

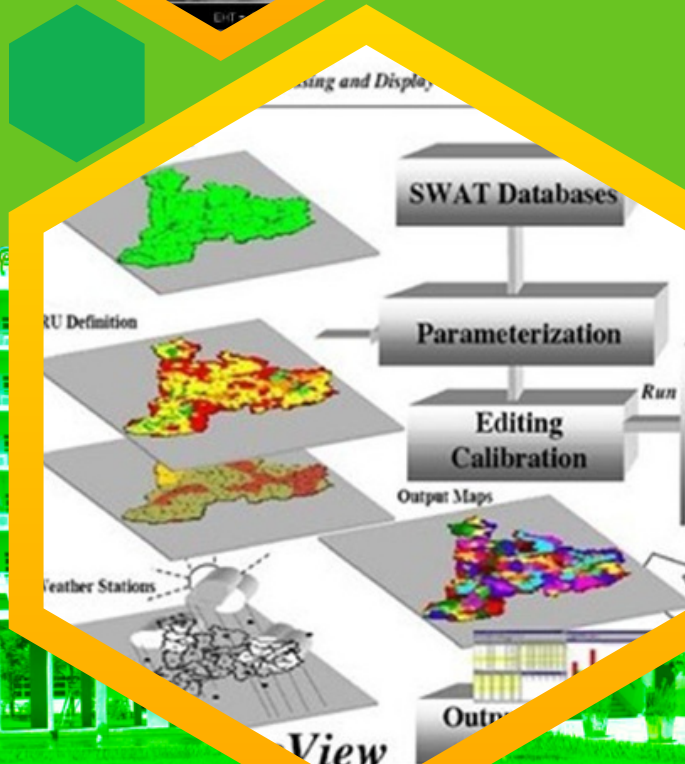
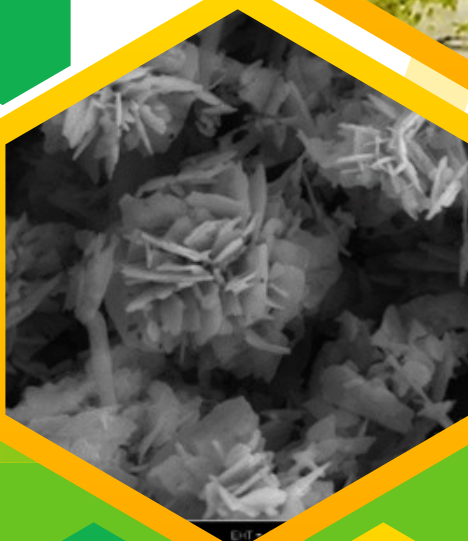
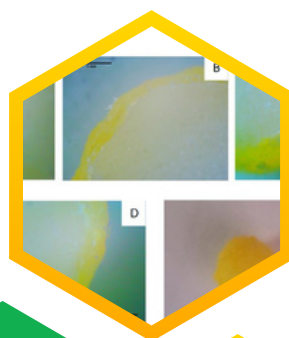
ATRJ



วารสารเกษตรศาสตร์และเทคโนโลยี
มทร.อีสาน

Volume 6

No.3 September-December 2025



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



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

คณะเกษตรศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน วิทยาเขตสุรินทร์



คำนำ

วารสารวิจัยเกษตรศาสตร์และเทคโนโลยี มทร.อีสาน เป็นวารสารที่จัดทำขึ้นเพื่อตีพิมพ์บทความที่เป็นประโยชน์ต่อวงการวิชาการและบุคคลทั่วไป โดยมีสาขาย่อย 3 สาขา ได้แก่ วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี เกษตรศาสตร์ และวิศวกรรมศาสตร์ โดยวารสารฉบับนี้ได้เผยแพร่ผลงานที่มีเนื้อหาทางด้านวิชาการ การสร้างองค์ความรู้ การบูรณาการ และข้อมูลอันเป็นประโยชน์จากคณาจารย์ นักศึกษา และผู้เชี่ยวชาญในสาขาวิชาต่าง ๆ เพื่อจะนำไปสู่การยกระดับคุณภาพชีวิต รวมทั้งก่อให้เกิดประโยชน์ทางด้านวิชาการแก่ผู้ที่สนใจทั่วไป โดยมีบทความ 11 เรื่อง ที่มีเนื้อหาหลากหลาย ได้แก่ 1) ผลของอุณหภูมิและระยะเวลาการเก็บรักษาก่อนเรณูกล้วยไม้ลูกผสมหวายญาติต่อความมีชีวิตของกอนเรณู การติดฝัก และการเจริญเติบโตของต้นอ่อนในสภาพปลอดเชื้อ 2) ศักยภาพของนาโนซิงค์ออกไซด์และสารสกัดหยาบสมุนไพรในการยับยั้งเชื้อรา *Pseudoperonospora cubensis* 3) การใช้ปุ๋ยยูเรียเคลือบด้วยยางธรรมชาติร่วมกับแป้งข้าวเจ้าต่อการเจริญเติบโตของฝักบวบ 4) การประเมินผลผลิต องค์ประกอบผลผลิต และลักษณะทางการเกษตรในประชากรลูกผสมกลับครั้งที่ 2 ช่วงที่ 2 ของข้าวเจ้าพื้นนุ่มที่มีพันธุกรรมความหอม 5) การพัฒนาศูนย์เรียนรู้ด้านการเกษตรระดับชุมชนแบบมีส่วนร่วมกรณีศึกษา กลุ่มเกษตรกรตำบลเสือโก้ก อำเภอลำทะเมนชัย จังหวัดมหาสารคาม 6) การประเมินการเจริญเติบโตและผลผลิตของข้าวตลาดเฉพาะเพื่อปลูกในจังหวัดสงขลา 7) การประเมินคุณภาพน้ำในลุ่มน้ำน่านที่สถานีวัดน้ำ N.1 โดยใช้แบบจำลอง QSWAT 8) ผลของการใช้แทนแสงเลี้ยงปลาตะเพียนขาวในนาข้าวอินทรีย์ 9) การเพิ่มสมรรถนะการอบแห้งด้วยลมร้อนโดยควบคุมการหมุนเวียนอากาศอัจฉริยะผ่านระบบไอโอที 10) การวิเคราะห์เชิงพหุปัจจัยเพื่อเลือกเส้นทางขนส่งสินค้าเกษตรอย่างเหมาะสม กรณีศึกษาทุเรียนจากจันทบุรีสู่ด่านศุลกากรเชียงของ 11) การประเมินคุณภาพและองค์ประกอบทางเคมีของปลาทรายหอย ผงปลาชีวแก้ว ไขน้ำแห้ง และการประยุกต์ใช้ในการผลิตผงโรยข้าว

โดยบทความได้ผ่านการพิจารณา และการกลั่นกรอง จากผู้ทรงคุณวุฒิทั้งภายในและภายนอกมหาวิทยาลัย กองบรรณาธิการขอขอบคุณนักวิจัยทุกท่านที่ได้ส่งบทความเข้ามาขอรับการตีพิมพ์ในวารสาร และหวังเป็นอย่างยิ่งว่าบทความในวารสารฉบับนี้จะก่อให้เกิดประโยชน์ทางวิชาการของประเทศไทยต่อไป

กองบรรณาธิการ
วารสารเกษตรศาสตร์และเทคโนโลยี มทร.อีสาน



วารสารเกษตรศาสตร์และเทคโนโลยี มทร.อีสาน
Agriculture & Technology RMUTI Journal

วัตถุประสงค์ เพื่อเผยแพร่ความรู้และผลงานวิชาการทางด้านการเกษตรศาสตร์และเทคโนโลยี รวมทั้งเป็นสื่อกลางในการแลกเปลี่ยนความคิดเห็นทางวิชาการเชิงสร้างสรรค์ เพื่อส่งเสริมอาจารย์ นักวิชาการ นักวิจัย นักศึกษา และผู้ที่เกี่ยวข้องให้มีส่วนร่วมในการถ่ายทอดองค์ความรู้ เทคโนโลยีหรือนวัตกรรมแก่สังคม

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

ที่ปรึกษาบรรณาธิการ	รศ.ดร.สำเนาวั	เสาวกุล	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน วข.สุรินทร์
หัวหน้ากองบรรณาธิการ	อ.ทรงยศ	กิตติชนม์ธวัช	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน วข.สุรินทร์
บรรณาธิการ	ผศ.ดร.วุฒิชัย	สิทธิพงษ์	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน วข.สุรินทร์
รองบรรณาธิการ	ดร.พงศ์ภัทร	เกียรติประเสริฐ	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน วข.สุรินทร์
ผู้ช่วยบรรณาธิการ	ดร.ปวีณา	สาธิตทอง	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 (เกษียณอายุ)
ศ.ดร.สนั่น	จอกลอย	มหาวิทยาลัยขอนแก่น (เกษียณอายุ)
ศ.ดร.สิงหนาท	พวงจันทร์แดง	มหาวิทยาลัยขอนแก่น
ศ.ดร.อนันต์	พลธานี	มหาวิทยาลัยขอนแก่น (เกษียณอายุ)
ศ.ดร.อลงกลด	แทนอมทอง	มหาวิทยาลัยขอนแก่น
ศ.ดร.อุทัยรัตน์	ณ นคร	มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
ศ.ดร.สุขสันต์	ห่อพิบูลสุข	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี
ศ.ดร.สุวัจน์	ธัญรส	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย
ศ.ดร.ทวนทอง	จุฑาเกตุ	มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี
พล.อ.ต.ศ.ดร.สรภักข	ศรีเกษม	โรงเรียนนายเรืออากาศนวมินทกษัตริยาธิราช (เกษียณอายุ)

กองบรรณาธิการ

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

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

กำหนดออกวารสาร

พิมพ์เผยแพร่ราย 4 เดือน

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

พิมพ์ที่

คณะเกษตรศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน วิทยาเขตสุรินทร์

ต้นฉบับที่ได้รับการตีพิมพ์ถือเป็นลิขสิทธิ์ของวารสารเกษตรศาสตร์และเทคโนโลยีและบทความในวารสารเป็นแนวคิดของผู้แต่งมิใช่เป็นแนวคิดของคณะกรรมการจัดทำวารสาร และมิใช่เป็นความรับผิดชอบของคณะเกษตรศาสตร์และเทคโนโลยี

รายนามผู้ทรงคุณวุฒิพิจารณาบทความ
ปีที่ 6 ฉบับที่ 3

รศ.ดร.วีระเวทย์ อุทโธ
รศ.ดร.ช่อแก้ว อนิลพล
รศ.ดร.สัญญา สิริวิทยาปกรณ์
รศ.ดร.อำนาจ วัฒนกรศิริ
รศ.ดร.พิศุทธิ์ พงศ์ชัยฤกษ์
ผศ.ดร.ขวัญเดือน รัตนา
ผศ.ดร.สุนิดา เมืองโคตร
ผศ.ดร.วิไลพร อินสุวรรณ
ผศ.ดร.กฤต จันทรมัย
ผศ.ดร.วรรณวิภา พินธะ
ผศ.ดร.ปฎิวัติ วรามิตร
ผศ.ดร.ปิยพัฒน์ พานเมือง
ผศ.ดร.อยุธยา คงปั่น
ผศ.ดร.เสาวคนธ์ เหมวงษ์
ผศ.ดร.ธัญญ์วนิช ธัญสิริวรรณ
ผศ.ดร.อรุณี พรหมคำบุตร
ผศ.ดร.จรรยา สิงห์คำ
ผศ.ดร.ดวงนภา วาณิชสรรพ
ผศ.ดร.ประจวบ ฉายบุญ
ผศ.ดร.รัชณี พุทธา
ผศ.ดร.สนธยา กุลกัลยา
ผศ.ดร.สุจินต์ จีระชีวะนันท์
ผศ.ดร.นิตานาถ แก้ววินัด
ผศ.มานิช ขำเจริญ
ผศ.ภากร พันธุ์พาน
ดร.อภิญา ไชรัมย์
ดร.เทียมมะณีย์ รัตนวีระพันธ์
ดร.พุทธิพงษ์ หงส์ทอง
ดร.สุพัตรา มหาโกสี
ดร.ณัฐวณิชกุล เศรษฐปราโมทย์

มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี
สถาบันเทคโนโลยีเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
มหาวิทยาลัยราชภัฏสุรินทร์
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์
มหาวิทยาลัยราชภัฏอุบลราชธานี
มหาวิทยาลัยราชภัฏอุบลราชธานี
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน วข.สุรินทร์
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน วข.สุรินทร์
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน
มหาวิทยาลัยกาฬสินธุ์
มหาวิทยาลัยนครพนม
มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วข.สกลนคร
มหาวิทยาลัยขอนแก่น
มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์
มหาวิทยาลัยราชภัฏนครปฐม
มหาวิทยาลัยแม่โจ้
มหาวิทยาลัยแม่โจ้
มหาวิทยาลัยราชภัฏรำไพพรรณี
มหาวิทยาลัยพระจอมเกล้าธนบุรี
มหาวิทยาลัยราชภัฏสุรินทร์
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย
มหาวิทยาลัยนครพนม
มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี
มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา

บทบรรณาธิการ



คณะเกษตรศาสตร์และเทคโนโลยี

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน

วิทยาเขตสุรินทร์

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

คณะเกษตรศาสตร์และเทคโนโลยี ได้เห็นความสำคัญของการพัฒนาและส่งเสริมผลงานวิจัยเพื่อเผยแพร่เชิงบูรณาการให้มีคุณภาพ เกิดประโยชน์อย่างแท้จริง สำหรับฉบับนี้ มีบทความวิจัยด้วยกัน 11 เรื่อง ประกอบด้วยสาขาเกษตรศาสตร์ 4 เรื่อง สาขาวิศวกรรมศาสตร์ 4 เรื่อง สาขาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี 3 เรื่อง โดยวารสารเกษตรศาสตร์และเทคโนโลยี (Agriculture and Technology RMUTJ Journal) เป็นวารสารที่มีคุณภาพและมีชื่อในศูนย์ดัชนีการอ้างอิงวารสารไทย (Thai-Journal Citation Index Centre; TCI1)

กองบรรณาธิการขอขอบคุณผู้ทรงคุณวุฒิทุกท่านที่ให้ข้อเสนอแนะสำหรับในแต่ละบทความวิจัย ขอขอบคุณผู้เขียนทุกท่านที่ได้ส่งบทความอันเป็นประโยชน์ เผยแพร่สู่สาธารณะเพื่อพัฒนางานวิจัยของชาติต่อไป

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วุฒิชัย สิทธิวงษ์
บรรณาธิการ

- ผลของอุณหภูมิและระยะเวลาการเก็บรักษาก่อนเรณูก้าวไม้ลูกผสมหวายญาญา
ต่อความมีชีวิตของกอนเรณู การติดฝัก และการเจริญเติบโตของต้นอ่อนในสภาพปลอดเชื้อ 1
Effect of temperature and storage period of *Dendrobium* Yaya Victoria pollinia on
pollinia viability, pod formation and *in vitro* growth of seedlings
ไฉนเกียรติ์ นี และนิภาวรรณ จิตโสภาคกุล
- ศักยภาพของนาโนซิงค์ออกไซด์และสารสกัดหยาบสมุนไพรในการยับยั้งเชื้อรา 14
Pseudoperonospora cubensis
The potential of nano-zinc oxide and crude herbal extracts for inhibition of
Pseudoperonospora cubensis
วรุฒม์ คุณสุทธิ รัตนาภรณ์ สมฤทธิ์ ชีระวิทย์ พลโคกก่อง จตุพัฒน์ สมป์ปิโต
กิตติธร หนองสี สุรัชย์ บุญเศษ วิริญญา สอนมัวมีด และแสงดาว ชัยสุวรรณ
- การใช้ปุ๋ยยูเรียเคลือบด้วยยางธรรมชาติร่วมกับแป้งข้าวเจ้าต่อการเจริญเติบโตของผักบุ้ง 29
Application of coating urea fertilizer by natural rubber with rice flour
on the *Ipomoea aquatica* growth
สิริวิมล ขุนภักดี ณรงค์ เชื่องชยะพันธุ์ วรรณรัตน์ เชื่องชยะพันธุ์ และสุรพล ฐิติธนากุล
- การประเมินผลผลิต องค์ประกอบผลผลิต และลักษณะทางการเกษตรในประชากรลูกผสมกลับ 39
ครั้งที่ 2 ช่วงที่ 2 ของข้าวเจ้าพื้นนุ่มที่มีพันธุ์กรรมความหอม
Evaluation of yield, yield components, and agronomic traits in
BC₂F₂ population of soft-cooked rice with aromatic germplasm
ภาณุวัฒน์ พรายสำโรง เยาวพา จิระเกียรติกุล และพรชัย ทาระโคตร

- | | |
|--|----|
| การพัฒนาศูนย์เรียนรู้ด้านการเกษตรระดับชุมชนแบบมีส่วนร่วมกรณีศึกษา
กลุ่มเกษตรตำบลเสื่อไก่อ อำเภอลำปลายมาศ จังหวัดมหาสารคาม
Development of participatory community-level agricultural learning center
A case study : Suea Kok Sub-District agricultural group, Wapi Pathum District,
Maha Sarakham Province
สิทธิโชค พรรคพิทักษ์ อรรถวุธ แก้วสีขาว ธนาพล ตรีสกุล และกัญญารัตน์ บรรลุสุข | 48 |
| การประเมินการเจริญเติบโตและผลผลิตของข้าวตลาดเฉพาะเพื่อปลูกในจังหวัดสงขลา
Assessment of growth and yield of niche market rice for cultivation in
Songkhla Province
ภัทรพร รักดีฉนวน และชนากานต์ วงษาพรหม | 57 |
| การประเมินคุณภาพน้ำในลุ่มน้ำน่านที่สถานีวัดน้ำ N.1 โดยใช้แบบจำลอง QSWAT
Water quality estimation in Nan Basin at station N.1 using QSWAT mode
เรวัฒน์ เต็มกล้า ชญาวิชญ์ ยิ้มอยู่ ดวงกมล เปรมสุข พงศกร พิมพะนิตย์
กฤษณะ วังสอง สุदारัตน์ คำปลิว และอภิรัฐ ปั่นทอง | 70 |
| ผลของการใช้แหนแดงเลี้ยงปลาตะเพียนขาวในนาข้าวอินทรีย์
Effects of using Azolla (<i>Azolla microphylla</i>) to feed Thai silver barb
(<i>Barbonymus gonionotus</i>) in organic rice fields
วิศรุต พลพินิจ กฤติมา กษมาวุฒิ อัจฉรวาดี เครือภักดี และสำเนาวั เสาวกุล | 82 |

การเพิ่มสมรรถนะการอบแห้งด้วยลมร้อนโดยควบคุมการหมุนเวียนอากาศอัจฉริยะผ่านระบบไอโอที	93
--	----

Enhancing hot air drying performance through IoT-based intelligent air recirculation control

กานต์ กอมณี อภินันต์ นามเขต ทรงสุภา พุ่มชุมพล รัฐพงศ์ ปฏิภาณัง
ชาคริต โพธิ์งาม กฤตยา ไชยยศ และอำไพศักดิ์ ทิบุญมา

การวิเคราะห์เชิงพหุปัจจัยเพื่อเลือกเส้นทางขนส่งสินค้าเกษตรอย่างเหมาะสมกรณีศึกษาทุเรียนจากจันทบุรีสู่ด่านศุลกากรเชียงของ	107
---	-----

Multi-criteria analysis for optimal agricultural freight routing:
a case study of durian transport from Chanthaburi to Chiang Khong customs house

ธนสิทธิ์ นิตยะประภา เจษฎา โพธิ์จันทร์ และบุญทรัพย์ พานิชการ

การประเมินคุณภาพและองค์ประกอบทางเคมีของปลาสร้อยหอย ผงปลาชิวแก้ว ใช้น้ำแห้ง และการประยุกต์ใช้ในการผลิตผงโรยข้าว	122
--	-----

Evaluation of quality and proximate composition of striped catfish floss, Thai river sprat fish powder, dried water meal and application of rice seasoning powder production

จักรินทร์ ตริอินทอง ปิยะฉัตร วิริยะอำไพวงศ์ และวิระจิตร คุณราษฎร์

Received: December 20, 2024; Revised: March 13, 2025; Accepted: March 31, 2025

ผลของอุณหภูมิและระยะเวลาการเก็บรักษาก่อนเรณุกกล้วยไม้ลูกผสมหวายญาญา
ต่อความมีชีวิตของก้านเรณู การติดฝัก และการเจริญเติบโตของต้นอ่อนในสภาพปลอดเชื้อ
Effect of temperature and storage period of *Dendrobium* Yaya Victoria
pollinia on pollinia viability, pod formation and *in vitro* growth of seedlings

ไฉเกียร์ นี¹ และนิภาวรรณ จิตโสภาคกุล^{1*}
Naykie Ny¹ and Nipawan Jitsopakul^{1*}

¹คณะเกษตรศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน วิทยาเขตสุรินทร์ จังหวัดสุรินทร์

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

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

บทคัดย่อ

การเก็บรักษาก่อนเรณูของกล้วยไม้เพื่อใช้ผสมกับดอกที่มีระยะเวลาการบานของดอกแตกต่างกันเพื่อผลิตกล้วยไม้ลูกผสม การเก็บรักษาก่อนเรณูกล้วยไม้ลูกผสมหวายญาญาในรูปแบบสดและแบบแห้ง ที่อุณหภูมิห้อง (25 องศาเซลเซียส) 12 และ -14 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 7-350 วัน เพื่อศึกษาอุณหภูมิและระยะเวลาที่เหมาะสมในการเก็บรักษาก่อนเรณูเพื่อผสมพันธุ์ พบว่า การเก็บรักษาก่อนเรณูแบบสดที่อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 39 วัน ก้านเรณูมีชีวิตและติดฝักเฉลี่ยสูงสุด คือ 80 และ 100 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ และการเก็บรักษาก่อนเรณูแบบสดที่ -14 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 128 วัน ก้านเรณูมีชีวิตและติดฝักเฉลี่ยสูงสุด 40 เปอร์เซ็นต์ เมล็ดจากการผสมด้วยก้านเรณูที่เก็บรักษามีเอ็มบริโอและออกเป็นโปรโตคอร์มเมื่อเพาะเลี้ยงบนอาหารแข็งสูตร Vacin & Went (1949) ที่เติมน้ำมะพร้าว 150 มิลลิลิตรต่อลิตร และน้ำตาลซูโครส 10 กรัมต่อลิตร เฉลี่ย 40 วัน และเจริญเป็นต้นเมื่อเพาะเลี้ยงบนอาหารแข็งสูตรดัดแปลง Vacin & Went (1949) ที่เติมน้ำมะพร้าว 150 มิลลิลิตรต่อลิตร กล้วยหอม 100 กรัมต่อลิตร ผงถ่าน 1 กรัมต่อลิตร และน้ำตาลซูโครส 20 กรัมต่อลิตร ลักษณะของต้นอ่อนจากการผสมด้วยก้านเรณูที่เก็บและไม่เก็บรักษาไม่มีความแตกต่างกัน และเจริญเติบโตได้ในโรงเรือน การเก็บรักษาก่อนเรณูของกล้วยไม้ลูกผสมหวายญาญาแบบสดที่อุณหภูมิห้องและ -14 องศาเซลเซียส เหมาะสำหรับการเก็บรักษาก่อนเรณูระยะสั้นและระยะกลางเพื่อผสมพันธุ์ ตามลำดับ ซึ่งเป็นวิธีการที่ง่าย สะดวก ไม่ใช้สารเคมีและอุปกรณ์ราคาแพง สามารถประยุกต์ใช้กับกล้วยไม้ไทยและกล้วยไม้ลูกผสมเพื่อปรับปรุงพันธุ์พืชได้

คำสำคัญ: กล้วยไม้ ก้านเรณู การปรับปรุงพันธุ์พืช เมล็ด โปรโตคอร์ม

Abstract

Storage of pollinia is crucial for hybridization of orchids with different flowering times to produce hybrid orchids. The storage of *Dendrobium* Yaya Victory pollinia at room temperature (25 °C), 12 °C, and -14 °C for 7-350 d in the forms of fresh pollinia and dried pollinia was investigated to study the optimum temperature and duration for storage of pollinia for pollination. The results showed that the optimum temperature of fresh pollinia storage for 39 d was room temperature, with an average of 80% and 100% of the pollinia viability and pod formation, respectively. An average of 40% of the pollinia viability and pod

formation were observed after 128 d of fresh pollinia storage at -14 °C. Seeds of pollination with the stored pollinia produced embryos, and after 40 d of sowing on Vacin & Went (1949) agar medium supplemented with 150 ml/l coconut water and 10 g/l sucrose, the seeds germinated into protocorms. On the modified Vacin & Went (1949) agar medium, which was supplemented with 150 ml/l coconut water, 100 g/l banana, 1 g/l activated charcoal, and 20 g/l sucrose, the protocorms developed into plantlets. Plantlets that were pollinated using stored pollinia were identical to those that were pollinated using fresh pollinia and grew in the greenhouse. For short-term and medium-term pollinia storage for pollination, fresh *Dendrobium* Yaya Victory pollinia can be stored at room temperature and -14 °C, respectively. This method is easy to use, doesn't require chemicals or costly equipment, and can be used to improve plant breeding in Thai orchids and hybrid orchids.

Keywords: Orchid, Pollinia, Plant breeding, Seed, Protocorm

บทนำ

ก่อนเรณูของกล้วยไม้มีบทบาทสำคัญในการผสมพันธุ์เพื่อการอนุรักษ์พันธุกรรมและเพื่อการปรับปรุงพันธุ์ ในการปรับปรุงพันธุ์กล้วยไม้เพื่อผลิตกล้วยไม้ลูกผสมที่มีลักษณะโดดเด่นและแตกต่างไปจากเดิม เช่น ดอกมีขนาดใหญ่ สีกลิ่นสวยงาม ก้านดอกยาว ออกดอกตลอดทั้งปี ต้านทานต่อโรคและแมลง หรือต้นกล้วยไม้มีขนาดเล็กเพื่อผลิตเป็นไม้กระถาง เป็นต้น การผสมพันธุ์กล้วยไม้ทำได้โดยการผสมพันธุ์ข้ามชนิดและข้ามสกุล แต่ปัญหาในการผสมพันธุ์เพื่อผลิตลูกผสม คือ การออกดอกในช่วงเวลาที่ต่างกัน (Pritchard & Prendergast, 1989; Vendrame et al., 2008) หรือเจริญอยู่ในสถานที่ต่างกัน จึงมีความจำเป็นต้องทำการเก็บรักษาก่อนเรณูของกล้วยไม้ชนิดนั้นเพื่อนำมาผสมกับดอกกล้วยไม้ที่ต้องการ ปัจจัยที่มีผลต่อการเก็บรักษาก่อนเรณู คือ อุณหภูมิ ความชื้นสัมพัทธ์ (van der Walt & Littlejohn, 1996; Deng & Harbaugh, 2004) ระยะเวลาในการเก็บรักษา (Metz et al., 2000) สภาพทางสรีรวิทยาของดอกไม้ อายุของก่อนเรณู และปริมาณความชื้นของก่อนเรณู (Rosell et al., 2006; Soares et al., 2008) ซึ่งส่งผลต่อความมีชีวิตของก่อนเรณูหลังจากที่เก็บรักษา (Vaknin & Disikowitch, 2000) วิธีการเก็บรักษาก่อนเรณูมีทั้งแบบสด แบบแห้ง แบบสุญญากาศ หรือแบบแช่แข็งแห้ง โดยสามารถเก็บได้ในช่วงระยะเวลาสั้นประมาณ 1-4 สัปดาห์ จนถึง การเก็บระยะกลางประมาณ 120-180 วัน ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับอุณหภูมิที่เก็บรักษา (Yuan et al., 2018; Fayos et al., 2022; Wu et al., 2022; Nagar et al., 2023; Shankar et al., 2023) อุณหภูมิที่ใช้ในการเก็บรักษาตั้งแต่อุณหภูมิห้อง (25 องศาเซลเซียส) เก็บในตู้เย็นที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส ตู้แช่แข็งอุณหภูมิ -20 องศาเซลเซียส และตู้แช่แข็ง -80 องศาเซลเซียส วิธีการเก็บรักษาก่อนเรณูในช่วงระยะเวลานั้นที่นิยมโดยการเก็บรักษาในตู้เย็น เนื่องจากสะดวก ทำได้ง่าย ไม่ต้องใช้สารเคมีและเครื่องมือราคาแพง การประเมินความสามารถในการมีชีวิตของละอองเรณูสามารถทำได้โดยใช้ 2, 3, 5-triphenyl tetrazolium chloride (TTC) (Matison et al., 1947; Khatun & Flowers, 1995; Abdelgadir et al., 2012; Dolce et al., 2016) และการงอกของละอองเรณูในหลอดทดลอง มีรายงานการเก็บรักษาก่อนเรณูของกล้วยไม้ที่อุณหภูมิต่ำโดยไม่สูญเสียความมีชีวิต เช่น *Dendrobium phalaenopsis*, *D. undulatum*, *D. strebloceras*, และ *D. Jaquelyn Thomas* ที่อุณหภูมิ 7 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 12 เดือน (Meeyot & Kamemoto, 1969) *Dendrobium*, *Vanda*, *Cymbidium* และ *Arachnis* ที่อุณหภูมิ 4 ถึง 6 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 280 วัน (Shijun, 1984) *D. scabrilingue* และ *D. anosmum*, *D. parishii* และ *D. peguanum* ที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 240, 240, 270 และ 210 วัน ตามลำดับ (Inpar & Potapohn, 2009) และลูกผสมฟาแลนอปซิสที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส (Yuan et al., 2018) ในการประเมินความมีชีวิตของก่อนเรณูที่เก็บรักษาด้วยการผสมเกสรด้วยมือเป็นวิธีที่ดีที่สุดหลังจากการเก็บรักษา (Lyakh et al., 1998) ความสามารถในการสร้างฝักหรือผล และการสร้างเมล็ดภายในฝักที่สามารถงอกและเจริญเป็นต้นได้ การงอกของเมล็ดกล้วยไม้จากการผสมพันธุ์ด้วยก่อนเรณูที่เก็บรักษาจำเป็นต้องเพาะเลี้ยงบนอาหารสังเคราะห์ภายใต้สภาพปลอดเชื้อ เนื่องจากเมล็ดกล้วยไม้มีขนาดเล็กคล้ายฝุ่น และไม่มีอาหารสะสม (Arditt, 1967) อาหารที่ใช้ในการเพาะเลี้ยงสูตร Vacin & Went (1949) เป็นอาหารที่นิยมใช้ในการเพาะเลี้ยงเมล็ดกล้วยไม้หลายชนิด (Jitsopakul et al., 2023)

ปัจจุบันยังไม่มีรายงานการเก็บรักษาก้อนเรณูของกล้วยไม้ลูกผสมหวายญาญา (*Dendrobium Yaya Victoria*) เป็นกล้วยไม้หวายแกระ ดอกมีสีม่วงปนขาว เกิดจากการผสมระหว่าง *Dendrobium Sonia* x *Dendrobium Jane Wilson* โดย E. Zayas-Bazan ในปี ค.ศ. 2004 เหมาะสำหรับการใช้ในการผสมพันธุ์กล้วยไม้เพื่อผลิตกล้วยไม้กระถางขนาดเล็กที่มีการออกดอกตลอดทั้งปี ดังนั้นวัตถุประสงค์ของการวิจัยนี้เพื่อศึกษาอุณหภูมิและระยะเวลาที่เหมาะสมสำหรับการเก็บรักษาก้อนเรณูทั้งแบบสดและแบบแห้งเพื่อการผสมพันธุ์ โดยวัดความสามารถในการมีชีวิตของก้อนเรณู การติดฝักหลังจากผสมพันธุ์ การงอกและการเจริญของต้นอ่อนในสภาพปลอดเชื้อ

วัสดุ อุปกรณ์ และวิธีการ

1. การเก็บก้อนเรณูจากดอกกล้วยไม้ลูกผสมหวายญาญาและการหาความชื้นของก้อนเรณู

กล้วยไม้ลูกผสมหวายญาญาปลูกและดูแลรักษาในโรงเรือนมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน วิทยาเขตสุรินทร์ จังหวัดสุรินทร์ เมื่อดอกกล้วยไม้ลูกผสมหวายญาญาบานเต็มที่เป็นเวลา 3 วัน (Figure 1a) ทำการเก็บก้อนเรณู (Figure 1b) จากดอกโดยใช้ไม้จิ้มฟันที่สะอาดเปิดหีบที่ปิดก้อนเรณูออก แล้วเขี่ยก้อนเรณูใส่ในจานเพาะเลี้ยงเพื่อมาศึกษาวิธีการเก็บรักษาต่อไป

การหาความชื้นของก้อนเรณูกล้วยไม้ลูกผสมหวายญาญา โดยนำก้อนเรณูที่เก็บจากดอกกล้วยไม้ลูกผสมหวายญาญาทำการชั่งน้ำหนักสดเริ่มต้นของก้อนเรณู แล้วนำมาผึ่งลมในตู้ย่ายเนื้อเยื่อ (Laminar air-flow cabinet) นำก้อนเรณูที่ผึ่งลมออกมาชั่งน้ำหนักทุก ๆ 30 นาที จนกระทั่งน้ำหนักคงที่ ทำการคำนวณหาปริมาณความชื้นของก้อนเรณู (Melo & Almeida-Muradian, 2009) ดังนี้

$$\text{ปริมาณความชื้น (\%)} = \frac{(\text{น้ำหนักเริ่มต้น} - \text{น้ำหนักหลังการผึ่งลม}) \times 100}{\text{น้ำหนักเริ่มต้น}} \quad \text{Eq1}$$

2. การศึกษาระยะเวลาและอุณหภูมิในการเก็บรักษาก้อนเรณูของกล้วยไม้ลูกผสมหวายญาญาต่อความมีชีวิตของก้อนเรณูและความสามารถในการติดฝัก

นำก้อนเรณูเก็บรักษาก้อนเรณูต่าง ๆ ได้แก่ อุณหภูมิห้อง (25 องศาเซลเซียส) ตู้เย็นอุณหภูมิ 12 องศาเซลเซียส และตู้แช่แข็งอุณหภูมิ -14 องศาเซลเซียส ทำการเก็บก้อนเรณูที่อุณหภูมิห้องให้วางก้อนเรณูสดในจานเพาะเลี้ยงโดยไม่ปิดฝา ส่วนก้อนเรณูที่เก็บอุณหภูมิ 12 และ -14 องศาเซลเซียส ทำการเก็บในรูปก้อนเรณูแบบสดและแบบแห้ง การเก็บก้อนเรณูแบบสดโดยนำก้อนเรณูที่เก็บจากดอกห้อยด้วยยอธูมิเนียมฟอสเฟตแล้วเก็บในขวดแก้วขนาด 2 ออนซ์ ทำการปิดฝาขวด ส่วนการเก็บก้อนเรณูแบบแห้งโดยการนำก้อนเรณูที่เก็บจากดอกผึ่งลมในตู้ย่ายเนื้อเยื่อ (Laminar air-flow cabinet) ทำการชั่งน้ำหนักก้อนเรณูทุก ๆ 30 นาที จนกระทั่งน้ำหนักคงที่ เป็นเวลา 120 นาที แล้วห้อยด้วยยอธูมิเนียมฟอสเฟต ใส่ขวดแก้วปิดฝาขวด ทำการเก็บรักษาเป็นระยะเวลา 7, 14, 21, 30, 39, 128, 280 และ 350 วัน เมื่อครบระยะเวลาที่เก็บรักษานำก้อนเรณูที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิและระยะเวลาต่างกันแช่ในน้ำอุ่นที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 นาที เพื่อให้อุณหภูมิของก้อนเรณูลดลงและอยู่ในสภาวะอุณหภูมิห้อง (Reed et al., 1998) จากนั้นนำมาทดสอบความมีชีวิตของก้อนเรณู โดยนำก้อนเรณูที่เก็บรักษาในสารละลาย 2, 3, 5-Triphenyl Tetrazolium Chloride (TTC) ความเข้มข้น 0.6 เปอร์เซ็นต์ ในที่มืด เป็นเวลา 24 ชั่วโมง (Jitsopakul et al., 2023) ทำการบันทึกความมีชีวิตของก้อนเรณูที่เก็บรักษา เมื่อก้อนเรณูติดสีแดงซึ่งแสดงว่ามีชีวิต (Figure 1c) และทำการผสมก้อนเรณูที่เก็บรักษากับดอกกล้วยไม้ลูกผสมหวายญาญาที่บ้านเดิมที่ซึ่งปลูกในโรงเรือน ทำการทดลอง 5 ซ้ำ ๆ ละ 5 ดอก และบันทึกการติดฝักหลังจากผสมพันธุ์แล้วเป็นเวลา 30 วัน และผสมก้อนเรณูที่ไม่ได้เก็บรักษากับดอกกล้วยไม้ลูกผสมหวายญาญาเพื่อนำไปเปรียบเทียบการติดฝักและการเจริญเติบโตของต้นอ่อนต่อไป

3. การศึกษาขนาดของฝัก น้ำหนักฝักสด และเอ็มบริโอภายในเมล็ดกล้วยไม้ลูกผสมหวายญาญา

ทำการเก็บฝักกล้วยไม้ลูกผสมหวายญาญาที่เกิดจากการผสมด้วยก้อนเรณูที่เก็บรักษาในอุณหภูมิและระยะเวลาต่าง ๆ โดยสังเกตฝักที่แก่จากการเปลี่ยนสีของฝักจากสีเขียวเป็นสีเหลือง ทำการบันทึกอายุของฝักแก่ ขนาดของฝักโดยวัดความกว้างและความยาวของฝัก และน้ำหนักฝักสด นำเมล็ดส่องภายใต้กล้องจุลทรรศน์กำลังขยาย 40 เท่า เพื่อดูเอ็มบริโอภายใน

เมล็ดกล้วยไม้ลูกผสมหายากที่ได้จากการผสมกับก้อนเรณูที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิและระยะเวลาต่างกับเมล็ดที่ได้จากการผสมกับก้อนเรณูที่ไม่ได้เก็บรักษา

4. การศึกษาการงอกของเมล็ดและการเจริญของต้นอ่อนในสภาพปลอดเชื้อ

นำฝักกล้วยไม้ลูกผสมหายากมาทำความสะอาดฝัก เพื่อกำจัดฝุ่นที่ติดมากับผิวของฝัก และระวังไม่ให้ฝักแตก โดยล้างฝักด้วยน้ำยาล้างจานถูเบา ๆ ให้ทั่วฝัก ล้างน้ำยาล้างจานออกจากฝักด้วยน้ำก๊อกไหลผ่านจนกระทั่งฝักสะอาด นำฝักกล้วยไม้แช่ในแอลกอฮอล์ 95 เปอร์เซ็นต์ เป็นเวลา 1 นาที แล้วนำฝักไปผ่านไฟจากตะเกียงแอลกอฮอล์ภายในตู้ย่ายเนื้อเยื่อ เพื่อฆ่าเชื้อจุลินทรีย์ที่ผิวของฝัก รองจานไฟที่ติดฝักดับ หลังจากนั้นวางฝักลงบนจานเพาะเลี้ยงใช้มีดผ่าฝักตามยาวเพื่อนำเมล็ดเพาะเลี้ยงบนอาหารแข็งสูตร Vacin & Went (1949) ที่เติมน้ำมะพร้าว 150 มิลลิลิตรต่อลิตร น้ำตาลซูโครส 10 กรัมต่อลิตร วุ้น 4 กรัมต่อลิตร ปรับ pH 5.2 เพาะเลี้ยงในที่มืด ที่อุณหภูมิ 25 ± 2 องศาเซลเซียส (Jitsopakul et al., 2023) ทำการบันทึกจำนวนวันที่เมล็ดงอกเป็นโปรโตคอร์ม จากนั้นทำการย้ายโปรโตคอร์มที่มียอดเพาะเลี้ยงบนอาหารแข็งสูตรดัดแปลงของ Vacin & Went (1949) เติมน้ำมะพร้าว 150 มิลลิลิตรต่อลิตร กล้วยหอม 100 กรัมต่อลิตร ผงถ่าน 1 กรัมต่อลิตร น้ำตาลซูโครส 20 กรัมต่อลิตร วุ้น 4 กรัมต่อลิตร และ pH 5.2 เพาะเลี้ยงที่ความเข้มแสง 3,000 ลักซ์ เป็นเวลา 10 ชั่วโมงต่อวัน ที่อุณหภูมิ 25 ± 2 องศาเซลเซียส เพื่อชักนำให้ได้ต้นอ่อนเจริญเป็นต้นที่สมบูรณ์ เมื่อเพาะเลี้ยงเป็นเวลา 60 วัน นำขวดเพาะเลี้ยงจากห้องเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อมาวางไว้ในที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 7 วัน เพื่อให้ต้นอ่อนกล้วยไม้ปรับตัวเข้ากับอุณหภูมิภายนอก แล้วทำการย้ายกล้วยไม้ออกจากขวด ล้างวุ้นและอาหารเพาะเลี้ยงออกจากรากและต้นอ่อนกล้วยไม้ เพื่อป้องกันการปนเปื้อนของเชื้อจุลินทรีย์ ทำการบันทึกความสูงต้น จำนวนใบ ความกว้างและความยาวของใบ และจำนวนราก ซึ่งทำจำนวน 5 ซ้ำ ๆ ละ 4 ต้น นำต้นอ่อนปลูกใส่กระถางโดยไม่ใช้วัสดุปลูก แล้วนำไปปลูกในโรงเรือนต่อไป

5. การวิเคราะห์ข้อมูล

นำข้อมูลความมีชีวิตของก้อนเรณู การติดฝัก ขนาดฝัก น้ำหนักฝักสด ความสูงต้น จำนวนใบ ความกว้างใบ ความยาวใบ และจำนวนราก วิเคราะห์หาความแปรปรวน (Analysis of variance) ตามแผนการทดลองแบบ Completely Randomized Design (CRD) และตรวจสอบความแตกต่างค่าเฉลี่ยโดยใช้วิธี Duncan's Test โดยใช้โปรแกรม IBM SPSS Statistics Version 21

ผลการวิจัยและอภิปรายผล

ความมีชีวิตของก้อนเรณูและความสามารถในการติดฝักของกล้วยไม้ลูกผสมหายากเมื่อเก็บรักษาที่อุณหภูมิและระยะเวลาต่างกัน

เมื่อนำก้อนเรณูแบบสดและแบบแห้งที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิและระยะเวลาต่าง ๆ ออกจากตู้เย็นหรือตู้แช่แข็งต้องทำการแช่น้ำอุ่นที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส อย่างรวดเร็วเพื่อป้องกันการเกิดน้ำแข็งภายในเซลล์อีกครั้งหนึ่ง (Ganesan et al., 2008) ซึ่งการละลายน้ำแข็งหลังการเก็บในอุณหภูมิต่ำส่งผลต่อความสามารถในการมีชีวิตของก้อนเรณู (Sauve et al., 2000; He et al., 2017; Jia et al., 2022) การละลายน้ำแข็งสามารถทำได้โดยการละลายแบบเร็วหรือแบบช้า และการเลือกวิธีการละลายน้ำแข็งมีผลอย่างมากต่อระบบเยื่อหุ้มเซลล์และการดูดซึมน้ำ (Zhang et al., 2006) การทดสอบความมีชีวิตของก้อนเรณูด้วยสารละลาย TTC ความเข้มข้น 0.6 เปอร์เซ็นต์ ในที่มืด เป็นเวลา 24 ชั่วโมง พบว่า ความมีชีวิตของก้อนเรณูที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง (25 องศาเซลเซียส) ในตู้เย็นที่อุณหภูมิ 12 องศาเซลเซียส และตู้แช่แข็งที่อุณหภูมิ -14 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 7-39 วัน อยู่ระหว่าง 80-100 เปอร์เซ็นต์ (Table 1) ก้อนเรณูที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง และที่อุณหภูมิ 12 องศาเซลเซียส สูญเสียความมีชีวิตเมื่อเก็บเป็นเวลา 128 วัน ยกเว้นก้อนเรณูที่เก็บแบบสดและแบบแห้งที่อุณหภูมิ -14 องศาเซลเซียส ความมีชีวิตเฉลี่ย 40 เปอร์เซ็นต์ แต่ไม่พบความมีชีวิตของก้อนเรณูที่เก็บทุกอุณหภูมิ เมื่อเก็บเป็นเวลา 280 วัน และ 350 วัน แสดงให้เห็นว่าความมีชีวิตของก้อนเรณูขึ้นอยู่กับระยะเวลาและอุณหภูมิในการเก็บรักษา (Deng & Harbaugh, 2004; Inpar & Potapohn, 2009; Bhat et al., 2012; Nagar et al., 2023) การเก็บรักษาก้อนเรณูกล้วยไม้ลูกผสมหายากที่อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 39 วัน ความมีชีวิตเฉลี่ย 80 เปอร์เซ็นต์ เช่นเดียวกับการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 12 องศาเซลเซียส จึงเหมาะสำหรับการเก็บรักษาก้อนเรณูในระยะเวลาสั้นเพื่อใช้ในการผสมพันธุ์ โดยไม่จำเป็นต้องเก็บรักษาใน

ดูเย็น เนื่องจากก่อนเรณูวางอยู่ในจานเพาะเลี้ยงที่เปิดฝาที่อุณหภูมิห้อง เมื่อระยะเวลาผ่านไปน้ำจะระเหยออกจากก่อนเรณู ส่งผลให้ก่อนเรณูแห้ง แต่ยังคงความมีชีวิตและผสมพันธุ์ได้ (Table 1) แต่เมื่อระยะเวลาการเก็บรักษา 128 วัน ก่อนเรณูสูญเสียความมีชีวิต จึงไม่เหมาะสำหรับการเก็บก่อนเรณูที่อุณหภูมิห้องในระยะกลางเพื่อการผสมพันธุ์ เช่นเดียวกับการเก็บรักษา ก่อนเรณูของกล้วยไม้ฟาแลนอปซิสแบบแห้งบรรจุในถุงซิปล็อคที่อุณหภูมิห้องจะสูญเสียความมีชีวิตเมื่อเก็บเป็นเวลามากกว่า 28 วัน (Yuan et al., 2018)

วิธีการประเมินความมีชีวิตของก่อนเรณูที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิและเวลาต่าง ๆ ที่ดีที่สุด คือ การนำมาผสมพันธุ์กับดอกกล้วยไม้ด้วยมือ (Lyakh et al., 1998) โดยวัดความสามารถในการติดฝักหลังจากผสมพันธุ์ เมื่อศึกษาอุณหภูมิและระยะเวลา การเก็บรักษา ก่อนเรณูกล้วยไม้ลูกผสมหวายญาติต่อการติดฝัก พบว่า ก่อนเรณูที่เก็บอุณหภูมิห้องเป็นเวลา 39 วัน สามารถผสมพันธุ์และติดฝักได้ 100 เปอร์เซ็นต์ เช่นเดียวกับก่อนเรณูที่เก็บแบบแห้งที่อุณหภูมิ 12 องศาเซลเซียส เมื่อเปรียบเทียบความสามารถในการผสมพันธุ์แล้วติดฝักของก่อนเรณูที่เก็บแบบสดกับแบบแห้งที่อุณหภูมิ 12 องศาเซลเซียส และ -14 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 39 วัน พบว่า ก่อนเรณูที่เก็บแบบแห้งที่อุณหภูมิ 12 องศาเซลเซียส สามารถผสมพันธุ์และติดฝักมากกว่าก่อนเรณูที่เก็บรักษาแบบสด แต่เมื่อเก็บก่อนเรณูแบบสดเป็นเวลา 128 วัน เมื่อนำมาผสมพันธุ์ไม่สามารถสร้างฝักได้ ยกเว้นก่อนเรณูที่เก็บแบบแห้งที่อุณหภูมิ -14 องศาเซลเซียส สามารถผสมและติดฝักได้ 40 เปอร์เซ็นต์ แต่การเก็บรักษาก่อนเรณูทั้งแบบสดและแบบแห้งเป็นเวลา 280 วัน และ 350 วัน สูญเสียความสามารถในการผสมพันธุ์เพื่อสร้างฝัก การติดฝักของกล้วยไม้เมื่อผสมด้วยก่อนเรณูที่เก็บรักษาแบบสดที่อุณหภูมิ 12 องศาเซลเซียส ระยะเวลาดังกล่าวนี้ไม่มีความแตกต่างกัน

การเก็บรักษาก่อนเรณูแบบแห้งโดยการฝังลมเป็นระยะเวลานานส่งผลให้ก่อนเรณูเกิดการสูญเสียน้ำมากเกินไป (Vaknin & Diskowitch, 2000) แสดงให้เห็นว่าการเก็บรักษาก่อนเรณูแบบแห้งเหมาะสำหรับการเก็บรักษาก่อนเรณูที่อุณหภูมิต่ำระยะเวลานาน ซึ่งปริมาณน้ำในชิ้นส่วนพืชเป็นตัวกำหนดความสามารถในการมีชีวิตและการเจริญเติบโตใหม่อีกครั้งเมื่อเก็บรักษาภายใต้สภาวะการแช่แข็ง ถ้าปริมาณน้ำในชิ้นส่วนพืชสูงทำให้เกิดผลึกน้ำแข็งภายในเซลล์ ส่งผลให้เซลล์ได้รับบาดเจ็บจากความเย็นและสูญเสียความมีชีวิต (Bain et al., 2002) โดยชิ้นส่วนพืชที่มีความชื้นประมาณ 20 เปอร์เซ็นต์ สามารถมีชีวิตหลังจากแช่แข็ง (Engelmann, 2010; Popova et al., 2016) จากการหาความชื้นของก่อนเรณูกล้วยไม้ลูกผสมหวายญาติพบว่า ก่อนเรณูมีปริมาณความชื้นเฉลี่ย 20.06 เปอร์เซ็นต์ ดังนั้นการเก็บรักษาก่อนเรณูที่อุณหภูมิห้องในระยะเวลานาน ก่อนเรณูจึงมีชีวิตและสามารถผสมพันธุ์และติดฝักได้ เมื่อเปรียบเทียบความมีชีวิตของก่อนเรณูกล้วยไม้ลูกผสมหวายญาติที่เก็บแบบสดกับแบบแห้ง พบว่าความมีชีวิตของก่อนเรณูแบบสดเมื่อเก็บที่อุณหภูมิ -14 องศาเซลเซียสสูงกว่าแบบแห้ง เนื่องจากความชื้นของก่อนเรณูกล้วยไม้ลูกผสมหวายญาติแบบสดสามารถทำให้อ่อนนุ่มรอดชีวิตได้ โดยไม่จำเป็นต้องลดปริมาณน้ำในก่อนเรณูให้อยู่ในสภาพแห้งก่อนการเก็บรักษา เนื่องจากผลกระทบของการทำให้ก่อนเรณูแห้งแล้วนำไปเก็บรักษาส่งผลให้ความมีชีวิตของก่อนเรณูลดลง (Pritchard & Prendergast, 1989) เป็นอันตรายต่อกล้วยไม้สกุลหวาย และ *Oncidium stipitatum* (Meeyot & Kamemoto, 1969)

น้ำหนักฝักสดและขนาดของฝักจากการผสมดอกกับก่อนเรณูที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิและระยะเวลาต่างกัน

ฝักของกล้วยไม้ลูกผสมหวายญาติเปลี่ยนจากสีเขียวเป็นสีเขียวนนเหลือง พบว่า อายุของฝักแก่เฉลี่ย 4 เดือน หลังจากผสมเกสรด้วยก่อนเรณูที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิและระยะเวลาต่าง ๆ (Figure 1d) และฝักจะแตกโดยที่ฝักไม่เปลี่ยนเป็นสีเหลือง ทำการเก็บฝักแก่แล้ววัดความกว้างและความยาวของฝัก และชั่งน้ำหนักฝักสด พบว่า ขนาดของฝักและน้ำหนักฝักสดที่เกิดจากการผสมดอกด้วยก่อนเรณูที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิต่าง ๆ เป็นเวลา 7-128 วัน มีขนาดฝักกว้างและยาวเฉลี่ย 0.79 เซนติเมตร และ 1.71 เซนติเมตร ตามลำดับ (Table 2) มีน้ำหนักฝักสดเฉลี่ย 0.63 กรัม (Table 3) โดยฝักที่เกิดจากการผสมด้วยก่อนเรณูที่เก็บรักษาแบบสดที่อุณหภูมิ -14 องศาเซลเซียส มีน้ำหนักของฝักสดสูงที่สุดเฉลี่ย 0.9 กรัม และฝักมีขนาดใหญ่ที่สุด โดยมีความกว้างและความยาวของฝักเฉลี่ย 1.10 เซนติเมตร และ 2.20 เซนติเมตร ตามลำดับ แต่เมื่อเก็บรักษาก่อนเรณูแบบสดที่อุณหภูมิ -14 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 128 วัน น้ำหนักฝักสดและขนาดของฝักจะลดลง เหลือ 0.21 กรัม ฝักกว้างและยาวเฉลี่ย 0.30 เซนติเมตร และ 0.68 เซนติเมตร ตามลำดับ

การงอกของเมล็ดและการเจริญของต้นอ่อนในสภาพปลอดเชื้อ

การสร้างเมล็ดภายในฝัก การงอกของเมล็ด และการเจริญเป็นต้นหลังจากผสมพันธุ์ด้วยก่อนเรณูที่เก็บรักษาถือเป็นความสำเร็จของการเก็บรักษาก่อนเรณูเพื่ออนุรักษ์พันธุ์กรรมและเพื่อปรับปรุงพันธุ์ ถึงแม้ว่าการเก็บรักษาก่อนเรณูที่อุณหภูมิต่างกันมีผลต่อความมีชีวิตของก่อนเรณูและส่งผลให้จำนวนเมล็ดในฝักลดลง แต่จะไม่ส่งผลต่อการงอกของเมล็ดกล้วยไม้

Dactylorhiza fuchsii บนอาหารสังเคราะห์ในสภาพปลอดเชื้อ (Marks et al., 2014) และการงอกของเมล็ดข้าวโพดพันธุ์ลูกผสมที่เกิดจากการผสมด้วยละอองเรณูที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 1 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 72 ชั่วโมง เร็วกว่าและมีเปอร์เซ็นต์ของการงอกสูงกว่าของเมล็ดที่เกิดจากการผสมด้วยละอองเรณูที่ไม่ได้เก็บรักษา (Bocsi et al., 1990)

เมื่อนำเมล็ดจากฝักกล้วยไม้ลูกผสมหาวายญาญาที่ได้จากการผสมด้วยกอนเรณูที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิและระยะเวลาต่างกัน ส่องภายใต้กล้องจุลทรรศน์ที่กำลังขยาย 40 เท่า พบว่า ภายในเมล็ดของกล้วยไม้ไม่มีเอ็มบริโอเช่นเดียวกับเมล็ดที่ได้จากการผสมด้วยกอนเรณูที่ไม่ได้เก็บรักษา (Figure 1e) เมื่อนำเมล็ดเพาะเลี้ยงบนอาหารแข็งสูตร Vacin & Went (1949) ที่เติมน้ำมะพร้าว 150 มิลลิลิตรต่อลิตร น้ำตาลซูโครส 10 กรัมต่อลิตร และวุ้น 4 กรัมต่อลิตร เพาะเลี้ยงที่อุณหภูมิ 25 ± 2 องศาเซลเซียส ในที่มืด พบว่า การงอกของเมล็ดจากการผสมด้วยกอนเรณูที่เก็บที่อุณหภูมิและระยะเวลาต่างกันไม่มีผลต่อระยะเวลาในการงอกของเมล็ดเป็นโปรโตคอร์มบนอาหารเพาะเลี้ยง โดยจำนวนวันที่เมล็ดงอกเฉลี่ย 40 วัน (Figure 1f) ซึ่งการเติมน้ำมะพร้าวในอาหารเพาะเลี้ยงช่วยกระตุ้นการงอกของเมล็ดและการเจริญของต้น (Kunakhonnuruk et al., 2018)

เมื่อโปรโตคอร์มที่งอกจากเมล็ดเกิดยอดสีเขียวทำการย้ายลงอาหารแข็งสูตรดัดแปลงของ Vacin & Went (1949) เติมน้ำมะพร้าว 150 มิลลิลิตรต่อลิตร กล้วยหอม 100 กรัมต่อลิตร ผงถ่าน 1 กรัมต่อลิตร น้ำตาลซูโครส 20 กรัมต่อลิตร วุ้น 4 กรัมต่อลิตร และปรับ pH 5.2 เพาะเลี้ยงที่อุณหภูมิ 25 ± 2 องศาเซลเซียส ให้แสง 3,000 ลักซ์ เป็นเวลา 10 ชั่วโมงต่อวัน เพาะเลี้ยงเป็นเวลา 30 วัน พบว่า โปรโตคอร์มที่เพาะเลี้ยงสามารถเกิดรากและเจริญเติบโตเป็นต้นสมบูรณ์ ซึ่งการเติมผงถ่านในอาหารเพาะเลี้ยงเพื่อช่วยในการดูดซับสารที่พืชปล่อยมาเพื่อยับยั้งการเจริญของพืช (Kim et al., 2019) และผงถ่านช่วยกระตุ้นการเกิดรากของกล้วยไม้ (Prizao et al., 2012) เมื่อเพาะเลี้ยงบนอาหารเป็นเวลา 60 วัน พบว่า ต้นอ่อนของกล้วยไม้ลูกผสมหาวายญาญาที่มีความสูงต้นเฉลี่ย 6.10 เซนติเมตร จำนวนใบ 4.99 ใบต่อต้น ความกว้างใบ 0.67 เซนติเมตร ความยาวใบ 4.45 เซนติเมตร และจำนวนราก 11.97 รากต่อต้น ซึ่งต้นอ่อนกล้วยไม้ลูกผสมหาวายญาญาที่ได้จากการผสมด้วยกอนเรณูที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิและระยะเวลาต่างกันมีลักษณะต้นเหมือนกับต้นที่ได้จากการผสมพันธุ์ด้วยกอนเรณูสดที่ไม่มีการเก็บรักษา (Figure 1g and 1h) เนื่องจากกอนเรณูที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิและระยะเวลาต่างกันอย่างคงความมีชีวิต มีความสามารถในการผสมพันธุ์ติดฝัก และมีการสร้างเมล็ด ต้นที่งอกจากเมล็ดจึงมีลักษณะต้นที่เหมือนกันเพราะเป็นการผสมตัวเอง แต่ลักษณะทางสัณฐานวิทยาเมื่อเพาะเลี้ยงบนอาหารสังเคราะห์ ได้แก่ ความสูงของต้น จำนวนรากต่อต้น จำนวนใบต่อต้น ความกว้างใบ ความยาวใบ และจำนวนรากต่างกัน (Table 4) อาจเนื่องมาจากความสมบูรณ์ของเมล็ดที่ได้จากการผสมพันธุ์ด้วยกอนเรณูที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิและระยะเวลาต่างกัน จึงส่งผลต่อการเจริญของต้นอ่อน โดยพบว่าต้นที่ได้จากการผสมด้วยกอนเรณูที่เก็บรักษาแบบแห้งที่อุณหภูมิ 12 องศาเซลเซียส มีความสูง (7.70 เซนติเมตร) ความกว้างใบ (0.9 เซนติเมตร) และความยาวใบ (5.90 เซนติเมตร) เฉลี่ยมากที่สุด แต่ต้นที่เกิดจากการผสมด้วยกอนเรณูที่เก็บที่อุณหภูมิห้อง และเก็บแบบสดที่อุณหภูมิ 12 องศาเซลเซียส ให้จำนวนใบ และจำนวนรากเฉลี่ยมากที่สุด คือ 5.80 ใบต่อต้น และ 10.6 รากต่อต้น ตามลำดับ จากการเพาะเลี้ยงต้นอ่อนกล้วยไม้บนอาหารสังเคราะห์พบว่าต้นอ่อนบางต้นเกิดการแตกหน่อจากต้นเดิม ถือเป็นการขยายพันธุ์ต้นกล้วยไม้ลูกผสมหาวายญาญา เมื่อนำต้นอ่อนย้ายเข้าสู่โรงเรือนภายนอก พบว่าต้นอ่อนสามารถรอดชีวิตและเจริญเติบโตได้

Table 1 Percentage of viability and pod formation of *Dendrobium* Yaya Victoria pollinated with fresh and dried pollinia stored at different temperatures and durations.

Duration (days)	Room temperature (25°C)		12°C				-14°C			
			Fresh pollinia		Dried pollinia		Fresh pollinia		Dried pollinia	
	Viability (%)	Pod formation (%)	Viability (%)	Pod formation (%)	Viability (%)	Pod formation (%)	Viability (%)	Pod formation (%)	Viability (%)	Pod formation (%)
7	100±0 ^a	80±20 ^a	100±0 ^a	40±24.5 ^a	100±0 ^a	40±24.5 ^b	100±0 ^a	100±0 ^a	100±0 ^a	100±0 ^a
14	80±20 ^a	80±20 ^a	100±0 ^a	40±24.5 ^a	100±0 ^a	60±24.5 ^b	100±0 ^a	60±24.5 ^b	100±0 ^a	80±20 ^a
21	80±20 ^a	40±24.5 ^b	100±0 ^a	40±24.5 ^a	100±0 ^a	100±0 ^a	100±0 ^a	100±0 ^a	100±0 ^a	80±20 ^a
30	80±20 ^a	80±20 ^a	80±20 ^a	40±24.5 ^a	80±20 ^a	80±20 ^a	100±0 ^a	40±24.5 ^b	100±0 ^a	80±20 ^a
39	80±20 ^a	100±0 ^a	80±20 ^a	40±24.5 ^a	100±0 ^a	100±0 ^a	100±0 ^a	40±24.5 ^b	80±20 ^a	40±24.5 ^b
128	0±0 ^b	0±0 ^c	0±0 ^b	0±0 ^b	0±0 ^b	0±0 ^c	40±24.5 ^b	40±24.5 ^b	40±24.5 ^b	0±0 ^c
280	0±0 ^b	0±0 ^c	0±0 ^b	0±0 ^b	0±0 ^b	0±0 ^c	0±0 ^c	0±0 ^c	0±0 ^c	0±0 ^c
350	0±0 ^b	0±0 ^c	0±0 ^b	0±0 ^b	0±0 ^b	0±0 ^c	0±0 ^c	0±0 ^c	0±0 ^c	0±0 ^c
F-test	*	*	*	ns	*	*	*	*	*	*
CV (%)	9.8	18.3	10.9	0	8.5	18.5	20.8	28.3	21.5	18.3

Notes: Fresh pollinia were not air-dried before storage. Dried pollinia were air-dried in a laminar air-flow cabinet for 120 minutes before storage.

: Values represent the mean ± SE (n=5).

: In each column, similar letters mean no significant difference at $p < 0.05$ by Duncan's Test.

: ns = not significant.

Table 2 Width and length of *Dendrobium* Yaya Victoria mature pods pollinated with stored pollinia at different temperatures and durations for 4 months.

Duration (day)	Room temperature (25°C)		12°C				-14°C			
			Fresh pollinia		Dried pollinia		Fresh pollinia		Dried pollinia	
	Width (cm)	Length (cm)	Width (cm)	Length (cm)	Width (cm)	Length (cm)	Width (cm)	Length (cm)	Width (cm)	Length (cm)
7	0.95±0.05 ^a	1.87±0.02 ^a	0.80±0.10 ^a	1.45±0.15 ^c	1.00±0.00 ^a	2.00±0.00 ^a	0.84±0.15 ^{ab}	1.72±0.05 ^b	0.90±0.07 ^a	1.86±0.05 ^a
14	0.60±0.04 ^b	1.25±0.06 ^c	0.60±0.10 ^b	1.55±0.25 ^b	0.50±0.05 ^c	1.60±0.05 ^{ab}	1.00±0.20 ^a	2.06±0.26 ^a	0.85±0.06 ^a	1.65±0.06 ^b
21	0.90±0.10 ^a	2.10±0.20 ^a	0.70±0.10 ^{ab}	1.85±0.05 ^a	0.70±0.07 ^b	1.50±0.07 ^b	1.10±0.07 ^a	2.20±0.08 ^a	0.90±0.04 ^a	1.90±0.08 ^a
30	0.80±0.09 ^a	1.87±0.08 ^a	0.65±0.05 ^b	1.60±0.10 ^b	0.85±0.06 ^a	1.75±0.06 ^{ab}	0.65±0.05 ^b	1.50±0.10 ^c	0.82±0.04 ^a	1.80±0.04 ^a
39	0.74±0.05 ^{ab}	1.74±0.06 ^b	0.80±0.10 ^a	1.75±0.05 ^{ab}	0.84±0.05 ^a	1.72±0.05 ^{ab}	0.85±0.05 ^{ab}	1.85±0.05 ^{ab}	0.85±0.05 ^a	1.70±0.10 ^{ab}
128	-	-	-	-	-	-	0.30±0.18 ^c	0.68±0.41 ^d	-	-
280	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
350	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
F-test	*	*	ns	*	*	*	*	*	ns	ns
CV (%)	21.4	17.6	18.1	12.9	24.2	11.3	21.8	16.9	12.8	8.2

Note: Fresh pollinia were not air-dried before storage. Dried pollinia were air-dried in a laminar air-flow cabinet for 120 minutes before storage.

: Values represent the mean ± SE (n=5).

: In each column, similar letters mean no significant difference at $p < 0.05$ by Duncan's Test.

: ns = not significant.

Table 3 Fresh weight of *Dendrobium* Yaya Victoria mature pods pollinated with stored pollinia at different temperatures and durations for 4 months.

Duration (day)	Room temperature (25°C) (g)	12°C (g)		-14°C (g)	
		Fresh pollinia	Dried pollinia	Fresh pollinia	Dried pollinia
7	0.59±0.03 ^b	0.43±0.08 ^b	0.66±0.01 ^b	0.77±0.22 ^{ab}	0.66±0.03 ^{ab}
14	0.30±0.04 ^c	0.33±0.00 ^b	0.38±0.01 ^c	0.83±0.16 ^a	0.55±0.02 ^b
21	0.76±0.09 ^a	0.58±0.04 ^{ab}	0.34±0.02 ^c	0.92±0.03 ^a	0.52±0.04 ^c
30	0.87±0.04 ^a	0.72±0.13 ^a	0.81±0.04 ^a	0.59±0.15 ^b	0.78±0.01 ^a
39	0.78±0.04 ^a	0.78±0.03 ^a	0.74±0.04 ^a	0.89±0.04 ^a	0.64±0.10 ^b
128	-	-	-	0.21±0.13 ^c	-
280	-	-	-	-	-
350	-	-	-	-	-
F-test	*	*	*	ns	*
CV (%)	21.6	19.2	19.2	21.8	10.8

Note: Fresh pollinia were not air-dried before storage. Dried pollinia were air-dried in a laminar air-flow cabinet for 120 minutes before storage.

: Values represent the mean ± SE (n=5).

: In each column, similar letters mean no significant difference at $p < 0.05$ by Duncan's Test.

: ns = not significant.

Table 4 Morphological characteristics of *Dendrobium* Yaya Victoria plantlets pollinated with stored pollinia at different temperatures and durations when cultured on modified VW agar medium for 60 days.

Temperature (°C)	Height of plant (cm)	No. of leaves (leaves/plant)	Width of leaves (cm)	Length of leaves (cm)	No. of roots (roots/plant)
Fresh pollinia	5.72±0.29 ^b	5.10±0.27 ^b	0.66±0.04 ^b	4.04±0.18 ^b	14.40±1.71 ^a
Room temperature (25°C)	5.67±0.42 ^b	5.80±0.24 ^a	0.54±0.04 ^c	3.98±0.33 ^c	10.60±1.28 ^b
12°C (Fresh pollinia)	5.74±0.20 ^b	4.65±0.15 ^b	0.68±0.03 ^b	4.25±0.16 ^b	14.40±0.94 ^a
12°C (Dried pollinia)	7.70±0.00 ^a	5.00±0.00 ^b	0.90±0.00 ^a	5.90±0.00 ^a	10.00±0.00 ^b
-14°C (Fresh pollinia)	5.75±0.17 ^b	4.80±0.17 ^b	0.60±0.03 ^b	3.98±0.14 ^c	11.20±0.67 ^{ab}
-14°C (Dried pollinia)	6.04±0.14 ^b	4.60±0.18 ^b	0.62±0.03 ^b	4.53±0.11 ^b	11.20±1.01 ^{ab}
F-test	*	*	*	*	*
CV (%)	14.1	11.3	12.0	9.1	12.0

Notes: Fresh pollinia were not air-dried before storage. Dried pollinia were air-dried in a laminar air-flow cabinet for 120 minutes before storage.

: Values represent the mean ± SE (n=20).

: In each column, similar letters mean no significant difference at $p < 0.05$ by Duncan's Test.

: ns = not significant.

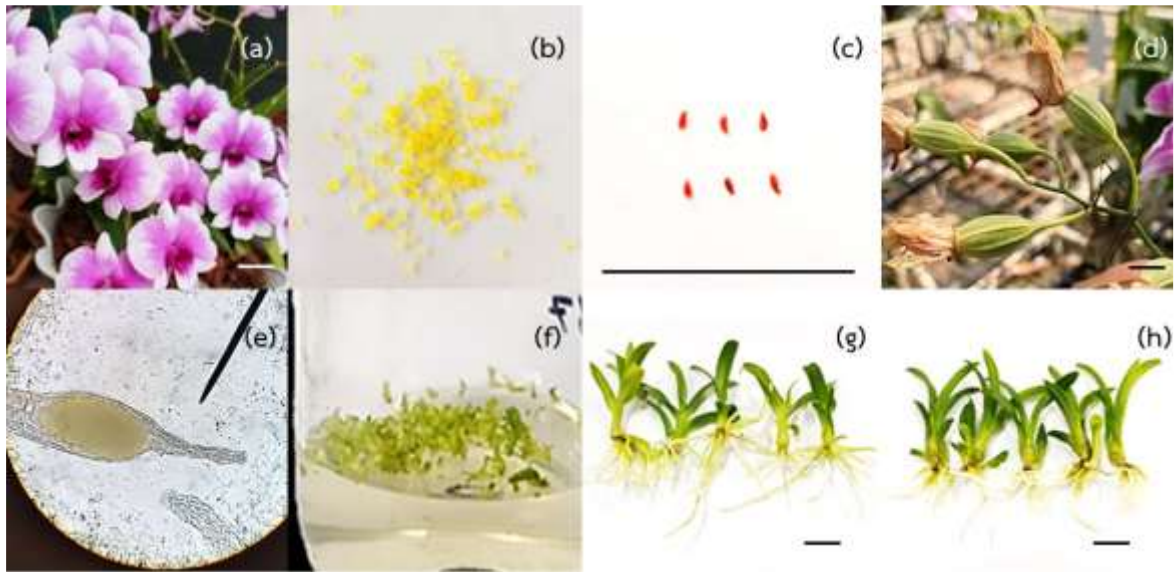


Figure 1 *Dendrobium* Yaya Victoria: (a) fully open flowers, (b) pollinia, (c) survival of red pollinia stained with TTC, (d) pod formation after 4 months of hand-pollination, (e) seed producing embryo was monitored under a compound light source microscope at 40x magnification, (f) seed germination into protocorms on Vacin & Went (1949) agar medium supplemented with 150 ml/l coconut water and 10 g/l sucrose, (g) plantlets produced by pollination with fresh pollinia without storage, and (h) fresh pollinia stored at -14°C (Scale = 1 cm.)

บทสรุป

การเก็บรักษาก่อนเรณุกกล้วยไม้ลูกผสมหวายญาว่าที่อุณหภูมิต่ำ (25 องศาเซลเซียส) เป็นเวลา 39 วัน เหมาะสมสำหรับการเก็บรักษาก่อนเรณูในระยะสั้น และการเก็บรักษาก่อนเรณูแบบสดในตู้แช่แข็งที่อุณหภูมิต่ำ -14 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 128 วัน เหมาะสำหรับการเก็บรักษาระยะกลาง ทำให้ก่อนเรณูมีชีวิต เกิดการติดฝักหลังจากผสมพันธุ์ได้มากที่สุด เมล็ดจากการผสมด้วยก่อนเรณูที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำและระยะเวลาต่างกันมีเอ็มบริโอ สามารถงอกและการเจริญเป็นต้นอ่อนในสภาพปลอดเชื้อ และรอดชีวิตในโรงเรือนได้ ในการศึกษาอุณหภูมิต่ำและระยะเวลาการเก็บรักษาก่อนเรณุกกล้วยไม้หวายญาว่า เป็นวิธีที่ง่าย ไม่ยุ่งยาก สะดวก ไม่ใช้สารเคมีและเครื่องมือราคาแพง ซึ่งแนวทางที่สามารถนำไปประยุกต์ใช้ในการเก็บรักษาก่อนเรณูของกล้วยไม้ไทย กล้วยไม้ลูกผสมสกุลหวายหรือสกุลอื่นที่มีระยะเวลาการบานของดอกแตกต่างกันเพื่อการปรับปรุงพันธุ์พืชต่อไป

กิตติกรรมประกาศ

ขอกราบขอบพระคุณทุนการศึกษาโครงการพระราชทานความช่วยเหลือแก่ราชอาณาจักรกัมพูชาตามพระราชดำริ สมเด็จพระกนิษฐาธิราชเจ้า กรมสมเด็จพระเทพรัตนราชสุดาฯ สยามบรมราชกุมารี สำหรับการศึกษาและการวิจัยนี้

เอกสารอ้างอิง

- Abdelgadir, H. A., Johnson, S. D., & Van Staden, J. (2012). Pollen viability, pollen germination and pollen tube growth in the biofuel seed crop *Jatropha curcas* (Euphorbiaceae). *South African Journal of Botany*, 79, 132-139.
- Arditt, J. (1967). Factors affecting the germination of orchid seeds. *Botanical Review*, 33(1), 1-97.
- Bain, H. W., Wang, J. H., Lin, W. Q., Han, N., & Zhu, M.Y. (2002). Accumulation of soluble sugars, heat-stable proteins and dehydrins in cryopreservation of protocorm-like bodies of *Dendrobium candidum* by the air-drying method. *Journal of Plant Physiology*, 159(10), 1139-1145.
- Bhat, Z. A., Dhillon, W. S., Shafi, R. H. S., Rather, J. A., Mir, A. H., Shafi, W., Rashid, R., Bhat, J. A., Rather, T. R., & Wani, T. A. (2012). Influence of storage temperature on viability and *in vitro* germination capacity of pear (*Pyrus* spp.) pollen. *Journal of Agricultural Science*, 4, 128-135.
- Bocsi, J., Kovács, G., & Barnabás, B. (1990). Pollen storage effect on seed germination ability at low temperature in maize (*Zea mays* L.). *Cereal Research Communications*, 18(4), 347-354.
- Deng, Z., & Harbaugh, B. K. (2004). Technique for *in vitro* pollen germination and short-term pollen storage in *Caladium*. *HortScience*, 39, 365-367.
- Dolce, N. R., Medina, R. D., Mroginski, L. A., & Rey, H. Y. (2016). Storage of *Cohniella cepula* (Orchidaceae) pollinia: fertilizing ability and subsequent fruit and seed formation. *HortScience*, 51(10), 1265-1269.
- Engelmann, F. (2010). Use of biotechnologies for the conservation of plant biodiversity. *In Vitro Cellular & Developmental Biology-Plant*, 47(1), 5-16.
- Fayos, O., Echávarri, B., Vallés, M. P., Mallor, C., Garcés-Claver, A., & Castillo, A. M. (2022). A simple and efficient method for onion pollen preservation: Germination, dehydration, storage conditions, and seed production. *Scientia Horticulturae (Amsterdam)*, 305, 111358.
- Ganeshan, S., Rajasekharan, P. E., Shashikumar, S., & Decruze, W. (2008). *Cryopreservation of pollen*. In B. M. Reed (Eds.), *Plant cryopreservation: a practical guide* (pp. 443-464). Springer Science and Business Media.
- He, W., Xiao, Q., Pu, G., Huang, X., Li, Y., & Shi, L. (2017). Effect of walnut pollen on 'Shuangzao' fruit quality and early fruit of several. *Journal of Hunan Agricultural University Natural Sciences*, 43, 266-269.
- Inpar, C., & Potapohn, N. (2009). Effects of Temperature and Storage Period on Pollinia Viability Percentage of *Dendrobium scabrilingue* Lindl., *D. anosmum* Lindl., *D. parishii* Rchb. f. and *D. peguanum* Lindl. *Journal of agriculture*, 25(2), 101-108.
- Jia, H., Liang, X., Zhang, L., Zhang, J., Sapey, E., Liu, X., Sun, Y., Sun, S., Yan, H., Lu, W., & Han, T. (2022). Improving ultra-low temperature preservation technologies of soybean pollen for off-season and off-site hybridization. *Frontiers in Plant Science*, 13, 920522.
- Jitsopakul, N., Chunthaworn, A., Pongket, U., & Thammasiri, K. (2023). Ability of *Seidenfadenia mitrata* (Rchb.f.) Garay, pollinia stored at low temperature on fertilization, pod formation and *in-vitro* hybrid seed germination. *The Indian Journal of Genetics and Plant Breeding*, 83(1), 122-126.
- Khatun, S., & Flowers, T. J. (1995). The estimation of pollen viability in rice. *Journal of Experimental Botany*, 46, 151-154.

- Kim, D. H., Kang, K. W., Enkhtaivan, G., Jan, U., & Sivanesan, I. (2019). Impact of activated charcoal, culture medium strength and thidiazuron on non-symbiotic *in vitro* seed germination of *Pecteilis radiata* (Thunb.). *South African Journal of Botany*, 124, 144-150.
- Kunakhonnuruk, B., Inthima, P., & Kongbangkerd, A. (2018). *In vitro* propagation of *Epipactis flava* Seidenf. an endangered rheophytic orchid: A first study on factors affecting asymbiotic seed germination, seedling development and greenhouse acclimatization. *Plant Cell, Tissue and Organ Culture*, 135, 419-432.
- Lyakh, V. A., Soroka, A. I., & Kalinova, M. G. (1998). Pollen storage at low temperature as a procedure for the improvement of cold tolerance in spring rape, *Brassica napus* L. *Plant Breeding*, 117, 389-391.
- Marks, T. R., Seaton, P. T., & Pritchard, H. W. (2014). Desiccation tolerance, longevity and seed-siring ability of entomophilous pollen from UK native orchid species. *Annals of Botany*, 114, 561-569.
- Matison, A. M., Jensen, C. O., & Dutcher, R. A. (1974). Triphenyltetrazolium chloride as a dye for vital tissues. *Science*, 106, 294-295.
- Meeyot, W., & Kamemoto, H. (1969). Studies on storage of orchid pollen. *American Orchid Society Bulletin*, 38, 388-393.
- Melo, I. L. P., & Almeida-Muradian, L. B. (2009). Comparison of methodologies for moisture determination on dried bee pollen samples. *Ciênc. Tecnol. Aliment. Campinas*, 31(1), 194-197.
- Metz, C., Nerd, A., & Mizrahi, Y. (2000). Viability of pollen of two fruit crop cacti of the genus *Hylocereus* is affected by temperature and duration of storage. *HortScience*, 35, 22-24.
- Nagar, A., Gowthami, R., Sureja, A. K., Munshi, A. D., Verma, M., Singh, A. K., Mallick, N., Singh, J., Chander, S., Shankar, M., Pathania, P., & Rajkumar, S. (2023). Simple cryopreservation protocol for *Luffa* pollen: enhancing breeding efficiency. *Frontiers in Plant Science*, 27(14), 1268726.
- Popova, E., Kim, H. H., Saxena, P. K., Engelmann, F., & Pritchard, H. W. (2016). Frozen beauty: The cryobiotechnology of orchid diversity. *Biotechnology Advances*, 34(4), 380-403.
- Pritchard, H. W., & Prendergast, F. G. (1989). *Factors influencing the germination and storage characteristics of orchid pollen*. In H. W. Pritchard (Eds.), *Modern methods in orchid conservation: the role of physiology, ecology, and management*. (pp. 1-16). Cambridge University Press.
- Prizao, E. C., Goncalves, L. D. M., Gutierre, M. A. M., Mangolin, C. A., & Machado, M. D. F. P. D. S. (2012). Activated charcoal and graphite for the micropropagation of *Cattleya bicolor* Lindl. and a orchid double hybrid 'BLC Pastoral Innocence'. *Acta Scientiarum Agronomy*, 34, 157-161.
- Reed, B. M., Denoma, J., Luo, J., Chang, Y., & Towill, L. (1998). Cryopreservation and long-term storage of pear germplasm. *In Vitro Cellular & Developmental Biology-Plant*, 34(3), 256-260.
- Rosell, P., Saúco, V. G., & Herrero, M. (2006). Pollen germination as affected by pollen age in cherimoya. *Scientia Horticulturae*, 109, 97-100.
- Sauve, R., Craddock, J., Reed, S., & Schlarbaum, S. (2000). Storage of flowering dogwood (*Cornus florida* L.) pollen. *HortScience*, 35, 108-109.
- Shankar, M., Gowthami, R., Tripathi, K., Deepak, D. A., Barpete, S., & Agrawal, A. (2023). *In vitro* germination and cryopreservation technique for long-term pollen conservation of underutilized legume: Grasspea (*Lathyrus sativus*). *Indian Journal of Agricultural Sciences*, 93, 205-209.
- Shijun, C. (1984). The studies on keeping freshness of orchid pollinia. *Acta Horticulturae Sinica*, 11, 279-280.
- Soares, T. L., Silva, S. O., Costa, M. A. P. C., Santos-Serejo, J. A., Souza, A. S., Lino, L. S. M., Souza, E. H., & Jesus, O. N. (2008). *In vitro* germination and viability of pollen grains of banana diploids. *Crop Breeding and Applied Biotechnology*, 8, 111-118.

- Vacin, E. F., & Went, F. W. (1949). Some pH changes in nutrient solutions. *Botanical Gazette*, 110, 605-613.
- Vaknin, Y., & Disikowitch, D. (2000). Effects of short-term storage on germinability of pistachio pollen. *Plant Breeding*, 119, 347-350.
- Van der Walt, I. D., & Littlejohn, G. M. (1996). Storage and viability testing of Protea pollen. *Journal of the American Society for Horticultural Science*, 121, 804-809.
- Vendrame, W. A., Carvalho, V. S., Dias, J. M. M., & Maguire, I. (2008). Pollination of *Dendrobium* hybrids using cryopreserved pollen. *HortScience*, 43, 264-267.
- Wu, Y., Gao, W., Zhou, Y., & Guo, H. (2022). Optimization of *in vitro* germination and storage of *Armeniaca sibirica* pollen. *Scientia Horticulturae*, 304, 111309.
- Yuan, S. C., Chin, S. W., Lee, C. Y., & Chen, F. C. (2018). *Phalaenopsis* pollinia storage at sub-zero temperature and its pollen viability assessment. *Botanical Studies*, 59, 1-8.
- Zhang, Y., Shang, X., & Liu, Y. (2006). Advances in research of pollen cryopreservation. *Journal of Beijing Forestry University*, 28, 139-147.

