วารสารวิจัยและส่งเสริมวิชาการเกษตร

สำนักวิจัยและส่งเสริมวิชาการการเกษตร มหาวิทยาลัยแม่โจ้

ปีที่ 42 ฉบับที่ 3 กันยายน – ธันวาคม 2568 ISSN 2985-0118 (Online)

Agri. RESEARCH & EXTENSION

การขยายพันธุ์จำปาดะในสภาพปลอดเชื้อและการอนุบาลต้นกล้าในโรงเรือน
สกุลรัตน์ หาญศึก นภัสวรรณ เลี่ยมนิมิตร และวัฒนา ณ นคร 1-17

การทดสอบฟักทองพันธุ์ใข่เน่าน่านใน 2 ฤดูปลูก
จานุลักษณ์ ขนบดี ภัทราภรณ์ ศรีสมรรถการ ชัยวัฒน์ พงศ์สุขุมาลกุล และพรพนา จินาวงค์ 18-27

อิทธิพลของปุ๋ยอินทรีย์เคมีต่อการเจริญเติบโต สรีรวิทยา ผลผลิต และปริมาณแลคโตนรวมในฟ้าทะลายโจรภายใต้สภาพกระถาง
ปริญญาวดี ศรีตนทิพย์ ชิติ ศรีตนทิพย์ เสกสรร วงศ์ศิริ บุศรินทร์ บุญเต็ม พิมพ์รัมภา สำราญ และมนัสวี วังไชยเลิศ 28-40

ผลของการเตรียมพร้อมเมล็ดพันธุ์ด้วยสารละลายเกลือ KNO_3 และ $CaCl_2$ ต่อความงอกและความแข็งแรงของเมล็ดพันธุ์ผักกาดเขียว
พิจิตรา แก้วสอน ปิยรัตน์ รุจิณรงค์ และรักศักดิ์ เสริมศักดิ์ 41-54

อิทธิพลของปัจจัยสิ่งแวดล้อมบางประการต่อลักษณะสังคมพืช บริเวณภูพระบาทอุทยานแห่งชาติภูหินจอมธาตุ – ภูพระบาท จังหวัดอุดรธานี
กิตติชัย คะอังกุ เพ็ญพิลัย เปี่ยนคิด มณฑล นอแสงศรี กฤษดา พงษ์การัณยภาส และแหลมไทย อาษานอก 55-73

กิจกรรมต้านจุลินทรีย์ก่อโรคข้าวของ *Bacillus velezensis* และการสร้างสารลดแรงตึงผิวทางชีวภาพ
ธันย์ชนก เอื้ออาจิน วราภรณ์ แสงทอง วิรันธชา เครือฟู ปิยะนุช เนียมทรัพย์ และศรีกาญจนา คล้ายเรือง 74-88

การประเมินศักยภาพแบคทีเรียที่เป็นประโยชน์เพื่อการเกษตรจากดินรอบ ๆ รากข้าวสังข์หยด
ผจงสุข สุธารัตน์ สัลวา ตอปี และสายใจ วัฒนเสน 89-102

ชีวนวัตกรรมการผลิตวัสดุปรับปรุงดินจากก้อนเชื้อเห็ดนางฟ้าเก่าหมักร่วมกับวัสดุอินทรีย์เหลือทิ้งทางการเกษตรโดยใช้เอนโดไฟติกแบคทีเรียเป็นหัวเชื้อ
ณัฐพร จันทร์ฉาย สร้อยฟ้า ดิษคำเหมาะ และจุฑามาศ คำนาน 103-116

การพัฒนาชุดย้อมหม้อห้อมธรรมชาติสำเร็จรูปด้วยหัวเชื้อจุลินทรีย์บริสุทธิ์แบบแห้ง
ณัฐพร จันทร์ฉาย กรณ์ เย็นอารมย์ ลักษิกา สังสิริ และอัญศญา บุญประจวบ 117-128

ผลของฤดูกาลต่อการเปลี่ยนแปลงคุณภาพน้ำและปริมาณคลอโรฟิลล์เอบริเวณชายฝั่งทะเลละแม อำเภอละแม จังหวัดชุมพร
พรพิมล พิมลรัตน์ ณัชพัฒน์ สุขใส พัชราวลัย ศรียะศักดิ์ และสุพันธ์ณี สุวรรณภักดี 129-140

การตรวจสอบความผิดปกติของเนื้อมะม่วงด้วยสเปกโทรสโกปีอินฟราเรดย่านใกล้
ปฐมพร ไชยะ แคทรียา สนธิยา จุฑามาส สงวนทรัพย์ ฉันหลักษณ์ ติยายน พลกฤษณ์ มณีวระ และพิมพ์ใจ สีทะนาม 141-150

ผลของกระบวนการอบแห้งต่อคุณภาพ และคุณค่าทางโภชนาการของผงปลาปรุงรสจากเศษเนื้อปลาแซลมอนจากโรงงานอุตสาหกรรม
รังสิตา จันทร์หอม ภาพิมล ประจงพันธ์ และลลิตา ปานแก้ว 151-161

ผลของเกลือโซเดียม แคลเซียม และโพแทสเซียมต่อคุณสมบัติของมอสซาเรลล่าชีส
กมลพรรณ ปิงดี รวงข้าว ตรางา และกรผกา อรรคนิตย์ 162-172

การพัฒนาศักยภาพนักวิชาการส่งเสริมการเกษตรด้านการจัดการศัตรูพืชและการดำเนินงานคลินิกพืชระดับพื้นที่ของกรมส่งเสริมการเกษตร
จุฬาภรณ์ นกสกุล ชิดชนก ไชยพงษ์ และอภิญญา เย็นสบาย 173-188

แนวทางการสร้างความมั่นคงทางอาหารของชุมชนผ่านการผลิตข้าวพันธุ์พื้นเมืองพื้นที่อำเภอทุ่งสง จังหวัดนครศรีธรรมราช
รัตนา อุ่นจันทร์ สุดนัย เครือหลี และนภัสวรรณ เลี่ยมนิมิตร 189-203

ไขปริศนาผลกระทบและความเสี่ยงจากการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศต่อการผลิตข้าวนาปีในเขตชลประทาน: กรณีศึกษาทางเศรษฐมิติจากภาคตะวันออกเฉียงเหนือของประเทศไทย
ธนากร แสนสาร นิโรจน์ สินณรงค์ วราภรณ์ นันทะเสน และเก นันทะเสน 204-220

การศึกษาต้นทุนและผลตอบแทนทางการเงินของผลิตภัณฑ์ด้านเภสัชกรรมจากสมุนไพรพื้นบ้านภาคเหนือ “มะแขว่น”
ชัยยศ สัมฤทธิ์สกุล อัชญา ไพคำนาม และอรุณี ยศบุตร 221-230

แนวทางการพัฒนาผลิตภัณฑ์ และปัจจัยส่วนผสมทางการตลาดที่ส่งผลต่อการตัดสินใจซื้อน้ำยาเจือจางน้ำเชื้อเพื่อการขยายพันธุ์ไก่กีฬาและไก่สวยงาม
ณปภัช ช่วยชูหนู ไพศาล กะกุลพิมพ์ และจรีวรรณ จันทร์คง 231-245

ปริมาณและองค์ประกอบทางเคมีของขยะอาหารจากโรงแรมในพื้นที่เทศบาลเมืองชะอำ จังหวัดเพชรบุรี และเทศบาลเมืองหัวหิน จังหวัดประจวบคีรีขันธ์
อุไรวรรณ ไอยสุวรรณ์ ธนวดี พรหมจันทร์ และจีระศักดิ์ ชอบแต่ง 246-257

การใช้ระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์เพื่อประเมินพื้นที่เหมาะสมในการฝังกลบขยะมูลฝอยตามหลักสุขาภิบาล จังหวัดลพบุรี
ขวัญชัย ชัยอุดม วรินทร สุดแสวง และเอมิกา รสโหมด 258-273

วารสารวิจัยและส่งเสริมวิชาการเกษตร

JOURNAL OF AGRICULTURAL RESEARCH AND EXTENSION

ที่ปรึกษา อธิการบดีมหาวิทยาลัยแม่โจ้

รองอธิการบดี (ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุริยจรัส เตชะตันมีนสกุล)

ผู้อำนวยการสำนักวิจัยและส่งเสริมวิชาการการเกษตร

รองผู้อำนวยการสำนักวิจัยและส่งเสริมวิชาการการเกษตร ฝ่ายบริการวิชาการ

รองผู้อำนวยการสำนักวิจัยและส่งเสริมวิชาการการเกษตร ฝ่ายวิจัย

รองผู้อำนวยการสำนักวิจัยและส่งเสริมวิชาการการเกษตร ฝ่ายบริหาร

บรรณาธิการ รองศาสตราจารย์ ดร.เกรียงศักดิ์ ศรีเงินยวง

รองบรรณาธิการ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วิชญ์ภาส สังพาลี

บรรณาธิการผู้ช่วย ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุธีระ เหิมฮึก

อาจารย์ ดร.จุฑามาศ อาจนาเสียว

กองบรรณาธิการ

ศาสตราจารย์เกียรติคุณ ดร.สาวิตรี	ลิ่มทอง	มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
ศาสตราจารย์ ดร.ดอกรัก	มารอด	มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
ศาสตราจารย์ ดร.อุทัยรัตน์	ณ นคร	มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
ศาสตราจารย์ ดร.อลิศรา	เรืองแสง	มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
ศาสตราจารย์ ดร.ฉัตรชัย	เงินแสงสรวย	มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
รองศาสตราจารย์ ดร.พิชัย	ทองดีเลิศ	มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
รองศาสตราจารย์ ดร.ศกร	คุณวุฒิฤทธิรณ	มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
ศาสตราจารย์ ดร.มนต์ชัย	ดวงจินดา	มหาวิทยาลัยขอนแก่น
รองศาสตราจารย์ ดร.ศักรินทร์	นนทพจน์	มหาวิทยาลัยขอนแก่น
รองศาสตราจารย์ ดร.บุญมี	ศิริ	มหาวิทยาลัยขอนแก่น
รองศาสตราจารย์ ดร.พงศกร	ศุภกิจไพศาล	มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
รองศาสตราจารย์ ดร.วรทัศน์	อินทรัคคัมพร	มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ปิยะวรรณ	สุทธิประพันธ์	มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
รองศาสตราจารย์ ดร.วิภารัตน์	เชื้อชวด ชัยสิทธิ์	มหาวิทยาลัยนเรศวร
รองศาสตราจารย์ ดร.จรัณธร	บุญญานุภาพ	มหาวิทยาลัยนเรศวร
รองศาสตราจารย์ ดร.นริศ	ท้าวจันทร์	มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์
ศาสตราจารย์ ดร.อานัฐ	ตันโช	มหาวิทยาลัยแม่โจ้
รองศาสตราจารย์ ดร.ทีฆา	โยธาภักดี	มหาวิทยาลัยแม่โจ้
รองศาสตราจารย์ ดร.สิริวัฒน์	สาครวาสี	มหาวิทยาลัยแม่โจ้
รองศาสตราจารย์ ดร.จักรพงษ์	พวงงามชื่น	มหาวิทยาลัยแม่โจ้
รองศาสตราจารย์ ดร.ดวงพร	อมรเลิศพิศาล	มหาวิทยาลัยแม่โจ้
รองศาสตราจารย์ ว่าที่ร้อยตรี ดร.จงกล	พรมยะ	มหาวิทยาลัยแม่โจ้
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.กาญจนา	นาคประสม	มหาวิทยาลัยแม่โจ้
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุรีย์วัลย์	เมฆกมล	มหาวิทยาลัยแม่โจ้
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ปิยะนุช	เนียมทรัพย์	มหาวิทยาลัยแม่โจ้

ฝ่ายตรวจสอบพิสูจน์อักษรและปรับแก้ไขภาษา นางทิพย์สุดา ปุกมณี ดร.จันทร์เพ็ญ สะระ

ฝ่ายจัดทำวารสารฯ นางสาววัญรณา ขยัน นางสาวอัมภา สันทราย

นายเกียรติศักดิ์ ทาสูน

จัดทำโดย กองบริหารงานบริการวิชาการ สำนักวิจัยและส่งเสริมวิชาการการเกษตร

มหาวิทยาลัยแม่โจ้ อำเภอสันทราย จังหวัดเชียงใหม่ 50290

โทรศัพท์ 0-5387-3411 **E-mail**: Mju_journal@gmaejo.mju.ac.th

Web site: https://li01.tci-thaijo.org/index.php/MJUJN/index

วารสารวิจัยและส่งเสริมวิชาการเกษตร เป็นวารสารทางวิชาการของสำนักวิจัยและส่งเสริมวิชาการการเกษตร มหาวิทยาลัยแม่โจ้ มีวัตถุประสงค์เพื่อเผยแพร่บทความวิจัยและบทความวิชาการด้านการเกษตร อาหาร สุขภาพ และสิ่งแวดล้อม ตลอดจนนวัตกรรมด้านการเกษตรและส่งเสริมการเกษตร โดยวารสารเผยแพร่ในรูปแบบวารสารอิเล็กทรอนิกส์ ISSN 2985-0118 (Online) เป็นวารสารราย 4 เดือน กำหนดออกปีละ 3 ฉบับ บทความที่ส่งมาจะต้องผ่านการพิจารณาโดยผู้ทรงคุณวุฒิ (Peer Review) อย่างน้อย 3 ท่าน

บทบรรณาธิการ

วารสารวิจัยและส่งเสริมวิชาการเกษตร ปีที่ 42 ฉบับที่ 3 (กันยายน-ธันวาคม 2568) เราเดินทางมาเป็นฉบับสุดท้ายของปี 2568 อีกรอบปีแล้วครับ สำหรับในช่วงท้ายของปีนี้เป็นช่วงเวลาที่มีความแตกต่างจากปีก่อน ๆ อยู่ในหลายๆ เรื่อง โดยเฉพาะเรื่องของดินฟ้าอากาศ จนเกิดวิกฤตน้ำท่วมหนัก เริ่มตั้งแต่หลายพื้นที่ในอยุธยา ไปจนถึงหาดใหญ่ ความเปลี่ยนแปลงของสภาพอากาศจากภาวะโลกร้อน และปรากฏการณ์ลานีญา ส่งผลให้เกิดปรากฏการณ์ธรรมชาติที่ผิดปกติ ในช่วงปลายปี พายุ“คัลมีแก”ก่อให้เกิดน้ำท่วมในภาคใต้กว่า 9 จังหวัด เป็นอีกหนึ่งมหาอุทกภัย สร้างความเสียหายต่อชีวิตและทรัพย์สินมหาศาล พื้นที่การเกษตรหลายแห่งได้รับผลกระทบอย่างหลีกเลี่ยงไม่ได้ ทางวารสารวิจัยฯ ขอเอาใจช่วยทุกภาคส่วนให้ผ่านพ้นวิกฤตการณ์ต่าง ๆ เรียนรู้อดีต และมีความตื่นตัวเพื่อหาวิธีการป้องกันภัยให้ได้มากที่สุดต่อไปในอนาคตด้วยครับ

วารสารวิจัย ฯ ฉบับนี้ ท่านจะได้พบกับบทความวิจัยและบทความวิชาการ ในประเด็นต่าง ๆ เพื่อตอบสนองความต้องการของสังคมทางด้านการเกษตรที่น่าสนใจหลากหลายประเด็น ได้แก่ ด้านการผลิตพืช ด้านอุตสาหกรรมอาหาร ด้านการส่งเสริมการเกษตร ด้านเศรษฐศาสตร์เกษตร ด้านป่าไม้และสิ่งแวดล้อม ตลอดจนงานวิจัยอื่น ๆ

วารสารวิจัย ฯ หวังว่าผู้อ่านจะได้รับประโยชน์ไม่มากก็น้อยเพื่อเป็นการส่งเสริมและแลกเปลี่ยนองค์ความรู้เพื่อช่วยกันพัฒนาการเกษตรไทยให้ก้าวหน้าและทันต่อการเปลี่ยนแปลงยิ่ง ๆ ขึ้นไป และในศุภวารดิถีขึ้นปีใหม่ พุทธศักราช 2569 นี้ กระผมและกองบรรณาธิการทุกคนของวารสารวิจัยและส่งเสริมวิชาการเกษตร ขอให้ทุกท่านได้ประสบแต่ความสุข ความเจริญ ให้สุขภาพแข็งแรง มีความเจริญก้าวหน้าในหน้าที่การงาน และขอให้กิจการการเกษตรไทยเจริญรุ่งเรืองควบคู่กับการพัฒนาอย่างยั่งยืน แล้วพบกันใหม่ในฉบับหน้า 2569 ครับ

รองศาสตราจารย์ ดร.เกรียงศักดิ์ ศรีเงินยวง

บรรณาธิการวารสารวิจัยฯ

Journal of Agri. Research & Extension 42(3): 1-17

การขยายพันธุ์จำปาดะในสภาพปลอดเชื้อและการอนุบาลต้นกล้าในโรงเรือน

Micropropagation of Champedak (*Artocarpus integer* (Thunb.) Merr.) and Acclimatization of Plantlets in the Greenhouse Conditions

สกุลรัตน์ หาญศึก[1,*] นภัสวรรณ เลี่ยมนิมิตร[1] และวัฒนา ณ นคร[2]

Sakulrat Hansuek[1,*], Napassawan Liamnimitr[1] and Wattana Na Nakhon[2]

[1]สาขาพืชศาสตร์ คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย นครศรีธรรมราช 80110

[2]สาขาพืชสวนประดับและภูมิทัศน์ คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย นครศรีธรรมราช 80110

[1]Department of Plant Science, Faculty of Agriculture, Rajamangala University of Technology Srivijaya Nakorn Sri Thammarat, Thailand 80110

[2]Department of Ornamental Horticulture and Landscape, Faculty of Agriculture Rajamangala University of Technology Srivijaya Nakorn Sri Thammarat, Thailand 80110

*Corresponding author: sakulrat.s@rmutsv.ac.th

Received: *April 28, 2024*
Revised: *May 28, 2025*
Accepted: *June 06, 2025*

Abstract

Champedak (*Artocarpus integer* (Thunb.) Merr.) is a native fruit tree in the South that holds economic significance, prompting farmers to increase its cultivation. There is a growing market for this fruit among both domestic and international consumers. However, the propagation of champedak through cleft grafting from branches is often hindered by disease infestations. Therefore, the seeds were propagated through tissue culture by surface-sterilizing them in a 25% of sodium hypochlorite solution for 25 minutes. They were then cultured on MS medium supplemented with 0-2 mg/L of Benzylaminopurine (BA), with or without 0.2% activated charcoal (AC), for 3 months. The results revealed that culture medium supplemented with 2 mg/L of BA and 0.2% activated charcoal (AC) gave the highest plant regeneration (80%), whereas culture medium without AC gave the highest number of shoots (6.25 shoots/explant). Shoot proliferation from shoot explants cultured on semi-solid MS medium supplemented with 2 mg/L of BA gave the highest number of multiple shoot formations (4.70 shoots/explant) after 3 months of culturing. Root induction from shoot explants was cultured on MS medium supplemented with 1 mg/L NAA with wounding, and 3 mg/L of NAA without wounding gave the highest percentage of root formation, up to 100%, while culture medium with 2 mg/L NAA gave the highest number of roots (6.80 roots/explant). After 3 months, the plantlets, measuring 10 cm in height,

were acclimatized in a mixture of soil, burnt husk and chicken manure at a ratio of 2:1:1. This combination resulted in the highest survival rate of 70%, which was recorded one month after the transfer to the soil.

Keywords: *Artocarpus integer* (Thunb.) Merr., embryo culture, auxin, cytokinin

บทคัดย่อ

จำปาดะเป็นไม้ผลพื้นเมืองของภาคใต้ที่มีความสำคัญทางเศรษฐกิจ ทำให้เกษตรกรมีความต้องการปลูกเพิ่มมากขึ้น โดยมีตลาดผู้บริโภคทั้งในและต่างประเทศ อย่างไรก็ตามการขยายพันธุ์จำปาดะจากการต่อกิ่งแบบเสียบยอดมักประสบปัญหาจากการเข้าทำลายของโรค ดังนั้นจึงทำการขยายพันธุ์ด้วยการเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อพืช โดยการนำเมล็ดมาฟอกฆ่าเชื้อด้วยสารละลายโซเดียมไฮโปคลอไรท์ความเข้มข้น 25% เป็นเวลา 25 นาที และเพาะเลี้ยงบนอาหารสูตร MS เติม BA ความเข้มข้น 0-2 มก./ลิตร เติมหรือไม่เติมผงถ่าน 0.2% เป็นเวลา 3 เดือน พบว่าอาหารที่เติม BA ความเข้มข้น 2 มก./ลิตร เติมผงถ่าน 0.2% ให้การพัฒนาเป็นพืชต้นใหม่สูงสุด 80±25.28% แต่เมื่อพิจารณาการเกิดยอดใหม่กลับพบว่าการไม่เติมผงถ่านให้จำนวนยอดมากที่สุด (6.25 ยอด/ชิ้นส่วน) จากนั้นทำการชักนำยอดรวมโดยนำชิ้นส่วนยอดเพาะเลี้ยงบนอาหารกึ่งแข็งสูตร MS เติม BA เข้มข้น 2 มก./ลิตร เป็นเวลา 3 เดือน พบว่ามีการเกิดยอดสูงที่สุด (4.70 ยอด/ชิ้นส่วน) จากนั้นนำชิ้นส่วนยอดมาชักนำรากบนอาหารสูตร MS เติม NAA ความเข้มข้น 1 มก./ลิตร ร่วมกับการสร้างบาดแผลที่โคนต้น และอาหารที่เติม NAA ความเข้มข้น 3 มก./ลิตร ร่วมกับการไม่สร้างบาดแผลเป็นเวลา 3 เดือน ให้เปอร์เซ็นต์การเกิดรากสูงถึง 100% ขณะที่อาหารที่เติม NAA ความเข้มข้น 2 มก./ลิตร ร่วมกับการสร้างบาดแผลที่โคนต้น ให้จำนวนรากสูงที่สุด (6.80 ราก/ชิ้นส่วน) เมื่อต้นกล้ามีอายุ 3 เดือน จะมีความสูง 10 ซม. เมื่อนำไปอนุบาลในวัสดุปลูกที่มีส่วนผสมของดิน แกลบเผา และขี้ไก่แกลบ ในอัตราส่วน 2:1:1 มีอัตราการรอดชีวิตสูงสุด 70% หลังการอนุบาลเป็นเวลา 1 เดือน

คำสำคัญ: จำปาดะ การเพาะเลี้ยงเอ็มบริโอ ออกซิน ไซโตไคนิน

คำนำ

จำปาดะ (*Artocarpus integer* (Thunb.) Merr.) อยู่ในวงศ์ Moraceae จัดเป็นพืชท้องถิ่นของภาคใต้ เป็นไม้ผลยืนต้นลักษณะคล้ายขนุน ลำต้นสีน้ำตาล และมักมีจุดสีขาวตลอดทั้งต้น ใบมีปุยขนสั้นๆ ผลมีรูปทรงยาว-สั้นขึ้นอยู่กับสายพันธุ์ สีผิวเปลือกเมื่อแก่ใกล้จะสุกมีสีเหลืองอมส้ม ลักษณะของสีเนื้อมีหลายสีด้วยกัน เช่น สีเหลืองทอง เหลืองอ่อน เหลืองอมส้ม ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับสายพันธุ์ รสชาติหอมและหวาน มีคุณค่าทางโภชนาการสูง (Buttara *et al*., 2014; Boonlaksiri *et al*., 2000) ภาคใต้มีพื้นที่ปลูกจำปาดะรวม 1,685 ไร่ เนื้อที่ให้ผล 1,175 ไร่ โดยในปี พ.ศ. 2566 มีผลผลิตรวม 1,552 ตัน ผลผลิตเฉลี่ย 1,321 กก./ไร่ ราคาขายผลสดกิโลกรัมละ 80 บาท ทั้งนี้เกษตรกรขายแบบผลสดร้อยละ 98 และขายแบบแปรรูปร้อยละ 2 สำหรับการจำหน่ายผลผลิตส่วนใหญ่ร้อยละ 80 จำหน่ายให้พ่อค้าคนกลางซึ่งเข้ามารับซื้อในพื้นที่ ร้อยละ 15 ขายในตลาดท้องถิ่น และร้อยละ 5 จำหน่ายผ่านแพลตฟอร์มออนไลน์ (Office of Agricultural Economics, 2024) การขยายพันธุ์จำปาดะนิยมนำกิ่งพันธุ์เสียบยอดบนต้นตอขนุนและจำปาดะ ข้อดีของการใช้วิธีเสียบยอดหรือทาบกิ่งจากต้นตอขนุน คือ ทำให้ต้นโตไวแข็งแรงกว่าการปลูกด้วยต้นตอจำปาดะ และ

ทนแล้งได้มากกว่า โดยปลูกต้นตอขนุนลงดินปลูก และใช้วิธีเสียบยอด หรือทาบกิ่ง กิ่งพันธุ์จำปาดะต้องมาจากต้นแม่ที่ดี ให้ลูกดก และต้นแข็งแรง (Dawan, 2023) ปัจจุบันจำปาดะเป็นไม้ผลเศรษฐกิจทางภาคใต้ ที่มีแนวโน้มความต้องการของตลาดเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง ในอดีตการปลูกจำปาดะร้อยละ 90 เป็นการปลูกแบบผสมผสานหรือสวนสมรม มีทั้งจำปาดะ เงาะ ทุเรียน ปัจจุบันเกษตรกรคัดเลือกจำปาดะพันธุ์ดีเพื่อปลูกเป็นพืชเชิงเดี่ยว ทำให้ต้นพันธุ์จำปาดะไม่เพียงพอกับความต้องการของเกษตรกรที่ต้องการเพิ่มพื้นที่ปลูก (Admin, 2023; Thanapitak *et al*., 2021) การปลูกจำปาดะในพื้นที่อำเภอลานสกา จังหวัดนครศรีธรรมราช มีการปลูกเป็นพืชแซมในสวนผลไม้ โดยพันธุ์ที่ปลูกจะเป็นพันธุ์พื้นเมือง เนื้อสีเหลืองส้ม ลักษณะเด่น คือ เปลือกมีสีเขียวอมส้ม ผลยาวเรียว ขนาด 2-3 กก. รสชาติหวานหอม ความหวาน 28.3-29.5 องศาบริกซ์ ทำให้เป็นที่ต้องการของตลาด (Kamwut, 2015) ทั้งนี้การขยายพันธุ์จากกิ่งพันธุ์ดีสามารถทำได้อย่างจำกัด และหากต้นนั้นเป็นโรคก็ไม่สามารถนำมาขยายพันธุ์ได้ เพราะจะทำให้เกิดการแพร่กระจายไปยังต้นใหม่ ดังนั้นจึงนำเทคนิคการขยายพันธุ์ในสภาพปลอดเชื้อเข้ามาช่วยในการขยายพันธุ์จำปาดะพันธุ์ดี ให้มีจำนวนมากเพียงพอกับความต้องการของตลาด

ปัจจุบันมีรายงานการขยายพันธุ์ขนุน (*Artocarpus heterophyllus* L.) ด้วยวิธีการเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อ Azam and Rahmatullah (2009) ทำการเพาะเลี้ยงปลายยอดบนอาหารสูตร Murashige and Skoog (MS) เติม 6-benzyleaminopurine (BAP) ความเข้มข้น 3.0–4.0 มก./ลิตร และ kinetin (Kn) ความเข้มข้น 0.2–3.0 มก./ลิตร เป็นเวลา 4 สัปดาห์ พบว่า อาหารที่เติม BAP ความเข้มข้น 3.5 มก./ลิตร กระตุ้นให้เกิดยอดใหม่ 2–3 ยอด นำยอดมาชักนำรากบนอาหาร 1/2 MS เติม indole-3-butyric acid (IBA) ความเข้มข้น 0.1 มก./ลิตร และน้ำมะพร้าว 20% ทำให้ความสูงยอดเพิ่มขึ้น และมีการเกิดราก 80% จากนั้นนำต้นกล้ามาปรับสภาพก่อนนำไปย้ายปลูกในถุงโพลีเอทิลีนที่บรรจุดินปลูก ทราย และมูลโค (1:1:1) หลังย้ายปลูกเป็นเวลา 8 สัปดาห์ พบว่า ต้นกล้ามีอัตราการรอดชีวิตมากกว่า 80% นอกจากนี้ Ashrafuzzaman *et al*. (2012) ทำการเพาะเลี้ยงปลายยอดขนุนขนาด 5 ซม. บนอาหารสูตร MS เติม BAP ความเข้มข้น 2 มก./ลิตร กระตุ้นให้เกิดยอดใหม่ 80% เมื่อย้ายไปเลี้ยงบนอาหารสูตร MS ที่เติม IBA ความเข้มข้น 3 มก./ลิตร ให้ความสูงยอด 3.84 ซม. 4 ใบ/ต้น และ 4 ราก ต่อต้น และ Amin and Jaiswal (1993) ทำการเพาะเลี้ยงยอดขนุนขนาด 5–10 มม. เพาะเลี้ยงบนอาหารสูตร MS ที่เติม BA และ Kn ความเข้มข้น 2–3 มก./ลิตร พบว่าช่วยส่งเสริมการเกิดยอด จากนั้นย้ายยอดไปเลี้ยงบนอาหาร 1/2 MS ที่เติม IBA และ NAA ความเข้มข้น 3.5 มก./ลิตร สามารถชักนำการเกิดรากได้ 60–80% การรอดชีวิต 50% หลังย้ายต้นกล้าลงปลูกในดินเป็นเวลา 1 เดือน จากรายงานวิจัยเหล่านี้แสดงให้เห็นว่าการเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อพืชจำพวกขนุนยังมีเปอร์เซ็นต์การสร้างยอดรวม (multiple shoots) และจำนวนยอดรวมที่ต่ำ และต้นที่ได้มีการเกิดรากน้อย ซึ่งส่งผลกระทบต่ออัตราการรอดชีวิตของต้นกล้า ดังนั้นในการศึกษาครั้งนี้จึงทำการขยายพันธุ์จำปาดะพันธุ์พื้นเมืองภายใต้สภาพปลอดเชื้อโดยการชักนำการเกิดยอดรวมจากการเพาะเลี้ยงเอ็มบริโอ การชักนำการเกิดราก และการอนุบาลต้นกล้าในโรงเรือน เพื่อเป็นแนวทางในการขยายพันธุ์จำปาดะพันธุ์ดีและปลอดโรค เพื่อให้เพียงพอต่อความต้องการของตลาด และผลผลิตที่ได้มีความสม่ำเสมอ รวมถึงเพื่อการปรับปรุงสายพันธุ์จำปาดะด้วยวิธีการเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อในอนาคต

อุปกรณ์และวิธีการ

การเตรียมชิ้นส่วนพืช

นำเมล็ดจำปาดะพันธุ์พื้นเมืองในพื้นที่อำเภอลานสกา จังหวัดนครศรีธรรมราช มาเอาเนื้อผลออกและนำเมล็ดมาล้างด้วยน้ำยาล้างจาน แช่แอลกอฮอล์ 70% เป็นเวลา 1 นาที ตามด้วยสารละลายโซเดียมไฮโปคลอไรท์ ความเข้มข้น 25% เป็นเวลา 25 นาที ล้างด้วยน้ำกลั่น

นึ่งฆ่าเชื้อ 3 ครั้ง ภายในตู้ย้ายเลี้ยง นำเมล็ดมาตัดแต่งเป็นชิ้นส่วนขนาด 0.5–1 ซม. โดยมีเอ็มบริโออยู่ตรงกลาง (Figure 1A) เพื่อใช้ในการทดลองต่อไป

การศึกษาผลของ BA ร่วมกับผงถ่านต่อการพัฒนาเป็นพืชต้นใหม่จากชิ้นส่วนเอ็มบริโอ

วางแผนการทดลองแบบ Factorial in Completely Randomized Design (CRD) เปรียบเทียบการเติม BA ได้แก่ 0, 1 และ 2 มก./ลิตร ร่วมกับผงถ่าน ได้แก่ 0 และ 0.2% จำนวน 6 กรรมวิธี นำชิ้นส่วนเอ็มบริโอที่ผ่านการฟอกฆ่าเชื้อแล้ว มาเพาะเลี้ยงบนอาหารสูตร Murashige and Skoog (MS) ที่เติม BA ร่วมกับผงถ่านความเข้มข้นต่าง ๆ ตามที่กำหนดในแผนการทดลอง เติมน้ำตาลซูโครส 3% และผงวุ้น 0.75% ปรับความเป็นกรดด่างเป็น 5.7 (Figure 1B) หลังการเพาะเลี้ยงเป็นเวลา 3 เดือน บันทึกเปอร์เซ็นต์การเกิดยอดใหม่ และจำนวนยอด/ชิ้นส่วน

การศึกษาผลของสถานะอาหารต่อการเพิ่มปริมาณยอดรวม

วางแผนการทดลองแบบ CRD เปรียบเทียบชนิดของอาหารเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อ ได้แก่ อาหารแข็ง อาหารกึ่งแข็ง และอาหารเหลว จำนวน 3 กรรมวิธี นำชิ้นส่วนยอดที่สมบูรณ์ขนาด 2 ซม. และมีใบจำนวน 2 ใบ ที่พัฒนาจากสภาพปลอดเชื้อมาเพาะเลี้ยงบนอาหารที่ดีที่สุดจากการศึกษาข้างต้น โดยอาหารแข็งและอาหารกึ่งแข็งเติมผงวุ้น 0.75 และ 0.375% ตามลำดับ ใส่อาหาร 25 มล. ในขวด 8 ออนซ์ และเพาะเลี้ยงบนชั้นวางในสภาพนิ่ง ส่วนอาหารเหลวไม่ใส่ผงวุ้น ใส่อาหาร 25 มล. ในขวดรูปชมพู่ขนาด 250 มล. และเพาะเลี้ยงในสภาพเขย่าที่ความเร็ว 120 รอบ/นาที หลังเพาะเลี้ยงเป็นเวลา 3 เดือน บันทึกเปอร์เซ็นต์การเกิดยอด และจำนวนยอด/ชิ้นส่วน

การศึกษาผลของ NAA ร่วมกับการสร้างบาดแผลต่อการชักนำการเกิดราก

วางแผนการทดลองแบบ Factorial in CRD เปรียบเทียบการเติม NAA ได้แก่ 0, 1, 2 และ 3 มก./ลิตร ร่วมกับการกระตุ้นชิ้นส่วนพืช ได้แก่ การสร้างและไม่สร้างแผลที่โคนต้น จำนวน 8 กรรมวิธี นำชิ้นส่วนยอดของต้นที่พัฒนาขึ้นมาในสภาพปลอดเชื้อจากการศึกษาข้างต้นมาเพาะเลี้ยงบนอาหารสูตร MS ที่เติม NAA ความเข้มข้นต่าง ๆ ร่วมกับการสร้างหรือไม่สร้างบาดแผลที่โคนชิ้นส่วนตามที่กำหนดในแผนการทดลอง ซึ่งการสร้างบาดแผลทำโดยใช้มีดผ่าตัดกรีดบริเวณโคนต้น 2-3 แผล หลังการเพาะเลี้ยงเป็นเวลา 3 เดือน บันทึกเปอร์เซ็นต์การเกิดรากและจำนวนราก/ชิ้นส่วน

ในการศึกษาแต่ละกรรมวิธีทำ 10 ซ้ำ ๆ ละ 2 ขวด (1 ชิ้นส่วน/ขวด) ควบคุมสภาวะการเพาะเลี้ยงที่อุณหภูมิ 27±1 องศาเซลเซียส ให้แสงจากหลอดฟลูออเรสเซนต์ 14 ชม./วัน ความเข้มแสง 25 ไมโครโมล/ตร.ม./วินาที นำข้อมูลมาเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยโดยวิธี Duncan's Multiple Range Test (DMRT) ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

การอนุบาลต้นกล้าในโรงเรือน

นำต้นกล้าจำปาดะจากการศึกษาก่อนหน้า ที่มีรากและต้นสมบูรณ์ ความสูง 10 ซม. โดยใช้ต้นกล้าจำนวน 20 ต้น ก่อนทำการอนุบาล ปรับสภาพพืชโดยการนำพืชออกตั้งไว้ภายนอกห้องปฏิบัติการประมาณ 3-5 วัน นำมาล้างอาหารวุ้นออกให้หมด นำรากจุ่มแช่ในสารละลาย povidone iodine (เบตาดีน) ผึ่งลมให้แห้งพอหมาด ๆ อนุบาลในวัสดุปลูก คือ ดิน: แกลบเผา: ขี้ไก่แกลบ ในอัตราส่วน 2:1:1 รดน้ำให้ชุ่ม และครอบด้วยถุงพลาสติกใส เพื่อรักษาความชื้นของพืชให้ค่อย ๆ ปรับสู่สภาพธรรมชาติ และอนุบาลภายในโรงเรือนที่มีการพรางแสง 70% หลังอนุบาลเป็นเวลา 1 เดือน บันทึกอัตราการรอดชีวิต

ผลการวิจัย

ผลของ BA ร่วมกับผงถ่านต่อการพัฒนาเป็นพืชต้นใหม่จากชิ้นส่วนเอ็มบริโอ

จากการสังเกตพบว่าหลังการเพาะเลี้ยงเป็นเวลา 1 สัปดาห์ เอ็มบริโอมีการตอบสนองต่อการเพาะเลี้ยง โดยอาหารเลี้ยงต้นอ่อนและต้นอ่อนเริ่มเปลี่ยนเป็นสีเขียว (Figure 1C) ในสัปดาห์ที่ 2 ต้นอ่อนยืดยาวขึ้น โดยหลังการเพาะเลี้ยงเป็นเวลา 4 สัปดาห์ ต้นมีการยืดยาวสมบูรณ์ มีการเพิ่มจำนวนยอดมากขึ้น (Figure 1D) ทั้งนี้การเพาะเลี้ยงเอ็มบริโอบนอาหารที่เติม BA ความเข้มข้น 1 มก./ลิตร มีการเกิดยอดใหม่เฉลี่ยสูงสุด 75±7.07% แตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง (P≤0.01) กับการเติม BA ความเข้มข้น 0 และ 2 มก./ลิตร ซึ่งมีการเกิดยอดใหม่เฉลี่ย 60±28.28 และ 55±21.21% ตามลำดับ เมื่อพิจารณาการเติมและไม่เติมผงถ่าน พบว่าการเติม ผงถ่านมีการเกิดยอดใหม่เฉลี่ยมากที่สุด 76.66±5.77% แตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง (P≤0.01) กับการไม่เติมผงถ่าน ซึ่งมีการเกิดยอดใหม่เฉลี่ยเพียง 50±17.32% เมื่อพิจารณาปัจจัยร่วมระหว่างความเข้มข้นของ BA ร่วมกับการเติมและไม่เติมผงถ่าน พบว่าการเติม BA ความเข้มข้น 0–2 มก./ลิตร ร่วมกับการเติมผงถ่าน และการเติม BA ความเข้มข้น 1 มก./ลิตร ที่ไม่เติมผงถ่าน มีการเกิดยอดใหม่ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยมีการเกิดยอดใหม่สูงสุด 70–80% แต่แตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง (P≤0.01) กับอาหารที่เติม BA ความเข้มข้น 0 และ 2 มก./ลิตร ที่ไม่เติมผงถ่าน ซึ่งให้การเกิดยอดใหม่เพียง 40% (Table 1)

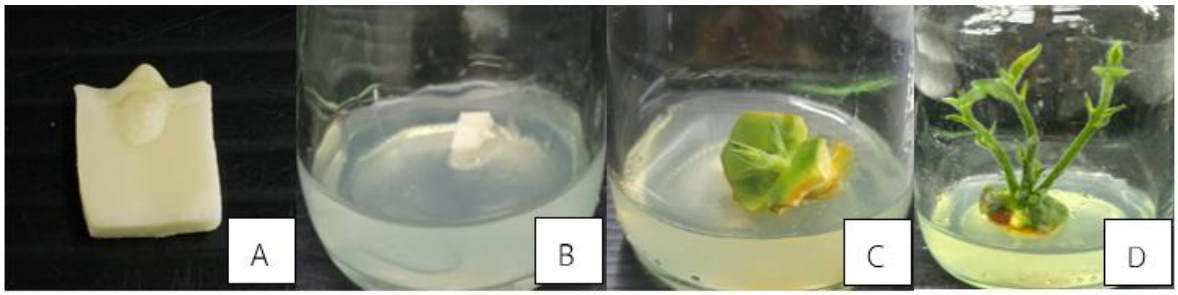


Figure 1 Development of Champedak embryo explant (A) when cultured on solid MS medium supplemented with BA for different durations: initial stage (B), after 1 week (C), and after 1 month (D)

Table 1 Effects of BA concentration combined with activated charcoal (AC) in solid MS medium on shoot initiation of Champedak embryo explants after 3 months of culture

BA concentrations (mg/L)	Plant regeneration (%)		Average[A] BA concentration
	With AC	Without AC	
0	70±25.82[a]	40±21.08[b]	55±21.21C
1	80±25.82[a]	70±25.82[a]	75±7.07A
2	80±25.82[a]	40±31.62[b]	60±28.28B
Average[B] with or without AC	**76.66±5.77A**	**50±17.32B**	
A	**		
B	**		
A*B	**		
CV (%)	**23.59**		

** Significant differences at P≤0.01

Means values followed by the same letter within each column are not significantly different according to DMRT.

ในด้านจำนวนยอดใหม่ พบว่าต้นอ่อนมีการเพิ่มจำนวนยอด การเจริญเติบโต และมีความสมบูรณ์เต็มที่ในช่วงเดือนที่ 3 โดยอาหารที่เติม BA ความเข้มข้น 2 มก./ลิตร มีการเกิดยอดใหม่เฉลี่ยมากที่สุด 4.44 ยอด/ชิ้นส่วน แตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง (P≤0.01) กับการเติม BA ความเข้มข้น 1 และ 0 มก./ลิตร ซึ่งมีการเกิดยอดใหม่เฉลี่ย 2.69 และ 1.73 ยอด/ชิ้นส่วน ตามลำดับ เมื่อพิจารณาการเติมและไม่เติมผงถ่าน พบว่าการไม่เติมผงถ่านในอาหารเพาะเลี้ยง มีการเกิดยอดใหม่เฉลี่ยมากที่สุด 3.97 ยอด/ชิ้นส่วน แตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง (P≤0.01) กับการเติมผงถ่านลงในอาหารเพาะเลี้ยง ซึ่งมีการเกิดยอดใหม่เฉลี่ย 1.94 ยอด/ชิ้นส่วน เมื่อพิจารณาปัจจัยร่วมระหว่างความเข้มข้นของ BA ร่วมกับการเติมและไม่เติมผงถ่าน พบว่าการเติม BA ความเข้มข้น 2 มก./ลิตร ที่ไม่เติมผงถ่าน มีจำนวนยอดที่เกิดใหม่มากที่สุด 6.25 ยอด/ชิ้นส่วน รองลงมาคือ การเติม BA ความเข้มข้น 1 มก./ลิตร ที่ไม่เติมผงถ่าน ซึ่งมีจำนวนต้นที่เกิดใหม่ 4.00 ยอด/ชิ้นส่วน แตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง (P≤0.01) กับกรรมวิธีอื่น ๆ (Table 2) ลักษณะการเกิดยอดใหม่ในแต่ละสูตรอาหารมีจำนวนยอดที่แตกต่างกันไปขึ้นกับระดับความเข้มข้นของ BA ร่วมกับการเติมผงถ่านแสดงดัง Figure 2

Table 2 Effects of BA concentration combined with activated charcoal (AC) in solid MS medium on number of new shoots regenerated from Champedak embryo explants after 3 months of culture

BA concentrations (mg/L)	No. plant regeneration (shoots/explant)		Average[A] BA concentration
	With AC	Without AC	
0	1.80[dc]	1.67[cd]	1.73C
1	1.38[d]	4.00[b]	2.69B
2	2.63[c]	6.25[a]	4.44A
Average[B] with or without AC	**1.94B**	**3.97A**	
A	**		
B	**		
A*B	**		
CV (%)	**21.13**		

** Significant differences at P≤0.01

Means values followed by the same letter within each column are not significantly different according to DMRT.

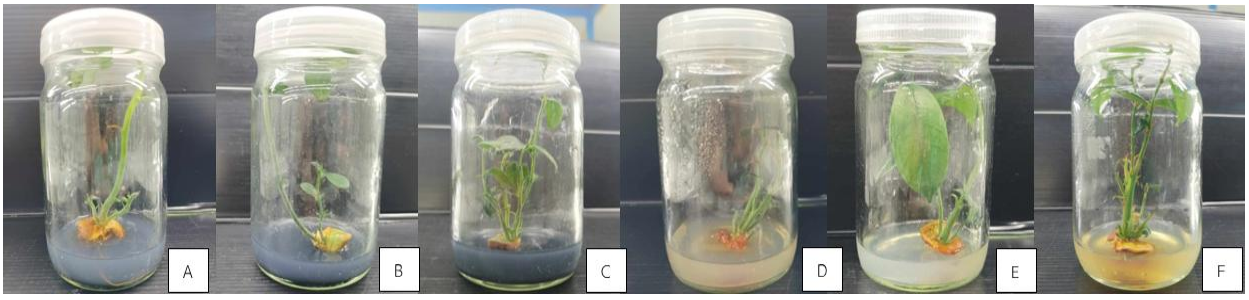


Figure 2 Plant regeneration from Champedak embryo cultured on solid MS medium supplemented with BA at 0 (A and D), 1 (B and E), and 2 (C and F) mg/L, with (above) and without (below) activated charcoal, after 3 months of culture

ผลของลักษณะกายภาพของอาหารเพาะเลี้ยงต่อการเพิ่มปริมาณยอดรวม

จากการเพาะเลี้ยงชิ้นส่วนยอดจำปาดะด้วยอาหารสูตร MS ที่เติม BA ความเข้มข้น 2 มก./ลิตร ทั้ง 3 ลักษณะ คือ อาหารแข็ง อาหารกึ่งแข็ง และอาหารเหลว พบว่ามีการเพิ่มปริมาณยอดรวมไม่แตกต่างกันทางสถิติ (P>0.05) โดยอาหารแข็งและอาหารเหลวมีการเพิ่มปริมาณยอดรวมสูงที่สุด 90±21.08% รองลงมาคืออาหารกึ่งแข็งให้การเพิ่มปริมาณยอดรวม 80±25.82% จากการเพาะเลี้ยงชิ้นส่วนยอดจำปาดะในอาหารแข็งและอาหารกึ่งแข็งมีจำนวนยอดสูงสุด 4.7±0.71 และ 4.6±0.84 ยอด/ชิ้นส่วน ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ

ทางสถิติ (P>0.05) แต่แตกต่างกับอาหารเหลวอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ (P≤0.01) ซึ่งมีจำนวนยอด 3.1±0.74 ยอด/ชิ้นส่วน (Table 3) ลักษณะยอดที่ใช้เพาะเลี้ยงและการเกิดยอดรวมในแต่ละชนิดอาหาร พบว่ามีความแตกต่างกันแสดงดัง Figure 3 ทั้งนี้จากการสังเกตพบว่า การเพาะเลี้ยงชิ้นส่วนยอดในอาหารเหลวมีการเจริญเติบโตที่รวดเร็ว ลำต้น กิ่ง และก้านใบมีขนาดใหญ่และมีความสมบูรณ์แข็งแรงของต้นดีที่สุด โดยสามารถเจริญเติบโตเป็นยอดที่สมบูรณ์ได้ภายใน 2 เดือน ในขณะที่อาหารแข็งและอาหารกึ่งแข็งเริ่มมีการตอบสนองต่ออาหารหลังจากการเพาะเลี้ยง 2 สัปดาห์ และเริ่มเห็นการสร้างยอดรวมในสัปดาห์ที่ 6 หลังการเพาะเลี้ยง

Table 3 The effect of MS medium types on shoot proliferation and number of multiple shoots of Champedak shoot explants after 3 months of culture

Media types	Shoot proliferation (%)	No. shoot (shoot/explant)
Solid medium	90±21.08	4.6±0.84[a]
Semi-solid medium	80±25.82	4.7±0.71[a]
Liquid medium	90±21.08	3.1±0.74[b]
F-test	**ns**	****
CV (%)	**19.86**	**19.43**

ns = Not significant differences at P>0.05, ** = Significant differences at P≤0.01

Means values followed by the same letter within each column are not significantly different according to DMRT.

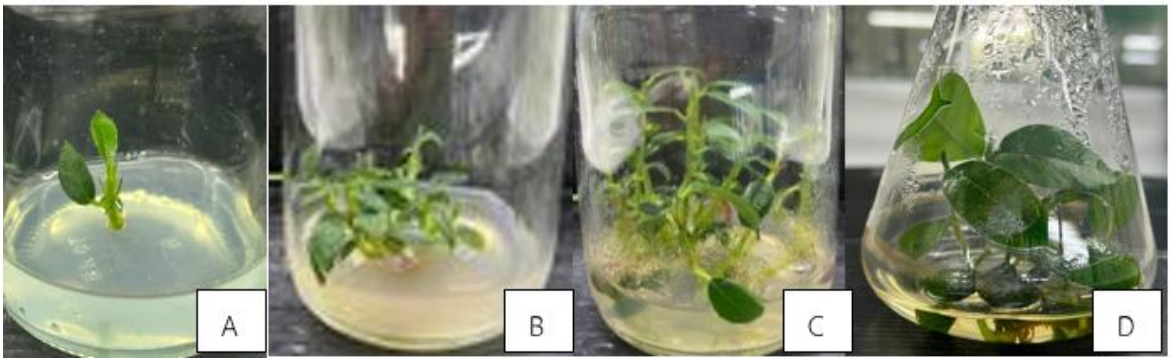


Figure 3 The shoot proliferation of Champedak shoot explants (A) cultured in different statuses of MS medium supplemented with 2 mg/L BA for 3 months: solid medium (B), semi-solid medium (C), and liquid medium (D)

ผลของ NAA ร่วมกับการสร้างบาดแผลต่อการชักนำราก

จากการนำชิ้นส่วนยอดที่ถูกสร้างและไม่สร้างบาดแผลที่บริเวณโคนต้น มาเพาะเลี้ยงบนอาหารแข็งสูตร MS ที่เติม NAA ความเข้มข้นต่าง ๆ เป็นเวลา 3 เดือน พบว่าอาหารที่เติม NAA ความเข้มข้น 1–3 มก./ลิตร มีการเกิดรากเฉลี่ยสูงสุดเท่ากัน คือ 80% แตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง (P≤0.01) กับอาหารที่ไม่เติม NAA ซึ่งไม่มีการเกิดราก เมื่อพิจารณาการกระตุ้นชิ้นส่วนยอดโดยการสร้างบาดแผล พบว่าทั้งการสร้างและไม่สร้างบาดแผลมีการเกิดรากไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P>0.05) โดยมีการเกิดรากเฉลี่ยเท่ากัน คือ 60% เมื่อพิจารณาปัจจัยร่วมระหว่างความเข้มข้นของ NAA ร่วมกับการสร้างและไม่สร้างบาดแผล พบว่าอาหารที่เติม NAA ความเข้มข้น 1 มก./ลิตร ร่วมกับการสร้างบาดแผล และอาหารที่เติม NAA ความเข้มข้น 3 มก./ลิตร โดยไม่สร้างบาดแผล มีการเกิดรากมากที่สุดเท่ากัน คือ 100% แตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง (P≤0.01) กับกรรมวิธีอื่น ๆ (Table 4)

Table 4 The effects of NAA concentrations in MS medium combined with wounding on the rooting of Champedak shoot explants after 3 months of culture

NAA concentration (mg/L)	Root formation (%)		Average^{A} NAA concentration
	With wounding	Without wounding	
0	0^{d}	0^{d}	0B
1	100^{a}	60^{c}	80A
2	80^{b}	80^{b}	80A
3	60^{c}	100^{a}	80A
Average^{B} with or without wounding	**60**	**60**	
A	**		
B	ns		
A*B	**		
CV (%)	**16.14**		

ns = Not significant differences at P>0.05, ** = Significant differences at P≤0.01

Means values followed by the same letter within each column are not significantly different according to DMRT.

ในด้านจำนวนรากที่เกิดใหม่ พบว่าอาหารที่เติม NAA ความเข้มข้น 2 มก./ลิตร มีจำนวนรากที่เกิดใหม่มากที่สุดเฉลี่ย 5.10 ราก/ชิ้นส่วน แตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง (P≤0.01) กับอาหารที่เติม NAA ความเข้มข้น 1, 3 และ 0 มก./ลิตร ซึ่งมีจำนวนรากที่เกิดใหม่เฉลี่ย 3.10, 2.80 และ 0 ราก/ชิ้นส่วน ตามลำดับ เมื่อพิจารณาการกระตุ้นชิ้นส่วนยอดโดยการสร้างบาดแผล พบว่าการสร้างบาดแผลมีจำนวนรากที่เกิดใหม่เฉลี่ยมากที่สุด 3.25 ราก/ชิ้นส่วน แตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง (P≤0.01) กับการไม่สร้างบาดแผล ซึ่งมีจำนวนรากที่เกิดใหม่เฉลี่ย 2.25 ราก/ชิ้นส่วน เมื่อพิจารณาปัจจัยร่วมระหว่างความเข้มข้นของ NAA ร่วมกับการสร้างและไม่สร้างบาดแผล พบว่าอาหารที่เติม NAA ความเข้มข้น 2 มก./ลิตร ร่วมกับการสร้างบาดแผลมีจำนวนรากที่เกิดใหม่มากที่สุด 6.80 ราก/ชิ้นส่วน แตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง (P≤0.01) กับกรรมวิธีอื่น ๆ (Table 5) การสร้างรากของจำปาดะในอาหารสูตร MS ที่เติม NAA ความเข้มข้น 0–3 มก./ลิตร ลักษณะรากที่เกิดในแต่ละสูตรอาหาร แสดงดัง Figure 4 และเมื่อนำต้นออกจากขวด พบว่ารากที่เกิดในแต่ละสูตรอาหารที่เพาะเลี้ยงมีความแตกต่างกันอย่างเห็นได้ชัด แสดงดัง Figure 5

Table 5 The effects of NAA concentrations in MS medium combined with wounding on number of roots of Champedak shoot explants after 3 months of culture

NAA concentrations (mg/L)	No. root (root/explant)		Average[A] NAA concentration
	With wounding	Without wounding	
0	0.00[d]	0.00[d]	0.00C
1	3.00[b]	3.20[b]	3.10B
2	6.80[a]	3.40[b]	5.10A
3	3.20[b]	2.40[c]	2.80B
Average[B] with or without wounding	**3.25A**	**2.25B**	
A	**		
B	**		
A*B	**		
CV (%)	**16.76**		

** = Significant differences at P≤0.01

Means values followed by the same letter within each column are not significantly different according to DMRT.

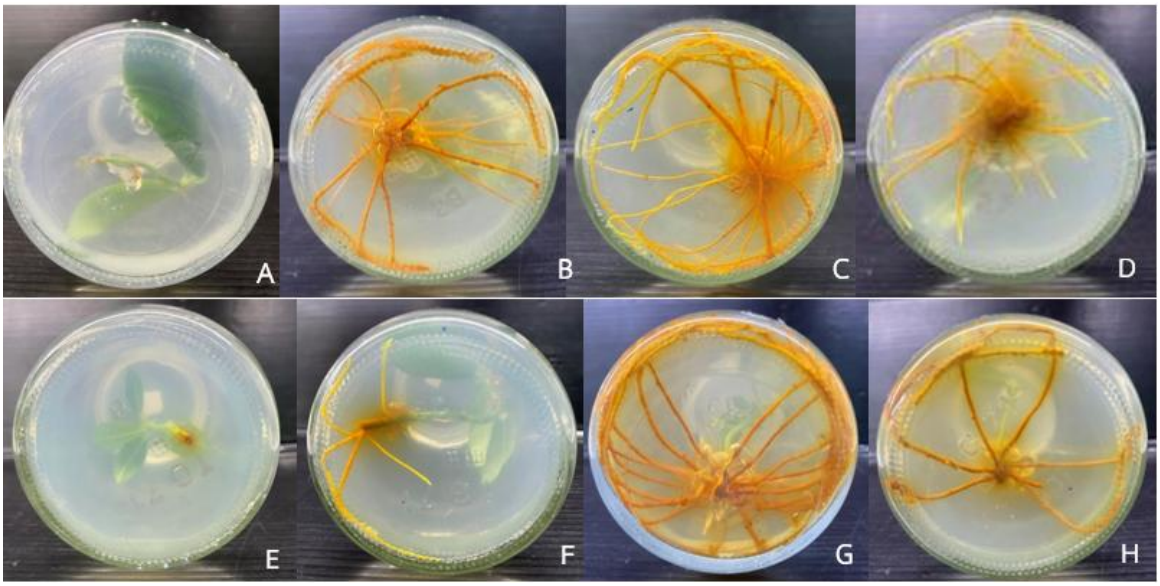


Figure 4 Root formation in Champedak shoot explants cultured on MS medium with varying concentrations of NAA: 0 (A and E), 1 (B and F), 2 (C and G), and 3 (D and H) mg/L, with wounding (above) and without wounding (below), after 3 months of culture

Figure 5 Root characteristics of Champedak shoot explants cultured on MS medium with varying concentrations of NAA: 0 (A and E), 1 (B and F), 2 (C and G), and 3 (D and H) mg/L, with wounding (A-D) and without wounding (E-H), after 3 months of culture

การอนุบาลต้นกล้าในโรงเรือน

การอนุบาลต้นกล้าจำปาดะที่ได้จากการเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อหลังการเพาะเลี้ยงบนอาหารสูตร MS ที่เติม NAA ความเข้มข้น 1-3 มก./ลิตร เป็นเวลา 3 เดือน ซึ่งจากการอนุบาลเป็นเวลา 1 เดือน พบว่ามีเปอร์เซ็นต์การรอดชีวิต 70% และสามารถพัฒนาต่อเป็นต้นที่สมบูรณ์ได้ (Figure 6) จากการสังเกตพบว่า ต้นกล้าที่มีรากจำนวนมากจะไม่พบอาการเหี่ยวของต้นเมื่อเปิดถุงครอบออก ในขณะที่ต้นกล้าที่มีรากจำนวนน้อยจะพบอาการเหี่ยว บางต้นตายและบางต้นสามารถเจริญเติบโตต่อไปได้ จากการทดลองนำต้นกล้าที่ไม่มีราก (NAA ความเข้มข้น 0 มก./ลิตร) มาอนุบาล พบว่าต้นกล้าสามารถอยู่รอดได้ในขณะที่ครอบด้วยถุงพลาสติกใส แต่เมื่อเปิดออกสู่สภาพธรรมชาติต้นจะเริ่มเหี่ยวและตายภายใน 3 วัน

Figure 6 Champedak plants that survived after being transplanted into the planting materials for one month, initially induced to root on MS medium with varying concentrations of NAA: 0 (A and E), 1 (B and F), 2 (C and G), and 3 (D and H) mg/L, with wounding (A-D) and without wounding (E-H)

วิจารณ์ผลการวิจัย

จากการเพาะเลี้ยงเอ็มบริโอของจำปาดะบนอาหารแข็งสูตร MS ที่เติม BA ความเข้มข้น 2 มก./ลิตร ให้เปอร์เซ็นต์การพัฒนาเป็นพืชต้นใหม่สูงที่สุด 80±25.82% และการเกิดพืชต้นใหม่สูงถึง 6.25 ยอด/ชิ้นส่วน ซึ่งนอกจากองค์ประกอบของอาหารเพาะเลี้ยงที่เป็นปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่อการขยายพันธุ์แล้ว ยังขึ้นกับการเติมสารควบคุมการเจริญเติบโต ซึ่ง BA เป็นสารกลุ่มไซโตไคนินช่วยกระตุ้นการแบ่งเซลล์และยืดยาวของเซลล์ สอดคล้องกับ Mangena (2020) ที่กล่าวว่าในการเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อเพื่อชักนำให้เกิดยอดในสภาพปลอดเชื้อจำเป็นต้องมีการเติมสารควบคุมการเจริญเติบโตกลุ่มไซโตไคนิน ซึ่งเป็นสารที่มีคุณสมบัติในการกระตุ้นการแบ่งเซลล์ ขยายขนาดของเซลล์ การเจริญของตาข้าง และยอด อีกทั้งระดับความเข้มข้นที่ใช้ยังส่งผลต่อปริมาณยอดใหม่ที่สร้างด้วย โดยมีรายงานวิจัยการเพิ่มจำนวนยอดของหม่อนจากการเพาะเลี้ยงชิ้นส่วนใบบนอาหารแข็งสูตร MS ที่เติม BA ความเข้มข้น 2 มก./ลิตร มีการพัฒนาเป็นยอดสูงที่สุด 80.33±11.68% จำนวน 4.33±0.56 ยอด/ชิ้นส่วน (Cui *et al*., 2020) และการเพาะเลี้ยงปลายยอดขนุนบนอาหารแข็งสูตร MS ที่เติม BA ความเข้มข้น 2 มก./ลิตร ในการกระตุ้นให้เกิดยอด (Karishma and Meera, 2024) ในขณะที่การเพาะเลี้ยงยอดของหม่อนบนอาหารแข็งสูตร MS ที่เติม BA ความเข้มข้นเพียง 1.5 มก./ลิตร ให้ผลดีที่สุดในการเพิ่มจำนวนยอด (Taha *et al*., 2020) ตรงข้ามกับ Azam *et al*. (20) ที่ทำการเพิ่มปริมาณยอดของขนุนในอาหารแข็งสูตร MS ที่เติม BAP ความเข้มข้น 3.5 มก./ลิตร มีการเกิดยอดสูงถึง 92.30% และความยาวของยอดสูงที่สุด 3.81 ซม. นอกจากนี้ยังมีการใช้ BAP ร่วมกับ NAA ในการชักนำยอดจากชิ้นส่วนปลายยอด โดยมีการเกิดยอด 4.54

ยอด/ชิ้นส่วน (Ali *et al*., 2017) ทั้งนี้แสดงให้เห็นว่าแม้จะเป็นพืชกลุ่มเดียวกัน แต่หากใช้ชิ้นส่วนเริ่มต้นต่างกันก็ย่อมตอบสนองต่อชนิดและความเข้มข้นของไซโตไคนินแตกต่างกัน โดยให้การเพิ่มปริมาณยอดรวมแตกต่างกันออกไป

นอกจากนี้ในการทดลองครั้งนี้ยังได้ทดสอบการเติมผงถ่าน ร่วมกับ BA พบว่าการเติมผงถ่านลงในอาหารเพาะเลี้ยงส่งผลให้มีเปอร์เซ็นต์การเกิดยอดที่ดีกว่าการไม่เติมผงถ่าน แต่เมื่อพิจารณาจำนวนยอดที่เกิดต่อชิ้นส่วนกลับพบว่าการไม่เติมผงถ่านให้จำนวนยอดมากกว่าการเติมผงถ่าน ทั้งนี้เนื่องจากผงถ่านมีรูพรุนจำนวนมากและมีพื้นผิวด้านในขนาดใหญ่ซึ่งสามารถดูดซับสารต่าง ๆ ได้หลายชนิด มีผลต่อพัฒนาการของเซลล์ อาจส่งเสริมหรือยับยั้งการเจริญเติบโตขึ้นอยู่กับชนิดและเนื้อเยื่อที่ใช้ ผลจากการเติมผงถ่านทำให้เกิดการสร้างสภาพมืด (Pan and Staden, 1998) นอกจากนี้ยังลดปริมาณเมแทบอไลต์ที่เป็นพิษ การหลั่งของฟีนอลิก และการสะสมของสารสีน้ำตาลได้อย่างมาก รวมถึงมีการปลดปล่อยสารอาหารและสารควบคุมการเจริญเติบโตอย่างช้า ๆ ทำให้พืชสามารถนำไปใช้ได้ (Thomas, 2008) ซึ่งจะเห็นได้จากการที่เติมผงถ่านแล้วส่งเสริมการพัฒนาไปเป็นยอด แต่ให้จำนวนยอดที่น้อยกว่าการไม่เติมผงถ่านลงในอาหารเพาะเลี้ยง

การเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อจำปาดะในอาหารเหลว แม้ว่าจะมีเปอร์เซ็นต์การสร้างยอดรวมที่สูง แต่เมื่อพิจารณาจำนวนยอดกลับพบว่า อาหารแข็งและกึ่งแข็งให้จำนวนยอดสูงที่สุด 4.60–4.70 ยอด/ชิ้นส่วน ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากการเพาะเลี้ยงชิ้นส่วนในอาหารเหลว มีอัตราการเจริญเติบโตและการดูดซึมสารอาหารได้ดี ส่งผลให้ชิ้นส่วนยอด ราก หัว และตัวอ่อนจากโซมาติกเซลล์เพิ่มขึ้นได้อย่างรวดเร็ว (Ascough and Fennell, 2004) จากการสังเกตพบว่า ชิ้นส่วนในอาหารเหลวเริ่มมีการตอบสนองหลังเพาะเลี้ยง 3 วัน และเจริญเป็นต้นยืดยาวภายใน 2 สัปดาห์ และโตเต็มขวดเพาะเลี้ยงภายใน 2 เดือน ซึ่งเมื่อเนื้อเยื่อมีการเจริญเติบโตเป็นอวัยวะที่สมบูรณ์จึงไม่สามารถแบ่งเซลล์เพิ่มจำนวนยอดได้ ในขณะที่อาหารแข็งและอาหารกึ่งแข็งเริ่มมีการตอบสนองหลังการเพาะเลี้ยง 2 สัปดาห์ เนื้อเยื่อจึงเริ่มมีการพัฒนาและแบ่งเซลล์เพื่อเพิ่มจำนวนยอด

การชักนำการเกิดรากของจำปาดะบนอาหารสูตร MS ที่เติม NAA ความเข้มข้น 1 มก./ลิตร ร่วมกับการสร้างบาดแผล และ NAA ความเข้มข้น 3 มก./ลิตร ไม่สร้างบาดแผลให้เปอร์เซ็นต์การเกิดรากสูงที่สุด 100% แต่เมื่อพิจารณาจำนวนราก พบว่าอาหารที่เติม NAA ความเข้มข้น 2 มก./ลิตร ร่วมกับการสร้างบาดแผลให้จำนวนรากมากที่สุด 6.80 ราก/ชิ้นส่วน ในขณะที่ Kamal *et al*. (2018) พบว่า การชักนำการออกรากของขนุน (*A. heterophyllus* Lam var. Tekam yellow) บนอาหารแข็งสูตร MS ที่เติม IBA ความเข้มข้น 2.5 มก./ลิตร ให้ความยาวรากเฉลี่ยสูงที่สุด 18.73 ซม. โดยชักนำรากใหม่ได้ 100% ในขณะที่อาหารที่เติม NAA ความเข้มข้น 1.5 มก./ลิตร ให้ความยาวรากมากที่สุด นอกจากนี้ Cui *et al*. (2020) รายงานการชักนำการเกิดรากของหม่อนบนอาหารสูตร MS ที่เติม NAA ความเข้มข้นเพียง 0.4 มก./ลิตร สามารถกระตุ้นการออกรากได้ 70.96±10.56% จำนวนราก 10.68±1.33 ราก/ชิ้นส่วน และความยาวราก 1.75±0.31 ซม. โดยการเติม NAA ความเข้มข้นที่สูงขึ้นจะทำให้รากที่เกิดใหม่สั้นและอ่อนแอ ทั้งนี้ NAA เป็นสารควบคุมการเจริญเติบโตในกลุ่มออกซิน ซึ่งกระตุ้นการเกิดรากและการขยายขนาดของเซลล์

ในการทดลองนี้พบว่า การเติม NAA มีความจำเป็นต่อการชักนำการเกิดรากของจำปาดะ เนื่องจากในอาหารที่ไม่เติมออกซิน (NAA 0 มก./ลิตร) ไม่พบการเกิดราก อาจเป็นเพราะจำปาดะเป็นพืชกลุ่มไม้ผลมีเนื้อเยื่อที่แข็งแรง การเพาะเลี้ยงยอดทำให้เกิดสารลิกนินบริเวณแคลลัสหรือรอยตัด ซึ่งยับยั้งการสร้างรากที่มีจุดกำเนิดมาจากยอด (Shoot-Borne Roots; SBRs) (Laohavisit, 2023) ดังนั้น การเติม NAA เป็นการกระตุ้นให้เนื้อเยื่อบริเวณที่เกิดแคลลัสเกิดการสร้างราก อย่างไรก็ตามการใช้ NAA ในระดับความเข้มข้นที่สูง

เกินไป อาจมีผลยับยั้งการเจริญเติบโตของพืช ดังที่พบในการทดลองนี้เมื่อเติม NAA ความเข้มข้นสูงกว่า 2 มก./ลิตร ทำให้ต้นจำปาดะมีเปอร์เซ็นต์การเกิดรากลดลง สอดคล้องกับงานวิจัยของ Faisal *et al.* (2023) ที่กล่าวว่าหน้าที่หลักของออกซิน คือ การสร้างแคลลัสและรากพิเศษ เมื่อใช้ในปริมาณสูงจะทำให้เกิดแคลลัส และเมื่อใช้ในปริมาณต่ำจะทำให้เกิดราก ในขณะที่การเติมออกซิน 2 มก./ลิตร ทำให้มีการสร้างรากสูงที่สุด 70% (Khan *et al.*, 2010) ทั้งนี้การเลือกใช้ออกซินและสภาพการเพาะเลี้ยงยังมีผลต่อเปอร์เซ็นต์และจำนวนรากที่เกิด (Yapo *et al*., 2020)

นอกจากนี้ในการทดลองยังได้กระตุ้นการเกิดรากจากชิ้นส่วนยอดด้วยการสร้างบาดแผล พบว่าการสร้างบาดแผลทำให้จำปาดะมีการออกรากเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง โดยสันนิษฐานว่าการสร้างบาดแผลถือเป็นการเหนี่ยวนำให้เกิดรากอีกแบบหนึ่ง ซึ่งรากที่เหนี่ยวนำจากบาดแผล (Wound-induced Roots; WiR) จะมีออกซินบางส่วนถูกสร้างขึ้นบริเวณใกล้กับบาดแผล ซึ่งโดยปกติออกซินจะถูกสร้างที่ยอดและเคลื่อนย้ายมายังบริเวณแผล การสะสมของออกซินที่บริเวณบาดแผลจะกระตุ้นให้มีการแบ่งเซลล์อย่างรวดเร็วและเกิดการก่อตัวของรากชนิด WiR ในที่สุด (Omary *et al*. 2022; Chang *et al*., 2023) ซึ่งจากการศึกษานี้พบว่าการสร้างบาดแผลที่โคนช่วยให้มีการเกิดรากได้มากขึ้น ซึ่งหากชักนำการเกิดรากจำนวนมากและต้นมีความสมบูรณ์แข็งแรง ย่อมส่งผลให้มีเปอร์เซ็นต์การรอดชีวิตที่สูง ซึ่งก่อนนำออกอนุบาลมีการนำขวดไปวางเลี้ยงที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส เพื่อปรับสภาพแวดล้อมและความชื้น แล้วจึงย้ายปลูกโดยคลุมถุงพลาสติกเป็นเวลา 7 วัน พบว่าต้นกล้าจำปาดะมีการรอดชีวิต 70% หลังการอนุบาล 1 เดือน และเริ่มเกิดใบคู่ใหม่หลังการอนุบาล 2 เดือน

สรุปผลการวิจัย

จากการศึกษาการขยายพันธุ์จำปาดะภายใต้สภาพปลอดเชื้อ สามารถสรุปวิธีการที่เหมาะสมในขั้นตอนต่าง ๆ กล่าวคือ การนำชิ้นส่วนเอ็มบริโอเพาะเลี้ยงบนอาหารแข็งสูตร MS ที่เติม BA ความเข้มข้น 2 มก./ลิตร ให้เปอร์เซ็นต์การพัฒนาเป็นพืชต้นใหม่สูงที่สุด 80% และการเกิดพืชต้นใหม่สูงที่สุด 6.25 ยอด/ชิ้นส่วน การเพิ่มปริมาณยอดรวมบนอาหารกึ่งแข็งให้จำนวนยอดรวมสูงที่สุด 4.70 ยอด/ชิ้นส่วน การชักนำการเกิดรากในอาหารสูตร MS ที่เติม NAA ความเข้มข้น 2 มก./ลิตร ร่วมกับการสร้างบาดแผล มีการเกิดราก 80% และมีจำนวนรากมากที่สุด 6.80 ราก/ชิ้นส่วน เมื่อนำต้นออกอนุบาลในวัสดุปลูกที่มีส่วนผสมของดิน แกลบเผา และขี้ไก่แกลบ อัตราส่วน 2:1:1 ให้อัตราการรอดชีวิต 70% ภายหลังการอนุบาล 1 เดือน ดังนั้น วิธีการขยายพันธุ์จำปาดะภายใต้สภาพปลอดเชื้อในการศึกษาครั้งนี้ สามารถใช้เป็นแนวทางนำไปประยุกต์ใช้ในการขยายพันธุ์จำปาดะสายพันธุ์อื่น ๆ รวมถึงการปรับปรุงหรือการคัดเลือกพันธุ์ที่มีลักษณะดีเด่น เพื่อสร้างเป็นสายพันธุ์ใหม่ภายใต้สภาพปลอดเชื้อได้ต่อไป

กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้วิจัยขอขอบคุณหน่วยวิจัยไม้ผลและไม้ยืนต้น สาขาพืชศาสตร์ คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย วิทยาเขตนครศรีธรรมราช สำหรับสถานที่ดำเนินการวิจัยและทุนวิจัยจากงบประมาณสนับสนุนงานมูลฐาน ปีงบประมาณ พ.ศ. 2566 ที่สนับสนุนการวิจัยในครั้งนี้

เอกสารอ้างอิง

Admin. 2023. **The golden opportunity of southern fruit, Champedak: easy to care for, good price, promising future.** [Online]. Available https://psub.psu.ac.th (April 22, 2024). [in Thai]

Ali, J., K. Bantte and T. Feyissa. 2017. Protocol optimization for *in vitro* shoot multiplication of jackfruit (*Artocarpus heterophyllus* L.). **African Journal of Biotechnology** 16(2): 87–90.

Amin, M.N. and V.S. Jaiswal. 1993. *In Vitro* response of apical bud explants from mature trees of jackfruit (*Artocarpus heterophyllus*). **Plant Cell, Tissue and Organ Culture** 33: 59–65.

Ascough, G.D. and C.W. Fennell. 2004. The regulation of plant growth and development in liquid culture. **South African Journal of Botany** 70(2): 181–190.

Ashrafuzzaman M., S. Kar, D. Khanam and S.H. Prodhan. 2012. *In vitro* regeneration and multiplication of jackfruit (*Artocarpus Heterophyllus* L.). **Research Journal of Biology** 02(02): 59–65.

Azam, F.M.S. and M. Rahmatullah. 2009. Tissue culture of *Artocarpus heterophyllus* L., an underutilized fruit of Bangladesh. **Acta Horticulturae** 1–8.

Azam, F.M.S., M. Rahmatullah, A.U. Zaman and D. Dhaka. 2009. Tissue culture of a year-round fruiting variety of *Artocarpus heterophyllus* L. in Bangladesh. **Acta Horticulturae** 806: 269–276.

Boonlaksiri, C., W. Oonanant, P. Kongsaeree, P. Kittakoop, M. Tanticharoen and Y. Thebtaranonth. 2000. An antimalarial stilbene from *Artocarpus integer*. **Phytochemistry** 54: 415–417.

Buttara, M., K. Intarapichet and K.R. Cadwallader. 2014. Characterization of potent odorants in Thai chempedak fruit (*Artocarpus integer* Merr.), an exotic fruit of Southeast Asia. **Food Research International** 66: 388–395.

Chang, E., W. Guo, Y. Xie, Z. Jiang, Y. Dong, Z. Jia, X. Zhao, J. Liu and J. Zhang. 2023. Changes of lignified-callus and wound-induced adventitious rooting in ancient *Platycladus orientalis* cuttings as affected by tree age. **Industrial Crops and Products** 203: 117183.

Cui, S., Y. Ren, Y. Hao, J. Zhang, Z. Chen, J. Zou, W. Zhou and X. Chen. 2020. An efficient protocol for regenerating shoots from paper mulberry (*Broussonetia papyrifera*) leaf explants. **Open Life Sciences** 15: 318–325.

Dawan. 2023. **Chempedak: The secret weapon of Thai fruits—low cost, drought-resistant, disease-resistant, and in high demand in export markets.** [Online]. Available https://www.technologychaoban.com (April 22, 2024).

Faisal, S.M., M. Al-Forkan and M. Amanullah. 2023. Study of *in vitro* shoot production of off-season Jackfruit (*Artocarpus Heterophyllus* Lam). **International Journal of Advance Research and Innovation** 11(2): 58–63.

Kamal, N.H., M.A. Aziz, S. Kadzimin and A.A. Rashid. 2018. *In Vitro* mass multiplication of *Artocarpus heterophyllus* Lam var. Tekam Yellow. **Pertanika Journal of Tropical Agricultural Science** 41(3): 1289–1314.

Kamwut, P. 2015. **Research and Development on Champedak Production Technology in the Upper Southern**. Bangkok: Department of Agriculture. 35 p.

Karishma, N.A. and M.A.V. Meera. 2024. Development of micropropagation protocol for jackfruit (*Artocarpus heterophyllus* Lam.) KJ 182. **Journal of Tropical Agriculture** 62(1): 10–13.

Khan, F.R., H.U. Rahman, N.A. Abbasi, M. Ibrahim and G. Abbas. 2010. *In vitro* shoot and root proliferation of jack fruit as affected by different concentrations of growth regulators. **Sarhad Journal of Agriculture** 26(4): 533–538.

Laohavisit, A. 2023. Wound-induced rooting in plants - a big BIG ROle emerges for calcium and auxin. **Plant and Cell Physiology** 64(2): 149–151.

Mangena, P. 2020. Benzyl adenine in plant tissue culture-succinct analysis of the overall influence in soybean [*Glycine max* (L.) Merrill.] seed and shoot culture establishment. **Journal of Biotech Research** 11: 23–34.

Office of Agricultural Economics. 2024. **"Champak", the GI product identity fruit of Satun Province, encourages farmers to form groups, process products to increase value, and develop marketing channels.** Songkhla: Office of Agricultural Economics. 9 p. [in Thai]

Omary, M., R. Matosevich and I. Efroni. 2022. Systemic control of plant regeneration and wound repair. **New Phytologist** 237: 408–413.

Pan, M. and J.V. Staden. 1998. The use of charcoal in *In Vitro* culture – a review. **Plant Growth Regulation** 26: 155–163.

Taha, H., U.M. Ghazy, A.M.M. Gabr, A.A.A. EL-Kazzaz, E.A.M.M. Ahmed and K.M. Haggag. 2020. Optimization of *in vitro* culture conditions affecting propagation of mulberry plant. **Bulletin of the National Research Centre** 44(60): 1–9.

Thanapitak, W., T. Jantapan, W. Ritima, P. Likhitthammarot, S. Benchasri and S. Keawsuksaeng. 2021. Diversity and morphological characteristics of chempedak (*Artocarpus integer* Merr.) in KoYo subdistrict, Mueang district, Songkhla province. **Khon Kaen Agriculture Journal** 49(1): 336–341. [in Thai]

Thomas, T.D. 2008. The role of activated charcoal in plant tissue culture. **Biotechnology Advances** 26(6): 618–631.

Yapo, S.E.S., M.M. Beugre, Y.K.F. Konan, K. Ayolie, G.F. Dien and T.H. Kouakou. 2020. *In vitro* regeneration of jackfruit (*Artocarpus heterophyllus Lam., Moraceae) in Cote d'lvoire.* **Asian Journal of Science and Technology** 11(10): 11313–11318.

วารสารวิจัยและส่งเสริมวิชาการเกษตร 42(3): 18-27

การทดสอบฟักทองพันธุ์ไข่เน่าน่านใน 2 ฤดูปลูก
Performance Testing of 'Khai Nao Nan' Pumpkin Varieties Across Two Planting Seasons

จานุลักษณ์ ขนบดี[1,*] ภัทราภรณ์ ศรีสมรรถการ[2] ชัยวัฒน์ พงศ์สุขุมาลกุล[2] และพรพนา จินาวงค์[2]

Chanulak Khanobdee[1,*], Pattharaporn Srisamatthakarn[2]

Chaiwat Pongsukhumalkul[2] and Pornpana Jinawong[2]

[1]สถาบันวิจัยและพัฒนา มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา เชียงใหม่ 50220

[2]สถาบันวิจัยเทคโนโลยีเกษตร มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา ลำปาง 52000

[1]Research and Development Institute, Rajamangala University of Technology Lanna, Chiang Mai, Thailand 50220

[2]Agricultural Technology Research Institute, Rajamangala University of Technology Lanna, Lampang, Thailand 52000

*Corresponding author: januluk@yahoo.com

Received: *July 23, 2024*
Revised: *June 18, 2025*
Accepted: *July 18, 2025*

Abstract

Khai Nao Nan 1 and Khai Nao Nan 2 pumpkin varieties are varieties that are currently being registered as local native plant varieties according to the Plant Variety Protection Act of 1999. The objective of this experiment was, therefore, to evaluate two varieties of Khai Nao Nan, Khai Nao Nan 1 and 2, along with one Khai Nao and two standard varieties. A randomized complete block (RCB) trial was planned for 3 replicates, 2 crops, in the same experimental plot. The combined analysis in RCB was used to analyze the combined variance of 2 growing seasons: the rainy season from July to October 2022 and the dry season from December 2022 to April 2023 at Nan Province, in the original experimental plot. Homogeneous analysis of variance indicated that all characteristics studied were homogeneous, except for the diameter of the fruit, total solid content, total soluble solids of cooked flesh firmness of fresh flesh and color values L*, a* and b* of fresh and cooked flesh. Yield per rai in the dry season tended to be higher than that of the rainy season, equal to 1.6 and 1.1 tons, due to the outbreak of viral diseases. The Khai Nao Nan 1 and Khai Nao Nan 2 varieties gave higher yields per rai in the rainy season than other varieties, more than or equal to 1.1 tons, and more than or equal to 2.1 tons in the dry season. The components of yield and quality in all traits showed that the dry season gave higher values than the rainy season, except for the color traits L* and a* of raw and cooked flesh. The Khai Nao Nan 2 and Khai Nao Nan varieties gave the total solid content values in the rainy and dry seasons more than or equal to 18.9 and 20.0 percent, respectively. The Khai Nao Nan 1 and Khai Nao Nan 2 varieties had the total soluble solids of raw flesh in the dry season more than or equal to 16.0 percent.

The varieties Khai Nao Nan 1, Khai Nao Nan 2 and Khai Nao had lower raw flesh color brightness L* than other varieties. The a* color value showed that the varieties Khai Nao Nan 1 , Khai Nao Nan 2 and Khai Nao had higher red color than other varieties. The b* color value showed that in the rainy season, the varieties Khai Nao Nan 1 and Khai Nao Nan 2 tended to have less yellow color than other varieties, while in the dry season, the values were similar.

Keywords: pumpkin, Khai Nao Nan, yield, quality, planting seasons

บทคัดย่อ

ฟักทองไข่เน่าน่าน 1 และไข่เน่าน่าน 2 เป็นพันธุ์ที่กำลังจดทะเบียนพันธุ์พืชพื้นเมืองเฉพาะถิ่น ตามพระราชบัญญัติคุ้มครองพันธุ์พืช พ.ศ. 2542 การทดลองนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อประเมินพันธุ์ไข่เน่าน่าน 2 พันธุ์ ร่วมกับพันธุ์ไข่เน่า และพันธุ์มาตรฐาน 2 พันธุ์ การศึกษาครั้งนี้ทำการวางแผนการทดลองแบบสุ่มในบล็อกสมบูรณ์ (RCB) จำนวน 3 ซ้ำ ระหว่าง 2 ฤดูปลูก คือ ฤดูฝน ระหว่างกรกฎาคม ถึง ตุลาคม พ.ศ. 2565 และฤดูแล้ง ระหว่างธันวาคม พ.ศ. 2565 ถึง เมษายน พ.ศ. 2566 ในพื้นที่จังหวัดน่าน ในแปลงทดลองเดิม และทำการวิเคราะห์ความแปรปรวนรวม (combined analysis in RCB) ของ 2 ฤดูปลูก การทดสอบความเป็นเอกภาพของความแปรปรวนของ 2 ฤดูปลูก พบว่าทุกลักษณะที่ศึกษามีความเป็นเอกพันธุ์ ยกเว้นเส้นผ่านศูนย์กลางของผล ปริมาณของแข็งทั้งหมด ปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายน้ำของเนื้อสุก ความแน่นของเนื้อดิบ และค่าสี L*, a* และ b* ของเนื้อดิบและสุก ค่าเฉลี่ยผลผลิตต่อไร่ของฤดูแล้งมีแนวโน้มมากกว่าฤดูฝน เท่ากับ 1.6 และ 1.1 ตัน เนื่องจากในฤดูฝนพบการระบาดของโรคไวรัส พันธุ์ไข่เน่าน่าน 1 และพันธุ์ไข่เน่าน่าน 2 ให้ผลผลิตต่อไร่ในฤดูฝนสูงกว่าพันธุ์อื่น ๆ มากกว่าหรือเท่ากับ 1.1 ตัน และฤดูแล้งมากกว่าหรือเท่ากับ 2.1 ตัน องค์ประกอบของผลผลิตและคุณภาพทุกลักษณะ พบว่าฤดูแล้งให้ค่ามากกว่าฤดูฝน ยกเว้น ลักษณะค่าสี L* และ a* ของเนื้อดิบและนึ่งสุก พันธุ์ไข่เน่าน่าน 2 และพันธุ์ไข่เน่าให้ค่าปริมาณของแข็งในฤดูฝนและฤดูแล้งมากกว่าหรือเท่ากับ ร้อยละ 18.9 และ 20.0 ตามลำดับ พันธุ์ไข่เน่าน่าน 1 และพันธุ์ไข่เน่าน่าน 2 มีค่าปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายน้ำได้ของเนื้อดิบในฤดูแล้งมากกว่าหรือเท่ากับ ร้อยละ 16.0 พันธุ์ไข่เน่าน่าน 1 ไข่เน่าน่าน 2 และไข่เน่า มีความสว่างของสีเนื้อดิบ L* น้อยกว่าพันธุ์อื่น ๆ ค่าสี a* พบว่า พันธุ์ไข่เน่าน่าน 1 ไข่เน่าน่าน 2 และไข่เน่าให้ค่าสีแดงมากกว่าพันธุ์อื่น ๆ ค่าสี b* พบว่าในฤดูฝน พันธุ์ไข่เน่าน่าน 1 และไข่เน่าน่าน 2 มีแนวโน้มให้สีเหลืองน้อยกว่าพันธุ์อื่น ๆ ส่วนในฤดูแล้งมีค่าใกล้เคียงกัน

คำสำคัญ: ฟักทอง พันธุ์ไข่เน่าน่าน ผลผลิต คุณภาพ ฤดูปลูก

คำนำ

ฟักทอง *C. moschata* Duch. ex Poir. มีลักษณะพฤกษศาสตร์ที่แตกต่างจากฟักทองชนิดอื่น ๆ ได้แก่ การเจริญเติบโตเถาแบบเลื้อย ใบนุ่มและมีขน รูปร่างผลแบบทรงกลม ทรงกระบอกหรือแบน เมล็ดป้าน ไม่สมมาตร สีเหลือง สีขอบเปลือกเข้มกว่าเมล็ด (Khanobdee, 2020) ฟักทองพันธุ์ไข่เน่าน่าน จัดเป็น *C. moschata* Duch. ex Poir. เนื่องจากใบนุ่มและมีขน รูปร่างใบขอบใบ 5-6 มุมแหลม และมีรอยสีขาวบนใบ เถามีจำนวนมาก ผลขนาดใหญ่ และผลรูปร่างตัดตามยาวมีหลายแบบ เช่น รูปรีกว้างทางแนวนอน รูปกลมแป้น กลม รูปไข่ รูปผลแพร์ เป็นต้น ผลแก่มีเปลือกสีน้ำตาลตลอดทั้งผล และมีสีเขียวปนบางส่วน รูปร่างบริเวณ

ขั้วผลแบนหรือมีรอยบุ๋มเล็กน้อย รูปร่างบริเวณก้นผลแบน เนื้อหนามีสีเหลืองอมเขียว และเนื้อนึ่งสุกสีเหลืองเขียวคล้ำแบบสีเขียวขี้ม้า (olive green) รสชาติมันและหวานมากถึงปานกลาง เมล็ดพันธุ์ต่อผลมาก และรูปร่างแบบรีแคบ (narrow elliptic) หรือรี (elliptic) (Khanobdee, 2021)

พืชมรดกตกทอด (heirloom plant) หมายถึง การเก็บเมล็ดพันธุ์ที่สืบทอดรักษาไว้โดยเกษตรกรในชุมชน เมืองหรือชาติพันธุ์ เป็นเมล็ดพันธุ์ที่ผสมเกสรแบบเปิดหรือปล่อยตามธรรมชาติ มีความหลากหลายทางพันธุกรรม ตลอดจนได้รับการคัดเลือกโดยธรรมชาติและมนุษย์มาอย่างยาวนาน พันธุ์เหล่านี้โดยทั่วไปมีอายุ 50 ถึง 100 ปี และมีความหลากหลายทางพันธุกรรม พันธุ์มรดกมีการผสมปล่อย ส่วนใหญ่มีความสม่ำเสมอในขนาด รูปร่าง และการสุก ทนทานในการขนส่งและมีศักยภาพของรสชาติและคุณภาพการบริโภค (Kaiser and Ernst, 2017) ในปัจจุบันยังสามารถพบในพื้นที่การเกษตรดั้งเดิม พันธุ์พืชปลูกก่อนสงครามโลกครั้งที่ 2 และพบว่าพันธุ์เหล่านี้มีพันธุกรรมที่ต้านทานหรือทนต่อศัตรูพืชและสภาพแวดล้อมที่ไม่เหมาะสมในท้องถิ่นได้อย่างดี และไม่ได้ปลูกในพื้นที่ขนาดใหญ่ (Etty and Harrison, 2016)

การคัดเลือกและประเมินพันธุ์ฟักทองพันธุ์ไข่เน่า 2 ชั่ว ระหว่างตุลาคม พ.ศ. 2562 ถึง เมษายน พ.ศ. 2564 ณ จังหวัดน่าน คัดเลือกสายพันธุ์ CM0420-1-1 ซึ่งมีน้ำหนักผลสูงที่สุดเท่ากับ 3.1 กก. ผลกลมหรือผลยาวปานกลาง มีปริมาณของแข็งร้อยละ 18.9 มีปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ของเนื้อดิบและนึ่งสุกเท่ากับ ร้อยละ 13.4 และ 14.1 การประเมินพันธุ์ไข่เน่าน่านชั่วที่ 3 ร่วมกับพันธุ์มาตรฐาน 2 พันธุ์ 2 ฤดู พบว่าผลผลิตและองค์ประกอบของผลผลิตในฤดูที่ 1 มีมากกว่าฤดูที่ 2 ในทุกลักษณะที่ศึกษา ยกเว้นคุณภาพทางเคมีและกายภาพของฟักทองในฤดูที่ 2 มีค่าสูงกว่าฤดูที่ 1 โดยมีปริมาณของแข็งร้อยละ 18.1 และ 16.3 ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ของเนื้อดิบและนึ่งสุกเท่ากับ ร้อยละ 14.7 และ 9.1 กับ 14.8 และ 8.6 พันธุ์ไข่เน่าน่านให้ผลผลิตต่อไร่และน้ำหนักผลมากกว่าพันธุ์มาตรฐาน 1 และ 2 เท่ากับ 1.5, 1.1 และ 0.8 ตัน กับ 2.9, 2.1 และ 2.2 กก. ตามลำดับ (Khanobdee *et al*., 2022)

การประเมินความหลากหลายทางพันธุกรรม ลักษณะพฤกษเคมีของเชื้อพันธุกรรมฟักทองพันธุ์พืชมรดกตกทอด “พันธุ์ไข่เน่า” รวบรวมจากจังหวัดน่าน ระหว่างตุลาคม พ.ศ. 2562 ถึง ตุลาคม พ.ศ. 2564 และประเมินลักษณะพันธุกรรม ระหว่างพฤศจิกายน พ.ศ. 2564 ถึงเมษายน พ.ศ. 2565 จำนวน 100 สายพันธุ์ พบว่าปริมาณของแข็งของกลุ่มเริ่มต้นและกลุ่มประเมินมีค่าเฉลี่ยเท่ากับร้อยละ 17.0 และ 14.7 ตามลำดับ ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ของเนื้อดิบและนึ่งสุก เท่ากับ ร้อยละ 11.0 และ 10.8 กับ 11.2 และ 11.5 ตามลำดับ คุณภาพด้านค่าสี พบว่าเนื้อดิบกลุ่มเริ่มต้นมีค่าเฉลี่ยสี L*, a* และ b* เท่ากับ 73.2, 11.3 และ 32.0 ตามลำดับ เนื้อดิบกลุ่มประเมินมีค่าเฉลี่ย L*, a* และ b* เท่ากับ 74.4, 11.9 และ 29.8 ตามลำดับ ส่วนเนื้อฟักทองนึ่งสุกค่า L*, a* และ b* ลดลง เนื้อมีสีเหลืองอมเขียวทั้งในกลุ่มเริ่มต้นและกลุ่มประเมิน โดยเนื้อนึ่งสุกของกลุ่มเริ่มต้นมีค่าเฉลี่ยสี L*, a* และ b* เท่ากับ 54.5, 5.8 และ 18.1 ตามลำดับ เนื้อนึ่งสุกของกลุ่มประเมินมีค่าเฉลี่ย L*, a* และ b* เท่ากับ 56.7, 3.4 และ 12.9 ตามลำดับ (Khanobdee *et al*., 2024)

ชุมชนในจังหวัดน่านร่วมกับมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา และสถาบันการจัดการเทคโนโลยีและนวัตกรรมเกษตร (สท.) สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ ได้ดำเนินการขอจดทะเบียนพันธุ์พืชพื้นเมืองเฉพาะถิ่น ตามพระราชบัญญัติคุ้มครองพันธุ์พืช พ.ศ. 2542 โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อทำการคัดเลือกพันธุ์ฟักทองไข่เน่าน่าน ชั่วที่ 1–2 ระหว่างพฤศจิกายน พ.ศ. 2562 ถึง ตุลาคม พ.ศ. 2563 และประเมินพันธุ์และตรวจแปลง ชั่วที่ 3–5 ระหว่างตุลาคม พ.ศ. 2563 ถึง เมษายน พ.ศ. 2566 การทดสอบฟักทองพันธุ์ไข่เน่าน่านใน 2 ฤดูปลูก เพื่อเป็นข้อมูลสนับสนุนการจดทะเบียนพันธุ์พืชพื้นเมืองเฉพาะถิ่น ตามพระราชบัญญัติคุ้มครองพันธุ์พืช พ.ศ. 2542 และจดทะเบียนสิ่งบ่งชี้ทางภูมิศาสตร์ (Geographical Indications, GI) ต่อไป

วิธีดำเนินการวิจัย

ฟักทองพันธุ์ไข่เน่าน่าน 2 พันธุ์ คือ พันธุ์ไข่เน่าน่าน 1 และพันธุ์ไข่เน่าน่าน 2 ร่วมกับพันธุ์ไข่เน่า และพันธุ์มาตรฐาน 2 พันธุ์ วางแผนการทดลองแบบสุ่มในบล็อกสมบูรณ์ (RCB) จำนวน 3 ซ้ำ 2 ฤดูปลูก ในแปลงทดลองเดิม และวิเคราะห์ความแปรปรวนรวม (combined analysis in RCB) ของ 2 ฤดูปลูก ฤดูฝนระหว่างกรกฎาคม ถึง ตุลาคม พ.ศ. 2565 และฤดูแล้งระหว่างธันวาคม พ.ศ. 2565 ถึง เมษายน พ.ศ. 2566 จำนวน 20 ต้นต่อแปลงย่อย ขนาดแปลงย่อย 100 ตารางเมตร เพาะกล้าแล้วย้ายปลูกเมื่ออายุ 10 วัน การปลูกแถวเดี่ยวระยะปลูกระหว่างต้นและแถว 1.0x5.0 เมตร ปุ๋ยหมักรองพื้นใส่อัตรา 0.5 ตันต่อไร่ และใส่ปุ๋ยหมักแต่งหน้า 2 ครั้ง หลังย้ายปลูก 15 และ 30 วัน อัตรา 0.3 ตันต่อไร่ เก็บเกี่ยวผลผลิตเมื่ออายุ 90 ถึง 100 วัน หลังย้ายปลูก พื้นที่ศึกษา 1 ไร่ต่อฤดู ณ จังหวัดน่าน การบันทึกข้อมูลผลผลิตต่อไร่ องค์ประกอบของผลผลิต ได้แก่ น้ำหนักผล ขนาดผล (เส้นผ่านศูนย์กลาง-ยาว) ความหนาของเนื้อ ตรวจสอบคุณภาพทางกายภาพ ได้แก่ ลักษณะเนื้อสัมผัสของฟักทองดิบและสุกโดยเครื่อง Force Gauge, Model FS 1001 บริษัท Lutron ประเทศจีน (ไต้หวัน) ค่าสีของเนื้อฟักทองดิบและสุกในรูปของค่า L* (lightness), a* (red-green) และ b* (yellow-blue) โดยใช้เครื่องวัดสี (3NH-NR200, Republic of China) คุณภาพทางเคมี ได้แก่ ปริมาณของแข็งทั้งหมด โดยวิธี AOAC (2000) ปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายน้ำได้ของเนื้อฟักทองดิบและสุก โดยใช้เครื่องวัดปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายน้ำได้ ยี่ห้อ Atago, N-32 ประเทศญี่ปุ่น

การวิเคราะห์ข้อมูลวิเคราะห์ความแปรปรวนตามแผนการทดลองแบบสุ่มในบล็อกสมบูรณ์และเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ย ด้วยวิธี Duncan's new multiple range test (DMRT) ที่นัยสำคัญ 0.05 การทดสอบความเป็นเอกภาพของความแปรปรวนของ 2 ฤดูปลูก โดยใช้วิธี Bartlett's test และวิเคราะห์ผลรวม (pooled analysis) ของ 2 ฤดูปลูก (Little and Hills, 1978)

ผลการวิจัย

การทดสอบความเป็นเอกภาพของความแปรปรวนของ 2 ฤดูปลูก พบว่าทุกลักษณะที่ศึกษามีความเป็นเอกพันธุ์ ยกเว้นเส้นผ่านศูนย์กลางของผล ปริมาณของแข็งทั้งหมด ปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายน้ำของเนื้อสุก ความแน่นของเนื้อดิบ และค่าสี L^*, a^* และ b^* ของเนื้อดิบและสุก สามารถนำข้อมูลจาก 2 ฤดูมาวิเคราะห์รวมกันได้ ส่วนลักษณะอื่น ๆ ไม่มีความเป็นเอกภาพจึงวิเคราะห์แยกรายฤดู

ผลผลิตต่อไร่มีค่าเฉลี่ยของฤดูแล้ง (ธันวาคม พ.ศ. 2565 ถึง เมษายน พ.ศ. 2566) มีแนวโน้มมากกว่าฤดูฝน (กรกฎาคม ถึง ตุลาคม พ.ศ. 2565) เท่ากับ 1.6 และ 1.1 ตัน ผลผลิตต่อไร่ในฤดูฝนและฤดูแล้งพบว่าพันธุ์ไข่เน่าน่าน 1 และพันธุ์ไข่น่าน 2 ให้ผลผลิตต่อไร่มากกว่าหรือเท่ากับ 1.1 และ 2.1 ตัน ตามลำดับ และมากกว่าทุกพันธุ์ น้ำหนักผลพบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญยิ่งในทุกปัจจัย พบว่าฤดูฝนให้น้ำหนักผลมากกว่าฤดูแล้งเท่ากับ 2.1 และ 1.4 กิโลกรัม ตามลำดับ และในฤดูฝนพบว่าทุกพันธุ์มีน้ำหนักผลมากกว่าหรือเท่ากับ 2.1 กิโลกรัม ยกเว้นพันธุ์ไข่เน่าน่าน 2 ที่ให้น้ำหนักผล 1.5 กิโลกรัม ฤดูแล้งทุกพันธุ์มีน้ำหนักผลน้อยกว่า 1.8 กิโลกรัม เส้นผ่านศูนย์กลางผลในฤดูฝนพบว่า ทุกพันธุ์มีขนาดมากกว่าหรือเท่ากับ 20.0 เซนติเมตร ยกเว้นพันธุ์ไข่เน่าน่าน 2 ที่มีขนาด 16.9 เซนติเมตร ในฤดูแล้งพบว่าพันธุ์ไข่เน่าน่าน 1 พันธุ์ไข่เน่าน่าน 2 และพันธุ์ไข่เน่ามีเส้นผ่านศูนย์กลางผล มากกว่า 18.0 เซนติเมตร ตามลำดับ ความสูงของผลพบว่าฤดูฝนมากกว่าฤดูแล้งเท่ากับ 10.6 และ 8.8 เซนติเมตร ตามลำดับ พันธุ์ไข่เน่าน่าน 1 พันธุ์ไข่เน่าน่าน 2 และพันธุ์ไข่เน่า มีความสูงของผลมากกว่าหรือเท่ากับ 10.0 เซนติเมตร ความหนาของเนื้อพบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญในทุกปัจจัย พบว่า

ฤดูฝนให้ความหนาของเนื้อมากกว่าฤดูแล้ง เท่ากับ 3.8 และ 3.0 เซนติเมตร ตามลำดับ และในฤดูฝนพบว่าทุกพันธุ์มีความหนาของเนื้อมากกว่าหรือเท่ากับ 3.8 เซนติเมตร ยกเว้นพันธุ์ไข่เน่าน่าน 2 เท่ากับ 2.8 เซนติเมตร และฤดูแล้งพบว่าพันธุ์ไข่เน่าน่าน 1 และพันธุ์มาตรฐาน 1 มีความหนาของเนื้อมากกว่าหรือเท่ากับ 3.2 เซนติเมตร (Table 1) การปลูกในฤดูฝนให้ผลผลิตน้อยกว่าฤดูแล้ง เนื่องจากพบการระบาดของโรคไวรัส แต่พบว่าองค์ประกอบของผลผลิตทุกลักษณะในฤดูฝนมีค่ามากกว่าฤดูแล้ง เนื่องจากฤดูฝนค่าเฉลี่ยของอุณหภูมิสูงสุด-ต่ำสุด และปริมาณฝนสูงกว่าฤดูแล้ง เท่ากับ 33.0 และ 24.1 องศาเซลเซียส กับ 27.3 มิลลิเมตร ตามลำดับ ส่วนฤดูแล้ง เท่ากับ 34.4 และ 18.8 องศาเซลเซียส กับ 1.5 มิลลิเมตร ตามลำดับ (Thai Meteorological Department, 2024) (Table 2)

ลักษณะคุณภาพทุกลักษณะในฤดูแล้งมีค่ามากกว่าฤดูฝน ยกเว้นลักษณะค่าสี L* และ a* ของเนื้อดิบและนึ่งสุก พันธุ์ไข่เน่าน่าน 2 และพันธุ์ไข่เน่า มีปริมาณของแข็งทั้งหมดในฤดูฝนมากกว่าหรือเท่ากับ ร้อยละ 18.9 พันธุ์ไข่เน่าน่าน 1 และพันธุ์ไข่เน่าน่าน 2 มีค่าในฤดูแล้งมากกว่า ร้อยละ 20.0 ปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายน้ำได้ของเนื้อดิบ พบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญยิ่งในทุกปัจจัย พบว่าฤดูแล้งมีค่ามากกว่าฤดูฝน เท่ากับ ร้อยละ 13.9 และ 10.7 ตามลำดับ ทุกพันธุ์มีค่าในฤดูฝนมากกว่าร้อยละ 10.0 ยกเว้น พันธุ์มาตรฐาน 1 ที่มีค่า ร้อยละ 9.1 และฤดูแล้งพบว่า พันธุ์ไข่เน่าน่าน 1 และพันธุ์ไข่เน่าน่าน 2 มีค่ามากกว่าหรือเท่ากับ ร้อยละ 16.0 ปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายน้ำได้ของเนื้อสุกพบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทั้งสองฤดู ในฤดูฝนพบว่าทุกพันธุ์มีค่ามากกว่าหรือเท่ากับ ร้อยละ 10.5 ยกเว้น พันธุ์มาตรฐาน 1 ส่วนในฤดูแล้งพันธุ์ไข่เน่าน่าน 1 และไข่เน่าน่าน 2 ให้ค่าสูงที่สุดและรองลงมา ร้อยละ 16.7 และ 14.9 ตามลำดับ ความแน่นเนื้อของเนื้อดิบในฤดูแล้งแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง พบว่าพันธุ์ไข่เน่าน่าน 1 และไข่เน่าน่าน 2 มีค่ามากกว่าพันธุ์อื่น ๆ เท่ากับ 16.7 และ 14.9 กิโลกรัม ตามลำดับ ความแน่นเนื้อของเนื้อสุกพบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญยิ่งในปัจจัยของพันธุ์ และปฏิกิริยาสัมพันธ์ระหว่างฤดูและพันธุ์ พบว่าในฤดูฝนทุกพันธุ์มีค่าเท่ากับ 0.3 กิโลกรัม ยกเว้น พันธุ์มาตรฐาน 1 เท่ากับ 0.5 กิโลกรัม ส่วนในฤดูแล้งพบว่าพันธุ์ไข่เน่าน่าน 1 พันธุ์ไข่เน่าน่าน 2 และพันธุ์ไข่เน่า มีค่าเท่ากับ 0.2 กิโลกรัม

พันธุ์ไข่เน่าน่าน 1 ไข่เน่าน่าน 2 และไข่เน่า มีความสว่างของสีเนื้อดิบ L* น้อยกว่าพันธุ์อื่น ๆ ค่าสี a* พบว่าพันธุ์ไข่เน่าน่าน 1 ไข่เน่าน่าน 2 และไข่เน่า ให้ค่าสีแดงมากกว่าพันธุ์อื่น ๆ ค่าสี b* พบว่าในฤดูฝนพันธุ์ไข่เน่าน่าน 1 และไข่เน่าน่าน 2 มีแนวโน้มให้สีเหลืองน้อยกว่าพันธุ์อื่น ๆ ส่วนในฤดูแล้งมีค่าใกล้เคียงกัน (Table 3)

Table 1 Yield and yield components of 2 “Khai Nao Nan” pumpkin varieties evaluated 2 crops during July 2022 to April 2023 in Nan province

Varieties	Yield/rai (ton)			Fruit weight (kg)						Fruit size (cm)										Thickness of flesh (cm)					
										Diameter				Length											
	1 *	2 *	Average	1		2		Average		1		2		1	2	Average		1		2		Average			
Khai Nao Nan 1	1.3	2.1	1.7	2.2	a [2/]	1.8	b	2.0	a	20.7	a	19.4	a	10.3	9.7	10.0	a	3.8	ab	3.3	bc	3.5	a		
Khai Nao Nan 2	1.1	2.2	1.6	1.5	c	1.4	cd	1.5	d	16.9	cd	17.2	cd	12.1	9.9	11.0	a	2.8	cd	2.7	cd	2.7	b		
Khai Nao	-	1.1	1.1	2.3	a	1.5	c	1.9	ab	20.5	a	18.1	bc	11.6	9.9	10.8	a	3.8	ab	2.9	cd	3.4	a		
Check 1	-	1.9	1.9	2.3	a	1.2	d	1.7	bc	20.3	a	16.2	de	10.1	7.4	8.8	b	4.3	a	3.2	bc	3.8	a		
Check 2	0.9	0.9	0.9	2.1	a	0.9	e	1.5	cd	20.9	a	15.3	e	9.1	7.2	8.1	b	4.2	a	2.6	d	3.4	a		
Average	1.1	1.6	1.4	2.1		1.4		1.7		19.9		17.2		10.6	8.8	9.7		3.8		3.0		3.4			
F-test [1/]																									
Seasons								**								**						**			
Varieties	ns	ns						**		**		**				**						**			
VxS								**								ns						*			
C.V. (%)	**16.5**	**11.5**						**7.9**		**4.5**		**4.4**				**7.0**						**9.4**			

*Crop 1 = July to October 2021; Crop 2 = December 2022 to April 2023

[1/]ns, * and ** : Non significant and significant at the level 0.05 and 0.01, respectively

Means with different letters in the same column are significantly different at P<0.05 by DMRT.

