีรายงานว่าพันธุ์นี้มีศักยภาพการให้ผลผลิตและเปอร์เซ็นต์แป้งสูงด้วย (Prammanee et al., 2010; Mahakosee et al., 2019; Phoncharoen et al., 2019a, 2019b; Janket et al., 2020a, 2020b) น้ำหนักใบที่มากจะส่งผลให้มีพื้นที่ใบและพื้นที่การสังเคราะห์แสงเพิ่มขึ้นซึ่งมีความสัมพันธ์กับผลผลิต (Fukai et al., 1984; El-Sharkawy, 2006; Mahakosee et al., 2019) อย่างไรก็ตาม พื้นที่ใบที่มากสูงหรือต่ำกว่าค่าที่เหมาะสมก็อาจจะทำให้ผลผลิตต่ำเช่นกัน โดยดัชนีพื้นที่ใบที่เหมาะสมของมันสำปะหลังมีค่าระหว่าง 2.5–3.5 (Ramanujam, 1985) จากผลการศึกษาพบว่า พันธุ์ระยอง 11 เป็นพันธุ์ที่มีน้ำหนักแห้งใบสูงที่สุด แต่มีผลผลิตน้ำหนักแห้งรวมและรากสะสมอาหารต่ำที่สุด เมื่อเทียบกับมันสำปะหลังพันธุ์เกษตรศาสตร์ 50 สอดคล้องกับ Mahakosee et

al. (2020) ที่รายงานว่าพันธุ์ระยะยง 11 มีปริมาณทรงพุ่มที่หนาทำให้มีการบังใบสูงและมีค่าการส่องผ่านของแสงต่ำ (Light penetration) ซึ่งส่งผลให้มีค่าอัตราการสังเคราะห์แสงของใบระดับกลางและระดับล่างต่ำกว่าพันธุ์เกษตรศาสตร์ 50 และส่งผลให้มีผลผลิตที่ต่ำด้วย และผลการทดลองว่าพันธุ์เกษตรศาสตร์ 50 มีศักยภาพปานกลางโดยเป็นพันธุ์ที่มีมวลชีวภาพและน้ำหนักแห้งรากสะสมอาหารน้อยกว่าพันธุ์ระยะยง 9 แต่สูงกว่าระยะยง 11 ซึ่งมีรายงานว่าเกษตรศาสตร์ 50 เป็นพันธุ์ที่มีศักยภาพในการเจริญเติบโตปานกลาง แต่เป็นพันธุ์ที่มีความสามารถในการปรับตัวสูง (Phoncharoen et al., 2019a; Malik et al. 2020)

การตอบสนองของพันธุ์มันสำปะหลังในแต่ละชนิดของปุ๋ยก็มีความแตกต่างกัน แสดงให้เห็นว่าปุ๋ยคอกแต่ละชนิดมีความเหมาะสมแตกต่างกันไปในแต่ละพันธุ์ ซึ่งจะมีประโยชน์ในการวางแผนการปลูกมันสำปะหลังโดยเลือกใช้ปุ๋ยคอกอย่างเหมาะสม เช่น การปลูกในระบบการปลูกมันสำปะหลังในพื้นที่นาหลังการเก็บเกี่ยวข้าวที่เป็นการปลูกระยะยงสั้น ซึ่งจะทำให้การเก็บเกี่ยวผลผลิตเมื่อมีอายุประมาณ 6 เดือนหลังปลูก เป็นต้น (Sawatraksa et al., 2018, 2019)

อย่างไรก็ตาม การศึกษานี้เป็นเพียงผลของชนิดปุ๋ยคอกต่อการเจริญเติบโตของมันสำปะหลังในช่วงต้น จึงจำเป็นต้องมีการศึกษาการเจริญเติบโตในช่วงอื่น ๆ และในสภาพดินหรือพื้นที่อื่น ๆ เพื่อให้เข้าใจถึงพฤติกรรมการตอบสนองของปุ๋ยคอกแต่ละชนิดในแต่ละพันธุ์ให้ชัดเจนมากยิ่งขึ้น

บทสรุป

การใช้ปุ๋ยมูลไก่ในมันสำปะหลังพันธุ์ระยะยง 9 มีน้ำหนักแห้งรวม น้ำหนักแห้งรากสะสมอาหาร และน้ำหนักแห้งต้นที่สูงที่สุดทุกอายุ และมีอัตราการเจริญเติบโตในช่วง 30–60 วันหลังปลูก สูงที่สุด ในขณะที่การใช้ปุ๋ยมูลสุกรในพันธุ์ระยะยง 11 ทำให้มีน้ำหนักแห้งใบที่อายุ 60 และ 90 วันหลังปลูก และอัตราการเจริญเติบโตของใบในช่วง 30–60 และ 60–90 วันหลังปลูก สูงที่สุด องค์ความรู้ที่ได้จะเป็นข้อมูลพื้นฐานในการปลูกมันสำปะหลังในระบบการปลูกแบบอินทรีย์ เพื่อผลิตเป็นอาหารปลอดภัยในอนาคต

กิตติกรรมประกาศ

ผู้ดำเนินการวิจัยขอขอบคุณ ทุนวิจัยเพื่อพัฒนานวัตกรรมและสิ่งประดิษฐ์ที่ตอบสนองความต้องการของชุมชนและสังคม ประจำปีงบประมาณ ๒๕๖๒ และสาขาวิชาพืชศาสตร์ คณะเกษตรและเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยนครพนม

เอกสารอ้างอิง

- ไพฑูรย์ พักเขียว. (2557). การศึกษาระบบการเพาะปลูกเพื่อเพิ่มผลผลิตมันสำปะหลัง. วารสารวิจัย มหาวิทยาลัยสวนดุสิต. 7(3): 93–102.
- สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร. (2565). สถิติการค้าสินค้าเกษตรไทยกับต่างประเทศ ปี 2565. สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์: กรุงเทพมหานคร.
- สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร. (2566). สถานการณ์สินค้าเกษตรที่สำคัญและแนวโน้มปี 2566. สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์: กรุงเทพมหานคร.
- Analytical Software. (2013). Statistix, version 10. Analytical Software: Tallahassee.
- Bakayoko S., Soro D., Nindjin C., Dao D., Tschannen A., Girardin O. and Assa A. (2009). Effects of cattle and poultry manures on organic matter content and adsorption complex of a sandy soil under cassava cultivation (*Manihot esculenta*, Crantz). African Journal of Environmental Science and Technology. 3(8): 190–197.
- Biratu G.K., Elias E., Ntawuruhunga P. and Nhamo N. (2018a). Effect of chicken manure application on cassava biomass and root yields in two agro-ecologies of Zambia. Agriculture. 8(4): 45.

- Biratu G.K., Elias E., Ntawuruhunga P. and Sileshi G.W. (2018b). Cassava response to the integrated use of manure and NPK fertilizer in Zambia. *Heliyon*. 4(8): e00759.
- Bremner J.M. (1965). Total nitrogen. In Norman A.G., Editor. *Methods of Soil Analysis: Part 2 Chemical and Microbiological Properties*. Soil Science Society of America: Madison. 1149–1178
- Chapman H.D. (1965). Cation–exchange capacity. In Norman A.G., Editor. *Methods of Soil Analysis: Part 2 Chemical and Microbiological Properties*. Soil Science Society of America: Madison. 891–901.
- Diacono M. and Montemurro F. (2011). Long-term effects of organic amendments on soil fertility. In Lichtfouse E., Hamelin M., Navarrete M., Debaeke P., Editors. *Sustainable agriculture volume 2*. Springer Science & Business Media: Heidelberg. 761–786.
- El-Sharkawy M.A. (2006). International research on cassava photosynthesis, productivity, eco–physiology, and responses to environmental stresses in the tropics. *Photosynthetica*. 44: 481–512.
- Food and Agriculture Organization of the United Nations. (2018). *Food Outlook–Biannual Report on Global Food Markets–November 2018*. Food and Agriculture Organization of the United Nations: Rome.
- Fukai S., Alcoy A.B., Llamelo A.B. and Patterson R.D. (1984) Effects of solar radiation on growth of cassava (*Manihot esculenta* Crantz.). I. Canopy development and dry matter growth. *Field Crops Research*. 9: 347–360.
- Gomez K.A. and Gomez A.A. (1984). *Statistical Procedures for Agricultural Research*. John Wiley and Sons: New York.
- Howeler R.H. (2013). *Save and Grow: Cassava, A guide to sustainable production intensification*. Food and Agriculture Organization of the United Nations: Rome.
- Jackson M.L. (1973). *Soil chemical analysis*. Pentice hall of India Pvt. Ltd.: New Delhi.
- Janket A., Vorasoot N., Toomsan B., Kaewpradit W., Theerakulpisut P, Holbrook C.C., Kvien C.K., Jogloy S. and Banterng P. (2020a). Accumulation dynamics of starch and its granule size distribution of cassava genotypes at different growing seasons. *Agriculture*. 10(9): 380.
- Janket, A., Vorasoot N., Toomsan B., Kaewpradit W., Jogloy S., Theerakulpisut P., Holbrook C.C., Kvien C.K. and Banterng P. (2020b). Starch accumulation and granule size distribution of cassava cv. Rayong 9 grown under irrigated and rainfed conditions using different growing seasons. *Agronomy*. 10(3): 412.
- Mahakosee S., Jogloy S., Vorasoot N., Theerakulpisut P., Banterng P., Kesmala T., Holbrook C. and Kvien C. (2019). Seasonal variations in canopy size and yield of Rayong 9 cassava genotype under rainfed and irrigated conditions. *Agronomy*. 9: 362.
- Mahakosee S., Jogloy S., Vorasoot N., Theerakulpisut P., Holbrook C.C., Kvien, C.K. and Banterng P. (2020). Seasonal variation in canopy size, light penetration and photosynthesis of three cassava genotypes with different canopy architectures. *Agronomy*. 10(10): 1554.
- Malik A.I., Kongsil P., Nguyễn V.A., Ou W., Srean P., López–Lavallo L.A.B., Utsumi Y., Lu C., Kittipadakul P., Nguyễn H.H., Ceballos H., Nguyễn T.H., Gomez M.S., Aiernaka P., Labarta R., Chen S., Amawan S., Sok S., Youabee L., Seki M., Tokunaga H., Wang W., Li K., Nguyễn H.A., Nguyễn V.D., Hà L.H. and Ishitani M. (2020). Cassava breeding and agronomy in Asia: 50 years of history and future directions. *Breeding science*. 70(2): 145–166.
- Mathias L. and Kabambe V.H. (2015). Potential to increase cassava yields through cattle manure and fertilizer application: results from Bunda College, Central Malawi. *African Journal of Plant Science*. 9(5): 228–234.
- Odedina J.N., Odedina S.A. and Ojeniyi S.O. (2011). Effect of types of manure on growth and yield of cassava (*Manihot esculenta*, Crantz). *Researcher*. 3(5): 1–8.

- Phoncharoen P., Banterng P., Vorasoot N., Jogloy S., Theerakulpisut P. and Hoogenboom G. (2019a). Growth rates and yields of cassava at different planting dates in a tropical savanna climate. *Scientia Agricola*. 76: 376–388.
- Phoncharoen P., Banterng P., Vorasoot N., Jogloy S., Theerakulpisut P. and Hoogenboom G. (2019b). The impact of seasonal environments in a tropical savanna climate on forking, leaf area index, and biomass of cassava genotypes. *Agronomy*. 9(1): 19.
- Phuntupan K., and Banterng P. (2017). Physiological determinants of storage root yield in three cassava genotypes under different nitrogen supply. *The Journal of Agricultural Science*. 155(6): 978–992.
- Prammanee S., Kamprerasart K., Salakan S. and Sriroth K. (2010). Growth and starch content evaluation on newly released cassava cultivars, Rayong 9, Rayong 7 and Rayong 80 at different harvest times. *Agriculture and Natural Resources*. 44(4): 558–563.
- Ramanujam T. (1985). Leaf density profile and efficiency in partitioning dry matter among high and low yielding cultivars of cassava (*Manihot esculenta* Crantz). *Field Crops Research*. 10: 291–303.
- Rhoades J.D. and van Schilfgaarde J. (1976). An electrical conductivity probe for determining soil salinity. *Soil Science Society of America Journal*. 40(5): 647–651.
- Santanoo S., Vongcharoen K., Banterng P., Vorasoot N., Jogloy S., Roytrakul S. and Theerakulpisut P. (2019). Seasonal variation in diurnal photosynthesis and chlorophyll fluorescence of four genotypes of cassava (*Manihot esculenta* Crantz) under irrigation conditions in a tropical savanna climate. *Agronomy*. 9(4): 206.
- Santanoo S., Vongcharoen K., Banterng P., Vorasoot N., Jogloy S., Roytrakul S. and Theerakulpisut P. (2022). Physiological and proteomic responses of cassava to short-term extreme cool and hot temperature. *Plants*. 11(17): 2307.
- Sawatraksa N., Banterng P., Jogloy S., Vorasoot N. and Hoogenboom G. (2018). Chlorophyll fluorescence and biomass of four cassava genotypes grown under rain-fed upper paddy field conditions in the tropics. *Journal of Agronomy and Crop Science*. 204(6): 554–565.
- Sawatraksa N., Banterng P., Jogloy S., Vorasoot N. and Hoogenboom G. (2019). Cassava growth analysis of production during the off-season of paddy rice. *Crop Science*. 59(2): 760–771.
- Vongcharoen K., Santanoo S., Banterng P., Jogloy S., Vorasoot N. and Theerakulpisut P. (2018). Seasonal variation in photosynthesis performance of cassava at two different growth stages under irrigated and rain-fed conditions in a tropical savanna climate. *Photosynthetica*. 56(4): 1398–1413.
- Vongcharoen K., Santanoo S., Banterng P., Jogloy S., Vorasoot N. and Theerakulpisut P. (2019). Diurnal and seasonal variations in the photosynthetic performance and chlorophyll fluorescence of cassava ‘Rayong 9’ under irrigated and rainfed conditions. *Photosynthetica*. 57(1): 268–285.
- Walkley A. and Black I.A. (1947). Determination of organic matter in the soil by chromic acid digestion. *Soil Science*. 63: 251–264.
- Wongnoi S., Banterng P., Vorasoot N., Jogloy S. and Theerakulpisut P. (2020). Physiology, growth and yield of different cassava genotypes planted in upland with dry environment during high storage root accumulation stage. *Agronomy*. 10(4): 576.

Received: February 20, 2024; Revised: July 25, 2024; Accepted: July 30, 2024

การออกแบบระบบพยุงน้ำหนักบางส่วนสำหรับช้างบาดเจ็บ

The design of partial weight-support system for injured elephants

ภาควิชา ปรหมณณ์แก้ว¹ ปรชัย มุขดา¹ กังสดาล สกุลพงษ์มาลี¹ ชวงชัย ชูปวา¹ อิทธิพัฒน์ รูปคม¹กฤษณ์ ไชยวงศ์¹ อลงกรณ์ ฉัตรเมืองปัก¹ บัณฑิตพงษ์ ศรีอำนาจ¹มหิศร ประภาสะโนบล² และชวัญชัย นานานัน^{1*}Bhark Pramkaeo¹, Prachya Mukda¹, Kangsadan Sagulpongmalee¹, Chuangchai Chupwa¹,Ittipat Roopkom¹, Krit Chaiwong¹, Alongkorn Chatmuangpak¹, Bundidpong Srimnouy¹,Mahisorn Prapasanobol² and Kwanchai Nanan^{1*}¹คณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบุรี จังหวัดเพชรบุรี¹Faculty of Engineering and Industrial Technology, Phetchaburi Rajabhat University, Phetchaburi Province²คณะเทคโนโลยีการเกษตร มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบุรี จังหวัดเพชรบุรี²Faculty of Agricultural Technology, Phetchaburi Rajabhat University, Phetchaburi Province

*Corresponding Author E-mail Address : kwanchai.nanan@mail.pbru.ac.th

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เป็นการออกแบบระบบพยุงน้ำหนักบางส่วนสำหรับช้างที่ได้รับบาดเจ็บ เป้าหมายหลักของงานวิจัยคือการออกแบบระบบที่สามารถใช้เพื่อช่วยเหลือช้างที่ได้รับบาดเจ็บและไม่สามารถลุกยืนได้ด้วยตัวเองให้ได้รับการรักษาเบื้องต้นก่อนที่จะนำช้างไปรักษาต่อที่โรงพยาบาล กระบวนการช่วยเหลือช้างบาดเจ็บต้องกระทำอย่างรวดเร็วและปลอดภัยทั้งสำหรับผู้ปฏิบัติงานและช้างเอง ระบบพยุงน้ำหนักนี้มีการออกแบบเพื่อให้การช่วยเหลือช้างนั้นเป็นไปอย่างสะดวก สามารถลากจูงได้ด้วยรถกระบะทั่วไปที่ความเร็วในการลากจูงไม่เกิน 60 km/hr น้ำหนักออกแบบระบบพยุงนี้พิจารณาที่น้ำหนักยกเท่ากับ 14.7 kN ซึ่งคิดเป็นน้ำหนักพยุงประมาณ 30% ของน้ำหนักเฉลี่ยของช้างไทยเต็มวัย 49.1 kN เส้นรอบอกและความสูงของช้างไทยเต็มวัยที่ใช้ในการออกแบบนี้มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 400 และ 300 cm ตามลำดับ ผลจากการทดสอบระบบพยุงน้ำหนักบางส่วนในห้องปฏิบัติการแสดงให้เห็นว่าระบบนี้สามารถยกน้ำหนักได้สูงสุดถึง 19.6 kN ที่ความสูงยก 3.5 m เมื่อระบบนี้ไปใช้งานกับช้างบาดเจ็บที่มีน้ำหนักเท่ากับ 49.1 kN จะมีค่าความเสถียรภาพ (N) เท่ากับ 1.33

คำสำคัญ: ช้าง ช้างบาดเจ็บ ระบบพยุงน้ำหนักบางส่วน

Abstract

This research aims to design a partial weight-support system for injured elephants, with the primary goal of providing preliminary care for elephants that have been injured and are unable to stand on their own before being transported to a hospital for further treatment. The process of assisting injured elephants must be rapid and safe for both the caretakers and the elephants. This weight-support system is designed to facilitate the assistance of injured elephants and can be towed by a standard pickup truck at speeds not exceeding 60 km/hr. The design takes into consideration the optimal weight that the system can lift, which

is approximately 14.7 kN, calculated as 30% of the average weigh of adult Thai elephants, which is 49.1 kN. The chest circumference and height of adult Thai elephants used in this design are on average of 400 and 300 cm, respectively. Testing the weight-lifting system in a laboratory setting showed that it can lift a maximum weight of 19.6 kN at a height of 3.5 meters. When applied to an injured elephant weighing 49.1 kN, the stability factor (N) is 1.33.

Keywords: Elephant, Injured elephant, Partial weight-support system

บทนำ

ช้างในประเทศไทย กระจายตัวอยู่ในพื้นที่อุทยานแห่งชาติและเขตรักษาพันธุ์สัตว์ป่าทั้งหมด 69 แห่ง จากทั้งหมด 189 แห่ง คิดเป็น 37% ของพื้นที่อนุรักษ์ทั่วประเทศ จำนวนประชากรช้างทั้งหมดในประเทศไทยในปี 2563 อยู่ที่ 3,084-3,500 ตัว แต่เมื่อเทียบกับจำนวนช้างเมื่อ 14 ปีที่แล้ว มีแนวโน้มว่ากำลังเพิ่มจำนวนมากขึ้น กลุ่มป่าที่มีจำนวนช้างมากที่สุดคือกลุ่มป่าตะวันตก รองลงมาคือกลุ่มป่าดงพญาเย็น-เขาใหญ่ กลุ่มป่าภูเขียว-น้ำหนาว กลุ่มป่าตะวันออก และกลุ่มป่าแก่งกระจาน-กุยบุรี ซึ่งมีจำนวนประชากรของช้างเป็นจำนวนมากจัดเป็นอันดับ 3 ของประเทศ อย่างไรก็ตามที่ผ่านมาก็มีช้างจำนวนไม่น้อยได้เสียชีวิตจากการเจ็บป่วย จากการรวบรวมสถิติการเจ็บป่วยของช้างได้จำแนกออกเป็น 2 สาเหตุดังต่อไปนี้ 1) การเจ็บป่วยตามธรรมชาติ เช่น การป่วยเป็นโรคของช้าง การหิวโหย การต่อสู้กัน การตกจากที่สูง การตกหลุม การถูกสัตว์มีพิษกัด เป็นต้น และ 2) การบาดเจ็บที่เกิดจากน้ำมือของมนุษย์ เช่น การล่า รถชน ไฟช็อต เป็นต้น

ตั้งแต่อดีตถึงปัจจุบันมีชาวการช่วยเหลือช้างบาดเจ็บตลอดเวลา เช่น เดือน ตุลาคม 2560 พบช้างป่าเพศผู้มวล 4 ตัน อายุประมาณ 7-8 ปี บาดเจ็บจากการถูกน้ำป่าพัดตกไปในคลองชมพู่ อ.เนินมะปราง จ.พิษณุโลก โดยการช่วยเหลือเบื้องต้นต้องปรับแผนในการดึงช้างขึ้นจากน้ำซึ่งบริเวณพื้นที่เกิดเหตุเป็นจุดที่ตลิ่งที่มีความชันสูง ต้องใช้เวลานานกว่า 26 ชั่วโมง กระทั่งสามารถช่วยชีวิตช้างขึ้นมาบนตลิ่งเพื่อนำช้างป่าขึ้นรถออกเดินทางไปที่ศูนย์อนุรักษ์ช้างที่ จ.ลำปาง (ไทยพีบีเอส, 2560) ต่อมาในเดือน ธันวาคม 2561 มีกรณีลูกช้างป่าอายุประมาณ 5-6 ปี ถูกช้างเพศผู้เหยียบระหว่างการทำแผลในช่วงฤดูผสมพันธุ์ ได้รับบาดเจ็บบริเวณขาหลังขวาโดยล้มลงนอนตะแคงอยู่บริเวณร่องเขา หมู่ 6 ต.เขาจำว อ.ปรางบุรี จ.ประจวบคีรีขันธ์ ห่างจากแนวเขตอุทยานแห่งชาติกุยบุรี ประมาณ 1 กิโลเมตร อยู่บริเวณเทือกเขาตะนาวศรี ใกล้กับชายแดนไทย-เมียนมา ใช้เวลาและความพยายามช่วยลูกช้างป่ากว่า 60 ชั่วโมง การช่วยเหลือเริ่มจากทางเจ้าหน้าที่อุทยานแห่งชาติกุยบุรี และชาวบ้านได้ช่วยกันปรับพื้นที่เพื่อให้รถบรรทุกหกล้อสำหรับบรรทุกลูกช้างเข้าถึงได้ใกล้มากที่สุด จากนั้นจึงนำเชือกร้อยตัวลูกช้างเพื่อช่วยพยุงตัว ซึ่งขั้นตอนนี้มีความยุ่งยากในการคล้องเชือกช่วยพยุงกว่า 1 ชั่วโมง เพราะลูกช้างป่ามีมวลมากเกือบ 2 ตัน และยังบาดเจ็บ ต้องระวังไม่ให้เกิดการบาดเจ็บเพิ่มเติม (ไทยรัฐออนไลน์, 2561) ต่อมาในเดือน มกราคม 2564 ช้างป่าพลายยันหว่างตายขณะเจ้าหน้าที่ขนย้ายจาก จ.ชลบุรี มาที่สถานกักกันช้างฯ จ.สระแก้ว คาดว่ายาซึมเกินขนาด เพื่อติดปลอกคอและนำขึ้นรถบรรทุกนานกว่า 6 ชั่วโมง จนช้างล้ม เจ้าหน้าที่ชี้แจงสาเหตุการตายเบื้องต้น เกิดจากสภาวะสัตว์มีอาการเสียดอาหารเข้าสู่หลอดลมอย่างกะทันหัน (ไทยพีบีเอส, 2564) ถัดมาในเดือน กรกฎาคม 2565 สัตวแพทย์หญิงชนัญญา กาญจนสาขา สัตวแพทย์ประจำอุทยานแห่งชาติเขาใหญ่ กรมอุทยานแห่งชาติสัตว์ป่าและพันธุ์พืช และทีมเจ้าหน้าที่เดินทางมายังพื้นที่หมู่ 2 ต.สาริกา อ.เมือง จ.นครนายก หลังได้รับแจ้งจากเจ้าหน้าที่ชุดผลักดันช้างป่าว่ามีลูกช้างอายุประมาณ 1 ปี พลัดตกบ่อพักท่อระบายน้ำ ที่มีขนาดลึก 2 เมตร กว้าง 2 เมตร ยาว 3 เมตร ไม่สามารถขึ้นมาเองได้และมีแม่ช้างคอยเฝ้าอยู่ไม่ห่าง ทำให้ไม่สามารถเข้าใกล้ลูกช้างได้ ท่ามกลางสภาพอากาศที่มีฝนตกอยู่ตลอดเวลา โดยแบ่งการทำงานออกเป็น 3 ชุด คือ ชุดขึ้นเขาเพื่อทำแนวป้องกันโคลนช้างที่จะตามลงมาโดยให้มีรัศมีห่างจากจุดนี้ประมาณ 1 กิโลเมตร เพื่อป้องกันเวลาช้างแม่ร้องเรียกช้างฝูงที่อยู่ด้านบนเมื่อได้ยินอาจจะวิ่งสวนลงมา ชุดทีมยิงยาสลบ ทีมคอยเฝ้าระวัง และทีมคอยเช็กพฤติกรรมของสัตว์ และชุดที่จะเข้าไปช่วยนำลูกช้างขึ้นมาจากบ่อซึ่งลูกช้างได้รับการช่วยเหลือและปลอดภัย (ไทยพีบีเอส, 2565) จากนั้นอีกไม่นาน ในเดือน สิงหาคม 2565 เจ้าหน้าที่เขตรักษาพันธุ์สัตว์ป่าสลักพระ ทีมสัตวแพทย์ สัตวบาล สอส.สบอ.3 (บ้านโป่ง) สัตวแพทย์ประจำเขตห้ามล่าสัตว์ป่าบึงฉวากและศูนย์พัฒนาการจัดการสัตว์ป่าบึงฉวาก เข้ารักษา “บุญรอด” ช้างป่าเพศผู้ อายุ 2-3 ปี พบบาดเจ็บแผลสาหัสบริเวณโคนหาง โดยเจ้าหน้าที่ได้ตัดรั้วไฟฟ้าเพื่อกักบริเวณรักษาในพื้นที่สวนยางพาราของชาวบ้าน ต.ด่านแม่แฉลบ อ.ศรีสวัสดิ์ จ.กาญจนบุรี โดยการรักษาค้างจำเป็นต้องช่วยพยุงช้างเพื่อให้พร้อมเฝ้าดูแลอย่างใกล้ชิดและปลอดภัย (ศูนย์ประสานการปฏิบัติที่ 4 กอ.รมน., 2565) ถัดมา ในเดือน กันยายน 2565

เกิดอุบัติเหตุรถชนข้างคว่ำระหว่างการขนย้าย ที่ อ.แม่แจ่ม จ.เชียงใหม่ ส่งผลให้ข้างบาดเจ็บ ขยับตัวได้น้อย สมาคมสหพันธ์ช่างไทยได้เข้าช่วยเหลือโดยรถกู้ภัยไปช่วยข้างปู้คำ โดยมีสัตว์แพทย์จาก โรงพยาบาลช้าง ศูนย์อนุรักษ์ช้างไทย, TECC กำลังปฏิบัติการกิจในพื้นที่พอดี พร้อมกับทีมผู้ช่วยสัตวแพทย์ผ่านการอบรมในพื้นที่ได้รู้ให้การปฐมพยาบาลข้างเบื้องต้น เพื่อรอขนย้าย โดยสมาคมฯ กำลังส่งรถกู้ภัยช้างและเจ้าหน้าที่ไปรับ ใช้เวลาการเดินทางประมาณ 6-7 ชั่วโมง (ข่าวสด, 2565) ล่าสุดในเดือน ตุลาคม 2566 สมาคมสหพันธ์ช่างไทยเข้าไปช่วยเหลือข้างสีดทองหล่อ อายุ 63 ปี มีอาการป่วยหนักอยู่ที่ปางช้างข้างมีอาการไม่มีแรง ล้มนอนครั้งนี้เป็นครั้งที่ 3 ซึ่งมีอาการหนักกว่าทุกครั้ง การเข้าช่วยเหลือต้องมีการนำรถมาช่วยยกพยุงตัวให้ยืนขึ้น แต่ข้างยังอ่อนแรง พยุงตัวเองลุกยืนไม่ได้ ต้องใช้อุปกรณ์ช่วยพยุงเพื่อรักษาอาการเบื้องต้นให้ดีขึ้นก่อนที่จะเคลื่อนย้ายข้างไปรักษาในโรงพยาบาลต่อไป (สมาคมสหพันธ์ช่างไทย, 2566) ในส่วนของงานวิจัยเกี่ยวกับข้างมีพบว่า มีงานวิจัยที่ได้ศึกษาวิธีการคำนวณมวลช้างจากภาพถ่ายดิจิทัลโดยสร้างสมการความสัมพันธ์ระหว่างพื้นที่ผิวและความสูงกับมวลเพื่อใช้สำหรับการประมาณมวลจริงของช้างด้วยภาพถ่ายดิจิทัล ในการทดลองได้ใช้ข้อมูลของข้างจริงทั้งหมด 28 เชือก ประกอบด้วยเพศผู้จำนวน 15 เชือก และเพศเมียจำนวน 13 เชือก ผลที่ได้จากงานวิจัยพบว่า การวิเคราะห์ภาพถ่ายดิจิทัลสามารถประมาณมวลของข้างได้ ซึ่งเป็นวิธีที่ทำได้ง่ายและไม่จำเป็นต้องจับหรือสัมผัสตัวข้าง ทำให้มีความปลอดภัยต่อผู้ปฏิบัติงาน อย่างไรก็ตามยังคงจำเป็นต้องมีการศึกษาเพิ่มเติมเพื่อพัฒนาความแม่นยำของสมการ (วาริชภัทร, 2563) นอกจากนี้ยังมีการศึกษาเรื่องของระบบพยุกับผู้ป่วยที่มีการออกแบบโครงช่วยฝึกเดินที่มีระบบพยุน้ำหนักบางส่วนสำหรับผู้ที่มีปัญหาการเคลื่อนไหวด้านการเดิน ซึ่งงานวิจัยนี้จึงมุ่งเน้นการออกแบบและพัฒนาอุปกรณ์ช่วยฝึกเดินประกอบด้วย 2 ส่วน คือ ระบบพยุน้ำหนกบางส่วนโดยใช้แก๊สสปริงทำหน้าที่พยุน้ำหนกเพื่อช่วยพยุน้ำหนกบางส่วนของผู้ป่วยโดยปรับระดับแรงพยุน้ำหนกได้โดยการปรับมุมเอียงที่ใช้ติดตั้งแก๊สสปริง และชุดสวมใส่ที่ออกแบบพิเศษสำหรับยกพยุน้ำหนกเพื่อให้เกิดความสบายและถูกต้องตามหลักการฝึกเดิน จากผลการทดสอบอุปกรณ์ต้นแบบพบว่าอุปกรณ์สามารถพยุน้ำหนกตัวผู้ป่วยได้ตามที่ออกแบบไว้ และสามารถช่วยเหลือผู้ป่วยให้การฝึกเดินด้วยอุปกรณ์ช่วยฝึกเดินเป็นเรื่องที่ง่ายขึ้น (วรรัตน์, 2559) อีกทั้งยังมีการพัฒนาขาเทียมสำหรับสุนัขที่ได้รับการรักษาหรือโดนตัดขาที่ตำแหน่งกึ่งกลางขาหน้าส่วนล่างโดยการทำขาเทียม 3 รูปแบบ รูปแบบแรกใช้เหล็กแผ่นรูปตะขอรับน้ำหนัก รูปแบบที่สองใช้โฟมชนิดเบาความยาวเท่าขา โดยทั้งสองรูปแบบ เป็นการสวมเข้ากับตอขา และรูปแบบที่สามมีการพัฒนาให้มีส่วนเท้า เพื่อให้มีลักษณะคล้ายขาจริง บริเวณข้อศอกสามารถปรับขยายได้เพื่อป้องกันการกดบริเวณปุ่มข้อและรัดขาเทียมกับตอขาเพื่อไม่ให้ขาเทียมหลุดได้ง่าย ผลการวิเคราะห์คะแนนการลงน้ำหนัก ลักษณะการเดินและความพึงพอใจของเจ้าของสัตว์ พบว่า ขาเทียมรูปแบบที่ 3 ได้รับการประเมินดีกว่ารูปแบบอื่น (วรรณนา และคณะ, 2558) ต่อมามีการประดิษฐ์อุปกรณ์พยุอุ้งเท้าด้านใน และอุปกรณ์พยุสันเท้าชนิดทำจากซิลิโคนโดยการพิมพ์เท้าผู้ป่วยแล้วหล่อแบบด้วยซิลิโคนที่มีค่าความแข็ง 23° shore A แล้วให้ผู้ป่วยใส่เพื่อวัดแรงกดฝ่าเท้าด้วยเครื่อง digital foot scan (FSA Insole®) เปรียบเทียบแรงกดได้ส้นเท้าก่อนและหลังใส่อุปกรณ์ทั้ง 2 ชนิด ผลที่ได้พบว่า อุปกรณ์พยุอุ้งเท้าด้านในสามารถลดแรงกดได้มากกว่าอุปกรณ์พยุสันเท้าอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.001$) ภายหลังการใช้อุปกรณ์ 2 สัปดาห์พบว่าอุปกรณ์เกือบทั้งหมดมีสภาพดีพอ ๆ เดิม โดยระดับความพึงพอใจของอาสาสมัครต่อการใช้อุปกรณ์พยุทั้งสองประเภทโดยเฉลี่ยอยู่ในระดับพึงพอใจมาก และไม่พบภาวะแทรกซ้อนจากการใช้อุปกรณ์พยุทั้ง 2 ประเภท (อนล และสันติ, 2559) นอกจากนี้ได้มีการพัฒนาเชือกช่วยพยุตัวในการออกกำลังกายและการฝึกเดินเพื่อนำไปใช้กับเด็กสมองพิการที่มีปัญหาในการเดินและการทรงตัว โดยในการพัฒนาเครื่องมือประกอบด้วย 4 ขั้นตอนหลักคือ 1) การกำหนดคุณลักษณะของเชือกช่วยพยุตัวจากปัญหาที่พบในเด็กสมองพิการ 2) การออกแบบเครื่องมือ 3) การสร้างและติดตั้งเครื่องมือ และ 4) การตรวจสอบและประเมินผลเครื่องมือ จากการทดสอบใช้งานเครื่องมือพบว่า อาสาสมัครเดินได้ตามปกติและเครื่องมือสามารถรับน้ำหนักตัวของอาสาสมัครได้ในขณะที่ยอตกลงนั่งโดยไม่มีการเลื่อนหลุด และไม่ผลอันตรายเกิดขึ้น (สรายุจิต และคณะ, 2564) อีกไม่นานได้มีศึกษาปัจจัยการเลือกใช้อุปกรณ์ช่วยเดินที่เหมาะสมซึ่งขั้นแรกควรพิจารณาถึงความต้องการของผู้ใช้ว่าต้องการใช้แขนข้างเดียวหรือทั้งสองข้างในการช่วยพยุการทรงตัวและช่วยในการลงน้ำหนัก หากต้องการใช้เพียงแขนข้างเดียวในการช่วยพยุการทรงตัวและลงน้ำหนัก ไม่เท่าถือว่ามีความเหมาะสมที่สุดสำหรับผู้ใช้ แต่หากผู้ใช้ต้องการใช้แขนทั้งสองข้างในการช่วยพยุการทรงตัวและลงน้ำหนัก ควรเลือกใช้โครงเหล็กช่วยเดินหรือไม่ค้ำยัน ทั้งนี้การเลือกอุปกรณ์ช่วยเดินให้เหมาะสมกับผู้ป่วยแต่ละคน ควรคำนึงถึงลักษณะความผิดปกติ ระดับการรับรู้ สมรรถภาพทางกาย สภาวะแวดล้อม ความสามารถในการตัดสินใจ การมองเห็น และความแข็งแรงของร่างกายส่วนบน (พุทธิพงษ์, 2556) และได้พัฒนาอุปกรณ์ช่วยพยุตัวสำหรับผู้สูงอายุซึ่งจากผลการประเมินความพึงพอใจของผู้สูงอายุที่ใช้เครื่องช่วยพยุพบว่า ผู้สูงอายุสามารถเดินได้เร็วขึ้นกว่าปกติเนื่องจากผู้สูงอายุเกิดความมั่นใจมากขึ้นนอกจากนั้นเมื่อสามารถนั่งพักระหว่างการเดินทาง ทำให้ผู้สูงอายุสามารถเดินได้ในระยะทางเพิ่มขึ้นจากเดิม (พรพรรณ, 2560)

จากงานวิจัยที่ผ่านมา ยังไม่มีการออกแบบและพัฒนาอุปกรณ์ช่วยพยุงสัตว์ที่มีขนาดใหญ่อย่างเช่นช้างเลย โดยในปัจจุบันได้อาศัยเครื่องจักรกลขนาดใหญ่ เช่น รถแบคโฮในการช่วยพยุงช้างซึ่งมักพบปัญหาด้านเวลาและความคล่องตัวในการเข้าพื้นที่เพื่อช่วยเหลือ โดยขั้นตอนที่สำคัญก่อนการรักษาช้างคือการนำตัวช้างออกจากจุดเกิดเหตุเพื่อให้การปฐมพยาบาลช้างเบื้องต้นในการนำตัวช้างออกจากจุดเกิดเหตุต้องอาศัย การดึง การลาก การยก และการพยุงช้างให้ยืนขึ้น ซึ่งต้องแข่งกับเวลา จึงเป็นที่มาของงานวิจัยนี้ที่ได้สร้างนวัตกรรมระบบพยุงน้ำหนักบางส่วนสำหรับช้างบาดเจ็บที่สะดวกและรวดเร็วในการเข้าช่วยเหลือช้างซึ่งสามารถดึง ลาก ยก และพยุงช้างให้ยืนเพื่อรับการปฐมพยาบาลเบื้องต้นได้

วัสดุ อุปกรณ์ และวิธีการ

ทฤษฎีในการวิเคราะห์

ข้อมูลที่ใช้ในการออกแบบระบบพยุงน้ำหนักบางส่วนประกอบด้วย ค่าเฉลี่ยของน้ำหนักช้างไทยเต็มวัยเท่ากับ 49 kN ความสูงของระบบพยุงน้ำหนักบางส่วนเท่ากับ 350 cm ซึ่งสูงกว่าความสูงเฉลี่ยของตัวช้าง 50 cm และเส้นรอบอกเท่ากับ 400 cm โดยทั่วไปของการออกแบบระบบพยุงพิจารณาค่าน้ำหนักพยุงเท่ากับ 30% ของน้ำหนักตัว (วรรัตน์, 2559) ซึ่งในกรณีน้ำหนักพยุงช้างบาดเจ็บนี้มีค่าเท่ากับ 14.7 kN สมการที่ใช้ในการวิเคราะห์ความแข็งแรงของระบบพยุงน้ำหนักบางส่วนสำหรับช้างบาดเจ็บมีดังนี้

ความเค้น คือ แรงหารด้วยพื้นที่หน้าตัดที่รับแรงซึ่งมีอยู่ 3 ชนิด คือ ความเค้นดึง ความเค้นกด และความเค้นเฉือน ดังสมการที่ (1), (2) และ (3) ตามลำดับ

$$\sigma_t = \frac{F}{A} \quad (1)$$

$$\sigma_c = \frac{F}{A} \quad (2)$$

$$\tau = \frac{F}{A} \quad (3)$$

โดยที่	σ_t	คือ ความเค้นดึง (N/mm ²)
	σ_c	คือ ความเค้นอัด (N/mm ²)
	τ	คือ ความเค้นเฉือน (N/mm ²)
	F	คือ แรงที่กระทำกับพื้นที่หน้าตัดที่รับแรง (N)
	A	คือ พื้นที่หน้าตัดที่รับแรง (mm ²)

ความเค้นดัด ใช้สำหรับพิจารณาชิ้นส่วนของเครื่องพยุงช้างที่รับแรงในแนวตั้งลักษณะเช่นเดียวกับคานทั่วไป ซึ่งเป็นข้อจำกัดในการออกแบบ ความเค้นดัดสูงสุดเกิดที่ผิวนอกสุด ณ ตำแหน่งที่เกิดโมเมนต์ดัด ซึ่งคำนวณได้จากสมการ

$$\sigma_b = \frac{Mc}{I} \quad (4)$$

โดยที่	σ_b	คือ ความเค้นดัด (N/mm ²)
	M	คือ โมเมนต์ดัด (N·mm)
	c	คือ ระยะจากแกนสะเทิน (mm)
	I	คือ โมเมนต์ความเฉื่อยของพื้นที่ (mm ⁴)

รอก (Pulley) เป็นอุปกรณ์ช่วยอำนวยความสะดวกหรือผ่อนแรง ในงานวิจัยนี้ได้ใช้รอกเดี่ยวเคลื่อนที่ที่สามารถช่วยผ่อนแรงได้ 2 เท่าของน้ำหนักที่ต้องการยก ดังสมการ

$$T = \frac{W}{2} \quad (5)$$

โดยที่	T	คือ แรงดึงในเส้นลวดสลิง (N)
	W	คือ แรงยกน้ำหนัก (N)

ค่าความปลอดภัย (SF) คือ อัตราส่วนระหว่างความเค้นสูงสุดของวัสดุที่รับได้ต่อความเค้นใช้งาน หาได้ดังสมการ

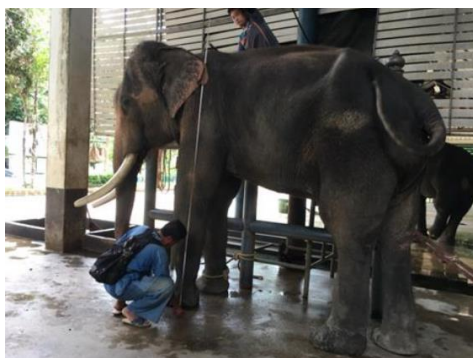
$$SF = \text{Ultimate strength} / \text{Working stress} \quad (6)$$

ค่าความเสถียรภาพของระบบ (N) คือ อัตราส่วนระหว่างน้ำหนักยกสูงสุดของระบบต่อน้ำหนักพุงใช้งาน หาได้ดังสมการ

$$N = \text{น้ำหนักยกสูงสุดของระบบ} / \text{น้ำหนักพุงใช้งาน} \quad (7)$$

อุปกรณ์การทดลองและวิธีดำเนินการวิจัย

ขั้นตอนการช่วยเหลือช้างที่บาดเจ็บ ตั้งแต่อดีตถึงปัจจุบันยังคงอาศัยรถแบ็กโฮและเชือกในการดึงและพุงช้างออกจากจุดเกิดเหตุซึ่งการเข้าช่วยเหลือต้องแข่งกับเวลานอกจากนั้นช้างอาจได้รับบาดเจ็บเพิ่มเติมจากการดึงของเส้นเชือกเพื่อนำช้างออกจากจุดเกิดเหตุอาจต้องมีการบวกรถดึง ยก และพุงตัวช้างให้ยืนขึ้นเพื่อรับการปฐมพยาบาลเบื้องต้นก่อนเคลื่อนย้ายไปรักษาต่อไป จากข้อมูลทางกายภาพของช้างไทยโตเต็มวัย อายุ 15-99 ปี สุขภาพร่างกายแข็งแรงสมบูรณ์ จำนวน 28 เชือก แบ่งเป็นเพศผู้ 15 เชือก และเพศเมีย 13 เชือก เป็นช้างเลี้ยงของศูนย์อนุรักษ์ช้างไทย จังหวัดลำปาง มีน้ำหนักตัวอยู่ในช่วง 14.4-43.9 kN ความสูงตั้งแต่ 175-277 cm และมีเส้นรอบอกเท่ากับ 270-390 cm



(ก) การวัดความสูง



(ข) การวัดรอบอก

รูปที่ 1 การวัดความสูงและเส้นรอบอกของช้าง (วาริชภัทร, 2563)

สำหรับระบบพุงน้ำหนักบางส่วนสำหรับช้างบาดเจ็บที่ได้ทำการสร้างนี้ ถูกออกแบบมาเพื่อใช้ช่วยยกพุงช้างที่ไม่สามารถลุกขึ้นได้ด้วยตัวเอง จำเป็นจะต้องมีการช่วยให้สามารถลุกขึ้นได้ โดยระบบพุงช้างนี้มีลักษณะเป็นรถที่มี 3 ล้อ ล้อหน้ามีขนาดเล็กกว่าล้อคู่หลังที่รับน้ำหนัก สามารถหมุนและพับเก็บได้ในขณะลากด้วยรถกระบะทั่วไป ตัวโครงรถทำจากเหล็กสามารถยกแขนสำหรับใช้พุงได้ด้วยกระบะไฮดรอลิคแบบใช้คันโยกที่ระดับความสูงยก 2.5 และ 3.5 m พร้อมกับติดตั้งชุดก้านสลิงไฟฟ้า (Electric winch) หรือ รอกก้านสลิงไฟฟ้าที่มีความสามารถในการลากดึงสูงสุด 12,000 ปอนด์ (52.9 kN) ปลายแขนยกมีตะขอสำหรับยกด้วยลวดสลิงและรอกเดี่ยวเคลื่อนที่ช่วยให้ทุ่นแรงได้ 2 เท่า การใช้งานง่ายเพียงกดปุ่มรีโมทเพื่อยกวัตถุโดยอัตโนมัติ ดังรูปที่ 2 ซึ่งแสดงการติดตั้งระบบลากกระบะพุงน้ำหนักบางส่วนสำหรับช้างบาดเจ็บด้วยรถกระบะเพื่อเข้าไปยังพื้นที่เกิดเหตุ ในการใช้เคลื่อนย้ายนี้จำเป็นต้องยกล้อหน้าของระบบพุงน้ำหนักบางส่วนสำหรับช้างบาดเจ็บขึ้นในขณะที่ทำการลากจูงเพื่อไม่ให้เกิดการสะบัดโดยสามารถทำความเร็วในการเคลื่อนที่ได้สูงสุด 60 km/hr



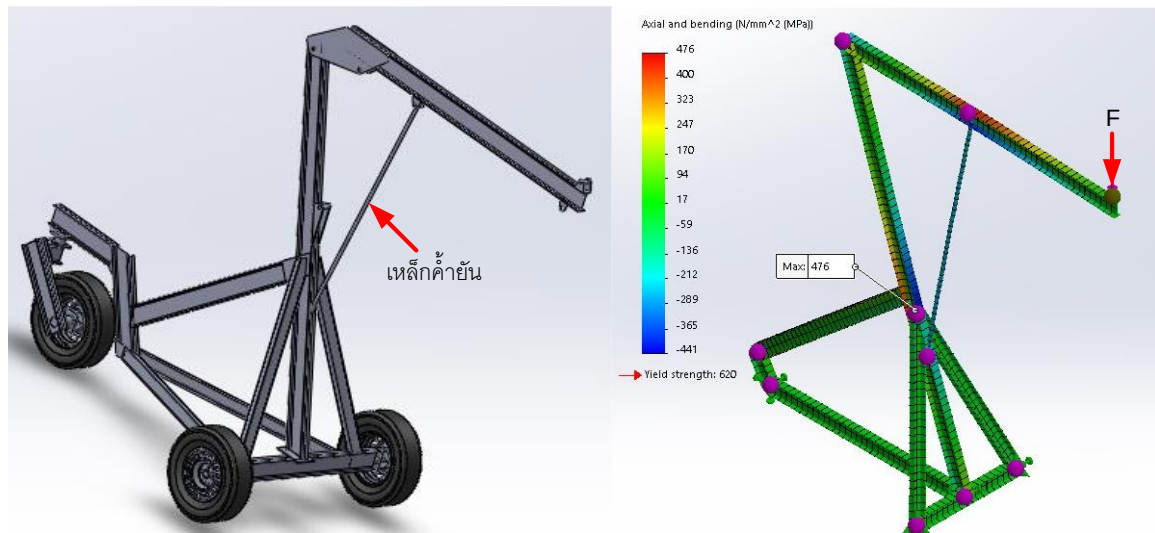
รูปที่ 2 ระบบพยุ่งน้ำหนักบางส่วนสำหรับช้างบาดเจ็บ

ผลการวิจัย และการอภิปรายผล

ผลการวิจัยนี้แบ่งออกเป็น 2 ส่วนประกอบด้วย การออกแบบความแข็งแรงของระบบพยุ่งน้ำหนักบางส่วนสำหรับช้างบาดเจ็บด้วยโปรแกรมทางคอมพิวเตอร์เพื่อให้ได้ขนาดของชิ้นส่วน และส่วนที่สองคือการทดสอบความเสถียรภาพของระบบพยุ่งน้ำหนักบางส่วนสำหรับช้างบาดเจ็บในห้องปฏิบัติการซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

การออกแบบความแข็งแรงของระบบพยุ่งน้ำหนักบางส่วนสำหรับช้างบาดเจ็บด้วยโปรแกรมทางคอมพิวเตอร์

จากรูปที่ 3 แสดงผลการจำลองความแข็งแรงของระบบพยุ่งน้ำหนักบางส่วนสำหรับช้างบาดเจ็บด้วยโปรแกรมทางคอมพิวเตอร์ โครงรถและชุดแขนยกทำจากเหล็กไวด์แฟรงค์ (Wide flange) มีค่าความเค้นสูงสุดที่วัสดุรับได้ 620 N/mm^2 ขนาดหน้าตัด $150 \times 75 \text{ mm}$ ชุดแขนยกยาว $2,700 \text{ mm}$ เหล็กค้ำยันขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 32 mm ยาว $1,700 \text{ mm}$ ในขณะที่จุดหมุนบนแขนยกและเหล็กค้ำยันใช้สลักเหล็กขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 25.4 mm ซึ่งรับแรงเฉือนแบบคู่ ผลจากการคำนวณความแข็งแรงด้วยโปรแกรมทางคอมพิวเตอร์พบว่าชิ้นส่วนของระบบพยุ่งน้ำหนักบางส่วนสำหรับช้างบาดเจ็บจะเกิดความเสียหายบนชุดแขนยกบริเวณตำแหน่งรอยต่อกับฐานและบริเวณจุดที่เหล็กค้ำยันก่อนชิ้นส่วนอื่น ๆ ดังแสดงในรูปที่ 2 ซึ่งเกิดค่าความเค้นเท่ากับ 476 N/mm^2 ภายใต้น้ำหนักกระทำขนาด (F) 24.5 kN ซึ่งมีค่าความปลอดภัยเท่ากับ 1.30 นอกจากนั้นเมื่อทำการคำนวณภายใต้น้ำหนักตั้งแต่ 14.7 ถึง 29.4 kN พบว่า ค่าความปลอดภัยของระบบพยุ่งน้ำหนักบางส่วนสำหรับช้างบาดเจ็บจะมีค่าลดลงตามการเพิ่มขึ้นของน้ำหนักที่กระทำดังแสดงในตารางที่ 1 โดยพบว่า ระบบพยุ่งน้ำหนักบางส่วนสำหรับช้างบาดเจ็บนี้สามารถรองรับน้ำหนักใช้งานได้สูงสุดเท่ากับ 24.5 kN โดยมีค่าความปลอดภัยเท่ากับ 1.30



รูปที่ 3 การจำลองความแข็งแรงของระบบพวงน้ำหนักบางส่วนสำหรับช่วงบาดเจ็บด้วยโปรแกรมทางคอมพิวเตอร์ภายใต้ น้ำหนัก (F) เท่ากับ 24.5 kN

ตารางที่ 1 ผลการจำลองความแข็งแรงชิ้นส่วนระบบพวงน้ำหนักบางส่วนสำหรับช่วงบาดเจ็บด้วยโปรแกรมทางคอมพิวเตอร์

น้ำหนัก, F (kN)	ความเค้นใช้งาน (N/mm ²)	ค่าความปลอดภัย, SF (-)
14.7	286	2.17
19.6	381	1.63
24.5	476	1.30
29.4	571	1.08



รูปที่ 4 การทดสอบระบบพวงน้ำหนักบางส่วนสำหรับช่วงบาดเจ็บในห้องปฏิบัติการ

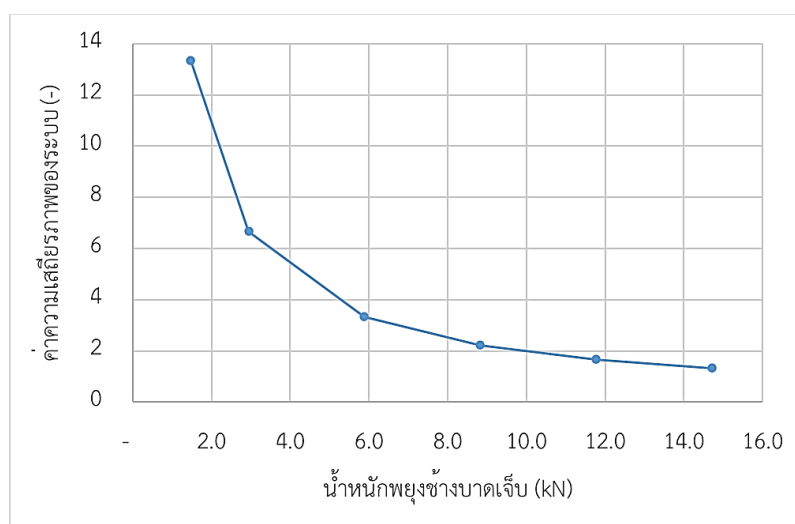
การทดสอบความเสถียรภาพของระบบพยุ่งน้ำหนักบางส่วนสำหรับข้างบาดเจ็บในห้องปฏิบัติการ

สำหรับรูปที่ 4 แสดงการทดสอบระบบพยุ่งน้ำหนักบางส่วนสำหรับข้างบาดเจ็บในห้องปฏิบัติการ ได้จำลองยกมวลทดสอบแทนน้ำหนักตัวข้าง น้ำหนักทดสอบมีค่าเท่ากับ 4.9, 9.8, 14.7, 19.6, 24.5 และ 29.4 kN ตามลำดับ ตำแหน่งของน้ำหนักทดสอบมีระยะห่างจากเพลาท้ายของระบบพยุ่งน้ำหนักบางส่วนสำหรับข้างบาดเจ็บเท่ากับ 2 m และทดสอบที่ระยะความสูงยกเท่ากับ 3.5 m ผลที่ได้จากการทดสอบพบว่า ระบบพยุ่งน้ำหนักบางส่วนสำหรับข้างบาดเจ็บนี้สามารถยกน้ำหนักทดสอบได้สูงสุดเท่ากับ 19.6 kN เมื่อทำการเพิ่มน้ำหนักทดสอบเป็น 24.5 kN ผลที่ได้พบว่า ชุดล้อด้านหน้าของระบบพยุ่งน้ำหนักบางส่วนสำหรับข้างบาดเจ็บลอยขึ้นเหนือพื้นเล็กน้อย (ขณะทำการทดสอบระบบพยุ่งน้ำหนักบางส่วนสำหรับข้างบาดเจ็บถูกติดตั้งกับชุดลากจูงของรถกระบะ) เมื่อทำการเพิ่มมวลทดสอบเป็น 29.4 kN พบว่า ชุดหางลากมีการรับแรงยกเพิ่มขึ้นและอาจเกิดความเสียหายได้ ดังนั้นผลการยกน้ำหนักของระบบพยุ่งน้ำหนักบางส่วนสำหรับข้างบาดเจ็บนี้ได้สูงสุดเท่ากับ 19.6 kN โดยไม่เสียเสถียรภาพของระบบ

ตารางที่ 2 แสดงรายละเอียดค่าความเสถียรภาพของระบบพยุ่งน้ำหนักบางส่วนสำหรับข้างบาดเจ็บ โดยพิจารณาจากน้ำหนักข้างบาดเจ็บตั้งแต่ 4.9 ถึง 49.1 kN น้ำหนักพยุ่งซึ่งคิดเป็น 30% ของน้ำหนักข้างบาดเจ็บ จะมีค่าเท่ากับ 1.5 ถึง 14.7 kN จะได้ค่าความเสถียรภาพของระบบ (N) ซึ่งคิดจากอัตราส่วนระหว่างน้ำหนักยกสูงสุดของระบบ (19.6 kN) ต่อน้ำหนักพยุ่งใช้งาน ดังแสดงในตารางที่ 2 นอกจากนั้นในรูปที่ 5 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเสถียรภาพของระบบกับน้ำหนักพยุ่งข้างบาดเจ็บ เมื่อนำระบบพยุ่งน้ำหนักรบบบางส่วนสำหรับข้างบาดเจ็บไปใช้งานกับข้างบาดเจ็บจริงพบว่า ระบบนี้จะมีค่าความเสถียรภาพเพิ่มขึ้นตามน้ำหนักของข้างบาดเจ็บที่ลดลง โดยระบบพยุ่งน้ำหนักรบบบางส่วนสำหรับข้างบาดเจ็บนี้สามารถนำไปใช้ได้กับข้างที่มีน้ำหนักสูงสุดเท่ากับ 49.1 kN มีค่าความเสถียรภาพ (N) เท่ากับ 1.33

ตารางที่ 2 แสดงค่าน้ำหนักพยุ่งและค่าความเสถียรภาพของระบบ

น้ำหนักข้างบาดเจ็บ (kN)	น้ำหนักพยุ่ง 30% ของน้ำหนักข้าง (kN)	ค่าความเสถียรภาพของระบบ (-)
4.9	1.5	13.33
9.8	2.9	6.67
19.6	5.9	3.33
29.4	8.8	2.22
39.2	11.8	1.67
49.1	14.7	1.33



รูปที่ 5 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเสถียรภาพของระบบกับน้ำหนักพยุ่งข้างบาดเจ็บ

บทสรุป

ในการออกแบบระบบพยุ่งน้ำหนักบางส่วนสำหรับข้างบาดเจ็บด้วยรถกระบะนี้มีเป้าหมายเพื่อให้การช่วยเหลือข้างที่ได้รับบาดเจ็บอย่างรวดเร็วและปลอดภัย ขั้นตอนแรกของการช่วยเหลือคือต้องช่วยยกพยุ่งข้างที่ไม่สามารถลุกขึ้นได้ด้วยตัวเอง ในการช่วยเหลือเบื้องต้นอาจต้องมีการดึง/ลากตัวข้างออกจากที่เกิดเหตุ ซึ่งระบบพยุ่งน้ำหนักรางส่วนสำหรับข้างบาดเจ็บมีชุดกว้านสลิงไฟฟ้าที่มีความยาวสลิง 26 m มีความสามารถดึงได้สูงสุด 52.9 kN สำหรับการออกแบบด้านความแข็งแรงของระบบพยุ่งน้ำหนักรางส่วนสำหรับข้างบาดเจ็บพบว่า สามารถรองรับน้ำหนักใช้งานได้สูงสุดเท่ากับ 24.5 kN โดยมีค่าความปลอดภัย (SF) เท่ากับ 1.30 ในขณะที่การใช้งานของระบบพยุ่งน้ำหนักรางส่วนสำหรับข้างบาดเจ็บนี้สามารถยกน้ำหนักได้สูงสุดเท่ากับ 19.6 kN ที่ความสูงยก 3.5 m สามารถนำไปใช้ช่วยพยุ่งข้างบาดเจ็บที่มีน้ำหนักสูงสุด 49.1 kN ภายใต้แรงช่วยพยุ่งน้ำหนักรางส่วนเท่ากับ 14.7 kN (30% ของน้ำหนักตัวข้าง) จะมีค่าความเสถียรภาพ (N) เท่ากับ 1.33

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับทุนสนับสนุนทุนวิจัยจากเงินกองทุนเพื่อการวิจัย มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบุรี และขอขอบคุณคณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบุรี ที่เอื้อเฟื้อสถานที่ ครุภัณฑ์ เครื่องมือ และสิ่งอำนวยความสะดวกต่าง ๆ ในการทำงานวิจัยนี้

เอกสารอ้างอิง

- ข่าวสด. (2565). นำสงสาร! รถชนข้างคว่ำ 'ปู่คำ' บาดเจ็บ ขยับตัวแทบไม่ได้. ค้นเมื่อ 10 พฤศจิกายน 2566.
https://www.khaosod.co.th/around-thailand/news_7248753
- ไทยรัฐออนไลน์. (2561). ย้ายลูกข้างเข้ารักษาตัว รพ.สนาม อช.กุยบุรี คาดใช้เวลา 3 เดือน. ค้นเมื่อ 15 กันยายน 2565.
<https://www.thairath.co.th/news/local/central/1450273>
- ไทยพีบีเอส. (2560). เปิดนาทีชีวิตช่วย "ข้างป่า" ตกคลองชมพู 26 ชั่วโมง. ค้นเมื่อ 15 กันยายน 2565.
<https://www.thaipbs.or.th/news/content/267028>
- ไทยพีบีเอส. (2564). 7 วันรู้ผล "พลายยันหว่าง" ข้างป่าตาย สงสัยให้ยาเกินขนาด. ค้นเมื่อ 15 กันยายน 2565.
<https://www.thaipbs.or.th/news/content/300673>
- ไทยพีบีเอส. (2565). นาที่ชีวิต ช่วยข้างป่า "แม่-ลูก" ตกห้วยระบายน้ำ ลึก 2 เมตร. ค้นเมื่อ 10 พฤศจิกายน 2566.
<https://www.thaipbs.or.th/news/content/317479>
- พุทธพงษ์ พลคำฮัก. (2556). อุปกรณ์ช่วยเดิน. วารสารศรีนครินทร์เวชสาร. 28(4): 583-588.
- พรพรรณ เครืออนุรัตน์. (2560). การศึกษาและพัฒนาอุปกรณ์ช่วยพยุ่งสำหรับผู้สูงอายุ. วิทยานิพนธ์ปริญญาครุศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีการออกแบบผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรมและเทคโนโลยี สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.
- วรดี สิริเหล็กถาวร. (2559). การออกแบบโครงช่วยฝึกเดินที่มีระบบพยุ่งน้ำหนักรางส่วนสำหรับผู้ที่มีปัญหาการเคลื่อนไหวด้านการเดิน. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์.
- วรรณนา สุริยาสถาพร, วินา จูเปีย, อติกันต์ ทองทา, เกรียงไกร ทองก้อน, กณวีร์ วาฤทธิ์ และเทอดชัย ชีวะเกต. (2558). ขาเทียมสำหรับสุนัข. วารสารเชียงใหม่สัตวแพทยสาร. 13(3): 139-146.
- วาริชภัทร จำเริญ. (2563). การพัฒนาสมการถดถอยเพื่อประมาณน้ำหนักของช้างเอเชียโดยใช้การวิเคราะห์ภาพถ่ายดิจิทัล. วิทยานิพนธ์ปริญญาสัตวแพทยศาสตรบัณฑิต คณะสัตวแพทยศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.