Received: May 23, 2024; Revised: March 19, 2025; Accepted: May 22, 2025

ศักยภาพของนาโนซิงค์ออกไซด์และสารสกัดหยาบสมุนไพรในการยับยั้งเชื้อรา

*Pseudoperonospora cubensis*The potential of nano-zinc oxide and crude herbal extracts for inhibition of
*Pseudoperonospora cubensis*วรุตม์ คุณสุทธิ¹ รัตนภรณ์ สมฤทธิ์^{1*} ธีระวิทย์ พลโคกก่อง¹ จตุพัฒน์ สมบัติโต² กิตติธร นองสี³
สุรัชย์ บุญเศษ³ วิริญญา สวนมัวมี³ และแสงดาว ชัยสุวรรณ³Warut Koonnasoot¹ Rattanaporn Somrit^{1*} Thirawit Phonkhokkong¹ Jatupat Samappito²
Kittitorn Nongsee³ Surachai Boonses³ Wiranya Suanmuamued³
and Saengdaw Chaisuwan³¹คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏบุรีรัมย์ จังหวัดบุรีรัมย์¹Faculty of Science, Buriram Rajabhat University, Buriram Province²คณะเทคโนโลยีการเกษตร มหาวิทยาลัยราชภัฏบุรีรัมย์ จังหวัดบุรีรัมย์²Faculty of Agricultural Technology, Buriram Rajabhat University, Buriram Province³คณะครุศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏบุรีรัมย์ จังหวัดบุรีรัมย์³Faculty of Education, Buriram Rajabhat University, Buriram Province^{*}Corresponding Author E-mail Address : rattanaphom.sr@bru.ac.th

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อสังเคราะห์และศึกษาฤทธิ์การยับยั้งเชื้อรา *Pseudoperonospora cubensis* สาเหตุโรคราน้ำค้างในเมล่อน ซึ่งเป็นเหตุสำคัญที่ทำให้เกิดความเสียหายต่อผลผลิตด้วยนาโนซิงค์ออกไซด์ที่ใช้อุณหภูมิแคลไซน์ 300 และ 500 องศาเซลเซียส และสารสกัดหยาบสมุนไพร 4 ชนิด คือ กระเทียม ข่า ขมิ้นชัน และกระชาย ผลการวิเคราะห์คุณลักษณะเฉพาะของนาโนซิงค์ออกไซด์ด้วยเทคนิควิเคราะห์การเลี้ยวเบนของรังสีเอ็กซ์ (XRD) กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดชนิดฟิลด์อิมิสชัน (FESEM) สเปกโตรสโกปีรังสีเอกซ์แบบกระจายพลังงาน (EDX) เทคนิคฟูเรียร์ทรานส์ฟอร์มอินฟราเรดสเปกโตรสโกปี (FTIR) และเทคนิคอัลตราไวโอเลตและวิสิเบิลสเปกโตรสโกปี (UV-Vis) แสดงให้เห็นว่านาโนซิงค์ออกไซด์มีโครงสร้างผลึกแบบเฮกซะโกนอลเวิร์ทไซด์ มีรูปร่างแบบแผ่นขนาดเฉลี่ย 32.02 ± 4.06 และ 48.18 ± 10.02 นาโนเมตร ตามลำดับ สามารถยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อราได้ 63.09 ± 0.18 และ 59.73 ± 1.40 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ สารสกัดหยาบกระชายมีประสิทธิภาพในการยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อราได้สูงที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับสารสกัดสมุนไพรชนิดอื่น โดยสามารถยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อราได้ 55.57 ± 2.11 เปอร์เซ็นต์ และนาโนซิงค์ออกไซด์ที่อุณหภูมิ 300 องศาเซลเซียส ร่วมกับสารสกัดหยาบจากกระชายอัตราส่วน 1:5 ที่ความเข้มข้น 3,000 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร สามารถยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อราได้ 81.74 ± 1.12 เปอร์เซ็นต์ แสดงให้เห็นว่าการสังเคราะห์ซิงค์ออกไซด์ในระดับนาโนร่วมกับการใช้สารสกัดหยาบจากกระชายช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการยับยั้งเชื้อราสาเหตุโรคราน้ำค้างในเมล่อนได้มากขึ้น

คำสำคัญ: โรคราน้ำค้าง การยับยั้งเชื้อรา นาโนซิงค์ออกไซด์ สารสกัดหยาบจากสมุนไพร

Abstract

This research aimed to synthesize and study the antifungal activity against *Pseudoperonospora cubensis*, the cause of downy mildew in melons, which significantly damages the yield, using nano zinc oxide calcined at 300°C and 500°C and four types of crude herbal extracts: garlic, galangal, turmeric, and fingerroot. Results of the specific characteristics analysis of nano zinc oxide using X-ray diffraction (XRD), field emission scanning electron microscopy (FESEM), energy-dispersive X-ray spectroscopy (EDX), Fourier transform infrared spectroscopy (FTIR), and ultraviolet-visible spectroscopy (UV-Vis) techniques were provided. It was shown that nano zinc oxide has a hexagonal wurtzite crystal structure, with an average particle size of 32.02 ± 4.06 and 48.18 ± 10.02 nm, respectively. The antifungal activity showed that nano zinc oxide inhibited fungal growth by $63.09 \pm 0.18\%$ and $59.73 \pm 1.40\%$, respectively. Among the crude plant extracts, the fingerroot extract exhibited the highest antifungal efficacy, inhibiting fungal growth by $55.57 \pm 2.11\%$. The combination of nano zinc oxide calcined at 300°C and fingerroot extract at a ratio of 1:5 with a concentration of 3,000 µg/mL inhibited fungal growth by $81.74 \pm 1.12\%$. These findings demonstrate that synthesizing nano zinc oxide combined with fingerroot extract significantly enhances the inhibition of *Pseudoperonospora cubensis*, providing a promising approach for controlling downy mildew in melons

Keywords: Downy mildew, Antifungal activity, Zinc oxide nanoparticles, Crude herbal extracts

บทนำ

โรคราน้ำค้าง (Downy mildew) จัดเป็นโรคพืชร้ายแรงอย่างหนึ่งที่ทำให้เกิดความเสียหายในเมล่อน ซึ่งเป็นพืชเศรษฐกิจที่สำคัญ มีแนวโน้มความต้องการของตลาดสูงและให้ผลตอบแทนสูง มีสาเหตุมาจากเชื้อรา *Pseudoperonospora cubensis* (Wonglom et al., 2020) อาการของโรคส่วนใหญ่จะเกิดขึ้นเหลืองบนใบทำให้การสังเคราะห์แสงของพืชลดลงและเปลี่ยนเป็นสีน้ำตาลโดยเริ่มเปลี่ยนจากกลางแผลออกไป หากความชื้นในอากาศสูง ได้ใบบริเวณจุดแผลจะพบเส้นใยและสปอร์สาเหตุโรคเป็นขุยๆ ผงสีเทา เมล่อนที่เกิดโรครุนแรงจะทำให้ใบแห้งและอาจตายได้ หากเกิดช่วงระยะให้ผลผลิตจะทำให้ผลเมล่อนเจริญไม่เต็มที่และคุณภาพลดลง ดังนั้น จึงจำเป็นต้องศึกษาเพื่อหาวิธีการยับยั้งการเกิดโรคแทนการใช้สารเคมี เนื่องจากพืชตกค้างจากสารเคมีเป็นอันตรายต่อผู้บริโภคและก่อให้เกิดการดื้อยาของเชื้อที่เป็นสาเหตุโรคได้ (Mekkamol et al., 2016) สารสกัดจากพืชจึงเป็นอีกหนึ่งทางเลือกในการกำจัดโรคพืชแบบชีววิธี ซึ่งจากรายงานวิจัยพบว่า สารสกัดจากกระชาย ขมิ้นชัน หัวหัวหมู สับเสือตอ ว่านอัศศิหาร เปลือกมังคุด เม็ดมะขาม และไพลสามารถยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อรา *Phytophthora palmivora* (Thamsatit et al., 2023) สะเดาไทย ขะพลู่ และขิง ในการยับยั้งเชื้อรา *Phytophthora parasitica* (Chuenchan et al., 2022) ข่า กระเทียม และตะไคร้สามารถยับยั้งเชื้อรา *Colletotrichum sp.* สาเหตุโรคแอนแทรกคโนของมะม่วง (Sutthisa et al., 2014) สารสกัดกระชายขาวพบสารฟลักซ์เคมี ได้แก่ ฟลาโวนอยด์ คูมาริน ซาโปนิน แทนนิน เทอร์ปีนอยด์และคาร์ดิแอกไกลโคไซด์ และสารสกัดกระชายขาวมีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ (Boonnaum et al., 2021) โดยน้ำมันกระชายทำให้รา *C. capsici* isolate 170, *Dothiorella sp.* และ *Pythium aphanidermatum* ไม่สามารถเจริญได้ (Farungsang et al., 2005) นอกจากนี้ยังมีการใช้อนุภาคนาโนซึ่งออกไซด์ที่มีสมบัติที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม (Eco-friendly) และมีคุณสมบัติที่น่าสนใจหลายประการ เช่น บทบาทในการเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาแสง (Photocatalytic) และคุณสมบัติต้านจุลชีพ (Antimicrobial) ควบคุมโรคพืชจากเชื้อแบคทีเรียและเชื้อรา เช่น *C. albicans* และ *A. brasiliensis* (Asmat-Campos et al., 2024) *Streptococcus mutans*, *Clostridium bsonum*, *Arthrogrophis cuboida*, *Arthrogrophis cuboida*, *Aspergillus fumigatus* และ *Aspergillus niger* (Ahmad & Kalra, 2020) โรคผลเน่าของส้มโอ (Ali et al., 2022) เชื้อราสาเหตุการเน่าเสียของผลไม้หลังการเก็บเกี่ยวจำนวน 4 สายพันธุ์ ได้แก่ *Aspergillus niger*, *Colletotrichum gloeosporioides*, *Lasiodiplodia theobromae* และ *Rhizopus*

stolonifera โดยนาโนซิงค์ออกไซด์ทำให้เกิดปฏิกิริยาทางเคมีที่ทำลายผนังเซลล์ของเชื้อรา โดยการปลดปล่อยไอออน Zn^{2+} ซึ่งไอออนเหล่านี้สามารถเข้าสู่เซลล์ของเชื้อราและรบกวนกระบวนการทางชีวเคมีที่จำเป็นสำหรับการเติบโตและการอยู่รอดของเชื้อรา (Sakayaroj et al., 2022) การสังเคราะห์นาโนซิงค์ออกไซด์สามารถทำได้หลายวิธี เช่น วิธีไฮโดรเทอร์มอล วิธีการตกตะกอน วิธีการระเหยแห้ง และวิธีการโซลเจล โดยวิธีการโซลเจลเป็นวิธีการที่ได้สารขนาดเล็กและมีความบริสุทธิ์สูง สามารถสังเคราะห์ได้ง่าย (Sangchay & Ubolchollakhat, 2016)

ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อสังเคราะห์และศึกษาฤทธิ์การยับยั้งเชื้อรา *Pseudoperonospora cubensis* ของนาโนซิงค์ออกไซด์ที่ใช้อุณหภูมิเคลือบ 300 และ 500 องศาเซลเซียส และสารสกัดหยาบสมุนไพร 4 ชนิด คือ กระเทียม ข่า ขมิ้นชัน และกระชาย เพื่อเป็นข้อมูลในการส่งเสริมสมุนไพรมาพัฒนางานด้านเกษตรกรรม ลดหรือควบคุมการเกิดโรคจากเชื้อราที่จะก่อให้เกิดความเสียหายในพืช การปนเปื้อนสู่สิ่งแวดล้อม และทดแทนเคมีเกษตรในปัจจุบันซึ่งมีราคาแพงและมีผลข้างเคียงค่อนข้างสูง

วัสดุ อุปกรณ์ และวิธีการ

การสังเคราะห์และตรวจสอบคุณสมบัติเฉพาะของนาโนซิงค์ออกไซด์

นาโนซิงค์ออกไซด์ไฮดรต (AR grade 99.5% ยี่ห้อ KemAus บริษัท QReC® ประเทศนิวซีแลนด์) ความเข้มข้น 0.2 โมลาร์ ปริมาตร 50 มิลลิลิตร และโซเดียมไฮดรอกไซด์ (AR grade 99.0% ยี่ห้อ RCI-Labscan บริษัท QReC® ประเทศนิวซีแลนด์) ความเข้มข้น 0.8 โมลาร์ ปริมาตร 50 มิลลิลิตร เป็นสารตั้งต้นในการสังเคราะห์นาโนซิงค์ออกไซด์ด้วยวิธีโซลเจล คนสารละลายด้วย Magnetic stirrer ด้วยความเร็ว 1,000 รอบต่อนาที จนครบ 45 นาที ที่อุณหภูมิห้อง กรองตะกอนแล้วล้างด้วยน้ำกลั่น 3 ครั้ง ก่อนนำตะกอนไปอบให้แห้งที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง ด้วยตู้อบลมร้อน (รุ่น ED53 ยี่ห้อ BINDER ประเทศเยอรมนี) จากนั้นบดละเอียดด้วยโกรนบดสารแล้วนำไปเผาเคลือบในอากาศด้วยเตาเผาอุณหภูมิสูง (รุ่น CWF 12/23 ยี่ห้อ Carbolite) ที่อุณหภูมิ 300 และ 500 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง ด้วยอัตราการเพิ่มของอุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียสต่อนาที ตามลำดับ ในบทความนี้ขอแทนนาโนซิงค์ออกไซด์ที่เผาที่อุณหภูมิ 300 และ 500 องศาเซลเซียส เป็น ZnO 300 และ ZnO 500 ตามลำดับ (Sangchay & Ubolchollakhat, 2016) (Figure 1) นำสารที่ได้ไปวิเคราะห์คุณสมบัติทางกายภาพและทางเคมีด้วย X-ray Diffractometer (XRD) (รุ่น D8 Advance บริษัท Bruker ประเทศเยอรมัน) โดยใช้แหล่งกำเนิดรังสี $Cu K\alpha$ ($\lambda = 1.5405$ อังสตรอม) วิเคราะห์ที่มุม 2θ ตั้งแต่ 20 ถึง 80 องศา คำนวณหาขนาดผลึกโดยใช้สมการเชอร์เรอร์ (Scherrer's equation) (Nasiri et al., 2023) Field Emission Scanning Electron Microscope (FESEM) (รุ่น JSM-7800F บริษัท JEOL ประเทศญี่ปุ่น) ทำการทดสอบโดยใช้ศักย์ไฟฟ้าในการเร่งอิเล็กตรอนที่ 5 กิโลโวลต์ ใช้กำลังขยาย 30,000 เท่า วิเคราะห์ร่วมกับ Energy Dispersive X-Ray Spectroscopy (EDX), Fourier Transform Infrared Spectrometer (FTIR) (รุ่น Spectrum Two FT-IR Spectrometer บริษัท PerkinElmer Scientific ประเทศสหรัฐอเมริกา) วิเคราะห์ที่ความถี่ช่วง 4,000-400 ต่อเซนติเมตร และ UV-Vis spectrophotometer (รุ่น DR6000 บริษัท HACH ประเทศเยอรมนี) วิเคราะห์ที่ความยาวคลื่นช่วง 280-800 นาโนเมตร

การเตรียมสารสกัดหยาบสมุนไพร

สมุนไพรที่นำมาศึกษา ได้แก่ กระเทียมไทย (Thai Garlic) เหง้าแก่ของข่า (Galangal) ขมิ้นชัน (Turmeric) และกระชาย (Fingerroot) ซื้อจากตลาดสดเทศบาลเมืองบุรีรัมย์ จังหวัดบุรีรัมย์ นำสมุนไพรสดมาล้างให้สะอาด หั่นเป็นชิ้นเล็ก ๆ อบให้แห้งด้วยตู้อบลมร้อน (รุ่น ED53 ยี่ห้อ BINDER ประเทศเยอรมนี) ที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง (ความชื้นสุดท้ายไม่เกิน 10% dry basis) จากนั้นนำไปบดละเอียดด้วยเครื่องบดสมุนไพร (รุ่น WF-20B ยี่ห้อ Thai grinder ประเทศไทย) จึงห่อด้วยผ้าขาวบางแล้วผูกให้แน่น นำไปใส่ในขวดโหลจากนั้นเติมตัวทำละลายเอทานอล 95 เปอร์เซ็นต์ให้ท่วมสมุนไพร ปิดให้สนิทแช่ไว้เป็นเวลา 7 วัน ที่อุณหภูมิห้อง (32-35 องศาเซลเซียส) โดยกวนตัวอย่างด้วยแท่งแก้วประมาณวันละ 1 นาที หลังจากนั้นกรองด้วยกระดาษกรองเบอร์ 1 นำของเหลวที่ได้ไประเหยตัวทำละลายออกด้วยเครื่อง Rotary Evaporator (รุ่น R-3001 ยี่ห้อ Greatwall ประเทศจีน) ที่อุณหภูมิ 45 องศาเซลเซียส จะได้สารสกัดที่มีลักษณะข้น

เหนียวหรือเรียกว่าสารสกัดหยาบและเก็บสารสกัดที่ได้ในขวดสีชาที่มีฝาปิดสนิทที่ผ่านการนึ่งฆ่าเชื้อ (Kumlong & Kumpun, 2017)

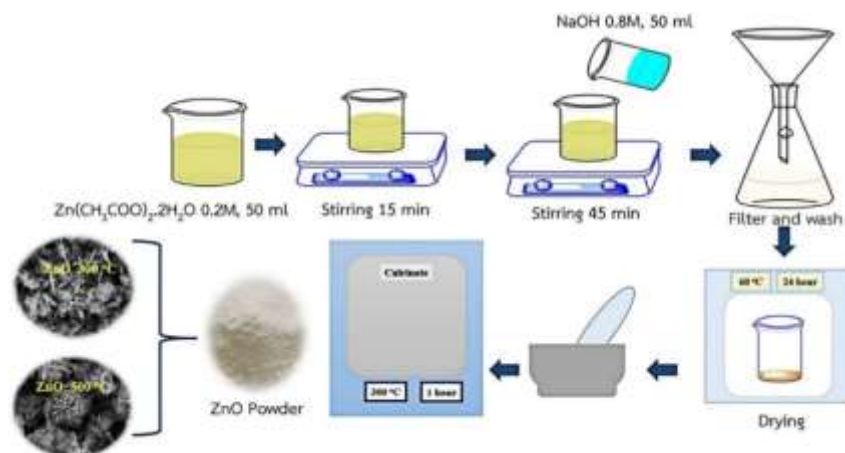


Figure 1 Schematic of ZnO synthesis

การคัดแยกและทดสอบประสิทธิภาพการยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อรา

เก็บตัวอย่างใบมะลอนที่เป็นโรคราน้ำค้าง โดยใบมะลอนจะมีลักษณะเป็นจุดเชื้อสีน้ำตาลหรือดำ นำมาแยกเชื้อด้วยวิธี Tissue transplanting เพื่อให้ได้เชื้อที่บริสุทธิ์ ตัดชิ้นส่วนรอยต่อระหว่างเนื้อเยื่อที่ติดกับเนื้อเยื่อที่เป็นโรคออกเป็นชิ้นเล็ก ๆ ทำความสะอาดผิวด้านนอกด้วยการแช่น้ำยาคลอโรกซ์ความเข้มข้น 15 เปอร์เซ็นต์ เป็นเวลา 5 นาที ล้างด้วยน้ำกลั่นที่นึ่งฆ่าเชื้อด้วยเครื่อง Autoclave (รุ่น VB Series ยี่ห้อ Systec ประเทศเยอรมนี) และซับด้วยกระดาษฆ่าเชื้อ นำชิ้นเนื้อเยื่อไปวางบนอาหารเลี้ยงเชื้อสูตร Potato Dextrose Agar (PDA) (ยี่ห้อ Hi-media ประเทศอินเดีย) บ่มที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 7 วัน หลังจากนั้นตัดปลายเส้นใย (Hyphal tip) และวางลงบน PDA เพื่อนำไปเลี้ยงให้บริสุทธิ์อีกครั้ง การทดสอบประสิทธิภาพการยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อราด้วย Poisoned Food Technique (Wonglom et al., 2020) โดยใช้สารตัวอย่างที่สังเคราะห์ได้ (อุณหภูมิ 300 และ 500 องศาเซลเซียส) และสารสกัดสมุนไพรแต่ละชนิด ในอาหารเลี้ยงเชื้อ PDA ให้ได้ความเข้มข้น 1,000 ไมโครกรัมต่อมิลลิตร (ชุดทดลอง) เทใส่จานเพาะเชื้อที่ผ่านการฆ่าเชื้อ เมื่อผิวหน้าอาหารแห้ง จึงใช้ Cork borer เจาะบริเวณปลายเส้นใยบริเวณรอบโคโลนีของเชื้อราสาเหตุโรคที่เลี้ยงบนอาหารเลี้ยงเชื้อ PDA ที่มีอายุ 7 วัน (ชุดควบคุม) วางลงไปตรงกลางผิวหน้าอาหารในจานเพาะเชื้อชุดทดลอง โดยคว่ำด้านที่มีเชื้อราอยู่ทางด้านล่าง บ่มเชื้อไว้ที่อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 4 วัน ทำการทดลองทั้งหมด 3 ซ้ำ สังเกตการเจริญเติบโตและวัดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของโคโลนี เชื้อราเปรียบเทียบกับจานเลี้ยงเชื้อชุดควบคุม (ไม่ผสมสมุนไพรและนาโนซิงค์ออกไซด์) และคำนวณหาเปอร์เซ็นต์การยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อรา ดังต่อไปนี้ (Eq.1) A = ค่าเฉลี่ยเส้นผ่านศูนย์กลางของโคโลนีเชื้อราบนจานเลี้ยงเชื้อชุดควบคุม และ B = ค่าเฉลี่ยเส้นผ่านศูนย์กลางของโคโลนีเชื้อราบนจานเลี้ยงเชื้อชุดทดลอง (Sehawong et al., 2022)

$$\text{เปอร์เซ็นต์การยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อรา} = \frac{A-B}{A} \times 100 \quad (\text{Eq.1})$$

หลังจากนั้นเลือกสารตัวอย่างที่สังเคราะห์ได้และสารสกัดสมุนไพรที่มีประสิทธิภาพการยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อราสูงที่สุด นำมาผสมกันโดยใช้สารตัวอย่างที่สังเคราะห์ได้ต่อสารสกัดสมุนไพรในอัตราส่วน 1:1 และ 1:3 โดยน้ำหนัก ในอาหารเลี้ยงเชื้อ PDA ให้ได้ความเข้มข้น 1,000 ไมโครกรัมต่อมิลลิตร ศึกษาอัตราส่วนที่เพิ่มขึ้นเป็น 1:3 และ 1:5 โดยน้ำหนัก ที่ความเข้มข้น 3,000 ไมโครกรัมต่อมิลลิตร และอัตราส่วน 1:7 โดยน้ำหนัก ที่ความเข้มข้น 3,000 และ 30,000 ไมโครกรัมต่อมิลลิตร

การวิเคราะห์ข้อมูลและสถิติที่ใช้

วางแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ CRD (Completely Random Design) ผลการวิเคราะห์แสดงในรูปแบบของค่าเฉลี่ย $\pm$ ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (mean $\pm$ SD) ทดสอบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยที่ได้จากแต่ละการศึกษาด้วย One-way ANOVA และ Duncan's multiple range test (DMRT) ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 โดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูป SPSS ข้อมูลที่ได้จากการทดลอง 3 ซ้ำ ค่าความต่างทางสถิติจะถูกพิจารณาเมื่อ $p \leq 0.05$

ผลการวิจัย และการอภิปรายผล

ผลการวิเคราะห์โครงสร้างผลึกด้วยเทคนิคการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์

ผลจากการวิเคราะห์โครงสร้างผลึกของสารตัวอย่างที่ผ่านการแคลไซน์ที่อุณหภูมิ 300 และ 500 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง ด้วยเทคนิคการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ (XRD) โดยใช้แหล่งกำเนิดรังสี $\text{Cu K}\alpha$ (Figure 2)

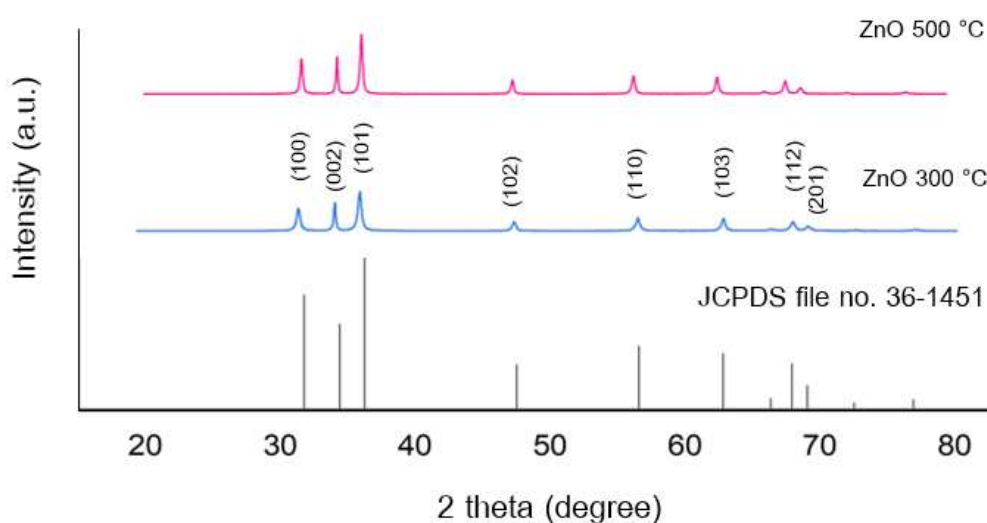


Figure 2 XRD spectra of calcine samples at 300°C and 500°C

สารตัวอย่างที่ผ่านการแคลไซน์ที่อุณหภูมิ 300 และ 500 องศาเซลเซียส ปรากฏรูปแบบการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ที่ระนาบ (100) (002) (101) (102) (110) (103) (112) และ (201) สอดคล้องกับฐานข้อมูลมาตรฐานของ JCPDS หมายเลข 36-1451 บ่งชี้ว่าเป็นซิงค์ออกไซด์ที่มีโครงสร้างผลึกแบบเอกซะโกนอลเวิร์ทไซด์ (Hexagonal wurtzite) ในทุกตัวอย่าง สอดคล้องกับงานวิจัยของ De Peres et al. (2019) จาก Scherrer's equation (Eq.2) L = ขนาดผลึก (นาโนเมตร); β = ค่าความกว้างที่กึ่งกลางของพีคการเลี้ยวเบน (full width at half maximum; FWHM) (เรเดียน); θ = มุมการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ (องศา); λ = ความยาวคลื่นของรังสี (นาโนเมตร)

$$\beta = \frac{K\lambda}{L \cos \theta} \quad (\text{Eq.2})$$

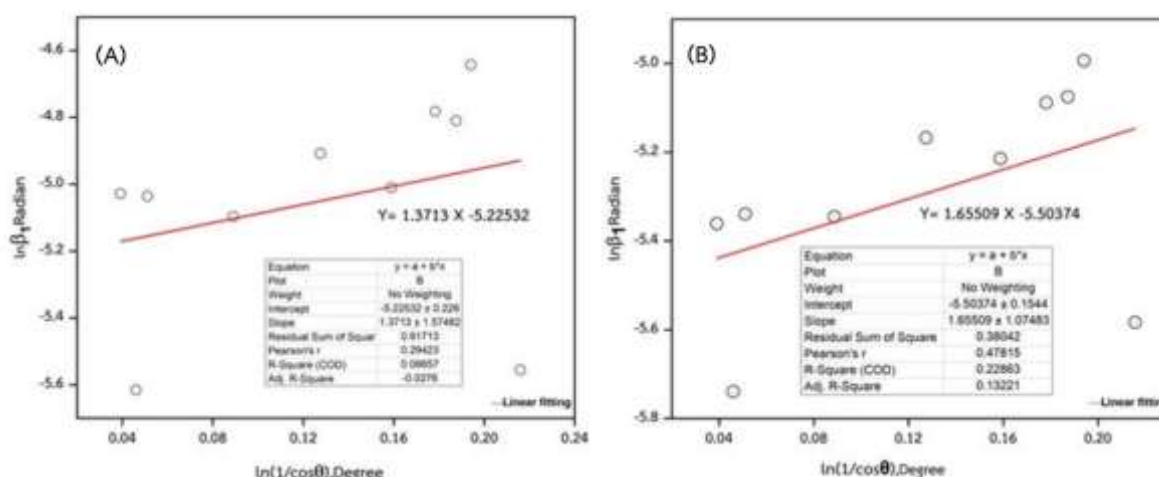
$$\ln \beta = \ln \frac{1}{\cos \theta} + \ln \frac{K\lambda}{L} \quad (\text{Eq.3})$$

นำ (Eq.3) สร้างกราฟระหว่าง $\ln \beta$ และ $\ln (1/\cos \theta)$ โดยนำจุดตัดแกน Y มาคำนวณหาขนาดผลึก (Nasiri et al., 2023) ด้วย (Eq.4)

$$e^{\text{จุดตัดแกน Y}} = \frac{K\lambda}{L} \quad (\text{Eq.4})$$

Table 1 The required values extracted from X'Pert for calculating crystal size of ZnO at various calcination temperatures

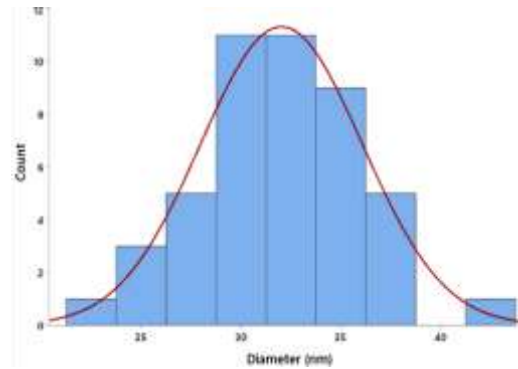
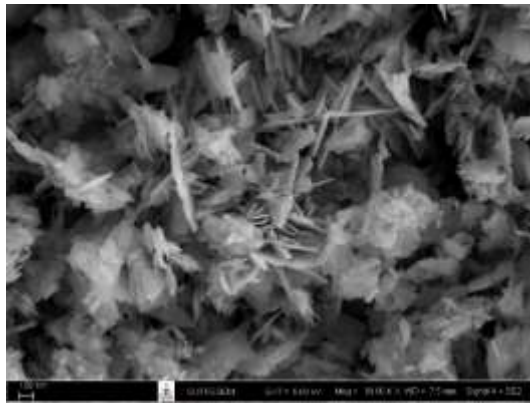
ZnO 300 °C				ZnO 500 °C			
2θ (Degree)	β (FWHM) (Degree)	ln β (Radian)	ln (1/Cos (θ)) (Degree)	2θ (Degree)	β (FWHM) (Degree)	ln β (Radian)	ln (1/Cos (θ)) (Degree)
31.86	0.38	-5.0284	0.03916	31.81	0.27	-5.36121	0.03903
34.52	0.21	-5.6157	0.04608	34.46	0.18	-5.73917	0.04591
36.34	0.37	-5.0355	0.05115	36.29	0.28	-5.33929	0.05101
47.62	0.35	-5.0970	0.08895	47.57	0.27	-5.34555	0.08876
56.66	0.42	-4.9084	0.12757	56.62	0.33	-5.16764	0.12739
62.92	0.38	-5.0102	0.15899	62.88	0.31	-5.21466	0.15878
66.43	0.48	-4.7827	0.17838	66.40	0.35	-5.08847	0.17821
68.01	0.47	-4.8103	0.18755	67.97	0.36	-5.07550	0.18731
69.12	0.55	-4.6433	0.19415	69.11	0.39	-4.99397	0.19409
72.63	0.22	-5.5557	0.21595	72.59	0.22	-5.58316	0.21570

**Figure 3** The linear plot of the Modified Scherrer equation for ZnO calcined at 300 °C (A) and 500 °C (B)

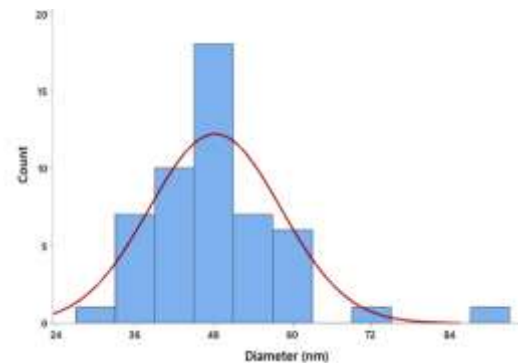
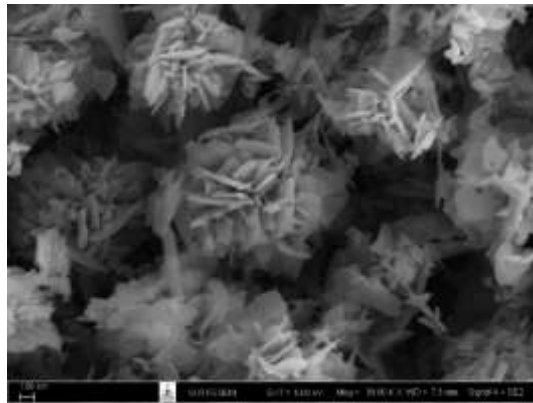
ซึ่งคือค่าที่ได้จากการแคลไซน์ที่อุณหภูมิ 300 องศาเซลเซียส ได้กราฟเชิงเส้นของสมการเชอร์เรอร์ $Y = 1.3713X - 5.22532$ และมีขนาดผลึก 25.49 ± 0.22 นาโนเมตร และที่อุณหภูมิ 500 องศาเซลเซียส มีสมการเส้นตรงเป็น $Y = 1.65509X - 5.50374$ และมีขนาดผลึก 33.67 ± 0.15 นาโนเมตร (Table 1 และ Figure 3) แสดงให้เห็นว่าอุณหภูมิแคลไซน์ที่เพิ่มขึ้นส่งผลทำให้มีความกว้างที่กึ่งกลางของพีคการเลี้ยวเบน (β) ลดลง และขนาดผลึกของนาโนซิงค์ออกไซด์มีค่าเพิ่มขึ้น (Kenyota & Laokul, 2019)

ผลการวิเคราะห์ลักษณะพื้นฐานวิทยาและองค์ประกอบธาตุ

ลักษณะพื้นฐานที่วิเคราะห์ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดชนิดฟิลด์อีมิสชัน (FESEM) ที่ 30,000 เท่า ฮีลโดแกรมการกระจายตัวและผลวิเคราะห์องค์ประกอบธาตุของนาโนซิงค์ออกไซด์



(A) ZnO 300 °C



(B) ZnO 500 °C

Figure 4 FESEM images and histograms of ZnO at various calcination temperatures

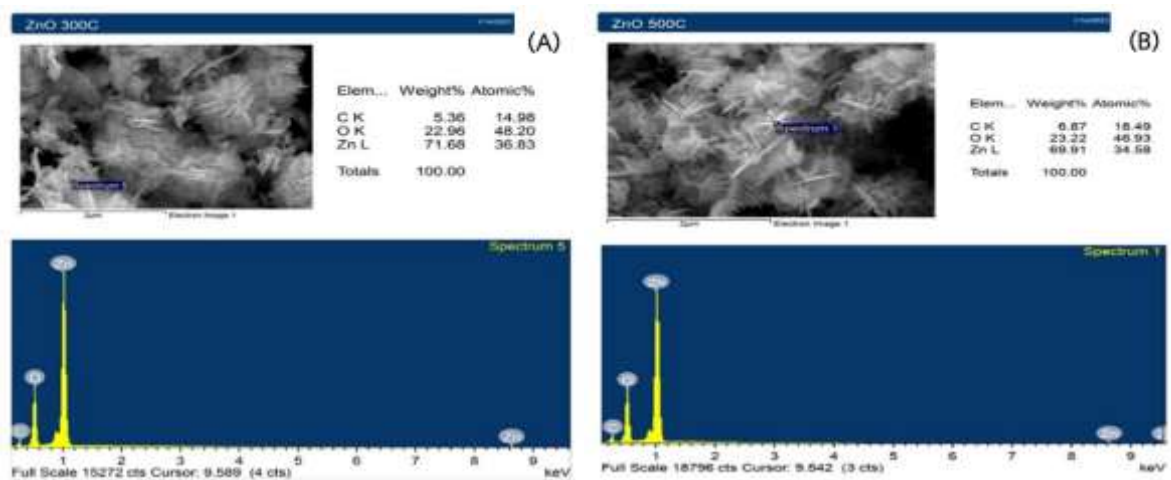


Figure 5 EDX spectra of ZnO calcined at 300 °C (A) and 500°C (B)

ซิงค์ออกไซด์มีรูปร่างแบบแผ่นและเกิดการรวมตัวกันมากขึ้นเมื่ออุณหภูมิแคลไซน์ที่เพิ่มขึ้น ขนาดแผ่นเฉลี่ยอยู่ในระดับนาโนเท่ากับ 32.02 ± 4.06 และ 48.18 ± 10.02 นาโนเมตร ตามลำดับ (Figure 4) สอดคล้องกับงานวิจัยของ Kenyota & Laokul (2019) ที่สังเคราะห์ทรานกลมกลวงซิงค์ออกไซด์ด้วยวิธีไฮโดรเทอร์มอลที่ใช้อุณหภูมิแคลไซน์เพิ่มขึ้น พบว่า พลังงานความร้อนที่สูงขึ้นส่งผลให้เกิดการเติบโตของเกรนวัสดุ ทำให้เกรนของอนุภาคเดี่ยวบนเปลือกทรงกลมมีขนาดใหญ่ขึ้น สำหรับผลการวิเคราะห์ธาตุเชิงพลังงานของรังสีเอกซ์ (EDX) ของนาโนซิงค์ออกไซด์แคลไซน์ที่อุณหภูมิ 300 องศาเซลเซียส (Figure 5A) พบองค์ประกอบธาตุหลัก คือ ซิงค์ (Zn) ร้อยละ 71.68 โดยน้ำหนัก และออกซิเจน (O) ร้อยละ 22.96 โดย

น้ำหนัก โดยนาโนซิงค์ออกไซด์แคลไซน์ที่อุณหภูมิ 500 องศาเซลเซียส (Figure 5B) พบองค์ประกอบธาตุหลัก คือ ซิงค์ (Zn) ร้อยละ 69.91 โดยน้ำหนัก และออกซิเจน (O) ร้อยละ 23.22 โดยน้ำหนัก

ผลการวิเคราะห์หมู่ฟังก์ชันด้วยเทคนิคฟูเรียร์ทรานส์ฟอร์มอินฟราเรดสเปกโตรสโกปี

หมู่ฟังก์ชันของสารสำคัญในนาโนซิงค์ออกไซด์วิเคราะห์ด้วยเทคนิคฟูเรียร์ทรานส์ฟอร์มอินฟราเรดสเปกโตรสโกปี (FTIR) ที่ช่วงเลขคลื่น 4000-400 ต่อเซนติเมตร

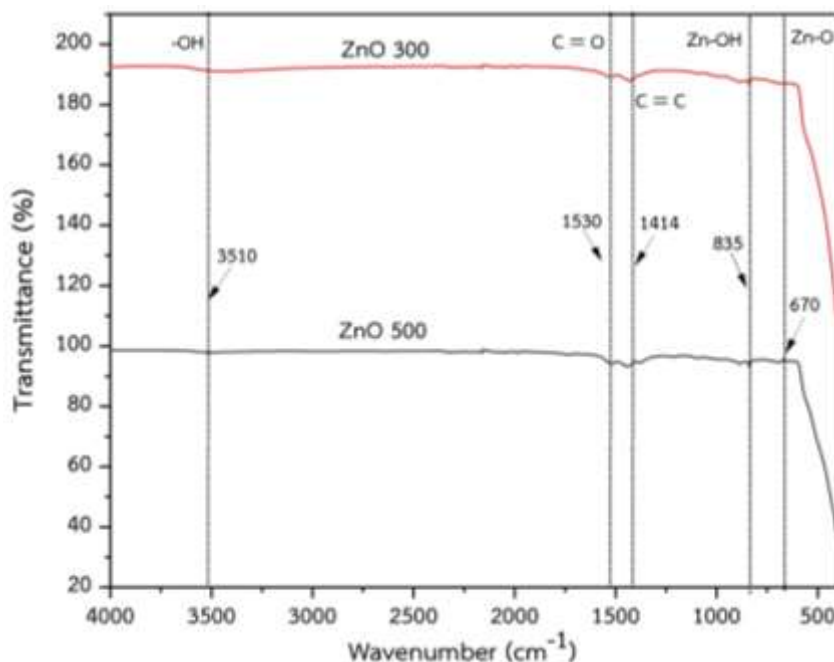


Figure 6 FTIR spectra of ZnO at various calcination temperatures

ผลการวิเคราะห์หมู่ฟังก์ชันด้วย FTIR ในช่วงเลขคลื่น 4000-400 ต่อเซนติเมตร (Figure 6) พบตำแหน่งการสั่นแบบยืดของพันธะ C=C ที่เลขคลื่น 1414 ต่อเซนติเมตร ซึ่งอาจเกิดจากสารตั้งต้นอินทรีย์หรือสารประกอบคาร์บอนที่ยังไม่สลายตัวอย่างสมบูรณ์ (Bashir et al., 2022) ตำแหน่งการสั่นแบบยืดของพันธะ C=O ที่เลขคลื่น 1530 ต่อเซนติเมตร บ่งชี้ถึงการมีอยู่ของหมู่ฟังก์ชันคาร์บอนิล ที่เลขคลื่น 3510 ต่อเซนติเมตร แสดงถึงการสั่นของพันธะ -OH (Hasany et al., 2020) ยืนยันการมีอยู่ของหมู่ไฮดรอกซิลบนพื้นผิวของอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์ โดยหมู่ฟังก์ชันไฮดรอกซิลเหล่านี้ มีคุณสมบัติในการต้านเชื้อรา (Somrit et al., 2023) ที่เลขคลื่น 670 และ 835 ต่อเซนติเมตร เป็นลักษณะเฉพาะของการสั่นแบบยืดของพันธะ Zn-O (Hasany et al., 2020) ซึ่งเป็นหลักฐานยืนยันการก่อตัวของโครงสร้างหลักของซิงค์ออกไซด์

ผลการวิเคราะห์คุณสมบัติทางแสงด้วยเทคนิคยูวี-วิสิเบิลสเปกโตรสโกปี

จากผลการวิเคราะห์คุณสมบัติทางแสงของนาโนซิงค์ออกไซด์ด้วยเทคนิคยูวี-วิสิเบิลสเปกโตรสโกปี พบว่า นาโนซิงค์ออกไซด์ที่สังเคราะห์ได้ที่อุณหภูมิ 300 และ 500 องศาเซลเซียส มีช่วงการดูดกลืนแสงที่มีลักษณะเหมือนกัน โดยมีการดูดกลืนแสงสูงสุดที่ความยาวคลื่น 376 nm ซึ่งเป็นช่วงการดูดกลืนแสงของซิงค์ออกไซด์ที่มีขนาดอนุภากระดับนาโนเมตร ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Navas et al. (2020) ทำการสังเคราะห์นาโนซิงค์ออกไซด์ด้วยกระบวนการตกตะกอน โดยมีการดูดกลืนแสงสูงสุดที่ความยาวคลื่น 373 nm

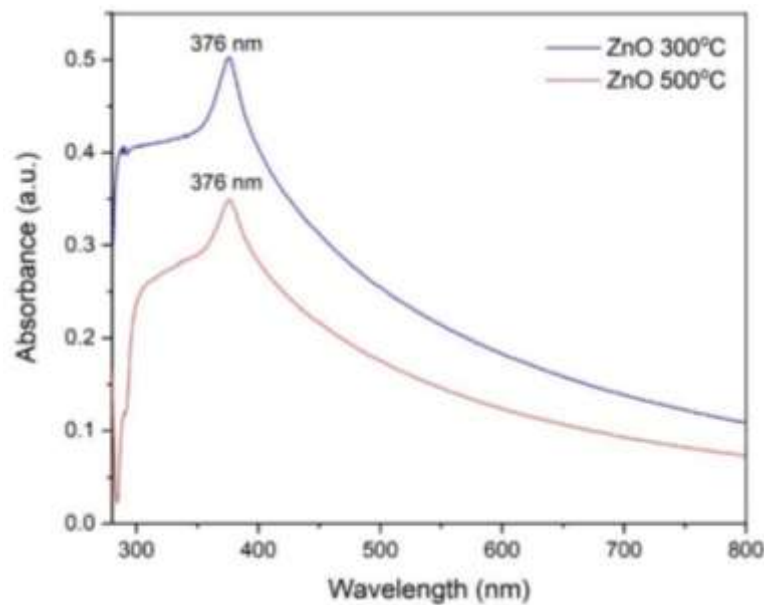


Figure 7 UV-vis spectrum of ZnO at various calcination temperatures

ประสิทธิภาพการยับยั้งเชื้อรา

ผลทดสอบประสิทธิภาพการยับยั้งการเจริญเติบโตของเส้นใยเชื้อรา *Pseudoperonospora cubensis* ในเมล่อนระยะเวลาในการทดลอง 4 วัน ด้วยนาโนซิงค์ออกไซด์แคลไซน์ที่อุณหภูมิ 300 และ 500 องศาเซลเซียส และสารสกัดหยาบของกระเทียม ข่า ขมิ้นชัน กระชายในอาหารเลี้ยงเชื้อ PDA ให้ความเข้มข้น 1,000 ไมโครกรัมต่อมิลลิตร เทียบกับชุดควบคุม (ไม่ผสมนาโนซิงค์ออกไซด์และสมุนไพร)

Table 2. Percentage inhibition of *Pseudoperonospora cubensis* by zinc oxide nanoparticles and herbal extracts at 1,000 µg/mL concentration

Treatment	Mean colony diameter (cm)	Fungal inhibition (%)
Control	7.45 ± 0.16 ^f	-
ZnO 300	2.75 ± 0.05 ^a	63.09 ± 0.18 ^a
ZnO 500	3.00 ± 0.08 ^b	59.73 ± 1.40 ^a
Garlic	5.45 ± 0.07 ^d	26.85 ± 2.46 ^c
Galangal	6.48 ± 0.15 ^e	13.02 ± 3.80 ^d
Turmeric	5.50 ± 0.01 ^d	26.17 ± 1.42 ^c
Fingerroot	3.31 ± 0.09 ^c	55.57 ± 2.11 ^b

Note: Control treatment exhibited no fungal inhibition.

Letters a-f denote significant differences within columns at $p \leq 0.05$ level

จากการทดลองแสดงประสิทธิภาพการยับยั้งเชื้อรา *Pseudoperonospora cubensis* ของนาโนซิงค์ออกไซด์แคลไซน์ที่อุณหภูมิ 300 และ 500 องศาเซลเซียส และสารสกัดกระเทียม ข่า ขมิ้นชัน กระชาย ที่ระดับความเข้มข้น 1000 ไมโครกรัมต่อมิลลิตร (Table 2) พบว่า ค่าเฉลี่ยเส้นผ่านศูนย์กลางของโคโลนีเชื้อรามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) โดยนาโนซิงค์ออกไซด์แคลไซน์ที่อุณหภูมิ 300 องศาเซลเซียส มีค่าเฉลี่ยเส้นผ่านศูนย์กลางของโคโลนีเชื้อรำน้อยที่สุด ซึ่งสอดคล้องกับผลการวิเคราะห์ประสิทธิภาพการยับยั้งเชื้อรามากที่สุด โดยมีเปอร์เซ็นต์การยับยั้งเชื้อราเท่ากับ

63.09±0.18 รองลงมาคือ ชิงค้อออกไซด์แคลไซน์ที่อุณหภูมิ 500 องศาเซลเซียส และสารสกัดกระชาย สำหรับสารสกัดขมิ้นชัน และกระเทียมแสดงค่าเฉลี่ยเส้นผ่านศูนย์กลางของโคโลนีเชื้อราไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) และสารสกัดข่ามีประสิทธิภาพการยับยั้งเชื้อราน้อยที่สุด เมื่อเปรียบเทียบกับสารสกัดสมุนไพรอื่น ๆ โดยนาโนชิงค้อออกไซด์แคลไซน์ที่อุณหภูมิ 300 องศาเซลเซียส มีขนาดเพลดเล็กที่สุดและมีพื้นที่ผิวจำเพาะมากทำให้มีประสิทธิภาพการยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อราได้ดี และส่งผลให้สัดส่วนของจำนวนอะตอมที่อยู่บริเวณพื้นผิว (Surface) และผิวสัมผัส (Interfaces) ของอนุภาคมากขึ้น ซึ่งบริเวณผิวสัมผัสของวัสดุจะส่งผลต่อปฏิกิริยาให้เกิดขึ้นอย่างรวดเร็วและยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อเพิ่มขึ้น (Arciniegas-Grijalba et al., 2017) นอกจากนี้พบว่า นาโนชิงค้อออกไซด์ที่สังเคราะห์ได้มีประสิทธิภาพการยับยั้งเชื้อราสูงกว่าผลการใช้นาโนชิงค้อออกไซด์แคลไซน์ที่อุณหภูมิ 700 องศาเซลเซียส ผสมในอาหารเลี้ยงเชื้อ PDA ที่ความเข้มข้น 4,000 ไมโครกรัมต่อมิลลิกรัม ซึ่งมีเปอร์เซ็นต์การยับยั้งเชื้อราเท่ากับ 41.26 (Somrit et al., 2023) โดยงานวิจัยของ Patitungkho & Patitungkho (2014) รายงานว่า กลไกการออกฤทธิ์ของอนุภาคนาโนเกิดจากการเข้าขัดขวางการสร้างเซลล์และกระบวนการทำงานของเอนไซม์ที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการหายใจผลทำให้เซลล์ตายไปในที่สุด นอกจากนี้ยังมีรายงานอนุภาคชิงค้อออกไซด์ที่มีโครงสร้างนาโนสามารถดูดซับบนผนังเซลล์ของเชื้อรา แล้วแทรกผ่านเข้าสู่เซลล์ เมื่อสัมผัสกับไซโตพลาสซึมอาจส่งผลกระทบต่อการทำงานของไมโทคอนเดรีย ซึ่งส่งผลโดยตรงต่อการผลิต Reactive oxygen species (ROS) โดย ROS และ Zn^{2+} ที่ปลดปล่อยออกมาจากอนุภาคนาโนชิงค้อออกไซด์อาจก่อให้เกิดการเปลี่ยนแปลงในระดับการแสดงออกของยีนที่สำคัญบางตัว (Sakayaroj et al., 2022) จากผลการทดสอบชี้ให้เห็นว่านาโนชิงค้อออกไซด์ที่สังเคราะห์ด้วยวิธีโซลเจลสามารถต้านเชื้อราสาเหตุโรคราน้ำค้างได้ โดยสารสกัดหยาดจากกระชายมีประสิทธิภาพการยับยั้งเชื้อรามากที่สุด รองลงมาเป็นสารสกัดหยาดจากกระเทียม ขมิ้นชัน ข่า โดยมีเปอร์เซ็นต์การยับยั้งเท่ากับ 55.57 26.85 26.17 และ 13.02 ตามลำดับ Sehawong et al. (2022) พบว่า สารสกัดจากกระชายมีประสิทธิภาพการยับยั้งการเจริญของเส้นใยเชื้อรา *Colletotrichum gloeosporioides* ที่เป็นสาเหตุของโรคหอยในหอมแดงสูงสุดเมื่อเปรียบเทียบกับสารสกัดจากกระเทียม ข่า ขมิ้น และตะไคร้ (Farungsang et al., 2005) นอกจากนี้พบว่า สารสกัดหยาดจากกระชายที่สกัดได้ผสมในอาหารเลี้ยงเชื้อ PDA ที่ความเข้มข้น 1,000 ไมโครกรัมต่อมิลลิกรัม มีประสิทธิภาพการยับยั้งเชื้อราสูงกว่าผลการใช้สารสกัดหยาดจากขิง และไหลผสมในอาหารเลี้ยงเชื้อ PDA ที่ความเข้มข้น 4,000 ไมโครกรัมต่อมิลลิกรัม ซึ่งมีเปอร์เซ็นต์การยับยั้งเชื้อราเท่ากับ 29.93 และ 44.61 ตามลำดับ และสารสกัดหยาดจากกระชายที่สกัดได้มีประสิทธิภาพการยับยั้งเชื้อราใกล้เคียงกับการใช้สารสกัดหยาดจากข่าที่ผสมในอาหารเลี้ยงเชื้อ PDA ที่ความเข้มข้น 4,000 ไมโครกรัมต่อมิลลิกรัม ซึ่งมีเปอร์เซ็นต์การยับยั้งเชื้อราเท่ากับ 55.58 (Somrit et al., 2023)

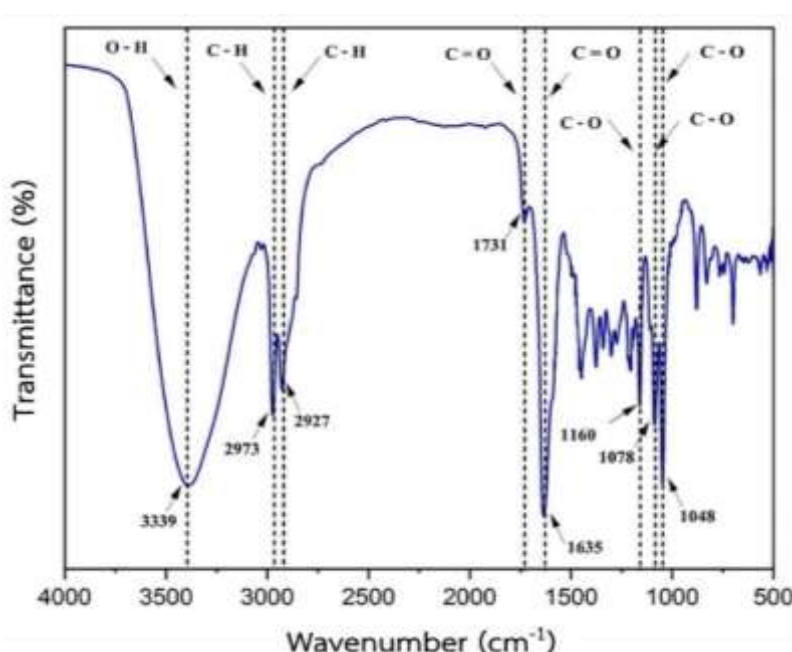


Figure 8 FTIR spectra of fingerroot extract

เมื่อวิเคราะห์หมู่ฟังก์ชันของสารสำคัญในกระชายด้วยเทคนิคฟูเรียร์ทรานส์ฟอร์มอินฟราเรดสเปกโตรสโคปี (FTIR) ที่ช่วงเลขคลื่น 4000-500 ต่อเซนติเมตร (Figure 8) พบตำแหน่งของการสั่นของหมู่ฟังก์ชันไฮดรอกซิล (O-H) ที่เลขคลื่น 3339 ต่อเซนติเมตร (Sarvalkar et al., 2024) ที่เลขคลื่น 2973 และ 2927 ต่อเซนติเมตร แสดงการสั่นของพันธะ C-H เลขคลื่น 1731 ต่อเซนติเมตร แสดงถึงการสั่นของพันธะ C=O เลขคลื่น 1635 ต่อเซนติเมตร พบการสั่นของพันธะ C=C และเลขคลื่นในช่วง 1200-1000 ต่อเซนติเมตร เป็นการสั่นของพันธะ C-O (Kantong et al., 2022) เลขคลื่น 626 ต่อเซนติเมตร มีความสอดคล้องกับวงแหวนอะโรมาติก ช่วงเลขคลื่น 890-810 ต่อเซนติเมตร เป็นช่วงการสั่นของหมู่ฟังก์ชัน CH ในวงแหวนอะโรมาติก และเลขคลื่น 1460 ต่อเซนติเมตร สอดคล้องกับสารกลุ่มฟลาโวนอยด์ (Flavonoids) (Machana et al., 2019) นอกจากนี้ยังมีงานวิจัยที่แสดงให้เห็นว่าสารสกัดกระชายเป็นสารกลุ่มฟลาโวนอยด์ (Boonnaum et al., 2021) โดยฟลาโวนอยด์เป็นสารประกอบชีวภาพที่ออกฤทธิ์ต่อต้านเชื้อรา (Ali et al., 2022)

ทดสอบประสิทธิภาพการยับยั้งเชื้อราด้วยการนํานาโนซิงค์ออกไซด์เคลือบไซท์ที่อุณหภูมิ 300 องศาเซลเซียส ผสมสารสกัดหยาดสมุนไพรที่มีประสิทธิภาพการยับยั้งสูงสุด คือ กระชาย ที่อัตราส่วน 1:1 1:3 1:5 และ 1:7 โดยน้ำหนัก ที่ความเข้มข้นต่าง ๆ

Table 3 Fungal growth on PDA in control and treatment groups

Treatment	Fungal growth	Treatment	Fungal growth
Control		Fingerroot 1,000 ppm	
ZnO 300 1,000 ppm		ZnO+ Fingerroot (1:1) 1,000 ppm	
ZnO 500 1,000 ppm		ZnO+ Fingerroot (1:3) 1,000 ppm	
Garlic 1,000 ppm		ZnO+ Fingerroot (1:5) 3,000 ppm	

Table 3 Fungal growth on PDA in control and treatment groups

Treatment	Fungal growth	Treatment	Fungal growth
Galangal 1,000 ppm		ZnO+ Fingerroot (1:7) 3,000 ppm	
Turmeric 1,000 ppm		ZnO+ Fingerroot (1:7) 30,000 ppm	

Table 4 Inhibition efficacy of ZnO (300°C) and fingerroot extract against *Pseudoperonospora cubensis* at various ratios and concentrations

ZnO: Fingerroot ratio	Concentration of ZnO- Fingerroot mixture (µg/mL)	Mean colony diameter (cm)	Fungal inhibition (%)
1:1	1,000	2.32 ± 0.04 ^d	68.86 ± 0.89 ^d
1:3		2.08 ± 0.20 ^c	72.08 ± 2.73 ^c
1:5		1.36 ± 0.08 ^b	81.74 ± 1.12 ^b
1:7	3,000	1.33 ± 0.10 ^b	82.15 ± 1.53 ^b
1:7	30,000	0.79 ± 0.14 ^a	89.40 ± 1.94 ^a

Note: Letters a-e denote significant differences within columns at $p \leq 0.05$ level

จากการทดลองแสดงประสิทธิภาพการยับยั้งเชื้อรา *Pseudoperonospora cubensis* ของนาโนซิงค์ออกไซด์แคลไซน์ ที่อุณหภูมิ 300 องศาเซลเซียส ร่วมกับสารสกัดจากกระชาย ที่อัตราส่วนและระดับความเข้มข้นต่าง ๆ (Table 3-4) พบว่า ค่าเฉลี่ยเส้นผ่านศูนย์กลางของโคโลนีเชื้อรามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) โดยซิงค์ออกไซด์แคลไซน์ ที่อุณหภูมิ 300 องศาเซลเซียส ร่วมกับสารสกัดจากกระชาย อัตราส่วน 1:7 ที่ความเข้มข้น 30,000 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร มีค่าเฉลี่ยเส้นผ่านศูนย์กลางของโคโลนีเชื้อราน้อยที่สุด ซึ่งสอดคล้องกับผลการวิเคราะห์ประสิทธิภาพการยับยั้งเชื้อรามากที่สุด โดยมีเปอร์เซ็นต์การยับยั้งเชื้อราเท่ากับ 89.40 ± 1.94 สำหรับอัตราส่วน 1:5 และ 1:7 ความเข้มข้น 3,000 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร แสดงค่าเฉลี่ยเส้นผ่านศูนย์กลางของโคโลนีเชื้อราไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) รองลงมาคือ อัตราส่วน 1:3 และอัตราส่วน 1:1 ที่ความเข้มข้น 1,000 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร มีค่าเฉลี่ยเส้นผ่านศูนย์กลางของโคโลนีเชื้อราสอดคล้องกับเปอร์เซ็นต์ในการยับยั้งเชื้อราเท่ากับ 72.08 ± 2.73 และ 68.86 ± 0.89 ตามลำดับ จากผลการทดลองพบว่า อัตราส่วน 1:5 และ 1:7 ความเข้มข้น 3,000 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร แสดงค่าเฉลี่ยเส้นผ่านศูนย์กลางของโคโลนีเชื้อราและเปอร์เซ็นต์การยับยั้งเชื้อราไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) ดังนั้นการเลือกใช้อัตราส่วนที่เหมาะสมคือ 1:5 ความเข้มข้น 3,000 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร เนื่องจากการเพิ่มขึ้นของอัตราส่วนนาโนซิงค์ออกไซด์แคลไซน์ ที่อุณหภูมิ 300 องศาเซลเซียส ร่วมกับสารสกัดจากกระชายไม่ส่งผลต่อค่าเฉลี่ยเส้นผ่านศูนย์กลางของโคโลนีเชื้อราและเปอร์เซ็นต์การยับยั้งเชื้อรา

บทสรุป

การสังเคราะห์และศึกษาฤทธิ์การยับยั้งเชื้อรา *Pseudoperonospora cubensis* สาเหตุโรคน้ำค้างในเมล่อน โดยใช้ นาโนซิงค์ออกไซด์อนุภาคนาโน 300 และ 500 อนุภาคเซลล์ และสารสกัดหยาบสมุนไพร 4 ชนิด คือ กระเทียม ข่า ขมิ้นชัน และกระชาย พบว่า ซิงค์ออกไซด์อนุภาคนาโน 300 อนุภาคเซลล์ มีประสิทธิภาพการยับยั้งเชื้อรา *Pseudoperonospora cubensis* มากที่สุด โดยมีเปอร์เซ็นต์การยับยั้งเชื้อราเท่ากับ 63.09 ± 0.18 และสารสกัดจากกระชาย ที่มีสารสำคัญทางพฤกษศาสตร์สามารถควบคุมการเจริญของเส้นใยเชื้อรา *Pseudoperonospora cubensis* ได้ดีเมื่อเทียบกับสมุนไพรชนิดอื่น มีเปอร์เซ็นต์การยับยั้งเชื้อราเท่ากับ 55.57 ± 2.11 โดยนาโนซิงค์ออกไซด์อนุภาคนาโน 300 อนุภาคเซลล์ ร่วมกับสารสกัดจากกระชายอัตราส่วน 1:5 และ 1:7 ความเข้มข้น 3,000 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร แสดงค่าเฉลี่ยเส้นผ่านศูนย์กลางของโคโลนีเชื้อราและเปอร์เซ็นต์การยับยั้งเชื้อราไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) ดังนั้นการเลือกใช้อัตราส่วนที่เหมาะสมคือ 1:5 ที่ความเข้มข้น 3,000 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร เนื่องจากการเพิ่มขึ้นของอัตราส่วนนาโนซิงค์ออกไซด์อนุภาคนาโน 300 อนุภาคเซลล์ ร่วมกับสารสกัดจากกระชายไม่ส่งผลต่อค่าเฉลี่ยเส้นผ่านศูนย์กลางของโคโลนีเชื้อราและเปอร์เซ็นต์การยับยั้งเชื้อรา

เอกสารอ้างอิง

- Ahmad, W. & Kalra, D. (2020). Green synthesis, characterization and antimicrobial activities of ZnO nanoparticles using *Euphorbia hirta* leaf extract. *Journal of King Saud University-Science*, 32, 2358-2364. <https://doi.org/10.1016/j.jksus.2020.03.014>
- Ali, M., Wang, X., Haroon, U., Chaudhary, H. J., Kamal, A., Ali, Q., Saleem, M. H., Usman K., Alatawi, A., Ali, S. & Munis, M. F. H. (2022). Antifungal activity of zinc nitrate derived nano ZnO fungicide synthesized from *Trachyspermum ammi* to control fruit rot disease of grapefruit. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 233, 113311. <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2022.113311>
- Arciniegas-Grijalba, P. A., Patiño-Portela, M. C. & Rodríguez-Páez, J. (2017). ZnO nanoparticles (ZnO-NPs) and their antifungal activity against coffee fungus *Erythricium salmonicolor*. *Appl Nanosci*, 7, 225-241. <https://doi.org/10.1007/s13204-017-0561-3>
- Asmat-Campos, D., Rojas-Jaimes, J., Simbrón de la Cruz, M. & Montes de Oca-Vásquez, G. (2024). Enhanced antimicrobial efficacy of biogenic ZnO nanoparticles through UV-B activation: A novel approach for textile garment. *Heliyon*, 10, e25580. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e25580>
- Bashir, S., Awan, M. S., Farrukh, M. A., Naidu, R., Khan S. A., Rafique, N., Ali, S., Hayat, I., Hussain, I. & Khan, M. Z. (2022). In-vivo (Albino Mice) and in-vitro assimilation and toxicity of zinc oxide nanoparticles in food materials. *International Journal of Nanomedicine*, 17, 4073-4085. <https://doi.org/10.2147/IJN.S372343>
- Boonnam, P., Kabae, N., Hayeemasalaeh, R., Marde, W., Suwannarat, P., & Noipha, K. (2021). Phytochemical study, total phenolic, and antioxidant activity of *Boesenbergia pandurata* Holtt extract for the development of paper hand soap. *Research and Development Health System Journal*, 14(3), 152-165. <https://he02.tci-thaijo.org/index.php/RDHSJ/article/view/253362> (In Thai)
- Chuenchan, W., Yooboriboon, S., & Boonsong, S. (2022). Efficiency of Herbal Crude Extracts to Against *Phytophthora parasitica*. *Journal of BSRU-Research and Development Institute*, 7(1), 243-252. (In Thai)

- De Peres, M. L., Delucis, R. A., Amico, S. C. & Gatto, D. A. (2019). Zinc oxide nanoparticles from microwave-assisted solvothermal process: Photocatalytic performance and use for wood protection against xylophagous fungus. *Nanomaterials and Nanotechnology*, 9, 1-8.
<https://doi.org/10.1177/1847980419876201>
- Farungsang, N., Jamkratoke, S., Rattanakreetakul, C., Farungsang, U., & Leksomboon, C. (2005, October). *Effects of fingerroot, ginger and tumeric extracts unfavourable for plant pathogenic fungi* [Paper presentation]. Thai biodiversity conference: Everything is interconnected, Nakhon Ratchasima, Thailand. (In Thai)
- Hasany, S. F., Hussain, S., Usman, Ali S. M., Abdul-Kadhim, W. & Amir, M. (2020). ZnO nanostructures: comparative synthetic and characterization studies. *Micro & Nano Letters*, 15(14), 972–976.
<https://doi.org/10.1049/mnl.2019.0795>
- Kantong, P., Kome-ngam, M., & Rungrojchaipon, P. (2022). Catalytic Study of Calcium Silicate from Duck Eggshell for the Synthesis of Glycerol Carbonate from Glycerol and Urea. *Journal of Science Ladkrabang*, 31(1), 1–16. https://li01.tci-thaijo.org/index.php/science_kmitl/article/view/245502 (In Thai)
- Kenyota, N., & Laokul, P. (2019). Preparation of zinc oxide hollow spheres and their application as photoanode in dye sensitized solar cell. *Burapha Science Journal*, 24(3), 913-928.
https://science.buu.ac.th/ojs246_old/index.php/sci/article/view/2631 (In Thai)
- Kumlong, S. & Kumpun, N. (2017). Inhibition of fungal growth on rubber sheet by herbal extracts. *RMUTL Journal Science and Technology*, 10(2), 107–118. <https://ph01.tci-thaijo.org/index.php/rmutijo/article/view/96533> (In Thai)
- Machana, S., Thammanu, K., Weerapol, Y., Kunajet, S., Vongsak, B., & Pattaranich, C. (2019). *Investigation of physical and chemical characteristics of stingless bee honey in different locations and product development*. Burapha University. <http://dspace.lib.buu.ac.th/xmlui/handle/1234567890/3707>
- Mekkamol, S., Wichittrakulthavorn, K., & Suwanpornskul, R. (2016). Effects of potassium silicate in controlling powdery mildew and downy mildew of Japanese cucumber under plastic house and farmer's field conditions. *Journal of Agricultural Research and Communications*, 32(1), 51-59.
<https://li01.tci-thaijo.org/index.php/joacmu/article/view/245584> (In Thai)
- Nasiri, S., Rabiei, M., Palevicius, A., Janusas, G., Vilkauskas, A., Nutalapati, V. & Monshi, A. (2023). Modified Scherrer equation to calculate crystal size by XRD with high accuracy, examples Fe₂O₃, TiO₂ and V₂O₅. *Nano Trends*, 3, 100015. <https://doi.org/10.1016/j.nwnano.2023.100015>
- Navas, D., Ibañez, A., González, I., Palma J. L. & Dreyse, P. (2020). Controlled dispersion of ZnO nanoparticles produced by basic precipitation in solvothermal processes. *Heliyon*, 6, 1-9.
<https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2020.e05821>
- Patitungkho, S. & Patitungkho, K. (2014). Synthesis and Biological Investigation of Nano-Organic and Nano-Organometallic Agents. *KKU Science Journal*, 42(3), 612-623. <https://search.asean-cites.org/article.html? b3BlbkFydGljbGUmaWQ9MTQyMzY2> (In Thai)

- Sakayaroj, S., Rugthaworn, P., Sukatta, U., Klinsuknon, K., Khacharat, L., Presunthian, N., & Thongkum, T. (2022, February 21-23). *The efficacy of green synthesized ZnO nanoparticles from Litchi peel on the growth of fungi causing postharvest decay of fruit* [Paper presentation]. Proceedings of 60th Kasetsart University Annual Conference: Science, Engineering and Architecture, Agro-Industry, Natural Resources and Environment, Pathum Thani, Thailand. (In Thai)
- Sangchay, W. & Ubolchollakhat, K. (2016). Photocatalytic and antibacterial activity of ZnO powders prepared via sol-gel method. *KKU Engineering Journal*, 43(1), 21-25.
<https://doi.org/10.14456/kkuenj.2016.4>
- Sarvarkar, P. D., Kamble, S. S., Powar, P. S., Kakade, S. S., Jamadar, A. S., Thounaojam, P., Patil, M. S., Kalake, S. V., Nimbalkar, M. S. & Sharma, K. K. K. (2024). Synthesized rGO/f-MWCNT-architected 1-D ZnO nanocomposites for azo dyes adsorption, photocatalytic degradation, and biological applications. *Catalysis Communications*, 187, 106846. <https://doi.org/10.1016/j.catcom.2024.106846>
- Sehawong, W., Subepang, S., & Aroonluk, S. (2022). The efficacy of herbal extract to control onion twister disease caused by *Colletotrichum gloeosporioides* fungal pathogen. *YRU Journal of Science and Technology*, 7(2), 35–42. <https://li01.tci-thaijo.org/index.php/yrj/article/view/252261/174063>
- Somrit, R., Koonnasoot, W., Phonkhokkong, T., Tiemtree, P., Somame, S., & Saibut, S. (2023). Effect of calcination temperature on physicochemical properties and antifungal activity of nano-zinc oxide prepared by sol-gel method. *Journal of Science and Technology, Ubon Ratchathani University*, 25(1). 72-80. https://li01.tci-thaijo.org/index.php/sci_ubu/article/view/256020 (In Thai)
- Sutthisa, W., Tapkhumram, P., Kanchanarat, W., & Arimastu, P. (2014). Efficiency of Thai medicinal plant extract to control *Colletotrichum* sp., a causal agent of mango anthracnose. *Khon Kaen Agricultural Journal.*, 42(1), 665–670. <https://so06.tci-thaijo.org/index.php/rdibsr/article/view/255753> (In Thai)
- Thamsatit, W., Sukonthamut, S., & Thanaboripat, D. (2023). Screening of effective herbs for controlling *Phytophthora* sp. isolated from durian in Chanthaburi Province and Chumphon Province. *Journal of Science Ladkrabang*, 26(2), 1–14. https://li01.tci-thaijo.org/index.php/science_kmit/article/view/107556/85111 (In Thai)
- Wonglom, P., Daengsuwan, W., & Sanpapao, A. (2020). Occurrence and disease incidence of muskmelon diseases cultivated in polyhouse system in southern Thailand. *Khon Kaen Agricultural Journal.*, 48(1), 1165-1172. https://agkb.lib.ku.ac.th/kku/search_detail/result/401863 (In Thai)

Received: March 13, 2025; Revised: March 24, 2025; Accepted: May 20, 2025

การใช้ปุ๋ยยูเรียเคลือบด้วยยางธรรมชาติร่วมกับแป้งข้าวเจ้าต่อการเจริญเติบโตของผักบุ้ง
Application of coating urea fertilizer by natural rubber with rice flour
on the *Ipomoea aquatica* growth

สิริวิมล ขุนภักดี¹ ณรงค์ เชื่องชยะพันธ์¹ วรณรัตน์ เชื่องชยะพันธ์¹ และสุรพล ฐิตธนากุล^{2*}
Siriwimon Kunphakdee¹, Narong Chueangchayaphan¹, Wannarat Chueangchayaphan¹
and Suraphon Thitithanakul^{2*}

¹คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขตสุราษฎร์ธานี จังหวัดสุราษฎร์ธานี

¹Faculty of Science Industrial Technology, Prince of Songkla University, Surat Thani Campus, Surat Thani Province

²คณะนวัตกรรมเกษตร ประมง และอาหาร มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขตสุราษฎร์ธานี จังหวัดสุราษฎร์ธานี

²Faculty of Innovative Agriculture, Fisheries and Food, Prince of Songkla University, Surat Thani Campus, Surat Thani Province

*Corresponding Author E-mail Address : suraphon.t@psu.ac.th

บทคัดย่อ

ปุ๋ยยูเรียมีองค์ประกอบของไนโตรเจนสูงแต่สูญเสียไปกับการชะล้างของน้ำ และการระเหิดได้ง่าย ดังนั้นเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพและลดการสูญเสียปุ๋ยยูเรีย การทดลองนี้ได้ทำการเคลือบปุ๋ยยูเรียโดยการนำยางธรรมชาติ (Natural Rubber; NR) กราฟต์โคพอลิเมอร์ร่วมกับแป้งข้าวเจ้า (Rice Flour; RF) ในอัตราส่วน NR:RF [100:0] [90:10] [70:30] และ [50:50] ให้เป็นปุ๋ยละลายช้าและนำไปทดสอบปลูกผักบุ้งจีน วางแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ จำนวน 5 ซ้ำ ซ้ำละ 1 แปลง ขนาดแปลง 1.2x2 ตารางเมตร และให้ปุ๋ย 7 วิธี ได้แก่ วิธีที่ 1 ไม่มีการให้ปุ๋ยยูเรีย วิธีที่ 2 ใส่ปุ๋ยยูเรียน้ำหนัก 30 กรัมต่อแปลง หลังจากปลูก 7 วัน วิธีที่ 3 แบ่งใส่ปุ๋ยยูเรีย 2 ครั้ง ครั้งละ 15 กรัมต่อแปลง หลังจากปลูก 7 และ 17 วัน วิธีที่ 4 5 6 และ 7 ใส่ปุ๋ยยูเรียเคลือบสูตร [100:0] [90:10] [70:30] และ [50:50] น้ำหนัก 30 กรัมต่อแปลง ตามลำดับ หลังจากปลูก 7 วัน พบว่าการเคลือบปุ๋ยยูเรียด้วยน้ำยางธรรมชาติร่วมกับแป้งข้าวเจ้าที่อัตรา [50:50] เป็นสัดส่วนที่เคลือบเม็ดปุ๋ยได้อย่างมีประสิทธิภาพ ไม่มีปัญหาเหนียวติดของเม็ดปุ๋ยหลังการเคลือบ ทำให้ไม่เกิดรูรั่วหรือช่องว่างที่ผิวเคลือบเม็ดปุ๋ย ส่งผลให้มีการปลดปล่อยปุ๋ยยูเรียช้าที่สุดเมื่อทดสอบนำไปแช่น้ำ การใช้ปุ๋ยยูเรียเคลือบทุกสูตรปลูกผักบุ้ง ทำให้ต้นผักบุ้งมีการเจริญเติบโตที่ไม่แตกต่างจากการแบ่งใส่ปุ๋ย 15 กรัม สองครั้ง โดยเฉพาะปุ๋ยยูเรียเคลือบสูตร [50:50] ทำให้ผักบุ้งมีการเจริญเติบโตและน้ำหนักสดส่วนเหนือดินสูงที่สุดและลดการสูญเสียธาตุไนโตรเจนจากดิน

คำสำคัญ: ไนโตรเจน ปุ๋ยยูเรีย ผักบุ้ง ปุ๋ยละลายช้า กราฟต์โคพอลิเมอร์

Abstract

Urea fertilizer is widely used for cropping due to its high nitrogen content. However, it is easy to lost to environment through water leaching and sublimation processes. Therefore, this study explored slow-release urea fertilizer by coating with natural rubber (NR) grafted copolymer with rice flour (RF) in various proportions. The proportions of natural rubber (NR) and rice flour (RF) were [100:0], [90:10], [70:30] and

[50:50]. Release profile of the coated urea was tested on Chinese water spinach (*Ipomoea aquatica*) cropping. Complete random design (CBD) was adopted for the experiment with 5 replicates of 1.2 x 2 m² plot per treatment. Seven treatments were investigated for fertilizer application: Treatment 1: Control (No urea application), Treatment 2: Urea 30 (applying 30 g/plot after 7 days of planting), Treatment 3: Urea 15+15 (applying urea 2 times, 15 g each after 7 and 17 days of planting) and Treatment 4 to Treatment 7, the plots were applied with [100:0], [90:10], [70:30], and [50:50] coated urea, 30 g each after 7 days of planting, respectively. Efficacy of the coating and the resistance to urea release showed that the [50:50] coated urea was well-formed, with no stickiness, surface holes, or gaps, resulting in the slowest release during water soaking. There was no difference in growth indicators for plant which was applied with either Urea 15+15 or coated urea fertilizer. However, the finding in plant applied with the coated [50:50] urea suggested that coated urea could provide the best yields (highest height and above-ground fresh weight) and be able to decrease N loss in soil.

Keywords: Nitrogen, Urea fertilizer, Chinese water spinach, Slow-release fertilizer, Grafted copolymer

บทนำ

ธาตุไนโตรเจนเป็นปัจจัยพื้นฐานที่มีความสำคัญต่อการเจริญเติบโตของพืช ส่งเสริมให้พืชมีการเจริญเติบโตอย่างรวดเร็ว ในปี พ.ศ. 2557-2561 การใช้ปุ๋ยไนโตรเจนมีสัดส่วนสูงถึง 60 เปอร์เซ็นต์ โดยเฉพาะ ปุ๋ยยูเรีย และปุ๋ยแอมโมเนียมซัลเฟต เนื่องจากใช้ได้กับพืชทุกชนิดทั้งนาข้าว พืชไร่ ไม้ผล รวมทั้งพืชผักชนิดต่าง ๆ เช่น ผักกาดขาว ผักคะน้า และผักบุ้งจีนที่มีความต้องการธาตุไนโตรเจนสูง (Tanpaiboon, 2017) ปุ๋ยยูเรียสูตร 46-0-0 มีไนโตรเจนถึง 46 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก เป็นปุ๋ยที่มีสมบัติในการดูดความชื้นสูงทำให้ปุ๋ยละลายอย่างรวดเร็วพืชสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้ดีแต่ก็ทำให้ปุ๋ยยูเรียสูญเสียไปกับชะล้างเกิดการสูญเสียปุ๋ยไปโดยเปล่าประโยชน์ (Pringsphro & Kulnit, 2018) เกษตรกรสามารถลดการสูญเสียไนโตรเจนและเพิ่มประสิทธิภาพของการใช้ปุ๋ยยูเรียได้โดยการแบ่งใส่หลายครั้ง ให้ปุ๋ยแก่พืชในช่วงเวลาที่เหมาะสมหรือใช้ปุ๋ยละลายช้า (Slow-Release Fertilizers; SRF)

ปุ๋ยละลายช้ามีสมบัติการปลดปล่อยธาตุอาหารออกมาช้ากว่าปุ๋ยเคมีทั่วไป เนื่องจากมีสารเคลือบห่อหุ้มเม็ดปุ๋ยอยู่ด้านนอก โดยกระบวนการทำงานของปุ๋ยละลายช้าใช้วิธีการแพร่ผ่านของไอน้ำเข้าไปแทนที่ในช่องว่างของเม็ดปุ๋ยและดินเอาธาตุอาหารได้ชั้นผิวเคลือบออกมาผ่านทางช่องรูพรุนของชั้นผิวเคลือบ ดังนั้นวัสดุเคลือบผิว ต้องมีความสามารถในการรับน้ำและแพร่ผ่านไอน้ำเข้าไปได้เพื่อทำให้ปุ๋ยละลายและแพร่ผ่านธาตุอาหารออกไปยังพืชได้ ในอีกทางหนึ่งต้องมีความเหนียวเพื่อจะป้องกันการแตกของเปลือกวัสดุที่ใช้ ในปัจจุบันมีการศึกษาสารเคลือบผิวสำหรับห่อหุ้มเม็ดปุ๋ยยูเรีย เช่น สารกัมมะถัน พอลิไธรีน (Cho & Lee, 2002) พอลิแลคติกแอซิด (Chen et al., 2008) และพอลิอะคริลาไมด์ (Nakason et al., 2010) แต่วัสดุที่นำมาใช้เคลือบปุ๋ยเหล่านี้ พบว่า มีข้อเสียด้านความเปราะแตกหักง่าย และต้นทุนการผลิตยังคงสูงอยู่จึงได้มีการพัฒนานาเอพลาสติกชีวภาพที่ได้จากแป้ง (Tudorachi et al., 2000; Zhong et al. 2013; Wiriyasunthorn & Sriplang, 2015) มาเป็นวัสดุที่ใช้ในการเคลือบปุ๋ยละลายช้า แต่การใช้แป้งในการเคลือบห่อหุ้มเม็ดปุ๋ยเพียงอย่างเดียวประสิทธิภาพในการควบคุมการปลดปล่อยปุ๋ยไม่ดีพอ เนื่องจากฟิล์มแป้งที่ได้มีสมบัติความแข็งแรงต่ำ มีการบวมน้ำสูงทำให้เกิดการพองตัวและเสียรูปร่างเมื่อได้รับความชื้น ซึ่งเป็นอุปสรรคต่อการใช้งานจำเป็นต้องมีการพัฒนาและปรับปรุงข้อด้อยเพื่อให้มีสมบัติเทียบเท่าหรือใกล้เคียงกับพลาสติกทั่วไป (La-or & Asavapisit, 2008) ซึ่งยางธรรมชาติเป็นวัสดุที่หาได้ง่ายในพื้นที่ภาคใต้ (Natural Rubber; NR) และมีสมบัติความไม่ชอบน้ำ (Hydrophobic) มีความยืดหยุ่นสูง ทนทานต่อการฉีกขาด (Kongparakul, 2013) จากสมบัติเด่นดังกล่าวยางธรรมชาติจึงมีความเหมาะสมที่จะนำมาใช้ในการปรับปรุงคุณสมบัติพลาสติกชีวภาพที่ได้จากแป้งแต่ความเป็นขี้ที่แตกต่างกันส่งผลให้มีความเข้ากันได้ต่ำ เพื่อเพิ่มความเข้ากันได้จึงนำแป้งมาทำปฏิกิริยากาพดโคพอลิเมอร์ด้วยยางธรรมชาติโดยใช้โพแทสเซียมเปอร์ซัลเฟตเป็นตัวริเริ่มปฏิกิริยา (Riyajan et al. 2012) ทำให้ได้พอลิเมอร์ชีวภาพที่ได้มีส่วนประกอบทั้งที่ชอบน้ำ (Hydrophilic) และไม่ชอบน้ำ (Hydrophobic) รวมอยู่ด้วยกันจึงมีคุณสมบัติที่เหมาะสมในการนำมาใช้เป็นสารเคลือบเพื่อควบคุมการปลดปล่อยของปุ๋ยยูเรีย และผิวเคลือบสามารถย่อยสลายได้ตามธรรมชาติ ดังนั้นงานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพและลดการสูญเสียปุ๋ยยูเรียในการปลูกผักบุ้งโดยใช้ปุ๋ยยูเรียเคลือบด้วยยางธรรมชาติร่วมกับแป้งข้าวเจ้า

วัสดุ อุปกรณ์ และวิธีการ

การเคลือบปุ๋ยเรียวด้วยน้ำยางธรรมชาติร่วมกับแป้งข้าวเจ้า

เตรียมสารเคลือบปุ๋ยเรียวด้วยน้ำยางธรรมชาติร่วมกับแป้งข้าวเจ้า 4 อัตราส่วน คือ ยาง:แป้งข้าวเจ้า (NR:RF) ในอัตราส่วน [100:0] [90:10] [70:30] และ [50:50] (Table 1) โดยการกวนแป้งข้าวเจ้าในน้ำกลั่นที่อุณหภูมิ 80 ± 5 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 20 นาที (จนกลายเป็นแป้งเปียก) หลังจากนั้นปรับลดอุณหภูมิเป็น 60 องศาเซลเซียส แล้วนำ 1% โพแทสเซียมเปอร์ซัลเฟต 8 มิลลิลิตร ใส่ลงไปกวนเป็นเวลา 45 นาที เมื่อครบเวลานำ 10% Terric ที่ผสมกับน้ำยางธรรมชาติ (ปริมาณ Terric แปรผันตามปริมาณน้ำยาง น้ำยาง 100 กรัม ใส่ Terric 20 มิลลิลิตร) ผสมรวมกับแป้งข้าวเจ้าและกวนเป็นเวลา 3 ชั่วโมง เมื่อครบเวลานำ NR:RF ใส่ในขวดสเปรย์ และชั่งปุ๋ยเรียว 100 กรัม ใส่ในตะแกรง แล้วฉีด NR:RF ลงบนเม็ดปุ๋ยเรียว 10 ครั้ง แล้วร่อน จากนั้นเป่าให้แห้งทำซ้ำอีก 9 ครั้ง

Table 1 Preparation of natural rubber grafted copolymer with rice flour

Ingredient	Proportions of natural rubber (NR) and rice flour (RF) (NR:RF)			
	100:0	90:10	70:30	50:50
60% Natural rubber (g)	100 (60)	90 (54)	70 (42)	50 (30)
Rice flour (g)	0	6	18	30
Water (ml)	0	24	72	120
10% Terric (ml)	20	18	14	10
1% KPS (ml)	8	8	8	8

การทดสอบปุ๋ยเรียวเคลือบด้วยน้ำยางธรรมชาติร่วมกับแป้งข้าวเจ้าในการปลูกผักบุ้ง

วางแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ (Completely Randomized Design; CRD) จำนวน 5 ซ้ำ ซ้ำละ 1 แปลง โดยมีขนาดแปลง 1.2x2 เมตร ให้ปุ๋ยเรียวประกอบด้วย 7 วิธี (Table 2) วิธีที่ 1 ไม่มีการให้ปุ๋ยเรียว (Control) วิธีที่ 2 ใส่ปุ๋ยเรียวน้ำหนัก 30 กรัมต่อแปลง หลังจากปลูก 7 วัน (Urea 30) วิธีที่ 3 แบ่งใส่ปุ๋ยเรียว 2 ครั้ง ครั้งละ 15 กรัมต่อแปลง หลังจากปลูก 7 และ 17 วัน (Urea 15+15) วิธีที่ 4 5 6 และ 7 ใส่ปุ๋ยเรียวเคลือบสูตร [100:0] [90:10] [70:30] และ [50:50] น้ำหนัก 30 กรัมต่อแปลง ตามลำดับ หลังจากปลูก 7 วัน

Table 2 Quantity of applied urea fertilizer and urea fertilizer coated with natural rubber grafted copolymer with rice flour for *Ipomoea aquatica* planting

Proportions of natural rubber and rice flour	Quantity of fertilizer (g)	
	7 days	17 days
Control (No urea application)	0	0
Urea 30	30	0
Urea 15+15	15	15
NR:RF [100:0]	30	0
NR:RF [90:10]	30	0
NR:RF [70:30]	30	0
NR:RF [50:50]	30	0

การบันทึกผลการทดลอง

การบันทึกลักษณะทางกายภาพของปุ๋ยยูเรียเคลือบ การละลายน้ำของปุ๋ยยูเรียเคลือบโดย ใช้น้ำกลั่น 50 มิลลิลิตรแล้วเติมปุ๋ยยูเรีย 10 กรัม จับเวลาจนกว่าปุ๋ยยูเรียจะละลายหมด หรือสังเกตจากสารเคลือบที่หุ้มปุ๋ยจะลอยขึ้นสู่ด้านบน บันทึกผลการเจริญเติบโตของผักบุ้งจีนเมื่ออายุ 15 และ 25 วันหลังปลูก ได้แก่ จำนวนใบ ความสูงของส่วนเหนือดิน และเส้นผ่านศูนย์กลางของลำต้นที่ระดับความสูงจากดิน 1 เซนติเมตร บันทึกข้อมูลน้ำหนักสดและน้ำหนักแห้งของส่วนเหนือดิน (ต้น และ ใบ) และราก โดยอบที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 72 ชั่วโมง และนำส่วนของพืชวิเคราะห์ปริมาณธาตุไนโตรเจนทั้งหมด (Kjeldahl method) เมื่อผักบุ้งจีนอายุ 25 วัน หลังปลูก วิเคราะห์ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดในดิน (Kjeldahl method) ก่อนและหลังปลูกผักบุ้งจีน 25 วัน

การวิเคราะห์ข้อมูล โดยวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติ (Analysis of Variance; ANOVA) และเปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างค่าเฉลี่ยของแต่ละทรีทเมนต์ โดยวิธี Duncan's new multiple range test ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 โดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูป SPSS Statistic (Version 23.0) แสดงผลในรูปค่าเฉลี่ย $\pm$ ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

ผลการวิจัย

จากภาพตัดขวางของปุ๋ยยูเรียที่ผ่านการเคลือบ (Figure 1) พบว่า ความหนาของเยื่อหุ้มปุ๋ยยูเรียที่ผ่านการเคลือบด้วยน้ำยางธรรมชาติร่วมกับแป้งข้าวเจ้าที่อัตราส่วน [100:0] [90:10] [70:30] และ [50:50] มีความหนาใกล้เคียงกันของเยื่อหุ้มที่ประมาณ 0.25 มิลลิเมตร การละลายของปุ๋ยยูเรียในน้ำ พบว่าปุ๋ยยูเรียที่เคลือบด้วยน้ำยางธรรมชาติร่วมกับแป้งข้าวเจ้าที่อัตราส่วน [50:50] ใช้ระยะเวลาในการละลายช้าที่สุด 14.922 ± 1.203 นาที รองลงมาคืออัตราส่วน [70:30] [90:10] [100:0] และยูเรียที่ไม่ได้ผ่านการเคลือบใช้ระยะเวลา 10.770 ± 1.157 10.236 ± 0.671 10.150 ± 0.335 และ 6.630 ± 0.612 นาทีตามลำดับ (Figure 2)

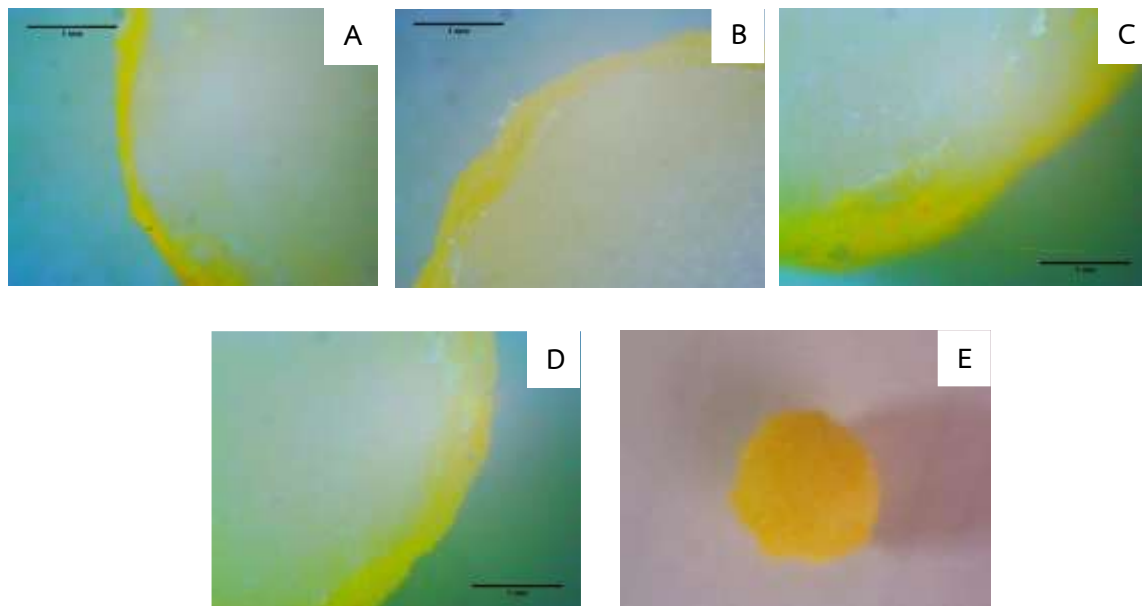


Figure 1 Cross-section of urea fertilizer coated with natural rubber grafted copolymer with rice flour at ratios of [100:0] (A), [90:10] (B), [70:30] (C), [50:50] (D) and coated urea granule (E)

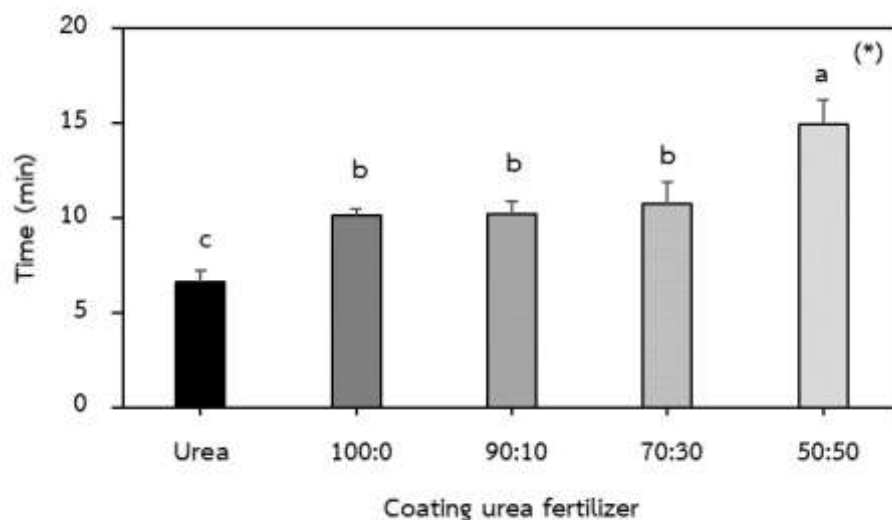


Figure 2 Dissolution time of urea fertilizer and urea fertilizer coated with natural rubber grafted copolymer with rice flour at ratios of [100:0], [90:10], [70:30] and [50:50]

การเจริญเติบโตของผักบุ้งจีนหลังจากปลูก 15 วัน จำนวนใบ ความสูง และเส้นผ่านศูนย์กลางของลำต้นไม่แตกต่างทางสถิติ ($p>0.05$) โดยมีค่าอยู่ระหว่าง 3-5 ใบ 21-24 เซนติเมตร และ 2-4 มิลลิเมตร ตามลำดับ (Table 3) หลังจากปลูกผักบุ้งจีน 25 วัน การเจริญเติบโตมีความแตกต่างทางสถิติ ($p<0.05$) ผักบุ้งจีนที่ได้รับปุ๋ยยูเรียทุกวิธีมีการเจริญเติบโตดีกว่าผักบุ้งจีนที่ไม่ได้รับปุ๋ยยูเรีย (Control) โดยเฉพาะผักบุ้งจีนที่ได้รับปุ๋ยยูเรียเคลือบ NR:RF [50:50] มีการเจริญเติบโตจำนวนใบ ความสูง และเส้นผ่านศูนย์กลางที่ดีกว่า ผักบุ้งจีนที่ได้รับปุ๋ยยูเรียครั้งเดียว (Urea 30) และ แบ่งปุ๋ยยูเรียใส่สองครั้ง (Urea 15+15) มีค่า 8 ใบ 50.58 เซนติเมตร และ 6.58 มิลลิเมตร ตามลำดับ (Table 3)

น้ำหนักสดและน้ำหนักแห้งของผักบุ้งจีน (Table 4) พบว่า ผักบุ้งจีนที่ใส่ปุ๋ยยูเรียทุกวิธีมีน้ำหนักสดและน้ำหนักแห้งส่วนเหนือดินมากกว่าผักบุ้งจีนที่ไม่ได้รับปุ๋ยยูเรีย ผักบุ้งจีนที่ได้รับปุ๋ยยูเรียเคลือบทุกวิธีทำให้น้ำหนักสดและน้ำหนักแห้งของผักบุ้งจีนส่วนเหนือดิน มีแนวโน้มมากกว่า ผักบุ้งจีนที่ได้รับปุ๋ยยูเรียครั้งเดียว (Urea 30) และ แบ่งปุ๋ยยูเรียสองครั้ง (Urea 15+15) โดยเฉพาะผักบุ้งที่ได้รับปุ๋ยยูเรียเคลือบ NR:RF [50:50] น้ำหนักสดและน้ำหนักแห้งของผักบุ้งจีนส่วนเหนือดินสูงสุด มีค่า 9.55 กรัม และ 0.87 กรัม ตามลำดับ แต่ในส่วนช่อดอกของน้ำหนักสดและน้ำหนักแห้งรากพบว่าไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ

Table 3 Growth of *Ipomoea aquatica* using urea fertilizer and urea fertilizer coated with natural rubber grafted copolymer with rice flour including number of leaves, plant height, and stem diameter at 15 and 25 days after planting

Proportions of natural rubber and rice flour	15 days			25 days		
	No. of leaves	Height (cm)	Stem diameter (mm)	No. of leaves	Height (cm)	Stem diameter (mm)
Control	4.94±0.69	23.07±3.25	3.48±0.37	7.48±0.37	41.15±3.55 ^b	4.69±0.24 ^b
Urea 30	4.90±0.33	21.23±2.66	2.97±0.53	7.76±1.22	44.18±5.27 ^{ab}	5.16±0.39 ^a
Urea 15+15	5.22±0.42	23.00±3.27	3.28±0.43	7.78±0.55	45.90±3.37 ^{ab}	5.24±0.23 ^a
NR:RF [100:0]	4.94±0.48	24.29±2.35	3.49±0.21	7.48±0.84	48.50±4.03 ^a	6.06±0.92 ^a
NR:RF [90:10]	4.94±0.42	22.36±1.87	2.96±0.52	8.42±0.66	47.10±4.03 ^{ab}	5.59±0.30 ^a
NR:RF [70:30]	5.38±0.31	23.08±2.10	3.43±0.20	7.92±0.53	48.52±3.52 ^a	5.37±0.40 ^a
NR:RF [50:50]	5.18±0.15	23.84±2.02	3.29±0.28	8.14±0.98	50.58±2.30 ^a	5.98±0.40 ^a
F-test	ns	ns	ns	ns	*	*

Note: Values are presented as mean±standard deviation (SD). Different lowercase letters within a column indicate statistically significant differences as determined by SPSS.