Table 2 Annual temperature and precipitation for Nan province during July 2022 to April 2023

Crop	**Temperature**		**Rainfall**
	Maximum	**Minimum**	
	(^{0}C)	**(^{0}C)**	**(mm)**
Crop 1			
July 2022	34.2	25.0	8.7
August 2022	32.6	24.5	7.9
September 2022	32.8	24.3	6.7
October 2022	32.4	22.3	4.0
Average	**33.0**	**24.1**	
Total			**27.3**
Crop 2			
December 2022	30.7	17.8	0.0
January 2023	30.8	15.0	0.0
February 2023	34.2	17.3	0.0
March 2023	36.4	19.8	0.2
April 2023	39.8	24.1	1.3
Average	**34.4**	**18.8**	
Total			**1.5**

Table 3 Phytochemical nutrients of 2 “Khai Nao Nan” pumpkin varieties evaluated 2 crops during July 2022 to April 2023 in Nan province.

Varieties	Solid content			Total soluble solid (%)					Texture (kg)					Flesh color: Fresh						Flesh color: Cooked					
	(%)			Fresh			Cooked		Fresh		Cooked			L*		a*		b*		L*		a*		b*	
	1*	2*	Average	1	2	Average	1	2	1	2	1	2	Average	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2
Khai Nao Nan 1	13.4 c*	20.1 d	16.7	10.2 d	16.7 a	13.4 a	10.5 ab	16.7 a	8.8	16.7 a	0.3 bc	0.2 c	0.3 b	74.0 c	70.0 c	11.7	7.6 b	36.5 a	26.7 d	53.9	54.5 b	3.5	2.0 a	17.9	12.6
Khai Nao Nan 2	18.9 a	22.7 c	20.8	11.0 cd	16.0 a	13.5 a	10.9 a	14.9 a	9.9	14.9 a	0.3 bc	0.2 c	0.3 b	76.0 b	74.3 b	7.9	5.3 b	38.8 a	29.4 cd	50.6	56.8 b	2.2	1.7 a	15.4	10.9
Khai Nao	19.6 a	17.6 e	18.6	11.9 c	11.9 c	11.9 b	11.8 a	11.7 b	10.1	11.7 b	0.3 bc	0.2 c	0.3 b	73.5 c	81.3 a	12.9	7.7 b	36.7 a	31.0 bc	53.6	56.7 b	5.1	0.8 b	20.6	13.5
Check 1	15.5 b	26.1 b	20.8	9.1 e	13.3 b	11.2 b	9.1 b	9.1 b	10.2	9.1 b	0.5 ab	0.5 ab	0.5 a	82.6 a	82.6 a	9.2	11.2 a	40.7 b	33.6 ab	60.7	60.0 a	4.3	2.5 a	27.0	12.0
Check 2	15.5 b	27.1 a	21.3	11.1 cd	11.7 c	11.4 b	11.1 a	9.1 b	9.6	9.1 b	0.3 c	0.6 a	0.4 ab	72.0 b	80.0 a	7.7	11.9 a	43.0 b	34.2 a	50.6	60.2 a	6.2	3.4 a	20.8	11.1
Average	**16.6**	**22.7**	**19.6**	**10.7**	**13.9**	**12.3**	**10.7**	**12.3**	**9.7**	**12.3**	**0.34**	**0.35**	**0.34**	**75.6**	**77.6**	**9.9**	**8.8**	**39.1**	**31.0**	**53.9**	**57.6**	**4.3**	**2.1**	**20.3**	**12.0**
F-test [1/]																									
Seasons						**							ns												
Varieties	**	**				**	*	*		**			**	**	**		**	*	**		**		*		
VxS						**							*												
C.V. (%)	**5.9**	**0.9**				**4.3**	**7.3**	**11.3**	**5.6**	**11.8**			**34.5**	**2.8**	**2.2**	**34.0**	**20.0**	**28.9**	**4.8**	**39.5**	**2.3**	**34.0**	**34.1**	**41.6**	**11.7**

*Crop 1 = July to October 2021 Crop 2 = December 2022 to April 2023

[1/]*, ** : Significant at the level 0.05 and 0.01, respectively

Means with different letters in the same column are significantly different at P<0.05 by DMRT.

วิจารณ์ผลการวิจัย

การศึกษาครั้งนี้มีการเจริญเติบโตของฟักทองที่เจริญเติบโตได้ดีในสภาพอุณหภูมิที่เหมาะสมระหว่าง 22–30 องศาเซลเซียส และจะเปราะบางหรือลักษณะไม่ได้คุณภาพ หรือไม่ทนความหนาวเย็นจัด (Khanobdee, 2020) ซึ่งสามารถระบุได้ว่า การปลูกในฤดูฝนมักให้ผลผลิตและองค์ประกอบของผลผลิตสูงกว่าฤดูอื่น ๆ ในส่วนของการวิเคราะห์เอกพันธุ์ของความแปรปรวน พบว่าทุกลักษณะที่ศึกษามีความเป็นเอกพันธุ์ยกเว้นเส้นผ่านศูนย์กลางของผล ปริมาณของแข็งทั้งหมด ปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายน้ำได้ของเนื้อสุก ความแน่นของเนื้อดิบ และค่าสี L*, a* และ b* ของเนื้อดิบและสุก ซึ่งเป็นลักษณะปริมาณที่มียีนหลายคู่ควบคุม ทำให้การปรับปรุงพันธุ์ยุ่งยากมากขึ้น (Paris, 1994) การประเมินพันธุ์ในลักษณะเหล่านี้ต้องทำหลายสภาพแวดล้อม สถานที่ ฤดู และทำซ้ำ เพื่อพิจารณาการปรับตัวของพันธุ์ (Loy, 2012) นอกจากนี้ จังหวัดน่านได้กำหนดดำเนินการส่งเสริม สนับสนุน ผลักดันสินค้า “ฟักทองไข่เน่าน่าน” ให้ได้รับการขึ้นทะเบียนสิ่งบ่งชี้ทางภูมิศาสตร์ (Geographical Indication: GI) ซึ่งจะเปรียบเสมือนเป็นแบรนด์ของชุมชนที่บ่งบอกถึงคุณภาพและแหล่งที่มาของสินค้าเพื่อสร้างความเชื่อมั่นให้กับผู้บริโภคในด้านคุณภาพ กระบวนการผลิต และสร้างมูลค่าเพิ่มให้แก่สินค้าชุมชนอย่างยั่งยืน เกษตรกรมีรายได้เพิ่มขึ้น และเป็นการนำทรัพยากรพันธุ์พืชมรดกมาใช้ประโยชน์อย่างยั่งยืน

สรุปผลการวิจัย

พันธุ์ไข่เน่าน่าน 1 และพันธุ์ไข่เน่าน่าน 2 ให้ผลผลิตต่อไร่ในฤดูฝนสูงกว่าพันธุ์อื่น ๆ มากกว่าหรือเท่ากับ 1.1 ตัน และฤดูแล้งมากกว่าหรือเท่ากับ 2.1 ตัน พันธุ์ไข่เน่าน่าน 2 และพันธุ์ไข่เน่า ให้ค่าปริมาณของแข็งทั้งหมดในฤดูฝนและฤดูแล้งมากกว่าหรือเท่ากับ ร้อยละ 18.9 และ 20.0 ตามลำดับ พันธุ์ไข่เน่าน่าน 1 และพันธุ์ไข่เน่าน่าน 2 มีค่าปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายน้ำได้ของเนื้อดิบในฤดูแล้งมากกว่าหรือเท่ากับ ร้อยละ 16.0 พันธุ์ไข่เน่าน่าน 1 ไข่เน่าน่าน 2 และไข่เน่า มีค่าสี L* a* และ b* ของเนื้อดิบและนึ่งสุกน้อยกว่าพันธุ์มาตรฐาน แสดงให้เห็นว่าเนื้อฟักทองดิบและนึ่งสุกของพันธุ์ไข่เน่าน่าน 1 และไข่เน่าน่าน 2 มีสีเหลืองอมเขียวมากกว่าพันธุ์มาตรฐาน

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณ สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ ในการสนับสนุนงบประมาณ โครงการหน่วยบริหารจัดการเชื้อพันธุกรรมผักวงศ์แตงระยะที่ 6 และสถาบันการจัดการเทคโนโลยีและนวัตกรรมเกษตร (สท) สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ ในการสนับสนุนงบประมาณดำเนินการ และสำนักคุ้มครองพันธุ์พืช ในการอนุเคราะห์ข้อมูลการจดทะเบียนพันธุ์พืชพื้นเมืองเฉพาะถิ่น ตามพระราชบัญญัติคุ้มครองพันธุ์พืช พ.ศ. 2542

เอกสารอ้างอิง

AOAC. 2000. **The Official Methods of Analysis of the Association of Analytical Chemists.** 17th Edition. Washington D.C.: AOAC International. 2200 p.

Etty, T. and L. Harrison. 2016. **Heirloom Plants: a Complete Compendium of Heritage Vegetables, Fruits, Herbs & Flowers.** Chicago, Illinois: Ball Publishing. 224 p.

Kaiser, C. and M. Ernst. 2017. **Heirloom Vegetables (CCD-CP-100).** Lexingto, KY: Center for Crop Diversification, University of Kentucky. 8 p.

Khanobdee, C. 2020. **Cucurbits Breeding and Seed Production**. Bangkok: O.S. Printing House Co., Ltd. 186 p. [in Thai]

Khanobdee, C. 2021. Khai Nao pumpkin: potential heirloom plants of Nan province. **Kehakaset Magazine** 45(7): 86–89. [in Thai]

Khanobdee, C., P. Srisamatthakarn, C. Pongsukhumalkul and P. Jinawong. 2022. Inbred Line Selection and Evaulation of "Khai-Nao Nan" Pumpkin Varieties. pp. 214–223. *In* **Proceedings of the 1st Agricultural Innovation and Natural Resources Conference 2022**. Songkhla: Prince of Songkla University [in Thai]

Khanobdee, C., P. Srisamatthakarn, C. Pongsukhumalkul and P. Jinawong. 2024. Genetic diversity assessment of physical and chemical traits of 100 heirloom "Khai Nao" pumpkin varieties. **Journal of Agricultural Research and Extension** 41(1): 42–51. [in Thai]

Little, T.M. and F.J Hills. 1978. **Agricultural Experimentation Design and Analysis**. New York: John Wiley & Sons, Inc. 350 p.

Loy, J.B. 2012. Breeding Squash and Pumpkins. pp. 93-139. *In* Y-Hong W., T.K. Behera, and K. Chittaranjan (Eds.). **Genetics, Genomics and Breeding of Cucurbits**. Boca Raton: CRC Press.

Paris, H.S. 1994. Genetic Analysis and Breeding of Pumpkins and Squash for High Carotene Content. pp 93–115. *In* Linskens H.F. and J.F. Jackson (Eds.). **Vegetables and Vegetable Products**. Berlin: Springer.

Thai Meteorological Department. 2024. **Temperature and rainfall data for the Northern region.** [Online]. Available http://www.cmmet.tmd.go.th/forecast/pt/Max_Min_Rainfall.php (December 29, 2024).

วารสารวิจัยและส่งเสริมวิชาการเกษตร 42(3): 28-40

อิทธิพลของปุ๋ยอินทรีย์เคมีต่อการเจริญเติบโต สรีรวิทยา ผลผลิต และปริมาณแลคโตนรวมในฟ้าทะลายโจรภายใต้สภาพกระถาง

Influence of Organic Chemical Fertilizer on Growth, Physiology, Yield and Total Lactone Content of *Andrographis paniculata* in Pot Conditions

ปริญญาวดี ศรีตนทิพย์[1,*] ชิติ ศรีตนทิพย์[1] เสกสรร วงศ์ศิริ[2] บุศรินทร์ บุญเต็ม[1]
พิมพ์รัมภา สำราญ[1] และมนัสวี วังไชยเลิศ[1]

Parinyawadee Sritontip[1,*], Chiti Sritontip[1], Seksan Wongsiri[2], Butsarin Boontem[1]
Pimrumpa Samran[1] and Manassawee Wangchailerd[1]

[1]สถาบันวิจัยเทคโนโลยีเกษตร มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา ลำปาง 52000
[2]คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการเกษตร มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา ลำปาง 52000
[1]Agricultural Technology Research Institute, Rajamangala University of Technology Lanna, Lampang, Thailand 52000
[2]Faculty of Science and Agricultural Technology, Rajamangala University of Technology Lanna Lampang, Thailand 52000
*Corresponding author: Parinyawadee@rmutl.ac.th

Received: *June 16, 2024*
Revised: *March 10, 2025*
Accepted: *March 27, 2025*

Abstract

The purpose of this study was to determine how much organic chemical fertilizer was needed for growth, physiology, yield, and total lactone content in potted *Andrographis paniculata*. The Agricultural Technology Research Institute, Rajamangala University of Technology Lanna, Lampang province served as the site of the experiment. The organic chemical fertilizers were applied at the following rates: 0 (control treatment), 1.4, 2.8, 4.2, and 5.6 grams per pot. The experiment was a randomized complete block design (RCBD) with 5 treatments and 8 replications. The 6-3-3 OM10% compound type fertilizer was utilized in the experiment. The experiment was carried out in 2023, from August to October. According to the findings, *A. paniculata* exhibited greater stem growth in terms of plant height, stem diameter, number of leaves, leaf width, and leaf length when the chemical organic fertilizer was applied at a rate of 2.8–4.2 grams per pot. This, in turn, led to a higher dry weight than when other fertilizer rates were used. In comparison to other fertilizer rates, the application of chemical organic fertilizer at a rate of 2.8–5.6 grams per pot helped to increase the fresh weight, transpiration rate, stomata conductance rate, CO_2 assimilation rate, and leaf efficiency of chlorophyll fluorescence. The amount of chlorophyll and total lactone in the leaves were measured with each fertilizer rate. The organic chemical fertilizer rate suggested by this experiment was 75 kilograms per rai, or 4.2 grams per pot.

Keywords: Organic chemical fertilizer, *Andrographis paniculata* (Burm.f.) Nees, Total lactone

บทคัดย่อ

การวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาอัตราปุ๋ยอินทรีย์เคมีที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโต สรีรวิทยา ผลผลิต และปริมาณแลคโตนรวมในการปลูกฟ้าทะลายโจรภายใต้สภาพกระถาง ดำเนินการทดลอง ณ สถาบันวิจัยเทคโนโลยีเกษตร มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา จังหวัดลำปาง วางแผนการทดลองแบบสุ่มในบล็อกสมบูรณ์ (Randomized Complete Block Design) จำนวน 5 กรรมวิธี กรรมวิธีละ 8 ซ้ำ ได้แก่ การใส่ปุ๋ยอินทรีย์เคมีอัตรา 0 (กรรมวิธีควบคุม), 1.4, 2.8, 4.2 และ 5.6 กรัมต่อกระถาง ปุ๋ยที่ใช้ในการทดลอง คือ ปุ๋ยอินทรีย์เคมี สูตร 6-3-3 OM10% แบบคอมปาวน์ ทำการทดลองระหว่างเดือนสิงหาคม-ตุลาคม 2566 จากการทดลองพบว่า การใส่ปุ๋ยอินทรีย์เคมีอัตรา 2.8–4.2 กรัมต่อกระถาง ฟ้าทะลายโจรมีการเจริญเติบโตทางลำต้นในด้านความสูงของลำต้น ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของลำต้น จำนวนใบ ความกว้างใบ และความยาวใบ ส่งผลให้มีน้ำหนักแห้งสูงกว่าการใส่ปุ๋ยในอัตราอื่น ส่วนการใส่ปุ๋ยอินทรีย์เคมีในอัตรา 2.8–5.6 กรัมต่อกระถาง ช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการทำงานของระบบแสงที่สองของใบ การคายน้ำ การยอมให้ก๊าซผ่านทางปากใบ อัตราการแลกเปลี่ยนก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ และน้ำหนักสด สูงกว่าการใส่ปุ๋ยในอัตราอื่น การใส่ปุ๋ยทุกอัตราช่วยเพิ่มความเขียวของใบและปริมาณแลคโตนรวมมากกว่าการไม่ใส่ปุ๋ย อัตราปุ๋ยอินทรีย์เคมีที่แนะนำสำหรับการทดลองนี้ที่เหมาะสม คือ 4.2 กรัมต่อกระถาง หรืออัตรา 75 กิโลกรัมต่อไร่

คำสำคัญ: ปุ๋ยอินทรีย์เคมี ฟ้าทะลายโจร แลคโตนรวม

คำนำ

ฟ้าทะลายโจร (*Andrographis paniculata* (Burm.f.) Nees) เป็นสมุนไพรที่ได้รับการบรรจุอยู่ในบัญชียาหลักแห่งชาติ ซึ่งมีสรรพคุณทางยาหลากหลาย โดยมีฤทธิ์ในการบรรเทาอาการท้องเสีย ชนิดที่ไม่เกิดจากการติดเชื้อ บรรเทาอาการเจ็บคอ บรรเทาอาการของโรคหวัด (common cold) เช่น เจ็บคอ ปวดเมื่อยกล้ามเนื้อ และปัจจุบันถูกนำมาใช้เพื่อรักษาโรคโควิด-19 ในประกาศคณะกรรมการพัฒนาระบบยาแห่งชาติ (Chainok, 2021) แม้มีความต้องการใช้ฟ้าทะลายโจรเพื่อรักษาโรคโควิด-19 ในปริมาณมาก แต่ปริมาณวัตถุดิบมีไม่เพียงพอต่อความต้องการ (Thai PBS, 2021) เนื่องจากการผลิตในปัจจุบันยังไม่เป็นรูปแบบอุตสาหกรรมและเชิงพาณิชย์ นอกจากนี้กองนโยบายเทคโนโลยีเพื่อการเกษตรและเกษตรกรรมยั่งยืน ยังคาดการณ์ว่าในปี พ.ศ. 2571 ฟ้าทะลายโจรจะยังเป็นที่ต้องการของผู้บริโภค รวมถึงผู้ที่ต้องการใช้ผลิตภัณฑ์จากธรรมชาติ (Office of the Permanent Secretary for Ministry of Agricultural and Cooperatives, 2023) ซึ่งการผลิตในปัจจุบันมีทั้งแบบการใส่ปุ๋ยเคมีและการใส่ปุ๋ยอินทรีย์ ซึ่งทั้งสองระบบการปลูกมีข้อดีที่แตกต่างกัน จากการทดลองนี้มีการใส่ปุ๋ยอินทรีย์เคมีที่มีส่วนผสมของมูลค้างคาว โดยเป็นปุ๋ยที่ขึ้นทะเบียนปุ๋ยของกรมวิชาการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์ และจำหน่ายเป็นการค้า เนื่องจากต้องการหาวิธีปลูกเพื่อใช้ในอุตสาหกรรม เพื่อให้มีปริมาณผลผลิตที่เพียงพอแล้วยังต้องคำนึงถึงปริมาณสารสำคัญด้วย การใส่ปุ๋ยอินทรีย์เคมีนอกจากให้ธาตุอาหารแก่พืชแล้วยังช่วยปรับปรุงดิน มีรายงานการใส่ปุ๋ยอินทรีย์เคมีที่มีส่วนผสมของมูลค้างคาว พบว่าเป็นหนึ่ง

ในปุ๋ยที่มีประโยชน์ มีธาตุอาหารที่จำเป็นที่ช่วยส่งเสริมการเจริญเติบโตของพืช มีธาตุฟอสฟอรัสสูงสามารถนำไปใช้เป็นปุ๋ยฟอสฟอรัสให้แก่พืชได้ (Sae Lim, 2016) อีกทั้งมีรายงานการใช้ปุ๋ยมูลค้างคาวร่วมกับไบโอชาร์ช่วยเพิ่มผลผลิตของกระเจี๊ยบเขียว และช่วยปรับปรุงคุณภาพดิน (Dimande *et al*., 2023) และทำให้น้ำหนักฝักแห้ง ผลผลิตต่อต้น และน้ำหนักเมล็ดถั่วลิสงสูงที่สุด และมีแนวโน้มว่าสามารถช่วยเพิ่มสารประกอบฟีนอลิกในเมล็ดได้ (Khowilaisaeng and Aninbon, 2022) ซึ่งธาตุอาหารของพืชเป็นหนึ่งปัจจัยที่ทำให้พืชมีการสร้างสารประกอบฟีนอลิกเพิ่มขึ้น โดยมีบทบาทในการควบคุมการสังเคราะห์สารทุติยภูมิ เช่น สารประกอบฟีนอลิก สารประกอบฟลาโวนอยด์ และแคโรทีนอยด์ เป็นต้น (Li *et al*., 2008) ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาอัตราปุ๋ยอินทรีย์เคมีในการปลูกฟ้าทะลายโจรที่ส่งเสริมการเจริญเติบโต การเปลี่ยนแปลงทางสรีรวิทยา ผลผลิต และปริมาณแลคโตนรวม ซึ่งข้อมูลที่ได้สามารถนำไปประยุกต์ใช้ในการผลิต ซึ่งจะเป็นประโยชน์ต่อผู้ผลิตวัตถุดิบสมุนไพรเชิงพาณิชย์ต่อไป

วิธีดำเนินการวิจัย

วางแผนการทดลองแบบสุ่มในบล็อกสมบูรณ์ (Randomized Complete Block Design) จำนวน 5 กรรมวิธี กรรมวิธีละ 8 ซ้ำ ได้แก่ การใส่ปุ๋ยอินทรีย์เคมีอัตรา 0 (กรรมวิธีควบคุม), 1.4, 2.8, 4.2 และ 5.6 กรัมต่อกระถาง ปุ๋ยที่ใช้ในการทดลอง คือ ปุ๋ยอินทรีย์เคมี สูตร 6-3-3 OM10% แบบคอมปาวน์ ขนาดบรรจุ 25 กิโลกรัม ขึ้นทะเบียนปุ๋ยกับกรมวิชาการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์ ทะเบียนปุ๋ยเคมี เลขที่ 844/2561 ซึ่งประกอบด้วยปริมาณอินทรียวัตถุรับรองร้อยละ 10.0 มีไนโตรเจนทั้งหมดร้อยละ 6.0 ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ร้อยละ 3.0 และโพแทสเซียมที่ละลายน้ำร้อยละ 3.0 สมบัติของชุดดินที่นำมาศึกษามีความเป็นกรดด่าง (pH) เท่ากับ 7.72 มีปริมาณอินทรียวัตถุเท่ากับร้อยละ 1.49 มีปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด ร้อยละ 0.06 และมีปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ 2.91 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม

พืชทดลอง คือ ฟ้าทะลายโจรสายพันธุ์พิจิตร 4-4 (Chaemcheun *et al*., 2020) เป็นสายพันธุ์ที่กรมวิชาการเกษตรพัฒนาวิธีการเตรียมต้นกล้า โดยนำเมล็ดแช่น้ำเป็นเวลา 24 ชั่วโมง และนำไปเพาะบนกระดาษเพาะเมล็ด เมื่อต้นกล้าอายุ 14 วันหลังเพาะเมล็ด ทำการย้ายต้นกล้าลงถาดเพาะกล้าขนาด 104 หลุม ที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางแต่ละหลุม 4 เซนติเมตร มีวัสดุเพาะกล้าคือ พีทมอส ทำการย้ายปลูกเมื่อต้นกล้าอายุ 45 วัน หลังจากเพาะเมล็ด คัดเลือกต้นกล้าให้มีขนาดของลำต้น และความสูงของลำต้นใกล้เคียงกัน นำมาปลูกในกระถางพลาสติกสีดำขนาด 15 นิ้ว ปริมาณปุ๋ยตามกรรมวิธีการทดลองอัตรา 0, 25, 50, 75 และ 100 กิโลกรัมต่อไร่ ซึ่งการเตรียมดินสำหรับการทดลองให้ใส่ดินกระถางละ 18 กิโลกรัม ปริมาณปุ๋ยที่ใส่ต่อกระถางตามกรรมวิธีที่ทำการทดลองคำนวณจากดิน 1 ไร่ หนัก 3.216×10^5 กิโลกรัม (ดิน 1 ไร่ ลึก 0.15 เมตร มีพื้นที่ 1,600 ตารางเมตร มีความหนาแน่น 1.34 กรัม/ลูกบาศก์เซนติเมตร มีน้ำหนัก 0.15 เมตร x 1,600 x 1.34 x 10^{-3} กิโลกรัม ต่อ 10 ลูกบาศก์เมตร เท่ากับ 3.216×10^5 กิโลกรัม) ได้ปริมาณปุ๋ยอินทรีย์เคมีตามกรรมวิธีที่ทดลอง ได้แก่ 0, 1.4, 2.8, 4.2 และ 5.6 กรัมต่อกระถาง ผสมให้เป็นเนื้อเดียวกันก่อนย้ายต้นกล้าปลูก การให้น้ำตอนเช้าทุกวัน เวลา 9.00 น. ปริมาณ 1 ลิตรต่อกระถาง เป็นปริมาณน้ำที่ทำการศึกษาอัตราการใช้น้ำของฟ้าทะลายโจรก่อนการทดลองก่อนหน้า ทำการปลูกในโรงเรือน ณ สถาบันวิจัยเทคโนโลยีเกษตร มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา จังหวัดลำปาง ระหว่างเดือนสิงหาคม–ตุลาคม พ.ศ. 2566 ทำการบันทึกดังนี้

1. ทำการเก็บตัวอย่างดินจำนวน 2 ครั้ง ได้แก่ ดินที่ผสมปุ๋ยอินทรีย์เคมีตามกรรมวิธีการทดลองก่อนทำการย้ายปลูกต้นกล้าฟ้าทะลายโจร และดินที่ทำการทดลองเสร็จสิ้นแล้วหลังจากทำการเก็บเกี่ยวผลผลิต ตัวอย่างดินของแต่ละกรรมวิธีจะทำการคลุกเคล้าให้เข้ากัน

เก็บตัวอย่างดิน 1 กิโลกรัม นำมาผึ่งให้แห้งในโรงเรือนทดลองเป็นระยะเวลา 15 วัน จากนั้นทุบดินให้แตกละเอียด นำไปวิเคราะห์สมบัติดิน การเปลี่ยนแปลงปริมาณธาตุอาหารในดิน ได้แก่ ค่าความเป็นกรดด่าง โดยใช้อัตราส่วนระหว่างดิน : น้ำ เท่ากับ 1 : 1 (Attanandana and Chancharoensuk, 1999) ปริมาณอินทรีย์วัตถุโดยใช้วิธี Walkley-Black Titration (Walkley and Black, 1934) ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด โดยการย่อยตัวอย่างดินด้วย digestion mixture และใช้วิธีการทำให้เกิดสี (Supakamnerd, 1999) และปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ สกัดโดยวิธี Bray II และวิเคราะห์ปริมาณโดยวิธี Colorimetric (Bray and Kurtz, 1945)

2. การเจริญเติบโตทางลำต้น ได้แก่ ความสูงของลำต้น (เซนติเมตร) โดยวัดจากโคนต้นถึงปลายยอดของต้น ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของลำต้น (มิลลิเมตร) วัดความสูงขึ้นมาจากพื้นดิน 5 เซนติเมตร ทำเครื่องหมายไว้เพื่อทำการวัดครั้งต่อไป โดยวัดข้อมูล 2 ด้านของลำต้นแล้วนำมาหาค่าเฉลี่ย ความกว้างของทรงพุ่ม (เซนติเมตร) วัดส่วนที่กว้างที่สุดของทรงพุ่มเป็น 2 แนวตั้งฉากกันแล้วนำมาหาค่าเฉลี่ย นับจำนวนใบต่อต้น (ใบ) ใช้ใบที่ 3 นับจากปลายยอดวัดขนาดความกว้างและความยาวใบ (เซนติเมตร) ทำการเก็บข้อมูลที่อายุ 56 วัน ซึ่งเป็นระยะที่สิ้นสุดระยะการเจริญเติบโตทางลำต้น และเริ่มออกดอก นำค่าที่วัดได้มาหาค่าเฉลี่ย

3. การวัดความเขียวใบ ทำการวัดใบคู่ที่ 3 นับจากปลายยอด วัดใบละ 2 ตำแหน่ง ด้านขวาและซ้ายของเส้นกลางใบ ที่อายุ 56 วันหลังย้ายปลูก ใช้เครื่อง Chlorophyll Meter รุ่น SPAD 502® นำค่าที่วัดได้มาหาค่าเฉลี่ย

4. การวัดประสิทธิภาพของการใช้แสงสูงสุดของใบ (Maximum Quantum Efficiency of PSII Photochemistry, FV/FM) ทำการวัดใบคู่ที่ 3 นับจากปลายยอด โดย 1 ต้น วัด 2 ใบ ใบละ 1 ตำแหน่ง ในช่วงเวลา 9.00–11.00 น. ที่อายุ 56 วันหลังย้ายปลูก ใช้เครื่อง Chlorophyll Fluorometer Model Handy PEA ver. 2 (Hansatech instrument) โดยทำ dark-adapted เป็นระยะเวลา 20 นาที ก่อนการวัดค่า FV/FM นำค่าที่วัดได้มาหาค่าเฉลี่ย

5. การวัดอัตราการสังเคราะห์แสง (photosynthesis) วัดการคายน้ำ (transpiration rate) มีหน่วยเป็นมิลลิโมลต่อตารางเมตรต่อวินาที ($mmolm^{-2}s^{-1}$) อัตราการแลกเปลี่ยนก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2 assimilation rate) มีหน่วยเป็น ไมโครโมลต่อตารางเมตรต่อวินาที ($\mu molm^{-2}\text{-}s^{-1}$) การยอมให้ก๊าซผ่านทางปากใบ (stomata conductance rate) มีหน่วยเป็นมิลลิโมลต่อตารางเมตรต่อวินาที ($mmolm^{-2}s^{-1}$) ทำการวัดใบคู่ที่ 3 นับจากปลายยอด โดย 1 ต้น วัด 2 ใบ ใบละ 1 ตำแหน่ง ช่วงระหว่าง 10.00–11.00 น. ที่อายุ 56 วันหลังย้ายปลูก ใช้เครื่องวัดอัตราการสังเคราะห์แสงของพืช ยี่ห้อ ADC BioScientific Ltd. รุ่น LCpro นำค่าที่วัดได้มาหาค่าเฉลี่ย

6. ปริมาณผลผลิต ได้แก่ น้ำหนักสดต่อต้น โดยเก็บเกี่ยวที่ระยะออกดอกร้อยละ 6.25 เก็บเกี่ยวผลผลิตในช่วงเช้า ใช้กรรไกรตัดกิ่งตัดส่วนเหนือดินห่างจากโคนต้น 4 ข้อ หรือประมาณ 10 เซนติเมตร จากนั้นหาน้ำหนักแห้งต่อต้น โดยนำฟ้าทะลายโจรไปอบที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 72 ชั่วโมง

7. ปริมาณแลคโตนรวม หลังจากที่อบใบฟ้าทะลายโจรที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 72 ชั่วโมง นำมาบดให้เป็นผง และสกัดใบฟ้าทะลายโจรด้วยวิธี Sonication โดยใช้ตัวทำละลายเป็น methanol นำผงใบฟ้าทะลายโจรใส่ในตัวทำละลาย ในอัตราส่วน 1 : 10 แล้ว sonicate เป็นเวลา 30 นาที ที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส บ่มไว้ที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 7 วัน นำไปปั่นเหวี่ยง และกรองเอาเฉพาะส่วนใส นำไปวิเคราะห์ปริมาณแลคโตนรวมในพืชตัวอย่างด้วยเทคนิคสเปกโตรโฟโตมิทรี โดยดูดสารสกัดใบฟ้าทะลายโจรปริมาตร 2 มิลลิเมตร และเติมสารละลาย 3,5-ไดไนโตรเบนโซอิกแอซิด ความเข้มข้นร้อยละ 1 และสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้นร้อยละ 0.5 อย่างละ 0.5 มิลลิเมตร ผสมให้เข้ากัน ทิ้งไว้ 10 นาที จากนั้นวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 536

นาโนเมตร และคำนวณปริมาณสารกลุ่มแลคโตนรวมจากสมการเส้นตรง (linear regression) ของกราฟมาตรฐาน โดยดัดแปลงวิธีจาก Onsa *et al*., (2022); Sharma and Sharma (2018) วิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติ (ANOVA) โดยการทดสอบความแปรปรวนของค่าเฉลี่ยด้วยวิธี DMRT (Duncan's Multiple Range Test) ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 ด้วยโปรแกรม SPSS version 30.0.0

ผลการวิจัย

สมบัติของดินและการเปลี่ยนแปลงปริมาณธาตุอาหารในดิน

หลังการใส่ปุ๋ยอินทรีย์เคมีผสมดินก่อนทำการย้ายปลูกต้นกล้าฟ้าทะลายโจร พบว่าค่าความเป็นกรด-ด่างมีความแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง การใส่ปุ๋ยอินทรีย์เคมีอัตรา 1.4–5.6 กรัมต่อกระถาง ทำให้ดินมีค่าความเป็นกรด-ด่างลดลง เมื่อเปรียบเทียบกับกรรมวิธีที่ไม่ใส่ปุ๋ย มีค่าเฉลี่ย 7.37–7.57 ซึ่งการใส่ปุ๋ยอินทรีย์เคมีอัตรา 5.6 กรัมต่อกระถาง ทำให้ดินมีความเป็นกรด-ด่างน้อยที่สุด (7.37) ปริมาณอินทรียวัตถุ พบว่ามีความแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ การใส่ปุ๋ยอินทรีย์เคมีอัตรา 0 และ 1.4 กรัมต่อกระถาง ดินมีปริมาณอินทรียวัตถุต่ำที่สุดและไม่มีความแตกต่างกัน มีค่าเฉลี่ยร้อยละ 1.49 และ 1.51 ตามลำดับ แต่เมื่อใส่ปุ๋ยอินทรีย์เคมีอัตรา 2.8–5.6 กรัมต่อกระถาง ทำให้ดินมีปริมาณอินทรียวัตถุเพิ่มขึ้น โดยมีค่าเฉลี่ยร้อยละ 1.75–1.90 ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด พบว่ามีความแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง การไม่ใส่ปุ๋ยทำให้ดินมีปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดต่ำที่สุด มีค่าเฉลี่ยร้อยละ 0.056 แต่การใส่ปุ๋ยอินทรีย์เคมีอัตรา 2.8 กรัมต่อกระถาง ทำให้ดินมีปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดสูงที่สุด มีค่าเฉลี่ยร้อยละ 0.086 แต่ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับการใส่ปุ๋ยอินทรีย์เคมีอัตรา 4.2 กรัมต่อกระถาง ส่วนปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ พบว่ามีความแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง การใส่ปุ๋ยอินทรีย์เคมีอัตรา 5.6 กรัมต่อกระถาง ทำให้ดินมีปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์สูงที่สุด มีค่าเฉลี่ย 18.21 มิลลิกรัม/กิโลกรัม ส่วนการไม่ใส่ปุ๋ยอินทรีย์เคมี มีปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ต่ำที่สุด มีค่าเฉลี่ย 2.91 มิลลิกรัม/กิโลกรัม (Table 1)

Table 1 Physiochemical properties of soil before planting of *A. paniculata* affect by different rates of compound organic chemical fertilizer

Fertilizer rate (g/pot)	pH	Organic matter (%)	Nitrogen (%)	Available phosphorus (mg/kg)
0 (control)	7.72±0.02 a	1.49±0.03 b	0.056±0.00 d	2.91±0.65 d
1.4	7.57±0.04 b	1.51±0.10 b	0.071±0.00 c	3.95±0.43 d
2.8	7.48±0.02 bc	1.75±0.07 a	0.086±0.00 a	6.40±0.85 c
4.2	7.45±0.05 cd	1.80±0.09 a	0.081±0.01 ab	13.31±0.41 b
5.6	7.37±0.04 d	1.90±0.02 a	0.075±0.00 bc	18.21±0.79 a
F-test	**	*	**	**
CV (%)	**0.94**	**8.38**	**9.19**	**15.39**

The results are expressed as the means ± standard error (SE). *,** denote significant levels (P-value) at 0.05 and 0.01, respectively Data with the same letters within a column do not differ significantly by DMRT at 0.05 level.

หลังจากทำการเก็บเกี่ยวผลผลิต คุณสมบัติดินในด้านค่าความเป็นกรดด่าง พบว่ามีความแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง การใส่ปุ๋ยอินทรีย์เคมีอัตรา 1.4 กรัมต่อกระถาง ทำให้ดินมีค่าความเป็นกรดด่างสูงที่สุด มีค่าเฉลี่ย 7.91 แต่ไม่มีความแตกต่างกับการไม่ใส่ปุ๋ยอินทรีย์เคมี ปริมาณอินทรียวัตถุ พบว่ามีความแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ การใส่ปุ๋ยอินทรีย์เคมีอัตรา 4.2 และ 5.6 กรัมต่อกระถาง ทำให้ดินมีปริมาณอินทรียวัตถุสูงที่สุด มีค่าเฉลี่ยร้อยละ 1.58 และ 1.62 ตามลำดับ แต่ไม่มีความแตกต่างกับการใส่ปุ๋ยอินทรีย์เคมีอัตรา 2.8 กรัมต่อกระถาง ขณะที่ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด พบว่าไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ โดยมีค่าเฉลี่ยร้อยละ 0.063–0.077 ส่วนปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ พบว่ามีความแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง การใส่ปุ๋ยอินทรีย์เคมีอัตรา 5.6 กรัมต่อกระถาง ทำให้ปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์สูงที่สุด มีค่าเฉลี่ย 9.17 มิลลิกรัม/กิโลกรัม แต่ไม่มีความแตกต่างกับการใส่ปุ๋ยอินทรีย์เคมีอัตรา 4.2 กรัมต่อกระถาง (Table 2)

Table 2 Physiochemical properties of soil after harvesting of *A. paniculata* affect by different rates of compound organic chemical fertilizer

Fertilizer rate (g/pot)	pH	Organic matter (%)	Nitrogen (%)	Available phosphorus (mg/kg)
0 (control)	789±0.03 ab	1.26±0.08 c	0.063±0.00	2.01±0.03 c
1.4	7.91±0.02 a	1.36±0.05 bc	0.073±0.00	3.58±0.44 c
2.8	781±0.04 bc	1.49±0.05 ab	0.077±0.00	5.95±1.48 b
4.2	7.74±0.03 c	1.58±0.10 a	0.075±0.01	7.82±0.93 ab
5.6	7.79±0.05 c	1.62±0.05 a	0.070±0.00	9.17±0.43 a
F-test	**	*	ns	**
CV (%)	**0.57**	**8.65**	**13.00**	**10.11**

The results are expressed as the means ± standard error (SE).

ns = no significant difference; *,** denote significant levels (P-value) at 0.05, and 0.01, respectively

Data with the same letters within a column do not differ significantly by DMRT at 0.05 level.

การเจริญเติบโตทางลำต้น

การเจริญเติบโตทางลำต้นที่อายุ 56 วันหลังย้ายปลูก พบว่ามีความแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญยิ่งในทุกด้าน โดยการใส่ปุ๋ยอินทรีย์เคมีอัตรา 2.8 และ 4.2 กรัมต่อกระถาง มีผลทำให้ฟ้าทะลายโจรมีความสูงของลำต้น จำนวนใบต่อต้น และความยาวใบสูงที่สุด โดยความสูงของลำต้นมีค่าเฉลี่ย 67.90 และ 74.78 เซนติเมตร จำนวนใบมีค่าเฉลี่ย 259.00 และ 241.50 ใบ และความยาวใบมีค่าเฉลี่ย 12.77 และ 11.77 เซนติเมตร ตามลำดับ การใส่ปุ๋ยอินทรีย์เคมีอัตรา 4.2 กรัมต่อกระถาง ทำให้เส้นผ่านศูนย์กลางของลำต้นสูงที่สุด แต่ไม่มีความแตกต่างกับการใส่ปุ๋ยอินทรีย์เคมีอัตรา 2.8 กรัมต่อกระถาง

มีค่าเฉลี่ย 8.03 มิลลิเมตร การใส่ปุ๋ยอินทรีย์เคมีอัตรา 4.2 กรัมต่อกระถาง ทำให้ความกว้างทรงพุ่มสูงที่สุดมีค่าเฉลี่ย 50.62 เซนติเมตร ส่วนการใส่ปุ๋ยอินทรีย์เคมีอัตรา 2.8 และ 4.2 กรัมต่อกระถาง ทำให้มีความกว้างใบสูงที่สุด แต่ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับการใส่ปุ๋ยอินทรีย์เคมีอัตรา 5.6 กรัมต่อกระถาง มีค่าเฉลี่ย 4.30 และ 4.37 เซนติเมตร ตามลำดับ (Table 3)

Table 3 Effects of different rate of compound organic chemical fertilizer on growth of *A. paniculata* at 56 days after transplantin

Fertilizer rate (g/pot)	Plant height (cm)	Stem diameter (mm)	Canopy width (cm)	Number of leaf per plant	Leaf width (cm)	Leaf length (cm)
0 (control)	27.60±1.64 c	3.92±0.43 c	18.29±1.86 c	70.00±21.56 c	2.88±0.22 c	8.38±0.61 b
1.4	39.63±2.63 c	5.92±0.24 b	34.88±3.16 b	118.75±13.07 bc	3.17±0.20 bc	8.97±0.54 b
2.8	67.90±2.28 a	6.95±0.46 ab	41.67±1.76 b	259.00±29.40 a	4.30±0.25 a	12.77±0.74 a
4.2	74.78±3.10 a	8.03±0.77 a	50.62±4.06 a	241.50±32.97 a	4.37±0.24 a	11.77±0.61 a
5.6	53.03±3.96 b	6.30±0.18 b	39.97±1.84 b	159.00±5.52 b	3.67±0.19 ab	9.67±0.65 b
F-test	**	**	**	**	**	**
CV (%)	**9.77**	**16.33**	**13.02**	**13.93**	**12.35**	**10.47**

The results are expressed as the means ± standard error (SE). ** denote significant levels (P-value) at 0.01
Data with the same letters within a column do not differ significantly by DMRT at 0.05 level

การเปลี่ยนแปลงทางสรีรวิทยาและอัตราการสังเคราะห์แสง

ความเขียวของใบ พบว่ามีความแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ โดยการใส่ปุ๋ยอินทรีย์เคมีทุกอัตราทำให้ฟ้าทะลายโจรมีความเขียวของใบมากกว่าการไม่ใส่ปุ๋ย โดยมีค่าเฉลี่ย 44.33–47.47 SPAD unit ส่วนประสิทธิภาพการทำงานของระบบแสงที่สองของใบ พบว่ามีความแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง การใส่ปุ๋ยอินทรีย์เคมีอัตรา 2.8 กรัมต่อกระถาง ทำให้ประสิทธิภาพการทำงานของระบบแสงที่สองของใบสูงที่สุด มีค่าเฉลี่ย 0.773 แต่ไม่มีความแตกต่างทางสถิติกับการใส่ปุ๋ยอินทรีย์เคมีอัตรา 4.2 และ 5.6 กรัมต่อกระถาง (Table 4)

การคายน้ำ พบว่ามีความแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง การใส่ปุ๋ยอินทรีย์เคมีอัตรา 2.8 กรัมต่อกระถาง ทำให้การคายน้ำมีค่าสูงที่สุด มีค่าเฉลี่ย 0.580 มิลลิโมลต่อตารางเมตรต่อวินาที แต่ไม่มีความแตกต่างทางสถิติกับการใส่ปุ๋ยอินทรีย์เคมีอัตรา 4.2 และ 5.6 กรัมต่อกระถาง การยอมให้ก๊าซผ่านทางปากใบ พบว่ามีความแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ การใส่ปุ๋ยอินทรีย์เคมีอัตรา 2.8 กรัมต่อกระถาง ทำให้ค่าการยอมให้ก๊าซผ่านทางปากใบสูงที่สุด มีค่าเฉลี่ย 0.020 มิลลิโมลต่อตารางเมตรต่อวินาที แต่ไม่มีความแตกต่างทางสถิติกับการใส่ปุ๋ยอินทรีย์เคมีอัตรา 4.2 กรัมต่อกระถาง ส่วนอัตราการแลกเปลี่ยนก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ พบว่ามีความ

แตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง โดยที่การใส่ปุ๋ยอินทรีย์เคมีทุกอัตรา ทำให้ฟ้าทะลายโจรมีอัตราการแลกเปลี่ยนก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ สูงกว่าการไม่ใส่ปุ๋ย โดยมีค่าเฉลี่ยระหว่าง 1.968–2.580 ไมโครโมลต่อตารางเมตรต่อวินาที (Table 4)

Table 4 Change of chlorophyll content, chlorophyll fluorescence, leaf photosynthesis in *A. paniculata* at 56 days after transplanting by different rate of compound organic chemical fertilizer

Fertilizer Rates (g/pot)	Chlorophyll Content (SPAD unit)	Chlorophyll Fluorescence (FV/FM)	Photosynthesis rate		
			Transpiration rate ($mmolm^{-2}s^{-1}$)	Stomata conductance rate ($mmolm^{-2}s^{-1}$)	CO_2-assimilation rate ($\mu molm^{-2}s^{-1}$)
0 (control)	33.10±2.85 b	0.744±0.01 c	0.348±0.02 c	0.010±0.00 b	1.025±0.13 b
1.4	45.23±3.73 a	0.757±0.01 bc	0.453±0.03 b	0.013±0.00 b	1.968±0.18 a
2.8	47.47±2.66 a	0.773±0.00 a	0.580±0.02 a	0.020±0.00 a	2.000±0.26 a
4.2	47.43±3.61 a	0.770±0.00 ab	0.500±0.03 ab	0.015±0.00 ab	2.580±0.18 a
5.6	44.33±2.92 a	0.762±0.00 ab	0.520±0.05 ab	0.013±0.00 b	2.420±0.03 a
F-test	*	**	**	*	**
CV (%)	**15.92**	**1.14**	**13.18**	**5.13**	**6.19**

The results are expressed as the means ± standard error (SE). *,** denote significant levels (P-value) at 0.05, and 0.01, respectively Data with the same letters within a column do not differ significantly by DMRT at 0.05 level.

ผลผลิตและปริมาณแลคโตนรวม

น้ำหนักสดต่อต้น พบว่ามีความแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ การใส่ปุ๋ยอินทรีย์เคมีอัตรา 2.8 และ 4.2 กรัมต่อกระถาง ทำให้ฟ้าทะลายโจรมีน้ำหนักสดสูงที่สุด มีค่าเฉลี่ย 102.50 และ 113.42 กรัม ตามลำดับ แต่ไม่มีความแตกต่างทางสถิติกับการใส่ปุ๋ยอินทรีย์เคมีอัตรา 5.6 กรัมต่อกระถาง ส่วนน้ำหนักแห้ง พบว่ามีความแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง การใส่ปุ๋ยอินทรีย์เคมีอัตรา 4.2 กรัมต่อกระถาง ทำให้ฟ้าทะลายโจรมีน้ำหนักแห้งสูงที่สุด มีค่าเฉลี่ย 34.13 กรัม แต่ไม่มีความแตกต่างทางสถิติกับการใส่ปุ๋ยอินทรีย์เคมีอัตรา 2.8 กรัมต่อกระถาง (Table 5)

ปริมาณแลคโตนรวม พบว่ามีความแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง โดยที่การใส่ปุ๋ยอินทรีย์เคมีทุกอัตรา ทำให้ฟ้าทะลายโจรมีปริมาณแลคโตนรวมสูงกว่าการไม่ใส่ปุ๋ย โดยมีค่าเฉลี่ยระหว่าง 27.84–29.98 กรัม/100 กรัม น้ำหนักแห้ง (Table 5)

Table 5 Effects of different rate of compound organic chemical fertilizer on fresh weight, dry weight and total lactone of *A. paniculata*

Fertilizer rates (kg/rai)	Fresh weight (g)	Dry weight (g)	Total lactone (g/100 g dry weight)
0 (control)	58.36±14.02 b	18.38±1.58 cd	24.98±0.51 b
1.4	61.76±7.76 b	13.17±1.28 d	28.14±0.49 a
2.8	102.50±18.08 a	27.79±1.55 ab	28.10±0.81 a
4.2	113.42±11.75 a	34.13±2.54 a	27.84±0.30 a
5.6	81.86±14.54 ab	20.99±3.76 bc	29.98±1.08 a
F-test	*	**	**
CV (%)	**13.42**	**19.51**	**4.85**

The results are expressed as the means ± standard error (SE). *,** Denote significant levels (P-value) at 0.05, and 0.01, respectively Data with the same letters within a column do not differ significantly by DMRT at 0.05 level.

วิจารณ์ผลการวิจัย

จากการทดลอง การใส่ปุ๋ยอินทรีย์เคมีผสมดินก่อนทำการย้ายปลูกต้นกล้าฟ้าทะลายโจร อัตรา 1.4–5.6 กรัมต่อกระถาง ทำให้ความเป็นกรดด่าง ปริมาณอินทรียวัตถุ ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด และปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ มีความแตกต่างกันทางสถิติ โดยทำให้ดินมีค่าความเป็นกรด-ด่างลดลง มีค่าเฉลี่ย 7.37–7.57 ซึ่งการใส่ปุ๋ยอินทรีย์เคมีอัตรา 5.6 กรัมต่อกระถาง ทำให้ดินมีความเป็นกรดด่างต่ำที่สุด (7.37) การใส่ปุ๋ยอินทรีย์เคมีอัตรา 1.4 กรัมต่อกระถาง ดินมีปริมาณอินทรียวัตถุไม่ต่างกับการไม่ใส่ปุ๋ย (1.51) อีกทั้งมีปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดต่ำที่สุด แต่เมื่อใส่ปุ๋ยอินทรีย์เคมีอัตรา 2.8–5.6 กรัมต่อกระถาง พบว่าทำให้ดินมีปริมาณอินทรียวัตถุเพิ่มขึ้น มีค่าเฉลี่ยร้อยละ 1.75–1.90 มีปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดเพิ่มขึ้น มีค่าเฉลี่ยร้อยละ 0.075–0.086 และทำให้ดินมีปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์เพิ่มขึ้นตามอัตราการใส่ปุ๋ย มีค่าเฉลี่ย 6.40–18.21 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม (Table 1) โดยการใส่ปุ๋ยอินทรีย์เคมีทำให้ดินมีความเป็นด่างลดลง มีปริมาณอินทรียวัตถุ ปริมาณไนโตรเจนและฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์เพิ่มสูงขึ้น ซึ่งการลดลงของค่าความเป็นกรดด่างในดินเกิดจากสมบัติความเป็นกรดปานกลางของปุ๋ยอินทรีย์เคมี (Nilawonk, 2020) เมื่อใส่ปุ๋ยในดินจะเกิดการปลดปล่อยไฮโดรเจนไอออน (H^+) ขณะที่เกิดกระบวนการเปลี่ยนรูปแอมโมเนียมไปเป็นไนเตรท (Nitrification) มีอัตราเพิ่มขึ้นเมื่อเทียบกับดินควบคุม นอกจากนี้การเปลี่ยนแปลงดังกล่าวยังอาจเป็นผลจากการปลดปล่อยธาตุอาหารต่าง ๆ และการปลดปล่อยไฮโดรเจนไอออนที่เกิดขึ้นในกระบวนการ Nitrification ดังที่กล่าวมาข้างต้นร่วมด้วย (Kaewsuralikhit *et al*., 2020)

หลังจากทำการเก็บเกี่ยวผลผลิต พบว่าสมบัติของชุดดิน ความเป็นกรดด่าง ปริมาณอินทรียวัตถุ และปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ มีความแตกต่างกันทางสถิติ โดยทุกกรรมวิธีมีค่าความเป็นกรด-ด่างเพิ่มขึ้นเมื่อเทียบกับก่อนทดลอง ซึ่งการไม่ใส่ปุ๋ยและใส่ปุ๋ยอินทรีย์เคมีอัตรา 1.4 กรัมต่อกระถาง ทำให้ดินมีค่าความเป็นกรด-ด่างสูงที่สุด มีค่าเฉลี่ย 7.89–7.91 ส่วนการใส่ปุ๋ยอัตรา 2.8–5.6 กรัมต่อกระถาง ทำให้ดินมีค่าความเป็นกรด-ด่างต่ำที่สุด มีค่าเฉลี่ย 7.74–7.81 และทุกกรรมวิธีมีปริมาณ

อินทรียวัตถุในดินลดลงเมื่อเปรียบเทียบกับก่อนการทดลอง โดยที่การใส่ปุ๋ยอัตรา 4.2–5.6 กรัมต่อกระถาง ทำให้ดินมีปริมาณอินทรียวัตถุสูงที่สุด มีค่าเฉลี่ยร้อยละ 1.58–1.62 ส่วนการไม่ใส่ปุ๋ยมีปริมาณอินทรียวัตถุในดินต่ำที่สุด มีค่าเฉลี่ยร้อยละ 1.26 นอกจากนี้ยังทำให้ปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ลดลงเมื่อเทียบกับก่อนทดลอง ซึ่งการไม่ใส่ปุ๋ยและใส่ปุ๋ยอัตรา 1.4 กรัมต่อกระถาง ทำให้ดินมีปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์น้อยที่สุด มีค่าเฉลี่ย 2.01–3.58 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ส่วนการใส่ปุ๋ยอินทรีย์เคมีอัตรา 5.6 กรัมต่อกระถาง ทำให้ดินมีปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์สูงที่สุด มีค่าเฉลี่ย 9.17 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม แต่ไม่ต่างกับการใส่ปุ๋ยอินทรีย์เคมีอัตรา 4.2 กรัมต่อกระถาง มีค่าเฉลี่ย 7.82 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม

ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด พบว่าไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ โดยมีค่าเฉลี่ยร้อยละ 0.063–0.077 (Table 2) การที่ค่าความเป็นด่างของดินเพิ่มขึ้น ซึ่งอาจเกิดจากปริมาณอินทรียวัตถุที่เพิ่มขึ้นจากการใส่ปุ๋ยอินทรีย์เคมีที่ช่วยเพิ่มค่าความสามารถในการแลกเปลี่ยนแคตไอออน (Cation Exchange Capacity; CEC) ของดิน เมื่อค่า CEC ของดินสูงขึ้น ดินสามารถดึงดูดไอออนของไฮโดรเจน (H^+) จากสารละลายในดินมายึดเกาะกับอินทรียวัตถุได้มากขึ้น ส่งผลให้ค่าความเป็นกรด-ด่างของดินเพิ่มขึ้นหรือมีความเป็นด่างมากขึ้น (Kaewhao, 2014) นอกจากนี้ปุ๋ยอินทรีย์เคมีซึ่งมีส่วนผสมของมูลค้างคาวมีปริมาณฟอสฟอรัสสูง สามารถใช้เป็นปุ๋ยฟอสฟอรัสให้แก่พืชได้ (Sae Lim, 2016) จากผลการทดลอง พบว่าฟ้าทะลายโจรสายพันธุ์พิจิตร 4-4 ที่ได้รับปุ๋ยอินทรีย์เคมีอัตรา 2.8–4.2 กรัมต่อกระถาง มีการเจริญเติบโตทางลำต้นในด้านความสูงของลำต้น ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของลำต้น จำนวนใบ ความกว้างใบ และความยาวใบสูงกว่าการใส่ปุ๋ยในอัตราอื่น การใส่ปุ๋ยทุกอัตราช่วยเพิ่มความเขียวของใบ สอดคล้องกับ Dimande *et al*. (2023) ที่รายงานว่าปุ๋ยที่มีส่วนผสม ของมูลค้างคาวช่วยปรับปรุงคุณภาพดิน และทำให้ผลผลิตของกระเจี๊ยบเขียวเพิ่มขึ้น ทำให้เมล่อนมีปริมาณคลอโรฟิลล์สูงที่สุด รวมถึงมีผลผลิตและองค์ประกอบของผลผลิตสูง (Pukpumin *et al*., 2022) ทั้งนี้เนื่องจากมูลค้างคาวมีปริมาณไนโตรเจนสูง (Yusuk *et al*., 2022) โดยปริมาณไนโตรเจนสัมพันธ์กับปริมาณคลอโรฟิลล์ในพืช

การใส่ปุ๋ยอินทรีย์เคมีในอัตรา 2.8–5.6 กรัมต่อกระถาง ช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการทำงานของระบบแสงที่สองของใบ การคายน้ำ การยอมให้ก๊าซผ่านทางปาก และอัตราการแลกเปลี่ยนก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ มีผลทำให้ฟ้าทะลายโจรมีน้ำหนักสด โดยการใส่ปุ๋ยอินทรีย์เคมีในอัตรา 2.8–4.2 กรัมต่อกระถาง ทำให้น้ำหนักแห้งมีแนวโน้มสูงกว่าการใส่ปุ๋ยในอัตราอื่น ส่วนการใส่ปุ๋ยอินทรีย์เคมีทุกอัตราเพิ่มปริมาณแลคโตนรวมมากกว่าการไม่ใส่ปุ๋ย สอดคล้องกับการศึกษาของ Sukyankij *et al*. (2024) ที่พบว่าการใช้ปุ๋ยอินทรีย์ในปริมาณต่างกันส่งผลให้ฟ้าทะลายโจรมีปริมาณสารแอนโดรกราโฟไลด์แตกต่างกัน ซึ่งปุ๋ยอินทรีย์มีจุลินทรีย์ที่มีบทบาทสำคัญในการกระตุ้นให้พืชผลิตสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพ เช่น ฮอร์โมนพืชหรือสารอินทรีย์ระเหยง่าย (volatile organic compounds) ที่ช่วยกระตุ้นการสร้างสารเหล่านี้ในพืชสมุนไพร แม้ว่ากลไกการทำงานของจุลินทรีย์ในกระบวนการนี้ยังไม่สามารถอธิบายได้อย่างชัดเจน แต่พบว่าปุ๋ยอินทรีย์ช่วยส่งเสริมการผลิตสารที่มีประโยชน์ในพืชได้อย่างมีนัยสำคัญ (Tripathi and Singh, 2021; Sukyankij *et al*., 2023) แต่การให้ปริมาณมากเกินไปไม่ได้ทำให้ฟ้าทะลายโจรมีผลผลิตสูงที่สุด ดังนั้นควรใช้ในปริมาณที่เหมาะสม ซึ่ง Rattaneetu (2009) รายงานว่าการใช้ปุ๋ยจากมูลค้างคาวอัตราต่อไร่ในปริมาณที่ไม่สูงเกินไปช่วยเพิ่มการเจริญเติบโตของพืชได้ เนื่องจากมูลค้างคาวเป็นปุ๋ยอินทรีย์ที่มีปริมาณธาตุอาหารพืชมากที่สุดเมื่อเทียบกับปุ๋ยคอกที่ได้จากมูลสัตว์ทั่วไป โดยอัตราปุ๋ยอินทรีย์เคมีที่แนะนำสำหรับการทดลองนี้ที่เหมาะสม คือ 4.2 กรัมต่อกระถาง หรืออัตรา 75 กิโลกรัมต่อไร่ เนื่องจากมีน้ำหนักแห้งต่อต้นสูง มีปริมาณแลคโตนรวมไม่แตกต่างจากการใส่ปุ๋ยในอัตราอื่น โดยค่ามาตรฐานวัตถุดิบที่ใช้สำหรับการผลิตยา มาตรฐานยาสมุนไพรไทย 2020 กำหนดปริมาณแลคโตนรวมคำนวณเป็นแอนโดรกราโฟไลด์ไม่น้อยกว่า 6.0% w/w (Department of Medical Sciences, 2020)

สรุปผลการวิจัย

1. การใส่ปุ๋ยอินทรีย์เคมีอัตรา 2.8–4.2 กรัมต่อกระถาง มีการเจริญเติบโตทางลำต้นในด้านความสูงของลำต้น ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของลำต้น จำนวนใบ ความกว้างใบ และความยาวใบ ส่งผลให้มีน้ำหนักแห้งสูงกว่าการใส่ปุ๋ยในอัตราอื่น

2. การใส่ปุ๋ยอินทรีย์เคมีในอัตรา 2.8–5.6 กรัมต่อกระถาง ช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการทำงานของระบบแสงที่สองของใบ การคายน้ำ การยอมให้ก๊าซผ่านทางปาก อัตราการแลกเปลี่ยนก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ และน้ำหนักสดสูงกว่าการใส่ปุ๋ยในอัตราอื่น

3. การใส่ปุ๋ยทุกอัตราช่วยเพิ่มความเขียวของใบและปริมาณแลคโตนรวมมากกว่าการไม่ใส่ปุ๋ย

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนาที่สนับสนุนทุนอุดหนุนการวิจัย งบประมาณด้านววน. ทุน Fundamental Fund ประจำปีงบประมาณ 2566 แหล่งทุน กองทุนส่งเสริมวิทยาศาสตร์ วิจัย และนวัตกรรม (สกสว.)

เอกสารอ้างอิง

Attanandana, T. And J. Chancharoensuk. 1999. **Soil and Plant Analysis Exercises and Practical Manual**. Bangkok: Faculty of Agriculture Kasetsart University. 170 p. [in Thai]

Bray, R.H. and L.T. Kurtz. 1945. Determination of total, organic, and available forms of phosphorus in soils. **Soil Science**. 59(1): 39–46.

Chaemcheun, K., S. Anuttato, P. Kheawpoompuang C. Ditchaiwong and C. Kongnakhon. 2020. ***Andrographis paniculata*: High-Quality Varieties for Combating the COVID-19 Crisis**. Phitsanulok: Office of Agricultural Research and Development Region 2. 8 p. [in Thai]

Chainok, K. 2021. **Using Fah Talai Jone for COVID-19 Treatment: National Drug System Development Committee Announcement**. [Online]. Available https://pharmacy.mahidol.ac.th/th/knowledge/article/569/ฟ้าทะลายโจร-โควิด-19/ (December 10, 2023). [in Thai]

Department of Medical Sciences. 2020. **Thai Herbal Pharmacopoeia 2020.** Bangkok: The Agricultural Co-operative Federation of Thailand., Ltd. 475 p. [in Thai]

Dimande, P., M. Arrobas and M.Â. Rodrigues. 2023. Effect of bat guano and biochar on okra yield and some soil properties. **Horticulturae** 9(7): 1–17.

Kaewhao, S. 2014. Soil quality improvement using green manure: case study in Nongbor reservoir area, Borabue district, Maha Sarakham province. **Journal of Science and Technology Mahasarakham University** 33(6): 592–602. [in Thai]

Kaewsuralikhit, S., P. Namwong, P. Thongra-ar, N. Thaweenut and K. Chatchaisiri. 2020. Mineralization and chemical properties changes in soil amended with azolla. **Thai Agricultural Research Journal** 38(2): 139–149. [in Thai]

Khowilaisaeng, N. and C. Aninbon. 2022. Influence of organic fertilizer types on yield components and total phenolic compounds in peanut. **Thai Science and Technology Journal** 28(2): 265–273. [in Thai]

Li, J., Z. Zhu and J. Gerendás. 2008. Effects of nitrogen and sulfur on total phenolics and antioxidant activity in two genotypes of leaf mustard. **Journal of Plant Nutrition** 31(9): 1642–1655.

Nilawonk, W. 2020. Influence of organic fertilizers and bio-extracts on the change of some soil properties and vegetable yields. **Khon Kaen Agriculture Journal** 48(3): 639–650. [in Thai]

Office of the Permanent Secretary for Ministry of Agricultural and Cooperatives. 2023. **Assessment of Herbal Product Production by the Ministry of Agriculture and Cooperatives**. Bangkok: Office of the Permanent Secretary for Ministry of Agricultural and Cooperatives. 69 p. [in Thai]

Onsa, N.E., S.K. Prasad, T. Chaiyaso, C. Lumsangkul and S.R. Sommano. 2022. Phenotypic and chemotypic relations among local *Andrographis paniculata* (Burm. f.) wall landrace collection. **Horticulturae** 8(10): 978.

Pukpumin, E., P. Khaengkhana and E. Sareepua. 2022. Comparison of nutrient quality from manure to organic melon (*Cucumis melo* L.) production in greenhouse. **Journal of Science Engineering and Technology Rajabhat Maha Sarakham University** 1(2): 1–16. [in Thai]

Rattaneetu, B. 2009. Organic fertilizer improves deteriorated soil. **Princess of Naradhivas University Journal** 1(2): 1–16. [in Thai]

Sae Lim, S. 2016. **Organic Fertilizer and Utilization in Thailand**. Khon Kaen: Research and Development Group for Organic Matter Management, Land Development Department. 202 p. [in Thai]

Sharma, S. and Y.P. Sharma. 2018. Comparison of different extraction methods and HPLC method development for the quantification of andrographolide from *Andrographis paniculata* (Burm. f.) Wall. Ex Nees. **Annals of Phytomedicine** 7(1): 119–130.

Sukyankij, S., S. Khienman and C. Khongsud. 2024. Influence of organic fertilizer on growth and quality of kalmegh. **Thai Science and Technology Journal** 32(2): 13–26. [in Thai]

Sukyankij, S., S. Sukyankij, and T. Panich-Pat. 2023. Effect of co-fertilizer application and dolomite amendments on yield and grain quality of rice grown on post-active acid sulfate soil. **AGRIVITA Journal of Agricultural Science** 45(2): 311–321.

Supakamnerd, N. 1999. **Colorimetric Analysis of Ammonium Nitrogen**. Chiang Rai: Chiangrai Horticulture Research Center. 17 p. [in Thai]

Thai PBS. 2021. **Booming market for Fah Talai Jone: sales surge 5x amid raw material**. [Online]. Available https://www.thaipbs.or.th/news/content/306846 (December 20, 2023). [in Thai]

Tripathi, P. and A. Singh. 2021. Biofertilizers: "An Ace in the Hole" in Medicinal and Aromatic Plants Cultivation. pp. 253–263. *In* Rakshit, A., V.S. Meena, M. Parihar, H.B. Singh and A.K. Singh (Eds.). **Biofertilizers**. United Kingdom: Woodhead Publishing.

Walkley, A. and I.A. Black. 1934. An examination of the Degtjareff method for determining soil organic matter, and a proposed modification of the chromic acid titration method. **Soil science** 37(1): 29–38.

Yusuk, P., N. Nokham and N. Kamol. 2022. **Nutrients from manure fertilizer**. [Online]. Available https://www.hrdi.or.th/articles/Detail/1526 (May 23, 2024). [in Thai]

Journal of Agri. Research & Extension 42(3): 41-54

ผลของการเตรียมพร้อมเมล็ดพันธุ์ด้วยสารละลายเกลือ KNO_3 และ $CaCl_2$ ต่อความงอกและความแข็งแรงของเมล็ดพันธุ์ผักกาดเขียว

The Effect of Halopriming with KNO_3 and $CaCl_2$ Solutions on Seed Germination and Vigor of Chinese Mustard

พิจิตรา แก้วสอน[1,*] ปิยรัตน์ รุจิณรงค์[2] และรักศักดิ์ เสริมศักดิ์[3]

Pichittra Kaewsorn[1,*], Piyarat Ruchinarong[2] and Raksak Sermsak[2]

[1]ภาควิชาพืชสวน คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ กรุงเทพฯ 10900

[2]กองวิจัยพัฒนาเมล็ดพันธุ์พืช กรมวิชาการเกษตร กรุงเทพฯ 10900

[3]ภาควิชาเกษตรกลวิธาน คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ กรุงเทพฯ 10900

[1]Department of Horticulture, Faculty of Agriculture, Kasetsart University, Bangkok, Thailand 10900

[2]Seed Research and Development Division, Department of Agriculture, Bangkok, Thailand 10900

[3]Department of Farm Mechanics, Faculty of Agriculture, Kasetsart University, Bangkok, Thailand 10900

*Corresponding author: pichittra.k@ku.th

Received: *May 15, 2025*

Revised: *August 14, 2025*

Accepted: *August 27, 2025*

Abstract

Imported Chinese mustard seeds may exhibit secondary seed dormancy due to unsuitable environmental conditions during transportation or storage, such as high temperatures, leading to high seed dormancy (64.00%) and low germination (32.50%). Therefore, this research investigated seed enhancement through seed priming using KNO_3 and $CaCl_2$ solutions. A completely randomized design was used, comprising six treatments: non-primed seeds (control), seed priming with reverse osmosis water (hydropriming), and priming with 0.5 and 1.0% KNO_3 or $CaCl_2$ solution. Seeds were soaked for 6 hours at 20± 2 °C, after which the moisture content of the seeds was reduced to approximately 7%, which approximated the initial moisture content. The results showed that seed priming of Chinese mustard with 1.0% KNO_3 solution resulted in the highest percentages of radicle emergence and germination of 95.50 and 93.50%, respectively, when compared with non-primed seeds (32.50 and 31.00%, respectively). Moreover, the primed seeds with 1.0% KNO_3 solution were highly vigorous, which had the time to reach 50% radicle emergence (0.60 days), days to emergence (1.21 days), time to reach 50% germination (2.78 days) and mean germination time (3.62 days). These times were faster than those of non-primed seeds (1.84, 2.76, 4.08 and 4.76 days, respectively). In conclusion, priming Chinese mustard seeds with 1.0% KNO_3 solution for 6 hours at 20± 2 °C is the best method as it resulted in the highest radicle emergence, germination and speed of germination.

Keywords: seed enhancement, seed dormancy, low germination, speed of germination, seed vigor

บทคัดย่อ

เมล็ดพันธุ์ผักกาดเขียวที่นำเข้าจากต่างประเทศพบปัญหาการพักตัวแบบทุติยภูมิเป็นเวลานาน 1 ปี เนื่องจากสภาพแวดล้อมไม่เหมาะสมในระหว่างการขนส่งหรือการเก็บรักษา เช่น อุณหภูมิสูง ส่งผลให้เมล็ดพักตัวสูง (64.00%) และมีความงอกต่ำ (32.50%) ดังนั้น งานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาวิธีกระตุ้นการงอกด้วยการเตรียมพร้อมเมล็ดพันธุ์ โดยใช้สารละลาย KNO_3 และ $CaCl_2$ วางแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ มี 6 ทรีตเมนต์ ได้แก่ เมล็ดที่ไม่เตรียมพร้อมเมล็ดพันธุ์ (ชุดควบคุม) การเตรียมพร้อมเมล็ดพันธุ์ด้วยน้ำ reverse osmosis (hydropriming) สารละลาย KNO_3 ที่ความเข้มข้น 0.5 และ 1.0% สารละลาย $CaCl_2$ ที่ความเข้มข้น 0.5 และ 1.0% เป็นเวลา 6 ชม. ที่อุณหภูมิ 20±2°ซ จากนั้นลดความชื้นของเมล็ดลงใกล้เคียงกับความชื้นเริ่มต้นประมาณ 7% ผลการทดลองพบว่า การเตรียมพร้อมเมล็ดพันธุ์ผักกาดเขียวด้วยสารละลาย KNO_3 ความเข้มข้น 1.0% ทำให้เมล็ดมีรากงอกและมีความงอกสูงที่สุด คือ 95.50 และ 93.50% ตามลำดับ เมื่อเปรียบเทียบกับเมล็ดที่ไม่เตรียมพร้อมเมล็ดพันธุ์ (32.50 และ 31.00% ตามลำดับ) นอกจากนี้ เมล็ดที่ผ่านการเตรียมพร้อมเมล็ดพันธุ์ด้วยสารละลาย KNO_3 ความเข้มข้น 1.0% ยังมีความแข็งแรงสูง โดยเมล็ดใช้เวลาในการงอกรากถึง 50% (0.60 วัน) มีจำนวนวันที่มีรากงอก (1.21 วัน) ใช้เวลาในการงอกถึง 50% (2.78 วัน) และมีเวลาเฉลี่ยในการงอก (3.62 วัน) ซึ่งเร็วกว่าเมล็ดที่ไม่ผ่านการเตรียมพร้อมเมล็ดพันธุ์ (1.84, 2.76, 4.08 และ 4.76 วัน ตามลำดับ) ดังนั้น การเตรียมพร้อมเมล็ดพันธุ์ผักกาดเขียวด้วยสารละลาย KNO_3 ความเข้มข้น 1.0% เป็นเวลา 6 ชม. ที่อุณหภูมิ 20±2°ซ เป็นวิธีการที่ดีที่สุด เพราะเมล็ดมีรากงอกและความงอกสูงที่สุด อีกทั้งยังงอกรากและพัฒนาเป็นต้นอ่อนปกติได้เร็วที่สุด

คำสำคัญ: การกระตุ้นการงอก เมล็ดพักตัว ความงอกต่ำ ความเร็วในการงอก ความแข็งแรงของเมล็ดพันธุ์

คำนำ

ผักกาดเขียว (Chinese mustard) มีชื่อวิทยาศาสตร์ว่า *Brassica juncea* (L.) Czernjaew อยู่ในวงศ์ Brassicaceae (Openña, 1993) คนไทยนิยมบริโภคผักกาดเขียว และประเทศไทยมีการนำเข้าเมล็ดพันธุ์ผักกาดเขียวในปี พ.ศ. 2567 ปริมาณ 1.66 แสนกิโลกรัม คิดเป็นมูลค่า 21.09 ล้านบาท (Agricultural Regulatory Office, 2024a) โดยส่วนใหญ่นำเข้าเมล็ดพันธุ์ผักกาดเขียวมาจากประเทศนิวซีแลนด์ปริมาณ 1.53 แสนกิโลกรัม คิดเป็นมูลค่า 15.51 ล้านบาท (Agricultural Regulatory Office, 2024b) เมล็ดผักกาดเขียวจัดเป็นเมล็ดพันธุ์ควบคุมตามพระราชบัญญัติพันธุ์พืช โดยต้องมีความงอกไม่ต่ำกว่า 70% และมีความบริสุทธิ์ทางกายภาพไม่ต่ำกว่า 98% หากคุณภาพเมล็ดพันธุ์ต่ำกว่าที่กฎหมายกำหนดไม่สามารถจำหน่ายได้ (The Secretariat of the Cabinet, 2013) ในระหว่างการขนส่งเมล็ดพันธุ์ผักกาดเขียวจากต่างประเทศจนถึงประเทศปลายทางอาจเกิดการพักตัวของเมล็ดแบบทุติยภูมิ (secondary dormancy) ซึ่งเมล็ดผักกาดเขียวมีขนาดเล็กและมีองค์ประกอบเป็นน้ำมันประมาณ 35% (Thomas *et al*., 2004) โดยเมล็ดอาจได้รับสภาพแวดล้อมที่ไม่เหมาะสมในระหว่างการขนส่งหรือการเก็บรักษา เช่น อุณหภูมิสูงเป็นเวลานาน ซึ่งเมล็ดพันธุ์พืชในวงศ์ Brassicaceae ส่วนใหญ่ไม่มีการพักตัวแบบปฐมภูมิ (primary dormancy) แต่อาจพบการพักตัวเพียงเล็กน้อยในพันธุ์ป่า (wild species) หรือเมล็ดอาจเกิดการพักตัวแบบทุติยภูมิ เนื่องจากได้รับสภาพแวดล้อมที่ไม่เหมาะสม (Awan *et al.*, 2018) ดังนั้น เมล็ดพันธุ์พืชในวงศ์ Brassicaceae ควรเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4-5°ซ และความชื้นสัมพัทธ์ต่ำ (Baskin and Baskin, 2020)

การกระตุ้นการงอกของเมล็ดพันธุ์มีหลายวิธี เช่น การแช่เมล็ดในน้ำหรือสารเคมีในระยะเวลาที่เหมาะสม (McDonald, 2000) ซึ่งวิธีการดังกล่าวจำเป็นต้องนำเมล็ดไปเพาะปลูกทันที ไม่ควรเก็บรักษาเนื่องจากเมล็ดได้รับความชื้นมากเพียงพอจนบางครั้งเมล็ดมีรากปรากฏแล้ว อย่างไรก็ตาม การเลือกใช้วิธีการกระตุ้นการงอกโดยทำให้เมล็ดแห้งเพื่อเก็บรักษาได้เป็นระยะเวลาสั้น ๆ มีความเหมาะสมในทางธุรกิจ เนื่องจากสะดวกในการบรรจุเมล็ดในภาชนะ การขนส่ง การวางจำหน่าย และรอการนำไปปลูกต่อไป ดังนั้น การเตรียมพร้อมเมล็ดพันธุ์ (seed priming) จึงเป็นวิธีการหนึ่งที่นิยมในการปรับปรุงประสิทธิภาพของเมล็ดพันธุ์เพื่อให้เมล็ดงอกได้รวดเร็วและสม่ำเสมอ (Verma and Mathur, 2022) โดยเป็นการทำให้เมล็ดดูดน้ำอย่างยาวนานและเพียงพอในระยะที่ 2 หรือระยะงัน (lag phase) เพื่อให้เกิดกระบวนการทางเมแทบอลิซึมที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการงอก แต่ยังไม่ทำให้รากปรากฏด้วยการลดความชื้นของเมล็ดลงเท่ากับความชื้นเริ่มต้น (MacDonald and Mohan, 2025)

การเตรียมพร้อมเมล็ดพันธุ์มีหลายวิธี เช่น 1) การเตรียมพร้อมเมล็ดพันธุ์ด้วยน้ำ (hydropriming) เป็นการแช่เมล็ดในน้ำสะอาดหรือน้ำบริสุทธิ์ในระยะเวลาที่เหมาะสม 2) การเตรียมพร้อมเมล็ดพันธุ์ด้วยสารละลายเกลือ (halopriming) เป็นการแช่เมล็ดในสารละลายเกลืออนินทรีย์ เช่น โพแทสเซียมไนเทรต (KNO_3) แคลเซียมคลอไรด์ ($CaCl_2$) ซึ่งเป็นสารส่งเสริมการงอกและสารละลายมีค่าชลศักย์ต่ำ เมล็ดจึงดูดน้ำอย่างช้า ๆ (MacDonald and Mohan, 2025) โดย KNO_3 เป็นสารเคมีที่ช่วยทำลายการพักตัวของเมล็ดที่นิยมใช้กันอย่างแพร่หลายในประเทศไทย (Na nakorn and Kaewsorn, 2021) โดยเมื่อละลายน้ำจะแตกตัวได้ K^+ และ NO_3^- ซึ่ง NO_3^- ทำหน้าที่รับอิเล็กตรอนแทนออกซิเจนในกระบวนการหายใจ จึงทำให้เมล็ดมีการหายใจที่เพิ่มขึ้น (McIntyre *et al*., 1996; Lara *et al*., 2014) รวมถึงช่วยในการดูดซึมออกซิเจนในกระบวนการหายใจและกระบวนการย่อยสลายสารอาหารภายในเมล็ด (Hilton and Thomas, 1986) ส่วน $CaCl_2$ เป็นสารส่งเสริมการงอก โดยเมื่อละลายน้ำจะแตกตัวเป็น Ca^{2+} ที่สามารถปรับสมดุลความดันออสโมติก (osmotic pressure) ทำให้มีผลต่อกระบวนการดูดน้ำ อีกทั้งมี Ca เป็นองค์ประกอบหลัก ซึ่งสำคัญต่อเสถียรภาพของเยื่อหุ้มเซลล์ และเป็น co-factor ของเอนไซม์ α-amylase ที่มีส่วนช่วยในการย่อยแป้งที่สะสมอยู่ในเอนโดสเปิร์มจากโมเลกุลใหญ่ให้เป็นโมเลกุลเล็ก (Reina and Pascual, 2001; Reina *et al*., 2001; Kirosassefa *et al*., 2010) มีรายงานการเตรียมพร้อมเมล็ดพันธุ์ผักกาดเขียว ‘Sangam’ ด้วยสารละลาย KNO_3 ความเข้มข้น 0.5% เป็นเวลา 12 ชม. (Kumar and Rai, 2021) และการเตรียมพร้อมเมล็ดพันธุ์ผักกาดเขียว ‘Sangam’ ด้วยสารละลาย KNO_3 ความเข้มข้น 1.0% เป็นเวลา 4 ชม. ทำให้เมล็ดมีความงอกในสภาพแปลงสูงกว่าการเตรียมพร้อมเมล็ดพันธุ์ด้วยน้ำและเมล็ดที่ไม่ผ่านการเตรียมพร้อมเมล็ดพันธุ์ ตามลำดับ (Suresh *et al*., 2025) แสดงให้เห็นว่าเมล็ดพันธุ์ชนิดเดียวกันและพันธุ์เดียวกัน แต่การตอบสนองต่อวิธีการเตรียมพร้อมเมล็ดพันธุ์แตกต่างกัน ทั้งนี้ยังขึ้นอยู่กับหลายปัจจัย เช่น ประวัติเมล็ดพันธุ์ คุณภาพเริ่มต้นของเมล็ดพันธุ์ (MacDonald and Mohan, 2025)

นอกจากนี้ มีรายงานการเตรียมพร้อมเมล็ดพันธุ์ผักกาดเขียว ‘TM-2’ ในสารละลาย $CaCl_2$ ความเข้มข้น 100 ไมโครโมลาร์ เป็นเวลา 18 ชม. ที่อุณหภูมิ 25°ซ ทำให้เมล็ดมีเปอร์เซ็นต์รากงอกสูงและงอกรากได้เร็ว (Srivastava *et al*., 2010) เมล็ดพันธุ์ผักกาดเขียวล็อตที่ใช้ในงานวิจัยนี้เป็นเมล็ดพันธุ์นำเข้าจากประเทศนิวซีแลนด์และขนส่งทางเรือเมื่อ พ.ศ. 2567 โดยเมล็ดถูกบรรจุในกระสอบพลาสติกและใส่ในตู้คอนเทนเนอร์ที่ไม่ได้ควบคุมอุณหภูมิ พบว่ามีการพักตัวเป็นเวลานานประมาณ 1 ปีจนกระทั่งถึงปัจจุบัน ดังนั้น งานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลของวิธีการเตรียมพร้อมเมล็ดพันธุ์ด้วยสารละลาย KNO_3 และ $CaCl_2$ ต่อความงอกและความแข็งแรงของเมล็ดพันธุ์ เพื่อทำให้เมล็ดงอกได้สูงอย่างรวดเร็วและสม่ำเสมอ

อุปกรณ์และวิธีการ

เมล็ดพันธุ์ผักกาดเขียว

เมล็ดพันธุ์ผักกาดเขียวพันธุ์ NO. 2 ถูกรวบรวมและนำเข้าจากประเทศนิวซีแลนด์ได้ทดสอบคุณภาพเมล็ดพันธุ์เมื่อเดือนมีนาคม พ.ศ. 2567 โดยเมล็ดหนัก 0.26 กรัม/1,000 เมล็ด ความชื้น 7% ความงอก 65% เมล็ดสด 34% และต้นอ่อนผิดปกติ 1% เมล็ดพันธุ์ถูกสุ่มตัวอย่างและเก็บรักษาในถุงซิปพลาสติกหนาปิดสนิทที่อุณหภูมิห้อง 30±2°ซ เป็นเวลา 1 ปี เมล็ดมีความงอกลดลงจาก 65% เป็น 31% และมีเมล็ดสดเพิ่มขึ้นจาก 34% เป็น 64% มีต้นอ่อนผิดปกติ 4% และเมล็ดตาย 1% (ทดสอบเมื่อเดือนมีนาคม พ.ศ. 2568)

วิธีการเตรียมพร้อมเมล็ดพันธุ์

นำเมล็ดพันธุ์ผักกาดเขียวมาเตรียมพร้อมเมล็ดพันธุ์โดยการแช่เมล็ดในน้ำ Reverse Osmosis (RO) สารละลาย KNO_3 (ความบริสุทธิ์ 99.00-100.50% น้ำหนักโมเลกุล 101.10 บริษัท HIMEDIA จำกัด ประเทศอินเดีย) ที่ความเข้มข้น 0.5 และ 1.0% สารละลาย $CaCl_2$ (ความบริสุทธิ์ ≥93.0 น้ำหนักโมเลกุล 110.98 บริษัท Sigma-Aldrich จำกัด ประเทศเม็กซิโก) ที่ความเข้มข้น 0.5 และ 1.0% เป็นเวลา 6 ชม. ที่ตู้ควบคุมอุณหภูมิ 20±2°ซ จากนั้นล้างเมล็ดผ่านน้ำ RO ไหลให้สะอาด ซับเมล็ดให้แห้งด้วยกระดาษซับ จากนั้นลดความชื้นของเมล็ดลงใกล้เคียงกับความชื้นเริ่มต้นประมาณ 7% ในตู้ดูดความชื้นไฟฟ้า (รุ่น Dry-60, ยี่ห้อ Weifo) ที่อุณหภูมิ 30±2°ซ ความชื้นสัมพัทธ์ 40±5% เป็นเวลา 48 ชม. ทดลองที่ห้องปฏิบัติการเทคโนโลยีเมล็ดพันธุ์ ภาควิชาพืชสวน คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

การวางแผนการทดลอง

วางแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ (Completely Randomized Design: CRD) มี 6 ทรีตเมนต์ ได้แก่ เมล็ดที่ไม่เตรียมพร้อมเมล็ดพันธุ์ (ชุดควบคุม) การเตรียมพร้อมเมล็ดพันธุ์ด้วยน้ำ สารละลาย KNO_3 ที่ความเข้มข้น 0.5 และ 1.0% และสารละลาย $CaCl_2$ ที่ความเข้มข้น 0.5 และ 1.0% จำนวน 4 ซ้ำ ซ้ำละ 50 เมล็ด

การบันทึกข้อมูล

นำเมล็ดพันธุ์ผักกาดเขียวที่ไม่ผ่านและผ่านการเตรียมพร้อมเมล็ดพันธุ์มาทดสอบความงอกมาตรฐานในสภาพห้องปฏิบัติการ โดยเพาะเมล็ดบนกระดาษสำหรับการทดสอบความงอกชนิดม้วน รุ่น K-1 ของบริษัท เคี่ยนหงวน (ประเทศไทย) จำกัด (มหาชน) ด้วยวิธี Top of Paper (TP) ในตู้ควบคุมอุณหภูมิสลับ 20⇔30°ซ โดยที่อุณหภูมิ 20°ซ ในสภาพมืด เป็นเวลา 16 ชม. และที่อุณหภูมิ 30°ซ ในสภาพมีแสง เป็นเวลา 8 ชม. เป็นเวลา 7 วันหลังเพาะเมล็ด (International Seed Testing Association, 2025) ประเมินความงอกและความแข็งแรงของเมล็ดพันธุ์ ได้แก่

1) เมล็ดมีรากงอก (Radicle Emergence; RE) นับเมล็ดที่มีรากงอกยาวประมาณ 2 มม. ทุกวัน เป็นเวลา 7 วันหลังเพาะเมล็ด คำนวณจากสูตร

เมล็ดมีรากงอก (%) = (จำนวนเมล็ดที่มีรากงอก × 100) ÷ จำนวนเมล็ดทั้งหมด

2) ความงอก (germination) ประเมินความงอกของเมล็ดผักกาดเขียวโดยนับครั้งแรก (first count) และนับครั้งสุดท้าย (final count) ที่ 5 และ 7 วันหลังเพาะเมล็ด ตามลำดับ ได้แก่ ต้นอ่อนปกติ ต้นอ่อนผิดปกติ เมล็ดสด และเมล็ดตาย (International Seed Testing Association, 2025)

3) เวลาที่ใช้ในการงอกรากถึง 50% (time to reach 50% radicle emergence; T_{50RE}) นับเมล็ดที่มีรากงอกยาวประมาณ 2 มม. ทุกวัน เป็นเวลา 7 วันหลังเพาะเมล็ด คำนวณจากสูตรที่ดัดแปลงจาก Coolbear *et al.* (1984)

$$T_{50RE}\text{ (วัน)} = t_i + [[((N + 1) \div 2) - n_i) \div (n_j - n_i)] \times (t_j - t_i)]$$

โดย t_i คือ เวลาก่อนที่เมล็ดงอกรากได้ครึ่งหนึ่ง

t_j คือ เวลาที่ถัดจากเวลา ti, ni คือ จำนวนเมล็ดที่มีรากงอก ณ เวลา t_i,

n_j คือ จำนวนเมล็ดที่มีรากงอก ณ เวลา t_j,

N คือ จำนวนเมล็ดที่มีรากงอกทั้งหมด

4) จำนวนวันที่มีรากงอก (Days to Emergence; DTE) นับจำนวนเมล็ดที่มีรากงอกยาวประมาณ 2 มม. ทุกวัน เป็นเวลา 7 วันหลังเพาะเมล็ด คำนวณจากสูตร (Dhillon, 1995)

$$DTE \text{ (วัน)} = \sum nd \div \sum n$$

โดย n คือ จำนวนเมล็ดที่มีรากงอกในวันที่ 1, 2, ..., n (n=7)

d คือ วันหลังเพาะเมล็ดในวันที่ 1, 2, ..., n (n=7)

5) เวลาที่ใช้ในการงอกถึง 50% (time to reach 50% germination; T_{50}) นับต้นอ่อนปกติทุกวัน เป็นเวลา 7 วันหลังเพาะเมล็ด คำนวณจากสูตร (Coolbear *et al.*, 1984)

$$T_{50} \text{ (วัน)} = t_i + [[((N + 1) \div 2) - n_i) \div (n_j - n_i)] \times (t_j - t_i)]$$

โดย t_i คือ เวลาก่อนที่เมล็ดงอกเป็นต้นอ่อนปกติได้ครึ่งหนึ่ง

t_j คือ เวลาที่ถัดจากเวลา t_i

n_i คือ จำนวนต้นอ่อนปกติ ณ เวลา t_i

n_j คือ จำนวนต้นอ่อนปกติ ณ เวลา t_j

N คือ จำนวนต้นอ่อนปกติทั้งหมด และ

5) เวลาเฉลี่ยในการงอก (mean germination time; MGT) นับจำนวนต้นอ่อนปกติทุกวัน เป็นเวลา 7 วันหลังเพาะเมล็ด คำนวณจากสูตร (Ellis and Robert, 1980)

$$MGT \text{ (วัน)} = \sum nd \div \sum n$$

โดย n คือ จำนวนต้นอ่อนปกติในวันที่ 1, 2, ..., n (n=7)

d คือ วันหลังเพาะเมล็ดในวันที่ 1, 2, ..., n (n=7)

การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ

วิเคราะห์ความแปรปรวนข้อมูลทางสถิติ (analysis of variance) และเปรียบเทียบความแตกต่างค่าเฉลี่ยด้วยวิธี Duncan's Multiple Range Test (DMRT) โดยใช้โปรแกรมสถิติ R (Jompuk, 2012)

ผลการวิจัยและวิจารณ์

การกระตุ้นความงอกเมล็ดพันธุ์ผักกาดเขียวด้วยวิธีการเตรียมพร้อมเมล็ดพันธุ์ด้วยน้ำและสารละลายต่าง ๆ มีผลทำให้เมล็ดมีรากงอกและมีความงอกแตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง (Table 1) โดยเมล็ดที่เตรียมพร้อมเมล็ดพันธุ์ด้วยสารละลาย KNO_3 ความเข้มข้น 0.5 และ 1.0% มีรากงอกสูงที่สุดและไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ คือ 88.50 และ 95.50% ตามลำดับ รองลงมา คือ การเตรียมพร้อมเมล็ดพันธุ์ด้วยสารละลาย $CaCl_2$ ความเข้มข้น 0.5% (83.00%) ส่วนเมล็ดที่ไม่เตรียมพร้อมเมล็ดพันธุ์มีรากงอกต่ำที่สุด คือ 32.50% เช่นเดียวกับค่าความงอก โดยการเตรียมพร้อมเมล็ดพันธุ์ผักกาดเขียวด้วยสารละลาย KNO_3 ความเข้มข้น 0.5 และ 1.0% ส่งผลให้เมล็ดมีความงอกสูงที่สุดและไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ คือ 88.00 และ 93.50% ตามลำดับ (Table 1) ซึ่งพบเมล็ดสดต่ำที่สุดและไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ คือ 9.50 และ 0.00% ตามลำดับ (Figure 1) ส่วนเมล็ดที่ไม่เตรียมพร้อมเมล็ดพันธุ์มีความงอกต่ำที่สุด คือ 31.00% (Table 1) แต่พบเมล็ดสดสูงที่สุด คือ 64.00% (Figure 1) แสดงว่าเมล็ดมีการพักตัว

จากผลการทดลองนี้แสดงให้เห็นว่าการเตรียมพร้อมเมล็ดพันธุ์ผักกาดเขียวด้วยสารละลาย KNO_3 ที่ความเข้มข้น 0.5 และ 1.0% ทำให้เมล็ดมีความงอกเพิ่มขึ้นประมาณ 57.00-62.50% เมื่อเปรียบเทียบกับ

เมล็ดที่ไม่เตรียมพร้อมเมล็ดพันธุ์ (Table 1) ซึ่งสอดคล้องกับ Suresh *et al*. (2025) รายงานการเตรียมพร้อมเมล็ดพันธุ์ผักกาดเขียวด้วยสารละลาย KNO_3 ความเข้มข้น 1% เป็นเวลา 4 ชม. ทำให้เมล็ดมีความงอกในสภาพแปลงสูงกว่าเมล็ดที่ไม่ผ่านการเตรียมพร้อมเมล็ดพันธุ์ (92.40 และ 82.49% ตามลำดับ) เพราะ KNO_3 เป็นสารส่งเสริมการงอก (International Seed Testing Association, 2025) เมื่อละลายน้ำจะแตกตัวได้ K^+ และ NO_3^- โดย K^+ ละลายอยู่ในไซโทพลาซึมและแวคิวโอล ช่วยรักษาค่าศักย์ออสโมซิส (osmotic potential) และกระตุ้นการทำงานของเอนไซม์มากกว่า 40 ชนิด ที่ใช้ในการสังเคราะห์แป้งและโปรตีน อีกทั้งยังกระตุ้นการทำงานของเอนไซม์ที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการหายใจ (Wang and Wu, 2013; Anschutz *et al*., 2014) ส่วน NO_3^- อาจมีความสัมพันธ์กับเอนไซม์ไนเทรตรีดักเทส (nitrate reductase) ในการสร้างไนไตรต์ (nitrite; NO_2^-) หรือไนตริกออกไซด์ (nitric oxide; NO) และได้ NH_4^+ ถูกรีดิวซ์เป็นกรดอะมิโนด้วยเอนไซม์กลูตามีนซินเทเทส (glutamine synthetase) หรือกลูตาเมตซินเทส (glutamate synthase) (Lin *et al*., 2020) ซึ่ง NO_3^- จะช่วยในกระบวนการสังเคราะห์โปรตีนภายในเมล็ด ทำให้เมล็ดมีปริมาณโปรตีนเพิ่มขึ้น เมล็ดจึงงอกได้ ดีขึ้น (Hendricks and Taylorson, 1974; McIntyre *et al*., 1996; Alboresi *et al*., 2005; Lara *et al*., 2014) อีกทั้ง NO_3^- เป็นตัวรับอิเล็กตรอนในกระบวนการหายใจในวิถีเพนโตสฟอสเฟต (pentose phosphate pathway) ซึ่งเป็นการหายใจในระดับเซลล์

การใช้ออกซิเจนของกระบวนการหายใจแบบปกติจะกีดกันวิถีทางเลือกอื่น (alternative pathway) ที่ต้องการออกซิเจนเช่นกัน แสดงว่าการหายใจแบบปกติแย่งออกซิเจนไป วิถีทางเลือกจึงไม่เกิด แต่เมื่อการหายใจแบบปกติถูกยับยั้ง (block) ด้วยสารยับยั้งการหายใจ เช่น ไซนาไนด์ (cyanide) และมาโลเนต (malonate) ทำให้มีออกซิเจนเหลือเพียงพอที่จะขับเคลื่อนวิถีทางเลือกอื่น ๆ ซึ่งวิถีเพนโตสฟอสเฟตเป็นวิถีทางเลือกที่สำคัญที่อาจใช้ออกซิเจนเพื่อออกซิไดซ์ NADPH ซึ่งนอกจากออกซิเจนแล้ว NADPH ยังถูกออกซิไดซ์ได้ด้วยตัวรับอิเล็กตรอนต่าง ๆ เช่น ไนเทรต ไนไตรต์ ซึ่งไม่จำเป็นต้องใช้ออกซิเจน หรือวิถีทางเลือกของไกลโคไลซิส (glycolysis) ทำหน้าที่แทนออกซิเจนในการออกซิไดซ์ NADPH ในกระบวนการหายใจแบบไม่ใช้ออกซิเจน จึงส่งเสริมการงอกของเมล็ดได้ (Chanprasert, 2010) นอกจากนี้ NO_3^- ยังทำให้สารยับยั้งการงอกหรือกรดแอบไซซิก (abscisic acid) ภายในเมล็ดลดลง (Matakiadis *et al*., 2009) และส่งเสริมการสังเคราะห์กรดจิบเบอเรลลินเพื่อกระตุ้นการงอก (Hilhorst and Karssen, 1988)

นอกจากนี้ การเตรียมพร้อมเมล็ดพันธุ์ผักกาดเขียวด้วยสารละลาย $CaCl_2$ ที่ความเข้มข้น 0.5% ทำให้เมล็ดมีความงอกสูงกว่าเมล็ดที่ไม่เตรียมพร้อมเมล็ดพันธุ์ (Table 1) ซึ่งสอดคล้องกับ Bhat *et al*. (2023) รายงานการเตรียมพร้อมเมล็ดพันธุ์ Honesty (*Lunaria annua* L.) วงศ์เดียวกับผักกาดเขียว โดยแช่เมล็ดในสารละลาย $CaCl_2$ ความเข้มข้น 3% เป็นเวลา 48 ชม. ทำให้เมล็ดมีรากงอกสูงกว่าการเตรียมพร้อมเมล็ดพันธุ์ด้วยน้ำ (61.10 และ 40.00% ตามลำดับ) เพราะเมื่อ $CaCl_2$ ละลายน้ำจะแตกตัวให้ Ca^{2+} และ Cl^- ซึ่งแคลเซียมมีหน้าที่เป็นโคแฟกเตอร์ (cofactor) ที่สำคัญของเอนไซม์หลายชนิดที่มีบทบาทสำคัญในการเคลื่อนย้ายแป้งจากแหล่งอาหารสะสมไปยังส่วนอื่น ๆ และยังช่วยย่อยแป้งในเอนโดสเปิร์มของเมล็ดให้มีโมเลกุลเล็กลงสำหรับใช้ในกระบวนการงอก (Hanson, 1984) นอกจากนี้ Ca^{2+} ยังมีบทบาทสำคัญในการควบคุมโครงสร้างและการทำงานของเยื่อหุ้มเซลล์ (cell membrane) โดยเกี่ยวข้องกับการทำงานของฟอสโฟลิพิด (phospholipid) ช่วยรักษาเสถียรภาพของเยื่อหุ้มเซลล์ ลดการรั่วไหลของสารต่าง ๆ ออกมาภายนอกเซลล์ (Hepler, 2005) อีกทั้งยังส่งเสริมการทำงานของเอนไซม์ฟอสฟาเทส (phosphatase) และเอนไซม์ไคเนส (kinase) ที่มีส่วนเกี่ยวข้องในการส่งสัญญาณในกระบวนการงอกของเมล็ด (Trewavas and Malhó, 1997)

อย่างไรก็ตาม การเตรียมพร้อมเมล็ดพันธุ์ผักกาดเขียวด้วยสารละลาย $CaCl_2$ ที่ความเข้มข้น 1.0% มีผลทำให้เมล็ดมีรากงอกและมีความงอกต่ำกว่าการเตรียมพร้อมเมล็ดพันธุ์ด้วยสารละลาย $CaCl_2$ ที่ความเข้มข้น 0.5% (Table 1) อาจเป็นเพราะสารละลายที่ระดับความเข้มข้นสูงจะมีค่าชลศักย์ต่ำกว่าสารละลายที่ระดับความเข้มข้นต่ำ ทำให้เมล็ดดูดน้ำช้าส่งผลต่อการเกิดกระบวนการงอกช้า จึงพบเมล็ดสดหรือเมล็ดพักตัวสูง (36.50%) เมื่อเปรียบเทียบกับที่ระดับความเข้มข้น 0.5% มีเมล็ดสดเพียง 14.50% (Figure 1) นอกจากนี้ เมื่อพิจารณาเปรียบเทียบความแรงไอออน (ionic strength) ระหว่างสารละลาย KNO_3 และ $CaCl_2$ ส่งผลต่อค่าศักย์ออสโมซิส (osmotic potential) ของสารละลายที่แช่ในเมล็ดพันธุ์ผักกาดเขียว ที่ระดับความเข้มข้น 0.5% สารละลาย KNO_3 มีความแรงไอออนต่ำกว่า $CaCl_2$ (0.0495 และ 0.1353 โมลต่อลิตร ตามลำดับ) เช่นเดียวกับที่ระดับความเข้มข้น 1.0% สารละลาย KNO_3 มีความแรงไอออนต่ำกว่า $CaCl_2$ (0.099 และ 0.2703 โมลต่อลิตร ตามลำดับ) หรือแม้กระทั่งสารละลาย KNO_3 ที่ความเข้มข้น 1.0% มีความแรงไอออนต่ำกว่าสารละลาย $CaCl_2$ ที่ความเข้มข้น 0.5% (0.099 และ 0.1353 โมลต่อลิตร ตามลำดับ) แสดงว่าสารละลายที่ระดับความเข้มข้นต่ำจะปลอดภัยสำหรับเมล็ดพันธุ์ผักกาดเขียว หากใช้ระดับความเข้มข้นสูงอาจส่งผลเสียต่อเยื่อหุ้มเซลล์

Table 1 Percentages of radicle emergence and germination of non-primed and primed seeds of Chinese mustard with different solutions

Treatment	Radicle emergence (%)	Improvement %	Germination (%)	Improvement %
Non-primed seeds (control)	32.50±4.12d	-	31.00±4.76d	-
Hydropriming	55.50±7.72c	23.00	57.00±10.89c	26.00
Seed priming with 0.5% KNO_3 solution	88.50±5.97ab	56.00	88.00±3.65ab	57.00
Seed priming with 1.0% KNO_3 solution	95.50±1.91a	63.00	93.50±3.42a	62.50
Seed priming with 0.5% $CaCl_2$ solution	83.00±9.31b	50.50	80.50±8.85b	49.50
Seed priming with 1.0% $CaCl_2$ solution	60.50±6.40c	28.00	60.50±5.26c	29.50
F-test	**		**	
CV (%)	**9.20**		**9.85**	

** Means±SD followed by the same alphabet are not significantly different when Duncan's Multiple Range Test (DMRT) method of mean comparison at 99% confidence.