ศูนย์ประสานการปฏิบัติที่ 4 กอ.รมน. (2565). เอาใจช่วย! ช้างป่าใจสู้ “บุญรอด” บาดเจ็บสาหัส. ค้นเมื่อ 10 พฤศจิกายน 2566. <https://4occ.isoc.go.th/04news/?p=7679>.

สมาคมสหพันธ์ช้างไทย. (2566). ช่วยเหลือช้างสีดอทองหล่อ อายุ 63 ปี. ค้นเมื่อ 10 พฤศจิกายน 2566.

<https://www.thaielephantalliance.org/en/all-activity.html>

สรายุจิต แสนแก้ว, วนิดา ตรีปัญหา, ปิยะวรรณ ศรีสุรักษ์ และกรวรรณ โหม่งพุ่ม. (2564). การพัฒนาเชือกช่วยพยุงตัว สำหรับใช้ในการออกกำลังกายและการฝึกเดินในเด็กสมองพิการ. ใน การประชุมวิชาการเสนองานวิจัยระดับบัณฑิตศึกษาแห่งชาติ ครั้งที่ 22. 25 มีนาคม 2564. มหาวิทยาลัยขอนแก่น. 864-873.

อนล สถาพรสถิต และสันติ อัสวพลังชัย. (2559). ผลของการใส่อุปกรณ์พยุงอุ้งเท้าด้านในและอุปกรณ์พยุงสันเท้าชนิดทำจากซิลิโคนต่อแรงกดใต้สันเท้า. วารสารเวชศาสตร์ฟื้นฟูสาร. 26(3): 98-103.

Received: March 12, 2024; Revised: July 8, 2024; Accepted: August 9, 2024

การออกแบบและการใช้งานระบบตรวจสอบมลพิษทางอากาศ Design and implementation of IoT based air pollution monitoring system

ปิยพัฒน์ พานเมือง^{1*}, จักรกฤษณ์ ศรีทอง¹, สุรกิจ อภิรักษากร¹ และกิตติ ทูลธรรม¹
Piyapat Panmuang^{1*}, Jakkis Srithong¹, Surakit Apiraksakorn¹ and Kitti Toontam¹

¹คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน วิทยาเขตขอนแก่น จังหวัดขอนแก่น

¹Faculty of Technical Education, Rajamangala University of Technology Isan Khonkaen Campus, Khonkaen Province

*Corresponding Author E-mail Address: piyapat.pa@rmuti.ac.th

บทคัดย่อ

ปัญหามลพิษในอากาศเป็นปัจจัยสำคัญที่มีผลกระทบต่อสุขภาพของมนุษย์และสิ่งมีชีวิตอื่น การรับรู้และการระบุคุณภาพของอากาศจึงมีความสำคัญต่อการวางแผนและการจัดการปัญหานี้อย่างเหมาะสม บทความนี้นำเสนอการออกแบบระบบตรวจวัดมลพิษในอากาศโดยใช้เทคโนโลยีอินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่ง เพื่อวัดค่าอุณหภูมิและความชื้นด้วยเซ็นเซอร์ DHT11 และวัดปริมาณแก๊สพิษด้วย เซ็นเซอร์ MQ2 โดยระบบดังกล่าวควบคุมด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์ Node MCU ในการควบคุมการทำงานของพัดลมเพื่อระบายอากาศเมื่ออุณหภูมิเกิน 36 องศาเซลเซียส และแสดงสัญญาณการเตือนเมื่อค่าความเข้มข้นของแก๊สมากกว่า 200 ส่วนต่อล้าน ผลการทดลองพบว่า ช่วงเวลาในการทดลองมีค่าเฉลี่ยของอุณหภูมิอยู่ที่ 33.48 องศาเซลเซียส ค่าความชื้นเฉลี่ยที่ 47 เปอร์เซ็นต์ และค่าเฉลี่ยของแก๊สที่ 262 ส่วนต่อล้าน โดยข้อมูลถูกแสดงผลบนแดชบอร์ดผ่านเว็บไซต์ของบลิงก์ และยังแสดงผลผ่านมือถือที่ติดตั้งแอปพลิเคชันบลิงก์ด้วย

คำสำคัญ: มลพิษทางอากาศ อินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่ง ระบบตรวจสอบ

Abstract

Air pollution is an important factor that affects many aspects, including the health of humans and other living things. Recognition and identification of air quality are important to plan and manage this issue appropriately. This article presents the design of an air pollution measurement system using Internet of Things (IoT) technology to measure temperature and humidity with a DHT11 sensor and measure the amount of cooking gas, hydrogen gas, and butane gas with the sensor. MQ2 This system uses a Node MCU microcontroller to control the fan to ventilate when the temperature exceeds 36 degrees Celsius and display an alarm signal when the gas concentration value exceeds 200 parts per million. The results showed an average temperature of 33.48 degrees Celsius, an average humidity of 47 percent, an average gas of 262 parts per million. The results of the experiment found that the average temperature was 33.48 degrees Celsius, the average humidity was 47 percent and the gas level was 262 parts per million. The data was displayed on a dashboard via Blink's website. It is also displayed on mobile phones that have the Blink application installed.

Keywords : Air pollution, Internet of Things (IoT), Monitoring system

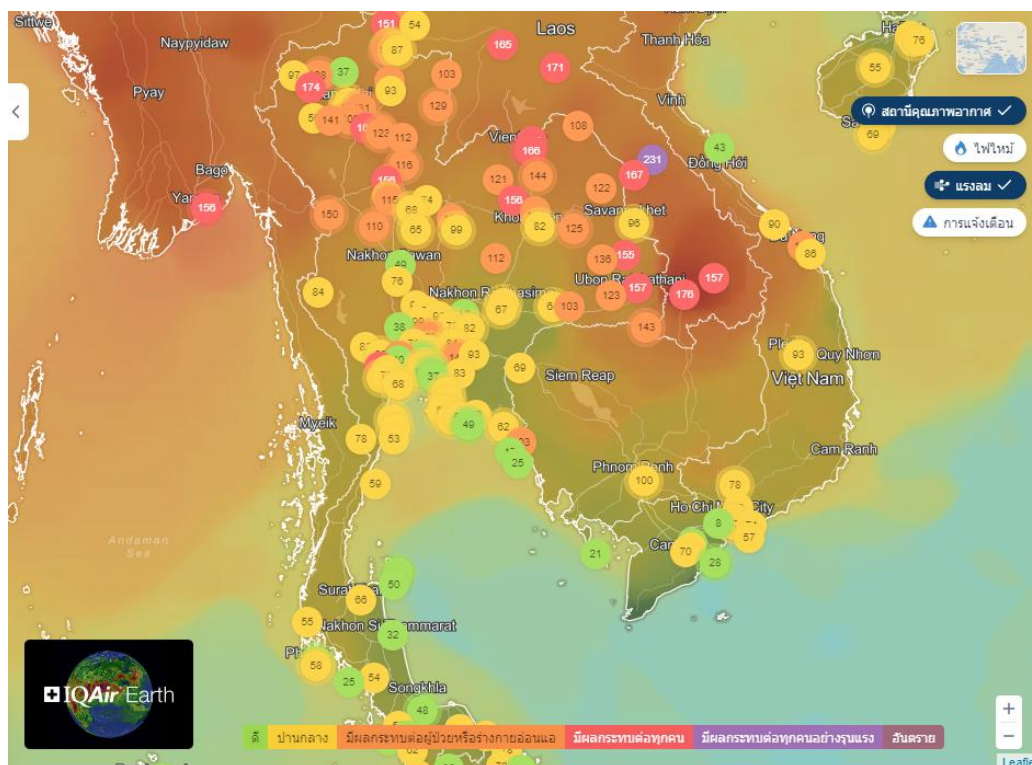
บทนำ

การพัฒนาเศรษฐกิจอย่างรวดเร็วในตลอดหลายปีที่ผ่านมาได้ผลักดันให้เกิดการวิวัฒนาการอย่างไม่หยุดนิ่ง ซึ่งรวมถึงการก่อสร้างอุตสาหกรรมหลากหลายประเภทที่ส่งผลให้เกิดมลพิษทางอากาศและเป็นปัญหาร้ายแรงต่อโลก ซึ่งในสถานการณ์ปัจจุบันการรณรงค์ในการลดมลพิษทางอากาศเป็นภารกิจสำคัญทั่วโลก (Purbakawaca et al., 2022; Alekhyia et al., 2023) เนื่องจากมลพิษทางอากาศเป็นปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่อสภาพแวดล้อมอื่น เช่น กระทบต่อการปนเปื้อนในน้ำซึ่งส่งผลกระทบต่อการใช้ทรัพยากรประมงจากการติดเชื้อจากของเสียจากมลพิษดังกล่าว กลายเป็นปัญหาที่สำคัญในหลายพื้นที่รวมถึงประเทศไทยอีกด้วย มลพิษทางอากาศประกอบด้วยสองประเภทคือ มลพิษทางอากาศจากธรรมชาติ และมลพิษทางอากาศที่เกิดขึ้นจากกิจกรรมของมนุษย์ ซึ่งเป็นสาเหตุส่วนใหญ่ที่เกิดขึ้นในปัจจุบัน (Singh et al., 2020)

มลพิษทางอากาศที่เกิดขึ้นจากกิจกรรมของมนุษย์ ได้แก่ คาร์บอนไดออกไซด์ (CO₂) คาร์บอนมอนอกไซด์ (CO) ซัลเฟอร์ไดออกไซด์ (SO₂) ไนโตรเจนไดออกไซด์ (NO₂) แอมโมเนีย (NH₃) และแก๊สมีเทน (CH₄) เป็นต้น เมื่อบางส่วนของมลพิษเหล่านี้ถูกปล่อยในอากาศและสภาพแวดล้อม จะเพิ่มความเป็นไปได้ของการเป็นโรคต่าง ๆ เช่น ปอดบวม มะเร็งปอด หลอดลมอักเสบเรื้อรัง หอบหืด โรคทางเดินหายใจเรื้อรัง และโรคหลอดเลือดหัวใจ เป็นต้น (ภาสินี และพูลทรัพย์, 2565) ซึ่งแก๊สข้างต้นมีสาเหตุส่วนใหญ่มาจากโรงงานอุตสาหกรรมขนาดเล็ก กลาง จนถึงขนาดใหญ่ นอกจากโรงงานอุตสาหกรรมแล้วยังมาจากที่พักอาศัย สถานที่ทำลายขยะ การเผาไหม้ที่เจือปนในอากาศ โดยมีอัตราส่วนค่อนข้างน้อยมากเมื่อเทียบกับปริมาณของอากาศ ซึ่งมีหน่วยพาร์ทต่อล้าน (ppm) ซึ่งเป็นที่น่ากังวลเพราะแก๊สบางชนิด ไม่มีสี ไม่มีกลิ่น จึงส่งผลกระทบต่อสุขภาพของผู้ป่วยรวมถึงคนทั่วไป ไม่ทันได้ป้องกันตัวจากมลพิษนั้น จากปัญหาดังกล่าวในตลอดหลายปีที่ผ่านมา ได้สร้างผลกระทบต่อสุขภาพของมนุษย์โดยตรงต่อโรคทางเดินหายใจหลาย ๆ ประเภท (Liu et al., 2021) เช่น หอบหืด จากแก๊สมีเทนเป็นส่วนสำคัญของแก๊สธรรมชาติที่ประกอบด้วยอะตอมหนึ่งของคาร์บอนและสี่อะตอมของไฮโดรเจนจากกลุ่มฮาไลด์ โดยแก๊สถูกปล่อยจากอุตสาหกรรมน้ำมันและแก๊สธรรมชาติ กิจกรรมเกษตรกรรม การผลิตและขนส่ง ถ่านหิน การย่อยสลายของขยะ มีผลที่เสียหายในรูปแบบของแก๊สมีเทน ในกรณีที่ความเข้มข้นสูงของมีเทนอยู่ในอากาศ ซึ่งส่งผลกระทบต่อภาวะเคื่องฝืดหนืดและระบบหายใจซึ่งไม่ดีต่อสุขภาพสำหรับกลุ่มที่อ่อนไหว (Unhealthy for sensitive groups) แสดงในรูปที่ 1 แสดงช่วงดัชนีคุณภาพอากาศ Air Quality Index: AQI. (Roy and Singha, 2020) และจากค่าดัชนีคุณภาพของประเทศไทย พบว่า มีหลายพื้นที่ที่มีค่าดัชนีคุณภาพอากาศที่ถูกจัดอยู่ในกลุ่ม Unhealthy for sensitive groups และในบางพื้นที่ที่มีค่าดัชนีสูงเกือบถึงช่วง Unhealthy (Ali et al., 2022) ซึ่งส่งผลกระทบต่อสุขภาพ โดยแสดงค่าดัชนีคุณภาพอากาศแสดงในรูปที่ 2 แสดงค่าดัชนีคุณภาพอากาศของประเทศไทย

Air Quality Index Levels of Health Concern	Numerical Value	Meaning
Good	0 to 50	Air quality is considered satisfactory, and air pollution poses little or no risk
Moderate	51 to 100	Air quality is acceptable; however, for some pollutants there may be a moderate health concern for a very small number of people who are unusually sensitive to air pollution.
Unhealthy for Sensitive Groups	101 to 150	Members of sensitive groups may experience health effects. The general public is not likely to be affected.
Unhealthy	151 to 200	Everyone may begin to experience health effects; members of sensitive groups may experience more serious health effects.
Very Unhealthy	201 to 300	Health warnings of emergency conditions. The entire population is more likely to be affected.
Hazardous	301 to 500	Health alert: everyone may experience more serious health effects

รูปที่ 1 ช่วงดัชนีคุณภาพอากาศ (Air Quality Index: AQI) (Roy and Singha, 2020)



รูปที่ 2 ค่าดัชนีคุณภาพอากาศของประเทศไทย เมื่อวันที่ 21 กุมภาพันธ์ 2567 (IQAir Earth, 2567)

การประยุกต์ใช้เทคโนโลยีจากนวัตกรรมถึงนักวิจัย เพื่อใช้ในงานที่เกี่ยวข้องกับการตรวจสอบคุณภาพอากาศ ถูกพัฒนาอย่างต่อเนื่อง เช่น งานวิจัยของ Ukadike et al. (2023) ได้ศึกษาและประยุกต์ใช้เทคโนโลยีอินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่ง (IoT) และแอปพลิเคชันบลิงก์ เพื่อตรวจสอบสภาพอากาศ 3 เจียนไซ คือ วันที่มีฝนตก วันที่มีแดด และวันที่ตรวจพบค่าแก๊ส กัมมันตรังสี โดยข้อมูลถูกเก็บไว้ในฐานข้อมูลระบบคลาวด์ และแสดงผลผ่านเว็บไซต์และแอปพลิเคชันบลิงก์ ผลการทดสอบพบว่า ในวันที่มีแดด ค่าความชื้นเป็น 70.7 เปอร์เซ็นต์ และค่าตรวจวัดแก๊สคือ 206 ส่วนต่อล้าน (ppm) ในวันที่มีฝนตก ค่าความชื้นเป็น 51.5 เปอร์เซ็นต์ และค่าตรวจวัดแก๊สที่ 198 ppm ในงานวิจัยของ Mohd et al. (2022) ได้นำเสนอระบบ IoT สำหรับตรวจสอบและตรวจวัดคุณภาพอากาศ ด้วยซอฟต์แวร์อาร์ดูโนเพื่อเก็บข้อมูลสำหรับระบบตรวจวัดระดับมลพิษในอากาศซึ่งจะถูกส่งตรงไปยังแอปพลิเคชันบลิงก์ ข้อมูลที่เก็บรวบรวมจะถูกนำเสนอในรูปแบบของการจัดอันดับ AQI และความเสี่ยงที่เกิดจากอากาศ งานวิจัยของ Okatavianto and Yuanda (2022) ได้สร้างอุปกรณ์ตรวจวัดคุณภาพอากาศเพื่อแก้ไขปัญหาเกี่ยวกับมลพิษในอากาศที่เพิ่มขึ้นเนื่องจากมลภาวะจากยานพาหนะด้วยระบบออนไลน์ผ่านแพลตฟอร์ม IoT ของเว็บไซต์ Thingspeak โดยการแปลงค่าความต้านทานจากค่าสัญญาณเซ็นเซอร์ MQ135 เป็นค่า AQI จากการตรวจจับแก๊สคาร์บอนมอนนอกไซด์ และแก๊ส คาร์บอนไดออกไซด์ ด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์ Node MCU ซึ่งอุปกรณ์ดังกล่าวสามารถใช้เป็นต้นแบบสำหรับการตรวจวัดในพื้นที่ทางหลวงที่มีการจราจรยานพาหนะสูงในหลายพื้นที่ได้ งานวิจัยของ Kharade et al. (2020) ได้สร้างอุปกรณ์ตรวจวัด AQI ในสภาพแวดล้อมของเมืองอุตสาหกรรมเพื่อวางแผนมาตรการรักษาความปลอดภัยจากเพลิงให้กับพนักงาน ด้วยการประมวลผลด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์ Node MCU โดยการรับค่าแก๊สจากเซ็นเซอร์ MQ135 รับค่าความชื้นและอุณหภูมิจากเซ็นเซอร์ DHT11 และตรวจจับเปลวไฟด้วยและเซ็นเซอร์ Infrared (IR) พร้อมแสดงผลผ่านจอแสดงผลแอลซีดี LCD I2C และแอปพลิเคชันบลิงก์ ซึ่งข้อมูลที่ได้จากเวลาจริงมีประโยชน์ต่อการวางแผนการจัดการของพนักงานเป็นอย่างมาก งานวิจัยของ Hashim et al. (2023) สร้างเครื่องสำหรับการตรวจวัดสภาพแวดล้อมโดยการวัดความชื้น อุณหภูมิ และคุณภาพอากาศ ด้วยอุปกรณ์ที่ต้นทุนไม่สูง เช่น เซ็นเซอร์ความชื้น DHT11 เซ็นเซอร์อุณหภูมิ LM35 และเซ็นเซอร์แก๊ส MQ135 ด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์ Arduino Uno R3 และ ESP8266 ในการรับข้อมูลนำเข้าจากเซ็นเซอร์และแสดงผลข้อมูลผลลัพธ์บนสมาร์ตโฟนผ่านแอปพลิเคชันบลิงก์ โดยกำหนดเงื่อนไขเมื่อตรวจพบระดับแก๊สที่สูงกว่า 300 ppm จะส่งสัญญาณแจ้งเตือนผ่านมือถือ เพราะเป็นค่าการตรวจพบแก๊สที่สูงซึ่งส่งผลให้เกิดมลพิษในพื้นที่นั้นได้

งานวิจัยของ John et al. (2022) ได้นำเสนอระบบแจ้งเตือนมลพิษในอากาศและเสียงในเวลาจริงโดยใช้เทคโนโลยี IoT สำหรับผู้ป่วยเนื่องจากสามารถตรวจวัดคุณภาพอากาศและระดับเสียงโดยใช้เซ็นเซอร์เมื่อมีความเข้มข้นเกินกว่าระดับที่กำหนด โดยใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ NodeMCU และเซ็นเซอร์แก๊สที่ใช้ ได้แก่ MQ7 MQ135 เซ็นเซอร์เสียง KY-037 โดยแสดงผลระดับมลพิษในอากาศและระดับเสียงถูกแสดงบนแอปพลิเคชันบลิงก์ ซึ่งระบบการตรวจวัดนี้จะสามารถนำไปช่วยเหลือทั้งหน่วยงานที่จำเป็นต้องดูแลรักษาผู้ป่วยหรือกลุ่มคนที่สุขภาพอ่อนไหวต่อสภาพอากาศได้เพื่อให้มีมาตรการป้องกันที่เหมาะสมในเวลาที่เหมาะสมที่สุดได้ งานวิจัยของ Murad et al. (2021) ได้นำเสนอการออกแบบระบบตรวจวัดมลพิษในอากาศที่ใช้เทคโนโลยี IoT เพื่อวัดแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ แก๊สชีวเทน ค่าความชื้น และค่าอุณหภูมิ ด้วยเซ็นเซอร์แก๊ส MQ2 เซ็นเซอร์อุณหภูมิและความชื้น DHT22 ควบคุมด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์โมดูล ESP8266 ด้วยกำหนดเงื่อนไขเมื่อค่า AQI น้อยกว่า 100 จะเป็นอากาศปลอดภัย และในกรณีค่ามากกว่า 200 เป็นค่าคุณภาพอากาศที่อันตราย โดยแสดงสัญญาณไฟ LED สีเขียวในกรณีไม่พบแก๊สที่อันตราย และในขณะเดียวกันเมื่อพบแก๊สชีวเทน แก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ สัญญาณไฟ LED สีแดงจะสว่าง และข้อมูลทั้งหมดถูกส่งผ่านเว็บไซต์ Thingspeak และแอปพลิเคชันบลิงก์โดยข้อมูลจะอัปเดตหลังจากตรวจจับโดยเซ็นเซอร์ทุก ๆ 15 วินาที ในแอปพลิเคชันบลิงก์ เมื่อตรวจจับแก๊สที่อันตรายจะส่งการแจ้งเตือนเพื่อแจ้งเตือนผู้ใช้งานที่งานวิจัยของ Srivastava (2022) ได้สร้างเครื่องตรวจจับมลพิษในอากาศ ด้วยการประมวลไมโครคอนโทรลเลอร์ Node MCU โดยรับค่าจากเซ็นเซอร์ MQ135 กำหนดเงื่อนไขตรวจสอบระดับมลพิษต่อมนุษย์ที่ระดับ 20 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร สำหรับ PM2.5 และ 30 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร สำหรับ PM10 โดยนำเสนอคุณภาพของอากาศในพื้นที่นั้นในหน่วย ppm ผ่านเว็บไซต์ของบลิงก์ งานวิจัยของ Gopi et al. (2022) ได้สร้างเครื่องตรวจวัดมลพิษในอากาศสำหรับการแจ้งเตือนเพื่อความปลอดภัยจากเหตุเพลิงไหม้ด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์ Node MCU ที่รับค่าสัญญาณจากเซ็นเซอร์ MQ135 เซ็นเซอร์ความชื้นและอุณหภูมิ DHT11 โดยรายงานผลของค่าพารามิเตอร์ต่างผ่านเว็บไซต์และแสดงผ่านแอปพลิเคชันบลิงก์ด้วยการศึกษาข้อมูลและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องพบว่า คุณภาพของอากาศเป็นเรื่องสำคัญและได้รับการพัฒนาและประยุกต์ใช้ในลักษณะงานที่แตกต่างกันเพื่อป้องกัน รวมถึงแจ้งเตือนให้ผู้เกี่ยวข้องเพื่อการจัดการหรือกลุ่มคนที่อ่อนไหวจากมลพิษ ซึ่งเป็นเรื่องสำคัญอย่างมาก

งานวิจัยนี้ได้การออกแบบระบบตรวจสอบมลพิษทางอากาศพร้อมรายงานผลผ่านแอปพลิเคชันบลิงก์ ซึ่งเป็นการประยุกต์ใช้เทคโนโลยีอินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่ง (IoT) และสามารถตรวจสอบผ่านแอปพลิเคชันบลิงก์ ที่สามารถแสดงผลผ่านเว็บไซต์บนแดชบอร์ด และสามารถตรวจสอบค่าผ่านสมาร์ตโฟนที่ติดตั้งแอปพลิเคชันบลิงก์

วัสดุ อุปกรณ์ และวิธีการ

วัสดุอุปกรณ์

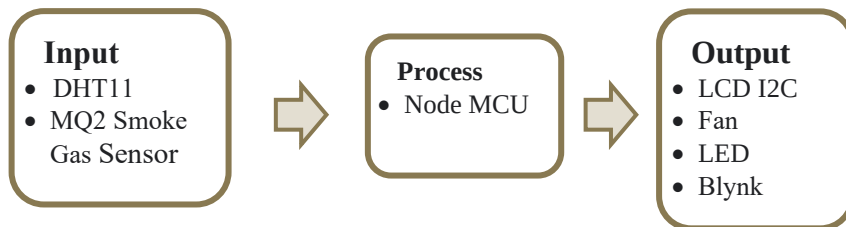
อุปกรณ์ที่ใช้ในระบบ ประกอบด้วย เซ็นเซอร์ ความชื้นและอุณหภูมิ DHT11 เป็นเซ็นเซอร์วัดอุณหภูมิและความชื้นมีความแม่นยำในการวัดอุณหภูมิประมาณ $(0-50) \pm 2^{\circ}\text{C}$ ช่วงและความแม่นยำในการวัดความชื้นประมาณ $(20-90) \pm 5\% \text{ RH}$ และโมดูลตรวจวัดแก๊ส MQ2 โดยเซ็นเซอร์นี้มีช่วงในการตรวจจับแก๊ส ในกลุ่มแก๊สหุงต้ม (LPG) บิวเทน (Butane) โพรเพน (Propane) มีเทน (Methane) แอลกอฮอล์ (Alcohol) ไฮโดรเจน (Hydrogen) รวมถึงควันไฟ (Smoke) ที่เกิดจากการเผาไหม้ด้วย ดังแสดงในตารางที่ 1 ซึ่งสามารถตรวจจับระดับความเข้มข้นของแก๊สในช่วง 0-20,000 ส่วนในล้าน Part per Million (ppm) โดยทำการประมวลผลด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์ Node MCU ซึ่งบอร์ดคอนโทรลเลอร์ที่มีลักษณะการทำงานตามคำสั่งภาษาซีคล้าย Arduino ซึ่งมีลักษณะพิเศษกว่าตรงที่สามารถเชื่อมต่อกับ WiFi ได้ การควบคุมการทำงานสามารถใช้โปรแกรม Arduino IDE และสั่งการทำงานของอุปกรณ์ พัดลม หลอดแอลอีดี แสดงข้อมูลผ่านจอ LCD แบบ I2C

ตารางที่ 1 แสดงช่วงความเข้มข้นในการตรวจวัดค่าแก๊สแต่ละประเภทที่แตกต่างกันด้วยเซ็นเซอร์ MQ2

Range (ppm)	Detecting concentration scope
200-2000	Alcohol
200-5000	LPG and propane
300-5000	H2, Butane
5000-20000	Methane

แผนผังบล็อกการทำงาน

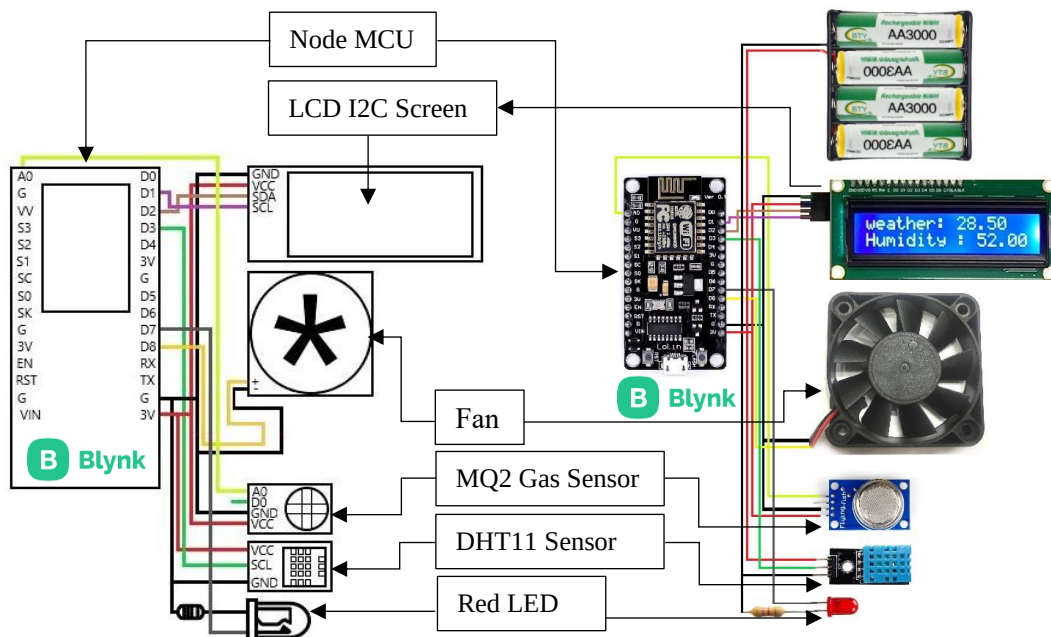
รูปที่ 3 แสดงแผนผังการทำงานของระบบ โดยระบบการทำงานแบ่งเป็น 3 ส่วน คือ ส่วนแรกเป็นอุปกรณ์ส่งสัญญาณขาเข้า (Input) ประกอบด้วยเซ็นเซอร์ความชื้นและอุณหภูมิ DHT11 และ เซ็นเซอร์วัดค่าแก๊สและควัน (MQ2) โดยเซ็นเซอร์ทั้งสองจะส่งสัญญาณมายัง ส่วนที่ 2 ของระบบดำเนินการ (Process) ซึ่งประกอบไปด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์ (Node MCU) ที่รับสัญญาณขาเข้าเพื่อประมวลผลตามเงื่อนไขการโปรแกรม และส่งไปยังส่วนที่ 3 อุปกรณ์ขาออก (Output) ประกอบไปด้วย หน้าจอแสดงผล (LCD I2C) พัดลม (Fan) หลอดไฟแอลอีดี (LED) โดยระบบทั้ง 3 ส่วนเชื่อมต่อกับอินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่ง (IoT) ซึ่งสามารถแสดงผลผ่านแพลตฟอร์มของแอปพลิเคชันบลิงก์



รูปที่ 3 แผนผังการทำงานของระบบ

การออกแบบวงจร

รูปที่ 4 แสดงแผนภาพวงจรของอุปกรณ์ ประกอบด้วยรูปที่ 4ก. วงจรจำลองการต่อสายกับแผนภาพอุปกรณ์ โดย Input ของ DHT11 และ MQ2 ต่อกับขา D3 และ A0 ของ Node MCU ตามลำดับ โดยทำการประมวลผลและตรวจสอบเงื่อนไขการโปรแกรมด้วย Node MCU แล้วส่งสัญญาณไปยัง Output ที่ LCD I2C Fan และ LED ที่ขา D1 D8 และ D7 ของ Node MCU ตามลำดับ โดยระบบเชื่อมต่อ IoT พร้อมแสดงค่าอุณหภูมิ ค่าความชื้น ค่าแก๊ส ผ่านแอปพลิเคชันบลิงก์โดยตัวอย่างอุปกรณ์จริงและการเชื่อมต่อส่วน Input Process และ Output แสดงในรูปที่ 4ข. วงจรจำลองการต่อสายกับภาพอุปกรณ์จริง



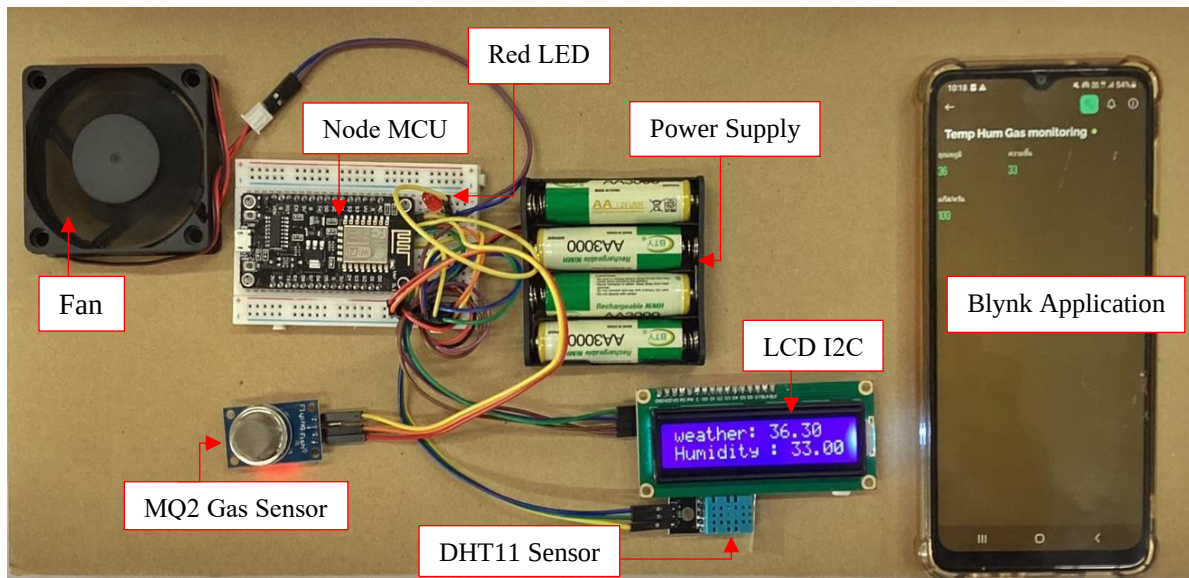
ก. วงจรจำลองการต่อสายกับแผนภาพอุปกรณ์

ข. วงจรจำลองการต่อสายกับภาพอุปกรณ์จริง

รูปที่ 4 แผนภาพวงจรของอุปกรณ์

การทำงานของวงจร

รูปที่ 5 แสดงการต่อวงจรกับอุปกรณ์จริง พร้อมแสดงค่าอุณหภูมิ ความชื้น และค่าแก๊ส ผ่านแอปพลิเคชันบลิงก์ ซึ่งส่วนสัญญาณขาเข้าเซ็นเซอร์ MQ2 จะตรวจวัดค่าแก๊ส เซ็นเซอร์ DHT11 จะวัดค่าอุณหภูมิและความชื้น แล้วส่งสัญญาณมายังไมโครคอนโทรลเลอร์ Node MCU โดยกำหนดเงื่อนไขถ้าอากาศตรวจสอบด้วยเซ็นเซอร์ MQ2 แล้วมีค่ามากกว่า 200 ppm จะสั่งให้หลอดแอลอีดีสีแดงแสดงสัญญาณแจ้งเตือนเมื่อตรวจพบแก๊ส และในกรณีอุณหภูมิมากกว่า 36 องศาเซลเซียส จะสั่งให้พัดลมเริ่มทำงาน โดยสามารถตรวจสอบสถานะค่าคุณภาพอากาศ ค่าอุณหภูมิ ค่าความชื้น ได้บนเว็บไซต์และมีมือถือผ่านแอปพลิเคชันบลิงก์



ก.



ข.



ค.



ง.

รูปที่ 5 อุปกรณ์ ก. การต่อวงจรกับอุปกรณ์จริง พร้อมแสดงค่าอุณหภูมิ ความชื้น และค่าแก๊ส ผ่านแอปพลิเคชันบลิงก์ ข. กล่องชุดตรวจวัดฯ ค. หน้าจอแอลซีดี ขณะตรวจวัดฯ ง. วงจรภายในกล่องชุดตรวจวัดฯ

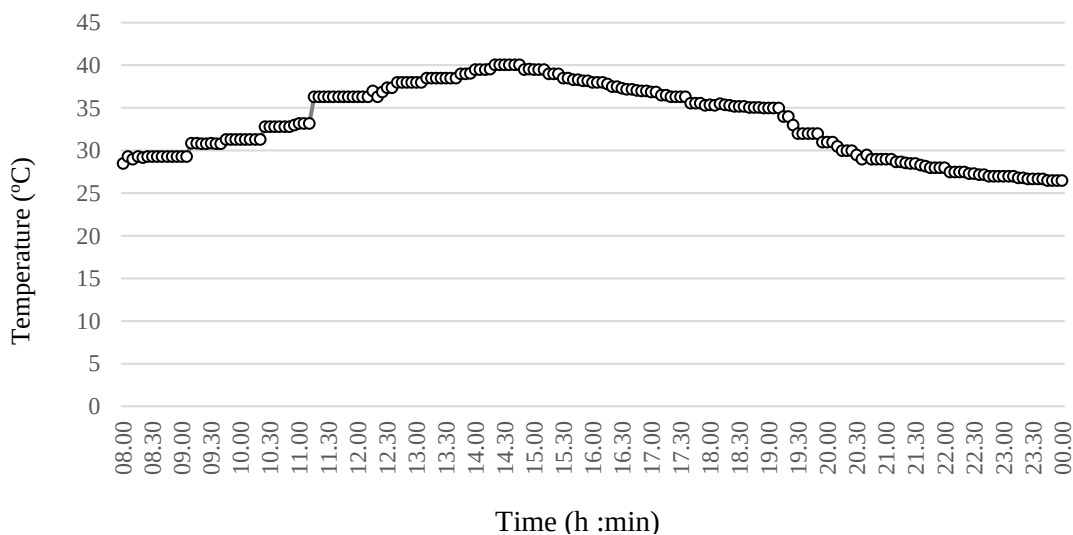
ผลการวิจัย

ผลการทดลองเกี่ยวกับคุณภาพอากาศ

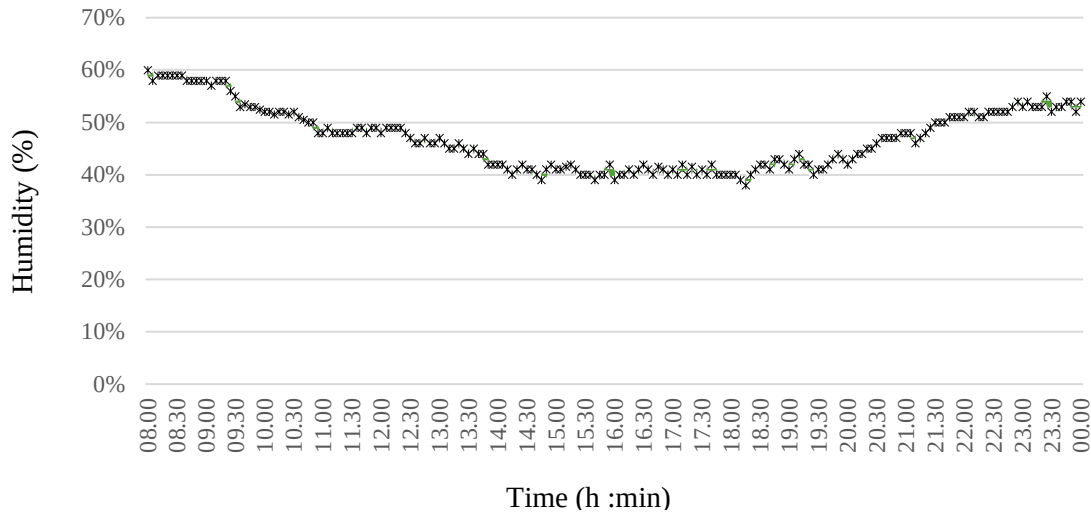
ผลการทดลองจากการวัดค่าอุณหภูมิ ความชื้น และค่าแก๊สหรือควัน โดยอุปกรณ์ได้ทำการติดตั้งไว้บริเวณชั้นบนสุดของตึกทดลอง ตึก 13 มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน วิทยาเขตขอนแก่น อำเภอเมือง จังหวัดขอนแก่น โดยมีสภาพแวดล้อมโดยรอบเป็นอาคารเรียนทฤษฎีและมีต้นไม้ระหว่างอาคารเรียน ซึ่งไม่ได้รับผลกระทบในการทดลอง เช่น ผลของค่าแก๊สควันต่าง ๆ โดยตรง จากการเรียนปฏิบัติของนักศึกษาที่อาคารเรียนอยู่ห่างออกไป โดยทำการทดลองเก็บข้อมูลเริ่มต้นเวลา 08.00 น. ถึงเวลา 00.00 น. โดยผู้ใช้งานสามารถตรวจสอบผ่านเว็บไซต์บนแดชบอร์ด และโทรศัพท์มือถือ ผลการทดลองบันทึกข้อมูลในช่วงระยะเวลาการทดลองมีข้อมูล ดังนี้

การทดลองได้ทำการเก็บข้อมูลของค่าอุณหภูมิ ค่าความชื้น และค่าแก๊ส โดยเซ็นเซอร์ MQ2 และ DHT11 จะส่งข้อมูลมาทุก 15 วินาที โดยทำการทดลองตั้งแต่เวลา 08.00 น. ถึง 00.00 น. พบว่า ค่าอุณหภูมิเริ่มต้นและค่าอุณหภูมิสุดท้ายที่ 28.5 และ 26.5 องศาเซลเซียส ตามลำดับ โดยมีค่าอุณหภูมิเฉลี่ย ค่าอุณหภูมิสูงสุด และค่าอุณหภูมิต่ำสุดที่ 33.5 40.10 และ 26.50 องศาเซลเซียส ตามลำดับ กรณีของค่าความชื้น มีค่าความชื้นเริ่มต้นและค่าความชื้นสุดท้ายที่ 60 และ 54 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ โดยมีค่าความชื้นเฉลี่ย ค่าความชื้นสูงสุด และค่าความชื้นต่ำสุดที่ 47 60 และ 38 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ และในกรณีการตรวจจับค่าแก๊ส มีค่าแก๊สเริ่มต้นและค่าแก๊สสุดท้ายที่ 200 และ 230 ppm ตามลำดับ โดยมีค่าแก๊สเฉลี่ย ค่าแก๊สสูงสุด และค่าแก๊สต่ำสุดที่ 263 290 และ 200 ppm ตามลำดับ

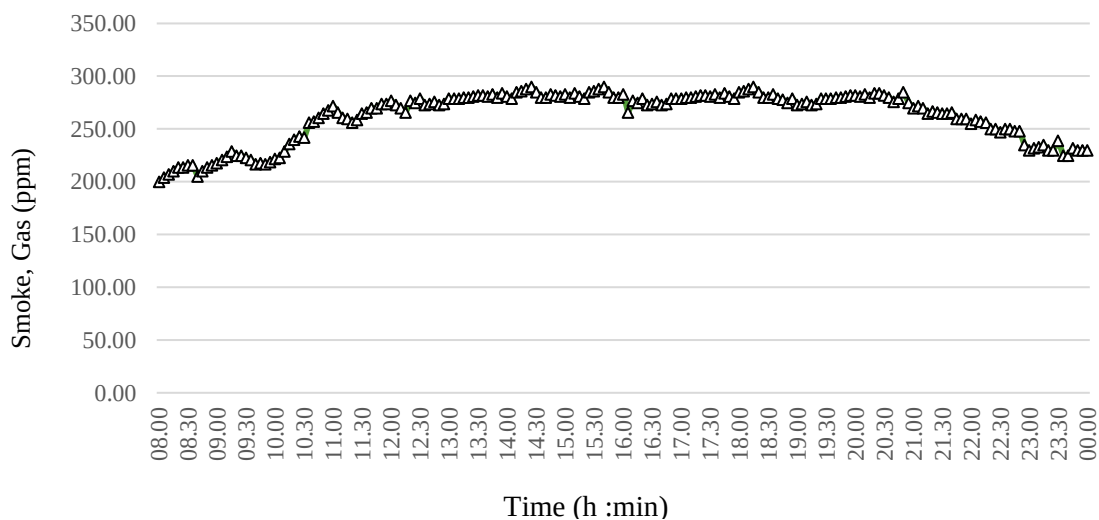
จากข้อมูลผลการทดลองการวัดค่าอุณหภูมิ ค่าความชื้น และค่าแก๊ส ข้างต้น ได้ถูกนำเสนอในรูปแบบกราฟเทียบกับเวลาตลอดระยะเวลาทำการทดลอง ซึ่งแสดงในรูปที่ 6 แสดงกราฟค่าอุณหภูมิเทียบกับเวลาจากการรับค่าของอุปกรณ์ส่งสัญญาณ DHT11 รูปที่ 7 แสดงกราฟค่าความชื้นเทียบกับเวลาจากการรับค่าของอุปกรณ์ส่งสัญญาณ DHT11 และ รูปที่ 8 แสดงกราฟค่าแก๊สเทียบกับเวลาจากการรับค่าของอุปกรณ์ส่งสัญญาณ MQ2 ตามลำดับ



รูปที่ 6 กราฟค่าอุณหภูมิเทียบกับเวลาจากการรับค่าของอุปกรณ์ส่งสัญญาณ DHT11



รูปที่ 7 กราฟค่าความชื้นเทียบกับเวลาจากการรับค่าของอุปกรณ์ส่งสัญญาณ DHT11



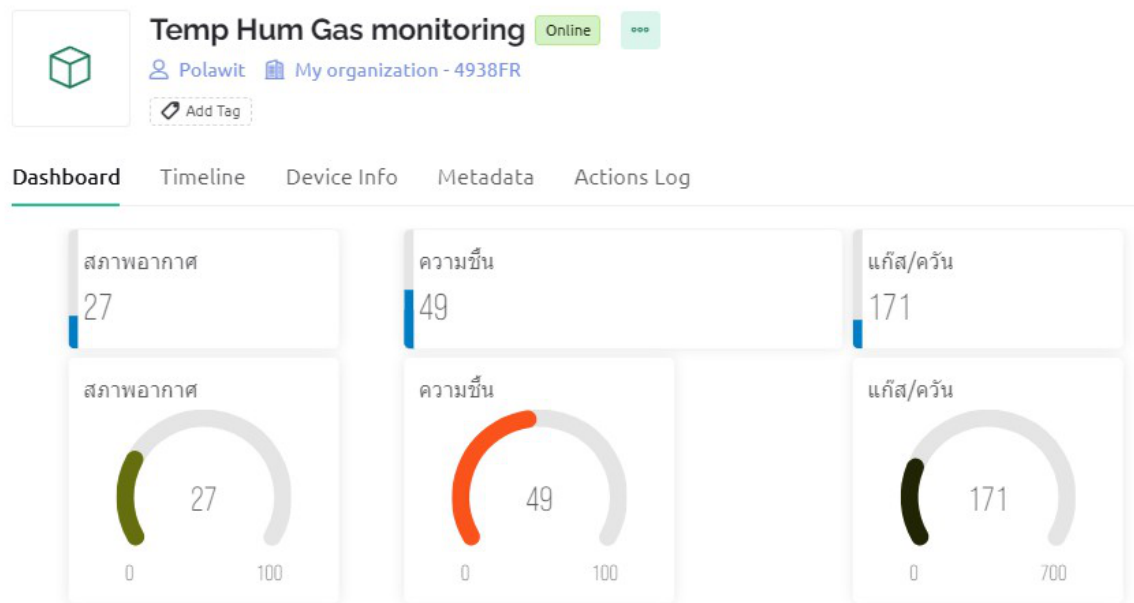
รูปที่ 8 กราฟค่าแก๊สเทียบกับเวลาจากการรับค่าของอุปกรณ์ส่งสัญญาณ MQ2

ผลการตรวจสอบบนแดชบอร์ดผ่านเว็บไซต์

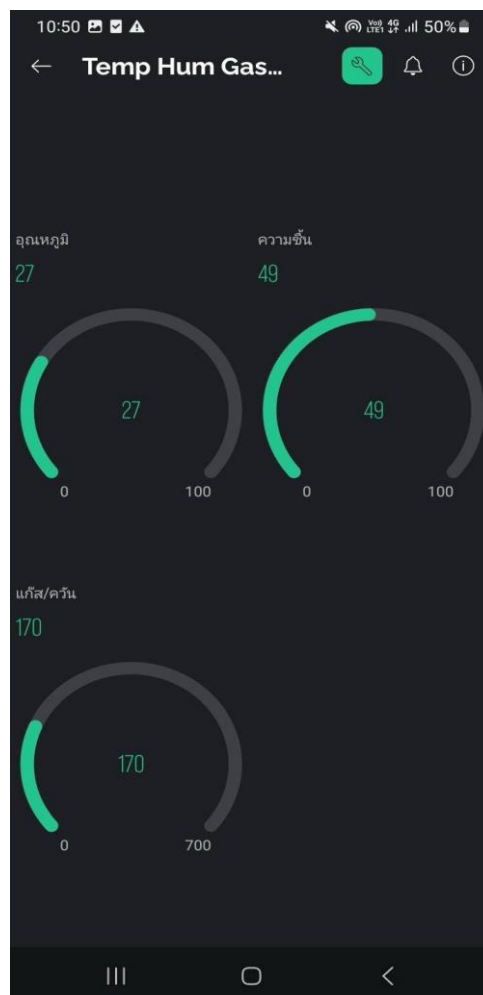
การตรวจสอบค่าอุณหภูมิ (Temp) ความชื้น (Hum) และแก๊ส (Gas) ถูกนำเสนอบนแดชบอร์ดผ่านเว็บไซต์ โดยนำเสนอในรูปแบบค่าตัวเลขและรูปแบบแผนภูมิแสดงในรูปที่ 9 ตัวอย่างการแสดงผลค่าอุณหภูมิ ความชื้น แก๊ส บนแดชบอร์ดผ่านเว็บไซต์ โดยข้อมูลที่แสดงและอัปเดตหลังจากตรวจจับโดยเซ็นเซอร์ทุก 15 วินาที โดยค่าระดับอุณหภูมิถูกนำเสนอในช่วง 0 ถึง 100 องศาเซลเซียส ค่าความชื้นถูกนำเสนอในช่วง 0 ถึง 100 เปอร์เซ็นต์ และค่าแก๊สหรือควินถูกนำเสนอในช่วง 0 ถึง 700 ppm ตามลำดับ

ผลลัพธ์การตรวจสอบผ่านแอปพลิเคชันบลิงก์

รูปที่ 10 แสดงตัวอย่างข้อมูลค่าอุณหภูมิ ความชื้น แก๊ส ผ่านแอปพลิเคชันบลิงก์ซึ่งเป็นแอปพลิเคชันสำเร็จรูปที่ใช้สำหรับงานที่เกี่ยวกับ (IoT) สามารถเชื่อมต่ออุปกรณ์ส่งสัญญาณ อุปกรณ์ควบคุม และแสดงผล เข้ากับอินเทอร์เน็ตในลักษณะการเชื่อมต่อเครื่องแม่ข่ายไปยังอุปกรณ์ลูกข่าย โดยค่าพารามิเตอร์และรูปแบบการแสดงเดียวกันกับการแสดงผลบนแดชบอร์ดผ่านเว็บไซต์ ซึ่งสามารถแสดงผลผ่านอุปกรณ์มือถือหรือแท็บเล็ตได้



รูปที่ 9 ตัวอย่างการแสดงผลค่าอุณหภูมิ ความชื้น แก๊ส บนแดชบอร์ดผ่านเว็บไซต์



รูปที่ 10 ตัวอย่างข้อมูลค่าอุณหภูมิ ความชื้น แก๊ส ผ่านแอปพลิเคชันบลิงก์ด้วยมือถือ

การอภิปรายผล

การออกแบบเครื่องตรวจสอบอุณหภูมิ ความชื้น และค่าแก๊สสำหรับการตรวจสอบพร้อมแสดงผลผ่านเว็บไซต์และแอปพลิเคชันสามารถนำมาใช้ได้จริง และสามารถประยุกต์ใช้ในลักษณะของงานอื่น ๆ โดยงานวิจัยนำเสนอการแสดงผลสถานะผ่านหลอดแอลอีดีเพื่อเป็นการแจ้งเตือน แต่อย่างไรก็ตามสัญญาณไฟแอลอีดีอาจจะไม่เพียงพอต่อการแจ้งเตือน แต่สามารถเป็นแนวทางสำหรับนักวิจัยที่สนใจในการประยุกต์ใช้สัญญาณแจ้งเตือนในระบบที่ดีขึ้น เช่น เสียงการแจ้งเตือน จำนวนและขนาดหลอดไฟของการแจ้งเตือน และรูปแบบการแจ้งเตือนอื่น ๆ โดยสามารถใช้สัญญาณที่แอลอีดีสีแดงที่ได้รับนี้เป็นสัญญาณเข้าเพื่อควบคุมการทำงานของอุปกรณ์แจ้งเตือนในการประยุกต์ใช้งานในลักษณะอื่นได้ ในการตรวจวัดคุณภาพอากาศได้อย่างไรก็ตาม ถ้าประยุกต์ใช้งานที่มีความเฉพาะในการตรวจจับแก๊สที่เฉพาะเจาะจง จำเป็นที่จะต้องเลือกใช้เซ็นเซอร์ในการตรวจจับแก๊สในแต่ละชนิดนั้น เพื่อผลลัพธ์ที่ได้จากเซ็นเซอร์ที่ใช้จะมีช่วงตรวจวัดที่แม่นยำและมีค่าความคลาดเคลื่อนน้อยสำหรับแก๊สแต่ละประเภท ซึ่งเป็นข้อมูลที่สำคัญในการนำไปวิเคราะห์หรือจัดการในลักษณะงานที่แตกต่างกัน เช่น ในงานวิจัยทางการแพทย์ การอุตสาหกรรม หรือการตรวจสอบคุณภาพอากาศในสถานที่ปิดอย่างยืดหยุ่นและมีประสิทธิภาพ

บทสรุป

มลพิษในอากาศเป็นปัจจัยสำคัญที่มีผลกระทบหลากหลายด้านรวมถึงสุขภาพของมนุษย์ การรับรู้คุณภาพของอากาศและการแจ้งเตือนจึงมีความสำคัญต่อการวางแผนและการจัดการปัญหานี้อย่างเหมาะสม บทความนี้เสนอการออกแบบระบบตรวจวัดมลพิษในอากาศโดยใช้เทคโนโลยีอินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่ง โดยวัดค่าอุณหภูมิและค่าความชื้น วัดปริมาณแก๊สหุงต้ม แก๊สไฮโดรเจน และแก๊สปิโตรเลียมด้วยเซ็นเซอร์ที่แตกต่างกัน แล้วส่งสัญญาณมาประมวลผลและควบคุมด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์ โดยพิจารณาตามเงื่อนไข อุณหภูมิที่สูงกว่ากำหนดจะควบคุมให้พัดลมทำงาน ค่าการตรวจจับแก๊สสูงกว่าค่าที่กำหนดจะแสดงสัญญาณเตือนด้วยหลอดแอลอีดีสีแดง พร้อมแสดงผลต่อเนื่องผ่านแดชบอร์ดของเว็บไซต์ และแอปพลิเคชันบนลินค เพื่อให้ผู้ใช้งานจากระบบต้นแบบนี้ สามารถเป็นแนวทางและสามารถนำไปประยุกต์ใช้งานตามความเหมาะสม เช่น บ้านพักอาศัย สถานที่เพื่อตรวจสอบมลพิษอากาศ รวมถึงหน่วยงานที่ต้องการตรวจวัดคุณภาพของอากาศได้อีกด้วย

เอกสารอ้างอิง

- IQAir Earth (2567). ดัชนีคุณภาพอากาศ (AQI) ของประเทศไทย. ค้นเมื่อ 21 กุมภาพันธ์ 2567.
<https://www.iqair.com/th/air-quality-ap?lat=15.1181579418&lng=101.002881304&zoomLevel=6>.
 ภาสินี ม่วงใจเพชร และพูลทรัพย์ โพนสิงห์. (2565). การวิเคราะห์ข้อมูลเชิงพรรณนาการแผ่กระจายผลกระทบต่อสุขภาพจากมลพิษทางอากาศ 5 มิติ กรณีฝุ่นละอองขนาดเล็กไม่เกิน 2.5 ไมครอน (PM2.5) เขตสุขภาพที่ 8 ปี พ.ศ. 2565.
 วารสารวิชาการสำนักงานป้องกันควบคุมโรคที่ 8 จังหวัดอุดรธานี. 1(1): 28-43.
 Alekhy K., Sravya P.D., Naik N.C. and LakshmiNarayana B.J. (2023). Ambient air quality monitoring system. In 2023 International Conference for Advancement in Technology (ICONAT). Goa, India. 1-5. doi: 10.1109/ICONAT57137.2023.10080220.
 Ali S.Y., Mukherjee P., Sunar S., Saha S., Saha P., Dutta S. and Goswami S. (2022). Significant effect of COVID-19 induced lockdown on air quality of the Indian Metropolitan City Kolkata using air quality index and health air quality index. Human and Ecological Risk Assessment: An International Journal. 28(7): 762–782.
 Gopi. C, Pramodh V., Charan M.S., Reddy K.S.K. and SaiVamsi D. (2022). Cloud-based air quality monitoring through wireless sensor network using NodeMCU. International Journal for Research in Applied Science and Engineering Technology. 10(12): 911–915.