* Significant at the 0.05 probability level ($p < 0.05$); ns = not significant.

Table 4 Fresh and dry weight yield of the above-ground parts (stem and leaves) and roots of *Ipomoea aquatica* at 25 days after planting

Proportions of natural rubber and rice flour	Fresh weight (g)		Dry weight (g)	
	Above-ground part	Root	Above-ground part	Root
Control	5.98±0.88 ^b	1.21±0.33	0.58±0.08 ^b	0.17±0.05
Urea 30	7.23±1.62 ^{ab}	1.51±0.64	0.70±0.15 ^{ab}	0.18±0.07
Urea 15+15	7.62±1.41 ^{ab}	1.42±0.19	0.71±0.08 ^{ab}	0.18±0.02
NR:RF [100:0]	8.54±1.70 ^a	1.50±0.45	0.80±0.13 ^a	0.21±0.05
NR:RF [90:10]	8.77±1.51 ^a	1.66±0.39	0.81±0.09 ^a	0.21±0.06
NR:RF [70:30]	8.16±1.55 ^{ab}	1.43±0.37	0.79±0.13 ^a	0.21±0.07
NR:RF [50:50]	9.55±2.31 ^a	1.81±0.47	0.87±0.17 ^a	0.22±0.05
F-test	*	ns	*	ns

Note: Values are presented as mean±standard deviation (SD). Different lowercase letters within a column indicate statistically significant differences as determined by SPSS.

* Significant at the 0.05 probability level ($p < 0.05$); ns = not significant.

ความเข้มข้นของธาตุไนโตรเจนในส่วนเหนือดินและรากมีความแตกต่างทางสถิติ ($p < 0.05$) พบว่า ผักบั้งที่ใส่ปุ๋ยยูเรียทุกวิธีการทำให้ไนโตรเจนในส่วนเหนือดินและรากมีความเข้มข้นสูงกว่าต้นที่ไม่ได้ใส่ปุ๋ยยูเรีย โดยเฉพาะผักบั้งที่ได้รับปุ๋ยยูเรียเคลือบ NR:RF [50:50] มีความเข้มข้น ของธาตุไนโตรเจนส่วนเหนือดินสูงสุด 3.61 ± 0.08 เปอร์เซ็นต์ ขณะที่ความเข้มข้นของธาตุไนโตรเจนในส่วนรากของผักบั้งจีนที่แบ่งใส่ปุ๋ยยูเรียสองครั้ง (Urea 15+15) มีความเข้มข้นของธาตุไนโตรเจนส่วนรากสูงสุด 2.40 ± 0.28 เปอร์เซ็นต์ ไม่แตกต่างกับผักบั้งจีนที่ใส่ปุ๋ยยูเรียเคลือบ NR:RF [100: 0] NR:RF [90:10] และ NR:RF [50:50] (Table 5)

Table 5 Nitrogen content of the above-ground parts (stem and leaves) and roots of *Ipomoea aquatica* at 25 days after planting

Proportions of natural rubber and rice flour	Nitrogen content (%)	
	Above-ground part	Root
Control	2.56 ± 0.26^b	1.64 ± 0.24^c
Urea 30	3.46 ± 0.34^a	2.12 ± 0.07^b
Urea 15+15	3.47 ± 0.20^a	2.40 ± 0.28^a
NR:RF [100:0]	3.59 ± 0.26^a	2.20 ± 0.13^{ab}
NR:RF [90:10]	3.57 ± 0.27^a	2.19 ± 0.21^{ab}
NR:RF [70:30]	3.43 ± 0.07^a	2.10 ± 0.13^b
NR:RF [50:50]	3.61 ± 0.08^a	2.19 ± 0.17^{ab}
F-test	*	*

Note: Values are presented as mean $\pm$ standard deviation (SD). Different lowercase letters within a column indicate statistically significant differences as determined by SPSS.

* Significant at the 0.05 probability level ($p < 0.05$); ns = not significant.

ความเข้มข้นไนโตรเจนในดินก่อนเริ่มปลูกผักบั้งจีนและหลังการทดลอง พบว่า ดินในแต่ละแปลงก่อนเริ่มปลูกผักบั้งจีนมีไนโตรเจนไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($p > 0.05$) มีค่า $0.082 - 0.094$ เปอร์เซ็นต์ ความเข้มข้นไนโตรเจนในดินหลังการทดลองปลูกผักบั้งจีนมีไนโตรเจนแตกต่างกันทางสถิติ ($p < 0.05$) ดินที่ใส่ปุ๋ยยูเรียเคลือบ NR:RF [50:50] มีเปอร์เซ็นต์ไนโตรเจนคงเหลือในดินสูงสุด มีค่า 0.081 เปอร์เซ็นต์ และการใส่ปุ๋ยยูเรียเคลือบ NR:RF [100: 0] NR:RF [90:10] และ NR:RF [70:30] ดินมีไนโตรเจนคงเหลืออยู่ในดินหลังการทดลองไม่แตกต่างกับการแบ่งใส่ปุ๋ยยูเรียสองครั้ง (Urea 15+15) มีค่าระหว่าง $0.074 - 0.076$ เปอร์เซ็นต์ แต่มีไนโตรเจนคงเหลืออยู่ในดินหลังการทดลอง สูงกว่าการใส่ปุ๋ยยูเรียเพียงครั้งเดียว (Urea 30) และดินที่ไม่ได้ใส่ปุ๋ยยูเรีย (Figure 3)

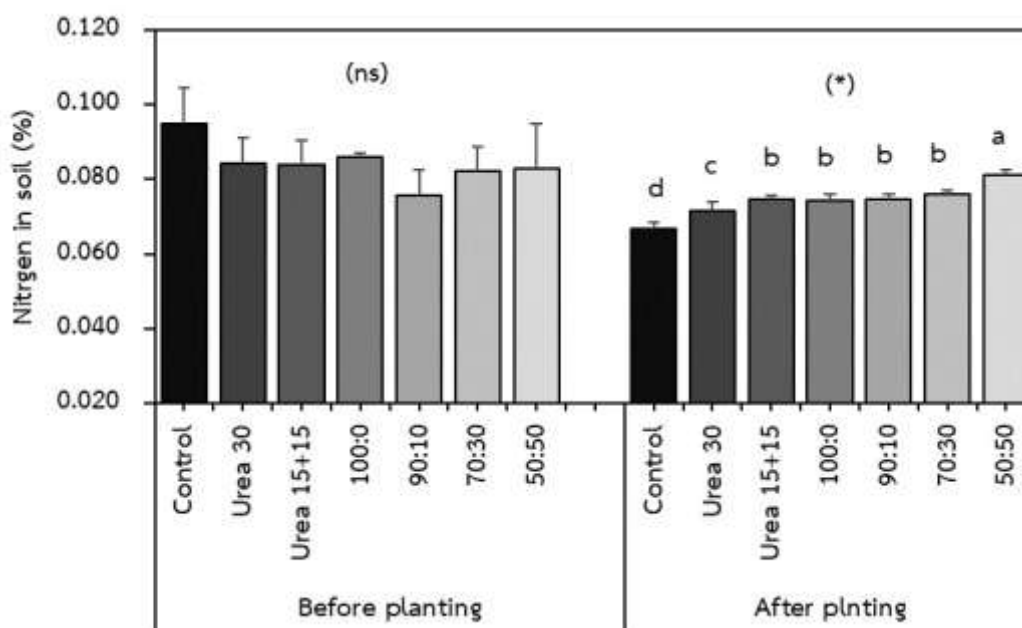


Figure 3 Nitrogen content of soil before and after the experiment

การอภิปรายผล

จากการศึกษาการใช้ปุ๋ยยูเรียร่วมกับแบ่งข้าวเจ้ามาใช้เคลือบปุ๋ยยูเรียเพื่อลดอัตราการปลดปล่อยธาตุไนโตรเจนของปุ๋ยยูเรีย โดยศึกษาปริมาณสัดส่วนปุ๋ยยูเรีย:แบ่งข้าวเจ้า ที่ทำการเคลือบปุ๋ยยูเรียทั้ง 4 สูตร คือ [100:0] [90:10] [70:30] และ [50:50] สามารถทำให้ปุ๋ยยูเรียละลายในน้ำได้ช้าลง เนื่องจากคุณสมบัติของยางธรรมชาติที่ไม่ชอบน้ำ (Hydrophobic) มีความยืดหยุ่นสูง ทนทานต่อการฉีกขาดและการหักงอ เมื่อรวมเข้ากับแบ่งซึ่งมีสมบัติชอบน้ำ (Hydrophilic) มีความแข็งแรง มีการบวมตัวสูงทำให้เกิดการพองตัวเมื่อได้รับความชื้น เมื่อยางธรรมชาติและแบ่งรวมเข้าด้วยกันด้วยปฏิกิริยากราฟต์โคพอลิเมอร์โดยใช้โพแทสเซียมเปอร์ซัลเฟตเป็นตัวริเริ่มปฏิกิริยา (Riyajan et al. 2012) ทำให้ได้พอลิเมอร์ชีวภาพที่มีส่วนประกอบทั้งที่ชอบน้ำ และไม่ชอบน้ำ รวมอยู่ด้วยกัน และกลายสภาพเป็นยางที่แข็งแรง (Kongparakul, 2013) จึงมีคุณสมบัติที่เหมาะสมในการนำมาใช้เป็นสารเคลือบ ดังนั้นปริมาณสัดส่วนของแบ่งข้าวเจ้าที่เพิ่มมากขึ้นทำให้ผิวเคลือบมีคุณสมบัติการดูดซับน้ำและแพร่ผ่านได้ดี ปุ๋ยยูเรียควรที่จะละลายออกมาได้เร็ว แต่กลับพบว่า เมื่อใช้สัดส่วนของแบ่งเพิ่มมากขึ้น ปุ๋ยยูเรียเคลือบ [50:50] ละลายได้ช้ากว่าการเคลือบปุ๋ยยูเรียที่มีสัดส่วนของยางธรรมชาติที่สูงได้แก่ [100:0] [90:10] และ [70:30] เนื่องจากลักษณะของผิวเคลือบปุ๋ยที่มีสัดส่วนยางธรรมชาติที่สูง ผิวเคลือบจะเหนียวติดกันทำให้เมื่อแยกเม็ดปุ๋ยที่เคลือบออกจากกันจะเกิดรูรั่วหรือช่องว่างในผิวเคลือบเม็ดปุ๋ย น้ำจึงผ่านเข้าไปละลายปุ๋ยยูเรียได้โดยตรง

การทดสอบใช้ปุ๋ยยูเรียเคลือบด้วยปุ๋ยยูเรีย:แบ่งข้าวเจ้า สัดส่วน [100:0] [90:10] [70:30] และ [50:50] ปลุกผักกาดจีน ทำให้ต้นผักกาดจีนมีการเจริญเติบโตดี ไม่แตกต่างจากการแบ่งใส่ปุ๋ย 15 กรัม สองครั้ง (Urea 15+15) แสดงให้เห็นว่าปุ๋ยยูเรียที่เคลือบด้วยปุ๋ยยูเรีย:แบ่งข้าวเจ้า ทั้ง 4 สูตร เมื่อใส่ลงดินจะมีการปลดปล่อยธาตุไนโตรเจนอย่างช้า ๆ ให้กับต้นผักกาดจีนในการเจริญเติบโตเช่นเดียวกับการแบ่งใส่สองครั้ง ทำให้การใช้ปุ๋ยเคลือบสามารถลดต้นทุนค่าแรงงานในการใส่ปุ๋ยลงได้ โดยเฉพาะปุ๋ยยูเรียเคลือบปุ๋ยยูเรีย:แบ่งข้าวเจ้าที่อัตราส่วน [50:50] ทำให้ผักกาดจีนมีการเจริญเติบโตและน้ำหนักสดส่วนเหนือดินสูงที่สุด การปลดปล่อยธาตุไนโตรเจนของปุ๋ยยูเรียเคลือบเริ่มจาก ใช้น้ำหรือน้ำแพร่ผ่านวัสดุเคลือบผิว เมื่อใช้น้ำเข้าไปอยู่ภายในชั้นผิวเคลือบก็จะแทรกตัวอยู่ในช่องว่าง 2 ส่วน คือ รูพรุนภายในเนื้อปุ๋ยและช่องระหว่างผิวเคลือบกับปุ๋ย จนกระทั่งช่องว่างทั้งหมดมีของเหลวบรรจุอยู่เต็ม ปุ๋ยส่วนที่อยู่ใกล้ผิวเคลือบเริ่มละลาย แรงดันภายในเม็ดปุ๋ยสูงขึ้น สารละลายปุ๋ยจะเกิดการแพร่ปลดปล่อยออกมาภายนอก (Hummel, 1989; Hakeem et al, 2011; Kuhathamrakun & Saengsuwan,

2017) ปุ๋ยยูเรียเคลือบด้วยยางธรรมชาติ:แบ่งข้าวเจ้าที่อัตราส่วน [50:50] ลดการสูญเสียธาตุไนโตรเจนจากดิน ในรูปของก๊าซแอมโมเนีย (NH_3) และการชะล้างไนโตรเจนในรูปของไนเตรต (Nitrate leaching) (Pringsphro & Kulnit, 2018) ทำให้ดินหลังปลูกผักบุ้งจีนยังคงมีไนโตรเจนที่สูงกว่าการให้ปุ๋ยยูเรียด้วยวิธีการต่าง ๆ นอกจากนั้น ผิวนเคลือบที่พัฒนาจากน้ำยางธรรมชาติ กราฟต์แบ่งข้าวเจ้าแสดงคุณสมบัติเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม เนื่องจากสามารถถูกย่อยสลายทางชีวภาพโดยจุลินทรีย์ในดินได้ (Tokiwa et al., 2009; Wiriyaunthorn & Sriplang, 2015)

บทสรุป

จากการทดลองการใช้ปุ๋ยยูเรียเคลือบด้วยยางธรรมชาติร่วมกับแบ่งข้าวเจ้าต่อการเจริญเติบโตของผักบุ้ง พบว่า การเคลือบปุ๋ยยูเรียด้วยน้ำยางธรรมชาติร่วมกับแบ่งข้าวเจ้าที่อัตราส่วนน้ำยางต่อแบ่ง [50:50] เป็นสัดส่วนที่สามารถเคลือบเม็ดปุ๋ยได้อย่างมีประสิทธิภาพ ไม่มีปัญหาเหนียวติดของเม็ดปุ๋ยหลังการเคลือบ และเหมาะสมต่อการนำไปใช้ในการปลูกผักบุ้งทำให้ผักบุ้งมีการเจริญเติบโตและน้ำหนักสดส่วนเหนือดินสูงที่สุด และลดการสูญเสียธาตุไนโตรเจนจากดิน

กิตติกรรมประกาศ

ทุนอุดหนุนงานวิจัยจากทุนวิจัยเพื่อสร้างฐานองค์ความรู้ขั้นสูงด้านยางพารา มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ ทุนอุดหนุนการวิจัยเพื่อวิทยานิพนธ์ ของมหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ และ ทุนอุดหนุนการวิจัยเพื่อวิทยานิพนธ์ ของมหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขตสุราษฎร์ธานี

เอกสารอ้างอิง

- Chen, L., Xie, Z., Zhuang, X., Chen, X., & Jing, X. (2008). Controlled release of urea encapsulated by starch-g-poly(L-lactide). *Carbohydrate Polymers*, 72(2), 342-348.
<https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2007.09.003>
- Cho, C. G., & Lee, K. (2002). Preparation of starch-g-polystyrene copolymer by emulsion polymerization. *Carbohydrate Polymers*, 48(2), 125-130. [https://doi.org/10.1016/S0144-8617\(01\)00222-3](https://doi.org/10.1016/S0144-8617(01)00222-3)
- Hakeem, K. R., Ahmad, A., Iqbal, M., Gucl, S., & Ozturk, M. (2011). Nitrogen-efficient rice cultivars can reduce nitrate pollution. *Environmental Science and Pollution Research*, 18(7), 1184-1193.
<https://doi.org/10.1007/s11356-010-0434-8>
- Hummel, N. W. J. (1989). Resin-coated urea evaluation for turfgrass fertilization. *Agronomy Journal*, 81(2), 290-294. <https://doi.org/10.2134/agronj1989.00021962008100020030x>
- Kongparakul, S. (2013). Technology of natural rubber modification and its applications. *Khon Kaen University Journal of Science*, 41(3), 567-581. (In Thai)
- Kuhathamrakun, N., & Saengsuwan, S. (2017). Controlled-release urea fertilizer for agricultural applications. *Ubon Ratchathani University Journal of Science and Technology*, 19(3), 32-44. (In Thai)
- La-or, P., & Asavapisit, S. (2008). Controlled release of urea from polyethylene/starch-coated urea fertilizer. *Khon Kaen Agriculture Journal*, 36(Special issue), 11-18. (In Thai)
- Nakason, C., Wohmang, T., Kaesaman, A., & Kiatkamjornwong, S. (2010). Preparation of cassava starch-graft-polyacrylamide superabsorbents and associated composites by reactive blending. *Carbohydrate Polymers*, 81(2), 348-357. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2010.02.030>

- Pringphro, C., & Kulnit, B. (2018). Effect of coated fertilizer on growth and yield of cereals. *Prawarun Agricultural Journal*, 15(1), 1–16. (In Thai)
- Riyajan, S., Sasithornsonti, Y., & Phinyocheep, P. (2012). Green natural rubber-g-modified starch for controlling urea release. *Carbohydrate Polymers*, 89(1), 251–258.
<https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2012.03.004>
- Tanpaiboon, N. (2017). Chemical fertilizer industry. Krungsri Research, Business/Industry Outlook 2018–2020. (In Thai)
- Tokiwa, Y., Calabia, B. P., Ugwu, C. U., & Aiba, S. (2009). Biodegradability of plastics. *International Journal of Molecular Sciences*, 10(9), 3722–3742. <https://doi.org/10.3390/ijms10093722>
- Tudorachi, N., Cascaval, C. N., Rusu, M., & Pruteanu, M. (2000). Testing of polyvinyl alcohol and starch mixtures as biodegradable polymeric materials. *Polymer Testing*, 19(7), 785–799.
[https://doi.org/10.1016/S0142-9418\(99\)00049-5](https://doi.org/10.1016/S0142-9418(99)00049-5)
- Wiriyasunthorn, S., & Sriplang, S. (2015). Preparation of cassava starch/polyvinyl alcohol/montmorillonite nanocomposite for controlled-release fertilizer coating. *Khon Kaen University Journal of Science*, 43(3), 503–514. (In Thai)
- Zhong, K., Lin, Z. T., Zheng, X. L., Jiang, G. B., Fang, Y. S., Mao, X. Y., & Liao, Z. W. (2013). Starch derivative-based superabsorbent with integration of water-retaining and controlled-release fertilizers. *Carbohydrate Polymers*, 92, 1367–1376. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2012.10.030>

Received: January 28, 2025; Revised: April 21, 2025; Accepted: May 22, 2025

การประเมินผลผลิต องค์ประกอบผลผลิต และลักษณะทางการเกษตรในประชากรลูกผสมกลับ
ครั้งที่ 2 ข้าวที่ 2 ของข้าวเจ้าพันธุ์นุ่มที่มีพันธุกรรมความหอม
Evaluation of yield, yield components, and agronomic traits in BC₂F₂
population of soft-cooked rice with aromatic germplasm

ภาณุวัฒน์ พรายสำโรง¹ เยาวพา จิระเกียรติกุล¹ และพรชัย หาระโคตร^{1*}
Panuwat Praisomrong¹, Yaowapha Jirakiatiikul¹ and Bhornchai Harakotr^{1*}

¹คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ ศูนย์รังสิต จังหวัดปทุมธานี

¹Faculty of Science and Technology, Thammasat University, Rangsit Campus, Pathum Thani Province

*Corresponding Author E-mail Address : harakotr@tu.ac.th

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อประเมินผลผลิต องค์ประกอบผลผลิต และลักษณะทางการเกษตรของประชากรลูกผสมกลับครั้งที่ 2 ข้าวที่ 2 ของข้าวเจ้าพันธุ์นุ่มที่มีพันธุกรรมความหอม จำนวน 10 สายพันธุ์ เปรียบเทียบกับพันธุ์อาร์เจ22 (ไม่มีกลิ่นหอม) และปทุมธานี1 (มีกลิ่นหอม) วางแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ภายในบล็อก จำนวน 3 ซ้ำ ทำการทดสอบ ณ สถานีวิจัยรวมใจพัฒนาความรู้ จังหวัดปทุมธานี ในฤดูนาปรัง 2566/2567 ผลการศึกษา พบว่า ผลผลิต องค์ประกอบผลผลิต และลักษณะทางการเกษตร ที่ทำการทดสอบมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ยกเว้น ความสูงต้น และน้ำหนัก 1,000 เมล็ด โดยสายพันธุ์ RJP19No.3-3 และ RJP41No.7-2 ให้ผลผลิตสูงสุด (1,366 และ 1,297 กิโลกรัม/ไร่ ตามลำดับ) ซึ่งไม่แตกต่างจากพันธุ์อาร์เจ22 แต่สูงกว่าพันธุ์ปทุมธานี1 ในขณะที่องค์ประกอบผลผลิตและลักษณะทางการเกษตรไม่แตกต่างจากข้าวพันธุ์ เปรียบเทียบทั้งสองพันธุ์ ดังนั้น ข้าวสายพันธุ์ดังกล่าวจะนำไปประเมินการให้ผลผลิตและคุณภาพข้าวในพื้นที่เป้าหมายต่อไป

คำสำคัญ: ผลผลิต การปรับปรุงพันธุ์ข้าว ความหอม ลูกผสมกลับ *Oryza sativa* L.

Abstract

The objective of this study was to evaluate the yield, yield components, and agronomic traits of 10 BC₂F₂ populations of soft-cooked rice with aromatic germplasm compared with RJ22 (non-aromatic rice) and Pathum Thani1 (aromatic rice) varieties. The experiment was conducted in a randomized complete block design with three replications at the Ruamjai Pattana Kwamroo Research Station, Pathum Thani, Thailand, during off-season rice planting 2023/2024. The results indicated that yield, yield components, and agronomic traits showed statistically significant differences, except for plant height and 1,000-grain weight. The RJP19No.3-3 and RJP41No.7-2 lines had the highest yields (1,366 and 1,297 kg/rai, respectively), which were not significantly different from RJ22 but were better than the Pathum Thani1 rice variety. Furthermore, these lines showed no significant differences in yield components and agronomic traits compared to either

of the compared varieties. Therefore, these promising lines will be evaluated in the target growing areas in the future.

Keywords: Yield, Rice improvement, Aroma traits, Backcross, *Oryza sativa* L.

บทนำ

ข้าวหอมเป็นข้าวที่มีคุณสมบัติเฉพาะและเป็นปัจจัยหลักในการผลิตข้าวคุณภาพเพื่อการบริโภคและการส่งออก ในปี พ.ศ. 2567 ข้าวหอมไทยมีปริมาณการส่งออกประมาณ 0.54 ล้านตัน คิดเป็น 5.97% ของการส่งออกข้าวทั้งหมด (Department of Foreign Trade, 2025) ข้าวหอมจัดเป็นข้าวคุณภาพสูงทั้งในและต่างประเทศ และเป็นที่ยอมรับกันอย่างแพร่หลายในกลุ่มของเกษตรกร พ่อค้าและผู้บริโภคมาเป็นเวลานาน สารสำคัญที่ทำให้ข้าวมีกลิ่นหอม คือ 2-acetyl-1-pyrroline (2AP) ซึ่งข้าวกล้องมีปริมาณสารนี้มากกว่าข้าวสาร (International Rice Research Institute, 1983) จากความต้องการข้าวหอมที่มีเพิ่มมากขึ้นจึงได้มีการพัฒนาพันธุ์ข้าวที่มีผลผลิตดี และมีความหอมด้วยการปรับปรุงพันธุ์ โดยในขั้นตอนการปรับปรุงพันธุ์ข้าว เมื่อได้พัฒนาสายพันธุ์ใหม่ผ่านการคัดเลือกและค่อนข้างคงตัวทางพันธุกรรม จะนำพันธุ์เหล่านี้ไปปลูกประเมินลักษณะทางการเกษตรเบื้องต้น เช่น ความสม่ำเสมอของวันออกดอกและความสูงต้น ลักษณะทรงต้น ใบ และดอก คัดเลือกสายพันธุ์ที่สม่ำเสมอไปปลูกศึกษาพันธุ์ขั้นสูงเพื่อประเมินลักษณะทางการเกษตร และผลผลิตเบื้องต้น เปรียบเทียบกับพันธุ์เปรียบเทียบ ได้แก่ วันออกดอก ความสูงของต้น จำนวนหน่อต่อกอ จำนวนรวงต่อกอ และผลผลิต เป็นต้น จากนั้นคัดเลือกสายพันธุ์ที่ให้ผลผลิตสูง และลักษณะทางการเกษตรดีเพื่อนำไปประเมินผลผลิตภายในสถานีและระหว่างสถานีต่อไป (Chongkid, 2014) ดังรายงานของ Junbuathong et al. (2022) ทำการปลูกประเมินผลผลิตข้าวพันธุ์ กข97 หรือ หอมรังสิต พบว่า มีผลผลิตเฉลี่ย 727 กิโลกรัมต่อไร่ มีอายุการเก็บเกี่ยว 111-114 วัน โดยวิธีปักดำ ความสูง 116 เซนติเมตร น้ำหนักข้าวเปลือก 1,000 เมล็ด 29.52 กรัม และมีกลิ่นหอมเล็กน้อย

ข้าวพันธุ์อาร์เจ22 ซึ่งเป็นข้าวเจ้าขาวพื้นนุ่ม ไม่ไวต่อช่วงแสง ให้ผลผลิตสูงถึง 1,160 กิโลกรัมต่อไร่ โดยมีลักษณะเด่นคือ ผลผลิตสูง อายุเก็บเกี่ยวสั้น และต้านทานโรคไหม้ปานกลางและโรคขอบใบแห้ง โดยได้รับการรับรองพันธุ์เมื่อเดือนพฤษภาคม พ.ศ. 2565 (Department of Agriculture, 2022) อย่างไรก็ตาม ข้าวพันธุ์นี้เป็นพันธุ์ที่ไม่มีกลิ่นหอม ดังนั้น การปรับปรุงพันธุ์เพื่อเพิ่มความหอมจึงเป็นอีกแนวทางหนึ่งในการเพิ่มคุณภาพให้แก่ข้าวสายพันธุ์ ในงานวิจัยครั้งนี้จึงทำการสร้างประชากรลูกผสมระหว่างข้าวพันธุ์อาร์เจ22 เป็นสายพันธุ์รับ (Recurrent parent) และพันธุ์ปทุมธานี1 ซึ่งเป็นพันธุ์ข้าวต้นเตี้ย ไม่ไวแสง และเป็นข้าวเจ้าที่มีกลิ่นหอม ใช้เป็นสายพันธุ์ให้ (Donor parent) หลังจากนั้น ทำการผสมกลับ (Backcrossing) จำนวน 2 ครั้ง และผสมตัวเอง 1 ครั้ง ร่วมกับการใช้เครื่องหมายโมเลกุลที่มีความสัมพันธ์กับยีนความหอม (*badh2*) มาช่วยในการคัดเลือก (Riabroy et al., 2012) ทำให้ได้ประชากรลูกผสมกลับครั้งที่ 2 ช่วงที่ 2 (BC_2F_2) ที่มีลักษณะทางการเกษตรที่ดีจำนวน 10 สายพันธุ์สำหรับการปลูกประเมิน ดังนั้น งานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อประเมินผลผลิต องค์ประกอบผลผลิต และลักษณะทางการเกษตรของประชากรลูกผสมกลับช่วงที่ BC_2F_2 ของข้าวเจ้าพื้นนุ่มที่มีพันธุกรรมความหอม ซึ่งสายพันธุ์ที่ผ่านการคัดเลือกสามารถใช้เป็นสายพันธุ์ก้าวหน้าในโครงการพัฒนาปรับปรุงพันธุ์ข้าวพื้นนุ่มที่มีความหอมต่อไป

วัสดุ อุปกรณ์ และวิธีการ

พันธุ์และลูกผสม

ดำเนินการระหว่างเดือนเมษายน 2565 ถึง มีนาคม 2567 โดยสร้างลูกผสมระหว่างข้าวพันธุ์อาร์เจ22 เป็นสายพันธุ์รับ และพันธุ์ปทุมธานี1 ซึ่งเป็นพันธุ์ข้าวต้นเตี้ย ไม่ไวแสง และเป็นข้าวเจ้าที่มีกลิ่นหอม ใช้เป็นสายพันธุ์ให้ และนำลูกผสมช่วงที่ 1 (F_1) ผสมกลับไปหาสายพันธุ์รับ จำนวน 2 ครั้ง เพื่อสร้างประชากรผสมกลับครั้งที่ 2 ช่วงที่ 1 (BC_2F_1) โดยใช้เครื่องหมายโมเลกุลช่วยในการคัดเลือก หลังจากนั้นทำการผสมตัวเองเป็นประชากรผสมกลับครั้งที่ 2 ช่วงที่ 2 (BC_2F_2) (Figure 1)

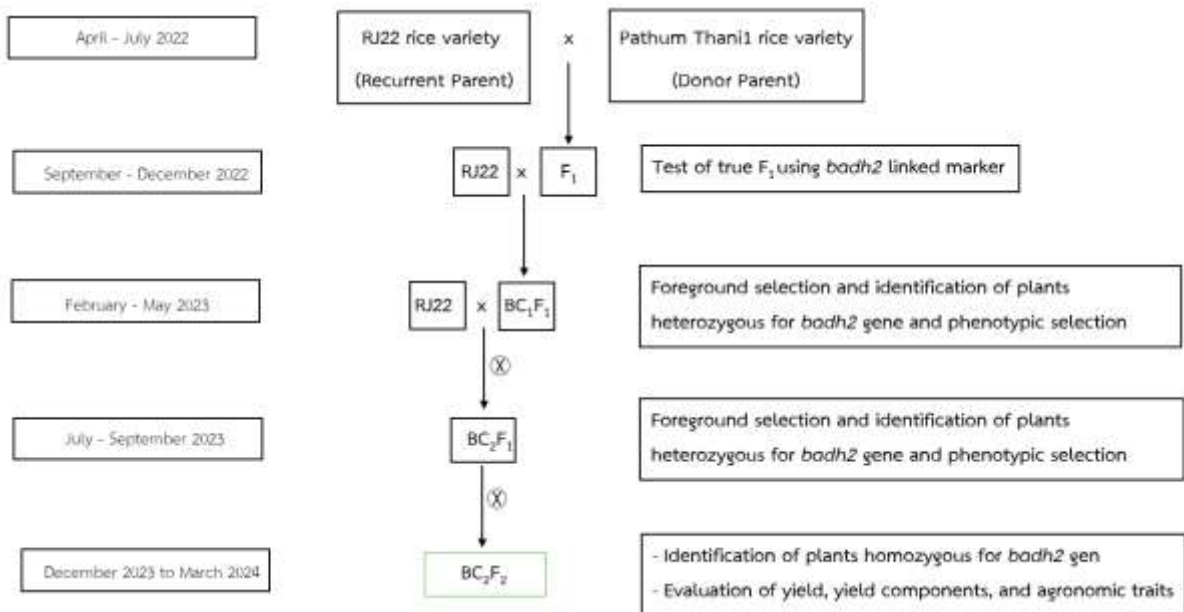


Figure 1. Marker-assisted backcrossing scheme for the development of soft-cooked rice with aromatic germplasm in BC₂F₂ population.

การคัดเลือกโดยใช้เครื่องหมายโมเลกุล

การสกัดดีเอ็นเอ และปฏิกิริยาพีซีอาร์

บดตัวอย่างใบข้าวให้ละเอียดโดยใช้ไนโตรเจนเหลว ก่อนสกัดดีเอ็นเอด้วยวิธี CTAB ที่ดัดแปลงจากวิธีของ Doyle and Doyle (1990) และเพิ่มปริมาณดีเอ็นเอด้วยปฏิกิริยา PCR master mixed ปริมาณ 10 ไมโครลิตร, ดีเอ็นเอต้นแบบ ความเข้มข้น 10 นาโนกรัมต่อไมโครลิตร ปริมาตร 1 ไมโครลิตร, Forward และ Reverse primer ความเข้มข้น 10 ไมโครโมล อย่างละปริมาตร 1 ไมโครลิตร และน้ำกลั่นบริสุทธิ์ (diH₂O) ปริมาตร 2 ไมโครลิตร ใช้ไพรเมอร์ที่มีความจำเพาะเจาะจงกับยีน (Functional marker) ความหอม (Aromaker; Forward primer: 5'-TGCTCCTTTGTCATCACACC-3'; Reverse primer: 5'-TTTCCACCAAGTTCCAGTGA-3') (Riabroy et al., 2012) โดยเริ่มปฏิกิริยา PCR ในขั้นตอน Denaturation ที่อุณหภูมิ 94 องศาเซลเซียส 45 วินาที, Annealing ที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส 45 วินาที และ Extension 72 องศาเซลเซียส 60 วินาที และขั้นตอน Final extension ที่ 72 องศาเซลเซียส 5 นาที จำนวน 32 รอบ และแยกขนาดของแถบดีเอ็นเอด้วยเทคนิคเครื่อง QIAxcel โดยใช้ Gel cartridges และสกรีนขนาดแถบดีเอ็นเอที่ปรากฏ แบ่งชนิดของการเกิดแถบดีเอ็นเอเป็น 2 ชนิด ได้แก่ P1 คือ พันธุกรรมที่เหมือนพันธุ์แม่ (*Badh2/Badh2*) และ H คือ พันธุกรรมแบบ Heterozygote (*Badh2/badh2*) คัดเลือกเฉพาะต้นที่มีชนิดของการเกิดแถบดีเอ็นเอชนิด H ในช่วงที่ BC₁F₁ และ BC₂F₁ เพื่อผสมกลับไปหาพันธุ์แม่ สำหรับการปลูกทดสอบและคัดเลือกในรุ่นถัดไป

การวางแผนการทดลอง

ทำการปลูกประเมินในประชากรข้าวลูกผสมกลับช่วงที่ BC₂F₂ จำนวน 10 สายพันธุ์ ได้แก่ RJP12No.2-5, RJP17No.3-1, RJP18No.3-2, RJP19No.3-3, RJP20No.3-4, RJP28No.4-2, RJP41No.7-2, RJP48No.8-3, RJP50No.8-5 และ RJP143No.22-7 เปรียบเทียบกับข้าวพันธุ์อาร์เจ22 (RJ22) และปทุมธานี1 (PTT1) วางแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ภายในบล็อก (Randomized Complete Block Design) จำนวน 3 ซ้ำ ณ สถานีวิจัยรวมใจพัฒนาความรู้ อำเภอลองหลวง จังหวัดปทุมธานี ในฤดูนาปรัง 2566/2567 (ธันวาคม 2566 ถึง มีนาคม 2567)

การปลูกทดสอบ

นำเมล็ดพันธุ์ข้าวมาเพาะกล้า เมื่อต้นกล้าอายุประมาณ 25 วัน ถอนต้นกล้าไปปักดำแบบต้นเดี่ยว ระยะปักดำ 25x25 เซนติเมตร จำนวน 4 แถว ๆ ละ 16 ต้นต่อสายพันธุ์/พันธุ์ การดูแลรักษาตามมาตรฐานสินค้าเกษตร ข้าว (National Bureau

of Agricultural Commodity and Food Standards [ACFS], 2020) โดยใส่ปุ๋ยครั้งที่ 1 หลังจากวันปักดำ 20-25 วัน ใช้ปุ๋ยเคมีสูตร 46-0-0 ผสมกับ 16-20-0 อัตรา 35 กิโลกรัมต่อไร่ ใส่ปุ๋ยครั้งที่ 2 ในระยะสร้างรวงอ่อน ใช้ปุ๋ยเคมีสูตร 16-20-0 อัตรา 25 กิโลกรัมต่อไร่ รักษาระดับน้ำประมาณ 5-10 เซนติเมตร ตลอดช่วงทำการทดลอง และป้องกันกำจัดศัตรูพืชด้วยสารกำจัดศัตรูพืช

การบันทึกข้อมูล

1. ทำการเก็บตัวอย่างดินที่ระดับความลึก 0-30 เซนติเมตร และส่งตัวอย่างวิเคราะห์คุณสมบัติทางเคมีของดินที่ห้องปฏิบัติการปฐพีศาสตร์ ภาควิชาพืชศาสตร์และปฐพีศาสตร์ คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่

2. บันทึกข้อมูลผลผลิต องค์ประกอบผลผลิต และลักษณะทางการเกษตร ได้แก่ ความสูงต้น (เซนติเมตร) ความยาวใบธง (เซนติเมตร) ความยาวรวง (เซนติเมตร) อายุวันออกดอก 50% (วัน) อายุวันเก็บเกี่ยว (วัน) จำนวนรวงต่อกอ จำนวนเมล็ดต่อรวง น้ำหนัก 1,000 เมล็ด ที่ความชื้น 14% (กรัม) และผลผลิตที่ความชื้น 14% (กิโลกรัม/ไร่)

การวิเคราะห์ทางสถิติ

วิเคราะห์ค่าความแปรปรวนทางสถิติตามแผนการทดลองที่กำหนด และเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยโดยวิธี Least Significant Difference ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% โดยใช้โปรแกรมโปรแกรม Statistix (Version 10.0)

ผลการวิจัย และการอภิปรายผล

การคัดเลือกด้วยเครื่องหมายโมเลกุล

จากการใช้เครื่องหมายโมเลกุล Aromaker สามารถจำแนกลักษณะความหอมในพันธุ์พ่อและแม่ ซึ่งเครื่องหมายโมเลกุลดังกล่าวสามารถแยกพันธุ์พ่อและแม่ได้ จากนั้นทำการทดสอบประชากรลูกผสมกลับชั่วที่ BC_1F_1 โดยเครื่องหมายดีเอ็นเอพบว่า เป็นชนิดอัลลีล (Allele) เหมือนพันธุ์แม่ชนิด P1 จำนวน 62 ต้น และเป็นชนิด H จำนวน 38 ต้น คิดเป็น 62 และ 38% ตามลำดับ หลังจากนั้นนำสายพันธุ์เป็นชนิด H ผสมกลับไปหาพันธุ์แม่ ได้เป็นประชากรลูกผสมกลับชั่วที่ BC_2F_1 และตรวจสอบด้วยเครื่องหมายดีเอ็นเอพบว่า เป็นอัลลีลเหมือนพันธุ์แม่ชนิด P1 จำนวน 47 ต้น และชนิด H จำนวน 166 ต้น คิดเป็น 22.07 และ 77.93% ตามลำดับ คัดเลือกต้นที่มีทรงต้นเหมือนข้าวพันธุ์อาร์เจ 22 ได้จำนวน 10 สายพันธุ์ และนำไปปลูกทดสอบ นอกจากนี้ ผลจากการศึกษาแสดงให้เห็นว่า การใช้เครื่องหมายโมเลกุลช่วยในการคัดเลือก (Marker Assisted Selection; MAS) มีประสิทธิภาพในการคัดเลือกลักษณะที่มีจีโนไทป์ที่ต้องการ โดยเฉพาะอย่างยิ่ง ลักษณะที่ถูกควบคุมด้วยยีนด้อย (Recessive gene) รวมถึงการใช้เครื่องหมายโมเลกุลที่จำเพาะกับส่วนที่เกี่ยวข้องกับการทำงานของยีน (Direct MAS; dMAS หรือ Functional Marker Assisted Selection; fMAS) และมีความแม่นยำในการคัดเลือก Rohitsatien et al. (2014) รายงานว่าการใช้เครื่องหมายโมเลกุล Naro และ RM190 ที่เฉพาะกับลักษณะความหอม (*badh2*) และปริมาณอะมิโลส (*waxy*) ที่มีตำแหน่งอยู่บนโครโมโซม 8 และ 6 ของข้าว ตามลำดับ มีประสิทธิภาพในการคัดเลือกลักษณะทั้งสอง ในประชากรชั่วที่ 2 (F_2) จำนวน 600 ต้น จากคู่ผสมระหว่างพันธุ์ปทุมธานี 1 (PTT1) และ CH4 จำนวน 600 ต้น ได้ต้นที่มีจีโนไทป์ที่ต้องการทั้งสองแบบจำนวน 32 ต้น ซึ่งจะได้นำไปใช้ในขั้นตอนต่อไปของการปรับปรุงพันธุ์ต่อไป นอกจากนี้ Wirattanachaiwan et al. (2022) ใช้เครื่องหมายโมเลกุล FMBad2-E7 ช่วยคัดเลือกลักษณะความหอม (*badh2*) เฉพาะต้นที่มีเยื่อหุ้มเมล็ดสีดำในประชากร F_2 จำนวน 320 ต้น จากลูกผสมระหว่างสายพันธุ์ก้านข้าวเจ้าต้นเดี่ยวไม่ไวต่อช่วงแสง (KDK-10) พันธุ์ปทุมธานี 1 ซึ่งเป็นพันธุ์ต้นเดี่ยว ไม่ไวแสง และเป็นข้าวเจ้าที่มีกลิ่นหอม พบต้นที่มีพันธุกรรมลักษณะคงตัวของความหอม (*badh2/badh2*) และมีเยื่อหุ้มเมล็ดสีดำรวมทั้ง 2 ลักษณะได้เพียง 23 ต้น หรือคิดเป็นสัดส่วน 7.5% ของประชากรทั้งหมด ซึ่งสายพันธุ์เหล่านี้ถูกนำไปปลูกคัดเลือกชั่วที่ 3 (F_3) และประเมินความหอมโดยการดมกลิ่น ทำให้สามารถคัดเลือกตัวแทนสายพันธุ์ข้าวเจ้า ไม่ไวแสงและมีกลิ่นหอมได้ทั้งหมด 11 สายพันธุ์ สายพันธุ์เหล่านี้จะใช้ในการคัดเลือกในชั่วถัดไปโดยวิธีการคัดเลือกพันธุ์แบบบันทึกประวัติต่อไป รวมทั้งเป็นแหล่งพันธุกรรมในการพัฒนาพันธุ์ข้าวเจ้าหอมที่ไม่ตอบสนองต่อช่วงแสงและมีผลผลิตสูงได้ในอนาคต

คุณสมบัติทางเคมีของดิน

จากการวิเคราะห์คุณสมบัติของดิน พบว่า เนื้อดินอยู่ในช่วงที่เป็นดินเหนียว (Clay) ค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) และค่าการนำไฟฟ้า (EC) ของดินมีค่า 6.62 และ 578 $\mu\text{S}/\text{cm}$ ตามลำดับ นอกจากนี้ มีปริมาณอินทรีย์วัตถุปานกลาง (2.90%) ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดและฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ ต่ำ (0.17% และ 3.81 mg/kg ตามลำดับ) ในขณะที่โพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ แคลเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ และแมกนีเซียมที่แลกเปลี่ยนได้สูง (317.50 3,416.20 และ 682.90 มิลลิกรัม/กิโลกรัม ตามลำดับ) (Table1)

Table 1. Soil chemical properties analysis results

Parameters	Analysis results
Potential of hydrogen ion (pH)	6.62
Soil electrical conductivity ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	578
Organic matter; OM (%)	2.90
Total nitrogen (%)	0.17
Available phosphorus (mg/kg)	3.81
Exchangeable potassium (mg/kg)	317.50
Exchangeable calcium (mg/kg)	3,416.20
Exchangeable magnesium (mg/kg)	682.90
Texture	Clay

ผลผลิต องค์ประกอบผลผลิต และลักษณะทางการเกษตร

ผลจากการปลูกทดสอบ พบว่า ทุกลักษณะที่ทำการทดสอบมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ยกเว้นความสูงต้น และน้ำหนัก 1,000 เมล็ด (Table 2) โดยสายพันธุ์/พันธุ์ที่ทำการทดสอบมีความสูงต้น เท่ากับ 67.67-77.00 เซนติเมตร จัดเป็นกลุ่มข้าวต้นเตี้ย (Figure 2) ซึ่งความสูงต้นเป็นลักษณะทางการเกษตรที่สำคัญ ต้นข้าวที่มีความสูงที่เหมาะสมจะช่วยลดปัญหาการหักล้ม และรักษาศักยภาพการให้ผลผลิตได้ (Sadimantara et al., 2018) สายพันธุ์ RJP19No.3-3 มีความยาวใบธงมากที่สุด (44.33 เซนติเมตร) โดยยาวกว่าพันธุ์อาร์เจ22 และปทุมธานี1 (40.33 และ 41.33 เซนติเมตร ตามลำดับ) ซึ่งใบธงมีส่วนสำคัญในการทำหน้าที่สังเคราะห์แสงสร้างอาหารไปสะสมที่เมล็ด ในขณะที่สายพันธุ์ RJP48No.8-3 มีความยาวรวงเฉลี่ยใกล้เคียงกับข้าวพันธุ์อาร์เจ22 แต่สูงกว่าพันธุ์ปทุมธานี1 โดยความยาวรวงมีความสัมพันธ์กับการพัฒนาเมล็ด ความยาวรวงที่เพิ่มขึ้นมีแนวโน้มทำให้จำนวนเมล็ดต่อรวง และน้ำหนักของเมล็ดลดลง นอกจากนี้ สายพันธุ์ที่มีจำนวนเมล็ดต่อรวงและน้ำหนักเมล็ดสูง มักจะมีความยาวรวงไม่ยาวมาก เนื่องจากเมล็ดเป็นแหล่งสะสมอาหาร (Sink) ที่สำคัญที่สุด อาหารที่ได้จากการสังเคราะห์แสงจะถูกส่งไปเพื่อพัฒนาเมล็ดก่อน (Wang et al., 2024) สายพันธุ์ RJP12No.2-5 มีอายุออกดอก 50% เร็วที่สุด (70.33 วัน) ซึ่งเร็วกว่าพันธุ์อาร์เจ22 และปทุมธานี1 (76.67 และ 82.67 วัน ตามลำดับ) ส่งผลให้สายพันธุ์ RJP12No.2-5 มีอายุเก็บเกี่ยวสั้นที่สุด (98 วัน) ซึ่งสั้นกว่าพันธุ์อาร์เจ22 (104 วัน) ในขณะที่สายพันธุ์ปทุมธานี1 มีอายุเก็บเกี่ยวยาวที่สุด (110 วัน) อย่างไรก็ตาม สายพันธุ์ที่ทดสอบจัดเป็นพันธุ์ข้าวอายุสั้น เนื่องจากมีอายุเก็บเกี่ยวไม่เกิน 110 วัน (ACFS, 2020) เกษตรกรส่วนใหญ่มีความต้องการข้าวอายุเก็บเกี่ยวสั้นมากขึ้น เนื่องจากสามารถปลูกได้ 2-3 รอบต่อปี อีกทั้งยังลดการใช้แรงงานและการจัดการลงได้ รวมถึงลดความเสี่ยงในด้านสภาพภูมิอากาศที่แปรปรวนและศัตรูพืชได้ดี (Prakobna et al., 2020)

นอกจากนี้ สายพันธุ์ RJP18No.3-2 มีจำนวนรวงต่อกอสูงสุด (22.67 รวง) สูงกว่าพันธุ์อาร์เจ22 และปทุมธานี1 (18.67 และ 19.33 รวง ตามลำดับ) ในขณะที่สายพันธุ์ RJP41No.7-2 มีจำนวนเมล็ดต่อรวงมากที่สุด (212 เมล็ด) (Figure 2) ซึ่งลักษณะเหล่านี้เป็นปัจจัยที่กำหนดผลผลิตข้าว (Casanova et al., 2002; Chongkid, 2014) อย่างไรก็ตาม ในการคัดเลือกสายพันธุ์ข้าวที่มีผลผลิตสูง องค์ประกอบผลผลิตเหล่านี้ต้องมีความสมดุลกันมากกว่าการให้ความสำคัญเพียงลักษณะเดียว (Shen et al., 2023) ในขณะที่ลักษณะและความยาวเมล็ดข้าวเปลือกของสายพันธุ์ที่ทำการคัดเลือกไม่แตกต่างจากพันธุ์เปรียบเทียบกับ แต่เมล็ดข้าวไม่มีหางแตกต่างจากพันธุ์ปทุมธานี1 (Figure 3) ซึ่งการมีหางเป็นลักษณะที่นักปรับปรุงพันธุ์ข้าวไม่ต้องการ

จากการศึกษาครั้งนี้สามารถคัดเลือกสายพันธุ์ที่มีองค์ประกอบผลผลิตที่ดี 2 สายพันธุ์ ได้แก่ สายพันธุ์ RJP19No.3-3 และ RJP41No.7-2 โดยสายพันธุ์ RJP19No.3-3 ให้ผลผลิตเฉลี่ยสูงสุด (1,366 กิโลกรัมต่อไร่) ซึ่งสูงกว่าพันธุ์อาร์เจ22 และปทุมธานี1 (1,270 และ 1,157 กิโลกรัมต่อไร่ ตามลำดับ) รองลงมา คือ สายพันธุ์ RJP41No.7-2 และ RJP143No.22-7 (1,297 และ 1,190 กิโลกรัมต่อไร่ ตามลำดับ) (Table 2) ผลจากการทดสอบแสดงให้เห็นว่า สายพันธุ์ข้าวดังกล่าวมีศักยภาพในการให้ผลผลิตค่อนข้างสูง นอกจากนี้ คุณสมบัติทางเคมีของดิน เป็นหนึ่งในปัจจัยสำคัญที่ส่งผลโดยตรงต่อองค์ประกอบผลผลิตของข้าว โดยค่า pH (5.0-6.5) และค่า EC ที่เหมาะสม (Table 1) ช่วยส่งเสริมให้ต้นข้าวสามารถดูดซึมธาตุอาหารได้อย่างมีประสิทธิภาพ โดยเฉพาะไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียม ซึ่งเป็นธาตุที่ข้าวสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้ในกระบวนการเจริญเติบโตและพัฒนาผลผลิต เมื่อธาตุอาหารเหล่านี้ทำงานร่วมกันจะช่วยกระตุ้นการแบ่งเซลล์และการเจริญเติบโตของเนื้อเยื่อในทุกระยะการพัฒนาด้านข้าว ส่งผลต่อการเจริญเติบโตทางใบและลำต้น จำนวนรวงต่อกอและความยาวรวงเพิ่มขึ้น ดอกมีการพัฒนาที่สมบูรณ์ ส่งผลให้จำนวนดอกต่อรวงเพิ่มขึ้น นำไปสู่จำนวนเมล็ดที่เพิ่มขึ้น อีกทั้งไนโตรเจนจะส่งเสริมการสร้างโปรตีน เมล็ดข้าวมีน้ำหนักมากขึ้น จึงทำให้ผลผลิตข้าวสูง (Chongkid, 2014) อย่างไรก็ตาม ผลผลิตข้าวนั้นจะแตกต่างกันไปในแต่ละพื้นที่ ดิน และสภาพอากาศ (Huang et al., 2017) ดังนั้น ควรนำสายพันธุ์ข้าวเหล่านี้ไปประเมินการให้ผลผลิตและคุณภาพข้าวในพื้นที่เป้าหมายต่อไป

Table 2 Yield, yield components, and agronomic traits of BC₂F₂ population of soft-cooked rice lines evaluated during December 2023 to March 2024

Line/Variety	PH (cm) ¹	FLL (cm)	PL (cm)	50% FD (days)	HD (days)	NP/ plant	NG/ panicle	GW (g)	Yield (kg/rai)
RJP12No.2-5	75.33	35.00 ^{ef 2}	29.00 ^{bcd}	70.33 ^e	98 ^e	15.00 ^{cd}	168 ^e	23.67	1,044 ^{de}
RJP17No.3-1	73.00	39.67 ^{bc}	28.33 ^{cd}	71.11 ^{de}	99 ^{de}	13.67 ^d	185 ^c	25.00	1,022 ^e
RJP18No.3-2	71.33	36.33 ^{de}	29.67 ^{abc}	73.33 ^{b-e}	101 ^{b-e}	22.67 ^a	179 ^{cd}	25.00	1,050 ^{de}
RJP19No.3-3	76.67	44.33 ^a	29.00 ^{bcd}	72.33 ^{cde}	100 ^{cde}	18.67 ^b	195 ^b	25.33	1,366 ^a
RJP20No.3-4	76.33	33.67 ^{fg}	26.67 ^{de}	72.00 ^{cde}	100 ^{cde}	19.00 ^b	182 ^{cd}	24.00	1,124 ^{cde}
RJP28No.4-2	67.67	32.67 ^{fg}	28.67 ^{cd}	74.67 ^{bcd}	102 ^{bcd}	18.00 ^b	176 ^{de}	24.33	1,074 ^{de}
RJP41No.7-2	73.00	36.67 ^{de}	28.33 ^{cd}	76.67 ^b	104 ^b	17.00 ^{bc}	212 ^a	24.33	1,297 ^{ab}
RJP48No.8-3	72.67	38.33 ^{cd}	31.33 ^{ab}	75.67 ^{bc}	103 ^{bc}	18.67 ^b	198 ^b	23.67	1,173 ^{b-e}
RJP50No.8-5	71.33	38.33 ^{cd}	26.67 ^{de}	73.00 ^{b-e}	101 ^{b-e}	18.33 ^b	184 ^c	24.00	1,040 ^{de}
RJP143No.22-7	74.67	31.33 ^g	25.67 ^e	73.67 ^{b-e}	101 ^{b-e}	16.33 ^{bcd}	195 ^b	24.33	1,190 ^{bcd}
Check									
RJ22	77.00	40.33 ^{bc}	32.00 ^a	76.67 ^b	104 ^b	18.67 ^b	198 ^b	25.00	1,270 ^{abc}
PTT1	72.33	41.33 ^b	28.33 ^{cd}	82.67 ^a	110 ^a	19.33 ^b	189 ^{bc}	23.67	1,157 ^{b-e}
F-test	ns	**	**	**	**	**	**	ns	**
C.V (%)	4.7	10.3	7.3	4.8	3.5	14.3	6.6	3.5	11.3

Note: ¹ PH: Plant height; FL: Flag leaf length; PL: Panicle length; 50% FD: 50% flowering date; HD: Harvesting date; NP/Plant: No. of panicle/plant; NG/panicle: No. of grain/panicle; GW: 1,000 grain weight.

² Means in the same column followed by different letters are significantly different at 95% level by LSD.

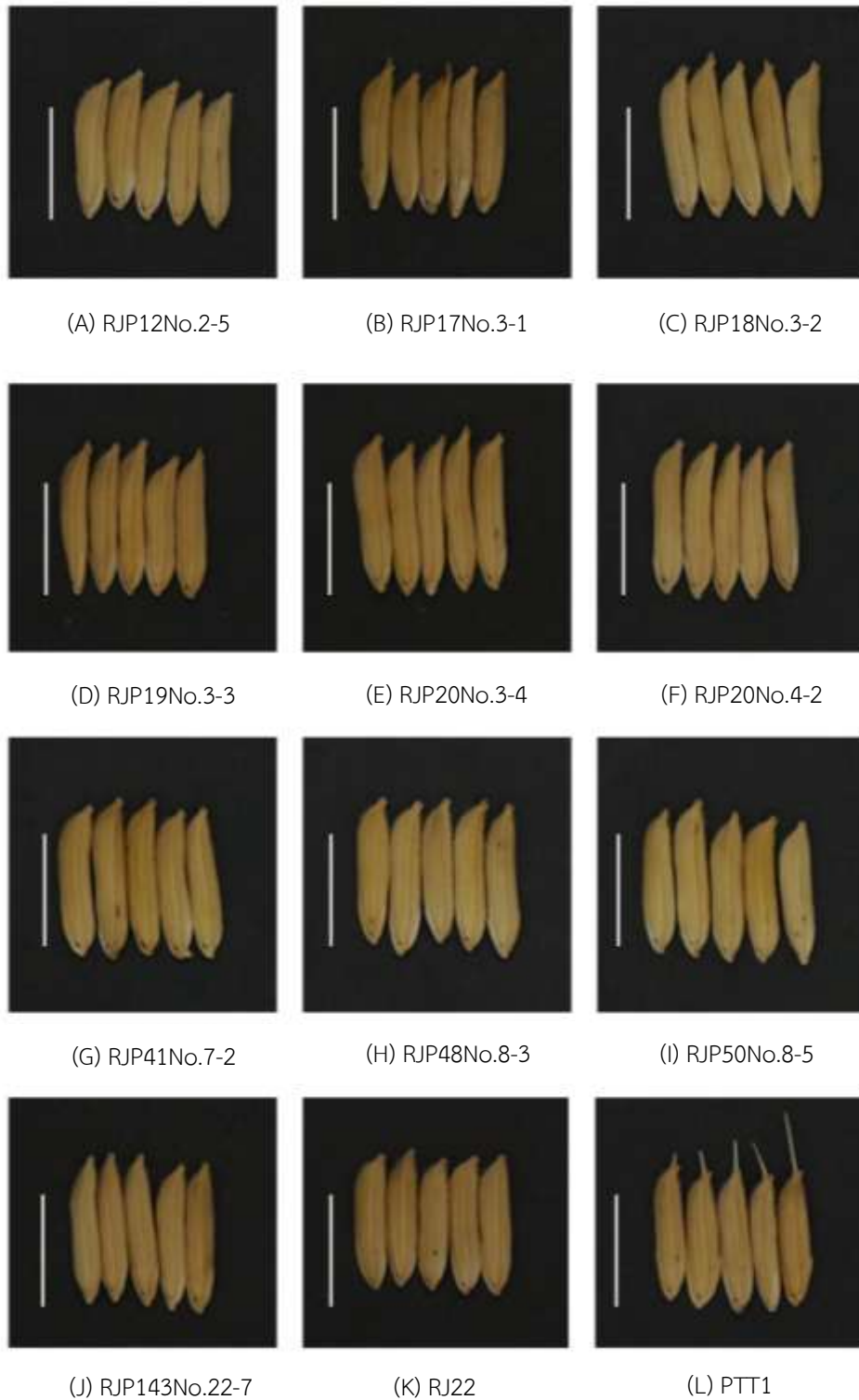


Figure 2. Seed morphological characteristics of 10 BC_2F_2 populations (A-J), RJ22 (K), and PTT1 (L) rice varieties. scale bar: 1 cm.

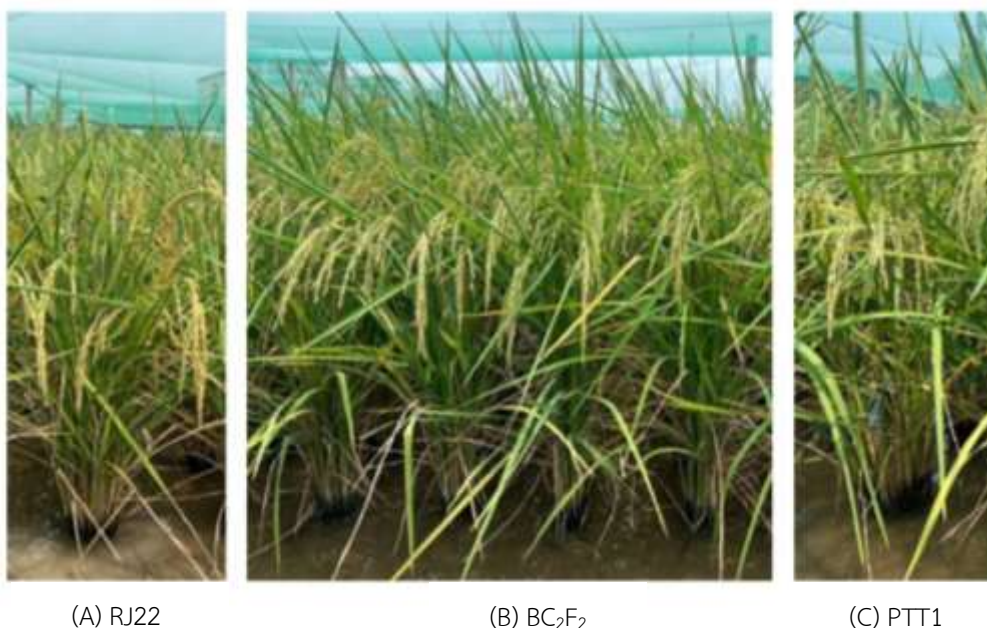


Figure 3. The plants of the RJ22 (A), BC₂F₂ population (B) and Pathum Thani1 (C) rice lines/varieties.

บทสรุป

ข้าวลูกผสมกลับช่วงที่ BC₂F₂ ที่ทดสอบมีผลผลิตระหว่าง 1,022-1,366 กิโลกรัมต่อไร่ อายุเก็บเกี่ยวสั้น (98-104 วัน) และต้นเตี้ย (71.33-76.67 เซนติเมตร) โดยสายพันธุ์ดีเด่น ได้แก่ สายพันธุ์ RJP19No.3-3 และ RJP41No.7-2 ให้ผลผลิตดีกว่าพันธุ์อาร์เจ22 และปทุมธานี1 ในขณะที่องค์ประกอบผลผลิตและลักษณะทางการเกษตรไม่แตกต่างจากพันธุ์เปรียบเทียบ และควรนำสายพันธุ์เหล่านี้ไปปลูกเพื่อประเมินศักยภาพอีกครั้งก่อนจะนำไปพัฒนาเป็นสายพันธุ์แท้ที่มีลักษณะตามที่ต้องการต่อไป

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับการสนับสนุนทุนวิจัยและสถานที่ปลูกทดสอบจากบริษัท รวมใจพัฒนาความรู้ จำกัด

เอกสารอ้างอิง

- Casanova, D., Goudriaan, J., Forner, M. M. & Withagen, J. C. M. (2002). Rice yield prediction from yield components and limiting factors. *European Journal of Agronomy*, 17, 41-61.
- Chongkid, B. (2014). *Rice and production technology*. (2nd ed.). Thammasat University Press.
- Department of Agriculture. (2022). *Unofficial Plants ACT B.E. 2518 Amended by Plants ACT (NO. 2) B.E. 2535 and Plants ACT (NO. 3) B.E. 2550*. Plant Variety Registration Certificate. https://www.doa.go.th/pvp/wpcontent/uploads/2022/02/AnnoDOA_Public258.pdf
- Department of Foreign Trade. (2025). *Standard product export statistics*. Service data statistic. <https://www.dft.go.th/th-th/dft-service-data-statistic/cid/604>
- Doyle, J. J. & Doyle, J. L. (1990). Isolation of plant DNA from fresh tissue. *Focus*, 12(1), 13-15.
- Huang, M., Tang, Q.-Y., Ao, H.-J., & Zou, Y.-B. (2017). Yield potential and stability in super hybrid rice and its production strategies. *Journal of Integrative Agriculture*, 16(5), 1009-1017.

- International Rice Research Institute. (1983). *Annual Report for 1982*. International Rice Research Institute, Los Banos, Philippines.
- Junbuathong, S., Thongrak, W., Yaodam, K., Sukviwat, W., Maneenil, P., Maneenuam, T., Kriswadi, A., Darwell, K., Wutiwong, K., Thammasamisorn, B., Inman, A., Lengbumrung, P., Deerusamee, C., Boonchuay, D., Vitoonjit, D., Channoo, C., Phonkhod, B., Mongkolpittayatorn, B., & Ruensuk, N., (2022). RD97 (Hom Rang sit). *Thai Rice Research Journal*, 13(2), 50-66.
- National Bureau of Agricultural Commodity and Food Standards. (2020) *Agricultural product standards*. rice. <https://e-book.acfs.go.th/backend/uploads/Download/dabee2b31b5fe93863e01c395ca166ef.pdf>
- Prakobna, P., Sinchayakul, P., Sorapongpaisal, W., Kerdasuk, K., & Bunsak, A. (2020). Preference on planted rice varieties of farmers in central region and their relation to variety properties. *Journal of Agricultural Science and Management*, 3(1), 29-38.
- Riabroy, K., Toojinda, T., & Kate-ngam, S. (2012, November 26-29). *Application of functional markers in IR57514 backcross breeding to jasmine-like cooking quality for rainfed lowland in Mekong region*. [Poster presentation]. 10th International Symposium on Rice Functional Genomics. Chiang Mai, Thailand.
- Rohitsatien, J., Sreewongcha, T., Sripichitt, S., & Kaveeta, R. (2014). Marker assisted selection for aroma and low amylose content traits in pedigree breeding of rice (*Oryza sativa* L.). *KKU Research Journal (Graduate Studies)*, 14(2), 15-22. (In Thai)
- Sadimantara, G. R., Nuraida, W., Suliartini, N. W. S., & Muhidin, M. (2018). Evaluation of some new plant type of upland rice (*Oryza sativa* L.) lines derived from cross breeding for the growth and yield characteristics. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 157, 012048.
- Shen, S., Xu, S., Wang, M., Ma, T., Chen, N., Wang, J., Zheng, H., Yang, L., Zou, D., Xin, W. & Liu, H. (2023). BSA-Seq for the identification of major genes for EPN in rice. *International Journal of Molecular Sciences*, 24(19), 1-13.
- Wang, Y., Wang, X., Zhai, L., Zafar, S., Shen, C., Zhu, S., Chen, K., Wang, Y. & Xu, J. (2024). A novel effective panicle number per plant 4 haplotype enhances grain yield by coordinating panicle number and grain number in rice. *The Crop Journal*, 12(1), 202-212.
- Wirattanachaiwan, T., Pusadee, T., Prom-u-thai, C. T., & Jamjod, S. (2022). Using molecular marker assisted selection and aroma sensory test for breeding non-glutinous, photoperiod insensitive purple rice for aroma. *Khon Kaen Agriculture Journal*, 50(3), 782-793.

Received: January 3, 2025; Revised: May 23, 2025; Accepted: June 6, 2025

การพัฒนาศูนย์เรียนรู้ด้านการเกษตรระดับชุมชนแบบมีส่วนร่วมกรณีศึกษา
กลุ่มเกษตรกรตำบลเสื่อไถ่ อำเภอลำทะเมนชัย จังหวัดนครราชสีมา
Development of participatory community-level agricultural learning center
A case study : Suea Kok Sub-District agricultural group, Wapi Pathum District,
Maha Sarakham Province

สิทธิโชค พรหมพิทักษ์^{1*} อรรครุฑ แก้วสีขาว¹ ธนาพล ตริสกุล² และกัญญารัตน์ บรรลุสุข³
Sittichok Punpitak^{1*}, Auckawut Kaewseekao¹, Tanapon Trisakul²
and Kanyarat Banlusuk³

¹คณะเทคโนโลยีการเกษตร มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม จังหวัดมหาสารคาม

¹Agricultural Technology Faculty, Rajabhat Maha Sarakham University, Maha Sarakha Province

²คณะครุศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม จังหวัดมหาสารคาม

²Computer Education Faculty, Rajabhat Maha Sarakham University, Maha Sarakha Province

³สถาบันวิจัยและพัฒนา มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม จังหวัดมหาสารคาม

³Research and development institute Rajabhat Maha Sarakham University, Maha Sarakha Province

*Corresponding Author E-mail Address : sittichok.pu@rmu.ac.th

บทคัดย่อ

การวิจัยครั้งนี้มีเพื่อ (1) สภาพพื้นฐานทั่วไปของชุมชน (2) การมีส่วนร่วมของชุมชนในการพัฒนาศูนย์เรียนรู้ด้านการเกษตร และ (3) ปัญหาและข้อเสนอแนะเกี่ยวกับการมีส่วนร่วมของชุมชนในการพัฒนาศูนย์เรียนรู้ด้านการเกษตร วิธีการวิจัยเป็นแบบผสมผสาน จากกลุ่มตัวอย่างที่เป็นเกษตรกรในชุมชน รวมทั้งสิ้น 815 ราย โดยใช้วิธีการสุ่มแบบชั้นภูมิ และสุ่มตามสัดส่วนจำนวนเกษตรกรในแต่ละหมู่บ้าน แบ่งเป็น 5 หมู่บ้าน ได้กลุ่มตัวอย่างจำนวน 268 ราย เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัยคือ แบบสอบถามและแบบสัมภาษณ์เชิงลึก ผลการวิจัย พบว่า (1) ส่วนใหญ่เป็นเพศหญิงมีช่วงอายุเฉลี่ย 35-45 ปี การศึกษาจบมัธยมศึกษา ม.3 หรือ ปวช. มีขนาดพื้นที่ทำการเกษตร เฉลี่ย 5-10 ไร่ต่อครอบครัว ด้านแรงงานในครัวเรือน เฉลี่ย 1.40 คน ทั้งนี้อาชีพหลัก คือ เกษตรกรรม รองลงมา คือ ปศุสัตว์ รายได้จากการทำเกษตรกรรมเฉลี่ย 100,001-150,000 บาทต่อปี รายได้จากการทำปศุสัตว์ เฉลี่ยอยู่ในช่วง 15,000-25,000 บาทต่อปี และรายได้อื่น ๆ เฉลี่ย 10,000 บาทต่อปี (2) ภาพรวมของระดับชุมชนแบบมีส่วนร่วมในการพัฒนาศูนย์เรียนรู้ด้านการเกษตร อยู่ที่ร้อยละ 82.00 ถือว่ามีส่วนร่วมมาก และ (3) ปัญหาและข้อเสนอแนะเกี่ยวกับการมีส่วนร่วมของชุมชนในการพัฒนาศูนย์เรียนรู้ พบว่า ปัญหาและข้อเสนอแนะจะสามารถเกิดขึ้นจากตัวแทนเกษตรกรในชุมชนร่วมกับหน่วยงานต่าง ๆ และคนในชุมชนร่วมกันแก้ไขได้เป็นอย่างดี ในชุมชนจนเกิดเป็นเครือข่าย มีและการจัดตั้งศูนย์การเรียนรู้อย่างเป็นรูปธรรม ในการพัฒนาคุณภาพของชุมชนให้ดีขึ้น รายละเอียดทั้ง 5 ประเด็นรายด้านอยู่ในระดับปานกลางและโดยภาพรวมอยู่ในระดับมาก ตามลำดับ

คำสำคัญ: ศูนย์เรียนรู้, การมีส่วนร่วมของชุมชน, การเกษตร

Abstract

This research aimed to: (1) Examine the general background of the community, (2) Study community participation in the development of an agricultural learning center, and (3) Investigate problems and suggestions related to community participation in the development of an agricultural learning center. This study involved a sample of 268 farmers selected from a total of 815 farmers residing in a community with agricultural land. The sampling method used was stratified random sampling, proportional to the number of farmers in each of the five villages. Data collection tools included questionnaires and in-depth interviews. Statistical analyses included frequency distribution, percentage, mean, standard deviation, t-test, and content analysis. The findings revealed that: (1) The majority of the respondents were female, with an average age of 35-45 years with major educational attainment of the secondary level (Grade 9 or Vocational Certificate). The average farm size was 5-10 rai per family with average household labor force of 1.40 individuals. The primary occupation was agriculture, followed by livestock farming. The average annual income from agriculture ranged from 100,001 to 150,000 baht, while the average income from livestock farming was between 15,000 and 25,000 baht. Income from other sources averaged 10,000 baht per year. (2) The overall level of community participation in the development of the agricultural learning center was 82.00%, which was a high level of participation. And (3) Problems and suggestions regarding community participation in the development of the agricultural learning center could effectively be addressed through collaboration between farmer representatives in the community, various agencies, and community members. This collaboration leads to the formation of networks and the establishment of a tangible learning center, contributing to the improved quality of the community. The details of the five individual aspects are rated at a moderate level, while the overall assessment is at high level, respectively.