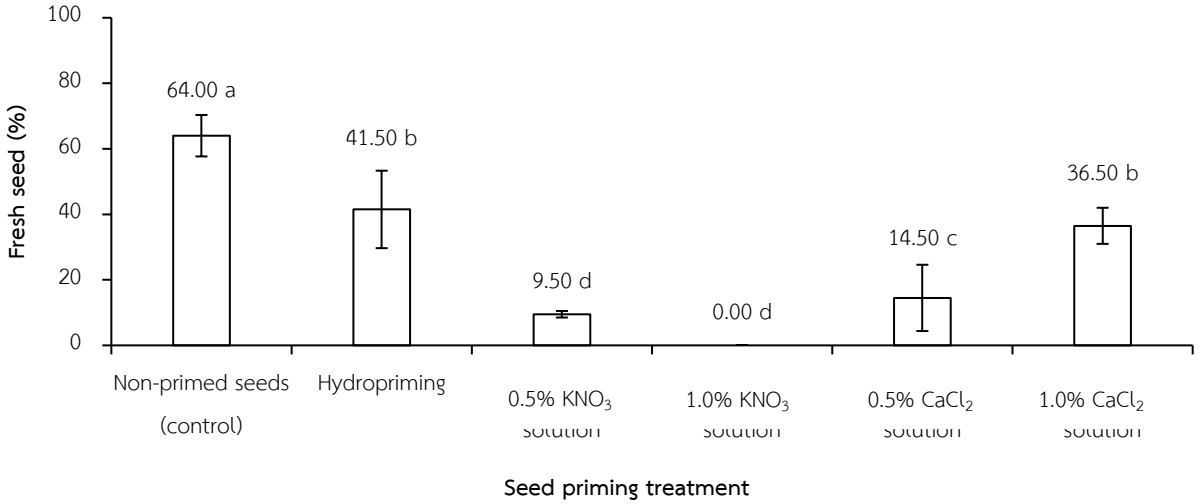


Figure 1 Fresh seed of non-primed and primed seeds of Chinese mustard with different solutions Different lowercase letters represent significant difference ($p<0.05$).

การเตรียมพร้อมเมล็ดพันธุ์ผักกาดเขียวทุกวิธีการทำให้เมล็ดใช้เวลาในการงอกรากถึง 50% และมีจำนวนวันที่มีรากงอกเร็วกว่าเมล็ดที่ไม่เตรียมพร้อมเมล็ดพันธุ์ (Table 2) แสดงว่าเมล็ดมีความแข็งแรงจึงงอกได้เร็วและสม่ำเสมอ เพราะเมื่อเมล็ดที่ผ่านการเตรียมพร้อมเมล็ดพันธุ์ดูดน้ำจะเข้าสู่ระยะที่ 2 หรือระยะงัน (lag phase) ของรูปแบบการดูดน้ำได้เร็วขึ้น เกิดกิจกรรมเมแทบอลิซึมต่าง ๆ เอนไซม์ที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการหายใจทำงาน และมีการสังเคราะห์เอนไซม์ที่จำเป็นสำหรับการย่อยสลายสารอาหารจากโมเลกุลใหญ่ให้เป็นโมเลกุลเล็ก เช่น hydrolytic enzyme, α-, β-amylase, proteinase และ lipase ซึ่งย่อยสลายคาร์โบไฮเดรต โปรตีน ไขมัน โดยสารอาหารเหล่านี้จะถูกเคลื่อนย้ายไปยังเอ็มบริโอเพื่อการแบ่งเซลล์และการขยายขนาดของเซลล์ เมล็ดจึงแทงรากได้เร็วกว่าเมล็ดที่ไม่เตรียมพร้อมเมล็ดพันธุ์ (McDonald, 2000) การเตรียมพร้อมเมล็ดพันธุ์ผักกาดเขียวด้วยสารละลาย KNO_3 ความเข้มข้น 0.5 และ 1.0% ทำให้เมล็ดใช้เวลาในการงอกรากถึง 50% เร็วที่สุดและไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ คือ 0.71 และ 0.60 วัน ตามลำดับ ซึ่งเร็วกว่าการเตรียมพร้อมเมล็ดพันธุ์ด้วยน้ำ (1.09 วัน) ในขณะที่เมล็ดที่ไม่เตรียมพร้อมเมล็ดพันธุ์ใช้เวลาในการงอกรากถึง 50% ช้าที่สุด คือ 1.84 วัน (Table 2) แสดงว่าเมล็ดที่เตรียมพร้อมเมล็ดพันธุ์ด้วยสารละลาย KNO_3 ทั้งสองความเข้มข้นสามารถงอกรากได้ถึงครึ่งหนึ่งเร็วกว่าเมล็ดที่เตรียมพร้อมเมล็ดพันธุ์ด้วยน้ำและเมล็ดที่ไม่เตรียมพร้อมเมล็ดพันธุ์ ตามลำดับ สอดคล้องกับค่าจำนวนวันที่มีรากงอก (Table 2) โดยเมล็ดผักกาดเขียวที่เตรียมพร้อมเมล็ดพันธุ์ด้วยสารละลาย KNO_3 ความเข้มข้น 0.5 และ 1.0% มีจำนวนวันที่มีรากงอกเร็วที่สุดและไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (1.35 และ 1.43 วัน ตามลำดับ) ซึ่งเร็วกว่าการเตรียมพร้อมเมล็ดพันธุ์ด้วยน้ำ (1.60 วัน) ส่วนเมล็ดที่ไม่เตรียมพร้อมเมล็ดพันธุ์มีจำนวนวันที่มีรากงอกช้าที่สุด คือ 2.76 วัน สอดคล้องกับ Bhat *et al*. (2023) รายงานการเตรียมพร้อมเมล็ดพันธุ์ Honesty (*Lunaria annua* L.) ด้วยสารละลาย $CaCl_2$ ความเข้มข้น 3% เป็นเวลา 48 ชม. ทำให้เมล็ดมีจำนวนวันที่มีรากงอกถึง 50% เร็วกว่าการเตรียมพร้อมเมล็ดพันธุ์ด้วยน้ำ (11.6 และ 14.6 วัน ตามลำดับ)

Table 2 Time to reach 50% radicle emergence (T_{50RE}) and days to emergence (DTE) of non-primed and primed seeds of Chinese mustard with different solutions

Treatment	T_{50RE} (days)	DTE (days)
Non-primed seeds (control)	1.84±0.47a	2.76±0.16a
Hydropriming	1.09±0.30b	1.60±0.26b
Seed priming with 0.5% KNO_3 solution	0.71±0.05c	1.35±0.02cd
Seed priming with 1.0% KNO_3 solution	0.60±0.05c	1.21±0.10d
Seed priming with 0.5% $CaCl_2$ solution	0.76±0.06bc	1.43±0.10bcd
Seed priming with 1.0% $CaCl_2$ solution	0.85±0.06bc	1.57±0.13bc
F-test	**	**
CV (%)	**23.86**	**8.97**

** Means±SD followed by the same alphabet are not significantly different when Duncan's Multiple Range Test (DMRT) method of mean comparison at 99% confidence.

วิธีการเตรียมพร้อมเมล็ดพันธุ์ผักกาดเขียวทำให้เมล็ดใช้เวลาในการงอกถึง 50% และมีเวลาเฉลี่ยในการงอกเร็วกว่าเมล็ดที่ไม่เตรียมพร้อมเมล็ดพันธุ์ (Table 3) แสดงว่าเมล็ดที่เตรียมพร้อมเมล็ดพันธุ์สามารถงอกรากและพัฒนาเป็นต้นอ่อนปกติได้เร็วกว่าเมล็ดที่ไม่เตรียมพร้อมเมล็ดพันธุ์ เพราะการเตรียมพร้อมเมล็ดพันธุ์เป็นการเพิ่มความแข็งแรงให้กับเมล็ดและต้นกล้าผ่านกระบวนการเมแทบอลิซึมและกระบวนการทางชีวเคมีที่เกิดขึ้นระหว่างการควบคุมการให้น้ำหรือความชื้น (Verma and Mathur, 2022) โดยการเตรียมพร้อมเมล็ดพันธุ์ผักกาดเขียวด้วยสารละลาย KNO_3 ความเข้มข้น 1.0% ทำให้เมล็ดใช้เวลาในการงอกถึง 50% และมีเวลาเฉลี่ยในการงอกเร็วที่สุด คือ 2.78 และ 3.37 วัน ตามลำดับ รองลงมา คือ การเตรียมพร้อมเมล็ดพันธุ์ด้วยสารละลาย KNO_3 ความเข้มข้น 0.5% (3.22 และ 3.62 วัน ตามลำดับ) ในขณะที่เมล็ดที่ไม่เตรียมพร้อมเมล็ดพันธุ์ใช้เวลาในการงอกถึง 50% และมีเวลาเฉลี่ยในการงอกช้าที่สุด คือ 4.08 และ 4.76 วัน ตามลำดับ สอดคล้องกับ Batool *et al.* (2015) รายงานการเตรียมพร้อมเมล็ดพันธุ์กะหล่ำปลีด้วยสารละลาย KNO_3 ที่ความเข้มข้น 1.0% ทำให้เมล็ดมีเวลาเฉลี่ยในการงอกเร็วที่สุดและมีดัชนีความแข็งแรงของเมล็ดสูงที่สุด

Table 3 Time to reach 50% germination (T_{50}) and mean germination time (MGT) of non-primed and primed seeds of Chinese mustard with different solutions

Treatment	T_{50} (days)	MGT (days)
Non-primed seeds (control)	4.08±0.18a	4.76±0.07a
Hydropriming	3.51±0.07b	3.99±0.12c
Seed priming with 0.5% KNO_3 solution	3.22±0.08c	3.62±0.06d
Seed priming with 1.0% KNO_3 solution	2.78±0.08d	3.37±0.09e
Seed priming with 0.5% $CaCl_2$ solution	3.57±0.10b	4.14±0.15b
Seed priming with 1.0% $CaCl_2$ solution	3.63±0.08b	4.20±0.07b
F-test	**	**
CV (%)	**3.02**	**2.36**

** Means±SD followed by the same alphabet are not significantly different when Duncan's Multiple Range Test (DMRT) method of mean comparison at 99% confidence.

สรุปผลการวิจัย

การเตรียมพร้อมเมล็ดพันธุ์ผักกาดเขียวด้วยน้ำสารละลาย KNO_3 และ $CaCl_2$ ความเข้มข้น 0.5 และ 1.0% ทำให้เมล็ดมีรากงอกและมีความงอกสูงกว่าเมล็ดที่ไม่เตรียมพร้อมเมล็ดพันธุ์ นอกจากนี้ เมล็ดที่ผ่านการเตรียมพร้อมเมล็ดพันธุ์ยังใช้เวลาในการงอกรากถึง 50% มีจำนวนวันที่มีรากงอก ใช้เวลาในการงอกถึง 50% และมีเวลาเฉลี่ยในการงอกเร็วกว่าเมล็ดที่ไม่เตรียมพร้อมเมล็ดพันธุ์ ดังนั้น การเตรียมพร้อมเมล็ดพันธุ์ผักกาดเขียวด้วยสารละลาย KNO_3 ความเข้มข้น 1.0% เป็นเวลา 6 ชม. เป็นวิธีการที่ดีที่สุด โดยทำให้เมล็ดมีความงอกและความแข็งแรงสูงที่สุด รองลงมา คือ การเตรียมพร้อมเมล็ดพันธุ์ด้วยสารละลาย KNO_3 ความเข้มข้น 0.5% สารละลาย $CaCl_2$ ความเข้มข้น 0.5% ตามลำดับ

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณกลุ่มพัฒนาระบบตรวจสอบและรับรองคุณภาพเมล็ดพันธุ์พืช กรมวิชาการเกษตร ที่อนุเคราะห์เมล็ดพันธุ์สำหรับงานวิจัย

เอกสารอ้างอิง

Agricultural Regulatory Office. 2024a. **List of quantity and value of imported controlled seeds in 2024 (1 January to 31 December 2024)**. [Online]. Available https://www.doa.go.th/ard/wp-content/uploads/2025/01/import-seed-2567-Plant-list.pdf (July 7, 2025). [in Thai]

Agricultural Regulatory Office. 2024b. **List of imported controlled seeds by country in 2024 (1 January to 31 December 2024)**. [Online]. Available https://www.doa.go.th/ard/wp-content/uploads/2025/01/import-seed-2567-Plant-list.pdf (July 7, 2025). [in Thai]

Alboresi, A., C. Gestin, M.T. Leydecker, M. Bedu, C. Meyer and H.N. Truong. 2005. Nitrate, a signal relieving seed dormancy in Arabidopsis. **Plant, Cell and Environment** 28(4): 500–512.

Anschutz, U., D. Becker and S. Shabala. 2014. Going beyond nutrition: regulation of potassium homoeostasis as a common denominator of plant adaptive responses to environment. **Journal of Plant Physiology** 171(1): 670–687.

Awan, S, S. Footitt and W.E. Finch-Savage. 2018. Interaction of maternal environment and allelic differences in seed vigour genes determines seed performance in *Brassica oleracea*. **Plant Journal** 94(6): 1098–1108.

Baskin, C.C. and J.M. Baskin. 2020. Breaking seed dormancy during dry storage: a useful tool or major problem for successful restoration via direct seeding? **Plants** 9(5): 636. https://doi.org/10.3390/plants9050636

Batool, A., K. Ziaf and M. Amjad. 2015. Effect of halo-priming on germination and vigor index of cabbage (*Brassica oleracea* var. *capitata*). **Journal of Environmental and Agricultural Sciences** 2(1): 1–7.

Bhat, R.A., F.U. Khan, I.T. Nazki, Z.A. Bhat, F.A. Khan, J.A. Wani, A. Manzar, Neelofar, Q. Altaf, N.H. Masoodi. 2023. Effect of potassium nitrate and calcium chloride priming on germination and seedling growth of honesty (*Lunaria annua* L.). **Environment and Ecology** 41(1C): 599–604.

Chanprasert, W. 2010. **Seed Physiology**. Bangkok: Kasetsart University Press. 167 p. [in Thai]

Coolbear, P., A. Francis and D. Grierson. 1984. The effect of low temperature pre-sowing treatment on the germination performance and membrane integrity of artificially aged tomato seeds. **Journal of Experimental Botany** 35(1): 1609–1617.

Dhillon, N.P.S. 1995. Seed priming of male sterile muskmelon (*Cucumis melo* L.) for low temperature germination. **Seed Science and Technology** 23(3): 881–884.

Ellis, R.H. and E.H. Roberts. 1980. Improved equation for the prediction of seed longevity. **Annals of Botany** 45(1): 13–30.

Hanson, J.B. 1984. The Function of Calcium in Plant Nutrition. pp. 149–208. *In* Tinker, P.B. and A. Louchli (eds.). **Advances in Plant Nutrition**. New York: Praeger Publishers.

Hendricks, S.B. and R.B. Taylorson. 1974. Promotion of seed germination by nitrate, nitrite, hydroxylamine and ammonium salts. **Plant Physiology** 54(3): 304–309.

Hepler, P.K. 2005. Calcium: a central regulator of plant growth and development. **The Plant Cell** 17(8): 2142–2155.

Hilhorst, H.W.M. and C.M. Karssen. 1988. Dual effect of light on the gibberellin and nitrate-stimulated seed germination of Sisymbrium officinale and *Arabidopsis thaliana*. **Plant Physiology** 86(1): 591–597.

Hilton, J.R. and J. Thomas. 1986. Regulation of pregerminative rates of respiration in seeds of various weed species by potassium nitrate. **Journal of Experimental Botany** 37(10): 1516–1524.

International Seed Testing Association. 2025. **International Rules for Seed Testing**. Wallisellen: International Seed Testing Association (ISTA). 320 p.

Jompuk, C. 2012. **Statistics: Experimental Design and Data Analysis in Plant Research using "R"**. Bangkok: Kasetsart University Press. 350 p. [in Thai]

Kirosassefa, M., R. Hunje, R.V. Koti and N.K. Biradarpatil. 2010. Enhancement of seed quality in soybean following priming treatments. **Karnataka Journal of Agricultural Sciences** 23(1): 780–787.

Kumar, A.H. and P.K. Rai. 2021. Influence of different pre-sowing seed priming on plant growth, yield and yielding attributing traits of mustard (*Brassica juncea* L. Czern and Coss). **Journal of Crop and Weed** 17(2): 235–239.

Lara, T.S., J.M.S. Lira, A.C. Rodrigues, M. Rakocevic and A.A. Alvarenga. 2014. Potassium nitrate priming affects the activity of nitrate reductase and antioxidant enzymes in tomato germination. **Journal of Agricultural Science** 6(2): 72–80.

Lin, D., Y. Huang, J. Zhao, Z. Wu, S. Liu, W. Qin, D. Wu, H. Chen and Q. Zhang. 2020. Evaluation of seed nitrate assimilation and stimulation of phenolic-linked antioxidant on pentose phosphate pathway and nitrate reduction in three feed-plant species. **BioMed Central Plant Biology** 20(1): 267. https://doi.org/10.1186/s12870-020-02453-w

MacDonald, M.T. and V.R. Mohan. 2025. Chemical seed priming: molecules and mechanisms for enhancing plant germination, growth and stress tolerance. **Current Issues in Molecular Biology** 47(3): 177. https://doi.org/10.3390/cimb47030177

Matakiadis, T., A. Alboresi, Y. Jikumaru, K. Tatematsu, O. Pichon, J.P. Renou, Y. Kamiya, E. Nambara and H.N. Truong. 2009. The Arabidopsis abscisic acid catabolic gene CYP707A2 plays a key role in nitrate control of seed dormancy. **Plant Physiology** 149(2): 949–960.

McDonald, M.B. 2000. Seed Priming. pp. 287-325. *In* Michael, B. and J.D. Bewley (eds.). **Seed Technology and Its Biological Basis**. Sheffield: Academic Press.

McIntyre, G.I., A.J. Cessna and A.I. Hsiao. 1996. Seed dormancy in *Avena fatua*: Interacting effects of nitrate, water and seed coat injury. **Physiologia Plantarum** 97(2): 291–302.

Na Nakorn, P. and P. Kaewsorn. 2021. Effects of KNO_3 concentration and aeration during seed priming on seed quality of wax gourd (*Benincasa hispida* [Thunb.] Cogn.). **Agriculture and Natural Resources** 55(1): 877–885.

Openña, R.T. 1993. *Brassica juncea* (L.) Czernjaew. pp. 104–108. *In* Siemonsma, J.S. and K. Piluek (Eds.). **Plant Resources of South-East Asia, No. 8 Vegetables**. The Wageningen: Pudoc Scientific Publishers.

Reina, F.G. and L.A. Pascual. 2001. Influence of a stationary magnetic field on water relations in lettuce seeds part I theoretical considerations. **Bioelectromagnetics** 22(8): 589–595.

Reina, F.G., L.A. Pascual and I.A. Fundora. 2001. Influence of a stationary magnetic field on water relations in lettuce seeds part II experimental results. **Bioelectromagnetics** 22(8): 596–602.

Srivastava, A.K., V.H. Lokhande, V.Y. Patade, P. Suprasanna, R. Sjahril and S.F. D'Souza. 2010. Comparative evaluation of hydro-, chemo-, and hormonal priming methods for imparting salt and PEG stress tolerance in Indian mustard (*Brassica juncea* L.). **Acta Physiologiae Plantarum** 32(6): 1135–1144.

Suresh, K., R.K. Mandal, Chetna, A. Balakoti, K.A. Dora and K.P. Raju. 2025. Effect of seed priming treatments on seed quality characteristics in Indian mustard (*Brassica juncea* L. Czern & Coss). **Plant Archives** 25(Suppl. 1): 2629–2633.

The Secretariat of the Cabinet. 2013. Announcement of Ministry of Agriculture and Cooperatives on Standard Quality and Storage of Controlled Seed (Vol. 2) B.E. 2556. pp. 32–33. *In* **Royal Thai Government Gazette** 130(Special 148 Ng) (October 31, 2013). [in Thai]

Thomas, J., K.M. Kuruvilla and T.K. Hrideek. 2004. Mustard. pp. 388-398. *In* Peter, K.V. (ed). **Handbook of Herbs and Spices, Volume 2**. Sawton, Cambridge: Woodhead Publishing Limited.

Trewavas, A.J. and R. Malhó. 1997. Signal perception and transduction: the origin of phenotype. **The Plant Cell** 9(7): 1181–1195.

Verma, B. and P. Mathur. 2022. Seed priming: types and importance. **Just Agriculture** 2(6): 1–4.

Wang, Y. and W.H. Wu. 2013. Potassium transport and signaling in higher plants. **Annual Review of Plant Biology** 64(1): 451–476.

Journal of Agri. Research & Extension 42(3): 55-73

อิทธิพลของปัจจัยสิ่งแวดล้อมบางประการต่อลักษณะสังคมพืช บริเวณภูพระบาท อุทยานแห่งชาติภูหินจอมธาตุ – ภูพระบาท จังหวัดอุดรธานี

Influencing of Some Environmental Factors Affected on Vegetation Characteristics in Phu Pra Bhat, Phu Hin Jom Tad - Phu Pra Bhat National Park Udon Thani Province

กิตติชัย คะอังกุ เพ็ญพิลัย เปี่ยนคิด มณฑล นอแสงศรี กฤษดา พงษ์การัณยภาส และแหลมไทย อาษานอก*

Kittichai Kaungku, Penpilai Piankhit, Monthon Nosaengsri

Kritsada Phongkaranyapas and Lamthai Asanok*

โครงการจัดตั้งวิทยาลัยการป่าไม้ มหาวิทยาลัยแม่โจ้-แพร่ เฉลิมพระเกียรติ แพร่ 54140

School of Forestry, Maejo University Phrae Campus, Phrae, Thailand 54140

*Corresponding author: lamthainii@gmail.com

Received: *July 30, 2024*

Revised: *April 08, 2025*

Accepted: *April 30, 2025*

Abstract

The study of some environmental factors that influence plant community characteristics can help emphasize conservation of the forest. This study aimed to study the relationship between plant community characteristics and species composition that appeared along some of environmental factor's gradient in Phu Pra Bhat, Phu Hin Jom Tad - Phu Pra Bhat National Park (preparatory area), Udon Thani Province. Twenty-seven plots of 20 x 20 m were established on study sites. Tree species composition and some physical environmental factors were collected and used for analyzing plant community characteristics and ordering forest stands that related to environmental factors. Results found that 81 species 63 genera and 33 families with the diversity index of 3.62 in the area. The plant community can be divided into four sub-communities. First, the deciduous dipterocarp forest with *Dipterocarpus obtusifolius* community was determined by elevation and aspect. Second, the deciduous dipterocarp forest with *Gluta usitata* community was determined by slope. Third, the mixed deciduous forest with *Cananga latifolia* community, and fourth, the rock outcrop forest with *Peltophorum dasyrrhachis*. Both communities were determined by temperature and rainfall. The results indicated that physical environmental factors had an influence on the appearance of plant community characteristics. Therefore, in the management of forest resources in Phu Hin Chom That - Phu Phra Bhat National Park,

physical factors of the area should be considered along with the different plant community characteristics in order to find appropriate management approaches in terms of natural resource conservation, forest and ecosystem restoration, research, tourism, and recreation, etc.

Keywords: species composition of tree, physical environmental factors, limiting factors conservation forest management

บทคัดย่อ

การศึกษาอิทธิพลของปัจจัยสิ่งแวดล้อมต่อการปรากฏลักษณะสังคมพืช สามารถช่วยให้มีความเข้าใจเกี่ยวกับการจัดการระบบนิเวศของพื้นที่ป่าอนุรักษ์ได้ดียิ่งขึ้น การศึกษาครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาลักษณะสังคมพืชและองค์ประกอบชนิดไม้ต้นที่ปรากฏตามแนวการลดหลั่นของปัจจัยแวดล้อมทางกายภาพบางประการบริเวณภูพระบาท อุทยานแห่งชาติภูหินจอมธาตุ - ภูพระบาท จังหวัดอุดรธานี โดยการวางแปลงตัวอย่าง ขนาด 20 x 20 เมตร จำนวน 27 แปลง พร้อมเก็บข้อมูลองค์ประกอบชนิดไม้ต้นและปัจจัยแวดล้อมทางกายภาพ เพื่อทำการวิเคราะห์ลักษณะสังคมพืชและการจัดลำดับหมู่ไม้ตามปัจจัยแวดล้อม ผลการศึกษาพบว่ามีชนิดไม้ต้น 81 ชนิด 63 สกุล 33 วงศ์ มีค่าความหลากชนิด เท่ากับ 3.62 สามารถจำแนกสังคมพืชย่อยออกเป็น 4 สังคม ได้แก่ 1) สังคมย่อยป่าเต็งรังยางเหียงเด่น ชนิดไม้เด่นถูกกำหนดด้วย ความสูงจากระดับน้ำทะเล และทิศด้านลาด 2) สังคมย่อยป่าเต็งรังรักใหญ่เด่น ชนิดไม้เด่นถูกกำหนดด้วยความลาดชัน 3) สังคมย่อยป่าเบญจพรรณสะแกแสงเด่น และ 4) สังคมย่อยป่าลานหินอะรางเด่น ชนิดไม้เด่นของทั้งสองสังคมถูกกำหนดด้วยอุณหภูมิ และปริมาณน้ำฝน ผลการวิจัยบ่งชี้ว่าปัจจัยแวดล้อมทางกายภาพมีอิทธิพลต่อการปรากฏลักษณะสังคมพืช ดังนั้นในการจัดการทรัพยากรป่าไม้ในพื้นที่อุทยานแห่งชาติภูหินจอมธาตุ - ภูพระบาท ควรพิจารณาปัจจัยทางกายภาพของพื้นที่ควบคู่กับลักษณะสังคมพืชที่มีความแตกต่างกัน เพื่อหาแนวทางการจัดการได้อย่างเหมาะสม ทั้งในด้านการอนุรักษ์ทรัพยากรธรรมชาติ การฟื้นฟูป่า และระบบนิเวศ การศึกษาค้นคว้าวิจัย การท่องเที่ยว และนันทนาการ เป็นต้น

คำสำคัญ: ความหลากชนิดของไม้ต้น ปัจจัยแวดล้อมทางกายภาพ ปัจจัยจำกัด การจัดการป่าอนุรักษ์

คำนำ

ทรัพยากรป่าไม้เป็นทรัพยากรที่มีความสำคัญให้ประโยชน์ทั้งทางตรงและทางอ้อมแก่มนุษย์ เป็นแหล่งรวบรวมความหลากหลายทางชีวภาพของโลก เกิดการถ่ายทอดพันธุกรรมของพืชและสัตว์ตามธรรมชาติ และรวมทั้งป่าไม้ยังเป็นแหล่งพักผ่อนหย่อนใจที่มีคุณค่าทางด้านจิตใจอีกด้วย (Jirapong and Rojanatrakul, 2021) อย่างไรก็ตาม พบว่าในปัจจุบันทรัพยากรป่าไม้ได้ถูกบุกรุกทำลายและนำมาใช้ประโยชน์อย่างต่อเนื่อง โดยข้อมูลพื้นที่ป่าไม้ในปี พ.ศ. 2566 พบว่าป่าไม้ในประเทศไทยลดลงเหลือเพียงร้อยละ 31.47 ของพื้นที่ประเทศ ซึ่งน้อยกว่าพื้นที่ป่าไม้ตามนโยบายป่าไม้แห่งชาติที่กำหนดให้มีพื้นที่ป่าไม้ไม่น้อยกว่าร้อยละ 40 ของพื้นที่ประเทศ ประกอบด้วย ป่าอนุรักษ์ ไม่น้อยกว่าร้อยละ 25 ป่าเศรษฐกิจและป่าชุมชน ไม่น้อยกว่าร้อยละ 15 (Royal Forest Department, 2020) ดังนั้นการเพิ่มพื้นที่ป่าเพื่อการอนุรักษ์ ได้แก่ อุทยานแห่งชาติ เขตรักษาพันธุ์สัตว์ป่า เขตห้ามล่าสัตว์ป่า วนอุทยาน สวนพฤกษศาสตร์ และสวนรุกชาติ เป็นต้น จึงเป็นแนวทางสำคัญเพื่อให้บรรลุตาม

เป้าหมายของงนโยบายแห่งชาติดังกล่าว (Planning and Information Office, 2019)

อุทยานแห่งชาติถือว่าเป็นพื้นที่อนุรักษ์ที่สำคัญของประเทศ ซึ่งปัจจุบันมีการประกาศและเตรียมการประกาศ รวมทั้งสิ้น 133 แห่ง รวมพื้นที่กว่า 18,390,124.44 ไร่ (National Parks of Thailand, 2021) ซึ่งวัตถุประสงค์หลักในการจัดตั้งอุทยานแห่งชาตินอกจากเพื่อการอนุรักษ์ทรัพยากรป่าไม้แล้ว ยังเป็นแหล่งท่องเที่ยวที่สำคัญของประเทศ เนื่องจากอุทยานแห่งชาติมักเป็นพื้นที่ที่มีธรรมชาติที่สวยงาม โดยในการจัดตั้งอุทยานมีวัตถุประสงค์หลัก ได้แก่ เพื่อการอนุรักษ์ทรัพยากรธรรมชาติ เพื่อการพักผ่อนหย่อนใจ และเพื่อการศึกษาค้นคว้าวิจัย (National Parks of Thailand, 2015) จึงทำให้เกิดการใช้ประโยชน์ในเชิงการท่องเที่ยวอย่างกว้างขวาง แต่ผลกระทบที่เกิดจากการท่องเที่ยวที่มุ่งผลเชิงเศรษฐกิจ อาจเป็นสาเหตุทำให้ทรัพยากรความหลากหลายทางชีวภาพถูกทำลายลงเช่นกัน เช่น กรณีการศึกษาของ Suksawang *et al.* (2012) ที่รายงานว่า กล้าไม้หลายชนิดที่ต้องการการอนุรักษ์ในพื้นที่ได้หายไป เนื่องจากเกิดการเหยียบย่ำทำลายของนักท่องเที่ยวที่มีมากเกินความสามารถของพื้นที่ (carrying capcity) นอกจากนี้ Nilavanh and Prompakping (2018) ได้รายงานไว้ว่าผลกระทบจากการท่องเที่ยวต่อระบบนิเวศจากการนำเอาพื้นที่อนุรักษ์มาเป็นแหล่งท่องเที่ยว เช่น การจัดทำสายลวดสลิงบนต้นไม้ใหญ่ เพื่ออำนวยความสะดวก และใช้เป็นกิจกรรมนันทนาการ ส่งผลให้สุขภาพของไม้ต้นเสื่อมโทรมลง และการเปิดเส้นทางเดินนอกเหนือเส้นทางที่เจ้าหน้าที่ได้กำหนดไว้ ทำให้ความสมดุลของระบบนิเวศในบริเวณดังกล่าวเสื่อมโทรมลง โดยผลกระทบที่ชัดเจนที่สุดจากกิจกรรมต่าง ๆ เช่น ขี่ม้า เดิน ขับรถออฟโรด การปั่นจักรยาน ทำให้พรรณไม้ถูกเหยียบ หักเสียหาย และรากลอย เป็นต้น และจากการศึกษาของ Whinam and Comfort (1996) ที่พบว่าความเสียหายจากกิจกรรมเหล่านี้ส่งผลต่อการสืบพันธุ์ และก่อให้เกิดการเปลี่ยนแปลงขององค์ประกอบสังคมพืช แต่อย่างไรก็ตาม แม้ว่าผลกระทบที่เกิดขึ้นจะเห็นผลในทันที แต่ผลกระทบในด้านอื่น ๆ อาจใช้เวลานานในการปรากฏ (Bayfield 1979; Cole and Bayfield 1993; Liddle 1997; Whinam and Chilcott 1999) ซึ่งแผนการจัดการอุทยานแห่งชาติที่มีประสิทธิภาพจำเป็นต้องอาศัยข้อมูลพื้นฐานโดยเฉพาะด้านความหลากหลายทางชีวภาพ และลักษณะโครงสร้างสังคมพืชที่ปรากฏในแต่ละพื้นที่ เนื่องจากการศึกษาลักษณะโครงสร้างของสังคมพืช เป็นแนวทางสำคัญที่ใช้ในการอธิบายนิเวศวิทยาป่าไม้ในเชิงปริมาณอย่างชัดเจน ทำให้ทราบถึงองค์ประกอบของชนิดพรรณไม้ รวมถึงลักษณะของปัจจัยสิ่งแวดล้อมต่าง ๆ ที่มีผลกระทบต่อสังคมพืชนั้น ๆ (Marod and Kutintara, 2009) เพราะสามารถทำให้ทราบถึงลักษณะทางนิเวศวิทยาของแต่ละสังคมพืชอย่างชัดเจนมากยิ่งขึ้น (Ruangpanit, 2005)

อุทยานแห่งชาติภูหินจอมธาตุ - ภูพระบาทเป็นพื้นที่เริ่มดำเนินการสำรวจเพื่อประกาศจัดตั้ง (เตรียมการ) เป็นอุทยานแห่งชาติ เมื่อปี พ.ศ. 2556 มีเนื้อที่ประมาณ 110,793 ไร่ หรือ 177.3 ตารางกิโลเมตร ครอบคลุมพื้นที่จังหวัดอุดรธานี จังหวัดหนองบัวลำภู และจังหวัดเลย นับเป็นอุทยานแห่งชาติเตรียมการในลำดับที่ 20 มีลักษณะโดดเด่น คือ มีมรดกทางวัฒนธรรม เช่น หินดอกบัว ที่มีลักษณะธรณีวิทยาเกิดจากการกัดเซาะหินทรายแล้วเหลือแกนหิน จึงยังคงสภาพธรรมชาติไว้ ทำให้มีรูปร่างลักษณะแปลกตามธรรมชาติ รวมทั้งทรัพยากรป่าไม้ที่มีความอุดมสมบูรณ์เป็นแหล่งต้นน้ำลำธารที่สำคัญของลุ่มน้ำชีและลุ่มน้ำโขงมีแหล่งท่องเที่ยวที่โดดเด่นและสวยงาม เช่น ภูหินจอมธาตุ ภูพระบาท ภูผาแดง น้ำตกตาดน้อย จุดชมวิว ผาสวรรค์ ถ้ำเอราวัณ และถ้ำภูผาเวียง เป็นต้น (National Parks of Thailand, 2015) สามารถดึงดูดนักท่องเที่ยวเข้ามาเยี่ยมชมเป็นจำนวนมากเฉลี่ยปีละประมาณ 20,831 คน (National Parks of Thailand, 2022) อย่างไรก็ตามข้อมูลการศึกษาวิจัยเกี่ยวกับโครงสร้างสังคมพืชและความหลากหลายของชนิดไม้ต้น

บริเวณพื้นที่อุทยานแห่งชาติภูพระบาทยังไม่มีการดำเนินการ ดังนั้นการศึกษาในครั้งนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาลักษณะโครงสร้างสังคมพืช ความหลากหลายชนิดไม้ต้น และความสัมพันธ์ปัจจัยแวดล้อมทางกายภาพบางประการ ที่เป็นปัจจัยกำหนดการปรากฏของสังคมไม้ต้นในพื้นที่อุทยานแห่งชาติภูพระบาท ซึ่งผลการวิจัยในครั้งนี้สามารถใช้เป็นข้อมูลพื้นฐานสำหรับการจัดการให้พื้นที่อุทยานแห่งชาติภูพระบาทให้เกิดความยั่งยืนต่อไป

วิธีดำเนินการวิจัย

พื้นที่ศึกษา

ดำเนินการศึกษาบริเวณป่าภูพระบาท ตั้งอยู่ที่ Latitude 17°20'50.49"N และ Longitude 102°28'27.16"E ตำบลเมืองพาน อำเภอบ้านผือ จังหวัดอุดรธานี มีเนื้อที่ประมาณ 6,359 ไร่ หรือประมาณ 10.18 ตารางกิโลเมตร มีความสูงจากระดับน้ำทะเลปานกลางอยู่ระหว่าง 180–460 เมตร ลักษณะภูมิประเทศเป็นเทือกเขาขนาดเล็กขนานกับเทือกเขาภูพาน บางส่วนเป็นลานหินและโขดหิน อุณหภูมิเฉลี่ยทั้งปีประมาณ 25 องศาเซลเซียส มีปริมาณน้ำฝนเฉลี่ย 1,650 มิลลิเมตรต่อปี ลักษณะภูมิอากาศโดยทั่วไปแบ่งออกเป็น 3 ฤดู ได้แก่ ฤดูฝนระหว่างเดือนพฤษภาคมถึงกลางเดือนตุลาคม ฤดูหนาวระหว่างเดือนตุลาคมถึงประมาณกลางเดือนกุมภาพันธ์ และฤดูร้อนระหว่างเดือนกุมภาพันธ์ถึงกลางเดือนพฤษภาคม (Meteorological Department, 2020)

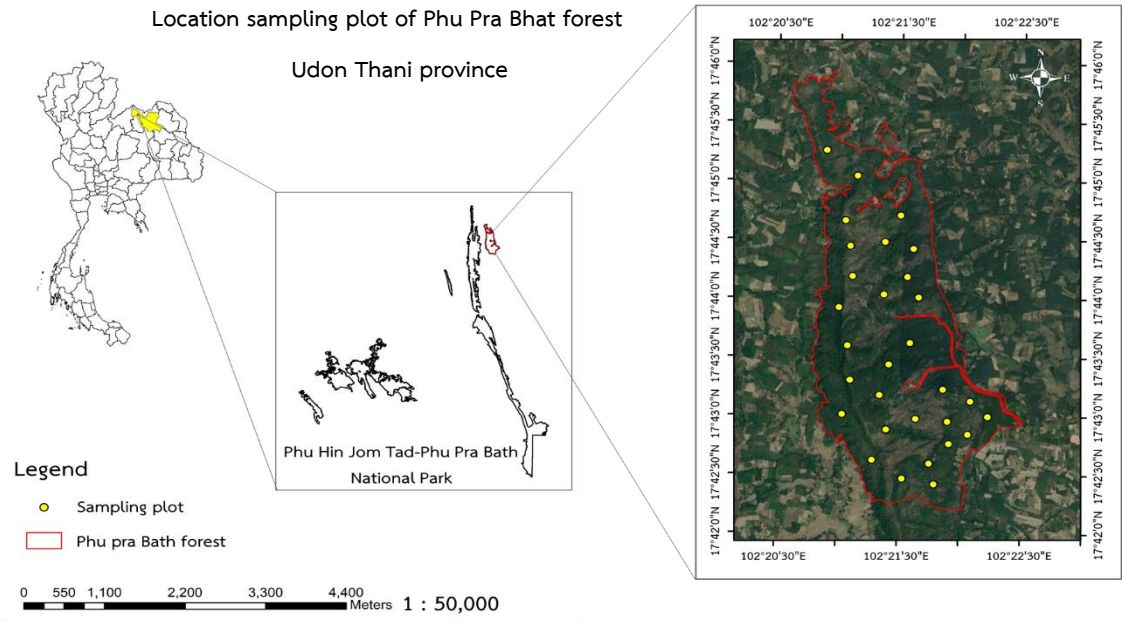


Figure 1 Boundary and location of study area in Phu Pra Bhat, Phu Hin Jom Tad - Phu Pra Bhat National Park, Udon Thani province

การเก็บข้อมูลองค์ประกอบพรรณไม้

1. วางแปลงตัวอย่างด้วยวิธีการสุ่มแบบเจาะจง (purposive sampling) ขนาด 20 x 20 เมตร ตามวิธีการของ Laing *et al.* (2019) จำนวน 30 แปลง ให้กระจายครอบคลุมพื้นที่ศึกษา โดยบริเวณกลางแปลงของแต่ละแปลงขนาด 20 x 20 เมตร ทำการวางแปลงย่อยขนาด 5 x 5 เมตร (Figure 2) พร้อมกับบันทึกพิกัดทางภูมิศาสตร์ด้วยเครื่องกำหนดตำแหน่งพิกัดด้วยสัญญาณดาวเทียม (GPS)

2. เก็บข้อมูลองค์ประกอบของพรรณพืชที่ปรากฏในทุก ๆ แปลงตัวอย่าง แบ่งเป็น 1) ไม้ต้น (tree) คือ ไม้ที่มีขนาดความโตทางเส้นผ่านศูนย์กลางเพียงอกที่ 1.30 เมตร (Diameter at Breast Height: DBH) มากกว่าหรือเท่ากับ 4.5 เซนติเมตร โดยวัดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเพียงอกที่ 1.30 เมตร และความสูงทั้งหมด ภายในแปลงขนาด 20 เมตร x 20 เมตร 2) ลูกไม้ (sapling) คือ ไม้ที่มี DBH น้อยกว่า 4.5 เซนติเมตร สูงมากกว่า 1.30 เมตร) และ 3) กล้าไม้ (seedling) คือ ไม้ที่มี DBH น้อยกว่า 4.5 เซนติเมตร สูงน้อยกว่า 1.30 เมตร โดยทำการนับจำนวนลูกไม้และกล้าไม้ภายในแปลงขนาด 5 เมตร x 5 เมตร พร้อมกับระบุชื่อวิทยาศาสตร์ โดยพิจารณาจากลักษณะทางพฤกษศาสตร์ของดอก ผล ใบ และลำต้น (Pooma and Suddee, 2014)

3. วิเคราะห์ข้อมูลปัจจัยแวดล้อมทางด้านกายภาพ ใช้แบบจำลองระดับสูงเชิงเลข (Digital Elevation Model: DEM) ในการศึกษาได้นำเข้าข้อมูลความสูงจากระดับน้ำทะเล (m) ความลาดชัน (%) และทิศด้านลาด (%) จาก DEM ที่จัดทำโดย กรมพัฒนาที่ดิน (Land Development Department, 2012) ในด้านของข้อมูลปริมาณน้ำฝน (mm^3) อุณหภูมิ (^{o}ซ) นำเข้าข้อมูล DEM ของสถานีตรวจอากาศทั่วโลก (WorldClim, 2020) ทำการวิเคราะห์ข้อมูลเชิงพื้นที่ (spatial analyst) หลังจากนั้นนำเข้าข้อมูลทางด้านกายภาพของแต่ละจุดด้วยวิธีประมาณค่าในช่วง (interpolation) โดยเครื่องมือ Topo to Raster Toolbox ในโปรแกรม ArcMap 10.8

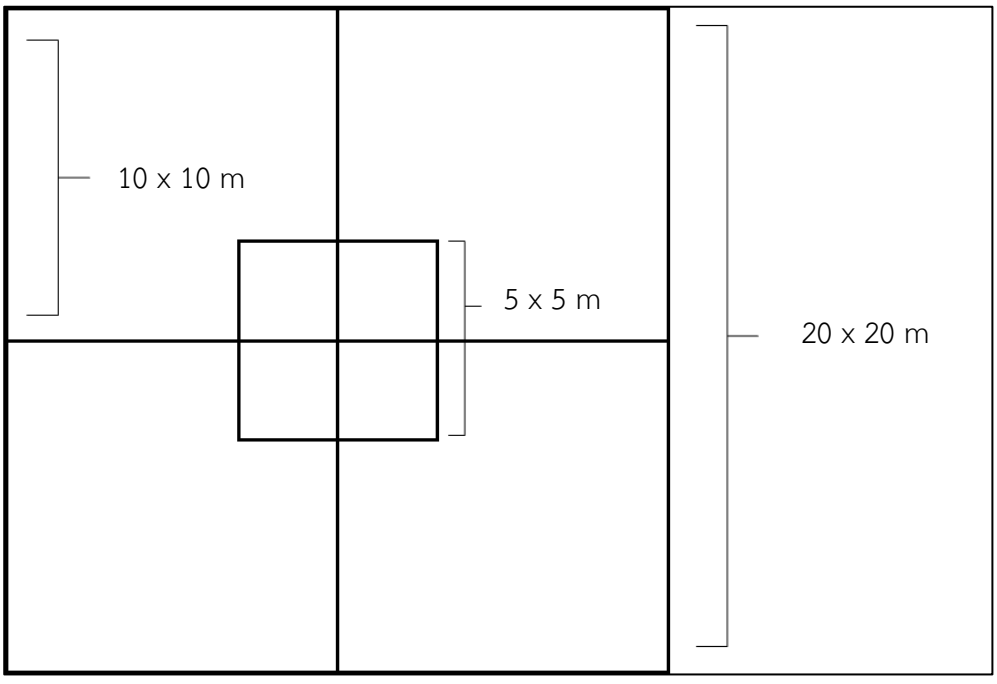


Figure 2 Grid sampling procedure (20 x 20 m plots)

การวิเคราะห์ข้อมูล

1) การจัดกลุ่มหมู่ไม้ (cluster analysis) โดยใช้ชนิดและจำนวนของไม้ต้นในแต่ละแปลงตัวอย่างขนาด 20 x 20 เมตร มาใช้จำแนกสังคมพืช (Community classification) โดยประยุกต์ใช้หลักความคล้ายคลึงของ Sorensen (1948) ในการหาค่าความแตกต่างของสังคมพืช (dissimilarity) และใช้หลักการรวมกลุ่มตามวิธีของ Ward (Kent *et al*. 1994) มาวิเคราะห์ข้อมูลโดยใช้โปรแกรม PCOR Version 6 (McCune and Mefford, 2011)

2) การวิเคราะห์ค่าเชิงปริมาณทางสังคมของไม้ต้น ตามวิธิการของของ Marod and Kutintara (2009) โดยค่าดัชนีความสำคัญของชนิดไม้ (Importance Value Index, IVI) จากค่าความหนาแน่น (Density: D; ต้น/เฮกแตร์) ความเด่นด้านพื้นที่หน้าตัด (Dominance: Do; ตร.ม./เฮกแตร์) และความถี่ (Frequency: F; เปอร์เซ็นต์) เพื่อหาผลรวมของค่าสัมพัทธ์ทั้งสามค่าดังกล่าว ซึ่งเท่ากับค่าดัชนีความสำคัญของไม้ต้น (IVI) ส่วนการคำนวณค่าดัชนีความหลากชนิด (species diversity index: H') ใช้ตามสมการ Shannon-Wiener (Magurran, 1988)

3) การลำดับสังคมพืช (ordination) เพื่อหาความสัมพันธ์ของหมู่ไม้กับคุณสมบัติดินบางประการโดยใช้ชนิด และจำนวนของไม้ต้นในแต่ละแปลงตัวอย่างขนาด 20 เมตร x 20 เมตร เป็นเมทริกซ์หลัก (main matrix) และปัจจัยสิ่งแวดล้อม ได้แก่ ความสูงจากระดับน้ำทะเล (m) ปริมาณน้ำฝน (mm^3) อุณหภูมิ (°ซ) ความลาดชัน (%) และทิศด้านลาด (%) ให้เป็นเมทริกซ์รอง (second matrix) วิเคราะห์ข้อมูลโดยวิธี Canonical Correspondence Analysis (CCA) ด้วยโปรแกรม PC-ORD version 6 (McCune and Mefford, 2011)

ผลการวิจัยและวิจารณ์

โครงสร้างสังคมพืชและการจำแนก

การจำแนกสังคมพืชในพื้นที่ศึกษา โดยจัดกลุ่มหมู่ไม้ที่มีความคล้ายคลึงกัน ร้อยละ 25 เปอร์เซ็นต์ สามารถแบ่งกลุ่มสังคมพืชออกเป็น 4 สังคมย่อย ได้แก่ 1) สังคมย่อยป่าเต็งรังยางเหียงเด่น (DDF-DIOB) 2) สังคมย่อยป่าเต็งรังรักใหญ่เด่น (DDF-GLUS) 3) สังคมย่อยป่าเบญจพรรณสะแกแสงเด่น (MDF-CALA) และ 4) สังคมย่อยป่าลานหินอะรางเด่น (LHN-PEDA) (Figure 2) ดังนี้

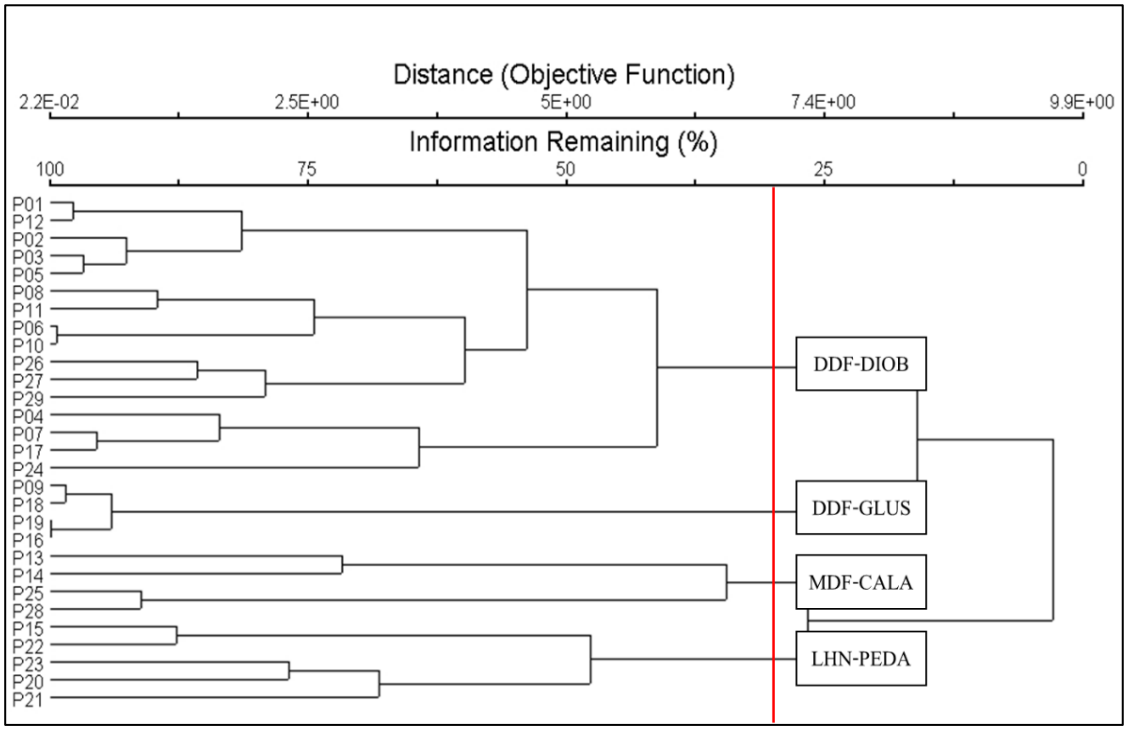


Figure 2 The dendrogram of forest stand clustering in Phu Pra Bhat, Phu Hin Jom Tad - Phu Pra Bhat National Park, Udon Thani province

Remark: DDF-DIOB = deciduous dipterocarp forest with *Dipterocarpus obtusifolius community*, DDF-GLSU = deciduous dipterocarp forest with *Gluta usitata* community, MDF-CALA = mixed deciduous forest with *Cananga latifolia* community, and LHN-PEDA rock outcrop forest with *Peltophorum dasyrrhachis* community

1) สังคมป่าเต็งรัง ยางเหียงเด่น (DDF-DIOB) ประกอบด้วยพรรณไม้ 41 ชนิด 34 สกุล 23 วงศ์ มีความหนาแน่นของหมู่ไม้ เท่ากับ 771.875 ต้นต่อเฮกแตร์ พื้นที่หน้าตัด เท่ากับ 9.427 ตารางเมตรต่อเฮกแตร์ และค่าดัชนีความหลากชนิด (Shannon index, H') เท่ากับ 3.33 ซึ่งถือว่ามีความหลากชนิดอยู่ในระดับสูง (Table 1) เมื่อพิจารณาชนิดไม้ต้นที่มีค่าดัชนีความสำคัญ (IVI) 5 ลำดับแรก ได้แก่ ยางเหียง (*Dipterocarpus obtusifolius*) เต็ง (*Shorea obtusa*) รัง (*Pentacme siamensis*) แดง (*Xylia xylocarpa*) และประดู่ (*Pterocarpus macrocarpus*) (Table 2) ลูกไม้พบ 23 ชนิด 21 สกุล 12 วงศ์ มีความหนาแน่นของจำนวนลูกไม้เท่ากับ 1,650 ต้นต่อเฮกแตร์ และมีค่าดัชนีความหลากชนิด เท่ากับ 2.98 ซึ่งถือว่ามีความหลากชนิดอยู่ในระดับปานกลาง (Table 1) ชนิดไม้เด่นเมื่อพิจารณาค่าดัชนีความสำคัญ 5 ลำดับแรก คือ ประดู่ ติ้วเกลี้ยง (*Cratoxylum cochinchinense*) ติ้วขน (*Cratoxylum formosum*) ชะมวง (*Garcinia cowa*) และแดง (Table 2) ในระดับกล้าไม้พบ 7 ชนิด 7 สกุล 4 วงศ์ มีความหนาแน่นของจำนวนกล้าไม้เท่ากับ 625 ต้นต่อเฮกแตร์ และมีค่าดัชนีความหลากชนิด (Shanon index, H') เท่ากับ 2.92 (Table 1) ชนิดไม้เด่นเมื่อพิจารณาค่าดัชนีความสำคัญ 5 ลำดับแรก คือ หมักม่อ (*Rothmannia wittii*) มะค่าแต้ (*Sindora siamensis*) ตะแบก (*Lagerstroemia floribunda*) แดง และกาสามปีก (*Vitex peduncularis*)

2) สังคมย่อยป่าเต็งรังรักใหญ่เด่น (DDF-GLUS) ประกอบด้วยพรรณไม้ 10 ชนิด 9 สกุล 9 วงศ์ มีความ

หนาแน่นของหมู่ไม้ เท่ากับ 506.25 ต้นต่อเฮกแตร์ พื้นที่หน้าตัด เท่ากับ 1.39 ตารางเมตรต่อเฮกแตร์ และค่าดัชนีความหลากชนิด (Shannon index, H') เท่ากับ 1.57 ซึ่งถือว่ามีความหลากชนิดอยู่ในระดับต่ำ (Table 1) เมื่อพิจารณาชนิดไม้ต้นที่มีค่าดัชนีความสำคัญ (IVI) 5 ลำดับแรก ได้แก่ รักใหญ่ (*Gluta usitata*) ยางเหียง ประดู่ ติ้วขน และกระบก (*Irvingia malayana*) (Table 2) ลูกไม้พบ 11 ชนิด 11 สกุล 9 วงศ์ มีความหนาแน่นของจำนวนลูกไม้ เท่ากับ 4,700 ต้นต่อเฮกแตร์ และมีค่าดัชนีความหลากชนิด (Shanon index, H') เท่ากับ 1.66 ซึ่งถือว่ามีความหลากชนิดอยู่ในระดับต่ำ (Table 1) ชนิดไม้เด่นเมื่อพิจารณาค่าดัชนีความสำคัญ 5 ลำดับแรก คือ ปอแดง (*Sterculia guttata*) ประดู่ ติ้วขน ไข่เน่า (*Gardenia sootepensis*) และแดง (Table 2) ในระดับกล้าไม้พบ 7 ชนิด 7 สกุล 7 วงศ์ มีความหนาแน่นของจำนวนกล้าไม้เท่ากับ 5,300 ต้นต่อเฮกแตร์ และมีค่าดัชนีความหลากชนิด (Shanon index, H') เท่ากับ 1.23 ซึ่งถือว่ามีความหลากชนิดอยู่ในระดับต่ำ (Table 1) ชนิดไม้เด่นเมื่อพิจารณาค่าดัชนีความสำคัญ 5 ลำดับแรก คือ กุ๊ก (*Lannea coromandelica*) ติ้วขน ยางเหียง กาสามปีก และรักใหญ่

3) สังคมย่อยป่าเบญจพรรณสะแกแสงเด่น (MDF-CALA) ประกอบด้วยพรรณไม้ 32 ชนิด 26 สกุล 23 วงศ์ มีความหนาแน่นของหมู่ไม้ เท่ากับ 631.25 ต้นต่อเฮกแตร์ พื้นที่หน้าตัด เท่ากับ 3.28 ตารางเมตรต่อเฮกแตร์ และค่าดัชนีความหลากชนิด เท่ากับ 3.06 ซึ่งถือว่ามีความหลากชนิดอยู่ในระดับสูง (Table 1) เมื่อพิจารณาชนิดไม้ต้นที่มีค่าดัชนีความสำคัญ (IVI) 5 ลำดับแรก ได้แก่ สะแกแสง (*Cananga latifolia*) สาธร (*Millettia leucantha*) มะค่าแต้ เหมือดหอม (*Symplocos racemose*) และพลับพลา (*Microcos tomentosa*) (Table 2) ในการศึกษานี้ไม่ปรากฏสังคมกล้าไม้ในสังคมพืชแห่งนี้ ในระดับกล้าไม้พบ 19 ชนิด 18 สกุล 18 วงศ์ มีความหนาแน่นของจำนวนกล้าไม้เท่ากับ 31,600 ต้นต่อเฮกแตร์ และมีค่าดัชนีความหลากชนิด (Shanon index, H') เท่ากับ 1.90 ซึ่งถือว่ามีความหลากชนิดอยู่ในระดับต่ำ (Table 1) ชนิดไม้เด่นเมื่อพิจารณาค่าดัชนีความสำคัญ 5 ลำดับแรก คือ มะค่าแต้ พลับพลา หมักม่อ มยุรี (*Mammea siamensis*) และโมกมัน (*Wrightia arborea*)

4) สังคมย่อยป่าลานหินอะรางเด่น (LHN-PEDA) ประกอบด้วยพรรณไม้ 31 ชนิด 27 สกุล 22 วงศ์ มีความหนาแน่นของหมู่ไม้ เท่ากับ 690 ต้นต่อเฮกแตร์ พื้นที่หน้าตัด เท่ากับ 3.347 ตารางเมตรต่อเฮกแตร์ และค่าดัชนีความหลากชนิด เท่ากับ 2.81 ซึ่งถือว่ามีความหลากชนิดอยู่ในระดับปานกลาง (Table 1) เมื่อพิจารณาชนิดไม้ต้นที่มีค่าดัชนีความสำคัญ (IVI) 5 ลำดับแรก ได้แก่ อะราง (*Peltophorum dasyrrhachis*) ติ้วขน กุ๊ก แดง และส้านใบเล็ก (*Dillenia ovata*) (Table 2) ในระดับลูกไม้พบ 6 ชนิด 6 สกุล 6 วงศ์ มีความหนาแน่นของจำนวนกล้าไม้เท่ากับ 2,700 ต้นต่อเฮกแตร์ และมีค่าดัชนีความหลากชนิด (Shanon index, H') เท่ากับ 1.55 ซึ่งถือว่ามีความหลากชนิดอยู่ในระดับต่ำ (Table 1) ชนิดไม้เด่นเมื่อพิจารณาค่าดัชนีความสำคัญ 5 ลำดับแรก คือ โมกมัน ติ้วขน พลับพลา ตองหมอง (*Tadehagi godefroyanum*) และเหมือดแอ (*Memecylon edule*) ในระดับกล้าไม้พบ 7 ชนิด 7 สกุล 6 วงศ์ มีความหนาแน่นของจำนวนกล้าไม้เท่ากับ 4,400 ต้นต่อเฮกแตร์ และมีค่าดัชนีความหลากชนิด (Shanon index, H') เท่ากับ 1.58 ซึ่งถือว่ามีความหลากชนิดอยู่ในระดับต่ำ (Table 1) ชนิดไม้เด่นเมื่อพิจารณาค่าดัชนีความสำคัญ 5 ลำดับแรก คือ กุ๊ก ติ้วขน อะราง ตองหมอง และประดู่

Table 1 Plant community characteristics of sub-community in Phu Pra Bhat, Phu Hin Jom Tad – Phu Pra Bhat National Park (preparatory area), Udon Thani province

Community characters	Total	DDF-DIOB	DDF-GLUS	MDF-CALA	LHN-PEDA
Tree					
Number of species	81	41	10	32	31
Shannon-Weiner index	3.62	3.33	1.57	3.06	2.81
Basal area (m^2 ha^{-1})	17.09	9.42	1.39	3.28	3.34
Stem density (stems ha^{-1})	687.069	771.875	506.25	631.25	690
Sapling					
Number of species	123	23	11	0	27
Shannon-Weiner index	3.01	2.986	1.66	-	1.55
Stem density (stems ha^{-1})	1,696.6	1,650	4,700	0	2,700
Seedling					
Number of species	365	7	7	19	22
Shannon-Weiner index	2.75	2.92	1.23	1.9	1.58
Stem density (stems ha^{-1})	5,034.483	625	5,300	31,600	4,400

DDF-DIOB = deciduous dipterocarp forest with *Dipterocarpus obtusifolius community*, DDF-GLSU = deciduous dipterocarp forest with *Gluta usitata* community, MDF-CALA = mixed deciduous forest with *Cananga latifolia* community, and LHN-PEDA rock outcrop forest with *Peltophorum dasyrrhachis* community

Table 2 Top five ranking based on IVI ordered of tree in each sub-community in Phu Pra Bhat, Phu Hin Jom Tad - Phu Pra Bhat National Park, Udon Thani province

Plant community	Staged	Species	RD (%)	RF (%)	Rdo (%)	IVI (%)
DDF-DIOB	Tree	*Dipterocarpus obtusifolius*	12.551	4.523	14.830	31.903
		Shorea obtusa	13.563	6.030	10.150	29.743
		Pentacme siamensis	11.538	6.030	6.672	24.240
		Xylia xylocarpa	8.704	6.533	6.329	21.566
		Pterocarpus macrocarpus	4.453	6.030	7.178	17.662
		Others	...	...	...	...
		Total	100.00	100.00	100.00	300.00

Table 2 (Continued)

Plant community	Staged	Species	RD (%)	RF (%)	Rdo (%)	IVI (%)
DDF-DIOB	Sapling	*Pterocarpus macrocarpus*	9.091	10.000	0	19.091
		Cratoxylum cochinchinense	7.576	7.500	0	15.076
		Cratoxylum formosum	7.576	7.500	0	15.076
		Garcinia cowa	7.576	5.000	0	12.576
		Xylia xylocarpa	7.576	5.000	0	12.576
		Others	...	...	...	...
		Total	100.00	100.00	100.00	300.00
	Seedling	*Rothmannia wittii*	12.000	12.500	0	24.500
		Sindora siamensis	8.000	4.167	0	12.167
		Lagerstroemia floribunda	8.000	8.333	0	16.333
		Xylia xylocarpa	8.000	8.333	0	16.333
		Vitex peduncularis	4.000	4.167	0	8.167
		Others	...	...	...	...
		Total	100.00	100.00	100.00	300.00
DDF-GLUS	Tree	*Gluta usitata*	48.148	18.182	29.439	95.769
		Dipterocarpus obtusifolius	24.691	18.182	47.121	89.994
		Pterocarpus macrocarpus	6.173	13.636	4.884	24.693
		Cratoxylum formosum	6.173	13.636	2.794	22.603
		Irvingia malayana	4.938	9.091	3.716	17.745
		Others	...	...	...	...
		Total	100.00	100.00	100.00	300.00
	Sapling	*Sterculia guttata*	53.191	8.333	0	61.525
		Pterocarpus macrocarpus	6.383	16.667	0	23.050
		Cratoxylum formosum	12.766	8.333	0	21.099
		Gardenia sootepensis	6.383	8.333	0	14.716
		Xylia xylocarpa	6.383	8.333	0	14.716
		Others	...	...	...	...
		Total	100.00	100.00	100.00	300.00

Table 2 (Continued)

Plant community	Staged	Species	RD (%)	RF (%)	Rdo (%)	IVI (%)
DDF-GLUS	Seedling	*Lannea coromandelica*	62.264	14.286	0	76.550
		Cratoxylum formosum	15.094	14.286	0	29.380
		Dipterocarpus obtusifolius	9.434	14.286	0	23.720
		Vitex peduncularis	5.660	14.286	0	19.946
		Gluta usitata	3.774	14.286	0	18.059
		Others	...	...	...	...
		Total	100.00	100.00	100.00	300.00
MDF-CALA	Tree	*Cananga latifolia*	9.901	4.651	13.435	27.988
		Millettia leucantha	8.911	4.651	11.840	25.402
		Sindora siamensis	5.941	4.651	10.056	20.647
		Symplocos racemosa	11.881	2.326	5.045	19.252
		Microcos tomentosa	7.921	4.651	4.246	16.818
		Others	...	...	...	...
		Total	100.00	100.00	100.00	300.00
	Sapling	-	-	-	-	-
	Seedling	*Sindora siamensis*	50.000	9.524	-	59.524
		Microcos tomentosa	7.595	9.524	-	17.119
		Rothmannia wittii	10.759	4.762	-	15.521
		Mammea siamensis	5.063	4.762	-	9.825
		Wrightia arborea	5.063	4.762	-	9.825
		Others	...	...	...	...
		Total	100.00	100.00	100.00	300.00

Table 2 (Continued)

Plant community	Staged	Species	RD (%)	RF (%)	Rdo (%)	IVI (%)
LHN-PEDA	Tree	*Peltophorum dasyrrhachis*	14.493	7.317	59.156	80.966
		Cratoxylum formosum	21.739	7.317	5.172	34.228
		Lannea coromandelica	6.522	7.317	3.104	16.943
		Xylia xylocarpa	4.348	4.878	4.680	13.906
		Dillenia ovata	7.971	2.439	3.220	13.630
		Others	...	...	...	...
		Total	100.00	100.00	100.00	300.00
	Sapling	*Wrightia arborea*	37.037	11.111	-	48.148
		Cratoxylum formosum	25.926	22.222	-	48.148
		Microcos tomentosa	14.815	22.222	-	37.037
		Tadehagi godefroyanum	11.111	22.222	-	33.333
		Memecylon edule	7.407	11.111	-	18.519
		Others	...	...	...	...
		Total	100.00	100.00	100.00	300.00
	Seedling	*Lannea coromandelica*	36.364	18.182	-	54.545
		Cratoxylum formosum	25.000	18.182	-	43.182
		Peltophorum dasyrrhachis	18.182	18.182	-	36.364
		Tadehagi godefroyanum	4.545	18.182	-	22.727
		Pterocarpus macrocarpus	11.364	9.091	-	20.455
		Others	...	...	...	...
		Total	100.00	100.00	100.00	300.00

DDF-DIOB = deciduous dipterocarp forest with *Dipterocarpus obtusifolius community*, DDF-GLSU = deciduous dipterocarp forest with *Gluta usitata* community, MDF-CALA = mixed deciduous forest with *Cananga latifolia* community, and LHN-PEDA rock outcrop forest with *Peltophorum dasyrrhachis* community

ลักษณะโครงสร้างสังคมพืชของไม้ต้นบริเวณป่าภูพระบาท อุทยานแห่งชาติภูหินจอมธาตุ - ภูพระบาท จังหวัดอุดรธานี เมื่อพิจารณาจากชนิดไม้เด่น พบว่าส่วนใหญ่ถูกปกคลุมด้วยไม้ดัชนีของป่าเต็งรังและป่าผสมผลัดใบ เช่น ยางเหียง เต็ง อะราง แดง และรัง เป็นต้น โดย Kutintara. (1975) กล่าวว่าโดยทั่วไปไม้เด่นในชั้นเรือนยอดของป่าเต็งรังมักประกอบด้วยไม้วงศ์ยางผลัดใบ เช่น เต็ง รัง ยางเหียง เป็นต้น ซึ่งอาจพบไม้ในป่าผสมผลัดใบได้บ้างบางชนิดบริเวณรอยต่อป่า (Smitinand, 1977) มีค่าดัชนีความหลากหลาย (H′) เท่ากับ 3.62 ซึ่งถือว่าอยู่ในเกณฑ์ค่อนข้างสูง เมื่อเปรียบเทียบกับสังคมป่าเต็งรังที่อื่น ๆ เช่น สังคมป่าเต็งรังในพื้นที่ วนอุทยานแพะเมืองผี จังหวัดแพร่ ที่มีค่าเท่ากับ 1.70 เป็นต้น (Srikoon *et al.,* 2021) และสังคมป่าเต็งรังที่มีหวายนั่งบริเวณบ้านลาดสมบูรณ์ใหม่ ตำบลห้วยยาง อำเภอเมือง จังหวัดสกลนคร ที่มีค่าเท่ากับ 1.284 (Duangsri *et al*., 2017) เป็นต้น แต่เมื่อพิจารณาสังคมย่อยที่ปรากฏในพื้นที่ป่าภูพระบาททั้งหมด 4 สังคมย่อย ได้แก่ สังคมย่อยป่าเต็งรังยางเหียงเด่น สังคมย่อยป่าเต็งรังรักใหญ่เด่น สังคมย่อยป่าเบญจพรรณสะแกแสงเด่น และสังคมย่อยป่าลานหินอะรางเด่น พบว่าสังคมย่อยป่าเต็งรังยางเหียงเด่น มีค่าดัชนีความหลากชนิดและมีขนาดพื้นที่หน้าตัดรวมสูงที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับอีกสามสังคมย่อย เนื่องจากสังคมนี้มักปรากฏไม้ยางเหียงขนาดใหญ่อยู่ทั่วพื้นที่ เนื่องจากเป็นชนิดไม้ดั้งเดิม (Srikoon *et al.,* 2021) ในขณะที่สังคมย่อยป่าเต็งรังรักใหญ่เด่น ส่วนใหญ่ไม้ที่มีค่าดัชนีความสำคัญสูง 5 อันดับแรก เป็นไม้ในป่าผสมผลัดใบในเรือนยอดชั้นบน และเรือนยอดชั้นรอง เช่น รักใหญ่ ยางเหียง ประดู่ เป็นต้น แต่ในขณะเดียวกันมีค่าความหนาแน่นของไม้ต้นน้อยที่สุด เมื่อเปรียบเทียบกับอีกสามสังคมย่อย เนื่องจากไม้ต้นขึ้นกระจายกันอยู่ห่าง ๆ นอกจากนี้ในสังคมย่อยสังคมย่อยป่าเบญจพรรณสะแกแสงเด่น แสดงให้เห็นว่าสังคมของไม้ต้นส่วนใหญ่ผ่านการรบกวนมาค่อนข้างหนัก จนทำให้ไม้เด่นในชั้นเรือนยอดดั้งเดิมหายไป เช่น แดง ประดู่ มะค่าโมง เป็นต้น ทำให้เกิดช่องว่างระหว่างเรือนยอด (canopy gap) ขึ้นเป็นจำนวนมาก ส่งผลให้ไม้ชั้นรองเจริญขึ้นมาเป็นชนิดไม้เด่นแทน (Narknoi *et al*., 2022; Asanok *et al*., 2020) โดยเฉพาะพลับพลา ที่ปรากฏอยู่ทั้งไม้ต้นและกล้าไม้ และสังคมย่อย ป่าลานหินอะรางเด่น พบว่ามีการกระจายเข้ามาตั้งตัวของพรรณไม้ที่มีความทนทานต่อปัจจัยจำกัดสูง โดยเฉพาะ ประดู่ป่า ติ้วขน ที่พบได้ทั้งระดับไม้ต้น ลูกไม้ และกล้าไม้ ซึ่งพรรณพืชเข้ามาตั้งตัวโดยส่วนใหญ่แคระแกร็น มีความสูงไม่เกิน 7 เมตร จากการศึกษาของ Watthana *et al*. (2020) พบว่าบริเวณป่าลานหินพบโครงสร้างสังคมพืชเพียงชั้นเรือนยอดเดียว เนื่องจากมีสภาพแห้งแล้ง ความชื้นต่ำ และพื้นที่ส่วนใหญ่เป็นลานหิน โดยพบพรรณไม้สำคัญ ได้แก่ ประดู่ แดง มะค่าแต้ เป็นต้น

ความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยแวดล้อมบางประการและองค์ประกอบชนิดไม้ต้น

การจัดลำดับสังคมพืชในพื้นที่ป่าบริเวณภูพระบาท อุทยานแห่งชาติภูหินจอมธาตุ - ภูพระบาท จังหวัดอุดรธานี ตามแนวการลดหลั่นของปัจจัยแวดล้อมบางประการด้วยวิธี CCA พบว่าค่า Eigenvalue บนแกนที่ 1 (axis 1) แกนที่ 2 (axis 2) และแกนที่ 3 (axis 3) มีค่าเท่ากับ 0.348, 0.264 และ 0.254 ตามลำดับ ดังนั้นการใช้แกนที่ 1 และ 2 อธิบายผลความสัมพันธ์ระหว่างสังคมพืชและปัจจัยแวดล้อมบางประการจึงมีความถูกต้องสูง โดยปัจจัยแวดล้อมบางประการที่มีอิทธิพลต่อการปรากฏของพรรณไม้สามารถแบ่งออกได้เป็น 2 กลุ่ม (Figure 3) ดังนี้

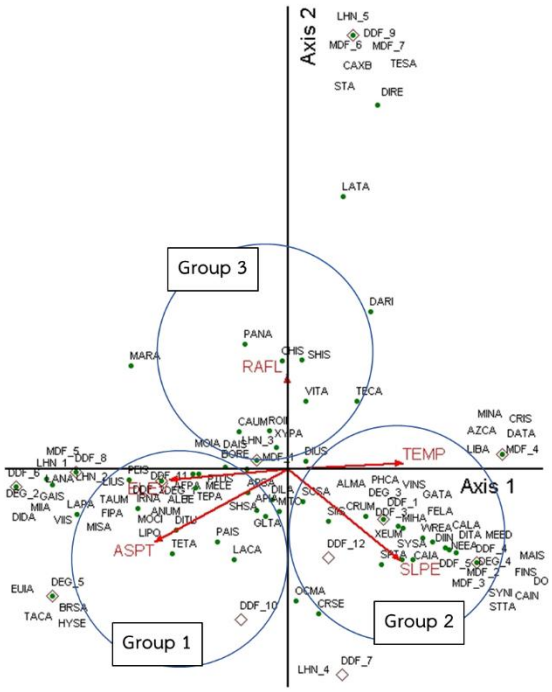


Figure 3 The CCA ordination diagram representing the relationship between the vegetation of tree species and some environmental factors; elevation (ELEV), rainfall (RAFL), temperature (TEMP), slope (SLPE) and aspect (ASPT)

Table 3 Correlation matrix (Pearson correlation coefficients) of the relationship between CCA Axis 1, Axis 2 and Axis 3 and some of environmental factors; elevation (ELEV), rainfall (RAFL), temperature (TEMP), slope (SLPE) and aspect (ASPT)

Factors	CCA1	CCA2	CCA3
Aspect	-0.675	-0.468	0.042
Temperature	0.694	0.246	0.454
Rainfall	0.000	0.669	-0.545
Elevation	-0.651	0.064	-0.457
Slope	0.624	-0.468	0.043

DDF-DIOB = deciduous dipterocarp forest with *Dipterocarpus obtusifolius community*, DDF-GLSU = deciduous dipterocarp forest with *Gluta usitata* community, MDF-CALA = mixed deciduous forest with *Cananga latifolia* community, and LHN-PEDA rock outcrop forest with *Peltophorum dasyrrhachis* community

กลุ่มที่ 1 สังคมย่อยป่าเต็งรังยางเหียงเด่น (DDF-DIOB) ส่วนใหญ่ถูกกำหนดด้วยความสูงจากระดับน้ำทะเล (ELEV) และทิศด้านลาด (ASPT) มีค่าความสัมพันธ์กับ CCA แกนที่ 1 เท่ากับ -0.651 และ -0.675 ตามลำดับ (Table 3) ส่งผลให้ไม้บางชนิด เช่น เต็ง (SHOB) รัง (PFSI) แดง (XYXY) เหมือดโลด (APFI) และกาสามปีก (VIPE) มีโอกาสเป็นพืชเด่นในพื้นที่มีความต้องการความสูงจากระดับน้ำทะเลปานกลางระหว่าง 100–600 เมตร และอยู่ในทิศด้านลาดที่หันหน้าเข้าสู่ทิศตะวันออก เนื่องจากชนิดไม้เด่นในป่าเต็งรังมีความต้องการแสงมาก (Tripathi and Raghubanshi, 2014) และพันธุ์ไม้เหล่านี้จึงมักมีการปรับตัวให้ทนทานต่อความแห้งแล้งได้เป็นอย่างดี (Marod, 2004) สอดคล้องกับการศึกษาของ Sukwong (1982) ที่พบว่าป่าเต็งรังที่มีไม้ขนาดใหญ่มักพบในดินที่ค่อนข้างลึกและไม่ลาดชั้นจนเกินไป รวมทั้งไม้เหียงยังมีช่วงทนทานทางนิเวศวิทยา (amplitude of tolerance) ที่ค่อนข้างกว้าง สามารถพบได้ทั้งในที่ราบบริเวณดินชื้นจัดไปจนถึงพื้นที่แห้งแล้งและมีหินมาก แต่ขนาดของลำต้นมักจะแปรผันไปตามระดับของความแห้งแล้ง (Kutintara, 1975)

กลุ่มที่ 2 สังคมย่อยป่าเต็งรังรักใหญ่เด่น (DDF-GLUS) ถูกกำหนดด้วยความลาดชัน (SLPE) และอุณหภูมิ (TEMP) มีค่าความสัมพันธ์กับ CCA แกนที่ 1 เท่ากับ 0.624 และ 0.694 ตามลำดับ (Table 3) ส่งผลให้พรรณไม้บางชนิด เช่น ติ้วขน (CRFU) ตีนนก (VINS) เหมือดหอม (SYSA) มะขามป้อม (PHCA) และ โมกมัน (WREA) เป็นต้น สามารถตั้งตัวได้ดีในพื้นที่ลาดชัน เนื่องจากความลาดชันมักส่งผลให้เกิดการกัดเซาะหน้าดินทำให้มีความตื้น สังคมพืชจึงมีการปรับตัวให้มีระบบรากที่ลึก และทนต่อความแห้งแล้ง (Wessel, 1971) สอดคล้องกับการศึกษาของ Lugsawut *et al.* (2022) ที่พบว่าปัจจัยที่มีอิทธิพลในเชิงลบ ได้แก่ ความลาดชัน และความโค้งนูนของพื้นที่ ปริมาณน้ำฝนเฉลี่ย อินทรียวัตถุ ฟอสฟอรัส แคลเซียม และอนุภาคดินเหนียว เป็นต้น ส่งผลให้พรรณพืชในสังคมนี้ต้องการลักษณะทางนิเวศ (ecological niche) ต่อสภาพแวดล้อมที่รุนแรง เช่น ความลาดชัน ความแห้งแล้ง และอยู่ในพื้นที่สูง เป็นต้น เนื่องจากดินมีศักยภาพในการกักเก็บความชื้นได้ต่ำอาจได้รับผลกระทบจากความลาดชัน ความสูงจากระดับทะเล ส่งผลให้คุณสมบัติในการเก็บน้ำของดินได้น้อยลง (Marryanna *et al*. 2012) ทำให้ชนิดไม้เด่นสังคมย่อยมักปรากฏอยู่ในปัจจัยแวดล้อมที่มีสภาพแวดล้อมรุนแรง ซึ่งเป็นลักษณะปัจจัยแวดล้อมของป่าเต็งรัง (Asanok *et al.,* 2020)

กลุ่มที่ 3 สังคมย่อยป่าเบญจพรรณสะแกแสงเด่น (MDF-CALA) และและสังคมย่อยป่าลานหินอะรางเด่น (LHN-PEDA) พบว่าปัจจัยที่กำหนด ได้แก่ ปริมาณน้ำฝน (RAFL) มีค่าความสัมพันธ์กับ CCA แกนที่ 2 เท่ากับ 0.669 เนื่องจากพรรณไม้ในสังคมย่อยนี้มีความต้องการปริมาณน้ำฝน ซึ่งเป็นลักษณะของป่าผสมผลัดใบมีช่วงที่ขาดฝนนานเกินกว่า 4 เดือนเป็นอย่างต่ำ อีกทั้งป่าลานหินมักปรากฏในพื้นที่แห้งแล้งจัด ดินตื้น จากการศึกษาของ Asanok *et al*. (2020) ที่พบว่าโครงสร้างป่าหินปูนที่เป็นลานหินมักมีเรือนยอดชั้นบนค่อนข้างห่าง มีความหนาแน่นต่ำ ไม้ส่วนใหญ่แคระแกร็น และคดงอ ด้วยความหนาแน่นของไม้ต้นที่มีความหนาแน่นต่ำ และระยะห่างของเรือนยอดมีผลต่อการกักเก็บปริมาณน้ำฝนที่ตกลงมา ทำให้การระเหยของน้ำเกิดขึ้นได้อย่างรวดเร็ว (Marryanna *et al*., 2007) สังคมย่อยป่าลานหิน มีสภาพส่วนใหญ่เป็นหิน พบพรรณไม้เป็นไม้เด่น เรือนยอดชั้นรอง และไม้พุ่ม ในสังคมป่าผสมผลัดใบที่กระจายเข้ามาตั้งตัวในพื้นที่ เช่น สะแกแสง (CAUM) หมักหม้อ (ROTI) อะราง (PEIS) และยอป่า (MOIA) เป็นต้น เนื่องจากปริมาณน้ำฝนน้อย ดินเลว ส่งผลให้ต้นไม้มีลักษณะแคระแกร็นจึงมีความสูงใกล้เคียงกัน (Watthana *et al*., 2020)

สรุปผลการวิจัย

ความหลากชนิดไม้ต้นในพื้นที่ป่าบริเวณภูพระบาท อุทยานแห่งชาติภูหินจอมธาตุ - ภูพระบาท จังหวัดอุดรธานี พบชนิดไม้ 81 ชนิด 63 สกุล 33 วงศ์ มีค่าดัชนีความหลากชนิด (H') เท่ากับ 3.62 ซึ่งถือว่ามีความหลากหลายทางชนิดพันธุ์ในระดับสูง สามารถแบ่งสังคมของไม้ต้นออกเป็น 4 สังคมย่อย ได้แก่ 1) สังคมย่อยป่าเต็งรัง-ยางเหียงเด่น (DDF-DIOB) ซึ่งถูกกำหนดด้วย ความสูงจากระดับน้ำทะเล และทิศด้านลาด 2) สังคมย่อยป่าเต็งรัง-รักใหญ่เด่น (DDF-GLUS) ถูกกำหนดด้วยความลาดชัน และอุณหภูมิ 3) สังคมย่อยป่าเบญจพรรณ-สะแกแสงเด่น และ 4) สังคมย่อยป่าลานหิน-อะรางเด่น ถูกกำหนดปริมาณน้ำฝน ผลการวิจัยบ่งชี้ว่าปัจจัยแวดล้อมทางกายภาพมีอิทธิพลต่อการปรากฏลักษณะสังคมพืช อย่างไรก็ตามในการจัดการทรัพยากรป่าไม้ในพื้นที่อุทยานแห่งชาติภูหินจอมธาตุ - ภูพระบาท ควรพิจารณาปัจจัยทางกายภาพของพื้นที่ควบคู่กับลักษณะสังคมพืชที่มีความแตกต่างกัน เพื่อหาแนวทางการจัดการได้อย่างเหมาะสม ทั้งในด้านการอนุรักษ์ทรัพยากรธรรมชาติ การฟื้นฟูป่าและระบบนิเวศ การศึกษาค้นคว้าวิจัย การท่องเที่ยว และนันทนาการ เป็นต้น นอกเหนือจากนั้นควรมีการศึกษาลักษณะทางพลวัตของสังคมพืชในระยะยาว เพื่อติดตามการแปรผันของสังคมพืชที่จะส่งผลต่อการจัดการป่าให้มีประสิทธิภาพต่อไป

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณเจ้าหน้าที่ทุกท่านและเพื่อนนักศึกษาปริญญาโท ที่ช่วยเหลือและสนับสนุนในการเก็บข้อมูลภาคสนาม และขอขอบพระคุณอาจารย์ที่ปรึกษาคณาจารย์ มหาวิทยาลัยแม่โจ้-แพร่ เฉลิมพระเกียรติทุกท่านที่สนับสนุนงานวิจัยตลอดมา อีกทั้งขอขอบคุณครอบครัวที่เป็นกำลังใจให้การทำวิจัยสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

เอกสารอ้างอิง

Asanok, L., T. Rungrawee and N. Papakjan. 2020. Woody species colonization along edge-interior gradients of deciduous forest remnants in the Mae Khum Mee Watershed, Northern Thailand. **International Journal of Forestry Research** 2020: 1–13. https://doi.org/10.1155/2020/5867376

Bayfield, N.G. 1979. Recovery of four montane health communities on Cairngorm, Scotland, from disturbance by trampling. **Biological Conservation** 15: 165–179.

Cole, D.N. and N.G. Bayfield. 1993. Recreational trampling of vegetation: standard experimental procedures. **Biological Conservation** 63: 209–215

Duangsri, N., W. Sangpalee. N. Insalud. J. Ardnardsiew. S. Hremhuk and K. Sringernyoung. 2017. Structure and composition of tree species in deciduous dipterocarp forest where *Calamus acanthophyllus* was found within Ban Lad Somboon Mai, Huai Yang sub-district, Mueang Sakon Nakorn district, Sakon Nakorn province. **Thai Forest Ecological Research Journal** 1(1): 59–67.

Jirapong, S and T. Rojanatrakul. 2021. Promote sustainable conservation of forest resources. **Journal of Roi Kaensarn Academi** 6(10): 441–458

Kent, M., R. Lues and P. Coker. 1994. The general classification of Rhesus macaques (*Macaca mulatta*). **Journal of Biology Assay** 11(6): e363.

Kutintara, U. 1975. **Structure of the Dry Dipterocarp Forest**. Doctorial Dissertation. Colorado State University. 332 p.

Laing, R.S., K.H. Ong, R.J.H. Kueh, N.G. Mang, P.J.H. King and M. Sait. 2019. Stand structure, floristic composition and species diversity along altitudinal gradients of a Bornean mountain range 30 years after selective logging. **Journal of Mountain Science** 16(6): 1419–1434.

Land Development Department. 2012. **Digital Elevation Model: DEM (ratio 1: 40,000)**. [Online]. Available http://sql.ldd.go.th/lddata/mapsoilE1.html (January 21, 2023). [in Thai]

Liddle, M.J. 1997. **Recreation Ecology: The Ecological Impact of Outdoor Recreation and Ecotourism**. London: Chapman & Hall. 639 p.

Lugsawut, P., W. Mangkita, K. Phongkaranyaphat and L. Asanok. 2022. Vegetation structure characteristics and *Gluta usitata* (Wall.) Ding Hou site identification of deciduous dipterocarp forest in *Gluta usitata* conservation and development of local knowledge using lacquer sapunder the Royal Initiative Project, Chiang Mai province. **Thai Forest Ecological Research Journal** 6(1): 63–81. [in Thai]

Magurran, A.E. 1988. **Ecological Diversity and Its Measurement**. Princeton: Princeton University Press. 256 p.

Marod, D. 2004. **Succession of Mixed Deciduous Forests After the Flowering of Bamboo**. Bangkok: Faculty of Forestry,. Kasetsart University. 36 p. [in Thai]

Marod, D. and U. Kutintara. 2009. **Forest Ecology**. 1st edition. Bangkok: Forest Textbook Publishing Fund, Faculty of Forestry,. Kasetsart University. 540 p. [in Thai]

Marryanna, L., A.K. Rahman, S. Siti Aisah and M.S. Mohd. 2012. Association between soil moisture gradient and tree distribution in lowland dipterocarp forest at Pasoh, Malaysia. **Malaysian Journal of Soil Science** 16: 23–42

Marryanna, L., S. Siti Aisah and K. Saiful Iskandar. 2007. Small Scale Variations of soil moisture in the Pasoh 50-ha Plot. pp. 28-30. *In* **ECOMOD 2007 2nd Regional Conference**. Penang: Universiti Sains Malaysia

McCune, B. and M.J. Mefford. 2011. **PC-ORD. Multivariate Analysis of Ecological Data, Version 6.0 for Windows**. Oregon: MjM Software, Gleneden Beach. 28 p.

Meteorological Department. 2020. **Climate of Udon Thani province**. [Online]. Available http://climate.tmd.go.th/data/province/ตะวันออกเฉียงเหนือ/ภูมิอากาศจังหวัดอุดรธานี (February 18, 2021). [in Thai]

Narknoi, N., S. Banjay, K. Phongkaranyaphat, W. Singyoocharoen, W. Mangkita, M. Banjongkarn, K. Krueama and L. Asanok. 2022. Plant community characteristics and soil factors of mixed deciduous forest in Ban Pong Community Forest, Long district, Phrae province. **Thai Journal of Forestry** 41(2): 93–108. [in Thai]

National Parks of Thailand. 2015. **Phu Hin Chom That - Phu Phrabat National Park**. Bangkok: Department of National Parks, Wildlife and Plant Conservation. 132 p. [in Thai]

National Parks of Thailand. 2021. **List of National Parks and Forest Parks**. Bangkok: Department of National Parks, Wildlife and Plant Conservation. 2 p. [in Thai]

National Parks of Thailand. 2022. **Statistics on the Number of Tourists**. Bangkok: Department of National Parks, Wildlife and Plant Conservation. 4 p. [in Thai]

Nilavanh, S. and B. Prompakping. 2018. Impacts of tourism on the ecosystem services in Vang Vieng, Lao People's Democratic Republic. **Journal of Liberal Arts, Prince of Songkla - University** 10(2): 188–217. [in Thai]

Planning and Information Office. 2019. **The National Forestry Policy**. Bangkok: Royal Forest Department. 44 p. [in Thai]

Pooma, P. and S. Suddee. 2014. **Names of Plants of Thailand, Tem Samitinan**. Bangkok: Office of the Herbarium, Forest and Plant Conservation Research Office. Department of National Parks, Wildlife and Plant Conservation. 810 p. [in Thai]

Royal Forest Department. 2020. **National Forest Policy**. Bangkok: Ministry of Natural Resources and Environment. 44 p. [in Thai]

Ruangpanit, N. 2005. **Forests and Forestry in Thailand**. Bangkok: Faculty of Forestry, Kasetsart University. 476 p. [in Thai]

Smitinand, T. 1977. **Vegetation and Groud Covers of Thailand**. Bangkok: The Forest Herharium, Royal Forest Department. 307 p. [in Thai]

Sorensen, T. 1948. A method of establishing groups of equal amplitude in plant sociology based on similarity of species content and its application to analysis of the vegetation on Danish commons. **Biologiske Skrifter** 5: 1–34.

Srikoon, P., R. Taweesuk., P. Pramosri, P. Junkeaw and L. Asanok. 2021. Vegetation community characteristics and edaphic factors in 40 years fire protection of dwarf deciduous dipterocarp forest, Phae Muang Phi Forest Park, Phrae province. **Thai Forest Ecological Research Journal** 5(1): 33–52. [in Thai]

Suksawang, S., T. Temchai and C. Phongphatcharapan. 2012. Impact of Tourism on Pant and Wildlife. pp. 86–116. *In* **Proceedings of Thai Forest Ecological Research Network Conference. T-FERN 1 January 26-27 2012.** Bangkok: Faculty of Forestry. [in Thai]

Sukwong, S. 1982. Analysis of the dry dipterocarp forest vegetation in Thailand. **Journal of the National Research Council of Thailand** 14(1): 55–75. [in Thai]

Tripathi, S. and A.S. Raghubanshi. 2014. Seedling growth of five tropical dry forest tree species in relation to light and nitrogen gradients. **Plant Ecology** 7(3): 250–263.

Watthana, S., N. Muangsan and J. Thangthong 2020. **Plant Community and Species Diversity of Orchidaceae and Zingiberaceae in RSPG Protected Area, Sirinthorn Dam, Ubon Ratchathani Province**. Nakhon Ratchasima Suranaree: University of Technology. 79 p. [in Thai]

Wessel, M. 1971. **Fertilizer requirements of Cacao (Theobroma cacao L.) in South-Western Nigeria**. MasterThesis. Wageningen University & Research. 104 p.

Whinam, J. and M. Comfort. 1996. The Impact of commercial horse riding on sub-alpine environments at Cradle Mountain, Tasmania, Australia. **Journal of Environmental Management** 47: 61–70.

Whinam, J. and N. Chilcott. 1999. Impacts of trampling on alpine environments in central Tasmania. **Journal of Environmental Management** 57: 205-220.

WorldClim. 2020. Historical climate data. [Online]. Available https://worldclim.org/data/worldclim21.html (January 21, 2023). [in Thai]

วารสารวิจัยและส่งเสริมวิชาการเกษตร 42(3): 74-88

กิจกรรมต้านจุลินทรีย์ก่อโรคข้าวของ *Bacillus velezensis* และการสร้างสารลดแรงตึงผิวทางชีวภาพ

Antimicrobial Activities against Rice Pathogens of *Bacillus velezensis* and Their Biosurfactant Production

ธันย์ชนก เอื้ออาจิน[1] วราภรณ์ แสงทอง[2] วิรันธชา เครือฟู[3] ปิยะนุช เนียมทรัพย์[1] และศรีกาญจนา คล้ายเรือง[1,*]

Thanchanok Auearchin[1], Varaporn Saengtong[2], Viruntachar Kruefu[3]

Piyanuch Niamsup[1] and Srikanjana Klayraung[1,*]

[1]สาขาวิชาเทคโนโลยีชีวภาพ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยแม่โจ้ เชียงใหม่ 50290

[2]สาขาวิชาพันธุศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยแม่โจ้ เชียงใหม่ 50290

[3]สาขาวิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีนาโน คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยแม่โจ้ เชียงใหม่ 50290

[1]Division of Biotechnology, Faculty of Science, Maejo University, Chiang Mai, Thailand 50290

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

[3]Nanoscience and Nanotechnology Program, Faculty of Science, Maejo University, Chiang Mai, Thailand 50290

*Corresponding author: s.klayraung@gmail.com

Received: *September 25, 2023*
Revised: *March 03, 2025*
Accepted: *April 11, 2025*

Abstract

The aims of this study were to investigate antimicrobial activities against *Xanthomonas oryzae* pv. *oryzae* the bacterium responsible for rice bacterial leaf blight and *Pyricularia oryzae*, major rice pathogens, and biosurfactant production of *Bacillus velezensis*. *B. velezensis* isolated from lichen were used in this study. All isolates of *B. velezensis* showed antimicrobial activities against *Xoo* and *P. oryzae* according to spot on lawn assay, agar well assay and dual cultures method. The biosurfactant production of *B. velezensis* was screened by cell hydrophobicity, emulsification activity (E24) and specific genes for cyclic lipopeptides (cLPs). The results of bacterial cell adherence with hexadecane and emulsion by olive oil confirmed that the seven isolates of *B. velezensis* were able to produce biosurfactant. Furthermore, the PCR products of six cLPs synthesis-related genes comprising of *SUR3, srfA, ituD, ituC, fenD* and *bmyB* that regulated antibiotic biosurfactants production including surfactin, iturin, fengycin and bacillomycin, were detected. The safety of *B. velezensis* isolates were evaluated using antibiotic susceptibility test. It was found that all *B. velezensis* isolates were susceptible to

penicillin, ciprofloxacin, tetracyclin, Tigecyclin and vancomycin. *B. velezensis* are also not be listed in Pathogens and Animal Toxins Act 2015. These results can potentially make *B. velezensis* useful and safe as agricultural biocontrol agents.