- Hashim H., Hazwan M.N., Saad P.S.M. and Harun Z. (2023). The real-time monitoring of air quality using IOT-based environment system. In 2023 19th IEEE International Colloquium on Signal Processing & Its Applications (CSPA), 3-4 Mar. 2023. Kedah. Malaysia. 54-58.
- John A.S., Thomas G., Zacharia S.S., Anu Raj Er. and Er. Agitha M.S. (2022). IoT based real time air and noise pollution alert system for asthma and angina patients. International Research Journal of Engineering and Technology (IRJET). 9(5): 3427-3431.
- Kharade M., Katangle S., Kale G.M., Deosarkar S.B. and Nalbalwar S.L. (2020). A NodeMCU based fire safety and air quality monitoring device. In 2020 International Conference for Emerging Technology (INCET). Belgaum. India. 1-4. doi: 10.1109/INCET49848.2020.9153983.
- Liu Z., Wang G., Zhao L. and Yang G. (2021). Multi-points indoor air quality monitoring based on Internet of Things. IEEE Access. 9: 70479–70492.
- Mohd S.M.H., Sulaiman M.D.H., Jefree N.H. and Adan N.F. (2022). Multidisciplinary applied research and innovation. Multidisciplinary Applied Research and Innovation (MARI). 3(1): 381-389.
- Murad S.A.Z., Bakar F.A., Azizan A. and Shukri M.A.M. (2021). Design of Internet of Things based air pollution monitoring system using ThingSpeak and Blynk application. Journal of Physics: Conference Series. 1962(1): 012062. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1962/1/012062>.
- Purbakawaca R., Yuwono A.S., Subrata I.D.M., Supandi H. and Alatas H. (2022). Ambient air monitoring system with adaptive performance stability. IEEE Access. 10: 120086–120105.
- Roy S. and Singha N. (2020). Analysis of ambient air quality based on exceedance factor and air quality index for Siliguri City, West Bengal. Current World Environment. 15(2): 236–246.
- Singh A., Joshi H., Srivastava A., Kumar R. and Hasteer N. (2020). An analysis of polluted air consumption and hazards on human health: A study towards system design. In 2020. 10th International Conference on Cloud Computing, Data Science & Engineering (Confluence). Noida. India. 532-539. doi: 10.1109/Confluence47617.2020.9057848.
- Srivastava A.K. (2022) Air pollution: facts, causes, and impacts. Asian Atmospheric Pollution. 39–54.
- Ukadike I.D., Akazue M., Omede E. and Akpoyibo T.P. (2023). Development of an IoT-based air quality monitoring system. FUPRE Journal of Scientific and Industrial Research. 7(4): 53-62.

Received: December 14, 2023; Revised: July 8, 2024; Accepted: August 20, 2024

ผลของสภาวะการเก็บรักษาต่อการเปลี่ยนแปลงภายหลังการเก็บเกี่ยวของใบผักโขมสวนสด Effect of storage conditions on postharvest changes of fresh amaranth leaves

สุกัญญา บุญตะไนย์¹ หทัยพร กัมพวงค์¹ กฤตยา อุทโธ² และวีรเวทย์ อุทโธ^{1,3,4*}Sukanya Buntanai¹, Hathaiphon Kampawong¹, Grittaya Uttho² and Weerawate Uttho^{1,3,4*}¹คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี จังหวัดอุบลราชธานี¹Faculty of Agriculture, Ubon Ratchathani University, Ubon Ratchathani Province²คณะบริหารศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี จังหวัดอุบลราชธานี²Faculty of Management Science, Ubon Ratchathani University, Ubon Ratchathani Province³ศูนย์นวัตกรรมเทคโนโลยีหลังการเก็บเกี่ยว สำนักงานคณะกรรมการการอุดมศึกษา กรุงเทพฯ³Postharvest Technology Innovation Center, Office of the Higher Education Commission, Bangkok⁴ศูนย์วิจัยและพัฒนาอุตสาหกรรมอาหารพื้นบ้าน มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี จังหวัดอุบลราชธานี⁴Local Food Industry Research and Development Center, Ubon Ratchathani University, Ubon Ratchathani Province

*Corresponding Author E-mail Address: weerawate.u@ubu.ac.th

บทคัดย่อ

ใบผักโขมสวนสดมีการเปลี่ยนแปลงคุณภาพหลังการเก็บเกี่ยวได้เร็วส่งผลให้ความสามารถทางการตลาดลดลง การวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลของสภาวะการเก็บรักษาประกอบด้วยอุณหภูมิ (10-35°C) และเวลา (10 วัน) ต่ออัตราการหายใจ น้ำหนักสด และกรดแอสคอร์บิกภายหลังการเก็บเกี่ยวของใบผักโขมสวนสด ผลทดลอง พบว่า การเปลี่ยนแปลงหลังการเก็บเกี่ยวดังกล่าวที่อุณหภูมิ 10°C เกิดขึ้นได้ช้ากว่าเมื่อเปรียบเทียบกับอุณหภูมิ 25°C และ 35°C การเพิ่มขึ้นของอัตราการหายใจสัมพันธ์กับอุณหภูมิในลักษณะของเอกซ์โปเนนเชียล (Exponential) และทำนายได้ดีด้วยแบบจำลองคณิตศาสตร์ของอาร์เรเนียส (Arrhenius model) มีค่า R^2 และ RMSE (Root Mean Square of Errors) เท่ากับ 0.98 และ 0.08 ตามลำดับ และค่า energy of activation เท่ากับ 32.65 kJ mol⁻¹ ใบผักโขมสูญเสียน้ำหนักสดอย่างต่อเนื่องโดยเฉพาะที่ 25°C และ 35°C มีร้อยละการสูญเสียน้ำหนักสดสูงกว่า 2.50 ภายหลังเก็บรักษา 3 วัน ใบผักโขมเหี่ยวเฉาและไม่เป็นที่ยอมรับของผู้บริโภค ในทางตรงกันข้ามที่ 10°C ใบผักโขมสูญเสียน้ำหนักสดต่ำกว่าร้อยละ 3.50 และมีลักษณะปรากฏที่สอดคล้องต่อการเก็บรักษา ปริมาณกรดแอสคอร์บิกลดลงอย่างต่อเนื่องจากค่าเริ่มต้น (11.48 mg 100g⁻¹) และเกิดขึ้นได้เร็วกว่าที่ 25°C และ 35°C ปริมาณกรดแอสคอร์บิกในแต่ละช่วงเวลาทำนายได้ดีด้วยแบบจำลองคณิตศาสตร์ First Order Fractional Conversion (FOFC model) มีค่า R^2 และ RMSE เท่ากับ 0.99 และ 0.001-0.120 ตามลำดับ การเพิ่มขึ้นของค่าสัมประสิทธิ์ FOFC model มีความสัมพันธ์กับอุณหภูมิแบบเอกซ์โปเนนเชียลและทำนายได้ดีด้วย Arrhenius model มีค่า R^2 และ RMSE เท่ากับ 0.99 และ 0.02 ตามลำดับ และมีค่า energy of activation เท่ากับ 93.10 kJ mol⁻¹ ข้อมูลจากผลการวิจัยนี้เป็นแนวทางเพื่อวางแผนชะลอการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของผักโขมสดในระหว่างการเก็บรักษา

คำสำคัญ: อัตราการหายใจ น้ำหนักสด ปริมาณกรดแอสคอร์บิก ใบผักโขมสด

Abstract

Fresh amaranth leaves have rapid changes in postharvest qualities causing decreases in marketability. This research undertaken purposely was to study effects of storage conditions including temperature (10-35°C) and time (10 days) on postharvest respiration rates, fresh weight, and ascorbic acid contents of fresh amaranth leaves. Experimental results show that such postharvest changes occurred at 10°C were slower than those at 25°C and 35°C. Increases in respiration rates were in exponential relations to storage temperatures, and these were well predicted using the Arrhenius model having R^2 and RMSE (root mean square of errors) values of 0.98 and 0.08 respectively. The energy of activation was 32.65 kJ mol⁻¹. The amaranth leaves losses their fresh weights continuously especially at 25°C and 35°C at which the fresh weight loss percentages were higher than 2.50 after 3-day storage. The leaves apparently became heavily wilt and lost their marketability. In contrast at 10°C, the amaranth leaves had the fresh weight loss percentages lower than 3.50 and had fresh appearances throughout the storage period. Ascorbic acid contents continuously decreases from their initial values (11.48 mg 100g⁻¹) and became rapid reductions at 25°C and 35°C. The ascorbic acid contents at any time period were well predicted by the first order fractional conversion (FOFC model) of which the R^2 and RMSE were 0.99 and 0.001-0.120, respectively. Increases of the FOFC model coefficients had exponential relationships with the storage temperatures, and these were well predicted by the Arrhenius model, having R^2 and RMSE values of 0.99 and 0.02, respectively. The energy of activation was 93.10 kJ mol⁻¹. Information of this present research is a guideline for making plans to delay quality changes of the fresh amaranth leaves during storage.

Keywords: Respiration rate, Fresh weight, Ascorbic acid content, Fresh amaranth leaf

บทนำ

ผักโขมสวน (*Amaranthus tricolor* L. หรือชื่อสามัญ Joseph's Coat) เป็นพืชที่มีคุณค่าทางโภชนาการ โดยเฉพาะมีโปรตีนเป็นองค์ประกอบสูง (ร้อยละ 3-17) เมื่อเทียบกับผักรับประทานใบอื่น ๆ (Sarker et al., 2022; Jan et al., 2023; Zhu, 2023) โดยมีกรดอะมิโนที่จำเป็นหลายชนิด เช่น กลูตามิก (Glutamic acid) ไลซีน (Lycine) (Jahan et al., 2022) เนื่องจากผักโขมมีโปรตีนในปริมาณที่สูงจึงได้รับความสนใจนำมาเป็นอาหารหรือเป็นส่วนประกอบของผลิตภัณฑ์อาหารประเภทโปรตีนทางเลือก (Alternative protein) ซึ่งมักเป็นพืชที่มีองค์ประกอบของโปรตีนที่สูง เช่น อาร์ติโชค (Artichoke) อะโวคาโด (Avocado) ผักเคล (Kale) ขนุนอ่อน (Young jackfruit) สำหรับยำ หรือใช้น้ำ (Ranasinghe, 2019; Kaszás, 2020; Bangar et al., 2022; Monthakantir et al., 2022) หรือโปรตีนจากแมลง เช่น จิ้งหรีด (Cricket) (Montowska et al., 2019) นอกจากองค์ประกอบโปรตีน ผักโขมสวนยังเป็นแหล่งของกรดแอสคอร์บิก หรือวิตามินซี ตลอดจนแร่ธาตุ สารประกอบฟีนอลิกซึ่งมีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ (Jimenez-Aguilar et al., 2017) ในการวิจัยนี้ได้ให้ความสนใจเกี่ยวกับการเก็บรักษาผักโขมซึ่งเป็นผักพื้นบ้านในท้องถิ่นภาคตะวันออกเฉียงเหนือ เนื่องจากผักโขมและผักรับประทานใบอื่น ๆ มักเกิดการเปลี่ยนแปลงภายหลังการเก็บเกี่ยวได้เร็วโดยเฉพาะภายใต้สภาวะอุณหภูมิที่สูงดังปรากฏจากการเหี่ยวหรือการเปลี่ยนแปลงสีของใบเมื่อเก็บรักษาผักรับประทานใบที่อุณหภูมิห้องทั้งนี้กระบวนการทางเมตาบอลิซึมและทางชีวเคมีต่าง ๆ เช่น การคายน้ำของผลิตภัณฑ์สดดำเนินการต่อเนื่องภายหลังการเก็บเกี่ยวจึงเป็นสาเหตุสำคัญต่อการเปลี่ยนแปลงคุณภาพดังกล่าว (จริงแท้, 2550; วีรเวทย์, 2562) จากที่ได้นำเสนอข้างต้น อุณหภูมิเก็บรักษาเป็นปัจจัยสำคัญต่อการเปลี่ยนแปลงภายหลังการเก็บเกี่ยว โดยอุณหภูมิสำหรับการเก็บรักษาผักโขมสด (ในรูปทั้งใบหรือตัดสด) อยู่ระหว่าง 0-10°C (Izumi et al., 1999; Thammawong et al., 2019; Jin et al., 2021) สอดคล้องกับแนวทางการเก็บรักษาผักรับประทานใบในอุณหภูมิต่ำ ดังเช่นในการศึกษาการเก็บรักษาผักกาดขาวเตอร่เครสสด สุกัญญา และคณะ (2565) รายงานว่า อัตราการหายใจ การสูญเสีย น้ำหนักสด และการลดลงของปริมาณกรดแอสคอร์บิกเกิดขึ้นด้วยอัตราเร็วที่สูงเมื่อเก็บรักษาผักกาดขาวเตอร่เครสสดที่อุณหภูมิห้อง

(30-32°C) เมื่อเปรียบเทียบกับ การเก็บรักษาที่อุณหภูมิที่ต่ำกว่า ในทำนองเดียวกัน Sun et al. (2020) รายงานว่า การเก็บรักษาผักสลัดเบบี้มัสตาร์ด (Baby mustard salad) ที่อุณหภูมิ 4°C ลดการสูญเสียกรดแอสคอร์บิก การสูญเสียน้ำหนัก และคุณภาพด้านอื่น ๆ ได้ดีกว่าที่อุณหภูมิ 20°C

ในการวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลของสภาวะการเก็บรักษา ประกอบด้วย อุณหภูมิและระยะเวลาของการเก็บรักษา ต่อการเปลี่ยนแปลงภายหลังการเก็บเกี่ยวของใบผักโขมสวนสดในด้านอัตราการหายใจ น้ำหนักสด และปริมาณกรดแอสคอร์บิก ทั้งนี้ผลของสภาวะการเก็บรักษาต่อการเปลี่ยนแปลงโปรตีนยังอยู่ในระหว่างการดำเนินการ ดังนั้นผู้วิจัยจึงยังไม่ได้นำเสนอในต้นฉบับนี้ แม้ว่าผักโขมสวนสดจะเป็นพืชในกลุ่มผักโขมที่มีปริมาณโปรตีนที่สูง อย่างไรก็ตามการเปลี่ยนแปลงที่ได้รายงานในต้นฉบับการวิจัยนี้เป็นข้อมูลสำคัญเพื่อเป็นพื้นฐานของการจัดการเก็บรักษาผักโขมสวนสดเพื่อการบริโภคสดหรือแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์เสริมอาหารต่อไป โดยเฉพาะด้านจุลพิษศาสตร์การเปลี่ยนแปลงปริมาณกรดแอสคอร์บิกในใบผักโขมสวนยังไม่ได้รับการรายงานในเอกสารอ้างอิง

วัสดุ อุปกรณ์ และวิธีการ

1.การเตรียมผักโขม

การเตรียมผักโขมสวนสดนำมาทั้งต้นรวมราก โดยกำหนดอายุการเก็บเกี่ยวประมาณ 3 สัปดาห์ หลังจากเพาะเมล็ด จากสวนในอำเภวารินชำราบ ทำการเคลื่อนย้ายมายังห้องปฏิบัติการหลังการเก็บเกี่ยว คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี ภายใน 30 นาที เพื่อคงความสดและหลีกเลี่ยงการเสื่อมเสียคุณภาพจากระยะเวลาการจัดเก็บ จากนั้นทำการแยกเอาต้นที่ไม่สมบูรณ์ออก (เช่น ใบมีรู ใบมีจุดสีดำ รอยแตก หรือก้านหัก) เอาเฉพาะบริเวณยอดรวมลำต้นอ่อนโดยนับใบอ่อนบนยอดสุดลงมา 4 ใบ และตัดด้วยมีดที่คม ทำการล้างผักโขมสวนสดด้วยน้ำประปา 2 รอบ จากนั้นแช่ด้วยสารละลายโซเดียมไฮโปคลอไรต์ (บริษัท ไทยอาซาฮีเคมีภัณฑ์ จำกัด ประเทศไทย) ความเข้มข้น 150 mg L⁻¹ เป็นเวลา 30 วินาที วางสะเด็ดน้ำที่อุณหภูมิห้องและมีอากาศถ่ายเท จากนั้นแบ่งผักโขมสวนสดออกเป็น 3 กลุ่ม บรรจุผักโขมสวนสดถาดละ 100±2 g ในถาดพลาสติกแข็งชนิด PP (Polypropylene) ขนาด 1 L จากนั้นใส่ในถุง Low Density Polyethylene (LDPE) และพับปากของถุงเพื่อชะลอการคายน้ำ ดังวิธีที่รายงานใน ปณีวัฒน์ และวีระเวทย์ (2559) ภายหลังได้นำถุงที่เตรียมวางไว้ตามอุณหภูมิที่ใช้ทดสอบ ประกอบด้วย 10 25 และ 35°C เป็นระยะเวลา 17 ชั่วโมง เพื่อให้เกิดสมดุลกับอุณหภูมิที่จะใช้ทดสอบและป้องกันการเกิดความเครียดของผักโขมสวนสดเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิสูงขึ้น (Marc et al., 2020)

2.การวัดอัตราการหายใจ

การวัดอัตราการหายใจของผักโขมสวนสดได้ประยุกต์วิธีการที่รายงานใน Phungam et al. (2018) ซึ่งเป็นการวิเคราะห์ความเข้มข้นของแก๊ส CO₂ ที่เพิ่มขึ้นในระบบปิด กระบวนการวัดและวิเคราะห์มีรายละเอียดโดยสังเขปดังนี้ นำใบผักโขมสวนสดมีน้ำหนักประมาณ 100±2 g ใส่ในกล่องพลาสติกชนิด PP (Polypropylene) ขนาด 3.5 L ที่มีเครื่องวัดแก๊ส CO₂ (HTI, HT-2000, Protronics Intertrade Co., Ltd., Thailand) อยู่ภายในกล่องด้วย จากนั้นทำการปิดกล่องและทิ้งไว้เป็นระยะเวลาไม่เกิน 1 ชั่วโมง ในแต่ละอุณหภูมิที่ศึกษา เพื่อการสะสมของแก๊ส CO₂ ภายในระบบปิด โดยอุณหภูมิที่ศึกษาประกอบด้วย 10 25 และ 35°C ทั้งนี้ความเข้มข้นของแก๊ส CO₂ ที่สะสมในช่วงเวลาศึกษาควรมีค่าน้อยกว่า 10 เท่าของค่าเริ่มต้น จากนั้นทำการบันทึกข้อมูลความเข้มข้นและระยะเวลาเพื่อนำไปคำนวณอัตราการผลิตแก๊ส CO₂ ตามแบบจำลองคณิตศาสตร์ที่ปรากฏใน Eq. 1

$$r_{amr}^{CO_2} = \frac{C_{amr}^{CO_2} \cdot P_{tot}}{100} \frac{(V_{jar} - V_{amr})}{R \cdot T_{str} \cdot t \cdot M_{amr}} \quad (Eq. 1)$$

โดยที่ $r_{amr}^{CO_2}$ คือ อัตราการหายใจของใบผักโขมสวนสด (mol s⁻¹ kg⁻¹) $C_{amr}^{CO_2}$ คือ ความเข้มข้นของแก๊ส CO₂ ซึ่งปลดปล่อยจากใบผักโขมสวนสด (% v v⁻¹) P_{tot} คือ ความดันบรรยากาศปกติ (Pa) V_{jar} และ V_{amr} คือ ปริมาตรกล่องพลาสติกและใบผักโขมสวนสด (m³) ตามลำดับ R คือ ค่าคงที่ของแก๊ส เท่ากับ 8.314 J mol⁻¹ K⁻¹ T_{str} คือ อุณหภูมิการเก็บรักษา (K) t คือ เวลา (s) และ M_{amr} คือ น้ำหนักใบผักโขมสวนสด (kg)

การศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการหายใจของใบผักโขมสวนสดและอุณหภูมิการเก็บรักษา ได้ประยุกต์แบบจำลองคณิตศาสตร์อาร์เรเนียส (Arrhenius model) วิธีการที่รายงานใน Phungam et al. (2018) ดังแสดงใน Eq. 2

$$r_{amr}^{CO_2} = r_{amr,ref}^{CO_2} \exp\left(\frac{Ea_{r_{amr}^{CO_2}}}{R} \left(\frac{1}{T_{str,ref}} - \frac{1}{T_{str}}\right)\right) \quad (\text{Eq. 2})$$

โดยที่ $r_{amr,ref}^{CO_2}$ คือ อัตราการหายใจของใบผักโขมสวนสดที่อุณหภูมิอ้างอิง ($\text{mol s}^{-1} \text{kg}^{-1}$) $Ea_{r_{amr}^{CO_2}}$ คือ พลังงานกระตุ้น หรือ Energy of activation ของอัตราการหายใจของใบผักโขมสวนสด (J mol^{-1}) $T_{str,ref}$ คือ อุณหภูมิการเก็บรักษาอ้างอิง ณ ที่นี้คือ 291.15 K (หรือ 18°C) การศึกษานี้ได้ใช้วิธี Non-linear regression เพื่อประมาณค่า $r_{amr,ref}^{CO_2}$ และ $Ea_{r_{amr}^{CO_2}}$ ด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ Microsoft Excel® 2019 (Microsoft Inc.) การประมาณค่าโดยใช้กระบวนการ Non-linear regression ด้วยการประยุกต์วิธีที่ได้นำเสนอโดย Ávila and Silva (1999) ความแม่นยำของการทำนายค่าที่ได้จากการทดลองด้วย Eq. 2 แสดงโดยค่า Root Mean Square of Error (RMSE) และค่า R^2 โดยประยุกต์แนวทางที่รายงานโดย Phungam et al. (2018)

3. การวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงน้ำหนักสดและปริมาณกรดแอสคอร์บิกของผักโขมสวนสดระหว่างการเก็บรักษา

3.1 การจัดการตัวอย่างผักโขมสวนสด

ในการเตรียมตัวอย่างผักโขมสวนสดสำหรับการวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงระหว่างการเก็บรักษา ดำเนินการโดยนำผักโขมสวนสดที่ผ่านการลดปริมาณเชื้อจุลินทรีย์เบื้องต้น (การแช่ในสารละลายโซเดียมไฮโปคลอไรด์ความเข้มข้น 150 mg L^{-1} เป็นเวลา 30 วินาที) บรรจุผักโขมสวนสดด้วยน้ำหนักประมาณ 100 g ลงในภาชนะพลาสติกแข็ง จากนั้นใส่ในถุง Low Density Polyethylene (LDPE) (ตราเอโร่ บริษัท ไพโรซินเตอร์แพค (1999) จำกัด ประเทศไทย) หนา 60 μm ขนาด 20.32 x 30.48 cm แล้วทำการพับปากถุงเพื่อเป็นการลดการสูญเสียความชื้นแต่ไม่ได้สร้างสภาวะบรรยากาศดัดแปร จากนั้นแยกเก็บรักษาที่อุณหภูมิเก็บรักษา 10, 25 และ 35°C โดยในแต่ละอุณหภูมิได้ทำการจัดบรรจุภัณฑ์ออกเป็น 2 กลุ่ม ประกอบด้วย กลุ่มที่ 1 สำหรับการศึกษาการเปลี่ยนแปลงน้ำหนักสด บรรจุภัณฑ์ในกลุ่มนี้จะไม่ได้มีการเปิดบรรจุภัณฑ์เพื่อนำผักโขมสวนสดออกไปจากบรรจุภัณฑ์ ทั้งนี้ผู้วิจัยได้ทำการชั่งบรรจุภัณฑ์เดิมในแต่ละวันที่ทำการศึกษาก่อนนำมาคำนวณหาน้ำหนักที่เปลี่ยนแปลงไปดังวิธีที่นำเสนอในหัวข้อต่อไป และกลุ่มที่ 2 สำหรับการศึกษาการเปลี่ยนแปลงปริมาณกรดแอสคอร์บิก บรรจุภัณฑ์ในกลุ่มนี้ได้เตรียมตามจำนวนวันสำหรับการวิเคราะห์กรดแอสคอร์บิก เนื่องจากได้มีการนำผักโขมสวนสดภายในบรรจุภัณฑ์ออกมาทำการเตรียมตัวอย่างสำหรับวิเคราะห์ เช่น บดย่อย การกรองน้ำเอาน้ำสกัด ดังวิธีการที่ได้นำเสนอในหัวข้อต่อไป

3.2 การสูญเสียน้ำหนักสด

การศึกษากการสูญเสียน้ำหนักสดของใบผักโขมสวนสด ผู้วิจัยได้ทำการชั่งน้ำหนักบรรจุภัณฑ์ผักโขมสวนสด ณ วันที่ทำการศึกษา (โดยเป็นการชั่งน้ำหนักบรรจุภัณฑ์เดิมและไม่เปิดบรรจุภัณฑ์) จากนั้นทำการเปรียบเทียบน้ำหนักเริ่มต้น และน้ำหนักของบรรจุภัณฑ์บรรจุผักโขมสวนสด และรายงานเป็นร้อยละการสูญเสียน้ำหนัก หทัยพร (2563) ดังแสดงใน Eq. 3

$$Wt_{loss} = \frac{(Wt_0 - Wt_t)}{Wt_0} \cdot 100 \quad (\text{Eq. 3})$$

โดยกำหนดให้ Wt_{loss} คือ ร้อยละการสูญเสียน้ำหนัก Wt_0 คือ น้ำหนักเริ่มต้น (g) Wt_t คือ น้ำหนักที่เวลาใด ๆ (g)

3.3 ปริมาณกรดแอสคอร์บิก

การวิเคราะห์ปริมาณกรดแอสคอร์บิก (วิตามินซี) ในใบผักโขมสวนสด ด้วยการประยุกต์วิธีของ AOAC (1990) ซึ่งอ้างอิงใน หทัยพร (2563) เป็นวิธีการวิเคราะห์ด้วยสารละลายมาไตรเฟนอล (Indophenols standard solution) วิธีการดังกล่าวเป็นการนำค่าที่ได้จากการไตเตรทมาคำนวณหาปริมาณกรดแอสคอร์บิกทั้งหมดที่มีอยู่ใน

น้ำสกัดโดยคิดเป็นมิลลิกรัมกรดแอสคอร์บิก ต่อ 100 g ที่มีรายละเอียดโดยสังเขปดังนี้ นำผักโขมสวนสดที่คั้นน้ำ 1 ml ใส่ในขวด 250 ml เติมสารละลาย 5% (v/v) Trichloroacetic acid ปริมาตร 9 ml เขย่าให้เข้ากันทันที แล้วทำการไตเตรทด้วยสารละลาย Indophenols จนถึงจุดยุติ ซึ่งเป็นจุดที่สารละลายเปลี่ยนเป็นสีชมพูที่คงตัว สำหรับตัวอย่างเปรียบเทียบ (Blank sample) นำสารละลาย 5% (v/v) Trichloroacetic acid ปริมาตร 10 ml ไตเตรทเช่นเดียวกับน้ำสกัดจากใบผักโขมสวนสด ทำการบันทึกค่าที่ได้จากการไตเตรทจากนั้นคำนวณหาปริมาณกรดแอสคอร์บิกโดยใช้สมการ Eq. 4

$$C_{amr}^{ASC} = \frac{(X - B) \cdot (F / E)}{(V - Y)} \cdot 100 \quad (\text{Eq. 4})$$

กำหนดให้ C_{amr}^{ASC} คือ ปริมาณ (หรือความเข้มข้น) ของกรดแอสคอร์บิกในใบผักโขมสวนสด ($\text{mg } 100\text{g}^{-1}$) X คือ ปริมาตรสารละลาย Indophenols ที่ใช้ในการไตเตรทตัวอย่าง (ml) B คือ ปริมาตรสารละลาย Indophenols ที่ใช้ในการไตเตรทตัวอย่าง Blank (ml) F คือ ความเข้มข้นของสารละลาย Ascorbic acid standard solution (mg ml^{-1}) E คือ ปริมาตรของสารละลาย Ascorbic acid standard solution (ml) V คือ ปริมาตรของสารละลาย Indophenols standard ที่ใช้ในการไตเตรทสารละลายมาตรฐานกรดแอสคอร์บิก (ml) และ Y คือ ปริมาตรของสารละลาย Indophenols standard ที่ใช้ในการไตเตรทตัวอย่าง Blank (ml)

4. การวิเคราะห์จลนพลศาสตร์ของการเปลี่ยนแปลงกรดแอสคอร์บิกของใบผักโขมสวนสด

ผู้วิจัยได้นำผลการเปลี่ยนแปลงกรดแอสคอร์บิกในใบผักโขมสวนสด (หัวข้อ 3.3) มาศึกษาจลนพลศาสตร์ซึ่งเป็นการศึกษาเกี่ยวกับอัตราเร็วของการเปลี่ยนแปลงปริมาณกรดแอสคอร์บิกที่เกิดขึ้นภายใต้เงื่อนไขต่าง ๆ ทั้งนี้อันดับของปฏิกิริยาของการเปลี่ยนแปลงกรดแอสคอร์บิกส่วนใหญ่เป็นอันดับที่ 1 (First order reaction) โดยอัตราเร็วของการเกิดปฏิกิริยามีความสัมพันธ์กับความเข้มข้นของสารตั้งต้น (ณ ที่นี้คือความเข้มข้นของกรดแอสคอร์บิก) (Earle and Earle, 2003) ตัวอย่างของการเปลี่ยนแปลงกรดแอสคอร์บิกซึ่งเป็นปฏิกิริยาอันดับที่ 1 เช่น พริกหวานสด (หทัยพร, 2563) ผักชีฝรั่ง (ปนิวัฒน์ และ วีระเวทย์, 2559) และผักกาดเต๋อเครส (สุกัญญา และคณะ, 2565) ในการศึกษาการเก็บรักษาผักกาดเต๋อเครสสด สุกัญญา และคณะ (2565) ได้ประยุกต์แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ First-order fractional conversion model (ดังแสดงใน Eq. 5) เพื่อการทำนายการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของกรดแอสคอร์บิกระหว่างการเก็บรักษา และพบว่าแบบจำลองคณิตศาสตร์ดังกล่าวสามารถทำนายการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นได้อย่างดี โดยข้อมูลจากการทำนาย (Predicted data) เป็นตัวแทนที่ดีของข้อมูลที่ได้จากการทดลอง (Empirical data) เนื่องจากผักกาดเต๋อเครสและผักโขมสวนสดเป็นผักรับประทานใบ ดังนั้นผู้วิจัยจึงได้ทำการประยุกต์แบบจำลองคณิตศาสตร์ (Eq. 5) เพื่อเป็นเครื่องมือในการศึกษาจลนพลศาสตร์และทำนายการเปลี่ยนแปลงปริมาณกรดแอสคอร์บิกในใบผักโขมสวนสด

$$\frac{C_{amr,t}^{ACA} - C_{amr,t_0}^{ACA}}{C_{amr,t_0}^{ACA} - C_{amr,t_\infty}^{ACA}} = \exp(-k_{1st,amr}^{ACA} \cdot t) \quad (\text{Eq. 5})$$

กำหนดให้ $C_{amr,t}^{ASC}$ คือ ความเข้มข้นของกรดแอสคอร์บิกในใบผักโขมสวนสดที่เวลาใด ๆ (t) ($\text{mg } 100\text{g}^{-1}$) C_{amr,t_0}^{ASC} คือ ความเข้มข้นของกรดแอสคอร์บิกในใบผักโขมสวนสดที่เวลาเริ่มต้น ($t = 0$) ($\text{mg } 100\text{g}^{-1}$) C_{amr,t_∞}^{ASC} คือ ความเข้มข้นของกรดแอสคอร์บิกในใบผักโขมสวนสดเมื่อเข้าสู่สมดุล ($t \cong \infty$) $k_{1st,amr}^{ASC}$ คือ ค่าคงที่ของอัตราการเปลี่ยนแปลงกรดแอสคอร์บิกในใบผักโขมสวนสดแบบปฏิกิริยาอันดับที่ 1 (Day^{-1}) และ t คือ ระยะเวลาการเก็บรักษา (Day) การวิจัยนี้ได้ศึกษาความสัมพันธ์ของอัตราเร็วของการเปลี่ยนแปลงกรดแอสคอร์บิก หรือ ค่า $k_{1st,amr}^{ASC}$ กับอุณหภูมิการเก็บรักษาด้วยความสัมพันธ์อาร์รี่เนยส (Eq. 2) โดยทำการแทนที่ $r_{amr}^{CO_2}$ และ $r_{amr,ref}^{CO_2}$ ด้วย $k_{1st,amr}^{ASC}$ และ $k_{1st,ref,amr}^{ASC}$ ตามลำดับ และการแทนที่ $Ea_{r_{amr}^{CO_2}}$ ด้วย $Ea_{k_{1st,amr}^{ASC}}$ การประมาณค่าสัมประสิทธิ์ที่ปรากฏ Eq. 5 และความสัมพันธ์อาร์รี่เนยสได้ใช้แนวทางของกระบวนการ Nonlinear regression ดังแสดงในหัวข้อ 2

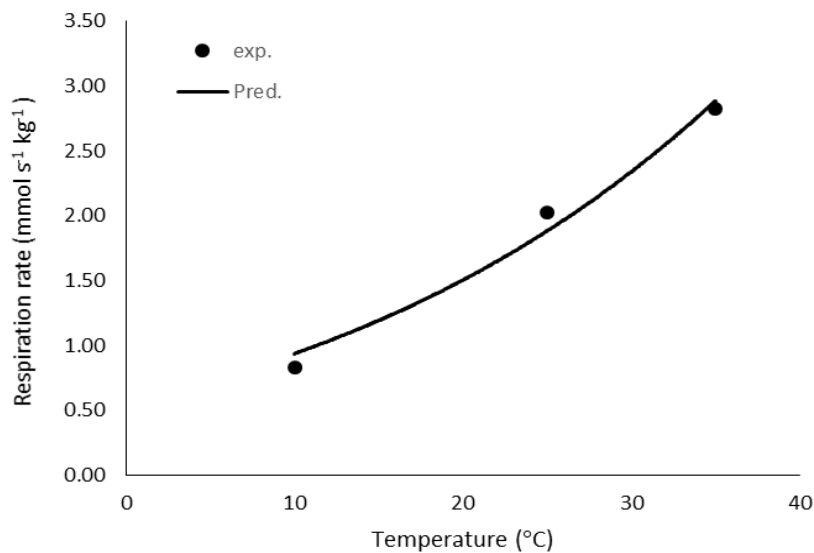
5. การวางแผนการทดลอง

การวิจัยนี้วางแผนการทดลองแบบ Randomized Completely Block Design (RCBD) จำนวน 3 ซ้ำการทดลอง และใช้แนวทาง Nonlinear regression ในการประมาณค่าของพารามิเตอร์จากแบบจำลองคณิตศาสตร์ต่าง ๆ ดังที่ได้นำเสนอข้างต้น

ผลการวิจัย

ผลของอุณหภูมิต่ออัตราการหายใจ

อัตราการหายใจของผักโขมสวนสดมีค่าเพิ่มขึ้นที่สัมพันธ์กับการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิการเก็บรักษา (รูปที่ 1) อัตราการหายใจที่อุณหภูมิ 35°C (ค่าเฉลี่ยเท่ากับ $2.83 \text{ mmol s}^{-1} \text{ kg}^{-1}$) มีค่าสูงกว่าที่อุณหภูมิ 10°C (ค่าเฉลี่ยเท่ากับ $2.83 \text{ mmol s}^{-1} \text{ kg}^{-1}$) ประมาณ 3.41 เท่า ในขณะที่อัตราการหายใจที่อุณหภูมิ 25°C (ค่าเฉลี่ยเท่ากับ $2.02 \text{ mmol s}^{-1} \text{ kg}^{-1}$) มีค่าสูงกว่าที่ 10°C ประมาณ 2.43 เท่า ทั้งนี้อัตราการหายใจที่อุณหภูมิ 35°C สูงกว่าที่อุณหภูมิ 25°C เท่ากับ 1.40 เท่า ลักษณะการเพิ่มขึ้นของอัตราการหายใจสัมพันธ์กับอุณหภูมิในลักษณะของเอกซ์โปเนนเชียล (Exponential) เมื่อทำการประมาณอัตราการหายใจในแต่ละอุณหภูมิด้วยแบบจำลองคณิตศาสตร์ Arrhenius (Eq. 2) พบว่า แบบจำลองคณิตศาสตร์สามารถทำนายค่าที่ได้จากการทดลองได้อย่างดี โดยมีค่า R^2 และค่า RMSE เท่ากับ 0.98 และ 0.08 ตามลำดับ โดยค่าสัมประสิทธิ์ของ Eq. 2 ประกอบด้วย $r_{amr,ref}^{CO_2}$ และ $Ea_{r_{amr}^{CO_2}}$ เท่ากับ $1.19 \text{ mmol s}^{-1} \text{ kg}^{-1}$ และ $32.65 \text{ kJ mol}^{-1}$ ตามลำดับ (ตารางที่ 1)



รูปที่ 1 อัตราการหายใจของผักโขมสวนสด เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 10 25 และ 35°C สัญลักษณ์ ● แทนข้อมูลที่ได้จากการทดลอง (exp.) (ค่าเฉลี่ย n=3) และ เส้นสีดำ คือ ค่าอัตราการหายใจที่ทำนาย Eq. 2 (pred.)

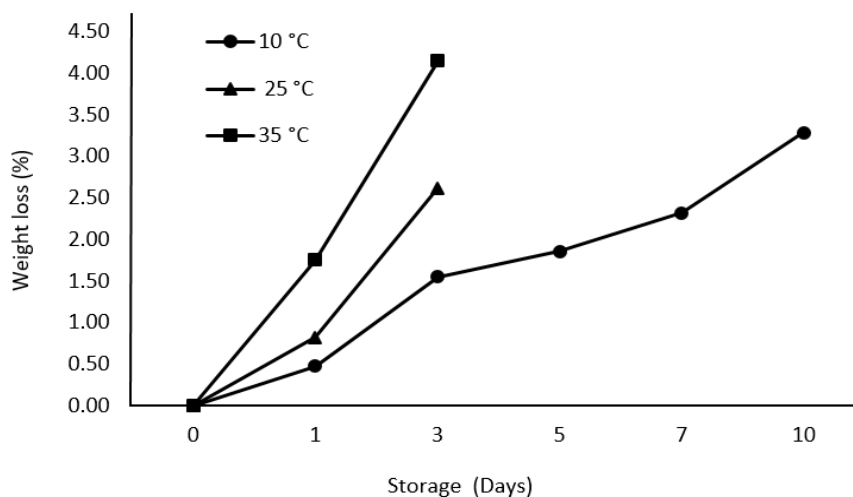
ตารางที่ 1 ตัวแปรในความสัมพันธ์อาร์เรนีเยส (Eq. 2) ระหว่างอัตราการหายใจและอุณหภูมิ และค่า R^2 และ RMSE

$r_{amr,ref}^{CO_2}$ ($\text{mmol s}^{-1} \text{ kg}^{-1}$)	$Ea_{r_{amr}^{CO_2}}$ (kJ mol^{-1})	R^2	RMSE
1.19	32.65	0.98	0.08

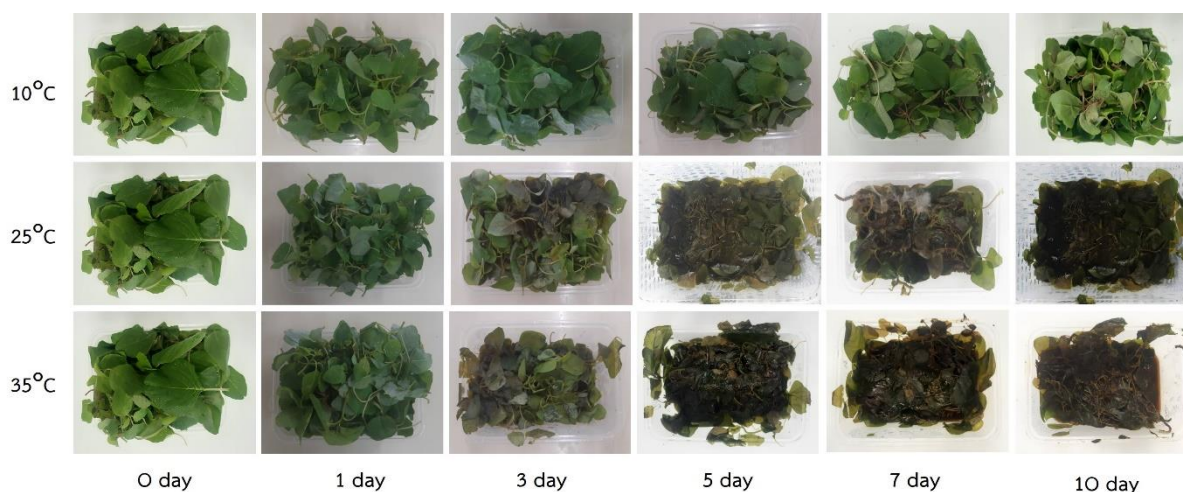
การเปลี่ยนแปลงน้ำหนักสด

ผักโขมสวนสดมีการสูญเสียน้ำหนักสดที่เพิ่มขึ้นตลอดอายุการเก็บรักษา (รูปที่ 2) ส่งผลให้เกิดการเหี่ยวเฉาของใบผักโขมสวนสดในระหว่างการเก็บรักษา (รูปที่ 3) เมื่อพิจารณาในแต่ละวันที่ทำการศึกษา พบว่า ร้อยละการสูญเสียน้ำหนักสดที่อุณหภูมิ 35°C มีค่าสูงสุด และมีค่าต่ำสุดที่อุณหภูมิ 10°C ทั้งนี้อายุการเก็บรักษาของผักโขมสวนสดเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 25°C

และ 35°C เมื่อพิจารณาจากลักษณะปรากฏของการเหี่ยวเฉา และ/หรือมีการมองเห็นการเจริญของเชื้อจุลินทรีย์ด้วยตาเปล่า (รูปที่ 3) ซึ่งไม่เป็นที่ยอมรับของผู้บริโภค เท่ากับ 3 วัน โดยค่าเฉลี่ยร้อยละการสูญเสียน้ำหนักสด (ณ วันที่ 3 ของการเก็บรักษา) เท่ากับ 2.62 และ 4.15 ตามลำดับ จากข้อมูลอายุการเก็บรักษาดังกล่าว ผู้วิจัยจึงไม่ได้ทำการวิเคราะห์การสูญเสีย น้ำหนัก และปริมาณกรดแอสคอร์บิกของใบผักโขมสวนสดที่อุณหภูมิ 25°C และ 35°C ภายหลังจากการเก็บรักษา 3 วัน เมื่อพิจารณาในรูปที่ 2 พบว่า ร้อยละการสูญเสียน้ำหนักสดของใบผักโขมสวนสดที่อุณหภูมิ 10°C มีค่าต่ำกว่าร้อยละ 3.50 ตลอดการเก็บรักษา 10 วัน



รูปที่ 2 ร้อยละการสูญเสียน้ำหนักของผักโขมสด (ค่าเฉลี่ย n=3) เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 10 25 และ 35°C เป็นเวลา 10 วัน

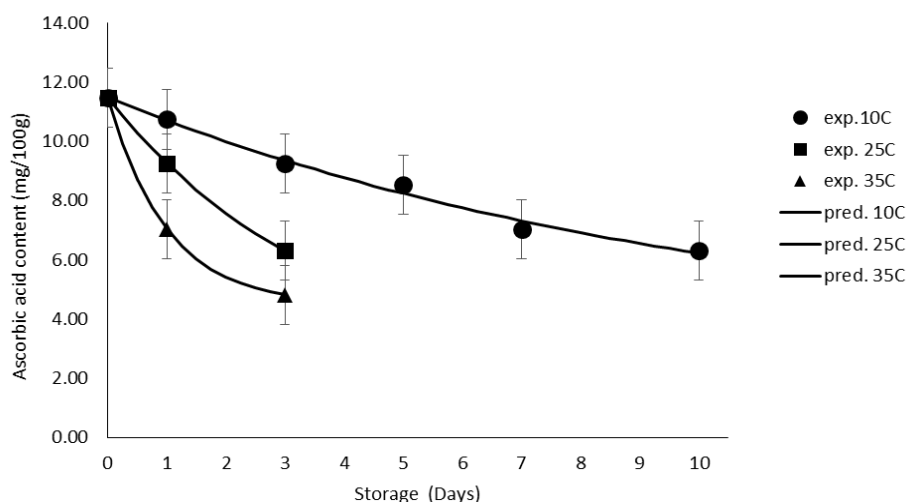


รูปที่ 3 ลักษณะปรากฏของใบผักโขมสวนสด เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 10 25 และ 35°C เป็นเวลา 10 วัน

การเปลี่ยนแปลงปริมาณกรดแอสคอร์บิก

การเปลี่ยนแปลงปริมาณหรือความเข้มข้นของกรดแอสคอร์บิกของผักโขมสวนสดซึ่งเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 10-35°C แสดงในรูปที่ 4 พบว่า ปริมาณกรดแอสคอร์บิกมีค่าลดลงจากค่าเริ่มต้น ($11.48 \text{ mg } 100\text{g}^{-1}$) อย่างต่อเนื่องในระหว่างการเก็บรักษา การลดลงดังกล่าวเกิดขึ้นได้เร็วเมื่ออุณหภูมิของการเก็บรักษาสูงขึ้น เมื่อพิจารณาวันที่ 3 ของการเก็บรักษา พบว่า ปริมาณกรดแอสคอร์บิกของใบผักโขมสวนสดเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 25°C และ 35°C มีค่าลดลงจากค่าเริ่มต้นประมาณ 1.82 และ 2.38 เท่า ตามลำดับ ดังที่ได้นำเสนอในหัวข้อการสูญเสียน้ำหนักสดว่าอายุการเก็บรักษาของใบผักโขมสวนสดที่อุณหภูมิ 25°C และ 35°C เท่ากับ 3 วัน เนื่องจากเกิดการเน่าเสียซึ่งเกิดจากการเจริญของเชื้อจุลินทรีย์ที่สามารถสังเกตได้ด้วยตาเปล่า ดังแสดงใน

รูปที่ 3 ซึ่งอาจไม่เป็นที่ยอมรับในการนำมาบริโภค ดังนั้นจึงไม่ได้ทำการวิเคราะห์ปริมาณกรดแอสคอร์บิกภายหลังจากวันที่ 3 ในการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 10°C พบว่า ปริมาณกรดแอสคอร์บิกลดลงจากค่าเริ่มต้นเท่ากับ 1.82 เท่าเมื่อพิจารณา ณ วันที่ 10 ของการเก็บรักษา (รูปที่ 4)

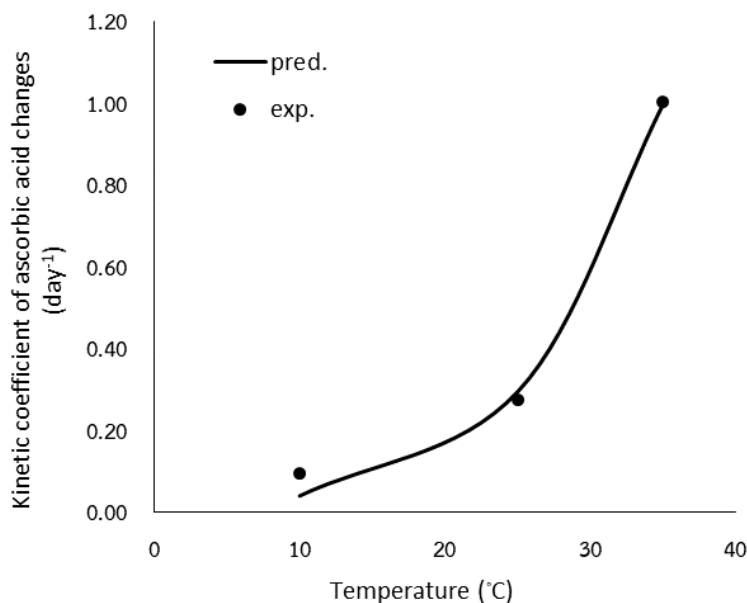


รูปที่ 4 การเปลี่ยนแปลงปริมาณกรดแอสคอร์บิกในผักโขมสวนสดเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 10 25 และ 35°C เป็นเวลา 10 วัน สัญลักษณ์ ● ■ ▲ ที่แสดงตามลำดับอุณหภูมิ (10 25 และ 35°C) แทนข้อมูลที่ได้จากการทดลอง (exp.) (ค่าเฉลี่ย $\pm$ ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน $n=3$) และ เส้นสีดำ คือ ค่าปริมาณกรดแอสคอร์บิกที่ทำนายโดย Eq. 5 (pred.)

ตารางที่ 2 พารามิเตอร์ของแบบจำลองคณิตศาสตร์ของจลนพลศาสตร์ของปฏิกิริยาอันดับ 1 ของการเปลี่ยนแปลงปริมาณกรดแอสคอร์บิกของใบผักโขมสวนสด เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 10 25 และ 35°C เป็นเวลา 10 วัน

อุณหภูมิ (°C)	$k_{1st,amr}^{ASC}$	R^2	RMSE
10	0.09	0.99	0.120
25	0.28	0.99	0.001
35	1.00	0.99	0.001

จากการศึกษาจลนพลศาสตร์ของการเปลี่ยนแปลงปริมาณกรดแอสคอร์บิกด้วยแบบจำลองคณิตศาสตร์ First-order fractional conversion model (Eq. 5) พบว่า แบบจำลองคณิตศาสตร์สามารถทำนายการเปลี่ยนแปลงปริมาณกรดแอสคอร์บิกของผักโขมสวนสดในแต่ละอุณหภูมิได้ดี โดยมีค่า R^2 และ RMSE อยู่ในช่วง 0.99 และ 0.001-0.120 ตามลำดับ (ตารางที่ 2) จากการประมาณค่าปริมาณกรดแอสคอร์บิกด้วย Eq. 5 ตามวิธี Non-linear regression ทำให้ได้ค่า $k_{1st,amr}^{ASC}$ และพบว่ามีค่าเพิ่มขึ้นสอดคล้องกับการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิการเก็บรักษาในลักษณะของเอกซ์โปเนนเชียล (ดังกรณีของอัตราการหายใจ) (รูปที่ 4) ดังนั้นจึงได้นำแบบจำลองคณิตศาสตร์ Eq. 2 มาประมาณค่า $k_{1st,amr}^{ASC}$ ที่สัมพันธ์กับอุณหภูมิการเก็บรักษา โดยพบว่าแบบจำลองคณิตศาสตร์ Eq. 2 สามารถทำนายค่า $k_{1st,amr}^{ASC}$ ได้อย่างดี มีค่า R^2 และ RMSE อยู่ในช่วง 0.99 และ 0.02 ตามลำดับ ค่า $k_{1st,ref,amr}^{ASC}$ และค่า $Ea_{k_{1st}^{ASC}}$ เท่ากับ 0.08 day^{-1} และ $93.10 \text{ kJ mol}^{-1}$ ตามลำดับ (รูปที่ 5 และตารางที่ 3)



รูปที่ 5 การเปลี่ยนแปลงของค่า $k_{1st,amr}^{ASC}$ (ข้อมูลสัญลักษณ์ ●) ที่สัมพันธ์กับอุณหภูมิการเก็บรักษาและการทำนายด้วยสมการ Eq. 5 (ข้อมูลเส้นทึบ)

ตารางที่ 3 ตัวแปรในความสัมพันธ์อาร์เรเนียส (Eq. 2) ระหว่างอัตราการเปลี่ยนแปลงกรดแอสคอร์บิกและอุณหภูมิ และค่า R^2 และ $RMSE$

$k_{1st,ref,amr}^{ASC}$ (day ⁻¹)	$Ea_{r,amr}^{ASC}$ (kJ mol ⁻¹)	R^2	$RMSE$
0.08	93.10	0.99	0.02

การอภิปรายผล

จากการวิจัยนี้ แสดงให้เห็นถึงผลของทั้งอุณหภูมิและระยะเวลาการเก็บรักษาที่มีต่อการเปลี่ยนแปลงภายหลังการเก็บเกี่ยวของใบผักโขมสวนสด ซึ่งได้ศึกษาและรายงานในด้านอัตราการหายใจ การสูญเสียน้ำหนักสด และปริมาณกรดแอสคอร์บิก โดยการเปลี่ยนแปลงทั้งหมดเกิดขึ้นได้อย่างรวดเร็วภายใต้อุณหภูมิการเก็บรักษาที่สูงและต่อเนื่องตลอดอายุการเก็บรักษา ความสัมพันธ์ของอุณหภูมิและ (1) อัตราการหายใจ และ (2) อัตราการลดลงของปริมาณกรดแอสคอร์บิกสอดคล้องกับความสัมพันธ์อาร์เรเนียส (Arrhenius relationship) ที่แสดงถึงการเปลี่ยนแปลงซึ่งเกิดสูงขึ้นแบบเอกซ์โปเนนเชียลเมื่ออุณหภูมิของสิ่งแวดล้อม (ณ ที่นี้ คือ อุณหภูมิการเก็บรักษา) มีค่าเพิ่มสูงขึ้น ผลการศึกษานี้สนับสนุนข้อมูลความสัมพันธ์ของอุณหภูมิการเก็บรักษากับอัตราการหายใจของผักปวยเล้ง ซึ่งอยู่ใน *Amaranthaceae* family เช่นเดียวกับผักโขมสวนสด และมีการเรียกชื่อผักปวยเล้งว่าผักโขม ที่รายงานโดย Examma et al. (1993) และ Fonseca et al. (2002) พบว่า อัตราการหายใจของผักปวยเล้งเพิ่มขึ้นในลักษณะเอกซ์โปเนนเชียลเมื่ออุณหภูมิการเก็บรักษาเพิ่มขึ้นและสามารถทำนายได้ดีด้วยความสัมพันธ์อาร์เรเนียส โดยค่า Energy of activation (Ea_{r,co_2}) ของการเปลี่ยนแปลงอัตราการหายใจ เท่ากับ 36 kJ mol⁻¹ ซึ่งพบว่ามีค่าใกล้เคียงกับค่า Ea_{r,co_2} ของการเปลี่ยนแปลงอัตราการหายใจของใบผักโขมสวนสด ซึ่งเท่ากับ 32.65 kJ mol⁻¹

จากการสืบค้นข้อมูลในเอกสารอ้างอิงที่เกี่ยวข้องยังไม่พบการรายงานค่า Ea_{r,co_2} ของใบผักโขมสวนสด ในการศึกษาการเก็บรักษาผักอวอเตอร์เครสสด สุกัญญา และคณะ (2565) รายงานว่าค่า Energy of activation ของการเปลี่ยนแปลงอัตราการ

หายใจในผักกาดเต๋อเครสสดเท่ากับ $60.43 \text{ kJ mol}^{-1}$ ซึ่งมีค่าที่สูงกว่าใบผักโขมสวนสดเกือบสองเท่า ทั้งนี้ค่า Energy of activation แสดงถึงความไว (Sensitivity) ของอัตราการหายใจ (หรืออัตราการเปลี่ยนแปลงในประเด็นอื่น ๆ) ต่อการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิ (วีรเวทย์, 2562) ดังนั้นจึงทำให้ทราบในเบื้องต้นว่าผักกาดเต๋อเครสมีแนวโน้มการเพิ่มขึ้นของอัตราการหายใจที่เร็วกว่าใบผักโขมสวนสด และอาจส่งผลให้เกิดการเปลี่ยนแปลงคุณภาพภายหลังการเก็บเกี่ยวได้เร็วกว่า

จากข้อมูลของการเปลี่ยนแปลงน้ำหนักสดในใบผักโขมสวนสด พบว่า ในระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิสูง ($25-35^{\circ}\text{C}$) เกิดการสูญเสียน้ำหนักสดอย่างรวดเร็วเมื่อเทียบกับอุณหภูมิต่ำ (10°C) สอดคล้องกับ พรชัย และคณะ (2563) พบว่า การเก็บรักษาไมโครกรีน (Microgreen) ที่อุณหภูมิ $5-10^{\circ}\text{C}$ เกิดการสูญเสียน้ำหนักที่ต่ำกว่าการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 25°C โดยการสูญเสียน้ำหนักสดดังกล่าวเป็นผลมาจากการสูญเสียน้ำซึ่งเกิดจากความแตกต่างของความดันไอน้ำภายในและภายนอกผลผลิต ส่งผลให้น้ำจากภายในผลผลิตเกิดการแพร่ออกไปยังภายนอกผลผลิต (จริงแท้, 2550) ทั้งนี้อุณหภูมิที่สูงส่งผลให้ความดันไอน้ำภายในผลผลิตสูงและยังส่งผลให้สมบัติการยอมให้น้ำซึมผ่าน (Water vapor permeance) ของเนื้อเยื่อและส่วนประกอบอื่น ๆ เพิ่มขึ้นและนำไปสู่การเคลื่อนที่ของไอน้ำจากผลผลิตสู่สิ่งแวดล้อมด้วยอัตราเร็วที่สูงกว่าอุณหภูมิต่ำ การสูญเสียน้ำหนักสดส่งผลต่อลักษณะปรากฏของใบที่เหี่ยวเฉาของผลผลิตได้ (วีรเวทย์, 2562) นอกจากนี้อัตราการหายใจที่สูงก็ส่งผลกระตุ้นการสูญเสียน้ำในระหว่างการเก็บรักษาของผลผลิตได้เช่นเดียวกัน จากข้อมูลดังกล่าวสามารถใช้เป็นแนวทางในการจัดการระหว่างการเก็บรักษาสถิตผลเพื่อลดการสูญเสียน้ำหนักซึ่งเป็นผลมาจากอุณหภูมิในระหว่างการจัดเก็บได้