Keywords: Learning center, Community participation, Agriculture

บทนำ

การพัฒนาศูนย์เรียนรู้ด้านการเกษตรระดับชุมชนแบบมีส่วนร่วม หมายถึง กระบวนการสร้างและดำเนินงานศูนย์เรียนรู้ด้านการเกษตรในชุมชน โดยเน้นที่การมีส่วนร่วมของสมาชิกในชุมชนในทุกขั้นตอน ซึ่งรวมถึงการวางแผน การตัดสินใจ การดำเนินกิจกรรมและการประเมินผล เพื่อบรรลุวิสัยทัศน์ขององค์กรปกครองส่วนท้องถิ่นนั้น ๆ (Charoenit, 2007) การมีส่วนร่วมในการคิดค้นหาสาเหตุของปัญหา การหาแนวทางแก้ไข การตัดสินใจเลือกแนวทางการแก้ไข การวางแผนในการแก้ไขปัญหา รวมทั้งการร่วมปฏิบัติตามแผนพัฒนาท้องถิ่น ตลอดจนการประเมินผลแผนงานที่ได้ปฏิบัติไปแล้ว การมีส่วนร่วมดังกล่าว เป็นกระบวนการเรียนรู้ที่ประชาชนได้ลงมือกระทำเอง เป็นการเรียนรู้จากการปฏิบัติจริง เพื่อที่จะจัดการปัญหาของตนเองและชุมชนได้อย่างถูกต้อง และตรงประเด็นสำหรับการพัฒนานั้นได้กำหนดให้มีแผนพัฒนาการศึกษาแห่งชาติโดยจัดให้มีการศึกษาในระบบนอกระบบ และตามอัธยาศัยและมีจุดเน้นที่สำคัญประการหนึ่ง คือ การเปิดโอกาสให้ชุมชนเข้ามามีส่วนร่วมในการจัดการศึกษา (Office of the Education Council and Ministry of Education, 2017) ซึ่งการมีส่วนร่วมของชุมชนนั้นถือว่าเป็นแนวทางในการพัฒนาที่นำไปสู่ความสำเร็จและสร้างความเข้มแข็งให้กับชุมชน

ดังนั้น การพัฒนาศูนย์เรียนรู้ด้านการเกษตรระดับชุมชนแบบมีส่วนร่วมมีความสำคัญอย่างยิ่งด้วยเหตุผลหลายประการจากนโยบายตั้งแต่ปี 2557 คณะรักษาความสงบแห่งชาติได้มีความต้องการให้มีศูนย์เรียนรู้ด้านการเกษตรในระดับชุมชน เพื่อเป็นเครื่องมือในการพัฒนาการเกษตร ดูแลเกษตรกร เป็นศูนย์กลางของการช่วยแก้ไขปัญหาด้านการเกษตรในพื้นที่ และทางกระทรวงเกษตรและสหกรณ์จึงมีนโยบายให้กรมส่งเสริมการเกษตร ในฐานะที่เป็นหน่วยงานหลักในการส่งเสริมและพัฒนาเกษตรกร ครอบคลุมเกษตรกร องค์กรเกษตรกร และวิสาหกิจชุมชน ให้มีความเข้มแข็งพึ่งพาตนเองได้ เพื่อเป็นแหล่งศึกษาและเรียนรู้ของเกษตรกรและประชาชนที่สนใจในด้านการเกษตรจากสถานที่จริง เรียนรู้จากเกษตรกรต้นแบบที่มีประสบการณ์

และความรู้ ความสามารถที่ทำอาชีพการเกษตรและประสบความสำเร็จมาแล้ว ลดต้นทุนการผลิต ผลผลิตเพิ่มขึ้นและมีคุณภาพตามมาตรฐาน เน้นกระบวนการใช้เทคโนโลยีการผลิตที่เหมาะสม การปรับปรุงสภาพดินและบำรุงดิน พร้อมทั้งการน้อมนำปรัชญาของเศรษฐกิจพอเพียงมาประยุกต์ใช้ให้เกิดประโยชน์สูงสุด เพื่อเป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม (Ministry of Agriculture and Cooperatives, 2014) การมีแนวทางการจัดตั้งศูนย์เรียนรู้ด้านการเกษตรระดับชุมชนแบบมีส่วนร่วมจึงเป็นแนวคิดของการทำเกษตรแผนใหม่ นำทรัพยากรบุคคลกรที่เชี่ยวชาญทางด้านการเกษตรมาถ่ายทอดเทคโนโลยีแนวคิด และวิธีการต่าง ๆ เพื่อลดต้นทุนการผลิต สำหรับแก้ไขปัญหาการขาดทุนของเกษตรกร ตัวอย่างเช่น การปลูกพืชหลายชนิดแบบธรรมชาติ สร้างผลผลิต หมุนเวียนสามารถจำหน่ายได้ตลอดทั้งปี เกษตรแผนใหม่ แก้ไขปัญหาการขาดทุนของเกษตรกรในปัจจุบัน

ดังนั้น “โครงการการพัฒนาศูนย์เรียนรู้ด้านการเกษตรระดับชุมชนแบบมีส่วนร่วมตำบลเสื่อไกก์ อำเภอลำปลายมาศ จังหวัดมหาสารคาม” มีส่วนสำคัญยิ่งในการพัฒนาความรู้ ความเข้าใจ ก่อให้เกิดการพึ่งตนเองได้ สร้างความเจริญให้กับชุมชนผ่านกิจกรรมกระบวนการทำงานตามโครงการ เป็นช่องทางสะท้อนปัญหาความต้องการที่แท้จริงเพื่อคนในชุมชนตำบลเสื่อไกก์ อำเภอลำปลายมาศ จังหวัดมหาสารคาม ซึ่งพบว่า ณ ปัจจุบันยังไม่มีศูนย์เรียนรู้ด้านการเกษตรระดับชุมชนแบบมีส่วนร่วมเกิดขึ้น เพราะทั้งนี้ถือว่าเป็นการเปิดโอกาสให้เกษตรกรในชุมชนเข้ามามีส่วนร่วมในการก่อให้เกิดการเรียนรู้ วิธีแก้ไขปัญหาและสร้างความเจริญให้กับชุมชน จากสถานการณ์ปัญหาของการมีส่วนร่วมดังกล่าวข้างต้น (Dulyakul, 2021) ซึ่งยังคงมีปัญหากับการเข้ามามีส่วนร่วมของเกษตรกร มีความจำเป็นต้องศึกษาเกี่ยวกับระดับการมีส่วนร่วมของเกษตรกร ตลอดจนปัญหาและข้อเสนอแนะในการพัฒนาศูนย์เรียนรู้ด้านการเกษตรของกลุ่มเกษตรกรตำบลเสื่อไกก์ โดยกลุ่มเป้าหมายหรือกลุ่มตัวอย่างที่เข้าร่วมโครงการวิจัย ส่วนใหญ่เป็นตัวแทนเกษตรกรในพื้นที่ตำบลเสื่อไกก์และเป็นตัวแทนของเกษตรกรที่มาจากทุกหมู่บ้านรวมถึงผู้นำชุมชน ได้แก่ กำนัน, ผู้ใหญ่บ้านและตัวแทนจากองค์การบริหารส่วนตำบล ซึ่งจากการเข้าศึกษาในครั้งนี้จะเป็นแนวทางการดำเนินงานให้กับส่วนราชการภาคส่วนท้องถิ่น นำข้อมูลต่าง ๆ เพื่อต่อยอดในการส่งเสริมให้เกษตรกรสามารถพัฒนาการด้านเกษตรอื่น ๆ ได้อีก และสามารถนำไปประยุกต์ใช้กับหน่วยงานอื่น ๆ ที่เกี่ยวข้องกับการส่งเสริมและพัฒนาศูนย์เรียนรู้ด้านการเกษตรระดับชุมชนแบบมีส่วนร่วมได้อีก

วัสดุ อุปกรณ์ และวิธีการ

1. ประชากรและกลุ่มตัวอย่าง

การวิจัยครั้งนี้ได้ผู้วิจัยได้กำหนดขอบเขตของประชากรเฉพาะส่วนของเกษตรกรที่มีข้อมูลพื้นฐานจากองค์การบริหารส่วนตำบลเสื่อไกก์ และอาศัยอยู่ในเขตพื้นที่ตลอดจนมีพื้นที่ทำการเกษตรในตำบลเสื่อไกก์ อำเภอลำปลายมาศ จังหวัดมหาสารคาม จำนวนรวมทั้งสิ้น 815 ราย เนื่องจากประชากรมีจำนวนมากถึง 815 ราย โดยใช้วิธีการสุ่มตัวอย่างแบบชั้นภูมิ (Strati field random sampling) และสุ่มตามสัดส่วนจำนวนเกษตรกรในแต่ละหมู่บ้าน โดยใช้สูตรการกระจายตามสัดส่วน โดยผู้วิจัยยอมให้ความคลาดเคลื่อน 5% คำนวณหาตัวอย่างประชากรได้จำนวน 268 ราย คิดเป็นร้อยละ 32.88 ของประชากรและผู้วิจัยเลือกประชากรเป็นเกษตรกรตัวอย่างของศูนย์เรียนรู้ด้านการเกษตร โดยการเลือกแบบเจาะจงจากผู้ให้ข้อมูลหลักจำนวน 20 คน

2. เครื่องมือการวิจัย

ประกอบด้วย แบบสัมภาษณ์แบบมีโครงสร้าง (Structured interview) ซึ่งในแบบสัมภาษณ์ต้องประกอบไปด้วยประเด็นเนื้อหาที่ต้องเก็บรวบรวมสอดคล้องกับวัตถุประสงค์ ทำการทดสอบแบบสัมภาษณ์กับประชากร จำนวน 268 ราย โดยใช้วิธีการสุ่มตัวอย่างแบบชั้นภูมิ (Strati field random sampling) และสุ่มตามสัดส่วนจำนวนเกษตรกรในแต่ละหมู่บ้าน โดยใช้สูตรการกระจายตามสัดส่วน จากนั้นทำการตรวจสอบและพิจารณาความถูกต้องของเนื้อหา คุณภาพของเนื้อหา คุณภาพของคำถามความเที่ยงตรง และความเข้าใจคำถามในแต่ละข้อ ว่าแต่ละข้อคำถามนั้นผู้ถูกสัมภาษณ์เข้าใจตรงกันหรือไม่ และต้องการข้อเสนอแนะเพิ่มเติมเกี่ยวกับแบบสัมภาษณ์จากผู้ให้การทดสอบเพื่อหาความเที่ยงตรงของเนื้อหา (Content validity) และความสมบูรณ์ของแบบสัมภาษณ์ และข้อมูลโดยหาความเชื่อมั่น (Reliability) ของเครื่องมือแบบมาตรฐานประมาณค่าโดยการคำนวณค่าสัมประสิทธิ์แอลฟา (Co-efficiency alpha) (α) สูตรของ Cronbach (1970) โดยผู้วิจัยได้ทำการทดสอบ (Pretest) แบบสัมภาษณ์ในประเด็นปัญหาการมีส่วนร่วมของเกษตรกรในทำศูนย์เรียนรู้ด้านการเกษตรระดับชุมชนแบบมีส่วนร่วม

ร่วมตำบลเสื่อโก้ง อำเภอลำปลายมาศ จังหวัดมหาสารคามโดยสัมภาษณ์ประชากรที่มีลักษณะใกล้เคียงกับกลุ่มตัวอย่างจำนวน 20 ราย แล้วนำมาวิเคราะห์หาค่าสัมประสิทธิ์แอลฟา (Alpha of coefficient) (α) การแปลความหมายระดับความเที่ยง การหาความเชื่อมั่น ที่ระดับความเชื่อมั่นของแบบสัมภาษณ์เท่ากับ 0.95 ซึ่งถือว่าอยู่ในระดับดีมาก กล่าวคือ แบบสัมภาษณ์ มีความน่าเชื่อถือและสามารถนำไปศึกษากับกลุ่มตัวอย่างจริงได้ และในการวิจัยครั้งนี้ผู้วิจัยได้ใช้เครื่องมือในการเก็บข้อมูล คือ แบบสัมภาษณ์ (Interview schedule) ซึ่งมีลักษณะคำถามปลายปิด (Closed-end question) และคำถามปลายเปิด (Opened-end question) แบบสัมภาษณ์ออกเป็น 3 ตอน ดังนี้ 1) ข้อมูลพื้นฐานส่วนบุคคล เศรษฐกิจ และสังคมของเกษตรกร 2) ระดับชุมชนแบบมีส่วนร่วมในการพัฒนาศูนย์เรียนรู้ด้านการเกษตรตำบลเสื่อโก้ง และ 3) ปัญหาและข้อเสนอแนะเกี่ยวกับระดับชุมชนแบบมีส่วนร่วมในการพัฒนาศูนย์เรียนรู้ด้านการเกษตรตำบลเสื่อโก้ง

3. การเก็บรวบรวมข้อมูล

ก่อนการเก็บข้อมูลได้ทำการทดสอบและสัมภาษณ์การเก็บข้อมูลโดยใช้แบบสัมภาษณ์แบบรายบุคคลผู้วิจัยและทีมงานได้แบ่งการเก็บรวบรวมข้อมูลออกเป็น 2 รอบ คือ รอบแรกเป็นการเก็บข้อมูลเชิงปริมาณและเชิงคุณภาพเป็นหลัก เพื่อรวบรวมข้อมูลเกี่ยวกับตัวแปรที่ศึกษาด้วยวิธีการสัมภาษณ์เกษตรกรตัวอย่าง พร้อมสังเกตสภาพทั่วไปของครัวเรือนเกษตรกร สภาพพื้นที่จัดตั้งศูนย์เรียนรู้ในเขตพื้นที่ตำบลเสื่อโก้ง อำเภอลำปลายมาศ จังหวัดมหาสารคาม จากนั้นเก็บข้อมูลรอบที่สอง โดยตรวจสอบความสมบูรณ์ของข้อมูล หากพบว่า ข้อมูลส่วนใดไม่ครบถ้วนสมบูรณ์หรือไม่ชัดเจนในคำตอบ พร้อมทั้งตรวจเอกสารผลการวิจัยที่เกี่ยวข้อง เพื่อเป็นการยืนยันความถูกต้องของข้อมูลที่ได้เก็บรวบรวมการวิเคราะห์ข้อมูลที่รวบรวมได้จากเกษตรกรตัวอย่างแต่ละราย ตรวจสอบความถูกต้องและความสมบูรณ์ของข้อมูลในแบบสัมภาษณ์แต่ละชุด

4 การวิเคราะห์ข้อมูล

4.1 วิเคราะห์ข้อมูลทั่วไป โดยใช้ค่าความถี่ (Frequency) ค่าร้อยละ (Percentage) ค่าเฉลี่ย (Mean) ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard deviation) ค่าต่ำสุด (Minimum) และค่าสูงสุด (Maximum)

4.2 วิเคราะห์ข้อมูลระดับชุมชนแบบมีส่วนร่วมในการพัฒนาศูนย์เรียนรู้ด้านการเกษตร โดยใช้ค่าความถี่ (Frequency) ค่าร้อยละ (Percentage) ค่าเฉลี่ย (Mean) ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard deviation)

4.3 วิเคราะห์ข้อมูลปัญหาและข้อเสนอแนะเกี่ยวกับระดับชุมชนแบบมีส่วนร่วมในการพัฒนาศูนย์เรียนรู้ด้านการเกษตร โดยใช้ค่าความถี่ (Frequency) ค่าร้อยละ (Percentage) ค่าเฉลี่ย (Mean) ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard deviation)

ผลการวิจัย

1 ข้อมูลพื้นฐานส่วนบุคคล เศรษฐกิจ และสังคมของเกษตรกร

จากการศึกษา พบว่า สภาพพื้นฐานส่วนบุคคล ด้านเศรษฐกิจและสังคมเกี่ยวกับ เพศ อายุ ระดับการศึกษา รายได้จากภาคการเกษตรและขนาดพื้นที่ทำการเกษตร ดังนี้ เพศ เกษตรกรตัวอย่างของศูนย์เรียนรู้ฯ ส่วนใหญ่เป็นเพศหญิง จำนวน 15 ราย คิดเป็นร้อยละ 75.0 เพศชาย จำนวน 5 ราย คิดเป็นร้อยละ 25.0 อายุ พบว่า เกษตรกรตัวอย่างของศูนย์เรียนรู้ฯ มีอายุเฉลี่ย 41-61 ปี คิดเป็นร้อยละ 60.0 อยู่ในช่วงระดับการศึกษามัธยมศึกษา ม.3/ปวช. จำนวน 12 ราย คิดเป็นร้อยละ 60.0 สมาชิกในครัวเรือน พบว่า มีสมาชิกในครัวเรือนเฉลี่ย 1-4 คนต่อครัวเรือน คิดเป็นร้อยละ 60.0 (Table 1) และมีขนาดพื้นที่ทำการเกษตรส่วนใหญ่เฉลี่ย 5-10 ไร่ต่อครอบครัว คิดเป็นร้อยละ 65.0 มีแรงงานด้านการเกษตรในครัวเรือนเฉลี่ย 1.40 คน ทั้งนี้อาชีพหลักคือเกษตรกร รองลงมาคือปศุสัตว์ โดยมีรายได้จากการทำเกษตรกรรมเฉลี่ยอยู่ในช่วง 100,001-150,000 บาทต่อปี คิดเป็นร้อยละ 65.0 รายได้จากการทำปศุสัตว์ เฉลี่ยอยู่ในช่วง 15,000-25,000 บาทต่อปี คิดเป็นร้อยละ 65.0 และรายได้จากการเกษตรกรรมอื่น ๆ เฉลี่ย 10,000 บาทต่อปี คิดเป็นร้อยละ 80.0 (Table 2)

Table 1 Gender, age, education level, household members, income from agriculture livestock, other

agriculture (n=20)

Parameter	Number of people	Percentage
Sex		
male	5	25.0
female	15	75.0
Total	20	100.00
Age		
1-25	1	5.0
26-40	1	5.0
41-60	12	60.0
≥60	6	30.0
Total	20	100.00
Education level		
No education	3	15.0
Primary school	2	10.0
Secondary school	12	60.0
High school	2	10.0
Bachelor's degree	1	5.0
Total	20	100.00
Family members		
1-4	12	60.0
5-9	8	40.0
≥10	0	0
Total 20 Percentage 100 Min = 1 : Max = 2 : Mean = 1.40 : SD = 0.503		

Table 2 Size of agricultural area

Economic information (baht/year)	Number of people	Percentage
Agricultural income		
≤100,000	3	15.0
100,001 – 150,000	13	65.0
150,001 – 300,000	3	15.0
≥300,001	1	5.0
Total 20 Percentage 100 Min = 1 : Max = 4 : Mean = 2.10 : SD = 0.718		
Income from livestock farming		
≤10,000	2	10.0
10,001 – 15,000	13	65.0
15,001 – 30,000	5	25.0
≥30,001	0	0
Total 20 Percentage 100 Min = 1 : Max = 3 : Mean = 2.15 : SD = 0.587		

Other agricultural income		
≤10,000	16	80.0
10,001 – 15,000	3	15.0
15,001 – 30,000	1	5.0
≥30,001	0	0
Total 20 Percentage 100 Min = 1 : Max = 3 : Mean = 1.25 : SD = 0.550		
Farmland size in rai		
≤4	4	20.0
5-10	13	65.0
11-20	3	15.0
≥21	0	0
Total 20 Percentage 100 Min = 1 : Max = 3 : Mean = 1.95 : SD = 0.605		

2. ภาพรวมของระดับชุมชนแบบมีส่วนร่วมในการพัฒนาศูนย์เรียนรู้ด้านการเกษตรตำบลเสื่อโก้ง

จากการการศึกษาภาพรวมของระดับชุมชนแบบมีส่วนร่วมในการพัฒนาศูนย์เรียนรู้ด้านการเกษตรตำบลเสื่อโก้ง ทั้ง 5 ด้าน ด้านละ 5 ข้อ รวมทั้งสิ้น 25 ข้อ โดย ประกอบด้วย 1) ด้านการรวบรวมปัญหาและความต้องการ 2) ด้านการวิเคราะห์ข้อมูลและการค้นหาสาเหตุของปัญหา 3) ด้านการเลือกวิธี แนวทางการแก้ไขปัญหา และวางแผนการดำเนินงาน 4) ด้านการมีส่วนร่วมในการดำเนินงานตามแผน และ 5) ด้านการติดตามประเมินผล (Table 3)

จาก Table 3 ภาพรวมของระดับชุมชนแบบมีส่วนร่วมในการพัฒนาศูนย์เรียนรู้ด้านการเกษตรตำบลเสื่อโก้งปรากฏผล ดังนี้ กลุ่มตัวอย่างมีส่วนร่วมของเกษตรกรในการพัฒนาศูนย์เรียนรู้ด้านการเกษตรในภาพรวม อยู่ในระดับมีส่วนร่วมมาก เมื่อพิจารณาในรายประเด็น พบว่า กลุ่มตัวอย่างมีส่วนร่วมในด้านการวิเคราะห์ข้อมูล และการค้นหาสาเหตุของปัญหาในระดับมีส่วนร่วมมากที่สุด และรองลงมาคือด้านการรวบรวมปัญหาและความต้องการและด้านการมีส่วนร่วมในการดำเนินงานตามแผน สุดท้ายคือด้านการติดตามประเมินผลอยู่ในระดับมีส่วนร่วมปานกลาง ดังนั้นภาพรวมแต่ละด้านของการมีส่วนร่วมของเกษตรกรในการพัฒนาศูนย์เรียนรู้ด้านการเกษตรในภาพรวม อยู่ในระดับมีส่วนร่วมมาก

Table 3 Overview of community-level participation in the development of the Suea Kok sub-district agricultural learning center (n=20)

Farmer participation	Average number of questions answered	percentage number of questions answered	interpret	rank
1. Problem and need identification	4.00	80.0	Highly involved	3
2. Data analysis and root cause analysis	4.50	90.0	Most involved	1
3. Solution selection, planning, and implementation	4.00	80.0	Highly involved	4
4. Plan implementation and participation	4.25	85.0	Highly involved	2
5. Monitoring and evaluation	3.75	75.0	Moderately involved	5
Overview of community-level participation in the development of the Suea Kok Sub district Agricultural Learning Center	4.10	82.0	Highly involved	

3. ปัญหาและข้อเสนอแนะเกี่ยวกับระดับชุมชนแบบมีส่วนร่วมในการพัฒนาศูนย์เรียนรู้ด้านการเกษตรตำบลเสื่อโก้ง

ปัญหาและข้อเสนอแนะของเกษตรกร ในการพัฒนาศูนย์เรียนรู้ด้านการเกษตร เป็นข้อมูลแสดงระดับปัญหาของเกษตรกร โดยแบ่งระดับปัญหาไว้เป็น 3 ระดับ คือ มาก ปานกลาง และน้อย มีจำนวนทั้งหมด 5 ด้าน รวมทั้งสิ้น 19 ข้อ โดยประกอบด้วย 1) ด้านการรวบรวมปัญหาและความต้องการ 2) ด้านการวิเคราะห์ข้อมูลและการค้นหาสาเหตุของปัญหา 3) ด้านการเลือกวิธี แนวทางการแก้ไขปัญหา และวางแผนการดำเนินงาน 4) ด้านการมีส่วนร่วมในการดำเนินงานตามแผน และ 5) ด้านการติดตามประเมินผล (Table 4)

จาก Table 4 ปัญหาและข้อเสนอแนะเกี่ยวกับระดับชุมชนแบบมีส่วนร่วมในการพัฒนาศูนย์เรียนรู้ด้านการเกษตรตำบลเสื่อโก้ง ปรากฏผลดังนี้

1. ด้านการรวบรวมปัญหาและความต้องการ พบว่า ในภาพรวมของกลุ่มตัวอย่างมีปัญหาในด้านการรวบรวมปัญหาและความต้องการ ($\bar{x}=3.30$, S.D. = 0.571) อยู่ในระดับปานกลาง

2. ด้านการวิเคราะห์ข้อมูลและการค้นหาสาเหตุของปัญหา พบว่า ในภาพรวมของกลุ่มตัวอย่างมีปัญหาในด้านการวิเคราะห์ข้อมูล และการค้นหาสาเหตุของปัญหา ($\bar{x}=2.95$, S.D. = 0.686) อยู่ในระดับปานกลาง

3. ด้านการเลือกวิธีแนวทางการแก้ไขปัญหาและการวางแผนดำเนินงาน พบว่า ในภาพรวมของกลุ่มเกษตรกรมีปัญหาในด้านการเลือกวิธี แนวทางการแก้ไขปัญหา และการวางแผนดำเนินงาน ($\bar{x}=3.15$, S.D. = 0.745) อยู่ในระดับปานกลาง

4. ด้านการมีส่วนร่วมในการดำเนินงานตามแผน พบว่า ในภาพรวมของกลุ่มเกษตรกรมีปัญหาในด้านการมีส่วนร่วมในการดำเนินงานตามแผน ($\bar{x}=3.30$, S.D. = 0.979) อยู่ในระดับมาก

5. ด้านการติดตามประเมินผล พบว่า ในภาพรวมของกลุ่มเกษตรกรมีปัญหาในด้านการติดตามประเมินผล ($\bar{x}=3.05$, S.D. = 0.826) อยู่ในระดับปานกลาง

ดังนั้น ภาพรวมแต่ละด้านของปัญหาและข้อเสนอแนะเกี่ยวกับระดับชุมชนแบบมีส่วนร่วมในการพัฒนาศูนย์เรียนรู้ด้านการเกษตร ($\bar{x}=3.15$, S.D. = 0.761) อยู่ในระดับปานกลาง

Table 4 Problems and suggestions on community level participation in the development of the Suea Kok sub-district agricultural learning center. (n=20)

Issue	Number of people without any problems	Severity level (Amount / Percentage)			Mean	S.D.	interpret
		Low	medium	High			
1. Problem and need identification	0 (0.00)	1 (5.00)	12 (60.00)	7 (35.00)	3.30	0.571	medium
2. Data analysis and root cause analysis	1 (5.00)	2 (10.00)	14 (70.00)	3 (15.00)	2.95	0.686	medium
3. Solution selection, planning, and implementation	0 (0.00)	4 (20.00)	9 (45.00)	7 (35.00)	3.15	0.745	medium
4. Plan implementation and participation	2 (10.00)	1 (5.00)	6 (30.00)	11 (55.00)	3.30	0.979	High
5. Monitoring and evaluation	1 (5.00)	3 (15.00)	10 (50.00)	6 (30.00)	3.05	0.826	medium
Overview of problems and suggestions on community level participation in the development of the Suea Kok Subdistrict Agricultural Learning Center	4 (4.00)	11 (11.00)	51 (51.00)	34 (34.00)	3.15	0.761	medium

การอภิปรายผล

การอภิปรายผล โดยแยกเป็น 3 ตอน ดังนี้ ตอนที่ 1 ข้อมูลพื้นฐานเพศ อายุ ระดับการศึกษา สมาชิกในครัวเรือน รายได้ จากภาคการเกษตรและขนาดพื้นที่ทำการเกษตรของเกษตรกร ข้อมูลพื้นฐานของกลุ่มตัวอย่างเกษตรกรตำบลเสื่อไกก อำเภอลำปลายมาศ จังหวัดมหาสารคาม เกษตรกรตัวอย่างของศูนย์เรียนรู้ฯ ส่วนใหญ่เป็นเพศหญิง จำนวน 15 ราย คิดเป็นร้อยละ 75.0 เพศชาย จำนวน 5 ราย คิดเป็นร้อยละ 25.0 อายุ พบว่า เกษตรกรกลุ่มตัวอย่างของศูนย์เรียนรู้ฯ มีอายุเฉลี่ย 41-61 ปี คิดเป็นร้อยละ 60.0 อยู่ในช่วงระดับการศึกษามัธยมศึกษา ม.3/ปวช. จำนวน 12 ราย คิดเป็นร้อยละ 60.0 สมาชิกในครัวเรือน พบว่า มีสมาชิกในครัวเรือนเฉลี่ย 1-4 คนต่อครัวเรือน คิดเป็นร้อยละ 60.0 มีขนาดพื้นที่ทำการเกษตรส่วนใหญ่เฉลี่ย 5-10 ไร่ต่อครอบครัว คิดเป็นร้อยละ 65.0 มีแรงงานด้านการเกษตรในครัวเรือนเฉลี่ย 1.40 คน ทั้งนี้อาชีพหลักคือเกษตรกรรม รองลงมาคือปศุสัตว์ โดยมีรายได้จากการทำเกษตรกรรมเฉลี่ยอยู่ในช่วง 100,001-150,000 บาทต่อปี คิดเป็นร้อยละ 65.0 รายได้จากการทำปศุสัตว์ เฉลี่ยอยู่ในช่วง 15,000-25,000 บาทต่อปี คิดเป็นร้อยละ 65.0 และรายได้จากการเกษตรกรรมอื่น ๆ เฉลี่ย 10,000 บาทต่อปี คิดเป็นร้อยละ 80.0 จากข้อมูลที่เก็บได้ดังกล่าวแสดงให้เห็นถึงความสัมพันธ์ที่ซับซ้อนระหว่างสภาพพื้นฐานส่วนบุคคล ด้านเศรษฐกิจและสังคมกับปัจจัยต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องกับการเกษตร ซึ่งเห็นว่า เพศ, อายุ, ระดับการศึกษา, รายได้จากภาคการเกษตร และขนาดพื้นที่ทำการเกษตรมีบทบาทสำคัญในการกำหนดลักษณะและผลลัพธ์ทางการเกษตรของเกษตรกรในพื้นที่ศึกษา เช่น การสนับสนุนที่คำนึงถึงความแตกต่างทางเพศและช่วงวัยของเกษตรกร การยกระดับการศึกษาและทักษะของเกษตรกรอย่างต่อเนื่อง เพื่อเพิ่มขีดความสามารถในการนำเทคโนโลยีและองค์ความรู้ใหม่ ๆ ไปประยุกต์ใช้ และการบริหารจัดการพื้นที่ทำการเกษตรอย่างมีประสิทธิภาพ เพื่อเพิ่มผลผลิตและรายได้ เป็นต้น

ตอนที่ 2 ภาพรวมของระดับชุมชนแบบมีส่วนร่วมในการพัฒนาศูนย์เรียนรู้ด้านการเกษตรตำบลเสื่อไกกพบว่า กลุ่มตัวอย่างมีระดับชุมชนแบบมีส่วนร่วมในการพัฒนาศูนย์เรียนรู้ด้านการเกษตรในภาพรวม อยู่ในระดับมีส่วนร่วมมาก เมื่อพิจารณาในรายประเด็น พบว่า กลุ่มตัวอย่างมีส่วนร่วมในด้านการวิเคราะห์ข้อมูล และการค้นหาสาเหตุของปัญหาในระดับมีส่วนร่วมมากที่สุด และรองลงมาคือด้านการรวบรวมปัญหาและความต้องการและการมีส่วนร่วมในการดำเนินงานตามแผน สุดท้ายคือด้านการติดตามประเมินผลอยู่ในระดับมีส่วนร่วมปานกลาง ดังนั้นภาพรวมแต่ละด้านของการมีส่วนร่วมของเกษตรกรในการพัฒนาศูนย์เรียนรู้ด้านการเกษตรในภาพรวม อยู่ในระดับมีส่วนร่วมมาก ข้อดีจากภาพรวมของระดับชุมชนแบบมีส่วนร่วม 1) เปิดโอกาสให้ชุมชนมีส่วนร่วม 2) สอดคล้องกับบริบทของชุมชนและ 3) ชุมชนได้เรียนรู้ในแหล่งเรียนรู้ที่หลากหลาย และ ตอนที่ 3 ปัญหาและข้อเสนอแนะเกี่ยวกับระดับชุมชนแบบมีส่วนร่วมในการพัฒนาศูนย์เรียนรู้ด้านการเกษตร จากการศึกษา พบว่า ปัญหาและข้อเสนอแนะเกี่ยวกับการมีส่วนร่วมของชุมชนในการพัฒนาศูนย์เรียนรู้ด้านการเกษตรตำบลเสื่อไกก ที่เกิดขึ้นตัวแทนเกษตรกรในชุมชนร่วมกับหน่วยงานต่าง ๆ และคนในชุมชนร่วมกันแก้ไขปัญหา นั้น ๆ ได้เป็นอย่างดีชุมชนมีการรวมกลุ่มและจัดกิจกรรมต่าง ๆ ในชุมชนจนเกิดเป็นเครือข่าย มีการจัดตั้งศูนย์การเรียนรู้อย่างเป็นรูปธรรมและเป็นแบบอย่างในการพัฒนาคุณภาพของชุมชนให้ดีขึ้น

บทสรุป

การมีส่วนร่วมของเกษตรกรในทำศูนย์เรียนรู้ด้านการเกษตรระดับชุมชนแบบมีส่วนร่วมตำบลเสื่อไกก อำเภอลำปลายมาศ จังหวัดมหาสารคาม จากปัญหาและข้อเสนอแนะเกี่ยวกับระดับชุมชนแบบมีส่วนร่วมของชุมชนเอง ควรมีส่วนร่วมในการวางแผนกิจกรรมการเรียนรู้ เน้นให้ได้เรียนรู้โดยการปฏิบัติจริงและเปิดโอกาสให้คนในชุมชนอื่น ๆ เข้ามามีส่วนร่วมในการวางแผนกิจกรรมมากขึ้น โดยสามารถสังเกตได้จากภาพรวมแต่ละด้านของการมีส่วนร่วมของเกษตรกรในการพัฒนาศูนย์เรียนรู้ด้านการเกษตรในภาพรวม อยู่ในระดับมีส่วนร่วมมาก ข้อดีจากภาพรวมของระดับชุมชนแบบมีส่วนร่วม 1) เปิดโอกาสให้ชุมชนมีส่วนร่วม 2) สอดคล้องกับบริบทของชุมชนและ 3) ชุมชนได้เรียนรู้ในแหล่งเรียนรู้ที่หลากหลาย จึงทำให้สามารถการวิเคราะห์ข้อมูล และการหาสาเหตุของปัญหาได้ โดยสรุปประเด็นได้ 5 ประเด็น คือ 1) ด้านการรวบรวมปัญหาและความต้องการ พบว่า ในภาพรวมของกลุ่มตัวอย่างมีปัญหาในด้านการรวบรวมปัญหาและความต้องการ ($\bar{x}=3.30$, S.D. = 0.571) อยู่ในระดับปานกลาง 2) ด้านการวิเคราะห์ข้อมูลและการหาสาเหตุของปัญหา พบว่าในภาพรวมของกลุ่มตัวอย่างมีปัญหาในด้านการวิเคราะห์ข้อมูล และการหาสาเหตุของปัญหา ($\bar{x}=2.95$, S.D. = 0.686) อยู่ในระดับปานกลาง 3) ด้านการเลือกวิธีแนวทางการแก้ไขปัญหาและการวางแผนดำเนินงาน พบว่าในภาพรวมของกลุ่มตัวอย่างมีปัญหาในด้านการเลือกวิธี แนว

ทางการแก้ไขปัญหา และการวางแผนดำเนินงาน ($\bar{x}=3.15$, S.D. = 0.745) อยู่ในระดับปานกลาง 4) ด้านการมีส่วนร่วมในการดำเนินงานตามแผน พบว่า ในภาพรวมของกลุ่มตัวอย่างมีปัญหาในการมีส่วนร่วมในการดำเนินงานตามแผน ($\bar{x}=3.30$, S.D. = 0.979) อยู่ในระดับมาก และ 5) ด้านการติดตามประเมินผล พบว่า ในภาพรวมของกลุ่มตัวอย่างมีปัญหาในการติดตามประเมินผล ($\bar{x}=3.05$, S.D. = 0.826) อยู่ในระดับปานกลาง ภาพรวมแต่ละด้านของปัญหาและข้อเสนอแนะเกี่ยวกับระดับชุมชนแบบมีส่วนร่วมในการพัฒนาศูนย์เรียนรู้ด้านการเกษตร ($\bar{x}=3.15$, S.D. = 0.761) อยู่ในระดับปานกลาง

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณทางองค์การบริหารส่วนตำบลเสื่อโก้ง อำเภอบัวชุม จังหวัดมหาสารคาม และคณะเทคโนโลยีการเกษตร มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม ที่อำนวยความสะดวกในการดำเนินงาน พร้อมทั้งเอื้อเฟื้อสถานที่ในการทำงานวิจัย ขอขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อุตร จิตจักร ที่กรุณาตรวจสอบคุณภาพงานวิจัย แก้ไข ข้อเสนอแนะ อันเป็นประโยชน์อย่างยิ่ง รวมทั้งคณาจารย์ทุกท่านที่ได้ประสิทธิ์ประสาท วิชาความรู้ ประสบการณ์ที่มีคุณค่ายิ่งแก่ผู้วิจัยและคณะตลอดจนเจ้าของผลงาน ตำรา เอกสารทางวิชาการทุกท่านที่ผู้วิจัยได้นำมาศึกษา ก่อให้เกิดแนวคิดอันมีคุณค่าต่องานวิจัย ท้ายนี้ ขอขอบคุณเจ้าหน้าที่ กำนัน ผู้ใหญ่บ้าน ตัวแทนชุมชนและเกษตรกรที่กรุณาให้ความอนุเคราะห์ และเสียสละเวลาในการให้ข้อมูลตอบแบบสอบถามตลอดจนครอบครัวที่เป็นแรงสนับสนุนในการทำวิจัยในครั้งนี้สำเร็จได้ด้วยดี

เอกสารอ้างอิง

- Charoenit, T. (2007). *Public participation in the administration of Bung Wai Subdistrict Administrative Organization, Warin Chamrap District, Ubon Ratchathani Province*. Master's thesis, Khon Kaen University]. Graduate School. (In Thai)
- Cronbach, L. J. (1970). *Essentials of psychological test* (5th ed.). Harper Collins.
- Dulyakul, N. (2021). *Guide lines for the development of model farmers of the Center for Increasing Efficiency in Agricultural Production (COE) in Narathiwat Province*. Master's thesis, Maejo University. Sustainable Geo-social Development. (In Thai)
- Ministry of Agriculture and Cooperatives. (2014). *Manual for Agricultural Production Management According to the Guidelines for Agricultural Area Management*. Bangkok. (In Thai)
- Office of the Education Council, and Ministry of Education. (2017). *The official title of the document Bangkok, Thailand*. (In Thai)

Received: March 28, 2025; Revised: May 22, 2025; Accepted: June 6, 2025

การประเมินการเจริญเติบโตและผลผลิตของข้าวตลาดเฉพาะเพื่อปลูกในจังหวัดสงขลา Assessment of growth and yield of niche market rice for cultivation in Songkhla Province

ภัทรพร ภัคดีฉนวน^{1*} และชนากานต์ วงษาพรหม²Phattharaporn Pakdeechanuan^{1*} and Chanakarn Wongsaprom²¹คณะเทคโนโลยีการเกษตร มหาวิทยาลัยราชภัฏสงขลา จังหวัดสงขลา¹Faculty of Agricultural Technology, Songkhla Rajabhat University, Songkhla Province²ศูนย์พันธุวิศวกรรมและเทคโนโลยีชีวภาพแห่งชาติ (ไบโอเทค), สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ (สวทช.), กรุงเทพมหานคร²National Center for Genetic Engineering and Biotechnology (BIOTEC), National Science and Development Agency (NSTDA), Bangkok

*Corresponding Author E-mail Address : phattharaporn.pa@skru.ac.th

บทคัดย่อ

ข้าวตลาดเฉพาะ (Niche market rice) เป็นข้าวที่มีคุณลักษณะพิเศษ มีคุณค่าทางโภชนาการสูง ซึ่งผลิตให้มีคุณภาพตามมาตรฐานสินค้าโดยมีตลาดและผู้บริโภคเฉพาะ การศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อเปรียบเทียบการเจริญเติบโต องค์ประกอบผลผลิต และผลผลิตของพันธุ์ข้าวในกลุ่มสินค้าข้าวตลาดเฉพาะในแปลงนาเกษตรกร อำเภอเมือง จังหวัดสงขลา ฤดูนาปี (ตุลาคม พ.ศ. 2565 ถึงมีนาคม พ.ศ. 2566) วางแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ภายในบล็อก (Randomized Complete Block Design) จำนวน 4 ซ้ำ ปลูกข้าวทั้งหมด 6 พันธุ์ประกอบด้วย ข้าวเหนียวจำนวน 2 พันธุ์ (พันธุ์กข 6 ต้นเตี้ย และพันธุ์ธัญสิริน) และข้าวเจ้าจำนวน 4 พันธุ์ (พันธุ์สังข์หยด พันธุ์กข 43 พันธุ์หอมชลสิทธิ์ และพันธุ์โรซ์เบอร์รี่) พบว่า ข้าวทั้ง 6 พันธุ์สามารถเจริญเติบโตและปรับตัวเข้ากับสภาพแวดล้อมได้ โดยมีผลผลิตแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.01$) ในกลุ่มข้าวเจ้า พันธุ์หอมชลสิทธิ์ให้ผลผลิตสูงสุด (686.48 กิโลกรัมต่อไร่) รองลงมาพันธุ์โรซ์เบอร์รี่ (521.23 กิโลกรัมต่อไร่) พันธุ์กข 43 (495.92 กิโลกรัมต่อไร่) ขณะที่พันธุ์สังข์หยดให้ผลผลิตต่ำสุด (362.86 กิโลกรัมต่อไร่) สำหรับกลุ่มข้าวเหนียวพันธุ์ธัญสิรินมีผลผลิต (479.24 กิโลกรัมต่อไร่) สูงกว่าพันธุ์กข 6 ต้นเตี้ย (397.62 กิโลกรัมต่อไร่) ผลการศึกษานี้ชี้ให้เห็นว่าสามารถส่งเสริมให้เกษตรกรเลือกปลูกพันธุ์ข้าวในกลุ่มสินค้าข้าวตลาดเฉพาะได้ เพื่อเพิ่มโอกาสทางเศรษฐกิจให้เกษตรกรในพื้นที่จังหวัดสงขลา

คำสำคัญ: ผลผลิตข้าว องค์ประกอบผลผลิต ข้าวตลาดเฉพาะ

Abstract

Niche market rice is distinguished by its unique characteristics and high nutritional value. It is produced to meet specific quality standards and is targeted toward particular markets and consumer groups. This study aimed to compare the growth, yield components, and yield of rice varieties in the niche market rice category in farmers' fields in Mueang District, Songkhla Province during the 2022/23 rainy season (October 2022 to March 2023). A randomized complete block design with four replications was implemented in the experimental design. In total, six rice varieties were cultivated, including two glutinous rice varieties (RD6

semidwarf and Thunya sirin) and four non-glutinous rice varieties (Sungyod, RD43, Hom cholasit, and Riceberry). The results demonstrated that all six rice varieties were capable of adapting to the environmental conditions and growing, with statistically significant differences in yield ($p < 0.01$). Hom Cholasit had the highest yield (686.48 kg/rai) among the non-glutinous rice varieties, followed by Riceberry (521.23 kg/rai) and RD43 (495.92 kg/rai). Sungyod had the lowest yield (362.86 kg/rai). Thunya Sirin had a higher yield (479.24 kg/rai) in the glutinous rice group than RD6 semidwarf (397.62 kg/rai). The results of this study indicate the potential to encourage farmers to cultivate niche market rice varieties to enhance economic opportunities in Songkhla Province.

Keywords: Grain yield, Yield components, Niche market rice

บทนำ

พฤติกรรมการบริโภคอาหารของประชากรโลกเปลี่ยนแปลงอย่างต่อเนื่อง ผู้บริโภคให้ความสำคัญต่อการดูแลสุขภาพและความปลอดภัยของอาหารเพิ่มสูงขึ้น ส่งผลให้การจำหน่ายข้าวที่เป็นอาหารหลักของคนไทยมีแนวโน้มปรับเปลี่ยนเพื่อตอบสนองต่อความต้องการของผู้บริโภคตามกระแสสุขภาพมากขึ้น โดยเรียกข้าวที่มีคุณค่าทางโภชนาการที่สูง (High nutrition rice) ซึ่งเป็นข้าวที่อุดมด้วยชนิดและปริมาณของสารอาหารที่ให้คุณประโยชน์แก่ผู้บริโภคเป็นอย่างมากกว่า “ข้าวเพื่อสุขภาพ” และจัดให้ข้าวโภชนาการสูงอยู่ในกลุ่มสินค้าข้าวตลาดเฉพาะ (Niche market rice) เนื่องจากตอบสนองความต้องการของผู้บริโภคเฉพาะกลุ่มที่มองหาผลิตภัณฑ์เพื่อสุขภาพที่ดีขึ้น (Kannuch, 2021; Rice Department & Department of Internal Trade, 2022; Rice Trade Administration Division, 2022)

ปัจจุบันมีข้าวพันธุ์ใหม่ ๆ ที่มีศักยภาพในการเป็นสินค้าข้าวตลาดเฉพาะเพิ่มมากขึ้น เช่น พันธุ์ไรซ์เบอร์รี่ พันธุ์กข 43 พันธุ์สังข์หยด พันธุ์หอมชลสิทธิ์ และพันธุ์ธัญลิริน โดยเฉพาะพันธุ์ไรซ์เบอร์รี่ และพันธุ์กข 43 จัดเป็นข้าวกลุ่มข้าวชั้นดีที่รัฐบาลไทยพยายามผลักดันและส่งเสริมขยายตลาดส่งออกให้เพิ่มมากขึ้น (Manager Online, 2021; Rice Trade Administration Division, 2022) พันธุ์ไรซ์เบอร์รี่มีลักษณะเด่นที่สำคัญ คือ เมล็ดข้าวสีม่วงเข้มคล้ายผลเบอร์รี่ซึ่งอุดมด้วยสารแอนโทไซยานิน (Anthocyanin) จึงเป็นข้าวที่มีสารออกฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระสูง มีคุณค่าทางโภชนาการสูงเนื่องจากผ่านกระบวนการสีข้าวน้อยกว่าข้าวขาว โดยคุณค่าทางโภชนาการต่อ 100 กรัม ในเมล็ดประกอบด้วย พลังงาน 360 กิโลแคลอรี คาร์โบไฮเดรต 80 กรัม ไขมัน 4 กรัม โปรตีน 8 กรัม และค่าดัชนีน้ำตาล (Glycemic Index; GI) ในระดับปานกลางค่อนข้างต่ำอยู่ที่ 62 (Thadamatakul et al., 2021) ส่งผลให้พันธุ์ไรซ์เบอร์รี่ได้รับความนิยมบริโภคอย่างแพร่หลายและรวดเร็วในตลาดข้าวเพื่อสุขภาพทั้งในประเทศและต่างประเทศ ส่วนพันธุ์กข 43 มีปริมาณอะไมเลสต่ำอยู่ที่ร้อยละ 18.82 คุณภาพของเมล็ดหุงต้ม นุ่มเหนียว มีกลิ่นหอมอ่อน ๆ และมีคุณค่าทางโภชนาการที่โดดเด่น โดยเฉพาะอย่างยิ่งมีค่าดัชนีน้ำตาลปานกลางค่อนข้างต่ำอยู่ที่ 57.5 (Wasusun et al., 2017) สำหรับพันธุ์สังข์หยดข้าวพื้นเมืองของภาคใต้ที่เป็นที่รู้จักอย่างแพร่หลาย โดยเฉพาะในกลุ่มผู้บริโภคที่เน้นอาหารเพื่อสุขภาพ พันธุ์สังข์หยดมีลักษณะเยื่อหุ้มเมล็ดมีสีแดงเข้มโดยมีปริมาณแอนโทไซยานิน 18.06 มิลลิกรัมต่อน้ำหนักแห้ง 100 กรัม มีปริมาณโปรตีน และคาร์โบไฮเดรต เท่ากับ 9.77 และ 81.66 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ (Jaikaew & Subanmanee, 2021) มีปริมาณไนอาซิน (Niacin) 6.46 มิลลิกรัม โยอาหาร 4.81 กรัม และธาตุเหล็ก 0.52 มิลลิกรัมจากตัวอย่างข้าวกล้อง 100 กรัม เมื่อสีเป็นข้าวกล้องหรือข้าวสารจะมีเยื่อหุ้มเมล็ดสีขาวปนสีแดงจางๆจนสีแดงเข้มในเมล็ดเดียวกัน เมื่อข้าวหุงสุกมีความนุ่มมาก และยังคงนุ่มอยู่เมื่อเย็นตัวลง (Wattanakul et al., 2016) พันธุ์หอมชลสิทธิ์ เป็นข้าวเจ้าพื้นนุ่มมีปริมาณอะไมเลสต่ำอยู่ที่ร้อยละ 14 ซึ่งเมื่อหุงสุกแป้งเปลี่ยนเป็นน้ำตาลน้อย เมล็ดข้าวมีกลิ่นหอมโดยมีปริมาณสารหอม 2-Acetyl-1 Pyrroline (2AP) เท่ากับ 1.19 ppm มีธาตุสังกะสีสูง และธาตุเหล็กสูงกว่าข้าวเจ้าถึง 2.78 เท่า นอกจากนี้พันธุ์หอมชลสิทธิ์มีลักษณะที่โดดเด่นสำคัญ คือ เป็นข้าวทนน้ำท่วมฉับพลันในทุกระยะการเจริญเติบโต สามารถทนอยู่ในน้ำได้นานอย่างน้อย 2-3 สัปดาห์ แล้วสามารถฟื้นตัวหลังน้ำลดได้ (Cluster and Program Management Department, 2016; Kasetsart University Research and Development Institute, 2016; Rice Products Development Division, 2017; Department of Agriculture, 2020) นอกจากนี้ยุทธศาสตร์ข้าวไทยได้จัดข้าวเหนียวเป็นสินค้าข้าวตลาดเฉพาะ (Thai Rice Foundation under the Royal Patronage, 2020) ข้าวเหนียวธัญลิรินเป็นข้าวเหนียวเมล็ดเรียวยาว คุณภาพหุงต้มอยู่ในระดับดี โดยข้าวสุกมีความเหนียวนุ่มและมีกลิ่นหอม ข้าวสุกเมื่อเย็นแล้วยังคงความนุ่ม

(National Center for Genetic Engineering and Biotechnology & National Science and Technology Development Agency, 2021) ส่วนข้าวเหนียว กข6 ต้นเตี้ยมีคุณภาพสูงตามอยู่ในระดับดีเช่นเดียวกับข้าวเหนียวธัญสิริน แต่ต้นเตี้ยกว่าโดยมีความสูงประมาณ 130 เซนติเมตร และต้านทานโรคไหม้และโรคขอบใบแห้ง (Cluster and Program Management Department, 2015) ในขณะที่ข้าวเหนียวธัญสิรินมีความสูงประมาณ 155 เซนติเมตร และต้านทานโรคไหม้ (National Center for Genetic Engineering and Biotechnology & National Science and Technology Development Agency, 2021)

ข้าวเป็นพืชเศรษฐกิจหลักของจังหวัดสงขลาในลำดับที่ 2 รองจากยางพารา โดยมีพื้นที่ปลูกข้าวประมาณ 307,471 ไร่ ซึ่งพื้นที่ปลูกข้าวที่มีความเหมาะสมสูงและเหมาะสมปานกลางกระจายตัวอยู่ในอำเภอต่าง ๆ ได้แก่ อำเภอระโนด อำเภอสิงหนคร อำเภอเมืองสงขลา อำเภอหาดใหญ่ และอำเภอจะนะ สำหรับพื้นที่ปลูกข้าวในอำเภอเมืองสงขลา เกษตรกรปลูกข้าวเพื่อบริโภคในครัวเรือนและแปรรูปข้าวเบื้องต้นเพื่อจำหน่ายในชุมชนและพื้นที่ข้างเคียง จังหวัดสงขลาได้สนับสนุนให้คนสงขลาหันมาบริโภคข้าวที่ปลูกในจังหวัดสงขลาโดยผ่านการประชาสัมพันธ์ “คนสงขลา บริโภคข้าวสงขลา” ทั้งนี้การเพิ่มขีดความสามารถในการแข่งขันของเกษตรกรผู้ปลูกข้าวในจังหวัดสงขลาได้มีการส่งเสริมสนับสนุนภายใต้หลักการตลาดนำการผลิต โดยได้แบ่งตลาดออกเป็นตลาดทั่วไปและตลาดเฉพาะ (Land Development Department, 2021; Songkhla Provincial Agriculture and Cooperatives Office, 2021; Rice Department, 2023)

ด้วยเหตุนี้การนำพันธุ์ข้าวในกลุ่มข้าวตลาดเฉพาะเข้ามาปลูกในพื้นที่ปลูกข้าวที่มีศักยภาพในจังหวัดสงขลา จึงเป็นแนวทางที่น่าสนใจ ดังนั้นงานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อเปรียบเทียบการเจริญเติบโต องค์ประกอบผลผลิต และผลผลิตของข้าวซึ่งมีทั้งประเภทข้าวเหนียวและข้าวเจ้าในพื้นที่แปลงนากลุ่มเกษตรกรนาข้าวบ้านสวนใต้ ตำบลทุ่งหวัง อำเภอเมือง จังหวัดสงขลา เพื่อให้พื้นที่เป้าหมายได้มีข้าวหลากหลายพันธุ์ที่มีคุณสมบัติเด่นด้านโภชนาการสูง และคุณสมบัติพิเศษอื่น ๆ นอกจากนี้เพื่อพัฒนาความรู้และทักษะของเกษตรกรในการเลือกใช้พันธุ์ข้าวที่เหมาะสมกับสภาพพื้นที่และตอบสนองความต้องการของตลาดเฉพาะ นำไปสู่การสร้างโอกาสทางเศรษฐกิจให้แก่ชุมชนโดยการเพิ่มมูลค่าผลผลิตข้าวและรายได้ให้แก่เกษตรกรผู้ปลูกข้าวในจังหวัดสงขลาต่อไป

วัสดุ อุปกรณ์ และวิธีการ

การวางแผนการทดลอง

วางแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ภายในบล็อก (Randomized Complete Block Design) จำนวน 4 ซ้ำ ประกอบด้วยพันธุ์ข้าวจำนวน 6 พันธุ์ ซึ่งได้รับความอนุเคราะห์เมล็ดพันธุ์จากศูนย์พันธุ์วิศวกรรมและเทคโนโลยีชีวภาพแห่งชาติ สวทช. ดังนี้ พันธุ์ข้าวเหนียวจำนวน 2 พันธุ์ ได้แก่ พันธุ์กข 6 ต้นเตี้ย และพันธุ์ธัญสิริน และข้าวเจ้าจำนวน 4 พันธุ์ ได้แก่ พันธุ์สังข์หยด พันธุ์กข 43 พันธุ์หอมชลสิทธิ์ และพันธุ์ไรซ์เบอร์รี่ โดยใช้พันธุ์กข 6 ต้นเตี้ย และพันธุ์สังข์หยด เป็นพันธุ์เปรียบเทียบสำหรับพันธุ์ข้าวเหนียวและข้าวเจ้าตามลำดับ แปลงย่อยมีขนาด 20 ตารางเมตร แต่ละแปลงนาย่อยห่างกัน 1 เมตร รวมทั้งหมด 24 แปลงนาย่อย อยู่ในแปลงนาใหญ่ ทำคันดินกันโดยรอบเพื่อป้องกันการไหลบ่าของน้ำในแปลงย่อย ดำเนินการวิจัยและรวบรวมข้อมูลในฤดูนาปี (ตุลาคม พ.ศ. 2565-มีนาคม พ.ศ. 2566) ณ แปลงกลุ่มเกษตรกรนาข้าวบ้านสวนใต้ ตำบลทุ่งหวัง อำเภอเมือง จังหวัดสงขลา ซึ่งบริเวณนี้เป็นกลุ่มดินร่วนละเอียดในพื้นที่ลุ่ม จัดอยู่ในชุดดินสงขลาโดยดินชั้นบนมีเนื้อดินเป็นดินร่วนปนทราย ส่วนดินชั้นล่างมีเนื้อดินเป็นดินร่วนเหนียวปนทราย มี pH 6.0-6.5 (Soil Resources Survey and Research Division, 2017)

วิธีการปลูกและดูแลรักษา

การจัดเตรียมแปลงนาย่อยมีการปฏิบัติจัดการเหมือนกันหมดโดยเตรียมแปลงนาด้วยการไถดะ 1 ครั้ง ไถแปร 1 ครั้ง แล้วพรวนดินให้ร่วน 1 ครั้ง หลังจากนั้นปรับพื้นที่ให้สม่ำเสมอแล้วจึงขังน้ำในแปลงนาโดยรักษาระดับน้ำให้อยู่ในระดับ 5-10 เซนติเมตรตลอดฤดูปลูก และปล่อยน้ำออกให้แห้งในระยะเก็บเกี่ยวเพื่อให้ข้าวสุกแก่พร้อมกัน การเตรียมต้นกล้าโดย นำเมล็ดพันธุ์แช่น้ำ 12 ชั่วโมง และหุ้มไว้ในที่ร่มนาน 24 ชั่วโมง จากนั้นจึงนำไปหว่านเพาะในแปลงเพาะกล้า เมื่อต้นกล้ามีอายุได้ 25 วันจึงถอนกล้าไปปักดำลงในแปลงนาโดยคัดเลือกต้นกล้าที่แข็งแรง ปักดำโดยใช้ต้นกล้า 1 ต้นต่อหลุมและใช้ระยะปลูก 25x25 เซนติเมตร ใช้เมล็ดพันธุ์ในอัตรา 3-4 กิโลกรัมต่อไร่ สำหรับการจัดการความอุดมสมบูรณ์ของดิน ใส่ปุ๋ยสูตร 15-15-15 อัตรา 5 กิโลกรัมต่อไร่ ร่วมกับใส่ปุ๋ยสูตร 16-20-0 อัตรา 20 กิโลกรัมต่อไร่ เป็นปุ๋ยรองพื้น และในระยะข้าวเริ่มสร้างรวงอ่อน

ใส่ปุ๋ยสูตร 15-15-15 อัตรา 5 กิโลกรัมต่อไร่ ร่วมกับใส่ปุ๋ยสูตร 46-0-0 อัตรา 20 กิโลกรัมต่อไร่ สำหรับการกำจัดวัชพืชใช้มือถอนตามความจำเป็นอย่างน้อย 3 ครั้ง จนเก็บเกี่ยว และการป้องกันกำจัดโรคและแมลงศัตรูข้าวใช้น้ำหมักพืชสมุนไพรและสารชีวภัณฑ์ฉีดพ่นช่วงเข้ามิดและช่วงเย็นเมื่อพบการเข้าทำลาย

การบันทึกข้อมูล

1. ข้อมูลการเจริญเติบโต องค์ประกอบผลผลิต และผลผลิตของต้นข้าว

บันทึกข้อมูลการเจริญเติบโตของต้นข้าวในพื้นที่ 2×2 ตารางเมตร สุ่มบริเวณกลางแปลงในแต่ละแปลงย่อย บันทึกข้อมูลจำนวนต้นตอก (ต้น) ความสูงที่ระยะเก็บเกี่ยวโดยวัดความสูงจากระดับพื้นดินถึงปลายรวงข้าวที่สูงที่สุด (เซนติเมตร) อายุวันออกดอก นับจากวันที่เพาะเมล็ดจนถึงเมื่อต้นข้าวในแปลงออกดอก 50 เปอร์เซ็นต์ ของทั้งแปลงย่อย (วัน) และอายุวันเก็บเกี่ยว นับจากวันที่เพาะเมล็ดจนถึงข้าวสุกแก่ (วัน) และบันทึกข้อมูลองค์ประกอบผลผลิต ได้แก่ จำนวนรวงตอก (รวง) ความยาวรวงโดยวัดจากข้อแรกของรวงเหนือใบธงถึงปลายรวง (เซนติเมตร) จำนวนเมล็ดต่อรวง (เมล็ด) เปอร์เซ็นต์เมล็ดดีต่อรวง และเปอร์เซ็นต์เมล็ดลีบ บันทึกในช่วงหลังเก็บเกี่ยวผลผลิตข้าว สุ่มเก็บรวงข้าวจำนวน 10 รวง นับจำนวนเมล็ดดี และจำนวนเมล็ดลีบตามลำดับ แล้วนำมาคำนวณเป็นเปอร์เซ็นต์ น้ำหนัก 1,000 เมล็ด ที่ระดับความชื้นเมล็ด 14 เปอร์เซ็นต์ (กรัม) และน้ำหนักผลผลิตข้าวที่ความชื้น 14 เปอร์เซ็นต์ โดยใช้หน่วยเป็นกรัม/พื้นที่เก็บเกี่ยว แล้วนำมาคำนวณเป็นกิโลกรัมต่อไร่

2. ข้อมูลอุตุนิมิตวิทยาประจำปี

เก็บรวบรวมข้อมูลอุตุนิมิตวิทยาประจำปี ได้แก่ ปริมาณน้ำฝน จำนวนวันฝนตก อุณหภูมิ และความเร็วลม ของพื้นที่อำเภอเมือง จังหวัดสงขลา ตั้งแต่ พ.ศ. 2555-2567 จากแหล่งข้อมูลกรมอุตุนิมิตวิทยา แล้วนำมาคำนวณค่าเฉลี่ย

การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ

วิเคราะห์ความแปรปรวน (Analysis of variance) ตามแผนการทดลองที่กำหนดไว้ และเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยโดยวิธี Duncan's multiple range test (DMRT) ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% และ 99% ด้วยโปรแกรมวิเคราะห์ทางสถิติ STAR (Statistical tool for agricultural research) Version 2.0.1

ผลการวิจัย

การเจริญเติบโต

ข้าวตลาดเฉพาะจำนวน 6 พันธุ์ที่ปลูกในแปลงนาเกษตรกรจังหวัดสงขลา พบว่า มีการเจริญเติบโตด้านความสูงต้นและจำนวนต้นตอกแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) (Table 1) ในกลุ่มข้าวเจ้า พบว่า พันธุ์สังข์หยดมีความสูงต้นเฉลี่ยสูงสุด 119.18 เซนติเมตร รองลงมาคือ พันธุ์หอมชลสิทธิ์ และพันธุ์ไรซ์เบอร์รี่ (107.44 และ 102.26 เซนติเมตรตามลำดับ) ในขณะที่พันธุ์กข 43 มีความสูงต้นเฉลี่ยต่ำสุด 98.25 เซนติเมตร สำหรับการแตกกอพันธุ์หอมชลสิทธิ์ให้จำนวนต้นตอกเฉลี่ยมากที่สุดเท่ากับ 12.82 ต้นตอก แต่ไม่แตกต่างกับพันธุ์ไรซ์เบอร์รี่ (9.19 ต้นตอก) รองลงมาคือ พันธุ์กข 43 และพันธุ์สังข์หยดซึ่งมีจำนวนต้นตอกเฉลี่ยเท่ากับ 8.95 และ 8.63 ต้นตอก ตามลำดับ ส่วนในกลุ่มข้าวเหนียว พบว่า พันธุ์ธัญสิรินมีความสูงต้นและจำนวนต้นตอกมากกว่าพันธุ์กข 6 ต้นเตี้ย อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

สำหรับอายุวันออกดอก 50 เปอร์เซ็นต์ และอายุเก็บเกี่ยวมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.01$) (Table 1) โดยพันธุ์สังข์หยดมีอายุวันออกดอก 50 เปอร์เซ็นต์ และอายุเก็บเกี่ยวมากที่สุดเท่ากับ 104.50 และ 134.00 วันตามลำดับ รองลงมาคือ พันธุ์ไรซ์เบอร์รี่ และพันธุ์หอมชลสิทธิ์ ในขณะที่พันธุ์กข 43 มีอายุวันออกดอก 50 เปอร์เซ็นต์ และอายุเก็บเกี่ยวสั้นที่สุดเท่ากับ 65.50 และ 93.50 วัน ตามลำดับ

Table 1 Mean comparison for plant height, tillers number, days to 50% flowering, and days to harvesting for six rice varieties grown in Songkhla Province.

Varieties	Plant height (cm)	No. of tillers/ plant	No. of days to 50% flowering	No. of days to harvesting
RD6 semidwarf	110.12 ^b	6.80 ^d	80.75 ^c	110.25 ^c
Thunya sirin	117.05 ^a	8.43 ^c	83.00 ^c	112.00 ^c
Sungyod	119.18 ^a	8.63 ^{bc}	104.50 ^a	134.00 ^a
RD43	98.25 ^c	8.95 ^b	65.50 ^d	93.50 ^d
Hom Chonlasit	107.44 ^b	12.82 ^a	90.25 ^b	118.25 ^b
Riceberry	102.26 ^{bc}	9.19 ^{ab}	91.50 ^b	122.50 ^b
F-test	*	*	**	**
CV (%)	5.55	13.31	1.48	3.09

Notes: * = significant at $p < 0.05$ level, ** = significant at $p < 0.01$ level

- Means in the same columns followed by the same letters are not significantly different determined by Duncan's multiple range test (DMRT)

องค์ประกอบผลผลิต และผลผลิต

เมื่อพิจารณาองค์ประกอบผลผลิตในกลุ่มข้าวเจ้า พบว่า จำนวนรวงต่อกอแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.01$) พันธุ์หอมชลสิทธิ์ให้จำนวนรวงต่อกอมากที่สุดเท่ากับ 9.48 รวงต่อกอ รองลงมาคือ พันธุ์ไรซ์เบอร์รี่ พันธุ์กข 43 และ พันธุ์สังข์หยดที่มีจำนวนรวงต่อกอเท่ากับ 6.93 6.12 และ 5.96 รวงต่อกอ ตามลำดับ (Table 2) พันธุ์กข 43 มีแนวโน้มให้ความยาวรวงมากที่สุดเท่ากับ 24.77 เซนติเมตร แต่ไม่แตกต่างทางสถิติกับพันธุ์สังข์หยดที่มีความยาวรวงเท่ากับ 24.06 เซนติเมตร รองลงมาคือ พันธุ์ไรซ์เบอร์รี่ และพันธุ์หอมชลสิทธิ์ที่มีความยาวรวงเท่ากับ 22.62 และ 20.13 เซนติเมตร ตามลำดับ (Table 2) พันธุ์หอมชลสิทธิ์มีแนวโน้มให้จำนวนเมล็ดดีต่อรวงมากที่สุดเท่ากับ 138.19 เมล็ด แต่ไม่แตกต่างทางสถิติกับพันธุ์สังข์หยดที่มีจำนวนเมล็ดดีต่อรวงเท่ากับ 129.25 เมล็ด ในขณะที่พันธุ์กข 43 และพันธุ์ไรซ์เบอร์รี่มีจำนวนเมล็ดดีต่อรวงไม่แตกต่างกันทางสถิติเท่ากับ 113.67 และ 108.56 เมล็ดตามลำดับ (Table 2) สำหรับเปอร์เซ็นต์เมล็ดดี พบว่า พันธุ์ไรซ์เบอร์รี่มีเปอร์เซ็นต์เมล็ดดีสูงสุดเท่ากับ 89.48 เปอร์เซ็นต์ ในขณะที่พันธุ์หอมชลสิทธิ์ พันธุ์กข 43 และพันธุ์สังข์หยดมีเปอร์เซ็นต์เมล็ดดีไม่แตกต่างกันทางสถิติเท่ากับ 83.72 81.68 และ 79.44 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ (Table 2) ข้าวทั้ง 4 พันธุ์มีน้ำหนักเมล็ด 1,000 เมล็ด แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.01$) พบว่า พันธุ์กข 43 ให้น้ำหนักเมล็ด 1,000 เมล็ดมากที่สุดเท่ากับ 29.42 กรัม รองลงมาคือ พันธุ์หอมชลสิทธิ์ พันธุ์ไรซ์เบอร์รี่ และพันธุ์สังข์หยดที่มีน้ำหนักเมล็ด 1,000 เมล็ดเท่ากับ 26.98 24.91 และ 21.84 กรัม ตามลำดับ (Table 2) ส่วนผลผลิตเฉลี่ยของข้าวทั้ง 4 พันธุ์ พบว่า มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.01$) โดยพันธุ์หอมชลสิทธิ์ให้ผลผลิตสูงสุด 686.48 กิโลกรัมต่อไร่ รองลงมาพันธุ์ไรซ์เบอร์รี่ 521.23 กิโลกรัมต่อไร่ พันธุ์กข 43 495.92 กิโลกรัมต่อไร่ ขณะที่พันธุ์สังข์หยดให้ผลผลิตต่ำสุด 362.86 กิโลกรัมต่อไร่ (Table 2)

สำหรับกลุ่มข้าวเหนียว พบว่า พันธุ์ธัญสิรินมีจำนวนรวงต่อกอ เปอร์เซ็นต์เมล็ดดี น้ำหนักเมล็ดข้าวเปลือก 1,000 เมล็ด และผลผลิตสูงกว่าพันธุ์กข 6 ต้นเตี้ย โดยพันธุ์ธัญสิรินมีจำนวนรวงต่อกอ เปอร์เซ็นต์เมล็ดดี น้ำหนักเมล็ดข้าวเปลือก 1,000 เมล็ด และผลผลิตเท่ากับ 6.77 รวงต่อกอ 80.27 เปอร์เซ็นต์ 28.97 กรัม และ 479.24 กิโลกรัมต่อไร่ ตามลำดับ ในขณะที่พันธุ์กข 6 ต้นเตี้ยมีจำนวนรวงต่อกอ เปอร์เซ็นต์เมล็ดดี น้ำหนักเมล็ดข้าวเปลือก 1,000 เมล็ด และผลผลิตเท่ากับ 3.65 รวงต่อกอ 68.25 เปอร์เซ็นต์ 25.25 กรัม และ 397.62 กิโลกรัมต่อไร่ ตามลำดับ ส่วนความยาวรวงของพันธุ์ธัญสิรินและพันธุ์กข 6 ต้นเตี้ยไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ (Table 2)

Table 2 Mean comparison for panicle number, panicle length, filled grain number, percentage of filled grains, 1,000 grain weight, and grain yield of six rice varieties grown in Songkhla Province.

Varieties	No. of panicles/plant	Panicle length (cm)	No. of filled grain	Filled grain (%)	1,000 grain weight (g)	Grain yield (kg/rai)
RD6 semidwarf	3.65 ^d	20.98 ^b	94.42 ^c	68.50 ^d	25.23 ^{bc}	397.62 ^d
Thunya sirin	6.77 ^b	20.85 ^b	102.86 ^c	80.27 ^{bc}	28.97 ^a	479.24 ^c
Sungyod	5.96 ^c	24.06 ^a	129.25 ^{ab}	79.44 ^c	21.84 ^d	362.86 ^d
RD43	6.12 ^{bc}	24.77 ^a	113.67 ^{bc}	81.75 ^b	29.42 ^a	495.92 ^{bc}
Hom Chonlasit	9.48 ^a	20.13 ^b	138.19 ^a	83.78 ^b	26.98 ^b	686.48 ^a
Riceberry	6.93 ^b	22.62 ^{ab}	108.56 ^{bc}	89.48 ^a	24.91 ^c	521.23 ^b
F-test	**	**	*	*	*	**
CV (%)	21.95	2.70	16.73	26.87	12.99	23.59

Notes: * = significant at $p < 0.05$ level, ** = significant at $p < 0.01$ level

- Means in the same columns followed by the same letters are not significantly different determined by Duncan's multiple range test (DMRT)

สหสัมพันธ์ระหว่างผลผลิตและองค์ประกอบผลผลิต

จากการวิเคราะห์สหสัมพันธ์ระหว่างผลผลิตกับองค์ประกอบผลผลิต พบว่า จำนวนรวงต่อกอมีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์สูงสุด รองลงมาคือเปอร์เซ็นต์เมล็ดดี และน้ำหนัก 1,000 เมล็ด ตามลำดับ โดยมีค่าสหสัมพันธ์เท่ากับ 0.856, 0.515 และ 0.427 ตามลำดับ ที่ระดับนัยสำคัญ 0.01 0.05 และ 0.05 ตามลำดับ (Table 3) นอกจากนี้พบว่า จำนวนรวงต่อกอมีสหสัมพันธ์ทางบวกกับเปอร์เซ็นต์เมล็ดดี และจำนวนเมล็ดดี โดยมีค่าสหสัมพันธ์เท่ากับ 0.689 และ 0.594 ที่ระดับนัยสำคัญ 0.01 ในขณะที่ความยาวรวง มีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เป็นลบกับจำนวนรวงต่อกอ น้ำหนัก 1,000 เมล็ด และผลผลิต แต่ไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ และจำนวนเมล็ดดีมีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เป็นลบกับผลผลิต แต่ไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ

Table 3 Correlation coefficient of yield and yield components of six rice varieties.

	Panicle length	No. of filled grain	Filled grain (%)	1,000 grain weight	Grain yield
No. of panicles/plant	-0.253 ^{ns}	0.594**	0.689**	0.232 ^{ns}	0.856**
Panicle length		-0.003 ^{ns}	0.200 ^{ns}	-0.136 ^{ns}	-0.424 ^{ns}
No. of filled grain			0.341 ^{ns}	0.427*	-0.232 ^{ns}
Filled grain (%)				0.70 ^{ns}	0.515*
1,000 grain weight					0.427*

Notes: ns= non-significant, * = significant at $p < 0.05$, ** = significant at $p < 0.01$

ความแปรปรวนของสภาพภูมิอากาศในพื้นที่จังหวัดสงขลา

เมื่อพิจารณาอุณหภูมิเฉลี่ยของจังหวัดสงขลา พบว่า ตั้งแต่เดือนกันยายนถึงธันวาคม พ.ศ. 2565 อุณหภูมิเฉลี่ยในช่วงปลายปีมีแนวโน้มลดลงอย่างเห็นได้ชัด จากนั้นในปี พ.ศ. 2566 อุณหภูมิเฉลี่ยจะเพิ่มขึ้นเล็กน้อยในเดือนมกราคมและกุมภาพันธ์ และจะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วในเดือนมีนาคม เมษายน และพฤษภาคม โดยมีอุณหภูมิเฉลี่ยเท่ากับ 30.8, 33.9 และ 34.4 องศาเซลเซียส ตามลำดับ (Figure 1) สำหรับความเร็วลม พบว่า ในเดือนพฤศจิกายน พ.ศ. 2565 และกุมภาพันธ์ พ.ศ. 2566 มีความเร็วลมเท่ากับ 22.22 และ 29.63 กิโลเมตรต่อชั่วโมง ตามลำดับ จะเห็นได้ว่าความเร็วลมมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นอย่างมากในช่วงเวลาดังกล่าว (Thai Meteorological Department, 2024a)

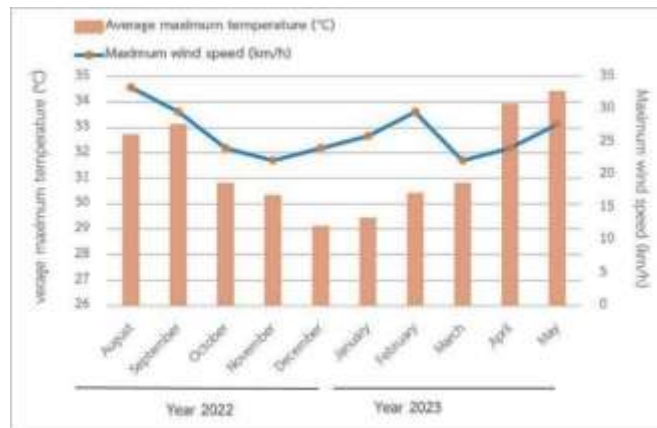


Figure 1 Average maximum temperature and maximum wind speed in Songkhla Province from August 2022 to May 2023.

ในช่วงเดือนเดือนตุลาคม พ.ศ. 2565 ถึงกุมภาพันธ์ พ.ศ. 2566 ของจังหวัดสงขลามีปริมาณน้ำฝนรวม 2,365.70 มิลลิเมตร ปริมาณน้ำฝนเฉลี่ย 473.14 มิลลิเมตรต่อเดือน จำนวนวันฝนตกรวม 106 วัน และจำนวนวันฝนตกเฉลี่ย 21.20 วัน (Figure 2) โดยเฉพาะเดือนธันวาคมฝนตกหนาแน่นและมีปริมาณฝนรวมสูงที่สุด 1,052.90 มิลลิเมตร หลังจากนั้นปริมาณน้ำฝนและจำนวนวันฝนตกลดลงอย่างต่อเนื่องจนถึงเดือนเมษายน พ.ศ. 2566 (Thai Meteorological Department, 2024b)

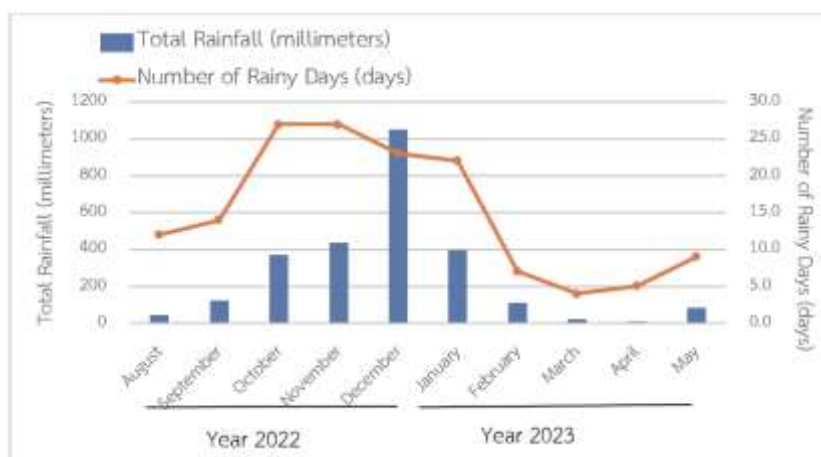


Figure 2 Total rainfall and number of rainy days in Songkhla Province from August 2022 to May 2023.

จากการวิเคราะห์แนวโน้มการเปลี่ยนแปลงของปริมาณน้ำฝนรวม และจำนวนวันฝนตกระหว่างเดือนตุลาคมถึงธันวาคม ในช่วง 12 ปี (พ.ศ. 2555-2567) ของจังหวัดสงขลา พบว่า ปริมาณฝนรวมเฉลี่ยมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นอย่างชัดเจนโดยเฉพาะในช่วง ปี พ.ศ. 2561 พ.ศ. 2563 พ.ศ. 2565 และ พ.ศ. 2567 มีปริมาณน้ำฝนรวมเท่ากับ 1,083.80 1,836.30 1,857.90 และ 1,912.80 มิลลิเมตร ตามลำดับ (Figure 3) สำหรับความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณน้ำฝนรวมกับจำนวนวันฝนตก พบว่า ในช่วง พ.ศ. 2555-2565 ปีที่มีปริมาณน้ำฝนสูงจะมีจำนวนวันฝนตกสูงตามไปด้วย แต่ในช่วง พ.ศ. 2566-2567 ปริมาณน้ำฝนมีแนวโน้มสูงขึ้น แต่จำนวนวันฝนตกมีแนวโน้มลดลง (Thai Meteorological Department, 2024c)

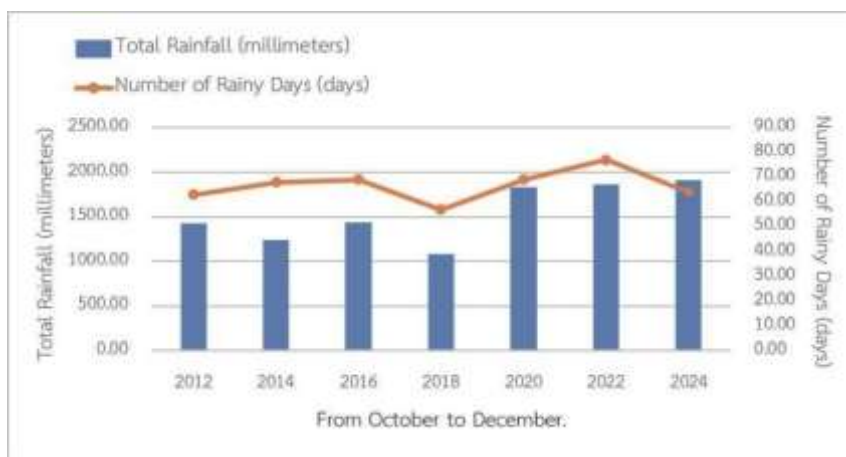


Figure 3 Total rainfall and number of rainy days in Songkhla Province from October to December (2012-2024).

การอภิปรายผล

จากการทดลองปลูกข้าว 6 พันธุ์ คือ พันธุ์ กข 6 ต้นเตี้ย พันธุ์ธัญสินี พันธุ์สังข์หยด พันธุ์ กข 43 พันธุ์หอมชลสิทธิ์ และพันธุ์ไรซ์เบอร์รี่ ในช่วงฤดูฝน พ.ศ. 2565 ณ แปลงเกษตรกร ตำบลทุ่งหวัง อำเภอเมือง จังหวัดสงขลา พบว่า สามารถเจริญเติบโตและปรับตัวเข้ากับสภาพแวดล้อมได้ โดยข้าวทั้ง 6 พันธุ์มีการเจริญเติบโต องค์ประกอบผลผลิต และผลผลิตแตกต่างกันทางสถิติ (Table 1 and 2) การหักกล้มของต้นข้าวมีผลต่อการลดลงของผลผลิต ระดับความเร็วลมที่สามารถทำให้ต้นข้าวหักกล้มได้จะแตกต่างกันไปขึ้นอยู่กับพันธุ์ข้าว ความสูงของต้นข้าว ระยะปลูก ปริมาณปุ๋ยไนโตรเจน และสภาพดิน (Wu et al., 2022) โดยระบบหมุนเวียนของลมในจังหวัดสงขลาในช่วงเดือนตุลาคม พ.ศ. 2565 ถึงกุมภาพันธ์ พ.ศ. 2566 (Figure 1) จะเป็นลมทิศตะวันออกเฉียงเหนือความเร็วลมสูงสุดเฉลี่ยประมาณ 22-29 กิโลเมตรต่อชั่วโมง (Thai Meteorological Department, 2024a) โดยทั่วไปกระแสลมที่มีความเร็วประมาณ 25-28 กิโลเมตรต่อชั่วโมง สามารถก่อให้เกิดความเสี่ยงสูงต่อการหักกล้มของต้นข้าวได้ (Sterling et al., 2018) ทั้งนี้เกษตรกรในพื้นที่เป้าหมายมักประสบปัญหาข้าวพันธุ์พื้นเมืองหักกล้มในช่วงก่อนเก็บเกี่ยว โดยเฉพาะข้าวสังข์หยดที่มีลำต้นสูงประมาณ 140 เซนติเมตร จึงหักกล้มได้ง่ายทำให้ได้ผลผลิตไม่เต็มที่ (Rungtumnant et al., 2015) ดังนั้นจากการทดลองนี้ในกลุ่มข้าวเจ้าพันธุ์ กข 43 มีความสูงเฉลี่ยต่ำสุด 98.25 เซนติเมตร และในกลุ่มข้าวเหนียวพันธุ์ กข 6 ต้นเตี้ย มีความสูงเฉลี่ย 110.12 เซนติเมตร ซึ่งเอกสารแนะนำพันธุ์ระบุว่า พันธุ์ กข 6 ต้นเตี้ย มีลำต้นแข็งแรงและทนทานต่อลมแรง ไม่หักกล้ม (Cluster and Program Management Department, 2015) จึงแสดงถึงความเหมาะสมของพันธุ์ กข 43 และพันธุ์ กข 6 ต้นเตี้ยสำหรับการปลูกในพื้นที่เป้าหมาย เพื่อช่วยลดความเสี่ยงต่อการหักกล้ม ความสูญเสียผลผลิต ความยุ่งยากในการเก็บเกี่ยว และความเสียหายจากเชื้อราโรคข้าวเข้าทำลายรวงข้าวและเมล็ดกรณีต้นข้าวหักกล้มได้ (Agusta et al., 2022; Li, 2023) นอกจากนี้พันธุ์ กข 43 มีอายุวันออกดอก 50 เปอร์เซ็นต์ และอายุเก็บเกี่ยวสั้นที่สุดเท่ากับ 65.50 และ 93.50 วัน ตามลำดับ จึงเป็นทางเลือกที่ดีสำหรับเกษตรกรในพื้นที่เป้าหมายที่ต้องการพันธุ์ข้าวที่สามารถปลูกและเก็บเกี่ยวได้รวดเร็ว และเพิ่มโอกาสในการปลูกพืชหมุนเวียนหรือปลูกข้าวได้หลายรอบในหนึ่งปี แต่อย่างไรก็ตามพันธุ์ กข 43 ไม่ควรปลูกร่วมกับข้าวพันธุ์ที่มีอายุเก็บเกี่ยวต่างกันมาก เนื่องจากเสี่ยงต่อความเสียหายจากการทำลายของนกและหนูในช่วงที่ต้นข้าวสุกแก่ไม่พร้อมกันได้ (Land Development Department, 2023) อย่างไรก็ตามถึงแม้ว่าข้าวพันธุ์ กข 43 จะมีน้ำหนักเมล็ด 1,000 เมล็ดสูง แต่ไม่ส่งผลให้มีผลผลิตสูงที่สุด เนื่องจากมีจำนวนรวงต่อกอและเปอร์เซ็นต์เมล็ดต่อน้อยกว่าข้าวพันธุ์หอมชลสิทธิ์และพันธุ์ไรซ์เบอร์รี่ แสดงให้เห็นว่าผลผลิตขึ้นอยู่กับองค์ประกอบผลผลิตโดยเฉพาะอย่างยิ่งจำนวนรวงต่อกอ และเปอร์เซ็นต์เมล็ดที่มีผลเชิงบวกต่อผลผลิตโดยรวมมากกว่าน้ำหนักเมล็ดเพียงอย่างเดียว (Table 2 and 3) สอดคล้องกับ Yamsaray et al. (2023) ที่ศึกษาเปรียบเทียบผลผลิตและองค์ประกอบผลผลิตในพันธุ์ข้าวไทย 8 พันธุ์ ได้แก่ พันธุ์ กข 69 พันธุ์มะลิโกเมนทร์สุรินทร์ #3 พันธุ์ R684-13-15 พันธุ์ R2535-8-10 พันธุ์ไรซ์เบอร์รี่ พันธุ์ไรซ์เบอร์รี่สายพันธุ์กลายพันธุ์ปทุมธานี 1 และพันธุ์ กข 43 พบว่า พันธุ์ที่มีน้ำหนัก 1,000 เมล็ดสูงที่สุดคือ พันธุ์ กข 43 (28.49 กรัม) แต่ไม่ได้ให้ผลผลิต

สูงที่สุด (486.4 กิโลกรัมต่อไร่) ในขณะที่พันธุ์มะลิโกเมนทร์สุรินทร์ #3 และพันธุ์ R684-13-15 มีน้ำหนัก 1,000 เมล็ดน้อยกว่าพันธุ์ กข 43 แต่มีจำนวนรวงต่อกอและผลผลิตมากกว่าพันธุ์ กข 43

สหสัมพันธ์ระหว่างผลผลิตและองค์ประกอบผลผลิตชี้ให้เห็นว่า ผลผลิตมีสหสัมพันธ์ทางบวกกับจำนวนรวงต่อกอมากที่สุด รองลงมาคือเปอร์เซ็นต์เมล็ดดี และน้ำหนัก 1,000 เมล็ด ตามลำดับ (Table 3) สอดคล้องกับ Li et al. (2019) ที่ศึกษาองค์ประกอบผลผลิต และผลผลิตของพันธุ์ข้าวจำนวน 7,686 พันธุ์ที่ถูกแนะนำพันธุ์ระหว่าง ค.ศ. 1978 ถึง ค.ศ. 2017 ในประเทศจีน พบว่า ผลผลิตข้าวมีความสัมพันธ์เชิงบวกกับจำนวนรวงต่อหน่วยพื้นที่ จำนวนเมล็ดดีต่อรวง และน้ำหนัก 1,000 เมล็ด ซึ่งงานวิจัยนี้ชี้ให้เห็นว่าการเพิ่มผลผลิตควรมุ่งเน้นไปที่การเพิ่มจำนวนรวงต่อหน่วยพื้นที่ จำนวนเมล็ดดีต่อรวง และน้ำหนัก 1,000 เมล็ด โดยต้องมีการวางแผนการปลูกข้าวอย่างมีประสิทธิภาพ เมื่อพิจารณาพันธุ์สังข์หยดซึ่งเป็นพันธุ์พื้นเมืองที่นิยมปลูกในพื้นที่ และใช้พันธุ์เปรียบเทียบกับกลุ่มข้าวเจ้าของการทดลองนี้พบว่า มีองค์ประกอบผลผลิตด้านจำนวนรวงต่อกอ เปอร์เซ็นต์เมล็ดดี และน้ำหนักเมล็ด 1,000 เมล็ด ต่ำที่สุด (Table 2) ดังนั้นปัจจัยดังกล่าวจึงส่งผลให้พันธุ์สังข์หยดมีผลผลิตต่ำที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับพันธุ์ กข 43 พันธุ์หอมชลสิทธิ์ และพันธุ์ไรซ์เบอร์รี่ ทั้งนี้สอดคล้องตามเอกสารแนะนำพันธุ์ที่ระบุว่า พันธุ์สังข์หยด พันธุ์ กข 43 พันธุ์หอมชลสิทธิ์ และพันธุ์ไรซ์เบอร์รี่ ให้ผลผลิตประมาณ 330, 561, 300-500 และ 800-1,000 กิโลกรัมต่อไร่ ตามลำดับ (Division of Rice Research and Development, 2016; Cluster and Program Management Department, 2016) อย่างไรก็ตาม พันธุ์ข้าวสังข์หยดปริมาณแอนโทไซยานิน วิตามินบี 1 และวิตามินบี 2 สูงกว่าข้าวพื้นเมืองทั่วไป (Wattanukul et al., 2016) ซึ่งช่วยเพิ่มมูลค่าและสามารถใช้เป็นกลยุทธ์การตลาดเพื่อเพิ่มรายได้ให้กับเกษตรกร เพราะเป็นที่ต้องการของตลาดสุขภาพในชุมชนและตลาดส่งออก จึงควรแนะนำแนวทางในการเพิ่มผลผลิตหรือการจัดการระบบปลูกเพื่อเพิ่มศักยภาพพันธุ์และมาตรฐานการผลิตสินค้าข้าว เพื่อจูงใจให้เกษตรกรปลูกข้าวสังข์หยด

พันธุ์หอมชลสิทธิ์มีศักยภาพในการให้ผลผลิตสูงที่สุด โดยให้ค่าเฉลี่ยองค์ประกอบผลผลิตด้านจำนวนรวงต่อกอสูงที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับพันธุ์อื่น ๆ แสดงให้เห็นว่าสามารถเจริญเติบโตและปรับตัวเข้ากับสภาพแวดล้อมที่เปลี่ยนแปลงได้ดีส่งผลทำให้ผลผลิตสูง นอกจากนี้พันธุ์หอมชลสิทธิ์เป็นพันธุ์ข้าวที่มีระดับความทนทานน้ำท่วมฉับพลันสูง (Chomchat & Rungrat, 2020) การปลูกข้าวนาปีของทางภาคใต้ตอนล่างตรงกับฤดูมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือจึงมีความเสี่ยงสูงจากน้ำท่วมฉับพลันและน้ำท่วมขัง จะเห็นได้ว่าในเดือนธันวาคม พ.ศ. 2565 ฝนตกหนาแน่นและมีปริมาณฝนรวมสูง (Figure 2) ส่งผลให้เกิดน้ำท่วมแบบฉับพลันและสามารถสร้างความเสียหายต่อต้นข้าว ซึ่งผลกระทบจากน้ำท่วมสามารถยับยั้งการเจริญเติบโตและการพัฒนาการของเมล็ดข้าวได้ทำให้ผลผลิตข้าวลดลงถึง 50 เปอร์เซ็นต์ (Mongon et al., 2017; Zhen et al., 2018) แต่พันธุ์หอมชลสิทธิ์มีลักษณะเด่นสามารถเจริญเติบโตได้ดีในช่วงเวลาดังกล่าวและฟื้นตัวหลังน้ำลดได้ดี นอกจากนี้มีลำต้นแข็งไม่หักล้มง่าย นอกจากนี้ปริมาณน้ำฝนรวมช่วงเดือนตุลาคมถึงธันวาคมตั้งแต่ปี พ.ศ. 2555 ถึง พ.ศ. 2567 ของจังหวัดสงขลา (Figure 3) มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นอย่างชัดเจน (Thai Meteorological Department, 2024c) ส่งผลให้การปลูกข้าวในจังหวัดสงขลาต้องมีการปรับตัวเพื่อรับมือกับความผันผวนของปริมาณน้ำฝนและจำนวนวันฝนตก แนวทางหนึ่งของการปรับตัวเชิงรุกคือ การเลือกพันธุ์ข้าวที่เหมาะสมกับสภาพอากาศที่เปลี่ยนแปลง ดังนั้นพันธุ์หอมชลสิทธิ์จึงเป็นพันธุ์ที่เหมาะสมต่อการส่งเสริมให้เกษตรกรในจังหวัดสงขลาเพาะปลูกเพื่อเพิ่มผลผลิตต่อพื้นที่ ลดความเสี่ยงและเตรียมความพร้อมรับมือกับปัญหาน้ำท่วมแบบฉับพลัน

จากผลการทดลองพบว่า พันธุ์ไรซ์เบอร์รี่มีศักยภาพในการให้ผลผลิต 521.23 กิโลกรัมต่อไร่ โดยให้ค่าเฉลี่ยองค์ประกอบผลผลิตด้านเปอร์เซ็นต์เมล็ดดีสูงที่สุด ชี้ให้เห็นว่าพันธุ์ไรซ์เบอร์รี่สามารถเจริญเติบโตและปรับตัวเข้ากับสภาพแวดล้อมในพื้นที่เป้าหมายได้ โดยมีอัตราการติดเมล็ดสูงที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับพันธุ์อื่น ๆ นับเป็นอีกพันธุ์หนึ่งที่น่าสนใจในส่งเสริมให้เกษตรกรในจังหวัดสงขลาได้เพาะปลูก เนื่องจากพันธุ์ไรซ์เบอร์รี่ เป็นข้าวเจ้าสีม่วงเข้มมีสารแอนโทไซยานินเป็นส่วนประกอบสำคัญ มีค่าดัชนีน้ำตาลต่ำกว่าข้าวขาว มีคุณสมบัติเด่นด้านโภชนาการ และมูลค่าทางการตลาดสูงโดยได้รับความนิยมมากในตลาดสุขภาพและตลาดข้าวพรีเมียม (Suamun et al., 2019) จึงสามารถขายได้ในราคาที่สูงกว่าข้าวขาว และช่วยสร้างรายได้ที่ดีให้กับเกษตรกรได้เมื่อเทียบกับข้าวทั่วไป อย่างไรก็ตามการสนับสนุนให้เกษตรกรในพื้นที่ปลูกพันธุ์ไรซ์เบอร์รี่นั้น จำเป็นต้องควบคู่กับการส่งเสริมองค์ความรู้เกี่ยวกับการจัดการแปลงปลูกที่ดีและเหมาะสมเพื่อเพิ่มผลผลิตของพันธุ์ไรซ์เบอร์รี่ ดังจะเห็นได้จาก Harakotr & Thong-oon (2016) รายงานว่าระยะปลูกและความหนาแน่นเป็นปัจจัยที่สำคัญประการหนึ่งที่ส่งผลต่อการเจริญเติบโตและผลผลิตของข้าวพันธุ์ไรซ์เบอร์รี่ โดยการปลูกข้าวต้นเดี่ยวที่ระยะ 40x40 เซนติเมตร ส่งผลให้ข้าวพันธุ์ไรซ์เบอร์รี่มีผลผลิตต่อพื้นที่ 1,186.8 กิโลกรัมต่อไร่ ซึ่งเป็นผลผลิตเพิ่มขึ้นกว่า 47.04 เปอร์เซ็นต์ เมื่อเปรียบเทียบกับผลผลิตของข้าวตามเอกสารแนะนำพันธุ์

โดยทั่วไปประชาชนภาคใต้นิยมบริโภคข้าวเจ้าเป็นหลัก ขณะที่ข้าวเหนียวมักถูกนำมาใช้เป็นอาหารเสริมหรือของว่าง โดยนิยมแปรรูปเป็นขนมหวาน รวมถึงขนมที่ใช้ในประเพณีทำบุญตามเทศกาลและพิธีกรรมต่าง ๆ พื้นที่ปลูกข้าวเหนียวของ

ภาคใต้ในฤดูนาปี พ.ศ. 2564 มีเพียง 722 ไร่ และมีผลผลิตรวม 343 ตัน (Office of Agricultural Economics, 2021) ตลาดชุมชนในจังหวัดสงขลาต้องสั่งซื้อข้าวเหนียวขาวมาจากภาคอื่นและไม่มีเกษตรกรรายใดปลูกข้าวเหนียวขาวในพื้นที่เป้าหมาย และพื้นที่ใกล้เคียง จากผลการทดลองพบว่า พันธุ์ กข 6 ต้นเตี้ย และพันธุ์ธัญสินีให้ผลผลิต 397.62 และ 479.24 กิโลกรัมต่อไร่ ตามลำดับ แม้ว่ามีความต่ำกว่าผลผลิตตามเอกสารแนะนำพันธุ์ที่ระบุว่า พันธุ์ กข 6 ต้นเตี้ย และพันธุ์ธัญสินีให้ผลผลิต 700 และ 600 กิโลกรัมต่อไร่ ตามลำดับ (Cluster and Program Management Department, 2015; National Center for Genetic Engineering and Biotechnology & National Science and Technology Development Agency, 2021) และมีค่าต่ำกว่าที่ Surapornpiboon et al. (2018) รายงานว่า จากการปลูกเปรียบเทียบพันธุ์ข้าวเหนียวที่เหมาะสมกับสภาพนาในจังหวัดน่านพบว่า พันธุ์ข้าวเหนียวธัญสินีให้ผลผลิต 758.25 กิโลกรัมต่อไร่ อย่างไรก็ตามพันธุ์ธัญสินี และพันธุ์ กข 6 ต้นเตี้ย มีลักษณะเด่นที่น่าสนใจ คือ พันธุ์ธัญสินีต้านทานทั้งโรคไหม้ และพันธุ์ กข 6 ต้นเตี้ยต้านทานทั้งโรคไหม้และโรคขอบใบแห้ง ซึ่งโรคไหม้และโรคขอบใบแห้งเป็นโรคข้าวที่พบในพื้นที่เป้าหมายและเป็นโรคที่มีความสำคัญทำให้ผลผลิตของข้าวเสียหายมาก ดังนั้นหากเกษตรกรในพื้นที่เป้าหมายประสงค์ปลูกข้าวเหนียวขาวสามารถปลูกได้ทั้ง 2 พันธุ์ แต่ต้องมีการปรับปรุงการจัดการความอุดมสมบูรณ์ของดินและน้ำ การจัดการลดความเสี่ยงโรคแมลง และอัตราการปลูกต่อพื้นที่ เพื่อเพิ่มขีดความสามารถของพันธุ์ กข 6 ต้นเตี้ย และพันธุ์ธัญสินีในการให้ผลผลิต ทั้งนี้การส่งเสริมให้ปลูกข้าวเหนียวขาวไว้สำหรับบริโภคในครัวเรือนและจำหน่ายส่วนที่เหลือ จะนำไปสู่การพัฒนาการผลิตข้าวเหนียวขาวในท้องถิ่นเพื่อลดการพึ่งพาการนำเข้าข้าวเหนียวขาวจากภาคอื่นและเพิ่มโอกาสทางเศรษฐกิจให้เกษตรกรในพื้นที่

บทสรุป

พันธุ์ข้าวในกลุ่มสินค้าข้าวตลาดเฉพาะจำนวน 6 พันธุ์ เป็นพันธุ์ข้าวที่เหมาะสมต่อการส่งเสริมให้เกษตรกรเพาะปลูกเพื่อตอบสนองต่อความต้องการตลาดสุขภาพที่เติบโตขึ้น เพิ่มโอกาสทางเศรษฐกิจ และเพิ่มมูลค่าผลผลิตข้าวในพื้นที่จังหวัดสงขลา โดยในกลุ่มข้าวเหนียว พันธุ์ธัญสินีและพันธุ์ กข 6 ต้นเตี้ยให้ผลผลิต 479.24 และ 397.62 กิโลกรัมต่อไร่ ตามลำดับ สำหรับกลุ่มข้าวเจ้า พันธุ์หอมชลสิทธิ์ พันธุ์ไรซ์เบอร์รี่ พันธุ์ กข 43 และพันธุ์สังข์หยดให้ผลผลิต 686.48, 521.23, 495.92 และ 362.86 กิโลกรัมต่อไร่ ตามลำดับ

ข้อเสนอแนะ

การส่งเสริมให้เกษตรกรในพื้นที่จังหวัดสงขลาปลูกพันธุ์ข้าวในกลุ่มสินค้าข้าวตลาดเฉพาะนั้น ควรสนับสนุนให้มีความหลากหลายของพันธุ์ข้าวในพื้นที่เพื่อเพิ่มทางเลือกให้กับเกษตรกรและผู้บริโภค และลดความเสี่ยงจากสภาพภูมิอากาศที่เปลี่ยนแปลงไป และควรศึกษาเพิ่มเติมเกี่ยวกับการจัดการความอุดมสมบูรณ์ของดินและน้ำ การจัดการลดความเสี่ยงโรคแมลง และการจัดการระบบปลูก เพื่อเพิ่มขีดความสามารถในการให้ผลผลิตของพันธุ์ข้าวแต่ละพันธุ์ในพื้นที่จังหวัดสงขลา นอกจากนี้ควรศึกษาเพิ่มเติมเกี่ยวกับการวิเคราะห์ต้นทุนการผลิต โดยเปรียบเทียบต้นทุนผลตอบแทนและจุดคุ้มทุนจากการลงทุนปลูกข้าวทั้ง 6 พันธุ์ รวมทั้งการสร้างโอกาสทางการค้า ความสามารถในการแข่งขันของพันธุ์ข้าวแต่ละพันธุ์ในตลาด และความพึงพอใจของผู้มีส่วนได้เสีย เพื่อช่วยให้เกษตรกรตัดสินใจเลือกปลูกได้อย่างเหมาะสม และสร้างความยั่งยืนให้กับระบบการผลิตข้าวตลาดเฉพาะของจังหวัดสงขลาต่อไป

กิตติกรรมประกาศ

ทีมผู้วิจัยขอขอบคุณกลุ่มเกษตรกรนาข้าวบ้านสวนใต้ ตำบลทุ่งหวัง อำเภอเมือง จังหวัดสงขลา ที่เอื้อเฟื้อสนับสนุนแปลงนาทดลอง และศูนย์พันธุวิศวกรรมและเทคโนโลยีชีวภาพแห่งชาติ สวทช. สำหรับความอนุเคราะห์เมล็ดพันธุ์ในการทดลองครั้งนี้

เอกสารอ้างอิง

Agusta, H., Santosa, E., Dulbari, D., Gunthoro, D., & Zaman, S. (2022). Continuous heavy rainfall and wind velocity during flowering affect rice production. *AGRIVITA Journal of Agricultural Science*, 44(2), 290-302.