Keywords: rice pathogen, *Bacillus velezensis*, antimicrobial activity, biosurfactant

บทคัดย่อ

การศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาฤทธิ์ของ *Bacillus velezensis* ในการยับยั้ง *Xanthomonas oryzae* pv. *oryzae* เชื้อแบคทีเรียสาเหตุโรคขอบใบแห้ง และ *Pyricularia oryzae* เชื้อราสาเหตุโรคใบไหม้ ซึ่งเป็นจุลินทรีย์ก่อโรคที่สำคัญในข้าว และการผลิตสารลดแรงตึงผิวทางชีวภาพของ *Bacillus velezensis* โดย *B. velezensis* ทั้ง 7 ไอโซเลต ที่ทดสอบแสดงฤทธิ์ต้าน *X. oryzae* pv. *oryzae* และ *P. oryzae* เมื่อทดสอบโดยวิธี spot on lawn assay, agar well assay และ dual cultures การตรวจสอบความสามารถในการผลิตสารลดแรงตึงผิวชีวภาพ โดยใช้ความไม่ชอบน้ำของเซลล์ กิจกรรมการเกิดอิมัลชัน และยีนที่เกี่ยวข้องกับการสร้างสาร cyclic lipopeptides (cLPs) ผลการยึดเกาะของเซลล์แบคทีเรียกับเฮกซาเดเคน และการเกิดอิมัลชันของน้ำมันมะกอกยืนยันว่าแบคทีเรีย *B. velezensis* ทั้ง 7 ไอโซเลต สามารถผลิตสารลดแรงตึงผิวทางชีวภาพได้ นอกจากนี้ยังตรวจพบ PCR products ของยีนที่เกี่ยวข้องกับการสังเคราะห์ cLPs 6 ชนิด ซึ่งประกอบด้วย *SUR3, srfA, ituD, ituC, fenD* และ *bmyB* ที่ควบคุมการผลิตสารลดแรงตึงผิวทางชีวภาพที่ยับยั้งจุลินทรีย์ ได้แก่ surfactin, iturin, fengycin และ bacillomycin ในการทดสอบความปลอดภัยของ *B. velezensis* ใช้การทดสอบความไวต่อยาปฏิชีวนะ พบว่า *B. velezensis* ที่ใช้ในการศึกษาไวต่อยาปฏิชีวนะ penicillin, ciprofloxacin, tetracyclin, tigecyclin และ vancomycin อีกทั้ง *B. velezensis* ยังไม่อยู่ในทะเบียนรายชื่อเชื้อก่อโรคในคนและสัตว์ ตามพระราชบัญญัติเชื้อโรคและพิษจากสัตว์ พ.ศ. 2558 ผลการทดลองนี้สามารถบ่งชี้ว่า *B. velezensis* มีประโยชน์และปลอดภัยสำหรับเป็นสารควบคุมชีวภาพทางการเกษตร

คำสำคัญ: จุลินทรีย์ก่อโรคข้าว *Bacillus velezensis* ฤทธิ์ต้านจุลินทรีย์ สารลดแรงตึงผิวทางชีวภาพ

คำนำ

โรคข้าวที่ทำให้ผลผลิตของข้าวลดลดมาก คือ โรคไหม้และโรคขอบใบแห้ง โดยโรคไหม้ทำให้ผลผลิตของข้าวลดลงกว่า 50 เปอร์เซนต์ สามารถเข้าทำลายข้าวได้ตั้งแต่ระยะกล้าจนถึงระยะออกรวง มีสาเหตุมาจากเชื้อรา *Pyricularia oryzae* ส่วนโรคขอบใบแห้งเกิดจากแบคทีเรีย *Xanthomonas oryzae* pv. *oryzae* สามารถเข้าทำลายข้าวได้ตั้งแต่ระยะต้นกล้าจนถึงออกรวง (Division of Rice Research and Development, 2016) ในการป้องกันการเกิดโรคข้าว เกษตรกรมักใช้สารเคมีในการควบคุมโรค ซึ่งหากใช้ในปริมาณที่มากและระยะเวลานาน จะเป็นอันตรายต่อสิ่งแวดล้อมและเกษตรกรผู้ใช้เอง ดังนั้นจึงได้มีการหาวิธีลดการใช้สารเคมีที่สามารถให้ผลในระยะยาวได้ โดยการนำแบคทีเรีย *Bacillus* มาควบคุมการเกิดโรคข้าวโดย *Bacillus* เป็นแบคทีเรียแกรมบวก รูปร่างท่อน ไม่สร้างสปอร์ เป็นแบคทีเรียที่สามารถส่งเสริมการเจริญเติบโตของพืชได้ทั้งกลไกทางตรงและทางอ้อม ได้แก่ 1) Phytostimulation โดยการสร้างฮอร์โมนพืช เช่น cytokine และ indole acetic acid 2) สร้างสารประกอบอินทรีย์ระเหย volatile organic compounds เช่น 2,3-butanediol, acetoin, 1-octen-3-ol, butyrolactone ซึ่งอาจมีฤทธิ์ยับยั้งการเจริญของเชื้อจุลินทรีย์ก่อโรคพืช 3) สร้างสาร

lipopeptide เช่น bacillomycin, fengycin, iturin A ซึ่งมีฤทธิ์ยับยั้งการเจริญของเชื้อจุลินทรีย์อื่น และ 4) Induced systemic resistant เช่น ในกรณีของโรคกาบใบแห้งของข้าวที่มีสาเหตุจาก *Rhizoctonia solani* เชื้อ *B. subtilis* สร้างสารที่กระตุ้นให้ต้านทาน คือ Jasmonic acid (JA), ethylene (ET), abscisic acid (ABA), auxin signaling, Peroxidase (PO), polyphenol oxidase (Shafi *et al*., 2017)

สำหรับฤทธิ์ในการยับยั้งเชื้อจุลินทรีย์ก่อโรคพืชของ *B. velezensis* มีรายงานว่าเกิดจากการสร้างสารทุติยภูมิ เนื่องจาก Chen *et al*. (2020) ได้รายงานว่า *B. velezensis* ZW-10 มีศักยภาพในการยับยั้งเชื้อรา *Magnaporthe oryzae* สาเหตุโรคไหม้ในข้าว ส่วน supernatant ของ *B. velezensis* ZW-10 สามารถยับยั้งเชื้อได้ โดยเมื่อพิจารณาความสัมพันธ์จากกราฟการเจริญและฤทธิ์การยับยั้ง แสดงให้เห็นว่าฤทธิ์ยับยั้งมีบทบาทจากสารทุติยภูมิ โดยสารทุติยภูมิจาก *B. velezensis* ที่มีฤทธิ์ในการยับยั้งการเจริญของเชื้อจุลินทรีย์ก่อโรคพืช คือ กลุ่มของ cyclic lipopeptides ที่มีคุณสมบัติในการเป็นสารลดแรงตึงผิวทางชีวภาพด้วย เช่น surfactin, bacillomycin-D, fengycin, iturin และ bacillibactin และกลุ่มของ polyketides เช่น macrolactin, bacillaene และ difficidin ซึ่งสารเหล่านี้นอกจากมีฤทธิ์ยับยั้งจุลินทรีย์แล้วยังส่งเสริมการเจริญเติบโตของพืชด้วย (Rabbee *et al*., 2019; Yu *et al*., 2022) ซึ่งคุณสมบัติในการเป็นสารลดแรงตึงผิวทางชีวภาพสามารถประเมินได้จากการศึกษาความไม่ชอบน้ำ และความสามารถในการทำให้เกิด emulsion ได้ (Syahriansyah and Hamzah, 2016; Mouafi *et al*., 2016) รวมถึงการศึกษายีนที่เกี่ยวข้องกับการสร้างสารลดแรงตึงผิวทางชีวภาพเหล่านี้ เช่น *ituA, ituD, bmyB, bmyC, srfAA, fenB, fenD, bacA* และ *bacD* (Zhou *et al*., 2022; Niemhom and Kittiwongwattana, 2023) ในงานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาความสามารถของ *B.* velezensis ที่แยกได้จากไลเคน ในการยับยั้งจุลินทรีย์ก่อโรคข้าวที่จะสามารถเป็นทางเลือกสำหรับเกษตรกร เพื่อใช้ในการจัดการโรคข้าวนอกเหนือจากการใช้สารเคมีการเกษตร และชีวภัณฑ์ที่มีขายตามท้องตลาดในปัจจุบัน

อุปกรณ์และวิธีการ

การทดสอบความสามารถของเชื้อแบคทีเรีย *Bacillus velezensis* ในการยับยั้งเชื้อแบคทีเรียสาเหตุโรคขอบใบแห้ง *Xanthomonas oryzae* pv. *oryzae*

ทดสอบด้วยเทคนิค spot on lawn โดยทำการเพาะเลี้ยงเชื้อแบคทีเรีย *X. oryzae* pv. *oryzae* ในอาหารเหลว Nutrient Glucose Broth (NGB) ที่อุณหภูมิห้อง เขย่าที่ความเร็วรอบ 120 rpm นาน 2 วัน นำมาปรับความขุ่นให้ได้ค่าการดูดดลืนแสงที่ความยาวคลื่น 600 nm เท่ากับ 0.5 นำไปทาลงบนผิวหน้าอาหาร Nutrient Glucose Agar (NGA) ตั้งทิ้งไว้ 5–10 นาที นำเชื้อแบคทีเรีย *B. velezensis* (Klayraung *et al*., 2017) ที่เพาะเลี้ยงในอาหารเหลว Tryptone Soya Broth (TSB) (Himedia, India) นาน 24 ชั่วโมง ปริมาตร 2 µl หยดลงผิวหน้าอาหาร รอให้ของเหลวซึมลงผิวหน้าวุ้นจนแห้ง นำไปบ่มที่อุณหภูมิห้อง นาน 3 วัน บันทึกผลบวกเป็นค่าดัชนีการยับยั้งแบคทีเรีย (Antibacterial Index; ABI) ด้วยอัตราส่วนขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของวงใส และโคโลนี

ทดสอบประสิทธิภาพในการยับยั้งเชื้อ *X. oryzae* pv. *oryzae* โดยสารทุติยภูมิด้วยวิธี agar well diffusion โดยนำสารแขวนลอยแบคทีเรีย *B. velezensis* ที่เตรียมไว้เช่นเดียวกับข้างต้น นำมาปั่นเหวี่ยงที่ความเร็วรอบ 10,000 rpm เก็บส่วนใส ทำให้ปราศจากเชื้อโดยการกรองผ่านเมมเบรนรูพรุน 0.2 µm ก่อนนำไปทดสอบ และเตรียมเชื้อแบคทีเรีย *X. oryzae* pv. *oryzae* บนอาหาร NGA เจาะอาหารให้เป็นหลุมโดยใช้ glass pasteur pipette ด้านบน ให้ได้หลุมซึ่งมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 6 มม. จากนั้นนำ supernatant ที่เตรียมไว้ปริมาตร 25 µl เติมลงไปในหลุมที่เจาะไว้ บ่มที่

อุณหภูมิห้อง นาน 3 วัน สังเกตการยับยั้งจากบริเวณใส แล้ววัดเส้นผ่านศูนย์กลางของบริเวณใสที่เกิดขึ้น

การทดสอบความสามารถของเชื้อแบคทีเรีย *B. velezensis* ในการยับยั้งเชื้อรา *Pyricularia oryzae*

ทดสอบความสามารถของเชื้อแบคทีเรีย *B. velezensis* ในการยับยั้งเชื้อรา *P. oryzae* ด้วยวิธี dual culture นำเชื้อ *B. velezensis* ที่เพาะเลี้ยงในอาหารเหลว TSB ปริมาตร 5 µl หยดลงบนผิวหน้าอาหาร Potato Dextrose Agar (PDA) จากนั้นนำ glass pasteur pipette ที่ผ่านการฆ่าเชื้อแล้ว เจาะวุ้นที่มีเชื้อรา *P. oryzae* ให้มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 6 มม. และวางบนอาหาร PDA อีกด้าน ให้มีระยะห่างระหว่างเชื้อแบคทีเรีย *B. velezensis* ที่ศึกษา กับเชื้อรา *P. oryzae* เป็นระยะ 3 ซม. บ่มที่อุณหภูมิห้อง นาน 7 วัน วัดความยาวรัศมีของโคโลนีเชื้อราทดสอบ (fungal growth) เทียบกับเชื้อราควบคุมที่เจริญบนจานอาหารที่ไม่ปลูกเชื้อแบคทีเรียทดสอบ (fungal control growth) จากนั้นนำมาหาค่าเปอร์เซ็นต์การยับยั้งการเจริญของเส้นใย พร้อมนำมาหาเปอร์เซ็นต์ในการยับยั้งจากสูตร

$$\text{Mycelium growth inhibition (\%)} = \frac{(\text{fungal control growth} - \text{fungal growth})}{\text{fungal control growth}} \times 100$$

จากนั้นจึงนำไปทดสอบประสิทธิภาพในการยับยั้ง *P. oryzae* โดยสารทุติยภูมิ ด้วยวิธี agar well diffusion ด้วยการเจาะอาหาร MPDA ด้วย glass pasteur pipette ที่ฆ่าเชื้อแล้ว และนำ supernatant ของเชื้อที่เพาะเลี้ยงในอาหารเหลว TSB นาน 3 วัน เช่นเดียวกับที่ทดสอบ *X. oryzae* pv. *oryzae* เมื่อใช้วิธี agar well diffusion โดยดูด supernatant ปริมาตร 25 µl เติมลงไปในหลุมที่เจาะไว้ วางชิ้นวุ้นที่มีเชื้อรา *P. oryzae* บนอาหารด้านตรงข้าม ให้มีระยะห่างระหว่างเชื้อรากับหลุม 3 ซม. บ่มที่อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 7 วัน ทำการวัดขนาดการเจริญของเส้นใยเพื่อนำมาหาค่าเปอร์เซ็นต์การยับยั้งดังสูตรข้างต้น

การทดสอบกิจกรรมที่เกี่ยวข้องกับการสร้างสารลดแรงตึงผิวทางชีวภาพ

1) การทดสอบความไม่ชอบน้ำของเซลล์ (cell hydrophobicity) ด้วยวิธี Bacterial Adhesion to Hydrocarbons (BATH) assay

ปรับความขุ่นของตะกอนเซลล์ *B. velezensis* โดยการเจือจางด้วยสารละลาย 50 mM phosphate buffer pH7.4 วัดความขุ่นด้วยเครื่อง spectrophotometer (SP-830, Metertech, Taiwan) ที่ความยาวคลื่น A610 nm ให้ได้ประมาณ 0.5 ± 0.05 (A_0) และดูดใส่หลอดทดลองปริมาตร 1.2 ml เติม hydrocarbon โดยใช้ hexadecane (Sigma, Germany) ปริมาตร 2 ml ตั้งทิ้งไว้อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 10 นาที ผสมให้เข้ากันโดยใช้เครื่อง vortex mixer ปั่นเป็นเวลา 2 นาที ตั้งทิ้งไว้อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 15 นาที นำส่วนน้ำที่อยู่ด้านล่างหลอดไปวัดค่า A610 nm (A) บันทึกผลความไม่ชอบน้ำของแบคทีเรีย คำนวณโดยใช้สูตร

$$\%\ cell\ hydrophobicity = \left(1 + \frac{A}{Ao}\right) x\ 100$$

2) การทดสอบความสามารถในการเกิด emulsion ของเชื้อแบคทีเรียด้วยการหาค่า emulsification index (E24)

การหาค่า E24 ของเชื้อแบคทีเรีย *B. velezensis* โดยเลี้ยงเชื้อแบคทีเรียในอาหารเหลว TSB ที่อุณหภูมิห้อง เขย่าที่ 120 rpm นาน 3 วัน ปั่นเหวี่ยงเพื่อเก็บส่วนใสด้วยความเร็วรอบ 10,000 rpm นาน 5 นาที นำส่วนใส 2 ml ผสมน้ำมันมะกอกธรรมชาติ (Bertolli, Italy) 2 ml ผสมให้เข้ากันด้วย vortex mixer 2 นาที ตั้งทิ้งไว้ 24 ชั่วโมง เพื่อตรวจสอบการปลดปล่อยสาร

ในกลุ่มcyclic lipopeptide โดย 0.5% Sodium Dodecyl sulfate (SDS) เป็น positive control และใช้น้ำกลั่นและอาหาร TSB เป็น negative control คำนวณหาค่าดัชนี E24 โดยสูตร

$$E24\ (\%) = \frac{\text{height of emulsion layer}}{\text{height of liquid column}} \times 100$$

3) ตรวจยีนที่เกี่ยวข้องกับการสร้างสารปฏิชีวนะ และยีนที่เกี่ยวข้องกับการสร้างสารลดแรงตึงผิวของ *Bacillus* ได้แก่ surfactin, fengycin, iturin และ bacillomycin โดยอ้างอิง primers และสภาวะที่ใช้ในการทำปฏิกิริยา polymerase chain reaction (PCR) จากงานวิจัยของ Mora *et al*. (2015); Nanjundan *et al*. (2019); Plaza *et al*. (2015) โดยสกัดดีเอ็นเอแบคทีเรีย *Bacillus* ที่ต้องการตรวจ โดยชุดสกัด DNA สำเร็จรูป PureDirex Genomic DNA Isolation Kit (BIO-HELIX, Taiwan) ทำการเพิ่มปริมาณดีเอ็นเอของยีนที่เกี่ยวข้องกับ cyclic lipopeptide (**Table 1**) ด้วยเทคนิค Polymerase Chain Reaction (PCR) ด้วยเครื่องพีซีอาร์ Major cycler (Major science, Taiwan) การตรวจผลผลิตดีเอ็นเอจากปฏิกิริยา PCR โดยวิธี agarose gel electrophoresis ใน 1.5% Agarose gel ซึ่งผสม SYBR® Safe DNA gel stain (Invitrogen, Canada) รันเจลโดยเครื่อง Electrophoresis (Majorscience, Taiwan) เติม 1xTAE buffer (Invitrogen, Canada) อ่านผลด้วยเครื่อง UltraSlim® LED illuminator (Mastrogen, Taiwan)

Table 1 Specific primers for cyclic lipopeptides (cLPs) production

cLPs	Genes	Primers	Base sequces (5′→3′)	Ta (°C)
Surfactin	*SUR3*	SUR3F	ACAGTATGGAGGCATGGTC	56.8
		SUR3R	TTCCGCCACTTTTTCAGTTT	
	srfAA	SRFAF	TCGGGACAGGAAGACATCAT	60.4
		SRFAR	CCACTCAAACGGATAATCCTGA	
Iturin	*ituD*	ITUD1F	GATGCGATCTCCTTGGATGT	58
		ITUD1R	ATCGTCATGTGCTGCTTGAG	
	ituC	ITUCF	GGCTGCTGCAGATGCTTTAT	60.1
		ITUCR	TCGCAGATAATCGCAGTGAG	
Bacillomycin	*bymB*	BMYBF	GAATCCCGTTGTTCTCCAAA	59.9
		BMYBR	GCGGGTATTGAATGCTTGTT	
Fengicin	*fenD*	FENDF	GGCCCGTTCTCTAAATCCAT	60.1
		FENDR	GTCATGCTGACGAGAGCAAA	

การทดสอบด้านความปลอดภัยของเชื้อ *B. velezensis*

ศึกษารูปแบบในการดื้อต่อยาปฏิชีวนะ ด้วย disc diffusion method (CLSI, 2010) โดยกรณีของ *Bacillus* ใช้สาร Penicillin (10 μg/disc), Ciprofloxacin (5 μg/disc), Tetracyclin (30 μg/disc), Tigecyclin (15 μg/disc), และ Vancomycin (30 μg/disc) (Himedia, India) ทำการทดสอบบนอาหาร Blood agar (Biomedia, Thailand) นำแผ่นยาแต่ละชนิด วางบนผิวหน้าอาหารที่ทำการทดสอบ 3 ซ้ำ บ่มที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส นาน 24–48 ชั่วโมง สังเกตบริเวณยับยั้งเชื้อแบคทีเรียและวัดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของวงใส นำมาหาค่าเฉลี่ยและเทียบกับค่ามาตรฐาน เพื่อสรุปว่า Susceptible (S) คือ ไวต่อการยับยั้งของยา Intermediate (I) คือ ไวต่อการยับยั้งของยาบางส่วน และ Resistant (R) คือต้านทานต่อยา (Weber *et al*., 1988) นอกจากนี้ตรวจเทียบระดับความปลอดภัยทางชีวภาพจากระดับความเสี่ยง (1-4) ของเชื้อแบคทีเรีย ตามประกาศกระทรวงสาธารณสุข เรื่อง รายการเชื้อโรคที่ประสงค์ควบคุมตามมาตรา 18 พ.ศ. 2561 (Royal Thai Government Gazette, 2018)

การวิเคราะห์ทางสถิติ

ในแต่ละการทดลองทำ 3 ซ้ำ วิเคราะห์ความแตกต่างของค่าเฉลี่ยด้วย Duncan's Multiple Range Test โดยโปรแกรม IBM SPSS Statistics version 29.0

ผลการวิจัย

ผลการทดสอบฤทธิ์ยับยั้งเชื้อแบคทีเรียสาเหตุโรคขอบใบแห้ง *X. oryzae* pv. *oryzae* ของเชื้อแบคทีเรีย *B. velezensis*

จากการทดสอบความสามารถของ *B. velezensis* ในการยับยั้งเชื้อแบคทีเรีย *X. oryzae* pv. *oryzae* สาเหตุโรคขอบใบแห้งในข้าว โดยเฉพาะกลุ่มที่แยกได้จากไลเคน (Klayraung *et al.*, 2017) พบว่าเชื้อ *B. velezensis* ที่ให้ผลบวกในการยับยั้งแบคทีเรียได้ทั้งจากการทดสอบโดยใช้วิธี spot on lawn และ agar well diffusion ซึ่งจากการทดสอบโดย spot on lawn มีดัชนีการยับยั้งตั้งแต่ 1.86–8.12 (**Table 2, Figure 1 A**) ซึ่งเชื้อ *B. velezensis* LC130 สามารถยับยั้งเชื้อ *X. oryzae* pv. *oryzae* ได้ดีที่สุด โดยมีดัชนีการยับยั้ง คือ 8.12

หลังจากนั้นนำเชื้อแบคทีเรียที่ให้ผลบวกในการทดสอบเหล่านี้มาทดสอบประสิทธิภาพในการยับยั้งเชื้อ *X. oryzae* pv. *oryzae* โดยสารทุติยภูมิโดยใช้ supernatant ของเชื้อที่เพาะเลี้ยงในอาหารเหลว TSB นาน 3 วัน โดยวิธี agar well diffusion พบว่า supernatant ของเชื้อ *B. velezensis* ทั้ง 7 ไอโซเลต แสดงบริเวณยับยั้งเกิดขึ้นรอบหลุม ที่เติม supernatant (**Figure 1B**) มีค่าเฉลี่ยความกว้างของบริเวณยับยั้ง 17.13–43.87 มม. โดยเชื้อ *B. velezensis* ไอโซเลต LC1, LC2, LC19, LC70 และ LC130 มีค่าสูงกว่า LC33 และ LC33.1 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 หรือที่ระดับความเชื่อมั่น 95% (**Table 2**)

Table 2 Antibacterial activity of *B. velezensis* against *X. oryzae* pv. *oryzae*

B. velezensis	Accession no.	Antibacterial activity against *Xoo*	
		Spot on lawn (ABI)*	Agar well assay (DCZ)**
LC1	KY084550	3.73[b]	41.40[a]
LC2	KY084550	6.65[a]	43.87[a]
LC19	CP014990	2.55[b]	43.87[a]
LC33	CP014990	6.93[a]	24.80[b]
LC33.1	MT649755	7.01[a]	17.13[c]
LC70	KX673635	1.86[b]	42.80[a]
LC130	KY084550	8.12[a]	39.03[a]

* ABI means antibacterial activity index. ** DCZ means diameter of clear zone in mm.

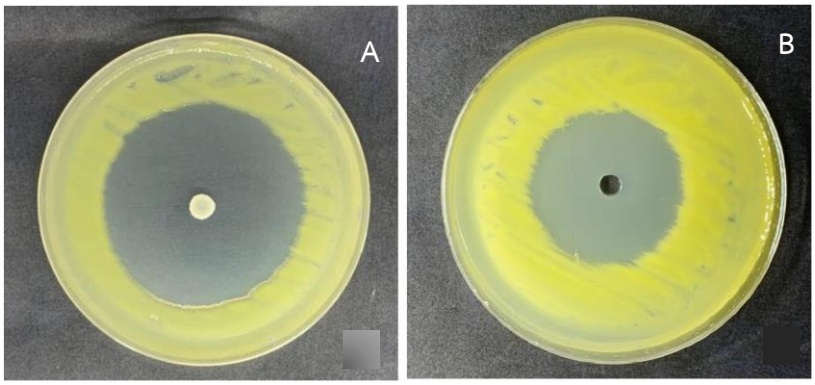


Figure 1 Clear zone of antibacterial activity against *X. oryzae* pv. *oryzae* of *B. velezensis* LC130 by spot on lawn (A) and agar well diffusion assays

ผลการทดสอบฤทธิ์ยับยั้งเชื้อรา *P. oryzae* ของเชื้อแบคทีเรีย *B. velezensis*

สำหรับการทดสอบฤทธิ์ยับยั้งเชื้อรา *Pyricularia oryzae* สาเหตุโรคไหม้ในข้าว เมื่อทดสอบด้วยเทคนิค dual cultures พบว่า เชื้อ *B. velezensis* ทั้ง 7 ไอโซเลต ที่สามารถยับยั้ง *X. oryzae* pv. *oryzae* สามารถยับยั้ง *P. oryzae* ได้เช่นกัน โดยคิดเป็นเปอร์เซ็นต์ยับยั้งการเจริญ 24.67–58.79%

นอกจากนี้ได้มีการทดสอบประสิทธิภาพในการยับยั้ง *P. oryzae* โดยสารทุติยภูมิ โดยใช้ supernatant ของเชื้อที่เพาะเลี้ยงในอาหารเหลว TSB นาน 3 วัน เช่นเดียวกับที่ทดสอบ *X. oryzae* pv. *oryzae* เมื่อใช้วิธี agar well diffusion พบว่าจาก 7 ไอโซเลตที่ให้ผลบวกในขั้นตอนการทดสอบ dual culture มีเพียง 4 ไอโซเลต ที่ supernatant สามารถยับยั้ง *P. oryzae* ได้ (**Figure 2**) ได้แก่ LC2, LC19, LC33 และ LC33.1 โดยคิดเป็นเปอร์เซ็นต์ยับยั้งการเจริญเพียง 11.89–31.64% (**Table 3**) โดย supernatant ของ *B. velezensis* LC19 มีประสิทธิภาพสูงสุดในการทดสอบขั้นตอนนี้

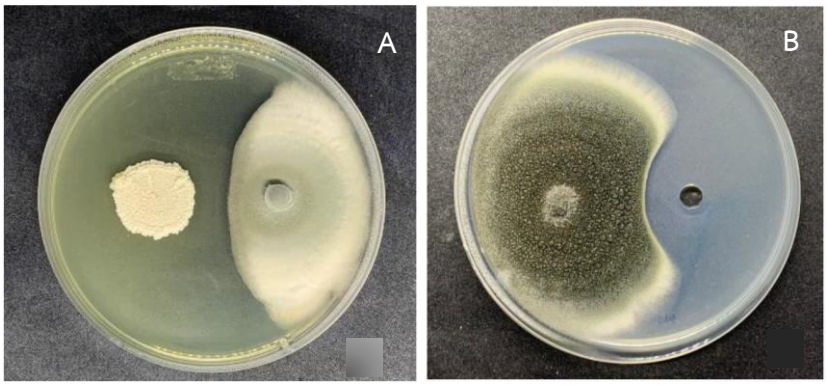


Figure 2 Mycelial growth inhibition on *P. oryzae* by *B. velezensis* LC1 (A) and supernatant of *B. velezensis* LC19 (B)

Table 3 Mycelial growth inhibition of *Pythium oryzae* by *Bacillus velezensis* using dual culture and agar well diffusion methods

B. velezensis	Percentage of mycelial growth inhibition	
	Dual culture	Agar well assay
LC1	58.79±4.5a	-
LC2	57.68±1.34a	11.89±1.47b
LC19	28.41±2.61c	31.64±0.22a
LC33	56.19±1.29ab	12.96±1.37b
LC33.1	49.38±6.39b	16.63±6.78b
LC70	52.97±0.93ab	-
LC130	19.31±1.56d	-

ผลการศึกษาการผลิตสารลดแรงตึงผิวทางชีวภาพของเชื้อ *B. velezensis* ผลการทดสอบ cell hydrophobicity ด้วยวิธี BATH assay

ผลการทดสอบความไม่ชอบน้ำของเซลล์ (cell hydrophobicity) ด้วย BATH assay โดยใช้ hexadecane เพื่อยืนยันการผลิตสารลดแรงตึงผิวทางชีวภาพ พบว่า *B. velezensis* ให้เปอร์เซ็นต์ความไม่ชอบน้ำของเซลล์ 4.10–46.86 (**Figure 4**) โดยไอโซเลตที่ให้ค่าความไม่ชอบน้ำของเซลล์สูงที่สุด คือ *B. velezensis* LC1 ซึ่งการไม่ชอบน้ำของเซลล์สามารถใช้เป็นข้อบ่งชี้การผลิตสารลดแรงตึงผิวทางชีวภาพของแบคทีเรียได้

ผลการทำให้เกิด emulsion ของเชื้อ *B. velezensis*

กิจกรรมการเกิด emulsion โดยใช้น้ำมันมะกอก ของ *B. velezensis* ทั้ง 7 ไอโซเลต แสดงด้วยค่า E24 พบว่า *B. velezensis* จำนวน 6 ไอโซเลต มีค่าเฉลี่ย E24 สูงกว่า negative control ยกเว้น *B. velezensis* LC2 ที่มีค่าต่ำกว่า คือ 37.30% ในขณะที่อีก 6 ไอโซเลตนั้น

มีค่าอยู่ในช่วง 38.97–51.92% ดังแสดงใน **Figure 5** แต่อย่างไรก็ดี supernatant ของ *B. velezensis* ทั้งหมดมีค่าเฉลี่ย E24 ต่ำกว่า positive control คือ 0.5% SDS ที่มีค่าถึง 62.42% จากผลการทดลองนี้ *B. velezensis* ไอโซเลตที่แสดงค่าเฉลี่ย E24 สูงกว่าไอโซเลตอื่นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 คือ LC1, LC19 และ LC70 ซึ่งอาจระบุได้ว่าเชื้อ *B. velezensis* มีการปลดปล่อยสารในกลุ่ม cyclic lipopeptides ออกมา

ผลการตรวจยีนที่เกี่ยวข้องกับการสร้างสารลดแรงตึงผิวทางชีวภาพในกลุ่ม cyclic lipopeptide

จากผลการทดสอบลักษณะเบื้องต้นในการผลิตสารลดแรงตึงผิวชีวภาพซึ่งเป็นสารทุติยภูมิที่มีบทบาทสำคัญในการยับยั้งเชื้อจุลินทรีย์ก่อโรคพืช ในขั้นตอนนี้จึงได้ทำการตรวจยีนที่เกี่ยวข้องที่ข้องกับสารลดแรงตึงผิวชีวภาพที่มีรายงานการตรวจพบในแบคทีเรีย *Bacillus* โดยเฉพาะกลุ่มของ cyclic lipopeptides ได้แก่ *srfA* และ *SUR3* ซึ่งเกี่ยวข้องกับการสร้าง surfactin ยีน *fenD* เกี่ยวข้องกับการสร้าง fengycin ยีน *ituD* และ *ituC* เกี่ยวข้องกับการสร้าง iturin และ *bmyB* ที่สัมพันธ์กับการสร้าง bacillomycin รวมเป็น 6 ยีน ที่ใช้ในการศึกษา พบว่า เชื้อ *B. velenzensis* ทั้ง 7 ไอโซเลต ตรวจพบยีน 5 ยีน ได้แก่ *srfA*, *SUR3*, *ituD*, *fenD* และ *bmyB* (**Figure 5A-C, E-F**) โดยมีขนาดของ PCR product เท่ากับ 201, 441, 647, 201 และ 370 bp ตามลำดับ ส่วน ยีน *ituC* นั้นตรวจพบเพียง 3 ไอโซเลต ได้แก่ *B. velenzensis* LC1, LC2 และ LC130 มีขนาดของ PCR product 423 bp (**Figure 5D**)

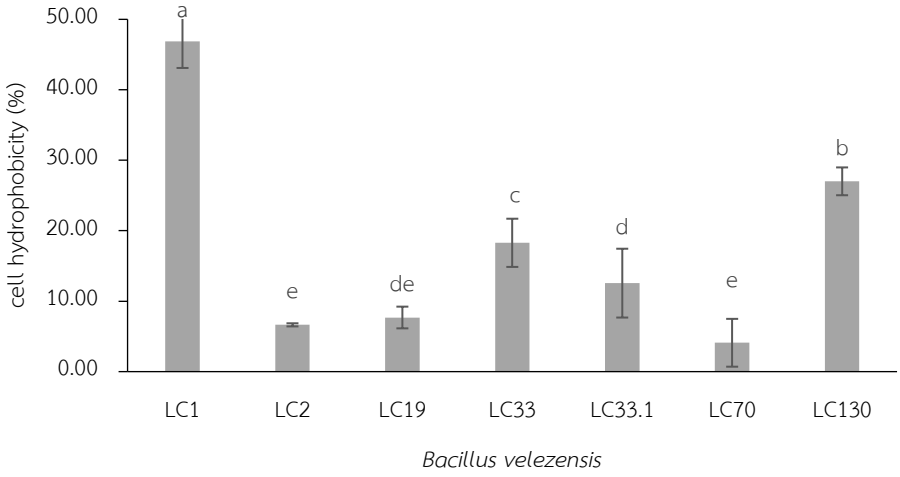


Figure 3 Cell hydrophobicity of *B. velezensis* by BATH assay

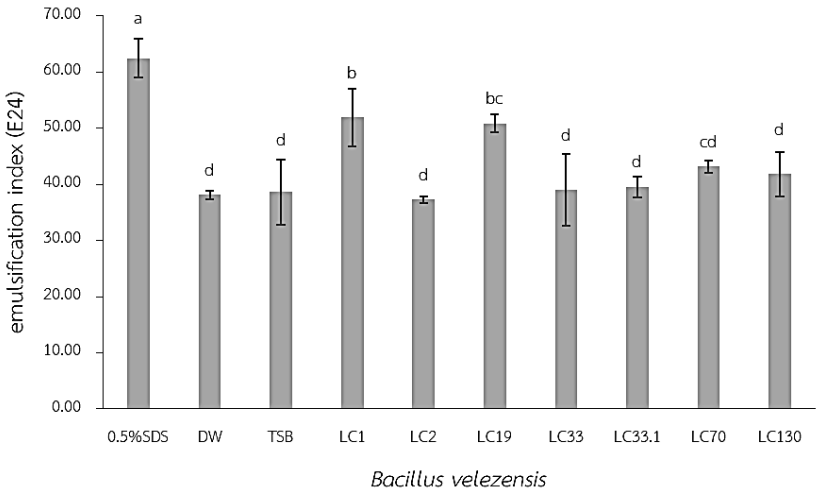


Figure 4 Emulsion index of *B. velezensis* supernatant

ผลการศึกษาความปลอดภัยของเชื้อ *B. velezensis*

ได้เปรียบเทียบชื่อเชื้อแบคทีเรียกับประกาศกระทรวงสาธารณสุข เรื่อง รายการเชื้อโรคที่ประสงค์ควบคุมตามมาตรา 18 พ.ศ. 2561 พบว่าเชื้อในกลุ่ม *B. velezensis* ไม่ปรากฏในทะเบียนรายชื่อเชื้อก่อโรคในคนและสัตว์ และในการทดสอบความไวต่อยาปฏิชีวนะด้วย disc diffusion method ของ *Bacillus* ตามหลักการของ Celandroni *et al.* (2016) ใช้สาร Penicillin (10 µg/disc), Ciprofloxacin (5 µg/disc), Tetracyclin (30 µg/disc), Tigecyclin (15 µg/disc), และ Vancomycin (30 µg/disc) ไม่พบว่าเชื้อ *B. velezensis* ที่ใช้ในการศึกษาดื้อต่อยาดังกล่าว

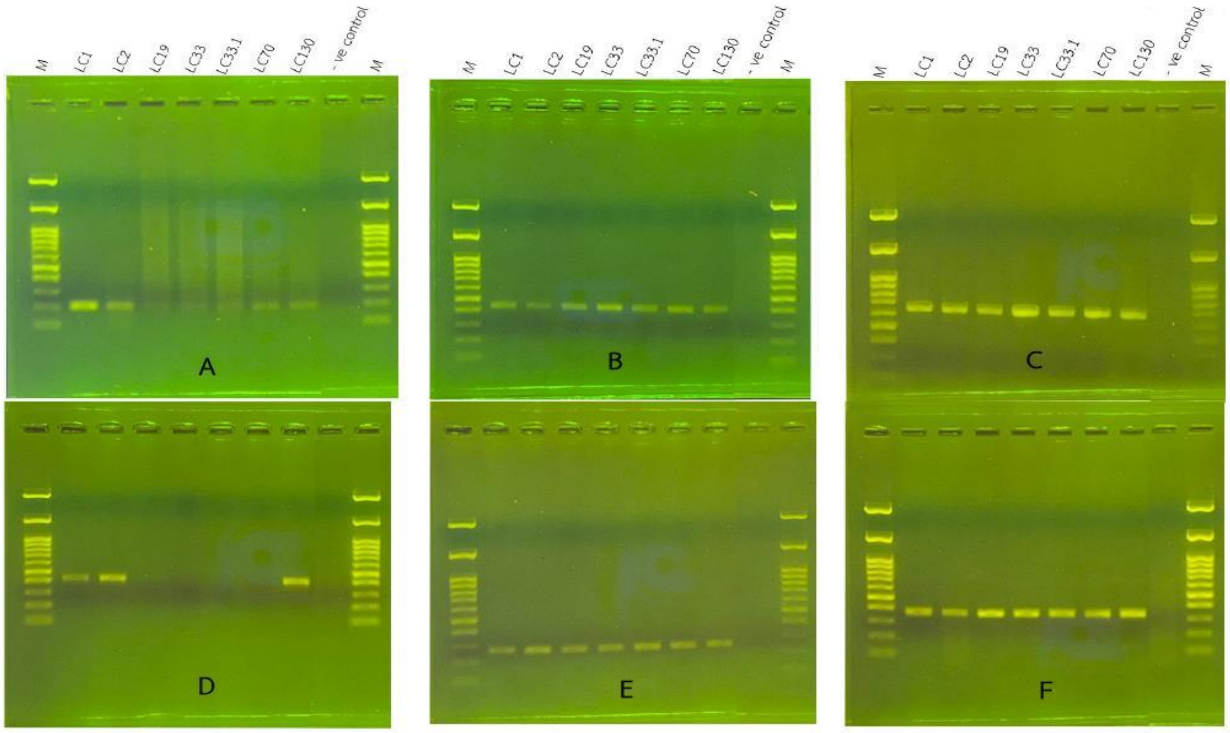


Figure 5 PCR products of specific primers for *srfA* (A), *SUR3* (B), *ituD* (C), *ituC* (D), *fenD* (E) and *bmyB* (F) genes

วิจารณ์ผลการวิจัย

จากการวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์สำคัญในการใช้แบคทีเรีย *Bacillus velezensis* เพื่อควบคุมโรคขอบใบแห้งซึ่งมีสาเหตุจากชื้อแบคทีเรีย *Xanthomonas oryzae* pv. *oryzae* และ โรคไหม้ในข้าว ซึ่งเกิดจากเชื้อรา *Pyricularia oryzae* โดยในงานวิจัยนี้มี *B. velezensis* จำนวน 7 ไอโซเลต ซึ่ง *B. velezensis* เป็นแบคทีเรียที่มีรายงานการใช้ประโยชน์ทางการเกษตรทั้งในส่วนของของการควบคุมโรคพืช และส่งเสริมการเจริญเติบโตของพืช รวมถึงในข้าวด้วย โดย *B. velezensis* เป็นสปีชีส์ที่ถูกจัดจำแนกใหม่ของ *B. methylotrophicus, B. amyloliqueciens* subsp. *plantarum* และ *B. oryzicola* (Ye *et al*., 2018)

สำหรับฤทธิ์ในการยับยั้งเชื้อจุลินทรีย์ก่อโรคพืชของ *B. velezensis* มีรายงานว่าเกิดจากการสร้างสารทุติยภูมิ ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยในครั้งนี้ คือ supernatant ของ *B. velezensis* อายุ 72 ชั่วโมง ที่มีฤทธิ์ยับยั้ง *X. oryzae* pv. *oryzae* และ *P. oryzae* โดย Lim *et al.* (2017) และ Chen *et al*. (2020) ได้รายงานว่า supernatant ของ *B. velezensis* สามารถยับยั้งเชื้อราก่อโรคพืชรวมทั้ง *Magnaporthe oryzae* สาเหตุโรคไหม้ในข้าว เมื่อพิจารณาความสัมพันธ์จากกราฟการเจริญและฤทธิ์การยับยั้ง แสดงให้เห็นว่าฤทธิ์ยับยั้งนี้มีบทบาทจากสารทุติยภูมิ จากการวิเคราะห์พบว่ากลุ่มสารละลายน้ำได้ คือ bacillomycin L และ fengycin A อีกทั้งจากงานวิจัยของ Yu *et al*. (2022) ยังรายงานว่า *B. velezensis* YA215 ซึ่งแยกได้จากป่าชายเลนมีการผลิตสารชีวโมเลกุลในกลุ่มของ lipopeptides ทั้ง surfactin, iturin และ fengycin ซึ่งสารในกลุ่มของ lipopeptides มีคุณสมบัติในการเป็นสารลดแรงตึงผิวทางชีวภาพ ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงได้มีการศึกษาความไม่ชอบน้ำ (BATH assay) และความสามารถในการเกิด E24 (emulsification index, E24) ซึ่งผลจาก BATH assay *B. velezensis* ให้เปอร์เซ็นต์ความไม่ชอบน้ำของเซลล์ 4.10–46.86% ส่วนค่า E24 มีค่าอยู่ในช่วง 38.97–51.92% ซึ่งจากงานวิจัยของ Syahriansyah and Hamzah (2016) และ Mouafi *et al.* (2016) ซึ่งตรวจสอบความสามารถในการเกิด E24 ของ *B. subtilis* และ *B. brevis* เพื่อระบุความสามารถในการผลิตสารลดแรงตึงผิวทางชีวภาพ พบว่ามีค่า E24 เพียง 17 และ 46.60% ตามลำดับ

นอกจากนี้จากการตรวจสอบยีนจำเพาะที่เกี่ยวข้องกับการสังเคราะห์ cyclic lipopeptides ได้แก่ *SUR3, srfA, ituD, ituC, fenD* และ *bmyB* ที่ควบคุมการผลิต surfactin, iturin, fengycin และ bacillomycin พบว่า *B. velezensis* ที่มีฤทธิ์ยับยั้ง *X. oryzae* pv. *oryzae* และ *P. oryzae* ตรวจพบยีนทั้ง 6 นี้ เช่นเดียวกับงานวิจัย Zhou *et al.* (2022) ได้รายงานการศึกษาความสามารถในการยับยั้งจุลินทรีย์ก่อโรคในข้าว โดยเชื้อ *B. velezensis* ซึ่งแยกได้จากราก *Boldostemmatis* ในการยับยั้งจุลินทรีย์ก่อโรคในข้าวที่สำคัญ *Magnaporthe oryzae* และ *X. oryzae* pv. *oryzae* ซึ่งตรวจพบยีนที่เกี่ยวข้องกับการสร้าง lipopeptides ได้แก่ *ituA, ituD, bmyB, bmyC, srfAA, fenB, fenD, bacA* และ *bacD* ดังนั้น *B. velezensis* จึงอาจมีการสร้าง lipopeptides ทั้ง 3 กลุ่มคือ surfactin, iturin และ fengycin นอกจากนี้ Niemhom and Kittiwongwattana (2023) ได้รายงานการแสดงออกของยีนแบคทีเรีย *B. velezensis* 2211 ที่สามารถยับยั้งการเจริญของเส้นใยของเชื้อรา *Pyricularia oryzae* เมื่อเพาะเลี้ยงในอาหาร potato dextrose broth มีการแสดงออกของยีน *bmyA*, *fenB* และ *dhbE* ซึ่งควบคุมการสร้างโปรตีน Bacillomycin D synthetase และ Fengycin

ในการนำแบคทีเรียมาประยุกต์ทางการเกษตร ไม่ว่าจะเป็นการผลิตพืชหรือสัตว์ก็ตาม สิ่งสำคัญที่จะต้องคำนึงถึง คือ สายพันธุ์เหล่านั้นจะต้องปราศจากยีนต้านทานต่อยาปฏิชีวนะ ซึ่งอาจแพร่กระจายไปยังเชื้อแบคทีเรียก่อโรคในสิ่งแวดล้อมได้ อาจก่อให้เกิดปัญหาในการรักษาในมนุษย์หรือสัตว์ด้วยยาปฏิชีวนะนั้น ดังนั้นจำเป็นต้องมีวิธีการทดสอบความไวต่อยาปฏิชีวนะ ซึ่ง

สามารถประเมินระดับการต้านทานต่อยาปฏิชีวนะของเชื้อแบคทีเรียที่จะนำไปใช้งานได้ (Agersø *et al*., 2018) โดยในงานวิจัยนี้ได้ทำการทดสอบความไวต่อยาปฏิชีวนะของเชื้อแบคทีเรีย *B. velezensis* โดยวิธี disc agar diffusion กับยาปฏิชีวนะ 5 ชนิด คือ Penicillin, Ciprofloxacin, Tetracyclin, Tigecyclin และ Vancomycin พบว่าเชื้อ *B. velezensis* ทั้ง 7 ไอโซเลต ไวต่อยาปฏิชีวนะทั้ง 5 ชนิดที่ทดสอบ เช่นเดียวกับงานวิจัย Celandroni *et al*. (2016) และ Luna *et al*. (2007) โดยในงานวิจัยทั้งสองนี้ได้ทำกับเชื้อแบคทีเรีย *Bacillus* หลายสปีชีส์ เช่น *B. anthracis, B. cereus, B. mycoides, B. pseudomycoides* และ *B. thuringiensis* จำนวนทั้งสิ้นมากกว่า 75 ไอโซเลต พบว่าเชื้อ *Bacillus* ที่ทดสอบส่วนใหญ่ดื้อต่อยา penicillin แต่ไวต่อ Ciprofloxacin, Tetracyclin, Tigecyclin และ Vancomycin ซึ่งการรักษาการติดเชื้อแบคทีเรีย *Bacillus* ในโรงพยาบาลใช้ยา Tetracyclin และ Vancomycin ดังนั้นเชื้อ *B. velezensis* ในงานวิจัยครั้งนี้เบื้องต้นจึงมีความปลอดภัยในการนำไปใช้งาน อย่างไรก็ดีจะต้องมีการนำไปตรวจสอบยีนที่เกี่ยวข้องกับการดื้อยาปฏิชีวนะต่อไป

สรุปผลการวิจัย

ในการศึกษาการยับยั้งแบคทีเรีย *Xanthomonas oryzae* pv. *oryzae* และเชื้อรา *Pyricularia oryzae* ของ *B. velezensis* จำนวน 7 ไอโซเลต พบว่าสามารถยับยั้งเชื้อก่อโรคในข้าวทั้ง 2 ชนิด ได้ดี มีความสามารถผลิตสารลดแรงตึงผิวทางชีวภาพได้ จากการตรวจสอบความไม่ชอบน้ำของเซลล์ กิจกรรมการเกิดอิมัลชัน และยีนที่เกี่ยวข้องกับการสร้างสาร cyclic lipopeptides ซึ่งประกอบด้วย *SUR3, srfA, ituD, ituC, fenD* และ *bmyB* ที่ควบคุมการผลิตสารลดแรงตึงผิวทางชีวภาพที่ยับยั้งจุลินทรีย์ ได้แก่ surfactin, iturin, fengycin และ bacillomycin และ *B. velezensis* มีความปลอดภัยทางชีวภาพจากการศึกษาความไวต่อยาปฏิชีวนะ penicillin, ciprofloxacin, tetracyclin, tigecyclin และ vancomycin และการตรวจสอบทะเบียนรายชื่อเชื้อก่อโรคในคนและสัตว์ เชื้อ *B. velezensis* ยังไม่อยู่ในบัญชีรายการเชื้อก่อโรคประกาศกระทรวงสาธารณสุข เรื่อง รายการเชื้อโรคที่ประสงค์ควบคุมตามมาตรา 18 พ.ศ. 2561 ตามพระราชบัญญัติเชื้อโรคและพิษจากสัตว์ พ.ศ. 2558

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับงบประมาณในการวิจัยจากทุนสนับสนุนงานมูลฐานของสถาบันอุดมศึกษา ด้านวิทยาศาสตร์ วิจัยและนวัตกรรม ประจำปีงบประมาณ พ.ศ. 2565 (มจ.1-65-012) และทุนอุดหนุนการทำกิจกรรมส่งเสริมและสนับสนุนการวิจัยและนวัตกรรม จากสำนักงานการวิจัยแห่งชาติ ประจำปี พ.ศ. 2564 (ทุนพัฒนาบัณฑิตศึกษา ปี พ.ศ. 2564)

เอกสารอ้างอิง

Agersø, Y., B. Stuer-Lauridsen, K. Bjerre, M.G. Jensen, E. Johansen, M. Bennedsen, E. Brockmann and B. Nielsen. 2018. Antimicrobial susceptibility testing and tentative epidemiological cutoff values for five Bacillus species relevant for use as animal feed additives or for plant protection. **Applied and Environmental Microbiology** 84(19): e01108–18. https://doi.org/10.1128/AEM.01108-18

Celandroni, F., S. Salvetti, S.A. Gueye, D. Mazzantini, A. Lupetti, S. Senesi and E. Ghelardi. 2016. Identification and pathogenic potential of clinical *Bacillus* and *Paenibacillus* isolates. **PloS one** 11(3): e0152831. https://doi.org/10.1371/journal.pone 0152831

Chen, L., Y.D. Wu, X.Y. Chong, Q.H. Xin, D.X. Wang and K. Bian. 2020. Seed-borne endophytic *Bacillus velezensis* LHSB1 mediate the biocontrol of peanut stem rot caused by *Sclerotium rolfsii.* **Journal of Applied Microbiology** 128(3): 803–813. https://doi.org/10.1111/jam.14508

Division of Rice Research and Development. 2016. **Rice Knowledge Bank: rice diseases and control**. [Online]. Available http://www.ricethailand.go.th/rkb3/title-index.php-file=content.php&id=112-1.htm (July 31, 2022). [in Thai]

Klayraung, S., S. Jariangprasert, P. Niamsup and N. Wongkattiya. 2017. **Isolation and Screening for Biological Activities of Lichen- Associated Bacteria Collected from Agricultural Sites.** 97 p. *In* Research Report. Chiang Mai: Maejo University. [in Thai]

Lim, S.M., M.Y. Yoon, G.J. Choi, Y.H. Choi, K.S. Jang, T.S. Shin and J.C. Kim. 2017. Diffusible and volatile antifungal compounds produced by an antagonistic *Bacillus velezensis* G341 against various phytopathogenic fungi. **The Plant Pathology Journal** 33(5): 488. https://doi.org/10.5423%2FPPJ.OA.04.2017.0073

Luna, V.A., D.S. King, J. Gulledge, A.C. Cannons, P.T. Amuso and J. Cattani. 2007. Susceptibility of *Bacillus anthracis, Bacillus cereus, Bacillus mycoides, Bacillus pseudomycoides* and *Bacillus thuringiensis* to 24 antimicrobials using Sensititre® automated microbroth dilution and Etest® agar gradient diffusion methods. **Journal of Antimicrobial Chemotherapy** 60(3): 555–567. https://doi.org/10.1093/jac/dkm213

Mora, I., J. Cabrefiga and E. Montesinos. 2015. Cyclic lipopeptide biosynthetic genes and products, and inhibitory activity of plant-associated *Bacillus* against phytopathogenic bacteria. **PLoS One** 10(5): e0127738. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0127738

Mouafi, F.E., M.M.A. Elsoud and M.E. Moharam. 2016. Optimization of biosurfactant production by *Bacillus brevis* using response surface methodology. **Biotechnology Reports** 9: 31–37. https://doi.org/10.1016/j.btre.2015.12.003

Nanjundan, J., R. Ramasamy, S. Uthandi and M. Ponnusamy. 2019. Antimicrobial activity and spectroscopic characterization of surfactin class of lipopeptides from *Bacillus amyloliquefaciens* SR1. **Microbial Pathogenesis** 128: 374–380. https://doi.org/10.1016/j.micpath.2019.01.037

Niemhom, N., and C. Kittiwongwattana. 2023. Biocontrol potential, genome and nonribosomal peptide synthetase gene expression of *Bacillus velezensis* 2211. **Current Applied Science and Technology** 23(3): 1–17 https://doi.org/10.55003/cast.2022.03.23.005

Płaza, G., J. Chojniak, K. Rudnicka, K. Paraszkiewicz and P. Bernat. 2015. Detection of biosurfactants in *Bacillus* species: genes and products identification. **Journal of Applied Microbiology** 119(4): 1023–1034. https://doi.org/10.1111/jam.12893

Rabbee, M.F., M.S. Ali, J. Choi, B.S. Hwang, S.C. Jeong and K.H. Baek. 2019. *Bacillus velezensis*: a valuable member of bioactive molecules within plant microbiomes. **Molecules** 24(6): 1046. https://doi.org/10.3390/molecules24061046

Royal Thai Government Gazette. 2018. **List of disease that wish to be controlled section18 [2018]**. [Online]. Available https://ratchakitcha.soc.go.th/documents/17064620.pdf (July 31, 2022). [in Thai]

Shafi, J., H. Tian and M. Ji. 2017. *Bacillus* species as versatile weapons for plant pathogens: a review. **Biotechnology & Biotechnological Equipment** 31(3): 446–459. https://doi.org/10.1080/13102818.2017.1286950

Syahriansyah, U.K.M. and A. Hamzah. 2016. Determination of optimum conditions and stability study of biosurfactant produced by *Bacillus subtilis* UKMP-4M5. **Malaysian Journal of Analytic Science** 20(5): 986–1000. http://dx.doi.org/10.17576/mjas-2016-2005-03

Weber, D.J., S.M. Saviteer, W.A. Rutala, C.A. Thomann. 1988. *In vitro* susceptibility of *Bacillus* spp. to selected antimicrobial agents. **Antimicrob Agents Chemother** 32(5): 642–645

Ye, M., X. Tang, R. Yang, H. Zhang, F. Li, F. Tao, L. Fei and Z. Wang. 2018. Characteristics and application of a novel species of *Bacillus: Bacillus velezensis*. **ACS Chemical Biology** 13(3): 500–505. https://pubs.acs.org/doi/10.1021/acschembio.7b00874

Yu, F., Y. Shen, Y. Qin, Y. Pang, H. Fan, J. Peng and X. Liu. 2022. Isolation and purification of antibacterial lipopeptides from *Bacillus velezensis* YA215 isolated from sea mangroves. **Frontiers in Nutrition** 9: 1064764. https://doi.org/10.3389/fnut.2022.1064764

Zhou, J., Y. Xie, Y. Liao, X. Li, Y. Li, S. Li and Y.Q. He. 2022. Characterization of a *Bacillus velezensis* strain isolated from *Bolbostemmatis Rhizoma* displaying strong antagonistic activities against a variety of rice pathogens. **Frontiers in Microbiology** 13: 983781. https://doi.org/10.3389/fmicb.2022.983781

Journal of Agri. Research & Extension 42(3): 89-102

การประเมินศักยภาพแบคทีเรียที่เป็นประโยชน์เพื่อการเกษตรจากดินรอบ ๆ รากข้าวสังข์หยด

The Evaluation of Potential Agriculturally Beneficial Bacteria from Rhizosphere Soil of Sangyod Rice

ผจงสุข สุธารัตน์ สัลวา ตอปี และสายใจ วัฒนเสน*

Pajongsuk Sutarut, Salwa Topee and Saijai Wattanasen*

ศูนย์ทรัพยากรจุลินทรีย์และการใช้ประโยชน์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏสงขลา สงขลา 90000

Microbial Resources and Utilization, Faculty of Science and Technology, Songkhla Rajabhat University, Songkhla, Thailand 90000

*Corresponding author: saijai.wa@skru.ac.th

Received: *November 26, 2024*

Revised: *July 08, 2025*

Accepted: *July 29, 2025*

Abstract

Sangyod rice is the most popular native rice variety in Phatthalung province. However, its low productivity is due to soil quality. Farmers often use chemical fertilizers to increase productivity, which can negatively affect soil quality and leave chemical residues. This research aimed to isolate and evaluate the plant growth-promoting ability of bacteria isolated from the rhizosphere soil of Sangyod rice. The result showed that 18 isolated bacteria had the ability to produce indole acetic acid (IAA) at 5.04±0.26 – 89.58± 0.26 µg/ml. The 11 isolates, which produce IAA more than 50 µg/ml were selected for screening of nitrogen fixation activities. It was found that 4 isolates which were SS10, SS19, SS36 and SS41 showed nitrogen fixing ability. These isolates were later evaluated for their phosphate solubilizing activities on Pikovskaya's (PVK) agar and growth inhibition of *Alternaria* sp. The result showed all 4 isolates were able to solubilize phosphate on PVK, with the highest phosphate solubilization index of 2.46 was obtained from SS10. While the ability to inhibit the growth of *Alternaria* sp. was observed in SS10 and SS36 with a percentage inhibition of 33.63 and 36.60%, respectively. Finally, SS10, SS36 and SS41 were selected for evaluation in their stimulation of Sangyod rice seed germination. The results showed that all selected bacteria did not significantly affect seed germination percentage compared to the control, while strain SS36 exhibited the highest significant ability to promote root growth, with a root length of 13.21±1.34 mm. This study found that isolated bacteria have potential for promoting plant growth and could be developed into a bio-fertilizer for enhancing rice growth.

Keywords: plant growth promoting bacteria, soil, rhizosphere, Sangyod rice

บทคัดย่อ

ข้าวสังข์หยดเป็นข้าวพันธุ์พื้นเมืองที่ได้รับความนิยมมากที่สุดของจังหวัดพัทลุง อย่างไรก็ตามมีผลผลิตจากการเพาะปลูกต่ำ เนื่องจากคุณภาพของดินที่เกษตรกรมักใช้ปุ๋ยเคมีเพื่อเพิ่มผลผลิต ส่งผลต่อคุณภาพของดินและการตกค้างของสารเคมี การศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อคัดแยกและประเมินศักยภาพของแบคทีเรียส่งเสริมการเจริญเติบโตของพืชที่คัดแยกได้จากดินบริเวณรอบ ๆ รากข้าวสังข์หยด ผลการศึกษาพบแบคทีเรียที่สามารถผลิตกรดอินโดอะซิติก (Indole Acetic Acid: IAA) ได้จำนวน 18 ไอโซเลต โดยมีปริมาณ IAA อยู่ในช่วง 5.04±0.26 มคก./มล. ถึง 89.8±0.26 มคก./มล. คัดเลือกแบคทีเรียที่ผลิต IAA ได้มากกว่า 50 มคก./มล. จำนวน 11 ไอโซเลต มาทดสอบความสามารถในการตรึงไนโตรเจน พบแบคทีเรียจำนวน 4 ไอโซเลต ที่สามารถตรึงไนโตรเจนได้ คือ SS10, SS19, SS36 และ SS41 เมื่อนำมาทดสอบความสามารถในการละลายฟอสเฟตบนอาหารแข็ง PVK และความสามารถในการยับยั้งการเจริญของเชื้อรา *Alternaria* sp. พบว่าทั้ง 4 ไอโซเลตสามารถละลายฟอสเฟตได้ โดย SS10 ให้ค่าดัชนีการละลายฟอสเฟตสูงสุดเท่ากับ 2.46 ในขณะที่ SS10 และ SS36 สามารถยับยั้งการเจริญของเชื้อรา *Alternaria* sp. ได้ โดยมีผลการยับยั้งเท่ากับ 33.63 และ 36.60% ตามลำดับ คัดเลือกแบคทีเรีย SS10, SS36 และSS41 มาทดสอบความสามารถในการกระตุ้นการงอกของเมล็ดข้าวสังข์หยด พบว่าทุกไอโซเลตให้เปอร์เซ็นต์การงอกไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติเมื่อเทียบกับชุดควบคุม ในขณะที่ SS36 สามารถกระตุ้นความยาวรากเฉลี่ยได้สูงที่สุดเท่ากับ 13.21±1.34 มม. จากผลการศึกษาแบคทีเรียที่คัดแยกได้มีศักยภาพในการส่งเสริมการเจริญเติบโตของพืช สามารถนำไปพัฒนาเป็นปุ๋ยชีวภาพ เพื่อใช้ส่งเสริมการเจริญของเติบโตของต้นข้าวต่อไป

คำสำคัญ: แบคทีเรียส่งเสริมการเจริญเติบโตของพืช ดิน ไรโซสเฟียร์ ข้าวสังข์หยด

คำนำ

ดินนับเป็นแหล่งที่อยู่อาศัยของจุลินทรีย์หลากหลายชนิด ปริมาณและชนิดของจุลินทรีย์ในดินแตกต่างกันขึ้นกับลักษณะและสภาวะแวดล้อมของดิน โดยเฉพาะบริเวณรอบ ๆ รากพืช (rhizosphere) ซึ่งมีการสะสมของธาตุอาหารรวมทั้งสารอินทรีย์ต่าง ๆ ที่หลั่งจากบริเวณรากพืช ได้แก่ กรดอะมิโน วิตามิน และคาร์โบไฮเดรต แบคทีเรียส่งเสริมการเจริญเติบโตของพืช (Plant Growth Promoting Rhizobacteria: PGPR) เป็นกลุ่มแบคทีเรียที่พบอาศัยอย่างอิสระในดินบริเวณรอบ ๆ รากพืชหรือบริเวณผิวรากของพืช มีบทบาทในการตรึงไนโตรเจน ช่วยเพิ่มการละลายของฟอสเฟตในดิน รวมทั้งสร้างฮอร์โมนต่าง ๆ ที่ช่วยส่งเสริมการเจริญเติบโตของพืช เช่น ออกซิน จิบเบอเรลลิน และไซโตไคนิน เป็นต้น (Singh *et al*., 2023; Kumar *et al*., 2014; Glick, 2012) นอกจากนี้ PGPR ยังสามารถสร้างสารปฏิชีวนะยับยั้งการเจริญของเชื้อก่อโรคในพืชอีกด้วย (Mohanram and Kumar, 2019; Zhou *et al*., 2019) ปัจจุบันมีการนำ PGPR มาใช้เป็นปุ๋ยชีวภาพ (biofertilizer) หรือการควบคุมทางชีวภาพ (biological control) แทนปุ๋ยเคมีและสารเคมีต่าง ๆ ช่วยลดต้นทุนการผลิตและผลกระทบต่อสุขภาพของเกษตรกร รวมทั้งปัญหาสารเคมีตกค้างทางการเกษตร โดยเฉพาะในกระบวนการผลิตข้าวซึ่งนับเป็นพืชเศรษฐกิจที่สำคัญของประเทศ พื้นที่ปลูกข้าวส่วนใหญ่ขาดธาตุอาหารที่จำเป็นสำหรับการเจริญเติบโตของข้าว ปุ๋ยเคมีจึงเป็นปัจจัยสำคัญในการเพิ่มผลผลิตของข้าวให้สูงขึ้นของชาวนา (Division of Rice Research and Development, 2004) การใช้ปุ๋ยเคมีติดต่อกันเป็นเวลานานทำให้ดินเสื่อมคุณภาพ ขาดอินทรียวัตถุ ต้นข้าว

ดูดซับอาหารได้น้อยทำให้อ่อนแอและเกิดโรคได้ง่าย (Magrin *et al*., 2007) การนำจุลินทรีย์ที่เป็นประโยชน์ในพื้นที่ปลูกข้าวมาใช้ นอกจากจะช่วยในการเพิ่มปริมาณธาตุอาหารแล้ว ยังช่วยเพิ่มความสามารถในการปรับตัวอยู่รอดและความสามารถในการครอบครองรากได้ดีอีกด้วย (Kanghae *et al*., 2018) มีการศึกษาพบว่าแบคทีเรียที่คัดแยกได้จากนาข้าวมีคุณสมบัติในการละลายฟอสเฟต การตรึงไนโตรเจน และสามารถผลิตฮอร์โมนพืช สามารถช่วยส่งเสริมการเจริญเติบโตของข้าว (Meunchang, 2016; Ji *et al*., 2014) จากการใช้แบคทีเรีย *Burkhoderia* sp. และ *Pantoea dispersa* ที่คัดแยกได้จากดินนาข้าวพบว่าสามารถช่วยเพิ่มความสูงของต้น จำนวนใบ ความยาวราก รวมทั้งน้ำหนักแห้งของลำต้นข้าวพันธุ์ กข47 ให้เพิ่มสูงขึ้น (Wanchai and Ruangsang, 2014) นอกจากนี้ Khattisa *et al*. (2018) รายงานการใช้แบคทีเรีย *Bacillus* spp. ไอโซเลท BS3 ที่แยกได้จากแปลงข้าวอินทรีย์สามารถทำให้ข้าวขาวดอกมะลิ 105 มีเปอร์เซ็นต์เมล็ดดี และให้ผลผลิตต่อกระถางสูงกว่าการใช้ปุ๋ยเคมี รวมถึงการใช้แบคทีเรียที่คัดแยกจากดินรอบรากข้าวร่วมกับปุ๋ยเคมีช่วยส่งเสริมให้ต้นข้าวพันธุ์ R258 มีความสูง น้ำหนักต้น จำนวนใบ ความยาวราก รวมถึงน้ำหนักรวงข้าวเพิ่มขึ้น (Kanghae *et al*., 2018)

ข้าวสังข์หยดเป็นข้าวเจ้าสายพันธุ์พื้นเมืองที่ได้รับการขึ้นทะเบียนสิ่งบ่งชี้ทางภูมิศาสตร์ของจังหวัดพัทลุง ได้รับความนิยมอย่างกว้างขวางโดยเฉพาะในกลุ่มผู้บริโภครักสุขภาพ เนื่องจากคุณค่าทางโภชนาการสูง มีกากใย โปรตีน วิตามิน และแร่ธาตุต่าง ๆ รวมทั้งสารต้านอนุมูลอิสระที่ช่วยลดความเสี่ยงต่อการเกิดโรคต่าง ๆ ได้ นอกจากนี้ยังสามารถนำไปแปรรูปเป็นอาหารว่างและเครื่องดื่มประเภทต่าง ๆ (Division of Rice Product Development, 2021) ทำให้ข้าวสังข์หยดเป็นที่ต้องการของตลาดสูง เกษตรกรต้องการเพิ่มกำลังการผลิตรวมทั้งขยายพื้นที่การผลิตให้เพิ่มขึ้น โดยเฉพาะข้าวสังข์หยดอินทรีย์ การศึกษาครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อคัดแยกและประเมินศักยภาพของแบคทีเรียส่งเสริมการเจริญเติบโตของพืชที่คัดแยกได้จากดินรอบ ๆ รากข้าวพันธุ์สังข์หยดเพื่อคัดเลือกแบคทีเรียที่เป็นประโยชน์ในพื้นที่ และนำไปใช้ในระบบเกษตรอินทรีย์ต่อไป

อุปกรณ์และวิธีการ

การเก็บตัวอย่าง

เก็บตัวอย่างดินแบ่งเป็น 2 ส่วน ได้แก่ 1) เก็บตัวอย่างดินบริเวณรอบ ๆ ต้นข้าวสังข์หยดในระยะแตกกอจากแปลงปลูกข้าวสังข์หยดอินทรีย์ อำเภอตะโหมด จังหวัดพัทลุง จำนวน 3 แปลง แปลงละ 5 ตัวอย่าง โดยใช้ช้อนตักดินปราศจากเชื้อตักดินบริเวณผิวดินที่ความลึกไม่เกิน 10 ซม. ใส่ในถุงพลาสติกปราศจากเชื้อ เก็บใส่ในกล่องควบคุมอุณหภูมิที่ 4°ซ นำไปการคัดแยกเชื้อแบคทีเรียในห้องปฏิบัติการ และ 2) เก็บตัวอย่างดินที่ความลึก 0–15 ซม. จำนวน 3 แปลง แปลงละ 3 จุด จากนั้นนำดินในแต่ละแปลงมารวมกันใส่ถุงพลาสติกส่งวิเคราะห์คุณสมบัติทางกายภาพและทางเคมีของดิน ณ ศูนย์ปฏิบัติการวิเคราะห์กลาง คณะทรัพยากรธรรมชาติ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

การคัดแยกและทดสอบความสามารถในการส่งเสริมการเจริญเติบโตของพืช

คัดแยกแบคทีเรียจากตัวอย่างดินด้วยวิธี Pour plate บนอาหาร Plate Count Agar (PCA) นำไปบ่มที่อุณหภูมิ 30°ซ เป็นเวลา 48 ชั่วโมง เลือกโคโลนีที่มีลักษณะแตกต่างกัน แยกให้เป็นเชื้อบริสุทธิ์ นำไปศึกษาคุณสมบัติในการส่งเสริมการเจริญเติบโตของพืชดังนี้

1. การทดสอบความสามารถในการผลิตกรดอินโดลอะซิติก (Indole Acetic Acid: IAA) ของแบคทีเรียที่แยกได้ (ดัดแปลงจาก Ji *et al*., 2014)

นำโคโลนีบริสุทธิ์ของแบคทีเรียที่คัดแยกได้มาเพาะเลี้ยงในอาหาร Nutrient broth ที่มีส่วนผสมของ 1 กรัมต่อลิตรของ L-tryptophan นำไปบ่มโดยการเขย่าที่ความเร็วรอบ 200 รอบต่อนาที อุณหภูมิ 30°ซ เป็นเวลา

48 ชั่วโมง จากนั้นนำไปหมุนเหวี่ยงที่ความเร็ว 10,000 รอบต่อนาที อุณหภูมิ 4°ซ เป็นเวลา 10 นาที นำส่วนใสมาผสมกับ Salkowski coloring reagent ในอัตราส่วน 3 : 1 วางไว้ในที่มืดเป็นเวลา 30 นาที ทำการทดลอง 3 ซ้ำ ถ้ามีการผลิต IAA จะมีการเปลี่ยนแปลงเป็นสีชมพูหรือสีแดง นำมาวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 540 นาโนเมตร คำนวณหาปริมาณ IAA โดยเปรียบเทียบกับกราฟมาตรฐาน คัดเลือกแบคทีเรียที่สามารถผลิต IAA ได้สูงเพื่อใช้ในการศึกษาต่อไป

2. การทดสอบความสามารถในการตรึงไนโตรเจน

คัดเลือกแบคทีเรียที่ผลิต IAA สูงนำมาเลี้ยงในอาหาร Nitrogen Free Solid Malate Medium (NFM) (Vishan *et al*., 2017) โดยการขีดเชื้อลงบนจานอาหาร NFM นำไปบ่มที่อุณภูมิ 30°ซ เป็นเวลา 7 วัน ทำการทดลอง 3 ซ้ำ สังเกตการเปลี่ยนสีของอาหาร แบคทีเรียที่สามารถตรึงไนโตรเจนได้จะเปลี่ยนสีอาหารจากสีเขียวเป็นสีน้ำเงิน

3. การทดสอบความสามารถในการละลายฟอสเฟต

นำแบคทีเรียที่ให้ผลบวกในการทดสอบการตรึงไนโตรเจนนำมาเพาะเลี้ยงให้ได้เชื้อบริสุทธิ์อาหาร Nutrient agar จากนั้นนำไปทดสอบความสามารถในการละลายฟอสเฟตโดยการ spot เชื้อบนอาหาร Pikovskaya's agar ที่มี Tricalcium phosphate ($Ca_3.(PO_4)$) ความเป็นกรด-ด่างของอาหารเท่ากับ 5 บ่มที่อุณหภูมิ 30°ซ เป็นเวลา 5 วัน ทำการทดลอง 3 ซ้ำ สังเกตการเกิดวงใสรอบ ๆ โคโลนีของเชื้อ วัดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของวงใสและโคโลนีของเชื้อ นำมาคำนวณหาดัชนีการละลายฟอสเฟต (Phosphate solubilization index) จากสมการ (1) (Setargie *et al*., 2015)

$$\text{ดัชนีการละลายฟอสเฟต} = \frac{\text{เส้นผ่านศูนย์กลางของโคโลนี + เส้นผ่านศูนย์กลางของวงใส}}{\text{เส้นผ่านศูนย์กลางของโคโลนี}} \quad (1)$$

4. การทดสอบความสามารถในการยับยั้งเชื้อรา *Alternaria* sp.

ทดสอบความสามารถในการยับยั้งเชื้อรา *Alternaria* sp. ด้วยวิธี Dual culture technique โดยเลี้ยงเชื้อ *Alternaria* sp. ในอาหาร PDA เป็นเวลา 5 วัน จากนั้นใช้ cork borer เจาะวุ้นบริเวณปลายเส้นใยของเชื้อราวางบนอาหาร PDA จานใหม่ จากนั้น 2 วัน แตะโคโลนีบริสุทธิ์ของแบคทีเรียที่ทดสอบ (อายุ 24 ชั่วโมง) ขีดเป็นเส้นตรงด้านตรงข้ามกับเชื้อรา โดยให้ห่างจากเชื้อรา 2.5 ซม. ทำการทดลอง 3 ซ้ำ นำไปบ่มเป็นเวลา 3 วัน บันทึกผลเปรียบเทียบกับชุดควบคุมที่มีเฉพาะเชื้อ *Alternaria* sp. นำผลที่ได้มาคำนวณเปอร์เซ็นต์การยับยั้งการเจริญของเส้นใยโดยใช้สูตร

$$\% \text{ inhibition} = \frac{(R1 - R2)}{R1} \times 100$$

R1 = ความยาวรัศมีโคโลนีของเชื้อรา *Alternaria* sp. ในชุดควบคุม

R2 = ความยาวรัศมีโคโลนีของเชื้อรา *Alternaria* sp. ในชุดทดสอบ

5. การทดสอบความสามารถในการส่งเสริมงอกของเมล็ดข้าวสังข์หยด

คัดเลือกแบคทีเรียที่ดีที่สุดจากผลการศึกษาข้างต้น จำนวน 3 ไอโซเลต มาเพาะเลี้ยงในอาหาร Nutrient broth ที่มีส่วนผสมของ 1 กรัมต่อลิตรของ L-tryptophan นำไปบ่มโดยเขย่าที่ความเร็วรอบ 200

รอบต่อนาที อุณหภูมิ 30°ซ เป็นเวลา 48 ชั่วโมง จากนั้นนำไปหมุนเหวี่ยงที่ความเร็วรอบ 10,000 รอบต่อนาที ที่อุณหภูมิ 4°ซ เป็นเวลา 10 นาที นำส่วนใสมาใช้ในการทดสอบการงอกของเมล็ดข้าวพันธุ์สังข์หยดบนกระดาษเพาะ (Top paper) โดยนำเมล็ดข้าวพันธุ์สังข์หยดมาล้างให้สะอาดด้วยน้ำกลั่น คัดเลือกเมล็ดข้าวที่ดีมีน้ำหนักจมอยู่ใต้น้ำ จากนั้นนำไปฆ่าเชื้อโดยการแช่ใน 2.5% Sodium hypochlorite เป็นเวลา 5 นาที ล้างด้วยน้ำกลั่นที่ผ่านการฆ่าเชื้อแล้ว 3 ครั้ง ทิ้งเมล็ดข้าวไว้ให้แห้ง นำไปแช่ในส่วนใสของน้ำเลี้ยงเซลล์ของแบคทีเรียที่ทดสอบ สำหรับชุดควบคุมนำเมล็ดพันธุ์ข้าวแช่ในน้ำกลั่นปราศจากเชื้อ ตั้งทิ้งไว้เป็นเวลา 24 ชั่วโมง นำเมล็ดข้าวมาวางเรียงบนกระดาษกรองชุ่มน้ำ ซึ่งวางอยู่ในจานเพาะเชื้อจำนวน 20 เมล็ดต่อจาน การทดลองละ 5 จาน นำไปบ่มที่อุณหภูมิ 30°ซ เป็นเวลา 3 วัน บันทึกจำนวนเมล็ดที่งอกและความยาวราก คำนวณเปอร์เซ็นต์การงอกของเมล็ดข้าวสังข์หยดและความยาวของรากเปรียบเทียบกับชุดควบคุมที่ใช้น้ำกลั่นแทนน้ำเลี้ยงเซลล์ของแบคทีเรีย

การจำแนกชนิดของแบคทีเรีย

นำแบคทีเรียที่คัดเลือกมาศึกษาลักษณะทางสัณฐานวิทยาเบื้องต้น จากนั้นนำไปจำแนกชนิดของแบคทีเรียโดยวิธีการ Matrix-assisted laser desorption ionization time-of-flight mass spectrometry (MALDI-TOF MS) ณ สำนักเครื่องมือวิทยาศาสตร์และการทดสอบ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ

ข้อมูลผลการทดลองนำมาวิเคราะห์ค่าความแปรปรวนทางเดียว (One-way ANOVA) และเปรียบเทียบความแตกต่างกันของค่าเฉลี่ยด้วย Duncan's New Multiple Range Test (DMRT) โดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูป IBM SPSS Statistics เวอร์ชั่น 29.0.1.0 (179)

ผลการวิจัย

คุณสมบัติทางกายภาพและทางเคมีของตัวอย่างดิน

จากการวิเคราะห์ลักษณะทางกายภาพและทางเคมีของตัวอย่างดินจากแปลงปลูกข้าวสังข์หยด พบว่ามีเนื้อดินเป็นดินเหนียวปนทราย ความเป็นกรด-ด่าง (pH) เท่ากับ 5 ปริมาณอินทรียวัตถุเท่ากับ 1.84% ปริมาณไนโตรเจนเท่ากับ 0.1% ปริมาณฟอสฟอรัสเท่ากับ 10.41 มก./กก. ปริมาณโพแทสเซียมเท่ากับ 18.26 มก./กก. โดยมีค่าการนำไฟฟ้าและองค์ประกอบของดิน ดังแสดงใน Table 1

Table 1 Physical and chemical properties of soil from organic Sang Yod rice field

Total Nitrogen (%)	Organic matter (%)	Organic carbon (%)	Available phosphorus (mg/kg)	Potassium (mg/kg)	pH	Electrical conductivity (µS/cm)	Clay (%)	Silt (%)	Sand (%)
0.10	1.84	1.07	10.41	18.26	5.00	24.04	39.66	33.32	27.03

ผลการคัดแยกและทดสอบประสิทธิภาพในการส่งเสริมการเจริญเติบโตของพืช

จากการคัดแยกแบคทีเรียด้วยวิธี Pour plate บนอาหาร PCA สามารถคัดแยกโคโลนีที่มีลักษณะแตกต่างกันได้ทั้งหมด 37 ไอโซเลต นำมาทดสอบความสามารถในการส่งเสริมการเจริญเติบโตของพืช ประกอบด้วย

ผลการทดสอบความสามารถในการผลิต IAA

จากการนำแบคทีเรียที่คัดแยกได้จากดินบริเวณรอบ ๆ รากข้าวจำนวน 32 ไอโซเลต นำมาทดสอบความสามารถในการผลิต IAA ด้วยวิธี Salkowski's reagent test พบว่ามีแบคทีเรียที่ให้ผลบวกในการทดสอบโดยอาหารเปลี่ยนเป็นสีแดง (Figure 1) จำนวน 18 ไอโซเลต โดยสามารถผลิต IAA อยู่ในช่วง 5.04±0.26 ถึง 89.58±0.26 มคก./มล. คัดเลือกแบคทีเรียที่สามารถผลิต IAA ได้สูงกว่า 50 มคก./มล. จำนวน 11 ไอโซเลต (Table 2) นำไปใช้ในการศึกษาต่อไป

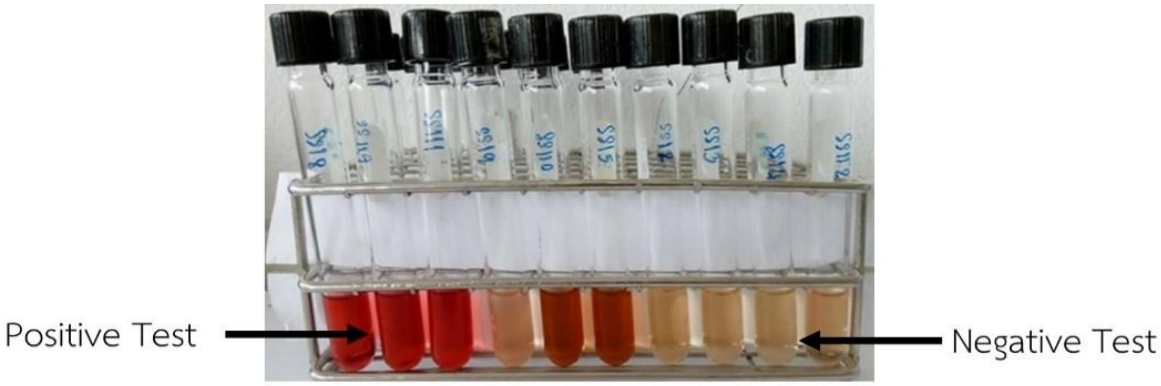


Figure 1 Salkowski's reagent test of bacteria isolated from rhizosphere of Sangyod rice

Table 2 The amount of IAA that the eleven selected bacteria produced

Isolates	SS1	SS2	SS10	SS18	SS19	SS21
IAA (µg/ml)	57.00±0.78	68.17±1.00	59.19±0.94	50.19±0.94	72.76±0.45	67.21±0.52
Isolates	**SS22**	**SS26**	**SS36**	**SS41**	**SS45**	
IAA (µg/ml)	74.55±0.39	53.16±0.04	89.58±0.26	62.70±0.26	56.12±1.13	

ผลการทดสอบความสามารถในการตรึงไนโตรเจนในสภาวะมีอากาศ

จากการทดสอบความสามารถในการตรึงก๊าซไนไตรเจนบนอาหาร NFM ของแบคทีเรียที่ผลิต IAA ได้สูงสุดทั้ง 11 ไอโซเลต พบแบคทีเรียที่สามารถตรึงก๊าซไนโตรเจนได้จากการเจริญบนอาหาร NFM และเปลี่ยนสีอาหารสีเขียวเป็นสีน้ำเงิน (Figure 2) จำนวน 4 ไอโซเลต ได้แก่ SS10, SS19, SS36 และ SS41

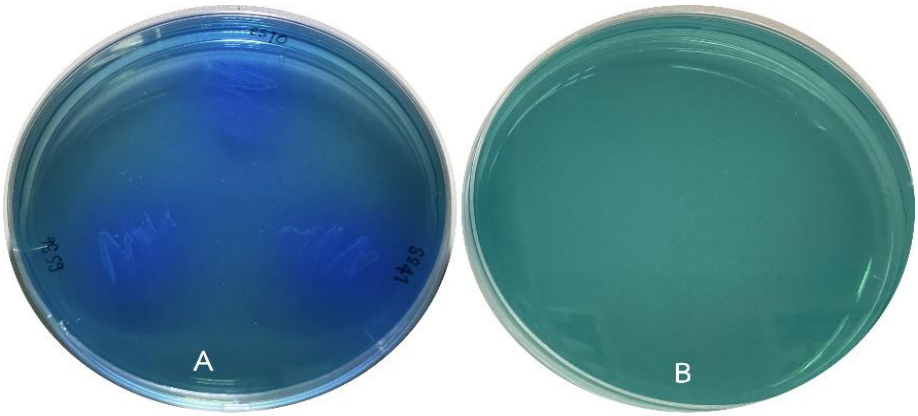


Figure 2 Nitrogen fixation test of selected bacteria; positive test (A) and control: NFM medium (B)

ผลการทดสอบความสามารถในการละลายฟอสเฟต

จากการนำแบคทีเรียที่มีคุณสมบัติในการผลิต IAA และสามารถตรึงไนโตรเจนในสภาวะที่มีอากาศมาทดสอบความสามารถในการละลายฟอสเฟตบนอาหาร Pikovskaya's agar ที่มี Tricalcium phosphate ($Ca_3(PO_4)$) พบว่าแบคทีเรียทั้ง 4 ไอโซเลต สามารถละลายฟอสเฟตได้ สังเกตจากการเกิดลักษณะวงใสรอบ ๆ โคโลนีของเชื้อ (Figure 3) โดย SS10 มีดัชนีการละลายฟอสเฟตสูงสุดเท่ากับ 2.46 รองลงมา ได้แก่ SS36, SS41 และ SS19 โดยมีดัชนีการละลายฟอสเฟต 1.41, 1.29 และ 1.21 ตามลำดับ

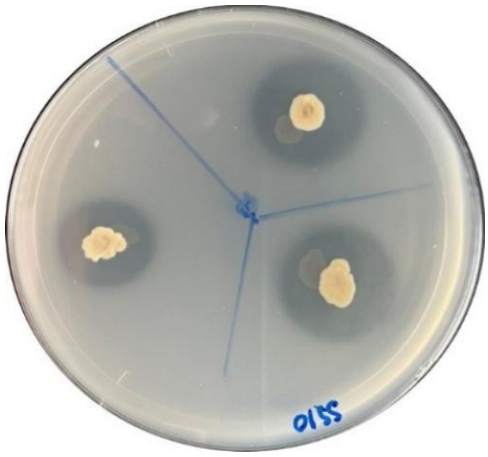


Figure 3 Phosphate solubilizing test of SS10 on Pikovskaya's agar

คัดเลือกได้ในการยับยั้งเชื้อรา *Alternaria* sp.

จากการทดสอบความสามารถในการยับยั้งเชื้อรา *Alternaria* sp. ของแบคทีเรียที่คัดเลือกทั้ง 4 ไอโซเลต ได้แก่ SS10, SS19, SS 36 และ SS41 พบว่ามีเพียง 2 ไอโซเลต ที่ให้ผลในการยับยั้งเชื้อรากอ่อโรคพืช ได้แก่ SS10 และ SS36 (Figure 4) โดยมีเปอร์เซ็นต์ยับยั้งการเจริญของเส้นใยราเท่ากับ 33.63 และ 36.60% ตามลำดับ

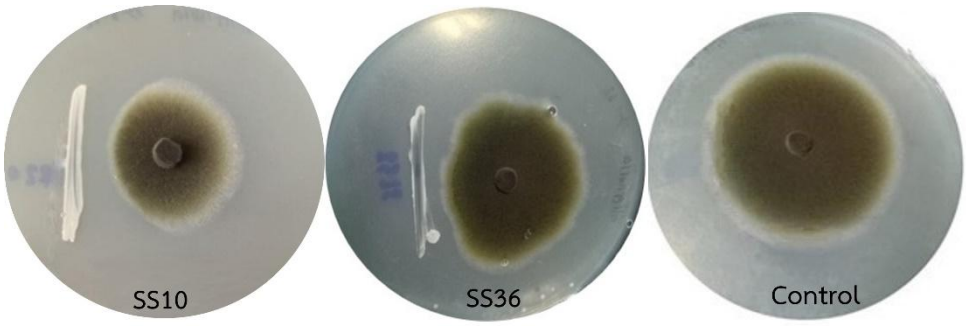


Figure 4 The efficiency of selected bacteria SS10 and SS36 to inhibiting *Alternaria* sp.

ผลการทดสอบความสามารถในการส่งเสริมการงอกของเมล็ดข้าวสังข์หยด

จากการนำแบคทีเรียไอโซเลต SS10, SS36 และ SS41 มาทดสอบความสามารถในการกระตุ้นการงอกของเมล็ดข้าวสังข์หยด พบว่าน้ำเลี้ยงเซลล์ของแบคทีเรียทั้ง 3 ไอโซเลต ส่งผลต่อค่าเปอร์เซ็นต์การงอกของเมล็ดข้าวไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ อย่างไรก็ตาม SS36 ซึ่งให้ค่าเปอร์เซ็นต์การงอกของเมล็ดข้าวเท่ากับ 93.33 ± 5.77% สามารถกระตุ้นการยืดยาวของรากได้สูงที่สุด โดยให้ค่าความยาวเฉลี่ยของรากเท่ากับ 13.21 ± 1.34 มม. ซึ่งแตกต่างจากความยาวของรากจากการกระตุ้นด้วยน้ำเลี้ยงเซลล์ของไอโซเลต SS10 และ SS41 รวมทั้งชุดควบคุมที่ใช้น้ำกลั่นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (Table 3)

Table 3 Seed germination percentage and root length of Sangyod rice treated with filtrate culture of bacteria

Isolates	Seed germination (%)	Everage root length (mm)*
Control	91.66±10.41	11.09±1.31 [a]
SS10	91.66±5.77	11.33±1.44 [a]
SS36	93.33±5.77	13.21±1.34 [b]
SS41	91.66±5.77	11.94±1.09 [a]

* Data with different letters within the same column are significantly different ($p<0.05$).

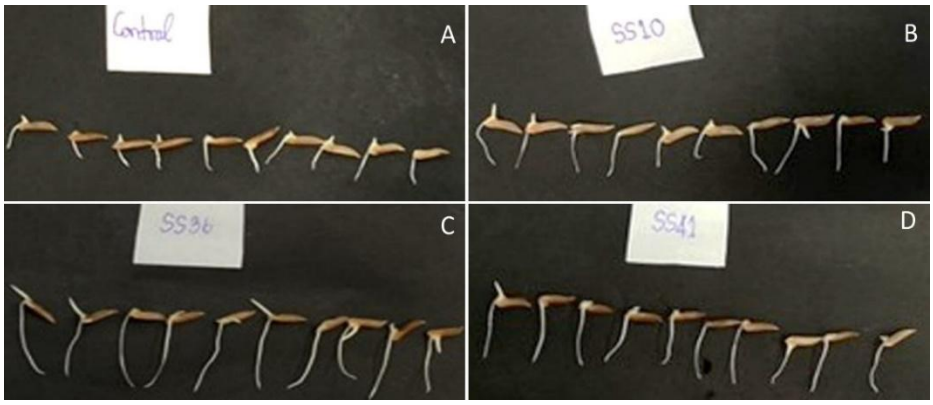


Figure 5 Seed germination of Sangyod rice: immersion in distilled water (A), filtrate culture of SS10 (B), filtrate culture of SS36 (C) and filtrate culture of SS41 (D)

ผลการจัดจำแนกแบคทีเรีย

จากลักษณะทางสัณฐานวิทยาไอโซเลต SS10, SS36 และSS41 เป็นแบคทีเรียแกรมบวก รูปท่อน สร้างสปอร์ เมื่อนำไปจำแนกด้วยวิธี MALDI-TOF MS พบว่าเป็นแบคทีเรียสกุล *Bacillus* โดย SS10 เป็น *B. megaterium* SS36 เป็น *B. amyloliquefaciens* และ SS41 เป็น *B. pumilus* โดยมีค่าระดับคะแนนเท่ากับ 2.44, 2.08 และ 1.99 ตามลำดับ

วิจารณ์ผลการวิจัย

จากการวิเคราะห์ลักษณะทางกายภาพและทางเคมีของดินบริเวณแปลงนาข้าวสังข์หยดอินทรีย์มีลักษณะของเนื้อดินเป็นดินเหนียวปนทราย มีความเป็นกรด (pH) เท่ากับ 5 มีความอุดมสมบูรณ์ของดินต่ำ โดยพบปริมาณของอินทรียวัตถุในดินเพียง 1.84% ซึ่งตามมาตรฐานควรมีปริมาณของอินทรียวัตถุในดินตั้งแต่ 2.5–4.5% (Thancharoen *et al*., 2021) ในการศึกษาครั้งนี้คัดแยกแบคทีเรียจากตัวอย่างดินได้จำนวน 37 ไอโซเลต ซึ่งมีจำนวนต่ำกว่าการศึกษาของ Thancharoen *et al*. (2021) ที่คัดแยกแบคทีเรียจากดินแปลงนาข้าวอินทรีย์ในจังหวัดมหาสารคาม ได้แบคทีเรียบริสุทธิ์จำนวน 54 ไอโซเลต จากการเปรียบเทียบลักษณะทางกายภาพและทางเคมีของดินพบว่า ดินจากแปลงนาข้าวเกษตรอินทรีย์ในจังหวัดมหาสารคามมีความอุดมสมบูรณ์มากกว่า โดยมีปริมาณอินทรียวัตถุในดิน 4.09–8.34% ปริมาณฟอสฟอรัส 0.47–15.06 มก./กก. มีค่าความเป็นกรด-ด่างอยู่ระหว่าง 7.3–8.2 จากลักษณะทางกายภาพและทางเคมีของดินรวมทั้งความอุดมสมบูรณ์ของดินที่แตกต่างกันนี้ทำให้จำนวนเชื้อแบคทีเรียบริสุทธิ์ที่คัดแยกได้แตกต่างกัน ในขณะที่การศึกษาของ Boonnadakul *et al*. (2019) คัดแยกแบคทีเรียจากตัวอย่างดินรอบรากข้าวจากแปลงปลูกข้าวใน 4 จังหวัดภาคเหนือ ได้แก่ เชียงใหม่ เชียงราย พะเยา และลำพูน ได้แบคทีเรียบริสุทธิ์สูงถึง 310 ไอโซเลต โดยแบคทีเรียที่คัดแยกได้มากกว่าที่คัดแยกได้ในการศึกษาครั้งนี้ ดังนั้นปริมาณของแบคทีเรียที่คัดแยกได้จากแปลงปลูกข้าวในแต่ละพื้นที่จะมีความแตกต่างกัน ทั้งนี้ขึ้นกับจำนวนของตัวอย่างที่นำมาคัดแยก สภาพของดิน ค่าความเป็นกรด-ด่างของดิน รวมทั้งลักษณะของเนื้อดินซึ่งมีผลต่อกิจกรรมของจุลินทรีย์ในดิน รวมถึงการหมุนเวียนของวัฏจักรคาร์บอนและไนโตรเจนในดิน (Christian *et al*., 2008) จากปัจจัยดังกล่าวทำให้ปริมาณและชนิดของจุลินทรีย์ที่พบในแต่ละพื้นที่แตกต่างกัน

แบคทีเรียที่พบในดินโดยเฉพาะบริเวณรอบ ๆ รากพืช นอกจากจะมีบทบาทในการย่อยสลายอินทรียวัตถุต่าง ๆ ในดินแล้วยังมีกลไกในการส่งเสริมการเจริญเติบโต

ของพืชทั้งทางตรงและทางอ้อม จากการนำแบคทีเรียที่คัดแยกได้มาศึกษาความสามารถในการผลิต IAA พบไอโซเลต SS36 ผลิต IAA ได้สูงสุด 89.58 ± 0.26 มคก./มล. สูงกว่าปริมาณ IAA ที่ผลิตได้จากแบคทีเรีย *Acinetobacter* ที่คัดแยกจากดินบริเวณรอบรากข้าว จากแปลงปลูกภายในมหาวิทยาลัยแม่โจ้ ที่ผลิต IAA ได้ 20.36 มคก./มล. (Jomkhame and Atnaseo, 2021) และรายงานของ Sutthisa and Wapi (2019) พบว่าแบคทีเรียไอโซเลต GCMR 43 ซึ่งแยกได้จากดินบริเวณรอบ ๆ รากต้นบานไม่รู้โรยป่าที่ผลิต IAA ได้เพียง 1.45 มคก./มล. อย่างไรก็ตามปริมาณ IAA ที่ผลิตจาก SS36 มีปริมาณน้อยกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับรายงานของ Boonnadakul *et al*. (2019) ที่พบว่า *Pseudomonas nitroreducens* PY7-6 ที่แยกได้จากแปลงปลูกข้าวอินทรีย์สามารถผลิต IAA ได้สูงถึง 23.90±0.20 มก./ลิตร ทั้งนี้แบคทีเรียที่แยกได้จากบริเวณรากพืชแต่ละชนิดจะแตกต่างกันตามชนิดของพืชรวมทั้งความสามารถในการผลิต IAA ที่แตกต่างกันด้วย นอกจากนี้สภาพแวดล้อมในการเจริญ ค่าความเป็นกรด-ด่าง อุณหภูมิ รวมถึงสารตั้งต้นที่ใช้ในการเพาะเลี้ยงยังเป็นปัจจัยสำคัญต่อการเจริญและการผลิต IAA ของแบคทีเรีย

จากการศึกษาคุณสมบัติในการตรึงไนโตรเจนและความสามารถในการละลายฟอสเฟต พบว่ามีแบคทีเรียจำนวน 4 ไอโซเลต ได้แก่ SS10, SS19, SS36 และ SS41 ที่สามารถตรึงก๊าซไนโตรเจนรวมทั้งสามารถละลายฟอสเฟตได้ โดยไนโตรเจนเป็นธาตุอาหารหลักที่จำเป็นสำหรับการเจริญเติบโตของพืช พบมากในชั้นบรรยากาศอยู่ในรูปของก๊าซไนโตรเจนซึ่งพืชไม่สามารถนำมาใช้ได้ พืชสามารถใช้ไนโตรเจนได้ในรูปของไนเตรทและแอมโมเนียม รายงานการศึกษาของ Boonnadakul *et al.* (2019) สามารถคัดแยกแบคทีเรีย *Bacillus altitudinis* CM2-2 จากดินรอบรากข้าวที่สามารถผลิตสารประกอบไนโตรเจนได้สูงถึง 15.60±0.40 มก./ลิตร อย่างไรก็ตามการศึกษาในครั้งนี้เป็นการทดสอบความสามารถในการตรึงไนโตรเจนเบื้องต้นเท่านั้น จะต้องมีการศึกษาเพิ่มเติมในเชิงปริมาณต่อไป สำหรับผลการทดสอบการละลายฟอสเฟตพบว่า SS10 ให้ค่าดัชนีการละลายฟอสเฟตเท่ากับ 2.46 ซึ่งมีค่าสูงกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับแบคทีเรีย *Acinetobacter* sp. และ *Pseudomonas* sp. ที่คัดแยกได้จากบริเวณรอบ ๆ รากข้าว ซึ่งให้ค่าดัชนีการละลายฟอสเฟตอยู่ในช่วง 1.52–1.99 (Jomkhame and Atnaseo, 2021) ทั้งนี้จะต้องมีการศึกษาเพิ่มเติมในเชิงปริมาณของการละลายฟอสเฟต เพื่อให้ทราบถึงปริมาณการละลายฟอสเฟตของแบคทีเรีย ซึ่งโดยทั่วไปแบคทีเรียละลายฟอสเฟต (Phosphate solubilizing bacteria) จะสามารถละลายได้ปริมาณตั้งแต่ 2.2 ถึง 227.2 มก/ลิตร ขึ้นอยู่กับชนิดของสารประกอบฟอสเฟต (Kabbua and Chaiyara, 2022)

จากผลการทดสอบความสามารถในการยับยั้งการเจริญของเส้นใยเชื้อรา *Alternaria* sp. ซึ่งเป็นเชื้อราสาเหตุโรคในพืชผักเศรษฐกิจหลายชนิดเพิ่มเติม เพื่อเป็นแนวทางในการนำแบคทีเรียที่คัดเลือกไปประยุกต์ใช้ต่อไป พบว่าไอโซเลต SS10 และ SS36 สามารถยับยั้งการเจริญของเส้นใยเชื้อรา *Alternaria* sp. ได้ 33.63 และ 36.60% ตามลำดับ ซึ่งจากผลการยับยั้งพบว่าต่ำกว่า 50% ซึ่งสามารถนำไปศึกษาเพิ่มเติมเพื่อนำไปใช้ยับยั้งเชื้อก่อโรคพืชชนิดอื่น ๆ ต่อไป อย่างไรก็ตามผลการยับยั้งของแบคทีเรียทั้งสองไอโซเลตสูงกว่ายีสต์อีพิไฟต์ที่คัดแยกได้จากผิวสับปะรดไอโซเลต PA03 และ PA04 ซึ่งสามารถยับยั้งการเจริญของเส้นใย *Alternaria alternata* ได้เพียง 29.45 และ 28.35% ตามลำดับ (Pechwang *et al*., 2021) ทั้งนี้เชื้อปฏิปักษ์ที่แตกต่างกันหรือคนละสายพันธุ์ รวมทั้งแหล่งของเชื้อที่คัดแยกได้มีผลต่อความสามารถในการยับยั้งการเจริญของเส้นใยเชื้อราที่แตกต่างกัน โดยแต่ละชนิดอาจจะมีกลไกในการยับยั้งการเจริญของเส้นใยเชื้อราที่แตกต่างกัน โดยบางชนิดมีความสามารถในการแข่งขัน บางชนิดมีการสร้างสารเมแทบอไลต์ที่เป็นสารระเหย (Huang *et al*., 2012) รวมทั้งการสร้างเอนไซม์ย่อยสลายผนังเซลล์ของเส้นใยเชื้อรา (Chen *et al*., 2018) เป็นต้น

จากการคัดเลือกแบคทีเรียที่มีคุณสมบัติในการส่งเสริมการเจริญเติบโตของพืชจำนวน 3 ไอโซเลต ได้แก่ SS10, SS36 และ SS41 มาทดสอบความสามารถในการส่งเสริมการงอกของเมล็ดข้าวสังข์หยด พบว่าทุกไอโซเลตมีค่าเปอร์เซ็นต์การงอกของเมล็ดข้าวไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ เมื่อเปรียบเทียบกับชุดควบคุมที่ใช้น้ำกลั่น ในขณะที่ความยาวของรากพบว่า SS36 มีความยาวของรากมากที่สุดเท่ากับ 13.21±1.34 มม. เปรียบเทียบกับรายงานของ Huangmee *et al*. (2019) ใช้เมล็ดข้าวพันธุ์พิษณุโลก 2 แช่น้ำเลี้ยงเซลล์แบคทีเรียที่ละลายโพแทสเซียมก่อนนำมาเพาะเมล็ดบนกระดาษมีเปอร์เซ็นต์การงอก 90.25% และมีความยาวของราก 1.77 ซม. ทั้งนี้การนำเมล็ดข้าวมาแช่ด้วยแบคทีเรียที่มีคุณสมบัติในการผลิตสารอินทรีย์ส่งเสริมการเจริญเติบโตของพืชจะทำให้พืชมีอัตราการงอกของเมล็ดสูง อีกทั้งการที่แบคทีเรียสามารถผลิตฮอร์โมน IAA จะช่วยในการกระตุ้นการงอกและความยาวของรากด้วยอย่างไรก็ตามยังมีปัจจัยอื่น ๆ ที่มีผลต่อเปอร์เซ็นต์การงอกและความยาวของรากทั้งในส่วนของพันธุ์ข้าว สายพันธุ์ของแบคทีเรียที่ใช้ รวมทั้งสภาพแวดล้อมต่าง ๆ เช่น อุณหภูมิ และความชื้น เป็นต้น

จากการจำแนกแบคทีเรียโดยวิธี MALDI-TOF MS ซึ่งเป็นวิธีที่มีรายงานการนำไปใช้ในการจำแนกจุลินทรีย์ที่ให้ความแม่นยำ ใช้เวลาน้อย สามารถจำแนกเชื้อจุลินทรีย์จากสิ่งแวดล้อมได้ (Bunkhean *et al*., 2023) ผลการจำแนกพบว่า SS10 และ SS36 ให้ผลการจำแนกเป็น *B. megaterium* และ *B. amyloliquefaciens* ตามลำดับ โดยมีคะแนนความเชื่อมั่นมากกว่า 2 และจากการศึกษาของ Natthiya *et al*. (2007) พบว่า *B. amyloliquefaciens* มีประสิทธิภาพในการควบคุมเชื้อโรคที่ระบบรากและโรคที่ใบ รวมทั้งชักนำให้เกิดความต้านทานต่อเชื้อ *Xanthomonas axonopodis* pv. glycines สาเหตุของโรคใบจุดนูนได้อีกด้วย ในขณะที่ SS41 ให้ผลการจำแนกเป็น *B. pumilus* ที่ระดับคะแนน 1.99 ซึ่งอยู่ในระดับความเชื่อมั่นต่ำ ซึ่งอาจจะใช้เทคนิคทางชีววิทยาโมเลกุลเพื่อยืนยันผลการจำแนกในครั้งนี้ต่อไป

สรุปผลการวิจัย

จากการคัดแยกแบคทีเรียจากดินบริเวณรากข้าวสังข์หยด พบแบคทีเรียที่สามารถผลิต IAA จำนวน 18 ไอโซเลต คัดเลือกไอโซเลตที่ผลิต IAA ได้มากกว่า 50 มก./มล. นำมาทดสอบความสามารถในการตรึงไนโตรเจนอิสระในสภาวะที่มีออกซิเจนพบจำนวน 4 ไอโซเลต ได้แก่ SS10, SS19, SS36 และ SS41 ที่สามารถตรึงไนโตรเจนได้ และจากการนำทั้ง 4 ไอโซเลตมาทดสอบความสามารถในการละลายฟอสเฟตบนอาหารแข็ง PVK พบว่าทั้ง 4 ไอโซเลตสามารถย่อยสลายฟอสเฟตได้โดย SS10 ให้ดัชนีการละลายฟอสเฟตสูงสุดเท่ากับ 2.46 และพบว่า SS10 และ SS36 สามารถในการยับยั้งการเจริญของเส้นใยเชื้อรา *Alternaria* sp. โดยมีเปอร์เซ็นต์การยับยั้งเท่ากับ 33.63 และ 36.60% ตามลำดับ คัดเลือกแบคทีเรีย SS10, SS36 และ SS41 นำมาทดสอบความสามารถในการกระตุ้นการงอกของเมล็ดข้าวสังข์หยด พบว่าแบคทีเรียที่ทดสอบให้ค่าเปอร์เซ็นต์การงอกอยู่ในช่วง 91.66±5.77 – 93.33 ±5.77 % ซึ่งไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับชุดควบคุมที่ใช้น้ำกลั่น โดยพบว่า SS36 สามารถกระตุ้นการยืดยาวของรากได้สูงสุด โดยมีค่าความยาวของรากเฉลี่ยเท่ากับ 13.21±1.34 มม. จากการบ่งชี้สายพันธุ์ของ SS10, SS36 และ SS41 ด้วยวิธี MALDI-TOF MS พบว่าให้ผลการจำแนกเป็น *B. magaterium, B. amyloliquefaciens* และ *B. pumilus* ตามลำดับ จากผลการศึกษาแบคทีเรียที่คัดแยกได้มีคุณสมบัติในการส่งเสริมการเจริญเติบโตของพืชสามารถนำไปพัฒนาเป็นปุ๋ยชีวภาพ เพื่อนำไปใช้ในการส่งเสริมการเจริญเติบโตของต้นข้าวต่อไป

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณศูนย์ทรัพยากรจุลินทรีย์และการใช้ประโยชน์ มหาวิทยาลัยราชภัฏสงขลา ที่ให้ความอนุเคราะห์เครื่องมือ วัสดุอุปกรณ์และสถานที่ในการดำเนินงานวิจัยครั้งนี้

เอกสารอ้างอิง

Boonnadakul, C., S. Cheunbarn, T. Cheunbarn, S. Klayraung and S. Aumtong. 2019. Selection of free-living nitrogen fixing bacteria to promote on rice growth. **Naresuan Phayao** 12(2): 32–40. [in Thai]

Bunkhean, A., W. Jangiam and M. Tangwattanachuleeporn. 2023. Application of MALDI-TOF MS to rapid identification of *Streptomyces*. **Rambhai Barni Rajabhat Agricultural Journal** 1(1): 1–7. [in Thai]

Chen, P.H., R.Y. Chen and J.Y. Chou. 2018. Screening and evaluation of yeast antagonists for biological control of *Botrytis cinerea* on strawberry fruits. **Mycobiology** 46: 33–46.

Christian, L.L., S.S. Michael, B.A. Mark and F. Noah. 2008. The influence of soil properties on the structure of bacterial and fungal communities across land-use types. **Soil Biology and Biochemistry** 40: 2407–2415.

Division of Rice Product Development. 2021. **Rice varieties: Sangyod rice**. [Online]. Available https://brpd.ricethailand.go.th/page/4538 (March 27, 2025). [in Thai]

Division of Rice Research and Development. 2004. **Instructions for use of chemical fertilizers in paddy fields based on soil analysis**. [Online]. Available http://webold.ricethailand.go.th/rkb3/Eb_014.pdf (March, 30 2025). [in Thai]

Glick, B.R. 2012. Plant growth-promoting bacteria: mechanisms and applications. **Scientifica** 2012**:** 1–15. https://doi.org/10.6040/2012/963401.

Huang, R., H.J. Che, J. Zhang, L. Yang, D.H. Jiang, and G.Q. Li. 2012. Evaluation of *Sporidiobolus pararoseus* strain YCXT3 as biocontrol agent of *Botrytis cinereaon* post-harvest strawberry fruits. **Biological Control** 62: 53–63.