การเปลี่ยนแปลงของกรดแอสคอร์บิกในระหว่างการเก็บรักษาใบผักโขมสวนสดเกิดการเปลี่ยนแปลงอย่างรวดเร็วเมื่ออุณหภูมิเพิ่มสูงขึ้น จากข้อมูลการเปลี่ยนแปลงกรดแอสคอร์บิกที่เป็นปฏิกิริยาอันดับ 1 ทำให้ทราบว่าอัตราการลดลงของกรดแอสคอร์บิกในช่วงแรกเกิดขึ้นได้ค่อนข้างเร็วเนื่องจากปริมาณเริ่มต้นของกรดแอสคอร์บิกยังมีปริมาณที่สูงโดยเฉพาะที่อุณหภูมิสูงอัตราเร็วของปฏิกิริยาเกิดขึ้นได้อย่างรวดเร็ว ทั้งนี้อัตราเร็วของการลดลงของปริมาณกรดแอสคอร์บิกในใบผักโขมสวนสดมีความสัมพันธ์กับอุณหภูมิการเก็บรักษาแบบเอกโปเนนเชียลหรือความสัมพันธ์อาร์รีเนียส โดยค่า Energy of activation ($E_{a_{\text{asc}}}$) ที่มีค่าเท่ากับ $93.10 \text{ kJ mol}^{-1}$ ในปัจจุบันยังไม่พบรายงานค่า $E_{a_{\text{asc}}}$ ของใบผักโขมสวนสดหรือใบผักปวยเล้งในการศึกษาจลนพลศาสตร์การเปลี่ยนแปลงปริมาณกรดแอสคอร์บิกในใบผักกาดเต๋อเครสสด สุกัญญา และคณะ (2565) รายงานว่า ค่า Energy of activation มีค่าเท่ากับ $35.13 \text{ kJ mol}^{-1}$ ซึ่งมีค่าต่ำกว่าในใบผักโขมสวนสดประมาณ 2.65 เท่า โดยแสดงให้เห็นว่าปริมาณกรดแอสคอร์บิกในใบผักโขมสวนสดมีแนวโน้มการลดลงด้วยอัตราที่เร็วกว่าในใบผักกาดเต๋อเครสสดเมื่ออุณหภูมิการเก็บรักษาที่สูงขึ้น การลดลงของกรดแอสคอร์บิกดังกล่าวอาจเป็นผลมาจากการกระตุ้นการทำงานของเอนไซม์แอสคอร์บิกออกซิเดส (Ascorbic acid oxidase) ซึ่งส่งผลให้กรดแอสคอร์บิกเกิดการเปลี่ยนรูปหรือเกิดการสลายตัวได้เมื่อสัมผัสกับ O_2 หรืออุณหภูมิที่สูงขึ้นในระหว่างการเก็บรักษา (นิธิยา, 2545) นอกจากนี้การสูญเสียน้ำในระหว่างการเก็บรักษายังส่งผลให้เกิดการสูญเสียของกรดแอสคอร์บิกจึงทำให้ปริมาณของกรดแอสคอร์บิกลดลงในระหว่างการเก็บรักษา (จริงแท้, 2550) ซึ่งสอดคล้องกับข้อมูลของการสูญเสียน้ำหนักสดที่เพิ่มขึ้นในระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่าง ๆ จากข้อมูลดังกล่าวทำให้ทราบถึงความสำคัญของอุณหภูมิที่ใช้ในระหว่างการเก็บรักษาซึ่งจะส่งผลต่อการลดลงของกรดแอสคอร์บิกในระหว่างการเก็บรักษาได้

บทสรุป

อุณหภูมิและระยะเวลาที่ใช้ในระหว่างการเก็บรักษาใบผักโขมสวนสดเป็นปัจจัยสำคัญที่ส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงภายหลังการเก็บเกี่ยว การเก็บรักษาใบผักโขมสวนสดที่อุณหภูมิ 10°C ช่วยชะลออัตราการหายใจ การสูญเสียน้ำหนักสด และปริมาณกรดแอสคอร์บิกได้ดีกว่าการเก็บรักษาใบผักโขมสวนสดที่อุณหภูมิ 25°C และ 35°C ในระหว่างการเก็บรักษา 10 วัน ทั้งนี้ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิการเก็บรักษาและอัตราการหายใจหรือการลดลงของปริมาณกรดแอสคอร์บิกเป็นในรูปแบบเอกโปเนนเชียลซึ่งสามารถทำนายได้ดีด้วยแบบจำลองคณิตศาสตร์ตามความสัมพันธ์อาร์รีเนียส นอกจากนี้จลนพลศาสตร์ของ

การลดลงของปริมาณกรดแอสคอร์บิกในใบผักโขมสวนสดเป็นปฏิกิริยอันดับที่ 1 โดยปริมาณกรดแอสคอร์บิกในแต่ละช่วงเวลาของการเก็บรักษาสามารถทำนายได้ดีด้วยแบบจำลองคณิตศาสตร์ First-order fractional conversion model ที่ได้ประยุกต์ใช้ในการศึกษานี้ ข้อมูลจากการศึกษาดังกล่าวสามารถนำมาใช้เป็นแนวทางสำคัญในการจัดการใบผักโขมสดหรือประยุกต์ใช้กับผลิตภัณฑ์อื่น ๆ โดยเฉพาะผักรับประทานใบเพื่อชะลอการเปลี่ยนแปลงที่นำไปสู่การเสื่อมเสียในระหว่างการเก็บรักษาผลิตผลได้

กิตติกรรมประกาศ

คณะวิจัยขอขอบคุณศูนย์วิจัยและพัฒนาอุตสาหกรรมอาหารพื้นบ้าน คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี และศูนย์นวัตกรรมเทคโนโลยีหลังการเก็บเกี่ยว ที่ให้การสนับสนุนงบประมาณและห้องปฏิบัติการในการดำเนินกิจกรรมวิจัยนี้

เอกสารอ้างอิง

- จริงแท้ ศิริพานิช. (2550). ชีววิทยาหลังการเก็บเกี่ยวและการหายใจของพืช. พิมพ์ครั้งที่ 2. โรงพิมพ์ศูนย์ส่งเสริมและฝึกอบรมการเกษตรแห่งชาติ: นครปฐม.
- นิธิยา รัตนพานนท์. (2545). เคมีอาหาร. พิมพ์ครั้งที่ 2. โรงพิมพ์โอเอสพรี้นติ้งเฮาส์: กรุงเทพฯ.
- ปนิวัฒน์ ทาสา และวีรเวทย์ อุทโธ. (2559). จลนพลศาสตร์ของการเปลี่ยนแปลงของคลอโรฟิลล์เอนในใบผักชีฝรั่งที่สัมพันธ์กับอุณหภูมิการเก็บรักษาและสภาวะบรรยากาศตัดแปรในบรรจุภัณฑ์. ใน การประชุมวิชาการระดับชาติ มอบ. วิจัยครั้งที่ 10 การพัฒนาท้องถิ่นสู่ภูมิภาคอาเซียน: งานวิจัยกับอนาคตสังคมไทย 7-8 กรกฎาคม 2559. มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี. อุบลราชธานี.
- พรชัย ทาระโคตร, ลลิตา เจริญทรัพย์, ภาณุมาศ ฤทธิไชย และสมพงษ์ ทะบันหาร. (2563). ผลของอุณหภูมิและระยะเวลาการเก็บรักษาต่อคุณภาพปริมาณสารต้านอนุมูลอิสระและความสามารถในการยับยั้งอนุมูลอิสระในไมโครกรีนผักชีหูด (*Raphanus sativus* var. *caudatus* Alef). วารสารแก่นเกษตร. 48(1): 201-210.
- วีรเวทย์ อุทโธ. (2562). การบรรจุภัณฑ์บรรยากาศตัดแปรแอคทีฟสำหรับผักและผลไม้สด. พิมพ์ครั้งที่ 2. โรงพิมพ์มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี: อุบลราชธานี.
- วีรเวทย์ อุทโธ, วรงค์ นัยวินิจ, เรวัต ชัยราช, วุฒพงษ์ วัฒนกุล และอดุลย์ อภินันท์. (2563). การหายใจและการสูญเสียน้ำหนักของมะม่วงแก้วขมิ้นที่สัมพันธ์กับอุณหภูมิในระหว่างกิจกรรมโลจิสติกส์ภายหลังการเก็บเกี่ยวของเกษตรกรรายย่อยชาวแก้มพูชา. ใน การประชุมวิชาการระดับชาติ มอบ. วิจัยครั้งที่ 14 Research and Innovations for All 3-4 กันยายน 2563. มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี. อุบลราชธานี.
- ศศิมล มุ่งหมาย, วุฒพงษ์ วัฒนกุล, อดุลย์ อภินันท์ และวีรเวทย์ อุทโธ. (2565). ผลการปล่อยไอระเหยเอทานอลในบรรจุภัณฑ์แอคทีฟต่อคุณภาพการเก็บรักษาสำหรับไชยเสด. วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏบุรีรัมย์. 6(2): 33-50.
- สุกัญญา บุญตะนัย, หทัยพร กัมพวงศ์, นิตยา งามาม, กฤตยา อุทโธ, เรวัต ชัยราช และวีรเวทย์ อุทโธ. (2565). ผลของอุณหภูมิและระยะเวลาเก็บรักษาต่อการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของวอเตอร์เครส. ใน การประชุมวิชาการระดับชาติ ครั้งที่ 13 วิจัยและนวัตกรรมเพื่อพัฒนาเศรษฐกิจ BCG 17-18 พฤศจิกายน 2565. มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน วิทยาเขตสุรินทร์. สุรินทร์. 498-509.
- หทัยพร กัมพวงศ์. (2563). การพัฒนาของควบคุมการปล่อยไอระเหยเอทานอลด้วยการกระตุ้นโดยความชื้นเพื่อการบรรจุภัณฑ์แอคทีฟสำหรับพริกหวานสด. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาเทคโนโลยีการอาหาร คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี.
- A.O.A.C. (1990). Official methods of analysis of the Association of Official Analytical Chemists. Association of Official Analytical Chemists Inc. U.S.A. 910-930: 1045-1114.

- Ávila I.M.L.B. and Silva C.L.M. (1999). Modelling kinetics of thermal degradation of color in peach puree. *Journal of Food Engineering*. 39(2): 161–166.
- Bangar S.P., Dunno K., Dhull S.B., Siroha A.K., Changan S., Maqsood S. and Rusu A.V. (2022). Avocado seed discoveries chemical composition biological properties and industrial food applications. *Food Chemistry X*. 16: 100507.
- Chaudhary S., Hisham H. and Mohamed D. (2018). A review on phytochemical and pharmacological potential of watercress plant. *Asian Journal of Pharmaceutical and Clinical Research*. 11: 102.
- Chen X.Y., Hertog M.L.A.T.M. and Banks N.H. (2000). The effect of temperature on gas relations in MA packages for capsicums (*Capsicum annuum* L., cv. Tasty) an integrated approach. *Postharvest Biology and Technology*. 20: 71-80.
- Cruz R.M.S., Vieira M.C. and Silva C.L.M. (2006). Effect of heat and thermosonication treatments on peroxidase inactivation kinetics in watercress (*Nasturtium officinale*). *Journal of Food Engineering*. 72(1): 8-15.
- Cruz R.M.S., Vieira M.C. and Silva C.L.M. (2008). Effect of heat and thermosonication treatments on watercress (*Nasturtium officinale*) vitamin C degradation kinetics. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*. 9(4): 483-488.
- Earle M.D. and Earle R.L. (2003). Product changes during processing. *Fundamentals of Food Reaction Technology*. pp. 32-72.
- Exama A., Arul J., Lencki R.W., Lee L.Z. and Toupin C. (1993). Suitability of plastic films for modified atmosphere packaging of fruits and vegetables. *Journal of Food Science*. 58: 1365–1370.
- Fonseca S.C., Oliveira F.A. and Brecht J.K. (2002). Modelling respiration rate of fresh fruits and vegetables for modified atmosphere packages a review. *Journal of food engineering*. 52(2): 99-119.
- Giallourou N., Oruna-Concha M.J. and Harbourne N. (2016). Effects of domestic processing methods on the phytochemical content of watercress (*Nasturtium officinale*). *Food Chemistry*. 212: 411-419.
- Hertog M.L.A.T., Peppelenbos H.W., Evelo R.G. and Tijskens L.M.M. (1998). Dynamic and generic model of gas exchange of respiring produce the effects of oxygen carbon dioxide and temperature. *Postharvest Biology and Technology*. 14: 349-335.
- Izumi H., Nakatani T. and Ogikubo H. (1999). 364 Controlled-atmosphere storage of fresh-cut spinach at various temperatures. *Hortscience*. 34(3): 506-506.
- Jahan F., Bhuiyan M.N.H., Islam M.J., Ahmed S., Hasan M.S., Bashera M.A. and Moulick S.P. (2022). *Amaranthus tricolor* (red amaranth) an indigenous source of nutrients minerals amino acids phytochemicals and assessment of its antibacterial activity. *Journal of Agriculture and Food Research*. 10: 100419.
- Jan N., Hussain S.Z., Naseer B. and Bhat T.A. (2023). Amaranth and quinoa as potential nutraceuticals a review of anti-nutritional factors health benefits and their applications in food medicinal and cosmetic sectors. *Food Chemistry X*. 18: 100687.
- Jiménez-Aguilar D.M. and Grusak M.A. (2017). Minerals vitamin c phenolics flavonoids and antioxidant activity of amaranthus leafy vegetables. *Journal of Food Composition and Analysis*. 58: 33-39.
- Jin S., Ding Z. and Xie J. (2021). Modified atmospheric packaging of fresh-cut amaranth (*Amaranthus tricolor* L.) for extending shelf life. *Agriculture*. 11(10): 1016.
- Kaszás L., Alshaal T., El-Ramady H., Kovács Z., Koroknai J., Elhawat N. and Domokos-Szabolcsy É. (2020). Identification of bioactive phytochemicals in leaf protein concentrate of jerusalem artichoke (*Helianthus tuberosus* L.). *Plants*. 9(7): 889.

- Marc M., Cournol M., Hanteville S., Poisson A.-S., Guillou M.-C., Pelletier S., Laurens F., Tessier C., Coureau C., Renou J.-P., Delaire M. and Orsel M. (2020). Pre-harvest climate and post-harvest acclimation to cold prevent from superficial scald development in granny smith apples. *Scientific Reports*. 10(1): 6180.
- Maringgal B., Hashim N., Tawakkal I. S.M.A. and Mohamed M.T.M. (2020). Recent advance in edible coating and its effect on fresh/fresh-cut fruits quality. *Trends in Food Science & Technology*. 96: 253-267.
- Monthakantirat O., Chulikhit Y., Maneenet J., Khamphukdee C., Chotritthirong Y., Limsakul S. and Daodee S. (2022). Total active compounds and mineral contents in *Wolffia globosa*. *Journal of Chemistry*. 2022(1): 9212872.
- Montowska M., Kowalczewski P.L., Rybicka I. and Fornal E. (2019). Nutritional value protein and peptide composition of edible cricket powders. *Food Chemistry*. 289: 130-138.
- Phungam N., Utto W. and Pruthikul R. (2018). Interaction between surface coating using cabbage leaf wax extract and temperature on water vapour and gas exchange properties of fresh okra (*Abelmoschus esculentus* (L.) Moench). *International Food Research Journal*. 25(5): 1885-1892.
- Ranasinghe R., Maduwanthi S. and Marapana R. (2019). Nutritional and health benefits of jackfruit (*Artocarpus heterophyllus* Lam.) a review. *International journal of food science*. 2019(1): 4327183.
- Sarker U., Lin Y.-P., Oba S., Yoshioka Y. and Hoshikawa K. (2022). Prospects and potentials of underutilized leafy amaranths as vegetable use for health-promotion. *Plant Physiology and Biochemistry*. 182: 104-123.
- Sun B., Lin P.-X., Xia P.-X., Di H.-M., Zhang J.-Q., Zhang C.-L. and Zhang F. (2020). Low temperature storage after harvest retards the deterioration in the sensory quality health-promoting compounds and antioxidant capacity of baby mustard. *RSC advances*. 10(60): 36495-36503.
- Thammawong M., Kasai E., Syukri D. and Nakano K. (2019). Effect of a low oxygen storage condition on betacyanin and vitamin c retention in red amaranth leaves. *Scientia Horticulturae*. 246: 765-768.
- Zhu F. (2023). Amaranth proteins and peptides biological properties and food uses. *Food Research International*. 164: 112405.

Received: December 19, 2023; Revised: July 8, 2024; Accepted: August 20, 2024

ผลของอุณหภูมิและระยะเวลาการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็งต่อคุณภาพกล้วยหอมทองอบกรอบ Effects of temperature and freeze-drying time on the quality of crispy Hom Thong banana (*Musa acuminata* (AAA group) 'Gross Michel')

ประกาศ ชมภูทอง^{1*} กัญญา รัชตชัยยศ¹ บำเพ็ญ นิมเขียน¹ และสุภัทรา กล่ำสกุล¹
Prakard Chomphuthong^{1*}, Kanya Ratchatachaiyos¹, Bumpen Nimkian¹ and
Supatra Klamsakul¹

¹คณะเทคโนโลยีการเกษตร มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบุรี จังหวัดเพชรบุรี

¹Faculty of Agricultural Technology Phetchaburi Rajapath University, Phetchaburi Province

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

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาอุณหภูมิและระยะเวลาที่เหมาะสมต่อการผลิตกล้วยหอมทองอบกรอบด้วยวิธีการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง โดยศึกษาสภาวะอุณหภูมิและเวลาของการทำแห้งขั้นต้นที่อุณหภูมิ -15 องศาเซลเซียส และ -20 องศาเซลเซียส เวลา 12 14 และ 16 ชั่วโมง ตามลำดับ และการทำแห้งขั้นที่สองที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส เวลา 14 16 และ 18 ชั่วโมง ผลการประเมินสภาวะที่เหมาะสมสำหรับกระบวนการทำแห้ง พบว่า คุณภาพด้านประสาทสัมผัสของกล้วยหอมทองอบกรอบทำแห้งขั้นต้นที่อุณหภูมิ -20 องศาเซลเซียส เวลา 16 ชั่วโมง และทำแห้งขั้นที่สองที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส เวลา 18 ชั่วโมง ผู้ทดสอบให้คะแนนด้านสี และเนื้อสัมผัสอยู่ในระดับชอบปานกลางถึงชอบมาก อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) ส่วนด้านลักษณะปรากฏ รสชาติและความชอบโดยรวมมีคะแนนไม่แตกต่างกันอยู่ในระดับชอบปานกลาง ($p > 0.05$) คุณภาพทางกายภาพด้านค่าสีมีค่า L^* , a^* และ b^* ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ ค่าความเป็นกรด-ด่าง ปริมาณกรด ปริมาณความชื้น และปริมาณน้ำอิสระของกล้วยหอมทองอบกรอบที่ทำแห้งทั้ง 2 สภาวะนั้นไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) ส่วนคุณภาพด้านเนื้อสัมผัส พบว่า ค่าความแข็งของกล้วยหอมทองอบกรอบที่ทำแห้งทั้ง 2 สภาวะแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) มีค่าที่ 19.42 และ 16.61 นิวตัน ตามลำดับ

คำสำคัญ: กล้วยหอมทอง สภาวะการทำแห้ง การทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง กล้วยหอมทองอบกรอบ

Abstract

The purpose of this research aim to study the appropriate temperature and time for producing crispy banana (*Musa acuminata* (AAA group) 'Gross Michel') by freeze drying method. The optimum conditions for the freeze dried process of the crispy banana such as temperature and time in freeze drying on primary drying at -15 and -20°C for 12, 14 and 16 hours and secondary drying at 50°C for 14, 16 and 18 hours were studied. The result showed that sensory evaluation was to the primary drying at -20°C for 16 hours and secondary drying at 50°C for 18 hours by panelists recognized the feature in color and texture score in moderately like and very much like level ($p \leq 0.05$) and that there was no statistical difference in appearance, flavor and overall liking properties score in moderately like level ($p > 0.05$). The result showed the color L^*

a* and b* and total soluble solid, pH and acidity properties quality and moisture content and a_w that there was no statistical difference ($p>0.05$). When the crispy banana parameter of hardness properties the result showed that for the freeze dried two condition process there was a statistical difference ($p\leq 0.05$) at 19.42 and 16.61 N. respectively.

Keywords: Banana (*Musa acuminata* (AAA group) 'Gross Michel'), Drying condition, Freeze drying, Crispy banana

บทนำ

ปัจจุบันแนวโน้มพฤติกรรมผู้บริโภคอาหารมีการเปลี่ยนแปลงไปจากเดิม ผู้บริโภคมีการตื่นตัวดูแลห่วงใยในสุขภาพของตนเองและให้ความสำคัญกับการบริโภคอาหารที่มีความปลอดภัยมากขึ้นดังจะเห็นได้จากความนิยมบริโภคอาหารประเภทออร์แกนิกหรือคลีนฟู้ด ซึ่งเป็นอาหารที่ผ่านกระบวนการปรุงแต่งน้อยที่สุด กลุ่มของอาหารเพื่อสุขภาพได้แก่อาหารที่มีไขมันต่ำอาหารจากผัก ผลไม้ และอาหารที่ให้ความสมดุลพลังงานกับร่างกาย ผลพวงจากภาวะเศรษฐกิจและสังคมที่มีการเปลี่ยนแปลงไปอย่างรวดเร็ว ทำให้วิถีชีวิตความเป็นอยู่ของผู้คนในสังคมเปลี่ยนแปลงไปด้วย (สำนักเศรษฐกิจการเกษตร, 2564)

ดังนั้นการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็งจึงเป็นกระบวนการอบแห้งที่มีการใช้งานอย่างแพร่หลายโดยเฉพาะอุตสาหกรรมยาและอาหารที่ต้องการรักษาสมบัติทางยา กลิ่นรส หรือสารที่สามารถเสื่อมสลายได้ง่ายที่อุณหภูมิสูง อาหารที่ผ่านกระบวนการทำแห้งด้วยวิธีนี้จะมีรสชาติและสารอาหารใกล้เคียงกับอาหารเดิมมากที่สุด ทั้งสี สัน เนื้อสัมผัส รูปร่าง และด้วยคุณสมบัติที่มีความชื้นต่ำจึงไม่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของเชื้อจุลินทรีย์ ส่งผลให้อายุการเก็บรักษาของอาหารชนิดนี้ค่อนข้างนานกว่าอาหารที่ผ่านกระบวนการทำแห้งด้วยวิธีอื่น ๆ ถ้าหากมีการเก็บอย่างเหมาะสมก็จะสามารถเก็บรักษาไว้ได้นาน นอกจากนี้การที่น้ำถูกดึงออกไปมากกว่าร้อยละ 95 จึงทำให้อาหารมีน้ำหนักเบาสะดวกต่อการพกพาและการขนส่งแต่เทคนิคนี้ไม่เหมาะกับอาหารที่มีไขมันสูง (วันชนก, 2564)

กระบวนการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็งแบ่งออกเป็น 3 ขั้นตอน ได้แก่ ขั้นตอนแรก (Freezing stage) เป็นการแช่เยือกแข็งอาหารให้มีอุณหภูมิต่ำกว่า 0 องศาเซลเซียส กระบวนการแช่เยือกแข็งก่อนการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง เป็นเทคนิคที่นำมาใช้เพื่อเปลี่ยนสถานะของน้ำในอาหารจากของเหลวเป็นของแข็งเพื่อให้เกิดการระเหิดในการทำแห้งที่อุณหภูมิต่ำอุณหภูมิที่นิยมใช้ในการแช่เยือกแข็งก่อนการทำแห้ง คือ -18 องศาเซลเซียส และ -40 องศาเซลเซียส หรือต่ำกว่า ขนาดของผลึกน้ำแข็ง และอัตราการแช่เยือกแข็ง ส่งผลอย่างมากต่อคุณภาพของอาหาร (Reyes et al., 2011) นอกจากนี้กระบวนการนี้ยังช่วยลดระยะเวลาการทำแห้ง และช่วยรักษาโครงสร้างของวัตถุดิบ ผลิตภัณฑ์ที่ได้จึงมีการคงรูปร่างได้ดีใกล้เคียงของสด (Tatemoto et al., 2015) ขั้นตอนที่สองของกระบวนการทำแห้ง คือ ขั้นตอนการทำแห้งขั้นปฐมภูมิ (Primary drying stage) เป็นการระเหิด (Sublimation) เอน้ำแข็งอิสระ (Free ice) ในอาหารออก การระเหิดเป็นกลไกสำคัญในการกำจัดน้ำ อาศัยหลักการสมดุลมวลให้เกิดการถ่ายโอนมวลสาร (Mass transfer) และการถ่ายเทความร้อน (Heat transfer) เหนี่ยวนำให้เกิดการทำแห้ง (Horie et al., 2018) ลำดับการระเหิดจะเกิดบริเวณผิวหน้าอาหารเป็นลำดับแรก จากนั้นน้ำในชั้นอาหารจะค่อย ๆ เคลื่อนที่และระเหิดผ่านรูพรุนที่เกิดขึ้นโดยการลดอุณหภูมิ และความดันบรรยากาศให้ต่ำกว่าความดันบรรยากาศปกติจนเกิดการสูญเสียน้ำในรูปของก๊าซ ข้อควรระวังในกระบวนการทำแห้ง คือควรควบคุมไม่ให้เกิดการถ่ายเทความร้อนไปยังอาหารเร็วเกินไปเพราะอาจทำให้เกิดการละลายหรือเสียสภาพ (Collapse) ของอาหารได้ สำหรับขั้นตอนสุดท้ายของกระบวนการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง คือ ขั้นตอนการทำแห้งแบบทุติยภูมิ (Secondary drying stage) เป็นการขจัดความชื้นที่ยึดเหนี่ยวกับโมเลกุลขององค์ประกอบอื่น ๆ ออกจากอาหารด้วยวิธีการเพิ่มอุณหภูมิให้สูงขึ้นแต่ยังอยู่ภายใต้สภาวะสุญญากาศ ทำให้ความชื้นของอาหารเคลื่อนที่ออกไปในรูปของไอ เพื่อดึงเอาความชื้นที่ตกค้างอยู่ออกไปให้เหลืออยู่ในระดับที่ปลอดภัยกับการเก็บรักษา คือ ความชื้นในผลิตภัณฑ์จะต้องต่ำกว่าร้อยละ 3 ดังนั้นโครงสร้างของอาหารจึงเกิดการเสียหายจากผลของแรงตึงผิว (Surface tension force) ของของเหลวขณะเคลื่อนที่ผ่านโครงสร้างน้อยมาก (Mawilai et al., 2019)

ผลไม้ฟรียซ์ดราย (Freeze dried) หรือผลไม้อบแห้งที่ใช้กระบวนการทำแห้งด้วยการแช่เยือกแข็งโดยอาศัยการระเหิดของน้ำแข็งในสภาวะสุญญากาศนั้นทำให้ผลไม้อบแห้งมีความปลอดภัย มีคุณค่าโภชนาการ ส่งผลดีต่อสุขภาพและสะดวก

จึงได้รับความนิยมเป็นอย่างมาก นอกจากนี้ผลไม้อบแห้งยังใช้เทคโนโลยีการปิดผนึกและการฆ่าเชื้อที่อุณหภูมิสูง จึงรับประกันได้ถึงความปลอดภัยของอาหาร ผลไม้อบแห้งจะยังคงมีกลิ่นผลไม้รสชาติรูปร่าง และคุณค่าโภชนาการของผลไม้สดเหมือนเดิมกว่าร้อยละ 97 โดยไม่ต้องใช้สารกันบูดและสามารถเก็บได้นานในอุณหภูมิปกติที่ให้ความอร่อยและความสด การทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง (Cryodesiccation หรือ Lyophilization) เป็นการทำให้แห้ง (Dehydration) ด้วยการแช่เยือกแข็ง (Freezing) ทำให้น้ำเปลี่ยนสถานะเป็นผลึกน้ำแข็งก่อน แล้วจึงลดความดันเพื่อให้ผลึกน้ำแข็งระเหิด (Sublimation) กลายเป็นไอน้ำ ด้วยการลดความดันให้ต่ำกว่าบรรยากาศปกติ ขณะควบคุมให้อุณหภูมิต่ำ (ที่อุณหภูมิ เท่ากับหรือ ต่ำกว่า 0 องศาเซลเซียส น้ำแข็งระเหิดที่ความดันเท่ากับ 4.7 มิลลิเมตรปรอทหรือต่ำกว่า) (ศูนย์นวัตกรรมอาหารและบรรจุภัณฑ์, 2563)

แนวโน้มอุตสาหกรรมผลไม้อบแห้งในอนาคต มีการคาดการณ์ว่าผู้บริโภคจะหันมาเลือกซื้อผลไม้อบแห้งหรือผลไม้ที่ทำแห้งแบบฟรีซดรายมากขึ้น เนื่องจากผลไม้สดมีระยะเวลาในการเก็บรักษาสั้นและปัจจุบันผลไม้ทุกชนิดสามารถนำมาแปรรูปเป็นผลไม้ฟรีซดรายได้ นอกจากนี้ยังพบว่าในช่วงหลายปีที่ผ่านมาได้มีการเติบโตของแนวคิดการบริโภคสีเขียว และความ เป็นธรรมชาติหรือแนวคิดการบริโภคที่คล้าย ๆ กับการบริโภคสินค้า BCG ของไทย จึงส่งเสริมการบริโภคผลไม้อบแห้งเติบโตขึ้นอย่างต่อเนื่องและคาดว่าในอีก 5 ปีข้างหน้าจะมีการเติบโตต่อเนื่องต่อไป (CAGR) อยู่ที่ร้อยละ 10 ขึ้นไป (ศูนย์วิจัยกสิกรไทย, 2566)

สำหรับกล้วยหอมทอง เป็นพืชเศรษฐกิจชนิดหนึ่งของจังหวัดเพชรบุรีที่มีศักยภาพในการส่งออก โดยเฉพาะตลาดญี่ปุ่นซึ่งมีความต้องการสูง เนื่องจากมีรสชาติดี มีกลิ่นหอม นุ่มรับประทานอีกทั้งผลผลิตมีความปลอดภัย ไม่มีสารเคมีตกค้างปนเปื้อน ทำให้กล้วยหอมทองของเพชรบุรีได้รับความนิยม เป็นที่ยอมรับของผู้บริโภคในตลาดญี่ปุ่น ซึ่งนับวันแนวโน้มความต้องการของตลาดยิ่งเพิ่มมากขึ้น (สำนักงานเกษตรและสหกรณ์จังหวัดเพชรบุรี, 2565) จากการศึกษาเบื้องต้น พบว่า มีกล้วยหอมทองจำนวนมากที่ผลกล้วยมีลักษณะไม่ได้ขนาดตามเกณฑ์มาตรฐาน จัดเป็นกล้วยที่ตกเกรดด้วยคุณภาพไม่สามารถส่งออกจำหน่ายในตลาดต่างประเทศได้ ทำให้ต้องจำหน่ายตลาดในประเทศซึ่งจะมีราคาถูก

ดังนั้นผู้วิจัยจึงได้นำกล้วยหอมทองที่คุณภาพไม่ได้ตามเกณฑ์มาตรฐานมาศึกษาสภาวะการผลิตกล้วยหอมทองอบกรอบ ด้วยวิธีการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็งที่เหมาะสมที่กล้วยหอมทองหลังทำแห้งยังคงมีสี กลิ่น รสชาติรูปร่าง และคุณค่าโภชนาการสูง อีกทั้งยังเป็นที่ยอมรับของผู้บริโภค

วัสดุ อุปกรณ์ และวิธีการ

การวิจัยมีการดำเนินงานดังนี้

1. การเตรียมกล้วยหอมทอง โดยการนำกล้วยหอมทองที่คุณภาพไม่ได้ตามเกณฑ์มาตรฐานจากสหกรณ์การเกษตรท่าทาง จำกัด อำเภอท่าทาง จังหวัดเพชรบุรี ช่วงเดือนมกราคม-มิถุนายน มีระดับการสุกอยู่ในระยะที่ 5 (เปลือกผลเป็นสีเหลืองแต่ปลายผลยังเป็นสีเขียว) มาปอกเปลือกและหั่นตามขวาง ลักษณะเป็นแว่นหนา 0.5 เซนติเมตร วางเรียงใส่ถาดสแตนเลสแล้วนำไปแช่เยือกแข็งด้วยเครื่องแช่เยือกแข็งแบบอากาศเย็นจัดที่อุณหภูมิ -65 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 90 นาที

2. การอบแห้งกล้วยหอมทอง นำกล้วยหอมทองที่อยู่ในสถานะเป็นน้ำแข็งเข้าเครื่องทำแห้งเพื่อเข้าสู่กระบวนการทำแห้งขั้นต้น (Primary dry temp) ที่อุณหภูมิ 2 ระดับ คือ อุณหภูมิ -15 และ -20 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 12 14 และ 16 ชั่วโมง ตามลำดับ และเข้าสู่กระบวนการทำแห้งขั้นที่สอง (Secondary dry temp) ที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 14 16 และ 18 ชั่วโมง ตามลำดับ

3. การวิเคราะห์คุณภาพกล้วยหอมทองอบกรอบ มีดังนี้

- 3.1 การประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัส โดยใช้ผู้ทดสอบชิมที่ไม่ผ่านการฝึกฝน จำนวน 30 คน ผลิภัณฑ์ด้วยวิธี 9-Point hedonic scaling (1 = ไม่ชอบมากที่สุด และ 9 = ชอบมากที่สุด) โดยทำการประเมินการยอมรับต่อลักษณะปรากฏ สี รสชาติ ความกรอบ และความชอบโดยรวมของผลิตภัณฑ์ดำเนินการทดสอบภายใต้แผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์แบบบล็อก (Randomized complete block design; RCBD) วิเคราะห์ค่าความแปรปรวน (Analysis of variance, ANOVA) โดยใช้คอมพิวเตอร์ด้วยโปรแกรม SPSS 29.0 (Statistical package for the social science for windows version 29.0) (SPSS Inc., Chicago, USA) และเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยด้วยวิธี Duncan's new multiple range test; DMRT ในการวิเคราะห์ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

3.2 คุณภาพทางกายภาพและเคมี

- 1) ค่าสี L^* a^* และ b^* โดยใช้เครื่องวัดสียี่ห้อ Hunter Lab รุ่น Ultrascan VIS (U.S.A.) ระบบ CIE L^* a^* b^*
- 2) ลักษณะเนื้อสัมผัสด้านความแข็งโดยใช้เครื่อง Texture analyzer รุ่น TA-XT plus (Stable micro system, UK) ใช้หัววัดแบบหัวเข็มรูปวงกลมเส้นผ่าศูนย์กลาง 3 มิลลิเมตร (หัววัด HDP/CFS) ทำการวัดโดยใช้หัววัดกดลงบนตัวอย่าง (ตัวอย่างต้องแตก) ความเร็วการเคลื่อนที่ของหัววัด 1 มิลลิเมตรต่อวินาที ความเร็วของหัววัดหลังการทดสอบ 10 มิลลิเมตรต่อวินาที และให้หัววัดกดลงบนตัวอย่างเป็นระยะทาง 3 มิลลิเมตร รายงานค่าแรงกดสูงสุดมีหน่วยเป็นนิวตัน (Newton)
- 3) ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ ด้วยเครื่อง Automatic digital refractometer (ATAGO รุ่น RX5000 α , Japan) ตามวิธีของ AOAC (2012)
- 4) ค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) ตามวิธีของ AOAC (2012)
- 5) ปริมาณกรดที่ไทเทรตได้ทั้งหมด รายงานเป็นร้อยละของกรดซิตริก (Citric acid) ตามวิธีของ AOAC (2012)
- 6) ปริมาณความชื้น (Moisture) ตามวิธีของ AOAC (2012)
- 7) ปริมาณน้ำอิสระ (a_w) ตามวิธีของ AOAC (2012)

การทดสอบคุณภาพด้านกายภาพและด้านเคมี ดำเนินการทดสอบภายใต้แผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ (Complete Randomized Design; CRD) และแบบ Independent t-test โดยทำการทดสอบ จำนวน 3 ซ้ำ วิเคราะห์ค่าความแปรปรวน (Analysis of variance, ANOVA) และวิเคราะห์ผลการทดลองทางสถิติโดยใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์สำเร็จรูปทางสถิติด้วยโปรแกรม SPSS 29.0 (Statistical package for the social science for windows version 29.0) (SPSS Inc., Chicago, USA) ในการวิเคราะห์ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

ผลการวิจัย และการอภิปรายผล

ผลการศึกษาระดับอุณหภูมิและระยะเวลาที่เหมาะสมสำหรับการทำแห้งกล้วยหอมทองอบกรอบด้วยกระบวนการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็งมีผลดังนี้

1. ผลการประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัส ค่าคะแนนการยอมรับคุณภาพทางประสาทสัมผัสของกล้วยหอมทองอบกรอบที่ทำแห้งแบบแช่เยือกแข็งที่อุณหภูมิทำแห้งขั้นต้นที่ -15 องศาเซลเซียส เวลา 12 14 และ 16 ชั่วโมง และการทำแห้งขั้นที่สองที่ 50 องศาเซลเซียส เวลา 14 16 และ 18 ชั่วโมง ตามลำดับ พบว่า อุณหภูมิการทำแห้งขั้นต้นที่ -15 องศาเซลเซียส เวลา 16 ชั่วโมง และการทำแห้งขั้นที่สองที่ 50 องศาเซลเซียส เวลา 18 ชั่วโมง ผู้ทดสอบชิมให้คะแนนการยอมรับคุณภาพทางประสาทสัมผัสในทุกคุณลักษณะมากที่สุดอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) มีค่าคะแนนเท่ากับ 7.45 7.22 8.12 7.70 และ 8.15 ตามลำดับ คะแนนอยู่ในระดับชอบปานกลางถึงชอบมากในด้านของรสชาติและความชอบโดยรวม (ตารางที่ 1)

ตารางที่ 1 คะแนนคุณลักษณะทางประสาทสัมผัสของกล้วยหอมทองอบกรอบด้วยการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็งที่อุณหภูมิทำแห้งขั้นต้นที่ -15 องศาเซลเซียส และทำแห้งขั้นที่สองที่ 50 องศาเซลเซียส ที่ระยะเวลาต่าง ๆ

คุณลักษณะ	อุณหภูมิและระยะเวลาการทำแห้ง		
	ทำแห้งขั้นต้น -15 องศาเซลเซียส / ทำแห้งขั้นที่สอง 50 องศาเซลเซียส		
	(12/14 ชม.)	(14/16 ชม.)	(16/18 ชม.)
ลักษณะปรากฏ	6.70 $\pm$ 1.53 ^b	7.00 $\pm$ 1.34 ^b	7.45 $\pm$ 1.26 ^a
สี	6.57 $\pm$ 1.63 ^b	7.02 $\pm$ 1.56 ^a	7.22 $\pm$ 1.21 ^a
รสชาติ	6.80 $\pm$ 1.54 ^c	7.50 $\pm$ 1.10 ^b	8.12 $\pm$ 1.10 ^a
เนื้อสัมผัส	6.92 $\pm$ 1.51 ^c	7.32 $\pm$ 1.37 ^b	7.70 $\pm$ 1.47 ^a
ความชอบโดยรวม	6.90 $\pm$ 1.50 ^c	7.40 $\pm$ 1.48 ^b	8.15 $\pm$ 1.03 ^a

หมายเหตุ: ตัวอักษร ^{a-c} ที่ต่างกันในแนวนอนแสดงว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

ค่าคะแนนการทดสอบคุณภาพทางประสาทสัมผัสของกล้วยหอมทองอบกรอบทำแห้งแบบแช่เยือกแข็งที่อุณหภูมิทำแห้งขั้นต้นที่ -20 องศาเซลเซียส เวลา 12 14 และ 16 ชั่วโมง และการทำแห้งขั้นที่สองที่ 50 องศาเซลเซียส เวลา 14 16 และ 18 ชั่วโมง ตามลำดับ พบว่า อุณหภูมิการทำแห้งขั้นต้นที่ -20 องศาเซลเซียส เวลา 16 ชั่วโมง และการทำแห้งขั้นที่สองที่ 50 องศาเซลเซียส เวลา 18 ชั่วโมง ผู้ทดสอบชิมให้คะแนนการยอมรับคุณภาพทางประสาทสัมผัสในด้านสีอยู่ระดับชอบปานกลาง และด้านเนื้อสัมผัสอยู่ในระดับชอบมากอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) มีค่าคะแนนเท่ากับ 7.35 และ 8.27 ส่วนการยอมรับต่อลักษณะที่ปรากฏ รสชาติ และความชอบโดยรวมไม่แตกต่างกับกล้วยหอมทองที่ทำแห้งขั้นต้นที่อุณหภูมิ -20 องศาเซลเซียส เวลา 12 และ 14 ชั่วโมง และการทำแห้งขั้นที่สองที่ 50 องศาเซลเซียส เวลา 14 และ 16 ชั่วโมง (ตารางที่ 2)

ตารางที่ 2 คะแนนคุณลักษณะทางประสาทสัมผัสของกล้วยหอมทองอบกรอบด้วยการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็งที่อุณหภูมิทำแห้งขั้นต้นที่ -20 องศาเซลเซียส และทำแห้งขั้นที่สองที่ 50 องศาเซลเซียส ที่ระยะเวลาต่าง ๆ

คุณลักษณะ	อุณหภูมิและระยะเวลาการทำแห้ง		
	ทำแห้งขั้นต้น -20 องศาเซลเซียส/ทำแห้งขั้นที่สอง 50 องศาเซลเซียส		
	(12/14 ชม.)	(14/16 ชม.)	(16/18 ชม.)
ลักษณะปรากฏ ^{ns}	7.20±1.32	7.20±1.38	7.37±1.51
สี	6.90±1.28 ^b	7.02±1.34 ^{ab}	7.35±1.33 ^a
รสชาติ ^{ns}	7.40±1.46	7.20±1.71	7.70±1.22
เนื้อสัมผัส	7.25±1.06 ^c	7.70±0.97 ^b	8.27±0.78 ^a
ความชอบโดยรวม ^{ns}	7.62±1.12	7.67±1.19	7.97±0.94

หมายเหตุ: ตัวอักษร ^{a-c} ที่ต่างกันในแนวนอนแสดงว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

^{ns} หมายถึง ตัวอย่างไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$)

ตารางที่ 3 ค่าสีและค่าความแข็งของกล้วยหอมทองอบกรอบด้วยการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็งที่ระดับอุณหภูมิและระยะเวลาต่าง ๆ

อุณหภูมิและระยะเวลาการทำแห้ง	ค่าสี			ค่าความแข็ง (นิวตัน)
	L ^{*ns}	a ^{*ns}	b ^{*ns}	
ขั้นต้นที่ -15 องศาเซลเซียส เวลา 12 ชม.	83.27±1.34	2.28±0.09	17.85±0.34	32.56±0.75 ^a
ขั้นสองที่ 50 องศาเซลเซียส เวลา 14 ชม.				
ขั้นต้นที่ -15 องศาเซลเซียส เวลา 14 ชม.	80.08±1.44	2.39±0.31	18.17±2.01	24.55±0.40 ^c
ขั้นสองที่ 50 องศาเซลเซียส เวลา 16 ชม.				
ขั้นต้นที่ -15 องศาเซลเซียส เวลา 16 ชม.	81.72±2.09	2.28±0.22	18.40±1.20	19.38±0.35 ^d
ขั้นสองที่ 50 องศาเซลเซียส เวลา 18 ชม.				
ขั้นต้นที่ -20 องศาเซลเซียส เวลา 12 ชม.	81.23±1.02	2.32±0.10	17.60±0.12	28.46±0.30 ^b
ขั้นสองที่ 50 องศาเซลเซียส เวลา 14 ชม.				
ขั้นต้นที่ -20 องศาเซลเซียส เวลา 14 ชม.	80.65±1.44	2.31±0.22	17.88±0.10	24.18±2.22 ^c
ขั้นสองที่ 50 องศาเซลเซียส เวลา 16 ชม.				
ขั้นต้นที่ -20 องศาเซลเซียส เวลา 16 ชม.	81.28±0.08	2.30±0.12	18.01±0.02	16.01±1.61 ^e
ขั้นสองที่ 50 องศาเซลเซียส เวลา 18 ชม.				

หมายเหตุ: ตัวอักษร ^{a-e} ที่ต่างกันในแนวดิ่งแสดงว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

^{ns} หมายถึง ตัวอย่างไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$)

2. ผลการวัดคุณภาพทางกายภาพ (ตารางที่ 3) พบว่า ค่าสีด้านความสว่าง (L^*) ค่าสีแดง (a^*) และค่าสีเหลือง (b^*) ของกล้วยหอมทองอบกรอบที่ทำแห้งแบบแช่เยือกแข็งที่ระดับอุณหภูมิและเวลาต่าง ๆ กันนั้นไม่มีความแตกต่างกัน ($p>0.05$) แต่การใช้เวลาในการทำแห้งที่นานขึ้นมีแนวโน้มที่ทำให้ค่าความเป็นสีเหลือง (b^*) ของกล้วยหอมทองอบกรอบเพิ่มขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ วันชนก (2564) ที่ได้ศึกษาคุณภาพของแตงโมที่ผ่านการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็งภายใต้สภาวะความดันบรรยากาศเช่นเดียวกับ Guine et al. (2012) ที่ได้ศึกษาผลของวิธีการทำแห้งต่อคุณภาพเนื้อสัมผัสและสีของฟักทอง และพริกไทยเขียว พบว่า การทำแห้งแบบแช่เยือกแข็งทำให้ความเข้มของสีโดยการเพิ่มขึ้นของ L^* เปลี่ยนแปลงตามการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิอากาศในการทำแห้งซึ่งส่งผลต่อการกระเจิงของแสงทำให้มีค่า L^* เพิ่มขึ้น

นอกจากนี้ค่าสียังเป็นผลมาจากปฏิกิริยาเมลลาร์ด (Maillard reaction) ที่เกิดจากกรดอะมิโนทำปฏิกิริยากับน้ำตาลรีดิวซ์ นิธิยา (2557) และสอดคล้องกับงานวิจัยของ สุภาวดี (2563) ที่ได้ศึกษามะม่วงแช่อิ่มอบแห้งในการทำแห้งช่วงอุณหภูมิที่เหมาะสมในการทำแห้ง พบว่า อุณหภูมิการทำแห้งที่เหมาะสมอยู่ในช่วง 50-70 องศาเซลเซียส เพื่อป้องกันไม่ให้เกิดการไหม้ของน้ำตาลสำหรับการเปลี่ยนแปลงค่าสีในผลไม้ที่ผ่านการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็งส่วนใหญ่เป็นปฏิกิริยาที่เกี่ยวข้องกับเอนไซม์ฟลักทีนที่เพิ่มขึ้นในระหว่างการแช่แข็ง ซึ่งค่า L^* แสดงความสว่างของผลิตภัณฑ์ a^* ในทิศทางบวกแสดงความเป็นสีแดง b^* ในทิศทางบวกแสดงความเป็นสีเหลืองของผลิตภัณฑ์

ส่วนค่าความแข็งนั้น พบว่า กล้วยหอมทองอบกรอบที่มีการใช้ระยะเวลาในการทำแห้งที่น้อยกว่าจะส่งผลทำให้ความสามารถในดึงน้ำออกจากผลิตภัณฑ์ได้น้อยกว่าการทำแห้งที่ใช้ระยะเวลานานกว่า จึงทำให้กล้วยหอมทองอบกรอบที่ได้มีความชื้นเหลืออยู่สูงกว่าส่งผลทำให้ลักษณะเนื้อสัมผัสของกล้วยหอมทองอบกรอบมีความเหนียว และมีค่าความแข็งสูงกว่าอย่างมีนัยสำคัญ ($p\leq 0.05$) ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของทองจวน และคณะ (2563) ที่ได้นำสละแช่อิ่มไปอบแห้งเยือกแข็งโดยใช้ระยะเวลาการอบแตกต่างกัน 5 ระดับ ได้แก่ 14 16 18 20 และ 22 ชั่วโมง พบว่า ระยะเวลาอบแห้งเยือกแข็งมีผลทำให้คุณลักษณะของผลิตภัณฑ์สละแช่อิ่มทุกด้านที่ทำการทดสอบมีความแตกต่างกัน พบว่า เมื่อใช้เวลาอบแห้งเยือกแข็งที่นานขึ้นทำให้เนื้อสละมีความแข็งเพิ่มมากขึ้นสอดคล้องกับค่าเนื้อสัมผัส (ความกรอบ) ที่เพิ่มขึ้นตามระยะเวลาการอบที่นานขึ้น

3. ผลการวิเคราะห์คุณภาพทางเคมีของกล้วยหอมทองอบกรอบที่ทำแห้งแบบแช่เยือกแข็งที่ระดับอุณหภูมิและเวลาต่าง ๆ พบว่า ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดอยู่ในช่วง 10.21-12.38 องศาบริกซ์ ค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) อยู่ในช่วง 4.32-4.36 และปริมาณกรดทั้งหมด (กรดซิตริก) อยู่ในช่วงร้อยละ 2.00-2.09 ซึ่งไม่มีความแตกต่างกัน ($p>0.05$) สอดคล้องกับงานวิจัยของ ทองจวน และคณะ (2563) ที่ได้ศึกษาผลของระยะเวลาอบแห้งเยือกแข็งและอุณหภูมิในการคั่วต่อคุณภาพของสละแช่อิ่ม (ตารางที่ 4) พบว่า ค่าความแข็ง (Hardness) เมื่อมีการใช้อุณหภูมิที่สูงขึ้นส่งผลให้เกิดการทำลายโครงสร้างของเซลล์และเมื่อเซลล์ที่แตกสัมผัสกับอากาศร้อนทำให้ความร้อนเข้าสู่ภายในเซลล์ง่ายขึ้นจึงส่งผลให้เกิดการระเหยน้ำออกอย่างรวดเร็ว

ตารางที่ 4 คุณภาพทางเคมีของกล้วยหอมทองอบกรอบด้วยการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็งที่ระดับอุณหภูมิและระยะเวลาต่าง ๆ

อุณหภูมิและระยะเวลาการทำแห้ง	ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ (องศาบริกซ์) ^{ns}	ค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) ^{ns}	ปริมาณกรดทั้งหมด (ร้อยละ) ^{ns}
ขั้นต้นที่ -15 องศาเซลเซียส เวลา 12 ชม.	12.38±2.78	4.34±0.01	2.07±0.07
ขั้นสองที่ 50 องศาเซลเซียส เวลา 14 ชม.			
ขั้นต้นที่ -15 องศาเซลเซียส เวลา 14 ชม.	10.62±0.02	4.32±0.02	2.06±0.02
ขั้นสองที่ 50 องศาเซลเซียส เวลา 16 ชม.			
ขั้นต้นที่ -15 องศาเซลเซียส เวลา 16 ชม.	10.63±0.06	4.36±0.01	2.08±0.02
ขั้นสองที่ 50 องศาเซลเซียส เวลา 18 ชม.			
ขั้นต้นที่ -20 องศาเซลเซียส เวลา 12 ชม.	10.41±0.20	4.32±0.03	2.06±0.09
ขั้นสองที่ 50 องศาเซลเซียส เวลา 14 ชม.			
ขั้นต้นที่ -20 องศาเซลเซียส เวลา 14 ชม.	10.42±0.31	4.32±0.02	2.07±0.06
ขั้นสองที่ 50 องศาเซลเซียส เวลา 16 ชม.			
ขั้นต้นที่ -20 องศาเซลเซียส เวลา 16 ชม.	10.21±0.19	4.36±0.01	2.09±0.02
ขั้นสองที่ 50 องศาเซลเซียส เวลา 18 ชม.			