- Chomchat, W., & Rungrat, T. (2020). Effects of flash flood on growth and some physiological changes in Thai rice at tillering stage. *Naresuan Agriculture Journal*, 17(1), 68-76. (In Thai)
- Cluster and Program Management Division. (2015). *Glutinous rice variety RD6: Dwarf type with resistance to blast disease and bacterial leaf blight*. <https://waa.inter.nstda.or.th/stks/pub/2015/20150921-57Glutinous-Rice-Varieties-6.pdf>. (In Thai)
- Cluster and Program Management Division. (2016). *Hom Chonlasit rice variety tolerant to flash floods*. <https://waa.inter.nstda.or.th/stks/pub/2016/20160304-rice-hom-chon-lasit-2.pdf>. (In Thai)
- Department of Agriculture. (2020). *Hom Chonlasit rice variety: Announcement of the Department of Agriculture on the advertisement of the application for issuance of a plant variety certificate under the Plant Variety Act B.E. 2518 (1975)*. https://www.doa.go.th/pvp/wp-content/uploads/2020/06/AnnoDOA_Public221.pdf. (In Thai)
- Division of Rice Research and Development. (2016, n.d.). RD43. <https://newwebs2.ricethailand.go.th/webmain/rkb3/title-index.php-file=content.php&id=122.htm>. (In Thai)
- Harakotr, P., & Thong-oon, A. (2016). Effects of water management and planting spacing on the growth and yield of purple riceberry rice with the System of Rice Intensification (SRI). *Science and Technology Journal*, 24(6), 986-997. (In Thai)
- Jaikaew, T., & Subanmanee, N. (2021). Chemical and physical properties of functional sandwich spread from Thai red rice. *Huachiew Chalermprakiet Science and Technology Journal*, 7(1), 43-53. (In Thai)
- Kannuch, L. (2021, November 25). *Guidelines for rice processing for health and niche markets*. [Video] In recorded sessions of the 2021 professional farmer training program, Royal Initiative Coordination Division, Rice Department. <https://www.youtube.com/watch?v=3wxDtDqxVYk>. (In Thai)
- Kasetsart University Research and Development Institute. (2016, August 30). *The marvel of Thai rice varieties, expanding value from Thai traditions to the global stage (6) Hom Chonlasit rice: Fragrant off-season rice tolerant to flash flooding*. <https://www3.rdi.ku.ac.th/?p=27480>. (In Thai)
- Land Development Department. (2021). *Guidelines for promoting appropriate agricultural practices based on the Agri-Map database for Songkhla Province*. Ministry of Agriculture and Cooperatives. (In Thai)
- Land Development Department. (2023). *Land-use plan for the production of high-quality rice, RD43 variety*. Department of Land Development, Ministry of Agriculture and Cooperatives. (In Thai)
- Li, C. (2023). Climate change impacts on rice production in Japan: a Cobb-Douglas and panel data analysis. *Ecological Indicators*, 147(110008), 1-12.
- Li, R., Li, M., Ashraf, U., Liu, S., & Zhang, J. (2019). Exploring the relationships between yield and yield-related traits for rice varieties released in China from 1978 to 2017. *Frontiers in Plant Science*, 10(543), 1-12.
- Manager Online. (2021, November 25). *What types of rice provide nutritional value? Get to know niche market rice varieties: "High-nutrition rice" good for consumers, profitable for farmers, sold at hundreds of baht per kilogram*. <https://mgronline.com/smes/detail/9640000116931>. (In Thai)
- Mongon, J., Jantasorn, A., Oupkaew, P., Prom-u-Thai, C., & Rouached, H. (2017). The time of flooding occurrence is critical for yield production in rice and varies in a genotype-dependent manner. *Journal of Biological Sciences*, 17(2), 58-65.
- National Center for Genetic Engineering and Biotechnology & National Science and Technology Development Agency. (2021, December 25). *Thanyasirin glutinous rice variety*. <https://waa>.

- inter.nstda.or.th/stks/pub/nac/2021/agro02-3.pdf. (In Thai)
- Office of Agricultural Economics. (2021). *Wet-season rice varieties: cultivated area, production, and yield per rai by province for the 2019/20 production year*. [https://www.oae.go.th/assets/portals/1/fileups/prcaidata/files/type%20rice%2062\(1\).pdf](https://www.oae.go.th/assets/portals/1/fileups/prcaidata/files/type%20rice%2062(1).pdf). (In Thai)
- Rice Department & Department of Internal Trade. (2022). *Operational plan: Integrated rice production and marketing plan for the 2022/23 production year*. Ministry of Agriculture and Cooperatives and Ministry of Commerce. (In Thai)
- Rice Department. (2023). *Report on the development of the integrated rice production and marketing plan for the 2023/24 production year*. Ministry of Agriculture and Cooperatives. (In Thai)
- Rice Product Development Division. (2017, January 6). *Hom Chonlasit rice*. <https://brpd.ricethailand.go.th/page/4539>. (In Thai)
- Rice Trade Administration Division. (2022). *In-depth rice information: Americas region*. Department of Foreign Trade, Ministry of Commerce. (In Thai)
- Rungtumnan, R., Sreewongchai, T., & Sripichitt, P. (2015). Improvement of rice variety for good grain quality as Sang Yod variety and semi-dwarf. In Kasetsart University (Ed.), *Proceedings of the 53rd Kasetsart University Annual Conference: plants, animals, veterinary medicine, fisheries and agricultural extension and home economics* (pp. 367-372). Kasetsart University. (In Thai)
- Soil Resources Survey and Research Division. (2017). *Soil series of eastern and southern regions*. Soil Survey and Land Resources Research Division, Land Development Department. (In Thai)
- Songkhla Provincial Agriculture and Cooperatives Office. (2021). *Basic agricultural information: General information of Songkhla Province 2021, revised 2nd/2022*. Ministry of Agriculture and Cooperatives. (In Thai)
- Sterling, M., Baker, C., Joseph, G., Gillmeier, S., Mohammadi, M. D., Blackburn, G., & Spink, J. (2018). Mitigating yield losses due to lodging of cereal crops. In Uematsu, Y. (Ed.), *Proceedings of the International Workshop on Wind-Related Disasters and Mitigation* (pp.11-14). Tohoku University, Sendai, Japan.
- Suamun, K., Paksee, S., Arpsuwan, A., Chalongsuppunyoo, R., Sam-ang, P., Jannoey, P., & Pinwattana, K. (2019). Determination of antioxidant capacity of Riceberry and Khao Dok Mali 105 cultivars. *PSRU Journal of Science and Technology*, 4(3), 95-108. (In Thai)
- Surapornpi boon, P., Surapornpi boon, P., Budkaw, K., & Jongdee, B. (2018). Comparison of suitable rice cultivars for paddy field conditions in Ban Pa Ouy Farmer Field School, Nan province. *Science and Technology Journal*, 26(2), 246-252. (In Thai)
- Thadamatakul, P., Songsiri, P., & Techasukthavorn, W. (2021). Three rice of Thailand on blood glucose control. *Thai JPEN*, 29(1), 24-33. (In Thai)
- Thai Meteorological Department. (2024a, November 22). *Average maximum temperature and maximum wind speed data at Station 568501–Songkhla, Songkhla province during 2022–2023*. <https://data-service.tmd.go.th/index.php>. (In Thai)
- Thai Meteorological Department. (2024b, November 22). *Monthly total rainfall and number of rainy days at Station 568501–Songkhla, Songkhla province, during 2022–2023*. <https://data-service.tmd.go.th/index.php>. (In Thai)
- Thai Meteorological Department. (2024c, February 26). *Monthly total rainfall and number of rainy days at Station 568501–Songkhla, Songkhla province during 2012–2024*. <https://data-service.tmd.go.th/index.php>. (In Thai)
- Thai Rice Foundation Under Royal Patronage. (2020, January 8). *Thai rice strategy to support the*

- marketing of seven rice varieties*. <https://thairice.org/?p=4583>. (In Thai)
- Wasusun, A., Wongpiyachon, S., Songchitsomboon, S., Sukviwat, W., Maneenin, P., & Pakkethati, S. (2017). RD43 rice variety: Medium glycemic index rice for niche market. *Thai Rice Research Journal*, 8(2), 45-53. (In Thai)
- Wattanakul, U., Wattanakul, W., & Puengyam, P. (2016). Chemical properties, bioactive compounds in the new and stale brown rice variety Sungyod Phatthalung produced in different season. In Kasetsart University (Ed.), *Proceedings of the 54th Kasetsart University Annual Conference: plants, animals, veterinary medicine, fisheries and agricultural extension and home economics* (pp. 250-258). Kasetsart University. (In Thai)
- Wu, D. H., Chen, C. T., Yang, M. D., Wu, Y. C., Lin, C. Y., Lai, M. H., & Yang, C. Y. (2022). Controlling the lodging risk of rice based on a plant height dynamic model. *Botanical Studies*, 63(25), 1-12.
- Yamsaray, M., Sreewongchai, T., Phumichai, C., & Chalermchaiwat, P. (2023). Yield and nutritional properties of improved red pericarp Thai rice varieties. *ScienceAsia*, 49(2), 155-160.
- Zhen, B., Zhou, X. G., Lu, H. F., & Li, H. Z. (2018). Effect of interaction of high temperature at jointing stage and waterlogging on growth and development of rice. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering*, 21, 105-111.

Received: February 17, 2025; Revised: June 16, 2025; Accepted: August 18, 2025

การประเมินคุณภาพน้ำในลุ่มน้ำน่านที่สถานีวัดน้ำ N.1 โดยใช้แบบจำลอง QSWAT Water quality estimation in Nan Basin at station N.1 using QSWAT model

เรวัฒน์ เต็มกล้า¹ ชยานิชฐ์ ยิ้มอยู่² ดวงกมล เปรมสุข²
พงศกร พิมพะนิตย์³ กฤษณะ วังสอง³ สุदारตน์ คำปลิว³ และอภิรัฐ ปิ่นทอง^{2*}

Rewat Termkla¹, Chayanit Yimyoo², Duangkamol Pramsuk²
Pongsakon Pimpanit³, Kitsana Wangsong³, Sudarat Compliew³ and Apirat Pinthong^{2*}

¹คณะเกษตรศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน วิทยาเขตสุรินทร์ จังหวัดสุรินทร์

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

²คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี จังหวัดปทุมธานี

²Faculty of Engineering, Rajamangala University of Technology Thanyaburi, Pathum Thani Province

³คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม จังหวัดมหาสารคาม

³Faculty of Engineering, Rajabhat Maha Sarakham University, Maha Sarakham Province

*Corresponding Author E-mail Address : api1972pin@gmail.com

บทคัดย่อ

งานวิจัยครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อประเมินคุณภาพน้ำในลุ่มน้ำน่านที่สถานีวัดน้ำ N.1 อย่างเช่น ปริมาณดัชนีคุณภาพน้ำ Dissolved Oxygen (DO) และ Biological Oxygen Demand (BOD) โดยการศึกษาครั้งนี้ใช้โปรแกรม QGIS ประกอบด้วยแบบจำลอง QSWAT ในการติดตามคุณภาพน้ำ โดยเทียบตั้งแต่ปี พ.ศ. 2559 ถึงปี พ.ศ. 2561 พบว่า แบบจำลองสามารถจำลองปริมาณน้ำทำได้อย่างแม่นยำในช่วงการปรับเทียบค่า $R^2=0.7139$ และ $NSE=0.6934$ และยังคงอยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้ในช่วงการทวนสอบค่า $R^2=0.6658$ และ $NSE=0.5866$ สำหรับการจำลองค่าดัชนีคุณภาพน้ำ แบบจำลองสามารถแสดงค่าดัชนีคุณภาพน้ำ DO และ BOD ได้ใกล้เคียงกับข้อมูลจริงในหลายช่วงการศึกษา โดยเฉพาะในฤดูฝน ซึ่งมีการไหลของน้ำสูง และสามารถเจอจากมลพิษได้ดี อย่างไรก็ตามในฤดูแล้งแบบจำลองมีความคลาดเคลื่อนเพิ่มขึ้น โดยเฉพาะในเดือนที่มีการไหลของน้ำน้อยและมลพิษสะสมสูง จากผลการศึกษาสรุปได้ว่าแบบจำลอง QSWAT มีประสิทธิภาพสูงในการจำลองปริมาณน้ำทำและคุณภาพน้ำในฤดูฝน และสามารถนำไปประยุกต์ใช้ในการบริหารจัดการทรัพยากรน้ำและติดตามคุณภาพน้ำในพื้นที่ลุ่มน้ำอื่น ๆ ได้อย่างมีประสิทธิภาพ

คำสำคัญ: คุณภาพน้ำ โปรแกรม QGIS แบบจำลอง QSWAT ความแม่นยำ ระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์

Abstract

This research aimed to evaluate water quality in the Nan River Basin at the N.1 gauging station, focusing on key indicators such as Dissolved Oxygen (DO) and Biological Oxygen Demand (BOD). The analysis employed QGIS software integrated with the QSWAT model to simulate and monitor water quality between 2016 and 2018. The model demonstrated high accuracy in streamflow simulation during the calibration period, with $R^2=0.7139$ and $NSE=0.6934$, and remained within an acceptable range during the validation period, with $R^2=0.6658$ and $NSE=0.5866$. For water quality indicators, the model closely approximated

observed DO and BOD levels in many instances, particularly during the rainy season when higher streamflow enhancing pollutant dilution. However, during the dry season, greater discrepancies were observed, especially in months with low flow and high pollutant accumulation. Overall, the findings indicate that the QSWAT model performs effectively in simulating streamflow and water quality during the rainy season and can be applied for water resource management and water quality monitoring in other watershed areas.

Keywords: Water quality, QGIS program, QSWAT model, Accurate, Geographic information systems

บทนำ

ทรัพยากรน้ำถือว่าเป็นสิ่งสำคัญต่อการดำเนินชีวิตของสิ่งมีชีวิตทั้งโลก น้ำที่พบในแหล่งน้ำธรรมชาติเป็นน้ำที่ได้จากฝนที่ตกลงสู่พื้นโลก ในขณะที่น้ำฝนตกลงผ่านบรรยากาศของโลกซึ่งละลายเอาก๊าซและสารต่าง ๆ ในบรรยากาศไว้ด้วยรวมทั้งสารอินทรีย์และสารอนินทรีย์ที่เป็นสาเหตุทำให้น้ำไม่บริสุทธิ์ (Suksomboon & Boonmak, 2023) การพัฒนาและการพัฒนาของตะกอน เป็นกระบวนการที่เกิดขึ้นตามธรรมชาติรวมถึงการกระทำของมนุษย์ เป็นสิ่งที่ต้องคำนึงถึงผลกระทบต่อประชากรโลกเป็นอย่างมาก ทั้งในส่วนด้านอุปโภคบริโภค ด้านการเกษตรกรรม ด้านอุตสาหกรรม ด้านการท่องเที่ยว และอื่น ๆ โดยมลพิษที่เกิดขึ้นในปริมาณที่มากเกินไปจนเกินขีดจำกัด จะทำให้การใช้ประโยชน์ทางสังคมและระบบนิเวศของแหล่งน้ำลดลง

ในปัจจุบันเมื่อองค์ประกอบความรู้ด้านเทคโนโลยีคอมพิวเตอร์เข้ามามีบทบาทมากขึ้น การพัฒนาเทคโนโลยีระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ (Geographic Information Systems; GIS) จึงเป็นสิ่งที่จำเป็นสำหรับการพัฒนาและปรับปรุงประสิทธิภาพในการจัดเก็บข้อมูลเพื่อการผลิตแผนที่ให้มีความถูกต้อง แม่นยำ และเป็นวิทยาการที่สำคัญในการเรียนรู้เรื่องภูมิศาสตร์ ซึ่งช่วยสร้างความรู้ความเข้าใจในการพัฒนาการคิดวิเคราะห์หาความสัมพันธ์ ความเชื่อมโยงและเปรียบเทียบทางภูมิศาสตร์เพื่อประกอบการวางแผนการตัดสินใจในเรื่องต่าง ๆ ได้อย่างถูกต้องและรวดเร็ว (Boochayan et al., 2018) ศูนย์ข้อมูลสารสนเทศ สำนักงานปลัดกระทรวงวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม ได้ทำการสำรวจทางด้านซอฟต์แวร์ที่ปรากฏอยู่ในขณะนี้ซึ่งได้อ้างอิงมาจากแบบสอบถาม และอีกส่วนหนึ่งได้มาจาก GIS Source book ปี พ.ศ. 2537 มีดังนี้ Arc/INFO, ArcGIS, QGIS, MGE, FRAMME และ PAMAP เป็นต้น โดยผู้วิจัยมีความสนใจในโปรแกรม Quantum GIS หรือ QGIS เป็นโปรแกรม Desktop GIS ในกลุ่มซอฟต์แวร์รหัสเปิด (Free and Open Source Software; FOSS) โดยกลุ่มนักพัฒนาโปรแกรมของชาวเยอรมัน มีลักษณะการใช้งานแบบ Graphic user interface ซึ่งสะดวกในการเรียกใช้ข้อมูลภาพ (Spatial data) และข้อมูลตาราง (Attribute data) สามารถเรียกใช้ข้อมูลเชิงเส้น (Vector data) ในรูปแบบมาตรฐานทั่วไป เช่น Shape file และข้อมูลเชิงกริด (Raster data) นอกจากนี้ยังสามารถสืบค้นข้อมูล วิเคราะห์ข้อมูล นำเสนอในรูปแบบแผนที่ได้ และนำมาประยุกต์ใช้ร่วมกับแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ในการจำลอง วัฏจักรทางอุทกวิทยา อย่างแบบจำลอง SWAT ย่อมาจาก Soil and Water Assessment Tool ซึ่งอาศัยเครื่องมือการวิเคราะห์เชิงพื้นที่ในโปรแกรม GIS โดยการนำชั้นข้อมูล GIS 3 ชั้นข้อมูล ได้แก่ ชั้นข้อมูลการใช้ที่ดิน ข้อมูลชนิดดิน และข้อมูลความลาดชันของพื้นที่ ซ้อนทับข้อมูลจะทำให้ได้ชั้นข้อมูลใหม่ ซึ่งเรียกแต่ละขอบเขตนี้ว่า หน่วยตอบสนองทางอุทกวิทยา (Hydrologic Response Units; HRUs) (Wang et al., 2021)

เมื่อนำมาใช้งานร่วมกับโปรแกรม QGIS แบบจำลองนี้จะเรียกว่า QSWAT ใช้ในการประเมินปริมาณน้ำท่า การหาคุณภาพน้ำ การเคลื่อนที่ของสารเคมี และใช้เป็นเครื่องมือประเมินน้ำต้นทุน เพื่อนำไปใช้ในการบริหารจัดการน้ำ เป็นต้น ตัวอย่างงานวิจัย Tumkoon et al. (2017) ศึกษาแนวทางการปรับเทียบแบบจำลอง SWAT เพื่อใช้ในการประเมินปริมาณน้ำท่าที่ไหลลงสู่อ่างเก็บน้ำแควน้อยบำรุงแดน โดยได้ทำการเปรียบเทียบระหว่างการปรับใช้พารามิเตอร์ชุดเดียวทั้งลุ่มน้ำ (กรณีที่ 1) และการปรับใช้พารามิเตอร์ที่แตกต่างกันตามแต่ละลุ่มน้ำย่อย (กรณีที่ 2) และทำการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของแบบจำลอง ผลการศึกษาพบว่า ผลการเปรียบเทียบ และการตรวจพิสูจน์ในการจัดทำแบบจำลอง SWAT ในกรณีที่ 2 สูงกว่ากรณีที่ 1 รวมถึงงานวิจัยของ Prasanchum et al. (2022) ได้ประเมินประสิทธิภาพแบบจำลองอุทกวิทยา SWAT สำหรับการจำลองปริมาณน้ำท่า โดยใช้เทคนิคการปรับเทียบและสอบทานแบบหลายสถานีในพื้นที่ลุ่มน้ำมูล จากการประยุกต์ใช้แบบจำลอง SWAT เพื่อคำนวณปริมาณน้ำท่า และการใช้ SWAT-CUP สำหรับการปรับเทียบและสอบทานระหว่างผลการคำนวณ และค่าตรวจวัดจากสถานีในพื้นที่ลุ่มน้ำมูล ดัชนีทางสถิติจำนวน 3 ดัชนี ได้แก่ R^2 , NS และ PBIAS เพื่อประเมินประสิทธิภาพของผลที่ได้จากแบบจำลอง ผลการศึกษาในภาพรวมพบว่า การทำให้ค่า R^2 ดีที่สุดนั้น ชี้ให้เห็นว่าค่า R^2 ที่ให้ค่าอยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้ (สูงกว่า 0.5) มีจำนวน 18 จุด ในขณะที่ค่า NS และ PBIAS มีค่าที่ผ่านเกณฑ์จำนวน 8 จุด และ 11 จุด ตามลำดับ

จากการศึกษาดังกล่าวทำให้เล็งเห็นถึงความสำคัญของปัญหาด้านคุณภาพน้ำท่าเกิดขึ้น จำเป็นต้องพิจารณาดัชนีสำหรับกำหนดเป็นมาตรฐานสำหรับแหล่งน้ำนั้น ๆ ให้สอดคล้องกับการใช้ประโยชน์ องค์ประกอบที่สำคัญที่สุดจะอธิบายถึงมาตรฐานของคุณภาพน้ำอย่างน้อย ประกอบด้วย ปริมาณออกซิเจนละลายน้ำ (Dissolved Oxygen; DO) ที่เพียงพอ, ปริมาณออกซิเจนที่จุลินทรีย์ต้องการใช้ในกระบวนการย่อยสลายอินทรีย์ชนิดที่ย่อยสลายได้ภายใต้สภาวะที่มีออกซิเจน (Biological Oxygen Demand; BOD) ที่เหมาะสม และค่า pH ควรใกล้เคียงค่าที่เป็นกลาง (Singkran et al., 2010) ในแบบจำลอง SWAT ยังสามารถคำนวณค่าดัชนีคุณภาพน้ำได้ จะมีการจำลองการเคลื่อนที่ของสารเคมี และธาตุอาหาร ของเสียพวกนี้จะไหลไปตามลำน้ำ ผู้วิจัยมีความสนใจศึกษาในดัชนีคุณภาพน้ำ คือ ปริมาณดัชนีคุณภาพน้ำ DO และ ค่า BOD ดังนั้นการศึกษาวิจัยในครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อการประเมินคุณภาพน้ำในพื้นที่รับน้ำที่สถานีวัดน้ำ N.1 ด้วยแบบจำลอง QSWAT

วัสดุ อุปกรณ์ และวิธีการ

ขั้นตอนการศึกษา

ในการศึกษาคุณภาพน้ำในลุ่มน้ำน่านที่สถานีวัดน้ำ N.1 ลุ่มน้ำน่าน ได้แก่ ปริมาณดัชนีคุณภาพน้ำ DO และ BOD โดยการศึกษาครั้งนี้ใช้โปรแกรม QGIS และนำมาประยุกต์ใช้ร่วมกับแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ในการจำลอง วิเคราะห์ทางอุทกวิทยา อย่างแบบจำลอง SWAT ย่อมาจาก Soil and Water Assessment Tool แสดงดัง Figure 1 นอกจากนี้ยังสามารถสืบค้นข้อมูล วิเคราะห์ข้อมูล การนำเสนอในรูปแบบแผนที่ได้ โดยประกอบด้วยแบบจำลอง QSWAT แสดงดัง Figure 2 ในการติดตามคุณภาพน้ำ โดยเทียบกับค่ามาตรฐานคุณภาพน้ำของกรมควบคุมมลพิษ กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2559 ถึงปี พ.ศ. 2561 การศึกษาครั้งนี้ได้ทำการจัดเตรียมข้อมูลแบบจำลองระดับเชิงตัวเลข การใช้ประโยชน์ที่ดิน ข้อมูลชุดดิน ข้อมูลน้ำฝน เข้าสู่โปรแกรม QSWAT เพื่อทำการประมวลผลหาค่าพารามิเตอร์ที่ดีที่สุดมาเปรียบเทียบกับข้อมูลตรวจวัดจริงในพื้นที่รับน้ำสถานีวัดน้ำ N.1

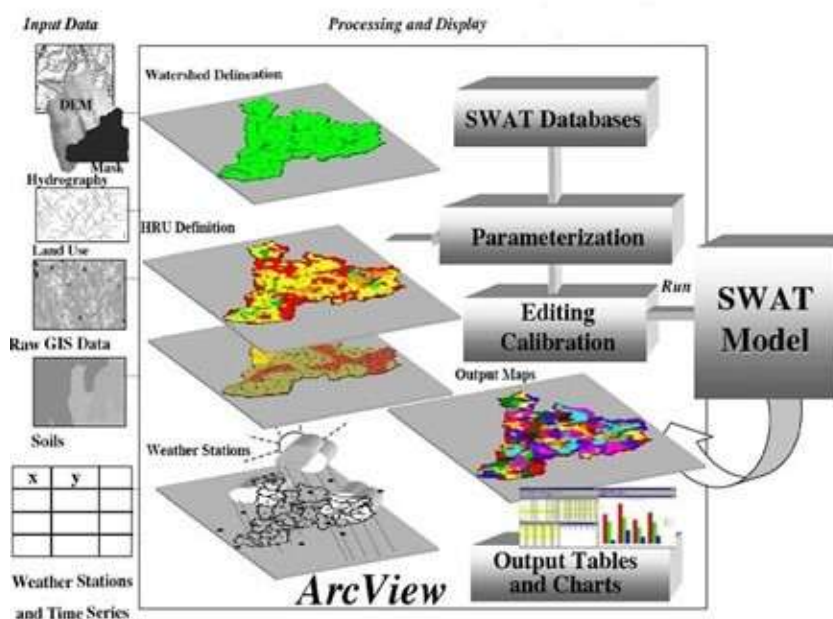


Figure 1 Processing and display concept for SWAT model (Santosa, 2016)

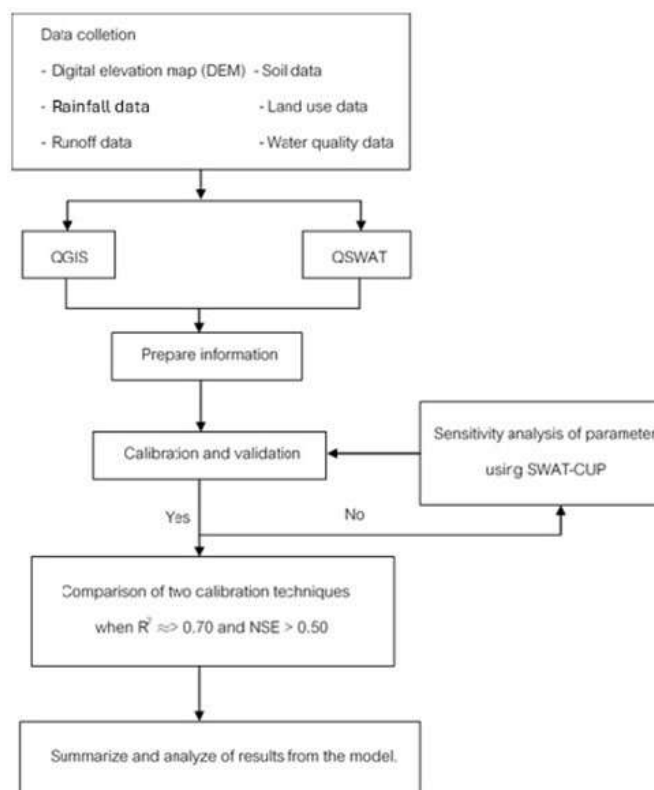


Figure 2 Flowchart of QSWAT modeling study

การเตรียมข้อมูล

ในการศึกษาต้องกำหนดวัตถุประสงค์ และการศึกษาโปรแกรม QGIS 3.2 ประกอบด้วยกับแบบจำลอง QSWAT ข้อมูลสภาพพื้นที่ ลักษณะทางภูมิประเทศ ภูมิอากาศ เป็นต้น ผู้วิจัยได้ทำการศึกษาพื้นที่รับน้ำที่สถานีวัดน้ำ N.1 แสดงดัง Figure 3 โดยตั้งอยู่ที่ สำนักงานป่าไม้ ตำบลโนนเวียง อำเภอเมือง จังหวัดน่าน ระบบพิกัด UTM ที่ 687854 (X), 2076749 (Y) โดยมีพื้นที่ทั้งหมด 4,592.857 ตารางกิโลเมตร และจากการศึกษาโปรแกรม QGIS ประกอบด้วยกับแบบจำลอง QSWAT ในการประเมินดัชนีคุณภาพน้ำ (DO, BOD) ทำให้ทราบถึงข้อมูลที่เกี่ยวข้องที่ใช้ในแบบจำลองประกอบไปด้วย ข้อมูลแบบจำลองระดับเชิงตัวเลข (DEM) จากกรมพัฒนาที่ดิน ข้อมูลปริมาณน้ำฝน (Rainfall data) เลือกสถานีวัดน้ำฝน 12 สถานี ข้อมูลปริมาณน้ำท่า (Runoff data) เลือกสถานีวัดน้ำท่า 1 สถานี โดยทำการรวบรวมข้อมูลจากการเก็บข้อมูลของกรมชลประทาน (Royal irrigation department, 2019) ข้อมูลที่ศึกษาเป็นข้อมูลรายวันระหว่างปี พ.ศ. 2559-2561 จะแสดงที่ตั้งของสถานีวัดน้ำฝนและสถานีวัดน้ำท่า แสดงดัง Figure 3

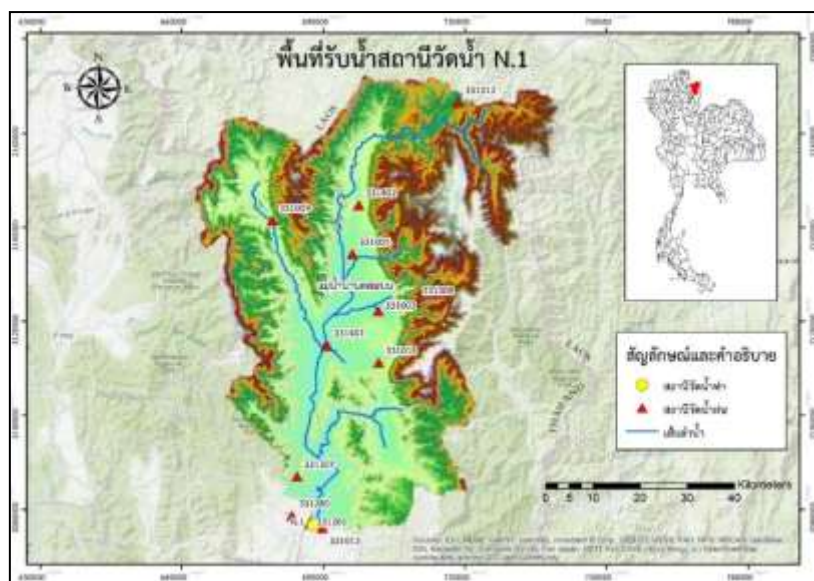


Figure 3 Watershed map at streamflow gauge station N.1

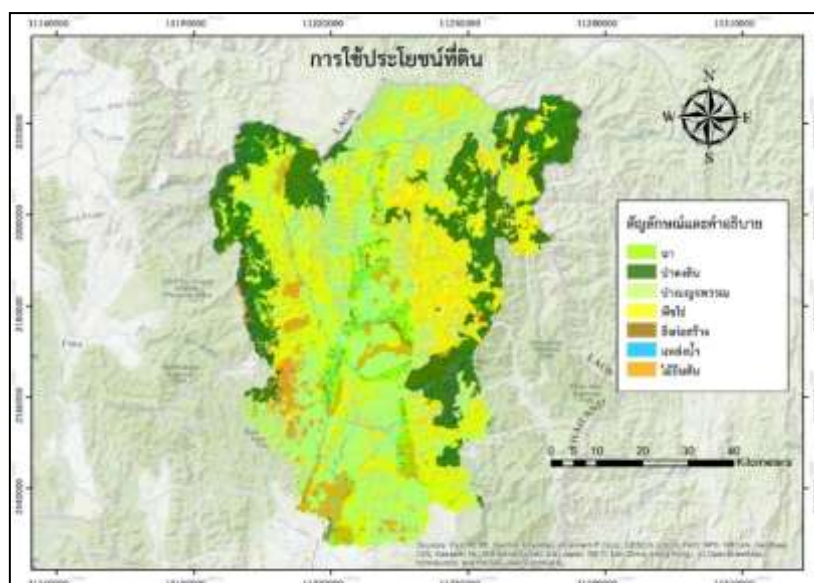


Figure 4 Land use and land cover map

Figure 4 แสดงส่วนข้อมูลการใช้ประโยชน์ที่ดิน (Land use data) พบว่า พื้นที่ส่วนใหญ่เป็นพืชไร่ คิดเป็นร้อยละ 35 ของพื้นที่การศึกษา ในส่วนของแหล่งน้ำมีเพียงร้อยละ 0.31 ของพื้นที่การศึกษา รายละเอียดเพิ่มเติมดัง Table 1 ข้อมูลกลุ่มชุดดิน (Soil data) พบว่า ดินส่วนใหญ่เป็นกลุ่มดินร่วน คิดเป็นร้อยละ 78 ของพื้นที่การศึกษา และข้อมูลคุณภาพน้ำเลือกศึกษาเฉพาะค่าดัชนีคุณภาพน้ำ DO และค่า BOD โดยการเก็บรวบรวมข้อมูลจากกรมควบคุมมลพิษ กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม ในปี พ.ศ. 2559-2561 เพื่อนำข้อมูลดังกล่าวมาเชื่อมโยงตรงกันระหว่างข้อมูลในพื้นที่ศึกษากับข้อมูลพื้นฐานของแบบจำลอง QSWAT (Tufa & Sime, 2021)

Table 1 Land use type and SWAT code

No.	Land Use	SWAT Code	Description	Area (Sq.km)
1	Water	WATR	Water bodies (e.g., rivers, lakes, reservoirs)	14.176
2	Urban-medium density	URML	Medium-density urban or built-up areas	47.242
3	Rice paddy	RICE	Flooded or irrigated rice fields	164.006
4	Deciduous forest	FRSD	Forest dominated by deciduous trees	307.449
5	Evergreen forest	FRSE	Forest dominated by evergreen trees	992.799
6	Mixed forest	FRST	Mixed forest types (deciduous+evergreen)	1,492.532
7	Agricultural land-row crops	AGRRL	General agricultural row crops	1,574.653
Total				4,592.857

การประมวลผลของแบบจำลอง

การจัดทำแบบจำลองของการวิจัยครั้งนี้ เมื่อนำเข้าข้อมูลพื้นฐานต่าง ๆ อาทิเช่น ข้อมูลปริมาณน้ำฝน ปริมาณน้ำท่า ข้อมูลการใช้ประโยชน์ที่ดิน และข้อมูลกลุ่มชุดดิน ที่ได้เตรียมไว้ข้างต้นสู่แบบจำลอง QSWAT โดยจะทำการประมวลผลในช่วงการปรับเทียบ (Calibration) ปี พ.ศ. 2559-2560 และในช่วงของการทดสอบ (Validation) ปี พ.ศ. 2561 เป็นกระบวนการที่ทำให้แบบจำลองให้ผลลัพธ์มีความสอดคล้องต่อสภาพธรรมชาติ หรือลักษณะของพื้นที่ลุ่มน้ำที่เป็นอยู่ในปัจจุบัน และได้มีการประมวลผลรวมกับโปรแกรม SWAT CUP การประมาณค่าทางอุทกวิทยาจะใช้หลักการทางด้านสมดุลของน้ำโดยการแทนค่าของปัจจัยต่าง ๆ ในธรรมชาติลงไปในสมการทางคณิตศาสตร์ ดัง Eq.1 (Arnold et al., 1998; Neitsch et al., 2011) โดยในการเปรียบเทียบข้อมูลแบบอัตโนมัติ จะได้ค่าสัมประสิทธิ์ที่เหมาะสมของพารามิเตอร์ในแบบจำลองให้มีค่าใกล้เคียงกับค่าที่ตรวจวัดมากที่สุดถึงจะสามารถนำแบบจำลองไปประยุกต์ใช้ในการประเมินคุณภาพน้ำ ซึ่งแสดงดัง Eq.2 และ Eq.3 (Wongsasri, 2011)

$$SW_t = SW + \sum_{i=1}^T (R_i - Q_i - ET_i - P_i - QR_i) \quad (\text{Eq.1})$$

โดยที่

- SW = ปริมาณน้ำในดินที่เป็นประโยชน์ (มิลลิเมตร)
- t = ช่วงระยะเวลา i คือ เวลา (วัน)
- R = ปริมาณฝน (มิลลิเมตร)
- Q = ปริมาณน้ำไหลบ่า (มิลลิเมตร)
- ET = ปริมาณการคายระเหย (มิลลิเมตร)
- P = ปริมาณน้ำที่ซึมลงไปในดิน (มิลลิเมตร)
- QR = ปริมาณน้ำที่ไหลลงแม่น้ำ (มิลลิเมตร)

ปริมาณออกซิเจนละลายน้ำ (Dissolved Oxygen; DO) ดัง Eq.2

$$OX_{surf} = OX_{sat} - K_1 \times BOD_{surq} \times \frac{t_{ov}}{24} \quad (\text{Eq.2})$$

โดยที่

- OX_{surf} = ความเข้มข้นของออกซิเจนละลายในน้ำผิวดิน (มิลลิกรัมต่อลิตร)
- OX_{sat} = ความเข้มข้นของออกซิเจนอิ่มตัว (มิลลิกรัมต่อลิตร)
- K_1 = BOD deoxygenation rate (ต่อวัน)
- t_{ov} = Time of concentration ของการไหลในผิวดิน (ชั่วโมง)

ปริมาณออกซิเจนที่จุลินทรีย์ต้องการใช้ในขบวนการย่อยสลายอินทรีย์ชนิดที่ย่อยสลายได้ภายใต้สภาวะที่มีออกซิเจน (Biological Oxygen Demand; BOD) ดัง Eq.3

$$BOD_{surq} = \frac{2.7orgC_{surq}}{Q_{surq}area_{hrurg}} \quad (Eq.3)$$

โดยที่

BOD_{surq} = ความเข้มข้นของ BOD ในน้ำผิวดิน (มิลลิกรัมต่อลิตร)

$orgC_{surq}$ = ปริมาณคาร์บอนทั้งหมดที่อยู่ในน้ำผิวดิน (กิโลกรัม)

Q_{surq} = ปริมาณน้ำผิวดิน (มิลลิเมตร)

$area_{hrurg}$ = พื้นที่หน่วยตอบสนองทางอุทกวิทยา (ตารางกิโลเมตร)

เกณฑ์การตัดสินใจแบบจำลอง

การประเมินความแม่นยำของแบบจำลองเป็นการพิจารณาความสอดคล้องกันของค่าจากผลของการจำลอง และค่าสังเกต ที่ได้มีการบันทึกไว้หรือค่าจริง โดยใช้เกณฑ์การประเมินเชิงประสิทธิภาพ ได้แก่ ค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (Coefficient of determination; R^2) ดัง Eq.4 (Chacuttrikul et al., 2014; Tumkoon et al., 2017) ซึ่งเป็นดัชนีที่นิยมใช้ในการบอกค่าความแม่นยำของแบบจำลอง ในการคาดคะเนค่าที่ต้องการ โดย R^2 จะมีค่าอยู่ระหว่าง 0 ถึง 1 ถ้าค่า R^2 เข้าใกล้ 1 แสดงว่ากลุ่มข้อมูลทั้งสองเข้ากันได้มาก ถ้าค่า R^2 เข้าใกล้ 0 แสดงว่ากลุ่มข้อมูลทั้งสองมีความสัมพันธ์กันน้อยมาก

$$R^2 = \left[\frac{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})(Y_i - \bar{Y})}{\sqrt{[\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2][\sum_{i=1}^n (Y_i - \bar{Y})^2]}} \right] \quad (Eq.4)$$

โดยที่

R^2 = ค่าสัมประสิทธิ์ของการตัดสินใจ

X_i = ตัวแปรอิสระที่เกิดขึ้นจริง

$\bar{X}$ = ค่าเฉลี่ยตัวแปรอิสระที่เกิดขึ้นจริง

Y_i = ตัวแปรตามจากแบบจำลอง

$\bar{Y}$ = ค่าเฉลี่ยตัวแปรตามจากแบบจำลอง

ค่าประสิทธิภาพของแบบจำลอง

ค่า Nash–Sutcliffe efficiency (NSE) นิยมใช้ในการบอกระดับความแม่นยำของแบบจำลองหรือประสิทธิภาพ ประสิทธิภาพของแบบจำลอง (Model performance) ในการคาดคะเนค่าที่ต้องการ ดัง Eq.5 (Nash & Sutcliffe, 1970) จะมีค่าอยู่ระหว่าง $-\infty$ ถึง 1 ซึ่งค่า NSE เท่ากับ 1 หมายถึง แบบจำลองสามารถคาดคะเนค่าโดยไม่มีผิดพลาด หากค่า NSE อยู่ระหว่าง 0.36-0.75 หมายถึง แบบจำลองสามารถคาดคะเนค่าอยู่ในเกณฑ์ที่น่าพอใจ

$$NSE = 1 - \left[\frac{\sum_{i=1}^n (Y_i - \bar{Y})^2}{\sum_{i=1}^n (Y_i - \bar{Y})^2} \right] \quad (Eq.5)$$

โดยที่

Y_i = ค่าสังเกตที่ i เมื่อ i มีค่าอยู่ระหว่าง 1 ถึง n

$\bar{Y}$ = ค่าการคาดคะเนจากแบบจำลองของค่า Y_i

$\bar{Y}$ = ค่าเฉลี่ยของ Y_i

ผลการวิจัย

ในการศึกษาครั้งนี้ได้ประยุกต์ใช้แบบจำลองคณิตศาสตร์ แบบจำลอง QSWAT ร่วมกับโปรแกรม QGIS สำหรับการติดตามดัชนีคุณภาพน้ำ (DO, BOD) โดยการเทียบกับค่ามาตรฐานคุณภาพน้ำของหน่วยงานกรมควบคุมมลพิษ กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2559 ถึงปี พ.ศ. 2560 ใช้เพื่อการปรับเทียบแบบจำลอง และ ปี พ.ศ. 2561 ใช้เพื่อการตรวจพิสูจน์แบบจำลอง ในพื้นที่ลุ่มน้ำน่าน สถานีวัดน้ำ N.1 โดยผลการดำเนินงานสรุปได้ดังต่อไปนี้

ผลการประเมินปริมาณน้ำท่า

ผลการประเมินปริมาณน้ำท่าจากแบบจำลอง QSWAT ที่สถานีวัดน้ำ N.1 ในช่วงการปรับเทียบ (พฤศจิกายน 2559-ตุลาคม 2560) ค่า R^2 อยู่ที่ 0.7139 และค่า NSE อยู่ที่ 0.6934 ซึ่งแสดงถึงความสัมพันธ์และความแม่นยำของแบบจำลองในการจำลองปริมาณน้ำท่า ส่วนในช่วงการทดสอบ (พฤศจิกายน 2561-ตุลาคม 2561) ค่า R^2 ลดลงเป็น 0.6658 และค่า NSE อยู่ที่ 0.5866 แต่ยังคงแสดงถึงความแม่นยำที่ยอมรับได้ ค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ จากแบบจำลอง แสดงไว้ใน Table 2 โดยทำการปรับเทียบข้อมูลระหว่างปี พ.ศ. 2559-2560 และการทดสอบข้อมูลระหว่างปี พ.ศ. 2561 แสดงไว้ใน Figure 5 ได้ค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ และค่าประสิทธิภาพของแบบจำลอง แสดงไว้ใน Table 3

Table 2 Optimized model parameters

Parameter	Minimum	Parameter value	Maximum
r_CN2	-0.2	-0.11	0.2
v_ALPHA_BF	0.0	0.75	1.0
v_GW_DELAY	30.0	158.31	450.0
v_GWQMN	0.0	1.56	2.0
v_GW_REVAP	0.0	0.15	0.2
v_ESCO	0.8	0.89	1.0
v_CH_N2	0.0	0.16	0.3
v_CH_K2	5.0	78.8	130.0
v_ALPHA_BNK	0.0	0.44	1.0
r_SOL_AWC	-0.2	-0.07	0.4
r_SOL_K	-0.8	0.28	0.8
r_SOL_BD	-0.5	-0.37	0.6
v_SFTMP	-5.0	-1.74	5.0

Table 3 Coefficient of determination and model efficiency

Stream flow	R^2	NSE	Period of observed data
Calibration	0.7139	0.6934	November 2016–October 2017
Validation	0.6658	0.5866	November 2018–October 2018

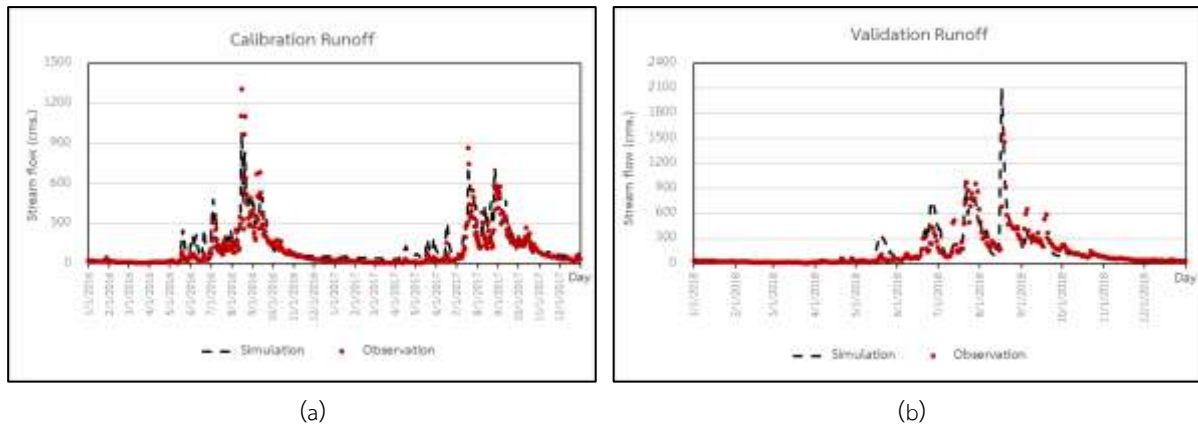


Figure 5 (a) Calibration period for streamflow Data (b) Validation period for streamflow data

ผลการประเมินคุณภาพน้ำ

ความสัมพันธ์ระหว่างค่าคุณภาพน้ำจากการตรวจวัดจริงกับค่าที่ได้จากแบบจำลอง QSWAT ช่วงการปรับเทียบ (Calibration) แสดงไว้ใน Figure 6 ผลการศึกษาพบว่า แบบจำลองสามารถจำลองค่าดัชนีคุณภาพน้ำ DO ได้สอดคล้องกับค่าจริงในบางเดือน เช่น เดือนพฤศจิกายน พ.ศ. 2559 และเดือนพฤศจิกายน พ.ศ. 2560 อย่างไรก็ตาม ในบางช่วง เช่น เดือนกุมภาพันธ์ พ.ศ. 2559 (ค่าจำลอง 9.72 mg/L, ค่าจริง 5.20 mg/L) และเดือนสิงหาคม พ.ศ. 2559 ค่าจำลองมีแนวโน้มสูงกว่าค่าที่วัดได้จริง สำหรับค่าดัชนีคุณภาพน้ำ BOD แบบจำลองมักจะต่ำกว่าค่าที่วัดได้จริงในหลายเดือน เช่น เดือนพฤศจิกายน พ.ศ. 2559 (ค่าจำลอง 0.70 mg/L, ค่าจริง 1.90 mg/L) อย่างไรก็ตาม ในบางเดือน เช่น เดือนกุมภาพันธ์ พ.ศ. 2560 แบบจำลองสามารถประเมินค่าดัชนีคุณภาพน้ำ BOD ได้ใกล้เคียงกับค่าจริง (ค่าจำลอง 2.50 mg/L, ค่าจริง 2.20 mg/L) เมื่อพิจารณาตามฤดูกาลพบว่า แบบจำลองมีความสามารถในการจำลองค่าดัชนีคุณภาพน้ำ DO ได้ดีในช่วงฤดูฝน โดยค่าจำลองมีความใกล้เคียงกับค่าจริง เช่น เดือนพฤษภาคม พ.ศ. 2559 (วัดได้ 7.60 mg/L) และเดือนพฤศจิกายน พ.ศ. 2560 (วัดได้ 7.00 mg/L) ในขณะที่ช่วงฤดูแล้งแบบจำลองมีแนวโน้มจำลองค่าดัชนีคุณภาพน้ำ DO สูงกว่าค่าจริง และค่าดัชนีคุณภาพน้ำ BOD ต่ำกว่าค่าจริง โดยเฉพาะในเดือนกุมภาพันธ์ พ.ศ. 2561 ซึ่งพบความคลาดเคลื่อนชัดเจนทั้ง 2 ค่าดัชนีคุณภาพน้ำ

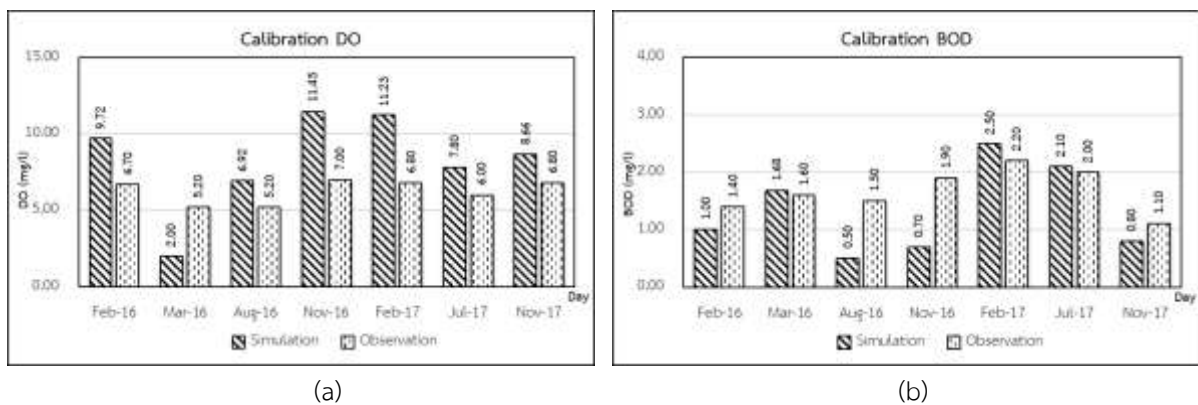


Figure 6 (a) Calibration period of DO water quality index (b) Calibration period of BOD water quality index

ช่วงการทวนสอบ (Validation) ในช่วงปี พ.ศ. 2561 ความสัมพันธ์ระหว่างคุณภาพน้ำที่ได้จากการตรวจวัดจริงกับผลลัพธ์จากแบบจำลอง แสดงไว้ใน Figure 7 พบว่า แบบจำลองยังคงมีความคลาดเคลื่อนในบางช่วง โดยเฉพาะในเดือนกุมภาพันธ์ ซึ่งอยู่ในช่วงฤดูแล้ง ค่าดัชนีคุณภาพน้ำ DO ที่จำลองได้สูงถึง 9.00 mg/L ขณะที่ค่าจริงที่วัดได้อยู่เพียง 2.50 mg/L แสดงถึงข้อจำกัดของแบบจำลองในการประเมินคุณภาพน้ำภายใต้สภาพที่มีปริมาณน้ำไหลน้อยและความเข้มข้นของสารมลพิษสูง อย่างไรก็ตาม ในช่วงเดือนที่มีฝนตกต่อเนื่อง เช่น เดือนพฤษภาคมและเดือนพฤศจิกายน พ.ศ. 2561 แบบจำลองสามารถจำลองค่าดัชนีคุณภาพน้ำ DO ได้ใกล้เคียงกับค่าจริง แสดงให้เห็นว่าแบบจำลอง มีประสิทธิภาพในการประเมินคุณภาพน้ำ

ในช่วงฤดูฝน ซึ่งมีสภาพการน้ำท่าไหลเวียนและเอื้อต่อการกระจายและเจือจางมลพิษ สำหรับค่าดัชนีคุณภาพน้ำ BOD แบบจำลองมักมีแนวโน้มต่ำกว่าค่าที่วัดได้จริงในช่วงฤดูแล้ง เช่น เดือนกุมภาพันธ์ พ.ศ. 2561 ที่ค่าจำลองอยู่ที่ 0.50 mg/L ขณะที่ค่าจริงสูงถึง 3.30 mg/L อย่างไรก็ตามช่วงปลายฝนและต้นฤดูหนาวในเดือนพฤศจิกายน พ.ศ. 2561 ค่าที่จำลองได้ (0.80 mg/L) มีค่าความคลาดเคลื่อนน้อยกว่าค่าจริง (1.60 mg/L) เมื่อพิจารณาตามฤดูกาลพบว่า แบบจำลองมีความแม่นยำมากขึ้นในช่วงฤดูฝน (มิถุนายน-ตุลาคม พ.ศ. 2561) ทั้ง 2 ดัชนีคุณภาพน้ำ ส่วนในฤดูแล้ง (มกราคม-พฤษภาคม และ พฤศจิกายน-ธันวาคม พ.ศ. 2561) มีค่าคลาดเคลื่อนสูงกว่า

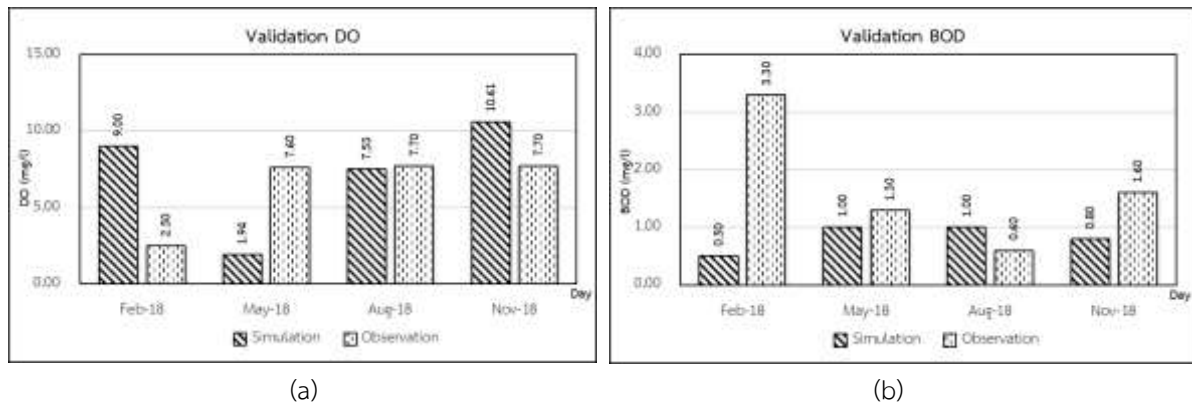


Figure 7 (a) Validation period of DO water quality index (b) Validation period of BOD water quality index

ผลการวิเคราะห์การประเมินจากแบบจำลอง

ผลการประเมินจากแบบจำลอง QSWAT โดยเปรียบเทียบกับข้อมูลตรวจวัดจริงพบว่า แบบจำลองสามารถจำลองค่าปริมาณน้ำท่าและดัชนีคุณภาพน้ำ (DO, BOD) ได้อย่างเหมาะสม โดยเฉพาะในช่วงฤดูฝนที่มีการไหลของน้ำสูง ทำให้มลพิษสามารถกระจายและเจือจางได้ดี ส่งผลให้ค่าจำลองมีความสอดคล้องกับค่าจริงมากกว่าช่วงฤดูแล้ง ซึ่งน้ำมีการไหลช้าลง และความเข้มข้นของสารมลพิษเพิ่มขึ้น ส่งผลต่อความคลาดเคลื่อนของค่าของแบบจำลอง ผลการศึกษานี้สอดคล้องกับงานวิจัย Wongsasri (2011) ที่ประเมินคุณภาพน้ำในลุ่มน้ำพองตอนล่างโดยใช้แบบจำลอง SWAT และพบว่า แบบจำลองสามารถสะท้อนความสัมพันธ์ของค่าคุณภาพน้ำจากการตรวจวัดจริงกับค่าจำลองได้อย่างเหมาะสมเช่นกัน อย่างไรก็ตามความถูกต้องของแบบจำลองยังขึ้นอยู่กับความครบถ้วนของข้อมูลนำเข้า เช่น ข้อมูลภูมิประเทศ การใช้ที่ดิน ดิน และข้อมูลอุทกนิยมนิเวศวิทยา ซึ่งหากข้อมูลบางส่วนไม่สมบูรณ์ อาจต้องใช้การประมาณค่าหรือโปรแกรมอื่นช่วยในการต่อเติมข้อมูล และอาจนำไปสู่ความคลาดเคลื่อนได้

การอภิปรายผล

การประเมินคุณภาพน้ำในลุ่มน้ำน่านที่สถานีวัดน้ำ N.1 โดยใช้แบบจำลอง QSWAT ในการติดตามดัชนีคุณภาพน้ำ (DO, BOD) ในพื้นที่ลุ่มน้ำน่านที่สถานีวัดน้ำ N.1 ระหว่างปี พ.ศ. 2559 ถึง พ.ศ. 2561 ผลการศึกษาแสดงถึงข้อดีและข้อจำกัดของแบบจำลอง ดังนี้

1. ผลการประเมินปริมาณน้ำท่า จากแบบจำลอง QSWAT ในช่วงการปรับเทียบ (พฤศจิกายน พ.ศ. 2559-ตุลาคม พ.ศ. 2560) พบว่า แบบจำลองมีความแม่นยำสูง โดยค่า R^2 อยู่ที่ 0.7139 และ NSE ที่ 0.6934 ซึ่งแสดงถึงความสัมพันธ์ที่ดีระหว่างค่าที่จำลองและค่าจริง ส่วนในช่วงการทวนสอบ (พฤศจิกายน พ.ศ. 2561-ตุลาคม พ.ศ. 2561) ค่า R^2 และ NSE ลดลงเล็กน้อย ($R^2=0.6658$, $NSE=0.5866$) แต่ยังคงอยู่ในระดับที่สามารถยอมรับได้ สอดคล้องกับงานวิจัยของ Tufa et al. (2021) ที่มีผลของค่า R^2 และ NSE แตกต่างกันไปเล็กน้อยในช่วงการปรับเทียบ และช่วงการทวนสอบของแบบจำลอง ทั้งนี้อาจเกิดจากปัจจัยหลายอย่าง เช่น ความแปรปรวนของสภาพอากาศ ปริมาณน้ำฝน และการไหลของน้ำที่มีผลกระทบต่อค่าจำลองในบางช่วงเวลา

2. ผลการประเมินดัชนีคุณภาพน้ำ (DO, BOD) ในช่วงการปรับเทียบ (พฤศจิกายน พ.ศ. 2559-ตุลาคม พ.ศ. 2560) แบบจำลองสามารถจำลองค่าดัชนีคุณภาพน้ำ DO ได้ใกล้เคียงกับค่าจริงในหลายเดือน โดยเฉพาะในเดือนพฤศจิกายน

พ.ศ. 2559 และเดือนพฤศจิกายน พ.ศ. 2560 อย่างไรก็ตามในบางเดือน เช่น เดือนกุมภาพันธ์ พ.ศ. 2559 ค่า DO ที่จำลองได้สูงกว่าค่าจริง ซึ่งอาจเกิดจากข้อจำกัดของแบบจำลองในการจำลองภายใต้สภาพการไหลของน้ำที่ต่ำในช่วงฤดูแล้ง ส่วนดัชนีคุณภาพน้ำ BOD แบบจำลองมักจะจำลองค่าที่ต่ำกว่าค่าจริงในหลายเดือน เช่น เดือนพฤศจิกายน พ.ศ. 2559 แต่ในบางเดือน เช่น เดือนกุมภาพันธ์ พ.ศ. 2560 ค่าดัชนีคุณภาพน้ำ BOD ที่จำลองได้ใกล้เคียงกับค่าจริง ผลการทวนสอบในปี พ.ศ. 2561 พบว่า แบบจำลองยังคงมีความคลาดเคลื่อนในบางช่วง โดยเฉพาะในเดือนกุมภาพันธ์ ซึ่งเป็นช่วงฤดูแล้งที่มีปริมาณน้ำไหลน้อยและสารมลพิษสูง อย่างไรก็ตามในเดือนที่มีฝนตกต่อเนื่อง เช่น เดือนพฤษภาคม และพฤศจิกายน พ.ศ. 2561 แบบจำลองสามารถจำลองค่าดัชนีคุณภาพน้ำ DO ได้ใกล้เคียงกับค่าจริง แสดงให้เห็นว่าแบบจำลองมีประสิทธิภาพในการจำลองคุณภาพน้ำในช่วงฤดูฝน

3. การพิจารณาตามฤดูกาล ผลการจำลองตามฤดูกาลพบว่า แบบจำลอง QSWAT สามารถจำลองค่าดัชนีคุณภาพน้ำ DO และดัชนีคุณภาพน้ำ BOD ได้อย่างแม่นยำในช่วงฤดูฝน (มิถุนายน-ตุลาคม พ.ศ. 2561) ซึ่งมีปริมาณน้ำท่ามากและสภาพการไหลของน้ำที่ดี ทำให้มลพิษสามารถกระจายและเจือจางได้อย่างมีประสิทธิภาพ ในขณะที่ในช่วงฤดูแล้ง (มกราคม-พฤษภาคม และพฤศจิกายน-ธันวาคม พ.ศ. 2561) แบบจำลองมีความคลาดเคลื่อนมากขึ้น โดยเฉพาะในเดือนกุมภาพันธ์ 2561 ที่มีการไหลของน้ำต่ำและความเข้มข้นของสารมลพิษสูง ทำให้แบบจำลองไม่สามารถจำลองค่าคุณภาพน้ำได้อย่างแม่นยำเท่าที่ควร สอดคล้องกับงานวิจัยของ Prasanchum et al. (2022) ที่เมื่อมีปริมาณน้ำท่าน้อยทำให้ผลของแบบจำลองยังคงมีความคลาดเคลื่อนในบางช่วง โดยรวมแล้วแบบจำลอง QSWAT มีความแม่นยำสูงในการจำลองปริมาณน้ำท่าและดัชนีคุณภาพน้ำ (DO, BOD) ในช่วงฤดูฝน แต่ยังคงมีความคลาดเคลื่อนในช่วงฤดูแล้ง ซึ่งแสดงถึงข้อจำกัดของแบบจำลองในสภาพการไหลของน้ำที่ต่ำและความเข้มข้นของสารมลพิษสูง

บทสรุป

จากผลการเปรียบเทียบแบบจำลอง QSWAT สามารถแบ่งออกเป็น 2 ส่วนคือ การเปรียบเทียบปริมาณน้ำท่า และการเปรียบเทียบดัชนีคุณภาพน้ำ (DO, BOD) จากผลการเปรียบเทียบปริมาณน้ำท่าที่สถานีวัดน้ำ N.1 ในช่วงปี พ.ศ. 2559 ถึง พ.ศ. 2560 มีค่า $R^2=0.7139$ และค่า $NSE=0.6934$ ในช่วงปี พ.ศ. 2561 มีค่า $R^2=0.6658$ และค่า $NSE=0.5866$ สำหรับการเปรียบเทียบคุณภาพน้ำในสถานีที่เปรียบเทียบคือ สถานีวัดน้ำ N.1 ผลการศึกษาข้อมูลจากการตรวจวัดจริงเทียบกับข้อมูลจากแบบจำลองมีแนวโน้มใกล้เคียงกันและจะไม่มี ความสอดคล้องกันในช่วง

ในส่วนของการจำลองคุณภาพน้ำ พบว่า แบบจำลองสามารถประมาณค่าดัชนีคุณภาพน้ำ DO และ BOD ได้ใกล้เคียงกับค่าจริงในหลายช่วง โดยเฉพาะในฤดูฝน (มิถุนายน-ตุลาคม) ซึ่งมีปริมาณการไหลของน้ำมาก ช่วยกระจายและเจือจางสารมลพิษได้ดี ทำให้แบบจำลองแสดงผลได้แม่นยำกว่าในฤดูแล้ง อย่างไรก็ตามพบข้อจำกัดในช่วงฤดูแล้ง โดยค่าที่ได้จากแบบจำลองมักมีความคลาดเคลื่อนสูง โดยเฉพาะในเดือนที่มีปริมาณน้ำไหลต่ำและความเข้มข้นของมลพิษสูง เช่น เดือนกุมภาพันธ์ พ.ศ. 2561 โดยผลการศึกษาสามารถสรุปได้ว่า แบบจำลอง QSWAT มีประสิทธิภาพในการประเมินทั้งปริมาณน้ำท่าและคุณภาพน้ำในลุ่มน้ำนานได้อย่างมีประสิทธิภาพ โดยเฉพาะในฤดูฝน และสามารถนำไปประยุกต์ใช้เพื่อการบริหารจัดการทรัพยากรน้ำ และการติดตามคุณภาพน้ำในพื้นที่ลุ่มน้ำอื่น ๆ ได้อย่างเหมาะสม

กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้วิจัยขอขอบคุณกรมควบคุมมลพิษ กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อมที่สนับสนุนข้อมูลในการวิจัยครั้งนี้

เอกสารอ้างอิง

Arnold, J. G., Srinivasan, R., Muttiah, R. S., & Williams, J. R. (1998). Large area hydrologic modeling and assessment: Part 1. Model development. *Journal of the American Water Resources Association*, 34(1), 73–89. <https://doi.org/10.1111/j.1752-1688.1998.tb05961.x>

- Boochayan, A., Pahanich, W., & Sartsin, P. (2018). Geoinformatics technology and geographic literacy. *Journal of Humanities and Social Sciences, Surin Rajabhat University*, 20(2), 385–397. (In Thai)
- Chacuttrikul, P., Pukngam, S., & Thueksathit, S. (2014). Application of the SWAT model to study the impact of El Niño and La Niña on runoff in the Lam Chi sub-basin. *Khon Kaen Research Journal (Graduate Studies)*, 14(1), 24–35. (In Thai)
- Nash, J. E., & Sutcliffe, J. V. (1970). River flow forecasting through conceptual models: Part 1. A discussion of principles. *Journal of Hydrology*, 10(3), 282–290. [https://doi.org/10.1016/0022-1694\(70\)90255-6](https://doi.org/10.1016/0022-1694(70)90255-6)
- Neitsch, S. L., Arnold, J. G., Kiniry, J. R., & Williams, J. R. (2011). *Soil and water assessment tool theoretical documentation version 2009*. Texas Water Resources Institute.
- Prasanchum, H., Chaowiwat, W., Muangthong, S., Sarinnapakorn, K., & Boonyaaronnate, S. (2022). Evaluation of SWAT hydrological model performance for runoff simulation using multi-site calibration and validation techniques in Mun River Basin. In *The 27th National Convention on Civil Engineering (NCCE 27)*(pp. 1-8), Chiang Rai, Thailand. (In Thai)
- Royal Irrigation Department. (2019, February 10). Upper Northern Irrigation Hydrology Center. <http://www.hydro-1.rid.go.th/>. (In Thai)
- Santosa, P. (2016, June 14). QGIS interface for SWAT (QSWAT) tutorial. <https://www.santosasandyputra.wordpress.com/2016/06/14/step-2-qgis-interface-for-swat-qswat-tutorial/>
- Singkran, N., Yenpiem, A., & Sasitorn, P. (2010). Determining water conditions in the northeastern rivers of Thailand using time series and water quality index models. *Journal of Sustainable Energy & Environment*, 1(2), 47–58.
- Suksomboon, R., & Boonmak, P. (2023). Effects of hydraulic loading rate and solids loading rate on groundwater filtration efficiency using groundwater filtration units. *Journal of Agriculture and Technology*, 4(3), 36–44. (In Thai)
- Tufa, F. G., & Sime, C. H. (2021). Stream flow modeling using SWAT model and the model performance evaluation in Toba sub-watershed, Ethiopia. *Modeling Earth Systems and Environment*, 7, 2653–2665. <https://doi.org/10.1007/s40808-020-01039-7>
- Tumkoon, K., Sittichok, K., & Thepprasit, C. (2017). A comparison of calibration techniques of the SWAT model for runoff estimation into Kwaie Noi Bamrung Dan Reservoir, Phitsanulok Province. *Kasetsart University Journal of Science and Technology*, 6(3), 41–59. (In Thai)
- Wang, Z., Cao, J., & Yang, H. (2021). Multi-time scale evaluation of forest water conservation function in the semiarid mountains area. *Forests*, 12, 116. <https://doi.org/10.3390/f12020116>
- Wongsasri, S. (2011). Runoff estimation in the Phong River Basin, Nong Bua Lamphu Province using the SWAT model [Unpublished master's thesis]. Khon Kaen University. (In Thai)

Received: April 23, 2025; Revised: May 4, 2025; Accepted: August 18, 2025

ผลของการใช้แหนแดงเลี้ยงปลาตะเพียนขาวในนาข้าวอินทรีย์
Effects of using Azolla (*Azolla microphylla*) to feed Thai silver barb
(*Barbonymus gonionotus*) in organic rice fields

วิศรุต พลพินิจ¹ กฤติมา กษมาวุฒิ¹ อัจฉราวดี เครือภักดี¹ และสำเนาวิ เสาวกุล^{1*}
Wisarut Polpinij¹, Kittima Kasamawut¹, Ajcharawadee Kruapukdee¹
and Samnoa Saowakoon^{1*}

¹คณะเกษตรศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน วิทยาเขตสุรินทร์ จังหวัดสุรินทร์

¹Faculty of Agricultural Technology, Rajamangala University of Technology Isan Surin Campus, Surin Province

*Corresponding Author E-mail Address : samnao.sa@rmuti.ac.th

บทคัดย่อ

การศึกษาผลของการใช้แหนแดง (*Azolla microphylla*) ร่วมกับอาหารปลาอินทรีย์ในการเลี้ยงปลาตะเพียนขาว ในนาข้าวอินทรีย์ ดำเนินการที่ฟาร์มประมง มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน วิทยาเขตสุรินทร์ เป็นระยะเวลา 120 วัน โดยแบ่งกลุ่มการทดลองออกเป็น 4 กลุ่ม ได้แก่ 1) ปลูกข้าวเพียงอย่างเดียว 2) แหนแดงเป็นอาหาร 3) แหนแดงผสมกับอาหารอินทรีย์เป็นอาหาร และ 4) อาหารอินทรีย์อย่างเดียว ผลการทดลองพบว่า กลุ่มที่ 4 มีน้ำหนักเฉลี่ยของปลามากที่สุดที่ 57.94 ± 13.07 กรัม ในขณะที่กลุ่มที่ 3 มีน้ำหนักเฉลี่ย 55.36 ± 12.34 กรัม ซึ่งไม่แตกต่างกันแต่ต่างกันทางสถิติ ($p < 0.05$) กับกลุ่มที่ 2 ซึ่งมีน้ำหนักต่ำสุดที่ 44.96 ± 8.23 กรัม กลุ่มที่ 4 มีความยาวเฉลี่ยมากที่สุดที่ 16.14 ± 1.29 เซนติเมตร ตามด้วยกลุ่มที่ 3 ที่ 16.01 ± 1.07 เซนติเมตร ซึ่งไม่แตกต่างกันแต่ต่างกันทางสถิติ ($p < 0.05$) กับกลุ่มที่ 2 ซึ่งมีความยาวเฉลี่ยที่ 14.89 ± 0.97 เซนติเมตร ด้านการเจริญเติบโตอื่น ๆ มีแนวโน้มคล้ายกัน โดยกลุ่มที่ 3 และ 4 แสดงผลการเจริญเติบโตที่ดีกว่าในด้านอัตราการเจริญเติบโตเฉพาะ (SGR) และอัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อ (FCR) เมื่อเทียบกับกลุ่มที่ 2 โดยมีความแตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) กลุ่มที่ 4 มีค่า SGR สูงสุดที่ 1.63%/วัน และมี FCR ต่ำที่สุดที่ 1.43 ในขณะที่ค่าดัชนีสภาพของฟูลตัน (K) และอัตราการรอดไม่แตกต่างกันในทุกกลุ่มการทดลอง ($p > 0.05$) โดยค่า K อยู่ในช่วง 1.35 ถึง 1.38 และอัตราการรอดเกินกว่า 92% ซึ่งบ่งชี้ถึงความเหมาะสมของสิ่งแวดล้อมในนาข้าวอินทรีย์ในการเลี้ยงปลา

คำสำคัญ: แหนแดง ปลาตะเพียนขาว ข้าวอินทรีย์

Abstract

This research aimed to study the effects of using Azolla (*Azolla microphylla*) in combination with organic fish feed in the cultivation of Thai Silver barb (*Barbonymus gonionotus*) in an organic rice field system. The experiment was conducted at the Fisheries Farm, Rajamangala University of Technology Isan, Surin Campus, over a period of 120 days. The experiment was divided into four treatment groups: 1) rice cultivation only, 2) fish fed exclusively with Azolla, 3) fish fed with a combination of Azolla and organic fish feed, and 4) fish fed exclusively with organic fish feed. Results showed that groups 4 had the highest average weight of 57.94 ± 13.07 grams per fish, while groups 3 achieved 55.36 ± 12.34 grams, with no significant difference

between these two groups. However, both groups 3 and 4 showed statistically significant differences ($p < 0.05$) compared to groups 2, which had the lowest weight of 44.96 ± 8.23 grams. Similarly, groups 4 exhibited the greatest length of 16.14 ± 1.29 cm, followed by groups 3 (16.01 ± 1.07 cm), with no significant difference between them but both group 3 and 4 were significantly different ($p < 0.05$) from groups 2 which had the smallest length of 14.89 ± 0.97 cm. Other growth parameters followed similar trends, with groups 3 and 4 demonstrating better Specific Growth Rate (SGR) and Feed Conversion Ratio (FCR) than groups 2 with statistical significance ($p < 0.05$). Groups 4 achieved the highest SGR of 1.63%/day and the lowest FCR of 1.43, indicating efficient feed conversion to biomass. Fulton's condition index (K) and survival rates showed no significant differences across all groups ($p > 0.05$), with K values ranging from 1.35 to 1.38 and survival rates exceeding 92%, indicating the suitability of the organic rice field environment for fish rearing.