Huangmee, K., P. Kanghae, W. Punsak and W. Homhaul. 2019. The ability of potassium-solubilizing bacteria on germinationof seeds Phitsanulok 2 rice under laboratory condition. **Thai Journal of Soils and Fertilizers** 41(1): 48–58. [in Thai]

Ji, S.H., M.A. Gururani and S.C. Chun. 2014. Isolation and characterization of plant growth promoting endophytic diazotrophic bacteria from Korean rice cultivars. **Microbiological Research** 169: 83–98.

Jomkhame, S. and C. Atnaseo. 2021. Effectiveness of PGPB from different origins on enhancing germination and seedling growth of *Oryza sativa* L. cv. KDML105. **Khon Kaen Agriculture Journal** 49(Suppl.1): 1011–1017. [in Thai]

Kabbua, T. and A. Chaiyara. 2022. Screening and efficiency of phosphate solubilizing bacteria from rice rhizosphere of Si Sa Kat province. **PBRU Science Journal** 19(1): 72–83.

Kanghae, P., S. Jaikawin, A. Hantanapong, S. Pinmanee and W. Wipa Homhual. 2018. Diversity and efficiency of phosphate solubilizing bacteria from the rhizosphere of rice in the upper northern Thailand. **Thai Rice Research Journal** 9(1): 46–59. [in Thai]

Khattisa, A., K. Danmek, W. Tera arusiri, T. Hangsoongnern and S. Mahadtanapuk. 2018. Screening of *Bacillus* in biocontrol and production of bio-fertilizer for use in organic rice farms. **Prawarun Agricultural Journal** 15(1): 41–50. [in Thai]

Kumar, A., B.R. Maurya and R. Raghuwanshi. 2014. Isolation and characterization of PGPR and their effect on growth, yield and nutrient content in wheat (*Triticum aestivum* L.). **Biocatalysis and Agricultural Biotechnology** 3: 121–128.

Magrin, G., C.G. García, D.C. Choque, J.C. Giménez, A.R. Moreno and G.J. Nagy. 2007. Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. pp. 581–615. *In* Parry M.L., O.F. Canziani, J.P. Palutikof, P.J. van der Linden and C.E. Hanson (Eds.). **Latin America. Climate Change 2007: Impacts, Adaptation and Vulnerability**. Cambridge: Cambridge University Press.

Meunchang, P. 2016. **Reduction of rice production cost by biofertilizer**. [Online]. Available https:// www. dailynews.co.th /agriculture/387802 (April 26, 2024). [in Thai]

Mohanram, S. and P. Kumar. 2019. Rhizosphere microbiome: revisiting the synergy of plant-microbe interactions. **Annals of Microbiology** 69: 307–320.

Pechwang, J., C. Sungthong, S. Noonet and S. Thitithanakul. 2021 . Isolation of yeast antagonists from surface of vegetables and fruits for control of *Alternaria alternata*. **Khon Kaen Agriculture Journal** Suppl.1(2021): 838-843. [in Thai]

Setargie, A., S. Tilahun, S. Alemayehu, T. Dejenie and S. Kiros. 2015. Isolation and phenotypic characterization of phosphate solubilizing bacteria from lentil (*Lens culnaris*.) rhizosphere soils from Southern parts of Tigray, Ethiopia. **International Journal of Microbiological Research** 6: 188–194.

Singh, A., V.K. Yadav, R.S. Chundawat, R. Soltane, N.S. Awwad, H.A. Ibrahium, K.K. Yadav and S.I. Vicas. 2023. Enhancing plant growth promoting rhizobacterial activities through consortium exposure: a review. **Frontiers in Bioengineering and Biotechnology** 11: 1099999. https://doi.org/10.3389/fbioe.2023.1099999

Sutthisa, W. and B. Wapi. 2019. Screening of plant growth promoting bacteria for rice from rhizosphere soil of *Gomphrena celosioides* Mart. **Journal of Science & Technology, Ubon Ratchatani University** 21(3): 86–94. [in Thai]

Thancharoen, K., J. PhoolonKaew, K. Sinthurak, K. Leamsamrong, S. Thamduangsri and A. Pimsawan. 2021. Study of soil quality and isolation of phosphate-solubilizing bacteria from organic rice soil area. **Khon Kaen Agriculture Journal** 49(Suppl.1): 293–298. [in Thai]

Vishan, I., S. Sivaprakasam and A. Kalamdhad. 2017. Isolation and identification of bacteria from rotary drum compost of water hyacinth. **International Journal Recycling Organic Waste in Agriculture** 6: 245–253.

Wanchai, K. and S. Ruangsang. 2014. Effect of phosphate-soluble bacteria fixated on rice husk ash on the growth of KK47 rice varieties. **Journal of Agricultural Sciences**. 45(2)(Special): 513–516. [in Thai]

Zhou, D., H. Feng, T. Schuelke, A. De Santiago, Q. Zhang, J. Zhang, C. Luo and L. Wei. 2019. Rhizosphere microbiomes from root knot nematode non-infested plants suppress nematode infection. **Microbial Ecology** 78: 470–481.

Journal of Agri. Research & Extension 42(3): 103-116

ชีวนวัตกรรมการผลิตวัสดุปรับปรุงดินจากก้อนเชื้อเห็ดนางฟ้าเก่าหมักร่วมกับวัสดุอินทรีย์เหลือทิ้งทางการเกษตรโดยใช้เอนโดไฟติกแบคทีเรียเป็นหัวเชื้อ

Bio-innovative Production of Soil Amendment from Spent Oyster Mushroom Substrates Co-fermented with Agricultural Organic Waste Using Endophytic Bacteria as Inoculant

ณัฐพร จันทร์ฉาย* สร้อยฟ้า ดิษคำเหมาะ และจุฑามาศ คำนาน

Nuttaporn Chanchay*, Soifar Diskhommao and Jutamas Kamnan

สาขาวิชาเทคโนโลยีชีวภาพทางอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยแม่โจ้-แพร่ เฉลิมพระเกียรติ แพร่ 54140

Agro-Industrial Biotechnology, Maejo University Phrae Campus, Maejo University, Phrae, Thailand 54140

*Corresponding author: nuttapornchanchay@gmail.com

Received: *September 15, 2023*

Revised: *May 06, 2025*

Accepted: *June 06, 2025*

Abstract

Bio-innovative production of soil amendment from spent oyster mushroom substrates co-fermented with agricultural organic waste using endophytic bacteria as inoculants helped to shorten the time it takes for soil amendments to occur and to produce an effective soil amendment formula. Bio-innovative production of soil amendment materials from spent oyster mushroom substrates co-fermented with agricultural organic waste, using two endophytic nitrogen-fixing bacterial strains: *Pseudoxanthomonas spadix* MJUP08 and *Novosphingobium* sp. MJUP_r9. Five levels of spent oyster mushroom substrates (50, 60, 70, 80, and 90%) were tested over a fermentation period of 35 days. The optimal formulation contained 80% spent mushroom substrate, 6% coffee husks, 6% corn fodder dust, 7% cow manure and 7% molasses diluted with water at a 1:20 ratio, totaling 10 liters with 60% moisture content. A 10% inoculum of both bacterial strains was applied. This formula resulted in the chemical of the soil amendment, with nitrogen (N_2), phosphorus (P_2O_5), and potassium (K_2O) contents of 0.34, 0.15, and 0.84%, respectively.

Keywords: bio-innovative, soil amendments, spent oyster mushroom, endophytic bacteria fodder corn dust

บทคัดย่อ

ชีวนวัตกรรมการผลิตวัสดุปรับปรุงดินจากก้อนเชื้อเห็ดนางฟ้าเก่าหมักร่วมกับวัสดุอินทรีย์เหลือทิ้งทางการเกษตรโดยใช้เอนโดไฟติกแบคทีเรียเป็นหัวเชื้อ เป็นการหมักวัสดุปรับปรุงดินจากวัสดุเหลือทิ้งร่วมกับชีวนวัตกรรมการใช้จุลินทรีย์ตรึงไนโตรเจน เพื่อช่วยย่นระยะการเกิดวัสดุปรับปรุงดินให้เร็วขึ้น และเพื่อผลิตสูตรของวัสดุปรับปรุงดินที่มีประสิทธิภาพได้ พบว่าก้อนเชื้อเห็ดนางฟ้าเก่าหมักร่วมกับวัตถุดิบอินทรีย์เหลือทิ้งทางการเกษตรโดยใช้เอนโดไฟติกแบคทีเรีย *Pseudoxanthomonas spadix* MJUP08 และ *Novosphingobium* sp. MJUP_r9 โดยใช้ปริมาณก้อนเห็ดนางฟ้าเก่าจำนวน 5 ระดับ ที่แตกต่างกัน (50, 60, 70, 80 และ 90 เปอร์เซ็นต์) หลังจากหมักเป็นเวลา 35 วัน ผลการศึกษาพบว่า สูตรที่ใช้ปริมาณก้อนเชื้อเห็ดนางฟ้าเก่าที่ร้อยละ 80 หมักร่วมกับเปลือกกาแฟร้อยละ 6 ฝุ่นข้าวโพดอาหารสัตว์ร้อยละ 6 มูลโคร้อยละ 7 กากน้ำตาลเจือจางกับน้ำ 1 ต่อ 20 ส่วน ที่ปริมาณ 10 ลิตร (ความชื้นร้อยละ 60) โดยใช้จุลินทรีย์ตรึงไนโตรเจนเป็นหัวเชื้อทั้ง 2 สายพันธุ์ ร้อยละ 10 มีสมบัติทางเคมีของวัสดุปรับปรุงดินเบื้องต้น ได้แก่ N_2, P_2O_5 และ K_2O เท่ากับร้อยละ 0.34, 0.15 และ 0.84 ตามลำดับ

คำสำคัญ: ชีวนวัตกรรม วัสดุปรับปรุงดิน ก้อนเชื้อเห็ดนางฟ้าเก่า เอนโดไฟติกแบคทีเรีย ฝุ่นข้าวโพดอาหารสัตว์

คำนำ

ความอุดมสมบูรณ์ของดินทางการเกษตรกรรมมีความสำคัญยิ่งต่อการเพิ่มผลผลิต และด้วยจำนวนประชากรทั่วโลกที่มีมากกว่า 7 พันล้านคน ทำให้มีความต้องการอาหารเพิ่มมากขึ้นต่อการอยู่รอดของประชากรโลก ในช่วงหลายปีที่ผ่านมาเกษตรกรต้องอาศัยปุ๋ยเคมีในการเสริมการเจริญเติบโตของพืช แต่การใช้ปุ๋ยเคมีและยาฆ่าแมลงอย่างต่อเนื่องเกิดการปนเปื้อนและทำลายคุณภาพดิน (Yang *et al.,* 1991; Daramola *et al.,* 2006) จึงจำเป็นต้องลดการใช้ปุ๋ยเคมี เพื่อลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมเนื่องจากการทำเกษตรแบบขาดการไตร่ตรอง (Nottidge *et al.,* 2005; Subba, 1993) อีกทั้งปัญหาหมอกควันในภาคเหนือเป็นปัญหามลภาวะ ทางอากาศเป็นอันดับต้น ๆ ของประเทศไทย ซึ่งปัญหามีมาอย่างยาวนาน และปัญหาหมอกควันเหล่านี้เกิดจากการที่เกษตรกรมีวิธีการกำจัดวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรที่ผิดวิธี โดยส่วนใหญ่เกษตรกรจะกำจัดวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรเหล่านี้โดยวิธีการเผาและนำไปทิ้งตามที่สาธารณะต่าง ๆ จึงทำให้เกิดหมอกควันขึ้น ซึ่งเรียกอีกอย่างได้ว่าปัญหาฝุ่น PM 2.5

ขยะทางการเกษตร (ขยะอินทรีย์) คือ ของเสียที่ได้จากซากพืชหาได้ง่ายและพบได้ในสถานที่ทั่วไป เช่น ฟาร์ม ที่อยู่อาศัย โรงงานอุตสาหกรรม แม่น้ำ ฯลฯ ที่ไม่ได้จัดการอย่างเหมาะสมและถูกต้อง ของเสียเหล่านี้ก่อให้เกิดผลเสียต่อมนุษย์และสิ่งแวดล้อมมากมาย ส่วนประกอบของขยะเกษตร ได้แก่ เซลลูโลสและลิกนิน หรือที่เรียกว่าองค์ประกอบที่ไม่ละลายน้ำ ในขณะที่ส่วนประกอบที่ละลายน้ำได้ ได้แก่ น้ำตาล กรดอะมิโนและกรดอินทรีย์อื่น ๆ ได้แก่ ไขมัน ไขน้ำมัน เรซิน รงควัตถุ โปรตีน และแร่ธาตุ องค์ประกอบทั้งหมดนี้ในขยะเกษตรแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์ ดังนั้น ของเสียทางการเกษตรจึงเป็นแหล่งวัตถุดิบราคาถูกที่เกษตรกรสามารถนำไปใช้ปรับปรุงความอุดมสมบูรณ์ของดิน ปุ๋ยชีวภาพเป็นส่วนประกอบที่สำคัญของการจัดการสารอาหารแบบบูรณาการ (Subba, 1993) ศักยภาพเหล่านี้ปุ๋ยชีวภาพจึงมีบทบาทสำคัญในการเพิ่มผลผลิตและความยั่งยืนของดิน และยังรักษาสิ่งแวดล้อมด้วยวัตถุดิบที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมและคุ้มค่าสำหรับชาวนา (Taiwan Fertilizer Company, 1994; Shaviv, 2005) และยังเป็นแหล่งหมุนเวียนธาตุอาหารแก่พืชทดแทนปุ๋ยเคมีในระบบเกษตรยั่งยืน (Taiwan Fertilizer Company, 1994)

วัสดุปรับปรุงดิน (soil amendment) หมายถึง สารที่ได้จากธรรมชาติหรือจากสารสังเคราะห์ที่นำมาใช้เพื่อปรับปรุงสมบัติทางกายภาพของดินหรือทางเคมีอย่างใดอย่าง

หนึ่งหรือทั้งสองอย่าง เพื่อให้เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของพืช เช่น การปรับปรุงความเป็นกรด-ด่าง หรือการทำให้ระดับธาตุอาหารของพืชอยู่ในรูปที่เป็นประโยชน์มากขึ้น จุดมุ่งหมายหลักของการวิจัยครั้งนี้ คือ เพื่อเพิ่มคุณค่าทางโภชนาการของก้อนเชื้อเห็ดเก่า และวัสดุอินทรีย์ที่เหลือทิ้งทางการเกษตรอื่น ๆ ต่อการศึกษาคุณสมบัติและชีวนวัตกรรมการผลิตวัสดุปรับปรุงดินโดยใช้เอนโดไฟติกแบคทีเรีย 2 สายพันธุ์ คือ *Pseudoxanthomonas spadix* MJUP08 และ *Novosphingobium* sp. MJUPr9 เป็นหัวเชื้อในการผลิตภายใต้แนวคิดเศรษฐกิจชีวภาพ เศรษฐกิจหมุนเวียน และเศรษฐกิจสีเขียว (Bio-Circular-Green Economy: BCG Economy) เพื่อเพิ่มมูลค่าทางเศรษฐกิจที่เกิดจากเศรษฐกิจ BCG และคาดว่าจะสามารถแก้ไขปัญหาการเผาวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตร และได้ผลผลิตปุ๋ยชีวภาพอีกหนึ่งผลิตภัณฑ์ที่เป็น social enterprise (ธุรกิจเพื่อสังคม)

อุปกรณ์และวิธีการ

การศึกษาสมบัติทางเคมีและทางกายภาพของก้อนเห็ดนางฟ้าเหลือทิ้ง เปลือกกาแฟ และฝุ่นข้าวโพดอาหารสัตว์

นำก้อนเห็ดนางฟ้าเหลือทิ้ง เปลือกกาแฟ มูลวัว และฝุ่นข้าวโพดอาหารสัตว์ ซึ่งเป็นวัตถุดิบที่เหลือทิ้งที่มีปริมาณมากในชุมชนจังหวัดน่าน มาวิเคราะห์สมบัติทางเคมีและสมบัติทางกายภาพก่อนศึกษาการหมักวัสดุปรับปรุงดิน ได้แก่ ปริมาณอินทรียวัตถุ (Organic Matter: OM) ปริมาณอินทรีย์คาร์บอน (Organic Carbon: OC) สัดส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน (Carbon/Nitrogen ratio) ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด ปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมด (ในรูป P_2O_5) ปริมาณโพแทสเซียมทั้งหมด (ในรูป K_2O) พีเอช (ดิน:น้ำ = 1:1) ค่าการนำไฟฟ้า (Electrical Conductivity: EC) (ดิน:น้ำ = 1:5) และปริมาณความชื้น (Oluchukwu *et al.,* 2018)

การศึกษาสูตรวัสดุปรับปรุงดินจากก้อนเห็ดนางฟ้าเหลือทิ้งร่วมกับเปลือกกาแฟ และฝุ่นข้าวโพดอาหารสัตว์

1) เตรียมส่วนผสมวัสดุปรับปรุงดินจำนวน 5 สูตร ให้มีน้ำหนักรวมทั้งหมดเท่ากับ 1 กก. โดยใช้อัตราส่วนผสมของปริมาณก้อนเชื้อเห็ดนางฟ้าเหลือทิ้งจำนวน 5 ระดับ คือ ร้อยละ 50, 60, 70, 80 และ 90 และส่วนผสมของมูลวัว เปลือกกาแฟ และฝุ่นข้าวโพดอาหารสัตว์ในจำนวน 5 ระดับ คือ ร้อยละ 50, 40, 30, 20 และ 10 (Table 1) คลุกเคล้าให้เข้ากันแล้วบรรจุลงในถังพลาสติก จำนวน 5 ถังต่อสูตรวัสดุปรับปรุงดิน

2) เติมส่วนผสมระหว่างสารละลายของเชื้อแบคทีเรียกลุ่มเอนโดไฟติกสายพันธุ์ *Novosphingobium* sp. MJUP_r9 และจุลินทรีย์สายพันธุ์ *Pseudoxanthomonas spadix* MJUP08 ซึ่งเป็นแบคทีเรียแกรมลบ ลักษณะเป็นรูปท่อนสั้น ที่ความเข้มข้น 1.0×10^8 (ที่ความยาวคลื่น 600 นม. (OD600) ให้มีความขุ่นของเชื้อจุลินทรีย์เท่ากับค่า McFarland standard No. 0.5 โดย เจือจางสารละลายให้มีค่าดูดกลืนแสงเท่ากับ 0.09–0.1 ซึ่งจะมีจำนวนเชื้อเท่ากับ 10^8 CFU/มล.) 1 มล. ต่อ 1 กก. และกากน้ำตาล 1 กก. ต่อปุ๋ยอินทรีย์ 100 กก. ในอัตราส่วนคงที่ในวัสดุปรับปรุงดินทุกสูตรเคล้าให้เข้ากันแล้วปรับความชื้นวัสดุปรับปรุงดินที่ผสมแล้วให้อยู่ในช่วง 60–70%

3) ปิดปากถังพลาสติกที่บรรจุวัสดุปรับปรุงดินแล้วหมักเป็นระยะเวลา 35 วัน พร้อมพลิกกลับกองวัสดุปรับปรุงดินทุก ๆ 7 วัน (Oluchukwu *et al.,* 2018)

4) ทุก ๆ 7 วัน วัดการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ (ด้วยเครื่องวัดอุณหภูมิแบบปรอท) พีเอช ความชื้น และสี (Hunter lab และในวันที่ 0 และ 35 เก็บตัวอย่างวัสดุปรับปรุงดินมาวิเคราะห์ธาตุอาหารต่าง ๆ ได้แก่ ปริมาณอินทรียวัตถุ (OM) ปริมาณอินทรีย์คาร์บอน (OC) สัดส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน (C/N ratio) ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด ปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมด (ในรูป P_2O_5) ปริมาณ

โพแทสเซียมทั้งหมด (ในรูป K_2O) พีเอช (ดิน:น้ำ = 1:1) ค่าการนำไฟฟ้า (EC) (ดิน:น้ำ = 1:5) ปริมาณความชื้น (Oluchukwu *et al.,* 2018) และวัดค่าสีของวัสดุปรับปรุงดินหลังสิ้นสุดการหมักด้วยเครื่องวัดสียี่ห้อ Hunter lab รุ่น NH300 ยี่ห้อ 3 nh)

Table 1 Mixing ratios of different formulas of organic fertilizers used to study soil amendment formulations from leftover oyster mushroom lumps

Formula	Oyster mushroom (kg)	Coffee shell (kg)	Corn dust (kg)	Cow dung (kg)	*Novosphingobium* sp. MJUP_r9 (ml)	*Pseudoxanthomonas spadix* MJUP08 (ml)	Molasses (kg)
1	0.5	0.16	0.16	0.18	100	100	1
2	0.6	0.13	0.13	0.14	100	100	1
3	0.7	0.10	0.10	0.10	100	100	1
4	0.8	0.06	0.06	0.07	100	100	1
5	0.9	0.03	0.03	0.04	100	100	1

Adapted from Thongpradistha *et al.* (2023)

ผลการวิจัย

ผลการศึกษาสมบัติทางเคมีและทางกายภาพของก้อนเห็ดนางฟ้าเหลือทิ้ง

จากการศึกษาปริมาณธาตุอาหารที่มีอยู่ในก้อนเห็ดนางฟ้าเหลือทิ้งก่อนนำมาศึกษาการหมักวัสดุปรับปรุงดิน พบว่ามีปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด เท่ากับร้อยละ 0.39

Table 2 Chemical properties and physical properties of organic raw materials.

Chemical properties and Physical properties	Organic matter			
	Mushroom spawn	Coffee shell	Cow dung	Corn dust
1) Organic matter content (OM)	54.73%	61.54%	39.81%	87.00%
2) Organic carbon content (OC)	31.74%	35.70%	23.09%	50.46%
3) Carbon to nitrogen ratio (C/N ratio)	81	36	15	51
4) Total nitrogen content	0.39%	1.00%	1.49%	0.98%
5) Total phosphorus (as P_2O_5)	0.16%	0.15%	0.34%	0.14%

Table 2 Continued

Chemical properties and Physical properties	Organic matter			
	Mushroom spawn	Coffee shell	Cow dung	Corn dust
6) Total potassium content (as K_2O)	1.06%	0.90%	0.75%	0.34%
7) pH (soil:water = 1:1)	8	8	8	6
8) Electrical conductivity (EC) (Soil:water = 1:5)	1.27	0.08	1.58	0.72
9) Moisture content	50%	60%	60%	70%

ผลการศึกษาสูตรวัสดุปรับปรุงดินจากก้อนเห็ดนางฟ้าเหลือทิ้ง

จากการศึกษาสูตรวัสดุปรับปรุงดินจากกก้อนเห็ดนางฟ้าเหลือทิ้งจำนวน 5 สูตร ที่หมักในถังพลาสติกปิดสนิทที่มีน้ำหนักรวมทั้งหมด 1 กก. เป็น ระยะเวลา 35 วัน แล้ววัดการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ พีเอช และวิเคราะห์ธาตุอาหารต่าง ๆ ได้แก่ ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด ฟอสฟอรัสทั้งหมด และโพแทสเซียมทั้งหมด ทุก ๆ 7 วัน เพื่อคัดเลือกสูตรวัสดุปรับปรุงดินที่มีธาตุอาหารมากที่สุดหลังการหมัก และใช้ก้อนเชื้อเห็ดเหลือทิ้งปริมาณมากที่สุด ได้ผลการศึกษาดังต่อไปนี้

การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิระหว่างการหมักวัสดุปรับปรุงดินจากก้อนเชื้อเห็ดนางฟ้าเหลือทิ้งจำนวน 5 สูตร ที่หมักในถังพลาสติกปิดสนิทเป็นระยะเวลา 35 วัน พบว่า อุณหภูมิเริ่มต้นเมื่อทำการหมักวัสดุปรับปรุงดินจะอยู่ในช่วง 23–30°ซ และมีการเปลี่ยนแปลงอุณภูมิในการหมักเพิ่มขึ้นเพียงเล็กน้อยในช่วงการหมักวันที่ 14 อยู่ในช่วง 29-30°ซ และลดลงเมื่อใกล้สิ้นสุดการหมัก โดยอุณหภูมิเมื่อสิ้นสุดการหมักที่ระยะเวลา 35 วัน อยู่ในช่วง 25–28°ซ ดังแสดงใน Figure 1A และจากการทดลองแสดงให้เห็นว่าระดับอุณหภูมิลดลงไม่สูงมาก และการที่อุณหภูมิมีการเปลี่ยนแปลง อาจเกิดจากการเปลี่ยนแปลงสภาวะของการหมัก และเกิดจากการถ่ายโอนความร้อน และอุณหภูมิไม่มีผลต่อการยับยั้งหรือชะลอกระบวนการหมักลง

การเปลี่ยนแปลงพีเอชระหว่างหมักวัสดุปรับปรุงดินจากก้อนเชื้อเห็ดนางฟ้าเหลือทิ้งจำนวน 5 สูตร ที่หมักในถังพลาสติกปิดสนิทเป็นระยะเวลา 35 วัน พบว่าพีเอชเริ่มต้นเมื่อทำการหมักวัสดุปรับปรุงดินอยู่ในช่วง 8.57–8.75 และมีการเปลี่ยนแปลงพีเอชในการหมักเพิ่มขึ้นเพียงเล็กน้อยในช่วงการหมักวันที่ 7 ถึงระยะสิ้นสุดการหมักที่ระยะเวลา 35 วัน อยู่ในช่วง 7–8 ดังแสดงใน Figure 1B และมีการเปลี่ยนแปลงพีเอชในการหมักเพิ่มขึ้นเล็กน้อยในช่วงการหมักวันที่ 7 ถึงวันที่ 35 อยู่ในช่วง 8–9

การเปลี่ยนแปลงความชื้นระหว่างการหมักวัสดุปรับปรุงดินจากก้อนเชื้อเห็ดนางฟ้าเก่าเหลือทิ้ง จำนวน 5 สูตร ที่หมักในถังพลาสติกปิดสนิด เป็นระยะเวลา 35 วัน พบว่า ในช่วงเริ่มต้นมีค่าความชื้นร้อยละ 60 และมีการเปลี่ยนแปลงความชื้นเล็กน้อยในระหว่างการหมัก และในช่วงการหมักวันที่ 7 ถึงระยะสิ้นสุดการหมักวันที่ 35 มีความชื้นอยู่ในช่วงร้อยละ 60–70 ดัง Figure 1C

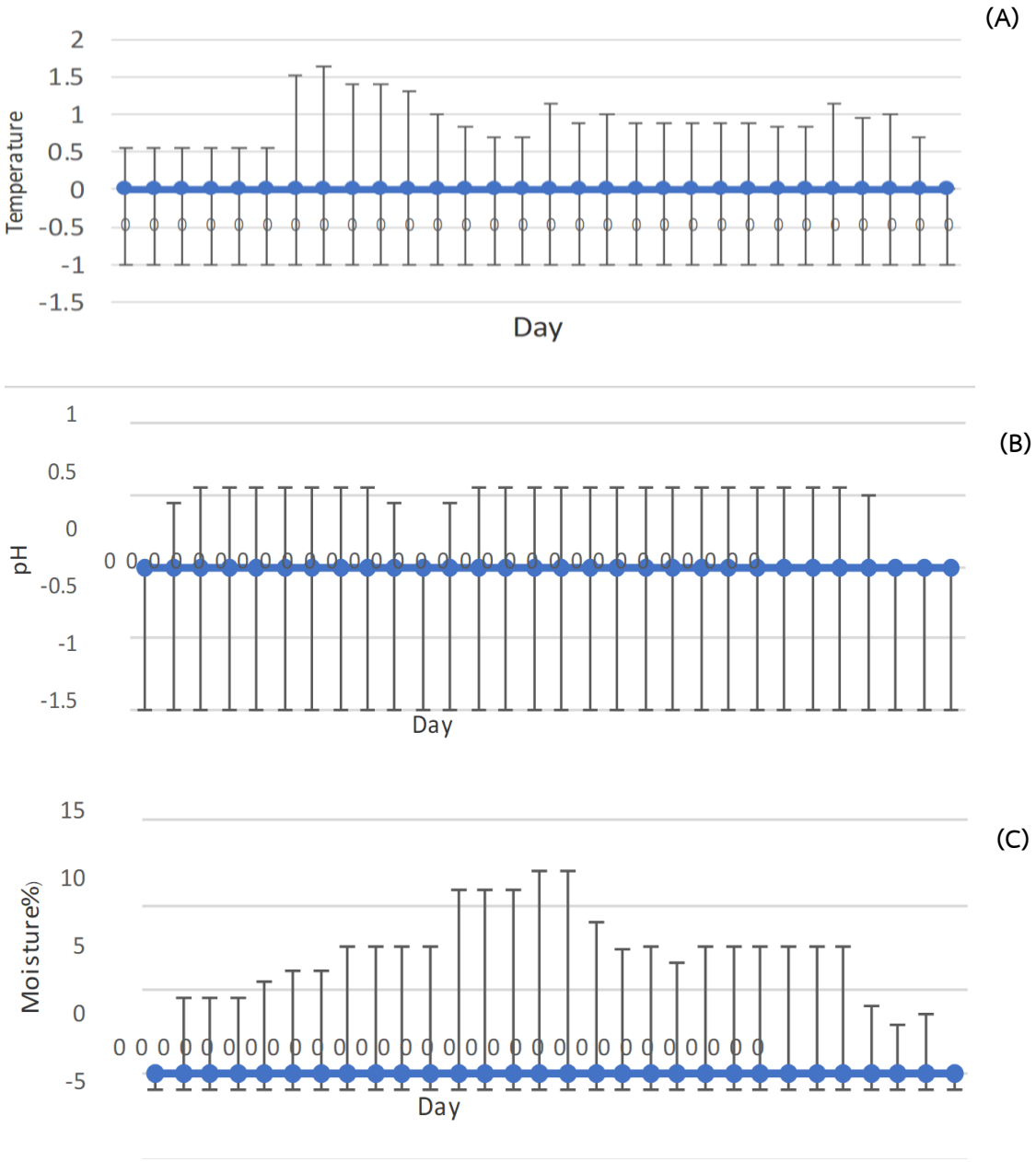


Figure 1 Temperature changes (A), pH Changes (B) and moisture changes (C) during the fermentation of bio-fertilizer from oyster mushroom residues of different formulas for a period of 35 days

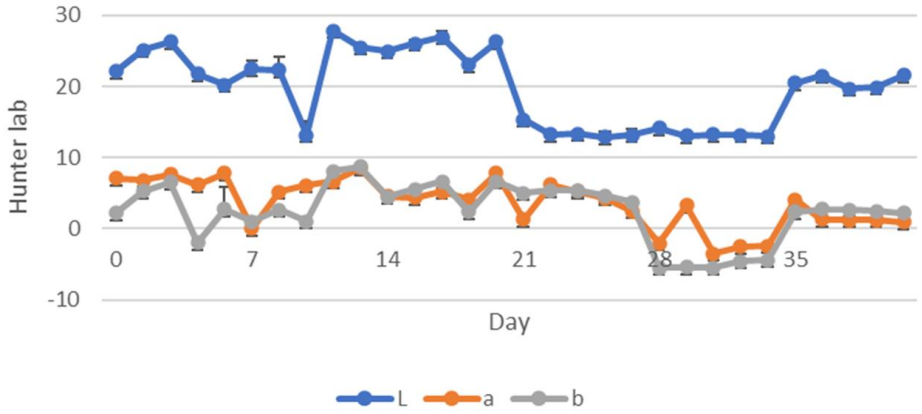


Figure 2 Changes in the color of soil amendment from oyster mushroom residues in different formulas for a period of 35 days

จากการวัดค่าสีในวัสดุปรับปรุงดินจากก้อนเชื้อเห็ดนางฟ้าเหลือทิ้งจำนวน 5 สูตร ที่หมักในถังพลาสติกปิดสนิทเป็นระยะเวลา 35 วัน พบว่า ค่าสี L* ของปุ๋ยอินทรีย์ทั้ง 5 สูตร โดยสูตรวัสดุปรับปรุงดินมีสัดส่วนของก้อนเชื้อเห็ดเหลือทิ้งในปริมาณน้อย (สูตรที่ 1) มีค่าสี L* น้อย สีของวัสดุปรับปรุงดินที่ได้มีลักษณะน้ำตาลเข้ม และเมื่อเพิ่มสัดส่วนของก้อนเชื้อเห็ดนางฟ้าเหลือทิ้งเพิ่มขึ้น (สูตรที่ 2–5) มีค่าสี L* เพิ่มขึ้น และสีของวัสดุปรับปรุงดินที่ได้มีลักษณะน้ำตาลอ่อนลง ตามลำดับ (Figure 2)

Table 3 Color values in soil amendment from cultivated oyster mushroom spawns in various formulations (mushroom loaf : various ingredients) after 35 days of fermentation

Organic fertilizer formula	Color		
	L*	a*	b*
Start fermentation	20.24^{b}±0.13	6.24^{e}±0.08	1.95^{a}±0.41
Formula 1 (50:50)	20.54^{b}±0.33	4.11^{d}±0.01	2.41^{c}±0.03
Formula 2 (60:40)	21.50^{c}±0.32	1.35^{c}±0.29	2.78^{e}±0.40
Formula 3 (70:30)	19.66^{a}±0.10	1.23^{b}±0.11	2.66^{d}±0.34
Formula 4 (80:20)	19.86^{a}±0.10	1.26^{b}±0.02	2.46^{c}±0.26
Formula 5 (90:10)	21.56^{c}±0.22	0.91^{a}±0.24	2.21^{b}±0.27
F-test	*	*	*

Mean±SD from 4 replicates of the experiment was significant differences at $p \leq 0.05$.

จาก Table 3 พบว่าในการวิเคราะห์ค่า OM, OC, C/N ratio, N, P, K, EC, L*, a*, b*, อุณหภูมิ, ความชื้น และ pH ในแต่ละชุดการทดลองพบว่า ค่า L* เริ่มต้นของวัสดุหมักมีค่าเฉลี่ย 20.24 และเมื่อสิ้นสุดกระบวนการหมัก ค่า L* ของแต่ละสูตรอยู่ในช่วง 19.66–21.56 สำหรับพารามิเตอร์สี a* และ b* หลังการหมัก 35 วัน พบว่าค่า a* อยู่ในช่วง 0.91–4.11 และค่า b* อยู่ในช่วง 2.21–2.78 ทั้งสองค่ามีค่าเป็นบวก แสดงว่าวัสดุปรับปรุงดินหลังการหมักยังคงมีลักษณะโทนสีแดงและเหลืองผสมอยู่ ซึ่งเป็นคุณลักษณะสีที่เกิดจากองค์ประกอบอินทรีย์ภายในวัสดุ ดัง Figure 3

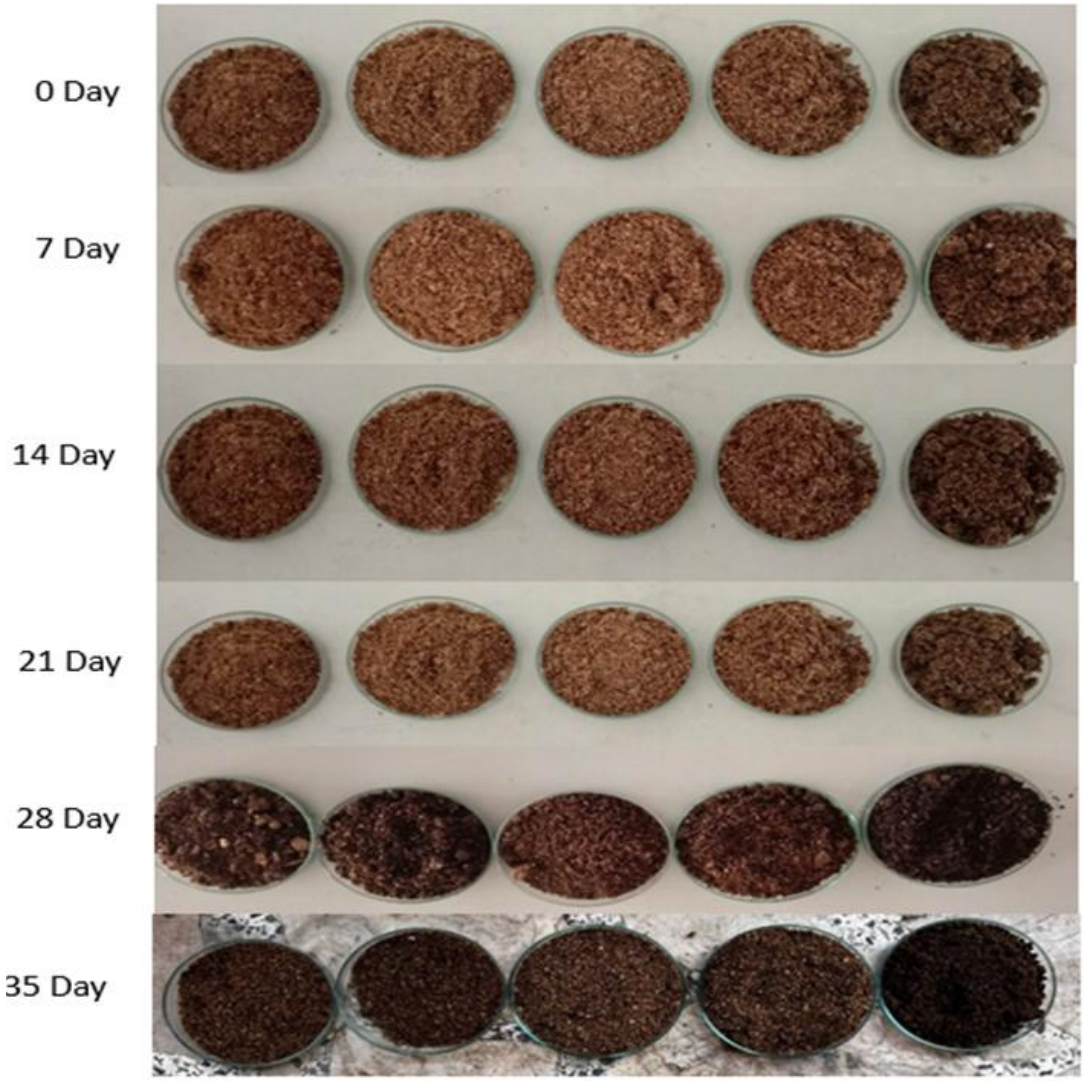


Figure 3 Color of soil amendment from old oyster mushroom fermented with coffee husks and forage corn dust using nitrogen-fixing microorganisms as starter to produce different formulations after 35 days of fermentation

Table 4 Total nitrogen content in soil amendment from cultivated oyster mushroom spawns in different formulas (mushroom loaf : various ingredients) after fermentation for a period of 35 days

Organic fertilizer formula	Total nitrogen content (%)	
	0 Day	After fermentation 35 day
Formula 1 (50:50)	0.36^{a}±0.12	0.37^{c}±0.14
Formula 2 (60:40)	0.33^{c}±0.77	0.39^{b}±0.89
Formula 3 (70:30)	0.36^{a}±0.51	0.41^{a}±0.05
Formula 4 (80:20)	0.34^{b}±0.37	0.34^{d}±0.38
Formula 5 (90:10)	0.27^{d}±0.13	0.27^{e}±0.19
F-test	*	*

Mean±SD from 4 replicates of the experiment was significant differences at p≤0.05.

ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดในวัสดุปรับปรุงดินจากก้อนเชื้อเห็ดนางฟ้าเหลือทิ้งสูตรต่าง ๆ หลังการหมัก

จากการวิเคราะห์ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดในวัสดุปรับปรุงดินจากก้อนเชื้อเห็ดนางฟ้าเก่าเหลือทิ้ง จำนวน 5 สูตรที่หมักในถังพลาสติกปิดสนิทเป็นระยะเวลา 35 วัน พบว่าวัสดุปรับปรุงดินที่หมักจากก้อนเชื้อเห็ดนางฟ้าเหลือทิ้งบางสูตรมีปริมาณไนโตรเจนเพิ่มขึ้น โดยปุ๋ยอินทรีย์สูตรที่ 3 มีปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดมากที่สุดเท่ากับร้อยละ 0.41 มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p≤0.05) เมื่อเปรียบเทียบกับวัสดุปรับปรุงดินสูตรอื่น ๆ ดังแสดงใน Table 4 เมื่อมีการใช้ก้อนเห็ดนางฟ้าเหลือทิ้งในอัตราที่สูง ส่งผลให้มีปริมาณไนโตรเจนสูง แสดงว่าในก้อนเห็ดนางฟ้าเหลือทิ้งมีปริมาณโปรตีนคงเหลืออยู่ และการที่มีปริมาณไนโตรเจนที่สูงขึ้นหลังจากการหมัก ส่งผลให้โมเลกุลของโปรตีนมีขนาดโมเลกุลที่เล็กลง เปลี่ยนจากโปรตีนเป็นกรดอะมิโน ทำให้พืชสามารถดูดซึมได้เร็วและเป็นผลดีต่อการเจริญเติบโตของพืช

ปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมดในปุ๋ยอินทรีย์ จากก้อนเชื้อเห็ดนางฟ้าเหลือทิ้งสูตรต่าง ๆ หลังการหมัก

จากการวิเคราะห์ปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมดในวัสดุปรับปรุงดินจากก้อนเชื้อเห็ดนางฟ้าเหลือทิ้งจำนวน 5 สูตร ที่หมักในถังพลาสติกปิดสนิทเป็นระยะเวลา 35 วัน พบว่า สูตรวัสดุปรับปรุงดินที่หมักจากก้อนเชื้อเห็ดนางฟ้าเหลือทิ้งทุกสูตรมีปริมาณฟอสฟอรัสบางสูตรเพิ่มขึ้น โดยปุ๋ยอินทรีย์สูตรที่ 2 มีปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมดมากที่สุดเท่ากับร้อยละ 0.20 และมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p≤0.05) เมื่อเปรียบเทียบกับวัสดุปรับปรุงดินสูตรอื่น ๆ ดังแสดงใน Table 5

Table 5 Total phosphorus content in soil amendment from cultivated oyster mushroom spawns in different formulas (mushroom loaf : various ingredients) after 35 days of fermentation

Organic fertilizer formula	Total Phosphorus content (as P_2O_5) (%)	
	0 Day	After fermentation 35 day
Formula 1 (50:50)	0.14^{b}±0.45	0.12^{c}±0.41
Formula 2 (60:40)	0.11^{d}±0.77	0.20^{a}±0.72
Formula 3 (70:30)	0.18^{a}±0.15	0.15^{b}±0.10
Formula 4 (80:20)	0.12^{c}±0.44	0.15^{b}±0.40
Formula 5 (90:10)	0.08^{e}±0.56	0.07^{d}±0.72
F-test	*	*

Mean±SD from 4 replicates of the experiment was significant differences at p≤0.05.

ปริมาณโพแทสเซียมทั้งหมดในปุ๋ย อินทรีย์จากก้อนเชื้อเห็ดนางฟ้าเหลือทิ้งสูตรต่างๆ หลังการหมัก

จากการวิเคราะห์ปริมาณโพแทสเซียมทั้งหมดในวัสดุปรับปรุงดินจากก้อนเชื้อเห็ดนางฟ้าเหลือทิ้ง จำนวน 5 สูตร ที่หมักในถังพลาสติกปิดสนิทเป็นระยะเวลา 35 วัน พบว่า สูตรวัสดุปรับปรุงดินที่หมักจากก้อนเชื้อเห็ดนางฟ้าเหลือทิ้งบางสูตรมีปริมาณโพแทสเซียมทั้งหมดเพิ่มขึ้น โดยปุ๋ยอินทรีย์สูตรที่ 4 มีปริมาณโพแทสเซียมทั้งหมดมากที่สุด เท่ากับร้อยละ 0.84 และมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) เมื่อเปรียบเทียบกับปุ๋ยอินทรีย์สูตรอื่น ๆ ดังแสดงใน Table 6

Table 6 Total potassium content in soil amendment from cultivated oyster mushroom spawns in different formulas (mushroom loaf : various ingredients) after 35 days of fermentation

Organic fertilizer formula	Total potassium content (as K_2O) (%)	
	0 Day	After fermentation 35 day
Formula 1 (50:50)	0.75^{d}±0.43	0.78^{c}±0.13
Formula 2 (60:40)	0.96^{c}±0.45	0.79^{c}±0.91
Formula 3 (70:30)	1.01^{b}±0.78	0.82^{b}±0.54
Formula 4 (80:20)	1.13^{a}±0.11	0.84^{a}±0.82
Formula 5 (90:10)	0.84^{c}±0.76	0.72^{d}±0.74
F-test	*	*

Mean±SD from 4 replicates of the experiment was significant differences at p≤0.05.

วิจารณ์ผลการวิจัย

จากการศึกษาปริมาณธาตุอาหารที่มีอยู่ในก้อนเห็ดนางฟ้าเหลือทิ้ง เปลือกกาแฟ มูลวัว และฝุ่นข้าวโพดอาหารสัตว์ ก่อนนำมาศึกษาการหมักวัสดุปรับปรุงดินพบว่า มีปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดเท่ากับร้อยละ 0.39, 1.00, 1.49, 0.98 ตามลำดับ ปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมด (ในรูป P_2O_5) เท่ากับร้อยละ 0.16, 0.15, 0.34, 0.14 ตามลำดับ และปริมาณโพแทสเซียมทั้งหมด (ในรูป K_2O) เท่ากับร้อยละ 1.06, 0.90, 0.75, 0.34 ตามลำดับ และมีสมบัติทางเคมีและสมบัติทางกายภาพอื่น ๆ สอดคล้องกับ Thongpradistha *et al.* (2023)

จากการศึกษาการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิระหว่างการหมักปุ๋ยอินทรีย์จากก้อนเชื้อเห็ดนางฟ้าเหลือทิ้งจำนวน 5 สูตร ที่หมักในถังพลาสติกปิดสนิทเป็นระยะเวลา 35 วัน พบว่าอุณหภูมิเริ่มต้นเมื่อทำการหมักวัสดุปรับปรุงดินอยู่ในช่วง 23–30°ซ และมีการเปลี่ยนแปลงอุณภูมิในการหมักเพิ่มขึ้นเพียงเล็กน้อยในช่วงการหมักวันที่ 14 อยู่ในช่วง 29–30°ซ และลดลงเมื่อใกล้สิ้นสุดการหมัก โดยอุณหภูมิเมื่อสิ้นสุดการหมักที่ระยะเวลา 35 วัน อยู่ในช่วง 25–28°ซ และจากการทดลองแสดงให้เห็นว่าระดับอุณหภูมิลดลงไม่สูงมาก และการที่อุณหภูมิมีการเปลี่ยนแปลงอาจเกิดจากการเปลี่ยนแปลงสภาวะของการหมักและเกิดจากการถ่ายโอนความร้อน และอุณหภูมิไม่มีผลต่อการยับยั้งหรือชะลอกระบวนการหมักลง Silva *et al.* (2017) กล่าวว่า โดยทั่วไปจุลินทรีย์เจริญได้ดีในช่วงอุณหภูมิ 25–35°ซ สอดคล้องกับ Thongpradistha *et al.* (2023) รายงานว่า ระหว่างหมักปุ๋ยอินทรียจากก้อนเชื้อเห็ดนางฟ้าเหลือทิ้งอุณหภูมิเริ่มต้นเมื่อทำการหมักปุ๋ยอินทรีย์จะอยู่ในช่วง 29.66–31.96°ซ และมีการเปลี่ยนแปลงอุณภูมิในการหมักเพิ่มขึ้นเพียงเล็กน้อยในช่วงกลางของการหมัก และลดลงเมื่อใกล้สิ้นสุดการหมักอยู่ในช่วง 27.70–28.36°ซ

การเปลี่ยนแปลงความเป็นกรด-ด่างระหว่างหมักวัสดุปรับปรุงดินจากก้อนเชื้อเห็ดเก่านางฟ้าเหลือทิ้งจำนวน 5 สูตร ที่หมักในถังพลาสติกปิดสนิทเป็นระยะเวลา 35 วัน พบว่า พีเอชเริ่มต้นเมื่อทำการหมักวัสดุปรับปรุงดินอยู่ในช่วง 7–8 และมีการเปลี่ยนแปลงพีเอชในการหมักเพิ่มขึ้นเล็กน้อยในช่วงการหมักวันที่ 7 ถึงวันที่ 35 อยู่ในช่วง 8–9 บทบาทของความเป็นกรด-ด่างมีส่วนสำคัญและส่งผลอย่างมากต่อการให้พืชเจริญเติบโตได้ดี ซึ่งจะอยู่ในช่วง 6–10 สอดคล้องกับการศึกษาของ Thongpradistha *et al.* (2023) รายงานว่า จากการศึกษาการเปลี่ยนแปลงพีเอชระหว่างหมักปุ๋ยอินทรีย์จากก้อนเชื้อเห็ดนางฟ้าเหลือทิ้ง พบว่าพีเอชเริ่มต้นเมื่อทำการหมักปุ๋ยอินทรีย์จะอยู่ในช่วง 8.57–8.75 และมีการเปลี่ยนแปลงพีเอชในการหมักเพิ่มขึ้นเพียงเล็กน้อยในช่วงการหมักวันที่ 7 ถึงระยะสิ้นสุดการหมักที่ระยะเวลา 49 วัน อยู่ในช่วง 8.94–9.21

การเปลี่ยนแปลงความชื้นระหว่างการหมักวัสดุปรับปรุงดินจากก้อนเชื้อเห็ดนางฟ้าเก่าเหลือทิ้ง จำนวน 5 สูตร ที่หมักในถังพลาสติกปิดสนิท เป็นระยะเวลา 35 วัน พบว่าในช่วงเริ่มต้นมีค่าความชื้นร้อยละ 60 และมีการเปลี่ยนแปลงความชื้นเล็กน้อยในระหว่างการหมัก และในช่วงการหมักวันที่ 7 ถึงระยะสิ้นสุดการหมักวันที่ 35 มีค่าความชื้นอยู่ในช่วงร้อยละ 60–70

จากการวัดค่าสีในวัสดุปรับปรุงดินจากก้อนเชื้อเห็ดนางฟ้าเหลือทิ้งจำนวน 5 สูตร ที่หมักในถังพลาสติกปิดสนิทเป็นระยะเวลา 35 วัน พบว่า ค่าสี L* ของปุ๋ยอินทรีย์ทั้ง 5 สูตร โดยสูตรวัสดุปรับปรุงดินที่มีสัดส่วนของก้อนเชื้อเห็ดเหลือทิ้งในปริมาณน้อย (สูตรที่ 1) มีค่าสี L* น้อย สีของวัสดุปรับปรุงดินที่ได้มีลักษณะน้ำตาลเข้ม และเมื่อเพิ่มสัดส่วนของก้อนเชื้อเห็ดนางฟ้าเหลือทิ้งที่เพิ่มขึ้น (สูตรที่ 2–5) มีค่าสี L* เพิ่มขึ้น และสีของวัสดุปรับปรุงดินที่ได้มีลักษณะน้ำตาลอ่อนลงตามลำดับ สอดคล้องกับ Meena *et al.* (2016) กล่าวว่า ปุ๋ยหมักที่หมักจนสมบูรณ์แล้วจะมีสีเข้มขึ้นเป็นสีน้ำตาลเข้มหรือสีดำ และการศึกษาของ Thongpradistha *et al.* (2023) รายงานว่า ค่าสี L* น้อย สีของปุ๋ยอินทรีย์ที่ได้มีลักษณะสีน้ำตาลเข้ม และเมื่อเพิ่มสัดส่วนของก้อนเชื้อเห็ดนางฟ้าเหลือทิ้งเพิ่มขึ้น จะมีค่าสี L* เพิ่มขึ้น และสีของปุ๋ยอินทรีย์ที่ได้มีลักษณะสีน้ำตาลอ่อนลง ตามลำดับ

จากการวิเคราะห์ปริมาณธาตุอาหารต่าง ๆ ได้แก่ ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด ปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมด และปริมาณโพแทสเซียมทั้งหมด หลังสิ้นสุดการหมักจะเห็นว่ามีการเพิ่มขึ้นตามสัดส่วนของส่วนผสมเปลือกกาแฟ มูลวัว ฝุ่นข้าวโพดอาหารสัตว์ หลังสิ้นสุดการหมัก โดยพบว่าวัสดุปรับปรุงดินสูตรที่ 3 มีปริมาณไนโตรเจนมากที่สุด ร้อยละ 0.41 หากต้องการวัสดุปรับปรุงดินที่มีองค์ประกอบของไนโตรเจนมากควรเลือกวัสดุปรับปรุงดินสูตรที่ 3 หากต้องการวัสดุปรับปรุงดินที่มีปริมาณฟอสฟอรัสมากควรเลือกใช้วัสดุปรับปรุงดินสูตรที่ 2 เนื่องจากมีปริมาณฟอสฟอรัสมากที่สุดร้อยละ 0.20 และหากต้องการวัสดุปรับปรุงดินทีมีโพแทสเซียมมากที่สุดควรเลือกใช้ปุ๋ยสูตรที่ 4 เนื่องจากมีปริมาณโพแทสเซียมร้อยละ 0.84 และวัสดุปรับปรุงดินสูตรที่ 4 มีปริมาณธาตุอาหารต่าง ๆ ในปริมาณที่น้อย และใช้ก้อนเชื้อเห็ดนางฟ้าในปริมาณ ร้อยละ 80 เมื่อเปรียบเทียบกับวัสดุปรับปรุงดินสูตรที่ 2 และสูตรที่ 3 รวมทั้งมีส่วนผสมของเปลือกกาแฟ มูลวัว ฝุ่นข้าวโพดอาหารสัตว์น้อยกว่า

ความสามารถของเชื้อรากลุ่ม wood rot-fungi สามารถผลิตเอนไซม์เซลลูเลสที่ย่อยขี้เลื่อยจากก้อนเห็ดเหลือทิ้งเป็นธาตุอาหารต่าง ๆ ที่พืชนำไปใช้ได้โดยตรง สอดคล้องกับการศึกษาของ Thongpradistha *et al.* (2023) สูตรปุ๋ยอินทรีย์จากก้อนเชื้อเห็ดนางฟ้าเหลือทิ้งที่มีธาตุอาหารมากที่สุดหลังการหมัก และสูตรที่ใช้ก้อนเชื้อเห็ดเหลือทิ้งปริมาณมากที่สุด คือ สูตรปุ๋ยอินทรีย์จากก้อนเชื้อเห็ดนางฟ้าเหลือทิ้งสูตรที่ 2 ซึ่งมีธาตุอาหาร N, P และ K เท่ากับ ร้อยละ 2.28, 2.63 และ 3.82 ตามลำดับ และใช้ก้อนเชื้อเห็ดนางฟ้าเหลือทิ้งร้อยละ 60 หากมีการใช้ปุ๋ยคอกมูลสัตว์ โดยเฉพาะมูลไก่ปริมาณสูง ๆ ส่งผลให้เกิดการบล็อกจุลธาตุ หรือธาตุเสริม (micronutrient or trace elements) เช่น เหล็ก (Fe) แมงกานีส (Mn) โบรอน (B) โมลิบดินัม (Mo) ทองแดง (Cu) สังกะสี (Zn) และคลอรีน (Cl) นอกจากนี้หากมีปริมาณก้อนเชื้อเห็ดเหลือทิ้งมาก จะช่วยให้ความสามารถของเชื้อรากลุ่ม wood rot-fungi สามารถผลิตเอนไซม์เซลลูเลสที่ย่อยขี้เลื่อยจากก้อนเห็ดเหลือทิ้งเป็นธาตุอาหารต่าง ๆ ที่พืชนำไปใช้ได้โดยตรง (Onnby *et al.,* 2015; Rajoka and Malik, 1997; Tejada *et al.,* 2016) ได้มากขึ้น ซึ่งการศึกษาของ Thongpradistha *et al.* (2023) นั้นเป็นการหมักปุ๋ยอินทรีย์จากเชื้อจุลินทรีย์ที่ย่อยสลายอินทรียวัตถุได้ เช่น กลุ่มจุลินทรีย์ที่มีประสิทธิภาพที่ได้รับการคัดสรรเป็นอย่างดี มีประโยชน์ต่อคน พืช สัตว์ และสิ่งแวดล้อม (Effective Microorganisms, EM) หรือหัวเชื้อกลุ่ม พด. ต่าง ๆ จากกรมวิชาการเกษตร แต่การศึกษาครั้งนี้ใช้จุลินทรีย์ที่ร่วมในการหมักเป็นแบคทีเรียกลุ่มเอนโดไฟติกแบคทีเรีย ซึ่งตามนิยามของปุ๋ยอินทรีย์และปุ๋ยชีวภาพของกรมวิชาการเกษตรจะไม่มีนิยามของจุลินทรีย์กลุ่มเอนโดไฟติกหรือจุลินทรีย์กลุ่มตรึงไนโตรเจนในด้านปุ๋ย แต่ให้ใช้นิยามคำว่า “วัสดุปรับปรุงดิน” เช่นเดียวกับไรโซแบคทีเรียที่เป็นสารส่งเสริมการเจริญเติบโตของพืช (Plant Growth Promoting Rhizobacteria: PGPR)

สรุปผลการวิจัย

ชีวนวัตกรรมการผลิตวัสดุปรับปรุงดินจากก้อนเชื้อเห็ดนางฟ้าเก่าหมักร่วมกับวัตถุดิบอินทรีย์เหลือทิ้งทางการเกษตรโดยใช้เอนโดไฟติกแบคทีเรีย 2 สายพันธุ์ คือ *Pseudoxanthomonas spadix* MJUP08 และ *Novosphingobium* sp. MJUP081 เป็นหัวเชื้อในการผลิตเพื่อลดต้นทุนทางการเกษตร สามารถเพิ่มมูลค่าให้กับขี้เลื่อยที่เหลือทิ้งจากการเพาะเห็ด และลดปริมาณขยะจากวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรและนำวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรมาใช้ประโยชน์ในเกษตรอินทรีย์ในการเพิ่มปริมาณธาตุอาหาร N_2 P_2O_5 และ K_2O ในวัสดุปรับปรุงดินโดยใช้ปริมาณก้อนเชื้อเห็ดเหลือทิ้งร้อยละ 80 เท่ากับร้อยละ 0.34, 0.15 และ 0.84 ตามลำดับ

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณโครงการ “การผลิตปุ๋ยชีวภาพจากก้อนเห็ดนางฟ้าเก่าหมักร่วมกับกากกาแฟและฝุ่นข้าวโพดอาหาร

สัตว์โดยใช้จุลินทรีย์ตรึงไนโตรเจนเป็นหัวเชื้อในการผลิต" ภายใต้การรับทุนสนับสนุนงานมูลฐาน (Fundamental Fund) ประจำปีงบประมาณ 2566 ภายใต้แผนงานศักยภาพการผลิตพืชเศรษฐกิจตลอดห่วงโซ่คุณค่าจากฐานชีวภาพ

เอกสารอ้างอิง

Daramola, D.S., A.S. Adeyeye and D. Lawal. 2006. Effect of Application of Organic and Inorganic Nitrogen Fertilizer on the Growth and Dry Matter Yield of Amaranthus. pp.56–65. *In* **Proceedings of the 2nd National Conference on Organic Agriculture 27th November-1st December 2006.** Ibadan: University of Ibadan.

Meena, M.D., P.K. Joshi, H.S. Jat, A.R. Chinchmalatpure, B. Narjary, P. Sheoran and D.K. Sharma. 2016. **Changes in Biological and Chemical Properties of Saline Soil Amended with Municipal Solid Waste Compost and Chemical Fertilizers in a Mustard-Pearl Millet Cropping System.** Karnal: CATENA Press. 140 p.

Nottidge, D.O., S. Ojeniyi and D. Asawalam. 2005. Comparative effect of plant residues and NPK fertilizer on nutrient status and yield of maize (*Zea mays* L.) in humid Ultisol. **Nigerian Journal of Soil Science** 15: 1–8.

Oluchukwu, A.C., A.G. Nebechukwu and S.O. Egbuna. 2018. Enrichment of nutritional contents of sawdust by composting with other nitrogen rich agro-wastes for bio-fertilizer synthesis. **Journal of Chemical Technology and Metallurgy** 53(3): 430–436.

Onnby, L., K. Harald and I.A. ges. 2015. Cryogel-supported titanate nanotubes for waste treatment: impact on methane production and bio-fertilizer quality. **Journal of Biotechnology** 207: 58–66.

Rajoka, M.I. and K.A. Malik. 1997. Cellulase production by *Cellulomonas biazotea* cultured in media containing different cellulosic substrates. **Bioresource Technology** 59(1): 21–27.

Shaviv, A. 2005. Controlled Release Fertilizers. pp. 28–39. *In* **IFA International Workshop on Enhanced-Efficiency Fertilizers**. Frankfurt: International Fertilizer Association (IFA).

Silva, V.N., L.E.S.F. Silva, A.J.N. Silva, N.P. Stamford and G.R. Macedo. 2017. Solubility curve of rock powder inoculated with microorganisms in the production of biofertilizers. **Agriculture and Natural Resources** 51: 142–147.

Subba, R.N.S. 1993. **Biofertilizer in Agriculture and Forestry**. 3rd ed. New York: International Science Publisher. 242 p.

Taiwan Fertilizer Company. 1994. **Field Tests of Application of Organic Compound Fertilizer.** 10 p. *In* Research Report. China: Taiwan Fertilizer Company.

Tejada, M., B. Rodríguez-Morgado, I. Gómez L. Franco-Andreu, C. Benítez and J. Parrado. 2016. Use of biofertilizers obtained from sewage sludges on maize yield. **European Journal of Agronomy** 78: 13–19.

Thongpradistha, S., T. Muadsri and A. Sukkaew. 2023. The effect of organic fertilizer formula from Sajor-caju mushroom (*Pleurotus sajor-caju*) waste on macronutrients. **Rajamangala University of Technology Srivijaya Research Journal** 12(1): 61–71.

Yang, S.S., H.L. Chan, C.B. Wei and H.C Lin. 1991. Reduce wastes production with modified Kjeldahl method for nitrogen measurement. **Biomass and Bioenergy Journal** 10: 147–155.

Journal of Agri. Research & Extension 42(3): 117-128

การพัฒนาชุดย้อมหม้อห้อมธรรมชาติสำเร็จรูปด้วยหัวเชื้อจุลินทรีย์บริสุทธิ์แบบแห้ง

Development of Ready-made Mor Hom Natural Dyes Using Pure Microbial Inoculum Powder

ณัฐพร จันทร์ฉาย* กรณ์ เย็นอารมย์ ลักษิกา สังสิริ และอัญศญา บุญประจวบ

Nuttaporn Chanchay*, Korn Yenarom, Luksiga Sungsiri and Ansaya Boonpajaub

สาขาวิชาเทคโนโลยีชีวภาพทางอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยแม่โจ้-แพร่ เฉลิมพระเกียรติ แพร่ 54140

Agro-Industrial Biotechnology, Maejo University Phrae Campus, Maejo University, Phrae, Thailand 54140

*Corresponding author: nuttapornchanchay@gmail.com

Received: *September 23, 2023*
Revised: *December 19, 2024*
Accepted: *January 15, 2025*

Abstract

In this work a commercial ready-made Mor Hom natural dyes was developed using pure dried materials obtained from natural dyeing water, Hom powder from indigo paste, acid powder from tamarind and lye powder from various wood ashes. It was found that a bacterial strain of *Bacillus cereus* isolated from natural dyeing factories in the area of Phrae province provided the best color quality. Meanwhile, Hom powder and acid powder should be dried at 60 °C for 72 and 10 hrs, respectively. In addition, lye powder from wood ash lye, which can improve fabric dyeing efficiency (136.42) and deep blue quality (L* 0.26, a* -0.07 and b* 0.67). Furthermore, it could reduce dyeing fermentation time without polluting the environment. Moreover, the fabric product obtained showed good natural color.

Keywords: bioinnovation, Assam indigo, indigo paste, leuco indigo, Mor Hom natural dyes

บทคัดย่อ

การพัฒนาชุดย้อมหม้อห้อมธรรมชาติสำเร็จรูปเชิงพาณิชย์ด้วยชีวนวัตกรรมจากจุลินทรีย์ ที่สามารถเพิ่มประสิทธิภาพของการย้อมห้อมธรรมชาติ โดยการศึกษาการพัฒนาหัวเชื้อจุลินทรีย์จากน้ำก่อหม้อธรรมชาติ ห้อมผงจากห้อมเปียก ผงกรดจากมะขามเปียก และผงด่างจากน้ำด่างของขี้เถ้าไม้ต่าง ๆ พบว่าสามารถคัดแยกเชื้อแบคทีเรียที่ให้คุณภาพสีที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการย้อมสีธรรมชาติดีที่สุด คือ สายพันธุ์ *Bacillus cereus* จากโรงย้อมผ้าธรรมชาติในพื้นที่จังหวัดแพร่ ในขณะที่ห้อมผงและผงกรดนั้นควรอบที่อุณหภูมิ 60°ซ เป็นเวลา 72 และ 10 ชม. ตามลำดับ และผงด่างจากน้ำด่างของขี้เถ้าไม้รวม ซึ่งสามารถเพิ่มประสิทธิภาพในการย้อมติดสีผ้าดีขึ้น (136.42) และคุณภาพสีน้ำเงินเข้ม (L* 0.26, a* -0.07 และ b* 0.67) มากไปกว่านั้นยังช่วยลดระยะเวลาของการหมักน้ำย้อมโดยไม่มีสารมลพิษต่อสิ่งแวดล้อม อีกทั้งยังได้ผลผลิตผ้าที่มีสีเป็นธรรมชาติ

คำสำคัญ: ชีวนวัตกรรม ห้อม ห้อมเปียก ลิวโคอินดิโก หม้อห้อมย้อมธรรมชาติ

คำนำ

การส่งเสริมและพัฒนาผลิตภัณฑ์จากทรัพยากรชีวภาพและภูมิปัญญาท้องถิ่นของชุมชน มีวัตถุประสงค์ที่สำคัญ คือ เพื่อให้ชุมชนมีแนวคิด และแนวทางในการนำทรัพยากรชีวภาพและภูมิปัญญาท้องถิ่นในชุมชนมาใช้ประโยชน์ในเชิงเศรษฐกิจอย่างยั่งยืน สอดคล้องกับยุทธศาสตร์ในการพัฒนาเศรษฐกิจระดับประเทศ ภายใต้แนวคิด “เศรษฐกิจสร้างสรรค์” หรือกระบวนการสร้างสรรค์สินค้าให้เป็นจุดขายที่แตกต่าง มีการใช้ทรัพยากรอย่างคุ้มค่า มีมูลค่าเพิ่ม สร้างรายได้ มีการนำชีวนวัตกรรมมาใช้ และเชื่อมโยงภาคธุรกิจอื่น ๆ เช่น ธุรกิจท่องเที่ยว ธุรกิจโรงแรม และธุรกิจอาหารและภัตตาคาร เป็นต้น ในจังหวัดแพร่ผลิตภัณฑ์ผ้าย้อมสีธรรมชาติเป็นภูมิปัญญาท้องถิ่น ที่ดำรงเอกลักษณ์ในรูปแบบและสีสัน ซึ่งผ้าย้อมสีธรรมชาติที่นิยมกันมากในตลาดทั้งในประเทศและต่างประเทศ คือ การย้อมสีจากครามและห้อม ที่เรียกว่า อินดิโก (indigo) จนมีคำกล่าวว่า “ใครมาเมืองแพร่ต้องซื้อหม้อห้อม” (Chanchay, 2021) ดังนั้น จึงมีแนวคิดการพัฒนาชุดย้อมหม้อห้อมธรรมชาติสำเร็จรูปขึ้น เพื่อพัฒนาชุดย้อมหม้อห้อมธรรมชาติสำเร็จรูปที่มีส่วนประกอบ คือ หัวเชื้อจุลินทรีย์แบบแห้ง ห้อมผง ผงกรด และผงด่าง เพื่อสะดวกต่อการก่อหม้อของผู้สนใจในการย้อมผ้าหม้อห้อมสามารถทำได้ง่ายด้วยตัวเอง

การศึกษาการคัดแยกและการคัดเลือกแบคทีเรียที่มีความสามารถในการเปลี่ยนสีอินดิโกบลูไปเป็นลิวโคอินดิโก จึงยังเป็นที่สนใจสำหรับการนำไปประยุกต์ใช้ในทางอุตสาหกรรม (Chanchay, 2021) นอกจากนี้ในน้ำย้อมห้อมแบบธรรมชาติมีเชื้อจุลินทรีย์เกี่ยวข้องกับกระบวนการเปลี่ยนสีอินดิโกบลูไปเป็นลิวโคอินดิโก โดยส่วนใหญ่เป็นแบคทีเรียในกลุ่ม *Bacillus* sp. มีรายงานว่า *Clostridium isatidis* สามารถเปลี่ยนสีอินดิโกบลูไปเป็นลิวโคอินดิโกได้ *จากการเข้าไปจับกับอนุภาคของอินดิโกบลูแล้วทำการย่อยไปเป็นลิวโคอินดิโก (Compton et al., 2005; Li et al., 2015) และ Sukka et al. (2019) พบว่า Bacillus kochii SKTU 5 สามารถเปลี่ยนรูปอินดิแคนเป็นอินดอกซิลและกลูโคส และจุลินทรีย์ดังกล่าวสามารถนำไปผลิตเป็นหัวเชื้อสำหรับประยุกต์ใช้ในกระบวนการย้อมสีห้อมแบบธรรมชาติทดแทนการใช้สารเคมีในอนาคต ซึ่งอาจช่วยลดระยะเวลาของการะหมักน้ำย้อม อาจช่วยให้กระบวนการย้อมผ้าให้สั้นลง สามารถควบคุมคุณภาพของสีย้อมที่ได้ อาจช่วยเพิ่มประสิทธิภาพและคุณภาพของผ้าหม้อห้อมได้*

ในประเทศญี่ปุ่น พบว่ามีการเตรียมสีในการย้อมผ้าคราม โดยนำใบคราม (Polygonum tinctorium Lour.) มาผึ่งให้แห้งในที่ร่ม แล้วจึงพรมน้ำให้เปียกเพื่อให้เหมาะสำหรับปฏิกิริยาออกซิเดชันของแบคทีเรียที่ต้องการออกซิเจนในการเจริญ (Aerobic microbial oxidation) สำหรับการผลิตสีอินดิโกโดยการหมักในสภาวะที่เป็นด่างสูง (pH>10) ซึ่งในสภาพเช่นนี้สีอินดิโกจะถูกเปลี่ยนเป็นลิวโคอินดิโก ซึ่งสามารถซึมผ่านเข้าไปในผ้าได้ โดย Yumoto et al. (2004) ได้คัดแยกเชื้อจุลินทรีย์จากหม้อครามที่บริเวณเกาะฮอกไกโด ประเทศญี่ปุ่น พบว่ามีแบคทีเรียสายพันธุ์ใหม่ที่ ชื่อ Alkalibacterium psychrotolerans sp. nov. เป็นแบคทีเรียแกรมบวก รูปร่างเป็นแท่ง เจริญได้ดีในที่มีอากาศและไม่มีอากาศ (facultative anaerobe) สามารถเจริญได้ในอาหารที่มีความเข้มข้นของเกลือสูง (NaCl 0-17% w/v) ความเป็นกรด-ด่าง (pH) 9–12 มีความสามารถในการรีดิวซ์สีอินดิโกให้เป็นลิวโคอินดิโกได้ Aino et al. (2010) แยกและศึกษาความสามารถของจุลินทรีย์ที่สามารถรีดิวซ์สีครามจากหม้อย้อมครามในประเทศญี่ปุ่น เช่นเดียวกับการศึกษาของ O-Thong and Buakhun (2013) ซึ่งแยกจุลินทรีย์จากหม้อย้อมครามที่ได้จากพืช Indigofera indica โดยใช้เทคนิค Denaturing Gradient Gel Electro-phoresis (DGGE) พบจุลินทรีย์หลายชนิด ได้แก่ *Bacillus* sp., Atopostipes sp, *Clostridiales bacterium*, *Sporomusa acidovorans*, *Amphi-bacillus* sp, *Alkalibacterium* sp., *Lactobacillus sp.* และ *Actinomycetales* sp.

นอกจากนี้สารพวกลิวโคอินดิโก (leuco indigo) ที่ไม่มีสีแต่ละลายน้ำได้ สารไม่มีสีละลายน้ำได้ในนี้สามารถแทรกซึมในเนื้อผ้าและเกาะติดเนื้อผ้าได้ในขณะย้อม ภายหลังจากการย้อมเสร็จแล้วจะทำการคลี่เนื้อผ้าออกให้สัมผัสกับออกซิเจนในอากาศ สารลิวโคจะถูกออกซิไดซ์กลับไปเป็นสีน้ำเงินที่ไม่ละลายน้ำ และจะเกาะจับกับเนื้อผ้าโดยปกติการล้างจะไม่ทำให้สีตก แต่เนื่องจากสีอินดิโกนี้จะค่อย ๆ เปลี่ยนไปอยู่ในรูปเป็น Reduced form ในระหว่างการย้อม ดังนั้น การย้อมเพียงครั้งเดียวอาจทำให้สีไม่ติดเนื้อผ้าจึงต้องทำการย้อมหลาย ๆ ครั้ง ดังนั้น ปริมาณของลิวโคอินดิโกจึงเป็นตัวบ่งบอกประสิทธิภาพการติดสี (Chanchay, 2021) และการศึกษาค่าการบอกประสิทธิภาพการให้สีตามมาตรฐาน CIELAB L*, a* และ b* คือ สีที่ถูกระบุออกมาเป็นค่าตัวเลข โดยมี 3 ตัวแปล ดังนี้ แกน L* บ่งบอกถึงความสว่าง (lightness) มี ค่าตั้งแต่ 0–100 โดย 0 คือ สีดำ และ 100 คือ สีขาว แกน a* บรรยายแกนสี จากสีเขียว (-a*) จนถึง สีแดง (+a*) แกน b* บรรยายแกนสี จากสีน้ำเงิน (-b*) จนถึงสีเหลือง (+b*) องค์กรสำคัญที่กำหนดหน่วยการวัดสีให้เป็นมาตรฐาน คือ International Commission on Illumination (CIE) เพื่อลดความคลาดเคลื่อนในการตรวจวัดสีเนื่องจากสายตาและแหล่งกำเนิดแสง และ Chanchay and Boonpajaub (2021) รายงานการย้อมผ้าหม้อห้อม โดยมีค่า L* เท่ากับ 21.38, a* เท่ากับ -3.18 และ b* เท่ากับ -5.93 โดยค่า L* บ่งบอกว่าเป็นสีเข้ม เมื่อมีค่าเข้าใกล้ 0 ค่า -a* บ่งบอกว่าเป็นสีเขียว และค่า -b* บ่งบอกว่าเป็นสีน้ำเงิน และพบปริมาณลิวโคอินดิโก เท่ากับ 0.08853 ไมโครลิตร

การศึกษาและพัฒนาชุดย้อมหม้อห้อมธรรมชาติสำเร็จรูปโดยชีวนวัตกรรม โดยศึกษาการพัฒนาหัวเชื้อจุลินทรีย์จากน้ำก่อหม้อห้อมย้อมธรรมชาติในรูปแบบแห้ง ห้อมผงจากห้อมเปียก ผงกรดจากมะขามเปียก และผงด่างจากน้ำด่างของขี้เถ้าจากไม้ชนิดต่าง ๆ พร้อมประกอบเป็นชุดย้อมหม้อห้อมสำเร็จรูปตามข้อกำหนดของมาตรฐาน (Geographical Indications: GI) “ผลิตภัณฑ์ผ้าหม้อห้อมแพร่” โดยศึกษาถึงคุณภาพสีโดย Hunter Lab และประสิทธิภาพการติดสีโดยการวิเคราะห์ปริมาณลิวโคอินดิโกด้วยวิธีทางเคมี เพื่อพัฒนาชุดย้อมหม้อห้อมธรรมชาติสำเร็จรูปในเชิงพาณิชย์

อุปกรณ์และวิธีการ

การศึกษาและพัฒนาหัวเชื้อจุลินทรีย์

ทำการคัดแยกหัวจุลินทรีย์จากน้ำก่อหม้อบนอาหาร PDA ด้วยวิธีเกลี่ย (spread) จากน้ำก่อหม้อ นำมาทดสอบการสร้างวงใส ด้วยวิธี agar well บนอาหารที่มีอินดิแคน เมื่อได้เชื้อที่มีคุณภาพสูงที่สุดในการกระตุ้นกระบวนการย้อมสีธรรมชาติ จึงนำเชื้อที่ได้ 0.1 มล. มาทำการศึกษาคุณภาพการเปลี่ยนสีอินดิโก โดยนำมาเติมอาหารเลี้ยงเชื้อเหลวอินดิแคน 1 มล. นำไปบ่มที่อุณหภูมิ 30 °ซ เป็นเวลา 48 ชม. และเติมสารละลายอิ่มตัวโซเดียมไดไทโอไนท์ (Sodium dithionite) ในสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ (Sodium hydroxide) ที่ความเข้มข้น 2 นอร์มอล ลงไป 1 มล. แล้วจึงนำไปวัดค่าดูดกลืนแสง ที่ความยาวคลื่น 420 นาโนเมตร และเปรียบเทียบกับกราฟมาตรฐาน

เมื่อได้หัวเชื้อจุลินทรีย์ที่มีประสิทธิภาพในการเปลี่ยนอินดิโกเป็นลิวโคอินดิโก ทำการระบุสายพันธุ์โดยการหาลำดับนิวคลีโอไทด์ของ 16S rRNA ด้วยเทคนิคอณูชีววิทยา นำหัวเชื้อมาทำให้แห้ง โดยทำการเก็บรักษาเชื้อในกระดาษกรองขนาด 2x2 ซม. โดยเลี้ยงเชื้อในอาหาร นำเชื้อปริมาตร 1 มล. หยดลงกระดาษกรองที่ผ่านการฆ่าเชื้อแล้ว นำไปอบที่อุณหภูมิ 30–35°ซ เป็นเวลา 48 ชม. จากนั้นนำไปก่อหม้อ โดยการทดสอบคุณภาพการให้สีและการติดสี เปรียบเทียบกับชุดที่ไม่มีหัวเชื้อ

การศึกษาและพัฒนาห้อมผง

นำห้อมเปียกจากห้อมใบใหญ่ (*Strobilanthes cusia*) (Chanchay, 2021) มาทำการศึกษาความชื้นเริ่มต้นของห้อมเปียก โดยชั่งตัวอย่างห้อมเปียกใส่ถ้วย

อะลูมิเนียมที่อบแล้ว 70 กรัม แล้วนำไปอบที่อุณหภูมิ 105±5 °ซ เป็นเวลา 4–5 ชม. ชั่งน้ำหนักก่อนและหลังอบ จากนั้นนำผลมาคำนวณหาเปอร์เซ็นต์ความชื้นเริ่มต้น ดังสูตรต่อไปนี้

$$\% \text{ ปริมาณความชื้น} = \frac{\text{ผลต่างน้ำหนักตัวอย่างก่อนอบและหลังอบ (กรัม)}}{\text{น้ำหนักตัวอย่าง (กรัม)}} \times 100$$

นำตัวอย่างห้อมเปียกมาผลิตเป็นห้อมผง โดยเครื่องอบลมร้อน (hot air oven) ขนาด 220 โวลต์ 50 เฮิร์ต 1,000 วัตต์ ศึกษาประสิทธิภาพการให้สีของผงห้อมที่ชั่วโมงต่าง ๆ โดยชั่งตัวอย่างห้อมเปียกใส่ถ้วยอะลูมิเนียมที่อบแล้ว 70 กรัม แล้วนำไปอบที่ตู้อบลมอุณหภูมิ 60 °ซ ที่ 0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11 และ 12 ชม. หลังจากได้ห้อมผงแล้ว จึงนำมาบดด้วยเครื่องบดขนาด 1 กก. จนละเอียด จากนั้นนำห้อมผงแต่ละชั่วโมงมาก่อหม้อ และนำมาศึกษาคุณภาพสี โดย Hunter Lab และศึกษาประสิทธิภาพการติดสี โดยการวิเคราะห์ปริมาณลิวโคอินดิโก

การศึกษาและพัฒนาผงด่างจากน้ำด่าง

นำน้ำด่าง (เถ้า 1 ส่วน ต่อน้ำ 1 ส่วน) ที่มาจากไม้หลายชนิด ได้แก่ ไม้มะม่วง ต้นมะละกอ เหง้ากล้วย ใบกล้วย ก้านกล้วย ในมะขาม ต้นมะขาม กาบมะพร้าว ไม้ยูคาลิปตัส และเปลือกเพกา ทำการวัดและบันทึก pH เริ่มต้นของน้ำด่างแต่ละชนิด และ pH หลังจากการก่อหม้อ และทำการศึกษาคุณภาพสีย้อมที่ได้โดยการวิเคราะห์ค่า L* a* b* และการสร้างสีลิวโคอินดิโกด้วยวิธีทางเคมี จากนั้นนำน้ำด่างคุณภาพสูงมาทำแห้งโดยวิธีพ่นฝอย (spray dry)

การศึกษาและพัฒนาผงกรด

นำมะขามเปียกแกะเม็ด 1 กก. มาอบด้วยตู้อบลมร้อน ขนาด 220 โวลต์ 50 เฮิร์ต 1,000 วัตต์ ที่อุณหภูมิ 60°ซ เป็นเวลา 72 ชม. จนมีลักษณะแห้งแข็ง นำมาบดจนละเอียดเป็นผง ด้วยเครื่องบดสมุนไพร ขนาด 1 กก. โดยมะขามเปียก 1 กก. จะได้ผงกรดเท่ากับ 750–800 กรัม วัด pH เริ่มต้น เปรียบเทียบกับน้ำมะขามแช่น้ำในอัตราส่วน 1:2 โดยนำมาก่อหม้อและนำมาศึกษาคุณภาพสี โดย Hunter Lab และศึกษาประสิทธิภาพการติดสี โดยการวิเคราะห์ปริมาณลิวโคอินดิโก

การพัฒนาผลิตภัณฑ์ชุดย้อมหม้อห้อมสำเร็จรูป (ชุด Kit)

หลังจากได้ส่วนประกอบของชุดสำเร็จรูป ได้แก่ หัวเชื้อจุลินทรีย์ ผงด่าง และผงกรด ทำการทดสอบการก่อหม้อร่วมกันโดยมีอัตราส่วนสำหรับชุดสำเร็จรูปดังต่อไปนี้ ผงห้อม 40 กรัม ผงด่าง 5 กรัม ผงกรด 5 กรัม เชื้อจุลินทรีย์ 10% น้ำ 600 มล. จากนั้นนำน้ำก่อหม้อไปศึกษาคุณภาพสี โดย Hunter Lab และศึกษาประสิทธิภาพการติดสี โดยการวิเคราะห์ปริมาณลิวโคอินดิโก

การวิเคราะห์และทดสอบ

การก่อหม้อเพื่อทดสอบ โดยผสมผงห้อม 15 กรัม น้ำด่างจากขี้เถ้ารวม 100 มล. น้ำมะขามเปียก 10 มล. หัวเชื้อที่คัดแยกได้ 10% โดยการบีบผสมผงห้อมและน้ำด่างให้เป็นเนื้อเดียวกัน จากนั้นจึงเติมน้ำมะขามเปียกและหัวเชื้อลงไป และตีให้เกิดฟองอากาศ ทิ้งไว้ 1 คืน และตักน้ำก่อหม้อดังกล่าวเทกลับไปกลับมา (การโจก) เช้า-เย็น เป็นเวลา 3 วัน ซึ่งการโจกจะทำให้น้ำก่อหม้อไม่เน่าเสียและเป็นการเพิ่มออกซิเจนให้แก่จุลินทรีย์ จากนั้นทำการศึกษาคุณภาพสี โดย Hunter Lab ตวงสีจากน้ำก่อหม้อย้อมผ้าที่ได้จากการก่อหม้อห้อมผง

แต่ละชั่วโมงมา 3 กรัม ใช้พู่กันระบายสีของน้ำก่อหม้อย้อมผ้า ลงบนกระดาษพิมพ์เขียนสีขาวคุณภาพกระดาษขนาด 80 แกรม ในพื้นที่ 20×209 ตร.ซม. ผึ่งทิ้งไว้ให้แห้ง นำกระดาษที่ได้ไปวัดคุณภาพสีโดยวัดจากค่าความสว่าง L*, a* และ b* โดยใช้เครื่อง Hunter Lab

การศึกษาประสิทธิภาพการติดสีโดยการวิเคราะห์ปริมาณลิวโคอินดิโกด้วยวิธีทางเคมี การวัดปริมาณสีอินดิโกด้วยเครื่องสเปคโตโฟโตมิเตอร์ ด้วยวิธี ethyl acetate method นำตัวอย่างมาตรวจวิเคราะห์หาปริมาณลิวโคอินดิโกที่สร้างขึ้น วิเคราะห์จากค่าดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 420 นาโนเมตร โดยนำตัวอย่างหรือน้ำก่อหม้อจากผงห้อมแต่ละชั่วโมงมาอย่างละ 1 มล. และเติมสารละลายอิ่มตัวโซเดียมไดไทโอไนท์ในสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ความเข้มข้น 2 นอร์มอล ลงไป 1 มล. เพื่อรีดิวซ์สีอินดิโกให้เป็นลิวโคอินดิโก จากนั้นจึงนำมาเปรียบเทียบกับกราฟมาตรฐานเพื่อหาปริมาณความเข้มข้นของลิวโคอินดิโก

ผลการวิจัยและวิจารณ์

ผลการศึกษาและพัฒนาหัวเชื้อจุลินทรีย์

เชื้อจุลินทรีย์ทั้ง 17 ไอโซเลท ได้แก่ TC213, TC224, TC225, TC228, TC233, TC234, TC236, TC241, TC242, HH314, HH321, HH341, HH342, HH344, PL412, PG537 และ PG544 ที่มีความสามารถในการเปลี่ยนสีอินดิโกไปเป็นลิวโคอินดิโกได้นั้น จากการสร้างวงใสบนอาหารเลี้ยงเชื้อ (Table 1) ถูกนำมาทดสอบหาปริมาณการสร้างลิวโคอินดิโกจากการเลี้ยงเชื้อในอาหารที่มีการเติมอินดิแคน พบว่าเชื้อจุลินทรีย์ที่มีความสามารถในการเปลี่ยนสีอินดิโกไปเป็นลิวโคอินดิโกมากที่สุด คือ TC228 รองลงมา คือ TC236 และ TC213 มีค่าเท่ากับ 9.5688, 6.2740 และ 5.7343 ไมโครกรัม/มล. ตามลำดับ (Table 1)

Table 1 Concentration in the production of leuco indigo related to the natural dyeing process

Isolate	Ratio	Leuco-indigo contents (µg/mL)
TC213	2.067	5.7343^{c}±0.2183
TC224	2.750	4.9068^{ef}±0.1124
TC225	2.100	5.4196^{d}±0.1850
TC228	2.000	9.5688^{a}±0.3249
TC233	2.909	3.8228^{j}±0.1577
TC234	1.800	5.1981^{d}±0.1324
TC236	1.655	6.2704^{b}±0.2275
TC241	1.875	5.2797^{d}±0.2098
TC242	2.917	3.5664^{k}±0.1398
HH314	1.440	5.2564^{d}±0.1068
HH321	1.682	4.4755^{hi}±0.1049
HH341	1.475	3.3100^{l}±0.2826

Table 1 (Continued)

Isolate	Ratio	Leuco-indigo contents (µg/mL)
HH342	2.110	4.9883^{e}±0.0534
HH344	1.615	4.1725^{i}±0.0202
PL412	2.000	5.1282^{de}±0.0880
PG537	2.368	4.6737^{gh}±0.1413
PG544	3.167	4.7436^{fg}±0.1068
F-test		*

Mean±SD from 4 replicates of the experiment; * mean was significant differences at $p \leq 0.05$.

นำเชื้อไอโซเลทที่ TC228 ไปทำการระบุสายพันธุ์เชื้อจุลินทรีย์ที่มีความสามารถในการเปลี่ยนสีอินดิโกไปเป็นลิวโคอินดิโกโดยการหาลำดับนิวคลีโอไทด์ของ 16S rDNA จากการเปรียบเทียบลำดับเบสของยีน 16S rRNA ของเชื้อจุลินทรีย์ไอโซเลทที่เปลี่ยนสีอินดิโกไปเป็นลิวโคอินดิโกได้ดีที่สุด คือ TC228 ซึ่งเป็นไอโซเลทที่พบจากน้ำหมักในหม้อที่ก่อของร้านผ้าธรรมชาติ (TC) กับลำดับเบสของยีน 16S rRNA ที่มีอยู่ในฐานข้อมูลที่มีความเหมือนมากที่สุด พบว่าไอโซเลท TC228 มีความเหมือนกับ *Bacillus cereus* NR_113266 ที่ Length 1535 bp. ซึ่งมีค่า identity เท่ากับ 99% (Figure 1)

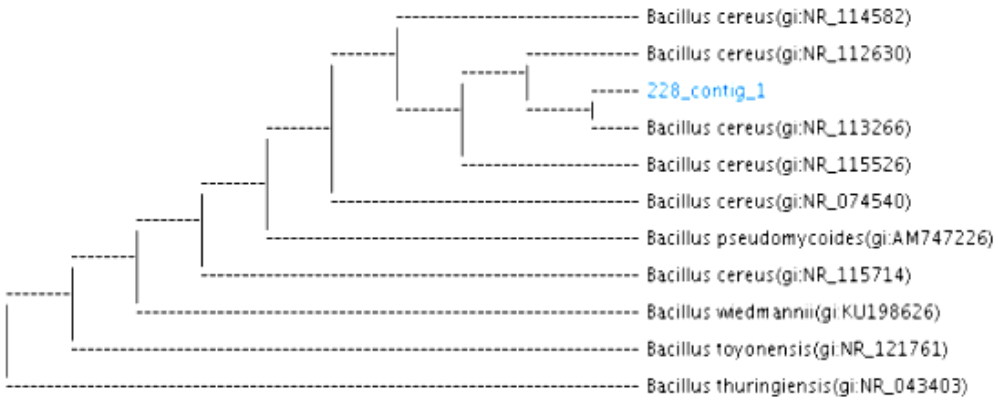


Figure 1 Phylogenetic tree of isolate TC228

Table 2 Dye quality, color fixing efficiency and pH

Sample	pH	Leuco-indigo (µg/mL)	L*	a*	b*
Control (with out bacteria)	10.835±0.215	93.680^{b}±0.968	23.453^{b}±0.466	-4.603^{a}±0.693	-6.310^{a}±0.236
Bacteria	10.593±0.299	157.080^{a}±0.842	1.030^{a}±0.513	-0.023^{b}±0.701	0.367^{b}±0.984
F-test	**ns**	*	*	*	*

Mean±SD from 4 replicates of the experiment; * mean was significant differences at $p \leq 0.05$.
ns mean was non-significant differences at $p \leq 0.05$.

จาก Table 2 การใส่หัวเชื้อเพื่อกระตุ้นกระบวนการก่อหม้อมีผลต่อการสร้างลิวโคอินดิโกที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการย้อมธรรมชาติ และเนื่องจากในชุดควบคุมที่ไม่มีการใส่หัวเชื้อมีค่าลิวโคอินดิโก เท่ากับ 93.680 ไมโครกรัม/มล. ซึ่งต่ำกว่าตัวอย่างที่ใส่หัวเชื้อที่ให้ปริมาณความเข้มข้นในการสร้างลิวโคอินดิโก เท่ากับ 157.080 ไมโครกรัม/มล. โดยค่าลิวโคอินดิโกจะบอกถึงการติดสีของผ้าในกระบวนการย้อมสีธรรมชาติ ยิ่งค่าความเข้มข้นของลิวโคอินดิโกมากการติดสีก็จะมีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น สอดคล้องกับการศึกษาของ Nakajima *et al.* (2005) สามารถทำการคัดแยกเชื้อแบคทีเรียสายพันธุ์ใหม่ คือ *Alkalibacterium iburiense* sp. nov. ที่มีความสามารถในการรีดิวซ์สีอินดิโกไปเป็นลิวโคอินดิโกได้ โดยแบคทีเรียดังกล่าวมีลักษณะเป็นแบคทีเรียแกรมบวก รูปร่างแท่ง ซึ่งโดยส่วนใหญ่เป็น *Bacillus* sp. และ *Clostridium isatidis* สามารถเปลี่ยนสีอินดิโกไปเป็นลิวโคอินดิโกได้จากการเข้าไปจับกับอนุภาคของสีอินดิโกแล้วทำการย่อยไปเป็นลิวโคอินดิโก (Compton *et al.*, 2005)

ผลการศึกษาและพัฒนาห้อมผงผงจากห้อมเปียก

จากการศึกษาและพัฒนาห้อมผง (Table 3) พบว่าห้อมผงที่อุณหภูมิ 60°ซ ชั่วโมงที่ 10 เป็นระยะเวลาที่เหมาะสมที่สุดในการอบห้อมเพื่อนำมาก่อหม้อ มีความชื้นเริ่มต้นอยู่ที่ 77.4165% และมีคุณภาพสีน้ำเงินทึบ เนื่องจากมีค่า L* a* และ b* เท่ากับ 27.560, -4.490 และ -7.130 ตามลำดับ และมีปริมาณลิวโคอินดิโกสูงที่สุด เท่ากับ 167.74 สอดคล้องกับค่าสีมาตรฐาน CIELAB และ Li *et al.* (2015) รายงานว่า โดยปกติในห้อมมีสารอินดิแคนซึ่งจะถูกรีดิวซ์ไปเป็นอินดิโก และไม่สามารถละลายน้ำได้ ส่งผลให้เม็ดสีไม่แตกตัวและเส้นใยไม่สามารถดูดซึมได้ แต่สามารถรีดิวซ์ให้เป็นลิวโคอินดิโกซึ่งสามารถละลายน้ำได้ ส่งผลให้เม็ดสีแตกตัวและเข้าไปยึดติดในเส้นใยได้ ดังนั้น ปริมาณลิวโคอินดิโกจึงบ่งบอกถึงคุณภาพการติดสี และ Chanchay and Boonpajaub (2021) มีรายงานการย้อมผ้าหม้อห้อม โดยมีค่า L* เท่ากับ 21.38 a* เท่ากับ -3.18 และ b* เท่ากับ -5.93 โดยค่า L* บ่งบอกว่าเป็นสีเข้ม เมื่อมีค่าเข้าใกล้ 0 ค่า -a* บ่งบอกว่าเป็นสีเขียว และค่า -b* บ่งบอกว่าเป็นสีน้ำเงิน และพบปริมาณลิวโคอินดิโกเท่ากับ 0.08853 ไมโครลิตร

Table 3 Dye quality, color fixing efficiency and pH of indigo powder

Time (hr)	Leuco-indigo (µg/mL)	L*	a*	b*
0	93.683^{j}±0.102	23.453^{c}±0.051	-4.603^{c}±0.056	-6.310^{c}±0.099
1	85.723^{j}±0.230	34.060^{e}±0.033	-6.190^{a}±0.352	-6.747^{c}±0.136
2	120.991^{e}±0.09	14.150^{b}±0.002	-3.187^{d}±0.659	-7.813^{b}±0.025
3	76.678^{j}±0.191	17.700^{b}±0.03	-5.550^{b}±0.598	-6.540^{c}±0.030
4	116.946^{f}±0.328	30.310^{d}±0.010	-6.017^{a}±0.056	-7.690^{b}±0.156
5	137.762^{c}±0.394	23.607^{c}±0.021	-4.830^{c}±0.666	-8.327^{a}±0.078
6	125.862^{d}±0.010	24.697^{c}±0.047	-5.790^{b}±0.289	-5.667^{d}±0.956
7	126.434^{d}±0.029	19.583^{b}±0.002	-3.787^{d}±0.017	-7.227^{b}±0.125
8	125.489^{d}±0.302	8.970^{a}±0.009	-5.597^{a}±0.069	-9.577^{a}±0.099
9	147.692^{b}±0.877	24.180^{c}±0.051	-4.333^{c}±0.047	-8.930^{a}±0.078
10	167.739^{a}±0.398	27.560^{c}±0.062	-4.490^{c}±0.677	-7.130^{b}±0.256
11	111.061^{f}±0.257	27.923^{c}±0.083	-4.360^{c}±0.298	-5.500^{d}±0.688
12	124.289^{d}±0.569	14.707^{b}±0.105	-5.797^{a}±0.364	-9.460^{a}±0.874
F-test	*	*	*	*

Mean±SD from 4 replicates of the experiment; * mean was significant differences at $p \leq 0.05$.
ns mean was non-significant differences at $p \leq 0.05$.

การศึกษาและพัฒนาผงด่างจากน้ำด่างจากขี้เถ้า

จากการศึกษาและพัฒนาผงด่างจากน้ำด่างจากขี้เถ้า (Table 4) โดยศึกษา pH เริ่มต้น และ pH เมื่อทำการก่อหม้อเรียบร้อยที่เหมาะสม และประสิทธิภาพการติดสีโดยวิเคราะห์ปริมาณลิวโคอินดิโกโดยวิธีเคมี และคุณภาพสีจากวิธี Hunter Lab ได้ผลดัง Table 4

Table 4 Dye quality, color fixing efficiency and pH of lye

Sample	Initial pH	Final pH	Leuco-indigo (µg/mL)	L*	a*	b*
Mixed wood	8.48^{b}	10.59	157.08^{a}	1.03^{d}	-0.02^{b}	0.37^{g}
Banana rhizomes	9.84^{b}	11.49	149.54^{b}	14.16^{e}	-1.64^{a}	-2.15^{b}
Banana stem	10.04^{a}	11.77	142.86^{b}	0.78^{c}	0.45^{d}	0.01^{e}

Table 4 (Continued)

Sample	Initial pH	Final pH	Leuco-indigo (µg/ml)	L*	a*	b*
Banana leaves	8.60[b]	11.09	134.98[c]	0.60[b]	0.99[f]	-1.01[c]
Broken Bones bark	8.94[b]	10.65	121.00[d]	0.45[a]	0.73[d]	0.28[g]
Tamarind	11.04[a]	11.16	140.02[c]	0.51[b]	0.23[c]	-1.24[c]
Tamarind leaves	6.15[d]	10.57	107.69[e]	0.97[b]	0.39[c]	0.14[f]
Bamboo scraps	7.70[c]	10.86	105.87[e]	1.80[d]	0.41[c]	-3.84[a]
Coconut husk	9.64[b]	11.03	142.00[b]	1.06[d]	-0.99[b]	0.47[g]
Papaya	11.06[a]	11.00	136.34[c]	0.80[c]	0.69[d]	-0.75[d]
Eucalyptus wood	8.46[b]	10.77	139.45[c]	0.30[a]	0.99[f]	-0.66[d]
F-test	*	ns	*	*	*	*

Mean±SD from 4 replicates of the experiment; * mean was significant differences at $p \leq 0.05$.
ns mean was non-significant differences at $p \leq 0.05$.

จาก Table 4 แสดงค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) ของไม้ชนิดต่าง ๆ pH ในช่วงที่เหมาะสมต่อการก่อหม้อต้องมีค่าอยู่ระหว่าง 10–13 แสดงว่าน้ำด่างจากขี้เถ้าที่เหมาะสมต่อการนำมาก่อหม้อ ได้แก่ น้ำด่างจากขี้เถ้ามะละกอ ต้นมะขาม ก้านกล้วย ตามลำดับ และเมื่อทำการก่อหม้อเรียบร้อยแล้วทำการวัดค่า pH พบว่าค่า pH ยังคงมีความเหมาะสมตามมาตรฐาน ซึ่งมีค่าอยู่ระหว่าง 10–12 อย่างไรก็ตามเมื่อทำการทดสอบน้ำด่างจากขี้เถ้าไม้รวมเป็นน้ำด่างที่เหมาะสมต่อการก่อหม้อมากที่สุด เนื่องจากค่าการสร้างลิวโคอินดิโกที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการย้อมธรรมชาติและการติดสี เท่ากับ 157.08 ไมโครกรัม/มล. ซึ่งสูงที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับน้ำด่างชนิดอื่น ๆ นอกจากนั้นค่าที่บอกถึงประสิทธิภาพของสี L*, a* และ b* พบว่าน้ำด่างจากขี้เถ้ารวมมีความเหมาะสมต่อการก่อหม้อที่สุด ซึ่งเป็นค่า L*, a* และ b* เท่ากับ 1.03, -0.233 และ 0.367 ตามลำดับ ซึ่งแสดงว่าเป็นสีย้อมที่เป็นสีน้ำเงินเข้ม ตรงตามมาตรฐานของสีผ้าหม้อห้อม สอดคล้องกับในประเทศญี่ปุ่น ที่พบว่าเพื่อให้เหมาะสำหรับปฏิกิริยาออกซิเดชันสำหรับการผลิตสีอินดิโกโดยการหมักในสภาวะที่เป็นด่างสูง คือ มีค่า pH>10 ซึ่งในสภาพเช่นนี้ สีอินดิโกจะถูกเปลี่ยนเป็นลิวโคอินดิโก ซึ่งสามารถซึมผ่านเข้าไปในผ้าได้ นอกจากนี้ Yumoto *et al.* (2004) รายงานว่า pH 9–12 มีความสามารถในการรีดิวซ์สีอินดิโกให้เป็นลิวโคอินดิโกได้ ซึ่งเห็นได้ชัดว่าปริมาณลิวโคอินดิโกนั้นมีผลต่อการย้อมผ้าหม้อห้อมอย่างยิ่ง

ผลการศึกษาและพัฒนาผงกรด

จากการศึกษาการพัฒนาผงกรด พบว่าน้ำมะขามเปียก ผงกรด มี pH อยู่ระหว่าง 1–4 ตามค่าความเป็นกรดที่เหมาะสม และผงกรดนั้นมีคุณสมบัติที่เหมาะสมในการเป็นส่วนผสมในชุดย้อมหม้อห้อมสำเร็จรูป เนื่องจากสามารถทำให้เกิดลิวโคอินดิโกได้ สอดคล้องกับรายงานของ Nicholson and John (2005) รายงานว่าน้ำกรดหรือน้ำส้มมีคุณสมบัติเป็นสารรีดิวซ์อย่างอ่อน ซึ่งสารดังกล่าวจะค่อย ๆ เปลี่ยนเป็นสีอินดิโกที่อยู่ในรูปสารออกซิไดซ์ (ไม่ละลายน้ำ) ซึ่งเป็นสารพวกลิวโคอินดิโกสามารถแทรกซึมในเนื้อผ้าและเกาะติดเนื้อผ้าได้ในขณะย้อม โดยปกติการล้างจะไม่ทำให้สีตก (Table 5)

Table 5 Dye quality, color fixing efficiency and pH of acid powder

Sample	Initial pH	Final pH	Leuco-indigo (µg/mL)	L*	a*	b*
Tamarind juice	3.04±0.16	10.67±0.06	121.59^{b}±0.92	4.01^{a}±0.14	0.95^{b}±0.09	0.48±0.01
Acid powder	3.16±0.11	10.88±0.02	138.03^{a}±0.87	4.48^{b}±0.02	0.13^{a}±0.00	0.51±0.00
F-test	**ns**	**ns**	*****	*****	*****	**ns**

Mean±SD from 4 replicates of the experiment; * mean was significant differences at $p \leq 0.05$.
ns mean was non-significant differences at $p \leq 0.05$.

Table 6 Dye quality, color fixing efficiency and pH

Sample	pH	Leuco-indigo (µg/mL)	L*	a*	b*
Set kit	10.61±0.19	136.42^{b}±0.41	0.26^{a}±0.01	-0.07^{b}±0.02	0.67^{b}±0.00
Indigo paste form indigo	10.59±0.22	157.08^{a}±0.83	1.03^{c}±0.01	-0.02^{c}±0.01	-0.37^{c}±0.02
Indigo paste form Hom	10.73±0.20	142.32^{a}±0.09	0.80^{b}±0.02	-0.69^{a}±0.00	-0.75^{a}±0.02
F-test	**ns**	*****	*****	*****	*****

Mean±SD from 4 replicates of the experiment; * mean was significant differences at $p \leq 0.05$.
ns mean was non-significant differences at $p \leq 0.05$.