หมายเหตุ: ^{ns} หมายถึง ตัวอย่างไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$)

จากการตรวจวิเคราะห์ปริมาณความชื้นและปริมาณน้ำอิสระ พบว่า ผลผลิตกัลล้วยหอมทองอบกรอบที่ทำแห้งแบบแช่เยือกแข็งที่ระดับอุณหภูมิและเวลาต่าง ๆ นั้น มีปริมาณความชื้นที่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) โดยการทำแห้งชั้นต้นที่ใช้อุณหภูมิ -15 องศาเซลเซียส เวลา 12 ชั่วโมง และการทำแห้งชั้นที่สองที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส เวลา 14 ชั่วโมง นั้น ผลผลิตกัลล้วยหอมทองอบกรอบที่มีปริมาณความชื้นสูงสุดที่ร้อยละ 10.60 ส่วนการทำแห้งชั้นต้นที่ใช้อุณหภูมิ -15 องศาเซลเซียส เวลา 16 ชั่วโมง และการทำแห้งชั้นที่สองที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส เวลา 18 ชั่วโมง มีปริมาณความชื้นต่ำที่สุดที่ร้อยละ 6.69 เมื่อเทียบกับการทำแห้งชั้นต้นที่อุณหภูมิ -20 องศาเซลเซียส เวลา 12 ชั่วโมง และการทำแห้งชั้นที่สองที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส เวลา 14 ชั่วโมง นั้นผลผลิตกัลล้วยหอมทองอบกรอบที่มีปริมาณความชื้นสูงสุดที่ร้อยละ 10.41 และการทำแห้งชั้นต้นที่อุณหภูมิ -20 องศาเซลเซียส เวลา 16 ชั่วโมง และการทำแห้งชั้นที่สองที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส เวลา 18 ชั่วโมง นั้น ผลผลิตกัลล้วยหอมทองอบกรอบที่มีปริมาณความชื้น อยู่ที่ร้อยละ 6.38 ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของทองจวน และคณะ (2563) พบว่า การใช้เวลาในการอบแห้งแบบแช่เยือกแข็งที่นานขึ้นส่งผลให้ค่าปริมาณความชื้นมีแนวโน้มลดลงคาดว่าเป็นผลจากเวลาอบแห้งที่นานทำให้ความสามารถในการกำจัดน้ำออกจากอาหารได้มากขึ้นส่งผลให้ปริมาณความชื้นลดลงตามลำดับ

ส่วนปริมาณน้ำอิสระ (a_w) ผลจากการทำแห้งที่ใช้ระดับอุณหภูมิและเวลาต่าง ๆ กันนั้นไม่มีความแตกต่างกัน ($p > 0.05$) มีค่าอยู่ระหว่าง 0.14–0.20 ตามลำดับ (ตารางที่ 5) ปริมาณความชื้นและปริมาณน้ำอิสระซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของวันชนก (2564) ได้มีการศึกษาการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็งโดยการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง พบว่า มีปริมาณความชื้นและค่าวอเตอร์แอคทิวิตีไม่ต่างกันแต่การทำแห้งแบบแช่เยือกแข็งมีการกำจัดน้ำออกด้วยการระเหิดส่งผลให้น้ำในโครงสร้างออกไปได้มาก จึงทำให้มีปริมาณความชื้นและค่าวอเตอร์แอคทิวิตีต่ำ เช่นเดียวกับงานวิจัยของพรกัญญา และคณะ (2560) ที่ได้ศึกษาสภาวะผลของการอบแห้งชั้นตอนสุดท้ายที่มีต่อคุณภาพของแก้วมังกรอบแห้งแบบแช่เยือกแข็ง

ตารางที่ 5 ปริมาณความชื้นและปริมาณน้ำอิสระของกัลล้วยหอมทองอบกรอบทำแห้งแบบแช่เยือกแข็งที่ระดับอุณหภูมิและระยะเวลาต่าง ๆ

อุณหภูมิและระยะเวลาการทำแห้ง	ปริมาณความชื้น (ร้อยละ)	ปริมาณน้ำอิสระ (a_w) ^{ns}
ชั้นต้นที่ -15 องศาเซลเซียส เวลา 12 ชม. ชั้นสองที่ 50 องศาเซลเซียส เวลา 14 ชม.	10.60±0.59 ^a	0.20±0.03
ชั้นต้นที่ -15 องศาเซลเซียส เวลา 14 ชม. ชั้นสองที่ 50 องศาเซลเซียส เวลา 16 ชม.	7.34±0.49 ^b	0.17±0.00
ชั้นต้นที่ -15 องศาเซลเซียส เวลา 16 ชม. ชั้นสองที่ 50 องศาเซลเซียส เวลา 18 ชม.	6.69±1.54 ^b	0.14±0.00
ชั้นต้นที่ -20 องศาเซลเซียส เวลา 12 ชม. ชั้นสองที่ 50 องศาเซลเซียส เวลา 14 ชม.	10.41±0.20 ^a	0.19±0.03
ชั้นต้นที่ -20 องศาเซลเซียส เวลา 14 ชม. ชั้นสองที่ 50 องศาเซลเซียส เวลา 16 ชม.	7.02±0.31 ^b	0.16±0.02
ชั้นต้นที่ -20 องศาเซลเซียส เวลา 16 ชม. ชั้นสองที่ 50 องศาเซลเซียส เวลา 18 ชม.	6.38±0.19 ^b	0.14±0.01

หมายเหตุ: ตัวอักษร ^{a-b} ที่ต่างกันในแนวตั้งแสดงว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

^{ns} หมายถึง ตัวอย่างไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$)

ดังนั้นจึงทำการศึกษาต่อโดยการนำสภาวะการทำแห้งชั้นต้นที่อุณหภูมิ -15 องศาเซลเซียส เวลา 16 ชั่วโมง และการทำแห้งชั้นที่สองที่ 50 องศาเซลเซียส เวลา 18 ชั่วโมง เปรียบเทียบกับสภาวะการทำแห้งชั้นต้นที่อุณหภูมิ -20 องศาเซลเซียส เวลา 16 ชั่วโมง และการทำแห้งชั้นที่สองที่ 50 องศาเซลเซียส เวลา 18 ชั่วโมง มาทดสอบเพื่อคัดเลือกสภาวะการทำแห้งที่เหมาะสมเพียงสภาวะเดียวโดยมีการวิเคราะห์คุณภาพกัลล้วยหอมทองอบกรอบ ดังนี้

4. ผลการประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัส กลัวยหอมทองอบกรอบที่ทำแห้งแบบแช่เยือกแข็งที่ใช้อุณหภูมิการทำแห้งขั้นต้นที่ -15 องศาเซลเซียส เวลา 16 ชั่วโมง และอุณหภูมิการทำแห้งขั้นที่สองที่ 50 องศาเซลเซียส เวลา 18 ชั่วโมง เปรียบเทียบกับสภาวะการทำแห้งขั้นต้นที่อุณหภูมิ -20 องศาเซลเซียส เวลา 16 ชั่วโมง และอุณหภูมิการทำแห้งขั้นที่สองที่ 50 องศาเซลเซียส เวลา 18 ชั่วโมง พบว่า อุณหภูมิการทำแห้งขั้นต้นที่ -20 องศาเซลเซียส เวลา 16 ชั่วโมง และอุณหภูมิการทำแห้งขั้นที่สองที่ 50 องศาเซลเซียส เวลา 18 ชั่วโมง ผู้ทดสอบชิมให้คะแนนการยอมรับคุณภาพด้านรสชาติ เนื้อสัมผัส และความชอบโดยรวมมากที่สุดอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) มีค่าคะแนนเท่ากับ 7.92 7.90 และ 8.15 ตามลำดับ โดยมีคะแนนอยู่ในระดับชอบปานกลางถึงชอบมาก ซึ่งสอดคล้องกับคุณภาพด้านกายภาพ คือ ค่าความแข็ง พบว่า เมื่อใช้ระยะเวลาในการทำแห้งที่นานขึ้นทำให้สามารถดึงน้ำออกจากผลิตภัณฑ์ได้มากขึ้นกว่าการทำแห้งที่ใช้เวลาน้อยกว่า จึงทำให้มีค่าความแข็งลดลงส่งผลให้ผู้ทดสอบให้คะแนนความชอบด้านรสชาติ เนื้อสัมผัส และความชอบโดยรวมมากกว่าการทำแห้งที่ใช้ อุณหภูมิการทำแห้งขั้นต้นที่ -15 องศาเซลเซียส เวลา 16 ชั่วโมง และอุณหภูมิการทำแห้งขั้นที่สองที่ 50 องศาเซลเซียส เวลา 18 ชั่วโมง ผลการทดลองนี้สอดคล้องกับงานวิจัยของ ทองจวน และคณะ (2563) ที่ได้ศึกษาผลของระยะเวลาอบแห้งเยือกแข็งและอุณหภูมิในการคั่วต่อคุณภาพของสละแช่ห่อ โดยนำสละแช่ห่อไปอบแห้งเยือกแข็งโดยใช้ระยะเวลาการอบแตกต่างกัน 5 ระดับ ได้แก่ 14 16 18 20 และ 22 ชั่วโมง พบว่า ระยะเวลาอบแห้งเยือกแข็งมีผลทำให้คุณลักษณะของผลิตภัณฑ์สละแช่ห่อทุกด้านที่ทำการทดสอบมีความแตกต่างกันกล่าวคือการอบแห้งเยือกแข็งที่เวลา 18 และ 20 ชั่วโมงทำให้ค่าความสว่างของสละแช่ห่อสูงกว่าที่เวลา 14 ชั่วโมง และการอบแห้งเยือกแข็งที่เวลา 18 20 และ 22 ชั่วโมง ทำให้ค่าสีแดงของสละแช่ห่อสูงกว่าที่เวลา 14 และ 16 ชั่วโมง

ค่าคะแนนการยอมรับทางประสาทสัมผัสด้านลักษณะปรากฏและสี พบว่า การทำแห้งขั้นต้นที่อุณหภูมิ -15 องศาเซลเซียส เวลา 16 ชั่วโมง และที่อุณหภูมิ -20 องศาเซลเซียส เวลา 16 ชั่วโมง และอุณหภูมิการทำแห้งขั้นที่สองที่ 50 องศาเซลเซียส เวลา 18 ชั่วโมง ของการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็งกลัวยหอมทองอบกรอบนั้นผู้ทดสอบชิมให้คะแนนไม่มีความแตกต่างกัน ($p > 0.05$) อยู่ในระดับชอบปานกลาง (ตารางที่ 6)

ตารางที่ 6 คะแนนคุณลักษณะทางประสาทสัมผัสของกลัวยหอมทองอบกรอบด้วยการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็งที่อุณหภูมิ ทำแห้งขั้นต้นที่ -15 และ -20 องศาเซลเซียส เวลา 16 ชั่วโมง และการทำแห้งขั้นที่สองที่ 50 องศาเซลเซียส เวลา 18 ชั่วโมง

คุณลักษณะ	อุณหภูมิและระยะเวลาการทำแห้ง	
	ทำแห้งขั้นต้น -15 องศาเซลเซียส	ทำแห้งขั้นต้น -20 องศาเซลเซียส
	ทำแห้งขั้นที่สอง 50 องศาเซลเซียส (16/18 ชม.)	ทำแห้งขั้นที่สอง 50 องศาเซลเซียส (16/18 ชม.)
ลักษณะปรากฏ ^{ns}	7.20±0.97	7.47±0.71
สี ^{ns}	7.07±0.94	7.40±0.87
รสชาติ	7.35±0.92 ^b	7.92±0.76 ^a
เนื้อสัมผัส	7.37±0.87 ^b	7.90±0.74 ^a
ความชอบโดยรวม	7.42±0.87 ^b	8.15±0.73 ^a

หมายเหตุ: ตัวอักษร ^{a-b} ที่ต่างกันในแนวนอนแสดงว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

^{ns} หมายถึง ตัวอย่างไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$)

5. ผลการวัดคุณภาพทางกายภาพของกลัวยหอมทองอบกรอบด้วยการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็งที่อุณหภูมิทำแห้งขั้นต้น-15 องศาเซลเซียส เวลา 16 ชั่วโมง และที่อุณหภูมิ -20 องศาเซลเซียส เวลา 16 ชั่วโมง และการทำแห้งขั้นที่สองที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส เวลา 18 ชั่วโมง พบว่า ค่าสีด้านความสว่าง (L^*) ค่าสีแดง (a^*) และค่าสีเหลือง (b^*) ของกลัวยหอมทองอบกรอบทั้ง 2 สภาวะนั้นไม่มีความแตกต่างกัน ($p > 0.05$) แต่มีแนวโน้มเพิ่มขึ้น ซึ่งสีของผลิตภัณฑ์กลัวยหอมทองอบกรอบมีสีขาวออกเหลือง ส่วนค่าความแข็ง การทำแห้งแบบแช่เยือกแข็งที่ใช้อุณหภูมิทำแห้งขั้นต้น -15 องศาเซลเซียส เวลา 16 ชั่วโมง และอุณหภูมิการทำแห้งขั้นที่สองที่ 50 องศาเซลเซียส เวลา 18 ชั่วโมงมีค่าสูงกว่า

อย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) มีค่าอยู่ที่ 19.42 และ 16.61 นิวตัน ตามลำดับ ซึ่งค่าความแข็งแรงมีแนวโน้มลดลงเป็นผลมาจากการทำแห้งที่ใช้เวลานานทำให้ความสามารถในการกำจัดน้ำออกจากอาหารได้มากขึ้น (ตารางที่ 7) สอดคล้องกับงานวิจัยของ มะลิ (2559) ที่ได้มีการศึกษาเทคโนโลยีการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็งสำหรับแปรรูปข้าวไรซ์เบอร์รี่สำเร็จรูปเช่นเดียวกับ Guiné et al. (2012) ได้ศึกษาผลของวิธีการทำแห้งต่อคุณภาพเนื้อสัมผัส และสีของพริกทอง และพริกไทยเขียว พบว่าการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็งทำให้ความเข้มข้นของสีลดลงระหว่างการทำให้แห้งเทียบกับตัวอย่างสด โดยการเพิ่มขึ้นของ L^* และการเปลี่ยนแปลงของ a^* และ b^* ตามการเพิ่มขึ้นของอากาศในชั้นพริกทองแห้ง ซึ่งส่งผลต่อการกระเจิงของแสงทำให้มีค่า L^* เพิ่มขึ้นเช่นเดียวกับ Nazmilzi et al. (2017) พบว่า การทำแห้งมะม่วงด้วยวิธีการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็งภายใต้สภาวะสุญญากาศจะเพิ่มค่า L^* ในมะม่วงแห้งเนื่องจากการเพิ่มขึ้นของอากาศในชั้นมะม่วงต่างจากการทำแห้งด้วยวิธีอื่นที่มีการใช้ความร้อนสูงในกระบวนการทำแห้ง

ตารางที่ 7 ค่าสีและความแข็งแรงกรอบของกล้วยหอมทองอบกรอบด้วยการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็งที่อุณหภูมิทำแห้งขั้นต้นที่ -15 และ -20 องศาเซลเซียส เวลา 16 ชั่วโมง และการทำแห้งขั้นที่สองที่ 50 องศาเซลเซียสเวลา 18 ชั่วโมง

อุณหภูมิและ ระยะเวลาการทำแห้ง	ค่าสี			ค่าความแข็งแรง (นิวตัน)
	L^{*ns}	a^{*ns}	b^{*ns}	
ขั้นต้นที่ -15 องศาเซลเซียส 16 ชม. ขั้นสองที่ 50 องศาเซลเซียส 18 ชม.	81.71±0.41	2.25±0.16	18.42±0.66	19.42±0.35 ^a
ขั้นต้นที่ -20 องศาเซลเซียส 16 ชม. ขั้นสองที่ 50 องศาเซลเซียส 18 ชม.	82.06±0.56	2.36±0.06	18.83±0.41	16.61±0.07 ^b

หมายเหตุ: ตัวอักษรที่ ^{a-b} ต่างกันในแนวตั้งแสดงว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

^{ns} หมายถึง ตัวอย่างไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$)

6. ผลการวิเคราะห์คุณภาพทางเคมีของกล้วยหอมทองอบกรอบที่ทำแห้งแบบแช่เยือกแข็งที่อุณหภูมิทำแห้งขั้นต้น -15 องศาเซลเซียส เวลา 16 ชั่วโมง และที่อุณหภูมิ -20 องศาเซลเซียส เวลา 16 ชั่วโมง และอุณหภูมิการทำแห้งขั้นที่สองที่ 50 องศาเซลเซียส เวลา 18 ชั่วโมง นั้น พบว่า ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดอยู่ในช่วง 10.41-10.58 องศาบริกซ์ ค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) อยู่ในช่วง 4.34-4.44 และปริมาณกรดทั้งหมด (กรดซิตริก) อยู่ในช่วงร้อยละ 2.07-2.12 ซึ่งไม่มีความแตกต่างกัน ($p > 0.05$) (ตารางที่ 8)

ตารางที่ 8 คุณภาพทางเคมีของกล้วยหอมทองอบกรอบด้วยการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็งที่อุณหภูมิทำแห้งขั้นต้นที่ -15 และ -20 องศาเซลเซียส เวลา 16 ชั่วโมง และการทำแห้งขั้นที่สองที่ 50 องศาเซลเซียสเวลา 18 ชั่วโมง

อุณหภูมิและ ระยะเวลาการทำแห้ง	ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ (องศาบริกซ์) ^{ns}	ค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) ^{ns}	ปริมาณกรดทั้งหมด (ร้อยละ) ^{ns}
ขั้นต้นที่ -15 องศาเซลเซียส 16 ชม. ขั้นสองที่ 50 องศาเซลเซียส 18 ชม.	10.58±0.66	4.44±0.18	2.12±0.25
ขั้นต้นที่ -20 องศาเซลเซียส 16 ชม. ขั้นสองที่ 50 องศาเซลเซียส 18 ชม.	10.41±0.90	4.34±0.22	2.07±0.32

หมายเหตุ: ^{ns} หมายถึง ตัวอย่างไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$)

ส่วนปริมาณความชื้นและปริมาณน้ำอิสระของกล้วยหอมทองอบกรอบที่ใช้อุณหภูมิทำแห้งขั้นต้นที่ -15 องศาเซลเซียส เวลา 16 ชั่วโมง และที่อุณหภูมิ -20 องศาเซลเซียส เวลา 16 ชั่วโมง และอุณหภูมิการทำแห้งขั้นที่สองที่ 50 องศาเซลเซียส เวลา 18 ชั่วโมง พบว่า การทำแห้งทั้ง 2 สภาวะไม่มีความแตกต่างกัน ($p > 0.05$) ปริมาณความชื้นอยู่ที่ร้อยละ 6.43-6.80 และปริมาณน้ำอิสระอยู่ที่ 0.16-0.17 ผลการทดสอบที่ได้สอดคล้องกับงานวิจัยของ พรกัญญา และคณะ (2560) ที่ได้ศึกษาสภาวะผลของการอบแห้งขั้นตอนสุดท้ายที่มีต่อคุณภาพของแก้มังกรอบแห้งแบบแช่เยือกแข็ง ซึ่งปริมาณ

น้ำอิสระของผลิตภัณฑ์กล้วยหอมทองอบกรอบที่ทำแห้งแบบแช่เยือกแข็งนั้น มีปริมาณผ่านเกณฑ์มาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชนผักและผลไม้แห้ง มพช.1036/2558 ที่กำหนดไว้ไม่เกิน 0.6 (ตารางที่ 9)

ตารางที่ 9 ปริมาณความชื้นและปริมาณน้ำอิสระของกล้วยหอมทองอบกรอบทำแห้งแบบแช่เยือกแข็งที่อุณหภูมิทำแห้งขั้นต้นที่ -15 และ -20 องศาเซลเซียส เวลา 16 ชั่วโมง และการทำแห้งขั้นที่สองที่ 50 องศาเซลเซียสเวลา 18 ชั่วโมง

อุณหภูมิและระยะเวลาการทำแห้ง	ปริมาณความชื้น (ร้อยละ) ^{ns}	ปริมาณน้ำอิสระ (a _w) ^{ns}
ขั้นต้นที่ -15 องศาเซลเซียส 16 ชม. ขั้นที่สองที่ 50 องศาเซลเซียส 18 ชม.	6.80±1.78	0.17±0.08
ขั้นต้นที่ -20 องศาเซลเซียส 16 ชม. ขั้นที่สองที่ 50 องศาเซลเซียส 18 ชม.	6.43±1.12	0.16±0.01

หมายเหตุ: ^{ns} หมายถึง ตัวอย่างไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p>0.05)

บทสรุป

จากการศึกษาผลของอุณหภูมิและระยะเวลาการทำแห้งกล้วยหอมทองอบกรอบแบบแช่เยือกแข็ง พบว่า การทำแห้งแบบแช่เยือกแข็งที่ใช้อุณหภูมิขั้นต้นที่ -20 องศาเซลเซียส เวลา 16 ชั่วโมง และที่ใช้อุณหภูมิการทำแห้งขั้นที่สองที่ 50 องศาเซลเซียส เวลา 18 ชั่วโมง ได้ผลิตภัณฑ์กล้วยหอมทองอบกรอบที่มีคุณภาพ โดยผู้ทดสอบชิมให้คะแนนการยอมรับต่อลักษณะรสชาติ และเนื้อสัมผัสในระดับชอบปานกลาง แต่ให้คะแนนการยอมรับต่อลักษณะความชอบโดยรวมอยู่ในระดับชอบมาก ส่วนผลการทดสอบคุณภาพทางกายภาพ พบว่า สภาวะการทำแห้งทั้ง 2 สภาวะมีค่าความสว่าง (L*) ค่าสีแดง (a*) และค่าสีเหลือง (b*) โดยรวมใกล้เคียงกัน ส่วนค่าความแข็งกล้วยหอมทองอบกรอบด้วยการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็งที่ใช้อุณหภูมิทำแห้งขั้นต้น-15 องศาเซลเซียส เวลา 16 ชั่วโมง และการทำแห้งขั้นที่สองที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส เวลา 18 ชั่วโมง มีค่าสูงสุด สำหรับคุณภาพทางเคมี พบว่า สภาวะการทำแห้งทั้ง 2 สภาวะมีปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด ค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) ปริมาณกรดทั้งหมด (กรดซิตริก) ปริมาณความชื้น และปริมาณน้ำอิสระ (a_w) ใกล้เคียงไม่แตกต่างกัน ซึ่งปริมาณน้ำอิสระของผลิตภัณฑ์กล้วยหอมทองอบกรอบด้วยการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็งนั้น มีปริมาณผ่านเกณฑ์มาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชนผักและผลไม้แห้งที่กำหนดไว้ไม่เกิน 0.6 โดยปริมาณน้ำอิสระมีความสำคัญต่อการเสื่อมเสียและอายุการเก็บรักษาของผลิตภัณฑ์

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้สำเร็จลงได้ด้วยดีเนื่องจากได้รับการสนับสนุนทุนวิจัยจากมหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบุรี ซึ่งผู้วิจัยขอขอบพระคุณเป็นอย่างสูงมา ณ โอกาสนี้

เอกสารอ้างอิง

ทองจวน คุณพุทธิณี, นิภาพร คังคะวิสุทธิ และนฤคันธ์ วาสิตติก. (2563). ผลของระยะเวลาอบแห้งเยือกแข็งและอุณหภูมิในการคั่วต่อคุณภาพของสละแช่อิ่ม. วารสารเทคโนโลยีการอาหาร มหาวิทยาลัยสยาม. 15(2):155-163.
 นิธิยา รัตนพานนท์. (2557). เคมีอาหาร. พิมพ์ครั้งที่ 2. สำนักพิมพ์โอเดียนสโตร์: กรุงเทพฯ.

- พรกันยา ม้าวิไล, ณัฐชา เฉลยจิตรธรรม, ธัชพงษ์ พงศ์สุทธิยากร และพิมพ์เพ็ญ พรเฉลิมพงศ์. (2560). ผลของสภาวะการอบแห้งขั้นสุดท้ายต่อคุณภาพของแก้มังกรทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง. ใน ประชุมวิชาการสมาคมวิศวกรรมเกษตรแห่งประเทศไทยระดับชาติ ครั้งที่ 18 และระดับนานาชาติ ครั้งที่ 10 ประจำปี 2560 (The 18th TSAE National Conference and The 10th TSAE International Conference : TSEA 2017) ภายใต้หัวข้อเรื่อง “Agricultural Engineering for the Digital Age”. 7-9 กันยายน 2560. อิมแพ็คเอ็กซิบิชั่นเซ็นเตอร์ กรุงเทพฯ. 66-70.
- มะลิ นาชัยสินธุ์. (2559). เทคโนโลยีการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็งสำหรับแปรรูปข้าวไรซ์เบอร์รี่กิ่งสำเร็จรูป. ใน ประชุมวิชาการระดับชาติและนานาชาติ “ราชภัฏวิจัย ครั้งที่ 4”. 22-24 พฤศจิกายน 2559. มหาวิทยาลัยราชภัฏบุรีรัมย์. 1140-1145.
- วันชนก ไกรงาม. (2564). ผลของการแช่เยือกแข็งต่อจุลนาผลศาสตร์การทำแห้ง และคุณภาพของแตงโมที่ทำแห้งแบบแช่เยือกแข็งภายใต้สภาวะความดันบรรยากาศ. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีอาหาร ภาควิชาเทคโนโลยีอาหาร มหาวิทยาลัยศิลปากร.
- ศูนย์วิจัยกสิกรรมไทย. (2566). อุตสาหกรรมอาหารและเครื่องดื่ม. ค้นเมื่อ 6 ตุลาคม 2566.
http://www.kasikornbank.com/SME/Documents/KSMEAnalysis/IndustrySolution_FoodsAn.
- ศูนย์นวัตกรรมอาหารและบรรจุภัณฑ์. (2563). การทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง (Freeze Drying). ค้นเมื่อ 22 ตุลาคม 2566.
https://fin.cmu.ac.th/?fbclid=IwAR3M9FWuJxZhjfr-oMSrKGPPsPLLJPb2O9aLb5LvCuQaHEvm_kMC-J16Vo.
- สุภาวดี สมคะเน. (2563). การศึกษาผลของการแช่เยือกแข็งและระยะเวลาในการเก็บรักษาต่อคุณภาพ. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีอาหาร ภาควิชาเทคโนโลยีอาหาร มหาวิทยาลัยศิลปากร.
- สำนักงานเกษตรและสหกรณ์จังหวัดเพชรบุรี. (2565). ข้อมูลพื้นฐานจังหวัดเพชรบุรี มกราคม 2565. ค้นเมื่อ 14 กรกฎาคม 2566. <https://www.opsmoac.go.th/phetchaburi-dwl-file>.
- สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม. (2558). มาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชนผักและผลไม้อบแห้ง (มผช. 136/2558). สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม กระทรวงอุตสาหกรรม. กรุงเทพฯ.
- สำนักเศรษฐกิจการเกษตร. (2564). ข้อมูลการนำเข้าและส่งออกกล้วยหอมทองของประเทศไทยปี 2563-2564. ค้นเมื่อ 14 ตุลาคม 2566. <https://www.mis-app.oae.go.th/product/กล้วย>.
- AOAC. (2012). Official methods of analysis of association of official analytical chemists. 19th Edition. Washington.
- Guine R. and Barroca M. (2012). Effect of drying treatments on texture and color of vegetables (pumpkin and green pepper). Food and Bioproducts Processing-Food Bioprod Processing. 90(1): 58-63.
- Horie A., Kobayashi T. and Nakagawa K. (2018). Modeling of atmospheric freeze-drying for sliced fruit. IDS'2018-21st International drying symposium valencia. Spain. 11-14 September 2018 DOI: <http://dx.doi.org/10.4995/ids2018.2018.7643>.
- Mawilai P., Chaloeichitratham N. and Pornchaloempong P. (2019). Processing feasibility and qualities of freeze-dried mango powder for SME scale. IOP Conference Series: earth and environmental science. The 12th TSAE International Conference 14-15 March 2019 Hard rock hotel Pattaya, Chonburi. Thailand.
- Nazmilzli G., Gokcen I. and Taskin O. (2017). Influence of different drying techniques on drying parameters of mango. Food Science and Technology (Campinas). 37(4): 604-612.
- Reyes A., Mahn A. and Huenulaf P. (2011). Drying of apple slices in atmospheric and vacuum freeze dryer. Drying Technology. 29(9): 1076-1089. doi:10.1080/07373937.2011.568657

- Tatemoto Y., Mibu T., Yokoi Y. and Hagimoto A. (2015). Effect of freezing pretreatment on the drying characteristics and volume change of carrots immersed in a fluidized bed of inert particles under reduced pressure. *Journal of Food Engineering*. 173(1): 150-157.
doi:10.1016/j.jfoodeng.2015.11.006.

Received: April 24, 2024; Revised: August 23, 2024; Accepted: September 6, 2024

อิทธิพลของพาโคลบิวทราโซลต่อการเจริญเติบโตและวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมี ของดอกสายหยุด

Effect of paclobutrazol on growth and chemical compositions analysis of *Desmos chinensis* Lour

อนันต์ ปิริยะภักทิกิจ^{1*}, พรกมล รูปเลิศ¹, มารียาห์ แสนแก้ว¹, พัชรี เดชเลย์¹ และนิรันดร์ วิพันธุ์เงิน²
Anan Piriayaphattarakit^{1*}, Ponkamom Ruploet¹, Mareyah Saenkaew¹, Patcharee Dechlay¹
and Nirun Vipunngeun²

¹ศูนย์เชี่ยวชาญนวัตกรรมเกษตรสร้างสรรค์ สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย (วว.) จังหวัดปทุมธานี

¹Expert Center of Innovative Agriculture (InnoAg), Thailand institute of Science and Technological Research, Pathum Thani Province.

²วิทยาลัยเภสัชศาสตร์ มหาวิทยาลัยรังสิต จังหวัดปทุมธานี

²College of Pharmacy, Rangsit University, Pathum Thani Province

*Corresponding Author E-mail Address: anan_p@tistr.or.th

บทคัดย่อ

การใช้สารพาโคลบิวทราโซลต่อการเจริญเติบโตเพื่อกระตุ้นตาดอก และให้จำนวนดอกตก และวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีในดอกสายหยุด โดยวางแผนการทดลองแบบสุ่มบล็อกสมบูรณ์ (Randomized complete block design: RCBD) ณ สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย (วว.) ระหว่างเดือนกรกฎาคม-พฤศจิกายน พ.ศ. 2566 ประกอบด้วยระดับความเข้มข้นของสารพาโคลบิวทราโซล จำนวน 5 ระดับ ได้แก่ 0 5.5 6.5 7.5 และ 8.5 กรัมต่อลิตร โดยปลูกลงกระถางขนาด 20 นิ้ว ใช้วัสดุปลูก ได้แก่ มะพร้าวสับร่วมกับดินผสมใบก้ามปู อัตราส่วน 1:1 วัสดุสารพาโคลบิวทราโซลลงดินทุก 15 วันหลังปลูก บันทึกการเจริญเติบโตทุก 15 วัน เป็นเวลา 2 เดือน และบันทึกจำนวนดอกเป็นเวลา 3 เดือน จากการทดลอง พบว่า ต้นสายหยุดอายุ 2 เดือน ส่งผลให้ต้นควบคุมมีความสูงต้น จำนวนยอด ขนาดทรงพุ่มมากที่สุด เท่ากับ 99.9 เซนติเมตร 11 ยอดต่อต้น 58.5 เซนติเมตร ส่วนจำนวนดอก และน้ำหนักสดดอก มีค่าเท่ากับ 85 และ 8.98 กรัม ตามลำดับ แสดงให้เห็นว่า การใช้สารพาโคลบิวทราโซลสามารถชะลอการเจริญเติบโต ทำให้พืชมีความสูง และความกว้างทรงพุ่มลดลง เมื่อเปรียบเทียบกับต้นปกติ ส่วนสารที่เป็นองค์ประกอบของน้ำมันหอมระเหย พบว่า มีจำนวน 35 ชนิด เป็นองค์ประกอบหลัก ได้แก่ Asarone (50.50%) β -Asarone (16.65%) Isohomogenol (9.06%) 6-Epishyobunone (4.33%) (+)-2-Bornanone (1.98%) Trans- β -Ocimene (1.74%) 3-Carene (1.10%) และพบสารประกอบอื่นที่เป็นประโยชน์อีกหลายชนิด

คำสำคัญ: ดอกสายหยุด พาโคลบิวทราโซล การเจริญเติบโต องค์ประกอบทางเคมี

Abstract

Utilization of paclobutrazol for growth to stimulate flower buds and produce a high number of flowers and analyze the chemical composition in *Desmos chinensis* Lour. A randomized complete block design (RCBD) was used in this study at Thailand Institute of Scientific and Technological Research (TISTR), Between July-November 2023, consisting of paclobutrazol concentration levels with 5 treatment levels: 0, 5.5, 6.5, 7.5, and 8.5 g/l. Planting in 20-inch pots using a planting mix consisting of coconut husk chips with soil mixed with crab claw leaves at a 1:1 ratio. Applying paclobutrazol every 15 days after planting. Recording growth progress every 15 days for a period of 2 months and noting the flower count for 3 months. The results indicated that after 2 months of growth, the terminal buds resulted in the maximum height of the control plants being 99.9 centimeters, with 11 shoots per plant and a canopy size of 58.5 centimeters. The flower count and fresh flower weight, they were recorded as 85 grams and 8.98 grams, respectively. Shows that using paclobutrazol can slow down growth. Make plants taller and canopy width decreased when compared to normal trees. The components of the essential oil were found to consist of 35 types, with the main constituents being Asarone (50.50%), β -Asarone (16.65%), Isohomogenol (9.06%) and 6-Epishyobunone (4.33%), (+)-2-Bornanone (1.98%), Trans- β -Ocimene (1.74%), 3-Carene (1.10%). Additionally, several other beneficial compounds were identified.

Keywords: *Desmos chinensis* Lour, Paclobutrazol, Growth, Chemical compositions

บทนำ

สายหยุด *Desmos chinensis* Lour จัดอยู่ในวงศ์ Annonaceae มีถิ่นกำเนิดในเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ (รวมถึงประเทศไทย) เป็นไม้พุ่มรอเลื้อย สูง 1-5 เมตร เถาเรียบสีน้ำตาลเข้ม กิ่งอ่อนมีขนหนาแน่น กิ่งแก่เกลี้ยงสีดำ ใบเดี่ยว เรียงสลับ รูปขอบขนานแกมใบหอก หลังใบเกลี้ยงเป็นมัน ดอกเดี่ยว เริ่มออกสีเขียวและต่อมาเปลี่ยนเป็นสีเหลือง กลีบชั้นในเล็กกว่าชั้นนอก กลีบชั้นนอกแยกกัน รูปขอบขนานแกมรูปรี แต่กลีบมีลักษณะบิดงอ โคนกลีบดอกมีรอยคอดใกล้ฐานดอก โคนตัด ปลายแหลม ผลกลุ่ม ผลอ่อนสีเขียว เมื่อสุกสีดำ เป็นมัน ในหนึ่งผลย่อยมีเมล็ด มีรอยคอดระหว่างเมล็ดชัดเจน เมล็ด รูปทรงกลมหรือรูปรี ผิวเกลี้ยง สีน้ำตาล ออกดอกช่วงเดือนพฤษภาคมถึงสิงหาคม ติดผลเดือนพฤษภาคมถึงตุลาคม พบตามป่าดิบชื้น ป่าดิบแล้ง และป่าเบญจพรรณ (ปิยะ และคณะ, 2548) เป็นพันธุ์ไม้หอมที่ส่งกลิ่นหอมแรงมาก ออกดอกตลอดปี สามารถปลูกได้ดีในพื้นที่มีแสงน้อย ต้องการแสงในระดับปานกลาง ประมาณ 50–70 เปอร์เซ็นต์ ค่อนข้างอดทนต่อสภาพแวดล้อม ยิ่งอายุมากยิ่งออกดอกมาก ขนาดของดอกจะใหญ่และสีเหลืองเข้มขึ้น ดอกสด มีน้ำมันหอมระเหย ทำให้มีกลิ่นหอมเฉพาะตัว เข้ายาหอมบำรุงหัวใจ ตัน และราก ใช้เข้ายาอบ รักษาอาการติดยาเสพติด ราก ต้มน้ำดื่ม แก้ปวดเมื่อย (วิทย์, 2542)

ปัจจุบันมีการใช้สารพลาโคลบิวทราโซลกับพืชอย่างแพร่หลาย โดยนำมาใช้ในการควบคุมการเจริญเติบโต เช่น ความสูงต้น ขนาดทรงพุ่ม ซึ่งทำได้ทั้งวิธีพ่นทางใบและการราดสารลงดิน แต่วิธีการที่เหมาะสมสำหรับการใช้สารพลาโคลบิวทราโซล คือ การราดสารลงดิน เนื่องจากสารสามารถดูดซึมผ่านทางรากได้ดีและเร็วกว่าการพ่นสารทางใบ (พีรเดช, 2546) ซึ่งการราดสารลงดินสามารถยับยั้งการเจริญเติบโตของพืชในทุกส่วนได้นานกว่า และใช้ในอัตราที่ต่ำกว่าการพ่นสารทางใบ เป็นสารที่ไปขัดขวางกระบวนการสังเคราะห์ฮอร์โมนในกลุ่มจิบเบอเรลลิน (Gibberellins) ในพืช จึงมีผลชะลอการเจริญเติบโตของเนื้อเยื่อบริเวณใต้ปลายยอดและการยืดยาวของข้อปล้อง (Mubarak, 2008) เมื่อเคลื่อนย้ายเข้าสู่ใบพืชแล้วสารบางส่วนจะเคลื่อนที่เข้าสู่ท่อลำเลียงอาหาร ทำให้สารไม่สามารถเคลื่อนที่ไปยังจุดที่จะแสดงผลตอบสนองต่อสารได้อย่างทั่วถึง ส่วนใหญ่นิยมนำมาใช้กับพืชในกลุ่มไม้ดอกไม้ประดับ และไม้ยืนต้น เพื่อควบคุมความกว้างทรงพุ่ม และใช้เพื่อกระตุ้นให้การออกดอกของพืชหลายชนิดทำให้ออกดอกเร็วขึ้น ช่วยเพิ่มอัตราการออกดอก มีจำนวนช่อดอกและจำนวนดอกต่อกิ่งเพิ่มมากขึ้น (พีรเดช, 2546)

องค์ประกอบทางเคมี (Chemical constituents) ที่พบในพืชหรือบางครั้งเรียกว่าสารพฤกษเคมี (Phytochemicals) หมายถึง สารอินทรีย์เคมีที่สร้างโดยพืช แบ่งเป็น 2 กลุ่มใหญ่ คือ เมแทบอลิต์ปฐมภูมิ (Primary metabolites) ซึ่งเป็นสารที่มีความจำเป็นในการดำรงชีวิตของพืช สารกลุ่มนี้ได้แก่ คาร์โบไฮเดรต (Carbohydrates) โปรตีน (Proteins) ไขมัน (Lipids) กรดนิวคลีอิก

(Nucleic acids) กลุ่มที่สอง คือ เมแทบอไลต์ทุติยภูมิ (Secondary metabolites) เป็นกลุ่มสารที่ไม่เกี่ยวข้องกับการดำรงชีวิตของพืช และไม่ทราบหน้าที่หลักของสารนี้ในพืชแต่ถูกนำมาใช้ประโยชน์ทางด้านสุขภาพในมนุษย์อย่างกว้างขวาง เช่น ใช้เป็นยารักษาโรคหรือเครื่องสำอาง สารกลุ่มนี้ที่นำมาใช้ประโยชน์ เช่น อัลคาลอยด์ (Alkaloids) สารประกอบฟีนอลิก (Phenolic compounds) เทอร์เพน (Terpenes) ควิโนน (Quinones) คาร์ดิแอกไกลโคไซด์ (Cardiac glycosides) ซาโปนิน (Saponins) สารบางชนิดเป็นพิษต่อมนุษย์ เช่น ไซยาโนเจนิกไกลโคไซด์ (Cyanogenic glycosides) เป็นต้น (เมธิน, 2566) ดังนั้นงานวิจัยนี้ จึงได้ศึกษาการปลูกเลี้ยงสายหยุดโดยใช้สารพาโคลบิวทราโซลต่อการเจริญเติบโตเพื่อกระตุ้นตาดอกและให้จำนวนดอกตก และองค์ประกอบทางเคมีที่มีในดอกสายหยุด ในการศึกษาจำเป็นต้องทราบถึงองค์ประกอบทางเคมีของสายหยุด เพื่อนำไปใช้ประโยชน์ในการศึกษาเกี่ยวกับสารออกฤทธิ์ ผลข้างเคียงหรือความเป็นพิษที่อาจเกิดขึ้นต่อไป

วัสดุ อุปกรณ์ และวิธีการ

ศึกษาปริมาณสารพาโคลบิวทราโซล (PBZ) ที่มีอิทธิพลต่อการเจริญเติบโตและการออกดอกของสายหยุด โดยวางแผนการทดลองแบบสุ่มบล็อกสมบูรณ์ (Randomized complete block design: RCBD) ณ สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย (วว.) นำต้นสายหยุดอายุ 2 เดือน ปลูกเลี้ยงในกระถางดำขนาด 20 นิ้ว กว้าง 38 สูง 33 กันกระถาง 30 เซนติเมตร ในพื้นที่กลางแจ้ง ใช้วัสดุปลูก ได้แก่ ดินผสมใบก้ามปูร่วมกับมะพร้าวสับ อัตรา 1:1 ส่วน โดยน้ำหนัก ประกอบด้วยระดับความเข้มข้นของสารพาโคลบิวทราโซล 15% WP (Wetttable powder) จำนวน 5 ระดับ ระดับละ 5 ซ้ำ ซ้ำละ 5 ต้น ปลูกกระถางละ 1 ต้น ได้แก่ 0 5.5 6.5 7.5 และ 8.5 กรัมต่อลิตร โดยราดสารพาโคลบิวทราโซล ทุก 15 วันหลังปลูก ดูแลรดน้ำทุกวันเช้า-เย็น ตลอดระยะเวลาการทดลอง

บันทึกข้อมูลการเจริญเติบโตของสายหยุด ทุก 15 วัน เป็นเวลา 2 เดือน และบันทึกข้อมูลจำนวนดอกหลังปลูกเลี้ยง 3 เดือน บันทึกข้อมูลการเจริญเติบโตของสายหยุด ได้แก่ ความกว้างทรงพุ่ม (เซนติเมตร) โดยวัดส่วนของต้นแม่ที่มีขนาดกว้างที่สุดด้วยไม้บรรทัด ความสูงต้น (เซนติเมตร) โดยวัดจากโคนต้นถึงปลายยอดด้วยไม้บรรทัด จำนวนยอดต่อต้น (ยอดต่อต้น) โดยนับจำนวนยอดที่แตกจากต้นแม่พันธุ์ จำนวนดอก (ดอกต่อต้น) โดยนับจำนวนดอกที่ออกจากต้นแม่พันธุ์ และผลผลิตน้ำหนักสดดอก (กรัม)

การสกัดน้ำมันหอมระเหย รวบรวมดอกสายหยุดทั้ง 5 ระดับ นำดอกสายหยุดแต่ละระดับมาสกัดด้วยวิธีการกลั่นด้วยน้ำ (Water distillation / Hydro distillation) โดยชั่งตัวอย่างพืชที่ถูกหั่นให้เป็นชนิดขนาดเล็ก น้ำหนัก 500 กรัม บรรจุลงในขวดก้นกลมขนาด 2 ลิตร จากนั้นเติมน้ำกลั่นปริมาตร 1 ลิตร ให้ท่วมตัวอย่างสมุนไพรที่สกัด นำเข้าสู่เครื่องกลั่น Clevenger apparatus ที่ต่อเข้ากับชุด Condenser และ Graduate tube จากนั้นนำไปกลั่นที่อุณหภูมิ 130-150 องศาเซลเซียส เมื่อน้ำเริ่มเดือดแล้วปรับความเร็วในการกลั่นให้ได้ 2-3 มิลลิลิตร ต่อนาที เป็นเวลา 5 ชั่วโมง จนปริมาณน้ำมันที่ได้คงที่ ลดอุณหภูมิแล้วทิ้งไว้ให้เย็น ไขน้ำใน Graduate tube ออกช้า ๆ จนกระทั่งระดับน้ำมันที่กลั่นได้อยู่ที่ Preparation line แล้วทิ้งไว้ 1 ชั่วโมง อ่านปริมาตรที่ได้ จากนั้นจึงนำน้ำมันที่ได้ไปวิเคราะห์หาปริมาณสารสำคัญด้วยเครื่อง Gas Chromatography–Mass Spectrometry (GC-MS)

วิเคราะห์ผลทางสถิติด้วยโปรแกรม IBM SPSS Statistics 26 เปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยโดยวิธี Duncan's multiple range test (DMRT) ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05

ผลการวิจัย และการอภิปรายผล

จากการใช้สารพาโคลบิวทราโซลในสายหยุด พบว่า ต้นควบคุม มีความสูงต้น (เซนติเมตร) และความกว้างทรงพุ่ม (เซนติเมตร) มากที่สุด มีความแตกต่างกันทางสถิติกับอัตรา 5.5 กรัมต่อลิตร มีค่าเท่ากับ 74.32 และ 42.59 เซนติเมตร และ 8.5 กรัมต่อลิตร มีค่าน้อยที่สุดเท่ากับ 72.1 และ 37.9 ตามลำดับ ส่วนด้านจำนวนยอด (ยอดต่อต้น) ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ (ตารางที่ 1) การใช้สารพาโคลบิวทราโซลสามารถชะลอการเจริญเติบโต ทำให้พืชมีความสูง และความกว้างทรงพุ่มลดลง เมื่อเปรียบเทียบกับต้นปกติ เนื่องจากสารพาโคลบิวทราโซลมีผลต่อการยับยั้งการสร้างจิบเบอเรลลิน ทำให้เซลล์พืชมีการเจริญเติบโตและการขยายขนาดลดลงกว่าปกติ Koutrobus et al. (2004) กล่าวว่า การใช้สารพาโคลบิวทราโซลกับทานตะวัน ด้วยความเข้มข้น 1,000 มิลลิกรัมต่อลิตร ในระยะออกดอก ทำให้ทานตะวันมีความสูงต้นลดลง สอดคล้องกับ

Saenthongkham et al. (2019) พบว่า วิธีการให้สารพาโคลบิวทราโซลโดยการราด ให้ผลในการลดความสูงของแก่นต้นได้ดี และเมื่อความเข้มข้นสารเพิ่มมากขึ้น จะให้ผลการตอบสนองดีขึ้นด้วย สอดคล้องกับ Karaguzel et al. (2004) ใช้วิธีการราดลงดินและการพ่นทางใบกับต้นลูพิน (Lupines) พบว่า วิธีการราดลงดินมีประสิทธิภาพดีกว่าการฉีดพ่นทางใบ และต้นดาวเรืองที่ได้รับสารละลายพาโคลบิวทราโซลความเข้มข้น 100 ppm ให้ค่าความสูงต้น ขนาดลำต้น และขนาดทรงพุ่มลดลง เมื่อเทียบกับกลุ่มควบคุมมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ เช่นเดียวกับ นิติพัฒน์ (2557) พบว่า การราดสารส่งผลให้เกิดการลดการเจริญเติบโตของใบและปล้องของชวนชมพันธุ์ฮอลแลนด์ได้ ธนวิทย์ และคณะ (2015) พบว่า ต้นดาวเรืองที่รดด้วยสารละลายพาโคลบิวทราโซลปริมาณ 200 มิลลิลิตรต่อต้น ทำให้ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางลำต้นเฉลี่ยน้อยที่สุด Mansuroglu et al. (2009) รายงานการให้สารพาโคลบิวทราโซลในต้นลาร์คสปอร์ (Larkspur) พบว่า ความสูง ความยาวข้อปล้อง ความยาวช่อดอกหลักและรอง ความยาวก้านดอก และจำนวนช่อดอกลดลง เมื่อใช้ความเข้มข้นของสารละลายพาโคลบิวทราโซลเพิ่มขึ้น

ตารางที่ 1 การเจริญเติบโตของต้นสายหยุดอายุ 1 เดือน

ระดับความเข้มข้นของสาร (กรัมต่อลิตร)	ความสูงต้น (เซนติเมตร)	จำนวนยอด (ยอดต่อต้น)	ความกว้างทรงพุ่ม (เซนติเมตร)
0 (ควบคุม)	87.5 ^a	9.7	52.2 ^a
5.5	74.32 ^b	9.46	42.59 ^b
6.5	77.93 ^{ab}	8.1	41.05 ^b
7.5	74.6 ^b	9.5	39.2 ^b
8.5	72.1 ^b	8.2	37.9 ^b
F-test	*	ns	*
CV (%)	14.98	35.54	21.72

หมายเหตุ: * = ค่าเฉลี่ยที่กำกับด้วยอักษรต่างกันในสดมภ์เดียวกันมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) ด้วยวิธี DMRT
ns = ไม่แตกต่างกันทางสถิติ

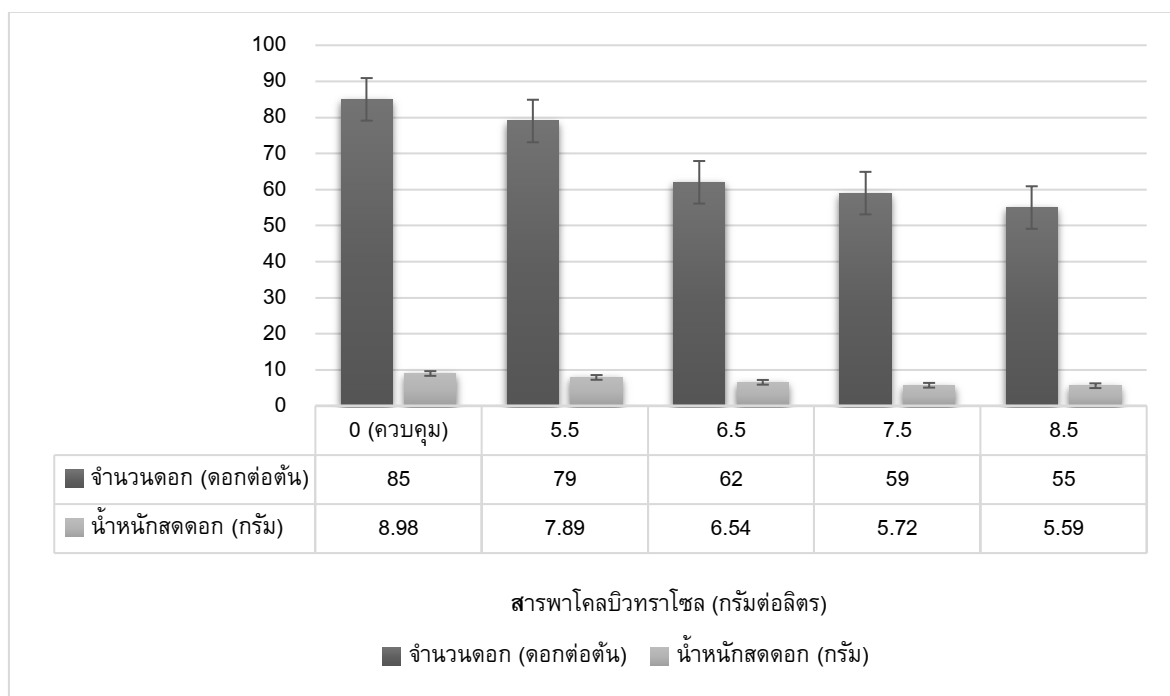
ส่วนการเจริญเติบโตของสายหยุดอายุ 2 เดือน พบว่า ต้นควบคุมให้ค่าความสูงต้น จำนวนยอด และความกว้างทรงพุ่มมากที่สุด มีความแตกต่างกันทางสถิติกับการใช้สารในอัตราอื่น ๆ เนื่องจากสารควบคุมการเจริญเติบโต (PBZ) อัตรา 7.5 กรัมต่อลิตร มีอิทธิพลต่อความสูงต้น ทำให้ต้นเตี้ยลง และความกว้างทรงพุ่ม มีขนาดเล็กลง ส่วนอัตรา 6.5 กรัมต่อลิตร มีจำนวนยอดน้อยที่สุด ตามลำดับ (ตารางที่ 2) เนื่องจากกลไกการยับยั้งการสังเคราะห์จิบเบอเรลลินชั่วคราวในพืช สารพาโคลบิวทราโซลส่งผลให้พืชมีความกว้างทรงพุ่มลดลง สอดคล้องกับ ใจศิลป์ (2542) ศึกษาการใช้สารพาโคลบิวทราโซลกับชวนชมพันธุ์ฮอลแลนด์ จารุวรรณ (2545) ศึกษากับกุหลาบหนู Grzesik et al. (1992) ศึกษากับโรโดเดนดรอน และ Gad et al. (1997) ศึกษากับพืชมะเขือเทศ ทั้งนี้ความกว้างของทรงพุ่มมีแนวโน้มลดลงอย่างมีนัยสำคัญเมื่อระดับความเข้มข้นเพิ่มขึ้นในทุกช่วงเวลาของการราดสาร

ตารางที่ 2 การเจริญเติบโตของต้นสายหยุดอายุ 2 เดือน

ระดับความเข้มข้นของสาร (กรัมต่อลิตร)	ความสูงต้น (เซนติเมตร)	จำนวนยอด (ยอดต่อต้น)	ความกว้างทรงพุ่ม (เซนติเมตร)
0 (ควบคุม)	99.9 ^a	11 ^a	58.5 ^a
5.5	81.7 ^b	10.82 ^a	46.97 ^b
6.5	84.69 ^b	9.33 ^c	47.24 ^b
7.5	77.9 ^b	10.5 ^b	44.3 ^b
8.5	79.7 ^b	10 ^c	46.1 ^b
F-test	*	*	*
CV (%)	10.4	16.19	12.98

หมายเหตุ: * = ค่าเฉลี่ยที่กำกับด้วยอักษรต่างกันโดยมีเครื่องหมายแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) ด้วยวิธี DMRT
ns = ไม่แตกต่างกันทางสถิติ

การให้สารพาลิโคลบิวทราโซลไม่ส่งผลต่อการออกดอกของสายหยุด แต่มีผลต่อจำนวนดอก ซึ่งแสดงให้เห็นว่าปริมาณสารที่เพิ่มขึ้นมีผลให้จำนวนดอกลดลง (รูปที่ 1) สอดคล้องกับ งามอาจ (2534) พบว่า การใช้สารพาลิโคลบิวทราโซลในปริมาณที่เพิ่มมากขึ้นมีผลทำให้จำนวนดอกต่อกระถาง และขนาดดอกลดลง เมื่อเทียบกับต้นปกติ เนื่องจากสารมีผลต่อการยับยั้งการเจริญเติบโตของเนื้อเยื่อเจริญ ทำให้มีผลกระทบต่อการพัฒนาการเจริญเติบโตของดอก อาจมีสาเหตุจากสารพาลิโคลบิวทราโซลไปยับยั้งการเจริญของตาด้านล่าง ทำให้ไม่สามารถแตกเป็นยอดใหม่ได้ ทำให้จำนวนตาที่แตกใหม่น้อยกว่า จึงมีผลให้จำนวนดอกน้อยลงด้วย ซึ่งเป็นไปได้ว่าการใช้สารพาลิโคลบิวทราโซลในปริมาณความเข้มข้นที่มากเกินไปอาจส่งผลให้ไปยับยั้งการสร้างดอกได้ สอดคล้องกับ Mansuroglu et al. (2009) รายงานว่าการให้สารพาลิโคลบิวทราโซลในต้นลาซสปอร์ (Larkspur) ส่งผลให้จำนวนช่อดอกลดลง เมื่อใช้ความเข้มข้นของสารละลายพาลิโคลบิวทราโซลเพิ่มขึ้น และสอดคล้องกับ ใจศิลป์ (2542) พบว่า ขนุนที่ได้รับสารพาลิโคลบิวทราโซลความเข้มข้นต่ำ ทำให้มีจำนวนดอกมากที่สุด การให้สารที่มีความเข้มข้นสูง มีผลทำให้ดอกต้อต้นลดลง ส่วนต้นขนุนที่ไม่ได้รับสาร มีขนาดของดอกใหญ่ที่สุด ซึ่งเหตุดังกล่าวย่อมมีความสัมพันธ์กับจำนวนดอกด้วย



รูปที่ 1 จำนวนดอกและน้ำหนักสดดอกหลังปลูกเลี้ยงอายุ 3 เดือน

ลักษณะของสายหยุดที่ได้รับสารพาโคลบิวทราโซล ส่งผลให้มีการเปลี่ยนแปลงทางสัณฐานวิทยา ทั้งด้านความสูงต้น ขนาดทรงพุ่ม ลักษณะใบ และดอก หักเป็นเกรียว (รูปที่ 2)



(ก) ใบสายหยุดที่ไม่ได้รับสารพาโคลบิวทราโซล



(ข) ใบสายหยุดที่ได้รับสารพาโคลบิวทราโซล



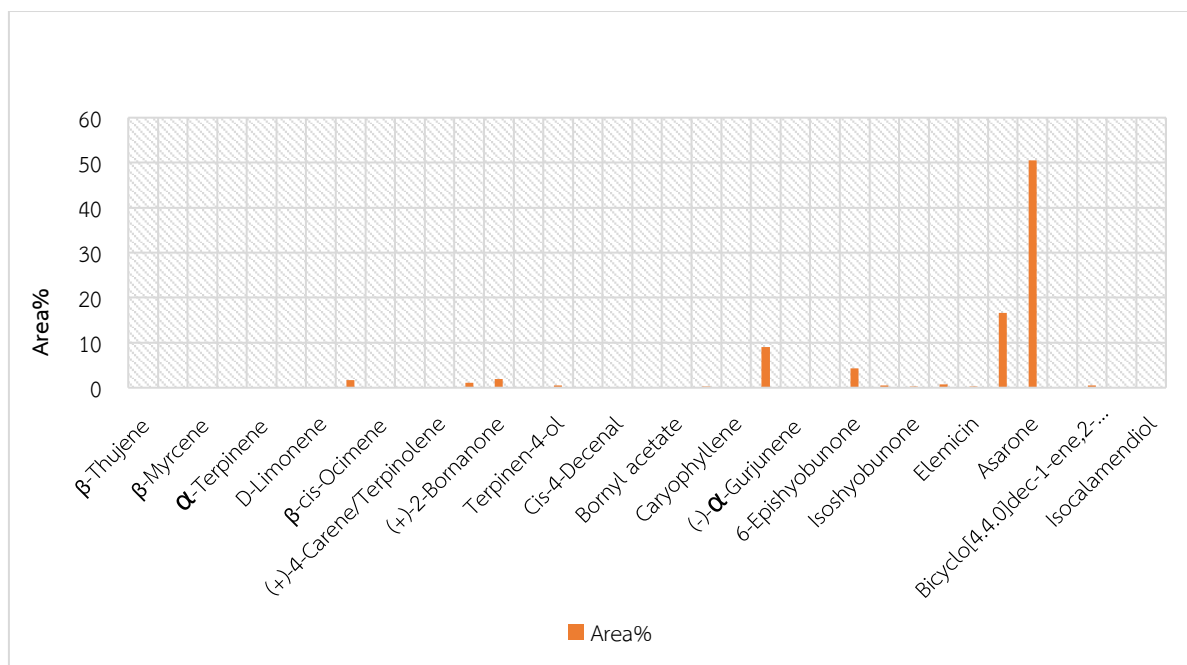
(ค) ดอกสายหยุดที่ไม่ได้รับสารพาโคลบิวทราโซล



(ง) ดอกสายหยุดที่ได้รับสารพาโคลบิวทราโซล

รูปที่ 2 ลักษณะทางสัณฐานวิทยาของใบและดอกสายหยุด

สารที่เป็นองค์ประกอบของน้ำมันหอมระเหยจากดอกสายหยุด จำนวน 35 ชนิด ได้แก่ Asarone (50.50%) β -Asarone (16.65%) Isohomogenol (9.06%) 6-Epishyobunone (4.33%) (+)-2-Bornanone (1.98%) Trans- β -Ocimene (1.74%) 3-Carene (1.10%) และสารประกอบอื่น ๆ หลายชนิดที่ให้ปริมาณที่แตกต่างกัน (รูปที่ 3) พบว่ามีฤทธิ์สงบประสาท ต้านอนุมูลอิสระ ฆ่าเชื้อแบคทีเรีย เชื้อรา และมีฤทธิ์ต้านการอักเสบ สอดคล้องกับ Lee et al. (2011) รายงานว่าสาร β -Asarone ในน้ำมันหอมระเหยจากต้นว่านน้ำ มีฤทธิ์ลดความดันโลหิต ยับยั้งการสะสมเซลล์ไขมัน ซึ่งอาจนำมาประยุกต์ใช้ประโยชน์เพื่อเป็นยารักษาโรคได้ ส่วนปริมาณสารที่เป็นองค์ประกอบทางเคมีของน้ำมันหอมระเหยจากดอกสายหยุด พบว่าในแต่ละระดับความเข้มข้นมีองค์ประกอบทางเคมีส่วนใหญ่ในทุกระดับไม่แตกต่างกัน เป็นไปได้ว่าสารพาโคลบิวทราโซลไม่มีผลต่อปริมาณสารสำคัญของดอกสายหยุด แต่มีผลต่อการเจริญเติบโตของต้นสายหยุด Chatpaisarn et al. (2010) รายงานการศึกษาสารในดอกสลิวดัสด้วยวิธีเดียวกันพบสารประกอบหลัก Linalool 63.4% เป็นส่วนใหญ่ พบมีสารที่ให้กลิ่นหอมสดชื่น ซึ่งองค์ประกอบทางเคมีของพืชแต่ละชนิดที่ต่างกันอาจขึ้นอยู่กับสภาพปลูกเลี้ยง การใช้สารเคมี และสภาพแวดล้อมต่าง ๆ



รูปที่ 3 องค์ประกอบทางเคมีของน้ำมันหอมระเหยจากดอกสายหยุด

บทสรุป

การใช้สารพอลิไธราโซลทำให้การเจริญเติบโตของสายหยุดลดลง เมื่อได้รับสารที่เพิ่มขึ้นจะทำให้ความสูงต้น ความกว้างทรงพุ่ม จำนวนยอดลดลง จำนวนดอก และน้ำหนักสดดอกลดลง เมื่อเปรียบเทียบกับต้นปกติ เนื่องจากสารพอลิไธราโซลมีการยับยั้งการเจริญเติบโต มีการเปลี่ยนแปลงรูปร่างและลักษณะของใบ ยอด และดอก ส่งผลให้ใบหงิกหงิกขึ้น ยอดหงิกเป็นคลื่น และดอกเล็กกว่าต้นปกติ ส่วนองค์ประกอบทางเคมีของน้ำมันหอมระเหยจากดอกสายหยุดพบมีปริมาณสารฟลักเคมีที่เป็นประโยชน์หลายชนิดที่สามารถนำมาประยุกต์ใช้เป็นผลิตภัณฑ์ต่าง ๆ ในอนาคตต่อไป

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณการสนับสนุนงบประมาณในการวิจัยจากโครงการการศึกษาพืชหอมพื้นเมืองไทยที่มีศักยภาพเพื่อพัฒนาการผลิตน้ำมันหอมระเหยคุณภาพสูงในเชิงพาณิชย์ ภายใต้การดำเนินงานโครงการของศูนย์เชี่ยวชาญนวัตกรรมเกษตรสร้างสรรค์ สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย (วว.)

เอกสารอ้างอิง

- จารุวรรณ เขียงมะณี. (2545). การใช้สารพอลิไธราโซลในการผลิตกุหลาบหนูเป็นไม้ดอกกระถางขนาด 4 นิ้ว. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาพืชสวน คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- ใจศิลป์ ก้อนใจ. (2542). การศึกษาอิทธิพลของสารพอลิไธราโซลที่มีผลต่อการเจริญเติบโตและการออกดอกของชวนชม. รายงานการวิจัย. คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ เชียงใหม่.
- ธนวิ พรหมจันทร์, กันยรัตน์ ทรัพย์, พรณา รุ่งสว่าง, อาริสา ทับทิม และพิมพ์ใจ มีตุ้ม. (2558). ผลของปริมาณการใช้สารละลายพอลิไธราโซลที่มีผลต่อการเจริญเติบโตและการออกดอกของดาวเรืองพันธุ์ลูกผสมอเมริกัน. วารสารวิชา มหาวิทยาลัยราชภัฏนครศรีธรรมราช. 34(1): 26-37.
- นิติพัฒน์ พัฒนฉัตรชัย. (2557). พอลิไธราโซล : ผลต่อการเติบโตของทรงพุ่มและปริมาณคลอโรฟิลล์ของชวนชมพันธุ์ฮอลแลนด์. วารสารแก่นเกษตร. 42(1): 39-46.

ปิยะ เฉลิมกลิ่น, จิรพันธ์ ศรีทองกุล และอนันต์ พิริยะภัทรกิจ. (2548). ไม้ดอกหอมในป่าสะแกราช. สำนักพิมพ์สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย: กรุงเทพฯ.

พีรเดช ทองอำไพ. (2546). ฮอโมนพืชและสารสังเคราะห์กับการผลิตพืช. สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์: กรุงเทพฯ.
เมธิน ผดุงกิจ. (2566). องค์ประกอบทางเคมีในพืชสมุนไพร. ค้นเมื่อ 25 มีนาคม 2567.

https://ccpe.pharmacycouncil.org/index.php?option=article_detail&subpage=article_detail&id=1419
วิทย์ เทียงบุญธรรม. (2542). สายหยุด. พจนานุกรมไม้ดอกไม้ประดับในเมืองไทย. สำนักพิมพ์อักษรพิทยา: กรุงเทพฯ.
องอาจ หาญชาญเลิศ. (2534). การใช้สารพาคโลบิวทราโซลเพื่อผลิตเบญจมาศพันธุ์เหลืองได้หัวเป็นไม้ดอกกระถาง. ใน การประชุมทางวิชาการของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ครั้งที่ 29 รายงานผลการวิจัย 4-7 กุมภาพันธ์ 2534. สาขาพืช มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. กรุงเทพฯ. 595-601.