Keywords: Azolla (*Azolla microphylla*), Thai silver barb, Organic rice

บทนำ

การเลี้ยงสัตว์น้ำร่วมกับการทำนาข้าวเป็นรูปแบบของระบบเกษตรแบบผสมผสาน (Integrated farming system) ได้รับความนิยมเพิ่มมากขึ้น เนื่องจากสามารถใช้ทรัพยากรธรรมชาติได้อย่างมีประสิทธิภาพ โดยเฉพาะในพื้นที่ชนบทของประเทศไทยกำลังพัฒนา ระบบนี้ช่วยเพิ่มผลผลิตทางการเกษตรทั้งในด้านพืชและสัตว์ในพื้นที่เดียวกัน ส่งเสริมความมั่นคงทางอาหารและรายได้ของครัวเรือน (Halwart & Gupta, 2004; Ahmed & Garnett, 2011) แนวคิดดังกล่าวยังสอดคล้องกับนโยบายการพัฒนาเกษตรกรรมยั่งยืนของประเทศไทยที่เน้นการลดการใช้สารเคมี และเพิ่มการพึ่งพาตนเองของเกษตรกร การศึกษาของ Saowakoon et al. (2010) แสดงให้เห็นว่าการเลี้ยงปลาตะเพียนขาวในนาข้าวสามารถดำเนินการได้อย่างมีประสิทธิภาพในภาคตะวันออกเฉียงเหนือของไทย โดยไม่ส่งผลกระทบต่อผลผลิตข้าว อีกทั้งยังช่วยควบคุมศัตรูพืช และสร้างรายได้เพิ่มขึ้นโดยใช้ต้นทุนที่ต่ำ จากรายงานของ Prein (2002) และ Cagauan et al. (2000) พบว่าการเลี้ยงปลาในนาข้าวมีข้อดีหลายประการ ได้แก่ การควบคุมศัตรูพืชในนาข้าว ลดการใช้สารเคมี สร้างรายได้เสริมจากการจำหน่ายปลา และเพิ่มสารอาหารให้กับครัวเรือน โดยเฉพาะปลาตะเพียนขาว (*Barbonymus gonionotus*) ซึ่งเป็นสายพันธุ์ที่เลี้ยงง่าย โตเร็ว และสามารถปรับตัวได้ดีในสภาพแวดล้อมของนาข้าว

แหนแดง (*Azolla spp.*) เป็นพืชน้ำลอยที่มีความสำคัญทางเกษตรกรรม เนื่องจากสามารถตรึงไนโตรเจนจากอากาศได้ด้วยการมีจุลินทรีย์ *Anabaena azollae* อาศัยอยู่ร่วมกันในโพรงใบ ทำให้สามารถนำมาใช้เป็นปุ๋ยพืชสดในนาข้าวได้อย่างมีประสิทธิภาพ (Lumpkin & Plucknett, 1980; Kannaiyan, 1992) นอกจากนี้ แหนแดงยังมีคุณค่าทางโภชนาการสูง โดยมีปริมาณโปรตีนประมาณร้อยละ 20–30 ของน้ำหนักแห้ง และมีกรดอะมิโนจำเป็นหลายชนิด จึงถูกนำมาใช้เป็นแหล่งอาหารสำหรับสัตว์น้ำในหลายประเทศ Fioqbe et al. (2004) จากสถานการณ์ปัจจุบัน พบว่าเกษตรกรในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ โดยเฉพาะในจังหวัดสุรินทร์ มีศักยภาพในการพัฒนาเกษตรอินทรีย์ควบคู่กับการเลี้ยงสัตว์น้ำ โดยมีความพร้อมทั้งด้านทรัพยากรและความสนใจในแนวทางดังกล่าว Sriwichai (2005) อย่างไรก็ตาม ยังขาดข้อมูลเชิงประจักษ์เกี่ยวกับผลการใช้แหนแดงในการเลี้ยงปลาร่วมกับการปลูกข้าวอินทรีย์ โดยเฉพาะในด้านผลผลิต และการเจริญเติบโตของปลา

ดังนั้น งานวิจัยนี้จึงมีความสำคัญในการศึกษาประสิทธิภาพของการใช้แหนแดงในการเลี้ยงปลาตะเพียนขาวในนาข้าวอินทรีย์ เพื่อประเมินผลทางชีวภาพ เศรษฐกิจ และศักยภาพในการนำไปใช้จริงในระดับเกษตรกร โดยมุ่งหวังให้เป็นแนวทางในการส่งเสริมระบบเกษตรอินทรีย์แบบผสมผสานที่ยั่งยืนและเหมาะสมกับบริบทของพื้นที่ชนบทในประเทศไทย

วัสดุ อุปกรณ์ และวิธีการ

วิธีดำเนินการวิจัย

แบ่งการทดลองออกเป็น 4 กลุ่ม วางแผนการทดลองแบบบล็อกสุ่มสมบูรณ์ (Randomized Complete Block Design ; RCBD) ดำเนินการศึกษากายในพื้นที่ทดลองระบบนาข้าวอินทรีย์ฟาร์มสาขาระดม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน

วิทยาเขตสุรินทร์ ทำการศึกษาเป็นระยะเวลาทั้งหมด 120 วัน ตั้งแต่ปลูกข้าวในเดือน มิถุนายน พ.ศ. 2567 เริ่มปล่อยสัตว์น้ำในเดือน กรกฎาคม พ.ศ. 2567 จนถึงช่วงการเก็บเกี่ยวผลผลิตข้าวและสัตว์น้ำในเดือนกันยายน พ.ศ. 2567 ซึ่งทำการปรับพื้นที่นาข้าวให้เป็นพื้นที่การปลูกข้าวและเลี้ยงสัตว์น้ำ โดยทำการศึกษารูปแบบการปลูกข้าวอินทรีย์ตามมาตรฐานเกษตรอินทรีย์สุรินทร์ (มก.สร.) แปลงนาพื้นที่ใช้ในการปลูกข้าว กว้าง 2 เมตร ยาว 2 เมตร พื้นที่นาทั้งหมด 4 ตารางเมตร พื้นที่คูน้ำของแปลงที่เลี้ยงปลาาร่วมกับการปลูกข้าว ด้านกว้างมีพื้นที่ 1 เมตร ยาว 1 เมตร สัตว์ทดลอง ได้แก่ ปลาตะเพียนขาว น้ำหนักเฉลี่ย 14 กรัม ความยาวเฉลี่ย 10 เซนติเมตร จำนวน 270 ตัว มาทำการทดลองในบ่อเลี้ยงสัตว์น้ำในนาข้าวเกษตรอินทรีย์ จำนวน 9 บ่อ โดยแบ่งเลี้ยงจำนวนบ่อละ 30 ตัว การให้อาหาร จะให้ที่ 5% ของน้ำหนักตัว โดยให้วันละ 2 มื้อ เวลา 9.00 น. และ เวลา 17.00 น. อาหารที่ใช้ในการทดลอง สูตรที่ 1 T2 ใช้แทนแดงตากแห้ง สูตรที่ 2 T3 ใช้แทนแดงแห้งผสมกับอาหารอินทรีย์ และ สูตรที่ 3 T4 อาหารเม็ดอินทรีย์ที่ผลิตขึ้นตามสูตร

การเก็บรวบรวมข้อมูลอัตราการเจริญเติบโตของปลาตะเพียนขาว

ข้อมูลที่ได้นั้นจากการเลี้ยงปลาตะเพียนขาวระยะเวลา 90 วัน เช่น ปริมาณอาหาร ระยะเวลาในการเลี้ยง และการเจริญเติบโตของปลาที่ใช้ทดลองนำมาวิเคราะห์หาอัตราส่วนต่าง ๆ โดยทำการสุ่มตัวอย่างการเลี้ยงปลาในปัจจัยที่ทำการศึกษ และการปลูกข้าวอินทรีย์เพียงอย่างเดียว เพื่อหาความยาวเฉลี่ยและน้ำหนักเฉลี่ยนำไปใช้ในการวิเคราะห์ ดังนี้

$$(1) \text{ อัตราการเจริญเติบโตจำเพาะ (SGR\%/วัน)} = [\ln(\text{น้ำหนักสุดท้าย}) - \ln(\text{น้ำหนักเริ่มต้น}) \times 100] / \text{ระยะเวลาทดลอง}$$

$$(2) \text{ อัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อ (FCR)} = \text{น้ำหนักของอาหารที่กิน} / \text{น้ำหนักที่เพิ่มขึ้น}$$

$$(3) \text{ อัตราการรอดตาย (ร้อยละ)} = (\text{จำนวนสัตว์น้ำที่เหลือรอด} / \text{จำนวนสัตว์น้ำเริ่มทดลอง}) \times 100$$

การประเมินการเติบโตของปลาที่สัมพันธ์กับในระบบนิเวศนาข้าวในการศึกษา

การเจริญเติบโตของปลา ในระบบทดลอง จะเป็นตัวชี้วัดถึงความเหมาะสมของระบบนิเวศของแปลงทดลอง ซึ่งสามารถนำไปประเมินบทบาทและสัดส่วนที่จะพิจารณาใช้ประโยชน์ ตามวัตถุประสงค์ที่แตกต่างกัน ดังนั้นค่าพารามิเตอร์ หรือ ดัชนีการประเมินการเติบโตของปลาในระบบนิเวศแปลงทดลอง จึงพิจารณาใช้ค่าที่เหมาะสมดังต่อไปนี้

ค่าดัชนีสภาพของฟูลตัน (Fulton's condition index) หรือ K ความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักและความยาวสามารถใช้สำหรับการหาค่า Condition factors ในปลาได้ในด้าน ชีววิทยาประมงจะใช้ Condition factors ในการวัดความผันแปร ค่า น้ำหนักต่อความยาว ของปลาเป็นรายตัวหรือกลุ่ม เพื่อใช้บ่งบอกความแตกต่างของน้ำหนัก การเปลี่ยนแปลงของสภาวะอาหาร ผลกระทบของสิ่งแวดล้อมได้ ค่า Condition factors คำนวณได้จาก Eq.1

$$(4) K = (W / L^3) \times 100 \quad (\text{Eq.1})$$

เมื่อ K = ดัชนี Condition factor, W = น้ำหนักของปลาหน่วยเป็นกรัม

L = ความยาวของปลา หน่วยเป็น เซนติเมตร และ = 100 ค่าคงที่

ดัชนี Condition factor (K) เป็นค่าที่บ่งบอกถึงผลของการที่ปลาได้รับอาหาร เป็นตัววัดความสมบูรณ์และสุขภาพของประชากรปลา ช่วงเวลาของการเจริญพันธุ์ตามฤดูกาล อัตราการใช้ประโยชน์จากอาหาร ในแหล่งน้ำธรรมชาติค่าที่ได้จะแสดงปริมาณพลังงานที่เก็บไว้ในร่างกายของปลา ซึ่งเกี่ยวข้องโดยตรงกับการเติบโตและความสำเร็จในการเจริญพันธุ์ของปลา ซึ่งถึงคุณภาพของที่อยู่อาศัยโดยรวมสำหรับการเติบโตและการเจริญพันธุ์ของปลา ดังนั้นจึงสะท้อนถึงความอุดมสมบูรณ์ของระบบนิเวศของระบบนาที่ปลาอาศัยและเจริญเติบโตอยู่ (Saksena & Kulकर्नी, 1982)

ค่า K ที่สูงแสดงว่าปลามีสุขภาพดี มีพลังงานสำหรับการเติบโตและการเจริญพันธุ์เพียงพอ ในทางกลับกัน ค่า K ที่ลดลงจะเป็นผลมาจากการที่น้ำหนักเพิ่มของปลาน้อยกว่า เมื่อเทียบกับการเพิ่มด้านความยาว ซึ่งมีงานวิจัยหลายชิ้นพบว่าค่า K และการเติบโตของปลาขึ้นอยู่กับ ความอุดมสมบูรณ์ และองค์ประกอบปัจจัยด้านอาหาร และลักษณะทางเคมีกายภาพของน้ำในระบบนิเวศ Kamal (1982) และ Sinha et al. (1986) นั่นเอง

การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ

หลังจากการทดลองนำข้อมูลที่ได้จากการศึกษาอัตราการเจริญเติบโตของสัตว์น้ำ อัตราการรอดตาย และผลผลิตข้าว มาวิเคราะห์ความแปรปรวน (Analysis of variance) และเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยโดยใช้ Duncan's new multiple rang test ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 โดยใช้โปรแกรมอาร์ (R Programming)

การวิเคราะห์คุณภาพน้ำ

ในช่วงของการเลี้ยงสัตว์น้ำทำการศึกษาคุณภาพน้ำก่อนเริ่มทดลองและตรวจวัดเป็นประจำทุกสัปดาห์ โดยวิธีการตรวจวิเคราะห์คุณภาพน้ำในภาคสนาม และชุดสารเคมีวิเคราะห์น้ำในห้องปฏิบัติการในส่วนปัจจัยทางคุณภาพน้ำที่เกี่ยวข้อง ดังนี้

- ความเป็นกรดเป็นด่าง ใช้ pH meter
- ปริมาณออกซิเจนละลายน้ำ ใช้ DO meter
- ความเป็นด่าง ใช้ชุดตรวจ Test Kit
- ความกระด้าง ใช้ชุดตรวจ Test Kit
- ปริมาณแอมโมเนีย ใช้ชุดตรวจ Test Kit

ผลการวิจัย

น้ำหนักเฉลี่ยของปลาทดลอง

หลังจากการให้อาหารปลาสูตรทดลองที่กำหนด พบว่าสัปดาห์ที่ 2 น้ำหนักเฉลี่ยของปลาตะเพียนขาว กลุ่มทดลองที่ 2, 3 และ 4 เท่ากับ 16.12 ± 1.24 , 16.31 ± 1.66 และ 18.75 ± 2.55 กรัม ตามลำดับ ซึ่งกลุ่มทดลองที่ 2 และ 3 ไม่มีความแตกต่างกันแต่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($p < 0.05$) กับกลุ่มทดลองที่ 4 สัปดาห์ที่ 4 พบว่า น้ำหนักเฉลี่ยของปลาตะเพียนขาว กลุ่มทดลองที่ 2, 3 และ 4 เท่ากับ 19.08 ± 2.17 , 20.24 ± 1.48 และ 24.35 ± 2.76 กรัม ตามลำดับ ซึ่งกลุ่มทดลองที่ 2 และ 3 ไม่มีความแตกต่างกันแต่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($p < 0.05$) กับกลุ่มทดลองที่ 4 สัปดาห์ที่ 6 พบว่า น้ำหนักเฉลี่ยของปลาตะเพียนขาว กลุ่มทดลองที่ 2, 3 และ 4 เท่ากับ 25.21 ± 1.18 , 27.77 ± 2.02 และ 32.10 ± 4.08 กรัม ตามลำดับ ซึ่งกลุ่มทดลองที่ 2, 3 และ 4 มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($p < 0.05$) สัปดาห์ที่ 8 พบว่า น้ำหนักเฉลี่ยของปลาตะเพียนขาว กลุ่มทดลองที่ 2, 3 และ 4 เท่ากับ 31.74 ± 2.57 , 37.52 ± 2.63 และ 40.82 ± 3.10 กรัม ตามลำดับ ซึ่งกลุ่มทดลองที่ 2, 3 และ 4 มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($p < 0.05$) สัปดาห์ที่ 10 พบว่า น้ำหนักเฉลี่ยของปลาตะเพียนขาว กลุ่มทดลองที่ 2, 3 และ 4 เท่ากับ 38.18 ± 3.48 , 46.57 ± 4.66 และ 50.83 ± 5.24 กรัม ตามลำดับ ซึ่งกลุ่มทดลองที่ 2, 3 และ 4 มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($p < 0.05$) และสัปดาห์ที่ 12 พบว่า น้ำหนักเฉลี่ยของปลาตะเพียนขาว กลุ่มทดลองที่ 2, 3 และ 4 เท่ากับ 44.96 ± 8.23 , 55.36 ± 12.34 และ 57.94 ± 13.07 กรัม ตามลำดับ ซึ่งกลุ่มทดลองที่ 3 และ 4 ไม่มีความแตกต่างกันแต่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($p < 0.05$) กับกลุ่มทดลองที่ 2 (Table 1)

Table 1 The average weight (Grams) of fish farmed in organic rice fields.

Duration (Weeks)	Experimental group		
	T2	T3	T4
0	13.94 ± 0.22	13.90 ± 0.14	13.87 ± 0.34
2	16.12 ± 1.24^b	16.31 ± 1.66^b	18.75 ± 2.55^a
4	19.08 ± 2.17^b	20.24 ± 1.48^b	24.35 ± 2.76^a
6	25.21 ± 1.18^c	27.77 ± 2.02^b	32.10 ± 4.08^a
8	31.74 ± 2.57^c	37.52 ± 2.63^b	40.82 ± 3.10^a
10	38.18 ± 3.48^c	46.57 ± 4.66^b	50.83 ± 5.24^a
12	44.96 ± 8.23^b	55.36 ± 12.34^a	57.94 ± 13.07^a

Note: The numbers shown in the table are the mean±standard deviation (SD). The letters ^{a, b, c} that appear in the same horizontal row indicate a statistically significant difference ($p<0.05$) at the 95% confidence level.

ความยาวเฉลี่ยของปลาทดลอง

หลังการให้อาหารเลี้ยงปลาสูตรทดลองที่กำหนด พบว่า สัปดาห์ที่ 2 ความยาวเฉลี่ยของปลาตะเพียนขาว กลุ่มทดลองที่ 2, 3 และ 4 เท่ากับ 10.71 ± 0.24 , 10.64 ± 0.16 และ 10.95 ± 0.55 เซนติเมตร ตามลำดับ ซึ่งทุกกลุ่มการทดลองไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($p>0.05$) สัปดาห์ที่ 4 พบว่า ความยาวเฉลี่ยของปลาตะเพียนขาว กลุ่มทดลองที่ 2, 3 และ 4 เท่ากับ 10.71 ± 0.24 , 10.64 ± 0.16 และ 10.95 ± 0.55 เซนติเมตร ตามลำดับ ซึ่งทุกกลุ่มการทดลองไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($p>0.05$) สัปดาห์ที่ 6 พบว่า ความยาวเฉลี่ยของปลาตะเพียนขาว กลุ่มทดลองที่ 2, 3 และ 4 เท่ากับ 12.44 ± 0.18 , 12.96 ± 0.22 และ 13.31 ± 0.18 เซนติเมตร ตามลำดับ ซึ่งทุกกลุ่มการทดลองไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($p>0.05$) สัปดาห์ที่ 8 พบว่า ความยาวเฉลี่ยของปลาตะเพียนขาว กลุ่มทดลองที่ 2, 3 และ 4 เท่ากับ 13.02 ± 0.47 , 14.28 ± 0.63 และ 14.49 ± 0.41 เซนติเมตร ตามลำดับ ซึ่งกลุ่มทดลองที่ 3 และ 4 ไม่มีความแตกต่างกัน แต่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($p<0.05$) กับกลุ่มทดลองที่ 2 สัปดาห์ที่ 10 พบว่า ความยาวเฉลี่ยของปลาตะเพียนขาว กลุ่มทดลองที่ 2, 3 และ 4 เท่ากับ 13.45 ± 0.78 , 15.02 ± 1.66 และ 15.10 ± 1.84 เซนติเมตร ตามลำดับ ซึ่งกลุ่มทดลองที่ 3 และ 4 ไม่มีความแตกต่างกัน แต่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($p<0.05$) กับกลุ่มทดลองที่ 2 และ สัปดาห์ที่ 12 พบว่า ความยาวเฉลี่ยของปลาตะเพียนขาว กลุ่มทดลองที่ 2, 3 และ 4 เท่ากับ 14.83 ± 1.93 , 16.01 ± 2.34 และ 16.14 ± 2.07 เซนติเมตร ตามลำดับ ซึ่งกลุ่มทดลองที่ 3 และ 4 ไม่มีความแตกต่างกัน แต่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($p<0.05$) กับกลุ่มทดลองที่ 2 (Table 2)

Table 2 The average length (Centimeters) of fish farmed in organic rice fields.

Duration (Weeks)	Experimental group		
	T2	T3	T4
0	10.22 ± 0.22	10.14 ± 0.14	10.30 ± 0.34
2	10.71 ± 0.24	10.64 ± 0.16	10.95 ± 0.55
4	11.34 ± 0.17	11.41 ± 0.08	12.05 ± 0.26
6	12.44 ± 0.18	12.96 ± 0.22	13.31 ± 0.18
8	13.02 ± 0.47^b	14.28 ± 0.63^a	14.49 ± 0.41^a
10	13.45 ± 0.78^b	15.02 ± 1.06^a	15.10 ± 1.04^a
12	14.89 ± 0.97^b	16.01 ± 1.07^a	16.14 ± 1.29^a

Note: The numbers shown in the table are the mean±standard deviation (SD). The letters ^{a, b} that appear in the same horizontal row indicate a statistically significant difference ($p<0.05$) at the 95% confidence level

น้ำหนักเพิ่มต่อวัน

อัตราการเพิ่มน้ำหนักเฉลี่ยต่อวัน กลุ่มทดลองที่ 2, 3 และ 4 เท่ากับ 0.34 ± 0.01 , 0.46 ± 0.01 และ 0.49 ± 0.02 กรัมต่อวัน ตามลำดับ มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($p<0.05$) โดยการให้ແໜແຈງเพียงอย่างเดียวในกลุ่มทดลองที่ 2 ส่งผลให้การเจริญเติบโตด้านน้ำหนักเฉลี่ยเพิ่มต่อวันของปลาตะเพียนขาวต่ำที่สุด 0.34 ± 0.01 กรัมต่อวัน การให้ແໜແຈງร่วมกับอาหารปลาอินทรีย์ให้น้ำหนักเฉลี่ยเพิ่มต่อวันของปลาตะเพียนขาว เท่ากับ 0.46 ± 0.01 กรัมต่อวัน และการให้อาหารปลาอินทรีย์เพียงอย่างเดียวให้น้ำหนักเฉลี่ยเพิ่มต่อวันของปลาตะเพียนขาวสูงที่สุด เท่ากับ 0.49 ± 0.02 กรัมต่อวัน

ความยาวเพิ่มต่อวัน

อัตราการเพิ่มความยาวเฉลี่ยต่อวันกลุ่มทดลองที่ 2, 3 และ 4 เท่ากับ 0.0511 ± 0.0022 , 0.0652 ± 0.0060 และ 0.0658 ± 0.0071 เซนติเมตร ตามลำดับ มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($p<0.05$) โดยการให้ແໜແຈງเพียงอย่างเดียวในกลุ่ม

ทดลองที่ 2 ส่งผลให้การเจริญเติบโตด้านความยาวของปลาดุกเพศผู้เพศเมียตัวโตที่สุด 0.0511 ± 0.0022 เซนติเมตร การให้เหินแดงร่วมกับอาหารปลาอินทรีย์ให้ความยาวเฉลี่ยของปลาดุกเพศผู้เพศเมียตัวโตที่สุด เท่ากับ 0.0652 ± 0.0060 เซนติเมตร และการให้อาหารปลาอินทรีย์เพียงอย่างเดียวให้ความยาวเฉลี่ยของปลาดุกเพศผู้เพศเมียตัวโตที่สุด เท่ากับ 0.0658 ± 0.0071 เซนติเมตร (Table 3)

Table 3 The rate of weight and length increase in fish farmed in organic rice fields.

Experimental group	Growth rate per day	
	Weight gain (Grams)	Length gain (Centimeters)
T2	0.34 ± 0.01^b	0.0511 ± 0.0022^b
T3	0.46 ± 0.01^a	0.0652 ± 0.0060^a
T4	0.49 ± 0.02^a	0.0658 ± 0.0071^a

Note: The numbers shown in the table are the mean $\pm$ standard deviation (SD). The letters ^{a, b} that appear in the same vertical column indicate a statistically significant difference ($p < 0.05$) at the 95% confidence level

ค่าดัชนีสภาพของฟูลตัน (Fulton's condition index) หรือ K

ค่าดัชนีสภาพของฟูลตัน (Fulton's condition index) หรือ K โดยการให้เหินแดงเพียงอย่างเดียวในกลุ่มทดลองที่ 2 ส่งผลให้ค่าดัชนีสภาพของฟูลตันของปลาดุกเพศผู้เพศเมียตัวโตที่สุด เท่ากับ 1.36 กลุ่มทดลองที่ 3 การให้เหินแดงร่วมกับอาหารปลาอินทรีย์ส่งผลให้ค่าดัชนีสภาพของฟูลตันของปลาดุกเพศผู้เพศเมียตัวโตที่สุด เท่ากับ 1.35 และการให้อาหารปลาอินทรีย์เพียงอย่างเดียวส่งผลให้ค่า K ของปลาดุกเพศผู้เพศเมียตัวโตที่สุด เท่ากับ 1.38 ซึ่งทุกกลุ่มการทดลองไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($p > 0.05$) (Table 4)

Table 4 Fulton's condition index (K)

Experimental group	K ^{ns}
T2	1.36 ± 0.04
T3	1.35 ± 0.02
T4	1.38 ± 0.02

Note: The numbers shown in the table are the mean $\pm$ standard deviation (SD). ^{ns} indicates a non-statistically significant difference ($p < 0.05$) at the 95% confidence level.

อัตราการเจริญเติบโตจำเพาะ (Specific Growth Rate; SGR)

อัตราการเจริญเติบโตจำเพาะของปลาดุกเพศผู้เพศเมียตัวโตที่สุดมีความแตกต่างกันทางสถิติ ($p < 0.05$) โดยการให้เหินแดงเพียงอย่างเดียวในกลุ่มทดลองที่ 2 ส่งผลให้อัตราการเจริญเติบโตจำเพาะของปลาดุกเพศผู้เพศเมียตัวโตที่สุด 1.28 ± 0.02 การให้เหินแดงร่วมกับอาหารปลาอินทรีย์ให้อัตราการเจริญเติบโตจำเพาะของปลาดุกเพศผู้เพศเมียตัวโตที่สุด เท่ากับ 1.53 ± 0.02 และการให้อาหารปลาอินทรีย์เพียงอย่างเดียวให้อัตราการเจริญเติบโตจำเพาะของปลาดุกเพศผู้เพศเมียตัวโตที่สุด เท่ากับ 1.63 ± 0.04 (Table 5)

Table 5 Specific growth rate (Percentage per day)

Experimental group	SGR (Percentage per day)
T2	1.28 ± 0.02^c
T3	1.53 ± 0.01^b
T4	1.63 ± 0.04^a

Note: The numbers shown in the table are the mean $\pm$ standard deviation (SD). The letters ^{a, b, c} that appear in the same vertical column indicate a statistically significant difference ($p < 0.05$) at the 95% confidence level

อัตราการรอดตาย

อัตราการรอดตายของปลาดุกเลี้ยงในนาข้าวไม่มีความแตกต่างทางสถิติ โดยการให้ແຫນແຕງเพียงอย่างเดียวในกลุ่มทดลองที่ 2 ส่งผลให้อัตราการรอดตายของปลาดุกเลี้ยงในนาข้าว เท่ากับ 94.44 ± 5.07 การให้ແຫນແຕງร่วมกับอาหารปลาอินทรีย์ให้อัตราการรอดตายของปลาดุกเลี้ยงในนาข้าว เท่ากับ 94.44 ± 3.42 และการให้อาหารปลาอินทรีย์เพียงอย่างเดียวให้อัตราการรอดตายของปลาดุกเลี้ยงในนาข้าว เท่ากับ 92.22 ± 4.00 (Table 6)

Table 6 Survival rate (Percentage) of fish farmed in organic rice fields

Experimental group	Survival rate (Percentage) ^{ns}
T2	94.44 ± 5.07
T3	94.44 ± 3.42
T4	92.22 ± 4.00

Note: The numbers shown in the table are the mean $\pm$ standard deviation (SD). ^{ns} indicates a non-statistically significant difference ($p < 0.05$) at the 95% confidence level.

อัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อ

อัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อของปลาดุกเลี้ยงในนาข้าว พบว่า กลุ่มทดลองที่ 3 และ 4 มีค่า FCR เท่ากับ 1.54 ± 0.02 และ 1.47 ± 0.05 ตามลำดับ ไม่มีความแตกต่างกัน แต่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($p < 0.05$) กับกลุ่มทดลองที่ 2 (Table 7)

Table 7 Feed conversion ratio (FCR)

Experimental group	FCR
T2	2.03 ± 0.04^b
T3	1.54 ± 0.02^a
T4	1.47 ± 0.05^a

Note: The numbers shown in the table are the mean $\pm$ standard deviation (SD). The letters ^{a, b} that appear in the same vertical column indicate a statistically significant difference ($p < 0.05$) at the 95% confidence level

ผลผลิตข้าว

ผลของการให้ແຫນແຕງร่วมกับอาหารปลาอินทรีย์สูตรทดลองที่กำหนด เลี้ยงปลาดุกเลี้ยงในนาข้าวอินทรีย์ต่อผลผลิตข้าวขาวดอกมะลิ 105 พบว่า ผลผลิตข้าวขาวดอกมะลิ 105 ไม่มีความแตกต่างทางสถิติ โดย กลุ่มทดลองที่ 1 ปลูกข้าวเพียงอย่างเดียวให้ผลผลิต 532.03 กก./ไร่ กลุ่มทดลองที่ 2 ปลูกข้าวร่วมกับการเลี้ยงปลาดุกเลี้ยงในนาข้าวโดยให้อาหารปลาเป็นແຫນແຕງเพียงอย่างเดียวให้ผลผลิต 544.33 กก./ไร่ กลุ่มทดลองที่ 3 ปลูกข้าวร่วมกับการเลี้ยงปลาดุกเลี้ยงในนาข้าวโดยให้อาหารปลาเป็นແຫນແຕງร่วมกับอาหารปลาอินทรีย์ให้ผลผลิต 552.10 กก./ไร่ และ กลุ่มทดลองที่ 4 ปลูกข้าวร่วมกับการเลี้ยงปลาดุกเลี้ยงในนาข้าวโดยให้อาหารปลาอินทรีย์เพียงอย่างเดียวให้ผลผลิต 536.01 กก./ไร่ (Table 8)

Table 8 Organic rice yield

Experimental group	Rice yield (kg/rai) ^{ns}
T1	532.03 ± 12.38
T2	544.33 ± 8.42
T3	552.10 ± 15.47
T4	536.01 ± 8.20

Note: The numbers shown in the table are the mean±standard deviation (SD). ^{ns} indicates a non-statistically significant difference ($p<0.05$) at the 95% confidence level.

คุณสมบัติของน้ำในการเลี้ยงปลา

การทดลองใช้แผนผังร่วมกับอาหารปลาอินทรีย์สูตรทดลองที่กำหนด พบว่า เลี้ยงปลาตะเพียนขาวในนาข้าวอินทรีย์ น้ำมีคุณสมบัติดังนี้ อุณหภูมิของน้ำมีค่าระหว่าง 26.0–30.5 องศาเซลเซียส ความเป็นกรดเป็นด่าง มีค่าระหว่าง 7.0–8.5 ออกซิเจนที่ละลายในน้ำมีค่าระหว่าง 4–6 มิลลิกรัมต่อลิตร ความเป็นด่างของน้ำมีค่าระหว่าง 85–119 มิลลิกรัมต่อลิตร ความกระด้างมีค่าระหว่าง 75–100 มิลลิกรัมต่อลิตร ในระหว่างการอนุบาลตรวจไม่พบค่าแอมโมเนียในน้ำ (Table 9)

Table 9 Results of water quality testing in organic rice fields.

Water quality	Experimental group			
	T1	T2	T3	T4
pH	7.0-8.5	7.0-8.5	7.0-8.5	7.0-8.5
Dissolved oxygen; DO (mg/L)	4.5–6.0	4.5–6.0	4.5–6.0	4.5–6.0
Alkalinity (mg/L)	85-119	85-119	85-119	85-119
Hardness (mg/L)	75-100	75-100	75-100	75-100
Total ammonia (mg/L)	0.00	0.00	0.00	0.00

การอภิปรายผล

น้ำหนักและความยาวของปลาทดลอง พบว่า กลุ่มที่ได้รับอาหารจากแผนผังร่วมกับอาหารปลาอินทรีย์ (กลุ่มทดลองที่ 3) และอาหารปลาอินทรีย์เพียงอย่างเดียว (กลุ่มทดลองที่ 4) มีการเจริญเติบโตในด้านน้ำหนักและความยาวของปลาดีขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) เมื่อเทียบกับกลุ่มที่ใช้แผนผังเพียงอย่างเดียว (กลุ่มทดลองที่ 2) โดยในสัปดาห์ที่ 12 กลุ่มทดลองที่ 4 มีน้ำหนักปลาสูงสุดที่ 57.94 ± 13.07 กรัม และ กลุ่มทดลองที่ 3 ตามมาในลำดับที่ 55.36 ± 12.34 กรัม ขณะที่กลุ่มทดลองที่ 2 มีน้ำหนักเฉลี่ยต่ำสุดที่ 44.96 ± 8.23 กรัม การเติบโตที่ดีในกลุ่มทดลองที่ 3 และ 4 อาจเนื่องมาจากการได้รับสารอาหารที่สมดุลจากอาหารปลาอินทรีย์ร่วมกับแผนผัง ซึ่งสามารถช่วยเสริมสร้างการเจริญเติบโตของปลาตะเพียนขาวได้ดีกว่าแผนผังเพียงอย่างเดียว

ผลการศึกษาแสดงให้เห็นว่า การเลี้ยงปลาตะเพียนขาว (*Barbonymus gonionotus*) ในระบบนาข้าวอินทรีย์โดยใช้แผนผังเป็นส่วนประกอบในอาหาร มีผลอย่างมีนัยสำคัญต่ออัตราการเจริญเติบโตของปลาในหลายมิติ ทั้งด้านน้ำหนัก ความยาว อัตราการเจริญเติบโตจำเพาะ (SGR) และอัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อ โดยเฉพาะกลุ่มที่ได้รับแผนผังผสมอาหารอินทรีย์ (กลุ่มทดลองที่ 3) และอาหารอินทรีย์ล้วน (กลุ่มทดลองที่ 4) แสดงผลลัพธ์ดีกว่ากลุ่มที่ใช้แผนผังล้วน (กลุ่มทดลองที่ 2) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) ซึ่งแสดงให้เห็นว่า การใช้แผนผังเพียงอย่างเดียวอาจไม่สามารถให้กรดอะมิโนหรือสารอาหารได้ครบถ้วนเท่าการผสมผสานกับอาหารอินทรีย์ที่มีความสมดุลมากกว่า ผลการศึกษานี้สอดคล้องกับงานของ Radhakrishnan et al. (2014) ซึ่งรายงานว่า แผนผังมีโปรตีนหยابในช่วง 25–30% และอุดมไปด้วยกรดอะมิโนจำเป็น เช่น ไลซีน เมไทโอนีน และทรีโอนีน ซึ่งจำเป็นต่อการเจริญเติบโตของปลาน้ำจืด แต่จำเป็นต้องเสริมกับสารอาหารอื่นเพื่อให้สมดุล Leonard (1997) ยังเน้นว่า แม้กรดอะมิโนจำพวกไลซีนในแผนผังจะต่ำกว่าปลาป่น แต่หากเสริมในระดับไม่เกิน 26–35% จะไม่กระทบต่อการเจริญเติบโต และช่วยลดต้นทุนโดยรวมได้ นอกจากนี้ยังพบว่า กลุ่มทดลองที่ 3 และ 4 มีค่า FCR ที่ต่ำกว่ากลุ่มทดลองที่ 2 อย่างชัดเจน โดย กลุ่มทดลองที่ 3 และ 4 คือ 1.54 และ 1.47 ไม่แตกต่างทางสถิติ ($p>0.05$) แสดงถึงการเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อที่มีประสิทธิภาพสูงที่สุด สอดคล้องกับงานของ Fiogbe et al. (2004) ที่ทดลองใช้แผนผังในสัดส่วนต่าง ๆ พบว่า แผนผังในระดับ 40% ของอาหารแห้งให้ผลการเจริญเติบโตสูงสุด และค่า FCR ต่ำที่สุดในปลานิล (*Oreochromis niloticus*) ในด้าน SGR กลุ่มทดลองที่ 4 มีค่า SGR สูงสุด 1.63%/วัน ตามด้วยกลุ่มทดลองที่ 3 และ 2 ตามลำดับ สะท้อนว่าอาหารที่สมดุลทางโภชนาการร่วมกับแผนผังช่วยเสริมการใช้พลังงานในการสร้างเนื้อเยื่อของ

ปลาได้ดีกว่า สอดคล้องกับ Anitha et al. (2016) ที่ระบุว่าแห่นางปลาเป็นแหล่งโปรตีนที่มีประสิทธิภาพเมื่อใช้เป็นส่วนผสมในสูตรอาหารสำเร็จ ผลด้านสุขภาพของปลา วัดจากค่าดัชนีฟูลตัน (Fulton's K) และอัตราการรอดตาย ไม่พบความแตกต่างทางสถิติระหว่างกลุ่ม ($p>0.05$) โดยมีค่า K อยู่ระหว่าง 1.35–1.38 และอัตราการรอดมากกว่า 92% ในทุกกลุ่ม แสดงว่าระบบการเลี้ยงปลาในนาข้าวอินทรีย์สามารถรักษาสภาพแวดล้อมที่เอื้อต่อการดำรงชีวิตได้ดี ซึ่งเป็นผลมาจากคุณภาพน้ำที่เหมาะสม (pH 7.0–8.5, DO มากกว่า 4 mg/L) และอาหารธรรมชาติในนา เช่น แมลงตัวอ่อน ไร่น้ำ หรือสัตว์หน้าดิน ลดการพึ่งพาอาหารเสริมภายนอกได้อย่างมีประสิทธิภาพ ด้านผลผลิตข้าว กลุ่มที่เลี้ยงปลาร่วม กลุ่มทดลองที่ 2, 3 และ 4 มีแนวโน้มให้ผลผลิตข้าวสูงกว่ากลุ่มทดลองที่ 1 ที่ปลูกข้าวเพียงอย่างเดียว แม้ไม่แตกต่างกันทางสถิติ ซึ่งสอดคล้องกับ Saowakoon et al. (2010) และ Janaim and Wongsriwong (1983) ที่รายงานว่า การเลี้ยงปลาในนาอินทรีย์สามารถเพิ่มผลผลิตข้าวได้จากการหมุนเวียนสารอาหารผ่านมูลปลา และช่วยลดศัตรูพืชในระบบธรรมชาติ สอดคล้องกับงานของ Phetsut and Phetsut (2013) ที่รายงานว่า การปล่อยปลานิลเสริมลงในแปลงนาช่วยให้เพิ่มปุ๋ยธรรมชาติให้แก่ข้าว จากผลที่ขบถาย ช่วยให้ดินมีคุณสมบัติดีขึ้น เช่น การร่วนซุยของดินของปลานิลทำให้ดินเกิดความร่วนซุย เป็นต้น ขณะเดียวกัน Srivichai et al. (2012) รายงานว่า แห่นางปลาสามารถใช้แทนปลาป่นได้ถึง 26% โดยไม่ส่งผลกระทบต่ออัตราการเจริญเติบโต ซึ่งคล้ายคลึงกับการใช้แห่นางปลาในสูตรอาหารอินทรีย์ที่แสดงผลดีในงานวิจัยนี้

บทสรุป

การศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อเปรียบเทียบผลของการใช้แห่นางปลา ร่วมกับอาหารปลาอินทรีย์ในการเลี้ยงปลาตะเพียนขาวในนาข้าวอินทรีย์ โดยพิจารณาทั้งด้านการเจริญเติบโตของปลา คุณภาพน้ำ ผลผลิตข้าว และผลตอบแทนทางเศรษฐกิจ การทดลองแบ่งออกเป็น 4 กลุ่ม ได้แก่ กลุ่มทดลองที่ 1 การปลูกข้าวอย่างเดียว กลุ่มทดลองที่ 2 การปลูกข้าวร่วมกับการเลี้ยงปลาโดยให้อาหารเป็นแห่นางปลาอย่างเดียว กลุ่มทดลองที่ 3 แห่นางปลา ร่วมกับอาหารอินทรีย์ และ กลุ่มทดลองที่ 4 อาหารอินทรีย์เพียงอย่างเดียว เป็นระยะเวลา 120 วัน ผลการทดลอง พบว่า การเจริญเติบโตของปลาตะเพียนขาวในกลุ่มทดลองที่ 4 และ กลุ่มทดลองที่ 3 มีน้ำหนัก ความยาว และอัตราการเจริญเติบโตจำเพาะ (SGR) สูงกว่ากลุ่มทดลองที่ 2 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) โดยกลุ่มทดลองที่ 4 ให้ค่า SGR เฉลี่ยสูงสุดที่ 1.63% ต่อวัน และค่า FCR ต่ำที่สุดที่ 1.43 แสดงถึงประสิทธิภาพในการเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อที่ดีกว่า ส่วนกลุ่มทดลองที่ 2 ซึ่งได้รับแห่นางปลาน้อย แม้ต้นทุนจะต่ำแต่การเจริญเติบโตของปลาต่ำที่สุด สะท้อนว่าแห่นางปลาเพียงอย่างเดียวอาจไม่เพียงพอในด้านโภชนาการที่จำเป็นต่อปลา ค่าดัชนีฟูลตัน (K) และอัตราการรอดตายของปลาทุกกลุ่มไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ โดยมีค่า K อยู่ระหว่าง 1.35–1.38 และอัตราการรอดมากกว่า 92% ในทุกกลุ่ม แสดงให้เห็นว่าสภาพแวดล้อมในระบบนาข้าวอินทรีย์สามารถเลี้ยงปลาตะเพียนขาวได้อย่างมีประสิทธิภาพ ซึ่งเป็นผลมาจากคุณภาพน้ำที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของปลา ได้แก่ ค่า pH อยู่ในช่วง 7.0–8.5 ค่าออกซิเจนละลายน้ำ 4–6 mg/L และไม่มีการตรวจพบแอมโมเนีย ผลผลิตข้าวในกลุ่มที่ปลูกข้าวร่วมกับการเลี้ยงปลา กลุ่มทดลองที่ 2, 3 และ 4 มีแนวโน้มสูงกว่ากลุ่มทดลองที่ 1 ที่ปลูกข้าวเพียงอย่างเดียว แม้จะไม่มีแตกต่างทางสถิติ โดยกลุ่มที่ให้ผลผลิตข้าวเฉลี่ยสูงสุด คือ กลุ่มทดลองที่ 3 ที่ 552.10 กิโลกรัมต่อไร่ ผลดังกล่าวอาจเป็นผลจากการหมุนเวียนสารอาหารในระบบ และผลพลอยได้จากมูลปลาที่ส่งเสริมการเจริญเติบโตของข้าว

กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบคุณเจ้าหน้าที่มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน วิทยาเขตสุรินทร์ ที่ช่วยเหลือในส่วนของการเตรียมแปลงทดลอง และขอขอบคุณเจ้าหน้าที่ศูนย์วิจัยและพัฒนาประมงน้ำจืดสุรินทร์ ที่ให้ความร่วมมือในการวิจัย ในส่วนของการเลี้ยงปลาตะเพียนขาวในนาข้าวอินทรีย์ สนับสนุนการเก็บข้อมูลเป็นอย่างดีตลอดจนสิ้นสุดการทดลอง

เอกสารอ้างอิง

- Ahmed, N., & Garnett, S. T. (2011). Integrated rice-fish farming in Bangladesh: Meeting the challenges of food security. *Food Security*, 3(1), 81-92.
- Anitha, T. S., Prabakaran, G., & Kumar, K. (2016). Nutritional evaluation of dried Azolla in fish diets. *Aquaculture Reports*, 4, 17-20.
- Cagauan, A. G., Branckaert, R. D., & Van Hove, C. (2000). Integrating fish and azolla into rice-duck farming in Asia. *NAGA, The ICLARM Quarterly*, 23(1), 4-10.
- Chaisongkram, N. (2012). *A study on the use of red algae as a supplement in red tilapia (Oreochromis niloticus) feed*. In Proceedings of the 32nd Agricultural Conference (pp. 43-48). Chiang Mai University. (In Thai)
- Fiogbe, E. D., Micha, J. C. & Van Hove, C. (2004). Use of a natural aquatic fern, *Azolla microphylla*, as a main component in food for the omnivorous phytoplanktonophagou tilapia, *Oreochromis niloticus* L. *Journal of Applied Ichthyology*. 20(6), 517-520.
- Halwart, M., & Gupta, M. V. (2004). Culture of fish in rice fields. FAO and The World Fish Center.
- Kamal, M. Y. 1982. Condition factor and growth of *Channa punctatus* (Bloch) from a pond in Bangladesh. *Bangladesh Journal of Zoology*, 10(1), 1-8.
- Janaim, C., & Wongsriwong, P. (1983). Raising fish in rice fields to increase productivity. *Journal of Sustainable Agriculture*, 3(1), 12-18. (In Thai)
- Kamal, M. Y. (1982). Condition factor and growth of *Channa punctatus* (Bloch) from a pond in Bangladesh. *Bangladesh Journal of Zoology*, 10(1), 1-8.
- Kannaiyan, S. (1992). *Azolla biofertilizer technology for rice crop*. Department of Agricultural Microbiology, Tamil Nadu Agricultural University.
- Leonard, V. (1997). Use of an aquatic fern (*Azolla filiculoides*) in two species of tropical fish (*Oreochromis niloticus* & *Tilapia rendalli*). Doctoral dissertation, Presses Universitaires de Namur. Belgium.
- Lumpkin, T. A., & Plucknett, D. L. (1980). Azolla: Botany, physiology, and use as a green manure. *Economic Botany*, 34(2), 111-153.
- Phetsut, C., & Phetsut, N. (2013). Water and soil quality and productivity in fish farming areas in rice fields at Ban Sang District, Prachinburi Province. *Ramkhamhaeng Research Journal (Science and Technology)*, 16(1), 13-27. (In Thai)
- Prein, M. (2002). Integration of aquaculture into crop-animal systems in Asia. *Agricultural Systems*, 71(1-2), 127-146.
- Radhakrishnan, S. Bhavam, P. S. Seenivasan, C.; Shanthi, R. & Muralisankar, T. (2014). Replacement fishmeal with *Spirulina platensis*, *Chlorella vulgaris* and *Azolla pinnata* on non-enzymatic and enzymatic antioxidant activities of *Macrobrachium rosenbergii*. *Journal of Basic & Applied Zoology*, 6(2), 25-33.
- Saksena, D. N., & Kulkarni, R. S. (1982). On the condition factor and relative condition factor of *Labeo rohita* in relation to physico - chemical characteristics of water. *Journal of Inland Fisheries Society of India*, 14(2), 35-41.
- Saowakoon, S., Ngamsanae, P., Saowakoon, H., Rayan, S., Saengsuwo, S., & Hongtengsakul, Y. (2010). *Organic tilapia farming in rice fields for technology transfer to farmers*. Department of Fisheries, Faculty of Agricultural Technology, Rajamangala University of Technology Isan, Surin Campus. (In Thai)

- Sinha, P. C., Dube, S. K., & Roy, G. D. (1986). Numerical simulation of storm surges in Bangladesh using a multi-level model. *International Journal for Numerical Methods in Fluids*, 6(9), 871-882.
- Sriwichai, C. (2005). Needs and readiness of farmers in Surin Province for organic aquaculture standards in Thailand. Technical Paper No. 3/2005. Department of Fisheries Technology Transfer and Development, Ministry of Agriculture and Cooperatives. (In Thai)

Received: April 8, 2025; Revised: July 8, 2025; Accepted: August 18, 2025

การเพิ่มสมรรถนะการอบแห้งด้วยลมร้อนโดยควบคุมการหมุนเวียนอากาศอัจฉริยะผ่านระบบไอโอที

Enhancing hot air drying performance through IoT-based intelligent air recirculation control

กานต์ กอมนี¹ อภินันต์ นามเขต¹ ทรงสุภา พุ่มชุมพล¹ รัฐพงศ์ ปฏิกานัง¹ชาคริต โพธิ์งาม¹ กฤตยา ไชยยศ^{1*} และอำไพศักดิ์ ทิบุญมา¹Kan Komane¹, Apinunt Namkhat¹, Songsupa Pumchumpol¹, Rattapong Patikanang¹,
Chakrit Po-Ngam¹, Krittaya Chaiyot^{1*} and Umphisak Teeboonma¹¹คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี จังหวัดอุบลราชธานี¹Faculty of Engineering, Ubon Ratchathani University, Ubon Ratchathani Province

*Corresponding Author E-mail Address : krittaya.c@ubu.ac.th

บทคัดย่อ

การอบแห้งเป็นกระบวนการที่ใช้พลังงานสูง ซึ่งมีการใช้งานอย่างแพร่หลายในอุตสาหกรรมอาหารและเกษตรกรรมเพื่อลดความชื้นผลิตภัณฑ์ งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาเทคนิคการเพิ่มสมรรถนะการอบแห้งด้วยลมร้อนโดยการประยุกต์ใช้ระบบควบคุมการหมุนเวียนอากาศที่ปรับเปลี่ยนได้แบบเรียลไทม์บนพื้นฐานของเทคโนโลยีอินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่ง การทดลองดำเนินการภายใต้สภาวะอุณหภูมิอบแห้งที่ 50°C 60°C และ 70°C ร่วมกับเปอร์เซ็นต์การหมุนเวียนอากาศ 0% 25% 50% และ 75% โดยควบคุมความเร็วลมคงที่เท่ากับ 1.5 m/s สำหรับตัวอย่างที่ใช้ในการศึกษา คือ เนื้อหมูสันใน เกณฑ์ที่ใช้ในการประเมินสมรรถนะการอบแห้ง ได้แก่ อัตราการอบแห้ง และความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะ ผลการศึกษาพบว่า การเพิ่มอุณหภูมิอบแห้งส่งผลให้อัตราการอบแห้งและความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะเพิ่มขึ้น ในทางตรงกันข้าม การเพิ่มเปอร์เซ็นต์การหมุนเวียนอากาศช่วยลดค่าความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะในขณะที่อัตราการอบแห้งเพิ่มขึ้น ภายใต้สภาวะอุณหภูมิอบแห้งเท่ากับ 70°C การเพิ่มเปอร์เซ็นต์การหมุนเวียนอากาศจาก 0% เป็น 75% ส่งผลให้ค่าความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะลดลง 61% และอัตราการอบแห้งเพิ่มขึ้น 11% นอกจากนี้ยังพบว่า ที่เงื่อนไขอุณหภูมิอบแห้ง 50°C และเปอร์เซ็นต์การหมุนเวียนอากาศ 75% ให้ค่าความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะต่ำที่สุดเท่ากับ 17.11 kWh/kg ผลการศึกษานี้ยืนยันว่า การบูรณาการระบบควบคุมเปอร์เซ็นต์การหมุนเวียนอากาศเข้ากับเทคโนโลยีอินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่งสามารถเพิ่มสมรรถนะการอบแห้งได้อย่างมีนัยสำคัญ แนวทางนี้แสดงให้เห็นถึงศักยภาพการประยุกต์ใช้งานในระดับอุตสาหกรรม โดยเฉพาะในระบบอบแห้งที่เน้นการประหยัดพลังงานและการพัฒนาอย่างยั่งยืนในระยะยาว

คำสำคัญ: การนำความร้อนทิ้งกลับมาใช้ ความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะ พลังงาน เปอร์เซ็นต์การหมุนเวียนอากาศ

Abstract

Drying is an energy-intensive process extensively utilized in food and agricultural industries for moisture reduction of products. This research aimed to investigate techniques for enhancing hot air drying performance through the application of a real-time adjustable air recirculation control system based on Internet of Things technology. Experiments were conducted under drying temperature conditions of 50°C, 60°C and 70°C combined with air recirculation percentages of 0%, 25%, 50% and 75%, while maintaining constant air velocity at 1.5 m/s. Pork tenderloin was used as the sample material for this study. The criteria used for evaluating drying performance included drying rate and specific energy consumption. The study results revealed that increasing drying temperature resulted in increased drying rate and specific energy consumption. Conversely, increasing air recirculation percentage helped reduce specific energy consumption while drying rate increased. Under drying temperature conditions of 70°C, increasing air recirculation percentage from 0% to 75% resulted in a 61% reduction in specific energy consumption and an 11% increase in drying rate. Furthermore, it was found that under conditions of 50°C drying temperature and 75% air recirculation percentage, the lowest specific energy consumption of 17.11 kWh/kg was achieved. This study confirms that integrating air recirculation percentage control systems with Internet of Things technology can significantly enhance drying performance. This approach demonstrates potential for industrial-scale applications, particularly in energy-saving drying systems and long-term sustainable development.

Keywords: Waste heat recovery, Specific energy consumption, Energy, Air recirculation percentage

บทนำ

การอบแห้งเป็นกระบวนการสำคัญอย่างยิ่งในอุตสาหกรรมเกษตรและอาหาร เพื่อลดความชื้น ยืดอายุการเก็บรักษา และเพิ่มมูลค่าให้กับผลิตภัณฑ์ (Adeyeye et al., 2022; Mishra et al., 2022) ปัจจุบันเทคโนโลยีการอบแห้งมีหลายวิธี อย่างไรก็ตาม การอบแห้งด้วยลมร้อน (Hot Air Drying; HAD) ได้รับความนิยมอย่างแพร่หลาย เนื่องจากไม่ซับซ้อนและต้นทุนการสร้างเครื่องต่ำเมื่อเปรียบเทียบกับรูปแบบอื่น (Masud et al., 2020; Gu et al., 2022) อย่างไรก็ตาม การอบแห้งด้วยลมร้อนแบบดั้งเดิมมีข้อด้อยที่สำคัญ คือการใช้พลังงานค่อนข้างสูง นอกจากนี้ประสิทธิภาพการถ่ายเทความร้อนและมวลค่อนข้างต่ำ รวมถึงคุณภาพผลิตภัณฑ์ เช่น การสูญเสียคุณค่าทางโภชนาการ (Ju et al., 2023) ดังนั้นการพัฒนาเทคนิคการอบแห้งเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการใช้พลังงานในกระบวนการอบแห้งด้วยลมร้อนจึงเป็นหัวข้อวิจัยที่มีความสำคัญอย่างยิ่ง

กระบวนการอบแห้งด้วยลมร้อนเกี่ยวข้องกับการถ่ายเทความร้อนจากอากาศร้อนไปยังผลิตภัณฑ์เพื่อระเหยน้ำ และการถ่ายเทมวลซึ่งความชื้นจากภายในผลิตภัณฑ์แพร่กระจายออกสู่พื้นผิวและถูกอากาศพัดพาไป (Vinai et al., 2024) โดยปัจจัยสำคัญที่ส่งผลต่อการอบแห้ง ได้แก่ อุณหภูมิ ความเร็วลม ความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศอบแห้ง และคุณสมบัติเฉพาะของผลิตภัณฑ์ (Okunola et al., 2023) และข้อด้อยประการหนึ่งของการอบแห้งด้วยลมร้อนคือประสิทธิภาพการใช้พลังงานต่ำ ซึ่งเกิดจากการสูญเสียความร้อนสู่สิ่งแวดล้อมและการควบคุมพารามิเตอร์ในกระบวนการไม่แม่นยำเพียงพอ นอกจากนี้ยังขาดระบบติดตามแบบเรียลไทม์ (Real-time monitoring) ส่งผลให้ใช้เวลาอบแห้งนานเกินความจำเป็น ก่อให้เกิดความสิ้นเปลืองพลังงานโดยไม่จำเป็น และส่งผลกระทบต่อต้นทุนการผลิต (Mishra et al., 2023)

ในช่วงไม่กี่ปีที่ผ่านมา ความก้าวหน้าของเทคโนโลยีอินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่ง (Internet of Things; IoT) ได้นำเสนอศักยภาพใหม่ในการพัฒนากระบวนการอบแห้ง (Dadhaneeya et al., 2023; Miano et al., 2023; Mishra et al., 2023) ระบบ IoT ช่วยให้สามารถตรวจวัดและควบคุมตัวแปรสำคัญ เช่น อุณหภูมิ ความชื้น และความเร็วลม ได้อย่างแม่นยำและทันทั่วทั้งกระบวนการผ่านเซนเซอร์อัจฉริยะและระบบป้อนกลับอัตโนมัติ งานวิจัยที่ผ่านมาชี้ให้เห็นว่าระบบอบแห้งที่ควบคุมด้วย IoT สามารถลดการใช้พลังงานได้โดยยังคงรักษาคุณภาพผลิตภัณฑ์ไว้ได้ (Mishra et al., 2023) นอกจากนั้นแนวคิดเรื่องการนำ

อากาศร้อนขึ้นที่ออกจากห้องอบแห้งกลับมาใช้ใหม่หรือการหมุนเวียนอากาศก็เป็นอีกเทคนิคที่ได้รับการยอมรับว่าเป็นทางเลือกในการปรับปรุงประสิทธิภาพการใช้พลังงาน (Fu et al., 2023; Pakdeekaew et al., 2023) การหมุนเวียนอากาศทำให้สามารถนำความร้อนทิ้งกลับมาใช้ประโยชน์ ช่วยลดความต้องการพลังงานในการทำความร้อนให้อากาศใหม่จากสภาวะแวดล้อม และจากงานวิจัยที่ผ่านมา Djaeni et al. (2021) และ Wang et al. (2022) พบว่า สามารถลดการใช้พลังงานได้อย่างมีนัยสำคัญในระบบอบแห้ง

อย่างไรก็ตาม แม้จะมีความก้าวหน้าและความเข้าใจในประโยชน์ของทั้ง IoT และการหมุนเวียนอากาศ แต่ยังคงมีช่องว่างองค์ความรู้ที่สำคัญ โดยเฉพาะอย่างยิ่งความเข้าใจเชิงลึกเกี่ยวกับปฏิสัมพันธ์ระหว่างจลนพลศาสตร์การอบแห้ง เพอร์เซ็นต์การหมุนเวียนอากาศที่เหมาะสมในแต่ละช่วงเวลาและความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะ งานวิจัยก่อนหน้านี้ที่ศึกษาประเด็นการหมุนเวียนอากาศจะกำหนดให้เพอร์เซ็นต์การหมุนเวียนอากาศคงที่ตั้งแต่เริ่มต้นการอบแห้งจนกระทั่งสิ้นสุดกระบวนการ (Djaeni et al., 2021; Wang et al., 2022) ซึ่งยังขาดการศึกษาในประเด็นการควบคุมเพอร์เซ็นต์การหมุนเวียนอากาศในรูปแบบการปรับเปลี่ยนตามช่วงของการอบแห้งโดยใช้ข้อมูลจากระบบ IoT โดยเฉพาะอย่างยิ่งการปรับเปลี่ยนตามจุดวิกฤติของการอบแห้ง เช่น จุดเปลี่ยนจากช่วงอัตราการอบแห้งคงที่ (Constant rate period) ไปยังช่วงอัตราการอบแห้งลดลง (Falling rate period) ซึ่งเป็นช่วงเวลาสำคัญที่สามารถเพิ่มประสิทธิภาพการใช้พลังงาน การผสมผสานการควบคุมแบบปรับเปลี่ยนโดยใช้ข้อมูลจลนพลศาสตร์แบบเรียลไทม์จาก IoT เพื่อปรับเพอร์เซ็นต์การหมุนเวียนอากาศให้เหมาะสมกับแต่ละช่วงการอบแห้งจึงเป็นแนวทางที่มีศักยภาพสูง อย่างไรก็ตาม ประเด็นนี้ยังขาดการศึกษาที่ครอบคลุม ความสำคัญของการแก้ไขปัญหานี้ไม่เพียงส่งผลต่อการลดต้นทุนการผลิตในระดับอุตสาหกรรมเท่านั้น แต่ยังมีนัยสำคัญต่อความยั่งยืนด้านพลังงานและการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกในภาคอุตสาหกรรมอาหารอีกด้วย

จากช่องว่างงานวิจัยที่ผ่านมาซึ่งได้กล่าวไว้ข้างต้น งานวิจัยนี้จึงได้ศึกษาการเพิ่มสมรรถนะการอบแห้งด้วยลมร้อนโดยใช้เทคนิคควบคุมการหมุนเวียนอากาศกลับมาใช้ใหม่ตามช่วงเวลาของกระบวนการอบแห้ง โดยดำเนินการติดตามและควบคุมแบบเรียลไทม์ผ่านการประยุกต์ใช้เทคโนโลยี IoT

วัสดุ อุปกรณ์ และวิธีการ

วัสดุทดสอบและการเตรียมตัวอย่าง

การทดลองนี้ใช้เนื้อหมูสันในสดจากห้างสรรพสินค้าท้องถิ่นเป็นผลิตภัณฑ์ทดสอบ เนื่องจากเป็นส่วนที่มีไขมันน้อย อีกทั้งเป็นผลิตภัณฑ์ที่มีความชื้นเริ่มต้นสูงและมีโครงสร้างเนื้อเยื่อที่เหมาะสมต่อการประเมินสมรรถนะของระบบอบแห้งที่พัฒนาขึ้น ค่าความชื้นเริ่มต้นของตัวอย่างถูกวิเคราะห์ตามวิธีมาตรฐาน Association of Official Analytical Chemists 2019 (AOAC, 2019) และพบว่า มีค่าเท่ากับ $240 \pm 10\%$ d.b. ตัวอย่างถูกตัดด้วยเครื่องสไลซ์ให้มีขนาดเท่ากับ $1.0 \times 10 \times 1.0$ cm³ (กว้าง×ยาว×สูง)

ชุดทดลองการอบแห้ง

ชุดอุปกรณ์ทดลองระบบอบแห้งด้วยลมร้อนที่ออกแบบเฉพาะและบูรณาการกับเทคโนโลยี IoT มีรายละเอียดดังแสดงใน Figure 1

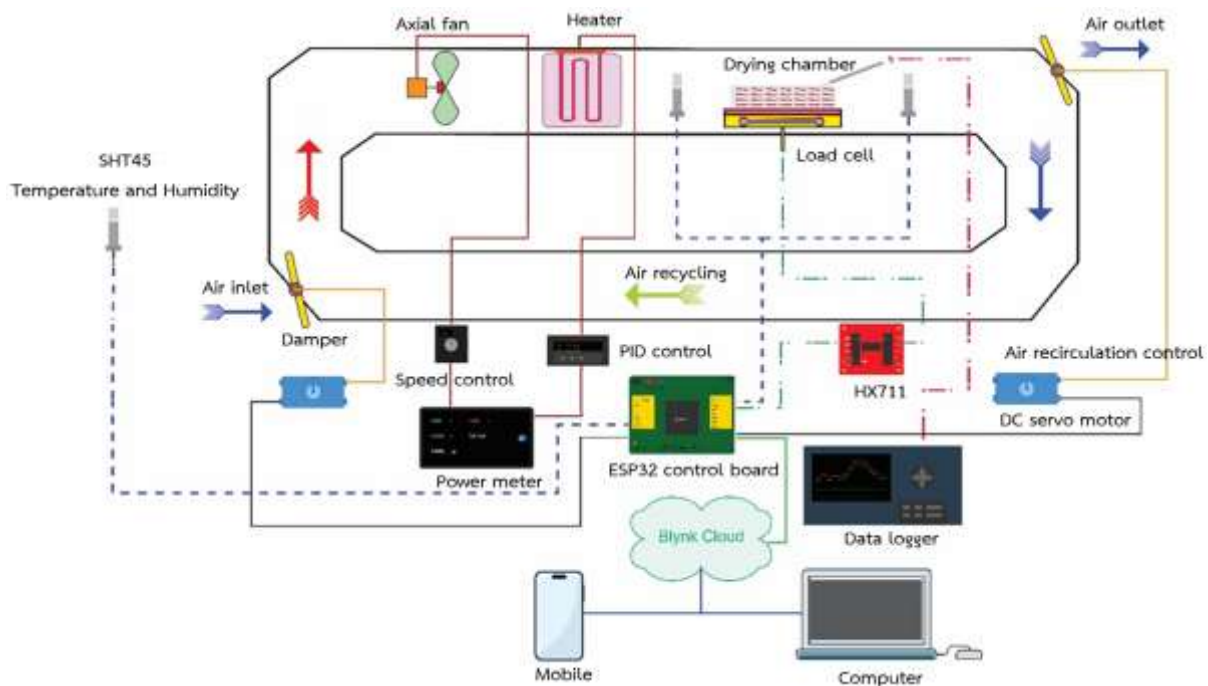


Figure 1 Schematic diagram of hot air drying system with IoT-controlled air recirculation

ระบบประกอบด้วยพัดลมแบบแนวแกนขนาด 100 W ขดลวดความร้อนขนาด 3 kW ควบคุมอุณหภูมิด้วยระบบควบคุมแบบพีไอดี (Proportional Integral Derivative; PID) ปรับการหมุนเวียนอากาศผ่านแดมเปอร์ด้วยเซอร์โวมอเตอร์ เซนเซอร์วัดอุณหภูมิและความชื้น (SHT45) ได้รับการสอบเทียบให้มีความแม่นยำ $\pm 0.1^{\circ}\text{C}$ และ $\pm 1\%$ RH ถูกติดตั้งที่ทางเข้าและทางออกเพื่อติดตามข้อมูลแบบเรียลไทม์ ข้อมูลจากเซนเซอร์ SHT45 โหลดเซลล์ และเทอร์โมคัปเปิลชนิดเค จะถูกส่งไปยังไมโครคอนโทรลเลอร์ ESP32 ที่เชื่อมต่อแพลตฟอร์ม Blynk Cloud ซึ่งช่วยให้ติดตามและควบคุมการทำงานระยะไกลได้

ในส่วนการติดตามความชื้นผลิตภัณฑ์ที่ลดลงดำเนินการโดยใช้โหลดเซลล์วัดน้ำหนักผลิตภัณฑ์อย่างต่อเนื่องเพื่อใช้วิเคราะห์ความชื้น สัดส่วนความชื้น และความชันของเส้นกราฟ ซึ่งความชันเส้นกราฟจะถูกใช้อ้างอิงในการปรับเปอร์เซ็นต์การหมุนเวียนอากาศ โดยในช่วงแรกของการอบแห้งจะไม่มีลมหมุนเวียนอากาศ (ปล่อยอากาศร้อนที่ผ่านห้องอบแห้งทั้งหมด) ทั้งนี้เพื่อเร่งการถ่ายเทมวลที่ผิวของผลิตภัณฑ์และระบายความชื้นในห้องอบแห้ง หลังจากกระบวนการอบแห้งเข้าสู่ช่วงอัตราการอบแห้งลดลง ระบบ IoT จะปรับให้มีการหมุนเวียนอากาศกลับมาใช้ใหม่เพื่อลดการสูญเสียพลังงาน โดยมีเงื่อนไขในการปรับคือ 25% 50% และ 75% ตามลำดับ นอกจากนี้ได้ติดตั้งมิเตอร์วัดและบันทึกการใช้พลังงานเพื่อใช้ประเมินความสัมพันธ์ของพลังงานจำเพาะของการอบแห้ง กระบวนการอบแห้งเริ่มจากอากาศแวดล้อมถูกดูดโดยพัดลมเพื่อส่งต่อไปรับความร้อนที่ขดลวดความร้อนเพื่อเพิ่มอุณหภูมิให้ได้ตามอุณหภูมิอบแห้งที่กำหนด หลังจากนั้นอากาศร้อนจะผ่านเข้าห้องอบแห้งเพื่อแลกเปลี่ยนความร้อนและถ่ายเทมวลกับผลิตภัณฑ์ อากาศร้อนขึ้นที่ออกจากห้องอบแห้งในกรณีไม่มีการหมุนเวียนอากาศจะถูกปล่อยทิ้งทั้งหมด หลังจากนั้นพัดลมระบบก็จะดูดอากาศใหม่เข้ามาและส่งต่อไปรับความร้อนที่ขดลวดความร้อนต่อไปสำหรับกรณีมีการหมุนเวียนอากาศ อากาศร้อนขึ้นจะถูกปล่อยทิ้งบางส่วนซึ่งควบคุมด้วยแดมเปอร์ และบางส่วนถูกดึงกลับมาใช้ใหม่เพื่อนำไปผสมกับอากาศใหม่ที่เข้าสู่ระบบและไหลเวียนไปรับความร้อนที่ขดลวดความร้อน ลักษณะการทำงานของระบบก็จะต่อเนื่องเช่นนี้ไปจนกระทั่งความชื้นสุดท้ายของผลิตภัณฑ์ได้ตามที่ต้องการ

วิธีดำเนินการทดลอง

การทดลองดำเนินการภายใต้เงื่อนไขอุณหภูมิห้องอบแห้ง 50°C 60°C และ 70°C เปอร์เซ็นต์การหมุนเวียนอากาศเท่ากับ 0% 25% 50% และ 75% ซึ่งเปอร์เซ็นต์การหมุนเวียนอากาศในงานวิจัยนี้คือ สัดส่วนอัตราการไหลเชิงปริมาตรอากาศที่หมุนเวียนกลับมาใช้ใหม่ต่ออัตราการไหลเชิงปริมาตรอากาศทั้งหมด โดยควบคุมผ่านการปรับมุมแดมเปอร์ด้วยเซอร์โวมอเตอร์ ซึ่งได้สอบเทียบความสัมพันธ์ระหว่างมุมแดมเปอร์กับเปอร์เซ็นต์การหมุนเวียนอากาศกลับมาใช้ใหม่ โดยในงานวิจัยนี้ควบคุม

ความเร็วให้คงที่เท่ากับ 1.5 m/s การทดลองแต่ละเงื่อนไขจะเริ่มต้นจากการเดินระบบเครื่องอบแห้งจนกระทั่งสมดุลความร้อนและอุณหภูมิอบแห้งได้ตามค่าที่กำหนด จากนั้นจึงนำผลิตภัณฑ์ที่จัดเตรียมไว้เข้าสู่ห้องอบแห้งและเริ่มบันทึกข้อมูลทุกพารามิเตอร์อย่างต่อเนื่องจนกระทั่งความชื้นสุดท้ายของผลิตภัณฑ์เท่ากับ 60% d.b. หรือสัดส่วนความชื้นโดยเฉลี่ยเท่ากับ 0.25 จึงหยุดการทดลอง สำหรับการปรับเปอร์เซ็นต์การหมุนอากาศกลับมาใช้ใหม่จะพิจารณาจากการเปลี่ยนแปลงค่าความชื้นของเส้นกราฟดังแสดงใน Figure 2 ซึ่งค่าความชื้นที่ใช้ในการพิจารณาวิเคราะห์มีความสัมพันธ์ตาม (Eq. 1)

$$\text{slope} = \frac{MR_{t+1} - MR_t}{\Delta t} \quad (\text{Eq. 1})$$

เมื่อ MR_t คือ สัดส่วนความชื้นผลิตภัณฑ์ในแต่ละช่วงเวลา (kg water/kg dry matter), MR_{t+1} คือ สัดส่วนความชื้นผลิตภัณฑ์ที่ช่วงเวลาถัดไป (kg water/kg dry matter) และ Δt คือ การเปลี่ยนแปลงของช่วงเวลา (min)

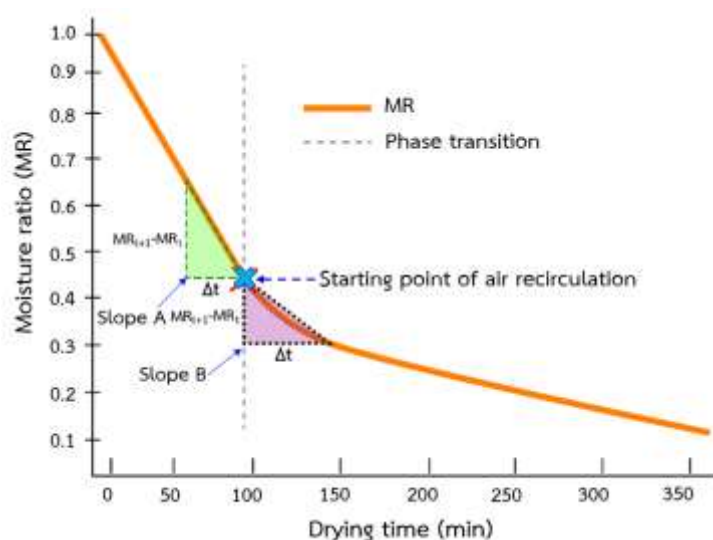
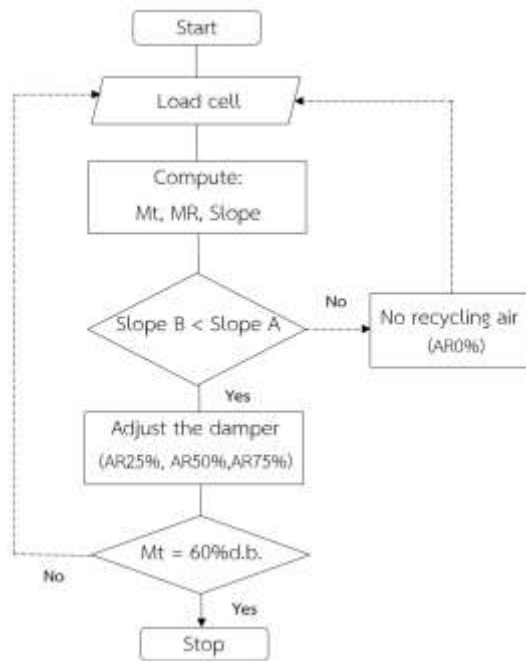
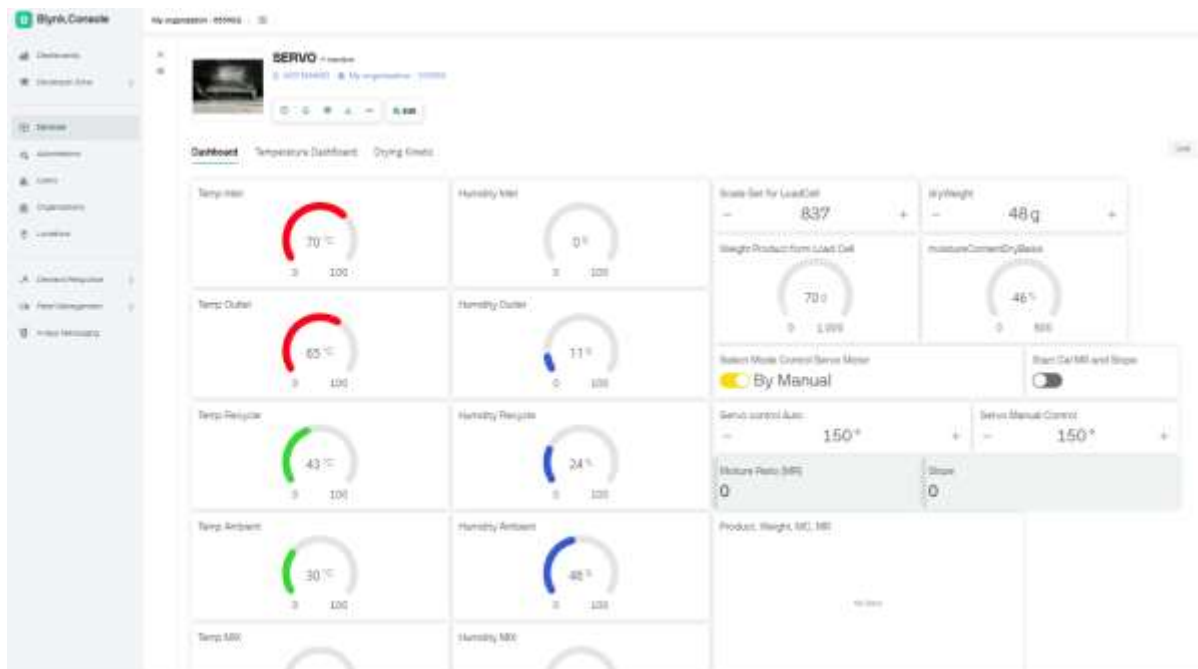


Figure 2 Moisture ratio and critical point for adjusting air recirculation percentage

ค่าความชื้นจาก (Eq. 1) คือดัชนีบ่งชี้ถึงการเปลี่ยนแปลงช่วงการอบแห้งจากช่วงอัตราการอบแห้งคงที่เข้าสู่ช่วงอัตราการอบแห้งลดลง ซึ่งในช่วงนี้จะเหมาะสมที่สุดในการปรับเปอร์เซ็นต์การหมุนเวียนอากาศ ผลจากการปรับนี้จะทำให้ความแตกต่างอุณหภูมิก่อนและหลังขดลวดความร้อนลดลง ช่วยลดการสูญเสียพลังงานความร้อน ซึ่งจะส่งผลให้ประสิทธิภาพการใช้พลังงานโดยรวมของระบบอบแห้งเพิ่มขึ้น โดยขั้นตอนทั้งหมดนี้ได้เขียนโปรแกรมควบคุมอัตโนมัติผ่านระบบ IoT โดยมีแผนผังการควบคุมดังแสดงใน Figure 3



(A) System operation flowchart



(B) Example of monitoring, control, and data logging via Blynk Cloud

Figure 3 Schematic of the IoT-based air recirculation control system

การวิเคราะห์ข้อมูล

สำหรับรายละเอียดพารามิเตอร์ที่ใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูลในงานวิจัยมีดังนี้

ความชื้น

ความชื้น (Moisture content; M) คือ ปริมาณน้ำในผลิตภัณฑ์ต่อหนึ่งหน่วยมวลแห้ง เขียนความสัมพันธ์ได้ดัง (Eq. 2)

$$M = \frac{m_t}{m_d} \quad (\text{Eq. 2})$$

เมื่อ M คือ ความชื้น (g water/g dry matter), m_t คือ มวลน้ำในผลิตภัณฑ์แต่ละช่วงเวลา (g), m_d คือ มวลแห้งของผลิตภัณฑ์ (g)

สัดส่วนความชื้น

สัดส่วนความชื้น (Moisture Ratio; MR) วิเคราะห์โดยใช้ (Eq. 3) อย่างไรก็ตาม เนื่องจากความชื้นสมดุลมีค่าน้อยมากเมื่อเปรียบเทียบกับค่าความชื้นเริ่มต้น (Eq. 3) สามารถเขียนในรูปแบบอย่างง่ายได้ดัง (Eq. 4) ซึ่งสมการนี้จะถูกใช้เพื่อวิเคราะห์สัดส่วนความชื้นของผลิตภัณฑ์ที่เปลี่ยนแปลงไปในแต่ละช่วงเวลาของการอบแห้ง

$$MR_t = \frac{M_t - M_{eq}}{M_{in} - M_{eq}} \quad (\text{Eq. 3})$$

$$MR_t \approx \frac{M_t}{M_{in}} \quad (\text{Eq. 4})$$

โดย MR_t คือ สัดส่วนความชื้น (-), M_t ความชื้นที่แต่ละช่วงเวลา (kg water/kg dry matter), M_{in} คือ ความชื้นเริ่มต้น (kg water/kg dry matter) และ M_{eq} คือ ความชื้นสมดุล (kg water/kg dry matter)

อัตราการอบแห้ง

อัตราการอบแห้ง (Drying Rate; DR) คือ การเปลี่ยนแปลงมวลของผลิตภัณฑ์ต่อเวลา เขียนความสัมพันธ์ได้ดัง (Eq. 5)

$$DR = \frac{(m_t - m_{t+1})}{(\Delta t \times m_d)} \quad (\text{Eq. 5})$$

เมื่อ DR คือ อัตราการอบแห้ง (g/g·min), m_t คือ มวลผลิตภัณฑ์แต่ละช่วงเวลา (g), m_{t+1} คือ มวลผลิตภัณฑ์ที่ช่วงเวลาถัดไป (g), Δt คือ ช่วงเวลาที่เปลี่ยนแปลง (min), และ m_d คือ มวลแห้งของผลิตภัณฑ์ (g)

ความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะ

ความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะ (Specific Energy Consumption; SEC) วิเคราะห์จากพลังงานทั้งหมดที่ระบบใช้ (kWh) ต่อปริมาณน้ำที่ระเหยออกจากผลิตภัณฑ์ (kg) ซึ่งเขียนความสัมพันธ์ได้ดัง (Eq. 6)

$$SEC = \frac{E_{total}}{m_w} \quad (\text{Eq. 6})$$

เมื่อ SEC คือ ความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะ (kWh/kg), E_{total} คือ พลังงานทั้งหมดที่ระบบใช้ (kWh), m_w คือ มวลของน้ำที่ระเหยออกจากผลิตภัณฑ์ (kg)

การวิเคราะห์ทางสถิติ

การวิเคราะห์ทางสถิติในงานวิจัยนี้ ดำเนินการโดยใช้โปรแกรม Minitab ทุกเงื่อนไขการทดลองทำซ้ำ 3 ครั้ง และนำเสนอผลในรูปแบบค่าเฉลี่ย $\pm$ ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน ความแตกต่างระหว่างค่าเฉลี่ยในกลุ่มตัวอย่างวิเคราะห์โดยใช้การวิเคราะห์ความแปรปรวน (Analysis of Variance, ANOVA) ที่ระดับนัยสำคัญ ($p < 0.05$) และสำหรับการศึกษาความสัมพันธ์ของความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะ (SEC) การหมุนเวียนอากาศ (AR) และอุณหภูมิอบแห้ง (T) โดยการวิเคราะห์แบบถดถอยเชิงพหุ (Multiple regression analysis) ซึ่งพิจารณาทั้งอิทธิพลของตัวแปรหลัก (Main effects) ปฏิสัมพันธ์ระหว่างตัวแปร (Interaction) และพจน์กำลังสอง (Quadratic terms) โดยค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (R-squared) ถูกใช้เพื่อประเมินความเหมาะสมของแบบจำลอง และการวิเคราะห์ความแปรปรวนใช้เพื่อตรวจสอบนัยสำคัญของปัจจัยในแบบจำลอง

ผลการวิจัย และการอภิปรายผล

งานวิจัยนี้ได้ศึกษาการอบแห้งเนื้อหมูสันในด้วยลมร้อนภายใต้อุณหภูมิอบแห้ง 50°C 60°C และ 70°C ร่วมกับการปรับเปลี่ยนการหมุนเวียนอากาศแบบอัตโนมัติผ่านเทคโนโลยีอินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่ง เมื่อช่วงอัตราการอบแห้งเปลี่ยนแปลงจากช่วงอัตราการอบแห้งคงที่เข้าสู่ช่วงอัตราการอบแห้งลดลง โดยมีเปอร์เซ็นต์การหมุนเวียนอากาศที่ศึกษาเท่ากับ 0% 25% 50% และ 75% ตามลำดับ ผลจากการศึกษามีรายละเอียดในแต่ละประเด็นดังหัวข้อต่อไปนี้

ผลของอุณหภูมิอบแห้งที่มีต่อการเปลี่ยนแปลงสัดส่วนความชื้นและอัตราการอบแห้ง

Figure 4-7 แสดงความสัมพันธ์ของอุณหภูมิอบแห้งที่มีต่อการเปลี่ยนแปลงสัดส่วนความชื้นและอัตราการอบแห้ง ภายใต้เงื่อนไขการหมุนเวียนอากาศเท่ากับ 0% 25% 50% และ 75% ตามลำดับ ผลจากการศึกษาในภาพรวมจะพบว่า สัดส่วนความชื้นจะลดลงตามระยะเวลาอบแห้ง โดยจะมีพฤติกรรมลดลงค่อนข้างรวดเร็วในช่วง 60 นาทีแรก ซึ่งสังเกตได้จาก Figure (4A-7A) หลังจากนั้นอัตราการเปลี่ยนแปลงจะช้าลง และหากพิจารณาอัตราการอบแห้ง (Figure 4B-7B) จะพบว่า ในช่วงที่ผลิตภัณฑ์มีความชื้นสูง (1.7-2.4 g water/g solid) หรือสัดส่วนความชื้นสูง ($MR > 0.7$) อัตราการอบแห้งจะสูง ทั้งนี้เกิดจากผลิตภัณฑ์ยังคงมีความชื้นค่อนข้างสูง การระเหยของน้ำในช่วงนี้จึงเกิดจากน้ำที่สะสมบริเวณผิวชั้นนอกผลิตภัณฑ์เป็นหลัก ซึ่งผลการศึกษาครั้งนี้คล้ายคลึงและสอดคล้องกับงานวิจัยที่ผ่านมา (Bai et al., 2023; Shaukat et al., 2024) จากข้อมูลใน Figure 4 หากพิจารณาในกรณีการหมุนเวียนอากาศ 0% หรือปล่อยอากาศที่ออกจากห้องอบแห้งทิ้งไปทั้งหมดโดยไม่มีการดึงกลับมาใช้ใหม่ และพิจารณาภายใต้เงื่อนไขความชื้นผลิตภัณฑ์สุดท้ายเท่ากับ 60% d.b. หรือสัดส่วนความชื้นเท่ากับ 0.25 จะพบว่า การเพิ่มอุณหภูมิอบแห้งส่งผลให้ระยะเวลาการอบแห้งลดลง ในขณะที่อัตราการอบแห้งเพิ่มขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับผลการศึกษาของ Aranibar et al., (2023), Bai et al., (2023) และ Shaukat et al., (2024) เมื่อวิเคราะห์เปรียบเทียบข้อมูลใน Figure 4 จะพบว่า กรณีเงื่อนไขอุณหภูมิอบแห้ง 70°C จะใช้ระยะเวลาในการอบแห้งน้อยกว่ากรณีอุณหภูมิอบแห้ง 50°C และ 60°C เท่ากับ 56% และ 30% ตามลำดับ นอกจากนี้ยังพบว่า อัตราการอบแห้งกรณีใช้อุณหภูมิอบแห้ง 70°C มีค่ามากกว่ากรณีใช้อุณหภูมิอบแห้ง 50°C และ 60°C เท่ากับ 37% และ 25% ตามลำดับ สำหรับเหตุผลเมื่อเพิ่มอุณหภูมิอบแห้งส่งผลให้เวลาการอบแห้งลดลง โดยที่อัตราการอบแห้งเพิ่มขึ้น คือ การเพิ่มอุณหภูมิอบแห้งทำให้ผลต่างระหว่างอุณหภูมิอากาศร้อนและผลิตภัณฑ์เพิ่มขึ้น ส่งผลให้เกิดการถ่ายเทความร้อนไปยังผลิตภัณฑ์เพิ่มมากขึ้น ดังนั้นการถ่ายเทมวลหรือความชื้นของผลิตภัณฑ์จึงเกิดขึ้นได้รวดเร็วและมีปริมาณเพิ่มมากขึ้นเช่นเดียวกัน ซึ่งสอดคล้องกับหลักทฤษฎีสัมประสิทธิ์การแพร่ประสิทธิผล โดยผลจากการศึกษาที่ผ่านมาพบว่า อุณหภูมิอบแห้งคือปัจจัยหลักที่ส่งผลต่อค่าสัมประสิทธิ์การแพร่ประสิทธิผลของผลิตภัณฑ์ (Al Faik et al., 2024; Zeng et al., 2024)

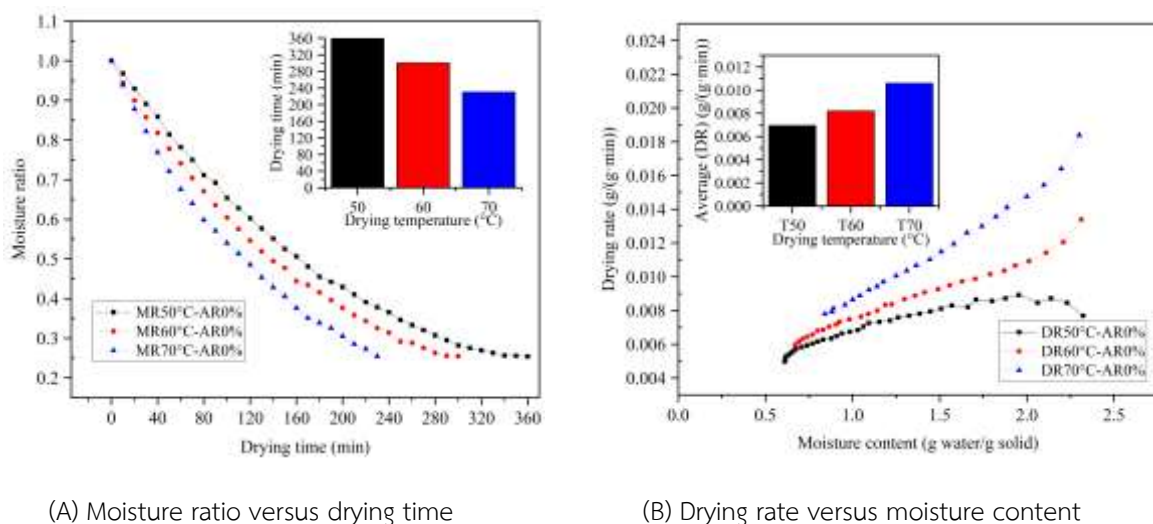


Figure 4 Effect of drying temperature on moisture ratio and drying rate at 0% air recirculation