ผลการพัฒนาผลิตภัณฑ์ชุดย้อมหม้อห้อมสำเร็จรูป (ชุด Kit)

โดยหลังจากได้ส่วนประกอบของชุดสำเร็จรูป ได้แก่ หัวเชื้อจุลินทรีย์แบบแห้ง ผงด่าง และผงกรด

เพื่อทดสอบประสิทธิภาพในการเปลี่ยนสีอินดิโกไปเป็นลิวโคอินดิโกของแบคทีเรีย *B. cereus* พบว่า มีการสร้างลิวโคอินดิโกได้สูงถึง 157.08 ไมโครกรัม/มล. ซึ่งมากกว่าชุดควบคุมที่ไม่มีหัวเชื้อแบคทีเรียสายพันธุ์ดังกล่าว แม้ในสภาวะที่ค่า pH ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ในส่วนของคุณภาพสี โดยตัวอย่างน้ำก่อหม้อที่มีหัวเชื้อฯ ให้ค่า L*, a* และ b* ที่ต่ำที่สุด คือ 1.03, -0.02 และ 0.36 ตามลำดับ แสดงถึงคุณภาพสีที่มีความเข้ม รวมถึงความเป็นสีน้ำเงินและสีเขียวที่มากกว่า เมื่อเปรียบเทียบกับชุดควบคุมที่ไม่ได้ใส่หัวเชื้อฯ ในการก่อหม้อห้อม สอดคล้องกับการศึกษาของ Chanchay (2021) เพราะจะทำให้เส้นฝ้ายสามารถดูดน้ำสีย้อมได้ดี และทำให้ติดสีที่เส้นใยได้ง่าย แล้วนำไปขยำกับสีอินดิโกในหม้ออินดิโกครั้งละประมาณ 15 นาที จากนั้นนำไปบิดให้หมาด ฝ้ายหรือไหมนั้นจะมีสีเขียวอมเหลืองเพราะอินดิโกยังอยู่ในรูป reduced form เมื่อนำฝ้ายหรือไหมนั้นผึ่งแดดสีอินดิโกจะถูกอากาศซึ่งมีออกซิเจน และจะค่อย ๆ เปลี่ยนไปอยู่ในรูปสารออกซิไดซ์ (oxidized form) ซึ่งมีสีน้ำเงินภายในเวลา 2–3 นาที หากสียังไม่เข้มให้นำไปขยำในหม้ออินดิโกซ้ำประมาณ 6–10 ครั้ง เพราะสีอินดิโกจะค่อย ๆ แทรกซึมเข้าไปในเนื้อฝ้ายหรือไหมแล้วเปลี่ยนไปอยู่ในรูป oxidized from จนได้สีน้ำเงินเข้มที่สุด จากนั้นจึงนำมาซักด้วยน้ำเปล่าจนน้ำใส บิดให้หมาด กระตุ้นเส้นฝ้ายหรือไหมให้ตึงเพื่อเป็นการคลี่เส้นใย และนำไปผึ่งในร่มหรือผึ่งแดด

จะได้เส้นฝ้ายหรือไหมสีน้ำเงินตามต้องการ โดยชุดสำเร็จรูปประกอบไปด้วยจุลินทรีย์ที่มีความสามารถในการรีดิวซ์สีอินดิโกให้เป็นลิวโคอินดิโก ทำให้เม็ดสีอินดิโกมีขนาดเล็กลงทำให้เหมาะต่อการย้อมห้อม (Nicholson and John, 2005; Compton *et al.,* 2005) สอดคล้องกับรายงานของ Herbst and Hunger (2000) ได้ศึกษาปฏิกิริยาเอนไซม์ที่เร่งปฏิกิริยาการย้ายหมู่ของน้ำตาลกลูโคสจาก uridine diphosphate glucose ในอินดอกซิลไปเป็นอินดิแคนที่ผลิตจาก *Baphicacanthus cusia* Bremek (Acanthaceae) Indoxyl-uridine diphosphate glucose (UDPG)-Glucosyltransferase พบว่า ค่า pH ที่เหมาะสมต่อการทำงานของเอนไซม์ คือ 8.5 และ pH 6.5 ตามลำดับ

สรุปผลการวิจัย

การพัฒนาชุดย้อมหม้อห้อมธรรมชาติสำเร็จรูปโดยการพัฒนาหัวเชื้อจุลินทรีย์จากน้ำก่อหม้อธรรมชาติ ห้อมผงจากห้อมเปียก ผงกรดจากมะขามเปียก และผงด่างจากน้ำด่างของขี้เถ้าไม้ต่าง ๆ พบว่าสามารถคัดแยกเชื้อแบคทีเรียสายพันธุ์ *Bacillus cereus* ที่ให้คุณภาพสีที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการย้อมสีธรรมชาติดีที่สุด ซึ่งเป็นเชื้อจุลินทรีย์ที่คัดแยกได้จากน้ำก่อหม้อย้อมผ้าจากโรงย้อมผ้าธรรมชาติ ในพื้นที่จังหวัดแพร่ และทำการเก็บรักษาเชื้อให้แห้งในกระดาษกรองขนาด 2x2 ซม. พบว่าห้อมผง 40 กรัม ควรอบที่อุณหภูมิ 60°ซ เป็นเวลา 10 ชม. และผงกรด 5 กรัม จากมะขามเปียก ที่อบด้วยอุณหภูมิ 60°ซ เป็นเวลา 72 ชม. และผงด่าง 5 กรัม จากน้ำด่างของขี้เถ้าไม้รวม จะเป็นส่วนประกอบในชุดสำเร็จรูปที่เหมาะสม สามารถเพิ่มประสิทธิภาพในการย้อมติดสีผ้าดีขึ้น สีเข้มขึ้น และสามารถควบคุมคุณภาพของเฉดสีได้ในแต่ละกระบวนการย้อม ซึ่งจะช่วยลดระยะเวลาของการหมักน้ำย้อมทำให้ขั้นตอนกระบวนการย้อมผ้าลดลง ช่วยเพิ่มประสิทธิภาพและคุณภาพของผ้าหม้อห้อมโดยไม่มีสารมลพิษต่อสิ่งแวดล้อม ได้ผ้าที่มีสีเป็นธรรมชาติ ด้วยเหตุดังกล่าวจึงมีผู้ประกอบการกลุ่มวิสาหกิจชุมชนศูนย์การเรียนรู้ธรรมชาติบำบัด ได้ซื้อสิทธิบัตร เรื่อง ผลิตภัณฑ์ชุดมัดย้อมหม้อห้อมและกรรมวิธีการผลิต เลขที่คำขอ 2103001572 วันที่ขอ 7 มิถุนายน พ.ศ. 2564 ร่วมกับสำนักงานนวัตกรรมแห่งชาติ (องค์การมหาชน) ในปีงบประมาณ พ.ศ. 2566

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณโครงการ “สีผงสำเร็จรูปจากห้อมสำหรับงานย้อมสีผ้าธรรมชาติ” ภายใต้การรับทุนสนับสนุนจากสำนักงานนวัตกรรมแห่งชาติ (องค์การมหาชน) ประจำปีงบประมาณ พ.ศ. 2566 ภายใต้โครงการทุนเครือข่ายวิสาหกิจนวัตกรรม

เอกสารอ้างอิง

Aino, K., T. Narihiro, K. Minamida, Y. Kamagata, K. Yoshimune and I. Yumoto. 2010. Bacterial community characterization and dynamics of indigo fermentation. **FEMS Microbiology Ecology** 74: 174–183.

Chanchay, N. 2021. **Mor-Hom Phare by Dying Natural Process for Commercial.** Chiang Mail: Smart Coating and Services. 202 p. [in Thai]

Chanchay, N. and A. Boonpajaub. 2021. Effect of pH on growth and indigo coloring quality of Hom (*Baphicacanthus cusia* (Nees.) Bremek.) at Phrae province. **Thai Forest Ecological Research Journal** 5(1): 91–104. [in Thai]

Compton, R.G. Welch, C.M. C.E. Bank and A.O. Sim. 2005. Silver nanoparticle assemblies supported on glassy-carbon electrodes for the electro-analytical detection of hydrogen peroxide. **Analytical and Bioanalytical Chemistry** 1: 12–21.

Herbst, W. and K. Hunger. 2000. **Industrial Organic Pigment: Production, Properties**. Weinheim: Application VCH Verlagsgesellschaft. 660 p.

Li, H.X., B. Xu, L.Tang, J.H. Zhang and Z.G. Mao. 2015. Reductive decolorization of indigo carmine dye with *Bacillus* sp. MZS10. **International Biodeterioration & Biodegradation** 103: 30–37.

Nakajima, K., K. Hirota, Y. Nodasaka and I. Yumoto. 2005. *Alkalibacterium iburiense* sp. Nov., and obligate alkaliphile that reduce an indigo dye. **International Journal of Systematic and Evolutionary Microbiology** 55(4): 1525–1530.

Nicholson, S.K. and P. John. 2005. The mechanism of bacterial indigo reduction. **APPL MICROBIOL BIOT Journal** 68(1): 117–123.

O-Thong, S. and B. Buakhun. 2013. **Local Wisdom Innovation in Cultural Heritage of Development of Starter Culture for Fermenting Indigo Blue: *Indigofera tinctoria* and Indigo Dye Storage for Dying Process.** Songkhla: Thaksin University. 65 p. [in Thai]

Sukka, K., C. Sompark, T. Thanananta and N. Sakkayawong. 2019. Isolation of bacteria from the indigo dyeing water in the dyed pot and indigo dyeing area soil for the application of dyeing process and wastewater treatment. **Thai Journal of Science and Technology** 8(5): 552–564. [in Thai]

Yumoto, I., K. Hirota, Y. Nodasaka, Y. Yokota, T. Hoshino and K. Nakajima. 2004. *Alkalibacterium psychrotolelerans* sp. Nov., a psychrotolerant obligate alkaliphile that reduces an indigo dye. **International Journal of Systematic and Evolutionary Microbiology** 54: 2379–2583.

Journal of Agri. Research & Extension 42(3): 129-140

ผลของฤดูกาลต่อการเปลี่ยนแปลงคุณภาพน้ำและปริมาณคลอโรฟิลล์เอ บริเวณชายฝั่งทะเลละแม อำเภอละแม จังหวัดชุมพร

Effects of Seasons on Water Quality and Chlorophyll a Content at Lamae Coast, Lamae District, Chumphon Province

พรพิมล พิมลรัตน์[1,*] ณัชพัฒน์ สุขใส[1] พัชราวลัย ศรียะศักดิ์[2] และสุพันธ์ณี สุวรรณภักดี[2]

Pornpimol Pimolrat[1,*], Nutchapat Suksai[1], Patcharawalai Sriyasak[2] and Supannee Suwanpakdee[2]

[1]สาขาวิชานวัตกรรมการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำชายฝั่ง มหาวิทยาลัยแม่โจ้-ชุมพร ชุมพร 86170

[2]สาขาวิชาประมง คณะทรัพยากรธรรมชาติ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน วิทยาเขตสกลนคร สกลนคร 47160

[1]Department of Innovative Coastal Aquaculture, Maejo University at Chumphon, Chumphon, Thailand 86170

[2]Department of Fisheries, Faculty of Natural Resources, Rajamangala University of Technology Isan, Sakon Nakhon Campus Sakon Nakhon, Thailand 47160

*Corresponding author: paqua50@gmail.com

Received: *September 29, 2023*
Revised: *April 01, 2025*
Accepted: *April 11, 2025*

Abstract

The objective of this research was to study the effects of season on water qualities and chlorophyll content at Lamae coast, Lamae District, Chumphon province. The parameters of water quality included water temperature, air temperature, dissolve oxygen (DO), pH, transparency, salinity and chlorophyll a content. Data were collected monthly between January and December 2021 from three stations: Paknam Lamae beach coast (LM), the coast in front of Maejo University at Chumphon (MP) and Nong Bua Fish Bridge (NB). The results showed that seasons had a statistically significant ($P<0.05$) effect on transparency and the amount of chlorophyll a, but the season had no statistically significant ($P>0.05$) effect on water and air temperature, dissolved oxygen, pH, and salinity. These results provide beneficial information for planning coastal aquaculture farm and can be applied for water quality management for shrimp, polychaete, and blue swimming crab cultures.

Keywords: climate change, season, water quality, coast, Lamae district

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลของฤดูกาลต่อการเปลี่ยนแปลงคุณภาพน้ำและคลอโรฟิลล์เอบริเวณชายฝั่งทะเลละแม อำเภอละแม จังหวัดชุมพร จำนวน 3 จุดสำรวจ ได้แก่ ชายฝั่งหาดปากน้ำละแม (LM) ชายฝั่งหน้ามหาวิทยาลัยแม่โจ้-ชุมพร (MP) และบริเวณสะพานปลาหนองบัว (NB) เก็บตัวอย่างและตรวจวัดคุณภาพน้ำ ได้แก่ อุณหภูมิน้ำ อุณหภูมิอากาศ ออกซิเจนที่ละลายในน้ำ (DO) ความเป็นกรด-ด่าง (pH) ความโปร่งใส ความเค็ม และคลอโรฟิลล์เอเดือนละ 1 ครั้ง เป็นระยะเวลา 1 ปี (มกราคม-ธันวาคม พ.ศ. 2564) ผลการศึกษาพบว่า ฤดูกาลมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงความโปร่งใสและปริมาณคลอโรฟิลล์เออย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$) แต่ฤดูกาลไม่มีผลต่อค่าอุณหภูมิของน้ำ อุณหภูมิอากาศ ปริมาณออกซิเจนที่ละลายน้ำ pH และความเค็มอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P>0.05$) ข้อมูลที่ได้สามารถนำไปใช้ประโยชน์ต่อการวางแผนเพื่อเฝ้าระวังการเปลี่ยนแปลงของคุณภาพน้ำในรอบปี การวางแผนการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำบริเวณชายฝั่งละแม ตลอดจนการบริหารจัดการน้ำสำหรับใช้ในการเพาะเลี้ยงและการอนุบาลกุ้ง เพรียงทราย และปูม้า

คำสำคัญ: การเปลี่ยนแปลงสภาพอากาศ ฤดูกาล คุณภาพน้ำ ชายฝั่งทะเล อำเภอละแม

คำนำ

การเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศเกิดจากภาวะโลกร้อน ทำให้อุณหภูมิเฉลี่ยของโลกเพิ่มขึ้น มีการคาดการณ์ไว้ว่าการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศของประเทศไทยในช่วง ปี พ.ศ. 2553-2632 อุณหภูมิเฉลี่ยรายปีของประเทศไทยจะเพิ่มสูงขึ้นอย่างต่อเนื่อง จำนวนวันที่ฝนตกจะลดลงแต่ฝนจะตกหนักขึ้น และการเกิดพายุรุนแรงบ่อยครั้งขึ้น (Sanitwong Na Ayutthaya, 2011) การเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศเป็นสาเหตุหนึ่งที่ก่อให้เกิดความไม่มั่นคงทางอาหาร อุณหภูมิเฉลี่ยของโลกที่เพิ่มขึ้นทำให้น้ำแข็งขั้วโลกละลาย ส่งผลให้ระบบนิเวศทางทะเลเสียสมดุล โดยเฉพาะพื้นที่ชายฝั่งทะเล ระดับน้ำทะเลที่เพิ่มสูงขึ้นอาจทำให้พื้นที่ชายฝั่งบางส่วนจมหายไป ซึ่งส่งผลกระทบแก่ชุมชนที่มีความเปราะบางด้านพื้นที่แหล่งอาหาร เช่น พื้นที่ป่าชายเลน พื้นที่การเกษตรใกล้ชายฝั่ง (Lapsetthanurak, 2010) ซึ่งชุมชนที่มีวิถีชีวิตพึ่งพาอาศัยอาหารจากชายฝั่งจึงอาจเผชิญกับปัญหาด้านความไม่มั่นคงทางอาหารอย่างหลีกเลี่ยงไม่ได้ เนื่องจากชายฝั่งทะเลของประเทศไทยมีความสำคัญต่อการพัฒนาประเทศเป็นอย่างยิ่ง นอกจากจะเป็นแหล่งทำการประมงที่สำคัญแล้ว ยังเป็นแหล่งเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำและแหล่งท่องเที่ยว ซึ่งผลจากการใช้ประโยชน์จากทรัพยากรชายฝั่งอย่างต่อเนื่อง โดยขาดการควบคุมและการจัดการที่ดีย่อมจะส่งผลกระทบต่อทรัพยากรชายฝั่ง โดยเฉพาะการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของน้ำทะเลที่จัดว่าเป็นปัจจัยที่สำคัญต่อการทำการประมง การเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำชายฝั่ง รวมทั้งการท่องเที่ยว และการนันทนาการต่าง ๆ ซึ่งปัจจัยสิ่งแวดล้อมและคุณภาพน้ำที่มีการเปลี่ยนแปลงนับเป็นปัจจัยหลักที่ส่งผลต่อการเจริญเติบโตและเพิ่มจำนวนของแพลงก์ตอนพืช ในแต่ละพื้นที่และในแต่ละช่วงเวลาที่แตกต่างกัน (Henriksen, 2009)

อำเภอละแมตั้งอยู่ทางทิศใต้สุดของจังหวัดชุมพร พื้นที่ทางตะวันตกเป็นภูเขาและที่สูง ทางด้านตะวันออกเป็นชายฝั่งทะเลอ่าวไทย มีหาดทรายกว้างและยาว มีแม่น้ำที่สำคัญ คือ คลองละแม และคลองบ้านดวด ปัจจุบันมีการพัฒนาพื้นที่ชายฝั่งทะเลบริเวณอำเภอละแมเพื่อให้เป็นแหล่งเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำชายฝั่งที่สำคัญ เช่น กุ้ง ทะเล เพรียงทราย หอยเศรษฐกิจ และยังเป็นแหล่งทำประมงชายฝั่งที่สำคัญ ก่อให้เกิดการขยายตัวทั้งทางด้านเศรษฐกิจและชุมชน (Wikipedia, The Free Encyclopedia: Lamae District, 2023; Pimolrat *et al*., 2018) ขณะที่ข้อมูลเกี่ยวกับคุณภาพน้ำและการเปลี่ยนแปลง

ปริมาณคลอโรฟิลล์เอ ในรอบปีและในแต่ละฤดูกาลของชายฝั่งทะเลละแมยังมีรายงานอย่างจำกัด ทั้งที่การติดตามตรวจสอบคุณภาพน้ำบริเวณหน้าชายฝั่งนับเป็นเรื่องสำคัญต่อการเฝ้าระวังคุณภาพน้ำ ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลของฤดูกาลต่อการเปลี่ยนแปลงคุณภาพน้ำบริเวณชายฝั่งละแม อำเภอละแม จังหวัดชุมพร เพื่อทราบถึงสถานภาพคุณภาพของแหล่งน้ำในปัจจุบัน และทราบถึงการเปลี่ยนแปลงของคุณภาพน้ำในรอบปี เพื่อที่จะสามารถนำไปสู่การสร้างแนวทางปฏิบัติ การวางแผนจัดการคุณภาพน้ำและการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ การแก้ไขและป้องกันผลกระทบที่เกิดจากการเปลี่ยนแปลงของคุณภาพในแหล่งน้ำนั้นได้อย่างทันท่วงทีก่อนจะนำน้ำจากแหล่งน้ำนั้น ๆ มาใช้ประโยชน์ เพื่อไม่ให้เกิดอันตรายต่อสัตว์น้ำชายฝั่งที่เพาะเลี้ยงต่อไป

อุปกรณ์และวิธีการ

พื้นที่ศึกษาและช่วงเวลาการสุ่มเก็บตัวอย่าง

สำรวจพื้นที่และกำหนดจุดเก็บตัวอย่างที่มีที่ตั้งใกล้ปากแม่น้ำและแต่ละจุดมีการใช้น้ำทะเลในการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ อาทิ กุ้งขาวแวนนาไม เพรียงทราย หอยแมลงภู่ และธนาคารปูม้า จำนวน 3 จุดสำรวจ ได้แก่ ชายฝั่งหาดปากน้ำละแม (LM) ชายฝั่งหน้ามหาวิทยาลัยแม่โจ้-ชุมพร (MP) และบริเวณสะพานปลาหนองบัว (NB) (Table 1 และ Figure 1)

เก็บตัวอย่างคุณภาพน้ำที่ความลึกจากผิวน้ำ 30 เซนติเมตร (จุดตรวจสอบมีความลึกของน้ำอยู่ที่ 1–1.5 เมตร ระยะห่างจากฝั่งประมาณ 2–3 เมตร) เดือนละ 1 ครั้ง เป็นระยะเวลา 1 ปี (ระหว่างเดือนมกราคม -ธันวาคม พ.ศ. 2564) โดยตรวจวัดคุณภาพน้ำเวลา 10.00–12.00 น. ดังนี้ ความเค็มด้วยเครื่องวัดความเค็มแบบส่อง (Refracto salinometer) ออกซิเจนที่ละลายในน้ำด้วยเครื่องวัดออกซิเจนในน้ำ (DO Meter) อุณหภูมิในน้ำและอุณหภูมิอากาศด้วย Thermometer ความเป็นกรด-ด่างด้วย pH meter และความโปร่งใสโดยใช้ Secchi disc เก็บตัวอย่างน้ำทะเลเพื่อนำกลับมาวิเคราะห์หาปริมาณคลอโรฟิลล์เอ (chlorophyll a) ในห้องปฏิบัติการโดยใช้วิธี Spectrophotometric (Parsons *et al*., 1984)

Table 1 Survey points and geographic coordinates

Survey points	Sampling area	Coordinates according to the UTM system	
		North degree	East degree
1	Paknam Lamae beach coast (LM)	9°47'35.5"N	99°08'25.5"E
2	Coast in front of Maejo University at Chumphon (MP)	9°46'48.5"N	99°08'32.9"E
3	Nong Bua Fish Bridge (NB)	9°44'38.3"N	99°08'50.1"E

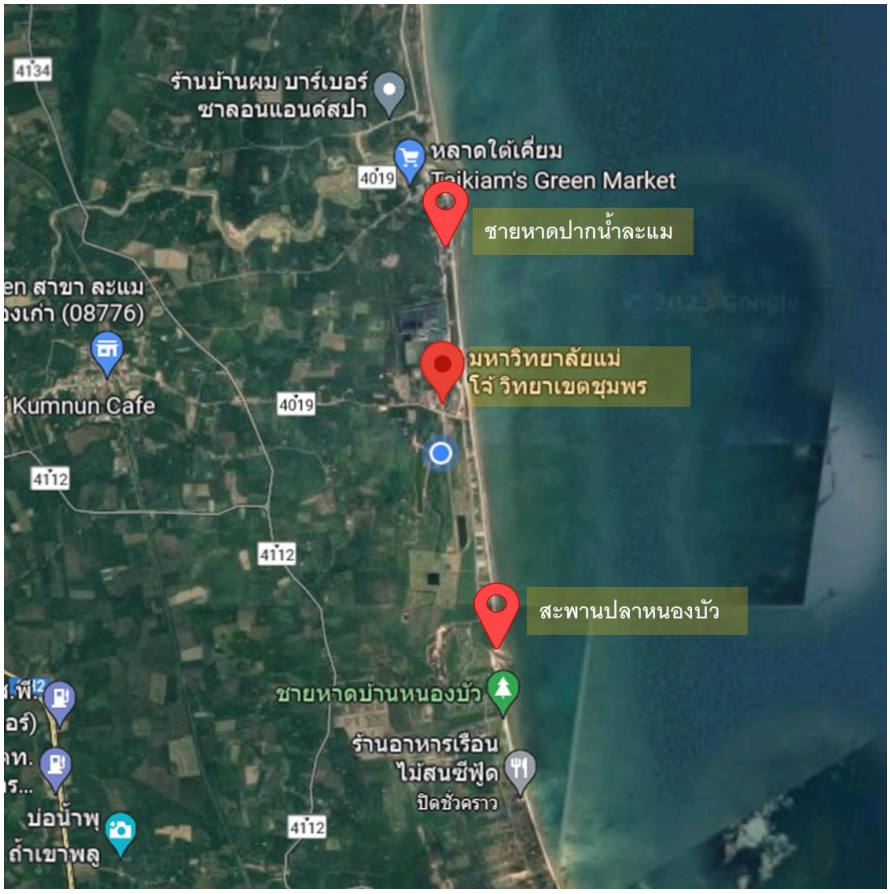


Figure 1 Three surveys and water sampling points at Lamae coast, Lamae district, Chumphon province Paknam Lamae beach coast (LM); coast in front of Maejo University at Chumphon (MP); Nong Bua Fish Bridge (NB) Adapted from: Google Maps (2023)

การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ

ค่าของคุณภาพน้ำ ได้แก่ ความเค็ม ออกซิเจนที่ละลายในน้ำ อุณหภูมิน้ำ อุณหภูมิอากาศ ความเป็นกรด-ด่าง ความโปร่งใส และปริมาณคลอโรฟิลล์เอที่วัดได้นำมาวิเคราะห์ความแตกต่างด้วยการวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบแจกแจงทางเดียว (One-Way Analysis of Variance: ANOVA) ทดสอบความแตกต่างค่าเฉลี่ยของตัวแปร โดยวิธี Duncan's Multiple Range Test โดยการวิเคราะห์ทางสถิติทั้งหมดใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์สำเร็จรูป SPSS version 28 ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% สำหรับการวิเคราะห์ผลของฤดูกาลต่อการเปลี่ยนแปลงคุณภาพน้ำนั้นจะอ้างอิงฤดูกาลในภาคใต้ของประเทศไทยที่รายงานโดย Thai Meteorological Department (2023) นั่นคือ อำเภอละแม จังหวัดชุมพร มีฤดูกาลเพียง 2 ฤดู คือ ฤดูร้อน เริ่มตั้งแต่เดือนกุมภาพันธ์–เดือนพฤษภาคม และฤดูฝน เริ่มตั้งแต่กลางเดือนมิถุนายน–เดือนมกราคม

ผลการวิจัยและวิจารณ์

ผลของคุณภาพน้ำบริเวณชายฝั่งละแม อำเภอละแม จังหวัดชุมพรในรอบปี (ระหว่างเดือนมกราคม-ธันวาคม พ.ศ. 2564)

จากการศึกษาดังข้อมูลที่แสดงใน Table 2 และ Figure 2a-e พบว่าอุณหภูมิน้ำมีค่าอยู่ในช่วง 25–34 องศาเซลเซียส โดยอุณหภูมิสูงสุดพบในเดือนมิถุนายน

(34.00±1.00 องศาเซลเซียส) ขณะที่ในเดือนพฤศจิกายนเปรียบเทียบกับเดือนอื่น ๆ ทั้งอุณหภูมิน้ำและอุณหภูมิอากาศมีค่าต่ำที่สุดแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$) กับเดือนอื่น ๆ ปริมาณ DO มีค่าอยู่ในช่วง 6.5–8.6 มก./ล. ค่าสูงสุดแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติพบในเดือนกรกฎาคม (8.67 ± 0.6 มก./ล.) และค่าต่ำสุดเดือนกุมภาพันธ์ (6.53 ± 1.4 มก./ล.) ซึ่งค่า DO ที่ได้จากการศึกษาในครั้งนี้มีค่าสูงกว่าค่ามาตรฐานคุณภาพน้ำทะเลเพื่อการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำตาม Announcement of the National Environment Board (2007) ที่มีการกำหนดค่ามาตรฐานไว้ คือ ออกซิเจนละลายน้ำควรมีค่าไม่ต่ำกว่า 4 มก./ล. ความเป็นกรด-ด่างของน้ำ (pH) มีค่าอยู่ในช่วง 6.7–8.13 ค่าสูงสุดแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ พบในเดือนมิถุนายน (8.13 ± 0.06) และค่าต่ำสุดในเดือนธันวาคม (6.70 ± 0.66) ความโปร่งใสมีค่าอยู่ในช่วง 8.33–73.33 ซม. ค่าสูงสุดแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติพบในเดือนสิงหาคม (73.33±15.27 ซม.) และค่าต่ำสุดในเดือนพฤศจิกายน (8.33±2.88 ซม.) จากการศึกษาครั้งนี้พบว่า ความเค็มของน้ำมีค่าอยู่ในช่วง 2.33–34.00 ส่วนในพันส่วน (ppt) ค่าสูงสุดแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติพบในเดือนเมษายนและเดือนสิงหาคม (34.00±1.00 ppt) และค่าต่ำสุดในเดือนพฤศจิกายน (2.33±1.15 ppt) ซึ่งความเค็มของน้ำมีผลโดยตรงต่อการดำรงชีวิตของสัตว์น้ำ โดยเฉพาะระบบการควบคุมปริมาณน้ำในร่างกาย (water regulatory system) โดยทั่วไปสัตว์ทะเลจะสามารถปรับตัวให้เข้ากับการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของน้ำทะเลได้ในช่วงแคบ ๆ แต่ถ้ามีการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของน้ำภายนอกมากเกินไปสัตว์ก็อาจตายได้ ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับความสามารถของระบบควบคุมสมดุลของน้ำในร่างกายของสัตว์แต่ละชนิด (Gardiner, 1972; Leelapiyanart, 1996)

Table 2 Water quality (mean ± standard deviation, N=9) along the Lamae coast, Lamae district, Chumphon province, for a period of 1 year (between January to December 2021)

Month	Water temperature (°C)	Air temperature (°C)	DO (mg/L)	pH	Salinity (ppt)	Chlorophyll a (μg/L)	Transparency (cm)
January	26.00±0.00^{ab}	28.67±1.15^{bcd}	8.28±0.42^{cd}	7.10±0.10^{abc}	25.00±0.00^{b}	14.81±10.29^{ab}	41.10±6.97^{bc}
February	26.67±0.58^{b}	28.00±0.00^{bc}	6.53±1.44^{a}	7.13±0.29^{abc}	28.67±2.08^{ab}	13.36±8.96^{ab}	14.43±7.68^{a}
March	32.00±1.00^{e}	32.67±0.58^{e}	6.67±0.50^{a}	7.30±0.10^{bc}	29.33±0.58^{c}	11.64±2.42^{a}	51.67±20.82^{cd}
April	29.00±0.00^{c}	30.00±0.00^{cd}	7.72±0.35^{abcd}	7.20±0.10^{bc}	29.67±4.16^{c}	47.07±27.61^{bc}	20.00±10.00^{ab}
May	31.00±1.00^{de}	31.00±0.00^{de}	7.45±0.63^{abcd}	8.03±0.31^{d}	28.67±3.21^{ab}	64.66±54.14^{c}	23.33±11.55^{ab}
June	34.00±1.00^{f}	36.33±3.79^{f}	8.06±0.34^{bcd}	8.13±0.06^{d}	31.67±0.58^{cde}	25.52±9.33^{ab}	70.00±10.00^{d}
July	32.00±1.00^{e}	30.33±1.61^{cde}	8.67±0.67^{d}	7.43±0.25^{bc}	30.33±0.58^{cd}	18.91±2.79^{ab}	40.00±17.32^{bc}
August	32.33±1.15^{e}	30.83±1.44^{de}	7.61±0.68^{abcd}	7.30±0.17^{bc}	34.00±1.00^{e}	6.61±5.57^{a}	73.33±15.28^{d}
September	30.33±0.58^{cd}	26.33±0.58^{ab}	7.05±0.39^{abc}	7.07±0.15^{abc}	33.33±1.15^{de}	8.33±3.25^{a}	33.33±11.55^{abc}
October	30.33±0.58^{cd}	30.33±1.15^{cde}	6.67±1.15^{a}	6.97±0.23^{ab}	28.67±3.21^{ab}	7.80±2.29^{a}	54.00±24.25^{cd}
November	25.00±1.00^{a}	24.67±0.58^{a}	7.78±0.35^{abcd}	7.50±0.00^{c}	2.33±1.15^{a}	5.55±1.05^{a}	8.33±2.89^{a}
December	26.77±0.68^{b}	26.50±0.50^{ab}	6.72±0.67^{ab}	6.70±0.66^{a}	25.00±1.00^{b}	6.61±1.96^{a}	23.66±4.04^{ab}

The vertically different English letters showed a statistically significant difference ($P<0.05$), tested by Duncan's Multiple Range Test.

ปริมาณคลอโรฟิลล์เอของน้ำใน 3 พื้นที่ในรอบปี บริเวณชายฝั่งละแม อำเภอละแม จังหวัดชุมพร ดังข้อมูลที่ แสดงใน Table 2 และ Figure 2e พบว่าปริมาณคลอโรฟิลล์เอของน้ำมีค่าอยู่ในช่วง 5.55–64.66 มคก./ล (***µ***g/L) แตกต่างกับเดือนอื่น ๆ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$) โดยปริมาณคลอโรฟิลล์เอของน้ำสูงสุดพบในเดือนพฤษภาคม (123.76 ± 2.38 ***µ***g/L) ที่จุดเก็บตัวอย่างหน้าชายฝั่งมหาวิทยาลัยแม่โจ้-ชุมพร (MP) ขณะที่ในเดือนพฤศจิกายนปริมาณคลอโรฟิลล์เอเมื่อเปรียบเทียบกับเดือนอื่นมีค่าต่ำที่สุด (5.55 ± 1.05 ***µ***g/L)

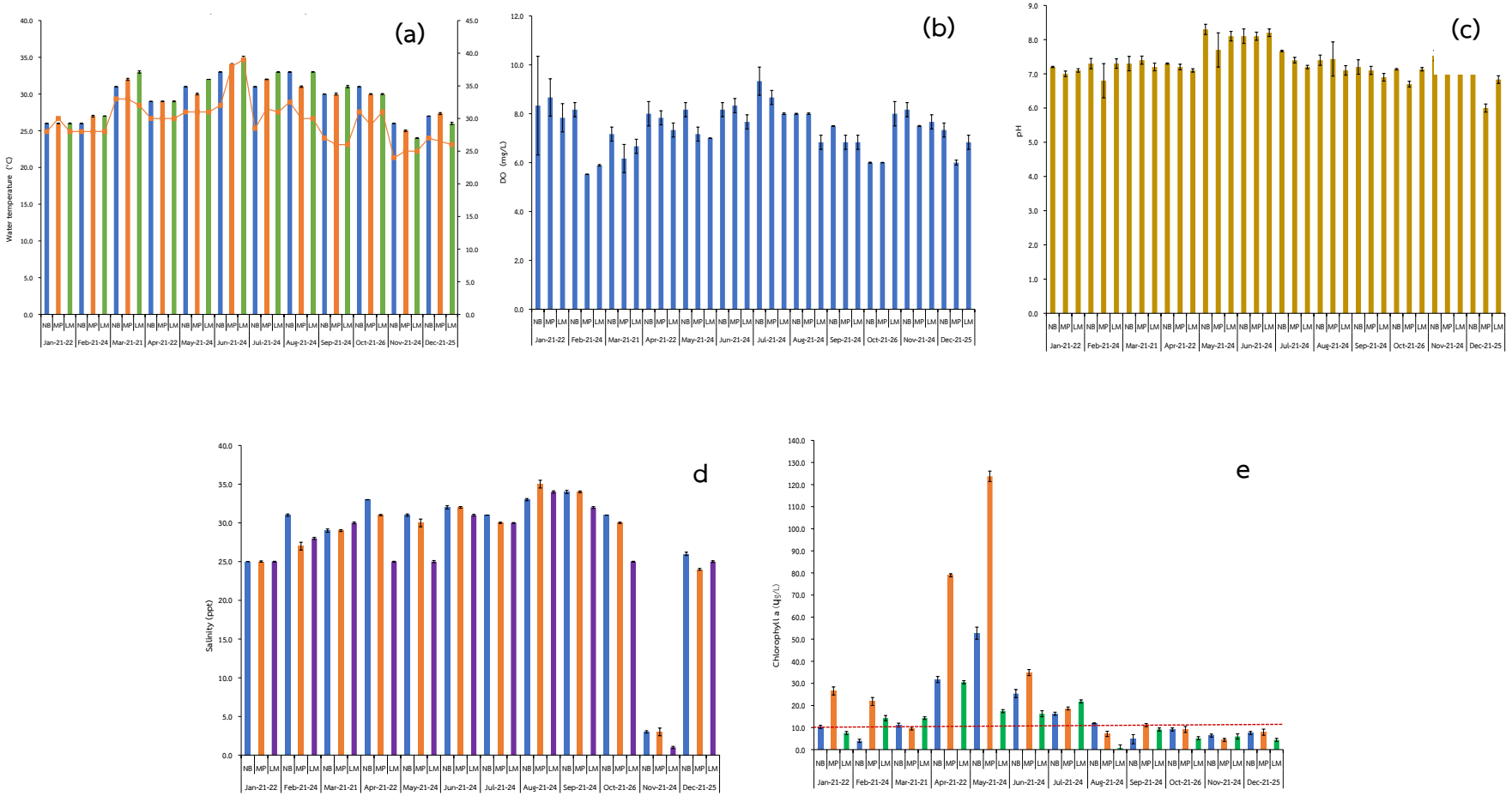


Figure 2 Water and air temperature (a), dissolved oxygen (b), pH (c), salinity (d) and chlorophyll A (e) at Lamae coast, Lamae district, Chumphon province, for a period of 1 year (January to December 2021).

ผลคุณภาพน้ำของฤดูกาลต่อในรอบปีบริเวณชายฝั่งทะเลละแม อำเภอละแม จังหวัดชุมพร

จากการวิเคราะห์ผลการเปลี่ยนแปลงคุณภาพน้ำแต่ละฤดูกาลบริเวณชายฝั่งละแม อำเภอละแม จังหวัดชุมพร ซึ่งจากการศึกษาพบว่า อำเภอละแม จังหวัดชุมพร มีฤดูกาลเพียง 2 ฤดู คือ ฤดูร้อน เริ่มตั้งแต่เดือนกุมภาพันธ์-พฤษภาคม เป็นช่วงเปลี่ยนมรสุมหลังมรสุมตะวันออกเฉียงเหนืออ่อนกำลังลง และฤดูฝน เริ่มตั้งแต่เดือนมิถุนายน-มีนาคม ซึ่งเป็นช่วงที่ลมมรสุมตะวันตกเฉียงใต้จากทะเลอันดามันเป็นมวลอากาศที่มีความชื้นสูงและเปลี่ยนเป็นลมมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือ จึงทำให้เกิดฝนตกชุก (Meteorological Department, 2023) ทั้งนี้ฤดูกาลมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงของคุณภาพน้ำทะเลบริเวณชายฝั่งละแม โดยคุณภาพน้ำในแต่ละฤดูกาลบริเวณชายฝั่งละแม อำเภอละแม จังหวัดชุมพรแสดงใน Table 3 อุณหภูมิน้ำและอุณหภูมิอากาศในฤดูร้อนมีค่าสูงกว่าฤดูฝนอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ($P>0.05$) ถึงแม้ว่าฤดูฝนจะมีอุณหภูมิต่ำกว่าฤดูร้อน แต่ก็ยังอยู่ในช่วงที่เหมาะสมกับการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ คืออุณหภูมิควรอยู่ในช่วง 25–32 องศาเซลเซียส (Luangthuwapranee, 2005; Pandit and Nakamura, 2010)

จากการวิเคราะห์ผลของฤดูกาลต่อการเปลี่ยนแปลงของปริมาณออกซิเจนที่ละลายน้ำ หรือ DO ครั้งนี้พบว่าฤดูกาลที่แตกต่างกันไม่ส่งผลต่อค่า DO โดยพบว่า DO มีค่าอยู่ในช่วง 7.09–7.60 มก./ล. ในฤดูฝนมีค่าสูงกว่าฤดูร้อน ทั้งนี้เนื่องจากอุณหภูมิน้ำและอุณหภูมิอากาศเกี่ยวข้องกับปริมาณออกซิเจนที่ละลายน้ำ คือ เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นออกซิเจนจะละลายในน้ำได้ลดลง ในขณะที่สัตว์น้ำและจุลินทรีย์จะมีความต้องการออกซิเจนเพิ่มขึ้นโดยเฉพาะในแหล่งน้ำที่มีปริมาณอินทรียวัตถุมากอุณหภูมิที่สูงขึ้นจะช่วยเร่งกระบวนการย่อยสลายอินทรียวัตถุ ทำให้ในวันที่มีอากาศร้อนอาจเกิดปัญหาการขาดแคลนออกซิเจนในแหล่งน้ำได้ แต่อย่างไรก็ตามการศึกษาครั้งนี้พบว่าปริมาณ DO ในทั้ง 2 ฤดูกาลยังมีค่าที่เหมาะสมสำหรับการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ โดยมาตรฐานของน้ำที่มีคุณภาพดีโดยทั่วไปจะมีค่า DO ประมาณ 5–8 มก./ล. หรือปริมาณ O_2 ละลายอยู่ปริมาณ 5–8 มก./ล. น้ำเสียจะมีค่า DO ต่ำกว่า 3 มก./ล. (Luangthuwapranee, 2005)

ค่า pH เป็นตัวชี้วัดของการเป็นกรด/ด่างของน้ำพื้นฐาน คือ อยู่ในช่วง 0–14 ทั้งนี้ถ้าค่า pH ของน้ำสูงหรือต่ำเกินไปจะส่งผลต่อสิ่งมีชีวิตที่อาศัยอยู่ในน้ำ นอกจากนี้ค่า pH ยังส่งผลกระทบต่อการละลายและความเป็นพิษของสารเคมีและโลหะหนักในน้ำ ส่วนใหญ่ช่วง pH 7.0–8.5 จะเหมาะสมต่อการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ แม้บางชนิดจะสามารถมีชีวิตอยู่ในน้ำที่มีระดับค่า pH อยู่นอกช่วงนี้ ในกรณีที่ pH เปลี่ยนแปลงไปจากช่วงนี้สามารถทำให้เกิดความเครียดในสัตว์น้ำ ลดการฟักไข่และอัตราการรอดตาย จากการศึกษาครั้งนี้พบว่า ฤดูกาลไม่มีผลต่อค่า pH บริเวณบริเวณชายฝั่งละแม อำเภอละแม จังหวัดชุมพร นั่นคือค่า pH ในฤดูร้อน (7.41±0.42) และฤดูฝน (7.28±0.47) ซึ่งไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P>0.05$) และค่า pH ทั้ง 2 ฤดูกาลยังอยู่ในช่วงที่เหมาะสมสำหรับการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ คือไม่ควรให้ pH อยู่นอกช่วง 6.5–9.0 เพราะถึงแม้จะมีสัตว์น้ำหลายชนิดสามารถทนอยู่ได้นอกช่วงนี้ แต่อัตราการเจริญเติบโตและการสืบพันธุ์อาจจะหยุดชะงักลง และจะยิ่งทนไม่ได้เมื่อมีปัจจัยอื่นร่วมด้วย เช่น เมื่อ pH และอุณหภูมิสูงขึ้นแอมโมเนียจะมีพิษเพิ่มขึ้น

Table 3 Seasonal effects on water quality in the year around Lamae coast, Lamae district Chumphon province

Water quality	Summer	Rainy	Suitable value for aquaculture*
Water temperature (°C)	29.67±2.23[a]	29.60±3.21[a]	25–32
Air temperature (°C)	30.42±1.78[a]	29.25±3.74[a]	25–32
DO (mg/L)	7.09±0.89[a]	7.60±0.88[a]	not less than 4**
pH	7.41±0.42[a]	7.28±0.47[a]	7.0–8.5**
Transparency (cm)	27.36±18.92[a]	42.97±20.97[b]	30–60
Salinity (ppt)	29.08±2.46[a]	26.29±9.87[a]	25–30
Chlorophyll a (μg/L)	34.18±35.25[b]	11.76±8.36[a]	15–50

Different English characters horizontally showed significant differences (P<0.05), tested by Duncan's Multiple Range Test.

*Reference: Optimum values for aquaculture (Chokchai, 2005; Pandit and Nakamura, 2010; Nuanmanee, 2010)

**Reference: Seawater quality standard type 3 (Seawater quality for aquaculture) (Pollution Control Department, 2018)

คุณภาพน้ำของฤดูกาลปี พ.ศ. 2564 พบว่าความโปร่งใสของฤดูฝนมีค่าสูงกว่าฤดูร้อนอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P<0.05) อย่างไรก็ตามความโปร่งใสของทั้ง 2 ฤดูกาล มีความเหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของสัตว์น้ำ คือ อยู่ระหว่าง 30–60 ซม. หากมีค่าต่ำกว่า 30 ซม. แสดงว่าน้ำมีความขุ่นมากเกินไป หรือมีปริมาณแพลงก์ตอนมากเกินไป ซึ่งอาจทำให้เกิดภาวะขาดแคลนออกซิเจนขึ้นได้ แต่ถ้าค่ามีความโปร่งใสสูงกว่า 60 ซม. ขึ้นไป แสดงว่าแหล่งน้ำนั้นไม่ค่อยสมบูรณ์ ความโปร่งใสของน้ำมีความสัมพันธ์กับปริมาณตะกอนแขวนลอยและแพลงก์ตอนซึ่งมีผลกระทบต่อสิ่งมีชีวิตในน้ำ น้ำที่มีความโปร่งแสงน้อยหรือมีความขุ่นมาก แสงสว่างจะส่องลงไปในน้ำได้น้อย ห่วงโซ่อาหารและอาหารธรรมชาติในแหล่งน้ำจะลดลงตามไปด้วย ความขุ่นที่เกิดจากตะกอนดิน ในธรรมชาติแม้จะมีปริมาณไม่สูงมากเพียงพอที่จะทำอันตรายโดยตรงต่อปลา แต่อาจเป็นอันตรายต่อไข่ปลาที่กำลังจะฟักออกเป็นตัวได้ (Luangthuwapranee, 2005)

แม้ว่าความเค็มในฤดูร้อนมีค่าสูงกว่าความเค็มในฤดูฝนแต่ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P>0.05) ความเค็มของน้ำที่เปลี่ยนแปลงไปมีผลต่อระบบควบคุมน้ำในร่างกาย ซึ่งหมายถึงการรักษาสมดุลของแร่ธาตุในร่างกาย สัตว์น้ำแต่ละชนิดมีความทนทานต่อความเค็มของน้ำแตกต่างกัน โดยเฉพาะสัตว์น้ำเค็มและสัตว์น้ำจืดที่อาศัยอยู่ในน้ำที่มีระดับความเค็มแตกต่างกัน ส่วนสัตว์น้ำกร่อยนั้นจัดได้ว่าเป็นสัตว์ที่มีความทนทานต่อการเปลี่ยนแปลงความเค็มได้มาก แต่อย่างไรก็ตามการเปลี่ยนแปลงความเค็มอย่างกะทันหันไม่ว่าจะเป็นสัตว์ชนิดใดความเค็มของน้ำย่อมมีผลต่อสัตว์น้ำเช่นเดียวกับอุณหภูมิ (Luangthuwapranee, 2005) สัตว์น้ำกร่อยที่อาศัยอยู่บริเวณที่มีการเปลี่ยนแปลงความเค็มมากจะมีความสามารถปรับตัวและทนทานต่อแรงดัน osmotic ได้ดี แต่สำหรับสัตว์น้ำทั่ว ๆ ไปสามารถปรับตัวให้เข้ากับสภาพความเค็มของน้ำที่เปลี่ยนแปลงได้ แต่ทั้งนี้ต้องเป็นไปอย่างช้า ๆ ซึ่งจากรายงานของ Tangkrock-Olan and Sincharoensup (2013) ที่ศึกษาผลของความเค็มต่ออัตราการรอดตายและการควบคุมปริมาตร (Volume regulation) ของเพรียงทราย (*Perinereis nuntia*) พบว่าความเค็มมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงปริมาตรของเพรียงทราย ทั้งนี้สามารถศึกษาจากอัตราการรอดตายและการเปลี่ยนแปลงปริมาตร โดยพบว่าในช่วงความเค็ม 10–35 ppt นั้น เพรียงทรายมีอัตราการรอดตาย 85–100 เปอร์เซ็นต์ ในช่วงเวลา 96 ชั่วโมง ส่วนที่

ความเค็ม 0 และ 40 นั้น เพรียงทรายไม่สามารถดำรงชีวิตอยู่ได้ แสดงให้เห็นว่าเพรียงทรายเป็นสัตว์ที่สามารถดำรงชีวิตอยู่ในบริเวณที่มีความเค็มของน้ำเปลี่ยนแปลงในรอบวันได้ ในการทำฟาร์มเลี้ยงสาหร่ายสกุล Caulerpa น้ำที่ใช้เลี้ยงควรมีความเค็มไม่ต่ำกว่า 30 ppt และพบว่าสาหร่ายพวงองุ่น *Caulerpa lentillifera* ที่เลี้ยงในน้ำทะเลความเค็ม 25–30 ppt สามารถเจริญเติบโตได้ดีที่สุด

ปริมาณคลอโรฟิลล์เอเป็นอีกหนึ่งตัวชี้วัดของการเกิดปรากฏการณ์สาหร่ายสะพรั่ง (algae blooms) หรือที่เรียกกันว่า "ขี้ปลาวาฬ" มีความสัมพันธ์กับอุณหภูมิของน้ำและอากาศที่เพิ่มขึ้น จากการศึกษาครั้งนี้พบว่าพื้นที่ชายฝั่งของตำบลละแม ในรอบปี พ.ศ. 2564 พบการเกิดปรากฏการณ์ยูโทรฟิเคชั่นบ่อยถึง 8 เดือน โดยปริมาณคลอโรฟิลล์เอของน้ำสูงสุดพบในเดือนพฤษภาคม (123.76 ± 2.38 $\mu g/L$) โดยช่วงเดือนเมษายน–กรกฎาคมมีค่าสูงกว่าเดือนอื่น ๆ (Figure 2e) สาเหตุของปรากฏการณ์สาหร่ายสะพรั่ง มีปัจจัยมาจากแหล่งน้ำบริเวณนั้นมีสารอาหารที่อุดมไปด้วยฟอสฟอรัสและไนโตรเจนในปริมาณที่เหมาะสมเพียงพอ นอกจากนี้ยังมีปัจจัยในเรื่องอุณหภูมิผิวน้ำที่มีความอบอุ่นเพิ่มขึ้นและความเค็มของน้ำทะเลที่ลดลง ผลกระทบจากการเกิดปรากฏการณ์สาหร่ายสะพรั่ง อาจเป็นอันตรายต่อปลาและสิ่งมีชีวิตอื่น ๆ ในทะเล เพราะเมื่อสาหร่ายเหล่านี้ตายลง น้ำทะเลก็จะพัดพาสาหร่ายเหล่านี้เข้าสู่ชายฝั่งทะเล ซากสาหร่ายจะเกิดการเน่าเสีย ส่งผลให้น้ำทะเลมีลักษณะสีเขียว เหนียว มีกลิ่นคาว ขณะเดียวกันสาหร่ายที่ตายนี้ต้องใช้ออกซิเจนในการย่อยสลาย ทำให้เกิดภาวะออกซิเจนในน้ำลดลง ทำให้ค่าแอมโมเนียในน้ำสูงขึ้น ส่งผลกระทบต่อสัตว์น้ำซึ่งต้องอาศัยออกซิเจนในการดำรงชีวิต จึงทำให้ปลาและสัตว์น้ำบริเวณชายฝั่งทะเลตายเป็นจำนวนมาก

สรุปผลการวิจัย

การศึกษาผลของฤดูกาลต่อการเปลี่ยนแปลงคุณภาพน้ำบริเวณชายฝั่งละแม อำเภอละแม จังหวัดชุมพร พบว่าฤดูกาลมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของน้ำทะเล โดยเฉพาะความโปร่งใส และปริมาณคลอโรฟิลล์เอมากที่สุด แต่ฤดูกาลไม่มีผลต่อค่าอุณหภูมิของน้ำ อุณหภูมิอากาศ ปริมาณออกซิเจนที่ละลายน้ำ ความเป็นกรด-ด่าง และความเค็ม ผลจากการศึกษานี้สามารถนำไปสู่การสร้างแนวทางปฏิบัติ การวางแผนจัดการคุณภาพน้ำ และการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ การแก้ไขและป้องกันผลกระทบที่เกิดจากการเปลี่ยนแปลงของคุณภาพในแหล่งน้ำนั้นได้อย่างทันท่วงที ก่อนจะนำน้ำจากแหล่งน้ำนั้น ๆ มาใช้ประโยชน์ เพื่อไม่ให้เกิดอันตรายต่อสัตว์น้ำชายฝั่งที่เพาะเลี้ยงต่อไป

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยเรื่องการปรับตัวสู่การเปลี่ยนแปลงสภาพอากาศต่อความมั่นคงทางอาหารภายในแหล่งท่องเที่ยวโดยชุมชนบริเวณชายฝั่งทะเลจังหวัดชุมพร โดยมหาวิทยาลัยแม่โจ้ ได้รับการสนับสนุนจากกองทุนส่งเสริมวิทยาศาสตร์ วิจัยและนวัตกรรม ประจำปีงบประมาณ พ.ศ. 2564 ขอขอบคุณมหาวิทยาลัยแม่โจ้-ชุมพร ที่สนับสนุนการจัดทำงานวิจัยครั้งนี้

เอกสารอ้างอิง

Announcement of the National Environment Board, No. 27 (2006) on the setting of seawater quality standards. 2007. **Royal Gazette** 124(11Ng): n.p. [in Thai]

Gardiner, M.S. 1972. **The Biology of Invertebrates**. New York: McGraw-Hill. 954 p.

Google Maps. 2023. **Lamae coast, Lamae district, Chumphon province**. [Online]. Available https:// www.google.co.th/maps/place/District+Lamae+Chumphon/ (July 20, 2023).

Henriksen, P. 2009. Long-term changes in phytoplankton in the Kattegat, the Baltic sea, the South and the Western Baltic sea. **Journal of Sea Research** 61(1-2): 114–123.

Lapsetthanurak, C. 2010. Global food crisis an opportunity for food security of Thailand. **For Rural Development** 10(35): 75–84. [in Thai]

Leelapiyanart, N. 1996. **Ecophysiology Studies on Developing and Ovigerous Females of Intertidal Crabs**. Doctoral Dissertation. University of Cantubery. 224 p.

Luangthuwapranee, C. 2005. **Principles of Aquaculture**. Bangkok: Four Pace. 481 p. [in Thai]

Meteorological Department. 2023. **Climate of Thailand**. [Online]. Available http://www.tmd.go.th (May 18, 2023). [in Thai]

Pandit, N.P. and M. Nakamura. 2010. Effect of high temperature on survival, growth and feed conversion ratio of Nile Tilapia, *Oreochromis niloticus*. **Our Nature** 8(1): 219–224.

Parsons, T.R., Y. Maita and C.M. Lalli. 1984. **A Manual of Chemical and Biological Methods for Seawater Analysis**. Oxford: Pergamon press. 187 p.

Pimolrat, P., A. Monghit, W. Phetsut and N.R. Jaiyen. 2018. Effects of Season on Water Qualities at Lamae Coast, Lamae District, Chumphon Province. pp. 785–795. *In* **Proceedings of the 6th Marine Science Conference (Poster)**. Chonburi: Burapha University. [in Thai]

Sanitwong Na Ayutthaya, A. 2011. Thailand's First Assessment Report on Climate Change 2011: Impacts, Vulnerability and Adaptation. 206 p. *In* Sanitwong Na Ayutthaya, A. and A. Chidtaisong (Eds.). **Development and Co-ordination Center for Global Warming and Climate Change (THAI-GLOB)**. Bangkok: National Research Council of Thailand. [in Thai]

Tangkrock-Olan, N. and C. Sincharoensup. 2013. Effect of salinity on survival rate and volume change in polychaete (*Perinereis nuntia*). **Burapha Science Journal** 18(2): 43–48. [in Thai]

Thai Meteorological Department. 2023. **Lamae District Season**. [Online]. Available https://www.tmd.go.th/en. (July 20, 2023). [in Thai]

Wikipedia, The Free Encyclopedia. 2023. **Lamae district**. [Online]. Available https://en.wikipedia.org/wiki/Lamae_district (July 18, 2023). [in Thai]

Journal of Agri. Research & Extension 42(3): 141-150

การตรวจสอบความผิดปกติของเนื้อมะม่วงด้วยสเปกโทรสโกปีอินฟราเรดย่านใกล้

Investigation of Mango Flesh Disorder Using Near-Infrared Spectroscopy (NIRS)

ปฐมพร ไชยะ[1] แคทรียา สนธิยา[1] จุฑามาส สงวนทรัพย์[1] ฉันทลักษณ์ ติยายน[1]
พลกฤษณ์ มณีวระ[2,3] และพิมพ์ใจ สีหะนาม[1,2,3,*]

Patomporn Chaiya[1], Katthareeya Sonthiya[1], Jutamas Sanguansub[1], Chantalak Tiyayon[1]
Phonkrit Maniwara[2,3] and Pimjai Seehanam[1,2,3,*]

[1]ภาควิชาพืชศาสตร์และปฐพีศาสตร์ คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ เชียงใหม่ 50200
[2]ศูนย์วิจัยเทคโนโลยีหลังการเก็บเกี่ยว คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ เชียงใหม่ 50200
[3]ศูนย์นวัตกรรมเทคโนโลยีหลังการเก็บเกี่ยว กองส่งเสริมและประสานเพื่อประโยชน์ทางวิทยาศาสตร์ วิจัยและนวัตกรรม สำนักงานปลัดกระทรวง กระทรวงการอุดมศึกษา วิทยาศาสตร์ วิจัยและนวัตกรรม กรุงเทพฯ 10400
[1]Department of Plant and Soil Sciences, Faculty of Agriculture, Chiangmai University, Chiang Mai, Thailand 50200
[2]Postharvest Technology Research Center, Faculty of Agriculture, Chiangmai University, Chiang Mai, Thailand 50200
[3]Postharvest Technology Innovation Center, Science, Research and Innovation Promotion and Utilization Division Office of the Ministry of Higher Education, Science, Research and Innovation, Bangkok, Thailand 10400
*Corresponding author: pimjai193@gmail.com

Received: *February 14, 2025*
Revised: *May 16, 2025*
Accepted: *June 06, 2025*

Abstract

Export quality of 'Nam Dok Mai Sithong' mango has been reduced due to internal disorders that are undetectable by visual inspection. These flaws lead to loss of export value and importer's trust. Therefore, this research aimed to investigate the feasibility of using NIRS and advanced chemometrics to detect internal disorders of the mangoes. A total of 38 fruits of 'Nam Dok Mai Sithong' mango, aged 115–120 days after flowering were harvested. Different areas of fruit peel were designated into different categories for near-infrared (NIRS) spectra measurement, consisting of 100 normal flesh spots, 100 internal breakdown spots, and 97 spongy tissue spots. Interactance measurement was used in wavenumbers of 4,000–12,500 cm^{-1}. Classification models were developed using Self-Organizing Map (SOM) and classification accuracies were evaluated. Results from Principal Component Analysis (PCA) were unable to distinguish among the 3 different characteristics of mango flesh. On the other hand, classification models of SOM with 25,000 iterations were able to classify mango flesh into 2 classes (normal and disorder) and 3 classes (normal, internal breakdown, and spongy tissue), providing correct classification rates (%CC) of 83.1 and 82.4% , respectively. Therefore, application of near-infrared spectroscopy using SOM model provided more than 80% classification accuracy for classifying mango flesh into normal, internal breakdown, and spongy tissue symptoms.

Keywords: nondestructive evaluation, chemometrics, internal breakdown, spongy tissue

บทคัดย่อ

มะม่วงพันธุ์น้ำดอกไม้สีทองคุณภาพชั้นส่งออกพบปัญหาเนื้อผิดปกติที่ไม่สามารถตรวจสอบได้จากลักษณะปรากฏภายนอก ความเสียหายนี้ส่งผลต่อมูลค่าและความเชื่อมั่นของผู้นำเข้า ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อทดสอบความเป็นไปได้ในการใช้ NIRS ร่วมกับวิธีเคโมเมทริกซ์ในการตรวจสอบความผิดปกติของเนื้อมะม่วงพันธุ์น้ำดอกไม้สีทอง โดยเก็บเกี่ยวผลมะม่วงพันธุ์น้ำดอกไม้สีทองที่มีอายุ 115–120 วันหลังดอกบาน จำนวน 38 ผล นำมาแบ่งพื้นที่บนผิวผลสำหรับการบันทึกข้อมูลสเปกตรัม (เนื้อปกติ 100 ตำแหน่ง เนื้อเน่าใน 100 ตำแหน่ง และเนื้อโพรง 97 ตำแหน่ง) ด้วยระบบการวัดแบบสะท้อนกลับในช่วงเลขคลื่น 4,000–12,500 เซนติเมตร$^{-1}$ (cm^{-1}) สร้างแบบจำลองการวิเคราะห์จำแนกด้วยวิธี Self-Organizing Map (SOM) แล้วประเมินประสิทธิภาพโดยพิจารณาความแม่นยำการจำแนก ทั้งนี้วิธีการวิเคราะห์องค์ประกอบหลักของข้อมูล (Principal Component Analysis: PCA) ไม่สามารถแสดงความแตกต่างของข้อมูลสเปกตรัมที่ได้จากเนื้อมะม่วงทั้ง 3 ลักษณะ อย่างไรก็ตามการพัฒนาแบบจำลองการวิเคราะห์จำแนกด้วย SOM ที่อาศัยการเรียนรู้ 25,000 ครั้ง สามารถจำแนกเนื้อมะม่วงทั้ง 2 ลักษณะ (เนื้อปกติและเนื้อผิดปกติ) และ 3 ลักษณะ (เนื้อปกติ เนื้อเน่าใน และเนื้อโพรง) ได้ โดยมีค่าความแม่นยำในการวิเคราะห์จำแนก (Correctly Classified rate: %CC) เท่ากับ 83.1 และ 82.4 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ดังนั้นการใช้สเปกโทรสโกปีอินฟราเรดย่านใกล้โดยใช้แบบจำลองจำแนกวิธี SOM มีความแม่นยำในการจำแนกเนื้อมะม่วงลักษณะปกติ เนื้อเน่าใน และเนื้อโพรงได้มากกว่า 80 เปอร์เซ็นต์

คำสำคัญ: การประเมินแบบไม่ทำลาย เคโมเมทริกซ์ เนื้อเน่าใน เนื้อโพรง

คำนำ

มะม่วง (*Mangifera indica* L.) อยู่ในวงศ์ Anacardiaceae เป็นผลไม้เขตร้อน จัดอยู่ในกลุ่ม climacteric fruits ทั้งนี้มะม่วงมีความสามารถในการปรับตัวต่อสภาพแวดล้อมที่หลากหลาย จึงสามารถแพร่กระจายพันธุ์และเป็นผลไม้ที่มีความสำคัญในหลายภูมิภาคทั่วโลก และพื้นที่การผลิตหลักของมะม่วง คือ ภูมิภาคเอเชีย ประเทศไทยเป็นหนึ่งในประเทศที่เป็นผู้ผลิตและผู้ส่งออกมะม่วงลำดับต้น ๆ ของโลก โดยปี พ.ศ. 2567 ประเทศไทยส่งออกมะม่วงเป็นลำดับที่ 4 ของโลก อีกทั้งมีการส่งออกมะม่วงสดและมะม่วงแช่แข็งมูลค่ารวม 5,117,461,803 บาท ซึ่งตลาดส่งออก 5 อันดับแรก ได้แก่ เกาหลีใต้ มาเลเซีย ญี่ปุ่น เวียดนาม และลาว ตามลำดับ (Office of Agricultural Economics, 2024)

อย่างไรก็ตามปัญหาที่พบในการส่งออกมะม่วง ได้แก่ คุณภาพของผลิตผลยังไม่ดีเท่าที่ควร และอายุการเก็บรักษาสั้น (Postharvest Technology Innovation Center, 2024) ซึ่งอาการผิดปกติภายในผลมะม่วงเป็นสาเหตุหนึ่งที่ทำให้มะม่วงมีคุณภาพลดลง ส่งผลเสียโดยตรงต่อความเชื่อมั่นในการรับซื้อของผู้ประกอบการและการตัดสินใจซื้อของผู้บริโภค โดยลักษณะอาการผิดปกติภายในที่พบในผลมะม่วง คือ อาการเน่าใน (internal breakdown) ซึ่งมีรายงานว่าอาจเกิดจากความเสียหายของเนื้อเยื่อชั้น mesocarp บริเวณรอบ ๆ เมล็ด ขั้วผล และปลายผล ความผิดปกตินี้เกิดจากการขาดธาตุแคลเซียม (Ca) ลักษณะของอาการ คือ เกิดผิวยุบเล็กน้อย แต่ไม่มีร่องรอยบนผิวเปลือกของผลมะม่วง เมื่อปอกเปลือกหรือหั่นเนื้อจึงพบความผิดปกติ คือ เนื้อเปลี่ยนเป็นสีน้ำตาล-ดำ เป็นบริเวณกว้าง (Raymond, *et al*. 1998) อีกทั้งมีรายงานว่าอาจเป็นผลมาจากการขาดธาตุโบรอน (B) ในผลมะม่วง ส่งผลให้เนื้อของมะม่วงบริเวณใกล้เมล็ดเปลี่ยนเป็นสีน้ำตาล (internal necrosis)

(Poovarodom, 2013) และนอกจากนี้ยังพบลักษณะผิดปกติภายในผลมะม่วง คือ อาการเนื้อโพรง (spongy tissue) ซึ่งเนื้อผลของมะม่วงมีลักษณะเป็นรูพรุนคล้ายฟองน้ำ มีเนื้อสีเหลืองอ่อนหรือขาวจนถึงสีน้ำตาลดำ และเนื้อเยื่อบริเวณนี้อาจมีลักษณะเป็นโพรง มักเกิดบริเวณใกล้เมล็ด (Shivashankar, 2014; Yahia, 2011) ทั้งนี้ลักษณะอาการผิดปกติที่เกิดขึ้นภายในผลมะม่วงนั้นไม่สามารถตรวจสอบได้จากลักษณะปรากฏภายนอกผล ยากต่อการตรวจสอบและการประเมินคุณภาพของผลมะม่วง

เนียร์อินฟราเรดสเปกโทรสโกปี (Near Infrared Spectroscopy: NIRS) เป็นเทคนิคที่ใช้พลังงานคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าในช่วงเลขคลื่น 4,000–12,500 เซนติเมตร$^{-1}$ ซึ่งเป็นการศึกษาค่าการดูดกลืนแสงที่สอดคล้องกับการสั่นของโมเลกุลอินทรียสารในผลิตผลทางการเกษตร เป็นวิธีที่ใช้ประเมินคุณภาพของผลิตผลได้อย่างแม่นยำ และเป็นวิธีที่ไม่ทำลายตัวอย่าง (Boonyakiat, 2020) ปัจจุบัน NIRS ถูกนำมาประยุกต์ใช้ในการตรวจสอบอาการผิดปกติของผลิตผลทางการเกษตรอย่างแพร่หลาย เช่น การตรวจสอบความผิดปกติของเมล็ดข้าวโพดที่เกิดจากการเข้าทำลายของเชื้อราและความผิดปกติทางกายภาพ (Bantadjan *et al*., 2014) การตรวจสอบความบกพร่องในเมล็ดกาแฟดิบอะราบิกา (Kaewpangchan *et al*., 2021) การตรวจสอบความผิดปกติภายในของผลแอปเปิลที่เกิดจากเชื้อรา (Shenderey *et al*., 2010) การตรวจสอบอาการไส้สีน้ำตาลในผลสับปะรด (Chaipanwiriyaporn, 2013) การตรวจสอบอาการเน่าในในมันฝรั่ง (Zhou *et al.,* 2015) การตรวจสอบอาการเน่าในในหัวไชเท้า (Takizawa *et al.,* 2014) การตรวจสอบอาการเนื้อฟ่ามของผลส้มสายน้ำผึ้ง (Wongzeewasakun *et al.,* 2017) และการตรวจสอบอาการฟ่ามของผลฝรั่งพันธุ์กิมจู (Jaitrong *et al.,* 2016) ดังนั้นการวิจัยนี้จึงสนใจศึกษาการประยุกต์ใช้เทคนิคเนียร์อินฟราเรดสเปกโทรสโกปี เพื่อตรวจสอบลักษณะผิดปกติของเนื้อมะม่วงพันธุ์น้ำดอกไม้สีทองโดยไม่ทำลาย

อุปกรณ์และวิธีการ

การเตรียมตัวอย่าง

เก็บเกี่ยวมะม่วงพันธุ์น้ำดอกไม้สีทองที่มีอายุ 115–120 วันหลังดอกบาน จำนวน 38 ผล โดยตรวจสอบลักษณะอาการผิดปกติภายในเนื้อมะม่วง ประกอบด้วยผลมะม่วงเนื้อปกติ 13 ผล ผลมะม่วงที่แสดงอาการเน่าใน 13 ผล และผลมะม่วงที่แสดงอาการเนื้อโพรง 12 ผล ดังภาพ Figure 1A, 1B และ 1C ตามลำดับ ด้วยเครื่องเอกซเรย์คอมพิวเตอร์ (Computerized Tomography: CT) (รุ่น C/Te, GE Healthcare, สหรัฐอเมริกา) จากนั้นแบ่งพื้นที่บนผิวผลมะม่วงเพื่อบันทึกสเปกตรัม โดยใช้เทปกาวย่นขนาดเล็กทำช่องขนาดพื้นที่ประมาณ 1.5 เซนติเมตร × 1.5 เซนติเมตร ทั้งนี้ 1 ช่อง กำหนดให้เป็น 1 ตำแหน่ง หรือ spot

การบันทึกข้อมูล

บันทึกข้อมูลสเปกตรัมของเนื้อมะม่วงปกติ 100 ตำแหน่ง เนื้อมะม่วงที่แสดงอาการเน่าใน 100 ตำแหน่ง และเนื้อมะม่วงที่แสดงอาการเนื้อโพรง 97 ตำแหน่ง ด้วยเครื่อง FT-NIR spectrometer (ยี่ห้อ BRUKER OPTIK GmbH ชนิด MPA รุ่น 3374 ประเทศเยอรมนี) แบบวัดการสะท้อนกลับของแสง (interactance) โดยใช้หัววัดตัวอย่างของแข็ง (solid probe) ที่ช่วงเลขคลื่น 4,000–12,500 เซนติเมตร$^{-1}$ หลังจากนั้นปรับแต่งสเปกตรัมด้วยวิธี mean centering แล้ววิเคราะห์ข้อมูลสเปกตรัมด้วยการวิเคราะห์องค์ประกอบหลัก (Principal Component Analysis: PCA) นอกจากนี้พัฒนาแบบจำลองวิเคราะห์สเปกตรัมเพื่อจำแนกข้อมูล 3 ลักษณะ (3 classes) คือ เนื้อปกติ เนื้อที่แสดงอาการเน่าใน และเนื้อที่แสดงอาการเนื้อโพรง ร่วมกับการจำแนกข้อมูลสเปกตรัมเป็น 2 ลักษณะ (2 classes) คือ เนื้อปกติ และเนื้อผิดปกติ ด้วยวิธี Self-Organizing Map (SOM) โดยกำหนดกลุ่มของข้อมูลสเปกตรัมมะม่วง 3 ลักษณะ ประกอบด้วย group

1 คือ เนื้อมะม่วงปกติ group 2 คือ เนื้อมะม่วงที่แสดงอาการเน่าใน และ group 3 คือ เนื้อมะม่วงที่แสดงอาการเนื้อโพรง สำหรับข้อมูลสเปกตรัมมะม่วง 2 ลักษณะ กำหนดให้ group 1 คือ เนื้อมะม่วงปกติ และ group 2 คือ เนื้อมะม่วงที่แสดงอาการผิดปกติ โดยวิเคราะห์ข้อมูลด้วยวิธี PCA และ SOM ด้วยโปรแกรม MATLAB (MATLAB V7.0, The Math Works Inc., USA)

ผลการวิจัยและวิจารณ์

การวิเคราะห์องค์ประกอบหลัก

การวิเคราะห์องค์ประกอบหลัก หรือ Principle Component Analysis (PCA) เป็นเทคนิคการจำแนกข้อมูลโดยอาศัยหลักความเหมือนหรือความแตกต่างกันของข้อมูล โดยลดจำนวนข้อมูลหรือตัวแปรอิสระ (X) ทั้งนี้ยังอาศัยหลักการรวมข้อมูลหรือตัวแปรที่สัมพันธ์กันไว้ในองค์ประกอบเดียวกัน และแบ่งกลุ่มข้อมูลหรือตัวแปรที่มีความสัมพันธ์กันเพื่อสร้างตัวแปรใหม่ เรียกว่า Principal Component (PC) โดยแต่ละ PC จะบรรจุข้อมูลที่สัมพันธ์กันให้ได้มากที่สุด และแต่ละ PC จะไม่มีความสัมพันธ์ซึ่งกันและกัน ทั้งนี้ PC1 เป็น PC ที่สามารถอธิบายความแปรปรวนของข้อมูลได้มากที่สุดเสมอ และ PC ถัดมาอธิบายความแปรปรวนของข้อมูลได้น้อยลงตามลำดับ (Ketnark, 2013; Smith, 2002; Teye *et al.,* 2019) จากผลการทดลอง พบว่า PCA สามารถอธิบายความแปรปรวนความผิดปกติภายในผลมะม่วงได้ โดย PC1 และ PC2 สามารถอธิบายความแปรปรวนของข้อมูลสเปกตรัม 3 ลักษณะ และ 2 ลักษณะ ได้เท่ากับ 99.42, 0.51 เปอร์เซ็นต์ และ 99.42, 0.51 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ (Figure 2A และ 2B ตามลำดับ) ทั้งนี้เมื่อทำการตัดข้อมูลที่มีความผิดปกติ (outlier) จำนวน 1 ตัวอย่าง ออกจากกลุ่มของข้อมูลสเปกตรัม พบว่า PC1 และ PC2 สามารถอธิบายความแปรปรวนของข้อมูลสเปกตรัม 3 ลักษณะ และ 2 ลักษณะ ได้เพิ่มขึ้นเท่ากับ 99.46, 0.48 เปอร์เซ็นต์ และ 99.46, 0.48 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ (Figure 2C และ 2D ตามลำดับ) อย่างไรก็ตาม PCA ไม่สามารถแสดงความแตกต่างของข้อมูลสเปกตรัมของเนื้อมะม่วงทั้ง 3 ลักษณะได้ เนื่องจากเกิดการซ้อนทับกันของข้อมูล (overlapping) ดังนั้นจึงต้องนำข้อมูลสเปกตรัมไปพัฒนาแบบจำลองวิเคราะห์จำแนกด้วยวิธี Self-Organizing Map (SOM) ต่อไป

Self-Organizing map (SOM)

การพัฒนาแบบจำลองโดยการวิเคราะห์จำแนกด้วยวิธี Self-Organizing Map (SOM) เป็นหนึ่งในวิธีการพัฒนาแบบจำลองด้วยวิธีโครงข่ายประสาทเทียม (Artificial Neural Network: ANN) ซึ่งเป็นวิธีการวิเคราะห์ข้อมูลในเชิงลึก เกี่ยวกับความสัมพันธ์ของหลายกลุ่มข้อมูลหรือตัวแปรที่ไม่อยู่ในรูปเชิงเส้น (nonlinear multivariate) และเป็นวิธีที่ไม่ใช้ฟังก์ชันทางคณิตศาสตร์ โดยจะแสดงข้อมูลเป็นแผนภาพ เช่น U-matrix, supervised color shading และ component planes (Lloyd *et al.,* 2008) ผลการทดลองการพัฒนาแบบจำลองจำแนกด้วย SOM ที่อาศัยการเรียนรู้ 25,000 ครั้ง พบว่าการแสดงแผนภาพแบบ U-matrix ขนาด 15x20 ของข้อมูลสเปกตรัม 3 ลักษณะ คือ สเปกตรัมเนื้อมะม่วงปกติ (group 1) มีความแตกต่างจากเนื้อมะม่วงที่แสดงอาการเน่าใน (group 2) และเนื้อมะม่วงที่แสดงอาการเนื้อโพรง (group 3) เนื่องจาก group 1 เกาะกลุ่มอยู่ในบริเวณมุมขวาบนของแผนภาพ (Figure 3A) สำหรับผลการวิเคราะห์จำแนกข้อมูลสเปกตรัม 2 ลักษณะ พบว่า สเปกตรัมเนื้อปกติ (group 1) เกาะกลุ่มอยู่ในบริเวณมุมขวาล่างของแผนภาพ ซึ่งมีความแตกต่างจากเนื้อมะม่วงผิดปกติ (group 2) โดยมี map unit ที่แบ่งขอบเขตค่อนข้างชัดเจน (Figure 3B) สำหรับแผนภาพแบบ supervised-color shading ขนาด 15x20 ของข้อมูลสเปกตรัม 3 และ 2 ลักษณะ แสดงให้เห็นว่าเนื้อมะม่วงปกติ (group 1) เกิดการเกาะกลุ่มของข้อมูลอยู่ในมุมขวาด้านบน และมุมขวาด้านล่าง ตามลำดับ ซึ่งมีความแตกต่างจากข้อมูลสเปกตรัมของเนื้อเน่าใน (group 2)

เนื้อโพรง (group 3) และเนื้อผิดปกติ (group 2) (Figure 4A และ 4B ตามลำดับ) อย่างไรก็ตามการแสดงแผนภาพแบบ supervised-color shading จะแสดงขอบเขต (boundary) ของข้อมูลชัดเจนกว่าการแสดงภาพแบบ U-matrix ทั้งนี้การวิเคราะห์จำแนกด้วยวิธี SOM มีประสิทธิภาพในการจำแนกกลุ่มของข้อมูลได้ดีกว่าการวิเคราะห์องค์ประกอบหลัก เนื่องจากการวิเคราะห์ข้อมูลที่ไม่อยู่ในรูปเชิงเส้นจะสามารถจำแนกกลุ่มของข้อมูลได้ดีกว่าการวิเคราะห์ข้อมูลแบบเชิงเส้น (Sharma and Saxena, 2004; Suphamitmongkol *et al.,* 2013) นอกจากนี้ SOM ยังมีการจัดการข้อมูลโดยการลดมิติของข้อมูล (dimensionality reduction) ได้ดีกว่าการวิเคราะห์องค์ประกอบหลัก (Kohonen, 2013) อีกทั้งผลการทดลองยังสอดคล้องกับ Theanjumpol *et al*. (2019) ที่ประยุกต์ใช้ NIRS ร่วมกับการวิเคราะห์ข้อมูลด้วยวิธีองค์ประกอบหลักและ SOM ในการประเมินอาการฟ่ามของผลส้มสายน้ำผึ้ง พบว่าการวิเคราะห์ข้อมูลด้วยวิธี SOM สามารถจำแนกกลุ่มของข้อมูลได้ชัดเจนกว่าการวิเคราะห์องค์ประกอบหลัก โดยผลการวิเคราะห์จำแนกด้วย SOM แผนภาพแบบ U-matrix สามารถจำแนกกลุ่มของผลส้มสายน้ำผึ้งที่เกิดอาการฟ่ามมากกว่า 75 เปอร์เซ็นต์ ออกจากกลุ่มข้อมูลได้อย่างชัดเจน สำหรับแผนภาพแบบ supervised-color shading สามารถจำแนกกลุ่มส้มสายน้ำผึ้งผลปกติได้ อีกทั้งสามารถแสดงขอบเขตการเพิ่มขึ้นของอาการฟ่ามของผลส้มสายน้ำผึ้งได้

ผลการวิเคราะห์เปอร์เซ็นต์ความสามารถในการคาดการณ์ (percentages of Predictive Ability: %PA) เปอร์เซ็นต์ความเสถียรของแบบจำลอง (percentages of Model Stability: %MS) ของข้อมูลสเปกตรัม 3 และ 2 ลักษณะ พบว่า มีค่าเท่ากับ 80.68, 88.30 เปอร์เซ็นต์ และ 81.04, 89.05 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ (Table 1) ในขณะที่เปอร์เซ็นต์ความแม่นยำในการวิเคราะห์จำแนก (percentages of Correctly Classified rate: %CC) ของข้อมูลสเปกตรัม 3 และ 2 ลักษณะ มีค่าสูงกว่า 80 เปอร์เซ็นต์ (82.43 และ 83.11 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ) จากผลการพัฒนาแบบจำลองวิเคราะห์จำแนกอาการผิดปกติภายในผลมะม่วงโดยการใช้เนียร์อินฟราเรดสเปกโทรสโกปีร่วมกับ SOM visualization พบว่า ความแม่นยำในการจำแนกเนื้อมะม่วงปกติ เนื้อมะม่วงที่แสดงอาการเน่าใน และเนื้อมะม่วงที่แสดงอาการเนื้อโพรงมีค่ามากกว่า 80 เปอร์เซ็นต์

Table 1 Classification results for self-organizing map (SOM) using mean centering as a data preprocessing, exhibiting percentages of predictive ability (%PA), model stability (%MS), and correctly classified rate (%CC) with 3 and 2 groups classification

Self-Organizing Map (SOM)*	Percentage of predictive ability (%PA)		Percentage of model stability (%MS)		Percentage correctly classified rate (%CC)	
	Training set	Testing set	Training set	Testing set	Training set	Testing set
3 groups	81.04	80.68	87.84	88.30	82.43	82.43
2 groups	81.50	81.04	90.13	89.05	83.79	83.11

SOM classification results were averaged from 50 rounds of map size 15x20 with 25,000 iterations.

Figure 1 Images of cut-open in mango with of normal flesh (A), internal breakdown (B), and spongy tissue (C) symptoms

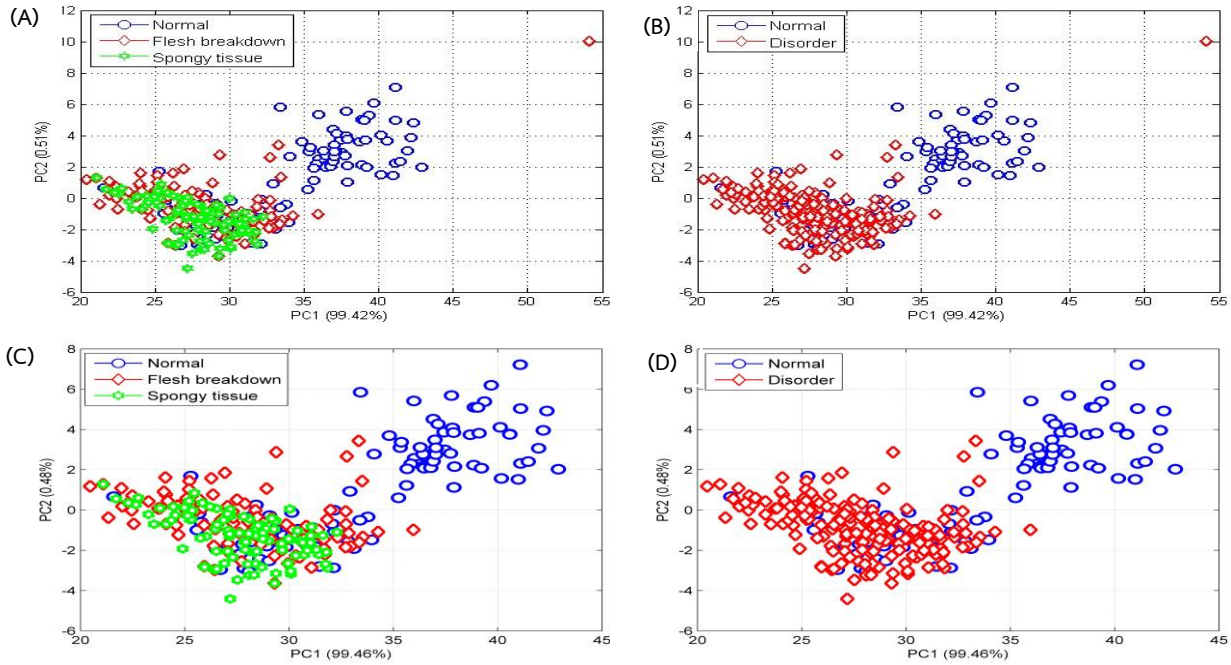


Figure 2 PCA of NIR spectra preprocessed by mean centering; PCA labeled based on 3 groups (A), PCA labeled based on 2 groups (B), PCA labeled based on 3 groups without outlier (C), and PCA labeled based on 2 groups without outlier (D)

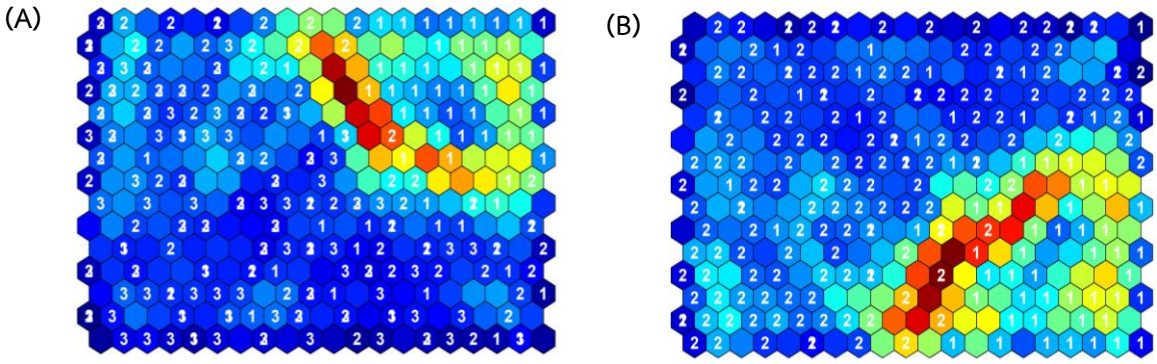


Figure 3 SOM visualization of NIR spectra with mean centering as a data preprocessing, illustrating U-matrix 15×20 with 25,000 iterations for classifying 3 groups (A) and 2 groups (B) of mango flesh

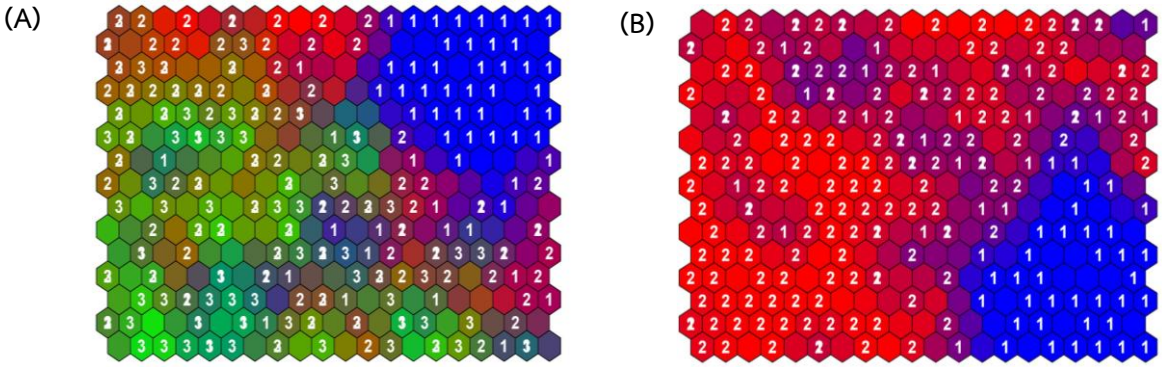


Figure 4 SOM visualization of NIR spectra using mean centering as a data preprocessing, illustrating supervised-color shading 15×20 with 25,000 iterations for classifying 3 groups (A) and 2 groups (B) of mango flesh

สรุปผลการวิจัย

การใช้เนียร์อินฟราเรดสเปกโทรสโกปีร่วมกับการพัฒนาแบบจำลองวิเคราะห์จำแนกด้วยวิธี Self–Organizing Map (SOM) สามารถจำแนกเนื้อมะม่วงปกติ เนื้อที่แสดงอาการเน่าใน และเนื้อที่แสดงอาการเนื้อโพรง ได้ที่ระดับความแม่นยำ 82.43 เปอร์เซ็นต์ และสามารถจำแนกเนื้อมะม่วงปกติและเนื้อมะม่วงผิดปกติได้ที่ระดับความแม่นยำ 83.11 เปอร์เซ็นต์ ดังนั้นจึงมีความเป็นไปได้ในการประยุกต์ใช้เนียร์อินฟราเรดสเปกโทรสโกปีสำหรับตรวจสอบอาการผิดปกติภายในผลของมะม่วง เพื่อการรับรองคุณภาพและลดมูลค่าการสูญเสียสำหรับการส่งออกมะม่วงพันธุ์น้ำดอกไม้สีทอง

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับการสนับสนุนทุนวิจัยบัณฑิตศึกษาด้านการเกษตรและอุตสาหกรรมเกษตรจากสำนักงานพัฒนาการวิจัยการเกษตร (องค์การมหาชน) ประจำปีงบประมาณ พ.ศ. 2564 ขอขอบคุณศูนย์นวัตกรรมเทคโนโลยีหลังการเก็บเกี่ยว กองส่งเสริมและประสานเพื่อประโยชน์ทางวิทยาศาสตร์ วิจัยและนวัตกรรม สำนักงานปลัดกระทรวง กระทรวงการอุดมศึกษา วิทยาศาสตร์ วิจัยและนวัตกรรม และขอขอบคุณสาขาวิชาพืชสวน ภาควิชาพืชศาสตร์และปฐพีศาสตร์ และศูนย์วิจัยเทคโนโลยีหลังการเก็บเกี่ยว คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ ที่ให้การสนับสนุนสถานที่ วัสดุ อุปกรณ์ และเครื่องมือวิทยาศาสตร์ในการศึกษาวิจัยครั้งนี้

เอกสารอ้างอิง

Bantadjan, Y., R. Rittion, W. Manawijitwanit, S. Narongwongwattana and S. Pochanagorn. 2014. Classification of maize disorder using near infrared (NIR) spectroscopy. **Agricultural Science Journal** 45(3/1)(Suppl.): 293–296. [in Thai]

Boonyakiat, D. 2020. Produce quality evaluation by non-destructive with spectroscopy. pp. 1–12. *In*: Boonyakiat, D. and P. Theanjumpol (Eds.). **Using NIR Spectroscopy in Evaluation of Quality of Agricultural Produce.** Chiang Mai: Postharvest Technology Innovation Center. [in Thai]

Chaipanwiriyaporn, N. 2013. **Detection of Pineapple Fruit Internal Browning by Near Infrared Spectroscopy.** Master Thesis. Chiangmai University. 118 p. [in Thai]

Jaitrong, N., S. Noypitak and A. Terdwongworakul. 2016. The Evaluation of Internal Quality of Guava Using Near Infrared Spectroscopy. pp. 276–283. *In* **Proceedings of the 13th KU-KPS Conference.** Nakhon Pathom: Kasetsart University Kamphaeng Saen Campus. [in Thai]

Kaewpangchan, P., N. Phuangsaijai, P. Seehanam, P. Theanjumpol, P. Maniwara and S. Kittiwachana. 2021. Screening of coffee impurity using a homemade NIR sensor system. **Chiang Mai Journal of Science** 48(2): 292–300.

Ketnark, K. 2013. **Moisture Content Determination of Arabica Green Coffee by Near Infrared Spectroscopy.** Master Thesis. Chiangmai University. 99 p. [in Thai]

Kohonen, T. 2013. Essentials of the self-organizing map. **Neural Networks** 37: 52–65.

Lloyd, G.R., R.G. Brereton and J.C. Duncan. 2008. Self organising maps for distinguishing polymer groups using thermal response curves obtained by dynamic mechanical analysis. **Analyst** 133: 1046–1059.

Office of Agricultural Economics. 2024. **Export market for important products of fresh mango.** [Online]. Available: https://impexpth.oae.go.th/export (September 20, 2024). [in Thai]

Poovarodom, S. 2013. Calcium and Boron Fertilizer. pp. 239–246. *In* Rudcharate, T. W. Kumpoun and T. Jaroenkit (Eds.). **Mango Production and Postharvest Technology.** Bangkok: O.S. Printing House. [in Thai]

Postharvest Technology Innovation Center. 2024. **Results (impact) of the research study "mango for sustainability" (mango) comprehensive education center**. [Online]. Available: https://www.phtnet.org/phtic-research/ (July 15, 2024). [in Thai]

Raymond, L., B. Schaffer, J.K. Brecht and E.A. Hanlon. 1998. Internal breakdown, mineral element concentration and weight of mango fruit. **Journal of Plant Nutrition** 21(5): 871–889.

Sharma, R.R. and S.K. Saxena. 2004. Rootstocks influence granulation in Kinnow mandarin (*Citrus nobilis* × *C. deliciosa*). **Scientia Horticulturae** 101(3): 235–242.

Shenderey, C., I. Shmulevich, V. Alchanatis, H. Egozi, A. Hoffman, V. Ostrovsky, S. Lurie, R.B. Arie and Z. Schmilovitch. 2010. NIRS detection of moldy core in apples. **Food and Bioprocess Technology** 3: 79–86.

Shivashankar, S. 2014. Physiological Disorders of Mango Fruit. pp. 313–347. *In* Janick, J. (Ed.). **Horticultural Reviews.** Hoboken: John Wiley & Sons, Inc.

Smith, L.I. 2002. **A Tutorial on Principal Components Analysis.** 26 p. *In* Technical Report. Otago: Department of Computer Science, University of Otago.

Suphamitmongkol, W., G. Nie, R. Liu, S. Kasemsumran and Y. Shi. 2013. An alternative approach for the classification of orange varieties based on near infrared spectroscopy. **Computers and Electronics in Agriculture** 91: 87–93.

Takizawa, K., K. Nakano, S. Ohashi, H. Yoshizawa. J. Wang and Y. Sasaki. 2014. Development of nondestructive technique for detecting internal defects in Japanese radishes. **Journal of Food Engineering** 126: 43–47.

Teye, E., L.Y.C. Amuah, T. McGrath and C. Elliott. 2019. Innovative and rapid analysis for rice authenticity using hand-held NIR spectrometry and chemometrics. **Spectrochimica Acta Part A: Molecular and Biomolecular Spectroscopy** 217: 147–154.

Theanjumpol, P., K. Wongzeewasakunb, N. Muenmaneea, S. Wongsaipund, C. Krongchaid, V. Changrueb, D. Boonyakiatb and S. Kittiwachana. 2019. Non-destructive identification and estimation of granulation in 'Sai Num Pung' tangerine fruit using near infrared spectroscopy and chemometrics. **Postharvest Biology and Technology** 153: 13–20.

Wongzeewasakun, K., V. Changrue, N. Muenmanee and P. Theanjumpol. 2017. Possibility of using near infrared spectroscopy technique to detect dry juice sac of mandarin cv. Sai Nam Pueng. **Agricultural Science Journal** 48(3)(Suppl.): 295–298. [in Thai]

Yahia, E.M. 2011. Mango (*Mangifera indica* L.). pp. 492–567. *In* Yahia, E.M. (Ed.). **Postharvest Biology and Technology of Tropical and Subtropical Fruits.** Cambridge: Woodhead Publishing.

Zhou, Z., S. Zeng, X. Li and J. Zheng. 2015. Nondestructive detection of blackheart in potato by visible/near infrared transmittance spectroscopy. **Journal of Spectroscopy** 2015: 1–9. https://doi.org/10.1155/2015/786709

Journal of Agri. Research & Extension 42(3): 151-161

ผลของกระบวนการอบแห้งต่อคุณภาพ และคุณค่าทางโภชนาการของผงปลาปรุงรสจากเศษเนื้อปลาแซลมอนจากโรงงานอุตสาหกรรม

Effect of Drying Process on the Quality and Nutritional Value of Seasoning Powder from Salmon By-Products in Industrial

รังสิตา จันทร์หอม[1] ภาพิมล ประจงพันธ์[2,*] และลลิตา ปานแก้ว[2]

Rangsita Chunhom[1], Papimon Prachongpun[2,*] and Lalita Pankaew[2]

[1]สาขาวิชาคหกรรม คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏนครสวรรค์ นครสวรรค์ 60000

[2]สาขาวิชาอาหารและโภชนาการ คณะเทคโนโลยีคหกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชมงคลกรุงเทพ กรุงเทพฯ 10120

[1]Program in Home Economics, Faculty of Science and Technology

Nakhon Sawan Rajabhat University, Nakhon Sawan, Thailand 60000

[2]Program in Foods and Nutrition, Faculty of Home Economics Technology

Rajamangala University of Technology Krungthep, Bangkok, Thailand 10120

*Corresponding author: papimon.p@mail.rmutk.ac.th

Received: *February 26, 2025*

Revised: *July 07, 2025*

Accepted: *July 29, 2025*

Abstract

This research aimed to develop a seasoned fish powder product from factory leftover of salmon meat by studying the drying time, physical, chemical characteristics nutritional value and acceptance. Three recipes of seasoned fish powder were studied using a 9-point hedonic scale. It was found that formula 2 (50.4% salmon, 8.4% sugar, 3.4% sea salt, and 37.8% soy sauce) received the highest sensory acceptability scores in all characteristics ($p \leq 0.05$). The color values (L* a* b*) were 73.74, 10.12, and 24.06, respectively. The pH was 5.60, the water activity content (aw) was 0.46 and the moisture content was 9.45%. Formula 2 was then tested under four drying times of 9, 10, 11, and 12 hours at 70°C and the sensory acceptance results showed that the sample dried for 12 hours received the highest liking score ($p \leq 0.05$). The moisture content of seasoned salmon powder at drying times of 9, 10, 11 and 12 hours was between 4.99–9.15% and the free water content was between 0.27–0.40 and the pH was between 7.52–8.04 indicating that drying temperature affects physical and chemical characteristics and consumer preference. In addition, when the seasoned salmon powder that was dried for 12 hours was analyzed for nutritional value, it was found that 100 grams of seasoned salmon powder contained

403.87 kilocalories of energy, 62.65% protein, 10.51% fat, 7.18% ash, 14.67% carbohydrates, 10.09 grams of sugar, 4.99% of moisture, and minerals including 2,832 milligrams of sodium and 55.42 milligrams of calcium.

Keywords: food industrial by-products, salmon, seasoning fish powder, drying

บทคัดย่อ

การวิจัยครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาระยะเวลาที่เหมาะสมในการอบแห้ง คุณลักษณะทางกายภาพ-เคมี คุณค่าทางโภชนาการ และคุณลักษณะทางประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์ผงปลาปรุงรสจากเศษเนื้อปลาแซลมอนจากโรงงานอุตสาหกรรม โดยทำการศึกษาผลิตภัณฑ์ผงปลาปรุงรสจำนวน 3 สูตร โดยให้คะแนนแบบ 9 Point Hedonic Scale พบว่าสูตรที่ 2 (เนื้อปลาแซลมอนร้อยละ 50.4 น้ำตาลทรายร้อยละ 8.4 เกลือสมุทรร้อยละ 3.4 และซอสถั่วเหลืองร้อยละ 37.8) ได้รับคะแนนการยอมรับทางประสาทสัมผัสสูงที่สุดทุกคุณลักษณะ ($p \leq 0.05$) มีค่าสี (L* a* b*) เท่ากับ 73.74, 10.12 และ 24.06 ตามลำดับ ค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) เท่ากับ 5.60 ปริมาณน้ำอิสระ (aw) เท่ากับ 0.46 และค่าความชื้น เท่ากับ 9.45 จึงนำสูตรที่ 2 มาศึกษาระยะเวลาในการอบแห้ง 4 ระดับ คือ 9, 10, 11 และ12 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส ผลการศึกษาการยอมรับทางประสาทสัมผัสพบว่า การอบแห้งที่ระยะเวลา 12 ชั่วโมง ได้รับคะแนนความชอบสูงที่สุด ($p \leq 0.05$) ปริมาณความชื้นของผลิตภัณฑ์ในระยะเวลาการอบ 9, 10, 11 และ 12 ชั่วโมง อยู่ระหว่างร้อยละ 4.99–9.15 และมีปริมาณน้ำอิสระอยู่ระหว่าง 0.27–0.40 มีความเป็นกรด-ด่าง (pH) เท่ากับ 7.52–8.04 แสดงให้เห็นว่าผลของอุณหภูมิที่ใช้ในการอบแห้งมีผลต่อคุณลักษณะทางกายภาพและความชอบของผู้บริโภค นอกจากนั้นเมื่อนำผลิตภัณฑ์ที่อบแห้งที่ระยะเวลา 12 ชั่วโมง ไปวิเคราะห์คุณค่าทางโภชนาการ พบว่าผลิตภัณฑ์ผงปลาแซลมอนปรุงรสที่ 100 กรัม มีพลังงาน 403.87 กิโลแคลอรี โปรตีนร้อยละ 62.65 ไขมันร้อยละ 10.51 เถ้าร้อยละ 7.18 คาร์โบไฮเดรตร้อยละ 14.67 ปริมาณน้ำตาลเท่ากับ 10.09 กรัม แร่ธาตุ ได้แก่ โซเดียม 2,832 มก. และแคลเซียม 55.42 มก.