Chatpaisarn A., Laohakunjit N. and Kerdchoechuen O. (2010). Identification of components *Michelia alba* DC. essential oil by solid-phase micro extraction head space gas chromatography mass spectrometry. Agricultural Science Journal. 41(3): 641-644.

Gad M., Schmidt G. and Gerzson L. (1997). Comparison of application methods of growth retardant on the growth and flowering of *Fuchsia magellanica* Lam. Hort Science. 29: 70-73.

Grzesik M., Joustera M.K. and Marczyński S. (1992). Effect of gibberellin GA3, paclobutrazol, chlormequat, and nutritional levels on the growth of rhododendron 'Baden Baden'. Gartenbauwissenschaft. 57(1): 25-28.

Karaguzel O., Baktir I., Cakmakci S. and Ortacesme V. (2004). Growth and flowering responses of *Lupinus varius* L. to paclobutrazol. Journal of American Society for Horticultural Science. 39(7): 1659-1663.

Koutroubas S.D., Vassiliou G. Fotiadis S. and Alexoudis C. (2004). Response of sunflower to plant growth regulators. In New Directions for a Diverse Planet: In Proceedings 4th International Crop Science Congress. http://www.cropsociety.org.au/icsc2004/poster/2/7/4/851_koutroubas.htm

Lee M.H., Chen Y.Y., Tsai J.W., Wang S.C., Watanabe T. and Tsai Y.C. (2011). Inhibitory effect of β -asarone, a component of *Acorus calamus* essential oil, on inhibition of adipogenesis in 3T3-L1 cells. Food Chemistry. 126(1): 1-7.

Mubarak A. (2008). Hopkins-Introduction to Plant Physiology. Accessed 27 March 2024.
https://www.academia.edu/29758476/Hopkins_Introduction_to_Plant_Physiology_4th_ed.

Mansuroglu S., Karaguzel O., Ortacesme V. and Sayan M.S. (2009). Effect of paclobutrazol on flowering, leaf and flower colour of *Consolida orientalis*. Pakistan Journal of Botany. 41(5): 2323-2332.

Saenthongkham A., Neera S., Jogloy S. and Hongpakdee P. (2019). Effects of PBZ and MPC for control of growth and flowering of potted jerusalem artichoke (*Helianthus tuberosus* L.). King Mongkut's Agricultural Journal. 37(2): 200-211.

Sterrett J.P. (1985). Paclobutrazol: A promising growth in-hibitor for injection into woody plants. Journal of American Society for Horticultural Science. 110(1): 4-8.

Received: May 9, 2024; Revised: September 5, 2024; Accepted: September 16, 2024

Enhancing water quality monitoring in shrimp ponds using machine learning and bio-inspired optimization

Surasit Songma^{1*}, Watcharakorn Netharn¹ and Rungkiat Kawpet¹

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

*Corresponding Author E-mail Address: surasit_son@dusit.ac.th.

Abstract

This work investigates how to improve water quality monitoring in shrimp ponds by combining machine learning and bio-inspired optimization techniques. Preprocessing the dataset is crucial before applying and evaluating classifiers like LR, DT, RF, SVM, KNN, NB and GBC against water quality indicators. Using criteria such as accuracy, precision, recall, F1-score and AUC, as well as computational aspects like as model size and CPU time, the study concludes that the RF model is clearly superior. It is further enhanced using approaches such as EBAO, EACO, ECBOA and EPSO, resulting in significant gains in prediction performance, particularly precision and recall. Among optimization methodologies, EACO stands out for striking a balance between performance enhancement and computing efficiency. The results highlight the importance of merging machine learning with bio-inspired algorithms in environmental monitoring, demonstrating a compelling methodology for improving water quality management in aquaculture. This complete approach not only enhances the precision of water quality assessments in shrimp farming but also establishes a precedent for future applications in environmental science and technology.

Keywords: Water quality, Shrimp ponds, Machine learning, Bio-inspired optimization techniques

Introduction

Shrimp farming is a big industry in Thailand and around the world (Laoong-U-thai et al., 2022). Thailand's dominant position in the worldwide aquaculture business, particularly in shrimp cultivation and production, can be due to its favorable geographical and meteorological conditions, as well as its sophisticated technological and regulatory framework. The country's vast coastal region, spanning 23 provinces and covering a total area of 3,151.10 kilometers, along with suitable climatic conditions, creates an ideal setting for aquaculture endeavors, particularly in the cultivation of shrimp. The favorable geographical location, combined with favorable climatic circumstances, has played a crucial role in the development of shrimp farming as a key element of Thailand's agricultural economy. This industry has made a considerable contribution to the country's gross domestic product by generating substantial export income. The international renown of Thai shrimp farming is attributed to its adoption of quality and sustainability techniques, which highlight the industry's dedication to environmental stewardship, social responsibility, and economic viability. The holistic approach to ensuring responsible farming methods is demonstrated via the application of standards such as Good/Best Aquaculture Practice (G/BAP),

Code of Conduct (CoC), Aquaculture Stewardship Council (ASC), and organic aquaculture. The afore mentioned activities play a crucial role in harmonizing Thailand's shrimp farming practices with international sustainability standards, consequently bolstering the industry's worldwide competitiveness and market entry.

The goal of this work is to collect thorough data on water quality in shrimp ponds to forecast future water quality trends that. Affects the growth of shrimp. After studying relevant documents and studies, it was discovered that there is currently no standardized dataset for assessing water quality in shrimp ponds. Field survey data was received from shrimp farms. This gathered real-time data on water quality from laboratory tests performed on samples obtained from over 100 ponds. These ponds are owned by experienced shrimp farmers with 15 over years of shrimp farming expertise. The importance of water quality in shrimp farming can be stressed because it has a substantial impact on shrimp health and productivity. Farmers identified seven critical parameters to monitor: pH, alkalinity, ammonia, nitrite, calcium, magnesium, and salinity which is consistent with previous research (Ahmed et al., 2019). Each of these variables is critical to the overall health of shrimp. Traditionally, shrimp farming practices have been passed down through informal routes, frequently by word of mouth across generations. If the best advice system is not created, It will affect the growth of shrimp farming. Recognizing this gap, the researchers propose using machine learning approaches to help rookie farmers better understand and anticipate water quality in shrimp ponds. This strategy intends to dramatically minimize the learning curve for shrimp farming, allowing farmers to make more efficient and informed decisions.

Machine learning is a subset of artificial intelligence in which computers to learn from data and make predictions or judgments without explicit programming. The benefit of machine learning is learning from data and using it as a model to be used as a standard for shrimp farming data in ponds. This approach solves the problem of raising shrimp in ponds where the shrimp are not growing and promotes quality shrimp farming in ponds. Its practical uses include tailored suggestions and healthcare diagnostics (Javaid et al., 2022), financial fraud detection (Ali et al., 2022), water quality assessment (Gakii and Jepkoech, 2019; Ilić et al., 2022; Islam et al., 2022), self-driving cars, language translation and more are application of machine learning. Individuals must comprehend the principles and methodologies of machine learning before implementing it.

This work entails gathering data from shrimp farms and performing laboratory checks to examine the results. The collected datasets are thoroughly cleaned and analyzed using exploratory data analysis and encoding techniques. The data is then divided into training and testing sets and input into a variety of classification models, including Logistic Regression (LR), Decision Trees (DT), Random Forest (RF), Support Vector Machines (SVM), K-Nearest Neighbors (KNN), Naïve Bayes (NB), and Gradient Boosting Classifier (GBC), to evaluate their performance. Accuracy, precision, recall, F1-Score, and Area Under Curve (AUC) are used to assess performance, in addition to model size and processing speed. The best-performing model is then chosen for optimization utilizing techniques such as Enhanced Bat Algorithm Optimization (EBAO), Enhanced Ant Colony Optimization (EACO), Enhanced Cuckoo Search-Base Optimization Algorithm (ECBOA), and Enhanced Particle Swarm Optimization (EPSO), with the goal of increasing efficiency in terms of accuracy, model size, and computation time.

The work makes several important contributions:

1. Unique dataset: The dataset utilized in this work was collected from genuine shrimp ponds by farmers with over a decade of expertise. It also includes laboratory test data, which sets it apart from past study attempts.
2. Machine learning and bio-inspired optimization Integration: In contrast to traditional methodologies, this work integrates machine learning techniques with bio-inspired optimization methods in a unified process. This integration makes the research more complete and effective.
3. Expanded performance evaluation: In addition to typical performance metrics like accuracy, the study assesses model size and processing time. These extra indicators provide useful insights into the feasibility of models for actual application.

The next sections of the paper are structured as follows: Section 2 defines the research sequence, including the research concept and methodology; Section 3 elaborates on the proposed framework and methodology; Section 4 defines the experimental setup; Section 5 presents the experimental results and associated discussions; Section 6 concludes by evaluating the model's strengths and weaknesses, and suggesting potential directions for future research.

Related work in shrimp farming has emphasized the growing worldwide and regional interest, particularly in Thailand, which has resulted in an increase in shrimp farming activities and output. Maintaining acceptable water quality is a vital element of shrimp farming, yet there is no standardized dataset for assessing it. To close this gap, researchers collected real-time water quality data from over 100 ponds, concentrating on important factors like pH, alkalinity, ammonia, nitrite, calcium, magnesium, and salinity. Given the informal nature of information flow in this business, the study suggests employing machine learning to assist rookie farmers in predicting and managing water quality changes, boosting decision-making and highlighting the potential of modern technologies in agricultural applications.

Based on document analysis and related studies. Many studies have used machine learning techniques to assess the quality of water used in shrimp, fish, and other aquaculture operations. An overview of these findings is provided in Table 1.

Table 1 Summary of studies on water quality monitoring and prediction in aquaculture

Study	Methodology/Findings
Hernández et al. (2011)	Water quality in shrimp aquaculture is evaluated using a fuzzy inference system to classify concentration levels, determining their impact on organisms. This system generates a water quality index describing ecosystem condition.
Nuanmeesri et al. (2023)	IoT devices collect data on water quality from river sensors, including salinity, pH, and temperature. This data is accurately classified using a combination of multilayer perceptron, support vector machine, and random forest algorithms. This strategy provides personalized management techniques for a variety of farm scenarios.
Somantri et al. (2018)	A water quality monitoring and aerator automation system with a timer was tested using pH and temperature sensors. Validation testing revealed proper performance with negligible mistakes across multiple scenarios. The digital data results were obtained by processing the analog sensor values.
Kajornkasirat et al. (2021)	A web and mobile application system was created for shrimp farmers and managers, using MySQL, Apache Web Server, and web technologies. Google charts and maps application programming interface assisted water quality visualization.
Ilić et al. (2022)	Using Naïve Bayes, a machine learning method, to predict water quality categories using nine characteristics. When tested using data from five locations in Vojvodina Province, Serbia, the model properly predicted 64 out of 68 incidents.
Ilić et al. (2022)	Compares the Support Vector Machine (SVM) and Artificial Neural Network (ANN) approaches for monitoring water quality. SVM obtained 90.4% accuracy, whilst ANN reached 72.1%. SVM outperformed ANN in accuracy, indicating that it is more suited for predicting water quality.

Islam et al. (2022)	A water quality prediction model based on principle component regression and gradient boosting classifier. On the Gulshan Lake dataset, it obtains 95% prediction accuracy with principle component regression and 100% classification accuracy with gradient boosting classifier.
---------------------	--

Materials and Methods

We gained significant knowledge by analyzing data and reviewing relevant academic research, which helped shape our design strategy. This corpus of knowledge has been incorporated within a research conceptual framework, which is illustrated in Figure 1.

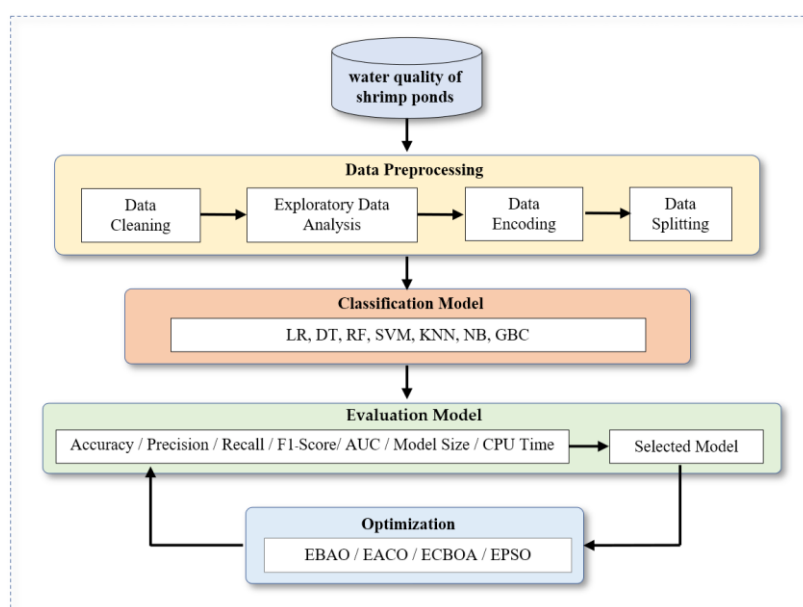


Figure 1 The proposed framework of enhancing water quality monitoring in shrimp ponds using machine learning and bio-inspired optimization

Figure 1 depicts our proposed technique, which begins by gathering data on a specific topic of concern the quality of water in shrimp farming ponds. This process includes a thorough examination of relevant facts and a review of scholarly literature.

The procedure begins with gathering and prepping a dataset on shrimp pond water quality, which includes cleaning, exploratory analysis, encoding categorical data, and separating the data for training and testing. Various classification models including LR, DT, RF, SVM, KNN, NB, and GBC are used on the preprocessed data. Each model's performance is measured using metrics such as accuracy, precision, recall, F1-Score, and Area Under the Curve (AUC), as well as model size and CPU time. The best model is then refined using bio-inspired algorithms (EBAO, EACO, ECBOA, and EPSO). The final model, based on its enhanced performance and capabilities after optimization, is projected to be extremely useful in monitoring and maintaining water quality in shrimp farming.

Experimental Setup

This work used a 64-bit Windows 11 operating system on a PC powered by an 11th Gen Intel(R) Core (TM) i7-11800H CPU @ 2.30 GHz and 32 GB of 2933 MHz DDR4 RAM. Python 3.11 was used to prepare, handle, preprocess, and analyze data, as well as train and evaluate models using certain metrics. NumPy and Pandas were utilized for efficient data handling and preprocessing, while Scikit Learn helped with model training, evaluation, and analysis of numerous performance indicators. Additionally, Matplotlib was used for data visualization.

The following sections provide further insights and details regarding the study methodology.

1. Water quality of shrimp ponds data set

In the data set presented for the water quality of shrimp ponds, our study group created a dataset that includes water quality data from over 100 shrimp ponds. These ponds, located in Suphanburi Province's Song Phi Nong District and Bang Pla Ma District, covering the period from May 2021 to June 2022. These ponds are managed by extensive shrimp farming experience, who have over 15 years of experience. The collection and subsequent lab analysis of water samples from these locations resulted in the identification of seven key water quality indicators: pH, alkalinity, ammonia, nitrite, calcium, magnesium, and salinity. These indicators are crucial in establishing the health and suitability of the water for shrimp farming, and they influence overall water quality in a variety of ways. This dataset of 1,098 items provides a solid foundation for analyzing water quality in shrimp ponds, distinguishing between good and wastewater quality (serious).

2. Data preprocessing

Data preprocessing is a critical step in data science and machine learning that prepares raw data for analysis and modeling. It modifies data to increase its quality and utility, removing missing numbers, errors, and irrelevant information. This foundational step ensures that data is in the proper format for algorithms, which has a substantial impact on model performance and accuracy, resulting in more dependable outcomes (Fan et al., 2021).

2.1 Data cleaning is the process of removing or correcting flaws, inconsistencies, and extraneous information from a dataset to improve its analytical and modeling quality. This stage may include resolving missing values, removing duplicate information, repairing errors, and standardizing data formats (Ridzuan and Wan, 2019).

2.2 Exploratory Data Analysis (EDA) is the process of evaluating a dataset to find patterns, uncover anomalies, and comprehend correlations between variables, typically through visual and statistical methods. It seeks to acquire understanding into the data's structure (Poian et al., 2023).

2.3 Data encoding converts categorical data into a numerical representation that is suitable for machine learning techniques. Depending on whether the categorical variables have a natural order, techniques such as one-hot encoding, label encoding, and ordinal encoding are applied. The choice of encoding method is critical since it has a major impact on model performance.

2.4 Data splitting divides a dataset into distinct sections for training and testing models. This step is necessary for accurately evaluating the model's performance and preventing overfitting. Typically, data is split into a training set (to learn data patterns) and a testing set (to evaluate performance on unseen data). Common split ratios are 70% for training and 30% for testing. The goal is to ensure that the model can generalize well to new data.

3. Classification model

A Classification model is a predictive model in machine learning that divides data points into specified classes depending on their characteristics. It is used in contexts with specific results, such as spam identification or disease diagnosis. Classification can be binary (two classes) or multiclass (more than two classes). The model uses a dataset with known labels to predict the class of fresh data.

3.1 Logistic Regression (LR) is a classification approach for binary tasks. It calculates the likelihood that a data point belongs to a specific class by applying a logistic (sigmoid) function to a linear combination of input features. LR learns optimal coefficients through optimization and predicts based on feature values. LR is easy, interpretable, and effective for linear or logistic associations, but it may struggle with nonlinear data (Ahmed et al., 2019; Krhoda and Owira, 2019).

3.2 Decision Tree (DT) is a versatile supervised learning technique used for classification and regression tasks. It splits the feature space recursively based on feature values, attempting to produce subsets that are as pure as feasible in terms of class labels or have the least variance. While DT are understandable and easy to envision, they are prone to overfitting. Despite this, they are still commonly used because of their simplicity, capacity to handle both numerical and categorical data, and effectiveness in capturing non-linear correlations (Ahmed et al., 2019; Gakii and Jepkoech, 2019).

3.3 Random Forest (RF) is an ensemble learning approach for classification and regression applications. It generates numerous decision trees, each trained on a different set of data and features, in order to prevent overfitting and enhance accuracy. During prediction, RF aggregates individual trees' predictions to get a final result (Lukman et al., 2023; Nuanmeesri et al., 2023). RF is a common choice in machine learning because it is adaptable, resilient, and excellent at handling a wide range of input formats.

3.4 Support Vector Machine (SVM) is a supervised learning technique used for classification and regression tasks. It determines the hyperplane that optimally separates data points from distinct classes while maximizing the margin between them. SVM can handle both linear and nonlinear data by utilizing various kernel functions. It is effective in high-dimensional spaces, resistant to overfitting, but computationally expensive. Overall, SVM is a versatile and extensively used machine learning algorithm (Guenther and Schonlau, 2016).

3.5 K-Nearest Neighbors (KNN) is a straightforward yet versatile supervised learning technique for classification and regression tasks. It predicts the class or value of a new data point based on the majority class or the average of its nearest neighbors. KNN is simple to develop and interpret, making it ideal for small datasets where interpretability is critical. However, it can be computationally expensive to predict, particularly for large datasets, and it may perform badly with high-dimensional or noisy data (Ilić et al., 2022; Uddin et al., 2022).

3.6 Naïve Bayes (NB) is a supervised machine learning method designed for classification applications. It works under the assumption of feature independence, which simplifies calculations. Despite this reduction, NB can still be effective, particularly with high-dimensional data and huge datasets. It is efficient, resistant to irrelevant features and missing data, but may suffer with feature independence breaches. NB is widely used in text classification jobs because of its simplicity and efficacy (Ilić et al., 2022).

3.7 Gradient Boosting Classifier (GBC) is an ensemble learning technique that is mostly used for classification purposes. It sequentially trains weak learners, usually decision trees, to repair errors produced by prior models. GBC uses gradient descent to minimize a loss function, allowing it to capture complicated correlations in data. It works well with diverse data types, feature interactions, and imbalanced datasets. However, GBC can be computationally expensive, necessitating hyperparameter adjustment for peak

performance. Overall, it is frequently utilized due to its excellent predicted accuracy and adaptability (Islam et al., 2022).

4. Evaluation model

Evaluation accuracy is an important parameter for measuring machine learning model performance, particularly in classification tasks, because it calculates the proportion of correctly predicted instances out of all instances in the dataset, with high accuracy indicating that the model's predictions closely match the actual outcomes. A confusion matrix is a tabular tool used to measure the efficacy of a supervised learning algorithm in classification tasks. It contains real class instances in each row and predicted class instances in each column. It includes True Positives (TP) for accurate positive predictions, True Negatives (TN) for accurate negative predictions, False Positives (FP) for inaccurate positive predictions, and False Negatives (FN) for incorrect negative predictions, providing a detailed breakdown to determine the accuracy and error of the model. This work evaluates the method's performance using metrics like accuracy, precision, recall, F1-Score, and AUC classification (Nuanmeesri et al., 2022; Songma et al., 2023). It also considers model size and CPU time as supplemental evaluation criteria.

4.1 Accuracy measures the model's overall correctness and is calculated as the proportion of correct predictions to the total number of predictions made. It is suitable for classes with similar distributions. The formula for accuracy is

$$(TP+TN) / (TP+FP+FN+TN) \quad (1)$$

4.2 Precision refers to a model's ability to correctly identify only relevant instances. In other words, it measures the proportion of true positive predictions to the total number of positive predictions. The formula for precision is

$$TP / (TP+FP) \quad (2)$$

4.3 Recall, also known as sensitivity or the true positive rate, measures the percentage of true positives correctly identified by the model. The formula for recall is

$$TP / (TP+FN) \quad (3)$$

4.4 F1-Score is the harmonic mean of precision and recall, providing a balance between the two metrics. It is particularly useful when precision and recall need to be balanced and when class distribution is uneven. The formula for the F1-Score is

$$2 * (Precision*Recall) / (Precision+Recall) \quad (4)$$

4.5 Area Under the Curve (AUC) statistic is used to assess the effectiveness of binary classification models. It indicates the model's ability to discriminate between positive and negative classes at all threshold values. The AUC scales from 0 to 1, with higher values indicating greater classification performance. It is a threshold-independent metric, which makes it useful for evaluating overall model performance, particularly in circumstances with imbalanced datasets or where threshold selection is not crucial. (Tohka and van Gils, 2021).

4.6 Model size is the amount of memory or storage needed to store a trained machine learning model. It includes all parameters, coefficients, and data structures connected with the model. Model

complexity, feature count, model type, and format all have an impact on model size. Understanding model size is critical for deployment and scalability, as it influences resource use and inference speed. Optimizing model size while preserving performance is critical in machine learning model building (Songma et al., 2023).

4.7 CPU Time is the time it takes a CPU to execute a task, which is critical for determining computational efficiency. Lower CPU Time signifies faster processing, vital for optimizing performance in real-time systems and large-scale data processing (Songma et al., 2023).

5. Optimization

5.1 Bat Algorithm Optimization (BAO) is a bio-inspired computer algorithm developed by Xin-She Yang in 2010 based on bat echolocation behavior. This algorithm simulates how bats use echolocation at changing frequencies, loudness, and pulse rates to navigate and locate prey in the dark. In BAO, virtual bats fly through the solution space, using their echolocation abilities to evaluate the quality of solutions and thereby guiding the search to the best answer. The program modifies the flight behavior of the simulated bats based on the proximity of their present position to the target, efficiently balancing exploration and exploitation in the solution space. This makes BAO particularly useful for tackling optimization problems in a variety of domains, including engineering design and data science, by identifying the best parameters or configurations that maximize or reduce a given objective function (Agarwal and Kumar, 2022).

5.2 Ant Colony Optimization (ACO) is a probabilistic method for addressing computational problems that can be simplified to finding good paths via graphs. ACO utilizes an approach inspired by ant foraging behavior, in which ants deposit pheromones on the ground to identify some favored paths that other members of the colony should follow. ACO algorithms, first introduced by Marco Dorigo in the early 1990s (Dorigo and Blum, 2005; Azargashb et al., 2021), model ant behavior, including pheromone deposition and evaporation, to discover optimal solutions. Each ant symbolizes a potential solution to the problem, and the intensity of the pheromone trail on paths affects the likelihood that succeeding ants will follow those paths. Over time, the algorithm converges on the best option as the pheromone trails leading to ideal solutions strengthen, guiding more ants along these paths. ACO has been successfully used to a variety of issues, including routing, scheduling, and assignment, demonstrating its versatility and effectiveness in identifying optimal pathways in complex search spaces (Wang and Han, 2021).

5.3 Cuckoo Search-Base Optimization Algorithm (CBOA) is a nature-inspired metaheuristic method introduced by Xin-She Yang and Suash Deb in 2009 (Yang and Deb, 2009). Drawing from the obligate brood parasitism of certain cuckoo species, where eggs are laid in other birds' nests, the algorithm simulates this process by representing solutions as cuckoo eggs in randomly chosen nests. Through iterations involving randomization and selection, solutions are refined based on an objective function, with the best nests passing down to subsequent generations. By incorporating Lévy flights, which mimic cuckoos' flight behavior during nest hunting, CBOA efficiently balances exploration and exploitation, making it adept at navigating complex multidimensional spaces. This unique blend of natural inspiration and optimization techniques enables CBOA to effectively tackle a diverse range of optimization problems across engineering, design, and data science domains.

5.4 Particle Swarm Optimization (PSO) is a computational method for optimizing a problem by iteratively improving a candidate solution based on a given quality measure. Kennedy and Eberhart created it in 1995 as a way to imitate the social behavior of birds in a flock or fish schools. In PSO, each particle in the swarm is a possible solution to the optimization issue. These particles explore the solution space by modifying their position in response to their own experience and the achievements of surrounding particles, similar to how natural swarms move to ideal feeding sites or traverse situations. The approach is distinguished by the sharing of information among particles, which drive toward their individual best-known places in the solution

space as well as the overall best position discovered by the swarm. This methodology enables PSO to efficiently search for global optima over a large range of functions and problems, making it especially valuable in domains such as engineering optimization, where older approaches may struggle due to the complexity of the solution space (Gad, 2022; Shami et al., 2022).

Results and Discussions

In the first phase, the water quality dataset for shrimp ponds is imported and prepared for future study. This process begins with data cleaning, which entails finding and correcting duplicate entries, mistakes, and missing values. The dataset for shrimp pond water quality has 1,098 items and 9 attributes, including ID, pH, alkalinity, ammonia, nitrate, calcium, magnesium, salinity, and water quality. Show in Table 2, and exam data water quality dataset show in Figure 2.

pH	Alkalinity	Ammonia	Nitrate	Calcium	Magnesium	Salinity	Quality Water
7.6	102	0	0	160	50	0	good
7.7	119	0	0	200	25	0	serious
8.1	102	0	0	160	0	0	serious
7.6	119	0	0	160	0	0	serious
7.5	136	0	0	160	50	0	good
7.7	102	0	0	120	25	0	serious
8	68	0	0	120	0	0	serious
8.6	68	0	0	120	25	0	serious
7.7	136	0.4	0.8	120	125	2	serious
7.8	119	0	0	120	75	2	good

Figure 2 Exam water quality dataset

Table 2 Water quality parameters description

Attributes	Description
ID	Assigns a unique identifier to each water sample.
pH	Measures the water's acidity or alkalinity.
Alkalinity	Assesses a water body's ability to neutralize acid, indicating its PH stability.
Ammonia	Indicates potential contamination from various sources in water.
Nitrate	Chemicals that may become dangerous pollutants in water.
Calcium	Indicates water hardness and affects taste, pipe scaling, and soap effectiveness.
Magnesium	Adds to water hardness.
Salinity	Influences taste, health, and agriculture through compounds like sodium chloride
Quality Water	Categorizes water into different levels (e.g., "good," "serious") based on measured characteristics

The Exploratory data analysis of 1,098 water samples revealed that the water is slightly basic, with an average pH of 7.82 and moderate alkalinity levels. Major pollutants like ammonia and nitrate are found in low amounts, indicating a low pollution concern. Calcium and magnesium levels suggest that the water is usually soft to moderately hard, whereas salinity, particularly sodium chloride, is low and has no effect on flavor or health. Overall, the water samples are of adequate quality for a variety of purposes, as shown in Table 3.

Table 3 A summary of water quality parameters

Parameter	Mean	Min	Max
pH	7.82	7.3	9.0
Alkalinity	113.50	36	175
Ammonia	0.02	0.0	1.8
Nitrate	0.01	0.0	0.8
Calcium	132.86	40	200
Magnesium	39.03	0.0	125
Salinity	0.18	0.0	2.0

The dataset is complete, with no missing values in any column, making it suitable for detailed study. It has a "quality water" column that categorizes water quality as "good" or "serious." With an average score of 0.67, most water samples are likely categorized as "Good" under the grading criteria. This dataset contains a complete overview of numerous water quality parameters, demonstrating that the samples are generally safe for human consumption and environmental health. Indicators analyzed, such as low levels of pollutants like ammonia and nitrates, point to effective management for both human usage and ecological balance. The qualitative water quality labels are encoded as numerical codes ('0' for 'Good' and '1' for 'Serious'), simplifying the data for further analysis and modeling.

Data splitting is the process of dividing a dataset into training and testing sets to evaluate machine learning models. A standard strategy for a 1,098-sample dataset is to allocate 70% (768 samples) for training and 30% (330 samples) for testing. Stratified splitting should be employed to maintain the category ratio ('Good' and 'Serious') across these sets, ensuring that the models appropriately represent real-world data distributions.

Table 4 Quality water distributes training and testing datasets.

Quality Water	Training		Testing	
	Amount of Data	Ratio (%)	Amount of Data	Ratio (%)
Good	257	33.46	104	31.52
Serious	511	66.54	226	68.48
Total	768	100.00	330	100.00

After complete data processing, the dataset is evaluated using machine learning algorithms created during the preprocessing steps. There are distinctions when examining the utility of classifiers such as LR, DT, RF, SVM, KNN, NB, and GBC utilizing measures such as AUC, F1-Score, recall, precision, and accuracy. RF and GBC came out as the top performers, having the highest marks across all metrics. Specifically, RF achieved near-perfect accuracy, precision, recall, and F1-Score, as well as an impressive AUC score of 0.993, exhibiting remarkable performance and identifying it as the top model for the task. Table 5-6 show summarizes the results.

Table 5 Performance metrics comparison of machine learning classifiers

Classifiers	Accuracy	Precision	Recall	F1-Score	AUC
LR	0.948	0.969	0.956	0.962	0.983
DT	0.985	0.996	0.982	0.989	0.986
RF	0.997	0.996	1.000	0.998	0.993
SVM	0.948	0.982	0.942	0.962	0.987
KNN	0.927	0.981	0.912	0.945	0.971
NB	0.627	0.990	0.460	0.628	0.980
GBC	0.997	0.996	0.995	0.997	0.990

Table 6 A comparison of CPU time and model size for machine learning classifiers

Classifiers	CPU Time (s)	Model Size (MB)
LR	0.017	0.50
DT	0.008	1.00
RF	0.213	1.20
SVM	0.097	2.50
KNN	0.027	4.50
NB	0.005	0.20
GBC	0.125	2.00

Following the study of Tables 5–6, the researcher identified RF as the best-performing model and chose to improve its efficiency using EBAO, EACO, ECBOA, and EPSO. The goal of this optimization work was to fine-tune the `n_estimators` parameter while leaving other essential parameters constant, such as `max_depth=None`, `min_samples_split=2`, and `min_samples_leaf=1`. The results of these optimization processes are extensively reported in Table 7-8, which demonstrates the efforts to determine the most effective `n_estimators` number for the Optimized RF.

Table 7 Performance metrics for optimized RF using Bio-inspired algorithms

Classifiers	Accuracy	Precision	Recall	F1-Score	AUC
Before	0.997	0.996	1.000	0.998	0.993
EBAO	0.998	0.997	1.000	0.998	0.985
EACO	0.999	0.998	1.000	0.999	0.990
ECBOA	0.998	0.997	1.000	0.998	0.985
EPSO	0.999	0.998	1.000	0.999	0.990

Table 8 A comparison of CPU time and model size for machine learning classifiers

Classifiers	CPU Time (s)	Model Size (MB)
Before	0.213	1.20
EBAO	0.220	1.30
EACO	0.219	1.40
ECBOA	0.218	1.35
EPSO	0.230	1.45

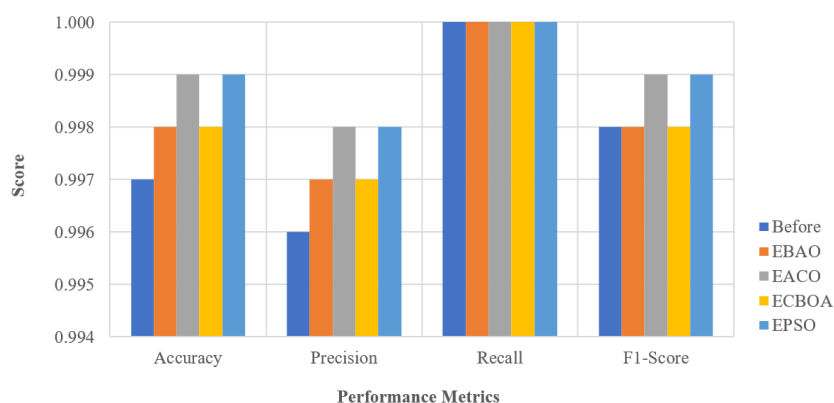


Figure 3 Performance of optimized RF with bio-inspired algorithm enhancements

Table 7-8 and Figure 3 show how bio-inspired algorithms such as EBAO, EACO, EBOA, and EPSO improve the performance metrics of an optimized RF model. Initially, performance benchmarks like as accuracy, precision, recall, F1-Score, AUC, CPU Time, and Model size are established as a baseline ("Before") for comparison. Consequently, each optimization strategy improves across all measures. EACO and EPSO stand out as top performers, with the highest results in accuracy, precision, F1-Score, and AUC while preserving flawless recall. Among these methods, EACO marginally outperforms EPSO because to its low increase in CPU time and model size, demonstrating an optimal balance of improved performance and resource efficiency. The parameter configuration with `n_estimators=160`, `max_depth=None`, `min_samples_split=2`, and `min_samples_leaf=1` is the most successful, demonstrating EACO's ability to determine optimal settings for the RF model, resulting in peak prediction performance. Figure 3 shows how the researcher visually portrays these data using a bar chart.

In the discussion of experimental findings, it is clear that bio-inspired algorithms, specifically EBAO, EACO, ECBOA, and EPSO, improve the performance of an optimized RF model highlighting the RF model's predictive powers. EACO and EPSO stand out as front-runners, with significant improvements in key performance indicators while preserving perfect recall. The minor preference for EACO, which is due to its low impact on CPU time and model size, emphasizes the significance of establishing a compromise between better model performance and resource efficiency. demonstrating EACO's success in directing the RF model to peak performance. This thorough optimization strategy not only demonstrates the promise of bio-inspired algorithms for complementing machine learning models, but also provides the framework for future research efforts to improve model performance.

Conclusion

This work unambiguously shows that bio-inspired enhanced algorithms such as EBAO, EACO, ECBOA, and EPSO can significantly improve the performance of an enhanced RF model when refined. Through painstaking parameter modifications, these methods have delivered considerable increases in key measures like as accuracy, precision, recall, F1-score, and AUC, demonstrating the promise of nature-inspired strategies in improving the efficacy of machine learning models. Furthermore, the study emphasizes the need of achieving a balance between increased performance and resource efficiency with EACO standing out for its

low impact on CPU time and model size. Overall, the findings support the use of bio-inspired techniques to drive advances in machine learning model performance.

This work demonstrates the efficiency of bio-inspired algorithms in improving an enhanced RF model, although it focuses on specific parameters and a single model type, limiting generalizability. It fails to thoroughly investigate computational costs, scalability, comparisons with alternative optimization methodologies, and the impact on model interpretability. These observed limits provide recommendations for further research.

In the future, the research will result in the creation of an advanced model capable of producing web and mobile applications suited to shrimp producers. These applications will increase usability and simplify extended testing, particularly for shrimp industry entrepreneurs. This program will include new research aimed at gathering more information about the underlying causes of common problems, as well as developing effective tactics or solutions to address them. The ultimate goal is to assure continuous optimization and maximum profit from the application's utilization.

References

- Agarwal T. and Kumar V. (2022). A systematic review on bat algorithm: Theoretical foundation, variants, and applications. *Archives of Computational Methods in Engineering*. 29(5): 2707-2736.
- Ahmed U., Mumtaz R., Anwar H., Shah A.A., Irfan R. and Garcí-Nieto J. (2019). Efficient water quality prediction using supervised machine learning. *Water*. 11: 2210. <https://doi.org/10.3390/w11112210>.
- Ali A., Razak A.S., Othman S.H., Eisa, T.A.E., Al-Dhaqm A., Nasser M., Elhassan T., Elshafie H. and Saif A. (2022). Financial fraud detection based on machine learning: A Systematic Literature Review. *Applied Sciences*. 12: 9637. <https://doi.org/10.3390/app12199637>.
- Azargashb L.S., Hashemy S.S.M. and Roozbahani A. (2021). Minimization of operational and seepage losses in agricultural water distribution systems using the ant colony optimization. *Water Resources Management*. 35(3): 827-846.
- Dorigo M. and Blum C. (2005). Ant colony optimization theory: A survey. *Theoretical Computer Science*. 344(2-3): 243-278.
- Fan C., Chen M., Wang X., Wang J. and Huang B. (2021). A review on data preprocessing techniques toward efficient and reliable knowledge discovery from building operational data. *Frontiers in Energy Research*. 9: 652801. <https://doi.org/10.3389/fenrg.2021.652801>.
- Gad A.G. (2022). Particle swarm optimization algorithm and its applications: A systematic review. *Archives of Computational Methods in Engineering*. 29(5): 2531-2561.
- Gakii C. and Jepkoech J. (2019). A Classification model for water quality analysis using decision tree. *European Journal of Computer Science and Information Technology*. 7(3): 1-8.
- Guenther N. and Schonlau M. (2016). Support vector machines. *The Stata Journal*. 16(4): 917-937.
- Hernández J.J.C., Fernández L.P.S. and Pogrebnyak O. (2011). Assessment and prediction of water quality in shrimp culture using signal processing techniques. *Aquaculture International*. 19(6): 1083-1104.
- Ilić M., Srdjević Z. and Srdjević B. (2022). Water quality prediction based on Naïve Bayes algorithm. *Water Science and Technology*. 85(4): 1027-1039.
- Islam K.M.S., Islam N., Uddin J., Islam S. and Nasir M.K. (2022). Water quality prediction and classification based on principal component regression and gradient boosting classifier approach. *Journal of King Saud University-Computer and Information Sciences*. 34(8): 4773-4781.

- Javaid M., Haleem A., Pratap S.R., Suman R. and Rab S. (2022). Significance of machine learning in healthcare: Features, pillars and applications. *International Journal of Intelligent Networks*. 3: 58-73.
- Kajornkasirat S., Ruangsri J., Sumat C. and Intaramontri P. (2021). Online analytics for shrimp farm management to control water quality parameters and growth performance. *Sustainability*. 13: 5839 <https://doi.org/10.3390/su13115839>.
- Krhoda G.O. and Owira A.M. (2019). Groundwater quality prediction using logistic regression model for Garissa County. *Africa Journal of Physical Sciences*. 3: 13-27.
- Laoong-U-thai Y., Wanna W. and Kaikaew A. (2022). DNA binding activity of marine shrimp LvProfilin. *Applied Science and Engineering Progress*. 15(3): 5522. <https://doi.org/10.14416/j.asep.2021.10.002>
- Lukman H., Na S. and Liris M. (2023). Combining generative model and random forest to predict shrimp disease occurrence. *Proceedings of the International Conference on Fisheries and Aquaculture*. 10(1): 35-44.
- Nuanmeesri S., Poomhiran L., Kadmateekarun P. and Chopvitayakun S. (2023). Improving the water quality classification model for various farms using features based on artificial neural network. *TEM Journal*. 12(4): 2144-2156.
- Poian D.V., Theiling B., Clough L., McKinney B., Major J., Chen J. and Hörst S. (2023). Exploratory data analysis (EDA) machine learning approaches for ocean world analog mass spectrometry. *Frontiers in Astronomy and Space Sciences*. 10: 1134141. <https://doi.org/10.3389/fspas.2023.1134141>.
- Ridzuan F. and Wan Z.W.M.N. (2019). A review on data cleansing methods for big data. *Procedia Computer Science*. 161: 731-738.
- Shami T.M., El-Saleh A.A., Alswaitti M., Al-Tashi Q., Summakieh M.A. and Mirjalili S. (2022). Particle swarm optimization: A comprehensive survey. *IEEE Access*. 10: 10031-10061.
- Somantri M., Herawati V.E., Sofwan A., Abdurrasyiid H. and Arfan M. (2018). Design of water quality control for shrimp pond using senso-cloud integration. In *Proceeding of 2018 5th International Conference on Information Technology, Computer and Electrical Engineering (ICITACEE)*. Semarang, Indonesia. 331-335
- Songma S., Sathuphan T. and Pamutha T. (2023). Optimizing intrusion detection systems in three phases on the CSE-CIC-IDS-2018 Dataset. *Computers*. 12(12): 245 <https://doi.org/10.3390/computers12120245>.
- Tohka J. and van Gils M. (2021). Evaluation of machine learning algorithms for health and wellness applications: A tutorial. *Computers in Biology and Medicine*. 132: 104324. <https://doi.org/10.1016/j.combiomed.2021.104324>
- Uddin S., Haque I., Lu H., Moni M.A. and Gide E. (2022). Comparative performance analysis of K-nearest neighbour (KNN) algorithm and its different variants for disease prediction. *Scientific Reports*. 12: 6256. <https://doi.org/10.1038/s41598-022-10358-x>.
- Wang Y. and Han Z. (2021). Ant colony optimization for traveling salesman problem based on parameters optimization. *Applied Soft Computing*. 107: 107439. <https://doi.org/10.1016/j.asoc.2021.107439>.
- Yang X.S. and Deb S. (2009). Cuckoo search via Lévy flights. In *2009 World Congress on Nature & Biologically Inspired Computing (NaBIC)*. Coimbatore. India. 210-214.

Received: November 23, 2023; Revised: July 25, 2024; Accepted: September 16, 2024

อิทธิพลของวัสดุปลูกต่อผลผลิตของฟักทองบัตเตอร์นัท Effects of potting mixes on Butternut Squash yields

วินากอร์ ทีรัก^{1*}, ฉัตรชัย เสนขวัณแก้ว¹ และภาคิน หมั่นทุ่ง¹
Winakon Theerak^{1*}, Chatchai Senkwankaew¹ and Phakin manthung¹

¹คณะเทคโนโลยีการเกษตร มหาวิทยาลัยราชภัฏวไลยอลงกรณ์ ในพระบรมราชูปถัมภ์ จังหวัดปทุมธานี

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

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

บทคัดย่อ

การวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อหาสูตรวัสดุปลูกที่เหมาะสมในการปลูกฟักทองบัตเตอร์นัท วางแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ (Completely Randomized Design; CRD) ทำการปลูกฟักทองบัตเตอร์นัทในดินและวัสดุปลูกที่พัฒนาขึ้น จำนวน 4 สูตร ได้แก่ สูตรที่ 1 คือหน้าดิน ส่วนสูตรที่ 2 ที่ใช้ขุยมะพร้าว สูตรที่ 3 ที่มีส่วนผสมของขุยมะพร้าว แกลบดำ มูลโคนม อัตราส่วน 1:1:1 และสูตรที่ 4 ที่มีส่วนผสมของมูลโคนม ½ ส่วน หน้าดิน ½ ส่วน ขุยมะพร้าว 2 ส่วน แกลบดำ ½ ส่วน แกลบไก่ ¼ ส่วน ผสมให้เข้ากันปรุงแต่งด้วยรำละเอียด กากถั่วเหลือง จุลินทรีย์สังเคราะห์ด้วยแสง และกากน้ำตาล ทดสอบปลูกกับฟักทองบัตเตอร์นัทสายพันธุ์สควอช จำนวน 4 ซ้ำ ๆ ละ 10 ต้น ในกระถางสี่เหลี่ยมจัตุรัส ขนาดปากกระถางเส้นผ่านศูนย์กลาง 15 นิ้ว ความสูงกระถาง 10.5 นิ้ว และ ก้นกระถางเส้นผ่านศูนย์กลาง 9.5 นิ้ว จากการทดลองพบว่าวัสดุปลูกสูตรที่ 4 มีคุณสมบัติทางเคมีและธาตุอาหารที่เหมาะสมต่อการปลูกมากที่สุด รองลงมา คือ สูตรที่ 3 และ สูตรที่ 1 ส่วนสูตรที่ 2 ที่ใช้ขุยมะพร้าวเพียงอย่างเดียวมีความเหมาะสมน้อยที่สุด เมื่อนำมาทดลองปลูก พบว่า ฟักทองบัตเตอร์นัทมีการเจริญเติบโต และคุณภาพผลผลิตดีที่สุดที่ปลูกโดยใช้วัสดุปลูกสูตรที่ 4 รองลงมา คือ สูตรที่ 3 สูตรที่ 1 และสูตรที่ 2 ตามลำดับ ดังนั้นแนะนำให้ใช้วัสดุปลูกสูตรที่ 4 ปลูกฟักทองบัตเตอร์นัท

คำสำคัญ: สูตรดินปลูก วัสดุปลูก การปรุงดิน ฟักทองบัตเตอร์นัท

Abstract

This research's objective is to investigate growth medium formulations that are suitable for cultivation of Butternut squashes. The experiment was a completely randomized design (CRD), where squashes were grown in soil and other growth media. Four growth medium formulations were studied. The first formulation was a topsoil, the second was coir, and the third was an equal mixture of coir, rice husk charcoal, and cow manure. The fourth formulation consisted of half part of cow manure, half part of topsoil, two parts of coir, half part of rice husk charcoal, and a quarter part of chicken manure and was fermented with rice bran, soybean meal, photosynthetic bacteria, and molasses. Each treatment was repeated four times, each with ten plants, and each squash plant was cultivated in a pot with a 15-inch-diameter top, 10.5-inch height, and a 9.5-inch-diameter bottom. The results revealed that the fourth formulation had the most suitable chemical and nutritional composition for squash production, followed by the third and the first formulation.

The second formulation with coir was the least suitable. When used in the squash growth experiment, the fourth formulation resulted in the highest growth and the best yield quality, followed by the third, the first, and the second formulation, respectively. Therefore, the fourth growth medium formulation is recommended for butternut squash production.

Keywords: Soil formulation, Growth medium, Soil preparation, Butternut squash.

บทนำ

ดินปลูก หรือวัสดุปลูกเป็นปัจจัยหนึ่งที่มีความสำคัญในการผลิตพืช วัสดุปลูกที่มีคุณภาพดีย่อมส่งผลให้มีโอกาสประสบความสำเร็จมากกว่าวัสดุปลูกคุณภาพต่ำ วัสดุปลูกพืชคุณภาพดี คือ ต้องมีธาตุอาหาร ผ่านกระบวนการหมักหรือย่อยให้วัสดุปลูกคายความร้อน มีความร่วนซุย ดูดซับธาตุอาหารที่เติมได้ดี ระบายน้ำดีไม่อุ้มน้ำจนขึ้นมากเกินไป ดังนั้นหากต้องการดินปลูกหรือวัสดุปลูกคุณภาพดีต้องปรุงดินให้มีคุณสมบัติเช่นนี้ เพื่อให้มีการเจริญเติบโตและให้ผลผลิตที่มีคุณภาพโดยเฉพาะพืชมูลค่าสูง เช่น เมล่อน แตงกวาญี่ปุ่น ผักสลัด ไม้ดอกไม้ประดับ รวมทั้งฟักทองบัตเตอร์นัท ซึ่งฟักทองบัตเตอร์นัทเป็นผักอีกชนิดหนึ่งที่มีความนิยมของผู้บริโภคในปัจจุบัน เนื่องจากมีรสชาติดี สามารถรับประทานเป็นอาหารพลังงานแทนข้าวได้ ฟักทองบัตเตอร์นัทเป็นไม้เลื้อยกลุ่มฟักทองที่ปลูกง่ายทนต่อสภาพแวดล้อมได้ดี ปลูกได้กับดินทุกประเภท แต่ชอบดินที่มีความร่วนซุยระบายน้ำได้ดี คุณภาพของผลผลิตของฟักทองบัตเตอร์นัทยังขึ้นอยู่กับคุณภาพดินและวัสดุปลูกอย่างยิ่ง (นภาพร และพิกุล, 2564; Arnesto et al., 2020) ในดินและวัสดุปลูกที่มีปริมาณธาตุอาหารที่มีความเหมาะสมน้อย ฟักทองบัตเตอร์นัทอาจเจริญเติบโตได้ในระดับหนึ่งแต่อาจให้ผลผลิตในปริมาณน้อยหรือผลผลิตมีคุณภาพต่ำ เช่น ผลมีขนาดที่ไม่ได้มาตรฐานหรือความหวานน้อย (Demawan et al., 2020) ซึ่งส่งผลให้ผลผลิตมีราคาต่ำ ดังนั้นการปรุงดินหรือการพัฒนาสูตรวัสดุปลูกคุณภาพดีจึงเป็นปัจจัยสำคัญของความสำเร็จของเกษตรกร

จากการศึกษาเรื่องวัสดุปลูกที่ใช้กับการปลูกฟักทองบัตเตอร์นัท พบว่า มีการใช้สูตรวัสดุปลูกที่หลากหลายแต่ยังมิงงานวิจัยจำนวนน้อยที่ศึกษาการปลูกในระบบอินทรีย์ เช่น Sugianto and Anggorowati (2019) ศึกษาการใช้ดินที่มีการใส่ปุ๋ยอินทรีย์ที่ผลิตจากการหมักกระเพาะผ้าชีวรีของวัวในการปลูกฟักทองบัตเตอร์นัท พบว่า สามารถส่งเสริมน้ำหนักราก ขนาดใบ น้ำหนักต้น และน้ำหนักและขนาดของผลผลิตได้ แต่ยังไม่สามารถระบุถึงความเข้มข้นของปุ๋ยหมักที่เหมาะสมได้ Ugrinović et al. (2021) ศึกษาการใช้วัสดุปลูกที่มีมูลไก่เป็นองค์ประกอบสองสูตรที่มีปริมาณธาตุไนโตรเจนเท่ากัน แต่ปุ๋ยสูตรที่สองมีปริมาณธาตุโพแทสเซียมและฟอสฟอรัสสูงกว่า จากผลการทดลอง พบว่า วัสดุปลูกทั้งสองสูตรสามารถส่งเสริมการงอกของเมล็ดและปริมาณผลผลิตได้ดีกว่าการไม่ใช้มูลไก่ และสูตรแรกที่มีธาตุโพแทสเซียมและฟอสฟอรัสน้อยกว่าส่งผลดีที่สุดต่อการงอก ในขณะที่สูตรที่สองส่งผลดีที่สุดต่อปริมาณผลผลิต จึงยังไม่เห็นแนวโน้มที่ชัดเจนว่าการใช้มูลไก่แบบใดที่ส่งผลดีที่สุด Ahmad et al. (2021) ศึกษาการใช้ถั่วลยรวมกับดินปลูกเพื่อใช้ในการปลูกฟักทอง ซึ่ง พบว่า ถั่วลยมีธาตุโพแทสเซียมและแมงกานีสสูง แต่ไม่มีธาตุไนโตรเจนเป็นองค์ประกอบ ผลการวิจัย พบว่า การใช้ถั่วลยในปริมาณร้อยละ 30 ส่งผลให้ฟักทองมีความยาวต้นและน้ำหนักผลผลิตมากที่สุด นอกจากนี้การใช้ถั่วลยดังกล่าวยังส่งผลให้ผลผลิตมีปริมาณโปรตีนและคาร์โบไฮเดรตสูงที่สุด แต่อย่างไรก็ตามไม่มีการศึกษาการใช้จุลินทรีย์ในวัสดุปลูกที่ช่วยให้ดินมีความอุดมสมบูรณ์ของธาตุอาหารหลักมากขึ้น Arnesto et al. (2020) ศึกษาการใช้ดินที่ผสมปุ๋ยคอกหมักในการปลูกฟักทองบัตเตอร์นัทพันธุ์พื้นเมืองของประเทศสเปน ซึ่ง พบว่า การใช้ปุ๋ยคอกหมักส่งผลต่อคุณค่าทางโภชนาการของผลผลิตเมื่อเปรียบเทียบกับการใช้ปุ๋ยเคมีทั่วไป แต่ผลดังกล่าวขึ้นอยู่กับพันธุ์ที่ใช้ปลูก ดังนั้นการศึกษการปลูกฟักทองบัตเตอร์นัทในประเทศไทยจึงยังมีความจำเป็น จากข้อมูลดังกล่าวจึงเป็นที่มาของการศึกษาและพัฒนาสูตรดินปลูกที่เหมาะสมกับการผลิตฟักทองบัตเตอร์นัท เพื่อใช้ในการส่งเสริมและปรับปรุงรูปแบบการผลิตให้กับเกษตรกรผู้ปลูกฟักทองบัตเตอร์นัท และผู้สนใจทั่วไปสามารถนำไปปรับใช้ในการผลิตฟักทองบัตเตอร์นัท พืชกลุ่มฟักทอง และพืชกลุ่มแตงต่อไป

วัสดุ อุปกรณ์ และวิธีการ

1. การวางแผนการทดลอง

การทดลองนี้ดำเนินการ ณ ตำบลคลองห้า อำเภอลองหลวง จังหวัดปทุมธานี ระหว่างเดือนพฤศจิกายน 2565 ถึง เดือนเมษายน 2566 วางแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ (CRD) ทำการปลูกฟักทองปัตเตอร์นัทในดินและวัสดุปลูกที่พัฒนาขึ้นจำนวน 4 สูตร แต่ละสูตรทดสอบปลูกฟักทองปัตเตอร์นัทสายพันธุ์สควอช (Butternut squash) พันธุ์ทางการค้า อายุ 7 วัน จำนวน 4 ซ้ำ ๆ ละ 10 ต้น ในกระถางสี่เตาเจาะรู ขนาดปากกระถางเส้นผ่านศูนย์กลาง 15 นิ้ว ความสูงกระถาง 10.5 นิ้ว และก้นกระถางเส้นผ่านศูนย์กลาง 9.5 นิ้ว วัสดุปลูกทั้ง 4 สูตร อธิบายดังนี้

สูตรที่ 1 หน้าดิน

สูตรที่ 2 ขุยมะพร้าว แขน้ำทิ้งไว้ 12 ชั่วโมง

สูตรที่ 3 ขุยมะพร้าว แกลบดำ มูลโคนม อัตราส่วน 1:1:1 ผสมเข้ากันใช้น้ำเป็นสื่อหมักในกระสอบ 10 วัน

สูตรที่ 4 มูลโคนม ½ ส่วน หน้าดิน ½ ส่วน ขุยมะพร้าว 2 ส่วน แกลบดำ ½ ส่วน แกลบไก่ ¼ ส่วน ผสมให้เข้ากันปรุงแต่งด้วยรำละเอียด กากถั่วเหลือง จุลินทรีย์สังเคราะห์ด้วยแสง และกากน้ำตาล ใช้น้ำเป็นสื่อในการผสมให้เข้ากันหมักในกระสอบ 10 วัน

2. การปลูกและการดูแลรักษา

2.1 การเพาะต้นกล้า เพาะเมล็ดฟักทองปัตเตอร์นัทในถาดหลุมขนาด 105 หลุมต่อถาด โดยใช้พีทมอสเป็นวัสดุเพาะกล้า นำเมล็ดที่ผ่านการบ่มให้เห็นปมรากงอเพาะ จากนั้นรดน้ำเช้าและเย็นจนต้นกล้าอายุ 10 วัน จึงนำไปปลูกตามแผนการทดลอง

2.2 การเตรียมดินปลูก ตักดินใส่กระถางตามสูตร แล้วนำถาดวางในโรงเรือนระยะห่าง 1 เมตร โดยโรงเรือนมุงด้วยหลังคาพลาสติกใสหนา 200 ไมโครเมตร ด้านข้างตาข่ายมุ้งตา 32/50

2.3 การย้ายต้นกล้าปลูก ก่อนการย้ายต้นกล้า 3 วัน ให้ต้นกล้าได้รับแสงแดดมากขึ้น และลดปริมาณการให้น้ำลงเมื่อต้นกล้าเริ่มเหี่ยวถึงเริ่มกลับมาให้น้ำอีกครั้ง และทำการย้ายต้นกล้าที่สมบูรณ์ในช่วงเย็นจำนวน 1 ต้นต่อกระถาง หากพบต้นกล้าตายทำการซ่อมภายใน 1 สัปดาห์แรกของการลงปลูก

2.4 การปฏิบัติดูแลรักษา ให้น้ำฟักทองปัตเตอร์นัทด้วยระบบฝนเทียม วันละ 2 ครั้ง ช่วงเช้าและบ่ายโดยหยุดให้น้ำ 1 สัปดาห์ก่อนเก็บผลผลิต ใส่เชื้อราไตรโคเดอร์มา (*Trichoderma harzianum*) 1 กรัมต่อกระถาง หลังปลูก 3 วัน หลังจากนั้นใส่ปุ๋ยน้ำ AB ต้นละ 20 ซีซี ทุก ๆ 3 วันจนติดผลแรก เมื่อติดผลใช้ปุ๋ย AB ทุก 7 วัน ต้นละ 20 ซีซี หากพบว่ามีการเกิดโรค แมลง หนอน หรือศัตรูฟักทองปัตเตอร์นัทอื่นใช้สารเคมีตามความเหมาะสมตามหลักวิชาการ และงดใช้สารเคมีก่อนเก็บผลผลิตเป็นระยะเวลา 15 วัน

หมายเหตุ: ปุ๋ย AB คือ ปุ๋ยเคมีที่มีการแยกสารละลายธาตุอาหารพืชเป็น 2 ส่วน ได้แก่ ส่วนที่หนึ่ง ปุ๋ย A ประกอบด้วยธาตุอาหารพืชกลุ่ม Anions และส่วนที่สอง ปุ๋ย B ประกอบด้วยธาตุอาหารพืชกลุ่ม Cations

3. การบันทึกข้อมูล

ดำเนินการเก็บข้อมูล คุณสมบัติของวัสดุปลูกก่อนการทดลอง ต้นกล้ารอดตายของฟักทองปัตเตอร์นัทหลังจากการย้าย 30 วัน สีใบ (SPAD index) วันที่ 15 และวันที่ 30 ของการย้ายลงกระถาง จำนวนวันทอดยอด 50 เปอร์เซ็นต์ ความยาวเถาที่ 30 วัน และ 60 วัน จำนวนวันออกดอกตัวเมีย 50 เปอร์เซ็นต์ วันเก็บเกี่ยวผลผลิตลูกแรก 50 เปอร์เซ็นต์ น้ำหนักต่อผล และความหวานผลแก่ของฟักทองปัตเตอร์นัท โดยใช้เครื่องวัดน้ำตาล 0-32 % Brix