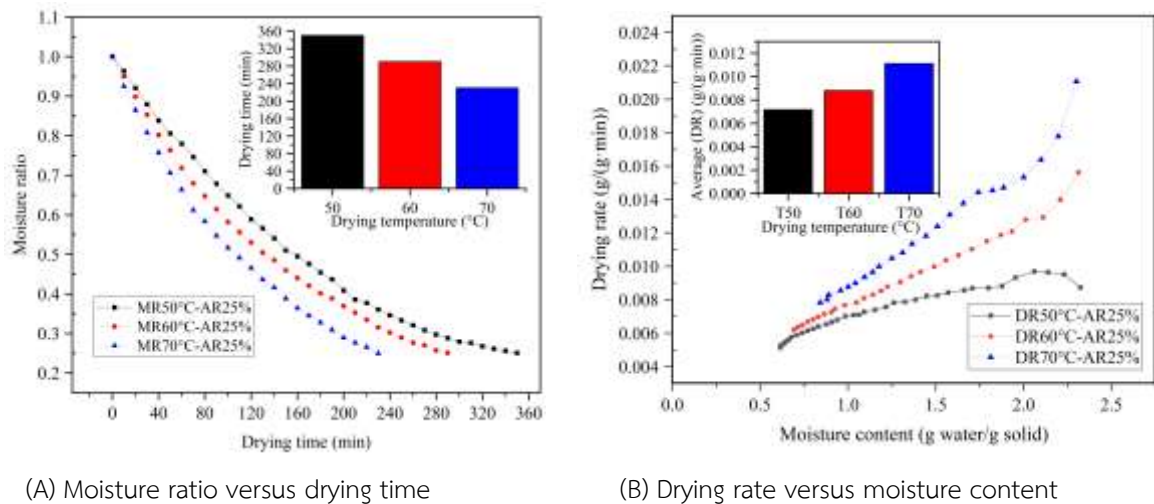


Figure 5 Effect of drying temperature on moisture ratio and drying rate at 25% air recirculation

Figure 5 นำเสนอความสัมพันธ์ของอุณหภูมิอบแห้งต่อสัดส่วนความชื้นและอัตราการอบแห้งในกรณีหมุนเวียนอากาศ 25% หรือปล่อยอากาศที่ออกจากห้องอบแห้งทิ้งไป 75% และดึงกลับมาใช้ใหม่ 25% จากข้อมูลจะพบว่า มีแนวโน้มคล้ายคลึงกับข้อมูลการหมุนเวียนอากาศ 0% เมื่อพิจารณาประเด็นระยะเวลาการอบแห้งและอัตราการอบแห้งพบว่า การอบแห้งที่อุณหภูมิ 70°C จะใช้เวลาในการอบแห้งน้อยกว่าการอบแห้งที่อุณหภูมิ 50°C และ 60°C เท่ากับ 52% และ 26% ตามลำดับ โดยอัตราการอบแห้งกรณีใช้อุณหภูมิอบแห้ง 70°C มีค่ามากกว่ากรณีใช้อุณหภูมิอบแห้ง 50°C และ 60°C เท่ากับ 33% และ 21% ตามลำดับ ซึ่งอธิบายเหตุผลได้ในลักษณะเช่นเดียวกันกับกรณีก่อนหน้านี้

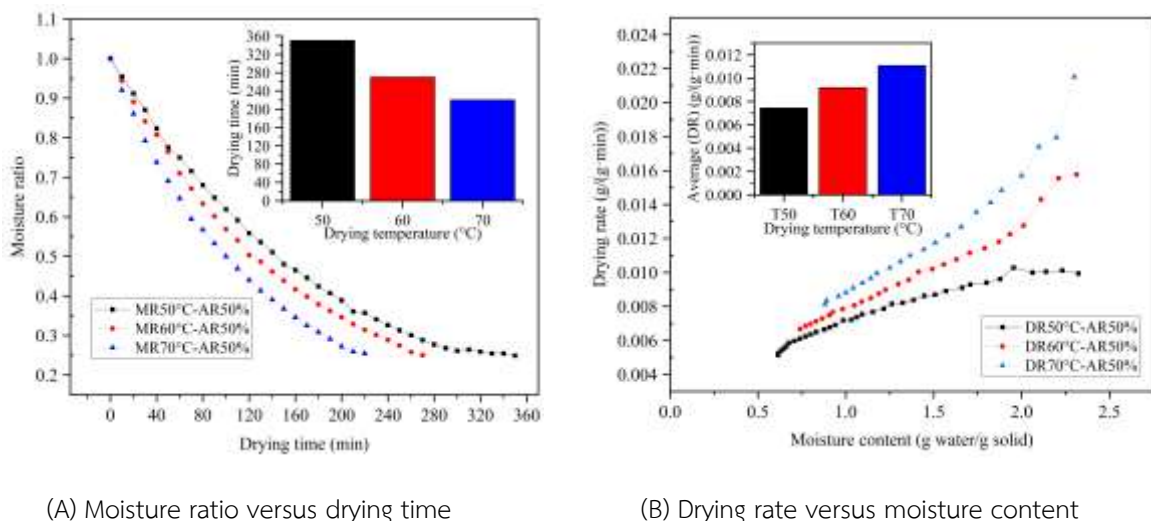


Figure 6 Effect of drying temperature on moisture ratio and drying rate at 50% air recirculation

Figure 6 แสดงความสัมพันธ์ของอุณหภูมิอบแห้งต่อสัดส่วนความชื้นและอัตราการอบแห้งเมื่อหมุนเวียนอากาศ 50% หรือปล่อยอากาศที่ออกจากห้องอบแห้งทิ้งไป 50% และดึงกลับมาใช้ใหม่ 50% จากข้อมูลจะพบว่า ที่อุณหภูมิอบแห้ง 70°C จะใช้เวลาในการอบแห้งสั้นกว่าการอบแห้งที่อุณหภูมิ 50°C และ 60°C เท่ากับ 59% และ 23% ตามลำดับ โดยอุณหภูมิอบแห้ง 70°C มีอัตราการอบแห้งมากกว่ากรณีใช้อุณหภูมิอบแห้ง 50°C และ 60°C เท่ากับ 36% และ 18% ตามลำดับ

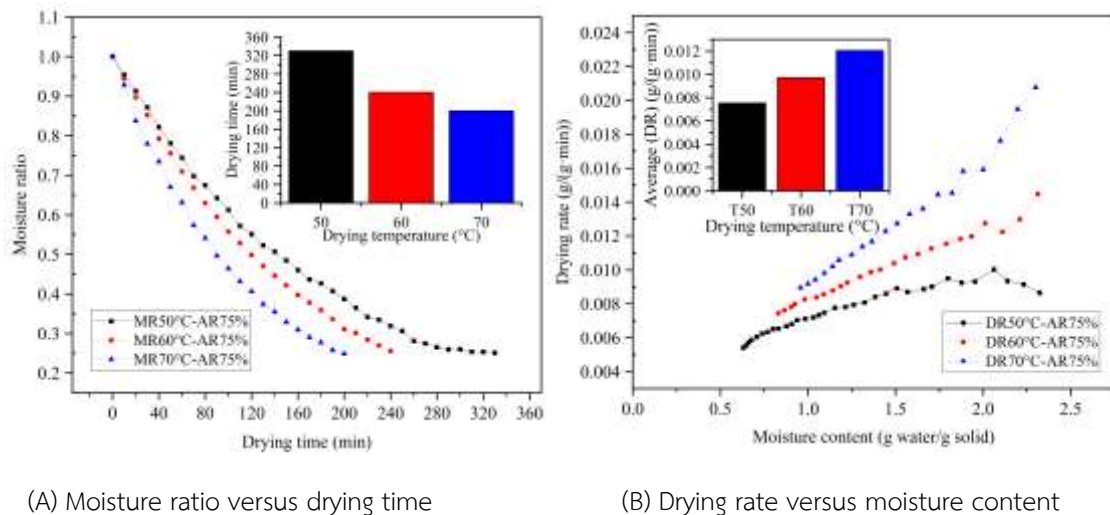


Figure 7 Effect of drying temperature on moisture ratio and drying rate at 75% air recirculation

Figure 7 แสดงความสัมพันธ์ของอุณหภูมิอบแห้งต่อสัดส่วนความชื้นและอัตราการอบแห้งเมื่อหมุนเวียนอากาศ 75% จากข้อมูลจะพบว่า แนวโน้มของข้อมูลมีลักษณะเช่นเดียวกันกับผลที่แสดงใน Figure 4-6 และจากข้อมูลที่น่าเสนอใน Figure 4-7 สามารถสรุปได้ว่า การเพิ่มอุณหภูมิอบแห้งจาก 50°C เป็น 70°C สามารถลดเวลาการอบแห้งสูงสุดถึง 65% และเพิ่มอัตราการอบแห้งได้สูงสุดถึง 39%

ผลของการหมุนเวียนอากาศที่มีต่อการเปลี่ยนแปลงสัดส่วนความชื้นและอัตราการอบแห้ง

Figure 8-11 แสดงความสัมพันธ์ของการหมุนเวียนอากาศที่มีต่อการเปลี่ยนสัดส่วนความชื้นและอัตราการอบแห้ง ภายใต้เงื่อนไขอุณหภูมิอบแห้ง 50°C 60°C และ 70°C ตามลำดับ จากผลการศึกษาในภาพรวมพบว่า การเพิ่มเปอร์เซ็นต์การหมุนเวียนอากาศส่งผลให้เวลาการอบแห้งลดลงโดยที่อัตราการอบแห้งเพิ่มขึ้นในทุกระดับอุณหภูมิอบแห้งที่ทำการศึกษา จากข้อมูลใน Figure 8 หากพิจารณาที่อุณหภูมิอบแห้ง 50°C และวิเคราะห์หือทธิพลของการหมุนเวียนอากาศจะพบว่า การเพิ่มเปอร์เซ็นต์การหมุนเวียนอากาศจาก 0% เป็น 75% ส่งผลให้เวลาที่ใช้ในการอบแห้งลดลงประมาณ 9% ทั้งนี้เนื่องจากการหมุนเวียนอากาศกลับมาใช้ใหม่ช่วยลดการสูญเสียพลังงาน (Afzali et al., 2019; Zohrabi et al., 2020)

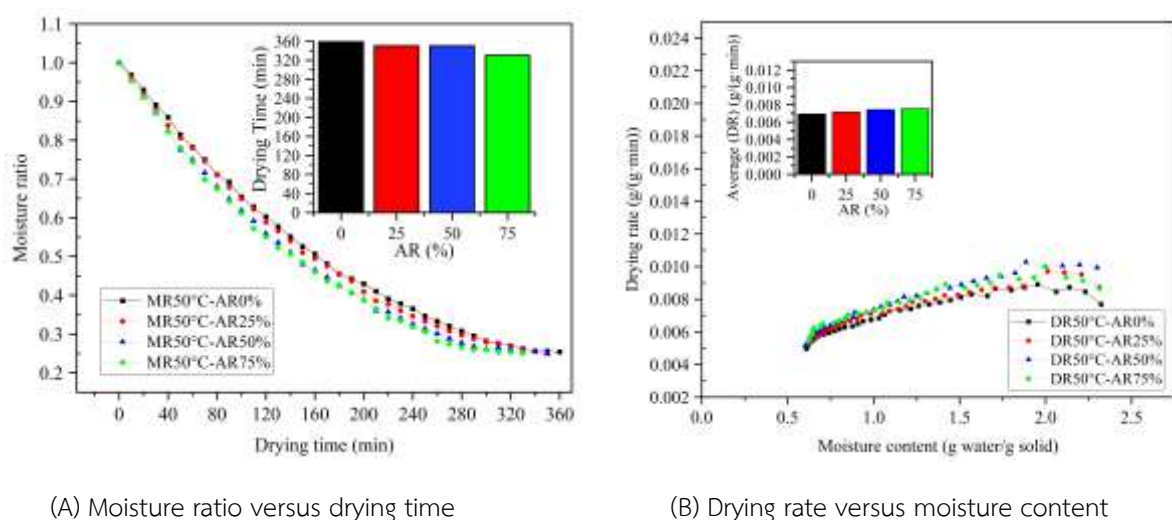


Figure 8 Effect of air recirculation percentage on moisture ratio and drying rate at 50°C

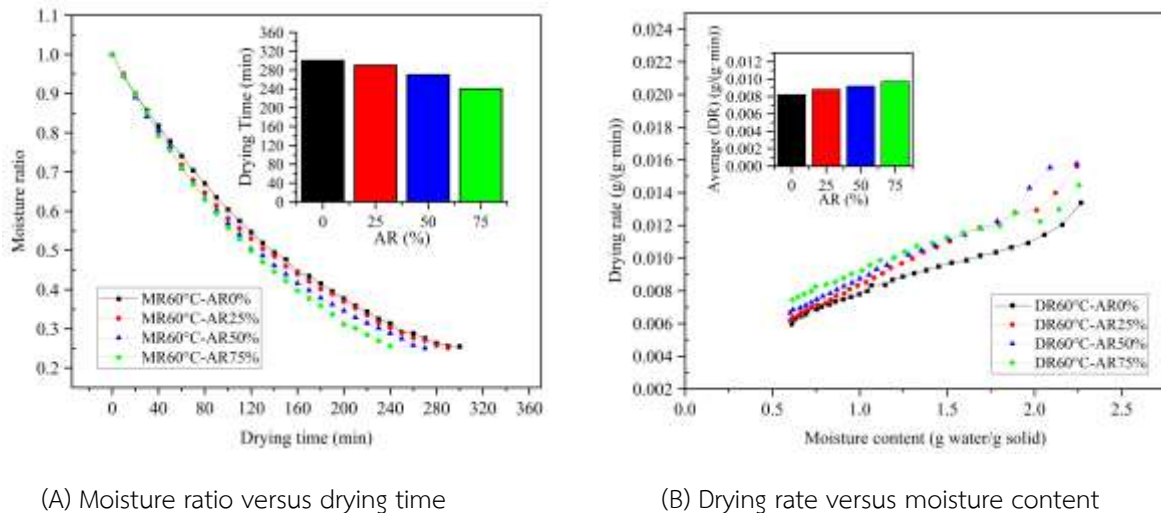


Figure 9 Effect of air recirculation percentage on moisture ratio and drying rate at 60°C

Figure 9 แสดงผลของการหมุนเวียนอากาศที่อุณหภูมิการอบแห้ง 60°C ซึ่งพบว่า มีแนวโน้มคล้ายคลึงกับที่อุณหภูมิ 50°C แต่มีอัตราการอบแห้งที่สูงขึ้น และเมื่อเพิ่มเปอร์เซ็นต์การหมุนเวียนอากาศจาก 0% เป็น 75% ส่งผลให้เวลาการอบแห้งลดลงประมาณ 25% นอกจากนี้เมื่อสังเกตจากกราฟอัตราการอบแห้ง (Figure 9B) จะเห็นได้ว่าที่เปอร์เซ็นต์การหมุนเวียนอากาศ 50% และ 75% ให้อัตราการอบแห้งในช่วงผลิตภัณฑ์ที่มีความชื้นสูงใกล้เคียงกันและจะเริ่มแตกต่างกันเมื่อผลิตภัณฑ์ที่มีความชื้นลดลง โดยเฉพาะในช่วงความชื้น 0.6-1.2 g water/g solid

Figure 10 แสดงความสัมพันธ์ของการหมุนเวียนอากาศต่อสัดส่วนความชื้นและอัตราการอบแห้งที่อุณหภูมิการอบแห้ง 70°C จากข้อมูลจะพบว่า การหมุนเวียนอากาศ 75% มีระยะเวลาการอบแห้งสั้นที่สุดและให้อัตราการอบแห้งที่สูงที่สุด และจากข้อมูลใน Figure 8-10 สรุปได้ว่า การเพิ่มเปอร์เซ็นต์การหมุนเวียนอากาศในช่วงอัตราการอบแห้งลดลงสามารถลดเวลาการอบแห้งและเพิ่มอัตราการอบแห้ง

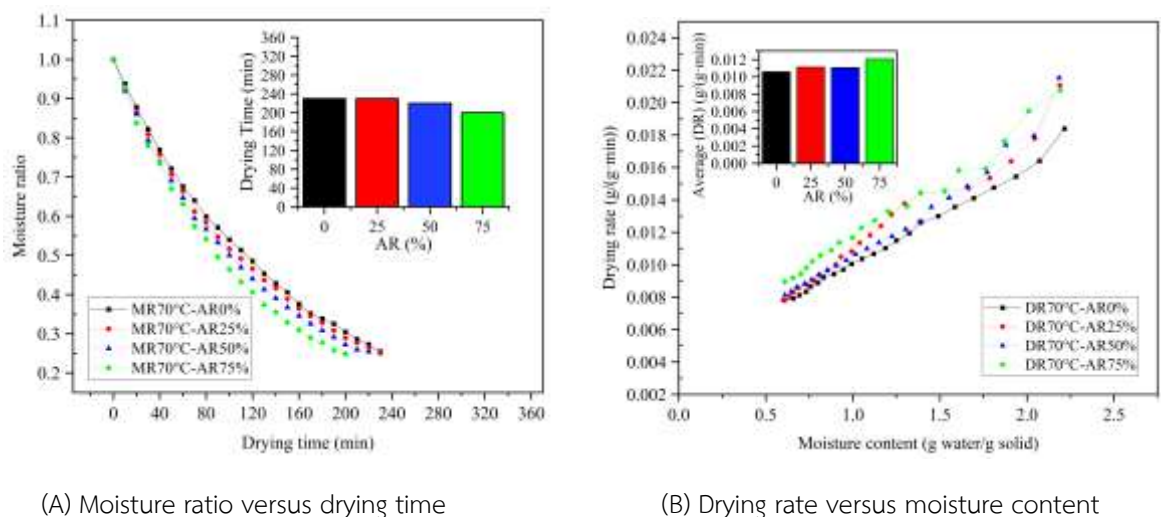


Figure 10 Effect of air recirculation percentage on moisture ratio and drying rate at 70°C

ผลของอุณหภูมิอบแห้งและเปอร์เซ็นต์การหมุนเวียนอากาศที่มีต่อความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะ

Figure 11 แสดงผลของอุณหภูมิอบแห้งและการหมุนเวียนอากาศที่มีต่อความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะ (Specific Energy Consumption; SEC) จากผลการทดลองพบว่า ทั้งอุณหภูมิและการหมุนเวียนอากาศมีผลต่อค่า SEC อย่างมีนัยสำคัญ ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยที่ผ่านมา (Zlatanović et al., 2017; Fu et al., 2023) จาก Figure 11 หากพิจารณา

กรณีไม่มีการหมุนเวียนอากาศ (AR0%) เมื่อเพิ่มอุณหภูมิอบแห้งจาก 50°C เป็น 70°C พบว่า ค่า SEC เพิ่มขึ้นจาก 24.12 เป็น 34.38 kWh/kg หรือคิดเป็น 42.5% ในทางตรงกันข้ามพบว่า การเพิ่มเปอร์เซ็นต์การหมุนเวียนอากาศในทุกเงื่อนไขอุณหภูมิอบแห้งสามารถช่วยลดค่า SEC โดย SEC มีค่าต่ำที่สุดเมื่อการหมุนเวียนอากาศเท่ากับ 75% และหากพิจารณาที่อุณหภูมิอบแห้งเท่ากับ 50°C จะพบว่า SEC ที่เงื่อนไข AR75% มีค่าต่ำกว่าที่เงื่อนไข AR0% AR25% และ AR50% เท่ากับ 41% 35% และ 8% ตามลำดับ ในทำนองเดียวกันเมื่อพิจารณาที่อุณหภูมิอบแห้งเท่ากับ 60°C จะพบว่า SEC ที่เงื่อนไข AR75% มีค่าต่ำกว่าที่เงื่อนไข AR0% AR25% และ AR50% เท่ากับ 62% 59% และ 9% ตามลำดับ และสุดท้ายเมื่อพิจารณาที่อุณหภูมิอบแห้งเท่ากับ 70°C จะพบว่า SEC ที่เงื่อนไข AR75% มีค่าต่ำกว่าที่เงื่อนไข AR0% AR25% และ AR50% เท่ากับ 61% 42% และ 19% ตามลำดับ จากข้อมูลแสดงให้เห็นว่า การหมุนเวียนอากาศกลับมาใช้ใหม่มีผลต่อความสิ้นเปลืองพลังงาน ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัย Zlatanović et al. (2017), Mohammadi et al. (2019) และ Zohrabi et al. (2020) สำหรับเงื่อนไขการอบแห้งที่ให้ค่าความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะต่ำที่สุดเท่ากับ 17.11 kWh/kg คือ สภาวะอุณหภูมิอบแห้งเท่ากับ 50°C และการหมุนเวียนอากาศเท่ากับ 75%

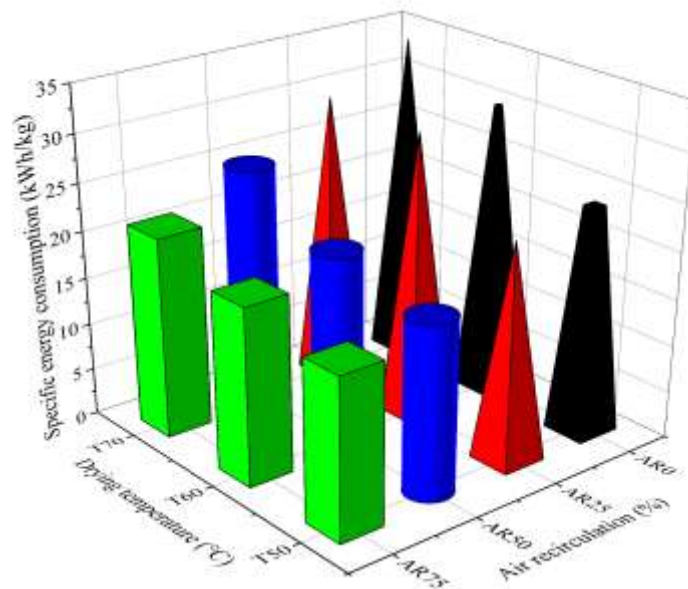


Figure 11 Influence of drying temperature and air recirculation percentage on specific energy consumption

ข้อมูลจากผลการศึกษานี้แสดงให้เห็นว่า การหมุนเวียนอากาศกลับมาใช้ใหม่สามารถลดการใช้พลังงานหรือลด SEC ของการอบแห้งได้อย่างมีประสิทธิภาพ ทั้งนี้เนื่องจากการอบแห้งที่ไม่มีการหมุนเวียนอากาศกลับมาใช้ใหม่จะปล่อยพลังงานความร้อนทิ้งไปทั้งหมดก่อให้เกิดการสูญเสียพลังงานไปโดยเปล่าประโยชน์ ซึ่งระบบจะต้องจ่ายพลังงานให้กับขดลวดความร้อนในปริมาณค่อนข้างคงที่ตลอดการอบแห้งเพื่อเพิ่มอุณหภูมิอากาศจากสิ่งแวดล้อมให้ได้เท่ากับอุณหภูมิอบแห้งที่กำหนด และเมื่อมีการหมุนเวียนอากาศกลับมาใช้ใหม่ อากาศร้อนที่ออกจากห้องอบแห้งจะถูกนำมาผสมกับอากาศใหม่ที่เข้าสู่ระบบซึ่งมีอุณหภูมิต่ำกว่าอุณหภูมิของสิ่งแวดล้อม ผลลัพธ์ที่เกิดขึ้นจากการผสมอากาศส่งผลให้อุณหภูมิอากาศก่อนเข้าสู่ขดลวดความร้อนสูงกว่ากรณีไม่มีการหมุนเวียนอากาศหรือการหมุนเวียนอากาศในอัตราส่วนที่ต่ำ ดังนั้นจึงทำให้พลังงานที่จ่ายให้กับขดลวดความร้อนลดลงจากเดิม ซึ่งเป็นไปตามความสัมพันธ์ $Q = mC_p\Delta T$ เมื่อ Q คือ พลังงานความร้อน (kW), m คือ อัตราการไหลเชิงมวลอากาศ (kg/s), C_p คือ ความจุความร้อนจำเพาะอากาศ (kJ/kg.°C) และ ΔT คือ ผลต่างอุณหภูมิอากาศก่อนและหลังผ่านขดลวดความร้อน (°C)

Table 1 แสดงผลลัพธ์การวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรด้วยวิธีการถดถอยเชิงพหุ ซึ่งจากข้อมูลพบว่า ปฏิสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิอบแห้งและการหมุนเวียนอากาศมีนัยสำคัญทางสถิติสูง ($p < 0.023$, $F = 5.72$) ส่วนตัวแปรอื่นพบว่า ไม่มีนัยสำคัญ และเมื่อพิจารณาร่วมกันในแบบจำลอง สามารถสร้างสมการถดถอยเพื่อแสดงค่า SEC ได้ดัง (Eq. 7)

$$SEC = -27.8 + 0.076AR + 1.457T - 0.00362(AR \times T) - 0.00803T^2 - 0.000151AR^2 \quad (\text{Eq. 7})$$

ทั้งนี้ สมการถดถอยดังกล่าวมีความเหมาะสมสำหรับการทำนายค่า SEC ภายใต้เงื่อนไขการศึกษาในงานวิจัยนี้เท่านั้น คือ อุณหภูมิอบแห้ง 50°C 60°C และ 70°C และการหมุนเวียนอากาศ 0% 25% 50% และ 75% ตามลำดับ การนำสมการไปใช้ทำนายค่า SEC นอกช่วงเงื่อนไขที่ศึกษาอาจให้ผลลัพธ์ที่คลาดเคลื่อนได้ เนื่องจากความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรอาจเปลี่ยนแปลงไปเมื่ออยู่นอกช่วงที่ทำการศึกษา โดยสมการถดถอยนี้มีค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ R^2 สูงถึง 88.48% และค่า $R^2(\text{adj})$ เท่ากับ 86.56% ซึ่งแสดงถึงความแม่นยำสูงในการอธิบายความแปรปรวนของข้อมูล

Table 1 Analysis of variance results for the regression model of specific energy consumption

Item	Degrees of Freedom (df)	F-value	p-value
Regression Model	5	46.08	0.000*
Air Recirculation (AR)	1	0.57	0.455
Drying Temperature (T)	1	2.73	0.109
Interaction (AR×T)	1	5.72	0.023*
Quadratic Term of Temperature (T^2)	1	1.20	0.282
Quadratic Term of Air Recirculation (AR^2)	1	0.07	0.787
Residual	30		
Total	35		

Note : Statistical significance at $p < 0.05$

ผลจากการศึกษาในงานวิจัยนี้ได้นำเสนอจุดเด่นที่สำคัญ คือ ระบบควบคุมการหมุนเวียนอากาศโดยบูรณาการร่วมกับเทคโนโลยีอินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่งเพื่อติดตามและควบคุมการทำงานแบบเรียลไทม์ให้สอดคล้องกับการเปลี่ยนแปลงในแต่ละช่วงของกระบวนการอบแห้ง ซึ่งสามารถลดความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะได้อย่างมีนัยสำคัญ โดยมีข้อแตกต่างจากงานวิจัยที่ผ่านมา (Zohrabi et al., 2020; Djaeni et al., 2021; Fu et al., 2023) ที่ควบคุมเปอร์เซ็นต์การหมุนเวียนอากาศให้คงที่ทั้งช่วงอัตราการอบแห้งคงที่และช่วงอัตราการอบแห้งลดลงหรือกล่าวได้ว่าคงที่ตั้งแต่เริ่มต้นจนกระทั่งสิ้นสุดการอบแห้ง

บทสรุป

จากการศึกษาอิทธิพลของอุณหภูมิอบแห้งและการหมุนเวียนอากาศที่มีต่อผลการเปลี่ยนแปลงสัดส่วนความชื้น อัตราการอบแห้ง และความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะของการอบแห้งด้วยลมร้อน โดยสามารถปรับเปลี่ยนการหมุนเวียนอากาศได้แบบเรียลไทม์ผ่านเทคโนโลยี IoT พบว่า การเพิ่มอุณหภูมิอบแห้งส่งผลให้อัตราการอบแห้งและความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะเพิ่มขึ้น ในขณะที่ การเพิ่มเปอร์เซ็นต์การหมุนเวียนอากาศช่วยลดค่าความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะโดยที่อัตราการอบแห้งเพิ่มขึ้น นอกจากนี้ยังพบว่า เงื่อนไขอุณหภูมิอบแห้งเท่ากับ 50°C และการหมุนเวียนอากาศเท่ากับ 75% จะมีความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะต่ำที่สุดเท่ากับ 17.11 kWh/kg ในขณะที่ภายใต้เงื่อนไขอุณหภูมิอบแห้งเท่ากับ 70°C และการหมุนเวียนอากาศเท่ากับ 75% จะใช้เวลาการอบแห้งสั้นที่สุดและมีค่าอัตราการอบแห้งสูงสุด สุดท้ายผลจากงานวิจัยนี้ชี้ให้เห็นชัดเจนว่าการใช้เทคโนโลยี IoT ติดตามและควบคุมเงื่อนไขการอบแห้งแบบเรียลไทม์สามารถลดการใช้พลังงานในงานอบแห้ง ซึ่งสามารถใช้เป็นแนวทางเพื่อประยุกต์ใช้ในงานอุตสาหกรรมอบแห้งต่อไป

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณ ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี ที่สนับสนุนเครื่องมือและทุนวิจัยในครั้งนี้

เอกสารอ้างอิง

- Adeyeye, S. A. O., Ashaolu, T. J., & Babu, A. S. (2022). Food drying: A review. *Agricultural Reviews*, 1(8), 1–8. <https://doi.org/10.18805/ag.R-2537>
- Afzali, F., Darvishi, H., & Behrooz-Khazaei, N. (2019). Optimizing exergetic performance of a continuous conveyor infrared-hot air dryer with air recycling system. *Applied Thermal Engineering*, 154, 358–367. <https://doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2019.03.096>
- Al Faik, M. A., Roy, M., Azam, M. S., Ahmmed, R., Hoque, M. M., & Alam, M. M. (2024). Comprehensive study on potato drying in convective air dryer: Experimental observations, mathematical modeling, and model validation. *Measurement: Food*, 14, 100170. <https://doi.org/10.1016/j.meafoo.2024.100170>
- AOAC. (2019). Official methods of analysis of AOAC international. Association of Official Analytical Chemists: Virginia.
- Aranibar, C., Aguirre, A., & Borneo, R. (2023). Effect of temperature on drying kinetics and quality of partially deoiled chia flour wheat pasta. *Food Science and Engineering*, 5(1), 10–25. <https://doi.org/10.37256/fse.5120243238>
- Bai, R., Sun, J., Qiao, X., Zheng, Z., Li, M., & Zhang, B. (2023). Hot air convective drying of ginger slices: Drying behaviour, quality characteristics, optimisation of parameters, and volatile fingerprints analysis. *Foods*, 12(6), 1283. <https://doi.org/10.3390/foods12061283>
- Dadhaneeya, H., Nema, P. K., & Arora, V. K. (2023). Internet of things in food processing and its potential in Industry 4.0 era: A review. *Trends in Food Science & Technology*, 139, 104109. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2023.07.006>
- Djaeni, M., Hadiyanto, H., Kumoro, A. C., Utari, F. D., & Hii, C. L. (2021). Improvements in thermal efficiency of onion slice drying by exhaust air recycling. *Cogent Engineering*, 8(1), 1920562. <https://doi.org/10.1080/23311916.2021.1920562>
- Fu, D., Wu, W., Wang, G., Xu, H., Han, F., & Liu, Z. (2023). Novel method of increased efficiency corn drying on a fixed bed by condensation. *Foods*, 12(5), 1027. <https://doi.org/10.3390/foods12051027>
- Gu, C., Ma, H., Tuly, J. A., Guo, L., Zhang, X., Liu, D., Ouyang, N., Luo, X., & Shan, Y. (2022). Effects of catalytic infrared drying in combination with hot air drying and freeze drying on the drying characteristics and product quality of chives. *LWT*, 161, 113363. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2022.113363>
- Ju, H.-Y., Vidyarthi, S. K., Karim, M., Yu, X. L., Zhang, W. P., & Xiao, H.-W. (2023). Drying quality and energy consumption efficient improvements in hot air drying of papaya slices by step-down relative humidity based on heat and mass transfer characteristics and 3D simulation. *Drying Technology*, 41(3), 460–476. <https://doi.org/10.1080/07373937.2022.2099416>
- Masud, M. H., Ananno, A. A., Ahmed, N., Dabnichki, P., & Salehin, K. (2020). Experimental investigation of a novel waste heat based food drying system. *Journal of Food Engineering*, 281, 110002. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2020.110002>
- Miano, J. I., Nabua, M. A., Gaw, A. R., Alce, A. R. B., Ecleo, C. A. M., Repulle, J. V., & Omar, J. J. (2023). Optimizing drying efficiency through an IoT-based direct solar dryer system: Integration of web data logger and SMS notification. *International Journal of Advanced Computer Science and Applications*, 14(7), 223–230. <https://doi.org/10.14569/IJACSA.2023.0140726>

- Mishra, L., Hauchhum, L., & Gupta, R. (2022). Development and performance investigation of a novel solar-biomass hybrid dryer. *Applied Thermal Engineering*, 211, 118492. <https://doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2022.118492>
- Mishra, N., Jain, S., Agrawal, N., Jain, N., Wadhawan, N., & Panwar, N. (2023). Development of drying system by using internet of things for food quality monitoring and controlling. *Energy Nexus*, 11, 100219. <https://doi.org/10.1016/j.nexus.2023.100219>
- Mohammadi, I., Tabatabaekoloor, R., & Motevali, A. (2019). Effect of air recirculation and heat pump on mass transfer and energy parameters in drying of kiwifruit slices. *Energy*, 170, 149–158. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2018.12.099>
- Okunola, A. A., Adekanye, T. A., Okonkwo, C. E., Kaveh, M., Szymanek, M., Idahosa, E. O., Olayanju, A. T., & Wojciechowska, K. (2023). Drying characteristics, kinetic modeling, energy and exergy analyses of water yam (*Dioscorea alata*) in a hot air dryer. *Energies*, 16(4), 1569. <https://doi.org/10.3390/en16041569>
- Pakdeekaew, A., Treeamnu, K., & Treeamnu, T. (2023). Humidity control for air circulation in the drying process. *Advances in Technology Innovation*, 8, 278–289. <https://doi.org/10.46604/aiti.2023.12030>
- Shaukat, M. N., Fallico, B., & Nazir, A. (2024). Impact of air-drying temperatures on drying kinetics, physicochemical properties, and bioactive profile of ginger. *Foods*, 13(7), 1096. <https://doi.org/10.3390/foods13071096>
- Vinai, B., Praphanpong, S., Eakpoom, B., Apinunt, N., & Umphisak, T. (2024). Improve drying performance of noodles using hot air combined with infrared stimulation. *Journal of Advanced Research in Fluid Mechanics and Thermal Sciences*, 118(2), 47–61. <https://doi.org/10.37934/arfmts.118.2.4761>
- Wang, G., Qiao, F., & Yue, Z. (2022). Research on energy saving and environmental protection electric power grain circulation drying system. *Journal of Advanced Thermal Science Research*, 9, 38–49. <https://doi.org/10.15377/2409-5826.2022.09.4>
- Zeng, Z., Han, C., Wang, Q., Yuan, H., Zhang, X., & Li, B. (2024). Analysis of drying characteristic, effective moisture diffusivity and energy, exergy and environment performance indicators during thin layer drying of tea in a convective-hot air dryer. *Frontiers in Sustainable Food Systems*, 8, 1371696. <https://doi.org/10.3389/fsufs.2024.1371696>
- Zlatanović, I., Komatina, M., & Antonijević, D. (2017). Experimental investigation of the efficiency of heat pump drying system with full air recirculation. *Journal of Food Process Engineering*, 40(2), e12386. <https://doi.org/10.1111/jfpe.12386>
- Zohrabi, S., Aghbashlo, M., Seiedlou, S. S., Scaar, H., & Mellmann, J. (2020). Energy saving in a convective dryer by using novel real-time exergy-based control schemes adjusting exhaust air recirculation. *Journal of Cleaner Production*, 257, 120394. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.120394>

Received: May 4, 2025; Revised: July 3, 2025; Accepted: August 18, 2025

การวิเคราะห์เชิงพหุปัจจัยเพื่อเลือกเส้นทางขนส่งสินค้าเกษตรอย่างเหมาะสม กรณีศึกษา ทุเรียนจากจันทบุรีสู่ด่านศุลกากรเชียงของ

Multi-criteria analysis for optimal agricultural freight routing: a case study of durian transport from Chanthaburi to Chiang Khong customs house

ธนสิทธิ์ นิตยะประภา^{1*} เจษฎา โพธิ์จันทร์¹ และบุญทรัพย์ พานิชการ¹Thanasit Nitayaprapha^{1*}, Jessada Pochan¹ and Boonsub Panichakarn¹¹คณะโลจิสติกส์และดิจิทัลซัพพลายเชน มหาวิทยาลัยนเรศวร จังหวัดพิษณุโลก¹Faculty of Logistics and Digital Supply Chain, Naresuan University, Phitsanulok Province^{*}Corresponding Author E-mail Address : Thanasit_n@kpru.ac.th, boonsubp@nu.ac.th

บทคัดย่อ

งานวิจัยฉบับนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อวิเคราะห์และเปรียบเทียบปัจจัยที่ส่งผลต่อการเลือกเส้นทางขนส่งสินค้าเกษตร โดยมุ่งศึกษาเฉพาะกรณีการขนส่งทุเรียนจากจังหวัดจันทบุรีไปยังด่านศุลกากรเชียงของ จังหวัดเชียงราย จากการทบทวนวรรณกรรมทั้งในประเทศและต่างประเทศ พบปัจจัยที่เกี่ยวข้องทั้งหมด 35 ปัจจัย จากเทคนิคการจัดอันดับตามความถี่ (Frequency ranking) เพื่อคัดเลือกปัจจัยที่สำคัญ จำนวน 9 ปัจจัย ได้แก่ เวลาในการขนส่ง ค่าใช้จ่าย ระยะทาง สภาพถนน คุณภาพพื้นผิวถนน ความกว้างของถนน ความถี่ในการเร่งความเร็ว ลักษณะของเส้นทาง และสิ่งอำนวยความสะดวก โดยใช้กระบวนการตัดสินใจแบบหลายเกณฑ์ ด้วยวิธีการถ่วงน้ำหนักผลรวมอย่างง่าย (Simple Additive Weighting; SAW) เพื่อประเมินความเหมาะสมของเส้นทางขนส่ง ผลการวิเคราะห์พบว่า เส้นทาง 3-1 ได้คะแนนรวมสูงสุด รองลงมาคือเส้นทาง 1-1 และ 3-2 ขณะที่เส้นทาง 2-4 และ 4-2 มีคะแนนต่ำสุด สะท้อนถึงข้อจำกัดโครงสร้างพื้นฐานและสภาพแวดล้อมที่ส่งผลต่อคุณภาพของสินค้าและต้นทุนโลจิสติกส์ เมื่อวิเคราะห์เส้นทางที่เหมาะสม พบว่า เส้นทาง 3-1 และ 4-3 มีคะแนนรวม 7.6469 และ 5.6250 ตามลำดับ จึงสรุปว่าเป็นเส้นทางที่เหมาะสมในการขนส่งทุเรียน จากความสอดคล้องของปัจจัยด้านระยะเวลา ต้นทุน และคุณภาพเส้นทาง จากการวิจัยแสดงให้เห็นว่าการพิจารณาหลายปัจจัยร่วมกันช่วยเพิ่มความแม่นยำในการเลือกเส้นทาง ลดความเสี่ยง และเสริมสร้างความสามารถในการแข่งขันของภาคเกษตรกรรมไทย

คำสำคัญ: เส้นทางที่เหมาะสม การจัดอันดับตามความถี่ การตัดสินใจแบบหลายเกณฑ์ วิธีถ่วงน้ำหนักผลรวมอย่างง่าย

Abstract

This study aimed to analyze and compare the critical factors influencing the selection of optimal transportation routes for agricultural products, using a case study of durian transport from Chanthaburi province to the Chiang Khong customs house in Chiang Rai province. A comprehensive review of domestic and international studies identified 35 relevant factors. The frequency ranking technique was applied to prioritize and select 9 key factors: transportation time, cost, distance, road conditions, pavement quality, road width, frequency of acceleration, route characteristics, and facility availability. The analysis employed a multi-criteria decision-making (MCDM) approach using the simple additive weighting (SAW) method to

evaluate route suitability. The results revealed that Route 3-1 obtained the highest total score, followed by routes 1-1 and 3-2. In contrast, routes 2-4 and 4-2 received the lowest scores, indicating potential infrastructure deficiencies and environmental challenges. Routes 3-1 and 4-3, with total scores of 7.6469 and 5.6250 respectively, Therefore, it could be concluded that they were the most suitable routes for durian transport. Based on the consistency of factors of time, cost and route quality, the research shows that considering multiple factors together increases route selection accuracy, reduces risk and enhances the competitiveness of the Thai agricultural sector.

Keywords: Optimal route, Frequency ranking, Multi criteria decision making, Simple additive weighting; SAW.

บทนำ

ภายใต้บริบทของเศรษฐกิจไทยที่เผชิญกับความไม่แน่นอนและการแข่งขันที่ทวีความรุนแรง ผู้ประกอบการในภาคการผลิตและโลจิสติกส์จำเป็นต้องปรับกลยุทธ์เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการดำเนินงานอย่างต่อเนื่อง หนึ่งในปัจจัยสำคัญที่ส่งผลโดยตรงต่อต้นทุน เวลา และคุณภาพของบริการโลจิสติกส์ คือ การบริหารจัดการเส้นทางการขนส่ง โดยเฉพาะในกรณีของสินค้าเกษตรประเภทผลไม้สดซึ่งมีความไวต่อระยะเวลาและสภาพแวดล้อม การเลือกเส้นทางขนส่งจึงต้องคำนึงถึงปัจจัยหลายด้าน อาทิ ระยะทาง สภาพถนน ความหนาแน่นของการจราจร ความพร้อมของสิ่งอำนวยความสะดวก และความเสี่ยงระหว่างการเดินทาง ประเทศไทยยังคงพึ่งพาระบบการขนส่งทางถนนเป็นหลัก โดยเฉพาะเส้นทางยุทธศาสตร์จากภาคตะวันออก เช่น จังหวัดจันทบุรี ไปยังด่านศุลกากรเชียงของ จังหวัดเชียงราย ซึ่งเป็นจุดเชื่อมต่อสำคัญในการส่งออกผลไม้ไปยังประเทศจีนและกลุ่มประเทศในภูมิภาคอินโดจีน อย่างไรก็ตาม ความหลากหลายในคุณภาพของโครงสร้างพื้นฐาน ตลอดจนข้อจำกัดทางภูมิศาสตร์ ส่งผลให้การวางแผนเส้นทางขนส่งที่มีประสิทธิภาพกลายเป็นความท้าทายสำคัญ

Office of the National Economic and Social Development Council (2024) ระบุว่าปริมาณการขนส่งสินค้าในปี พ.ศ. 2566 มีแนวโน้มลดลงจากปีก่อนหน้า อันเป็นผลจากภาวะเศรษฐกิจและการชะลอตัวของภาคอุตสาหกรรม แม้ว่าจะมีสัญญาณฟื้นตัวในช่วงปลายปี โดยเฉพาะการส่งออกสินค้าเกษตร เช่น ผลไม้สด ซึ่งยังคงมีปริมาณสูงอย่างต่อเนื่อง สถานการณ์ดังกล่าวสะท้อนให้เห็นถึงความจำเป็นในการพัฒนาระบบวิเคราะห์และคัดเลือกเส้นทางขนส่งที่เหมาะสม เพื่อรองรับความซับซ้อนในการดำเนินงานภายใต้ข้อจำกัดด้านทรัพยากร

กระบวนการตัดสินใจแบบหลายเกณฑ์ (Multi-Criteria Decision Making; MCDM) เป็นกระบวนการทางวิเคราะห์ที่ใช้ในการประเมินหรือเลือกทางเลือก (Alternatives) ที่ดีที่สุดภายใต้หลายเกณฑ์ (Criteria) ที่อาจขัดแย้งกัน โดยเฉพาะในสถานการณ์ที่ไม่สามารถพิจารณาเพียงเกณฑ์เดียวได้ เช่น การเลือกเส้นทางขนส่ง, การเลือกทำเลที่ตั้งคลังสินค้า, การจัดซื้อจัดจ้าง, หรือการประเมินความเสี่ยงในโครงการ ซึ่งวิธีนี้มีจุดเด่น คือ ใช้เมื่อมีหลายปัจจัยในการตัดสินใจ ช่วยให้เปรียบเทียบทางเลือกต่าง ๆ อย่างเป็นระบบ และสามารถใช้ได้กับข้อมูลเชิงปริมาณและเชิงคุณภาพ (Kahraman, 2008) และเทคนิคการถ่วงน้ำหนักผลรวมอย่างง่าย (Simple Additive Weighting; SAW) เป็นวิธีการตัดสินใจแบบหลายเกณฑ์ โดยใช้หลักการของการให้ค่าน้ำหนักกับแต่ละเกณฑ์ แล้วรวมคะแนนของแต่ละทางเลือก จึงเหมาะสมสำหรับการเลือกเส้นทางการขนส่งสินค้า เนื่องจากสามารถรวมข้อมูลหลายปัจจัยเข้าด้วยกันอย่างมีประสิทธิภาพ ใช้งานง่าย สามารถคำนวณบนโปรแกรม Excel ได้สะดวก และให้ผลลัพธ์ที่เปรียบเทียบได้ชัดเจน ซึ่งตอบโจทย์การตัดสินใจในระบบโลจิสติกส์ที่ต้องการความรวดเร็วและความแม่นยำ (Hwang, 1981).

เพื่อให้สามารถตัดสินใจเลือกเส้นทางการขนส่งสินค้าเกษตรได้อย่างมีประสิทธิภาพภายใต้ข้อจำกัดเชิงระบบ และปัจจัยแวดล้อมที่หลากหลาย งานวิจัยนี้จึงประยุกต์ใช้กระบวนการตัดสินใจแบบหลายเกณฑ์ (MCDM) โดยเฉพาะเทคนิค Simple Additive Weighting (SAW) เพื่อเปรียบเทียบทางเลือกของเส้นทางขนส่งผลไม้สดจากจังหวัดจันทบุรีไปยังด่านศุลกากรเชียงของ โดยพิจารณาจากปัจจัยที่สำคัญในเชิงพื้นที่ โครงสร้างพื้นฐาน และความคุ้มค่าทางโลจิสติกส์อย่างเป็นระบบ

เหมือนกันผู้วิจัยจึงนำปัจจัยที่มีความหมายเหมือนกันออก และสรุปปัจจัยที่ใช้ในการศึกษา จำนวน 9 ปัจจัย ได้แก่ 1) เวลาในการขนส่ง 2) ค่าใช้จ่าย/ต้นทุนการขนส่ง 3) ระยะทาง 4) สภาพของถนน 5) คุณภาพของพื้นผิวถนน/ประเภทของถนน 6) ความกว้างของถนน 7) ความถี่การเร่งความเร็ว 8) ลักษณะของเส้นทาง และ 9) สิ่งอำนวยความสะดวก

2. การรวบรวมข้อมูลจากปัจจัยที่สำคัญสำหรับเลือกเส้นทางการขนส่ง

จากการสังเคราะห์วรรณกรรม ผู้วิจัยได้รวบรวมและจัดกลุ่มปัจจัย โดยพิจารณาความซ้ำซ้อนของความหมาย และความเหมาะสมกับบริบทของพื้นที่ศึกษาในประเทศไทย ก่อนสรุปปัจจัยสำคัญ 9 รายการ พร้อมคำอธิบายและวิธีการวัดใน Table 1

Table 1 Factors used in selecting agricultural product transportation routes.

No.	Factor	Description	Measurement Method
1	Transportation time	The amount of time required to travel from the origin to the destination	Measured by travel time
2	Transportation cost / Expense	The amount of cost incurred for transportation, such as fuel costs, driver wages, vehicle depreciation, maintenance costs, etc.	Measured by cost per traveled distance
3	Distance	The distance from the origin to the destination	Measured by the traveled distance
4	Road condition	The importance and role of the road within the transportation network	Measured by road classification number reflecting structural level
5	Road surface quality / Road type	The characteristics of the road surface along the transportation route	Measured by the type of material used in road construction
6	Road width	The number of traffic lanes on the transportation route	Measured by the number of lanes
7	Speed frequency	The frequency or the achievable speed for trucks along the transportation route	Measured by average speed (km/h)
8	Route characteristics	The nature of the route, e.g., flat, hilly, or mountainous	Measured by the type of route
9	Facilities	The number of truck stops, convenience stores or restaurants, truck maintenance centers, roadside hotels, and fuel/gas stations along the route	Measured by the number of available facilities on the route

กรณีศึกษาคือการขนส่งทุเรียนจากจังหวัดจันทบุรี (ต้นทาง) ไปยังด่านศุลกากรเชียงของ จังหวัดเชียงราย (ปลายทาง) ซึ่งเป็นจุดผ่านแดนสำคัญในการส่งออกสินค้าเกษตรไปยัง สปป.ลาว และจีน โดยจำแนกเส้นทางออกเป็น 4 ชุดเส้นทาง ได้แก่ ชุดที่ 1 เส้นทางจากจันทบุรีไปยังจุดเชื่อมที่จังหวัดพิษณุโลก จำนวน 3 เส้นทาง ชุดที่ 2 เส้นทางจากจุดเชื่อมที่พิษณุโลกไปยังเชียงของ จำนวน 4 เส้นทาง ชุดที่ 3 เส้นทางจากจันทบุรีไปยังจุดเชื่อมที่ตาก จำนวน 3 เส้นทาง และชุดที่ 4 เส้นทางจากจุดเชื่อมที่ตากไปยังเชียงของ จำนวน 3 เส้นทาง สามารถแสดงข้อมูลของจังหวัดที่ผ่านได้ดัง Table 2 และแสดงเส้นทางได้ดัง Figure 2

Table 2 Routes used in the study.

Route	Number of Provinces Passed	Provinces
1-1	14	Chanthaburi, Rayong, Chonburi, Chachoengsao, Samut Prakan, Bangkok, Pathum Thani, Ayutthaya, Ang Thong, Sing Buri, Chai Nat, Nakhon Sawan, Phichit, Phitsanulok
1-2	12	Chanthaburi, Sa Kaeo, Prachinburi, Nakhon Nayok, Saraburi, Ayutthaya, Ang Thong, Sing Buri, Chai Nat, Nakhon Sawan, Phichit, Phitsanulok.
1-3	10	Chanthaburi, Sa Kaeo, Prachinburi, Nakhon Ratchasima, Saraburi, Lopburi, Phetchaburi, Nakhon Sawan, Phichit, Phitsanulok.
2-1	6	Phitsanulok, Uttaradit, Phrae, Lampang, Phayao, Chiang Rai; Destination: Chiang Khong Customs Checkpoint.
2-2	6	Phitsanulok, Uttaradit, Phrae, Lampang, Phayao, Chiang Rai; Destination: Chiang Khong Customs Checkpoint.
2-3	7	Phitsanulok, Uttaradit, Phrae, Lampang, Lamphun, Chiang Mai, Chiang Rai; Destination: Chiang Khong Customs Checkpoint.
2-4	5	Phitsanulok, Sukhothai, Lampang, Phayao, Chiang Rai; Destination: Chiang Khong Customs Checkpoint.
3-1	14	Chanthaburi, Rayong, Chonburi, Chachoengsao, Prachinburi, Nakhon Nayok, Saraburi, Ayutthaya, Ang Thong, Sing Buri, Chai Nat, Nakhon Sawan, Kamphaeng Phet, Tak.
3-2	14	Chanthaburi, Rayong, Chonburi, Chachoengsao, Prachinburi, Nakhon Nayok, Saraburi, Ayutthaya, Ang Thong, Sing Buri, Chai Nat, Nakhon Sawan, Kamphaeng Phet, Tak.
3-3	12	Chanthaburi, Sa Kaeo, Prachinburi, Nakhon Nayok, Saraburi, Ayutthaya, Ang Thong, Sing Buri, Chai Nat, Nakhon Sawan, Kamphaeng Phet, Tak.
4-1	5	Tak, Lampang, Lamphun, Chiang Mai, Chiang Rai; Destination: Chiang Khong Customs Checkpoint.
4-2	4	Tak, Lampang, Phayao, Chiang Rai; Destination: Chiang Khong Customs Checkpoint.
4-3	6	Tak, Sukhothai, Phrae, Lampang, Phayao, Chiang Rai; Destination: Chiang Khong Customs Checkpoint.

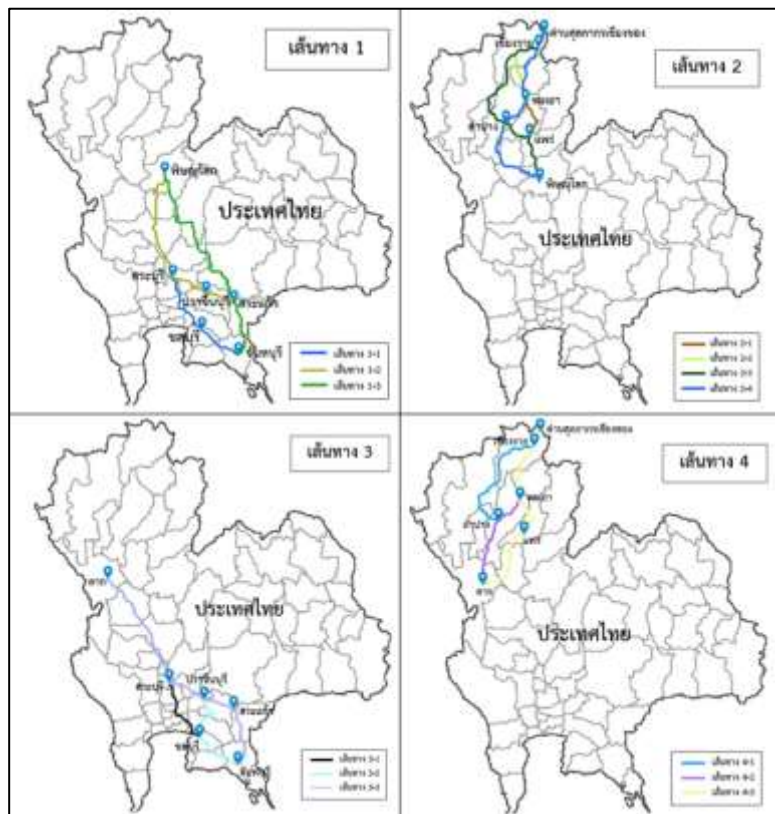


Figure 2 Study routes comprising four sets of route data.

3. การวิเคราะห์และคำนวณด้วยกระบวนการตัดสินใจแบบหลายเกณฑ์ (Multi-Criteria Decision Making; MCDM) ด้วยวิธีถ่วงน้ำหนักผลรวมอย่างง่าย (SAW)

3.1 การกำหนดค่าน้ำหนักของแต่ละปัจจัย

กระบวนการตัดสินใจแบบ SAW ใช้เพื่อประเมินความสำคัญของแต่ละปัจจัย โดยอ้างอิงการให้ค่าน้ำหนักจากกระบวนการ Analytic Hierarchy Process (AHP) ซึ่งมีระดับความสำคัญ 9 ระดับ แสดงระดับการเปรียบเทียบได้ดัง Table 3 ตามแบบจำลองของ Saaty (Brunelli, 2014)

Table 3 Levels of importance comparison.

Level of Importance	Meaning	Description
1	Equal importance	Both factors are equally important.
3	Moderate importance of one over another	One factor is moderately preferred over the other.
5	Strong or essential importance	One factor is strongly preferred over the other.
7	Very strong or demonstrated importance	One factor is very strongly preferred over the other.
9	Extreme importance	There is conclusive evidence that one factor is of the highest possible importance over the other.
2, 4, 6, 8	Intermediate values	Used as compromise values to reduce the gap between levels; indicate partial or intermediate preference between two factors.

3.2 กำหนดค่าคะแนนด้วยวิธีการเปรียบเทียบเชิงคู่ (Pairwise comparison matrix)

ในขั้นตอนนี้ นำข้อมูลจากปัจจัยต่าง ๆ ได้รับการวิเคราะห์และประเมินค่าคะแนนโดยใช้วิธีเปรียบเทียบเชิงคู่ (Pairwise comparison matrix) ซึ่งเป็นเทคนิคที่ช่วยให้สามารถเปรียบเทียบความสำคัญของปัจจัยแต่ละรายการได้อย่างแม่นยำ โดยการสร้างเมทริกซ์ขนาด $n \times n$ ซึ่ง n คือจำนวนปัจจัยที่ต้องการเปรียบเทียบ หลังจากนั้นคำนวณผลรวมในแนวนอนเพื่อปรับค่าความสำคัญให้อยู่ในช่วง 0–1 ซึ่งจะทำให้สามารถเปรียบเทียบความสำคัญของปัจจัยได้โดยไม่ขึ้นอยู่กับหน่วยวัดและขนาดของค่าที่ได้ (Fan, 2010) ดังนี้

$$A = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & \cdots & a_{1n} \\ a_{21} & a_{22} & \cdots & a_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ a_{m1} & a_{m2} & \cdots & a_{mn} \end{bmatrix} \quad (\text{Eq.2})$$

โดยที่ a_{ij} คือ ค่าความสำคัญของปัจจัย i เทียบกับปัจจัย j ตาม Saaty's Scale และ a_{ij} เท่ากับ $\frac{1}{a_{ji}}$ (หากปัจจัย i มีค่าความสำคัญมากกว่า j , ค่าของ j เทียบกับ i จะเป็นส่วนกลับ)

จากนั้นสร้างตารางเมทริกซ์การตัดสินใจ เพื่อวิเคราะห์ปัจจัยที่กำหนดทุกปัจจัย แล้วทำการหาความสำคัญของแต่ละปัจจัย และหาผลการคำนวณของแต่ละปัจจัยรวมถึงผลรวมในแนวนอน (Fan, 2010) จากแบบจำลองนี้

$$D = \begin{bmatrix} x_{11} & x_{12} & \cdots & x_{1n} \\ x_{21} & x_{22} & \cdots & x_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ x_{m1} & x_{m2} & \cdots & x_{mn} \end{bmatrix} \quad (\text{Eq.3})$$

โดยที่ a_{ij} คือ ค่าของทางเลือกที่ i ภายใต้หลักเกณฑ์ที่ j , m คือ จำนวนทางเลือก, และ n คือ จำนวนหลักเกณฑ์ หลังจากที่ได้ผลรวมของแนวนอนแล้ว ให้ดำเนินการคำนวณค่าน้ำหนักความสำคัญของปัจจัยประเมินโดยการปรับผลรวมของแต่ละปัจจัยให้เท่ากับ 1 และทำการคำนวณการหาค่าผลรวมแนวนอน เพื่อหาค่าน้ำหนักของเกณฑ์พิจารณาโดยการหาค่าเฉลี่ยของแต่ละปัจจัย

3.3 การวิเคราะห์และสรุปความสำคัญของปัจจัยที่ใช้สำหรับการเลือกเส้นทางการขนส่งสินค้าเกษตร

สำหรับการวิเคราะห์และสรุปความสำคัญของปัจจัยเพื่อการเลือกเส้นทางการขนส่งสินค้าเกษตรดำเนินการโดยการคำนวณค่าความสำคัญแบบนอร์มัลไลซ์ (Normalization) ซึ่งเป็นการปรับค่าของแต่ละเกณฑ์ให้อยู่ในช่วง 0–1 ตามสูตร normalization เพื่อให้สามารถเปรียบเทียบกันได้อย่างเท่าเทียมกัน ทั้งนี้ มีกรณีที่ต้องพิจารณาเป็นพิเศษ 2 กรณี (Triantaphyllou & Mann, 1995) ดังนี้

กรณีที่ 1 เป็นเกณฑ์ที่ต้องการค่าสูงสุด (Benefit criteria) มีสมการในการคำนวณดังนี้

$$r_{ij} = \frac{x_{ij}}{\max(x_{ij})} \quad (\text{Eq.4})$$

กรณีที่ 2 เป็นเกณฑ์ที่ต้องการค่าต่ำสุด (Cost criteria) มีสมการในการคำนวณดังนี้

$$r_{ij} = \frac{\min(x_{ij})}{x_{ij}} \quad (\text{Eq.5})$$

ภายใต้หลักเกณฑ์ที่ j , $\max(x_{ij})$ คือ ค่าสูงสุดของเกณฑ์ที่ j และ $\min(x_{ij})$ คือ ค่าต่ำสุดของเกณฑ์ที่ j

เมื่อคำนวณค่านอร์มัลไลซ์เมทริกซ์การตัดสินใจ (Normalization) แล้วทำการคำนวณค่าผลรวมแบบถ่วงน้ำหนัก (Weighted sum calculation) นำค่าที่ผ่านการตัดสินใจ แล้วมาคูณกับค่าถ่วงน้ำหนักของแต่ละหลักเกณฑ์ (w_j) แล้วรวมผลลัพธ์ (Triantaphyllou & Mann, 1995) ดังสมการนี้

$$s_i = \sum_{j=1}^n (w_j \times r_{ij}) \quad (\text{Eq.6})$$

โดยที่ s_i คือ ค่าคะแนนรวมของทางเลือกที่ i และ w_j คือ ค่าถ่วงน้ำหนักของหลักเกณฑ์ที่ j ซึ่งต้องมีค่าอยู่ในช่วง $0 \leq w_j \leq 1$ และผลรวมของค่าถ่วงน้ำหนักต้องเท่ากับ 1

ทำการจัดลำดับทางเลือก (Ranking) เรียงลำดับค่าของ s_i จากมากไปน้อย ทางเลือกที่มีค่ามากที่สุดคือทางเลือกที่ดีที่สุด และทำการเปรียบเทียบและจัดลำดับทางเลือก (Ranking the alternatives) จัดเรียงลำดับของคะแนน s_i จากมากไปน้อย และทางเลือกที่มีคะแนนรวมสูงสุด คือ ตัวเลือกที่ดีที่สุด

ผลการวิจัย

1. การวิเคราะห์ปัจจัยที่ใช้สำหรับการเลือกเส้นทางในการขนส่งสินค้าเกษตร

จากการวิเคราะห์ด้วยเทคนิคการจัดอันดับตามความถี่ (Frequency ranking) พบว่า "ระยะเวลาในการขนส่ง" เป็นปัจจัยที่มีความสำคัญสูงสุดและถูกกล่าวถึงมากที่สุดในวรรณกรรม เนื่องจากมีผลโดยตรงต่อคุณภาพของสินค้า ความรวดเร็วในการส่งมอบ และความคุ้มค่าทางเศรษฐกิจของกระบวนการขนส่ง รองลงมา ได้แก่ "ต้นทุนการขนส่ง" และ "ระยะทาง" ซึ่งถือเป็นองค์ประกอบหลักที่สะท้อนถึงประสิทธิภาพโดยรวมของระบบขนส่งสินค้าเกษตร นอกจากนี้ ผลการวิเคราะห์ยังแสดงให้เห็นถึงความสำคัญของปัจจัยรอง ได้แก่ สภาพของถนน คุณภาพของพื้นผิวถนน และสิ่งอำนวยความสะดวกระหว่างทาง ซึ่งล้วนมีบทบาทในการส่งเสริมความปลอดภัย ลดความเสี่ยงในการขนส่ง โดยเฉพาะในกรณีของสินค้าเกษตรที่ไวต่อแรงกระแทก เช่น ผลไม้สด สารสำคัญเหล่านี้ได้นำมาสู่การกำหนดตัวแปรหลักเพื่อใช้ในการพัฒนาแบบจำลองการวิเคราะห์เส้นทางที่เหมาะสมตามรายละเอียดใน Table 4

Table 4 Assignment of variable values for factors used in agricultural product transportation route selection.

Variable	Factor
X1	Transportation time.
X2	Transportation cost / Expense.
X3	Distance.
X4	Road condition.
X5	Road surface quality / Road type.
X6	Infrastructure / Road width.
X7	Speed frequency.
X8	Route characteristics.
X9	Facilities.

2. การวิเคราะห์และการคำนวณโดยกระบวนการตัดสินใจแบบหลายเกณฑ์ด้วยวิธีถ่วงน้ำหนักผลรวมอย่างง่าย (Simple Additive Weighting; SAW)

ในการศึกษานี้ ได้ดำเนินการวิเคราะห์เส้นทางการขนส่งสินค้าเกษตร โดยใช้กรณีศึกษาการขนส่งทุเรียนจากจังหวัดจันทบุรี (ต้นทาง) ไปยังด่านศุลกากรเชียงของ จังหวัดเชียงราย (ปลายทาง) เพื่อหาทางเลือกที่มีความเหมาะสมที่สุด โดยใช้ปัจจัยจำนวน 9 ปัจจัยที่กำหนดไว้เบื้องต้น และวิเคราะห์ตามลำดับขั้นตอนดังนี้

1. การประเมินค่าน้ำหนักของแต่ละเกณฑ์โดยใช้เทคนิคการวิเคราะห์เชิงคุณภาพแบบหลายเกณฑ์ (SAW) โดยสร้างตารางเปรียบเทียบเชิงคู่ (Pairwise comparison matrix) เพื่อวิเคราะห์ความสำคัญของเกณฑ์แต่ละปัจจัย ซึ่งคะแนนน้ำหนักมาจากการเก็บรวบรวมข้อมูลเชิงปริมาณของแต่ละปัจจัยในทุกเส้นทางที่ศึกษาที่ได้มาจากการวิธีการวัดตาม Table 1 โดยที่ผู้วิจัยจะทำการแปลงข้อมูลเชิงปริมาณดังกล่าวให้เป็นไปตามลำดับชั้น 1 ถึง 9 และทำตารางการตัดสินใจ (Decision matrix) เพื่อเปรียบเทียบความสำคัญของแต่ละปัจจัยต้องดำเนินการเปรียบเทียบกับทุกปัจจัย แสดงตัวอย่างตารางการเปรียบเทียบได้ดัง Table 5

Table 5 Example of pairwise comparison of factor importance.

Factor	Rating																		Factor	
X1	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	X2
X1	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	X3
X1	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	X4
X1	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	X5
X1	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	X6
X1	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	X7
X1	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	X8
X1	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	X9
X2	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	X1
X2	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	X3
X2	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	X4
X2	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	X5
X2	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	X6
X2	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	X7
X2	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	X8
X2	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	X9

2. การสร้างตารางเมทริกซ์ เพื่อแสดงผลลัพธ์ค่าน้ำหนักของแต่ละเกณฑ์จากการเปรียบเทียบเชิงคู่ โดยอาศัยข้อมูลใน Table 6

Table 6 Weights of each factor criterion.

Factor	X1	X2	X3	X4	X5	X6	X7	X8	X9
X1	1	3	3	3	3	5	5	5	7
X2	1/3	1	1	1	1	3	3	3	5
X3	1/3	1	1	1	1	3	3	3	5
X4	1/3	1	1	1	1	3	3	3	5
X5	1/3	1	1	1	1	3	3	3	5
X6	1/5	1/3	1/3	1/3	1/3	1	1	1	3
X7	1/5	1/3	1/3	1/3	1/3	1	1	1	3
X8	1/5	1/3	1/3	1/3	1/3	1	1	1	3
X9	1/7	1/5	1/5	1/5	1/5	1/3	1/3	1/3	1

3. การคำนวณค่าน้ำหนักความสำคัญของเกณฑ์โดยการปรับผลรวมของแต่ละปัจจัย (คอลัมน์) ให้เท่ากับ 1 และสร้างปัจจัย (คอลัมน์) น้ำหนักโดยการหาค่าเฉลี่ยของแต่ละแถว และสรุปผลการคำนวณโดยรวมผลรวมแนวตั้งและแนวนอนของค่าความสำคัญ เพื่อคำนวณค่าน้ำหนักของแต่ละเกณฑ์ที่ใช้ในการวิเคราะห์เส้นทางในขั้นตอนต่อไป ซึ่งแสดงใน Table 7

Table 7 Weights of criteria used in the SAW technique and total weights.

Factor	X1	X2	X3	X4	X5	X6	X7	X8	X9	Horizontal Sum	Weight	% of Weight
X1	0.3251	0.3659	0.3659	0.3659	0.3659	0.2459	0.2459	0.2459	0.1892	2.7154	0.3017	30.17
X2	0.1084	0.1220	0.1220	0.1220	0.1220	0.1475	0.1475	0.1475	0.1351	1.1739	0.1304	13.04
X3	0.1084	0.1220	0.1220	0.1220	0.1220	0.1475	0.1475	0.1475	0.1351	1.1739	0.1304	13.04
X4	0.1084	0.1220	0.1220	0.1220	0.1220	0.1475	0.1475	0.1475	0.1351	1.1739	0.1304	13.04
X5	0.1084	0.1220	0.1220	0.1220	0.1220	0.1475	0.1475	0.1475	0.1351	1.1739	0.1304	13.04

Factor	X1	X2	X3	X4	X5	X6	X7	X8	X9	Horizontal Sum	Weight	% of Weight
X6	0.0650	0.0407	0.0407	0.0407	0.0407	0.0492	0.0492	0.0492	0.0811	0.4562	0.0507	5.06
X7	0.0650	0.0407	0.0407	0.0407	0.0407	0.0492	0.0492	0.0492	0.0811	0.4562	0.0507	5.06
X8	0.0650	0.0407	0.0407	0.0407	0.0407	0.0492	0.0492	0.0492	0.0811	0.4562	0.0507	5.06
X9	0.0464	0.0244	0.0244	0.0244	0.0244	0.0164	0.0164	0.0164	0.0270	0.2202	0.2202	2.43
Vertical Sum	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	9.0000	1.0000	100

4. การปรับค่ามาตรฐานการตัดสินใจ (Normalization) ให้สอดคล้องกับช่วงค่าที่เหมาะสมของแต่ละปัจจัย โดยที่แต่ละปัจจัยจะมีข้อมูลที่มีความแตกต่างกัน ซึ่งปัจจัยทั้ง 9 ปัจจัยเป็นข้อมูลที่มี 2 กรณี คือ กรณีที่เป็นเกณฑ์ต้องการค่าสูงสุด และกรณีที่เป็เกณฑ์ต้องการค่าต่ำสุด เช่น ปัจจัยด้านเวลาในการขนส่งค่าต่ำสุด คือ ค่าที่ดีที่สุด หรือปัจจัยด้านความกว้างของถนนค่าสูงสุด คือ ค่าที่ดีที่สุด และนำผลลัพธ์ที่ได้มาใช้ในการเตรียมข้อมูลเพื่อทำการวิเคราะห์ในขั้นตอนต่อไป ซึ่งจะทำให้เห็นว่าปัจจัยบางปัจจัยจะมีค่าเท่ากันหลาย ๆ เส้นทาง แต่ถ้าข้อมูลของปัจจัยมีความต่างกันผลลัพธ์ที่ได้จะแตกต่างกัน ดังนั้นข้อมูลที่น่ามาใช้ในการวิเคราะห์ต้องห้ามมีข้อผิดพลาด หรือมีข้อผิดพลาดที่น้อยมาก ดัง Table 8

Table 8 Normalized decision matrix of each factor.

Factor Route	X1	X2	X3	X4	X5	X6	X7	X8	X9
1-1	0.7231	1,200.54	47.5462	8.1538	9.00	8.3077	66.5654	10.00	3.5385
1-2	0.9182	1,445.22	57.2364	7.3636	9.00	7.0909	62.9877	10.00	3.7273
1-3	1.2513	1,850.26	73.2778	6.4444	9.00	5.8889	59.3670	10.00	3.6667
2-1	1.4400	2,111.32	83.6167	7.4450	9.00	6.1667	58.1729	8.67	4.1667
2-2	1.4247	1,959.82	77.6167	6.4450	9.00	5.8333	54.8363	8.67	3.6667
2-3	1.6467	2,184.13	86.5000	7.2857	9.00	6.0000	56.4194	7.43	3.5714
2-4	2.1510	2,864.36	113.4400	6.3340	9.00	5.6000	52.8418	9.20	3.6000
3-1	0.7508	1,257.45	49.8000	8.7692	9.00	8.4615	66.9156	10.00	4.1538
3-2	0.8262	1,280.18	50.7000	7.6923	9.00	7.0000	61.2314	10.00	4.0769
3-3	0.9509	1,512.48	59.9000	8.0909	9.00	7.2727	63.4015	10.00	4.0909
4-1	2.0093	2,779.52	110.0800	7.6000	9.00	6.4000	58.2916	8.00	4.0000
4-2	2.1558	2,966.24	117.4750	7.0000	9.00	6.2500	53.1784	9.50	4.0000
4-3	1.6556	2,219.05	87.8833	6.3333	9.00	5.6667	53.7813	9.00	3.6667

5. การคำนวณคะแนนสำหรับการคัดเลือกเส้นทางโดยใช้กระบวนการตัดสินใจแบบหลายเกณฑ์ (Multiple Criteria Decision Making; MCDM) ด้วยวิธีถ่วงน้ำหนักผลรวมอย่างง่าย โดยนำค่าความสำคัญที่ได้จากขั้นตอนก่อนหน้าและค่ามาตรฐานการตัดสินใจมารวมกัน เพื่อกำหนดระดับคะแนนในแต่ละเส้นทาง โดยใช้การทำการแบ่งช่วงชั้นของข้อมูลของแต่ละปัจจัยให้แต่ละช่วงครอบคลุมค่าที่อยู่ในขอบเขตที่กำหนดสำหรับการนำผลไปใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูล แบ่งระดับออกเป็น 9 ชั้น ซึ่งเป็นการเปรียบเทียบและคำนวณคะแนนในแต่ละเส้นทางตามข้อมูลใน Table 9

Table 9 Results of scores using the SAW method.

Factor	X1	X2	X3	X4	X5	X6	X7	X8	X9	Total
Weight	0.3017	0.1304	0.1304	0.1304	0.1304	0.0507	0.0507	0.0507	0.0245	1
1-1	7.875	7.875	7.875	6.75	7.875	6.75	2.25	9	5.625	
1-2	7.875	6.75	6.75	5.625	7.875	4.5	3.375	9	6.75	
1-3	6.75	5.625	5.625	3.375	7.875	2.25	4.5	9	5.625	
SAW 1-1	2.3760	1.0272	1.0272	0.8804	1.0272	0.3422	0.1141	0.4562	0.1376	7.3881
SAW 1-2	2.3760	0.8804	0.8804	0.7337	1.0272	0.2281	0.1711	0.4562	0.1652	6.9183

Factor	X1	X2	X3	X4	X5	X6	X7	X8	X9	Total
SAW 1-3	2.0365	0.7337	0.7337	0.4402	1.0272	0.1141	0.2281	0.4562	0.1376	5.9074
2-1	5.6250	5.625	5.625	5.625	7.875	3.375	4.5	7.875	7.875	
2-2	6.7500	5.625	5.625	3.375	7.875	2.25	4.5	7.875	5.625	
2-3	5.6250	5.625	5.625	4.5	7.875	2.25	5.625	6.75	5.625	
2-4	4.5	3.375	3.375	3.375	7.875	2.25	6.75	9	5.625	
SAW 2-1	1.6971	0.7337	0.7337	0.7337	1.0272	0.1711	0.2281	0.3992	0.1927	5.9165
SAW 2-2	2.0365	0.7337	0.7337	0.4402	1.0272	0.1141	0.2281	0.3992	0.1376	5.8504
SAW 2-3	1.6971	0.7337	0.7337	0.5870	1.0272	0.1141	0.2851	0.3422	0.1376	5.6577
SAW 2-4	1.3577	0.4402	0.4402	0.4402	1.0272	0.1141	0.3422	0.4562	0.1376	4.7556
3-1	7.875	7.875	7.875	7.875	7.875	6.75	3.375	9	7.875	
3-2	7.875	7.875	7.875	5.625	7.875	4.5	4.5	9	6.75	
3-3	7.875	6.75	6.75	6.75	7.875	3.375	3.375	9	6.75	
SAW 3-1	2.3760	1.0272	1.0272	1.0272	1.0272	0.3422	0.1711	0.4562	0.1927	7.6469
SAW 3-2	2.3760	1.0272	1.0272	0.7337	1.0272	0.2281	0.2281	0.4562	0.1652	7.2688
SAW 3-3	2.3760	0.8804	0.8804	0.8804	1.0272	0.1711	0.1711	0.4562	0.1652	7.0080
4-1	4.5	4.5	4.5	5.625	7.875	3.375	4.5	6.75	6.75	
4-2	4.5	3.375	3.375	4.5	7.875	3.375	6.75	9	6.75	
4-3	5.625	5.625	5.625	3.375	7.875	2.25	6.75	7.875	5.625	
SAW 4-1	1.3577	0.5870	0.5870	0.7337	1.0272	0.1711	0.2281	0.3422	0.1652	5.1990
SAW 4-2	1.3577	0.4402	0.4402	0.5870	1.0272	0.1711	0.3422	0.4562	0.1652	4.9869
SAW 4-3	1.6971	0.7337	0.7337	0.4402	1.0272	0.1141	0.3422	0.3992	0.1376	5.6250

ผลการวิเคราะห์ด้วยวิธีถ่วงน้ำหนักผลรวมอย่างง่าย (SAW) แสดงให้เห็นว่า เส้นทางที่มีคะแนนสูงที่สุดในแต่ละกลุ่มประกอบไปด้วย เส้นทางกลุ่มที่ 1 คือ เส้นทาง 1-1 ด้วยคะแนน 7.3881 เส้นทางกลุ่มที่ 2 คือ เส้นทาง 2-1 ด้วยคะแนน 5.9165 เส้นทางกลุ่มที่ 3 คือ เส้นทาง 3-1 ด้วยคะแนน 7.6469 และเส้นทางกลุ่มที่ 4 คือ เส้นทาง 4-3 ด้วยคะแนน 5.6250 ซึ่งนำไปสู่การสรุปเส้นทางที่เหมาะสมในการขนส่งจากจุดต้นทางไปยังปลายทาง โดยสามารถแบ่งกลุ่มเส้นทางได้จากคะแนนที่มีค่าการคำนวณมากที่สุด ดังนี้ เส้นทางชุดที่ 1 ประกอบไปด้วยเส้นทาง 3-1 และ 4-3 และเส้นทางชุดที่ 2 ประกอบไปด้วยเส้นทาง 1-1 และ 2-1 เป็นเส้นทางที่เหมาะสมสำหรับการขนส่งสินค้าเกษตรที่มีประสิทธิภาพมากที่สุด

การอภิปรายผล

การศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อวิเคราะห์และเปรียบเทียบเส้นทางการขนส่งสินค้าเกษตร โดยเฉพาะในกรณีศึกษาการขนส่งทุเรียนจากจังหวัดจันทบุรีไปยังด่านศุลกากรเชียงของ จังหวัดเชียงราย ซึ่งเป็นจุดผ่านแดนสำคัญของประเทศไทยในการส่งออกสินค้าเกษตรไปยังประเทศเพื่อนบ้าน ผลการศึกษานี้สะท้อนให้เห็นถึงประโยชน์ของการบูรณาการระหว่างเทคนิคการจัดอันดับความถี่ กับเทคนิคการถ่วงน้ำหนักผลรวมอย่างง่ายสำหรับการวิเคราะห์เลือกเส้นทางการขนส่งสินค้าเกษตร

การใช้เทคนิคการจัดอันดับความถี่ทำให้สามารถจำแนกปัจจัยสำคัญจากกลุ่มข้อมูลขนาดใหญ่ได้อย่างเป็นระบบ จากการรวบรวมข้อมูลปัจจัยทั้งหมด 35 ปัจจัย พบว่ามีเพียง 9 ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการตัดสินใจเลือกเส้นทางอย่างเด่นชัด และมีความครอบคลุมทั้งด้านต้นทุน ระยะทาง สภาพเส้นทาง และสิ่งอำนวยความสะดวก ซึ่งปัจจัยดังกล่าวเป็นองค์ประกอบสำคัญในระบบโลจิสติกส์ของสินค้าที่มีความเปราะบางโดยเฉพาะสินค้าเกษตร

ผลการวิเคราะห์และการประเมินเส้นทางด้วยเทคนิคการถ่วงน้ำหนักผลรวมอย่างง่าย (SAW) พบว่าเส้นทาง 3-1 ได้คะแนนรวมสูงสุด (7.6469) ซึ่งสอดคล้องกับลักษณะของเส้นทางที่สามารถรองรับการขนส่งได้ดี ทั้งในด้านคุณภาพของถนน ระยะทาง และต้นทุนรวม รองลงมาคือเส้นทาง 1-1 (7.3881) และ 3-2 (7.2688) ซึ่งยังคงแสดงศักยภาพในระดับสูงมีคะแนนใกล้เคียงกันและอาจเป็นทางเลือกที่เหมาะสมในบางบริบท ขณะที่เส้นทางที่ได้คะแนนต่ำที่สุด ได้แก่ 2-4 (4.7556) และ 4-2 (4.9869) สะท้อนให้เห็นถึงข้อจำกัดที่ส่งผลกระทบโดยตรงต่อคุณภาพการขนส่ง อาทิ ความแคบของถนน พื้นผิวที่ขรุขระ และการขาดสิ่งอำนวยความสะดวกระหว่างทาง

ผลการศึกษาครั้งนี้ชี้ให้เห็นว่า การพิจารณาเพียงตัวแปรใดตัวแปรหนึ่ง เช่น ระยะทางหรือค่าใช้จ่าย อาจนำไปสู่การตัดสินใจที่ไม่เหมาะสมได้ โดยเฉพาะในกรณีของสินค้าเกษตรที่ต้องอาศัยการรักษาคุณภาพอย่างเข้มงวด จึงจำเป็นต้องมีการวิเคราะห์เชิงพหุปัจจัยที่ครอบคลุมทั้งด้านกายภาพ เศรษฐกิจ และโลจิสติกส์ เพื่อให้ได้ทางเลือกของเส้นทางที่เหมาะสมอย่างแท้จริง

บทสรุป

งานวิจัยฉบับนี้นำเสนอแนวทางการวิเคราะห์และคัดเลือกเส้นทางขนส่งสินค้าเกษตร โดยใช้เทคนิคการจัดอันดับความถี่ เพื่อคัดกรองปัจจัยที่มีความสำคัญสูงสุด และเทคนิคการถ่วงน้ำหนักผลรวมอย่างง่าย สำหรับการประเมินความเหมาะสมของทางเลือกเส้นทางขนส่งสินค้าเกษตรในเชิงปริมาณ โดยมุ่งเน้นกรณีศึกษาการขนส่งทุเรียนจากต้นทาง คือ จังหวัดจันทบุรีไปยังปลายทาง คือ ด้านศุลกากรเชียงของ จังหวัดเชียงราย

จากผลการศึกษา พบว่าเส้นทาง 3-1 (7.6469) เป็นเส้นทางที่มีความเหมาะสมสูงสุด ทั้งในด้านระยะเวลา ต้นทุน และสภาพแวดล้อมการขนส่ง รองลงมาคือเส้นทาง 1-1 (7.3881) และ 3-2 (7.2688) ขณะที่เส้นทาง 2-4 (4.7556) และ 4-2 (4.9869) ได้คะแนนต่ำที่สุด แสดงให้เห็นถึงข้อจำกัดด้านโครงสร้างพื้นฐาน คุณภาพของถนน และความปลอดภัยในการขนส่ง โดยที่เส้นทางที่เหมาะสมที่สุดในการขนส่งสินค้าเกษตรจากภาคตะวันออกไปยังภาคเหนือ คือ เส้นทาง 3-1 เป็นเส้นทางที่ได้คะแนนรวมมากที่สุดสำหรับการประเมินคะแนนจากต้นทางไปยังจุดเชื่อมต่อที่จะต่อไปยังปลายทาง และเส้นทาง 4-3 เป็นเส้นทางที่ได้คะแนนมากที่สุดสำหรับการประเมินคะแนนจากจุดเชื่อมต่อของเส้นทางไปยังปลายทาง คือ ด้านศุลกากรเชียงของ จังหวัดเชียงราย โดยเส้นทางทั้ง 2 เส้นทางนี้จะเชื่อมต่อกันเป็นเส้นทางจากต้นทางไปยังปลายทางผ่านจังหวัดสำคัญหลายแห่ง และเชื่อมต่อไปยังด้านศุลกากรเชียงของได้อย่างมีประสิทธิภาพ โดยเส้นทางจะเริ่มต้นจากจังหวัดจันทบุรี ผ่านจังหวัดระยอง ชลบุรี ฉะเชิงเทรา นครนายก สระบุรี ออยุธยา อ่างทอง สิงห์บุรี ชัยนาท นครสวรรค์ กำแพงเพชร ตาก ลำปาง ลำพูน และเชียงใหม่ ไปยังปลายทางที่ด้านศุลกากรเชียงของ จังหวัดเชียงราย

ผลการศึกษาสามารถนำไปประยุกต์ใช้ในการวางแผนเส้นทางของผู้ประกอบการ ตลอดจนใช้เป็นข้อมูลสนับสนุนการกำหนดนโยบายด้านโลจิสติกส์เกษตรในระดับพื้นที่และระดับประเทศ อันจะช่วยลดต้นทุนการดำเนินงาน คงคุณภาพสินค้า และเพิ่มศักยภาพการแข่งขันของภาคการเกษตรอย่างยั่งยืน

กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบพระคุณเป็นอย่างสูงสำหรับข้อเสนอแนะและคำแนะนำอันมีคุณค่าจากผู้ทรงคุณวุฒิ และขอขอบคุณการสนับสนุนจากคณะโลจิสติกส์และซัพพลายเชนดิจิทัล มหาวิทยาลัยนครสวรรค์ และขอขอบคุณแหล่งข้อมูลที่เปิดเผยทางราชการ ศูนย์ข้อมูลการขนส่งด้วยรถบรรทุก กรมการขนส่งสินค้า กรมการขนส่งทางบก, ศูนย์เทคโนโลยีสารสนเทศและการสื่อสาร สำนักงานปลัดกระทรวงคมนาคม, สำนักงานนโยบายและแผนการขนส่งและจราจร (สนข.) และกรมทางหลวง ประเทศไทย

เอกสารอ้างอิง

- Al-Dairi, M., Pathare, P. B., Al-Yahyai, R., & Opara, U. L. (2022). Mechanical damage of fresh produce in postharvest transportation: Current status and prospects. *Trends in Food Science & Technology*, 124, 195-207.
- Asawakulchai, S. (2017). Traffic route for the shortest path travelling using Dijkstra algorithm. *Association of Private Higher Education Institutions of Thailand under the Patronage of Her Royal Highness Princess Mahachakri Sirindhorn*, 6(1), 5-14. (In Thai)
- Bigaran Aliotte, J. T., & Ramos de Oliveira, A. L. (2022). *Multicriteria decision analysis for fruits and vegetables routes based on the food miles concept*. *Revista de la Facultad de Ciencias Agrarias UNCuyo*.