คำสำคัญ: ผลพลอยได้จากอุตสาหกรรมอาหาร ปลาแซลมอน ผงปลาปรุงรส การอบแห้ง

คำนำ

ขยะอาหาร (food waste) หมายถึง อาหารเหลือทิ้งในตอนปลายของห่วงโซ่อุปทานอาหาร เกิดจากผู้จำหน่ายหรือผู้ค้าปลีก ผู้ประกอบอาหารหรือผู้ให้บริการด้านอาหาร และผู้บริโภค จากรายงานดัชนีขยะอาหารของโครงการสิ่งแวดล้อมแห่งองค์การสหประชาชาติ พบว่าปริมาณขยะอาหารจากครัวเรือนของประเทศไทยในปี พ.ศ. 2562 มีประมาณ 79 กิโลกรัมต่อคนต่อปี (UNEP, 2021; Cheunbarn and Siraporn, 2024) และมีปริมาณขยะอาหารเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง โดยในปี พ.ศ. 2567 ขยะอาหารเกิดขึ้นรวมทั้งประเทศมีประมาณ 146 กิโลกรัมต่อคนต่อปี และจากการสำรวจองค์ประกอบของขยะอาหาร มีส่วนที่รับประทานได้เพียงร้อยละ 39.5 โดยกระบวนการผลิตผลิตภัณฑ์ปลาแซลมอนจากโรงงานอุตสาหกรรมแปรรูปอาหาร อาจนำไปสู่การสร้างขยะอาหารได้ เนื่องจากในประเทศไทยมีการนำเข้าปลาแซลมอนจากต่างประเทศมาจำหน่ายในรูปแบบของเนื้อปลาแซลมอนแช่แข็ง และเนื้อปลาแซลมอนแล่ เป็นต้น ซึ่งกระบวนการตัดแต่งเนื้อปลาส่งผลให้เกิดเศษเหลือทิ้งคิดเป็นร้อยละ 30 ของน้ำหนักปลาทั้งหมด เช่น หัว ไส้ ไขมัน ก้าง รวมถึงเนื้อที่ติดไปกับส่วนต่าง ๆ ของปลา จึงมีการศึกษาเพื่อนำเศษเหลือทิ้งจากปลาแซลมอน

มาพัฒนาเป็นผลิตภัณฑ์อาหาร เช่น ขนมขบเคี้ยวที่มีเนื้อปลาแซลมอนเป็นส่วนประกอบ (Ruechakul *et al.*, 2014) และการผลิตขนมขบเคี้ยวเสริมผงแคลเซียมจากกระดูกปลาแซลมอนโดยกระบวนการเอ็กซ์ทรูชัน (Prachongpun *et al.*, 2023) เป็นต้น หรือการนำเนื้อปลาชนิดอื่นมาพัฒนาผลิตภัณฑ์อาหาร เช่น ผงโรยข้าวจากเนื้อปลาสลิด (Nuchunm, 2008) ผลิตภัณฑ์ผงโรยข้าว (ฟูริคาเกะ) จากหนังปลากะพงขาวทอดกรอบ (Mahae *et al.*, 2021) หรือผลิตภัณฑ์ผงโรยข้าวรสหม่าล่าเสริมปลาแห้งที่ใช้ปลาสร้อยและปลาข้าวสาร (Morida and Khamwachiraphitak, 2023) เป็นต้น ผลิตภัณฑ์ผงปลาปรุงรสพร้อมบริโภค หรือผงโรยข้าวทำจากเนื้อปลาช่วยให้อาหารมีรสชาติ สีสัน และเพิ่มคุณค่าทางโภชนาการในมื้ออาหาร (Mouritsen and Jose. 2018) จากตัวอย่างงานวิจัยที่กล่าวมาจะเห็นได้ว่ามีการนำปลาชนิดต่าง ๆ มาใช้ประโยชน์ในการพัฒนาผลิตภัณฑ์ผงปลาปรุงรสพร้อมบริโภค ซึ่งจะทำให้เกิดประโยชน์ทั้งด้านคุณค่าทางโภชนาการและเพิ่มมูลค่า โดยเฉพาะเศษเนื้อปลาแซลมอนก็เป็นหนึ่งในชนิดของปลาที่เหมาะสมกับการเป็นวัตถุดิบในการแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์เหล่านี้ เพราะมีคุณค่าทางโภชนาการสูง ประกอบด้วยโปรตีนสูงถึง 21.3 กรัม แคลเซียม 12 มก. และไขมัน 5.6 กรัม ที่เป็นกรดไขมันไม่อิ่มตัว มีประโยชน์ต่อสุขภาพ (Yodjam, 2014) ผู้วิจัยจึงเห็นถึงความสำคัญของการนำเศษปลาแซลมอนจากโรงงานแปรรูปมาพัฒนาเป็นผงปลาปรุงรสโดยใช้กระบวนการอบแห้ง (drying) โดยมีวัตถุประสงค์ของการวิจัยเพื่อศึกษาระยะเวลาที่เหมาะสมในการอบแห้ง คุณลักษณะทางกายภาพ-เคมี คุณค่าทางโภชนาการ และคุณลักษณะทางประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์ผงปลาปรุงรสจากเศษเนื้อปลาแซลมอนจากโรงงานอุตสาหกรรม

อุปกรณ์และวิธีการ

คัดเลือกตำรับพื้นฐานในการผลิตผงปลาแซลมอนปรุงรส

คัดเลือกสูตรมาตรฐานจำนวน 3 สูตร ดังแสดง Table 1 ซึ่งคัดเลือกจากสูตรผงปลาปรุงรสที่ผ่านการทำแห้งด้วยตู้อบลมร้อน ดัดแปลงจากสูตรที่ 1 (Nuchunm, 2008) สูตรที่ 2 (Prachongpun *et al.*, 2019) และสูตรที่ 3 (Srimanobhas and Kleechaya, 2021) โดยคัดเลือกเฉพาะส่วนของเศษเนื้อปลาแซลมอนแช่แข็งจาก บริษัท แพนฟู้ด จำกัด ให้ได้ปริมาณตามสูตร จากนั้นนำไปนึ่งที่อุณหภูมิ 95 องศาเซลเซียส นาน 15 นาที นำเนื้อปลาแซลมอนที่นึ่งสุกปรุงรสด้วยเกลือ น้ำตาลทราย ซอสถั่วเหลือง คลุกผสมเข้าด้วยกัน เทใส่ถาดเกลี่ยให้ทั่วโดยมีความหนา 1 ซม. นำไปอบด้วยตู้อบลมร้อนยี่ห้อ Memmert รุ่น UF55 ที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส นาน 9 ชั่วโมง พักให้เย็นที่อุณหภูมิห้อง จากนั้นนำตัวอย่างมาบดให้ละเอียดด้วยเครื่องปั่นของแห้งยี่ห้อ TEFAL รุ่น DPA130 ร่อนผ่านตะแกรงขนาด 80 Mesh และประเมินคุณภาพทางประสาทโดยใช้ผู้ทดสอบจำนวน 50 คน เป็นบุคคลทั่วไป อายุ 20–60 ปี ทำการบรรจุข้าวหุงสุก 10 กรัม ลงในถ้วยพลาสติกขนาด 2 ออนซ์ โรยผงปลาปรุงรส 1 กรัม ด้วยวิธีการให้คะแนนความชอบ 9 ระดับ (9-Points Hedonic Scale) เพื่อคัดเลือกสูตรที่ได้รับคะแนนสูงที่สุดเพื่อเป็นสูตรมาตรฐานในการผลิตผลิตภัณฑ์ผงปลาแซลมอนปรุงรสต่อไป

Table 1 Ingredients of seasoning salmon fish powder products standard recipe

Ingredients	Content (%)		
	Recipe 1	Recipe 2	Recipe 3
Salmon fish	84.5	50.4	74.5
Sugar	2.8	8.4	6.4
Salt	1.4	3.4	4.3
Soybean	11.3	37.8	14.9

Recipe 1 modified from Nuchunm (2008); Recipe 2 modified from Prachongpun *et al*. (2019); Recipe 3 modified from Srimanobhas and Walai (2021)

ศึกษาคุณลักษณะทางกายภาพ-เคมี

1) การวิเคราะห์ค่าสี (Color Measurement) ทำการวัดค่าสี L*, a*, b* ของผงปลาปรุงรสด้วยระบบ CIE (Observer angle 10°, Illuminant D65) เพื่อประเมินความสว่าง (L*) ความเป็นสีแดง-เขียว (a*) และความเป็นสีเหลือง-น้ำเงิน (b*) โดยใช้เครื่องวัดสี HunterLab รุ่น UltraScan VIS วัดจำนวน 5 ซ้ำ และรายงานผลเป็นค่าเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

2) วิเคราะห์ค่าความเป็นกรด-ด่าง ดัดแปลงจาก Prachongpun *et al*. (2019) ชั่งตัวอย่าง 5 กรัม เติมน้ำกลั่น 40 มล. กวนผสมเป็นเวลา 3 นาที จากนั้นนำไปวัดค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) ด้วยเครื่อง SI Analytics (Lap 845) ทำการตรวจการวัด 3 ซ้ำ

3) วิเคราะห์ความชื้น ตามวิธีของ AOAC (2019) โดยต้องมีความชื้นไม่เกินร้อยละ 12 ตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม (Thai Industrial Standards Institute, 1987) ทำการตรวจวัด 3 ซ้ำ

4) วิเคราะห์ปริมาณน้ำอิสระ (a_w) ชั่งตัวอย่าง 1 กรัม ใส่ลงในถ้วยตัวอย่างและปิดฝานำไปวัดค่าปริมาณน้ำอิสระ (a_w) ด้วยเครื่อง AQUA LAB ยี่ห้อ LabMaster-aw neo รุ่น ENS/ELS อุณหภูมิระหว่างทำการวิเคราะห์เท่ากับ 25 องศาเซลเซียส ทำการตรวจการวัด 3 ซ้ำ

ศึกษาระยะเวลาที่เหมาะสมในการอบแห้งผลิตภัณฑ์ผงปลาแซลมอนปรุงรส

ทำการคัดเลือกสูตรที่ได้รับคะแนนสูงที่สุดมาศึกษาระยะเวลาการอบแห้งที่เหมาะสม โดยอบที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 9, 10, 11 และ 12 ชั่วโมง หรือมีความชื้นไม่เกินร้อยละ 12 ทำการดึงตัวอย่างผลิตภัณฑ์ผงปลาแซลมอนปรุงรสออกมาทุก 1 ชั่วโมง จากนั้นนำไปวิเคราะห์คุณลักษณะทางกายภาพ-เคมี และนำสูตรที่ดีที่สุดมาศึกษาคุณค่าทางโภชนาการ โดยตรวจวิเคราะห์สารอาหารในห้องปฏิบัติการ ได้แก่ พลังงานจากสารอาหาร โปรตีน ไขมัน คาร์โบไฮเดรต เถ้า ใยอาหาร ความชื้น และแร่ธาตุ ได้แก่ โซเดียมและแคลเซียม (AOAC, 2019)

วิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ

วางแผนการทดลองแบบสุ่มอย่างสมบูรณ์ (Completely Randomized Design: CRD) สำหรับการวิเคราะห์คุณภาพทางกายภาพ-เคมี ทดสอบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยด้วยวิธี Paired Sample T-Test วางแผนแบบสุ่มภายในบล็อกสมบูรณ์ (Randomized Complete Block Design: RCBD) สำหรับการประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัส วิเคราะห์ค่าความแปรปรวนด้วย Analysis of Variance

(ANOVA) และเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยด้วยวิธี Duncan's Multiple Range Test (DMRT) ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ด้วยโปรแกรมสำเร็จรูปทางสถิติ โดยรายงานผลการทดลองเป็นค่าเฉลี่ย±ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Mean ± S.D.)

ผลการวิจัย

ผลการศึกษาตำรับพื้นฐานด้านการยอมรับของผลิตภัณฑ์ผงปลาแซลมอนปรุงรส

การทดสอบการยอมรับด้วยการประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัส ด้านสี กลิ่น รสชาติ เนื้อสัมผัส และความชอบโดยรวม พบว่าปริมาณและชนิดของส่วนประกอบที่ใช้ในการผลิตมีผลต่อคุณลักษณะทางประสาทสัมผัสแสดงดัง Table 2 พบว่าการยอมรับด้านสี กลิ่น เนื้อสัมผัส รสชาติ และความชอบรวมมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) โดยผงปลาแซลมอนปรุงรส สูตรที่ 2 ที่ประกอบด้วยเนื้อปลาแซลมอนร้อยละ 50.4 น้ำตาลทรายร้อยละ 8.4 เกลือสมุทรร้อยละ 3.4 และซอสถั่วเหลืองร้อยละ 37.8 (Table 1) ได้รับคะแนนการยอมรับทางประสาทสัมผัสสูงที่สุดทุกคุณลักษณะ ซึ่งมีคะแนนด้านสี เท่ากับ 7.20 คะแนนด้านกลิ่น เท่ากับ 6.86 คะแนนด้านเนื้อสัมผัส เท่ากับ 7.08 คะแนนด้านรสชาติ เท่ากับ 7.40 และคะแนนด้านความชอบรวมเท่ากับ 7.54 โดยคะแนนอยู่ในเกณฑ์ชอบปานกลาง-ชอบมาก จึงนำสูตรผงปลาแซลมอนปรุงรสที่ 2 ไปศึกษาระยะเวลาที่เหมาะสมในการอบแห้งผลิตภัณฑ์ผงปลาแซลมอนปรุงรสต่อไป

Table 2 Acceptance results of seasoning salmon fish powder products standard recipe

Characteristics	Seasoning fish powder products (recipe)		
	1	2	3
Color	6.14± 1.47^{b}	7.20±1.07^{a}	6.58±1.36^{b}
Aroma	5.90±1.43^{b}	6.86±1.36^{a}	6.44±1.49^{ab}
Texture	6.04±1.38^{b}	7.08±1.28^{a}	7.02±1.49^{a}
Taste	6.08±1.64^{b}	7.40±1.23^{a}	6.98±1.48^{a}
Like	6.24±1.25^{b}	7.54±1.09^{a}	7.68±1.17^{a}

Means in the same row with different superscripts are significantly different ($p \leq 0.05$).

ผลการศึกษาคุณลักษณะทางกายภาพ-เคมี ของผลิตภัณฑ์ผงปลาแซลมอนปรุงรส

การศึกษาคุณลักษณะทางกายภาพ-เคมีของผลิตภัณฑ์ผงปลาแซลมอนปรุงรส ทั้ง 3 สูตร (Table 3) ค่าสี พบว่าค่าความสว่าง (L*) และค่าความเป็นสีแดง (a*) มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) โดยผลิตภัณฑ์ผงปลาแซลมอนปรุงรสสูตรที่ 3 มีค่าความสว่างสูงที่สุด คือ 76.96 ตามด้วยผลิตภัณฑ์ผงปลาแซลมอนปรุงรสสูตรที่ 1 และ 2 มีค่า 75.17 และ 73.74 ตามลำดับ ค่า a* ของผลิตภัณฑ์ผงปลาแซลมอนปรุงรส สูตร 1, 3 และ 2 มีค่าเท่ากับ 10.94, 10.12 และ 10.47 ตามลำดับ ในขณะที่ค่าความเป็นสีเหลือง (b*) ของผลิตภัณฑ์ผงปลาแซลมอนปรุงรสทั้ง 3 สูตร ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) ค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) ผลิตภัณฑ์ผงปลาแซลมอนปรุงรส พบว่าอยู่ในช่วง 5.60–5.95 ซึ่งจัดเป็นอาหารกรดต่ำ (Shafiur, 1999) ปริมาณความชื้นและปริมาณน้ำอิสระทั้ง 3 สูตรมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

Table 3 Physical and chemical characteristics results of seasoning fish powder products standard recipe

Recipe	Color			pH	Moisture (%)	Water activity (a_w)
	L*	a*	b^{*ns}			
1	75.17±0.34[b]	10.94±0.13[a]	24.13±0.13	5.95±0.00[a]	25.71±1.46[c]	0.74±0.00[c]
2	73.74±0.98[c]	10.12±0.07[c]	24.06±0.09	5.60±0.02[b]	9.45±0.43[a]	0.46±0.00[a]
3	76.96±0.25[a]	10.47±0.08[b]	24.11±0.06	5.95±0.00[a]	23.48±1.09[b]	0.71±0.00[b]

Means in the same column with different superscripts are significantly different ($p \leq 0.05$).

ns = non-significantly different

ผลการศึกษาระยะเวลาที่เหมาะสมในการอบแห้งผลิตภัณฑ์ผงปลาแซลมอนปรุงรส

Table 4 ผลการศึกษาระยะเวลาที่เหมาะสมในการอบแห้งผลิตภัณฑ์ผงปลาแซลมอนปรุงรส โดยอบที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 9, 10, 11 และ12 ชั่วโมง พบว่าคุณลักษณะทางกายภาพ ด้านค่า L* มีแนวโน้มลดลงเมื่อระยะเวลาการอบเพิ่มขึ้น เนื่องจากในกระบวนการอบแห้งอาจส่งผลให้เกิดปฏิกริยาเมลลาร์ด (Maillard reaction) ที่จะทำให้ค่าความสว่างลดลง (Morida and Khumwachiraphitak, 2023) ค่า a* อยู่ในช่วง 11.99–14.84 และค่า b* อยู่ในช่วง 18.77–27.08 ในขณะที่ค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) ซึ่งแสดงว่าการเพิ่มระยะเวลาในการอบไม่ส่งผลต่อค่า pH ในผลิตภัณฑ์ผงปลาแซลมอนปรุงรส

ผลการศึกษาระยะเวลาที่เหมาะสมในการอบแห้งผลิตภัณฑ์ผงปลาแซลมอนปรุงรส ในด้านความชื้นและปริมาณน้ำอิสระ พบว่าผลิตภัณฑ์ผงปลาแซลมอนปรุงรสที่อบนาน 9, 10, 11 และ 12 ชั่วโมง มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) แสดงดัง Table 4 โดยผลิตภัณฑ์ผงปลาแซลมอนปรุงรสที่อบนาน 12 ชั่วโมง มีความชื้นต่ำที่สุด คือ ร้อยละ 6.86 ปริมาณน้ำอิสระมีแนวโน้มที่ลดลงเช่นกัน เมื่อเพิ่มระยะเวลาในการอบ โดยการอบที่ 12 ชั่วโมง มีค่าปริมาณน้ำอิสระเท่ากับ 0.27 ผลิตภัณฑ์ผงปลาแซลมอนปรุงรสที่อบนาน 11, 10 และ 9 ชั่วโมง มีค่าปริมาณน้ำอิสระ เท่ากับ 0.28, 0.33 และ 0.40 ตามลำดับ ซึ่งมีค่าใกล้เคียงกับการศึกษาของ Morida and Khumwachiraphitak (2023) ที่ศึกษาปริมาณน้ำอิสระในผงโรยข้าวรสหม่าล่าเสริมปลาสร้อยและปลาข้าวสารแห้ง พบว่าอยู่ในช่วง 0.35–0.54

Table 4 Physical and chemical characteristics results of seasoning fish powder products at 9, 10, 11 and 12 hours for drying

Time of drying (hrs)	Color			pH^{ns}	Moisture (%)	Water activity (a_w)
	L*	a*	b*			
9	67.14±0.46^{a}	11.99±0.45^{b}	18.77±0.69^{c}	7.96±0.70	10.29±0.36^{c}	0.40±0.08^{c}
10	64.63±0.79^{b}	14.84±0.19^{a}	27.08±0.11^{a}	7.52±0.61	9.15±0.30^{c}	0.33±0.10^{b}
11	65.33±1.15^{b}	14.81±0.28^{a}	25.65±0.17^{b}	7.84±0.68	8.00±0.09^{b}	0.28±0.06^{a}
12	65.79±0.83^{ab}	14.70±0.21^{a}	26.15±0.10^{b}	8.04±0.53	6.86±0.80^{a}	0.27±0.01^{a}

Means in the same column with different superscripts are significantly different (p≤0.05).

ns = non-significantly different

Table 5 ผลการศึกษาการยอมรับทางประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์ผงปลาแซลมอนปรุงรส ที่อบแห้งในระยะเวลาที่ต่างกัน พบว่าคุณลักษณะทางประสาทสัมผัสด้านสี กลิ่น เนื้อสัมผัส รสชาติ และความชอบรวมมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p≤0.05) ซึ่งผงปลาแซลมอนปรุงรสที่อบนาน 12 ชั่วโมง ได้รับคะแนนการยอมรับทางประสาทสัมผัสสูงที่สุดทุกคุณลักษณะ โดยคะแนนอยู่ในเกณฑ์ชอบปานกลาง-ชอบมาก จึงนำผงปลาแซลมอนปรุงรสที่อบนาน 12 ชั่วโมง ไปศึกษาคุณค่าทางโภชนาการต่อไป

Table 5 Acceptance results of seasoning fish powder products at 9, 10, 11 and 12 hours for drying

Characteristics	Seasoning Salmon fish powder products			
	9 hrs	10 hrs	11 hrs	12 hrs
Color	5.90±1.20^{d}	6.40±1.28^{c}	7.22±0.95^{b}	7.96±0.70^{a}
Aroma	5.78±1.28^{d}	6.30±1.42^{c}	6.92±1.24^{b}	7.52±0.61^{a}
Texture	6.02±1.36^{c}	6.98±1.49^{b}	7.20±1.21^{b}	8.04±0.53^{a}
Taste	6.06±1.46^{c}	6.76±1.42^{b}	7.46±1.13^{a}	7.84±0.68^{a}
Like	6.16±1.20^{c}	7.50±1.22^{b}	7.64±1.01^{ab}	7.92±0.27^{a}

Means in the same row with different superscripts are significantly different (p≤0.05).

ผลการศึกษาคุณค่าทางโภชนาการของผงปลาปรุงรสจากเศษเนื้อปลาแซลมอนที่อบนาน 12 ชั่วโมง พบว่าพลังงานทั้งหมด 403.87 กิโลแคลอรี่ ไขมันทั้งหมดร้อยละ 10.51 โปรตีนร้อยละ 62.65 คาร์โบไฮเดรตร้อยละ 14.67 ใยอาหารร้อยละ 4.01 กรัม น้ำตาลเท่ากับ 10.09 กรัม เถ้าร้อยละ 7.18 แคลเซียมเท่ากับ 55.42 มก. และโซเดียมเท่ากับ 2,832 มก. แสดงดัง Table 6

Table 6 Nutritional value of seasoning salmon fish powder product

Nutritional	Content
Energy (kcal)	403.87
Total fat (%)	10.51
Protein (%)	62.65
Carbohydrate (%)	14.67
Fiber (%)	4.01
Sugar (g)	10.09
Ash (%)	7.18
Calcium (mg)	55.42
Sodium (mg)	2,832

วิจารณ์ผลการวิจัย

การศึกษาตำรับพื้นฐานของผลิตภัณฑ์ผงปลาแซลมอนปรุงรส

จากการศึกษาตำรับพื้นฐานของผลิตภัณฑ์ผงปลาแซลมอนปรุงรสผลด้านการยอมรับทางประสาทสัมผัส โดยสูตรที่ 2 มีคะแนนการยอมรับสูงสุดในทุกด้าน เมื่อพิจารณาอาจเป็นเพราะมีสัดส่วนปริมาณเครื่องปรุงต่อเนื้อปลาแซลมอนมากกว่าสูตรอื่น จึงทำให้มีคะแนนคุณภาพทางประสาทสัมผัสมากกว่าสูตรอื่น ในขณะที่การศึกษาคุณภาพทางกายภาพและเคมี พบว่าปริมาณความชื้นสูตรที่ 2 มีปริมาณความชื้นต่ำที่สุด โดยสอดคล้องกับปริมาณน้ำอิสระมีค่าต่ำที่สุดเช่นกัน คือ มีปริมาณเท่ากับ 0.46 ซึ่งต่ำกว่าเกณฑ์กำหนดในมาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชนผงโรยข้าวจากปลา เลขที่ มผช. 1605/2565 ที่กำหนดไว้ต้องไม่เกิน 0.6 (Thai Industrial Standards Institute, 2023)

การศึกษาระยะเวลาที่เหมาะสมในการอบแห้งผลิตภัณฑ์ผงปลาแซลมอนปรุงรส

เมื่อนำมาศึกษาระยะเวลาที่เหมาะสมในการอบแห้งผลิตภัณฑ์ผงปลาแซลมอนปรุงรส คือ อบแห้งนาน 9, 10, 11 และ 12 ชั่วโมง พบว่าระยะเวลาการอบแห้งมีผลต่อคุณลักษณะทางกายภาพ เคมี และการยอมรับของผู้บริโภค โดยการศึกษาปริมาณความชื้นและปริมาณน้ำอิสระมีแนวโน้มลดลงเมื่อเพิ่มระยะเวลาในการอบมากขึ้น ปริมาณน้ำอิสระเป็นปัจจัยสำคัญในการคาดคะเนการเก็บอาหาร และเป็นตัวบ่งชี้ถึงความปลอดภัยของอาหาร ปริมาณน้ำอิสระบ่งบอกถึงการควบคุม การอยู่รอด การเจริญ และการสร้างสารพิษของจุลินทรีย์ เนื่องจากปริมาณความชื้นและปริมาณน้ำอิสระที่ลดลงทำให้จุลินทรีย์บางชนิดไม่สามารถเจริญได้ ตัวอย่างเช่น แบคทีเรียเกือบทุกชนิดไม่สามารถเจริญได้ที่ค่าปริมาณน้ำอิสระที่ต่ำกว่า 0.9 และราส่วนใหญ่ไม่เจริญที่ค่าปริมาณน้ำอิสระต่ำกว่า 0.7 (Postharvest Technology Innovation Center, 2003) ส่งผลให้ผลิตภัณฑ์มีอายุการเก็บรักษาที่นานขึ้น ในส่วนของการศึกษาการยอมรับของผู้บริโภค ผู้บริโภคให้คะแนนการยอมรับต่อผลิตภัณฑ์ผงปลาแซลมอนปรุงรส สูตรที่อบนาน 12 ชั่วโมง มากที่สุด ซึ่งมีคะแนนความชอบรวมอยู่ในเกณฑ์ชอบปานกลาง-ชอบมาก เนื่องจากภายใต้สภาวะการอบแห้งจะทำให้เกิดการสูญเสียน้ำในอาหาร การเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิและเวลาส่งผลต่อการสลายตัวและการออกซิเดชันของไขมัน ซึ่งจะส่งผลต่อสี กลิ่น รสชาติในอาหาร (Siwawej, 2003; Rahman, 2007)

จากการศึกษาคุณค่าทางโภชนาการของผลิตภัณฑ์ผงปลาแซลมอนปรุงรส ระยะเวลาอบนาน 12 ชั่วโมง พบว่า

ผลิตภัณฑ์ 100 กรัม มีพลังงานต่ำกว่าผลิตภัณฑ์ผงโรยข้าวทางการค้าบางยี่ห้อ รวมทั้งมีปริมาณโปรตีนและแคลเซียมสูงกว่า โดยอ้างอิงจากการศึกษา Prachongpun *et al.* (2019) ที่รายงานว่าพลังงานของผงโรยข้าวทางการค้าที่มีเนื้อปลาเป็นส่วนประกอบจำนวน 5 ผลิตภัณฑ์ มีพลังงานระหว่าง 415–766 กิโลแคลอรี่/100 กรัม ปริมาณโปรตีนและแคลเซียมเท่ากับร้อยละ 13.31–42.18 และ 13.90–62.40 มก./100 กรัม ตามลำดับ ในขณะที่ผลิตภัณฑ์ผงปลาแซลมอนปรุงรสมีพลังงานระหว่าง 403.87 กิโลแคลอรี่/100 กรัม ปริมาณโปรตีนและแคลเซียมสูงถึงร้อยละ 62.65 และ 55.42 มก./100 กรัม ตามลำดับ ซึ่งปริมาณโปรตีนสูงกว่าประมาณ 2 เท่า อาจเป็นผลมาจากวัตถุดิบที่ใช้ในการผลิต ผลิตภัณฑ์ผงปลาแซลมอนปรุงรสที่ประกอบไปด้วยเนื้อปลาแซลมอนถึงร้อยละ 50.42 ซึ่งเป็นแหล่งของโปรตีน แต่ปริมาณโซเดียมของผลิตภัณฑ์ค่อนข้างสูง เท่ากับ 2,832 มก./100 กรัม เมื่อพิจารณาจากคำแนะนำในการบริโภคผลิตภัณฑ์ผงปลาแซลมอนปรุงรสต่อมื้อ คือ ประมาณ 6 กรัม ผู้บริโภคจะได้รับโซเดียมประมาณ 140 มก. โดยคำแนะนำจากเกณฑ์ของ Food and Drug Administration (2018) ที่ระบุว่าความต้องการสูงสุดของโซเดียมที่ร่างกายได้รับและไม่ทำให้เกิดอันตราย คือ 2,000 มก./วัน

สรุปผลการวิจัย

จากการคัดเลือกตำรับพื้นฐานในการผลิตผงปลาแซลมอนปรุงรส ผลการทดลองพบว่าสูตรที่ 2 ได้รับคะแนนการยอมรับทางประสาทสัมผัสสูงที่สุดทุกคุณลักษณะ($p \leq 0.05$) มีโดยมีส่วนประกอบ ดังนี้ เนื้อปลาแซลมอนร้อยละ 50.4 น้ำตาลทรายร้อยละ 8.4 เกลือสมุทรร้อยละ 3.4 และซอสถั่วเหลือง ร้อยละ 37.8 ค่าสี (L* a* b*) มีค่าเท่ากับ 73.74, 10.12 และ 24.06 ตามลำดับ และเมื่อศึกษาระยะเวลาการอบที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส พบว่าการยอมรับทางประสาทสัมผัสของผงปลาแซลมอนปรุงรสที่อบแห้งนาน 12 ชั่วโมง ได้รับคะแนนความชอบสูงที่สุด ($p \leq 0.05$) โดยเป็นระยะเวลานานที่สุดของการศึกษานี้ และเมื่อพิจารณาจากคะแนนพบว่าคะแนนการยอมรับมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่อระยะเวลาการอบแห้งที่นานขึ้น ในส่วนของปริมาณความชื้นของผลิตภัณฑ์มีปริมาณความชื้นอยู่ระหว่างร้อยละ 4.99–9.15 และมีปริมาณน้ำอิสระอยู่ระหว่าง 0.27–0.4 ซึ่งมีแนวโน้มลดลงเมื่อเพิ่มระยะเวลาการอบแห้ง แสดงให้เห็นว่าผลของอุณหภูมิที่ใช้ในการอบแห้งมีผลต่อคุณลักษณะทางกายภาพและความชอบของผู้บริโภค คุณค่าทางโภชนาการของผลิตภัณฑ์ผงปลาแซลมอนปรุงรสที่ 100 กรัม มีพลังงาน 403.87 กิโลแคลอรี โปรตีนร้อยละ 62.65 ไขมันร้อยละ 10.51 เถ้าร้อยละ 7.18 คาร์โบไฮเดรตร้อยละ 14.67 ปริมาณน้ำตาลเท่ากับ 10.09 กรัม แร่ธาตุได้แก่ โซเดียม 2,832 มก. และแคลเซียม 55.42 มก. จากปริมาณโปรตีนในผลิตภัณฑ์ผงปลาแซลมอนปรุงรสสามารถนำผลิตภัณฑ์มารับประทานในอาหารมื้อหลักโดยบริโภคร่วมกับอาหารอื่น ๆ ได้ เพื่อให้ได้ปริมาณโปรตีนที่เพียงพอต่อความต้องการของร่างกายที่จำเป็นต่อวัน และเป็นทางเลือกให้กับผู้บริโภคที่สามารถเพิ่มคุณค่าทางโภชนาการได้ นอกจากนั้นอาจศึกษาอายุการเก็บรักษาหรือการปรับลดโซเดียมในผลิตภัณฑ์เพิ่มเติม เพื่อพัฒนาผลิตภัณฑ์ให้มีปริมาณโซเดียมและอายุการเก็บรักษาที่เหมาะสมต่อไป

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณบริษัท แพนฟู้ด จำกัด ที่ให้การสนับสนุนวัตถุดิบหลักสำหรับการวิจัย และขอขอบคุณคณะเทคโนโลยี คหกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ ที่เอื้อเฟื้อสถานที่และเครื่องมือ งานวิจัยนี้ผ่านการรับรองโครงการวิจัยคณะกรรมการจริยธรรมการวิจัยในมนุษย์ เครือข่ายมหาวิทยาลัยนเรศวร เลขที่ COA No. 0009/2024

เอกสารอ้างอิง

Association of Official Analytical Chemists. 2019. **Official Methods of Analysis of the Association of the Official Analysis Chemists**. 21st ed. Maryland: AOAC International. 771 p.

Cheunbarn, T. and S. Cheunbarn. 2024. Efficiency and satisfaction of small household compost bin for organic and food waste. **Journal of Agri. Research & Extension** 41(2): 185–198. [in Thai]

Food and Drug Administration. 2018. **Notification of Ministry of Public Health (No. 392) B.E. 2561 (2018) Issued by Virtue of the Food Act B.E. 2522 Re: Nutrition Labelling (No.3)**. [Online]. Available https://food.fda.moph.go.th/media.php?id=50940918057101721 6&name=No.392.pdf (January 16, 2025).

Mahae, N., D. Pichairat and N. Khachenpukd. 2021. Product development of rice seasoning (Furikake) from crispy friedseabass (*Lates calcarifer*) skin. **KKU Science Journal** 49(1): 30–39. [in Thai]

Morida, K. and M. Khamwachiraphitak. 2023. Development of rice seasoning (FURIKAKE): Mala flavored supplemented with dried fish. **VRU Research and Development Journal Science and Technology** 18(1): 101–113. [in Thai]

Mouritsen, G.O. and L.L.P. Jose. 2018. World cuisine of seaweeds: science meets gastronomy. **International Journal of Gastronomy and Food Science** 14: 55–65.

Nuchunm, R. 2008. **Development of Rice Seasoning (Furikake) from Sepat-Siam (*Trichogaster pectoralis*)**. Master Thesis. Silpakorn University. 182 p. [in Thai]

Postharvest Technology Innovation Center. 2003. **Water activity with shelf-life control of food products**. [Online]. Available https://www.phtnet.org/2003/09/26/ (January 14, 2025).

Prachongpun, P., A. Jamphon, T. Muangtuek and S.R. Kim. 2019. Nutritional Value and Some Characteristics of Commercial Furikake Containing Fish Meat. pp. 367–375. *In* **Proceedings of 57th Kasetsart University Annual Conference: Plants, Animals, Veterinary Medicine, Agricultural Extension and Home Economics.** Bangkok: Kasetsart University. [in Thai]

Prachongpun, P., L. Pankaew and R. Chunhom. 2023. Production calcium-supplemened snack from salmon fishbone power through extrusion process. **VRU Research and Development Journal Science and Technology** 18(3): 185–197. [in Thai]

Rahman, M.S. 2007. **Handbook of Food Preservation**. 2nd edition. Florida: CRC Press Taylor & Francis group. 1068 p.

Ruechakul, W., N. Pansawat and J. Maneerote. 2014. **Effect of Rice Bran Oil, Baking Temperature and Time on the Quality of Salmon Crackers from Salmon Trimming**. pp. 98–105. *In* **Proceedings of 52nd Kasetsart University Annual Conference: Fisheries, Agricultural Extension and Home Economics**. Bangkok: Kasetsart University. [in Thai]

Shafiur Rahman, M. 1999. pH in Food Preservation. pp. 383–396. *In* Shafiur Rahman, M. (ed.) **Handbook of Food Preservation.** New York: Marcel Dekker Inc.

Siwawej, S. 2003. **Study of Acute and Shorterm Toxicity Test of Liquid Smoke from Bagasse in Wistar Rats**. Nakhon Pathom: National Agricultural Extension and Training Center (NAETC). 380 p.

Srimanobhas, K. and W. Kleechaya. 2021. **Value-Creation Products from Plasom Pla-nil (Fermented tilapia)**. 77 p. *In* Technical Paper No. 2. Bangkok: Ministry of Agriculture and Cooperatives. [in Thai]

Thai Industrial Standards Institute, Ministry of Industry. 1987. **Fish Floss, Fish Flake and Dried Ground Fish: Thai Industrial Standard TIS 700-1987**. Bangkok: Thai Industrial Standards Institute, Ministry of Industry. 15 p. [in Thai]

Thai Industrial Standards Institute, Ministry of Industry. 2023. **Thai Community Product Standard: Rice Seasoning from Fish TCPS 1605/2022**. Bangkok: Thai Industrial Standards Institute, Ministry of Industry. 12 p. [in Thai]

United Nations Environment Programme (UNEP). 2021. **UNEP food waste index report 2021**. [Online]. Available https://wedocs.unep.org/handle/20.500.11822/35280;jsessionid=B711DBAF2A01BD795E689595F65C04CF (August 1, 2022).

Yodjam, S. 2014. **Effect of Crude Oil Supplement on Growth, Content of Omega 3 Fatty Acid in Fillet and Oxidative Defense of Buk Siam Catfish.** Master Thesis. Maejo University. 77 p. [in Thai]

วารสารวิจัยและส่งเสริมวิชาการเกษตร 42(3): 162-172

ผลของเกลือโซเดียม แคลเซียม และโพแทสเซียมต่อคุณสมบัติของมอสซาเรลล่าชีส

Effect of Sodium, Calcium, and Potassium Salts on Mozzarella Cheese Properties

กมลพรรณ ปิงดี รวงข้าว ตรางา และกรผกา อรรคนิตย์*

Kamonpan Pingdee, Ruangkhaw Tanga and Kornpaka Arkanit*

สาขาวิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร คณะวิศวกรรมและอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยแม่โจ้ เชียงใหม่ 50290

Department of Food Science and Technology, Faculty of Engineering and Agro-Industry

Maejo University, Chiang Mai, Thailand 50290

*Corresponding author: k_arkanit@hotmail.com

Received: *September 12, 2023*

Revised: *February 28, 2025*

Accepted: *March 27, 2025*

Abstract

Mozzarella is a soft textured cheese with mild flavor and natural white to light cream color. It is classified as a pasta-filata. In cheese making, acetic acid in vinegar was used for protein precipitation and salt addition is relevant to several factors that affected the product qualities. The objective of this research was to increase the yield and sensory quality of Mozzarella cheese by adding 1% (w/v) of different salts: NaCl, $CaCl_2$, and KCl. It was found that cheese with $CaCl_2$ had the lowest moisture content at 41.09% but gave the highest yield, hardness, and resilience at 8.28%, 9.28 N, and 0.83, respectively. Cheese with KCl showed the best melting, flow, and stretching qualities at 74.10%, 13.50 cm, and 5.40 inch, respectively. Different types of salts had no significant effect on sensory quality ($P>0.05$). After baking, the cheese with $CaCl_2$ showed good melting and had the best oiling-out.

Keywords: yield, mozzarella cheese, NaCl, $CaCl_2$, KCl

บทคัดย่อ

มอสซาเรลล่าเป็นชีสที่มีเนื้อสัมผัสนุ่ม กลิ่นรสอ่อน สีขาวธรรมชาติถึงสีครีมสว่าง จัดอยู่ในกลุ่ม pasta-filata ในการทำชีสใช้กรดแอซีติกจากน้ำส้มสายชูทำให้โปรตีนตกตะกอน และการเติมเกลือมีความเกี่ยวข้องกับหลายปัจจัยที่ส่งผลต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์ งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อเพิ่มผลผลิตและคุณภาพทางประสาทสัมผัสของมอสซาเรลล่าชีสโดยการเติมเกลือ 1% (w/v) ที่ต่างชนิดกัน คือ NaCl $CaCl_2$ และ KCl พบว่าชีสที่ใส่ $CaCl_2$ มีปริมาณความชื้นต่ำสุดที่ 41.09% แต่ให้ปริมาณผลผลิต ความแข็ง และการยืดหยุ่นสูงที่สุด ที่ 8.28%, 9.28 N และ 0.83 ตามลำดับ ตัวอย่างชีสที่ใส่ KCl มีคุณภาพทางด้านการหลอมละลาย การไหล และการยืดดีที่สุด ที่ 74.10% 13.50 ซม. และ 5.40 นิ้ว ตามลำดับ ซึ่งเกลือต่างชนิดกันไม่มีผลต่อคุณภาพทางประสาทสัมผัสอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P>0.05$) หลังการอบตัวอย่างชีสที่ใส่ $CaCl_2$ มีลักษณะหลอมละลายได้ดี และมีน้ำมันออกมามากที่สุด

คำสำคัญ: ผลผลิต มอสซาเรลล่าชีส NaCl, $CaCl_2$, KCl

คำนำ

ชีสเป็นผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการนำนม บัตเตอร์มิลค์ (butter milk) หรือเวย์ (whey) อย่างหนึ่งอย่างใดหรือหลายอย่างมาผสมกับเอนไซม์ (enzyme) หรือกรดหรือจุลินทรีย์จนเกิดการรวมตัวเป็นก้อนแล้วแยกส่วนที่เป็นน้ำออก ซึ่งชีสสามารถนำมาบริโภคได้ในลักษณะสดหรือผ่านการบ่ม (Ministry of Public Health, 2000) มอสซาเรลล่าชีส เป็นชีสที่มีต้นกำเนิดในประเทศอิตาลี มีเนื้อสัมผัสนุ่ม กลิ่นรสอ่อน สีขาวธรรมชาติถึงสีครีมสว่าง จัดอยู่ในกลุ่ม pasta-filata ซึ่งหมายถึง ความร้อนและการยืด ชีสที่จัดอยู่ในกลุ่มนี้ ได้แก่ Boccacini, Caciocavallo, Kashkaval, Ragusano และ String cheese เป็นต้น มีปริมาณความชื้นอยู่ในช่วงร้อยละ 45–60 ปริมาณไขมันอยู่ในช่วงที่ไม่น้อยกว่าร้อยละ 30 และปริมาณเกลืออยู่ในช่วงระหว่างร้อยละ 1.2–1.8 โดยน้ำหนัก สามารถเก็บรักษาได้เป็นเวลานานกว่า 90 วัน ที่อุณหภูมิ 1–5 องศาเซลเซียส การผลิตเนยแข็งนั้นต้องใช้น้ำนมปริมาณมาก เนื่องจากน้ำนมมีปริมาณของแข็งทั้งหมดต่ำเพียงร้อยละ 11.50 โดยน้ำหนัก (Kindstedt *et al*., 2004; USDA, 1980; 2001)

การผลิตมอสซาเรลล่าชีส เริ่มจากนำนมดิบมาปรับปริมาณไขมันให้ได้ตามมาตรฐาน (standardization) ทำการพาสเจอร์ไรส์ จากนั้นทำให้เย็นลง แล้วเติมกล้าเชื้อแบคทีเรียที่สามารถผลิตกรดแลกติก (lactic acid bacteria) และเอนไซม์เรนเนท (rennet) เมื่อเกิดลิ่มน้ำนมหรือเคิร์ด (curd) แล้ว ทำการตัดและกวนเคิร์ดเพื่อให้หางนม (whey) แยกออกจากก้อนเคิร์ด หลังจากนั้นตัดให้เป็นก้อนแล้วทิ้งไว้ให้ค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) ลดลงเหลือประมาณ 5.20–5.30 แล้วนวดผสม ขึ้นรูป เติมเกลือ ทำให้แห้งและบรรจุ (Kosikowski and Mistry, 1997) เอนไซม์เรนเนท (rennet) หรือเอนไซม์เรนนิน (rennin) เป็นเอนไซม์ที่ทำให้เคซีนเกิดการตกตะกอน โดยมีการตัด (cleave) เฉพาะระหว่างพันธะเพปไทด์ที่มีการเชื่อมต่อระหว่างฟินิลอะลานีน (phenylalanine) ในตำแหน่งที่ 105 และเมทิโอนีน (methionine) ในตำแหน่งที่ 106 ได้เป็น 2 ส่วน คือ พารา-แคปปา-เคซีน (para-**K**-casein) และไกลโคแมคโครเพปไทด์ ซึ่งมีคุณสมบัติละลายน้ำได้ แต่พารา-แคปปา-เคซีนจะตกตะกอนเมื่อมีแคลเซียมไอออน ซึ่งโดยปกติแล้วในน้ำนมจะมีแคลเซียมไอออนอยู่ ดังนั้นเมื่อเติมเอนไซม์ชนิดนี้ลงไปในน้ำนม จึงทำให้เคซีนเกิดการตกตะกอน (Belitz and Grosch, 1999) ในกรณีการใช้กรดเป็นตัวตกตะกอนประจุไฟฟ้าของเคซีนจะถูกทำให้เป็นกลาง โดยปกติแล้วความเป็นกรดของน้ำนมจะอยู่ที่พีเอชประมาณ 6.6 ซึ่งมีฤทธิ์เป็นกรดเล็กน้อย หากลดพีเอชต่ำลงด้วยการเติมกรดทีละน้อยเคซีนจะไม่คงตัว และตกตะกอนที่พีเอช 4.7 เรียกสภาวะของความเป็นกรดนี้ว่าไอโซอิเล็กทริกพอยต์ (isoelectric point) ของเคซีน ซึ่งเป็นสภาวะที่เคซีนมีประจุไฟฟ้ารวมเท่ากับศูนย์ (สภาพเป็นกลาง) กรดที่สามารถใช้ตกตะกอนเคซีนได้แก่ กรดแล็กติก (lactic acid) กรดเกลือ (hydrochloric acid) กรดแอซีติก (acetic acid) และกรดซัลฟิวริก (sulfuric acid)

ในกระบวนการทำชีส เกลือมีบทบาทสำคัญ เนื่องจากปัจจัยหลายประการ นอกจากอิทธิพลโดยตรงต่อรสชาติของชีสแล้ว การใส่เกลือในชีสยังมีบทบาทสำคัญในการผลิตและอายุการเก็บรักษาของชีส การเติมเกลือแคลเซียมจะช่วยแยกเวย์ออกจากชีส (Fox *et al*., 2004) ทำให้ชีสมีลักษณะรสชาติตามที่ต้องการ รวมถึงสามารถยับยั้งจุลินทรีย์ ลดวอเตอร์แอคติวิตี้ ช่วยในการเกาะตัวและความสมดุลของแร่ธาตุในชีส (Fox *et al*., 2017)

แคลเซียมไอออนมีความสำคัญต่อโครงสร้างและลักษณะเนื้อสัมผัสของชีส เนื่องจากแคลเซียมไอออนสามารถเกิดพันธะกับโมเลกุลของโปรตีนเกิดเป็นเส้นใยโปรตีน ปริมาณแคลเซียมที่หลงเหลือในเคิร์ดมีผลต่อลักษณะชีส หากปริมาณแคลเซียมคงเหลือในเคิร์ดสูงจะทำให้เกิดเส้นใยโปรตีนที่ยาวและมีการจัดเรียงตัวที่ดี ได้เนยแข็งที่มีเนื้อสัมผัสแน่น ส่วนเนยแข็งที่มีปริมาณแคลเซียมเหลืออยู่ในเคิร์ดต่ำจะมีเส้นใยโปรตีนที่สั้นและจัดเรียงตัวไม่เป็นระเบียบ จึงมีลักษณะเนื้อร่วน

(crumbly) เนยแข็งชนิดเดียวกันแต่ปริมาณแคลเซียมต่างกันจะมีคุณสมบัติทางกายภาพต่างกัน เช่น เนยแข็งมอซเซอเรลล่าที่มีปริมาณแคลเซียมสูงมีความสามารถในการยืด (stretchability) ดีกว่าเนยแข็งที่มีปริมาณแคลเซียมต่ำ ความสามารถในการยืดขึ้นอยู่กับความยาวเส้นใยและการจัดเรียงตัวของโปรตีน (Lucey and Fox, 1993)

Hokes *et al*. (1982) ศึกษาผลของโซเดียมคลอไรด์ต่อการเกิดเคิร์ดจากแคลเซียมเคซีเนท พบว่าเคิร์ดของแคลเซียมเคซีเนทเกาะกันอย่างมีระเบียบเมื่อปริมาณโซเดียมคลอไรด์เพิ่มขึ้น (0.775, 1.550 และ 3,100 มิลลิโมล) แต่โซเดียมขัดขวางการเกาะตัวกันของโปรตีน ทำให้มีโปรตีนบางส่วนหลุดออกมา เมื่อตรวจสอบโดยอิเลคโตรโฟรีสิสพบว่า ของเหลวที่แยกออกจากเคิร์ดมีอัลฟาเอส 1 และบีต้าเคซีนปนอยู่ด้วย เนื่องจากโซเดียมไอออนซึ่งมีประจุบวกหนึ่งสามารถจับกับโปรตีนได้เช่นเดียวกับแคลเซียม ทำให้โปรตีนสูญเสียพันธะระหว่างแคลเซียมและโปรตีน เนื่องจากโซเดียมเข้าไปจับกับโปรตีนแทนแคลเซียม ส่งผลทำให้ความแข็งแรงของอนุภาคโปรตีนลดลง (Whitney, 1988) โพแทสเซียมคลอไรด์มักจะถูกใช้เป็นสารทดแทนโซเดียม เนื่องจากเกลือโพแทสเซียมไม่ก่อให้เกิดโรคความดันโลหิตสูงในผู้บริโภคเหมือนกับ เกลือโซเดียม (Cruz *et al*., 2011; Johnson *et al*., 2009) การศึกษาของ Fitzgerald and Buckley (1985) พบว่าเชดด้าชีสที่ใช้โพแทสเซียมทดแทนโซเดียม 50% มีค่าในการสลายโปรตีน รสชาติ และเนื้อสัมผัสไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญเมื่อเปรียบเทียบกับชีสที่ใช้โซเดียม 100% ในการศึกษาของ Ong *et al.* (2013) พบว่าชีสที่ทำจากนมที่เสริมด้วยแคลเซียมคลอไรด์ปริมาณ 200–600 mg L^{-1} ช่วยลดการสูญเสียไขมันในเวย์เมื่อเก็บรักษาอย่างมีนัยสำคัญ แต่อย่างไรก็ตาม ไม่มีการเปลี่ยนแปลงองค์ประกอบของไขมัน และในการศึกษาของ Costa *et al*. (2019) การทดแทนโซเดียมคลอไรด์บางส่วนด้วยโปแตสเซียมคลอไรด์ (25 และ 50%) ในชีส Minas Padrao ไม่ส่งผลต่อความชื้น โปรตีน ไขมัน เถ้า แอคติวิตีของน้ำ คลอไรด์ พีเอช และการสลายตัวของโปรตีน แต่ค่าความแข็งเพิ่มขึ้น เนื่องจากค่าพีเอชต่ำและความชื้นลดลง การทดสอบการยอมรับไม่พบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญในชีสที่ทดแทนโซเดียมคลอไรด์ 25% ด้วยโปแตสเซียมคลอไรด์เมื่อเปรียบเทียบกับตัวอย่างควบคุม

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อเพิ่มผลผลิตและคุณภาพทางประสาทสัมผัสของมอสซาเรลล่าชีส โดยการเติมเกลือต่างชนิด คือ NaCl, $CaCl_2$ และ KCl

อุปกรณ์และวิธีการ

วัตถุดิบและสารเคมี

น้ำนมดิบ น้ำส้มสายชู โซเดียมคลอไรด์ (NaCl) แคลเซียมคลอไรด์ ($CaCl_2$) โพแทสเซียมคลอไรด์ (KCl)

วิธีการผลิตมอสซาเรลล่าชีส

ดัดแปลงจากวิธีของ Thibaudeau *et al*. (2015) นำน้ำนมดิบ 4,500 มิลลิลิตร ต้มที่อุณหภูมิไม่เกิน 50°ซ เมื่ออุณหภูมิถึง 45°ซ เทน้ำส้มสายชู 120 มิลลิลิตร นมจะเริ่มแยกตัวเป็น 2 ส่วน ส่วนหนึ่งจะจับตัวกันเป็นกลุ่มก้อน (curd) อีกส่วนจะเป็นน้ำเวย์ (whey) เติมเกลือ 1% (w/v) ใช้กระชอนรองด้วยผ้าขาวบางกรองเอาน้ำเวย์ออก และนำน้ำเวย์ที่ได้มาต้มให้ถึงอุณหภูมิ 90°ซ ก้อนชีสมาแช่ในน้ำเวย์และทำการนวด-ยืดออก (ทำซ้ำ ๆ) จากนั้นใส่พิมพ์และใช้ของหนักทับไว้อย่างน้อย 2 ชั่วโมง บรรจุใส่กล่องและเก็บที่อุณหภูมิ 4°ซ

การวิเคราะห์คุณสมบัติด้านเคมี

ความชื้น

วิเคราะห์ปริมาณความชื้น (moisture) โดยใช้เครื่องวัดความชื้น (moisture balance)

การวิเคราะห์คุณสมบัติทางกายภาพ

1) ความสามารถในการละลาย (meltability) ด้วยวิธี Schreiber test โดยดัดแปลงวิธีของ Kosikowski and Mistry (1997) และ USDA (1980; 2001)

นำตัวอย่างมอสซาเรลล่าชีสขนาด 2 × 2 เซนติเมตร ใส่ในกึ่งกลางจาน Petri dish นำไปอบที่อุณหภูมิ 232°ซ เป็นเวลา 4 นาที และทิ้งให้เย็นที่อุณหภูมิห้อง 30 นาที ทำการวัดขนาดที่เพิ่มขึ้น

$$\text{Meltability} = \frac{[(\text{ขนาดชีสสุดท้าย-ขนาดชีสเริ่มต้น})]}{\text{ขนาดชีสสุดท้าย}} \times 100$$

2) ความสามารถในการไหล (flowability) โดยดัดแปลงวิธีของ Oberg *et al*. (1992) และ Wang *et al*. (1998)

ชั่งมอสซาเรลล่าชีส 5 กรัม ใส่ลงในหลอดแก้ว โดยกดลงไปให้แน่นที่ก้นหลอด แล้วนำไปเก็บไว้ที่อุณหภูมิ 4°ซ เป็นเวลา 30 นาที ในลักษณะแนวดิ่ง จากนั้นนำไปอบที่อุณหภูมิ 110°ซ เป็นเวลา 60 นาที โดยวางในลักษณะแนวนอน นำออกมาทิ้งให้เย็นที่อุณหภูมิห้อง ทำการวัดระยะทางที่เกิดขึ้นจากตัวอย่างมอสซาเรลล่าชีสที่เกิดการหลอมเหลว

3) ความสามารถในการยืดขยาย (stretchability) ด้วยวิธี Fork test โดยดัดแปลงวิธีของ Fife *et al*. (2002); Mizuno and Lucey (2005); USDA (1980; 2001)

เตรียมขนมปังขนาด 3×3 เซนติเมตร และชีสขนาด 3×3×0.5 เซนติเมตร นำชีสวางบนขนมปังและอบที่อุณหภูมิ 232°ซ เป็นเวลา 5 นาที จากนั้นทำการยืดตัวอย่างมอสซาเรลล่าชีสที่หลอมเหลวด้วยมือโดยการดึงขึ้นในแนวดิ่งจนกระทั่งชีสขาดและบันทึกระยะทางที่ได้

4) การวิเคราะห์สมบัติทางเนื้อสัมผัส โดยใช้เครื่อง Texture Profile Analysis (TPA) (Stable Micro รุ่น TA-XT Plus, UK) นำตัวอย่างก้อนชีส รูปทรงกลม ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 25 มม. ใช้หัววัด TA41 Pretest 1.00 mm/s, Test 1.00 mm/s, trigger force 0.5 N แรงกดลึก 25% วิเคราะห์คุณสมบัติของเนื้อสัมผัสด้าน hardness และ resilience ดัดแปลงจากวิธีของ Costa *et al*. (2018)

5) การวิเคราะห์ลักษณะทางประสาทสัมผัส วิเคราะห์ลักษณะทางประสาทสัมผัส ได้แก่ ลักษณะปรากฏ สี กลิ่น การยืด ความหนืบ รสชาติ และ ความชอบโดยรวม โดยประเมินความชอบ 9 ระดับ (nine-point hedonic scale) จากผู้บริโภคช่วงอายุ 18–22 ปีที่ไม่ผ่านการฝึกฝนจำนวน 50 คน

6) คุณสมบัติหลังการอบดัดแปลงจากวิธีของ Rizvi *et al*. (1999) และ USDA (1980; 2001) นำมอสซาเรลล่าชีสขนาด 2x2 ซม. วางลงที่กึ่งกลางจาน petri dish นำไปอบที่อุณหภูมิ 232°ซ เป็นเวลา 4 นาที แล้วสังเกตคุณลักษณะต่าง ๆ ดังนี้

- ตรวจสอบดูรอยพอง (blister coverage) โดยดูจากร้อยไหม้ว่าครอบคลุมพื้นที่มากน้อยเพียงใด
- ตรวจสอบดูสีของรอยพอง (blister color) โดยดูจากสีของรอยไหม้ว่ามีสีใด
- ตรวจสอบดูปริมาณของน้ำมันที่ไหลเยิ้มออกมา (oiling out) โดยดูจากปริมาณน้ำมันที่เป็นของเหลวว่ามีมากน้อยเพียงใด

การวิเคราะห์ทางสถิติ

วางแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ (Complete Randomized Design: CRD) รายงานผลเป็น ค่าเฉลี่ย±ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Mean±SD) ทำการทดลองทั้งหมด 3 ซ้ำ ทดสอบความแปรปรวนของข้อมูลโดยวิธี ANOVA ทดสอบความแตกต่างค่าเฉลี่ยของข้อมูลด้วยวิธี Duncan's New Multiple Range Test ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 โดยโปรแกรม Excel Macros DSAASTAT ver. 1.514

ผลการวิจัยและวิจารณ์

คุณสมบัติด้านเคมี

จากการวิเคราะห์พบว่าเกลือมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงของความชื้นมอสซาเรลล่าชีสอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) Table 1 ตัวอย่างควบคุมมีปริมาณความชื้นมากที่สุด เนื่องจากชีสตัวอย่างอื่นมีการเติมเกลือ โดยเกลือมีคุณสมบัติไล่ความชื้น ตัวอย่างชีสที่ใส่ NaCl มีปริมาณความชื้นรองลงมา เนื่องจากโซเดียมไอออนเพิ่มการดูดซึมน้ำ การพองตัว (swelling) และการละลายของเคซีนในเซลล์ ผลิตภัณฑ์ที่มีปริมาณโซเดียมไอออนอยู่สูง จึงมีเนื้อสัมผัสที่นุ่มและสามารถหลอมได้ดี (Cavalier-Salou and Cheftel, 1991; Lucy and Fox, 1993)

ปริมาณความชื้นของผิวชั้นนอกของชีสมีค่าต่ำกว่าเกิดจากการเคลื่อนที่ของ Na^+ และ Cl^- ไอออนจากน้ำเกลือเข้าสู่โครงสร้างเมทริกซ์ของชีส ความชื้นจะถูกกำจัดออกจากชั้นนอกของชีสเพื่อคืนสมดุลออสโมติก (Guinee and Fox, 2017) ในงานวิจัยของ Pastorino *et al.* (2003) การฉีดสารละลายแคลเซียมเข้าไปในชีสทำให้เกิดการหดตัวของเมทริกซ์โปรตีน พร้อมกับการปล่อยซีรัมและสูญเสียความชื้น ซึ่งทำให้เมทริกซ์โปรตีนมีน้ำน้อยลงส่งผลให้ชีสมีความกระด้างเพิ่มขึ้น นอกจากนี้การเก็บรักษาชีสทำให้ความเป็นกรดเพิ่มขึ้น ช่วยเร่งการเคลื่อนที่ของไอออน ส่งผลให้ชีสมีความแข็งเพิ่มขึ้น (Buriti *et al*., 2005)

Table 1 Moisture content

Treatment	Moisture (%)
Control	54.76±0.99[a]
NaCl	51.32±0.42[b]
$CaCl_2$	41.09±0.42[d]
KCl	49.19±0.64[c]

[a-d] Values in the same column followed by different letters are significantly different ($p \leq 0.05$).

คุณสมบัติทางกายภาพ

จากการวิเคราะห์คุณสมบัติทางกายภาพใน Table 2 พบว่าความสามารถในการละลาย (meltability) โดยคิดเป็นพื้นที่ในการละลายของชีสที่เพิ่มขึ้น ชีสในแต่ละตัวอย่างทดลอง มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสติ ($P<0.05$) โดยตัวอย่างที่ใส่ $CaCl_2$ และ KCl ให้ค่าการละลายมากที่สุด เท่ากับ 79.89±1.40 และ 74.10±2.77% ตามลำดับ ($p>0.05$) รองลงมาคือ NaCl เท่ากับ 65.02±4.29% และตัวอย่างควบคุมให้ค่าการละลายน้อยที่สุด เท่ากับ 47.67±3.85% ส่วนการวัดระยะทางการไหลของชีส (flowability) พบว่าชีสในแต่ละตัวอย่างทดลองมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสติ ($P<0.05$) ตัวอย่างที่ใส่ KCl มีค่ามากที่สุด ($p<0.05$) เท่ากับ 13.5±0.89 ซม. ตัวอย่างควบคุมมีค่าน้อยที่สุด ($p<0.05$) เท่ากับ 5.77±0.38 ซม. ตัวอย่างที่ใส่ NaCl และ $CaCl_2$ มีค่าแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) เท่ากับ 8.17±0.35 และ 8.57±1.10 ซม. ตามลำดับ และความสามารถในการยืดขยาย (Stretchability) พบว่าชีสในแต่ละตัวอย่างทดลองมีความแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) โดยตัวอย่างชีสที่ใส่ KCl, $CaCl_2$, NaCl และควบคุม มีค่าการยืดมากที่สุด เท่ากับ 5.40±0.49, 5.32±0.43, 5.13±0.31 และ 5.06±0.69 นิ้ว ตามลำดับ ซึ่งแต่ละตัวอย่างสอดคล้องกับงานวิจัยของ Kindstedt *et al.* (2004) กล่าวว่าคุณสมบัติหลังอบชีสควรยืดให้ได้อย่างน้อย 3 นิ้ว

Table 2 Meltability, flowability and stretchability

Treatment	Meltability (%)	Flowability (cm)	Stretchability (inch)^{ns}
Control	47.67±3.85^{c}	5.77±0.38^{c}	5.06±0.69
NaCl	65.02±4.29^{b}	8.17±0.35^{b}	5.13±0.31
$CaCl_2$	79.89±1.40^{a}	8.57±1.10^{b}	5.32±0.43
KCl	74.10±2.77^{a}	13.5±0.89^{a}	5.40±0.49

$^{a-c}$ Values in the same column followed by different letters are significantly different ($p \leq 0.05$).

จากการวิเคราะห์ปริมาณร้อยละผลผลิต จากการทดลองพบว่า ชีสในแต่ละตัวอย่างทดลองมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) โดยชีสที่ใส่ $CaCl_2$ ให้ปริมาณผลผลิตสูงที่สุด เท่ากับ 8.28% รองลงมาคือ ตัวอย่างควบคุมและ NaCl เท่ากับ 6.5 และ 6.64% ตามลำดับ และชีสที่ใส่ KCl เท่ากับ 5.26% ดัง Table 3 จะเห็นว่าชีสที่ได้จะเป็นส่วนโปรตีนและไขมันนม ส่วนน้ำหนักที่หายไปเยอะจะเป็นเวย์โปรตีน ในตัวอย่างที่ใส่ $CaCl_2$ มีผลต่อการช่วยตกตะกอนโปรตีนนมมากที่สุด ช่วยในการแยกเวย์โดยการเพิ่ม syneresis ของอนุภาคเคิร์ด เนื่องจากแคลเซียมไอออนสามารถเกิดพันธะกับโมเลกุลของโปรตีนเกิดเป็นเส้นใยโปรตีนขึ้น (Lucey and Fox, 1993)

การเติม Ca^{2+} ช่วยลดศักยภาพพื้นผิวของพารา-เคซีนไมเซลล์ และ Ca^{2+} จับกับเคซีนไมเซลล์ ผ่านการเชื่อมโยงแบบไฟฟ้าสถิต หรือการจับโดยตรงกับกลุ่มกรดคาร์บอกซิลิกของ α-เคซีนและ β-เคซีน (Asp, Glu) ซึ่งจะทำให้ประจุเป็นกลาง และเป็นผลการรวมตัวที่เพิ่มขึ้นของไมเซลล์ (Dalgleish, 1983) การเติมแคลเซียมช่วยเพิ่มปฏิกิริยาระหว่างเคซีนไมเซลล์ เกิดการปล่อยโมเลกุลของน้ำออกจากโครงสร้าง ทำให้โครงสร้างของชีสแข็งแรงและหนาแน่นขึ้น (Luo *et al*., 2013) สอดคล้องกับงานวิจัยของ Ustunol and Hicks (1990) เติมแคลเซียมเพื่อเพิ่มการเชื่อมโยงแคลเซียมระหว่างเคซีนไมเซลล์ และช่วยกักเก็บไขมันในระหว่างการผลิตเคิร์ดชีส เช่นเดียวกับการศึกษาของ Wolfschoon-Pombo (1997) ที่เติมแคลเซียมคลอไรด์ลงในนมชีสระหว่างการทำชีสเพื่อช่วยให้โปรตีนจับตัวกันเป็นก้อน ปรับปรุงกระบวนการผลิตชีส หรือเพิ่มผลผลิตด้วยการเติมแคลเซียมซึ่งเติมในช่วง 0–0.5 g/L

Table 3 Yield

Treatment	%Yield
Control	6.51^{b}
NaCl	6.64^{b}
$CaCl_2$	8.28^{a}
KCl	5.26^{c}

$^{a-c}$ Values in the same column followed by different letters are significantly different ($p \leq 0.05$).

ในการวิเคราะห์สมบัติทางเนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์มอลซาเรลล่าชีส แสดงใน Table 4 จะเห็นได้ว่า เกลือมีผลต่อ hardness และ resilience อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) ตัวอย่างชีสที่ใส่ $CaCl_2$ มีความแข็งและการยืดหยุ่นสูงที่สุด เพราะแคลเซียมมีผลต่อความแข็ง เนื่องจากปริมาณเคซีนที่แยกตัวออก (degree of casein dissociation) จากการเกิดพันธะระหว่างแคลเซียมและโปรตีน ทำให้โมเลกุลจับตัวกันแน่นส่งผลให้ความแข็งเพิ่มขึ้น (Cavalier and Cheftel, 1991) ตัวอย่างชีสที่ใส่ NaCl มีความแข็งและความยืดหยุ่นต่ำ เนื่องจากโซเดียมไอออนสามารถแย่งจับกับโปรตีนได้เช่นเดียวกับแคลเซียมไอออน แต่ไม่สามารถทำให้โปรตีนเกิดโครงสร้างที่แข็งแรง (Lucey and Fox, 1993) สอดคล้องกับการศึกษาของ Cruz *et al*. (2011) พบว่า KCl (โปแตสเซียมคลอไรด์) มีผลลัพธ์ที่มีนัยสำคัญมากกว่า NaCl ในด้านรีโอโลยีความเสถียรของผลิตภัณฑ์ขั้นสุดท้าย

Table 4 Rheological properties

Treatment	Hardness (N)	Resilience
Control	1.64±0.04[d]	0.16±0.01[d]
NaCl	3.62±0.30[c]	0.23±0.01[c]
$CaCl_2$	9.28±0.30[a]	0.83±0.02[a]
KCl	4.49±0.06[b]	0.35±0.01[b]

[a-d] Values in the same column followed by different letters are significantly different ($p \leq 0.05$).

จากการทดสอบทางประสาทสัมผัสดัง Table 5 พบว่าตัวอย่างควบคุม และตัวอย่างชีสที่ใส่ NaCl, $CaCl_2$ KCl ให้ลักษณะทางประสาทสัมผัสด้านลักษณะปรากฏ สี กลิ่น การยืด ความหนืบ รสชาติ และความชอบโดยรวม มีคะแนนทางประสาทสัมผัสที่ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิต ($p > 0.05$) สอดคล้องกับการศึกษาของ Ayyash *et al*. (2013) พบว่ามอสเซเรลล่าชีสที่เติมเกลือ NaCl/KCl มีคุณสมบัติทางประสาทสัมผัสเหมือนกัน เมื่อเปรียบเทียบกับกลุ่มควบคุม ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) เนื่องจากเกลือช่วยในการตกตะกอนและดึงน้ำออก แต่เมื่อได้รับความร้อนทำให้โปรตีนเสื่อมสภาพจึงไม่มีผลต่อการประสาทสัมผัส

Table 5 Sensory test

Treatment	Appearance[ns]	Color[ns]	Odor[ns]	Stretching[ns]	Toughness[ns]	Flavor[ns]	Overall liking[ns]
Control	6.76±0.25	6.6±0.25	6.24±0.24	5.92±0.25	6.14±0.26	6.24±0.25	6.42±0.21
NaCl	6.78±0.26	6.66±0.26	6.36±0.26	6.00±0.29	6.46±0.28	6.52±0.27	6.50±0.26
$CaCl_2$	6.98±0.40	6.88±0.26	6.72±0.24	6.16±0.29	6.66±0.28	6.44±0.27	6.62±0.25
KCl	7.06±0.28	7.02±0.50	7.62±1.00	6.34±0.30	6.50±0.29	6.58±0.32	6.66±0.29

[ns] no significant difference ($p > 0.05$)

การตรวจสอบคุณสมบัติทางด้านลักษณะในการละลาย รอยพอง สีของรอยพอง ปริมาณของน้ำมันอิสระ และลักษณะการยืดขยาย ดังแสดงใน Figure 1 ในตัวอย่างชีสที่ใส่ NaCl มีลักษณะหลอมละลายน้อยกว่าตัวอย่างอื่น ๆ มีรอยไหม้สีน้ำตาลทองที่ขอบเล็กน้อย ในตัวอย่างชีสที่ใส่ $CaCl_2$ มีลักษณะหลอมละลายได้ดี มีรอยพองเล็กน้อยบริเวณผิวหน้าและขอบ ซึ่งรอยพองมีสีน้ำตาลทอง มีน้ำมันออกมามากที่สุดที่ผิวหน้าและบริเวณรอบ ๆ เนื่องจาก Ca^{2+} สามารถกักเก็บปริมาณไขมันให้ตกตะกอนพร้อมกับเคซีนได้มากที่สุด ในส่วนตัวอย่างชีสที่ใส่ KCl ลักษณะหลอมละลายเกิดได้ดี ไม่เกิดรอยไหม้ เกิดสีเหลืองทองเข้มบริเวณขอบ มีปริมาณน้ำมันออกมาเล็กน้อย และในตัวอย่างควบคุมลักษณะการหลอมละลายเกิดได้ไม่ดี ที่บริเวณขอบเกิดรอยไหม้สีน้ำตาลมากที่สุด เกิดการพองบริเวณผิวหน้าและมีหยดน้ำมันเล็กน้อย

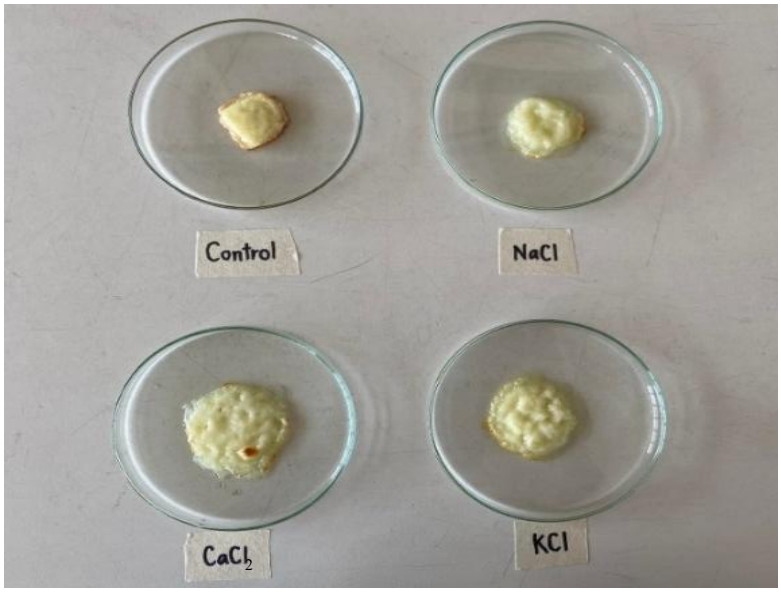


Figure 1 Mozzarella cheese after baking

สรุปผลการวิจัย

การใส่ $CaCl_2$ ในการผลิตมอสซาเรลล่าชีสช่วยเพิ่มปริมาณร้อยละผลผลิต ชีสที่ได้มีความชื้นต่ำที่สุด ความแข็ง และการยืดหยุ่นสูงที่สุด การใส่เกลือต่างชนิดกันไม่มีผลต่อคุณภาพทางประสาทสัมผัส

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณสาขาวิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร คณะวิศวกรรมและอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยแม่โจ้ จังหวัดเชียงใหม่ ที่เอื้อเฟื้อสถานที่ในการทำวิจัยครั้งนี้

เอกสารอ้างอิง

Ayyash, M.M., F. Sherkat and N.P. Shah. 2013. Effect of partial NaCl substitution with KCl on the texture profile, microstructure, and sensory properties of low-moisture Mozzarella cheese. **Journal of Dairy Research** 80(1): 7–13. https://doi.org/10.1017/S002202991200043X

Belitz, H.D. and W. Grosch. 1999. Aroma Substances. pp. 319-377. *In* Belitz, H.D. and W. Grosch (Eds.). **Food Chemistry**. Heidelberg: Springer.

Buriti, F.C., J.S. Da Rocha and S.M. Saad. 2005. Incorporation of *Lactobacillus acidophilus* in Minas fresh cheese and its implications for textural and sensorial properties during storage. **International Dairy Journal** 15(12): 1279–1288.

Cavalier-Salou, C. and J.C. Cheftel. 1991. Emulsifying salts influence on characteristics of cheese analogs from calcium caseinate. **Journal of Food Science** 56(6): 1542–1547.

Costa, R.G.B., R.C. Alves, da Cruz, A.G. Sobral, V.A.M.D. Teodoro, L.C.G.C. Junior and E.M. Miguel. 2018. Manufacture of reduced-sodium Coalho cheese by partial replacement of NaCl with KCl. **International Dairy Journal** 87: 37–43.

Costa, R.G.B., A.C. Junior, A.G. da Cruz, D. Sobral, L.C.G.C. Júnior, J.C.J. de Paula and V.A.M. Teodoro. 2019. Effect of partial replacement of sodium chloride with potassium chloride on the characteristics of Minas Padrão cheese. **International Dairy Journal** 91: 48–54.

Cruz, A.G., J.A Faria, M.A. Pollonio, H.M. Bolini, R.M. Celeghini, D. Granato and N.P. Shah. 2011. Cheeses with reduced sodium content: effects on functionality, public health benefits and sensory properties. **Trends in Food Science and Technology** 22(6): 276–291.

Dalgleish, D.G. 1983. Coagulation of renneted bovine casein micelles: dependence on temperature, calcium ion concentration and ionic strength. **Journal of Dairy Research** 50(3): 331–340.

Fife, R.L., D.J. McMahon and C.J. Oberg. 2002. Test for measuring the stretchability of melted cheese. **Journal of Dairy Science** 85(12): 3539–3545.

Fitzgerald, E. and J. Buckley. 1985. Effect of total and partial substitution of sodium chloride on the quality of Cheddar cheese. **Journal of Dairy Science** 68(12): 3127–3134.

Fox, P.F., P.L. McSweeney, T.M. Cogan and T.P. Guinee. 2004. **Cheese: Chemistry Physics and Microbiology Volume 1: General Aspects.** Burlington: Academic Press Burlington. 640 p.

Fox, P.F., T.P. Guinee, T.M. Cogan and P.L. McSweeney. 2017. Starter Cultures. pp. 121–183. *In* Fox, P.F., T.P. Guinee, T.M. Cogan and P.L. McSweeney (Eds.). **Fundamentals of Cheese Science.** New York: Springer Science+Business Media LLC.

Guinee, T.P. and P.F. Fox. 2017. Salt in cheese: Physical, Chemical and Biological Aspects pp. 317-375. *In* Guinee, T.P. and P.F. Fox (Eds.). **Cheese.** London: Academic Press.

Hokes, J.C., M.E. Mangino and P.M.T. Hansen. 1982. A model system for curd formation and melting properties of calcium caseinates. **Journal of Food Science** 47(4): 1235–1249.

Johnson, B., J. Muller, B. Gregersen and J. Orozco. 2009. Pitfalls and opportunities in knowledge sharing: experiences from a research capacity building project in Central America. **International Journal of Technological Learning, Innovation and Development** 2(4): 250–273.

Kindstedt, P., M. Carić and S. Milanović. 2004. Pasta-filata Cheeses. Vol. 2. pp. 251–277. *In* Kindstedt, P., M. Carić and S. Milanović (Eds.). **Cheese: Chemistry, Physics and Microbiology**. London: Academic Press.

Kosikowski, F.V. and V.V. Mistry. 1997. **Cheese and Fermented Milk Foods**. Volume 1: Origins and Principles (Ed. 3). Westport, CT: F.V. Kosikowski. 739 pp.

Lucey, J.A. and P.F Fox. 1993. Importance of calcium and phosphate in cheese manufacture: a review. **Journal of Dairy Science** 76(6): 1714–1724.

Luo, J., T. Pan, H.Y. Guo and F.Z. Ren. 2013. Effect of calcium in brine on salt diffusion and water distribution of Mozzarella cheese during brining. **Journal of Dairy Science** 96(2): 824–831.

Ministry of Public Health. 2000. **Announcement of the Ministry of Public Health (No. 209), B.E. 2000 Subject.** Bangkok: Ministry of Public Health. 854 p. [in Thai]

Mizuno, R. and J.A. Lucey. 2005. Effects of two types of emulsifying salts on the functionality of nonfat pasta filata cheese. **Journal of Dairy Science** 88(10): 3411–3425.

Oberg, C.J., R.K. Merrill, R.J. Brown and G.H. Richardson. 1992. Effects of milk-clotting enzymes on physical properties of Mozzarella cheese. **Journal of Dairy Science** 75(3): 669–675.

Ong, L., R.R. Dagastine, S.E. Kentish and S.L. Gras. 2013. The effect of calcium chloride addition on the microstructure and composition of Cheddar cheese **International Dairy Journal** 33(2): 135–141.

Pastorino, A.J., C.L. Hansen and D.J. McMahon. 2003. Effect of salt on structure-function relationships of cheese. **Journal of Dairy Science** 86(1): 60–69.

Rizvi, S.S., A. Shukla and J. Srikiatden. 1999. **U.S. Patent No. 5,925,398**. Washington, DC: U.S. Patent and Trademark Office. 571 p.

Thibaudeau, E., D. Roy and D. St-Gelais. 2015. Production of brine-salted Mozzarella cheese with different ratios of NaCl/KCl. **International Dairy Journal** 40: 54–61. https://doi.org/10.1016/j.idairyj.2014.07.013

USDA (United States Department of Agriculture). 1980. **USDA specifications for Mozzarella cheese**. [Online]. Available http://www.ams.usda.gov/dairy/mozz.pdf. (September 22, 2022).

USDA (United States Department of Agriculture). 2001. **USDA specifications for loaf and shredded lite Mozzarella cheese**. [Online]. Available http://www.ams.usda.gov/dairy/shreddedlitemozz_03-01-2001.pdf (September 22, 2022).

Ustunol, Z. and C.L. Hicks. 1990. Effect of calcium addition on yield of cheese manufactured with *Endothia parasitica* protease. **Journal of Dairy Science** 73(1): 17–25.

Wang, W., P.S. Kindstedt, J.A. Gilmore and M.R. Guo. 1998. Changes in the composition and meltability of Mozzarella cheese during contact with pizza sauce. **Journal of Dairy Science** 81(3): 609–614.

Whitney, R.M. 1988. Proteins of Milk. pp. 81-169. *In* Whitney, R.M. (Ed.). **Fundamentals of Dairy Chemistry.** Boston: Springer.

Wolfschoon-Pombo, A.F. 1997. Influence of calcium chloride addition to milk on the cheese yield. **International Dairy Journal** 7(4): 249–254.

Journal of Agri. Research & Extension 42(3): 173-188

การพัฒนาศักยภาพนักวิชาการส่งเสริมการเกษตรด้านการจัดการศัตรูพืช และการดำเนินงานคลินิกพืชระดับพื้นที่ของกรมส่งเสริมการเกษตร

Capacity Development of Agricultural Extension Officers in Pest Management and the Implementation of Local Plant Clinics Department of Agricultural Extension

จุฬาภรณ์ นกสกุล* ชิดชนก ไชยพงษ์ และอภิญญา เย็นสบาย

Chulaporn Noksakul*, Chidchanok Chaiyapong and Apinya Yensabai

กลุ่มส่งเสริมการวินิจฉัยศัตรูพืช กองส่งเสริมการอารักขาพืชและจัดการดินปุ๋ย กรมส่งเสริมการเกษตร กรุงเทพฯ 10900

Pest Diagnosis Promotion Group, Plant Protection Promotion and Soil-Fertilizer Management Division

Department of Agricultural Extension, Bangkok, Thailand 10900

*Corresponding author: 55julaporn@gmail.com

Received: *May 27, 2025*
Revised: *September 30, 2025*
Accepted: *October 30, 2025*

Abstract

This study aimed to examine the capacity of agricultural extension officers in pest management, analyze the problems and severity of issues faced by farmers, develop the potential of agricultural extension officers, and evaluate the success of plant clinic operations by the Department of Agricultural Extension's plant clinic operations. A mixed-method research design was employed, including a questionnaire, in-depth interview forms, and document analysis. The study was conducted between 2018 and 2024. The findings revealed that most agricultural extension officers lacked foundational knowledge in plant protection with an average of only 2.93 years of experience. Their knowledge and competency were rated at a moderate level and they lacked confidence in diagnosing pest problems. Meanwhile, farmers facing recurring pest outbreaks relied heavily on chemical use, and incurred high production costs. Training was provided to 1,072 agricultural extension officers which led to a statistically significant improvement in knowledge, positive behavioral changes, and effective knowledge transfer to farmers. Currently, 968 plant clinics are in operation. A case study in Phra Nakhon Si Ayutthaya Province showed that farmers had a high level of knowledge regarding pests and pest management, as well as a positive attitude toward adopting the pest management practices recommended by the plant clinics. Meanwhile, their actual behavior in following the

recommendations was at a moderate level. Rice yields increased from 620 to 780 kilograms per rai and income rose from 3,519 to 4,793 baht per rai. Despite the increasing costs of biological control products, the overall returns had clearly increased.

Keywords: capability development, plant clinic, pest management, agricultural extension

บทคัดย่อ

การศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาศักยภาพของนักวิชาการส่งเสริมการเกษตรด้านการจัดการศัตรูพืช วิเคราะห์ปัญหาและระดับปัญหาของเกษตรกร พัฒนาศักยภาพนักวิชาการส่งเสริมการเกษตร และประเมินผลสำเร็จการดำเนินงานคลินิกพืชของกรมส่งเสริมการเกษตร โดยใช้ระเบียบวิธีวิจัยเชิงผสมผสาน ได้แก่ แบบสอบถาม สัมภาษณ์เชิงลึก และการวิเคราะห์เอกสาร ดำเนินการศึกษาระหว่างปี พ.ศ. 2561–2567 ผลการศึกษาพบว่านักวิชาการส่งเสริมการเกษตรส่วนใหญ่ไม่มีพื้นฐานความรู้ด้านอารักขาพืช มีประสบการณ์เฉลี่ยเพียง 2.93 ปี ความรู้และความสามารถอยู่ในระดับปานกลาง และขาดความมั่นใจในการวินิจฉัยศัตรูพืช ขณะที่เกษตรกรเผชิญปัญหาการระบาดซ้ำซาก ใช้สารเคมีเป็นหลัก และมีค่าใช้จ่ายสูง การอบรมนักวิชาการส่งเสริมการเกษตร จำนวน 1,072 ราย ส่งผลให้ความรู้เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ เกิดการเปลี่ยนแปลงพฤติกรรมในทางที่ดี และสามารถถ่ายทอดความรู้สู่เกษตรกรได้อย่างมีประสิทธิภาพ ปัจจุบันมีการให้บริการคลินิกพืช จำนวน 968 แห่ง ผลสำเร็จการดำเนินงานกรณีศึกษาจังหวัดพระนครศรีอยุธยา พบว่าเกษตรกรมีความรู้เกี่ยวกับศัตรูพืชและการจัดการ ทัศนคติต่อการจัดการศัตรูพืชตามคำแนะนำของคลินิกพืช อยู่ในระดับมาก ในขณะที่พฤติกรรมการปฏิบัติตามคำแนะนำของคลินิกพืชอยู่ระดับปานกลาง ผลผลิตข้าวเพิ่มขึ้นจาก 620 เป็น 780 กิโลกรัมต่อไร่ รายได้เพิ่มจาก 3,519 เป็น 4,793 บาทต่อไร่ แม้ต้นทุนชีวภัณฑ์จะเพิ่มขึ้น แต่ผลตอบแทนโดยรวมสูงขึ้นอย่างชัดเจน

คำสำคัญ: การพัฒนาศักยภาพ คลินิกพืช การจัดการศัตรูพืช นักวิชาการส่งเสริมการเกษตร

คำนำ

การผลิตพืชทั่วโลกต้องเผชิญกับความสูญเสียจากการระบาดของศัตรูพืชอย่างหลีกเลี่ยงไม่ได้ และยิ่งทวีความรุนแรงจากการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ เนื่องจากศัตรูพืชบางชนิดสามารถปรับตัว แพร่กระจาย หรือเพิ่มระดับความรุนแรงของการระบาดในพื้นที่ใหม่ได้ (Caffarra *et al.,* 2012) โดยที่การเพาะปลูกพืชของเกษตรกรส่วนใหญ่ยังคงพึ่งพาการใช้สารเคมีในการจัดการศัตรูพืชเป็นหลัก ส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมและศัตรูธรรมชาติ (Praneetwatkul *et al*., 2017) ซึ่งในต่างประเทศ เช่น Malawi, Costa Rica และ Nepal ประสบความสำเร็จในการนำกลไกคลินิกพืชระดับพื้นที่มาใช้เพื่อแก้ปัญหาให้กับเกษตรกร โดยเน้นการจัดการสุขภาพพืชอย่างเป็นระบบ ผ่านการวินิจฉัยอาการผิดปกติของพืช การให้คำปรึกษาด้านศัตรูพืชและโรคพืชบนพื้นฐานหลักวิชาการ และการส่งเสริมแนวทางการจัดการศัตรูพืชแบบผสมผสาน สามารถจัดการศัตรูพืชและช่วยลดการใช้สารเคมีที่เกินความจำเป็นได้ (Bentley *et al*., 2018) แม้ว่า กรมส่งเสริมการเกษตรจะมีบทบาทในการสนับสนุนการจัดการศัตรูพืชแก่เกษตรกร มีโครงสร้างหน่วยงานภายในครอบคลุมทั้งระดับส่วนกลาง ภูมิภาค จังหวัด และอำเภอ แต่กลับมีข้อจำกัดด้านศักยภาพของนักวิชาการส่งเสริมการเกษตรที่ปฏิบัติงานอยู่ตามหน่วยงานเหล่านั้น เนื่องจากนักวิชาการส่งเสริมการเกษตรที่มีประสบการณ์เกษียณอายุราชการจำนวนมาก นักวิชาการส่งเสริมการเกษตรรุ่นใหม่ที่เข้ามาทดแทนส่วนใหญ่ไม่มีพื้นฐาน

ความรู้ด้านการผลิตพืชและการจัดการศัตรูพืช อีกทั้งการให้บริการเกษตรกรด้านการจัดการศัตรูพืช ยังไม่มีการนำกลไกการให้บริการเกษตรกรในรูปแบบของคลินิกพืชมาใช้เพื่อแก้ปัญหาศัตรูพืชให้กับเกษตรกรในระดับพื้นที่อย่างเป็นระบบ ไม่ว่าจะเป็นโครงสร้างการให้บริการ กระบวนการทำงาน มาตรฐานการบริการ และการเชื่อมโยงเครือข่ายการทำงาน ดังนั้น งานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาศักยภาพการปฏิบัติงานด้านจัดการศัตรูพืชของนักวิชาการส่งเสริมการเกษตร ปัญหาและระดับของปัญหาด้านการจัดการศัตรูพืชของเกษตรกรในพื้นที่พัฒนาศักยภาพของนักวิชาการส่งเสริมการเกษตรของกรมส่งเสริมการเกษตร ให้มีความรู้และความสามารถในการวินิจฉัยและจัดการศัตรูพืชเพื่อปฏิบัติงานในฐานะหมอพืช ตลอดจนประเมินผลสำเร็จของการดำเนินงานคลินิกพืช โดยใช้พื้นที่จังหวัดพระนครศรีอยุธยาเป็นกรณีศึกษา เพื่อสะท้อนให้เห็นถึงประสิทธิภาพการแก้ปัญหาด้านศัตรูพืชด้วยกลไกการให้บริการคลินิกพืชของกรมส่งเสริมการเกษตร โดยดำเนินการศึกษาในช่วงปี พ.ศ. 2561–2567

วิธีดำเนินการวิจัย

การวิจัยครั้งนี้เป็นการวิจัยเชิงผสมผสาน (mixed method research) ประกอบด้วยการเก็บข้อมูลเชิงปริมาณและเชิงคุณภาพ โดยกำหนดระเบียบวิธีวิจัย ดังนี้

ประชากรและกลุ่มตัวอย่าง

1. การวิเคราะห์ปัญหาของนักวิชาการส่งเสริมการเกษตรและเกษตรกร

กลุ่มที่ 1 นักวิชาการส่งเสริมการเกษตร สังกัดกรมส่งเสริมการเกษตร จำนวนประชากรทั้งหมดทั่วประเทศ จำนวน 4,570 ราย (DOAE, 2017) เก็บข้อมูลเชิงปริมาณโดยกำหนดขนาดกลุ่มตัวอย่างโดยใช้สูตรของ Yamane (Niyomangkul, 2013) ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ได้ขนาดกลุ่มตัวอย่างที่เหมาะสม จำนวน 368 ราย ใช้วิธีการสุ่มแบบแบ่งชั้น (stratified sampling) และสุ่มอย่างง่าย (simple random sampling) ตามสัดส่วนของแต่ละชั้น จากนั้นผู้วิจัยส่งแบบสอบถามทางอีเมลให้กลุ่มตัวอย่าง รวบรวมจนครบตามจำนวน และเก็บข้อมูลเชิงคุณภาพโดยสุ่มแบบเฉพาะเจาะจง (purposive sampling) เป็นนักวิชาการส่งเสริมการเกษตร สังกัดกลุ่มอารักขาพืช สำนักงานเกษตรจังหวัด จาก 18 จังหวัด ได้แก่ จังหวัดพระนครศรีอยุธยา ลพบุรี นครปฐม ราชบุรี นครนายก ฉะเชิงเทรา ขอนแก่น หนองคาย นครราชสีมา บุรีรัมย์ นครศรีธรรมราช สุราษฎร์ธานี ตรัง สตูล เชียงราย ลำปาง กำแพงเพชร และแพร่ รวม 18 ราย โดยใช้วิธีการสัมภาษณ์

กลุ่มที่ 2 เกษตรกร เก็บข้อมูลเชิงปริมาณโดยกำหนดขนาดกลุ่มตัวอย่างที่ไม่สามารถระบุจำนวนประชากรได้แน่ชัด โดยใช้สูตรของ Cochran (Niyomangkul, 2013) ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ได้ขนาดกลุ่มตัวอย่าง 385 ราย ดำเนินการสุ่มแบบกลุ่ม (cluster sampling) โดยแบ่งพื้นที่ประเทศไทยออกเป็น 9 ภูมิภาค และสุ่มเลือก 2 จังหวัด รวมทั้งสิ้น 18 จังหวัด ได้แก่ จังหวัดพระนครศรีอยุธยา ลพบุรี นครปฐม ราชบุรี นครนายก ฉะเชิงเทรา ขอนแก่น หนองคาย นครราชสีมา บุรีรัมย์ นครศรีธรรมราช สุราษฎร์ธานี ตรัง สตูล เชียงราย ลำปาง กำแพงเพชร และแพร่ กำหนดจำนวนกลุ่มตัวอย่างจังหวัดละ 21–22 ราย และสุ่มเกษตรกรในแต่ละจังหวัดด้วยวิธีสุ่มอย่างง่าย (simple random sampling) ให้ครบตามจำนวนที่กำหนด ใช้วิธีสอบถามเกษตรกรเป็นรายบุคคลจนครบตามจำนวน และเก็บข้อมูลเชิงคุณภาพโดยสุ่มแบบเฉพาะเจาะจง (purposive sampling) เป็นประธานศูนย์จัดการศัตรูพืชชุมชน จำนวน 18 ราย ใช้วิธีการสัมภาษณ์ในการเก็บข้อมูล

2. ประเมินผลผู้เข้ารับการอบรมพัฒนาศักยภาพเจ้าหน้าที่ ปีงบประมาณ พ.ศ. 2562–2564 จำนวนประชากรทั้งหมดทั่วประเทศ 1,072 ราย ผู้เข้ารับการอบรมทำแบบทดสอบประเมินความรู้ก่อนและหลังการอบรมทุกราย จากนั้นกำหนดจำนวนตัวอย่างเพื่อประเมินพฤติกรรมก่อนและหลังการอบรมแล้ว 3 เดือน ด้วยการประเมิน 360 องศาจากผู้บังคับบัญชา เพื่อนร่วมงาน และตัวผู้เข้ารับการ

อบรม ใช้สูตรของ Yamane (Niyomangkul, 2013) ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ได้จำนวนตัวอย่างปี พ.ศ. 2562 จำนวน 172 ราย ปี พ.ศ. 2563 จำนวน 166 ราย และปี พ.ศ. 2564 จำนวน 220 ราย รวม 558 ราย โดยในแต่ละปีจะใช้วิธีการสุ่มแบบแบ่งกลุ่ม (cluster sampling) ตามต้นสังกัดของผู้เข้ารับการอบรมใน 77 จังหวัด ทำการจัดสรรจำนวนตัวอย่างตามสัดส่วนของแต่ละชั้น และสุ่มตัวอย่างจากแต่ละกลุ่มโดยใช้วิธีการสุ่มอย่างง่าย (simple random sampling) ให้ครบตามจำนวน อย่างไรก็ตาม เพื่อให้ได้แบบสอบถามประเมินพฤติกรรมก่อนและหลังการอบรมครบตามจำนวนตัวอย่างที่กำหนด ผู้วิจัยจึงประสานงานส่งแบบสอบถามให้ประชากรทั้งหมดในรูปแบบหนังสือราชการและอีเมล และได้แบบสอบถามที่ครบถ้วนสมบูรณ์ครบตามจำนวนที่สามารถนำมาวิเคราะห์ผลต่อได้

3. ประเมินผลสำเร็จจากเกษตรกรผู้ใช้บริการคลินิกพืชจังหวัดพระนครศรีอยุธยาปี พ.ศ. 2566–2567 จำนวนประชากร 151 ราย เก็บข้อมูลเชิงปริมาณ โดยเก็บข้อมูลประชากรทั้งหมดด้วยวิธีสอบถามเกษตรกรเป็นรายบุคคลจนครบตามจำนวน และเก็บข้อมูลเชิงคุณภาพจากการสุ่มแบบเฉพาะเจาะจง (purposive sampling) เป็นเกษตรกรผู้นำชุมชนหรือผู้นำกลุ่มที่ใช้บริการคลินิกพืช จำนวน 10 ราย ด้วยวิธีการสัมภาษณ์

เครื่องมือ

1. แบบสอบถามนักวิชาการส่งเสริมการเกษตรแบบมีโครงสร้าง (structural questionnaire) เกี่ยวกับการปฏิบัติงานด้านการจัดการศัตรูพืช ประกอบด้วย ข้อมูลทั่วไป แบบทดสอบความรู้แบบ true-false test และแบบประเมินการปฏิบัติงานด้านจัดการศัตรูพืช เป็นข้อคำถามเป็นแบบมาตราส่วนประมาณค่า 5 ระดับ ได้แก่ ระดับมากที่สุด (5 คะแนน) ไปจนถึงระดับน้อยที่สุด (1 คะแนน) (Niyomangkul, 2013)

2. แบบสัมภาษณ์นักวิชาการส่งเสริมการเกษตรแบบกึ่งโครงสร้าง (semi-structural interview form) เกี่ยวกับหน้าที่ความรับผิดชอบในการส่งเสริมการเกษตร ปัญหาการส่งเสริมการจัดการศัตรูพืช และข้อเสนอแนะเพื่อให้เกิดการพัฒนาการส่งเสริมด้านการจัดการศัตรูพืช

3. แบบสัมภาษณ์เกษตรกรแบบมีโครงสร้าง (structural questionnaire) เกี่ยวกับปัญหาการจัดการศัตรูพืช ประกอบด้วย ข้อมูลส่วนบุคคล ข้อมูลด้านเศรษฐกิจ และระดับปัญหาการระบาดและการจัดการศัตรูพืช เป็นข้อคำถามเป็นแบบมาตราส่วนประมาณค่า 3 ระดับ ได้แก่ ระดับมาก (3 คะแนน) ไปจนถึงระดับน้อย (1 คะแนน) (Niyomangkul, 2013)

4. แบบสัมภาษณ์เกษตรกรแบบกึ่งโครงสร้าง (semi-structural interview form) สำหรับสัมภาษณ์เชิงลึกเกี่ยวกับปัญหาศัตรูพืชที่พบ การจัดการศัตรูพืชที่ดำเนินการ ความต้องการแก้ปัญหาด้านศัตรูพืช

5. แบบทดสอบความรู้นักวิชาการส่งเสริมการเกษตรผู้เข้ารับการอบรมพัฒนาศักยภาพ เป็นแบบทดสอบแบบปรนัย มีคำตอบที่ถูกต้องเพียงคำตอบเดียว จำนวน 45 ข้อ

6. แบบประเมินพฤติกรรมของนักวิชาการส่งเสริมการเกษตร ประกอบด้วย ด้านเทคนิค ทัศนคติ การสื่อสาร และการนำไปใช้/ปฏิบัติจริง ข้อคำถามเป็นแบบมาตราส่วนประมาณค่า 5 ระดับ ได้แก่ ระดับมากที่สุด (5 คะแนน) ไปจนถึงระดับน้อยที่สุด (1 คะแนน) (Niyomangkul, 2013)

7. แบบสัมภาษณ์เกษตรกรผู้ใช้บริการคลินิกพืชของจังหวัดพระนครศรีอยุธยา ประกอบด้วย ด้านความรู้ ทัศนคติ และการปฏิบัติ ข้อคำถามเป็นแบบมาตราส่วนประมาณค่า โดยด้านความรู้ 3 ระดับ ได้แก่ ระดับมาก (3 คะแนน) ไปจนถึงระดับน้อย (1 คะแนน) ด้านทัศนคติ 5 ระดับ ได้แก่ ระดับมากที่สุด (5 คะแนน) ไปจนถึงระดับน้อยที่สุด (1 คะแนน) และด้านการปฏิบัติ 3 ระดับ ได้แก่ ระดับมาก (3 คะแนน) ไปจนถึงระดับน้อย (1 คะแนน) (Niyomangkul, 2013)

8 . แบบสัมภาษณ์เกษตรกรแบบกึ่งโครงสร้าง (semi-structural interview form) สำหรับสัมภาษณ์เชิงลึกเกษตรกรผู้ใช้บริการคลินิกพืช จังหวัดพระนครศรีอยุธยา เกี่ยวกับการรับรู้ถึงการให้บริการและการรับบริการจากคลินิกพืช ความรู้ที่ได้ การปฏิบัติตามคำแนะนำ และผลที่เกิดจากการปฏิบัติตามคำแนะนำที่ได้รับจากคลินิกพืช

การแปลผลข้อมูล

เครื่องมือในข้อ 1 ประกอบด้วย แบบทดสอบความรู้นักวิชาการส่งเสริมการเกษตรแบบ true-false test กำหนดการแปลความหมาย 3 ระดับ คือ 17–24 คะแนน = ความรู้มาก 9–16 คะแนน = ความรู้ปานกลาง และ 0–8 คะแนน = ความรู้น้อย และแบบประเมินการปฏิบัติงานด้านจัดการศัตรูพืช กำหนดการแปลความหมาย 5 ระดับ คือ 4.21–5.00 = ปฏิบัติได้มากที่สุด 3.41–4.20 = ปฏิบัติได้มาก 2.61–3.40 = ปฏิบัติได้ปานกลาง 1.81–2.60 = ปฏิบัติได้น้อย และ 1.00–1.80 = ปฏิบัติได้น้อยที่สุด

เครื่องมือข้อ 3 ระดับปัญหาการระบาดและการจัดการศัตรูพืชของเกษตรกร กำหนดการแปลความหมาย 3 ระดับ คือ 2.34–3.00 = มีปัญหามาก 1.67–2.33 = มีปัญหาปานกลาง และ 1.00–1.66 = มีปัญหาน้อย

เครื่องมือข้อ 5 แบบทดสอบความรู้นักวิชาการส่งเสริมการเกษตรแบบปรนัย กำหนดการแปลความหมาย 3 ระดับ คือ 31–45 คะแนน = ความรู้มาก 16–30 คะแนน = ความรู้ปานกลาง และ 0–15 คะแนน = ความรู้น้อย

เครื่องมือข้อ 6 แบบประเมินพฤติกรรมของนักวิชาการส่งเสริมการเกษตร กำหนดการแปลความหมาย 5 ระดับ คือ 4.21–5.00 = เห็นด้วยมากที่สุด 3.41–4.20 = เห็นด้วยมาก 2.61–3.40 = เห็นด้วยปานกลาง 1.81–2.60 = เห็นด้วยน้อย และ 1.00–1.80 = เห็นด้วยน้อยที่สุด

เครื่องมือข้อ 7 ประกอบด้วย แบบสัมภาษณ์เกษตรกรผู้ใช้บริการคลินิกพืช ด้านความรู้ กำหนดการแปลความหมาย 3 ระดับ คือ 2.34–3.00 = ความรู้มาก 1.67–2.33 = ความรู้ปานกลาง และ 1.00–1.66 = ความรู้น้อย ด้านทัศนคติ กำหนดการแปลความหมาย 3 ระดับ คือ 3.67–5.00 = เห็นด้วยมาก 2.34–3.66 = เห็นด้วยปานกลาง และ 1.00–2.33 = เห็นด้วยน้อย และด้านการปฏิบัติ กำหนดการแปลความหมาย 3 ระดับ คือ 2.34–3.00 = ปฏิบัติมาก (สม่ำเสมอ) 1.67–2.33 = ปานกลาง (เป็นครั้งคราว) และ 1.00–1.66 = น้อย (นาน ๆ ครั้ง)

การทดสอบเครื่องมือก่อนนำไปใช้

เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัยได้ผ่านการตรวจสอบความตรงเชิงเนื้อหา (content validity) โดยผู้ทรงคุณวุฒิจำนวน 3 ท่าน และตรวจสอบค่าความเชื่อมั่น (reliability) โดยนำแบบสอบถามไปทดลองใช้กับนักวิชาการส่งเสริมการเกษตรหรือเกษตรกรที่ไม่ใช่กลุ่มตัวอย่าง จำนวน 30 ราย แล้วคำนวณหาค่าสัมประสิทธิ์ความเชื่อมั่นของครอนบาชส์อัลฟา (Cronbach's alpha coefficient) โดยยึดเกณฑ์ที่ยอมรับได้ไม่น้อยกว่า 0.70 (George and Mallery, 2003) ผลการทดสอบค่าความเชื่อมั่นของเครื่องมือแต่ละฉบับมีรายละเอียด ดังนี้ แบบทดสอบความรู้ของนักวิชาการส่งเสริมการเกษตรเกี่ยวกับการปฏิบัติงานด้านอารักขาพืช = 0.748 แบบสอบถามนักวิชาการส่งเสริมการเกษตรเกี่ยวกับระดับการปฏิบัติงานด้านการจัดการศัตรูพืช = 0.968 แบบสัมภาษณ์เกษตรกรเกี่ยวกับระดับปัญหาในการจัดการศัตรูพืช = 0.934 แบบทดสอบความรู้ของนักวิชาการส่งเสริมการเกษตรผู้เข้ารับการอบรมเพื่อพัฒนาศักยภาพ = 0.806 แบบประเมินพฤติกรรมของนักวิชาการส่งเสริมการเกษตรก่อนและหลังการอบรมแล้ว 3 เดือน = 0.919 แบบสัมภาษณ์เกษตรกรผู้ใช้บริการคลินิกพืชจังหวัดพระนครศรีอยุธยา ได้แก่ ด้านการประเมินความรู้ = 0.924 ด้านการประเมินทัศนคติ = 0.852 และด้านการประเมินพฤติกรรม = 0.820 ผลการตรวจสอบดังกล่าวแสดงว่าเครื่องมือทั้งหมดมีค่าความเชื่อมั่นอยู่ในระดับที่สามารถยอมรับได้ จึงสามารถนำไปใช้ในการรวบรวมข้อมูลจริงได้อย่างเหมาะสมสำหรับการวิเคราะห์ข้อมูล

การเก็บรวบรวมข้อมูล

1. แหล่งข้อมูลปฐมภูมิตามเครื่องมือที่กำหนด

2. แหล่งข้อมูลทุติยภูมิจากการศึกษา รวบรวมจากเอกสารคู่มือ และผลงานวิจัยต่าง ๆ เพื่อสร้างแนวทางการดำเนินงานคลินิกพืชของกรมส่งเสริมการเกษตร ดำเนินการระหว่างปี พ.ศ. 2561–2567

การวิเคราะห์ข้อมูล

1. การวิเคราะห์ข้อมูลเชิงปริมาณ ใช้สถิติเชิงพรรณนา (descriptive statistics) ได้แก่ ค่าความถี่ ร้อยละ ค่าเฉลี่ย และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน และใช้สถิติอนุมาน (inferential statistics) ได้แก่ การทดสอบค่าทีแบบจับคู่ (paired t-test) เพื่อเปรียบเทียบความแตกต่างก่อนและหลังการดำเนินงาน

2. การวิเคราะห์ข้อมูลเชิงคุณภาพ ทำการถอดความและวิเคราะห์เชิงเนื้อหา (content analysis) โดยจัดกลุ่มประเด็นตามหัวข้อ และวิเคราะห์เชิงบริบทเพื่อค้นหาแนวโน้ม ความคิด มุมมองของกลุ่มตัวอย่าง และการสังเคราะห์ข้อมูลจากเอกสารเพื่อจัดทำแนวทางการดำเนินงานคลินิกพืชของกรมส่งเสริมการเกษตร