4. การวิเคราะห์ข้อมูล

วิเคราะห์ข้อมูลจากสูตรที่ใช้ในการทดลองโดยคำนวณค่าเฉลี่ยของข้อมูล จากนั้นนำข้อมูลวิเคราะห์หาความแปรปรวนของข้อมูลตามแผนการทดลอง CRD และเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยด้วยวิธี Duncan's multiple range test (DMRT) โดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูปทางสถิติ

ผลการวิจัย

1. การศึกษาคุณสมบัติทางเคมีและธาตุอาหารของวัสดุปลูกก่อนการทดลอง

คุณสมบัติทางเคมีและธาตุอาหารของวัสดุปลูกก่อนการทดลองทั้ง 4 สูตร มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.01$) (ตารางที่ 1) โดยวัสดุปลูกสูตรที่ 4 มีค่า pH อยู่ในระดับ 6.27 ซึ่งเหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของพืชมากที่สุด แต่อีก 3 สูตรนั้นมีค่า pH ค่อนข้างสูง ค่าการนำไฟฟ้าของดิน (EC) พบว่า วัสดุปลูกสูตรที่ 4 มากที่สุด รองลงมา คือวัสดุปลูกสูตรที่ 1 สูตรที่ 3 และสูตรที่ 2 ตามลำดับ ($p < 0.01$) ค่าอินทรีย์วัตถุ (OM) พบว่า วัสดุปลูกสูตรที่ 2 มากที่สุด รองลงมา คือวัสดุปลูกสูตรที่ 3 สูตรที่ 4 และสูตรที่ 1 ตามลำดับ ($p < 0.01$) ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด (Total N) ปริมาณฟอสเฟตทั้งหมด (Total P_2O_5) ปริมาณโพแทสเซียมทั้งหมด (Total K_2O) และสัดส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน (C/N Ratio) พบว่า วัสดุปลูกสูตรที่ 4 มากที่สุด รองลงมา คือวัสดุปลูกสูตรที่ 3 สูตรที่ 1 และสูตรที่ 2 ตามลำดับ ($p < 0.01$)

ตารางที่ 1 คุณสมบัติทางเคมีและธาตุอาหารของวัสดุปลูกก่อนการทดลอง

วัสดุปลูก	pH	EC (mS/cm)	OM (%)	Total N (%)	Total P_2O_5 (%)	Total K_2O (%)	C/N Ratio
สูตรที่ 1	7.60b	2.11b	1.72c	0.67c	0.56c	0.89c	1.00b
สูตรที่ 2	8.54c	0.43d	9.55a	0.10d	0.11d	0.34d	0.12c
สูตรที่ 3	7.51b	1.59c	6.86b	1.06b	1.22b	2.17b	1.42b
สูตรที่ 4	6.27a	3.76a	2.84c	2.03a	1.98a	3.11a	1.90a
p-value	**	**	**	**	**	**	**
SEM	2.49	0.66	1.75	0.32	0.32	0.54	0.37
%C.V.	12.45	70.12	69.08	84.16	84.18	76.86	68.06
เครื่องมือที่ใช้ในการวิเคราะห์	pH meter	Conductivity meter	Walkley and Black	Kjeldahl method	Colorimetric method	Flame photometric method	Walkley and Black, Kjeldahl method

หมายเหตุ: ** คือ มีความแตกต่างหรือผลที่มีนัยสำคัญอย่างยิ่งทางสถิติ ($p < 0.01$)

SEM (Standard Error of Mean) คือ ค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐานของค่าเฉลี่ย

%C.V. (Coefficient of Variation) คือ ค่าสัมประสิทธิ์การแปรปรวนในหน่วยร้อยละ และ ตัวเลขในสมรรถเดียวกันที่กำกับด้วยอักษรภาษาอังกฤษเหมือนกันไม่ต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 99 เปอร์เซ็นต์ โดยวิธี DMRT

2. การศึกษาการเจริญเติบโตและคุณภาพผลผลิตของพืชทองกวาวที่ปลูกโดยใช้วัสดุปลูกต่างกัน 4 สูตร

จากการทดลอง พบว่า มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.01$) ของทุกลักษณะที่ทำการศึกษา (ตารางที่ 2) โดยจำนวนต้นกล้ารอดตายที่เก็บข้อมูลในวันที่ 30 ของการปลูกรอดตาย 100 เปอร์เซ็นต์ ทุก ๆ สูตรวัสดุปลูกที่ใช้ทดลองปลูก สีใบ (SPAD index) วันที่ 15 และวันที่ 30 ของการปลูก พบว่า วัสดุปลูกสูตรที่ 4 สีใบเขียวเข้มที่สุด รองลงมา คือ วัสดุปลูกสูตรที่ 1 สูตรที่ 3 และสูตรที่ 2 ตามลำดับ ($p < 0.01$) จำนวนวันทอดยอด 50 เปอร์เซ็นต์ พบว่า วัสดุปลูกสูตรที่ 4 สีใบเขียวทอดยอดเร็วที่สุด รองลงมา คือวัสดุปลูกสูตรที่ 1 สูตรที่ 3 และสูตรที่ 2 ตามลำดับ ($p < 0.01$) ความยาวเถา พบว่า วันที่

30 และวันที่ 60 ของการปลูกวัสดุปลูกสูตรที่ 4 ความยาวเถาามากที่สุด รองลงมา คือวัสดุปลูกสูตรที่ 1 สูตรที่ 3 และสูตรที่ 2 ตามลำดับ ($p<0.01$)

ตารางที่ 2 ต้นกล้ารอดตาย สีใบ จำนวนวันทอดยอด 50 เปอร์เซ็นต์ และความยาวเถาของฟักทองปัตเตอร์นัทที่ปลูกโดยใช้วัสดุปลูกต่างกัน 4 สูตร

วัสดุปลูก	ต้นกล้ารอดตาย (%)	สีใบ (SPAD index)		จำนวนวันทอดยอด 50% (วัน)	ความยาวเถา (เซนติเมตร)	
		ที่ 15 วัน	ที่ 30 วัน		ที่ 30 วัน	ที่ 60 วัน
สูตรที่ 1	100	29.80ab	29.13b	22.28b	53.40b	168.40c
สูตรที่ 2	100	24.50b	23.87c	27.69c	49.20b	159.80c
สูตรที่ 3	100	27.03b	27.17bc	19.10ab	53.30b	187.90b
สูตรที่ 4	100	35.40a	36.20a	16.61a	66.60a	208.05a
p-value	-	**	**	**	**	**
SEM	-	9.73	9.70	7.14	18.54	60.35
%C.V.	-	13.87	15.52	19.32	11.79	10.29

หมายเหตุ: ** คือ มีความแตกต่างหรือผลที่มีนัยสำคัญอย่างยิ่งทางสถิติ ($p<0.01$)

SEM (Standard Error of Mean) คือ ค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐานของค่าเฉลี่ย

%C.V. (Coefficient of Variation) คือ ค่าสัมประสิทธิ์การแปรปรวนในหน่วยร้อยละ และ ตัวเลขในสมมติเดียวกันที่กำกับด้วยอักษรภาษาอังกฤษเหมือนกันไม่ต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 99 เปอร์เซ็นต์ โดยวิธี DMRT

วันออกดอก 50 เปอร์เซ็นต์ พบว่า วัสดุปลูกสูตรที่ 4 ออกดอกตัวเมียเร็วที่สุด รองลงมา คือ วัสดุปลูกสูตรที่ 3 สูตรที่ 1 และสูตรที่ 2 ตามลำดับ ($p<0.01$) วันที่เก็บเกี่ยวผลผลิตลูกแรก 50 เปอร์เซ็นต์ พบว่าวัสดุปลูกสูตรที่ 4 เก็บเกี่ยวได้เร็วที่สุด รองลงมา คือวัสดุปลูกสูตรที่ 3 สูตรที่ 1 และสูตรที่ 2 ตามลำดับ ($p<0.01$) น้ำหนักต่อผลของฟักทองปัตเตอร์นัท พบว่า วัสดุปลูกสูตรที่ 4 และสูตรที่ 3 น้ำหนักผลมากที่สุด รองลงมา คือวัสดุปลูกสูตรที่ 1 และ สูตรที่ 2 ตามลำดับ ($p<0.01$) ส่วนความหวานของเนื้อในผลฟักทองปัตเตอร์นัท พบว่า วัสดุปลูกสูตรที่ 4 หวานที่สุด รองลงมา คือวัสดุปลูกสูตรที่ 3 สูตรที่ 1 และสูตรที่ 2 ตามลำดับ ($p<0.01$) (ตารางที่ 3)

ตารางที่ 3 วันออกดอก 50 เปอร์เซ็นต์ วันเก็บเกี่ยวผลผลิต 50 เปอร์เซ็นต์ น้ำหนักผล และความหวานของฟักทองปัตเตอร์นัทที่ปลูกโดยใช้วัสดุปลูกต่างกัน 4 สูตร

วัสดุปลูก	วันออกดอกตัวเมีย 50% (วัน)	วันเก็บเกี่ยวผลผลิต 50% (วัน)	น้ำหนักต่อผล (กก.)	ความหวานผล (Brix)
สูตรที่ 1	45.98c	100.50b	0.68b	7.00b
สูตรที่ 2	53.30d	109.00c	0.62b	6.51b
สูตรที่ 3	40.15b	97.02ab	0.90a	8.38ab
สูตรที่ 4	36.84a	92.90a	1.01a	9.41a
p-value	**	**	**	**
SEM	14.69	33.29	0.27	2.61
%C.V.	14.19	5.93	19.69	14.62

หมายเหตุ: ** คือ มีความแตกต่างหรือผลที่มีนัยสำคัญอย่างยิ่งทางสถิติ ($p<0.01$)

SEM (Standard Error of Mean) คือ ค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐานของค่าเฉลี่ย

%C.V. (Coefficient of Variation) คือ ค่าสัมประสิทธิ์การแปรปรวนในหน่วยร้อยละ และ ตัวเลขในสมการเดียวกันที่กำกับด้วยอักษรภาษาอังกฤษเหมือนกันไม่ต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 99 เปอร์เซนต์ โดยวิธี DMRT

การอภิปรายผล

จากผลการศึกษาคุณสมบัติของวัสดุปลูกก่อนการทดลองตามที่แสดงในตารางที่ 1 พบว่า การใช้วัสดุปลูกสูตรที่ 2 ที่ใช้ปุ๋ยหมักปุ๋ยคอกมีปริมาณสารอินทรีย์ (Organic Matter; OM) มากที่สุด แต่มีค่าการนำไฟฟ้าและปริมาณธาตุอาหารไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียมต่ำที่สุด ซึ่งแสดงให้เห็นว่าการที่ปุ๋ยหมักปุ๋ยคอกสามารถเพิ่มปริมาณสารอินทรีย์ได้นั้นไม่ส่งผลดีต่อปริมาณธาตุอาหารที่สามารถละลายในน้ำได้ เนื่องจากที่ปุ๋ยหมักปุ๋ยคอกมีลักษณะเป็นเส้นใยที่มีความคงทนทางเคมี (Xiong et al., 2017) การผสมปุ๋ยหมักปุ๋ยคอกกับน้ำจึงไม่สามารถทำให้เกิดสารอาหารขึ้นได้ แม้จะมีการนำปุ๋ยหมักปุ๋ยคอกไปใช้กับการปลูกในดินทรายเพื่อช่วยอุ้มน้ำ (Vidhanaarachchi and Somasiri, 1997) การใช้ปุ๋ยหมักปุ๋ยคอกกับน้ำยังไม่เหมาะสมต่อการนำไปใช้ปลูกในดินในจังหวัดปทุมธานีเพราะมีสารอาหารไม่เพียงพอ เมื่อพิจารณาวัสดุปลูกสูตรที่ 3 ที่มีการใส่แกลบดำ มูลโคนมร่วมกับปุ๋ยหมักปุ๋ยคอกและมีการหมักโดยใช้น้ำเป็นสื่อเป็นเวลา 10 วัน พบว่า วัสดุปลูกสูตรที่ 3 มีปริมาณสารอินทรีย์ที่ลดลงแต่มีค่าการนำไฟฟ้าและปริมาณธาตุอาหารไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียมเพิ่มขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับวัสดุปลูกสูตรที่มีแต่ปุ๋ยหมักปุ๋ยคอก ค่าการนำไฟฟ้าและปริมาณธาตุอาหารที่เพิ่มขึ้น เกิดจากที่มีการใช้แกลบดำและมูลโคนมซึ่งเพิ่มปริมาณธาตุอาหาร (Uzoma et al., 2011) และเกิดจากการหมักโดยที่จุลินทรีย์ที่มีอยู่ในมูลโคนมสามารถช่วยย่อยสลายวัสดุอินทรีย์ในวัสดุปลูกสูตรให้กลายเป็นธาตุอาหารที่ละลายในน้ำได้ (Mineralization) (Eghball et al., 2002) เมื่อเปรียบเทียบกับปริมาณธาตุอาหารของวัสดุปลูกสูตรที่ 1 ซึ่งเป็นหน้าดินในจังหวัดปทุมธานี พบว่า วัสดุปลูกสูตรที่ 3 มีปริมาณธาตุอาหารมากกว่าด้วยเหตุนี้วัสดุปลูกสูตรที่ 3 อาจเป็นทางเลือกหนึ่งของเกษตรกรในการปรับปรุงคุณภาพของดินในจังหวัดปทุมธานีและพื้นที่อื่นตามแนวทางเดียวกันกับการใช้วัสดุปลูกสูตรที่ 3 ในงานวิจัยอื่น ๆ (Nguyen et al., 2018; Wang et al., 2010)

เมื่อพิจารณาคูณสมบัติของวัสดุปลูกสูตรที่ 4 ที่มีการใช้มูลโคนม หน้าดิน ปุ๋ยหมักปุ๋ยคอก แกลบดำ และแกลบไก่ พร้อมทั้งหมักด้วยรำละเอียด กากถั่วเหลือง จุลินทรีย์สังเคราะห์แสง และกากน้ำตาล พบว่า มีค่าการนำไฟฟ้าและปริมาณธาตุอาหารหลักมากที่สุด และยังคงมีปริมาณสารอินทรีย์ที่ยังมากกว่าวัสดุปลูกสูตรที่ 1 ปริมาณธาตุอาหารและค่าการนำไฟฟ้าที่สูงกว่าวัสดุปลูกสูตรที่ 3 เกิดจากที่มีการใช้แกลบไก่และกากถั่วเหลืองซึ่งเป็นโปรตีนพืช แกลบไก่เป็นวัสดุอินทรีย์ที่มีธาตุไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียมสูง และยังเป็นแหล่งของธาตุอาหารโซเดียม แมกนีเซียม และแคลเซียมเช่นกัน (Dikinya and Mufwanzala, 2010) กากถั่วเหลืองเป็นอีกหนึ่งวัสดุอินทรีย์หนึ่งที่มีธาตุไนโตรเจนในปริมาณมากเพราะถั่วเหลืองเป็นพืชที่มีการตรึงไนโตรเจนทางชีวภาพ (Biological nitrogen fixation) ในปริมาณมาก (Anbu and Sararaj, 2016) นอกจากนี้ย่อยสลายของวัสดุอินทรีย์ดังกล่าวจะสามารถก่อให้เกิดธาตุอาหารที่ละลายในน้ำได้ซึ่งพืชสามารถนำไปใช้ได้อย่างมีประสิทธิภาพในวัสดุปลูกสูตรที่ 4 มีการหมักด้วยจุลินทรีย์สังเคราะห์แสงโดยใช้กากน้ำตาลเป็นธาตุอาหาร จุลินทรีย์สังเคราะห์แสงนี้สามารถย่อยวัสดุอินทรีย์ที่ใส่ในวัสดุปลูกสูตรที่ 4 ได้อย่างมีประสิทธิภาพและส่งผลให้เกิดธาตุอาหารในปริมาณมากในวัสดุปลูกสูตรที่ 4 เช่นกัน (Idi et al., 2015; Lee et al., 2021) ด้วยเหตุนี้วัสดุปลูกสูตรที่ 4 มีแนวโน้มส่งผลดีที่สุดต่อการนำไปใช้ในการปลูกพืชกึ่งไฮโดรโปนิกส์

ผลของการนำวัสดุปลูกทั้ง 4 สูตรไปใช้ในการปลูกพืชกึ่งไฮโดรโปนิกส์ต่อการเจริญเติบโตแสดงในตารางที่ 2 สูตรวัสดุปลูกไม่ส่งผลต่อร้อยละการรอดตายของต้นกล้าเพราะพืชกึ่งไฮโดรโปนิกส์เป็นพืชที่งอกง่ายและทนต่อสภาพแวดล้อม เมื่อพิจารณาสีใบ พบว่า วัสดุปลูกสูตรที่ 4 ที่มีการหมักด้วยจุลินทรีย์สังเคราะห์แสงค่าสีใบมากที่สุด คือสีใบเขียวเข้มที่สุด ซึ่งเกิดจากที่สูตรวัสดุปลูกดังกล่าวมีธาตุอาหารปริมาณมากกว่าวัสดุปลูกอื่น โดยเฉพาะธาตุไนโตรเจน เพราะธาตุไนโตรเจนเป็นธาตุที่เป็นองค์ประกอบหลักของสารคลอโรฟิลล์ซึ่งให้สีเขียวแก่พืชและมีความสำคัญต่อการสังเคราะห์แสงของพืช (Wang et al., 2014) เมื่อการใช้วัสดุปลูกสูตรที่ 4 ส่งผลให้พืชกึ่งไฮโดรโปนิกส์มีการสังเคราะห์แสงมากขึ้น ส่งผลให้มีพืชกึ่งไฮโดรโปนิกส์เจริญเติบโตที่สูงขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับผลการทดลองจำนวนวันทอดยอด 50 เปอร์เซนต์ และความยาวเถา พบว่า พืชกึ่งไฮโดรโปนิกส์ที่ปลูกในวัสดุปลูกสูตรที่ 4 ให้ผลดีที่สุด เมื่อเปรียบเทียบการเจริญเติบโตของพืชกึ่งไฮโดรโปนิกส์ที่ปลูกในวัสดุปลูกสูตรที่ 1 และวัสดุปลูกสูตรที่ 3 พบว่า ให้ผลไม่แตกต่างกันในทางสถิติยกเว้นความยาวเถาที่วันที่ 60 แม้ว่าวัสดุปลูกสูตรที่ 3 มีธาตุอาหารมากกว่าวัสดุปลูกสูตรที่ 1 แต่ยังคงไม่เพียงพอต่อการเร่งการเจริญเติบโตของพืชกึ่งไฮโดรโปนิกส์ในช่วง 30 วันแรก

จากการทดลองพิจารณาได้ว่าผลผลิตและคุณภาพผลผลิตฟักทองปัตเตอร์นัทที่ปลูกในวัสดุปลูกทั้ง 4 สูตรตามที่แสดงในตารางที่ 3 พบว่า วัสดุปลูกสูตรที่ 4 ให้ผลดีที่สุดต่อวันออกดอกตัวเมีย วันเก็บเกี่ยวผลผลิต 50 เปอร์เซ็นต์ น้ำหนักต่อผล และความหวานผล ซึ่งเกิดจากปริมาณธาตุอาหารที่มีมากในวัสดุปลูกสูตรที่ 4 กล่าวคือความหวานของพืชในตระกูลฟักทองมักมีค่าสูงขึ้น เมื่อพืชได้รับธาตุอาหารฟอสฟอรัสและโพแทสเซียมในปริมาณที่สูงขึ้น (วิภาวรรณ และคณะ, 2561; Nassar et al., 2019) และน้ำหนักผลผลิตขึ้นอยู่กับปริมาณของธาตุอาหารหลักทั้งสาม เมื่อเปรียบเทียบผลของการใช้วัสดุปลูกสูตรที่ 3 และวัสดุปลูกสูตรที่ 4 พบว่า วันเก็บเกี่ยวผลผลิต 50 เปอร์เซ็นต์ น้ำหนักต่อผลและความหวานผล ไม่มีความแตกต่างในทางสถิติ แต่เมื่อเปรียบเทียบผลของการใช้วัสดุปลูกสูตรที่ 1 และวัสดุปลูกสูตรที่ 3 พบว่า ไม่มีความแตกต่างในวันเก็บเกี่ยวผลผลิต 50 เปอร์เซ็นต์ และความหวานผลฟักทองปัตเตอร์นัท การใช้วัสดุปลูกสูตรที่ 3 ในการผลิตฟักทองปัตเตอร์นัทจึงยังคงไม่เหมาะสม เพราะให้คุณภาพผลผลิตไม่แตกต่างกับหน้าดิน (วัสดุปลูกสูตรที่ 1) ในขณะที่การใช้วัสดุปลูกสูตรที่ 4 ผลผลิตและคุณภาพผลผลิตดีขึ้นกว่าการใช้หน้าดินอย่างชัดเจน ดังนั้นการใช้วัสดุปลูกสูตรที่ 4 ที่ใช้มูลโคนม หน้าดิน ขุยมะพร้าว แกลบดำ และแกลบไก่ พร้อมทั้งหมักด้วยรำละเอียด กากถั่วเหลือง จุลินทรีย์สังเคราะห์แสง และกากน้ำตาล จึงมีความเหมาะสมต่อการนำไปใช้เป็นวัสดุปลูกในการผลิตฟักทองปัตเตอร์นัท

บทสรุป

จากการศึกษาสรุปได้ว่า วัสดุปลูกสูตรที่ 4 ที่ผสมของมูลโคนม ½ ส่วน หน้าดิน ½ ส่วน ขุยมะพร้าว 2 ส่วน แกลบดำ ½ ส่วน แกลบไก่ ¼ ส่วน ผสมให้เข้ากันปรุงแต่งด้วยรำละเอียด กากถั่วเหลือง จุลินทรีย์สังเคราะห์แสง และกากน้ำตาล ใช้น้ำเป็นสื่อในการผสมให้เข้ากัน หมักในกระสอบ 10 มีคุณสมบัติทางเคมีและธาตุอาหารที่เหมาะสมต่อการปลูกฟักทองปัตเตอร์นัทมากที่สุด รองลงมา คือ วัสดุปลูกสูตรที่ 3 ที่มีส่วนผสมของขุยมะพร้าว แกลบดำ มูลโคนม อัตราส่วน 1:1:1 ผสมเข้ากันใช้น้ำเป็นสื่อหมักในกระสอบ 10 วัน วัสดุปลูกสูตรที่ 1 คือหน้าดิน และเหมาะสมน้อยที่สุด คือ วัสดุปลูกสูตรที่ 2 ที่ใช้ขุยมะพร้าวเพียงอย่างเดียว ในส่วนของการเจริญเติบโตและคุณภาพผลผลิตของฟักทองปัตเตอร์นัทที่ปลูกโดยใช้วัสดุปลูกต่างกัน สรุปได้ว่า ฟักทองปัตเตอร์นัทที่ปลูกด้วยวัสดุปลูกสูตรที่ 4 เหมาะสมที่สุด รองลงมา คือวัสดุปลูกสูตรที่ 3 สูตรที่ 1 และสูตรที่ 2 ตามลำดับ ดังนั้นในการทดลองนี้จึงแนะนำให้ใช้วัสดุปลูกสูตรที่ 4 และวิธีการจัดการการผลิตนี้หรือคล้าย ๆ กัน ปรับใช้ในการปลูกฟักทองปัตเตอร์นัท และยังปรับใช้กับพืชกลุ่มฟักทอง พืชกลุ่มแตง รวมถึงพืชชนิดอื่น ๆ อีกด้วย

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้สำเร็จได้ด้วยดีต้องขอขอบคุณวิสาหกิจชุมชนเกษตรปลอดภัยตำบลคลองห้า อำเภอคลองหลวง จังหวัดปทุมธานี ที่ให้ความร่วมมือและเอื้อเฟื้อโรงเรียนแบบกางมุ้งในการทดลองครั้งนี้

เอกสารอ้างอิง

- นภาพร จิตต์ศรีธา และพิกุล นุชนวลรัตน์. (2564). ผลของระดับความเข้มข้นสารละลายธาตุอาหารที่ส่งผลต่อการเจริญเติบโตและผลผลิตของฟักทองปัตเตอร์นัทในระบบปลูกพืชโดยไม่ใช้ดิน. วารสารเกษตรพระจอมเกล้า. 39(4): 257-263.
- วิภาวรรณ ท้ายเมือง, อรพินท์ สุรกิจ, ธรรมธวัช แสงงาม และ อัญมณี อาวุชานนท์. (2561). ปริมาณธาตุอาหารและคุณภาพผลผลิตฟักทอง 13 สายพันธุ์. วารสารแก่นเกษตร. 46(1): 1348-1353.
- Anbu S. and Saranraj P. (2016). Microbially Fermented Soybean Meal as Natural Fertilizer: A Review. Approaches in International Journal of Research Development. 10(1): 1-21.
- Armesto J., Rocchetti G., Senizza B., Pateiro M., Barba F.J., Domínguez R., Lucini L. and Lorenzo J.M. (2020). Nutritional characterization of Butternut squash (*Cucurbita moschata* D.): Effect of variety (Ariel vs. Pluto) and farming type (conventional vs. organic). Food Research International. 132: 109052. DOI:10.1016/j.foodres.2020.109052.

- Dermawan R., Kaimuddin, Dungga N.E., Sjahril R., Mollah A. and Yuniarti N.S. (2020). Response of growth and development of butternut squash (*Cucurbita moschata*) to the combination of bioslurry and NPK fertilization. IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science. 575: 012119. DOI 10.1088/1755-1315/575/1/012119.
- Dikinya O. and Mufwanzala N. (2010). Chicken manure-enhanced soil fertility and productivity: Effects of application rates. Journal of Soil Science and Environmental Management. 1(3): 46-54.
- Eghball B., Wienhold B.J., Gilley J.E. and Eigenberg R.A. (2002). Mineralization of manure nutrients. Journal of Soil and Water Conservation. 57(6): 470-473.
- Idi A., Md Nor M.H., Abdul Wahab M.F. and Ibrahim Z. (2014). Photosynthetic bacteria: an eco-friendly and cheap tool for bioremediation. Reviews in Environmental Science and Bio/Technology. 14: 271-285.
- Lee S.-K., Lur H.-S. and Liu C.-T. (2021). From lab to farm: elucidating the beneficial roles of photosynthetic bacteria in sustainable agriculture. Microorganisms. 9: 2453. DOI <https://doi.org/10.3390/microorganisms9122453>.
- Nassar K.E.M., EL-Shaboury H.A. and EL-Sonbaty A.E. (2019). Impact of potassium and manganese on the quantity and quality yields of squash (*Cucurbita Pepo* L.). Menoufia Journal of Soil Science. 4(2): 57-69.
- Nguyen B.T., Trinh N.N., Le C.M.T., Nguyen T.T., Tran T.V., Thai B.V. and Le T.V. (2018). The interactive effects of biochar and cow manure on rice growth and selected properties of salt-affected soil. Archives of Agronomy and Soil Science. 64(12): 1744-1758.
- Sugiarto A. and Anggorowati D. (2019). Growth and yield of butternut Squash as a response to the application of organic fertilizer originated from cow rumen liquid on alluvial soil. Jurnal Sains Pertanian Equator. 8(2): 1-10.
- Ugrinović M., Girek Z., Pavlović S., Adžić S., Damnjanović J., Gavrilović M. and Ugrenović V. (2021). The influence of organic fertilizers on the seed yield and seed quality of butternut squash (*Cucurbita moschata*) grown on different types of soil. Book of proceedings of the XII International Scientific Agricultural Symposium "Agrosym 2021". 753-759.
- Uzoma K.C., Inoue M., Andry H., Fujimaki H., Zahoor A. and Nishihara E. (2011). Effect of cow manure biochar on maize productivity under sandy soil condition. Soil Use and Management. 27(2): 205-212.
- Vidhanaarachchi L.P. and Somasiri L.L.W. (1997). Use of coir dust on the productivity of coconut on sandy soils. Journal of the Coconut Research Institute of Sri Lanka. 12: 54-71.
- Wang D., Shi Q., Wang X., Wei M., Hu J., Liu J. and Yang F. (2010). Influence of cow manure vermicompost on the growth, metabolite contents, and antioxidant activities of Chinese cabbage (*Brassica campestris* ssp. *chinensis*). Biology and Fertility of Soils. 46: 689-696.
- Wang Y., Wang D., Shi P. and Omasa K. (2014). Estimating rice chlorophyll content and leaf nitrogen concentration with a digital still color camera under natural light. Plant Methods. 10(36): 1-10.
- Xiong J., Tian Y., Wang J., Liu W. and Chen Q. (2017). Comparison of coconut coir, rockwool, and peat cultivations for tomato production: nutrient balance, plant growth and fruit quality. Frontier Plant Science. 8: 1-9.

Received: February 20, 2024; Revised: September 19, 2024; Accepted: September 29, 2024

ผลของการใช้วัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรในการเพาะเลี้ยงเห็ดถั่งเช่าสีทอง

Effect of agricultural waste materials utilization for

Cordyceps militaris cultivationอรลัดดา เจือจันทร์^{1*}, นิภาวรรณ จิตโสภาคกุล¹, อุไรลักษณ์ พงษ์เกษ¹ และหยาดนภา เจนรบ²Onladda Juajun^{1*}, Nipawan Jitsopakul¹, Urailuck Pongket¹ and Yardnapa Jenrob²¹คณะเกษตรศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน วิทยาเขตสุรินทร์ จังหวัดสุรินทร์¹Faculty of Agriculture and Technology, Rajamangala University of Technology Isan Surin Campus, Surin Province²สำนักงานวิทยาเขตสุรินทร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน วิทยาเขตสุรินทร์ จังหวัดสุรินทร์²Surin Campus Office, Rajamangala University of Technology Isan Surin Campus, Surin Province

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

บทคัดย่อ

วัตถุประสงค์ของงานวิจัยนี้ เพื่อศึกษาสูตรอาหารเลี้ยงเชื้อแข็งที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของเห็ดถั่งเช่าสีทอง และปริมาณที่เหมาะสมของแกลบและน้ำมะพร้าวในสูตรอาหารเพาะเลี้ยงเห็ดถั่งเช่าสีทอง พบว่า สูตรอาหารแข็งที่ให้การเจริญของเส้นใยเห็ดถั่งเช่าสีทองดีที่สุดคือ สูตรที่ 6 โดยใช้ไข่ไก่ผสมกับน้ำมะพร้าวร้อยละ 5 ต่อปริมาตรน้ำ 100 มิลลิลิตร ให้ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของเส้นใยเห็ดถั่งเช่าสีทองมากที่สุด 4.73 เซนติเมตร ซึ่งมากกว่า ($p \leq 0.05$) สูตรควบคุม (PDA) และสูตรอื่น ๆ การใช้แกลบปริมาณร้อยละ 0.83, 1.67, 2.50, 3.33 และ 4.17 ในอาหารเพาะเลี้ยงเห็ดถั่งเช่าสีทองไม่มีความแตกต่าง ($p > 0.05$) ในจำนวนก้านดอก น้ำหนักสด และน้ำหนักแห้ง แต่การใช้แกลบร้อยละ 2.50 ให้ความยาวของดอกเห็ดมากที่สุด (7.19 เซนติเมตร) แตกต่าง ($p \leq 0.05$) จากสูตรที่เติมแกลบในปริมาณน้อยกว่า ในงานวิจัยนี้พบว่า การเติมน้ำมะพร้าวแก่ให้ปริมาณก้านดอกเห็ด ความยาว และน้ำหนักมากกว่าการเติมน้ำมะพร้าวอ่อน นอกจากนี้ยังพบว่า การใช้น้ำมะพร้าวแก่ร้อยละ 33.33 และ 41.67 ให้จำนวนก้านดอกเห็ดสูงสุดเท่ากับ 19.67 และ 19.33 ก้าน ตามลำดับ ($p > 0.05$) และให้น้ำหนักมากที่สุด แตกต่างจากตัวอย่างอื่นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ จะเห็นได้ว่าการใช้วัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรทั้งแกลบและน้ำมะพร้าว มีผลต่อการเจริญเติบโตของเห็ดถั่งเช่าสีทอง ซึ่งน้ำมะพร้าวแก่ช่วยให้การเจริญเติบโตของเห็ดถั่งเช่าสีทองดีกว่าน้ำมะพร้าวอ่อน นับเป็นการนำวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรมาใช้ให้เกิดประโยชน์และมีมูลค่าเพิ่มขึ้น

คำสำคัญ: เห็ดถั่งเช่าสีทอง, แกลบ, น้ำมะพร้าวแก่, น้ำมะพร้าวอ่อน, ดักแด้ใหม่

Abstract

The objective of this research was to study the optimum of solid culture medium for the growth of *Cordyceps militaris* (*C. militaris*), as well as the optimal amount of rice husk and coconut water in the culture formula. It was found that the best formula for the growth of *C. militaris* mycelium is formula 6, which uses chicken eggs mixed with 5% coconut water per 100 milliliters of water. The resulted exhibited in the largest diameter of the *C. militaris* mycelium at 4.73 centimeters, which was significantly greater ($p \leq 0.05$) than the control (PDA) and other formulas. Using rice husk at concentrations of 0.83%, 1.67%,

2.50%, 3.33%, and 4.17% in the culture medium showed no significant difference ($p>0.05$) in the number of stalks, fresh weight, and dry weight, but using 2.50% rice husk resulted in the longest mushroom stalks at 7.19 centimeters, which was significantly different ($p\leq 0.05$) from the formulas with lower amounts of rice husk. This research also found that adding mature coconut water resulted in a greater number of mushroom stalks, longer stalks, and heavier weight compared to using young coconut water. Moreover, using mature coconut water at 33.33% and 41.67% resulted in the highest number of stalks at 19.67 and 19.33, respectively ($p>0.05$), and provided the highest weight, significantly different from other samples. It can be observed that using agricultural waste materials, such as rice husk and coconut water affect the growth of *C. militaris*, with mature coconut water promoting better growth than young coconut water. It is considered the utilization of agricultural waste to be useful, and value added.

Keywords: *Cordyceps militaris*, Rice husk, Mature coconut water, Young coconut water, Silk pupae

บทนำ

เห็ดถั่งเช่าสีทอง (*C. militaris*) เป็นเห็ดที่รู้จักกันดีมีการใช้กันอย่างแพร่หลายในวงการแพทย์แผนจีน เพราะเป็นเห็ดที่มีประโยชน์ต่อสุขภาพและมีคุณสมบัติในการรักษาโรคที่หลากหลาย เห็ดถั่งเช่าสีทองมีสารต้านอนุมูลอิสระและสารที่ช่วยให้สามารถปรับตัวกับความเครียดทางร่างกาย ช่วยปรับสมดุลของร่างกาย ป้องกันการติดเชื้อ และต่อต้านเซลล์มะเร็ง สารสำคัญที่พบในเห็ดถั่งเช่าสีทองคือ Cordycepin มีประสิทธิภาพในการลดการสะสมของไขมันชนิด LDL ลดคอเลสเตอรอล เห็ดชนิดนี้เป็นส่วนประกอบที่มีมูลค่าสูงในยาจีนและทิเบต (Nguyen, 2020) เห็ดถั่งเช่าสีทองช่วยเพิ่มความจำและป้องกันโรคทางระบบประสาท ช่วยเสริมสร้างระบบภูมิคุ้มกัน ลดการอักเสบ (Kim et al., 2021) ส่งเสริมการทำงานของตับ เพิ่มความแข็งแรงให้กับร่างกาย ช่วยควบคุมระดับน้ำตาลในเลือด ต้านทานต่อโรคเบาหวาน และช่วยให้ระบบหลอดเลือดทำงานปกติ (Takahashi et al., 2020)

ประเทศไทยเป็นประเทศเกษตรกรรม ในปีพ.ศ. 2566 มีพื้นที่ปลูกข้าว 62.38 ล้านไร่ ได้ผลผลิต 25 ล้านตันข้าวเปลือก (สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร, 2566) แกลบเป็นผลพลอยได้จากกระบวนการสีข้าว มีประมาณ 20 เปอร์เซ็นต์ของข้าวเปลือกทั้งเมล็ด (Juliano and Tiaño, 2019) และเป็นของเหลือทิ้งจากกระบวนการผลิต มีการนำแกลบมาใช้เป็นวัสดุเพาะเห็ด เช่น เห็ดนางฟ้าและเห็ดหลินจือที่เป็นเห็ดที่เจริญเติบโตได้จากวัสดุเพาะที่มีแกลบอย่างเดียวหรือใช้แกลบผสมกับวัสดุอย่างอื่น เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการกักเก็บปริมาณความชื้น การใช้แกลบเป็นวัสดุเพาะต้องผ่านการฆ่าเชื้อก่อนนำมาใช้ เพื่อหลีกเลี่ยงการปนเปื้อนจากเชื้อราและแบคทีเรียอื่น ๆ (แพททริก, 2566) มีการใช้วัสดุเหลือทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรมเกษตรหลายชนิด ได้แก่ เส้นใยจากปาล์ม แกลบ และขี้เลื่อยในการเพาะเลี้ยงเห็ดฟาง โดยพบว่าการใช้แกลบและวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรมีประสิทธิภาพในการเพาะเลี้ยงเห็ดได้ (Ukoima et al., 2009) นอกจากนี้ยังมีการใช้เศษกระดาษเหลือทิ้งจากสำนักงานผสมกับปุ๋ยพืช ปุ๋ยขี้ไก่ และแกลบในการเพาะเลี้ยงเห็ดนางฟ้า พบว่า การใช้แกลบเป็นส่วนผสมในอัตราร้อยละ 20 ให้ผลผลิตเห็ดนางฟ้าสูงที่สุด (Baysal et al., 2003) แต่ไม่พบผลงานวิจัยในการนำแกลบมาใช้ในการเพาะเลี้ยงเห็ดถั่งเช่าสีทอง นอกจากแกลบแล้วยังมีมะพร้าว (*Cocos nucifera*) ส่วนใหญ่แล้วในทางอุตสาหกรรมมักใช้ผลมะพร้าวแก่ในการแปรรูป โดยนำเนื้อมะพร้าวมาแปรรูปในอุตสาหกรรมอาหาร (คิวเรศ, 2564) ดังนั้นส่วนเหลือทิ้งจากการใช้เนื้อมะพร้าวก็คือ น้ำมะพร้าว ซึ่งไม่นิยมนำมารับประทาน มีการรายงานจากประเทศศรีลังกา พบว่า โรงงานอุตสาหกรรมแปรรูปจากมะพร้าวมีของเสียจากส่วนที่เป็นน้ำมะพร้าวเฉลี่ยปีละประมาณ 261 เมตริกตัน และเป็นสาเหตุของปัญหามลภาวะสิ่งแวดล้อม (Pramith, 1998) อย่างไรก็ตาม ปัญหาข้างต้นจะไม่เกิดหากนำน้ำมะพร้าวมาเป็นส่วนประกอบในอาหารสำหรับเลี้ยงเชื้อจุลินทรีย์ (Osazuwa, 1989) น้ำมะพร้าวมีฤทธิ์เป็นกรดเล็กน้อย โดยมีค่าพีเอชเฉลี่ย 5.5 และมีสารฟอสฟอรัสโปแตสเซียม โปรตีน ไขมัน แร่ธาตุ และมีคาร์โบไฮเดรตในปริมาณค่อนข้างมาก (Fonseca et al., 2009; Prades et al., 2012) จึงมีการใช้น้ำมะพร้าวในการเลี้ยงแบคทีเรียที่ผลิตวุ้นมะพร้าว (Walter et al., 2009) และมีการใช้น้ำมะพร้าวแก่ในปริมาณ 10–15 เปอร์เซ็นต์ ในการเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อของผักโขม โดยสามารถเพิ่มน้ำหนักของแคลลัสผักโขม และเร่งการเกิดรากได้เร็วขึ้น (Wazir, 1997) นอกจากนี้ ยังมีการใช้น้ำมะพร้าวอ่อนและน้ำมะพร้าวแก่ในการเพาะเลี้ยงเห็ดถั่งเช่าทิเบต (*Ophiocordyceps*

sinensis) โดยผสมในอาหารเลี้ยงเชื้อเหลว PDB (Potato Dextrose Broth) ทำให้มีปริมาณเส้นใยสูงเมื่อเปรียบเทียบกับสูตรควบคุม (Shashidhar et al., 2017) จากการตรวจสอบยังไม่มีกรรายงานการใช้น้ำมันพร้าวในการเพาะเลี้ยงเห็ดถึงเชื้อสืทอง ดังนั้นในงานวิจัยนี้ จึงมีวัตถุประสงค์ในการศึกษาสูตรอาหารเลี้ยงเชื้อแข็งที่เหมาะสมโดยมีการใช้ น้ำมันพร้าวผสมในสูตรอาหารเปรียบเทียบกับสูตรต่าง ๆ ต่อการเจริญเติบโตของเห็ดถึงเชื้อสืทองบนจานเพาะเชื้อ และศึกษาการใช้แกลบและน้ำมันพร้าวเป็นส่วนประกอบในการเพาะเลี้ยงเห็ดถึงเชื้อสืทอง เพื่อศึกษาความเป็นไปได้ในการนำวัสดุเหลือทิ้งจากการเกษตรมาใช้ให้เกิดประโยชน์ต่อไป

วัสดุ อุปกรณ์ และวิธีการ

ศึกษาสูตรอาหารเลี้ยงเชื้อแข็งที่เหมาะสมต่อการเจริญของเห็ดถึงเชื้อสืทองบนจานเพาะเชื้อ

นำเชื้อเห็ดถึงเชื้อสืทอง (*C. militaris*) ระยะเวลาเป็นเส้นใยสีขาว เลี้ยงบนอาหารวุ้นแข็ง (Potato Dextrose Agar; PDA) อายุประมาณ 1 สัปดาห์ จากมหาวิทยาลัยราชภัฏร้อยเอ็ด มาเพาะเลี้ยงบนอาหารเลี้ยงเชื้อสำหรับเพาะเห็ดถึงเชื้อสืทอง โดยใช้ผักตบชวาพันธุ์ใหม่ไทยพื้นบ้าน ชื่อจากตลาดสดเทศบาลเมืองสุรินทร์ (เก็บในถุงพลาสติกปิดสนิท แล้วเก็บรักษาในตู้เย็นอุณหภูมิ -20 องศาเซลเซียส จนกว่าจะนำไปใช้) ส่วนน้ำมันพร้าวซื้อจากตลาดสดเทศบาลเมืองสุรินทร์ (ใช้เตรียมอาหารเลี้ยงเชื้อทันทีที่ซื้อ) ในการเตรียมสูตรอาหารเพาะเห็ดถึงเชื้อสืทอง จำนวน 8 สูตร (ตารางที่ 1) โดยสูตรที่ 1 เป็นสูตรควบคุม ใช้สูตรอาหารสำเร็จรูป PDA ของบริษัท Himedia ประเทศอินเดีย ในการเตรียมอาหารแข็ง ให้แบ่งน้ำกลั่นปริมาณ 50 มิลลิลิตร มาต้มจนละลาย ส่วนมันฝรั่งให้ต้มในน้ำส่วนที่เหลือจนมันฝรั่งนุ่ม กรองเอาแต่น้ำมาผสมกับส่วนผสมอื่น แล้วนำส่วนผสมทุกอย่างปั่นรวมกันในเครื่องปั่นยี่ห้อ Kashiwa รุ่น KW-999 ด้วยความแรงเบอร์ 3 นาน 2 นาที หรือจนละเอียดเป็นเนื้อเดียวกัน นำส่วนผสมที่มีวันมาผสมคนให้เข้ากัน ทำการนึ่งฆ่าเชื้อด้วยหม้อนึ่งความดันไอน้ำยี่ห้อ Drawell รุ่น GR-85DF ประเทศจีน ที่อุณหภูมิ 121 องศาเซลเซียส นาน 15 นาที ดัดแปลงจากณัฐพงษ์ และคณะ (2559) แล้วนำมาเทใส่จานเพาะเชื้อที่ปราศจากเชื้อ รองอาหารแข็ง ตัดชิ้นส่วนเห็ดถึงเชื้อสืทองขนาด กว้างยาว เท่ากับ 2x2 มิลลิเมตร วางลงกลางจานเพาะเชื้อที่มีอาหารแข็ง นำไปบ่มเชื้อที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 15 วัน วัดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของเส้นใยเห็ดถึงเชื้อสืทอง โดยใช้ไม้บรรทัดและหน่วยวัดเป็นเซนติเมตร

ตารางที่ 1 สูตรอาหารเลี้ยงเชื้อแข็งสำหรับเห็ดถึงเชื้อสืทองเลี้ยงบนจานเพาะเชื้อ

ส่วนประกอบ	สูตรอาหารเลี้ยงเชื้อ							
	สูตรที่ 1	สูตรที่ 2	สูตรที่ 3	สูตรที่ 4	สูตรที่ 5	สูตรที่ 6	สูตรที่ 7	สูตรที่ 8
PDA (มิลลิลิตร)	100	-	-	-	-	-	-	-
กลูโคส (กรัม)	-	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5
ซูโครส (กรัม)	-	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5
เปปโตน (กรัม)	-	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5
ยีสต์สกัด (กรัม)	-	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5
ดีเกลือ (กรัม)	-	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05
มันฝรั่ง (กรัม)	-	20	20	20	20	20	20	20
วิตามินบี 1 (มิลลิกรัม)	-	20	20	20	20	20	20	20
ไข่ไก่ (มิลลิลิตร)	-	-	2	2	-	2	2	2
ดักแด้ (กรัม)	-	3	-	3	3	-	3	3
น้ำมันพร้าวอ่อน (มิลลิลิตร)	-	-	-	-	5	5	5	10
วุ้น (กรัม)	-	8	8	8	8	8	8	8
น้ำกลั่น (มิลลิลิตร)	-	100	100	100	100	100	100	100

ศึกษาการเจริญเติบโตของเห็ดถั่งเช่าสีทองบนอาหารเลี้ยงเชื้อแข็งในขวดเพาะเลี้ยงโดยใช้วัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตร เตรียมอาหารเลี้ยงเชื้อเหลวสำหรับผลิตหัวเชื้อเห็ดถั่งเช่าสีทอง

โดยมีสูตรอาหารดังนี้ กลูโคส 20 กรัม เปปโตน 15 กรัม ดักแด้ไหม 30 กรัม ไข่ไก่ 2 ฟอง ตีเกลียว 0.5 กรัม มันฝรั่ง 200 กรัม ยีสต์สกัด 15 กรัม วิตามินบี 1 200 มิลลิกรัม น้ำกลั่น 1 ลิตร นำส่วนผสมทุกอย่าง (ยกเว้นมันฝรั่ง) ใส่รวมกันในเครื่องปั่นยี่ห้อ Kashiwa รุ่น KW-999 ด้วยความแรงเบอร์ 3 เติมน้ำกลั่น 500 มิลลิลิตร ปั่นรวมกันนาน 2 นาที อีกส่วนหนึ่งให้นำมันฝรั่งมาหั่นขนาด 1x1x1 ลูกบาศก์เซนติเมตร เติมน้ำ 500 มิลลิลิตร ต้มจนมันฝรั่งนุ่ม แล้วใช้ผ้าขาวบางกรองเอาแต่น้ำ นำส่วนผสมทั้งสองส่วนใส่รวมกัน ปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่น 1 ลิตร แล้วแบ่งใส่พลาสติก ๑ ละ 100 มิลลิลิตร ปิดจุกสำลีและกระดาษฟรอยด์ นำไปนึ่งฆ่าเชื้อด้วยหม้อนึ่งความดันไอน้ำ ยี่ห้อ Drawell รุ่น GR-85DF ประเทศจีน ที่อุณหภูมิ 121 องศาเซลเซียส นาน 15 นาที รอให้อาหารเย็น แล้วเติมหัวเชื้อเห็ด ถั่งเช่าสีทองลงไป เช้าด้วยเครื่องเขย่าควบคุมอุณหภูมิ ยี่ห้อ Biobase รุ่น BJPX-1008 ประเทศจีน ความเร็วรอบ 150 รอบต่อนาที ที่อุณหภูมิ 22 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 7-10 วัน ดัดแปลงจากณัฐพงษ์ และคณะ (2559) แล้วนำไปเลี้ยงในสูตรอาหารแข็งขั้นตอนต่อไป

เตรียมอาหารเลี้ยงเชื้อแข็งสำหรับการเลี้ยงเชื้อเห็ดถั่งเช่าสีทองสูตรต่าง ๆ

โดยมีสูตรอาหารพื้นฐานดังนี้ กลูโคส 5 กรัม ซูโครส 15 กรัม เปปโตน 5 กรัม ยีสต์สกัด 5 กรัม ตีเกลียว 0.5 กรัม มันฝรั่ง 200 กรัม ไข่ไก่เบอร์ 2 จำนวน 2 ฟอง ดักแด้ 30 กรัม วิตามินบี 1 200 มิลลิกรัม น้ำกลั่น 1 ลิตร นำส่วนผสมทุกอย่าง (ยกเว้นมันฝรั่ง) ใส่รวมกันในโถปั่น เติมน้ำกลั่น 500 มิลลิลิตร ปั่นรวมกัน อีกส่วนหนึ่งให้นำมันฝรั่งมาหั่นขนาด 1x1x1 ลูกบาศก์เซนติเมตร เติมน้ำ 500 มิลลิลิตร ต้มจนมันฝรั่งนุ่ม ใช้ผ้าขาวบางกรองเอาแต่น้ำ นำส่วนผสมทั้งสองส่วนใส่รวมกัน แล้วปั่นจนละเอียดได้เป็นอาหารเหลว ซึ่งเมล็ดข้าวขาวดอกมะลิ กข 105 ใส่ในขวดแก้วขนาด 16 ออนซ์ ขวดละ 25 กรัม นำส่วนผสมอาหารเหลวที่เตรียมได้ใส่ในขวด ๑ ละ 35 มิลลิลิตร ในสูตรอาหารให้เติมแอลกอฮอล์ปริมาณขวดละ 0.5 1.0 1.5 2.0 และ 2.5 กรัม ตามลำดับ (หรือคิดเป็นร้อยละ 0.83 1.67 2.50 3.33 และ 4.17 ตามลำดับ) (สูตรอาหาร CM; *C. militaris* medium จำนวน 5 สูตร ได้แก่ CM11 CM12 CM13 CM14 และ CM15) และสูตรที่มีการเติมน้ำมะพร้าวอ่อนและน้ำมะพร้าวแก่โดยใช้น้ำมะพร้าวจากมะพร้าวสายพันธุ์มะพร้าวกะทิ โดยสูตรที่มีการเติมน้ำมะพร้าวอ่อนได้จากมะพร้าวที่มีลักษณะเนื้อมะพร้าวอ่อนนุ่มคล้ายวุ้น อายุมะพร้าวไม่เกิน 6 สัปดาห์ จำนวน 5 สูตร (CM21 CM22 CM23 CM24 และ CM25) และสูตรที่มีการเติมน้ำมะพร้าวแก่จากมะพร้าวที่มีลักษณะเนื้อแข็ง อายุมะพร้าวที่ให้เนื้อแข็ง ช่วงอายุ 9-12 สัปดาห์ จำนวน 5 สูตร (CM31 CM32 CM33 CM34 และ CM35) โดยเติมน้ำมะพร้าวปริมาณขวดละ 5 10 15 20 และ 25 มิลลิลิตร ตามลำดับ (หรือคิดเป็นร้อยละ 8.33 16.67 25 33.33 และ 41.67 ตามลำดับ) โดยลดปริมาณอาหารเหลวลงให้มีปริมาณข้าวขาวดอกมะลิ กข 105 อาหารเหลว และ น้ำมะพร้าวในปริมาณรวม 60 กรัม ทุกขวด บริเวณฝาขวดเป็นฝาพลาสติกให้เจาะใส่สำลีเพื่อให้มีอากาศถ่ายเท นำขวดทดลองไปนึ่งฆ่าเชื้อด้วยหม้อนึ่งความดันไอน้ำที่ 15 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว อุณหภูมิ 121 องศาเซลเซียส นาน 15 นาที ทิ้งไว้ให้เย็น แล้วเปิดหัวเชื้อเห็ดถั่งเช่าสีทองชนิดเหลวใส่ปริมาณ 10 เปอร์เซ็นต์ ของวัสดุเพาะเห็ดสูตรต่าง ๆ นำไปบ่มที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส ในห้องมืดโดยใช้พลาสติกสีดำปิดส่วนกระบอกใสของฝาประตูป่มจนกระทั่งเส้นใยเห็ดถั่งเช่าสีทองเดินเต็มขวดจนถึงด้านล่างของก้นขวด แล้วนำมาบ่มต่อที่อุณหภูมิ 18 องศาเซลเซียส เพื่อกระตุ้นการเกิดดอกโดยการให้แสง โดยใช้พลาสติกดำปิดที่ด้านหน้ากระบอก เพื่อให้แสงมีความเข้มข้นมากพอ ทำการบ่มเป็นระยะเวลา 90 วัน บันทึกผลการทดลอง ได้แก่ จำนวนก้านดอก (ใช้วิธีนับจำนวนก้านดอกแต่ละก้าน) ความยาว (ใช้ไม้บรรทัดวัดจากก้านดอกส่วนฐานถึงปลายดอก โดยใช้หน่วยวัดเป็นเซนติเมตร) น้ำหนักสด และน้ำหนักแห้ง (ชั่งด้วยเครื่องชั่งทศนิยม 3 ตำแหน่ง โดยใช้หน่วยเป็นกรัม) ทำการรอบด้วยตู้อบลมร้อน ยี่ห้อ Termaks รุ่น TS8000 ประเทศตุรกี ที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 18 ชั่วโมง ดัดแปลงจาก Gregori (2014)

การวิเคราะห์ผลทางสถิติ

การวิเคราะห์ผลทางสถิติสำหรับการทดสอบทางกายภาพและเคมี ทำการทดลองตัวอย่างละจำนวน 3 ซ้ำ (n=3) ข้อมูลแสดงค่าเฉลี่ยและค่าความคลาดเคลื่อน (Standard deviation) โดยวางแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ (Completely Randomized Design; CRD) วิเคราะห์ความแปรปรวน (Analysis of Variance; ANOVA) เปรียบเทียบความแตกต่างด้วยวิธี Duncan's New Multiple Range Test (DMRT) ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

ผลการวิจัย และการอภิปรายผล

ในการเพาะเลี้ยงเห็ดถั่งเช่าสีทองบนจานเพาะเชื้ออาหารแข็งจำนวน 8 สูตร พบว่า สูตรอาหารเลี้ยงเชื้อเห็ดถั่งเช่าสีทอง สูตรที่เหมาะสมที่สุดคือ สูตรที่ 6 โดยให้ขนาดเฉลี่ยของเส้นผ่านศูนย์กลางโคโลนีมากที่สุด (รูปที่ 1) เป็นสูตรอาหารที่มีไข่ไก่ ผสมกับน้ำมะพร้าวอ่อนปริมาตร 5 มิลลิลิตร โดยให้ขนาดความกว้างเฉลี่ยของโคโลนีมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเท่ากับ 4.73 ± 0.32 เซนติเมตร แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติจากสูตรอื่น ๆ ($p \leq 0.05$) รองลงมาคือสูตรที่ 7 ซึ่งมีการเติมดักแด้ไข่ไก่ และน้ำมะพร้าวอ่อน การเติมดักแด้ในปริมาณ 3 กรัมในสูตรอาหารเพาะเลี้ยงเห็ดถั่งเช่าสีทอง ไม่มีผลทำให้ความกว้างของโคโลนีเห็ดถั่งเช่าสีทองเพิ่มขึ้น และพบว่า ในสูตรที่ 3 ถึงสูตรที่ 8 ให้ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางโคโลนีของเห็ดถั่งเช่าสีทอง มากกว่าสูตรควบคุม ($p \leq 0.05$) ซึ่งในสูตรควบคุมซึ่งเป็นอาหารสำเร็จรูป PDA ให้ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ยของเส้นใยเห็ดถั่งเช่าสีทองน้อยที่สุด (3.40 ± 0.02 เซนติเมตร) จะเห็นได้ว่า การใช้ไข่ไก่จะช่วยทำให้การเจริญของเส้นใยเห็ดถั่งเช่าสีทอง ดีกว่าสูตรอื่น ๆ ที่ไม่มีน้ำมะพร้าว แต่การเพิ่มปริมาณน้ำมะพร้าวเป็น 10 มิลลิลิตร ไม่มีผลทำให้ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางโคโลนีของเห็ดถั่งเช่าสีทองเพิ่มขึ้น (ตารางที่ 2) เนื่องจากน้ำมะพร้าวมีองค์ประกอบหลายอย่าง ได้แก่ น้ำตาลที่ละลายได้ วิตามินซี วิตามินบี ได้แก่ นิโคตินิกแอซิด และแพนโทนิกแอซิด แร่ธาตุ เช่น โพแทสเซียม คลอไรด์ และเหล็ก เป็นต้น และยังมี กรดอะมิโน เช่น อะลานีน อาร์จินีน ฮิสทีดีน และเซอรีน (Prades et al., 2012) ซึ่งนับว่าเป็นสารอาหารที่จำเป็นสำหรับการเจริญเติบโตของเห็ดถั่งเช่าสีทอง สอดคล้องกับงานวิจัยของ จิราภา และคณะ (2564) ซึ่งรายงานว่าการเพาะเลี้ยงเห็ดถั่งเช่าสีทองในอาหารเหลวสูตรพื้นฐานคือ PDB (Potato Dextrose Broth) ทำให้ได้ผลผลิตของเส้นใยเห็ดถั่งเช่าสีทองน้อยที่สุดให้น้ำหนักแห้งเส้นใย 1.79 กรัม/150 มิลลิลิตร เมื่อเปรียบเทียบกับเพาะเลี้ยงเห็ดถั่งเช่าสีทองที่ทำการเพาะเลี้ยงด้วยอาหารชนิดอื่นที่มีส่วนประกอบจากวัสดุทางการเกษตร โดยพบว่า การใช้ข้าวโพดเป็นส่วนผสมในอาหารเลี้ยงเชื้อแบบเหลวให้น้ำหนักแห้งของเส้นใยสูงที่สุด 2.48 กรัม/150 มิลลิลิตร แตกต่างจากสูตรควบคุม ($p \leq 0.05$) นอกจากนี้การใช้ส่วนผสมอื่น ได้แก่ ข้าวกล้อง ข้าวฟ่าง และเมล็ดลูกเดือยก็ให้ผลผลิตของเส้นใยเห็ดถั่งเช่าสีทองสูงกว่าสูตรควบคุมเช่นเดียวกัน และยังสอดคล้องกับรายงานของ Xie et al. (2009) ซึ่งพบว่า การเพาะเลี้ยงเห็ดถั่งเช่าสีทองบนวัสดุเพาะเลี้ยงทางการเกษตร เช่น ข้าวกล้อง ข้าวโมลต์ และถั่วเหลือง เป็นแหล่งของสารอาหารดีกว่าการใช้สูตรอาหารเลี้ยงเชื้อทางการค้าที่ทราบส่วนประกอบทางเคมีที่แน่นอน (Chemically defined medium) มีการใช้กากของเมล็ดพืชที่เหลือจากการหมักเครื่องดื่มแอลกอฮอล์ปริมาณต่างกัน ผสมกับข้าวไรย์ พบว่า การใช้กากที่เหลือทิ้งจากการหมักแอลกอฮอล์ 50 เปอร์เซ็นต์ ให้ปริมาณสารสำคัญคอร์ติเซป็นสูงสุด แสดงให้เห็นว่า การใช้วัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรสามารถนำมาใช้ในการเพาะเลี้ยงเห็ดถั่งเช่าสีทอง และเป็นการช่วยลดต้นทุนในการผลิตได้ (Gregori, 2014)