- Bitzios, D., & Ferreira, L. (1993). Factors affecting route choice of commercial vehicle drivers. In *Proceedings of the 18th Australasian Transport Research Forum (ATRF)* (Vol. 18, Part 1, pp. 27–40). Australasian Transport Research Forum.
- Brunelli, M. (2014). *Introduction to the analytic hierarchy process*. Springer.
- Chiang Khong Customs. (2023). *Top 10 export commodity values at Chiang Khong Customs*. Chiang Rai, Thailand: Chiang Khong Customs. (In Thai)
- Fernando, I., Fei, J., Stanley, R., & Enshaei, H. (2018). Measurement and evaluation of the effect of vibration on fruits in transit. *Packaging Technology and Science*, 31(11), 723-738.
- Fulzele, V., Shankar, R., & Choudhary, D. (2019). A model for the selection of transportation modes in the context of sustainable freight transportation. *Industrial Management & Data Systems*, 119(8), 1764-1784.
- Goodwin, P., & Khachaturov, T. (1983). *The Economics of Long-Distance Transportation: Proceedings of a Conference held by the International Economic Association*. Springer.
- Hwang, C. L., & Yoon, K. (1981). *Multiple attribute decision making: Methods and applications*. Springer-Verlag.
- Ilgilar, C. (2023). Analysis of Perishable Goods Transportation. *European Journal of Business and Innovation Research*, 11(7), 35-72.
- Issa, I. M., Munishi, E. J., & Mubarak, K. (2022). Challenges facing transportation of urban fruits and vegetables supply chain continuum in Dar Es Salaam, Tanzania. *Business Education Journal*, 10(3). Retrieved from <https://www.ajol.info/index.php/bej/article/view/234744>
- Jaimook, S. (2017). *Factors effecting the development of the logistics system on road goods transportation in Chiang Mai province* (Unpublished master's thesis). Maejo University. (In Thai)
- Jantawong, P. (2021). Transport Route Selection for transporting products to China with TOPSIS-ROC Technique. *MUT Journal of Business Administration*, 18(2), 130-155. (In Thai)
- Jarimopas, B., Singh, S. P., & Saengnil, W. (2005). Measurement and analysis of truck transport vibration levels and damage to packaged tangerines during transit. *Packaging Technology and Science: An International Journal*, 18(4), 179-188. (In Thai)
- Jun, Y., & Wei, C. (2010). AHP application in the selection of routes for hazardous materials transportation. In *2010 International Conference on Optoelectronics and Image Processing (ICOIP 2010)* (pp. 189–191).
- Kahraman, C. (Ed.). (2008). *Multi-criteria decision making: Fuzzy sets and applications*. Springer: Berlin, Germany.
- Karimi, D., Rashvand, M., & Shokrian, A. (2019). Effect of road vibrations on the mechanical properties of olive fruit during transport. *Am. J. Mechan. Appl*, 7, 30-34.
- Khanai, A. (2008). *Transportation management (2nd ed.)*. Vision Prepress. (In Thai)
- Kim, G.-S., Jung, H.-M., Kim, K.-B., & Kim, M.-S. (2008). Vibration Measurement and Analysis During Fruits Distribution for Optimum Packaging Design. *Journal of Biosystems Engineering*, 33(1), 38-44.
- Lü, E., Lu, H., Zhang, D., Yang, Z., & Liu, Y. (2010). Investigation and analysis of fruits and vegetables transportation. In *Proceedings of the 2010 Pittsburgh, Pennsylvania Conference on Agricultural and Biological Engineering* (Paper No. 1009660).
- MacCrimmon, K. R. (1968). *Decision making among multiple-attribute alternatives: A survey and consolidated approach*. RAND Memorandum, RM-4823-ARPA, 1-21.

- Meethom & Pornchaivivat. (2011). Design of decision support system for multimodal transportation route selecting between Thailand and Vietnam. *Engineering and Applied Science Research*, 38(2), 187–195. (In Thai)
- Namfon, P., & Phatranit, K. (2020). *Transportation route planning using the saving algorithm: A case study of a plastic pellet factory* (Unpublished bachelor's thesis). Dhurakij Pundit University, College of Innovation in Technology and Engineering. (In Thai)
- Nasution, S. M., Husni, E., Kuspriyanto, K., & Yusuf, R. (2022). Personalized route recommendation using F-AHP-Express. *Sustainability*, 14(17), 10831.
- Negi, S., & Wood, L. C. (2019). Transportation lead time in perishable food value chains: an Indian perspective. *International Journal of Value Chain Management*, 10(4), 290-315.
- Nitidetch Koohathongsumrit. (2017). Optimal selection of transportation routes using a 0–1 goal programming model. *Phranakhon Rajabhat Research Journal*, 12(2). (In Thai)
- Office of the National Economic and Social Development Council. (2024). *Thailand's logistics report 2023*. NESDC. (In Thai)
- Orjuela-Castro, J. A., Orejuela-Cabrera, J. P., & Adarme-Jaimes, W. (2019). Last mile logistics in mega-cities for perishable fruits. *Journal of Industrial Engineering and Management*, 12(2), 318-327.
- Osvald, A., & Stirn, L. Z. (2008). A vehicle routing algorithm for the distribution of fresh vegetables and similar perishable food. *Journal of food engineering*, 85(2), 285-295.
- Pamučar, D., & Čirović, G. (2018). Vehicle route selection with an adaptive neuro fuzzy inference system in uncertainty conditions. *Decision Making: Applications in Management and Engineering*, 1(1), 13-37.
- Peterson, E. B., Grant, J. H., & Rudi-Poloshka, J. (2018). Survival of the fittest: Export duration and failure into united states fresh fruit and vegetable markets. *American Journal of Agricultural Economics*, 100(1), 23-45.
- Pretorius, C. J. (2016). *The influence of road condition on the shelf-life of tomatoes*. In Functional Pavement Design (pp. 1381-1389). CRC Press.
- Rahul, J. K., Khayer, N., Uddin, M. F., Chakraborty, S., & Haque, M. R. (2022, December). Considerations in the design of an efficient network to transport perishable crops. In *Proceedings of the 5th International Conference on Industrial & Mechanical Engineering and Operations Management (IMEOM 2022)*. IEOM Society International.
- Ren, Q. (2022). The Optimal Route Selection Model of Fresh Agricultural Products Transportation Based on Bee Colony Algorithm. *International Journal of Advanced Computer Science and Applications*, 13(12).
- Sarjono, H. (2014). Determination of best route to minimize transportation costs using nearest neighbor procedure. *Applied Mathematical Sciences*, 8(62), 3063-3074.
- Schoorl, D., & Holt, J. (1982). Road-vehicle-load interactions for transport of fruit and vegetables. *Agricultural systems*, 8(2), 143-155.
- Soleimani, B., & Ahmadi, E. (2015). Evaluation and analysis of vibration during fruit transport as a function of road conditions, suspension system and travel speeds. *Engineering in agriculture, environment and food*, 8(1), 26-32.
- Sungtrisearn, P., & Ponanan, K. (2022). *Measurement model of rail freight performance indicator: Case study Mae Sot–Tak–Kamphaeng Phet–Nakhon Sawan double-track railway* (Unpublished master's thesis). Naresuan University, Faculty of Logistics and Digital Supply Chain. (In Thai)

- Taki, S. (2023). Optimizing the transportation route in the distribution network using Fuzzy AHP multi-criteria decision making. *Journal of New Research Approaches in Industrial & Management Sciences*, 9(29).
- Thakur, K., Maji, S., Maity, S., Pal, T., & Maiti, M. (2023). Multiroute fresh produce green routing models with driver fatigue using Type-2 fuzzy logic-based DFWA. *Expert Systems with Applications*, 229, 120300.
- Tidatip & Piyamas. (2024). *Factors affecting choice of Rom Klao truck terminal services of goods transport operators*. Ramkhamhaeng University Journal: Graduate School, 7(2), 43–58. (In Thai)
- Tirkolaee, E. B., Hadian, S., Weber, G. W., & Mahdavi, I. (2020). A robust green traffic-based routing problem for perishable products distribution. *Computational Intelligence*, 36(1), 80-101.
- Triantaphyllou, E., & Mann, S. H. (1995). Using the analytic hierarchy process for decision making in engineering applications: some challenges. *International journal of industrial engineering: applications and practice*, 2(1), 35-44.
- Wang, Y., Zhang, Q., & Liu, X. (2018). Application of AHP method in agricultural product logistics: A study on export routes from China to Vietnam. *Journal of Transport and Supply Chain Management*, 12(1), 1–9.
- Wu, M. Y., Ke, C. K., & Lai, S. C. (2022). Optimizing the routing of urban logistics by context-based social network and multi-criteria decision analysis. *Symmetry*, 14(9), 1811.
- Zheng, D., Chen, J., Lin, M., Wang, D., Lin, Q., Cao, J., Yang, X., Duan, Y., Ye, X., & Sun, C. (2022). Packaging design to protect Hongmeiren orange fruit from mechanical damage during simulated and road transportation. *Horticulturae*, 8(3), 258.

Received: March 18, 2025; Revised: June 6, 2025; Accepted: September 11, 2025

การประเมินคุณภาพและองค์ประกอบทางเคมีของปลาสร้อยแห้ง ผงปลาชิวแก้ว ไข่น้ำแห้ง
และการประยุกต์ใช้ในการผลิตผงโรยข้าว
Evaluation of quality and proximate composition of striped catfish floss,
Thai river sprat fish powder, dried water meal and application of
rice seasoning powder production

จักรินทร์ ตรีนทอง^{1*} ปิยะฉัตร วิริยะอำไพวงศ์¹ และวิระจิตร คุณราชฤทธิ์¹
Jukkarn Treeinthong^{1*}, Piyachat Wiriyampaiwong¹ and Wirajit Koonrach¹

¹คณะเทคโนโลยีการเกษตร มหาวิทยาลัยกาฬสินธุ์ จังหวัดกาฬสินธุ์

¹Faculty of Agricultural Technology, Kalasin university, Kalasin Province

*Corresponding Author E-mail Address : jukkarn.tr@ksu.ac.th

บทคัดย่อ

ปัจจุบันผลิตภัณฑ์อาหารเพื่อสุขภาพได้รับความนิยมเพิ่มขึ้น ส่งผลให้มีการนำวัตถุดิบท้องถิ่นที่มีคุณค่าทางโภชนาการสูง มาพัฒนาเป็นผลิตภัณฑ์อาหารมากขึ้น อย่างไรก็ตามข้อมูลด้านคุณภาพและองค์ประกอบทางเคมีของวัตถุดิบมีความสำคัญต่อการพัฒนาผลิตภัณฑ์อาหารที่มีประสิทธิภาพ งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อประเมินคุณภาพและองค์ประกอบทางเคมีของ ปลาสร้อยแห้ง (Striped catfish floss; SCF) ผงปลาชิวแก้ว (Thai river sprat fish powder; TRS-FP) และไข่น้ำแห้ง (Dried water meal; DWM) รวมทั้งการศึกษากายภาพของวัตถุดิบในการผลิตเป็นผงโรยข้าว ผลการศึกษา พบว่า SCF มีปริมาณโปรตีน คาร์โบไฮเดรต ไขมัน และเยื่อใย เท่ากับ 44.87, 42.06, 5.53, 0.94 และ 0.44% ตามลำดับ TRS-FP มีปริมาณโปรตีน คาร์โบไฮเดรต ไขมัน และเยื่อใย เท่ากับ 76.13, 9.84, 5.31, 2.90 และ 1.85% ตามลำดับ ขณะที่ DWM มีปริมาณคาร์โบไฮเดรต โปรตีน ไขมัน และเยื่อใย เท่ากับ 64.73, 25.58, 1.37, 0.92 และ 0.55% ตามลำดับ วัตถุดิบทั้งสามชนิดมีปริมาณความชื้น (ช่วง 3.97-6.86%) และมีค่า Water activity (0.257-0.354) อยู่ในระดับต่ำ เมื่อนำไปผลิต ผงโรยข้าวโดยใช้ SCF (46.09%) TRS-FP (17.39%) และ DWM (13.04%) พบว่า มีปริมาณโปรตีน ไขมัน เยื่อใย ไขมัน และ คาร์โบไฮเดรต เท่ากับ 40.57, 9.22, 6.04, 11.34 และ 27.95% ตามลำดับ และมีสมบัติเป็นสารต้านอนุมูลอิสระซึ่งมีค่า DPPH radicals scavenging activity เท่ากับ 60.41% ค่า ABTS radicals scavenging activity เท่ากับ 1001.04 $\mu\text{M TE/g}$ และ ค่า FRAP value เท่ากับ 7.334 mM Fe^{2+} equivalents/g ผงโรยข้าวมีคะแนนความชอบโดยรวมอยู่ที่ระดับ ชอบปานกลาง (7.10 คะแนน) ดังนั้น สามารถสรุปได้ว่า วัตถุดิบทั้งสามชนิดเป็นแหล่งของสารอาหารประเภทโปรตีนและ คาร์โบไฮเดรต และมีศักยภาพในการผลิตเป็นผงโรยข้าวได้

คำสำคัญ: ปลาสร้อยแห้ง ผงปลาชิวแก้ว ไข่น้ำแห้ง องค์ประกอบทางเคมี ผงโรยข้าว

Abstract

The demand for health-promoting foods has been increasing, leading to the utilization of locally nutrient-rich ingredients in food product development. However, understanding the quality and proximate composition of raw materials is crucial for effective product formulation. This study aimed to evaluate the quality and proximate composition of striped catfish floss (SCF), Thai river sprat fish powder (TRS-FP), and dried water meal (DWM) and study the potential of these raw materials for producing rice seasoning powder. The results showed that SCF contained 44.87% protein, 42.06% carbohydrates, 5.53% ash, 0.94% fat, and 0.44% fiber. TRS-FP had 76.13% protein, 9.84% carbohydrates, 5.31% fat, 2.90% ash, and 1.85% fiber. DWM comprised 64.73% carbohydrates, 25.58% protein, 1.37% ash, 0.92% fat, and 0.55% fiber. All three raw materials had low moisture content (range 3.97-6.86%) and water activity (0.257-0.354). When the raw materials were used for producing rice seasoning powder by using SCF (46.09%), TRS-FP (17.39%) and DWM (13.04%), it was found that rice seasoning powder contained 40.57% protein, 9.22% fat, 6.04% fiber, 11.34% ash, and 27.95% carbohydrates. It had antioxidant properties with a DPPH radical scavenging activity value of 60.41%, an ABTS radical scavenging activity value of 1001.04 $\mu\text{M TE/g}$ and a FRAP value of 7.334 mM Fe^{2+} equivalents/g. The overall liking score was moderate liking level (7.10 points). Therefore, it can be concluded that the three raw materials are sources of protein and carbohydrate nutrients and have the potential to be produced as rice seasoning powder.

Keywords: Striped catfish floss, Thai river sprat fish powder, Dried water meal, Proximate composition, Rice seasoning powder

บทนำ

ผลิตภัณฑ์อาหารสุขภาพและอาหารฟังก์ชันกำลังได้รับความนิยมและขยายตัวอย่างรวดเร็ว จากข้อมูลของ Global Wellness Institute (GWI) คาดว่าเศรษฐกิจด้านสุขภาพทั่วโลกจะเติบโต 8.6% ต่อปี จนถึงปี ค.ศ. 2027 โดยมีมูลค่าตลาดสูงกว่า 306,000,000 ล้านล้านบาท เพิ่มขึ้นเกือบสองเท่าจากปี ค.ศ. 2020 และสูงกว่าการเติบโตของเศรษฐกิจโลก (Prachachat Business, 2024) แนวโน้มดังกล่าวเป็นผลมาจากปัญหาสุขภาพที่เกิดจากพฤติกรรมกรบริโภค เช่น โรคความดันโลหิตสูงจากการบริโภคโซเดียมมากเกินไป ภาวะขาดสารอาหารจากการบริโภคอาหารที่ไม่มีคุณค่าทางโภชนาการครบถ้วน และโรคเบาหวานจากการบริโภคน้ำตาลสูง ทำให้ผู้บริโภคหันมาใส่ใจสุขภาพมากขึ้น โดยการเลือกรับประทานอาหารที่มีประโยชน์ซึ่งถือเป็นวิธีการป้องกันโรคที่ง่ายและมีประสิทธิภาพ ส่งผลให้ตลาดอาหารเพื่อสุขภาพเติบโตอย่างต่อเนื่อง ปัจจุบันอุตสาหกรรมอาหารเพื่อสุขภาพส่วนใหญ่ใช้วัตถุดิบที่เป็นผลผลิตจากการเกษตรเชิงพาณิชย์เป็นหลัก ขณะที่วัตถุดิบท้องถิ่นที่มีคุณค่าทางโภชนาการสูงและมีราคาต่ำยังไม่ได้รับการนำมาใช้ประโยชน์เท่าที่ควร ดังนั้น การศึกษาคุณค่าทางโภชนาการของวัตถุดิบท้องถิ่นและการพัฒนาผลิตภัณฑ์อาหารสุขภาพจากวัตถุดิบเหล่านี้จึงเป็นแนวทางสำคัญในการตอบสนองความต้องการของตลาดในปัจจุบัน

ปลาสวาย (*Pangasianodon hypophthalmus*) เป็นปลาน้ำจืดไม่มีเกล็ด เช่นเดียวกับปลาเทโพ เทพา และสังกะวาด มีขนาดใหญ่รองจากปลาทูและมีความสำคัญทางเศรษฐกิจ พบได้ทั้งในธรรมชาติและจากการเลี้ยงในบ่อดินหรือกระชัง แม้ปลาสวายจะมีกลิ่นเฉพาะตัวและมีไขมันสูง ซึ่งอาจทำให้ผู้บริโภคบางกลุ่มไม่นิยม แต่เป็นปลาที่มีคุณค่าทางโภชนาการสูง เป็นแหล่งโปรตีนและไขมันดี โดยเฉพาะไขมันไม่อิ่มตัวในกลุ่มโอเมก้า-3 (Omega-3) ซึ่งนับว่าเป็นทางเลือกที่ดีที่ผู้บริโภคไม่ต้องรับประทานปลาทะเลน้ำลึกนำเข้าจากต่างประเทศ เนื่องจากปลาสวายของไทยย่อมมีราคาถูกกว่า สำหรับกรดไขมันโอเมก้า-3 จะมี Docosahexaenoic Acid (DHA) ซึ่งช่วยในเรื่องจอประสาทตาและเซลล์สมอง ดังนั้น ดีเอชเอจึงมีความสำคัญมากต่อสตรีในระยะตั้งครรภ์และมารดาในระยะให้นมบุตรที่ช่วยให้สมองทารกพัฒนาและเจริญเติบโตอย่างสมบูรณ์ (Rajavithi hospital, 2016) ในอ่างเก็บน้ำเขื่อนลำปาว จังหวัดกาฬสินธุ์ พบว่า มีปลาสวายธรรมชาติในปริมาณมาก โดยเนื้อปลาที่มีไขมันต่ำกว่าเมื่อเทียบกับปลาสวายเลี้ยง ทำให้มีเนื้อสัมผัสแน่นและรสชาติดี ชาวประมงมักจำหน่ายปลาสวายสดให้พ่อค้าคนกลางเพื่อกระจายไปยังจังหวัดอื่น ๆ อย่างไรก็ตาม

ราคาปลาสวายยังค่อนข้างต่ำ (15-20 บาทต่อกิโลกรัม) และการพัฒนาผลิตภัณฑ์เพื่อเพิ่มมูลค่ายังมีน้อย ซึ่งเป็นโอกาสสำคัญในการต่อยอดอุตสาหกรรมอาหารจากปลาสวายให้เติบโตมากขึ้น

ปลาชิวแก้ว (*Clupeichthys aesamensis*) เป็นปลาน้ำจืดขนาดเล็กในวงศ์ปลาหลังเขียว มีรูปร่างเพรียวยาว พบได้เฉพาะในแม่น้ำโขงและลำน้ำสาขา รวมถึงอ่างเก็บน้ำขนาดใหญ่ เช่น เขื่อนอุบลรัตน์ (ขอนแก่น) เขื่อนลำปาว (กาฬสินธุ์) เขื่อนสิรินธร (อุบลราชธานี) และเขื่อนสิริกิติ์ (อุตรดิตถ์) ปลาชิวแก้วมักอาศัยรวมกันเป็นฝูงใหญ่บริเวณผิวน้ำและกลางน้ำในแหล่งน้ำนิ่ง ในด้านคุณค่าทางโภชนาการของปลาชิวแก้วสด พบว่า มีปริมาณโปรตีน 11.88-15.32% ไขมัน 10.00-10.47% และเป็นแหล่งแคลเซียมที่สำคัญ (Kongpun & Somboonyarithi, 2009) ขณะที่ปลาชิวแก้วอบแห้งมีปริมาณโปรตีน 57.40% และให้แคลเซียมสูงถึง 60% ของ Thai RDI/100 g (Auyyuenyong et al., 2023) ด้วยคุณค่าทางโภชนาการที่สูง ปลาชิวแก้วจึงนิยมนำมาแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์ต่าง ๆ เช่น ปลาแห้ง ปลาเจ่า และน้ำปลา ในอ่างเก็บน้ำเขื่อนลำปาว จังหวัดกาฬสินธุ์ ปลาชิวแก้วเป็นสัตว์น้ำที่มีปริมาณจับได้สูง และเริ่มมีการพัฒนาผลิตภัณฑ์ใหม่ เช่น ขนมขบเคี้ยวชนิดแท่งเสริมปลาชิวแก้วตากแห้ง (Treeinthong et al., 2024) อย่างไรก็ตาม การพัฒนาผลิตภัณฑ์จากปลาชิวแก้วยังมีค่อนข้างน้อย ทำให้เป็นโอกาสสำคัญในการต่อยอดเพื่อเพิ่มมูลค่าและขยายตลาดของปลาชนิดนี้ให้กว้างขึ้น

ไข่น้ำ หรือ ผำ เป็นพืชน้ำขนาดเล็กในวงศ์ Lemnaceae ที่พบในแหล่งน้ำขัง เช่น หนองบึง มีรูปร่างเป็นเม็ดสีเขียว กลมหรือเกือบกลม ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 0.5-1.5 mm ไข่น้ำเป็นพืชที่มีขนาดเล็กที่สุดในโลก โดยในประเทศไทยพบสายพันธุ์ที่สำคัญคือ *Wolffia arrhiza* และ *Wolffia globosa* ซึ่งนิยมใช้ในการปรุงอาหารพื้นบ้าน เช่น แกงอ่อม แกงคั่ว ไข่ตุ๋น และไข่เจียว (Somboon, 2014) ไข่น้ำมีคุณค่าทางโภชนาการสูง โดยอุดมไปด้วยโปรตีน กรดอะมิโนที่จำเป็น เส้นใยสูง วิตามิน A, B12, C และแร่ธาตุหลายชนิด นอกจากนี้ยังมีสารต้านอนุมูลอิสระที่ช่วยเสริมสุขภาพจากการบริโภค (Somboon, 2014) ผลการศึกษาของ Hu et al. (2022) ระบุว่า ไข่น้ำมีโปรตีน 50.89% ไขมัน 6.07% คาร์โบไฮเดรต 31.33% และเถ้า 11.71% ของน้ำหนักแห้ง ปัจจุบันไข่น้ำถูกจัดเป็นซูเปอร์ฟู้ด (Superfood) ที่มีศักยภาพในการเป็นอาหารแห่งอนาคต และมีการพัฒนาผลิตภัณฑ์จากไข่น้ำในหลากหลายรูปแบบ เช่น ผลิตภัณฑ์ผงผักปรุงรสแคลเซียมสูงจากไข่น้ำ (Cheerapatiyut, 2009) การพัฒนาบะหมี่เสริมไข่น้ำอบแห้ง (Puttame & Ninlanon, 2021) และการใช้ไข่น้ำแห้งในเส้นก๋วยเตี๋ยว (Phonpanawit & Klomjoho, 2024) เป็นต้น โดยคุณค่าทางโภชนาการของไข่น้ำขึ้นอยู่กับสายพันธุ์ การเพาะเลี้ยง ปัจจัยสิ่งแวดล้อม ฤดูกาล และกระบวนการผลิต

การพัฒนาผลิตภัณฑ์สุขภาพในรูปแบบที่หลากหลายโดยใช้วัตถุดิบท้องถิ่นที่มีคุณค่าทางโภชนาการสูงและมีราคาต่อหน่วยค่อนข้างต่ำเป็นวิธีการหนึ่งที่สามารถเพิ่มมูลค่าและตอบสนองความต้องการของตลาดสุขภาพได้อย่างมีประสิทธิภาพ การเตรียมวัตถุดิบในรูปแบบผงแห้งเป็นหนึ่งในกระบวนการที่นิยม เนื่องจากสามารถช่วยยืดอายุการเก็บรักษาและรักษาคุณค่าทางโภชนาการของวัตถุดิบไว้ได้ โดยการทำแห้งจะลดปริมาณน้ำในอาหาร ซึ่งจะช่วยชะลอการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ เช่น แบคทีเรีย เชื้อรา และยีสต์ และยังลดปฏิกิริยาทางเคมีที่ทำให้คุณภาพอาหารเสื่อมลง การทำแห้งช่วยลดน้ำหนักและขนาดของวัตถุดิบ เพิ่มความสามารถในการแปรรูปและสะดวกในการนำไปใช้ในผลิตภัณฑ์ต่าง ๆ ด้วยเหตุนี้ ผู้วิจัยจึงได้เลือกวัตถุดิบในท้องถิ่นที่มีคุณค่าทางโภชนาการและมีศักยภาพในการพัฒนาผลิตภัณฑ์สุขภาพ ได้แก่ ปลาสวาย ปลาชิวแก้ว และไข่น้ำ โดยปลาสวายจะถูกแปรรูปเป็นปลาสวายหยองเพื่อขจัดกลิ่นเฉพาะที่มีผลต่อการยอมรับของผู้บริโภค ในขณะที่ปลาชิวแก้วสดจะนำมาแปรรูปเป็นผงปลาชิวแก้ว และไข่น้ำจะนำมาแปรรูปเป็นไข่น้ำแห้งก่อนที่จะนำไปประเมินคุณภาพและคุณค่าทางโภชนาการซึ่งถือเป็นขั้นตอนสำคัญในการประเมินศักยภาพของวัตถุดิบเหล่านี้ในการพัฒนาผลิตภัณฑ์อาหารสุขภาพ โดยงานวิจัยนี้ผู้วิจัยเลือกผงโรยข้าวเป็นผลิตภัณฑ์อาหารเสริมสุขภาพต้นแบบในการใช้ปลาสวายหยอง ผงปลาชิวแก้ว และไข่น้ำเป็นส่วนผสมหลัก ทั้งนี้เนื่องจากปัจจุบันผงโรยข้าวเป็นผลิตภัณฑ์ที่มีการจำหน่ายในท้องตลาดในรูปแบบที่หลากหลาย โดยผงโรยข้าว หรือ ฟุริคาเกะ (Furikake) เป็นเครื่องปรุงรสแบบแห้งของญี่ปุ่น นิยมใช้โรยบนข้าวสุก ผัก และปลา ผลิตมาจากการนำผลิตภัณฑ์สัตว์น้ำ ผลิตภัณฑ์ทางการเกษตร และผลิตภัณฑ์ปศุสัตว์ ชนิดใดชนิดหนึ่งหรือหลายชนิดมาปรุงรสและทำแห้ง หรือนำผลิตภัณฑ์เหล่านี้มาผสมกับสาหร่าย งา เครื่องปรุงรส หรือส่วนผสมอื่น ๆ ส่วนผสมหลักของการทำผงโรยข้าว ได้แก่ ปลาแห้งบด งา สาหร่ายสับ น้ำตาล เกลือ และโมโนโซเดียมกลูตาเมต ส่วนผสมที่ใช้ผสมเพื่อเพิ่มรสชาติอื่น ๆ เช่น คัสชีโอบูชิ (ปลาแห้งที่ใช้ในการทำซูชิ) ปลาแซลมอนแห้ง ชิโอะไซ มิโอะะ ผงผัก และอื่น ๆ (Mahae et al., 2019) นอกจากนี้การผลิตผงโรยข้าวยังมีการเติมส่วนผสมต่าง ๆ เพื่อแก้ปัญหาด้านโภชนาการของผู้บริโภค เช่น การเติมปลาเล็กปลาน้อยบดเพื่อเสริมแร่ธาตุแคลเซียม หรือสารอาหารที่จำเป็นอื่น ๆ ปัจจุบันมีการพัฒนาผลิตภัณฑ์ผงโรยข้าวที่หลากหลายรูปแบบ ไม่ว่าจะเป็นการใช้ส่วนผสมในท้องถิ่นมาผสมในผงโรยข้าวเพื่อเสริมคุณค่าทางโภชนาการ การพัฒนารสชาติผงโรยข้าวให้มีความหลากหลาย การใช้ประโยชน์จากเศษเหลือทางอุตสาหกรรมที่มีคุณประโยชน์มาพัฒนาเป็นผงโรยข้าวเพื่อเพิ่มมูลค่า เช่น การพัฒนาผลิตภัณฑ์ผงโรยข้าวจากปลาสดแดดเดียว (Runglerdkriangkrai, 2017) การพัฒนาผลิตภัณฑ์ผงโรยข้าวจากใบเหลียง กุ้งแห้ง งาดำ และงาขาว (Siripongvutikorn et al.,

2023) และการพัฒนาผลิตภัณฑ์ผงโรยข้าว (ฟูริคาเกะ) จากปลาผสมหนังปลากะพงขาวทอดกรอบ (Mahae et al., 2019) เป็นต้น สำหรับไข่น้ำแห้งซึ่งเป็นวัตถุดิบในการทดลองครั้งนี้ พบว่า ปัจจุบันมีการพัฒนาเป็นผลิตภัณฑ์ผงโรยข้าวที่หลากหลายรูปแบบ เนื่องจากมีโปรตีนและคุณค่าทางโภชนาการสูง อย่างไรก็ตาม การนำปลาสดและปลาชีวแก้วซึ่งเป็นสัตว์น้ำที่มีคุณค่าทางโภชนาการสูงมาพัฒนาเป็นผงโรยข้าวยังมีข้อมูลค่อนข้างน้อย ด้วยเหตุนี้ผู้วิจัยจึงมีแนวคิดในการนำวัตถุดิบทั้งสามซึ่งมีอยู่ในท้องถิ่นมาศึกษาความเป็นไปได้ในการพัฒนาเป็นโรยข้าวต้นแบบ

ดังนั้น งานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อประเมินคุณภาพและองค์ประกอบทางเคมีของปลาสดหอย ผงปลาชีวแก้ว และไข่น้ำแห้งในการใช้เป็นส่วนผสมในผลิตภัณฑ์อาหารเสริมสุขภาพ และศึกษาศักยภาพความเป็นไปได้ในการใช้วัตถุดิบเหล่านี้เป็นส่วนผสมในผลิตภัณฑ์อาหารเสริมสุขภาพโดยผลิตเป็นผงโรยข้าว โดยข้อมูลที่ได้จากการวิจัยครั้งนี้จะเป็นข้อมูลเบื้องต้นที่สำคัญสำหรับการต่อยอดพัฒนาผลิตภัณฑ์อาหารสุขภาพหรืออาหารที่ส่งเสริมสุขภาพที่ตอบโจทย์แนวโน้มการบริโภคที่ใส่ใจสุขภาพและโภชนาการในปัจจุบัน อีกทั้งยังเป็นการเพิ่มมูลค่าให้กับวัตถุดิบท้องถิ่นอีกด้วย

วัสดุ อุปกรณ์ และวิธีการ

1. การเตรียมปลาสดหอย

นำปลาสดขนาด 6,000-8,000 g ที่ซื้อจากชาวประมง บ้านท่าเรือภูสิงห์ ตำบลภูสิงห์ อำเภอสหัสขันธ์ จังหวัดกาฬสินธุ์ มาแล่เอาเฉพาะเนื้อปลา หั่นเป็นชิ้น จากนั้นนำไปล้างด้วยน้ำเกลือความเข้มข้น 0.3% (w/v) จำนวน 1 ครั้ง และล้างตามด้วยน้ำสะอาด 2 ครั้ง พักทิ้งไว้ให้สะเด็ดน้ำ นำไปนึ่งที่อุณหภูมิ 100°C เป็นเวลา 15 นาที พักไว้ให้เย็น แล้วนำไปเตรียมปลาสดหอยตามสูตรที่ดัดแปลงจากวิธีของ Department of Fisheries (2018) และวิธีของ Mahae et al. (2019) ได้แก่ เนื้อปลาสดหอยนึ่งสุก 100 g ซีอิ๊วขาว 17 g ซีอิ๊วดำ 2 g น้ำตาลทราย 15 g และน้ำสะอาด 35 g โดยนำเนื้อปลาสดหอยที่นึ่งแล้วยีให้ฟู นำไปคั่วในกระทะโดยใช้ไฟระดับปานกลาง (อุณหภูมิประมาณ 150°C) จากนั้นเติมส่วนผสมอื่น ๆ ลงในกระทะ คั่วจนเนื้อปลาแห้ง แล้วนำไปอบด้วยตู้อบลมร้อน (รุ่น LT-93 ยี่ห้อ Lecon ประเทศจีน) ที่อุณหภูมิ 60°C เป็นเวลา 30 นาที พักไว้ให้เย็น บรรจุใส่ถุงอลูมิเนียมฟอยล์ปิดผนึกเพื่อใช้ในการประเมินคุณภาพต่อไป

2. การเตรียมผงปลาชีวแก้ว

นำปลาชีวแก้วสดขนาด 12-15 g ที่ซื้อจากชาวประมง บ้านท่าเรือภูสิงห์ ตำบลภูสิงห์ อำเภอสหัสขันธ์ จังหวัดกาฬสินธุ์ มาล้างทำความสะอาดด้วยน้ำเกลือความเข้มข้น 0.3% (w/v) จำนวน 2 ครั้ง และล้างด้วยน้ำสะอาด 2 ครั้ง พักให้สะเด็ดน้ำ จากนั้นนำไปต้มที่อุณหภูมิ 100°C นาน 5 นาที กรองแยกน้ำต้มออก นำปลาชีวแก้วที่สุกแล้วมาบดให้ละเอียด แล้วตักใส่ถาดอบเกลี่ยให้เป็นแผ่นบาง จากนั้นนำไปอบด้วยตู้อบลมร้อน (รุ่น LT-93 ยี่ห้อ Lecon ประเทศจีน) ที่อุณหภูมิ 60°C เป็นเวลา 12 ชั่วโมง นำแผ่นปลาชีวแก้วที่อบแห้งมาบดให้ละเอียด และร่อนด้วยตะแกรงขนาด 80 Mesh เพื่อแยกส่วนที่ไม่สามารถบดได้ เช่น ตาปลา จากนั้นเก็บใส่ถุงอลูมิเนียมฟอยล์ปิดผนึกเพื่อใช้ในการประเมินคุณภาพต่อไป

3. การเตรียมไข่น้ำแห้ง

เตรียมไข่น้ำแห้งโดยดัดแปลงตามวิธีของ Thongkham (2019) โดยนำไข่น้ำสดมาล้างทำความสะอาดแบบผ่านน้ำไหลในถุงผ้าขาวบาง 2 ชั้น เป็นเวลา 5 นาที ตักขึ้นและทิ้งให้สะเด็ดน้ำ จากนั้นตักใส่ถาด ถาดละ 300 g นำไปอบด้วยตู้อบลมร้อน (รุ่น LT-93 ยี่ห้อ Lecon ประเทศจีน) ที่อุณหภูมิ 40°C เป็นเวลา 30 ชั่วโมง โดยเกลี่ยกลับด้านทุก ๆ 5 ชั่วโมง นำไข่น้ำแห้งบดให้ละเอียด เก็บใส่ถุงอลูมิเนียมฟอยล์ปิดผนึกเพื่อใช้ในการประเมินคุณภาพต่อไป

4. การประเมินคุณภาพของวัตถุดิบ

นำปลาสดหอย ผงปลาชีวแก้ว และไข่น้ำแห้ง ประเมินคุณภาพดังนี้

4.1 ร้อยละของปริมาณผลผลิต

นำตัวอย่างได้แก่ เนื้อปลาสดหอย ปลาชีวแก้วต้มสุก และไข่น้ำสด มาชั่งน้ำหนัก จากนั้นนำไปแปรรูปเป็นปลาสดหอย ผงปลาชีวแก้ว และไข่น้ำแห้งตามวิธีการข้อ 1, 2 และ 3 ตามลำดับ นำปลาสดหอย ผงปลาชีวแก้ว และไข่น้ำแห้งที่

แปรรูปแล้วมาชั่งน้ำหนัก จากนั้นนำไปคำนวณร้อยละของปริมาณผลผลิตตามสูตร โดยแต่ละตัวอย่างทำการทดลอง 3 ซ้ำ สมการคำนวณร้อยละของปริมาณผลผลิต ดังนี้

$$\text{ปริมาณผลผลิตปลาสาวยหยอง (\%)} = \frac{\text{น้ำหนักของปลาสาวยหยอง}}{\text{น้ำหนักของเนื้อปลาสาวยหยอง}} \times 100 \quad (\text{Eq.1})$$

$$\text{ปริมาณผลผลิตผงปลาชีวแก้ว (\%)} = \frac{\text{น้ำหนักของผงปลาชีวแก้ว}}{\text{น้ำหนักของปลาชีวแก้วต้มสุก}} \times 100 \quad (\text{Eq.2})$$

$$\text{ปริมาณผลผลิตไข่น้ำอบแห้ง (\%)} = \frac{\text{น้ำหนักของไข่น้ำอบแห้ง}}{\text{น้ำหนักของไข่น้ำสด}} \times 100 \quad (\text{Eq.3})$$

4.2 ค่าสี โดยการสุ่มตัวอย่างจำนวน 10 ตัวอย่าง แล้วนำไปวัดค่าสีในระบบ $L^* a^* b^*$ เมื่อ L^* คือ ค่าความสว่าง $a^* (+)$ คือ ค่าสีแดง $a^* (-)$ คือ ค่าสีเขียว $b^* (+)$ คือ ค่าสีเหลือง และ $b^* (-)$ คือ ค่าสีน้ำเงิน ด้วยเครื่องวัดสี (รุ่น Ultra Scan PRO ยี่ห้อ Hunter Lab ประเทศสหรัฐอเมริกา) ในแต่ละตัวอย่างทำการทดลอง 6 ซ้ำ

4.3 ค่าปริมาณน้ำอิสระในผลิตภัณฑ์ (Water activity, a_w) โดยการสุ่มตัวอย่างจำนวน 2 g นำมาวัดค่า a_w ด้วยเครื่องวัดค่า a_w (รุ่น Pre ยี่ห้อ Aqua Lab ประเทศสหรัฐอเมริกา) ในแต่ละตัวอย่างทำการทดลอง 3 ซ้ำ

4.4 วิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของตัวอย่าง ได้แก่ ปริมาณความชื้น โปรตีน ไขมัน เถ้า เยื่อใย และคาร์โบไฮเดรต วิเคราะห์ปริมาณความชื้น โดยชั่งตัวอย่าง 3 g ลงบนภาดอลูมิเนียม จากนั้นนำไปวิเคราะห์ด้วยเครื่อง Moisture Analyzer (รุ่น MA37-1 ยี่ห้อ SATORIUS ประเทศเยอรมนี) ที่อุณหภูมิ 105°C ตามวิธีของ AOAC (2016) Part 930.15 วิเคราะห์ปริมาณโปรตีนตามวิธี AOAC (2016) Part 992.15 โดยการชั่งน้ำหนักตัวอย่าง 50 mg บนอลูมิเนียมฟอยล์ จากนั้นห่อตัวอย่างให้แน่นเป็นก้อนกลม แล้วนำไปวิเคราะห์ด้วยเครื่อง Dumatherm nitrogen/Protein analyzer (รุ่น Dumatherm ยี่ห้อ Gerhardt ประเทศเยอรมนี) สำหรับไขมันวิเคราะห์ด้วยวิธี Soxhlet extraction ตามวิธีของ AOAC (2016) Part 2003.05 วิเคราะห์เยื่อใยตามวิธี AOAC (2016) Part 978.10 โดยการชั่งน้ำหนักตัวอย่าง 1 g บน Glass fiber crucible ที่เติม Celite แล้วนำไปวิเคราะห์ด้วยเครื่อง Fiber analyzers (รุ่น FIWE 6 ยี่ห้อ VELP Scientifica ประเทศอิตาลี) วิเคราะห์ปริมาณเถ้าตามวิธี AOAC (2016) Part 942.05 โดยการชั่งน้ำหนักตัวอย่าง 2 g ลงไปใน Crucible จากนั้นเผาตัวอย่างบน Hot plate จนหมดควัน (เป็นสีดำสนิท) แล้วนำไปเผาในเตาเผา (Furnace) (รุ่น CWF 1100 11/33 ยี่ห้อ Carbolite Gero ประเทศอังกฤษ) ที่อุณหภูมิ 550°C จนเป็นเถ้าโดยสมบูรณ์ (เป็นสีขาว หรือ ขาวอมเทา) ทำให้เย็นลงในโถดูดความชื้น แล้วนำไปชั่งน้ำหนัก สำหรับคาร์โบไฮเดรตใช้วิธีการคำนวณ โดยคำนวณปริมาณคาร์โบไฮเดรตทั้งหมด (Total carbohydrate) จากสูตร คาร์โบไฮเดรต = $100 - (\text{ความชื้น} + \text{โปรตีน} + \text{ไขมัน} + \text{เถ้า})$ ปริมาณพลังงานของตัวอย่าง ใช้วิธีคำนวณจากสูตร โดยปริมาณพลังงานของตัวอย่าง ($\text{Kcal/sample } 100 \text{ g}$) = (ปริมาณโปรตีนของตัวอย่าง (g) $\times 4$) + (ปริมาณไขมันของตัวอย่าง (g) $\times 9$) + (ปริมาณคาร์โบไฮเดรต (g) $\times 4$) ในการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีและพลังงานของตัวอย่าง ทำการทดลอง 3 ซ้ำต่อตัวอย่าง

นำผลการวิเคราะห์ของตัวอย่างที่ได้จากข้อ 4.1-4.4 นำมาคำนวณค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน ซึ่งเป็นค่าทางสถิติที่ใช้อธิบายแนวโน้มค่ากลางของข้อมูลและการกระจายตัวของข้อมูล

5. ศึกษาการผลิตผงโรยข้าวโดยใช้ส่วนผสมจากปลาสาวยหยอง ผงปลาชีวแก้ว และไข่น้ำแห้ง

นำปลาสาวยหยอง ผงปลาชีวแก้ว และไข่น้ำแห้งที่ได้จากข้อ 4 มาเป็นส่วนผสมหลักในการผลิตผงโรยข้าวต้นแบบ เพื่อศึกษาความเป็นไปได้ในการผลิตเป็นผลิตภัณฑ์อาหารเสริมสุขภาพ ซึ่งมีวิธีการศึกษาดังนี้

5.1 สูตรและการเตรียมส่วนผสมของผงโรยข้าว นำวัตถุดิบทั้งสามชนิดมาศึกษาความเป็นไปได้ในการผลิตผลิตภัณฑ์อาหารเสริมสุขภาพต้นแบบโดยผลิตเป็นผงโรยข้าวจำนวน 1 สูตร ซึ่งดัดแปลงจากสูตรผงโรยข้าวของ Runglerdkriangkrai (2017) โดยสูตรผงโรยข้าวต้นแบบที่ดัดแปลงประกอบด้วย ปลาสาวยหยอง 46.09% ผงปลาชีวแก้ว 17.39% ไข่น้ำอบแห้ง 13.04% งาขาวคั่ว 6.09% งาดำคั่ว 6.09% สาหร่ายแผ่นปรุงรส 1.74% พริกป่น 0.87% น้ำตาลทราย 6.09% และเกลือ 2.60% โดยปลาสาวยหยอง ผงปลาชีวแก้ว ไข่น้ำแห้ง เตรียมตามวิธีการในข้อ 4 ส่วนงาขาวและงาดำ นำมาคั่วด้วยไฟอ่อนจนหอม

พริกป่น น้ำตาลทราย และเกลือ นำมาบดละเอียด และสาหร่ายแผ่นปรุงรสนำมาตัดเป็นชิ้น ขนาด 1×1 mm นำส่วนผสมทั้งหมดมาผสมให้เข้ากัน นำไปอบด้วยตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิ 110°C นาน 10 นาที ทิ้งไว้ให้เย็น บรรจุใส่ถุงอูมิเนียมฟอยล์ ปิดสนิท เก็บไว้ที่อุณหภูมิห้อง เพื่อใช้ในการศึกษาคุณภาพต่อไป

5.2 การประเมินคุณภาพของผงโรยข้าว นำผงโรยข้าวที่เตรียมได้จากข้อ 5.1 มาทำการวิเคราะห์คุณภาพ ได้แก่ 1) ค่าสีในระบบ $L^* a^* b^*$ ด้วยเครื่องวัดสี (รุ่น Ultra Scan PRO ยี่ห้อ Hunter lab ประเทศสหรัฐอเมริกา) ทำการทดลอง 6 ซ้ำ 2) ค่า a_w ด้วยเครื่องวัดค่า a_w (รุ่น Pre ยี่ห้อ Aqua Lab ประเทศสหรัฐอเมริกา) ทำการทดลองจำนวน 3 ซ้ำ 3) องค์ประกอบทางเคมี ได้แก่ ปริมาณชื้น โปรตีน โปรตีน ถั่ว เยื่อใย และคาร์โบไฮเดรต ตามวิธี AOAC (2016) 4) คุณภาพทางจุลชีววิทยา ได้แก่ ปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมด (Andrew, 1992) และปริมาณยีสต์และรา (Bacteriological Analytical Manual, 2001) 5) วิเคราะห์ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระของผงโรยข้าว ได้แก่ ค่า DPPH radical scavenging activity (%) ตามวิธี DPPH assay (ดัดแปลงจากวิธีของ Klomklao & Benjakul, 2018) ค่า ABTS radical Scavenging activity ($\mu\text{M TE/g}$) ตามวิธี ABTS assay (ดัดแปลงจากวิธีของ Arnao et al., (2001) และวิธีของ Klomklao & Benjakul, (2018)) และค่า FRAP value (mM Fe^{2+} equivalents/g) ตามวิธี Ferric reducing antioxidant power (FRAP) assay (ดัดแปลงจากวิธี Klomklao & Benjakul, 2018) และ 6) ประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสโดยวิธีทดสอบความชอบ 9 ระดับ (9-Point hedonic scale) ในคุณลักษณะด้านลักษณะปรากฏ สี กลิ่น รสชาติ เนื้อสัมผัส และความชอบโดยรวม โดยคะแนน 9 คือ ชอบมากที่สุด และคะแนน 1 คือ ไม่ชอบมากที่สุด ใช้ผู้ทดสอบทั่วไปจำนวน 30 คน นำข้อมูลที่ได้จากการวิเคราะห์ไปคำนวณค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเพื่อประเมินแนวโน้มค่ากลางของข้อมูลและการกระจายตัวของข้อมูล และใช้ข้อมูลเพื่อประเมินศักยภาพความเป็นไปได้ในการใช้วัตถุดิบทั้งสามชนิดในการผลิตผงโรยข้าว

ผลการวิจัย และการอภิปรายผล

1. ผลการประเมินคุณภาพและองค์ประกอบทางเคมีของปลาสดหอยอง ผงปลาชีวแก้ว และไข่น้ำแห้ง

ผลการประเมินคุณภาพและองค์ประกอบทางเคมีของปลาสดหอยอง (Table 1) พบว่า ผลิตภัณฑ์มีเส้นใยสั้น และหนา ลักษณะฟู สีเหลืองอมน้ำตาลอ่อน (Figure 1A) โดยมีปริมาณผลผลิต 55.02% ค่าความสว่าง (L^*) ค่าสีแดง (a^*) และค่าสีเหลือง (b^*) อยู่ที่ 59.89, 8.82 และ 23.39 ตามลำดับ ส่วนค่า a_w มีค่าเท่ากับ 0.339 สำหรับองค์ประกอบทางเคมีของปลาสดหอยองประกอบด้วยความชื้น 6.15% โปรตีน 44.87% ไขมัน 0.94% เยื่อใย 0.44% ถั่ว 5.53% และคาร์โบไฮเดรต 42.06% ให้พลังงาน 358 kcal/ 100 g จากผลการทดลองแสดงให้เห็นว่า ค่าสีของปลาสดหอยองสอดคล้องกับลักษณะปรากฏซึ่งเป็นผลมาจากการเติมเครื่องปรุง ได้แก่ ซีอิ๊วขาว ซีอิ๊วดำ และน้ำตาลทราย โดยสีเหลืองอมน้ำตาลอ่อนของปลาสดหอยองเกิดจากปฏิกิริยาเมลลาร์ด (Maillard) ระหว่างกรดอะมิโนในปลาและน้ำตาลทราย รวมถึงการเกิดคาราเมลของน้ำตาล (Caramelization) ที่ได้รับความร้อน ส่งผลให้เกิดสารประกอบสีน้ำตาลในผลิตภัณฑ์ ขณะที่ซีอิ๊วขาวมีโปรตีนจากถั่วเหลืองเป็นองค์ประกอบจึงช่วยส่งเสริมปฏิกิริยาเมลลาร์ด ส่วนซีอิ๊วดำมีสีเข้มที่เกิดจากกระบวนการหมักและคาราเมลเมื่อเติมลงไปจึงช่วยเพิ่มความเข้มของสีน้ำตาลและช่วยเร่งปฏิกิริยาเมลลาร์ด เนื่องจากมีน้ำตาลเป็นองค์ประกอบขณะที่ค่า a_w (0.339) อยู่ในเกณฑ์มาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชนปลาหอยอง (Thai Industrial Standards Institute, 2010) ซึ่งกำหนดให้ไม่เกิน 0.6 โดยค่า a_w เป็นปัจจัยสำคัญต่ออายุการเก็บรักษาและความปลอดภัยของอาหาร เนื่องจากส่งผลต่อการอยู่รอดและการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ (Thai Industrial Standards Institute, 2010) ส่วนปริมาณความชื้น (6.15%) มีค่าสอดคล้องกับมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมปลาหอยอง ปลาเกล็ด และปลาแห้งป่น ซึ่งกำหนดให้ ปลาหอยองปรุงรสต้องมีความชื้นไม่เกิน 12% (Thai Industrial Standards Institute, 1987) ดังนั้น ปลาสดหอยองที่ผลิตได้จึงมีความปลอดภัยต่อการบริโภค สำหรับองค์ประกอบทางเคมีของปลาสดหอยอง พบว่า มีความแตกต่างจากปลาหอยองที่ผลิตจากปลาโอลาย (*Euthynnus affinis*) (Kartikaningsih et al., 2021) ปลาตุ๊ก (*Clarias gariepinus*) (Romadhon et al., 2019; Fahmi & Purnamayati, 2020) และปลานวลจันทร์ทะเล (Wijayanti et al., 2016) ซึ่งความแตกต่างดังกล่าวขึ้นอยู่กับชนิดของปลา ส่วนผสม และกระบวนการผลิต อย่างไรก็ตามปลาสดหอยองมีปริมาณโปรตีน (44.87%) ใกล้เคียงกับปลาหอยองที่ผลิตจากปลาชนิดอื่นซึ่งมีโปรตีนอยู่ในช่วง 29.11–43.08% (Wijayanti et al., 2016; Romadhon et al., 2019; Fahmi & Purnamayati, 2020; Kartikaningsih et al., 2021) คาร์โบไฮเดรตเป็นองค์ประกอบทางเคมีที่มีปริมาณรองลงมา (42.06%) ซึ่งเกิดจากการเติมส่วนผสมที่มีคาร์โบไฮเดรตเป็นส่วนประกอบในขั้นตอนการผลิต ได้แก่ น้ำตาลทราย ซีอิ๊วดำ และซีอิ๊วขาว

ขณะที่ปริมาณเถ้า (5.53%) ซึ่งวิเคราะห์ได้ในปลาหอยบ่งชี้ถึงการมีอยู่ของธาตุอาหารในปลาสวายหอย นอกจากนี้ ปลาสวายหอยยังมีไขมันและเยื่อใยต่ำ โดยปริมาณไขมันต่ำเป็นผลจากกระบวนการแปรรูปที่ใช้เฉพาะกล้ามเนื้อปลาไขมันที่วิเคราะห์ได้จึงเป็นไขมันในกล้ามเนื้อเท่านั้น ด้วยคุณค่าทางโภชนาการดังกล่าวปลาสวายหอยจึงเป็นแหล่งโปรตีนที่ดีสามารถบริโภคโดยตรงหรือใช้เป็นวัตถุดิบในผลิตภัณฑ์อาหารเพื่อเสริมโปรตีน ทั้งยังมีปริมาณไขมันต่ำเหมาะสมสำหรับผู้ที่ต้องการควบคุมไขมันในอาหาร

ผลการประเมินคุณภาพและองค์ประกอบทางเคมีของผงปลาชีวแก้ว (Table 1) พบว่า ผงปลาชีวแก้วมีปริมาณผลผลิต 21.28% ซึ่งสูงกว่าผงปลาจากปลา Chapila (*Gudusia chapra*), ปลา Punti (*Puntius ticto*) และ ปลา Kachki (*Corica sobora*) ซึ่งมีค่าเท่ากับ 13.65, 11.25 และ 12.81% ตามลำดับ (Bhowmik et al., 2022) และสูงกว่าผงปลาชาร์ดิน (15.25%) (Mamun et al., 2022) อย่างไรก็ตาม ปริมาณผลผลิตของผงปลาชีวแก้วใกล้เคียงกับผงปลาจากปลา Anchovy (19.05%) (Mamun et al., 2022) โดยปริมาณผลผลิตของผงปลาขึ้นอยู่กับชนิดปลา ขนาด และกระบวนการแปรรูป (Bhowmik et al., 2022; Mamun et al., 2022) สำหรับค่า a_w ของผงปลาชีวแก้วมีค่าเท่ากับ 0.257 ซึ่งต่ำกว่าระดับที่จุลินทรีย์สามารถเจริญเติบโตได้ โดยทั่วไปแบคทีเรียส่วนใหญ่ไม่สามารถเจริญเติบโตได้ดีที่ค่า a_w ต่ำกว่า 0.90 และราส่วนใหญ่จะไม่เจริญที่ค่า a_w ต่ำกว่า 0.70 (Maepakdee et al., 2014) ค่าสีของผงปลาชีวแก้ว ได้แก่ ค่า L^* (61.05), a^* (1.02) และ b^* (8.02) สอดคล้องกับลักษณะผงละเอียดสีเทาอมขาวของผลิตภัณฑ์ (Figure 1B) ขณะที่ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของผงปลาชีวแก้ว พบว่า มีความชื้น 3.97% โปรตีน 76.13% ไขมัน 5.31% เยื่อใย 1.85% เถ้า 2.90% และคาร์โบไฮเดรต 9.84% ค่าพลังงาน 399 kcal/ 100 g โดยพบว่า ปริมาณความชื้นของผงปลาชีวแก้วต่ำกว่าผงปลาจากปลา Chapila, ปลา Punti, ปลา Kachki, ปลาชาร์ดิน และ ปลา Anchovy (Bhowmik et al., 2022; Mamun et al., 2022) ซึ่งมีค่า 10.38-11.02% การลดปริมาณความชื้นต่ำกว่า 10-20% เป็นแนวทางที่ช่วยยืดอายุการเก็บรักษาสภาพผลิตภัณฑ์ (Van Ruth et al., 2014; Haider et al., 2021) และผลิตภัณฑ์ที่มีความชื้นต่ำกว่า 10% จะรักษาคุณภาพได้ดีที่สุด (Abdel-Haleem & Omran, 2014) ปริมาณโปรตีนของผงปลาชีวแก้ว (76.13%) มีค่าใกล้เคียงกับรายงานของ Mahmud et al. (2019) ซึ่งผลิตผงปลาจากปลาหลายชนิด ได้แก่ ปลา *Awaous grammepomus* ปลา *Channa punctata* ปลา *Puntius puntio*, ปลาลิ้น (Hypophthalmichthys molitrix) และปลาเยี่ยงเทศ (*Labeo rohita*) โดยปริมาณโปรตีนในผงปลาดังกล่าวอยู่ที่ช่วง 70.80-75.80% ขณะที่ผงปลาชีวแก้วมีปริมาณโปรตีนสูงกว่าผงปลาจากปลา Chapila ปลา Punti และปลา Kachki ซึ่งมีโปรตีน 48.81-57.65% (Bhowmik et al., 2022) และปลา Anchovy (69.59%) (Mamun et al., 2022) ปริมาณไขมันของผงปลาชีวแก้ว (5.31%) มีค่าใกล้เคียงกับงานวิจัยของ Mahmud et al. (2019) (5.85-8.04%) และต่ำกว่าผงปลาที่ศึกษาโดย Bhowmik et al. (2022) (6.86-17.58%) และ Mamun et al. (2022) (6.42-12.24%) ขณะที่ปริมาณเถ้า (2.90%) ซึ่งบ่งชี้ถึงปริมาณแร่ธาตุในผลิตภัณฑ์ พบว่า มีค่าต่ำกว่าผงปลาจากงานวิจัยของ Mahmud et al. (2019) (7.66-9.19%), Bhowmik et al. (2022) (9.99-21.05%) และ Mamun et al. (2022) (8.00-14.31%) จากผลการวิเคราะห์ ผงปลาชีวแก้วเป็นแหล่งโปรตีนสูงที่สามารถนำไปใช้เป็นวัตถุดิบในผลิตภัณฑ์อาหารสุขภาพ โดยเฉพาะผลิตภัณฑ์เสริมโปรตีน เนื่องจากโปรตีนจากปลาย่อยง่ายและมีคุณค่าทางโภชนาการสูง อีกทั้งยังมีประโยชน์ต่อสุขภาพ เช่น ลดภาวะอ้วน เสริมภูมิคุ้มกัน และช่วยควบคุมน้ำหนัก (Rudkowska et al., 2010; Khalili Tilami & Samples, 2017)

ผลการประเมินคุณภาพและองค์ประกอบทางเคมีของไข่น้ำแข็ง (Table 1) พบว่า ไข่น้ำแข็งแห้งที่ผลิตได้มีลักษณะเป็นผงละเอียด สีเขียวอ่อนอมเหลืองเล็กน้อย (Figure 1C) โดยให้ปริมาณผลผลิต 5.67% มีค่า L^* , a^* , b^* และ ค่า a_w เท่ากับ 41.67, -3.47, 11.42 และ 0.354 ตามลำดับ จากผลการวิเคราะห์ จะเห็นว่า ไข่น้ำแข็งแห้งมีค่า a_w ต่ำ (0.354) จึงจัดอยู่ในกลุ่มอาหารแห้งที่มีปริมาณน้ำอิสระต่ำ ไม่เอื้อต่อการเจริญของจุลินทรีย์ ส่งผลให้สามารถยืดอายุการเก็บรักษาได้ (On-Nom et al., 2023) สำหรับองค์ประกอบทางเคมีของไข่น้ำแข็งประกอบด้วยความชื้น 6.86% โปรตีน 25.58% ไขมัน 0.92% เยื่อใย 0.55% เถ้า 1.37% และคาร์โบไฮเดรต 64.73% ให้พลังงาน 372 kcal/100 g โดยพบว่า คาร์โบไฮเดรตเป็นองค์ประกอบทางเคมีหลักซึ่งสอดคล้องกับรายงานของ On-Nom et al. (2023) และ Puttame & Ninlanon (2021) ที่ระบุว่า ไข่น้ำแข็งมีปริมาณคาร์โบไฮเดรตสูงสุด โดยไข่น้ำแข็งที่เตรียมจากการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็งให้ปริมาณคาร์โบไฮเดรต 52.59% (On-Nom et al., 2023) ขณะที่ไข่น้ำแข็งที่เตรียมจากการคั่วในกระทะทองเหลืองให้คาร์โบไฮเดรต 57.65% (Puttame & Ninlanon, 2021) ปริมาณโปรตีนของไข่น้ำแข็งแห้งจากการทดลองนี้ (25.58%) มีปริมาณต่ำกว่างานวิจัยของ On-Nom et al. (2023) (31.50%) และ Hu et al. (2022) (50.89%) แต่สูงกว่างานวิจัยของ Puttame and Ninlanon (2021) (11.22%) ส่วนปริมาณเถ้า (1.37%) ที่วิเคราะห์ได้ในไข่น้ำแข็งแห้งบ่งชี้ถึงแร่ธาตุในผลิตภัณฑ์ (Hu et al., 2022) ขณะที่ไข่น้ำมีปริมาณไขมันที่ต่ำมาก (0.92%) ทั้งนี้องค์ประกอบทางเคมีของไข่น้ำแห้งอาจแตกต่างกันตามสายพันธุ์ของไข่น้ำ ปัจจัยแวดล้อม การ

เพาะเลี้ยง ฤดูกาล และกระบวนการผลิต อย่างไรก็ตาม ค่าพลังงานที่ได้ (372 kcal/100 g) ก็ใกล้เคียงกับรายงานของ On-Nom et al. (2023) (383.03 kcal/100 g) จึงสามารถสรุปได้ว่า ไข่น้ำแห้งเป็นแหล่งของคาร์โบไฮเดรตและโปรตีนที่สำคัญในผลิตภัณฑ์อาหารอื่น ๆ ได้

Table 1 Quality characteristics and proximate composition of striped catfish floss, Thai river sprat fish powder, and dried water meal

Quality and proximate composition	Average±standard deviation		
	Striped catfish floss	Thai river sprat fish powder	Dried water meal
Yield (%)	55.02±0.79	21.28±0.14	5.67±0.33
Lightness (L*)	59.89±1.16	61.05±0.43	41.67±1.22
Redness (a*)	8.82±0.10	1.02±0.02	-3.47±0.46
Yellowness (b*)	23.39±0.53	8.02±0.15	11.42±1.57
Water activity (a _w)	0.340±0.010	0.257±0.003	0.354±0.003
Moisture (%)	6.15±0.05	3.97±0.04	6.86±0.08
Protein (%)	44.87±0.27	76.13±0.29	25.58±0.21
Fat (%)	0.94±0.03	5.31±0.02	0.92±0.00
Fiber (%)	0.44±0.01	1.85±0.03	0.55±0.01
Ash (%)	5.53±0.04	2.90±0.07	1.37±0.01
Carbohydrate (%)	42.06±0.20	9.84±0.35	64.73±0.29
Energy (kcal/100 g)	358	399	372



(A) Striped catfish floss



(B) Thai river sprat fish powder



(C) Dried water meal

Figure 1 Striped catfish floss, Thai river sprat fish powder, and dried water meal

5. ผลการศึกษาคุณภาพทางกายภาพ คุณภาพทางเคมี คุณภาพทางจุลชีววิทยา และคุณภาพทางประสาทสัมผัสของ ผงโรยข้าว

ผลการประเมินคุณภาพของผงโรยข้าวที่มีปลาสาวยหอย ผงปลาชิวแก้ว และไข่น้ำแห้ง เป็นส่วนผสมหลัก (Table 2) พบว่า ผงโรยข้าวต้นแบบที่ผลิตได้มีลักษณะเป็นผงแห้ง ร่วน และไม่เป็นเนื้อเดียวกัน มีสีออกโทนเหลืองน้ำตาลอมเทาแซมด้วยสีเขียว (Figure 2) โดยผลการวิเคราะห์คุณภาพทางกายภาพ พบว่า ผงโรยข้าวมีค่าสี L*, a*, b* และ a_w เท่ากับ 55.09, 1.78, 12.96 และ 0.380 ตามลำดับ สำหรับคุณภาพทางเคมี ได้แก่ องค์ประกอบทางเคมีของผงโรยข้าวและสมบัติการเป็น

สารต้านอนุมูลอิสระ พบว่า ผงโรยข้าวมีปริมาณความชื้น 4.88% โปรตีน 40.57% ไขมัน 9.22% เยื่อใย 6.04% เถ้า 11.34% คาร์โบไฮเดรต 27.95% และให้พลังงาน 381 kcal/100 g ขณะที่ผลการวิเคราะห์สมบัติการเป็นสารต้านอนุมูลอิสระ ซึ่งวัดด้วยวิธี DPPH assay, ABTS assay และวิธี FRAP assay พบว่า ผงโรยข้าวแสดงสมบัติการเป็นสารต้านอนุมูลอิสระ โดยมีค่า DPPH radicals scavenging activity 60.41% มีฤทธิ์ในการกำจัดอนุมูลอิสระ ABTS โดยแสดงค่า ABTS radicals scavenging activity เท่ากับ 1001.04 $\mu\text{M TE/g}$ และมีความสามารถในการให้อิเล็กตรอนเมื่อทดสอบด้วยวิธี FRAP assay ซึ่งมีค่า FRAP value เท่ากับ 7.334 mM Fe^{2+} equivalents/g ตามลำดับ สำหรับคุณภาพทางจุลชีววิทยา พบว่า ผงโรยข้าวมีปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมดเท่ากับ 1.3×10^5 CFU/g และไม่ตรวจพบยีสต์ราในผลิตภัณฑ์ ขณะที่ผลการทดสอบคุณภาพทางประสาทสัมผัส (Table 3) พบว่า คะแนนความชอบคุณลักษณะด้านลักษณะปรากฏ สี กลิ่น และเนื้อสัมผัสอยู่ที่ระดับชอบเล็กน้อย (6.59-6.79 คะแนน) ขณะที่คุณลักษณะด้านรสชาติ และความชอบโดยรวมมีคะแนนความชอบอยู่ที่ระดับชอบปานกลาง (7.07-7.10 คะแนน)

จากผลการวิเคราะห์จะเห็นว่า ผงโรยข้าวมีลักษณะเป็นผงแห้ง ร่วน และไม่เป็นเนื้อเดียวกัน เนื่องจากส่วนผสมที่ใช้ขนาดที่แตกต่างกัน มีสีออกโทนเหลืองน้ำตาลอมเทา (สีของปลาสดและผงปลาแห้ง) และแช่ด้วยสีเขียวเข้มของไข่น้ำแข็งซึ่งสอดคล้องกับค่าสีที่วิเคราะห์ได้ ขณะที่ค่า a_w ของผงโรยข้าว (0.38) เป็นไปตามเกณฑ์มาตรฐานผลิตภัณฑ์ผงโรยข้าวจากปลา ซึ่งกำหนดให้ผลิตภัณฑ์ต้องมีค่า a_w ไม่เกิน 0.6 (Thai Industrial Standards Institute, 2022) ซึ่งสอดคล้องกับปริมาณความชื้นที่ต่ำ (4.88%) ของผงโรยข้าว ทำให้จุลินทรีย์ไม่สามารถเจริญเติบโตได้เต็มที่เนื่องจากมีปริมาณน้ำอิสระที่ต่ำ ส่งผลให้ผงโรยข้าวมีความปลอดภัยและสามารถเก็บรักษาได้นาน ซึ่งสอดคล้องกับผลการวิเคราะห์ปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมดและปริมาณยีสต์และราที่มีค่าอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานอาหารพร้อมบริโภค (Ready-to-eat) ที่กำหนดว่าผลิตภัณฑ์ต้องมีปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมดไม่เกิน 1×10^6 CFU/g และยีสต์และรายน้อยกว่า 100 CFU/g (Siripongvutikorn et al., 2023)

สำหรับองค์ประกอบทางเคมี พบว่า ผงโรยข้าวมีองค์ประกอบทางเคมีสูงสุดคือ ปริมาณโปรตีน (40.57%) รองลงมาคือ คาร์โบไฮเดรต (27.95%) เถ้า (11.34%) ไขมัน (9.22%) และเยื่อใย (6.04%) ตามลำดับ โดยปริมาณโปรตีนเป็นองค์ประกอบที่มีค่าสูงสุด (40.57%) เนื่องจากส่วนผสมหลัก ได้แก่ ปลาสดและผงปลาแห้ง และไข่น้ำแข็ง เป็นส่วนผสมที่มีปริมาณโปรตีน และคาร์โบไฮเดรตสูง เมื่อนำมาผลิตเป็นผงโรยข้าวจึงส่งผลให้สารอาหารจำพวกโปรตีน และคาร์โบไฮเดรตของผงโรยข้าวมีปริมาณสูง ขณะที่การวิเคราะห์ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธีต่าง ๆ (วิธี DPPH, ABTS และ FRAP) พบว่า ผงโรยข้าวมีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระที่ดี ซึ่งเกิดจากส่วนผสมที่ใช้ในผงโรยข้าวมีสมบัติดังกล่าว ได้แก่ ไข่น้ำแข็ง (Somboon, 2014; On-Nom et al., 2023) งาขาว งาดำ (Wei et al., 2022) และสาหร่ายซึ่งมีสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพ โดยไข่น้ำแข็งมีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระเนื่องจากองค์ประกอบหลัก ได้แก่ โพลีฟีนอล (Polyphenols) และ ฟลาโวนอยด์ (Flavonoids) ซึ่งมีบทบาทในการต้านอนุมูลอิสระโดยการจับอนุมูลอิสระ นอกจากนี้ยังมีวิตามิน C วิตามิน E และเบต้าแคโรทีน (Beta-carotene) ซึ่งทำหน้าที่เป็นสารต้านอนุมูลอิสระอีกด้วย (Somboon, 2014; Thongkham, 2019; On-Nom et al., 2023) ขณะที่งาขาวและงาดำมีองค์ประกอบหลักของเซซามิน (Sesamin) และ เซซาโมลิน (Sesamol) ซึ่งมีคุณสมบัติในการต้านอนุมูลอิสระ (Wei et al., 2022) สำหรับสาหร่ายมีองค์ประกอบของแคโรทีนอยด์และฟลาโวนอยด์ ซึ่งเป็นสารต้านอนุมูลอิสระ โดยผลการวิเคราะห์ค่า FRAP value ของผงโรยข้าว (7.334 mM Fe^{2+} equivalents/g) มีค่าใกล้เคียงกับสารสกัดจากดอกทานตะวันในตำรายาหอมเทพจิตร ซึ่งมีค่า FRAP value เท่ากับ 7.026 mM Fe^{2+} equivalents/g และมีค่ามากกว่าสมุนไพรชนิดอื่น ๆ ในตำรายาหอม (Manok & Limcharoen, 2015) ทั้งนี้วิธีการทดสอบฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระทั้งสามวิธีเป็นการวัดที่มีกลไกแตกต่างกัน กล่าวคือ วิธี DPPH เป็นการวัดความสามารถของสารตัวอย่างในการกำจัดอนุมูลอิสระโดยวิธีให้ไฮโดรเจนอะตอมกับ DPPH ส่วนวิธี ABTS เป็นวิธีที่ใช้ทดสอบความสามารถของตัวอย่างในการกำจัดอนุมูลอิสระชนิดเปอร์ออกไซด์ที่เกิดจาก ABTS ขณะที่วิธี FRAP เป็นการวัดสมบัติในการเป็นตัวให้อิเล็กตรอนของสารตัวอย่างแก่อนุมูลอิสระที่สังเคราะห์ขึ้นในระบบ โดยอาศัยการวัดปฏิกิริยา Reduction ของ Fe^{3+} -TPTZ ไปเป็น Fe^{2+} -TPTZ (Manok & Limcharoen, 2015) โดยการใช้วิธีการที่หลากหลายในการประเมินฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระมีความจำเป็นอย่างยิ่งเนื่องจากแต่ละวิธีมีหลักการในการตรวจวัดที่ต่างกัน ทั้งในด้านกลไกและลักษณะของฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ ทั้งนี้เนื่องจากยังไม่มีวิธีใดวิธีหนึ่งที่สามารถให้ผลการประเมินที่สมบูรณ์ครบถ้วนเพียงวิธีการเดียว ดังนั้น การใช้วิธีการประเมินที่หลากหลายร่วมกันจะทำให้ได้ข้อมูลที่ยืนยันเกี่ยวกับศักยภาพในการต้านอนุมูลอิสระของตัวอย่างดังกล่าว

สำหรับผลการทดสอบคุณภาพทางประสาทสัมผัส พบว่า ผู้ทดสอบให้คะแนนความชอบในทุกคุณลักษณะ (ยกเว้นรสชาติและความชอบรวม) อยู่ในระดับชอบเล็กน้อย (6.59-6.79 คะแนน) ซึ่งมีระดับความชอบใกล้เคียงกับผงไข่น้ำแข็งปรุงรส

ซึ่งอยู่ที่ระดับชอบเล็กน้อย (Cheerapatiyut, 2009) และมีค่าใกล้เคียงกับผงโรยข้าวที่ผลิตจากใบเหลียง กุ้งแห้ง งาดำ และงาขาว (Siripongvutikorn et al., 2023) ขณะที่คะแนนความชอบโดยรวมของผงโรยข้าวที่ผลิตจากปลาสร้อยหอยอง ผงปลาชิวแก้ว และไข่น้ำแห้ง (คะแนนความชอบอยู่ที่ระดับชอบปานกลาง) มีระดับคะแนนมากกว่าผงไข่น้ำอบแห้งปรุงรส ซึ่งอยู่ที่ระดับชอบเล็กน้อย (Cheerapatiyut, 2009) ทั้งนี้อาจเกิดเนื่องจากสัดส่วนของส่วนผสมที่ต่างกันซึ่งมีผลต่อความชอบของผู้บริโภค จากผลการทดลองจึงสามารถสรุปได้ว่าการใช้ปลาสร้อยหอยอง ผงปลาชิวแก้ว และไข่น้ำแห้ง ซึ่งเป็นวัตถุดิบที่มีสารอาหารจำพวกโปรตีนและคาร์โบไฮเดรตสูงมาประยุกต์ใช้ในการผลิตผงโรยข้าวสามารถสร้างผลิตภัณฑ์อาหารที่ส่งเสริมสุขภาพได้ โดยเป็นผลิตภัณฑ์ในกลุ่มที่มีโปรตีนสูง มีคุณค่าทางโภชนาการ มีฤทธิ์ต้านสารอนุมูลอิสระ ปลอดภัยต่อการบริโภค และมีคะแนนความชอบโดยรวมอยู่ที่ระดับชอบปานกลาง

Table 2 Quality Characteristics of rice seasoning powder made from striped catfish floss, Thai river sprat fish powder, and dried water meal

Quality of rice seasoning powder	Average±standard deviation
Lightness (L*)	52.96±0.94
Redness (a*)	1.32 ±0.36
Yellowness (b*)	13.07 ±0.69
Water activity (a _w)	0.38±0.001
Moisture (%)	4.88±0.02
Protein (%)	40.57±0.05
Fat (%)	9.22±0.03
Fiber (%)	6.04±0.03
Ash (%)	11.34±0.02
Carbohydrate (%)	27.95±0.09
Energy (kcal/100 g)	381
Total plate count (CFU/g)	1.3x10 ⁵
Yeast and mold (CFU/g)	Not found
DPPH radicals scavenging activity (%)	60.41
ABTS radicals scavenging activity (µM TE/g)	1001.04
FRAP value (mM Fe ²⁺ equivalents/g)	7.334

Table 3 Sensory preference scores of rice seasoning powder made from striped catfish floss, Thai river sprat fish powder, and dried water meal

Attributes	Average±Standard deviation
Appearance	6.69±1.75
Color	6.59±1.72
Odor	6.69±1.74
Taste	7.10±1.76
Texture	6.79±1.63
Overall liking	7.07±1.53



Figure 2 Rice seasoning powder made from striped catfish floss, Thai river sprat fish powder, and dried water meal

บทสรุป

จากผลการทดลองสามารถได้ว่า ปลาสาวยหอยอง ผงปลาชิวแก้ว และไข่น้ำอบแห้ง เป็นวัตถุดิบที่มีศักยภาพในการใช้เป็นส่วนผสมในอาหารเสริมสุขภาพเนื่องจากมีคุณภาพที่ดีและมีคุณค่าทางโภชนาการสูงเหมาะสมต่อการนำไปใช้ประยุกต์ในผลิตภัณฑ์อาหาร โดยวัตถุดิบทั้งสามชนิดเป็นแหล่งของสารอาหารหลักจำพวกโปรตีนและคาร์โบไฮเดรต และมีความปลอดภัยต่อผู้บริโภคเนื่องจากมีค่า a_w และปริมาณความชื้นอยู่ในระดับต่ำ เมื่อนำมาผลิตผงโรยข้าวสูตรต้นแบบเพื่อประเมินความเป็นได้ในการประยุกต์ใช้วัตถุดิบทั้งสามชนิด พบว่า ผงโรยข้าวประกอบด้วยสารอาหารหลักจำพวกโปรตีน มีฤทธิ์ต้านสารอนุมูลอิสระ ปลอดภัยต่อผู้บริโภคและมีคะแนนความชอบโดยรวมอยู่ที่ระดับชอบปานกลาง ดังนั้น วัตถุดิบทั้งสามชนิดจึงมีศักยภาพในการเป็นแหล่งของสารอาหารที่สำคัญซึ่งเหมาะสำหรับการนำไปพัฒนาเป็นผลิตภัณฑ์อาหารสุขภาพได้ในอนาคต

กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบคุณสาขาวิชาเทคโนโลยีการประมง สาขาวิชาเทคโนโลยีการอาหาร และสาขาวิชาเทคโนโลยีชีวภาพ คณะเทคโนโลยีการเกษตร มหาวิทยาลัยภาพสสินธุ์ ที่สนับสนุนอุปกรณ์ เครื่องมือ และสถานที่ในการทำการทดลอง และขอขอบคุณ กองทุนส่งเสริมวิทยาศาสตร์ วิจัยและนวัตกรรม ปีงบประมาณ พ.ศ. 2567 ที่ได้สนับสนุนการทำวิจัยในครั้งนี้

เอกสารอ้างอิง

- Abdel-Haleem, A., & Omran, A. (2014) Preparation of dried vegetarian soup supplemented with some legumes. *Food and Nutrition Sciences*, 5, 2274-2285.
- Andrews, W. (1992). Manual of food quality control. 4. rev. 1. microbiological analysis. food and drug administration. *FAO food and nutrition paper*, 14(4 Revis 1), 321-338.
- Arnao, M. B., Cano, A., & Acosta, M. (2001). The hydrophilic and lipophilic contribution to total antioxidant activity. *Food chemistry*, 73(2), 239-244.
- Association of Official Analytical Chemists (AOAC). (2016). *Official Method of Analysis* (20th ed.). Benjamin Franklin Station.
- Auyyuenyong, R., Boonthawee, K., & Wangdee, K. (2023). Shelf-life evaluation of dehydrated Thai river sprat (*Clupeichthys aesarnensis*) product in packaging with nitrogen gas using accelerated testing method. *Journal of Food Technology, Siam University*, 18(1), 10-20. (In Thai)

- Bacteriological Analytical Manual (BAM). (2001, October 14). *Yeast, molds and mycotoxins*. Laboratory Methods. <https://www.fda.gov/food/laboratory-methods-food/bam-chapter-18-yeasts-molds-and-mycotoxins>
- Bhowmik, S., Zakaria, M. A., Sarwar, M. S., Shofi, S. B., Akter, S. F., Islam, M. M., & Mamun, A. A. (2020). Development and nutritional index of ready to use fish products (RUFs) from small fish species: future superfoods for consumers. *Applied Food Research*, 2(100111), 1-11.
- Cheerapatyut, K. (2009). *Product innovation of high calcium rice vegetative seasoning from water meal (Wolffia globosa)*. [Master's thesis]. Chulalongkorn University Intellectual Repository (CUIR). http://cuir.chula.ac.th/bitstream/123456789/19653/1/krerkchai_ch.pdf. (In Thai)
- Department of Fisheries (2018). *Fish Processing*. Wanida Karnpim limited partnership. (In Thai)
- Fahmi, A. S., & Purnamayati, L. (2020). Cholesterol content, fatty acid composition and sensory analysis of deep fried and roasted abon ikan (fish floss/shredded fish flesh): fish processing pechnology. *E3S Web of Conferences*, 147(03009), 1-7. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202014703009>
- Haider, Md. N., Bhattacharjee, S., Shikha, F. H., & Hossain, I. (2021). Bacterial count and proximate composition of an indian sub-continental freshwater barb, punti (*Puntius sophore*) and a gangetic catfish, gulsha (*Mystus cavasius*) during drying-up process. *Journal of Aquatic Food Product Technology*, 30(4): 474-483.
- Hu, Z., Fang, Y., Yi, Z., Tian, X., Li, J., Jin, Y., He, K., Liu, P., Du, A., Huang, Y., & Zhao, H. (2022). Determining the nutritional value and antioxidant capacity of duckweed (*Wolffia arrhiza*) under artificial conditions. *LWT-Food Science and Technology*, 153(112477), 1-8.
- Kartikaningsih, H., Yahya, Y., Yuniar, T., Jaziri, A. A., Zzaman, W., Kobun, R., & Huda, N. (2021). The nutritional value, bacterial count and sensory attributes of little tuna (*Euthynnus affinis*) floss incorporated with the banana blossom. *Potravinarstvo Slovak Journal of Food Sciences*, 15, 846-857.
- Tilami, S. K., & Samples, S. (2017). Nutritional value of fish: lipids, proteins, vitamins, and minerals. *Reviews in Fisheries Science and Aquaculture*, 26(2), 243-253.
- Klomklao, S., & Benjakul, S. (2018). Protein hydrolysates prepared from the viscera of skipjack tuna (*Katsuwonus pelmamis*): antioxidative activity and functional properties. *Turkish Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 18(1), 69-79.
- Kongpun, O., & Somboonyarithi, V. (2009). *Fish sauce production from freshwater fish* (Technical Paper No. 2/2009). Department of Fisheries, Ministry of Agriculture and Cooperatives. (In Thai).
- Maepakdee, S., Rattanasuwan, P., Krasaechon, N., & Yuenyongputtakal, W. (2014). Enrichment of protein and iron in snack products using tuna blood powder. *The Journal of KMUTN*, 24(1), 168-177. (In Thai).
- Mahae, N., Pichairat, D., & Khachenpukd, N. (2019). *Product development of rice seasoning (furikake) from crispy fried seabass (Lates calcarifer) skin* (Research report). Faculty of Science and Fisheries Technology, Rajamangala University of Technology Srivijaya. (In Thai).
- Mamun, A. A., Bhowmik, S., Sarwar, M. S., Akter, S., Pias, T., Zakaria, M. A., Islam, M. M., Evans, H. E. F., Wahab, M. A., Thilsted, S. H., & Little, D. C. (2022). Preparation and quality characterization of marine small pelagic fish powder: a novel ready-to-use nutritious food product for vulnerable populations. *Measurement: Food*, 8(100067), 1-10.
- Manok, S. & Limcharoen, P. (2015). Investigating antioxidant activity by DPPH, ABTS and FRAP assay and total phenolic compounds of herbal extracts in ya-hom thepphachit. *Advanced Science*, 15(1), 106-117. (In Thai)

- On-Nom, N., Promdang, P., Inthachat, W., Kanoongon, P., Sahasakul, Y., Chupeerach, C., Suttisansanee, U., & Temviriyankul, P. (2023). *Wolffia globosa*-based nutritious snack formulation with high protein and dietary fiber contents. *Foods*, 12(2647), 1-16.
- Phonpanawit, A., & Klomjoho, S. (2024). Development of noodle product protein fortification with watermeal (*Wolffia arrhiza* (L.) Wimm.). *Science Journal, Chandrakasem Rajabhat University*, 34(2), 160–169. (In Thai).
- Prachachat Business. (2024, August 3). *The health trend is booming, with the market value expected to exceed 230 trillion baht by 2025*. Business. <https://www.prachachat.net/tourism/news-1620647>. (In Thai).
- Puttame, K., & Ninlanon, W. (2021). Development of dried alkaline noodle product supplemented with water meal. *VRU Research and Development Journal Science and Technology*, 16(2), 57-69. (In Thai).
- Rajavithi Hospital. (2016, June 14). *Striped catfish, high in omega 3, a menu choice for Thai people*. Food. <https://www.rajavithi.go.th/rj/?p=2075>. (In Thai).
- Romadhon, R., Amalia, U., & Anggo, A. D. (2019). Quality improvement of catfish floss (*Clarias gariepinus*) through oil reduction technology with spinner and press tools. *Omni-Akuatika*, 15(2), 36-42.
- Rudkowska, I., Marcotte, B., Pilon, G., Lavigne C., Marette, A., & Vohl, M. (2010). Fish nutrients decrease expression levels of tumor necrosis factor- α in cultured human macrophages. *Physiol Genomics*, 40, 189-194.
- Runglerdkriangkrai, J. (2017). *Development of seasoning mixed snack from salted Snakeskin gourami (Trichogaster pectoralis Regan): seasoning mix* (Research report). Faculty of Fisheries, Kasetsart University. (In Thai).
- Siripongvutikorn, S., Banphot, P., Rampoei, N., & Thantrirat, J. (2023). Quality of Thai furikake dried seasoning powder fortified with natural calcium and phosphorus. *Italian Journal of Food Science*, 35(4), 88-101.
- Somboon, S. (2014). Cultivation and utilization of water meal (Khai phum). *Kasetsart Extension Journal*, 60(2): 61-74. (In Thai).
- Thai Industrial Standards Institute. (1987). *Industrial product standards for fish floss, scaled fish, and dried fish meal (TIS 700-2530)*. Ministry of Industry. (In Thai).
- Thai Industrial Standards Institute. (2010). *Thai community product standard (TCPS) for fish floss (TCPS No. 300/2553)*. Ministry of Industry. (In Thai).
- Thai Industrial Standards Institute. (2022). *Thai community product standard (TCPS) for rice seasoning from fish (TCPS No. 165/2565)*. Ministry of Industry. (In Thai).
- Thongkham, P. (2019, June 14). *Effect of temperature on antioxidant activity in dried water meal (Wolffia arrhiza (L.) Wimm) and application in food products* [Master's thesis]. Repository RMUTT. <https://repository.rmutt.ac.th/dspace/handle/123456789/3815>. (In Thai).
- Treeinthong, J., Samanros, A., & Wiriyampaiwong, P. (2024). Product development of snack bar enriched with dried Thai river sprat (*Clupeichthys aesarnensis*). *Prawarun Agricultural Journal*, 21(1), 96–105. <https://doi.org/10.14456/paj.2024.11> (In Thai)
- Van Ruth, S. M., Brouwer, E., Koot, A., & Wijtten, M. (2014). Seafood and water management. *Foods*, 3(4), 622-631.

- Wei, P., Zhao, F., Wang, Z., Wang, Q., Chai, X., Hou, G., & Meng, Q. (2022). Sesame (*Sesamum indicum* L.): A comprehensive review of nutritional value, phytochemical composition, health benefits, development of food, and industrial Applications. *Nutrients*, 14(19), 4079.
<https://doi.org/10.3390/nu14194079>
- Wijayanti, I., Surti, T., Anggo, A. D., & Susanto, E. (2016). Effect different packaging on proximate and lysine content of milkfish [*Chanos chanos* (Forsskal, 1775)] floss during storage. *Aquatic Procedia*, 7, 118-124.

ATRJ



วารสารเกษตรศาสตร์และเทคโนโลยี
มทร.อีสาน



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

คณะเกษตรศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน วิทยาเขตสุรินทร์