รูปที่ 1 ตัวอย่างของการเพาะเลี้ยงเห็ดถั่งเช่าสีทองบนจานเพาะเชื้ออาหารแข็ง

ตารางที่ 2 ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางโคโลนีของเห็ดถั่งเช่าสีทองเลี้ยงบนจานเพาะเชื้ออาหารแข็ง

ชนิดของสูตรอาหาร	เส้นผ่านศูนย์กลางโคโลนีของเห็ดถั่งเช่าสีทอง (เซนติเมตร)
สูตรที่ 1 อาหารสำเร็จรูป PDA (สูตรควบคุม)	3.40±0.20 ^d
สูตรที่ 2 อาหารสูตรดักแด้	3.46±0.86 ^d
สูตรที่ 3 อาหารสูตรไซโก	4.40±0.42 ^b
สูตรที่ 4 อาหารสูตรดักแด้ + ไซโก	3.56±0.45 ^d
สูตรที่ 5 อาหารสูตรดักแด้ + น้ำมะพร้าวอ่อน (5 มล.)	4.07±0.47 ^c
สูตรที่ 6 อาหารสูตรไซโก + น้ำมะพร้าวอ่อน (5 มล.)	4.73±0.32 ^a
สูตรที่ 7 อาหารสูตรดักแด้ + ไซโก + น้ำมะพร้าวอ่อน (5 มล.)	4.50±0.26 ^b
สูตรที่ 8 อาหารสูตรดักแด้ + ไซโก + น้ำมะพร้าวอ่อน (10 มล.)	4.09±0.86 ^c

หมายเหตุ: ค่าเฉลี่ย±S.D. และอักษร a-d กำกับในแนวนอนต่างกัน แสดงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p<0.05)

ในการเตรียมอาหารเพาะเลี้ยงเห็ดถั่งเช่าสีทองสูตรอาหารแข็ง และเติมแกลบในสูตรอาหารปริมาณ 0.5–2.5 กรัม ทำการเพาะเลี้ยงเป็นระยะเวลา 90 วัน ที่อุณหภูมิ 18 องศาเซลเซียส พบว่า ให้จำนวนก้านดอกมีค่าเฉลี่ยระหว่าง 15.33–17.67 ก้านต่อขวด แสดงให้เห็นว่า การเพาะเลี้ยงเห็ดถั่งเช่าสีทองสามารถใช้แกลบเป็นส่วนผสมในสูตรอาหารแข็งในการเพาะเลี้ยงเห็ดถั่งเช่าสีทองได้ ซึ่งสอดคล้องกับการใช้วัสดุเหลือทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรมเกษตรอื่น ๆ ได้แก่ เส้นใยจากปาล์ม แกลบ และขี้เลื่อยในการเพาะเลี้ยงเห็ดฟาง ให้ความกว้างของดอกเห็ดเท่ากับ 3.4 และ 3 เซนติเมตร ตามลำดับ จะเห็นได้ว่า การใช้แกลบและวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรมีประสิทธิภาพเป็นแหล่งอาหารสำหรับการเพาะเลี้ยงเห็ดได้ (Ukoima et al., 2009) และเช่นเดียวกับการเพาะเลี้ยงเห็ดนางรมโดยใช้ขี้เลื่อยและแกลบอัตราส่วน 3:1 ซึ่งให้ปริมาณดอกเห็ดมากกว่าการเพาะเลี้ยงเห็ดด้วยฟางข้าว ฟางข้าวสาลี ชังข้าวโพด และขานอ้อย มีค่าเท่ากับ 21.20 12.20 13.60 8.80 และ 12.00 ก้านต่อแพ็ค ตามลำดับ และให้น้ำหนักต่อก้านโดยเฉลี่ยเท่ากับ 5.39 กรัม ซึ่งมากกว่าการใช้วัตถุดิบอื่นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p<0.05) (Aker et al., 2022) ส่วนความยาวของดอกเห็ดมีค่าเฉลี่ยระหว่าง 2.64–7.19 เซนติเมตร น้ำหนักสดมีค่าเฉลี่ยระหว่าง 8.17–10.12 กรัมต่อขวด และน้ำหนักแห้งมีค่าเฉลี่ยระหว่าง 1.67–2.14 กรัมต่อขวด การใช้แกลบเป็นวัสดุเพาะเลี้ยงเห็ดถั่งเช่าสีทองในทุกสูตรให้จำนวนก้านดอก น้ำหนักสด และน้ำหนักแห้งมีค่าไม่แตกต่างกัน (p>0.05) แต่มีความแตกต่างกันในด้านความยาวของดอกเห็ด การเพิ่มปริมาณแกลบจะทำให้มีความยาวของเห็ดถั่งเช่าสีทองเพิ่มขึ้น ในสูตร CM 13 ที่มีการเติมแกลบในปริมาณ 1.5 กรัม ให้ความยาวของก้านดอกสูงที่สุด (รูปที่ 2) แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญกับการเติมแกลบในปริมาณ 0.5 และ 1.0 กรัม (p<0.05) แสดงการเจริญของเห็ดถั่งเช่าสีทองสูตร CM13 ที่ระยะเวลาต่างกัน จะเห็นได้ว่า ในช่วงระยะเวลา 1 เดือน เส้นใยเห็ดมีการเจริญแผ่ลามเต็มขวดเป็นสีขาว เมื่อเวลาผ่านไป 50 วัน เส้นใยมีการเจริญเพิ่มมากขึ้นและเปลี่ยนเป็นสีส้ม มีการเจริญของเส้นใยยืดยาวขึ้นเมื่อผ่านการเพาะเลี้ยงเป็นระยะเวลา 90 วัน นอกจากนี้ยัง พบว่าการใช้ปริมาณแกลบตั้งแต่ 2.0–2.5 กรัมต่อขวด จะทำให้ความยาวของก้านดอกเห็ดลดลงไม่แตกต่างกัน (p>0.05) ดังแสดงในตารางที่ 3 แต่จากผลการทดลองจะเห็นได้ว่า ในสูตร CM11 ถึงแม้ว่าจะมีจำนวนก้านดอกและมีความยาวของดอกน้อยกว่าสูตรอื่น แต่ให้น้ำหนักสดและน้ำหนักแห้งในปริมาณที่มากกว่าสูตรอื่น ๆ ซึ่งจากการสังเกต พบว่า ก้านดอกที่เกิดขึ้นจะมีลักษณะอวบใหญ่ที่ใกล้ฐานของดอกมากกว่าสูตรอื่น ๆ จึงทำให้เห็ดมีน้ำหนักมากกว่าถึงแม้ว่าจะมีความยาวของก้านดอกน้อยกว่า จากผลการทดลองแสดงให้เห็นว่า การเติมแกลบเพิ่มขึ้นในสูตรอาหารสำหรับเพาะเลี้ยงเห็ดถั่งเช่า สีทอง มีผลให้จำนวนก้านของดอกเห็ดถั่งเช่าสีทองไม่แตกต่างกัน (p>0.05) รวมทั้งด้านน้ำหนักของเห็ด แต่ให้ความยาวของดอกเห็ดเพิ่มขึ้นมากกว่าการเติมแกลบในปริมาณเล็กน้อย อาจเป็นเพราะในองค์ประกอบของแกลบมีโปรตีน (7.8 เปอร์เซ็นต์) และเถ้า (18.8 เปอร์เซ็นต์) (Iruoma and Nduka, 2013) ซึ่งเป็นดัชนีชี้ให้เห็นว่าแกลบมีธาตุอาหารที่สมบูรณ์ ที่สามารถใช้สำหรับการเพาะเลี้ยงเห็ดได้ (Oei, 1996) สอดคล้องกับงานวิจัยของ Frimpong-Manso et al. (2011) ที่ทำการเพาะเลี้ยงเห็ดนางรมโดยใช้อัตราส่วนระหว่างขี้เลื่อยและแกลบแตกต่างกัน พบว่า ในสูตรอาหารเพาะเลี้ยงที่มีการเติมแกลบอัตราร้อยละ 100 ทำให้การเจริญของเส้นใยเห็ดมากกว่าสูตรควบคุม ส่วนการใช้แกลบในการเพาะเลี้ยงเห็ดนางรมในสูตรเพาะเลี้ยงสำหรับการสร้างดอกเห็ดที่มีการเติมแกลบในปริมาณ 2 เปอร์เซ็นต์ ให้ปริมาณผลผลิตมากที่สุดเป็น 226.1 กรัม ในขณะที่สูตรควบคุมซึ่งไม่เติม

แกลบให้ปริมาณผลผลิต 204.6 กรัม แสดงให้เห็นว่า สามารถนำแกลบมาใช้ในการเพาะเลี้ยงเห็ดได้ เช่นเดียวกับการเพาะเลี้ยงเห็ดนางรมโดยใช้แกลบผสมกับข้าวฟ่าง ให้อัตราการเจริญของเส้นใย 11.07 มิลลิเมตรต่อวัน ซึ่งมากกว่าการเพาะเลี้ยงโดยใช้ข้าวฟ่างเพียงอย่างเดียว (8.11 มิลลิเมตรต่อวัน) และยังพบว่า การสร้างดอกเห็ดบนอาหารเพาะเลี้ยงที่มีขี้เลื่อยและแกลบยังให้ผลผลิตได้สูงกว่าการใช้ขี้เลื่อยผสมกับฟางข้าวและขี้เลื่อยผสมกับขังข้าวโพดหรืออาหารเพาะเลี้ยงที่มีขี้เลื่อยเพียงอย่างเดียว (Thongklang and Luangham, 2016) และยังสอดคล้องกับงานวิจัยของ Obodai et al. (2003) ได้ศึกษาการใช้แกลบในการเพาะเลี้ยงเห็ดนางรม พบว่าสามารถให้เส้นใยเห็ดมีการเจริญ 5.65 เซนติเมตรต่อสัปดาห์ ซึ่งมากกว่าการใช้วัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรอื่น ๆ

ตารางที่ 3 ผลการเจริญเติบโตของเห็ดถั่งเช่าสีทองที่เพาะเลี้ยงในสูตรอาหารที่มีแกลบปริมาณต่างกัน

สูตร (กรัม)	จำนวนก้านดอก (ก้าน) ^{ns}	ความยาว (ซม.)	น้ำหนักสด (กรัม) ^{ns}	น้ำหนักแห้ง (กรัม) ^{ns}
CM11 (0.5)	15.67±6.81	2.64±0.27 ^c	10.12±1.03	2.14±0.24
CM12 (1.0)	17.67±4.51	5.72±1.18 ^b	8.56±0.80	1.73±0.15
CM13 (1.5)	15.33±7.09	7.19±0.84 ^a	8.17±0.54	1.67±0.12
CM14 (2.0)	17.67±6.66	6.86±0.56 ^{ab}	9.37±1.66	1.81±0.57
CM15 (2.5)	17.33±6.66	6.82±0.20 ^{ab}	10.00±0.88	1.90±0.16

หมายเหตุ: ค่าเฉลี่ย±S.D. และอักษร a-c กำกับในแนวดิ่งที่แตกต่างกัน แสดงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p<0.05) และ ns หมายถึง ค่าเฉลี่ยในแนวดิ่งไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ (p>0.05)

อย่างไรก็ตามผลการวิจัยนี้แตกต่างจากงานวิจัยของอุไรลักษณ์ และคณะ (2564) ที่ได้เพาะเลี้ยงเห็ดถั่งเช่าสีทอง (*C. militaris*) โดยการใช้ข้าวขาวหอมมะลิ 105 ปริมาณ 50 กรัม และดักแด้ใหม่ 30 กรัม หลังจากเลี้ยงที่อุณหภูมิ 18 องศาเซลเซียส ให้แสงเต็มที่เป็นเวลา 90 วัน ได้ผลผลิตของดอกเห็ดและน้ำหนักแห้งเป็น 82 ดอกต่อขวด และ 4.29 กรัมต่อขวด ตามลำดับ ซึ่งมากกว่าการใช้แกลบในการเพาะเลี้ยงเห็ดถั่งเช่าสีทองในงานวิจัยนี้คิดเป็น 4.6 เท่า และ 2 เท่าตามลำดับ อาจเนื่องจากการใช้ข้าวในการเพาะเลี้ยงเห็ดถั่งเช่าสีทอง มีส่วนประกอบหลักที่เป็นสารอาหารสำหรับเห็ดคือมีคาร์โบไฮเดรตและโปรตีนในปริมาณร้อยละ 77-89 และ 6.3-7.1 ตามลำดับ ในขณะที่ในแกลบมีส่วนประกอบดังกล่าวร้อยละ 22-34 และ 2.0-2.8 ตามลำดับ (Juliano and Tuanño, 2019) การใช้ข้าวจึงทำให้เห็ดเจริญเติบโตได้ดีกว่า และเนื่องจากแกลบเป็นวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรที่มีส่วนประกอบจำพวกลิกโนเซลลูโลสค่อนข้างมาก ซึ่งย่อยสลายได้ค่อนข้างยาก แต่เห็ดก็สามารถย่อยเอนไซม์ออกมาย่อยสลายส่วนประกอบนี้ได้ (Tan and Wahab, 1997; Bonatti et al., 2004) ซึ่งต้องใช้เวลาในการย่อยสลาย จึงมีผลให้การย่อยสลายสารอาหารในแกลบค่อนข้างช้ากว่าการใช้เมล็ดข้าวเป็นแหล่งของสารอาหาร



(ก)



(ข)



(ค)

รูปที่ 2 การเจริญของเห็ดถั่งเช่าสีทองในขวดที่ระยะเวลาต่างกัน (ก) 30 วัน (ข) 50 วัน และ (ค) 90 วัน
ของตัวอย่างอาหารเลี้ยงเชื้อสูตร CM13 ใช้แกลบ 1.5 กรัมต่อขวด จำนวน 5 ขวด

จากตารางที่ 4 เปรียบเทียบการเจริญเติบโตของเห็ดถั่งเช่าสีทองที่มีการเติมน้ำมะพร้าวอ่อนและน้ำมะพร้าวแก่ในสูตรอาหารสำหรับเพาะเลี้ยงเห็ดถั่งเช่าสีทอง พบว่า การใช้น้ำมะพร้าวแก่มีแนวโน้มให้การเจริญของเห็ดถั่งเช่าสีทองในทุก ๆ ด้านมากกว่าการใช้น้ำมะพร้าวอ่อน ได้แก่ จำนวนก้านดอก ความยาว น้ำหนักสด และน้ำหนักแห้ง ซึ่งจะเห็นได้ว่า การใช้น้ำมะพร้าวอ่อนให้ค่าเฉลี่ยของจำนวนก้านดอกระหว่าง 10.67–16.00 ก้าน ความยาวเฉลี่ย 5.22–6.48 เซนติเมตร น้ำหนักสดเฉลี่ย 7.71–10.44 กรัม และน้ำหนักแห้งเฉลี่ย 1.30–2.19 กรัม ส่วนน้ำมะพร้าวแก่ให้ค่าเฉลี่ยของจำนวนก้านดอก 14.33–19.67 ก้าน ความยาวเฉลี่ย 6.05–6.98 เซนติเมตร น้ำหนักสดเฉลี่ย 9.69–15.47 กรัม และน้ำหนักแห้งเฉลี่ย 1.93–2.97 กรัม โดยพบว่า การใช้น้ำมะพร้าวแก่ในการเพาะเลี้ยงเห็ดถั่งเช่าสีทองปริมาณ 20 (CM34) และ 25 (CM35) มิลลิลิตร (รูปที่ 3) ให้น้ำหนักสดเฉลี่ยของเห็ดถั่งเช่าสีทองมากกว่าสูตรอื่น ๆ มีค่าเท่ากับ 15.16 และ 15.47 กรัม ตามลำดับ และมีความแตกต่างจากสูตรอื่นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) อาจเนื่องมาจากในน้ำมะพร้าวแก่มีปริมาณน้ำตาลที่ละลายได้ทั้งหมดสูงกว่าปริมาณน้ำตาลที่ละลายได้ทั้งหมดในน้ำมะพร้าวอ่อน และมีปริมาณของแร่ธาตุที่แตกต่างกันอย่างมากระหว่างในน้ำมะพร้าวแก่จะมีปริมาณของโปแตสเซียม คลอไรด์ เหล็ก และซิลเวอร์ มากกว่าในน้ำมะพร้าวอ่อน (Prades, et al., 2012) ซึ่งอาจจะเหมาะต่อการเจริญของเห็ดถั่งเช่าสีทอง สอดคล้องกับงานวิจัยของ Shashidhar et al. (2017) ได้ทำการทดลองใช้น้ำมะพร้าวอ่อนและน้ำมะพร้าวแก่ ปริมาณ 10 และ 5 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ในการเพาะเลี้ยงเห็ดถั่งเช่าสีเบตสายพันธุ์ *Ophiocordyceps sinensis* CS1197 โดยใช้หัวเชื้อ 10 เปอร์เซ็นต์ อุณหภูมิในการเพาะเลี้ยง 28 องศาเซลเซียส ระยะเวลา 14 วัน โดยพบว่า น้ำมะพร้าวอ่อนและน้ำมะพร้าวแก่ให้น้ำหนักของเห็ดเพิ่มขึ้น 2.2 และ 2.5 เท่า และส่งผลให้มีการสร้างสารสำคัญต่าง ๆ เพิ่มขึ้นมากกว่าสูตรควบคุม และพบว่า การเติมน้ำมะพร้าวแก่มีผลทำให้สารสกัดจากไมซีเลียมของเห็ดถั่งเช่าสีเบตมีค่าของสารต้านอนุมูลอิสระเพิ่มขึ้น และได้สารชีวภาพที่มีประสิทธิภาพสูงกว่าการใช้น้ำมะพร้าวอ่อน ซึ่งสารสกัดที่ได้มีศักยภาพที่จะนำไปใช้เป็นส่วนผสมของยาในทางเภสัชวิทยา และสอดคล้องกับรายงานวิจัยของ Jacob et al. (2015) ซึ่งได้ทำการเพาะเลี้ยงเห็ดนางรม 3 สายพันธุ์ ได้แก่ *P. citrinopileatus*, *P. djamor* และ *P. salmoneostramineus* โดยการผสมน้ำมะพร้าวแก่และน้ำมะพร้าวอ่อนในอาหารแข็งสำหรับเพาะเลี้ยงเห็ดนางรม หลังจากเพาะเลี้ยงเป็นระยะเวลา 6 วัน พบว่า การใช้น้ำมะพร้าวแก่ผสมลงในอาหารแข็ง ทำให้เส้นใยเห็ดนางรมทุกสายพันธุ์มีการเจริญมากกว่าการเพาะเลี้ยงบนอาหารแข็งที่มีการเติมน้ำมะพร้าวอ่อน ($p \leq 0.05$) แสดงให้เห็นว่า การใช้น้ำมะพร้าวแก่ในการเพาะเลี้ยงเห็ดถั่งเช่าสีทองสามารถช่วยเพิ่มศักยภาพในด้านการเจริญเติบโตของเห็ดถั่งเช่าสีทองได้ดีกว่าการใช้น้ำมะพร้าวอ่อนในสูตรอาหารสำหรับเพาะเลี้ยงเห็ดถั่งเช่าสีทอง อาจเนื่องมาจากองค์ประกอบในน้ำมะพร้าวที่ต่างกัน น้ำมะพร้าวแก่มีปริมาณน้ำตาลซูโครสสูงถึง 92 เปอร์เซ็นต์ มีกรดอะมิโนและโพแทสเซียมสูงกว่าน้ำมะพร้าวอ่อน และในน้ำมะพร้าวอ่อนมีกลูโคสและฟรุกโตสในปริมาณที่น้อยมาก ซึ่งไม่เหมาะต่อการเพาะเลี้ยงเส้นใยของเห็ด (Santoso et al., 1996) ส่วนการอบแห้งเห็ดถั่งเช่าสีทองที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส ระยะเวลา 18 ชั่วโมง ทำให้ได้ลักษณะเห็ดที่ยังคงมีสีส้มคล้ายเห็ดสด (รูปที่ 4) จากการอบแห้งในสภาวะดังกล่าว พบว่า เห็ดมีความชื้นเฉลี่ยระหว่าง 78.83–87.62 เปอร์เซ็นต์ (ไม่ได้แสดงข้อมูล)

ตารางที่ 4 ผลของการเจริญเติบโตของเห็ดถั่งเช่าสีทองในสูตรอาหารที่มีน้ำมะพร้าวอ่อนและน้ำมะพร้าวแก่

สูตร (มิลลิลิตร)	จำนวนก้านดอก (ก้าน)	ความยาว (เซนติเมตร)	น้ำหนักสด (กรัม)	น้ำหนักแห้ง (กรัม)
น้ำมะพร้าวอ่อน				
CM21 (5)	16.00±6.56 ^{ab}	6.48±0.37 ^{ab}	9.36±1.94 ^{bc}	1.94±0.38 ^{bc}
CM22 (10)	10.67±2.31 ^b	6.01±0.46 ^a	7.71±1.40 ^c	1.57±0.23 ^{cd}
CM23 (15)	14.67±6.43 ^{ab}	6.27±0.27 ^{ab}	8.58±2.24 ^c	1.30±0.18 ^d
CM24 (20)	15.00±3.61 ^{ab}	5.22±0.50 ^b	9.73±0.62 ^{bc}	1.93±0.10 ^{bc}
CM25 (25)	15.67±3.51 ^{ab}	5.66±0.30 ^{ab}	10.44±0.71 ^{bc}	2.19±0.13 ^b
น้ำมะพร้าวแก่				
CM31 (5)	15.33±5.77 ^{ab}	6.38±0.43 ^{ab}	9.69±0.82 ^{bc}	1.93±0.10 ^{bc}
CM32 (10)	14.33±2.31 ^{ab}	6.05±0.70 ^{ab}	10.85±1.70 ^{bc}	2.16±0.33 ^b
CM33 (15)	16.00±5.57 ^{ab}	6.74±1.70 ^a	12.02±2.95 ^b	2.28±0.46 ^b
CM34 (20)	19.67±2.08 ^a	6.93±0.95 ^a	15.16±1.64 ^a	2.81±0.27 ^a
CM35 (25)	19.33±1.53 ^a	6.98±0.49 ^a	15.47±1.29 ^a	2.97±0.27 ^a

หมายเหตุ: ค่าเฉลี่ย±S.D. และอักษร a-d กำกับในแนวดิ่งที่แตกต่างกัน แสดงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p≤0.05)



(ก)



(ข)

รูปที่ 3 การเจริญของเห็ดถั่งเช่าสีทองที่ระยะเวลา 90 วัน ในอาหารเลี้ยงเชื้อที่มีน้ำมะพร้าวแก่ (ก) 20 มิลลิลิตร (CM34) และ (ข) 25 มิลลิลิตร (CM35)



รูปที่ 4 ตัวอย่างเห็ดถั่งเช่าสีทองอบแห้งที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส นาน 18 ชั่วโมง

บทสรุป

การเพาะเลี้ยงเห็ดถั่งเช่าสีทองบนงานเพาะเชื้ออาหารแข็งที่ผสมไข่ไก่และน้ำมะพร้าว ทำให้เห็ดถั่งเช่าสีทองเจริญเติบโตได้มากที่สุด โดยมีการเจริญของเส้นใยมากกว่าสูตรอาหารสำเร็จรูป (PDA) 28.11 เปอร์เซ็นต์ การเสริมผักตบชวาหรือไข่ไก่ในสูตรอาหารเลี้ยงเชื้อแข็งสำหรับเพาะเลี้ยงเห็ดถั่งเช่าสีทองมีศักยภาพให้เห็ดถั่งเช่าสีทองมีการเจริญเติบโตของเส้นใยได้ไม่แตกต่างทางสถิติจากสูตรอาหารสำเร็จรูป จึงสามารถใช้ทดแทนอาหารสำเร็จรูปได้ การใช้แกลบซึ่งเป็นวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรในสูตรอาหารเพาะเลี้ยงเห็ดถั่งเช่าสีทองในขวด ส่งผลให้ความยาวของดอกเห็ดเพิ่มมากขึ้นเมื่อเติมในปริมาณร้อยละ 2.50–4.17 ส่วนการเติมน้ำมะพร้าวแก่ส่งผลให้มีแนวโน้มในการเจริญมากกว่าการใช้ไข่ไก่หรือมะพร้าวอ่อนทั้งจำนวนก้านดอก ความยาว และน้ำหนักของดอกเห็ด ดังนั้นการใช้อาหารเลี้ยงเชื้อสำหรับเห็ดถั่งเช่าสีทองโดยใช้แกลบและน้ำมะพร้าว ซึ่งเป็นวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตร จึงมีความเป็นไปได้และเป็นการลดต้นทุนจากการใช้อาหารสำเร็จรูปซึ่งมีราคาแพง นับได้ว่าเป็นการนำส่วนเหลือจากการเกษตรมาใช้ให้เกิดประโยชน์ และเป็นการเพิ่มมูลค่าให้กับผลผลิตทางการเกษตร สำหรับข้อเสนอแนะในการศึกษาเพิ่มเติมคือ การศึกษาสภาวะแวดล้อมที่เหมาะสมในการเพาะเลี้ยงเห็ดถั่งเช่าสีทอง ได้แก่ อุณหภูมิ ระยะเวลาในการบ่ม ระยะเวลาการให้แสง และอัตราการให้อากาศ ชนิดของวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรอื่น ๆ ในการเพาะเลี้ยงเห็ดถั่งเช่าสีทอง และการศึกษาปริมาณสารสำคัญคือ สารคอร์ติเซปิน สารต้านอนุมูลอิสระ และสารสำคัญชนิดอื่นที่เกิดขึ้นในแต่ละสภาวะของการทดลอง

กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้วิจัยขอขอบคุณมหาวิทยาลัยราชภัฏร้อยเอ็ดที่ให้ความอนุเคราะห์หัวเชื้อเห็ดถั่งเช่าสีทอง และขอขอบคุณ คณะเกษตรศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน วิทยาเขตสุรินทร์ ที่ได้สนับสนุนการทํารวจในครั้งนี้ ตลอดจนผู้อุปกรณ์ สารเคมี และสถานที่ในการดำเนินงานวิจัย

เอกสารอ้างอิง

- จิราภา เฌียงพิมาย, เดือนเพ็ญ วงศ์สอน, ภาวรินทร์ เพิ่มขุนทด และนิตยา ปิติวิทยากุล. (2564). ผลของเมล็ดธัญพืชต่อการสร้างเส้นใยและการสร้างดอกเห็ดถั่งเช่าสีทอง. ใน การประชุมวิชาการระดับชาติ ราชชมงคลสุรินทร์ ครั้งที่ 12 “วิจัยและนวัตกรรมเพื่อพัฒนาเศรษฐกิจวิถีใหม่” 16-17 กันยายน 2564. มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน วิทยาเขตสุรินทร์. F609-F615.
- ณัฐพงษ์ สิงห์ภูงา, พิระศักดิ์ นายประสาธ และบุญส่ง แสงอ่อน. (2559). ผลของสูตรอาหารเทียมต่อการเกิดดอกและการผลิตสารสำคัญทางยาของเห็ดถั่งเช่าสีทอง. วารสารพืชศาสตร์สงขลานครินทร์. 3(ฉบับพิเศษ III): 34-46.
- แพททริค เทรล์. (2566). แกลบ ประโยชน์ 10 ประการเพื่อการเกษตร. ค้นเมื่อ 22 ตุลาคม 2566.
<https://www.echocommunity.org/th/resources/9f9bcb3a-ed2e-4209-bf90-38a759ff3340>.
- ศิวเรศ อารีกิจ. (2564). สายพันธุ์มะพร้าวไทย. บรรยายในงานมหกรรมในหลวงรักเรา ภูมิพลังแผ่นดิน. วันที่ 4 ธันวาคม 2564. ม.ป.ท. 1-6.
- สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร. (2566). สถานการณ์การผลิตและการตลาดรายสัปดาห์. ค้นเมื่อ 22 ตุลาคม 2566.
<https://www.oae.go.th/view/1/TH-TH>.
- อุไรลักษณ์ พงษ์เกษ, นิภาวรรณ จิตโสภาคกุล, อรลดา เจือจันทร์ และหยาดนภา เจนรอบ. (2564). ผลของชนิดและพันธุ์ข้าวพื้นเมืองสุรินทร์ต่อผลผลิตเห็ดถั่งเช่าสีทอง. ใน การประชุมวิชาการระดับชาติ ราชชมงคลสุรินทร์ ครั้งที่ 12 “วิจัยและนวัตกรรมเพื่อพัฒนาเศรษฐกิจวิถีใหม่” 16-17 กันยายน 2564. มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน วิทยาเขตสุรินทร์. F861-F867.
- Akter M., Halawani R.F., Aloufi F.A., Taleb M.A., Akter S. and Mahmood S. (2022). Utilization of agro-industrial wastes for the production of quality oyster mushrooms. Sustainability. 14(2): 1-10.

- Baysal E., Peker H., Yalinkiliç M.K. and Temiz A. (2003). Cultivation of oyster mushroom on wastepaper with some added supplementary materials. *Bioresource Technology*. 89(1): 95-97.
- Bonatti M., Karnoppa P., Soaresb H.M. and Furlana S.A. (2004). Evaluation of *Pleurotus ostreatus* and *Pleurotus sajor-caju* nutritional characteristics when cultivated in different lignocellulosic wastes. *Food Chemistry*. 88: 425-428.
- Fonseca A.M., Monte F.J.Q., Maria da Conceição F., de Mattos M.C., Cordell G.A., Braz-Filho R. and Lemos T.L. (2009). Coconut water (*Cocos nucifera* L.)-A new biocatalyst system for organic synthesis. *Journal of Molecular Catalysis B: Enzymatic*. 57(1-4): 78-82.
- Frimpong-Manso J., Obodai M., Dzomeku M. and Apetorgbor M.M. (2011). Influence of rice husk on biological efficiency and nutrient content of *Pleurotus ostreatus* (Jacq. ex. Fr.) Kummer. *International Food Research Journal*. 18: 249-254.
- Gregori A. (2014). Cordycepin production by *Cordyceps militaris* cultivation on spent brewery grains. *Acta Biologica Slovenica*. 57(2): 45-52.
- Iruoma A.C. and Nduka D.E. (2013). Comparison of sawdust and rice husk as casing materials for *Pleurotus pulmonarius* propagation on cassava peel substrate. *Agriculture and Biology Journal of North America*. 4: 552-554.
- Jacob J.K.S., Kalaw S.P. and Reyes R.G. (2015). Mycelial growth performance of three species of *Pleurotus* on coconut water gelatin. *Current Research in Environmental & Applied Mycology*. 5(3): 263-268.
- Juliano B.O. and Tũaño A.P.P. (2019). Gross structure and composition of the rice grain. In *rice* (pp. 31-53). AACC International Press.
- Kim Y.S., Lim J.M., Ku B., Cho H. and Choi J. (2021). Alteration in ginsenoside and cordycepin content by solid-state fermentation of red ginseng with *Cordyceps militaris*. Accessed 23 Oct. 2023. <https://scite.ai/reports/10.17221/149/2020-cjfs>.
- Nguyen M.P. (2020). Synergistic effect of acoustic and vacuum drying to antioxidant attributes of *Cordyceps militaris*. Accessed 23 Oct. 2023. <https://scite.ai/reports/10.9734/jpri/2020/v32i230399>.
- Obodai M., Cleland-Okine J. and Vowotor K.A. (2003). Comparative study on the growth and yield of *Pleurotus ostreatus* mushroom on different lignocellulosic by-products. *Journal of Industrial Microbiology and Biotechnology*. 30: 146-149.
- Oei P. (1996). Mushroom cultivation with special emphasis on appropriate techniques for developing countries. Tool Publications. Leiden. The Netherlands. pp 155.
- Osazuwa O.E. and Ahonkhail. (1989). Coconut water as growth medium for micro-organisms. *Nigerian Journal of Palms Oil Seeds*. 10(11): 91-95.
- Prades A., Dornier M., Diop N. and Pain J.P. (2012). Coconut water uses, composition and properties: a review. *Fruits*. 67(2): 87-107.
- Pramith P. (1998). Oil separation from coconut water by microfiltration method. Rep. No. 62 17. National Food Research Institute. Tsukuba Ibaraki Japan.
- Santoso U., Kubo K., Ota T., Tadokoro T. and Maekawa A. (1996). Nutrient composition of kopyor coconuts (*Cocos nucifera* L.). *Food chemistry*. 57(2): 299-304.
- Shashidhar G.M., Kumar S.S., Giridhar P. and Manohar B. (2017). Antioxidant and cholesterol esterase inhibitory properties of supplementation with coconut water in submerged cultivation of the medicinal Chinese caterpillar mushroom, *Ophiocordyceps sinensis* CS1197 (Ascomycetes). *International Journal of Medicinal Mushrooms*. 19(4): 337-345.

- Takahashi J.A., Barbosa B.V.R., Martins B.D.A., Guirlanda C.P. and Moura M.A.F.E. (2020). Use of the versatility of fungal metabolism to meet modern demands for healthy aging, functional foods, and sustainability. Accessed 23 Oct. 2023. <https://scite.ai/reports/10.3390/jof6040223>.
- Tan Y.H. and Wahab M.N. (1997). Extracellular enzyme production during anamorphic growth in the edible mushroom, *Pleurotus sajor-caju*. World Journal of Microbiology and Biotechnology. 13: 613-617.
- Thongklang N. and Luangharn T. (2016). Testing agricultural wastes for the production of *Pleurotus ostreatus*. Mycosphere. 7(6): 766-772.
- Ukoima H.N., Ogbonnaya L.O., Arikpo G.E. and Ikpe F.N. (2009). Cultivation of mushroom (*Volvariella volvacea*) on various farm wastes in obubra local government of cross river state, Nigeria. Pakistan Journal of Nutrition. 8(7): 1059-1061.
- Walter E.H.M., Nascimento M.S. and Kuaye A.Y. (2009). Efficacy of sodium hypochlorite and peracetic acid in sanitizing green coconuts. Letters in Applied Microbiology. 49: 366-371.
- Wazir S.K.S. (1997). Technologies on environment-friendly young tender coconuts. in Proceeding COCOTECH Meeting. Asia-Pacific Coconut Community. Manila. Philippines.
- Xie C.Y., Gu Z.X. and Fan G.J. (2009). Production of cordycepin and mycelia by submerged fermentation of *Cordyceps militaris* in mixture natural culture. Applied Biochemistry and Biotechnology. 158: 483-492.

Received: March 2, 2024; Revised: July 25, 2024; Accepted: October 9, 2024

The study on the adaptation of light spectrum control in broiler barns

Navavit Ponganan¹, Teerayut Horanont¹, Autawin Suttiwichienchot², Ravipan Saleepon³
and Nattaya Prapaipanich^{3*}

¹School of Information, Computer and Communication Technology, Sirindhorn International Institute of Technology, Pathum Thani Province.

²Cho-ti Agricultural Innovation Co., Ltd., Chonburi Province.

³Faculty of Economics, Srinakharinwirot University, Bangkok.

*Corresponding Author E-mail Address: nattayapr@g.swu.ac.th

Abstract

This study examined the effects of light intensity and duration in closed broiler barns, comparing traditional and dimmable lamps on broiler performance. Four groups of Arbor Acres female broilers (n=100,000 per group) were subjected to different lighting conditions for 45 days: (A) traditional lamp, 18-24h; (B) traditional lamp, 18-23h; (C) dimmable LED, 18-24h, fixed 56% intensity; (D) dimmable LED, 18-23h, adjusted 20-80% intensity. Body weight (BW), average daily gain (ADG), feed conversion ratio (FCR), and mortality rate (% Mortality) were evaluated using a randomized complete block design. Group D achieved the lowest FCR (1.6) and highest ADG (69.2 g/day), while group A had the highest final BW (2,823.0 g/bird) and lowest mortality rate (1.2%), though differences were not statistically significant ($p>0.05$). Notably, groups with dimmable LEDs showed higher early-stage mortality. While controlling both light intensity and duration produced the best FCR results, the increased early mortality in these groups necessitates further investigation to optimize lighting programs that balance efficiency and bird welfare, particularly during the critical early growth phase.

Keywords: Broiler chicken, Feed conversion ratio, Light spectrum, Growth performance, Welfare

Introduction

Broilers are economically valuable and widely consumed animals. Due to their versatility in consumption across religions, high yields, and short raising time, they are one of the most important economic animals. Currently, chicken meat consumption in Thailand is on the rise. As a result of the rising demand for chicken meat, the domestic broiler farming industry has expanded rapidly. Furthermore, chicken products are essential to the Thai economy. The annual production of chicken meat in Thailand is 3.3 million tonnes, which represents 3.3% of the global total and ranks the country eighth globally. In addition, Thailand is the world's largest exporter of processed chicken with a market share of 11.9%, ranks sixth in the frozen chicken market with a market share of 2.6%, and is ranked 30th in the world for chilled chicken with a market share of 0.2% (BizVibe, 2020; Sowcharoensuk, 2020; USDA, 2021).

To improve broiler production, there has been an expansion of farming technology, including advancements in lighting systems. The intensity and duration of light can significantly affect broiler growth and behavior. Providing electric light stimulates chickens to see and eat at any time, potentially increasing growth (Deep et al., 2010). However, excessively bright lighting can make chickens more aggressive and active. Moreover, as chickens age, the impact of light intensity on production efficiency may change, suggesting that light intensity should be adjusted to conserve energy and optimize performance (Olanrewaju et al., 2014; Olanrewaju et al., 2016).

The aims of this study were to evaluate the effects of light intensity, duration, and lamp type (traditional vs. dimmable) on broiler performance, with a particular focus on FCR, body weight, average daily gain, and mortality rate. By conducting experiments in large-scale commercial settings, we sought to determine optimal lighting conditions that could be adapted to automatic rearing equipment, potentially improving the efficiency and welfare of broiler production.

Materials and Methods

1. Study area

The study was conducted in broiler barns at Cho-Ti Agricultural Innovation Co., Ltd. (Moo 6, Tambon Bo Kwang Thong, Bo Thong district, Chonburi Province, Thailand) during the third batch of broiler raising from July to September 2022 (Figure 1). It included 2 barns with traditional lamps (without dimmable lamp system) and 2 barns equipped with the Junglite Green model dimmable lamp system (Figure 2). The study was approved by the Institutional Animal Care and Use Committee of Chonburi Province (Approval number: 1261/2022).

2. Experimental methods

A total of 400,000 one-day-old female Arbor Acres broiler chickens were divided into four experimental groups, with 100,000 birds per group. The randomized complete block design (RCBD) was used in this study, with barns serving as blocks to account for potential variations in environmental conditions. Each treatment was replicated twice, with 50,000 birds per replicate. Details of each experimental group are given below and in Figure 3:

Group A = Traditional lamp, using 18-24 lighting hours.

Group B = Traditional lamp, using new program 18-23 lighting hours.

Group C = Barn with dimmable lamp system, supplement lamps Junglite Green model 94 tubes using 18-24 lighting hours and fixed intensity 56%.

Group D = Barn with dimmable lamp system, supplement lamps Junglite Green model 94 tubes using 18-23 lighting hours and adjusted intensity 20-80%.

From one day to forty-five days of age, chicks in all 4 barns were fed according to the standard protocol of the operator's broiler feed, with ample water and food provided throughout the experiment. The following data were recorded for each experimental group: 1. Body weight (BW) of chickens, 2. Mortality rate (%), 3. Average daily gain (ADG: final weight-initial weight divided by days), and 4. Feed conversion ratio (FCR: total feed consumed divided by total weight of product produced).

The dimmable light lamp (ONCE by Signify) added to the barns has the appearance of a long lamp containing red, green, and blue internal pigments. Upon adjusting the spectrum, certain pigments vanish. The light intensity (% dim) was set to a maximum of 80%, then gradually decreased based on the

experimental protocol to 64%, 56%, 48%, 40%, 32%, 24%, and 20% (Modified method of Once Inc., 2020). Statistical analyses of data were performed using one-way Analysis of variance (ANOVA) via Microsoft Excel program. Differences between treatment means were considered statistically significant at $p \leq 0.05$.



Figure 1 Broiler barn at Cho-Ti Agricultural Innovation Co., Ltd.



Figure 2 Inside broiler barn with installed dimmable light system.

	Chicken Age	Group A	Group B	Group C	Group D
	Day	Lighting hour	Lighting hour	Lighting hour % dim	Lighting hour % dim
Week 1	1	24	23	24	56%
	2	24	23	24	56%
	3	24	22	24	56%
	4	24	22	24	56%
	5	24	21	24	56%
	6	24	21	24	56%
	7	24	20	24	56%
Week 2	8	22	20	22	56%
	9	22	20	22	56%
	10	22	20	22	56%
	11	22	20	22	56%
	12	22	20	22	56%
	13	22	20	22	56%
	14	22	20	22	56%
Week 3	15	20	20	20	56%
	16	20	20	20	56%
	17	20	20	20	56%
	18	20	20	20	56%
	19	20	20	20	56%
	20	20	20	20	56%
	21	20	20	20	56%
Week 4	22	18	18	18	56%
	23	18	18	18	56%
	24	18	18	18	56%
	25	18	18	18	56%
	26	18	18	18	56%
	27	18	18	18	56%
	28	18	18	18	56%
Week 5	29	18	18	18	56%
	30	18	18	18	56%
	31	18	18	18	56%
	32	18	18	18	56%
	33	18	18	18	56%
	34	18	18	18	56%
	35	18	18	18	56%
Week 6	36	24	20	24	56%
	37	24	21	24	56%
	38	24	22	24	56%
	39	24	22	24	56%
	40	24	22	24	56%
	41	24	22	24	56%
	42	24	22	24	56%
Week 7	43	24	22	24	56%
	44	24	22	24	56%
	45	24	22	24	56%

Figure 3 Light hours and light intensity in 4 experimental groups.

Results

The results of the study comparing the weight of chickens, the number of dead chickens, ADG and FCR for each week are shown in Figures 4-7, respectively.

I. Hours

When comparing the experimental groups using the same type of lamp (Traditional lamp: Group A & B) but with varying light hours, it was observed that group A had a higher body weight than group B (Figure 4). group B had a higher ADG (Figure 6) and FCR (Figure 7), while group A had a lower mortality rate (Figure 5). However, these differences were not statistically significant ($p>0.05$).

II. Hours, light intensity

Comparing the experimental groups using the dimmable lamp system (Supplement lamps: Group C & D) with varying light hours and light intensity, group D showed higher body weight (Figure 4) and ADG (Figure 6) than group C, resulting in a lower FCR (Figure 7). group C had a higher mortality rate than group D (Figure 5), though these differences were not statistically significant ($p>0.05$).

III. Traditional lamps and dimmable lamp systems

When comparing the experimental groups using different types of lamps (Group A & C, B & D) with fixed light hours, group A had a higher body weight than group C (Figure 4), higher ADG and FCR (Figures 6-7), and a lower mortality rate (Figure 5). Comparing group B & D, group B had a higher body weight than group D

(Figure 4), while group D had a higher ADG and mortality rate (Figures 5-6). However, group B had a higher FCR than group D (Figure 7). These differences were not statistically significant ($p>0.05$).

Comparing group B (Original farm system) & C with fixed intensity 56%, group B showed higher body weight, ADG and FCR (Figures 4, 6-7). However, group D had a lower mortality rate than group C (Figure 5).

When comparing group A (Original farm system) & D with adjusting intensity 20-80%, group A had higher body weight (Figure 4), ADG, and FCR than group D (Figures 6-7). However, group A had a lower mortality rate than group D (Figure 5).

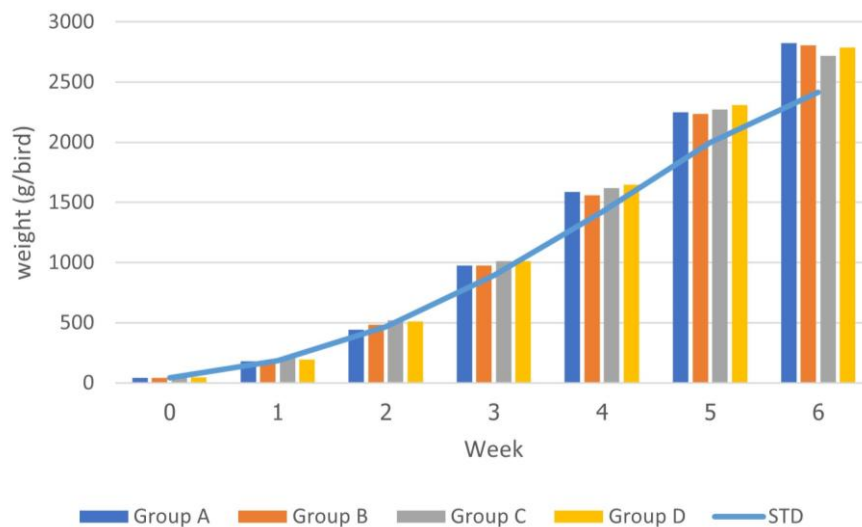


Figure 4 The weight of chicken in each experimental group.

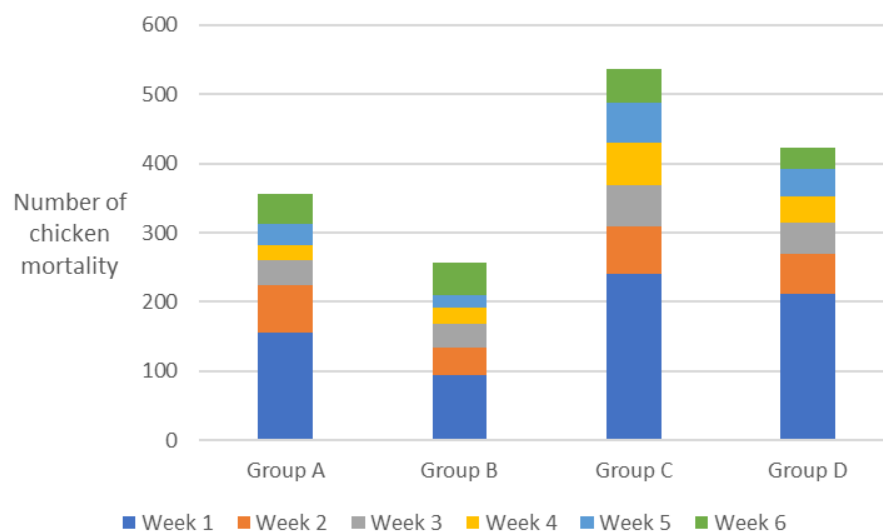


Figure 5 The number of chicken mortality per week of each experimental group.

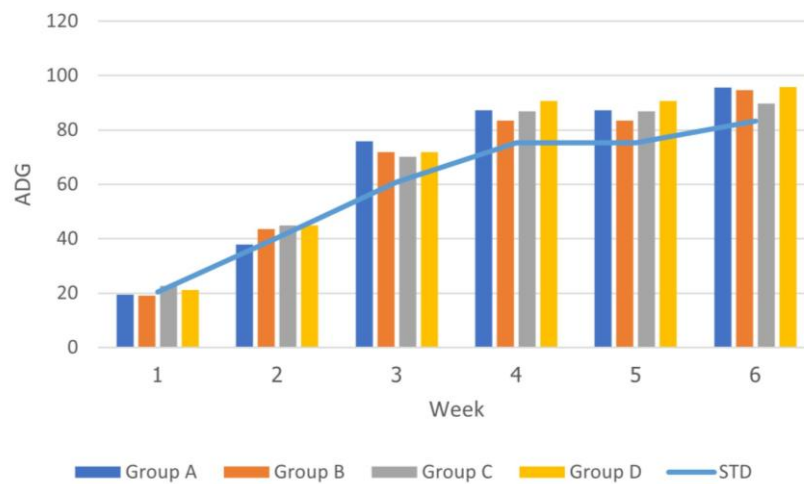


Figure 6 The average daily gain (ADG) of each experimental group.

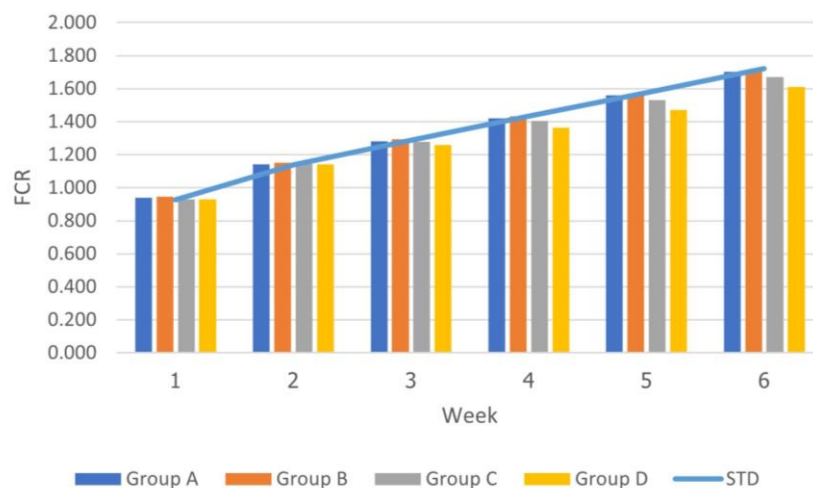


Figure 7 The feed conversion ratio (FCR) of each experimental group.

The treatments had no significant effect on the light intensity, hours and the different types of lamps of body weight, average daily gain, feed conversion ratio and mortality (%) according to the results of the ANOVA (Table 1).

Table 1 Parameters of the treatment groups as evaluated by Analysis of Variance (ANOVA)

Batch	Parameters	Treatment (%)				p-value
		Experiment group A	Experiment group B	Experiment group C	Experiment group D	
Female Arbor Acres broiler chickens	BW (gram)	2823.0±45.2	2805.0±43.8	2719.0±47.1	2789.5±44.6	0.999
	ADG	67.2±1.1	66.0±1.0	66.9±1.2	69.2±1.1	0.998
	FCR	1.7±0.03	1.7±0.03	1.7±0.03	1.6±0.03	0.986
	Mortality (%)	1.2±0.2	0.9±0.1	1.9±0.3	1.5±0.2	0.573

Note: ANOVA single factor's test at a 5% significance level ($p \leq 0.05$). BW, body weight at 48 days; ADG, average daily gain; FCR, feed conversion ratio; Mortality (%), mortality rate calculated based on 28,650 chickens.

Discussion

Our study, focusing on the impact of lighting conditions on broiler farming, particularly comparing traditional lamps versus a dimmable lamp system, provides insights into optimizing growth, feed efficiency, and overall farm performance. While our results did not show statistically significant differences, they suggest potential trends that warrant further investigation.

Lighting and broiler farming efficiency: Our results indicate potential improvements in feed conversion ratio (FCR) under dimmable lighting, particularly in group D (18-23h, adjusted 20-80% intensity), which aligns with the findings of Olanrewaju et al. (2016). They reported that manipulating light intensity can positively affect broiler growth and feed efficiency. The trend towards improved FCR in group D may be attributed to the dynamic light intensity, which could potentially mimic natural light patterns and support the birds' circadian rhythms.

Balancing efficiency and welfare: The higher mortality rate observed in our study under dimmable lighting conditions (Groups C and D) presents a challenge in balancing efficiency with welfare. This echoes the concerns raised by Deep et al. (2010), who found that lighting conditions could significantly impact broiler behavior and welfare. The increased early mortality in the dimmable LED groups might be related to stress responses to changing light conditions. Newborn chicks are particularly sensitive to environmental changes, and their underdeveloped thermoregulatory systems might be affected by variations in light intensity (Olanrewaju et al., 2006).

The physiological basis for these effects may lie in the influence of light on melatonin production and its subsequent impact on growth hormone secretion (Zeman et al., 1999). Melatonin, produced in darkness, plays a crucial role in regulating the growth hormone-insulin-like growth factor-1 axis, which is essential for muscle development in broilers (Zeman et al., 2004). The adjusted light intensity in group D might have optimized this hormonal balance, potentially explaining the trend towards improved growth performance.

Our findings contribute to this ongoing discussion by highlighting the need for optimal lighting that promotes growth without compromising animal health. The potential trade-off between improved FCR and increased mortality underscores the complexity of optimizing lighting conditions in broiler production.

Practical implications and future directions: While our study suggests potential benefits of dimmable LED systems, particularly in terms of FCR, the increased early mortality in these groups necessitates further

investigation. Future research should focus on fine-tuning lighting programs, especially during the critical first week of life. This could involve gradual introduction of varying light intensities or exploring different spectral compositions that might be less stressful for young chicks.

Additionally, future studies could benefit from longer experimental periods and larger sample sizes to detect potential statistical significance in the observed trends. Incorporating physiological measurements, such as plasma corticosterone levels or growth hormone concentrations, could provide deeper insights into the mechanisms underlying the effects of different lighting conditions on broiler performance and welfare.

Conclusion

In conclusion, based on light intensity and hours between traditional lamps and dimmable lamp systems, experiment group D (dimmable LED, 18-23h, 20-80% intensity) resulted in the lowest FCR values among the chickens. However, it should be noted that the groups with dimmable lamps had a higher 1-week mortality rate for chicks than the traditional lamp groups. To implement these findings, further research is necessary to optimize lighting programs, particularly during the critical first week of life. Future studies should investigate the physiological responses of broilers to different lighting conditions, consider longer experimental periods and larger sample sizes, and evaluate the economic implications of implementing dimmable LED systems. Additionally, exploring the interaction between lighting conditions and other environmental factors could provide a more comprehensive understanding of optimal rearing conditions. The ultimate goal is to develop lighting strategies that balance improved feed efficiency and growth with minimized stress and mortality in broiler production.

References

- BizVibe. (2020). Top poultry meat producing countries, top poultry meat exporters and importers: Global poultry meat industry factsheet 2020. BizVibe. Accessed 4 January 2024.
<https://blog.bizvibe.com/blog/top-poultry-meat-producing-countries>
- Deep A., Schwan-Lardner K., Crowe T.G., Fancher B.I. and Classen H.L. (2010). Effect of light intensity on broiler production, processing characteristics, and welfare. *Poultry Science*. 89(11): 2326–2333.
- Olanrewaju H.A., Miller W.W., Maslin W.R., Collier S.D., Purswell J.L. and Branton S.L. (2014). Effects of strain and light intensity on growth performance and carcass characteristics of broilers grown to heavy weights. *Poultry Science*. 93(8): 1890–1899.
- Olanrewaju H.A., Miller W.W., Maslin W.R., Collier S.D., Purswell J.L. and Branton S.L. (2016). Effects of light sources and intensity on broilers grown to heavy weights. Part 1: Growth performance, carcass characteristics, and welfare indices. *Poultry Science*. 95(4): 727–735.
- Olanrewaju H.A., Thaxton J.P., Dozier W.A., Purswell J., Roush W.B. and Branton S.L. (2006). A review of lighting programs for broiler production. *International Journal of Poultry Science*. 5(4): 301–308.
- Sowcharoensuk C. (2020). Industry outlook 2020-2022: Chilled, frozen and processed chicken. Krungsri Research. Accessed 17 January 2024.
<https://www.krungsri.com/en/research/industry/industry-outlook/Food-Beverage/Frozen-Processed-Chicken/IO/io-frozen-processed-chicken>.

- United States Department of Agriculture (USDA). (2021). Thailand: Poultry and products annual. U.S. Department of Agriculture Foreign Agricultural Service. Accessed 23 January 2024.
<https://www.fas.usda.gov/data/thailand-poultry-and-products-annual-6>.
- Zeman M., Buyse J., Huybrechts L.M. and Decuypere E. (2004). Melatonin and the development of the growth hormone-insulin-like growth factor-1 axis in birds. *Comparative Biochemistry and Physiology Part A: Molecular & Integrative Physiology*. 137(2): 233–240.
- Zeman M., Gwinner E., Somogyiová E. and Herichová I. (1999). Role of melatonin in the control of growth and growth hormone secretion in poultry. *Journal of Pineal Research*. 26(3): 137–142.

- Response of cassava varieties (*Manihot esculenta* Crantz) at early growth to different types of manure
Phakorn phunthupan, Phanupong Phoncharoen and Chadchawarn Sangrit
- The design of partial weight-support system for injured elephants
Bhark Pramkaeo, Prachya Mukda, Kangsadan Sagulpongmalee, Chuangchai Chupwa, Ittipat Roopkom, Krit Chaiwong, Alongkorn Chatmuangpak, Bundidpong Srimnouy, Mahisorn Prapasanobol and Kwanchai Nanan
- Design and implementation of IoT based air pollution monitoring system
Piyapat Panmuang, Jakkis Srithong, Surakit Apiraksakorn and Kitti Toontam
- Effect of storage conditions on postharvest changes of fresh amaranth leaves
Sukanya Buntanai, Hathaiphon Kampawong, Grittaya Utto and Weerawate Utto
- Effects of temperature and freeze-drying time on the quality of crispy Hom Thong banana (*Musa acuminata* (AAA group) 'Gross Michel')
Prakard Chomphuthong, Kanya Ratchatachaiyos, Bumpen Nimkian and Supatra Klamsakul
- Effect of paclobutrazol on growth and chemical compositions analysis of *Desmos chinensis* Lour
Anan Piriya-phattarakit¹, Ponkamon Ruploet, Mareyah Saenkaew, Patcharee Dechlay and Nirun Vipunngeun
- Enhancing water quality monitoring in shrimp ponds using machine learning and bio-inspired optimization
Surasit Songma, Watcharakorn Netharn and Rungkiat Kawpet
- Effects of potting mixes on Butternut Squash yields
Winakon Theerak, Chatchai Senkwankaew and Phakin manthung
- Effect of agricultural waste materials utilization for *Cordyceps militaris* cultivation
Onladda Juajun, Nipawan Jitsopakul, Urailuck Pongket and Yardnapa Jenrob
- The study on the adaptation of light spectrum control in broiler barns
Navavit Ponganan, Teerayut Horanont, Autawin Suttiwichienchot, Ravipan Saleepon and Nattaya Prapaipanich