ผลการวิจัย

การปฏิบัติงานของนักวิชาการส่งเสริมการเกษตรด้านการจัดการศัตรูพืช

พบว่านักวิชาการส่งเสริมการเกษตรมีอายุเฉลี่ย 37.47 ปี จบการศึกษาปริญญาตรีที่ไม่เกี่ยวข้องกับการผลิตพืชและการจัดการศัตรูพืชร้อยละ 50 มีประสบการณ์ทำงานเฉลี่ย 2.93 ปี มีความรู้ด้านการจัดการศัตรูพืชระดับปานกลางร้อยละ 57.71 การปฏิบัติงานด้านการจัดการศัตรูพืชอยู่ในระดับปานกลาง (ค่าเฉลี่ย 3.29) เมื่อพิจารณาเป็นรายด้านพบว่า อยู่ในระดับปานกลางทุกด้าน ได้แก่ การเก็บรวบรวมปัญหาศัตรูพืช (ค่าเฉลี่ย 3.39) การให้คำแนะนำเกษตรกร (ค่าเฉลี่ย 3.28) และการวิเคราะห์ข้อมูลหาสาเหตุอาการผิดปกติของพืช (ค่าเฉลี่ย 3.20) (Table 1) ปัญหาการปฏิบัติงาน คือ ขาดความรู้ด้านการวินิจฉัยและการจัดการศัตรูพืช (ร้อยละ 61.68) และขาดความมั่นใจในความถูกต้องของการวินิจฉัยและการให้คำแนะนำแก่เกษตรกร (ร้อยละ 18.75) และมีข้อเสนอแนวทางการเพิ่มประสิทธิภาพ คือ นักวิชาการส่วนใหญ่เห็นว่าควรมีการอบรมความรู้เพิ่มเติมในพื้นที่ (ร้อยละ 82.34)

Table 1 Performance levels of agricultural extension officers in pest management

Topic	Mean	S.D.	Interpretation
Data collection/Data gathering			
1) Observing or inquiring about plant symptoms from farmers	3.28	0.849	Moderate
2) Analyzing data to identify physical changes in plants	3.42	0.822	Moderate
3) Investigating the distribution and extent of symptoms in the field	3.35	0.774	Moderate
4) Investigating farmers' crop management practices (water, fertilizers, and agrochemicals)	3.36	0.836	Moderate
5) Investigating environmental conditions before the occurrence of symptoms	3.52	0.788	Moderate
Total	**3.39**	**0.814**	**Moderate**

Table 1 (Continued)

Topic	Mean	S.D.	Interpretation
Data analysis			
1) Identifying the relation among the issues presented in data collection/data gathering	3.10	0.828	Moderate
2) Hypothesizing causes of abnormal plant symptoms	2.99	0.955	Moderate
3) Verification was conducted using simple methods, supported by indicative evidence	3.32	0.745	Moderate
4) Reviewing information from authoritative and reliable sources	3.51	0.727	Moderate
5) Processing data to summarize the causes of symptoms	3.11	0.904	Moderate
Total	**3.20**	**0.832**	**Moderate**
Providing recommendations to farmers			
1) Providing answer with the most probable causes of symptoms, and explanations to farmer	3.22	0.808	Moderate
2) Providing recommendations for pest/disease management based on scientific principles to farmer	3.34	0.779	Moderate
Total	**3.28**	**0.794**	**Moderate**
Overall	**3.29**	**0.813**	**Moderate**

ปัญหาการจัดการศัตรูพืชของเกษตรกร

พบว่าเกษตรกรมีอายุเฉลี่ย 53.14 ปี จบการศึกษาระดับประถมศึกษาร้อยละ 51.43 ทำนาข้าวร้อยละ 39.48 พื้นที่การเกษตรเฉลี่ย 17.20 ไร่ มีรายได้จากภาคการเกษตรอยู่ที่ 5,001–10,000 บาทต่อเดือนร้อยละ 24.94 รองลงมาคือ 10,001–15,000 บาทต่อเดือน ร้อยละ 23.12 มีรายจ่ายภาคการเกษตรไม่เกิน 5,000 บาทต่อเดือน ส่วนใหญ่เป็นค่าปุ๋ย ฮอร์โมน อาหารเสริมพืช และวัสดุปรับปรุงดิน ร้อยละ 74.81 รองลงมาคือ ค่าสารเคมีป้องกันกำจัดศัตรูพืช ร้อยละ 11.69 พบการระบาดศัตรูพืชเกือบทุกเดือน โดยมีระดับความรุนแรงใกล้เคียงกับปีที่ผ่านมา ร้อยละ 55.32 ซึ่งเกษตรกรจะปรึกษากับนักวิชาการส่งเสริมการเกษตรมากที่สุด ร้อยละ 36.88 การแก้ปัญหาของเกษตรกรเน้นไปที่การใช้สารเคมีป้องกันกำจัดศัตรูพืช ร้อยละ 56.62 รองลงมาคือ ใช้ชีวภัณฑ์ร้อยละ 27.01 และผลการจัดการส่วนใหญ่ไม่สามารถจัดการศัตรูพืชได้ร้อยละ 53.77 ซึ่งระดับปัญหาการจัดการศัตรูพืชโดยรวมอยู่ในระดับปานกลาง (ค่าเฉลี่ย 1.67) เมื่อพิจารณาเป็นรายประเด็น พบว่าส่วนใหญ่อยู่ระดับปานกลาง คือ ต้นทุนค่าใช้จ่ายในการจัดการสูง ไม่คุ้มค่าการลงทุน (ค่าเฉลี่ย 1.78) เกษตรกรไม่ทราบสาเหตุ (ค่าเฉลี่ย 1.69) ศัตรูพืชมีการระบาดถี่มากขึ้น (ค่าเฉลี่ย 1.69) และเกษตรกรรู้วิธีควบคุมแต่ไม่สามารถปฏิบัติตามวิธีได้ (ค่าเฉลี่ย 1.68) (Table 2)

Table 2 Levels of pest problems and farmers' pest management practices

Topic	Mean	S.D.	Interpretation
Causes and trends of pest outbreaks			
1) Unable to determine cause of symptom.	1.69	0.829	Moderate
2) The frequency of outbreaks has increased.	1.69	0.839	Moderate
3) The severity tends to increase.	1.68	0.872	Moderate
4) New pest or unrecognized pests are increase.	1.65	0.904	Low
Total	**1.68**	**0.861**	**Moderate**
pest management practices of farmers			
1) Lack of knowledge on effective pest control methods	1.59	0.877	Low
2) Aware of pest control methods but unable to implement them	1.68	0.887	Moderate
3) Able to implement control methods, but high cost and ineffective cost	1.78	0.933	Moderate
4) Pest control methods are unsafe for crop, farmer's health, and the environment.	1.59	0.895	Low
Total	**1.66**	**0.898**	**Low**
Overall	**1.67**	**0.879**	**Moderate**

การสร้างแนวทางการดำเนินงานคลินิกพืชของกรมส่งเสริมการเกษตร

แนวทางการดำเนินงานคลินิกพืชของกรมส่งเสริมการเกษตร มีเป้าหมายเพื่อให้บริการวินิจฉัยอาการผิดปกติของพืช และแนะนำการจัดการศัตรูพืชที่เหมาะสมกับบริบทของพื้นที่ โดยใช้หลักการจัดการศัตรูพืชแบบผสมผสาน และระบบฝึกอบรมและเยี่ยมเยียน (T&V System) ผ่านความร่วมมือของหน่วยงานภายในและภายนอก เช่น สำนักงานเกษตรจังหวัด/อำเภอ ศูนย์ส่งเสริมเทคโนโลยีการเกษตร ศูนย์จัดการศัตรูพืชชุมชน และศูนย์เรียนรู้การเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตสินค้าเกษตร โดยมีหมอพืชเป็นผู้ให้บริการหลักในระดับพื้นที่ แนวทางดังกล่าวครอบคลุมตั้งแต่บริบทหน่วยงานที่รับผิดชอบ หลักการ วัตถุประสงค์ องค์ประกอบ วิธีการ และเครือข่ายการดำเนินงาน โดยกรมส่งเสริมการเกษตรมอบหมายให้หน่วยงานในส่วนภูมิภาคเปิดให้บริการคลินิกพืชจำนวน 968 แห่ง ครอบคลุม 77 จังหวัด 882 อำเภอทั่วประเทศ

การพัฒนาศักยภาพนักวิชาการส่งเสริมการเกษตร

ด้วยการพัฒนาหลักสูตรการเป็นหมอพืชและการดำเนินงานคลินิกพืชที่เป็นหลักสูตรระยะสั้น มุ่งเสริมสร้างสมรรถนะทั้งด้านเทคนิค ทัศนคติ และการประยุกต์ใช้จริงของนักวิชาการส่งเสริมการเกษตร ครอบคลุมเนื้อหา 3 เรื่อง คือ การวินิจฉัยศัตรูพืชระดับพื้นที่ การจัดการศัตรูพืช และการให้บริการเกษตรกรตามแนวทางของคลินิกพืช กรมส่งเสริมการเกษตร เป็นลักษณะของการอบรมแบบผสมผสาน และได้มีการทดสอบคุณภาพของหลักสูตรโดยผู้ที่มีความเชี่ยวชาญ 3 ท่าน ผ่านเกณฑ์การประเมิน

ความเหมาะสมของหลักสูตรอยู่ในระดับเหมาะสมมาก และความสอดคล้องของหลักสูตรอยู่ในเกณฑ์ที่นำไปใช้ได้

การประเมินผลการฝึกอบรม พบว่าความรู้ของผู้เข้ารับการอบรม ก่อนการอบรมคะแนนเฉลี่ยของผู้เข้าอบรมเท่ากับ 22.10 ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 5.324 ระดับความรู้ส่วนใหญ่อยู่ระดับปานกลางร้อยละ 84.14 หลังการอบรมคะแนนเฉลี่ยของผู้เข้ารับการอบรมเท่ากับ 33.95 ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 4.713 ระดับความรู้ส่วนใหญ่อยู่ระดับมากร้อยละ 76.03 เมื่อทำการทดสอบ paired t-test พบว่าค่าสถิติ t มีค่าเท่ากับ –69.963 และค่า p-value เท่ากับ 0.000 ($p<0.05$) หมายความว่า ค่าคะแนนเฉลี่ยก่อนและหลังการอบรมมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 แสดงว่า ผู้เข้าอบรมมีความรู้มากขึ้นหลังการเข้ารับการอบรม (Table 3-4)

Table 3 The level of knowledge of agricultural extension officers (trainee)

Level of knowledge (score)	Pre-test		Post-test	
	Frequency	Percentage	Frequency	Percentage
Low (0–15 score)	107	9.98	0	0.00
Moderate (16–30 score)	902	84.14	257	23.97
High (31–45 score)	63	5.88	815	76.03
Total	**1,072**	**100**	**1,072**	**100**

Table 4 Comparison of pre-test and post-test scores of agricultural extension officers (trainee)

Assessment period	Mean	S.D.	t	p-value	Interpretation
Pre-test	22.10	5.324	-69.963	0.000	Different
Post-test	33.95	4.713			

พฤติกรรมของผู้เข้ารับการอบรม ด้านเทคนิค ทัศนคติ การสื่อสาร และการนำไปใช้/ปฏิบัติจริง ที่เปลี่ยนแปลงไปหลังการอบรมแล้ว 3 เดือน พบว่า ผู้บังคับบัญชามีความเห็นว่าผู้เข้าอบรมมีพฤติกรรมก่อนการอบรมเฉลี่ยรวมทุกด้านอยู่ในระดับปานกลาง (ค่าเฉลี่ย 3.22) เมื่อผ่านการอบรม มีพฤติกรรมการปฏิบัติงานอยู่ในระดับมาก (ค่าเฉลี่ย 4.04) ในส่วนของเพื่อนร่วมงานมีความเห็นว่าผู้เข้าอบรมมีพฤติกรรมก่อนการอบรมเฉลี่ยรวมทุกด้านอยู่ในระดับปานกลาง (ค่าเฉลี่ย 3.29) เมื่อผ่านการอบรมแล้ว มีพฤติกรรมการปฏิบัติงานอยู่ในระดับมาก (ค่าเฉลี่ย 4.09) และการประเมินด้วยตัวของผู้เข้ารับการอบรมเอง พบว่า ตนเองมีพฤติกรรมการปฏิบัติงานก่อนการอบรมเฉลี่ยรวมทุกด้านอยู่ในระดับปานกลาง (ค่าเฉลี่ย 2.97) เมื่อผ่านการอบรมมีพฤติกรรมการปฏิบัติงานอยู่ในระดับมาก (ค่าเฉลี่ย 3.88) ซึ่งเมื่อทำการทดสอบ paired t-test พบว่า การประเมินโดยผู้บังคับบัญชา เพื่อนร่วมงาน และการประเมินตัวเองของผู้เข้ารับการอบรม ในทุกประเด็นที่ทำการประเมินหลังการอบรมแล้ว 3 เดือน สูงกว่าก่อนการอบรมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 ($p\text{-value}<0.001$) หมายความว่าพฤติกรรมของผู้เข้ารับการอบรมมีการเปลี่ยนแปลงไปในเชิงบวกอย่างมีนัยสำคัญ (Table 5)

Table 5 Levels of opinions of supervisors, colleagues, and agricultural extension officers (trainee) on behavioral change

Topic	Pre-test		Post-test		t	p–value	Interpretation
	$\bar{x}$	S.D.	$\bar{x}$	S.D.			
Supervisor							
1) Technical competency	3.08	0.738	4.02	0.572	-23.713	0.000	Different
2) Attitude/Motivation	3.49	0.753	4.19	0.603	-16.852	0.000	Different
3) Communication competency	3.12	0.817	3.96	0.598	-20.631	0.000	Different
4) Practical competency	3.17	0.806	3.98	0.626	-19.342	0.000	Different
Total	**3.22**		**4.04**				
Colleague							
1) Technical competency	3.18	0.767	4.06	0.618	-21.055	0.000	Different
2) Attitude/Motivation	3.52	0.764	4.25	0.636	-17.918	0.000	Different
3) Communication competency	3.205	0.830	4.025	0.66	-18.821	0.000	Different
4) Practical competency	3.25	0.859	4.03	0.687	-16.770	0.000	Different
Total	**3.29**		**4.09**				
Participant							
1) Technical competency	2.88	0.696	3.87	0.561	-25.718	0.000	Different
2) Attitude/Motivation	3.32	0.679	4.08	0.572	-20.330	0.000	Different
3) Communication competency	2.87	0.680	3.78	0.590	-23.300	0.000	Different
4) Practical competency	2.81	0.704	3.78	0.566	-25.590	0.000	Different
Total	**2.97**		**3.88**				

ความสำเร็จของการดำเนินงานคลินิกพืช กรณีศึกษาจังหวัดพระนครศรีอยุธยา

หลังจากเกษตรกรมารับบริการคลินิกพืช พบว่าเกษตรกรมีความรู้อยู่ในระดับมาก (ค่าเฉลี่ย 2.48) มีทัศนคติไปในทางสนับสนุนให้เกิดการปฏิบัติเกี่ยวกับการจัดการศัตรูพืชตามคำแนะนำของคลินิกพืชอยู่ในระดับมาก (ค่าเฉลี่ย 4.02) มีการปฏิบัติในภาพรวมอยู่ในระดับปานกลาง (ค่าเฉลี่ย 2.32) แต่มีประเด็นที่ปฏิบัติในระดับมาก คือ ปัจจุบันยังคงปฏิบัติตามคำแนะนำที่ได้รับจากคลินิกพืชเป็นส่วนใหญ่ (ค่าเฉลี่ย 2.56) มีการใช้ชีวภัณฑ์ทดแทนการใช้สารเคมี (ค่าเฉลี่ย 2.40) และสามารถเผยแพร่ความรู้ต่อให้กับเพื่อนเกษตรกรได้ (ค่าเฉลี่ย 2.36) ในขณะที่มียังคงใช้สารเคมีตามการวิเคราะห์สถานการณ์มากกว่าการใช้ตามตารางฉีดพ่นและมีการสำรวจแปลงอย่างสม่ำเสมอ อยู่ในระดับปานกลาง (ค่าเฉลี่ย 2.18 และ 2.13 ตามลำดับ) (Table 6)

Table 6 Level of knowledge, attitudes, and practices (KAP) of farmers in Phra Nakhon Si Ayutthaya province after receiving plant clinics services

Topic	Mean	S.D.	Interpretation
Knowledge			
1) Major diseases and insect pests of crops cultivated in the area	2.52	0.63	High
2) Frequent causes of plant symptoms	2.64	0.54	High
3) Environmental conditions conducive to plant diseases and insect pests	2.36	0.72	High
4) Infestation of pests in crop fields	2.39	0.73	High
5)) Beneficial natural enemies of cultivated plants	2.30	0.64	Moderate
6) Healthy plants are more resistant to pest attacks.	2.88	0.33	High
7) Approaches to pest prevention and control using IPM	2.58	0.56	High
8) Proper and safe utilization of agrochemicals	2.21	0.72	Moderate
Total	**2.48**	**0.61**	**High**
Attitude			
1) The problems of plant diseases and insect pests are importance**.**	4.03	0.84	High
2) The resolution of pest problems requires a scientific basis.	3.98	0.79	High
3) Recommendations from plant clinics offer implementable, science-based approaches to pest management.	4.08	0.87	High
4) Recommendations from plant clinics are effective for pest management.	3.90	0.91	High
5) Plant clinic recommendations are based on IPM, offering an effective for pest management.	4.10	0.91	High
Total	**4.02**	**0.87**	**High**

Table 6 (Continued)

Topic	Mean	S.D.	Interpretation
Practice			
1) Currently, most practices continue to follow the recommendations provided by plant clinics.	2.56	0.70	High
2) Regular field surveys are conducted.	2.13	0.79	Moderate
3) Biological agents are used as substitutes for chemical pesticides.	2.40	0.74	High
4) Pesticides are applied according to situational assessment instead of following a routine spraying timetable.	2.18	0.74	Moderate
5) Knowledge has been disseminated to other farmers.	2.36	0.66	High
Total	**2.32**	**0.73**	**Moderate**

การประเมินต้นทุนที่เกี่ยวกับปัจจัยควบคุมศัตรูพืชและปัจจัยด้านปุ๋ยที่ทำให้พืชแข็งแรง กรณีศึกษาในข้าวซึ่งเป็นพืชเศรษฐกิจหลักสำคัญของจังหวัดพระนครศรีอยุธยา พบว่าก่อนปฏิบัติตามคำแนะนำมีต้นทุนการใช้สารเคมีป้องกันและกำจัดศัตรูพืช 889 บาทต่อไร่ ปุ๋ย วัสดุปรับปรุงดิน ฮอร์โมนพืช 924 บาทต่อไร่ ปริมาณผลผลิตที่ได้ 620 กิโลกรัมต่อไร่ คิดเป็นมูลค่าของผลผลิตอยู่ที่ 5,332 บาทต่อไร่ เมื่อคิดเป็นรายได้โดยที่ยังไม่หักค่าใช้จ่ายอื่น ๆ เท่ากับ 3,519 บาทต่อไร่ ในขณะที่เมื่อเกษตรกรได้รับคำแนะนำจากคลินิกพืชและนำไปปฏิบัติ พบว่า ต้นทุนด้านสารเคมีลดลงเหลือ 645 บาทต่อไร่ แต่มีต้นทุนวิธีการอื่นที่ไม่ใช่สารเคมี เช่น ชีวภัณฑ์ เกิดขึ้น 448 บาทต่อไร่ ปุ๋ย วัสดุปรับปรุงดิน ฮอร์โมนพืชลดลงเหลือ 822 บาทต่อไร่ ปริมาณผลผลิตที่ได้ 780 กิโลกรัมต่อไร่ รายได้อยู่ที่ 6,708 บาทต่อไร่ เมื่อคิดเป็นรายได้โดยที่ยังไม่หักค่าใช้จ่ายอื่น ๆ เท่ากับ 4,793 บาทต่อไร่ ซึ่งมากกว่าก่อนนำคำแนะนำไปปฏิบัติ (Table 7)

Table 7 Estimated production costs related to rice pest and fertilizer management, yield, and value of yield before and after following the recommendations

Topic	Before implementation	After implementation
1) Costs incurred from rice pest control and fertilizer usage	1,813	1,915
1.1 Pesticide chemical costs for pest prevention (Baht/rai)	889	645
1.2 Costs of non-chemical methods, such as biological agents (Baht/rai)	0.00	448
1.3 Fertilizer costs (Baht/rai)	924	822
2) Quantity of yield obtained (kg/rai)	620	780
3) Approximate value of the yield (Baht/rai)	5,332	6,708
- Value of yield after deducting costs	3,519	4,793

*excluding costs arising from other expenses

ข้อคิดเห็นอื่นจากการรับบริการคลินิกพืช พบว่า เกษตรกรรับรู้และเข้าถึงบริการคลินิกพืชได้สะดวก ได้รับคำแนะนำจากนักวิชาการส่งเสริมการเกษตรที่มีความรู้ มั่นใจ และมีการติดตามผลต่อเนื่อง ทำให้มีความรู้ในการจัดการศัตรูพืชมากขึ้น ลดการใช้สารเคมี และสามารถปรับใช้แนวทางที่ได้รับในแปลงของตนเอง ส่งผลให้ผลผลิตดีขึ้นและเกิดการถ่ายทอดความรู้ในชุมชน นำไปสู่การผลิตที่ยั่งยืน

วิจารณ์ผลการวิจัย

นักวิชาการส่งเสริมการเกษตรด้านการจัดการศัตรูพืชส่วนใหญ่มีอายุเฉลี่ย 37.47 ปี และมีประสบการณ์ทำงานเฉลี่ยเพียง 2.93 ปี โดยครึ่งหนึ่งจบการศึกษาในสาขาที่ไม่เกี่ยวข้องกับการผลิตพืชและการจัดการศัตรูพืช อีกทั้งมีความรู้ด้านการจัดการศัตรูพืชในระดับปานกลาง และปฏิบัติงานอยู่ในระดับปานกลาง ซึ่งสอดคล้องกับผลการวิจัยของ Sinprasert *et al*. (2020) ที่ศึกษาแนวทางการพัฒนานักวิชาการส่งเสริมการเกษตรด้านอารักขาพืชในจังหวัดเลย โดยพบว่าเจ้าหน้าที่ส่วนใหญ่ไม่ได้สำเร็จการศึกษาในสายอารักขาพืชโดยตรง และมีความรู้เชิงลึกในด้านศัตรูพืชอยู่ในระดับไม่เพียงพอสำหรับการวินิจฉัยและให้คำแนะนำเกษตรกรได้อย่างมั่นใจ ในส่วนของปัญหาที่พบจากการปฏิบัติงาน พบว่าส่วนใหญ่ขาดความรู้และขาดความมั่นใจในการวิเคราะห์และให้คำแนะนำแก่เกษตรกร และควรมีการอบรมความรู้ให้เจ้าหน้าที่เพิ่มเติม สอดคล้องกับข้อค้นพบของ Sinprasert *et al.* (2020) ที่ระบุว่า นักวิชาการส่งเสริมการเกษตรประสบปัญหาด้านทักษะการวิเคราะห์สาเหตุของโรคพืชและศัตรูพืช รวมถึงขาดความมั่นใจในการวินิจฉัยที่ถูกต้อง ซึ่งส่งผลให้ไม่สามารถถ่ายทอดองค์ความรู้แก่เกษตรกรได้อย่างมีประสิทธิภาพ จึงควรเน้นการอบรมเชิงปฏิบัติการ การศึกษาดูงาน และการจัดทำคู่มือการวินิจฉัยศัตรูพืชสำหรับเจ้าหน้าที่ในระดับพื้นที่

เกษตรกรส่วนใหญ่มีอายุมากและจบระดับประถมศึกษา ส่งผลต่อการเรียนรู้และการจัดการศัตรูพืชอย่างเหมาะสม ประกอบกับรายได้จำกัดทำให้เลือกใช้สารเคมีราคาถูกที่เห็นผลรวดเร็ว แม้มีความเสี่ยงและประสิทธิภาพลดลงจากการใช้ต่อเนื่อง โดยพบว่าร้อยละ 53.77 ของการจัดการศัตรูพืชไม่ประสบผลสำเร็จ สะท้อนการพึ่งพาสารเคมี

โดยขาดการประเมินผลลัพธ์อย่างรอบด้าน สอดคล้องกับ Tritipsombut *et al*. (2014) ที่ระบุว่าเกษตรกรในจังหวัดนครราชสีมามีความรู้จำกัด มักใช้สารเคมีเกินอัตราหรือผสมหลายชนิดโดยไม่คำนึงถึงความปลอดภัย ซึ่งเกิดจากข้อจำกัดด้านความรู้ ทัศนคติ และแรงกดดันทางเศรษฐกิจ อย่างไรก็ตาม เกษตรกรยังคงเชื่อมั่นและขอคำปรึกษาจากนักวิชาการส่งเสริมการเกษตรเป็นอันดับแรก สะท้อนบทบาทสำคัญของนักวิชาการในฐานะที่พึ่งทางวิชาการระดับพื้นที่ สอดคล้องกับแนวคิดของ Rogers (2003) ที่ชี้ว่าการยอมรับนวัตกรรมจะประสบความสำเร็จเมื่อมีผู้นำความคิดเห็นเป็นตัวกลางในการสื่อสารและลงมือปฏิบัติจริง

แนวทางการดำเนินงานคลินิกพืชของกรมส่งเสริมการเกษตร เป็นแนวทางที่มีความครอบคลุมและเน้นการบูรณาการความร่วมมือหลายภาคส่วน โดยใช้หลักการจัดการศัตรูพืชแบบผสมผสาน (IPM) ซึ่งเป็นแนวคิดที่ได้รับการยอมรับในระดับนานาชาติ เช่นเดียวกับแนวทางที่องค์การอาหารและเกษตรแห่งสหประชาชาติ (FAO, 2015) ส่งเสริมให้ประเทศสมาชิกใช้ IPM เพื่อลดการใช้สารเคมีทางการเกษตร และเพิ่มความยั่งยืนในการผลิต

หลักสูตรการอบรมและรูปแบบการอบรมแบบผสมผสาน ทำให้ผู้เข้ารับการอบรมมีความรู้เพิ่มขึ้นและพฤติกรรมของผู้เข้ารับการอบรมเปลี่ยนแปลงไปอย่างมีนัยสำคัญหลังผ่านการฝึกอบรม แสดงว่าผู้เข้ารับการอบรมได้เรียนรู้และเข้าใจเนื้อหาวิชาการได้อย่างดี สอดคล้องกับงานวิจัยของ Toepfer *et al*. (2023) ที่สรุปว่าการฝึกอบรมระยะสั้น สามารถพัฒนาความรู้และทักษะในการวินิจฉัยปัญหาสุขภาพพืชของผู้เข้ารับการอบรมให้เพิ่มขึ้นได้ และแนวคิดของ Kolb (1984) ที่เสนอว่าการเรียนรู้จากประสบการณ์ตรง สามารถเสริมสร้างความเข้าใจและการจดจำในระยะยาวได้ ซึ่งในกรณีนี้ได้รับการยืนยันจากผลการประเมินทั้งจากผู้บังคับบัญชา เพื่อนร่วมงาน และผู้เข้าอบรมเอง

กรณีศึกษาจังหวัดพระนครศรีอยุธยา แสดงให้เห็นถึงผลลัพธ์เชิงประจักษ์ของการดำเนินงานคลินิกพืช โดยเกษตรกรมีความรู้เพิ่มขึ้น ทัศนคติดีขึ้น มีการลดต้นทุนการใช้สารเคมี และผลผลิตเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ ซึ่งยืนยันถึงประสิทธิผลของคลินิกพืชในด้านเศรษฐกิจ สิ่งแวดล้อม และสังคม ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของ Tamboa *et al*. (2020) ที่พบว่า ในแปลงที่เกษตรกรมาขอรับบริการคลินิกพืชและนำคำแนะนำไปปฏิบัติ สามารถทำให้ผลผลิตทางการเกษตรของแปลงนั้นเพิ่มขึ้นไม่น้อยกว่าร้อยละ 28 และกำไรสุทธิเพิ่มขึ้นไม่น้อยกว่าร้อยละ 23 ซึ่งสะท้อนให้เห็นถึงผลสำเร็จเชิงบวกของการดำเนินงานคลินิกพืชระดับพื้นที่

ดังนั้น ผลการศึกษาสะท้อนให้เห็นว่าคลินิกพืชมีบทบาทสำคัญในการยกระดับความรู้ ทัศนคติ และพฤติกรรมของเกษตรกรในการจัดการศัตรูพืช โดยเฉพาะในระดับพื้นที่ การที่เกษตรกรสามารถเข้าถึงบริการคลินิกพืชได้สะดวก ได้รับคำแนะนำจากนักวิชาการที่มีความรู้ และมีการติดตามผลต่อเนื่อง ทำให้เกิดการเรียนรู้และนำไปสู่การเปลี่ยนแปลงในทางปฏิบัติอย่างมีนัยสำคัญ โดยเฉพาะด้านการลดการใช้สารเคมีและการหันมาใช้วิธีการจัดการศัตรูพืชแบบผสมผสาน ซึ่งสอดคล้องกับแนวคิดของ FAO (2015) ที่เน้นว่า “คลินิกพืช” (plant clinics) เป็นกลไกสำคัญในการส่งเสริมการเกษตรอย่างยั่งยืน โดยสร้างการเรียนรู้เชิงรุกให้เกษตรกรสามารถระบุปัญหาและแก้ไขได้ด้วยตนเอง

สรุปผลการวิจัย

ผลการวิจัยพบว่า นักวิชาการส่งเสริมการเกษตรส่วนใหญ่มีพื้นฐานการศึกษาที่ไม่ตรงกับด้านการจัดการศัตรูพืช ขาดประสบการณ์และความมั่นใจในการวินิจฉัยและให้คำแนะนำแก่เกษตรกร ขณะที่เกษตรกรส่วนใหญ่มีการศึกษาต่ำและยังคงพึ่งพาการใช้สารเคมีในการจัดการศัตรูพืช แต่มีความเชื่อมั่นในนักวิชาการและมีความต้องการคำแนะนำเชิงวิชาการอย่างต่อเนื่อง จากการพัฒนาแนวทางการดำเนินงานคลินิกพืชของกรมส่งเสริมการเกษตร พบว่าสามารถตอบสนองต่อปัญหาและความต้องการของทั้งเจ้าหน้าที่และเกษตรกรได้อย่างเหมาะสม โดยเฉพาะการพัฒนาหลักสูตรฝึกอบรมหมอพืชที่ช่วยเพิ่มความรู้และพฤติกรรมการปฏิบัติงานของเจ้าหน้าที่

ได้อย่างมีนัยสำคัญ และจากกรณีศึกษาจังหวัดพระนครศรีอยุธยา พบว่าคลินิกพืชช่วยให้เกษตรกรมีความรู้เพิ่มขึ้น ลดการใช้สารเคมี และเพิ่มผลผลิตและรายได้ ส่งผลให้เกิดการเปลี่ยนแปลงเชิงบวกทั้งในระดับรายบุคคลและชุมชน ยืนยันถึงความเหมาะสมของแนวทางคลินิกพืชในการยกระดับการจัดการศัตรูพืชอย่างยั่งยืนในระดับพื้นที่

ข้อเสนอแนะ

จากการศึกษา ยังพบประเด็นที่ต้องดำเนินการศึกษาต่อเพื่อให้เกิดความสมบูรณ์ของการดำเนินงาน ดังนี้

1. ควรมีการศึกษาวิจัยเพิ่มเติมเกี่ยวกับประสิทธิผลของคลินิกพืชในพืชเศรษฐกิจประเภทอื่นนอกเหนือจากข้าว เช่น พืชผัก พืชสวน หรือพืชสมุนไพร เพื่อเปรียบเทียบความเหมาะสมของแนวทางการจัดการศัตรูพืชในบริบทที่แตกต่างกัน

2. ควรวิจัยแนวทางการพัฒนาศักยภาพเชิงลึกของนักวิชาการส่งเสริมการเกษตร โดยเฉพาะในด้านการวิเคราะห์ปัญหาศัตรูพืชในเชิงระบบนิเวศ เพื่อให้การวินิจฉัยและคำแนะนำมีความแม่นยำและเหมาะสมกับสภาพแวดล้อมที่เปลี่ยนแปลง

3. การวัดผลสัมฤทธิ์ของคลินิกพืชในระยะยาว ควรศึกษาผลกระทบด้านสิ่งแวดล้อม สุขภาพ และความยั่งยืนทางการเกษตรเพิ่มเติม เพื่อประเมินศักยภาพของกลไกคลินิกพืชในระดับยุทธศาสตร์

กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้วิจัยขอขอบคุณผู้บริหารกรมส่งเสริมการเกษตร ที่ให้โอกาสในการปฏิบัติงาน เจ้าหน้าที่กองส่งเสริมการอารักขาพืชและจัดการดินปุ๋ย ที่ช่วยประสานงาน รวมถึงนักวิชาการส่งเสริมการเกษตรทุกท่านและเกษตรกรในพื้นที่ศึกษา ที่ให้ความร่วมมือในการให้ข้อมูลอย่างเต็มที่ จนงานสำเร็จลุล่วงด้วยดี

เอกสารอ้างอิง

Bentley, J.W., S. Danielsen, N. Phiri, Y.C. Tegha, N. Nyalugwe, E. Neves, E. Hidalgo, A. Sharma, V. Pandit and D.R. Sharma. 2018. Farmer responses to technical advice offered at plant clinics in Malawi, Costa Rica, and Nepal. **International Journal of Agricultural Sustainability** 16(2): 187–200. https://doi.org/10.1080/14735903.2018.1440473

Caffarra, A., M. Rinaldi, M. F. Rinaldi, E. Eccel, V. Rossi and I. Pertot. 2012. Modelling the impact of climate change on the interaction between grapevine and its pests and pathogens: European grapevine moth and powdery mildew. **Agriculture, Ecosystems & Environment** 148: 89–101. https://doi.org/ 10.1016/j.agee.2011.11.017

DOAE. 2017. **20-year Strategic Plan for Agricultural Extension (2017-2036) and 5-year Operational Plan (2017-2021)**. Bangkok: Ministry of Agriculture and Cooperatives. 84 p. [in Thai]

FAO. 2015. **Integrated Pest Management: Principles and Practice**. Rome: Food and Agriculture Organization. 98 p.

George, D. and P. Mallery. 2003. **SPSS for Windows Step by Step: A Simple Guide and Reference (4th ed.)**. Boston: Allyn & Bacon. 400 p.

Kolb, D.A. 1984. **Experiential learning: experience as the source of learning and development**. [Online]. Available https://www.researchgate.net/publication/235701029_Experiential_Learning_Experience_As_The_Source_Of_Learning_And_Development (August 28, 2024).

Niyomangkul, S. 2013. **Research Methodology in Social Sciences and Applied Statistics**. 1st ed. Bangkok: Thanbandit Printing House. 280 p. [in Thai]

Praneetwatkul, S., P. Thipraksa, U. Sirijinda, N. Sinphemsuksakul, C. Janjam and T. Boonyaratnasevi. 2017. **Final report: policy options for environmentally friendly pest management in Thailand**. [Online]. Available https://www.agripolicyresearch.com/?p=4432 (June 27, 2018). [in Thai]

Rogers, E.M. 2003. **Diffusion of Innovations.** 5th ed. New York: Free Press. 576 p.

Sinprasert, S., J. Khlibtong and C. Toomhiran. 2020. Development Guidelines of Plant Protection Agricultural Extension Officers in Loei Province. pp. 1093-1107. *In* **Proceedings of the 10th STOU National Research Conference.** Nonthaburi: Sukhothai Thammathirat Open University. [in Thai]

Tamboa, J.A., B. Uzayisengab, I. Mugambic M. Bundic and S. Silvestri. 2020. Plant clinics, farm performance and poverty alleviation: panel data evidence from Rwanda. **World Development** 129: 1–13. [Online]. Available https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0305750X20300073 (December 3, 2024).

Toepfer, S., C. Niyongere, P. Ndayihanzamaso, D. Ndikumana, W. Irakoze, E. Cimpaye, D. Minani, P. Bindariye and W. Ochilo. 2023. Sustainable improvements in diagnostic capabilities of plant health practitioners through short in-service training. **Sustainability** 15(17): 12956. https://doi.org/10.3390/su151712956

Tritipsombut, J., P. Gabklang, S. Boonkerd and A. Oapsuwan. 2014. The study of knowledge, attitudes and pesticide usage behaviors among the agricultural workers at Huay Sam Kha village, Tub Ruang sub-district, Phra Thong Kum district, Nakhon Ratchasima province. **Srinagarind Medical Journal.** 29(5): 429–434. [Online]. Available https://li01.tci-thaijo.org/index.php/SRIMEDJ/article/download/25918/21967 (September 16, 2024). [in Thai]

Journal of Agri. Research & Extension 42(3): 189-203

แนวทางการสร้างความมั่นคงทางอาหารของชุมชนผ่านการผลิตข้าวพันธุ์พื้นเมือง พื้นที่อำเภอทุ่งสง จังหวัดนครศรีธรรมราช

Guidelines for Creating Community Food Security through Local Rice Production in Thung Song District, Nakhon Si Thammarat Province

รัตนา อุ่นจันทร์[1,*] สุดนัย เครือหลี[2] และนภัสวรรณ เลี่ยมนิมิตร[2]

Rattana Unjan[1,*], Sudanai Krualee[2] and Napassawan Liamnimitr[2]

[1]หลักสูตรธุรกิจเกษตร สาขาเกษตรประยุกต์ คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย นครศรีธรรมราช 80110

[2]หลักสูตรพืชศาสตร์ สาขาวิทยาศาสตร์การเกษตร คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย นครศรีธรรมราช 80110

[1]Agribusiness Programs, Applied Agriculture Branch, Faculty of Agriculture

Rajamangala University of Technology Srivijaya, Nakhon Si Thammarat, Thailand 80110

[2]Plant Science Program, Department of Agricultural Science, Faculty of Agriculture

Rajamangala University of Technology Srivijaya, Nakhon Si Thammarat, Thailand 80110

*Corresponding author: rattana.u@rmutsv.ac.th

Received: *October 26, 2024*

Revised: *July 18, 2025*

Accepted: *August 07, 2025*

Abstract

This research aimed to study: 1) farmers' backgrounds in agricultural production and their use; 2) their knowledge, attitudes, and practices on food security; and 3) challenges and suggestions for promoting food security through local rice production among 75 farmers in three sub-districts of Thung Song District, Nakhon Si Thammarat. Data were collected via interviews and analyzed using descriptive and inferential statistics, along with content analysis.

The study found that most farmers had primary education or lower (82.67%), lacked participation in community groups (70.67%), and had not received food production training (73.33%). However, local rice varieties, especially glutinous rice grown with rubber and oil palm, can provide both income and food for households. Each production cycle gives an average yield of 3,685.33 kilograms and earns about 193,459.72 Baht. Farmers had high knowledge and positive attitudes toward food security (avg. 13.34–20.00), but practices were moderate (avg. 4.17), with food stability lowest. Key challenges included limited land, low food diversity, and poor consumption planning.

Policy recommendations include efficient land use, support for household food production, better income and food management, stronger community markets and preserving local rice varieties to support biodiversity. This research suggests that managing local rice at the community level can help achieve sustainable food security for households and communities.

Keywords: local rice varieties, food security, food stability, food access, food utilization food availability

บทคัดย่อ

การวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษา 1) ข้อมูลพื้นฐานส่วนบุคคล ด้านการผลิตและการใช้ประโยชน์ทางการเกษตร 2) ความรู้ ความเข้าใจ ทัศนคติ และการปฏิบัติเพื่อสร้างความมั่นคงทางอาหาร และ 3) ปัญหาอุปสรรคและข้อเสนอแนะ เพื่อเป็นแนวทางการสร้างความมั่นคงทางอาหารผ่านการผลิตข้าวพันธุ์พื้นเมืองของเกษตรกรจำนวน 75 คนจาก 3 ตำบลในอำเภอทุ่งสง จังหวัดนครศรีธรรมราช เก็บรวบรวมข้อมูลด้วยแบบสัมภาษณ์ และวิเคราะห์ข้อมูลด้วยสถิติเชิงพรรณนา สถิติเชิงอนุมาน และการวิเคราะห์เนื้อหา

ผลการวิจัยพบว่า เกษตรกรส่วนใหญ่มีระดับการศึกษาประถมศึกษาหรือต่ำกว่า (ร้อยละ 82.67) ขาดการมีส่วนร่วมกับกลุ่มชุมชน (ร้อยละ 70.67) และส่วนใหญ่ (ร้อยละ 73.33) ไม่เคยได้รับการอบรมด้านการผลิตอาหาร อย่างไรก็ตาม ข้าวพันธุ์พื้นเมือง โดยเฉพาะข้าวเจ้าที่ปลูกร่วมกับพืชเศรษฐกิจอื่น ๆ เช่น ยางพาราและปาล์มน้ำมัน สามารถสร้างรายได้และยังคงเป็นแหล่งอาหารสำคัญของครัวเรือน โดยได้รับผลผลิตเฉลี่ย 3,685.33 กิโลกรัมต่อรอบการผลิต และสร้างรายได้ 193,459.72 บาทต่อรอบการผลิต เกษตรกรมีระดับความรู้และทัศนคติเกี่ยวกับความมั่นคงทางอาหารในระดับมาก (คะแนนเฉลี่ย 13.34–20.00) แต่ระดับการปฏิบัติจริงยังอยู่ในระดับมาก (ค่าเฉลี่ย 4.17) โดยเฉพาะด้านความมีเสถียรภาพของอาหารซึ่งต่ำกว่าด้านอื่นอย่างชัดเจน ปัญหาหลักที่พบ ได้แก่ ข้อจำกัดด้านที่ดิน ความหลากหลายของอาหาร และการวางแผนการบริโภคไม่เป็นระบบ

ข้อเสนอแนะเชิงนโยบาย ได้แก่ การใช้พื้นที่ว่างให้เกิดประโยชน์สูงสุด การสนับสนุนให้เกษตรกรผลิตเพื่อบริโภคในครัวเรือน การจัดการรายได้และอาหารอย่างมีประสิทธิภาพ และการส่งเสริมระบบตลาดชุมชน รวมถึงการสนับสนุนการอนุรักษ์พันธุ์ข้าวพื้นเมืองเพื่อความหลากหลายทางชีวภาพ งานวิจัยนี้ชี้ให้เห็นว่าการจัดการข้าวพันธุ์พื้นเมืองโดยอิงบริบทชุมชน สามารถเป็นกลไกสำคัญในการสร้างความมั่นคงทางอาหารอย่างยั่งยืนได้ในระดับครัวเรือนและชุมชน

คำสำคัญ: พันธุ์ข้าวพื้นเมือง ความมั่นคงทางอาหาร การมีเสถียรภาพทางอาหาร การเข้าถึงอาหาร การใช้ประโยชน์จากอาหาร การมีอาหาร

คำนำ

ข้าวเป็นพืชอาหารหลักที่สำคัญของโลก โดยเฉพาะในเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ ซึ่งมีประชากรจำนวนมากบริโภคเป็นอาหารหลัก และยังมีความสัมพันธ์กับความมั่นคงทางอาหาร โดยมีสายพันธุ์ข้าวทั่วโลกกว่า 120,000 สายพันธุ์ แต่ที่นิยมปลูกมี 2 ชนิดหลัก คือ *Oryza sativa* ในเอเชีย และ *Oryza glaberrima* ในแอฟริกา โดยข้าวจากเอเชียเป็นหลักในการซื้อขายระดับโลก สำหรับประเทศไทยข้าวเป็นพืชประจำชาติที่มีประวัติยาวนานกว่า 5,500 ปี (Veerapat, 1977)

มีหลักฐานทางโบราณคดีจากหลายพื้นที่ การเพาะปลูกในปัจจุบันกระจายอยู่ทุกภาค โดยเฉพาะภาคตะวันออกเฉียงเหนือที่ปลูกมากที่สุด ส่วนใหญ่มักเป็นข้าวหอมมะลิ 105 ซึ่งมีคุณภาพดีที่สุดในโลก

ประเทศไทยมีความหลากหลายทางพันธุกรรมของข้าวสูงมาก โดยมีพันธุ์ที่รวบรวมไว้กว่า 20,000 สายพันธุ์ จากพันธุ์ข้าวที่มีอยู่ทั่วโลกกว่า 120,000 สายพันธุ์ (Siamwala and Na Ranong, 1990) ส่วนพันธุ์ข้าวที่ปลูกในประเทศไทยที่มีการเก็บรวบรวมไว้โดยศูนย์ปฏิบัติการและเก็บเมล็ดพันธุ์ข้าวแห่งชาติมีจำนวน 23,903 ตัวอย่าง เป็นข้าวพื้นเมือง 17,093 ตัวอย่าง โดยมีการจำแนกชื่อไม่ซ้ำกันเป็นพันธุ์ข้าวพื้นเมือง 5,928 ตัวอย่าง มีพื้นที่ปลูกข้าวพันธุ์พื้นเมืองมากกว่า 11 ล้านไร่ (Department of Agriculture; 2002; Office of Agricultural Economics, 2006) ซึ่งในแต่ละสายพันธุ์ของข้าวพื้นเมืองมีการแพร่กระจายอยู่ทั่วไปทุกภาคของประเทศไทย แต่ปัจจุบันประเทศไทยมีสายพันธุ์ข้าวที่ดีค่อย ๆ ลดลง โดยเฉพาะในพื้นที่ภาคใต้ที่มีพันธุ์พื้นเมืองเหลือไม่กี่สายพันธุ์ ที่มีการสำรวจมีอยู่จำนวน 82 สายพันธุ์ ซึ่งแต่ละสายพันธุ์มีลักษณะเด่นที่แตกต่างกัน เช่น ความต้านทานต่อโรคและแมลงศัตรูพืชในธรรมชาติ การทนต่อสภาพแวดล้อม และคุณภาพเมล็ด เป็นต้น (Phatthalung Rice Research Center, 2007)

จังหวัดนครศรีธรรมราช แม้จะมีพื้นที่การเกษตรมากกว่า 3 ล้านไร่ แต่มีพื้นที่ปลูกข้าวพื้นเมืองเพียงประมาณ 700,000 ไร่ และยังคงลดลงอย่างต่อเนื่อง โดยเฉพาะในอำเภอทุ่งสง ปี พ.ศ. 2566 มีพื้นที่ปลูกข้าวอยู่ที่ 1,723 ไร่ ลดลงเหลือ 1,450 ไร่ ในปี พ.ศ. 2568 สาเหตุอาจมาจากหลายปัจจัย เช่น คนในพื้นที่ไม่นิยมบริโภคข้าวพันธุ์พื้นเมือง ทำให้เกษตรกรที่ทำนาปลูกเพียงเพื่อบริโภคในครัวเรือนเท่านั้น นอกจากนั้น การทำนาไม่คุ้มค่าแก่การลงทุน ผลตอบแทนที่เป็นมูลค่าน้อย หรือแม้กระทั่งภาครัฐที่เน้นให้เกษตรกรปลูกผลผลิตอื่นที่มีรายได้มากกว่าการปลูกข้าวพื้นเมือง เป็นต้น ทำให้พื้นที่นากลายเป็นพื้นที่นาร้างจำนวนมาก หรือเปลี่ยนเป็นพื้นที่ในการปลูกปาล์มน้ำมันหรือยางพาราเพิ่มขึ้น (Office of The Permanent Secretary for Ministry of Agriculture and Cooperatives, 2024) ซึ่งสะท้อนถึงความเสี่ยงต่อความมั่นคงทางอาหาร ทั้งในแง่ของการลดลงของความหลากหลายทางพันธุกรรมและการพึ่งพาการผลิตพืชชนิดอื่น ๆ ที่ให้ผลตอบแทนสูงกว่า เช่น ปาล์มน้ำมันหรือยางพารา แนวโน้มนี้เชื่อมโยงกับแนวคิดความมั่นคงทางอาหารของ Food and Agriculture Organization of the United Nations (2006) ซึ่งเน้นทั้งการมีอาหารเพียงพอ การเข้าถึงอาหาร การใช้ประโยชน์จากอาหาร และความมั่นคงในการเข้าถึงอาหารในระยะยาว ข้าวพื้นเมืองที่มีลักษณะเฉพาะ เช่น ทนโรคหรือทนสภาพแวดล้อม จึงถือเป็นทรัพยากรสำคัญที่ควรถูกอนุรักษ์เพื่อรักษาความมั่นคงทางอาหารของชุมชนและตอบสนองต่อความเปลี่ยนแปลงหรือวิกฤติการณ์ในอนาคตอย่างยั่งยืน

จากประเด็นปัญหาดังกล่าวข้างต้น จึงมีความจำเป็นอย่างยิ่งในการค้นหาแนวทางการจัดการข้าวพันธุ์พื้นเมืองสู่การสร้างความมั่นคงทางอาหารของชุมชนพื้นที่อำเภอทุ่งสง จังหวัดนครศรีธรรมราช ผ่านการผลิตและการใช้ประโยชน์ข้าวไร่พันธุ์พื้นเมือง ตลอดจนความรู้และทัศนคติของเกษตรกรที่มีต่อการสร้างความมั่นคงทางอาหาร เพื่อเป็นการสนับสนุนให้ผู้เกี่ยวข้อง ได้ข้อมูลที่เป็นแนวทางในการจัดการสร้างความมั่นคงทางอาหารให้กับพื้นที่ นอกจากนี้เพื่อเป็นการอนุรักษ์และใช้ประโยชน์ในข้าวพันธุ์พื้นเมืองของพื้นที่ต่อไป

วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

1. เพื่อศึกษาข้อมูลพื้นฐานเบื้องต้น การผลิตและการใช้ประโยชน์ทางการเกษตรของเกษตรกร
2. เพื่อศึกษาความรู้ความเข้าใจ ทัศนคติ และการปฏิบัติเพื่อสร้างความมั่นคงทางอาหารของเกษตรกร
3. เพื่อศึกษาปัญหาอุปสรรค และข้อเสนอแนะเพื่อเป็นแนวทางการสร้างความมั่นคงทางอาหารผ่านการผลิตข้าวพันธุ์พื้นเมืองของเกษตรกร

วิธีดำเนินการวิจัย

พื้นที่ในการวิจัย การศึกษาครั้งนี้ดำเนินการในพื้นที่อำเภอทุ่งสง จังหวัดนครศรีธรรมราช ซึ่งเป็นพื้นที่ที่เสี่ยงต่อความมั่นคงทางอาหารโดยเฉพาะข้าว อีกทั้งยังเป็นพื้นที่ที่มีการปลูกและอนุรักษ์ข้าวพันธุ์พื้นเมืองอย่างต่อเนื่อง โดยการสนับสนุนของศูนย์วิจัยข้าวนครศรีธรรมราช ที่ได้เก็บรวบรวมพันธุ์ข้าวเม็ดฝ้าย จากแหล่งปลูกในพื้นที่ของอำเภอทุ่งสง คือ พื้นที่หมู่ที่ 1 บ้านทุ่งควาย ตำบลเขาโร อำเภอทุ่งสง จังหวัดนครศรีธรรมราช นำมาปลูกศึกษาวิจัยและพัฒนาพันธุ์ภายใต้โครงการ “การคัดเลือกพันธุ์ข้าวไร่พื้นเมืองเพื่อสร้างความมั่นคงด้านอาหารในพื้นที่ภาคใต้โดยเกษตรกรมีส่วนร่วม” ให้ชื่อสายพันธุ์ว่าพันธุ์เม็ดฝ้าย NSRC14008 ในแปลงปาล์มน้ำมันปลูกใหม่ของเกษตรกร ซึ่งเป็นพื้นที่ที่เหมาะสมในสภาพไร่ ปลูกแซมยางพาราและปาล์มน้ำมันที่ปลูกใหม่ อายุ 1–3 ปี

ประชากรและกลุ่มตัวอย่าง ประชากรในการศึกษาครั้งนี้ คือ เกษตรกรผู้ปลูกข้าวในพื้นที่ 3 ตำบลที่มีการปลูกข้าวมากที่สุด คือ ตำบลนาไม้ไผ่ ตำบลเขาโร และตำบลควนกรด อำเภอทุ่งสง จังหวัดนครศรีธรรมราช จำนวน 243 ราย (Rice Department, 2024) และกำหนดกลุ่มตัวอย่างร้อยละ 15–30 ด้วยวิธีการพิจารณาจากขนาดของประชากร โดยเกณฑ์ในกรณีที่ประชากรอยู่ระหว่าง 100 ราย แต่ไม่เกิน 1,000 ราย (Srisakud, 2017) ได้จำนวนตัวอย่าง 75 ราย จากตำบลนาไม้ไผ่ จำนวน 38 ราย ตำบลเขาโร จำนวน 28 ราย และตำบลควนกรด 9 ราย และสุ่มตัวอย่างในการเก็บข้อมูลด้วยวิธีการอย่างง่าย (simple random sampling) โดยการจับฉลากรายชื่อแบบไม่ใส่คืน

เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย ใช้แบบสัมภาษณ์เป็นเครื่องมือวิจัยที่สร้างขึ้นจากแนวคิดต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้อง ได้แก่ แนวคิดความมั่นคงทางอาหาร (Prachasanti, 2009) แนวคิดทฤษฎีเกี่ยวกับข้าวพื้นเมือง (Office of Agricultural Economics, 2018) ที่ผ่านการวัดความเที่ยงตรงและความน่าเชื่อถือ ในข้อคำถามแบบประเมินค่าด้านทัศนคติ และการปฏิบัติเพื่อสร้างความมั่นคงทางอาหาร มีค่าความเชื่อมั่นในภาพรวม 0.921 และ 0.970 ตามลำดับ ซึ่งประกอบไปด้วยข้อคำถามแบบปลายเปิดและปลายปิด ดังนี้

ตอนที่ 1 ข้อมูลพื้นฐานส่วนบุคคล เศรษฐกิจและสังคมของเกษตรกร ซึ่งเป็นคำถามแบบปลายปิดและปลายเปิด

ตอนที่ 2 ข้อมูลด้านการผลิตและการใช้ประโยชน์ทางการเกษตรของเกษตรกร ซึ่งเป็นคำถามแบบปลายเปิดให้ระบุข้อมูล

ตอนที่ 3 ข้อมูลด้านความรู้ความเข้าใจและทัศนคติต่อการสร้างความมั่นคงทางอาหารของเกษตรกร โดยความรู้ความเข้าใจต่อการสร้างความมั่นคงทางอาหารเป็นข้อคำถามแบบเลือกตอบ 2 ตัวเลือก คือ “ถูก” และ “ผิด” โดย ถูก=1 คะแนน และ ผิด=0 คะแนน สำหรับทัศนคติต่อการสร้างความมั่นคงทางอาหารเป็นข้อคำถามแบบมาตรวัดประมาณค่า 5 ระดับ

ตอนที่ 4 ข้อมูลด้านการปฏิบัติเพื่อสร้างความมั่นคงทางอาหารของเกษตรกร ซึ่งเป็นข้อคำถามแบบมาตรวัดประมาณค่า 5 ระดับ

ตอนที่ 5 ข้อมูลเกี่ยวกับปัญหาอุปสรรค และข้อเสนอแนะในการสร้างความมั่นคงทางอาหารของเกษตรกร

ข้อคำถามเกี่ยวกับความรู้ความเข้าใจต่อการสร้างความมั่นคงทางอาหารของเกษตรกร ซึ่งมีจำนวน 20 ข้อ มีเกณฑ์ในการแปลความหมาย ตามเกณฑ์อัตราภาคชั้นของ Thaveerat (2000) ดังนี้

คะแนนเฉลี่ยการแปลค่า	
0.00–6.66	น้อย
6.67–13.33	ปานกลาง
13.34–20.00	มาก

อย่างไรก็ตามทัศนคติและการปฏิบัติเพื่อสร้างความมั่นคงทางอาหารของเกษตรกรเป็นข้อคำถามแบบมาตรวัดประมาณค่า 5 ระดับ ดังนี้

คะแนนการแปลค่า

5 เห็นด้วย/ปฏิบัติมากที่สุด
4 เห็นด้วย/ปฏิบัติมาก
3 เห็นด้วย/ปฏิบัติปานกลาง
2 เห็นด้วย/ปฏิบัติน้อย
1 เห็นด้วย/ปฏิบัติน้อยที่สุด

ทัศนคติและการปฏิบัติเพื่อสร้างความมั่นคงทางอาหาร 5 ระดับ ได้มีการกำหนดช่วงคะแนนตามเกณฑ์อันตรภาคชั้นของ Thaveerat (2000) ดังนี้

คะแนนการแปลค่า

4.21–5.00 เห็นด้วย/ปฏิบัติมากที่สุด
3.41–4.20 เห็นด้วย/ปฏิบัติมาก
2.61–3.40 เห็นด้วย/ปฏิบัติปานกลาง
1.81–2.60 เห็นด้วย/ปฏิบัติน้อย
1.00–1.80 เห็นด้วย/ปฏิบัติน้อยที่สุด

การวิเคราะห์ข้อมูล วิเคราะห์ข้อมูลเชิงปริมาณด้วยสถิติเชิงพรรณนา ได้แก่ ค่าความถี่ ค่าร้อยละ ค่าเฉลี่ย ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน และค่าเฉลี่ยถ่วงน้ำหนัก สำหรับข้อมูลพื้นฐานเบื้องต้น ความรู้ความเข้าใจ ทัศนคติ และการปฏิบัติเพื่อสร้างความมั่นคงทางอาหารของเกษตรกร รวมทั้งสถิติ T-test และ LSD เพื่อวิเคราะห์เปรียบเทียบความแตกต่างของปัจจัยที่มีผลต่อการปฏิบัติเพื่อสร้างความมั่นคงทางอาหารของเกษตรกร และวิเคราะห์ข้อมูลเชิงคุณภาพด้วยการวิเคราะห์เนื้อหาสำหรับข้อมูลเกี่ยวกับปัญหาอุปสรรคและข้อเสนอแนะเพื่อเป็นแนวทางการสร้างความมั่นคงทางอาหารผ่านการผลิตข้าวพันธุ์พื้นเมืองของเกษตรกร

ผลการวิจัย

การวิเคราะห์ข้อมูลจากการสัมภาษณ์เกษตรกรกลุ่มตัวอย่าง ถึงการผลิตและการใช้ประโยชน์จากพันธุ์ข้าวพื้นเมือง ตลอดจนความมั่นคงทางอาหารในมิติของความรู้และทัศนคติต่อการสร้างความมั่นคงทางอาหาร ซึ่งประกอบด้วยข้อมูลในประเด็นต่าง ๆ ดังนี้

ข้อมูลพื้นฐานเบื้องต้น การผลิต และการใช้ประโยชน์ทางการเกษตรของเกษตรกร

1) ข้อมูลทั่วไป ที่เป็นข้อมูลพื้นฐานส่วนบุคคล เศรษฐกิจ และสังคมของเกษตรกร พบว่า เกษตรกรกลุ่มตัวอย่างเป็นเพศหญิง (ร้อยละ 58.67) มากกว่าเพศชาย (ร้อยละ 41.33) มีอายุเฉลี่ย 55.11 ปี เกือบทั้งหมดมีสถานภาพสมรส (ร้อยละ 97.33) มีการศึกษาในระดับประถมศึกษาหรือต่ำกว่า (ร้อยละ 82.67) มีจำนวนสมาชิกในครัวเรือนเฉลี่ย 4.43 คน จำนวนแรงงานในครัวเรือนเฉลี่ย 2.25 คน มีพื้นที่ถือครองทางการเกษตรเฉลี่ย 7.00 ไร่ เป็นที่ของตนเองและมีเอกสารสิทธิ์ เกษตรกรกลุ่มตัวอย่างส่วนใหญ่ไม่ได้ดำรงตำแหน่งทางสังคม (ร้อยละ 76.00) และไม่ได้เข้าร่วมเป็นสมาชิกของกลุ่มหมู่บ้านหรือเมือง (ร้อยละ 70.67) ส่วนใหญ่ไม่เคยติดต่อเจ้าหน้าที่ทางด้านการเกษตร (ร้อยละ 72.00) ไม่เคยเข้ารับการฝึกอบรมหรือศึกษาดูงานที่เกี่ยวกับการผลิตอาหาร (ร้อยละ 73.33)

2) ข้อมูลการผลิตและการใช้ประโยชน์ เกษตรกรกลุ่มตัวอย่างมีการผลิตและใช้ประโยชน์ จากพันธุ์ข้าวเจ้ามากที่สุด (ร้อยละ 100.0) และมีบางส่วน (ร้อยละ 48.0) ที่ทำการผลิตและใช้ประโยชน์จากพันธุ์ข้าวเหนียว โดยการผลิตข้าวเจ้านั้น พบว่ามีผลผลิตเฉลี่ย 3,685.33 กิโลกรัมต่อรอบการผลิต เก็บผลผลิตไว้บริโภคในครัวเรือนเฉลี่ย 567.80 กิโลกรัมต่อรอบการผลิต เก็บผลผลิตไว้ทำพันธุ์และอื่น ๆ เฉลี่ย 7.8 กิโลกรัมต่อรอบการผลิต ขายเฉลี่ย 3,240.31 กิโลกรัมต่อรอบการผลิต ได้ราคาจากการขายข้าวเจ้าเฉลี่ย 59.86 บาทต่อกิโลกรัม เป็นรายได้จากการขายข้าวเจ้าเฉลี่ย 193,459.72 บาทต่อรอบการผลิต มีต้นทุนเงินสดในการผลิตข้าวเจ้าเฉลี่ย 10,496.80 บาทต่อรอบการผลิต ส่วนการผลิตข้าวเหนียว พบว่ามีผลผลิตข้าวเหนียวเฉลี่ย 416.67 กิโลกรัมต่อไร่ เก็บไว้บริโภคในครัวเรือนเฉลี่ย 25.56 กิโลกรัมต่อรอบการผลิต ไว้ทำพันธุ์

และอื่น ๆ เฉลี่ย 3.39 กิโลกรัมต่อรอบการผลิต ขายเฉลี่ย 387.72 กิโลกรัมต่อรอบการผลิต ได้ราคาจากการขายข้าวเหนียวเฉลี่ย 48.61 บาทต่อกิโลกรัม ได้รับรายได้จากการขายข้าวเหนียวเฉลี่ย 18,856.11 บาทต่อรอบการผลิต มีต้นทุนเงินสดในการผลิตข้าวเหนียวเฉลี่ย 1,022.22 บาทต่อรอบการผลิต

ความรู้ความเข้าใจ ทัศนคติ และการปฏิบัติเพื่อสร้างความมั่นคงทางอาหารของเกษตรกร

1) การศึกษาความรู้ความเข้าใจเกี่ยวกับการสร้างความมั่นคงทางอาหารของครัวเรือนเกษตรกรในพื้นที่อำเภอทุ่งสง จังหวัดนครศรีธรรมราช พบว่าเกษตรกรกลุ่มตัวอย่างทั้งหมด (ร้อยละ 100.00) มีความรู้ความเข้าใจเกี่ยวกับการสร้างความมั่นคงทางอาหารในภาพรวมอยู่ในระดับมาก (คะแนนเฉลี่ย 13.34–20.00) (Table 1)

Table 1 Knowledge levels on food security promotion

Level of knowledge and understanding	Number (n=75)	Percentage
Low (mean score 0.00–6.66)	-	-
Moderate (mean score 6.67–13.33)	-	-
High (mean score 13.34–20.00)	75	100.0
Total	**75**	**100.0**

2) การศึกษาทัศนคติต่อการสร้างความมั่นคงทางอาหารของเกษตรกรในพื้นที่อำเภอทุ่งสง จังหวัดนครศรีธรรมราช (Table 2) พบว่าเกษตรกรกลุ่มตัวอย่างมีทัศนคติต่อประเด็นดังกล่าวในภาพรวมอยู่ในระดับเห็นด้วยมากที่สุด (ค่าเฉลี่ย 4.90) เมื่อพิจารณาในแต่ละด้าน พบว่ามีทัศนคติในระดับมากที่สุดเช่นกัน เรียงลำดับตามค่าเฉลี่ย ได้แก่ ด้านความมีเสถียรภาพของอาหาร (food stability) (ค่าเฉลี่ย 4.96) ด้านการเข้าถึงอาหาร (food accessibility) (ค่าเฉลี่ย 4.92) ด้านการใช้ประโยชน์ของการอาหาร (food utility) (ค่าเฉลี่ย 4.87) และด้านการมีอาหารถึงพร้อม (food availability) (ค่าเฉลี่ย 4.86) ตามลำดับ

Table 2 Attitudes towards creating food security of farmers in Thung Song district Nakhon Si Thammarat province

Attitude aspects	Mean	SD.	Level of Assessment
Food availability	4.86	0.25	Most agree
Food accessibility	4.92	0.23	Most agree
Food utility	4.87	0.30	Most agree
Food stability	4.96	0.20	Most agree
Total	**4.90**	**0.20**	**Most agree**

3) การปฏิบัติเพื่อสร้างความมั่นคงทางอาหารของเกษตรกร (Table 3) พบว่าเกษตรกรกลุ่มตัวอย่างมีการปฏิบัติในภาพรวมอยู่ในระดับมาก (ค่าเฉลี่ย 4.17) เมื่อพิจารณาในแต่ละด้าน พบว่ามีการปฏิบัติในด้านต่าง ๆ อยู่ในระดับมากเช่นกัน ยกเว้นด้านการใช้ประโยชน์จากอาหาร (Food utility) (ค่าเฉลี่ย 4.41) ที่มีการปฏิบัติอยู่ในระดับมากที่สุด สำหรับด้านที่มีระดับการปฏิบัติอยู่ในระดับมาก เรียงตามลำดับค่าเฉลี่ย ได้แก่ ด้านการเข้าถึงอาหาร (food accessibility) (ค่าเฉลี่ย 4.16) ด้านการมีอาหารถึงพร้อม (food availability) (ค่าเฉลี่ย 4.13) และด้านความมีเสถียรภาพของอาหาร (food stability) (ค่าเฉลี่ย 3.98) ตามลำดับ

Table 3 The practices to create food security of farmers

Security aspects	Mean	SD.	Level of operation
Food availability	4.13	0.18	Agree very much
Food accessibility	4.16	0.19	Agree very much
Food utility	4.41	0.23	Most agree
Food stability	3.98	0.21	Agree very much
Total	**4.17**	**0.12**	**Agree very much**

4) การศึกษาเปรียบเทียบปัจจัยที่มีผลต่อการปฏิบัติเพื่อสร้างความมั่นคงทางอาหารของเกษตรกร พบ 2 ปัจจัยที่มีผลต่อการปฏิบัติเพื่อสร้างความมั่นคงทางอาหารที่แตกต่างกันของเกษตรกร ได้แก่ เพศ และจำนวนสมาชิกในครัวเรือน กล่าวคือ เพศที่แตกต่างกันของเกษตรกร ส่งผลต่อการปฏิบัติเพื่อสร้างความมั่นคงทางอาหารในภาพรวม (t=2.292*) และการปฏิบัติเพื่อสร้างความมั่นคงทางอาหารในด้านความมีเสถียรภาพของอาหาร (t=2.556*) ที่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 ส่วนจำนวนสมาชิกในครัวเรือนที่แตกต่างกัน ส่งผลต่อการปฏิบัติเพื่อสร้างความมั่นคงทางอาหารในด้านการใช้ประโยชน์จากอาหาร (f=0.013*) ที่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 เมื่อเปรียบเทียบระดับการปฏิบัติเพื่อสร้างความมั่นคงทางอาหารของเกษตรกร ด้านการใช้ประโยชน์จากอาหาร (food utility) จำแนกตามจำนวนสมาชิกในครัวเรือนเป็นรายคู่ด้วยวิธี LSD พบว่าเกษตรกรที่มีสมาชิกในครัวเรือน 2–3 คน มีระดับการปฏิบัติเพื่อสร้างความมั่นคงทางอาหาร และด้านการใช้ประโยชน์จากอาหาร แตกต่างจากเกษตรกรที่มีจำนวนสมาชิกในครัวเรือน 4–5 คน และ 6 คนขึ้นไป อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 และ 0.01 ตามลำดับ

Table 4 Comparing operational levels in building food security for farmers by gender

Security aspects	Sex	Mean	SD.	T-value	df	P_value
Food availability	Male	4.15	0.18	0.483	73	0.631^{ns}
	Female	4.13	0.18			
Food accessibility	Male	4.18	0.20	0.712	73	0.479 ^{ns}
	Female	4.15	0.18			
Food utility	Male	4.46	0.23	1.524	73	0.132 ^{ns}
	Female	4.38	0.24			
Food stability	Male	4.05	0.21	2.556	73	0.013*
	Female	3.93	0.19			
Total	**Male**	**4.21**	**0.11**	**2.292**	**73**	**0.025***
	Female	**4.15**	**0.12**			

ns = not significant statistically; * = significant statistically at the 0.05 level

Table 5 Comparing operational levels in building food security for farmers by number of household members

Security aspects		Sum of squares	df	Mean	F Value	P_value
Food availability	Between groups	0.030	2	0.015	0.474	0.624^{ns}
	Within groups	2.293	72	0.032		
	Total	**2.323**	**74**			
Food accessibility	Between groups	0.009	2	0.004	0.122	0.885 ^{ns}
	Within groups	2.574	72	0.036		
	Total	**2.583**	**74**			
Food utility	Between groups	0.464	2	0.232	4.638	0.013*
	Within groups	3.603	72	0.050		
	Total	**4.067**	**74**			

Table 5 (Continued)

Security Aspects		Sum of squares	df	Mean	F Value	P_value
Food stability	Between groups	0.035	2	0.018	0.413	0.663^{ns}
	Within groups	3.090	72	0.043		
	Total	3.126	74			
Total	**Between groups**	**0.024**	**2**	**0.012**	**0.821**	**0.444^{ns}**
	Within groups	**1.062**	**72**	**0.015**		
	Total	**1.086**	**74**			

ns = not significant statistically; * = significant statistically at the 0.05 level

Table 6 Comparing operational levels in building food security for farmers regarding food utility by household size using the LSD method

Number of family members at present	2–3 persons	4–5 persons	6 persons and or more
2–3		-0.15625*	-0.28077**
4–5			-0.12452
6 people or more			

ns = not significant statistically; * = significant statistically at the 0.05 level

ปัญหาอุปสรรคและข้อเสนอแนะเพื่อเป็นแนวทางการสร้างความมั่นคงทางอาหารผ่านการผลิตข้าวพันธุ์พื้นเมืองของเกษตรกร

ข้อมูลปัญหาอุปสรรคในการสร้างความมั่นคงทางอาหารของเกษตรกร จำแนกตามประเด็นความมั่นคงทางอาหาร ดังนี้

1) ด้านการมีอาหาร พบปัญหาต่าง ๆ ได้แก่ (1) เกษตรกรมีที่ดินน้อยจึงทำให้ไม่สามารถปลูกข้าวได้ (2) ไม่มีที่ดินเป็นของตัวเองสำหรับปลูกข้าวไร่ (3) เกษตรกรไม่ค่อยปลูกพืชอาหารไว้ที่บ้าน ส่วนใหญ่จะซื้อกิน (4) เมื่อปาล์มน้ำมันกับยางพาราโตขึ้นต้องเปลี่ยนพื้นที่ปลูกข้าวไปเรื่อย ๆ (5) ข้าวที่ปลูกส่วนใหญ่จะเหลือจากขาย สำรองไว้ไม่พอสำหรับกินตลอดทั้งปี และ (6) เกษตรกรส่วนใหญ่ยังขาดการคำนึงถึงเรื่องการสำรองอาหารไว้บริโภค เพราะมีอาหารเพียงพอตลอดทั้งปี

2) ด้านการเข้าถึงอาหาร พบปัญหาต่าง ๆ ได้แก่ (1) ทานอาหารซ้ำ ๆ ไม่มีความหลากหลาย (2) ไม่มีการสำรองเงินไว้สำหรับการซื้ออาหาร บางช่วงเงินไม่พอก็มีการยืมเพื่อนบ้าน และ (3) ซื้ออาหารกินซ้ำ ๆ

3) ด้านการใช้ประโยชน์ของอาหาร พบปัญหาต่าง ๆ ได้แก่ (1) แหล่งอาหารที่มีไม่มีความหลากหลาย (2) ส่วนใหญ่จะซื้อกินจากตลาด มีส่วนน้อยที่ปลูกเองทำให้บางครั้งได้รับสารอาหารที่ไม่หลากหลาย

4) ด้านความมีเสถียรภาพของอาหาร พบปัญหาต่าง ๆ ได้แก่ (1) ขาดการวางแผนเรื่องอาหาร จึงทำให้บางช่วงต้องมีการซื้ออาหารจากภายนอก (2) ไม่มีการสำรองอาหาร และ (3) ส่วนใหญ่คนไม่ค่อยให้ความสำคัญเกี่ยวกับเรื่องอาหารมากนัก

เพื่อแก้ไขปัญหาดังกล่าว ได้เสนอแนวทางการสร้างความมั่นคงทางอาหารที่ครอบคลุมทุกมิติ โดยในด้านการมีอาหาร ควรใช้พื้นที่ที่มีอยู่อย่างจำกัดให้เกิดประโยชน์สูงสุด เช่น การปลูกพืชอาหารในพื้นที่ว่างรอบบ้าน การปลูกพืชสวนครัวหรือพืชรั้วกินได้ และการปลูกข้าวให้พอเพียงสำหรับการบริโภคภายในครัวเรือนก่อนที่จะนำส่วนที่เหลือไปจำหน่าย แนวทางเหล่านี้ช่วยเพิ่มความสามารถในการพึ่งพาตนเองด้านอาหาร และลดการพึ่งพาตลาดภายนอก

ด้านการเข้าถึงอาหาร ให้มีการบริหารจัดการรายได้ในครัวเรือนอย่างเหมาะสม โดยแยกค่าใช้จ่ายทั่วไปออกจากค่าอาหาร และมีการสำรองเงินไว้ใช้ในยามจำเป็น อีกทั้งควรส่งเสริมให้ครอบครัวมีความรู้ในการเลือกซื้ออาหารที่หลากหลายและเหมาะสมตามหลักโภชนาการเพื่อส่งเสริมสุขภาพที่ดีในระยะยาว

สำหรับการใช้ประโยชน์ของอาหาร ให้เพิ่มความหลากหลายของแหล่งอาหารในครัวเรือน เช่น การปลูกพืชผสมผสาน การเลี้ยงสัตว์และปลา ตลอดจนการทำเกษตรแบบครบวงจรหรือเกษตรทฤษฎีใหม่ ซึ่งเป็นแนวทางที่ช่วยให้ครัวเรือนมีอาหารหลากหลายประเภทไว้บริโภคตลอดทั้งปี ทั้งยังเป็นการจัดการทรัพยากรในรูปแบบที่ยั่งยืน

ในด้านความมีเสถียรภาพของอาหาร ควรวางแผนการบริโภคอาหารของครอบครัวในระยะยาว โดยการคำนวณปริมาณการใช้อาหารในแต่ละปี และจัดทำระบบสำรองอาหารให้เพียงพอสำหรับช่วงเวลาที่การผลิตลดลงหรือเกิดวิกฤตอาหาร เพื่อสร้างความมั่นคงที่ยั่งยืน

นอกจากนี้ ยังมีข้อเสนอระดับนโยบายและชุมชน เช่น การส่งเสริมให้ทุกครัวเรือนปลูกพืชอาหาร การสนับสนุนให้ปลูกข้าวพื้นเมืองเพื่อรักษาความหลากหลายทางชีวภาพ และส่งเสริมนโยบาย "1 ครัวเรือน 1 ความมั่นคงทางอาหาร" ซึ่งจะช่วยให้การสร้างความมั่นคงทางอาหารเป็นรูปธรรมและขยายผลได้ในระดับพื้นที่อย่างทั่วถึง

วิจารณ์ผลการวิจัย

ข้อมูลพื้นฐานและบริบทการผลิต เศรษฐกิจ และสังคมของเกษตรกร

ผลการวิจัยสะท้อนถึงข้อจำกัดหลายประการ เช่น การศึกษาที่อยู่ในระดับต่ำ การไม่มีส่วนร่วมในกลุ่มชุมชน และการไม่เข้าร่วมการฝึกอบรม ซึ่งเป็นประเด็นที่สามารถนำไปสู่ข้อเสนอแนะเชิงนโยบายในการส่งเสริมความรู้และทักษะของเกษตรกรเพิ่มเติม ขณะที่การผลิตและใช้ประโยชน์จากข้าวพันธุ์พื้นเมืองที่มีอยู่ในชุมชน ซึ่งเป็นลักษณะของข้าวไร่ที่ปลูกในแปลงยางพาราและปาล์มน้ำมันที่อายุยังน้อย และเป็นการใช้ประโยชน์ของพื้นที่ดังกล่าวอย่างเต็มศักยภาพ และเหมาะสมกับการใช้พันธุ์ข้าวพื้นเมืองที่ทนต่อความแล้ง และต้านทานต่อโรคแมลง ทำให้เกษตรกรลดต้นทุนการผลิตและมีรายได้จากข้าวได้เพิ่มขึ้น การผลิตดังกล่าวสามารถเป็นแหล่งสำรองอาหารให้กับครัวเรือน ซึ่งผลผลิตที่เหลือจากการบริโภคสามารถขายเป็นรายได้เพิ่ม เพื่อเป็นค่าอาหารประเภทอื่นที่ครัวเรือนไม่สามารถผลิตผ่านระบบตลาดของชุมชนได้ ซึ่งสอดคล้องกับ Chaiamphorn (2017) ที่กล่าวถึงความมั่นคงทางอาหารของชุมชน ผ่านการมีระบบการผลิตและ/หรือ ระบบการสรรหาอาหารที่มีความสมดุลกับการบริโภคที่สอดคล้องกับวิถีการดำเนินชีวิต ความเชื่อ และวัฒนธรรมของชุมชน

ความรู้ ทัศนคติ และแนวทางการสร้างความมั่นคงทางอาหาร

ผลการวิจัยในส่วนนี้ชี้ให้เห็นว่าเกษตรกรมีความรู้และทัศนคติในระดับสูงมากต่อการสร้างความมั่นคงทางอาหาร ซึ่งเป็นจุดแข็งของชุมชนในการขับเคลื่อนการพึ่งพาตนเองทางอาหาร ซึ่งการส่งเสริม

ให้เกษตรกรปลูกและรักษาพันธุ์ข้าวพื้นเมืองไว้สำหรับการสร้างความมั่นคงทางอาหารในครัวเรือน จึงเป็นสิ่งที่ดำเนินการได้ไม่ยากนัก อย่างไรก็ตาม แม้จะมีความรู้และทัศนคติในระดับสูง แต่ระดับการปฏิบัติยังคงอยู่ในระดับ "มาก" ไม่ถึงขั้น "มากที่สุด" โดยเฉพาะในด้านความมีเสถียรภาพของอาหาร ซึ่งมีค่าต่ำสุดในบรรดามิติต่าง ๆ ของการปฏิบัติ สะท้อนถึง "ช่องว่างเชิงพฤติกรรม (behavioral gap)" ที่ควรได้รับการศึกษาเพิ่มเติมในมิติของแรงจูงใจ หรือข้อจำกัดเชิงโครงสร้าง เช่น ทุน แรงงาน หรือความพร้อมด้านปัจจัยการผลิต ซึ่งอาจเป็นประเด็นสำคัญในการออกแบบแผนพัฒนาในระดับชุมชนและนโยบายในระดับพื้นที่ต่อไป อีกทั้งการวิเคราะห์เปรียบเทียบทางสถิติยังแสดงให้เห็นว่า ปัจจัยเพศและขนาดครัวเรือนมีผลต่อระดับการปฏิบัติอย่างมีนัยสำคัญ สะท้อนถึงความจำเป็นในการพัฒนาแนวทางเฉพาะกลุ่ม (targeted intervention) เพื่อส่งเสริมการปฏิบัติให้มีประสิทธิภาพยิ่งขึ้น โดยเฉพาะในกลุ่มเกษตรกรเพศหญิงและครัวเรือนขนาดใหญ่ ยิ่งต้องตระหนักถึงการสร้างความมั่นคงทางอาหารของครัวเรือนให้มากยิ่งขึ้น

ปัญหา อุปสรรค และข้อเสนอแนะเพื่อเป็นแนวทางการจัดการข้าวพันธุ์พื้นเมืองสู่การสร้างความมั่นคงทางอาหารของชุมชนพื้นที่อำเภอทุ่งสง จังหวัดนครศรีธรรมราช

ผลการศึกษาได้แสดงรายละเอียดของปัญหาในแต่ละมิติของความมั่นคงทางอาหาร โดยเฉพาะด้าน "การมีอาหาร" และ "การใช้ประโยชน์จากอาหาร" ซึ่งยังมีข้อจำกัดในเรื่องของที่ดินและความหลากหลายของแหล่งอาหาร อีกทั้งยังพบว่าเกษตรกรยังขาดความรู้หรือความตระหนักในการสำรองอาหารหรือวางแผนการบริโภคในระยะยาว ปัญหาเหล่านี้ชี้ให้เห็นถึงช่องว่างในการพัฒนาแนวทางการจัดการพันธุ์ข้าวพื้นเมืองให้มีบทบาทต่อระบบอาหารมากยิ่งขึ้น การพัฒนาเชิงระบบ เช่น การเชื่อมโยงกับกลไกตลาด วิสาหกิจชุมชน หรือระบบเกษตรยั่งยืน อาจเป็นแนวทางที่สามารถนำไปใช้ในการต่อยอดงานวิจัยนี้

งานวิจัยเรื่อง “แนวทางการสร้างความมั่นคงทางอาหารของชุมชนผ่านการผลิตข้าวพันธุ์พื้นเมืองในพื้นที่อำเภอทุ่งสง จังหวัดนครศรีธรรมราช” เป็นงานศึกษาที่มีความสำคัญในด้านการเชื่อมโยงมิติการผลิตข้าวพื้นเมืองเข้ากับแนวคิดความมั่นคงทางอาหารในระดับชุมชน โดยมุ่งเน้นการเก็บข้อมูลทั้งเชิงปริมาณและเชิงคุณภาพอย่างครอบคลุม ผลการวิจัยสามารถสะท้อนถึงสภาพเศรษฐกิจ สังคม พฤติกรรม และศักยภาพของเกษตรกรในการผลิตข้าวพื้นเมืองในพื้นที่ภาคใต้ ซึ่งยังเป็นประเด็นที่มีการศึกษาค่อนข้างน้อยเมื่อเทียบกับภูมิภาคอื่น

บริบทพื้นฐานและการผลิตข้าวพันธุ์พื้นเมือง

ผลการวิจัยพบว่า เกษตรกรในพื้นที่มีข้อจำกัดด้านทุนมนุษย์และทุนทางสังคม เช่น ระดับการศึกษาต่ำ ขาดการเข้าร่วมกลุ่มชุมชน และไม่ได้รับการอบรมจากภาครัฐ อย่างไรก็ตาม กลับสามารถสร้างรายได้เฉลี่ยจากข้าวพันธุ์พื้นเมืองโดยเฉพาะข้าวเจ้าที่ปลูกร่วมกับพืชเศรษฐกิจอื่นได้สูงถึงประมาณ 193,000 บาทต่อรอบการผลิต ซึ่งถือว่าสูงเมื่อเปรียบเทียบกับต้นทุนการผลิตที่ต่ำ (ประมาณ 10,000 บาท)

ข้อค้นพบนี้มีความแตกต่างจากข้อเสนอขององค์การอาหารและเกษตรแห่งสหประชาชาติ (FAO) ที่ให้ความสำคัญกับการผลิตอาหารเพื่อการบริโภคในระบบเกษตรผสมผสานและพื้นที่เฉพาะสำหรับอาหาร (Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO), 2006) เช่นเดียวกับที่ Prachasanti (2009) เสนอว่า พื้นที่ที่มีการปลูกพืชเศรษฐกิจเชิงเดี่ยวมักไม่สามารถตอบสนองต่อเป้าหมายด้านความมั่นคงทางอาหารได้อย่างยั่งยืน แต่ในบริบทของอำเภอทุ่งสง เกษตรกรสามารถใช้พื้นที่ร่วมในสวนยางหรือสวนปาล์มเพื่อปลูกข้าวได้อย่างมีประสิทธิภาพ ซึ่งอาจเป็นเพราะความจำกัดด้านที่ดินถือครอง จึงจำเป็นต้องประยุกต์ใช้พื้นที่อย่างยืดหยุ่น

ความรู้ ทัศนคติ และการปฏิบัติเพื่อสร้างความมั่นคงทางอาหาร

แม้ว่าเกษตรกรกลุ่มตัวอย่างจะมีระดับความรู้และทัศนคติเกี่ยวกับความมั่นคงทางอาหารในระดับ “มากที่สุด” (เฉลี่ย 4.90) แต่ระดับการปฏิบัติจริงยังอยู่ในระดับ “มาก” เท่านั้น (เฉลี่ย 4.17) โดยเฉพาะด้าน “ความมีเสถียรภาพของอาหาร” ซึ่งต่ำที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับมิติอื่น (เฉลี่ย 3.98) สะท้อนให้เห็นช่องว่างระหว่างความรู้กับพฤติกรรมการปฏิบัติ

ประเด็นนี้สอดคล้องกับงานศึกษาของ Chaiamphorn (2017) ที่พบว่าการมีความรู้และทัศนคติในระดับสูงไม่ได้การันตีว่าประชาชนจะมีพฤติกรรมที่ส่งเสริมความมั่นคงทางอาหารเสมอไป หากขาดกลไกการมีส่วนร่วมของชุมชนหรือการเสริมแรงจากหน่วยงานภายนอก ในขณะที่ในภาคเหนือของไทย กลับพบว่าหลายครัวเรือนมีพฤติกรรมในการจัดการอาหารอย่างยั่งยืนแม้มีความรู้จำกัด ซึ่งสะท้อนถึงบทบาทของวัฒนธรรมและการถ่ายทอดภายในครัวเรือน (Office of Agricultural Economics, 2018)

นอกจากนี้ ยังพบว่าปัจจัยทางเพศและจำนวนสมาชิกในครัวเรือนมีผลต่อระดับการปฏิบัติที่แตกต่างกัน ซึ่งสะท้อนให้เห็นถึงบทบาททางสังคมในระดับครัวเรือนที่มีผลอย่างมีนัยสำคัญในบางมิติ

ปัญหา อุปสรรค และแนวทางการพัฒนา

งานวิจัยได้วิเคราะห์ปัญหาและเสนอแนวทางพัฒนาในแต่ละมิติของความมั่นคงทางอาหาร ได้แก่ ด้านการมีอาหาร การเข้าถึง การใช้ประโยชน์ และความมีเสถียรภาพ โดยเฉพาะปัญหาการไม่มีการสำรองอาหารและขาดการวางแผนการบริโภคในครัวเรือนอย่างเป็นระบบ แนวทางการแก้ไขที่เสนอ เช่น การส่งเสริมให้ใช้พื้นที่รอบบ้านในการปลูกพืชผัก การวางแผนรายได้ในครัวเรือน และการส่งเสริมนโยบาย “1 ครัวเรือน 1 ความมั่นคงทางอาหาร” ถือเป็นแนวทางที่สามารถนำไปใช้ได้จริงและสอดคล้องกับแนวคิด “เกษตรทฤษฎีใหม่” ที่พระบาทสมเด็จพระเจ้าอยู่หัวรัชกาลที่ 9 ทรงเสนอไว้ (Phatthalung Rice Research Center, (2007)

อย่างไรก็ตาม ความสำเร็จในการนำแนวทางเหล่านี้ไปใช้ในระดับชุมชน ยังต้องการกลไกสนับสนุนจากภาครัฐและภาคเอกชน ทั้งในรูปแบบขององค์ความรู้ แรงจูงใจทางเศรษฐกิจ และโครงสร้างตลาดระดับท้องถิ่นที่เอื้อต่อการแปรรูปและจำหน่ายผลผลิต

สรุปผลการวิจัย

ผลการวิจัยพบว่า เกษตรกรในพื้นที่อำเภอทุ่งสง จังหวัดนครศรีธรรมราช มีการผลิตและใช้ประโยชน์จากข้าวพันธุ์พื้นเมือง โดยเฉพาะพันธุ์เม็ดฝ้าย ซึ่งมีการปลูกแซมในสวนยางพาราและปาล์มน้ำมันที่อยู่ในช่วงอายุน้อย ทำให้สามารถใช้พื้นที่ได้อย่างคุ้มค่า ผลผลิตส่วนหนึ่งใช้บริโภคในครัวเรือน และส่วนเกินจำหน่ายเพื่อสร้างรายได้ ซึ่งมีส่วนสนับสนุนต่อการสร้างความมั่นคงทางอาหารในระดับครัวเรือน

ด้านความรู้และทัศนคติ พบว่าเกษตรกรมีระดับความรู้และทัศนคติต่อความมั่นคงทางอาหารในระดับสูง โดยเฉพาะในด้านความมีเสถียรภาพของอาหารและการเข้าถึงอาหาร แต่ระดับการปฏิบัติจริงยังไม่สอดคล้องกับความรู้และทัศนคติที่มี ซึ่งสะท้อนถึงช่องว่างเชิงพฤติกรรม (behavioral gap) ที่ควรมีการศึกษาเพิ่มเติมในมิติของแรงจูงใจ ปัจจัยสนับสนุน หรือข้อจำกัดเชิงโครงสร้าง เช่น เงินทุน แรงงาน หรือการเข้าถึงปัจจัยการผลิต

ในส่วนของปัญหาและอุปสรรค พบว่าเกษตรกรยังประสบปัญหาในทุกมิติของความมั่นคงทางอาหาร เช่น ขาดที่ดินสำหรับปลูกข้าว ขาดความหลากหลายของแหล่งอาหาร และขาดการวางแผนการบริโภคหรือสำรองอาหาร ซึ่งเป็นจุดอ่อนที่สำคัญของระบบอาหารในชุมชน

สำหรับแนวทางการจัดการข้าวพันธุ์พื้นเมืองเพื่อสร้างความมั่นคงทางอาหาร ควรดำเนินการดังนี้

- ส่งเสริมการผลิตแบบผสมผสาน เช่น การปลูกข้าวพื้นเมืองร่วมกับพืชเศรษฐกิจในพื้นที่สวนยางพารา หรือปาล์มน้ำมัน

- พัฒนาองค์ความรู้และสร้างทัศนคติเชิงบวก ผ่านการฝึกอบรมหรือจัดกิจกรรมเรียนรู้ให้กับเกษตรกร โดยเฉพาะกลุ่มเป้าหมายที่มีระดับการปฏิบัติต่ำ

- สร้างกลไกการตลาดภายในชุมชน เช่น วิสาหกิจชุมชนหรือตลาดสีเขียว เพื่อรองรับผลผลิตจากข้าวพื้นเมือง

- สนับสนุนการจัดการพันธุกรรมในระดับท้องถิ่น โดยการอนุรักษ์พันธุ์ข้าวพื้นเมืองและใช้เทคโนโลยีภูมิปัญญาท้องถิ่นในการคัดเลือกและเก็บรักษาพันธุ์

- สร้างการมีส่วนร่วมของชุมชน ผ่านการจัดทำแผนอาหารระดับครัวเรือนหรือระดับชุมชน เพื่อให้เกิดการวางแผนและสำรองอาหารอย่างยั่งยืน

แนวทางเหล่านี้จะเป็นฐานสำคัญในการเสริมสร้างความมั่นคงทางอาหารของชุมชนอำเภอทุ่งสง จังหวัดนครศรีธรรมราช และอาจประยุกต์ใช้เป็นโมเดลสำหรับพื้นที่อื่น ๆ ที่มีลักษณะทางสังคมและเศรษฐกิจคล้ายคลึงกัน

งานวิจัยฉบับนี้มุ่งศึกษาความเชื่อมโยงระหว่างการผลิตข้าวพันธุ์พื้นเมืองกับการสร้างความมั่นคงทางอาหารของชุมชนในอำเภอทุ่งสง จังหวัดนครศรีธรรมราช โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อ (1) ศึกษาข้อมูลพื้นฐานของเกษตรกรและบริบทการผลิตข้าวพันธุ์พื้นเมือง (2) ศึกษาความรู้ ทัศนคติ และการปฏิบัติของเกษตรกรในการสร้างความมั่นคงทางอาหาร และ (3) วิเคราะห์ปัญหา อุปสรรค และเสนอแนวทางส่งเสริมการจัดการข้าวพันธุ์พื้นเมืองให้เกิดประโยชน์สูงสุดต่อชุมชน

การดำเนินการวิจัยใช้วิธีสำรวจเชิงปริมาณร่วมกับการวิเคราะห์เชิงคุณภาพ โดยเก็บข้อมูลจากเกษตรกรจำนวน 75 ราย ในสามตำบลหลักของอำเภอทุ่งสง พบว่า เกษตรกรส่วนใหญ่มีข้อจำกัดด้านการศึกษาและการเข้าถึงข้อมูล ส่งผลให้ขาดการมีส่วนร่วมกับกลุ่มชุมชนและขาดการอบรมที่เกี่ยวข้อง อย่างไรก็ตาม การผลิตข้าวพันธุ์พื้นเมืองโดยเฉพาะข้าวเจ้าที่ปลูกร่วมกับยางพาราและปาล์มน้ำมันในพื้นที่จำกัด สามารถสร้างรายได้ที่ดีและตอบสนองต่อการบริโภคภายในครัวเรือนอย่างมีประสิทธิภาพ

ในด้านความรู้และทัศนคติ เกษตรกรมีระดับความรู้และทัศนคติในระดับสูงมาก สะท้อนให้เห็นถึงการตระหนักรู้เกี่ยวกับบทบาทของตนเองในการสร้างความมั่นคงทางอาหาร แต่ระดับการปฏิบัติจริงกลับอยู่ในระดับ “มาก” โดยเฉพาะมิติความมีเสถียรภาพของอาหารยังคงต่ำกว่ามิติอื่นอย่างมีนัยสำคัญ ซึ่งชี้ให้เห็นถึงช่องว่างระหว่างการรับรู้กับพฤติกรรมการดำเนินชีวิตจริง ปัญหาหลักที่พบ ได้แก่ ข้อจำกัดด้านที่ดิน ขาดแหล่งอาหารที่หลากหลาย การไม่วางแผนการบริโภค และการพึ่งพาตลาดภายนอกมากกว่าการผลิตเพื่อบริโภคเอง

ผลการวิจัยนำไปสู่ข้อเสนอแนะเชิงแนวทางที่สามารถใช้ได้ทั้งในระดับครัวเรือนและระดับชุมชน ได้แก่ การใช้พื้นที่ว่างรอบบ้านเพื่อปลูกพืชอาหาร การส่งเสริมการจัดการรายได้และการวางแผนการบริโภค การพัฒนาระบบสำรองอาหาร และการส่งเสริมนโยบาย “1 ครัวเรือน 1 ความมั่นคงทางอาหาร” รวมถึงการอนุรักษ์และส่งเสริมการใช้พันธุ์ข้าวพื้นเมืองเพื่อรักษาความหลากหลายทางชีวภาพ ซึ่งเป็นทรัพยากรสำคัญในการรับมือกับวิกฤตด้านอาหารในอนาคต

กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้วิจัยขอขอบคุณทุนสนับสนุนจากสำนักงานคณะกรรมการส่งเสริมวิทยาศาสตร์ วิจัยและนวัตกรรม ประจำปีงบประมาณ พ.ศ. 2567 ภายใต้ชื่อโครงการความหลากหลายของข้าวพันธุ์พื้นเมืองสู่การสร้างความมั่นคงทางอาหารของชุมชนพื้นที่อำเภอทุ่งสง จังหวัดนครศรีธรรมราช ขอขอบคุณเกษตรกรตำบลเขาโร ตำบลนาไม้ไผ่ และตำบลควนกรด อำเภอทุ่งสง จังหวัดนครศรีธรรมราช ที่อนุเคราะห์ข้อมูลเพื่อประกอบการทำวิจัยในครั้งนี้ ขอขอบคุณคณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัย

เทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัยที่สนับสนุนบุคลากร และทรัพยากรต่าง ๆ สำหรับการวิจัยตลอดโครงการ ขอขอบคุณผู้ทรงคุณวุฒิทุก ๆ ท่าน ที่ได้ให้ความอนุเคราะห์พิจารณาเครื่องมือการวิจัยและให้ข้อเสนอแนะในการดำเนินงานวิจัย จนโครงการวิจัยนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

เอกสารอ้างอิง

Chaiamphorn, S. 2017. Food security: various cultural indicators in Thai society. **The NIDA Development Journal (NDJ)** 5(1): 200–222. [in Thai]

Department of Agriculture. 2002. **Characteristics and Values of Native Thai Rice Varieties.** Bangkok: Department of Agriculture, Ministry of Agriculture and Cooperatives. 215 p. [in Thai]

Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO). 2006. **Food Security: Policy Brief.** Rome: FAO. 4 p.

Office of Agricultural Economics. 2006. **Agricultural product production information.** [Online]. Available https://www.oae.go.th/view/1/A3/TH-TH. (October 22, 2024). [in Thai]

Office of Agricultural Economics. 2018. **Rice**. [Online]. Available https://www.oae.go.th/view/1/%E0%B8%82%E0%B9%89%E0%B8%B2%E0%B8%A7/TH-TH (October 22, 2024). [in Thai]

Office of The Permanent Secretary for Ministry of Agriculture and Cooperatives. 2024. **Basic information of Nakhon Si Thammarat Province**. [Online]. Available https://www.opsmoac.go.th/news-preview-461391791298 (May 5, 2025). [in Thai]

Phatthalung Rice Research Center. 2007. **Native Rice Varieties of Southern Thailand.** Volume 1. Bangkok: Rice Research and Development Bureau, Rice Department. 27 p. [in Thai]

Prachasanti, S. 2009. **The Situation of Food Security in Thailand After 1997**. Bangkok: Sustainable Agriculture Foundation (Thailand), National Health Commission Office (NHCO), Office of Agricultural Economics. 7 p. [in Thai]

Rice Department. 2024. **Rice knowledge bank**. [Online]. Available https://newwebs2.ricethailand.go.th/webmain/rkb3/ (October 22, 2024). [in Thai]

Siamwala, A. and W. Na Ranong. 1990. **Compilation of Knowledge about Rice**. Bangkok: Thailand Development Research Institute. 379 p. [in Thai]

Srisakud, B. 2017. **Research (10th ed.)**. Bangkok: Suweerivasarn. 301 p. [in Thai]

Thaveerat, P. 2000. **Research in Behavioral and Social Sciences (8th ed.)**. Bangkok: Chulalongkorn University Press. 303 p. [in Thai]

Veerapat, P. 1977. **Rice, Important Characteristics of Rice for Agriculture**. Bangkok: Thai Youth Encyclopedia Foundation. 289 p. [in Thai]

วารสารวิจัยและส่งเสริมวิชาการเกษตร 42(3): 204-220

ไขปริศนาผลกระทบและความเสี่ยงจากการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศต่อการผลิตข้าวนาปีในเขตชลประทาน: กรณีศึกษาทางเศรษฐมิติจากภาคตะวันออกเฉียงเหนือของประเทศไทย

Unravelling Climate Change's Impact and Risk on Wet Season Rice Production in Irrigated Areas: An Econometric Case Study from Northeastern Thailand

ธนากร แสนสาร นิโรจน์ สินณรงค์* วราภรณ์ นันทะเสน และเก นันทะเสน

Thanakorn Saensan, Nirote Sinnarong*, Waraporn Nunthasen and Ke Nunthasen

สาขาวิชาเศรษฐศาสตร์ประยุกต์ คณะเศรษฐศาสตร์ มหาวิทยาลัยแม่โจ้ เชียงใหม่ 50290

Department of Applied Economics, Faculty of Economics, Maejo University, Chiang Mai, Thailand 50290

*Corresponding author: nirote@mju.ac.th

Received: *September 24, 2023*

Revised: *March 02, 2025*

Accepted: *April 11, 2025*

Abstract

This study aimed to analyze the impact and risk of climate change on wet season rice production in irrigated areas of Northeastern Thailand. The Feasible Generalized Least Squares (FGLS) was applied to estimate the rice production function. By using the panel data on rice production from 19 provinces in the northeast classified by irrigation area of wet season rice (2002–2020), the results of the study showed that Area harvested, Trend Time, Cumulative Precipitation, and Average Temperature had a positive effect on the yield of wet season rice. At the same time, they were risk factors for rice production variance. On the other hand, rice production in the irrigated area depended on accumulated rainfall and average temperature, which had a negative impact on the wet season rice production and there was a statistically significant increase in the risk of variation in rice production. When considering dummy variables representing cumulative rainfall events exceeding requirement, there was a negative effect on rice yield. At the same time, there was a statistically significant increase in the risk of variance in rice production in all three cases. This study suggests that the characteristics of areas receiving water from irrigation have differentially influenced rice crop yield.

Keywords: wet season rice production, climate change, impact and risk
feasible generalized least squares, econometric panel analysis

บทคัดย่อ

บทความนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลกระทบและความเสี่ยงจากการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศต่อการผลิตข้าวนาปีในเขตชลประทานในภาคตะวันออกเฉียงเหนือของประเทศไทย การวิเคราะห์ฟังก์ชันการผลิตข้าวด้วยวิธีกำลังสองน้อยที่สุดทั่วไปแบบเป็นไปได้ (FGLS) โดยใช้ข้อมูลแบบพาเนล จำนวน 19 จังหวัดในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ จำแนกตามพื้นที่เขตชลประทาน (พ.ศ. 2545–2563) ผลการศึกษาพบว่า พื้นที่ปลูกข้าว แนวโน้มของเวลา ปริมาณน้ำฝนสะสม และอุณหภูมิเฉลี่ยมีผลกระทบเชิงบวกต่อผลผลิตข้าวนาปี ขณะเดียวกันเป็นตัวแปรลดความเสี่ยงจากความแปรปรวนต่อการผลิตข้าวนาปีอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ในทางกลับกันผลผลิตข้าวนาปีในเขตชลประทาน ปริมาณน้ำฝนสะสม และอุณหภูมิเฉลี่ย มีผลกระทบเชิงลบต่อผลผลิตข้าวนาปีในเขตชลประทาน และเป็นตัวแปรเพิ่มความเสี่ยงจากความแปรปรวนต่อการผลิตข้าวนาปีอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ เมื่อพิจารณาตัวแปรหุ่นเป็นตัวแทนของเหตุการณ์ปริมาณน้ำฝนสะสมที่เกินความต้องการมีผลกระทบเชิงลบต่อผลผลิตข้าว ขณะเดียวกันเป็นตัวแปรเพิ่มความเสี่ยงจากความแปรปรวนต่อการผลิตข้าวทั้งสามกรณีอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ การศึกษานี้ชี้ให้เห็นว่าลักษณะพื้นที่ได้รับน้ำจากชลประทานที่มีอิทธิพลแตกต่างกัน

คำสำคัญ: การผลิตข้าวนาปี การเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ ผลกระทบและความเสี่ยง วิธีกำลังสองน้อยที่สุดทั่วไปแบบเป็นไปได้ การวิเคราะห์เศรษฐมิติด้วยข้อมูลพาแนล

คำนำ

การเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศเป็นความท้าทายสำคัญที่มนุษยชาติกำลังเผชิญ โดยส่งผลกระทบต่อระบบเกษตรกรรมทั่วโลก จากข้อมูลของ NOAA: National Centers for Environmental Information (2023) พบว่าตั้งแต่ทศวรรษ 1980 อุณหภูมิพื้นผิวโลกเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง โดยในปี ค.ศ. 2021 ความผิดปกติของอุณหภูมิพื้นผิวบนบกและมหาสมุทรสูงถึง 0.84 องศาเซลเซียส ซึ่งส่งผลให้เกษตรกรต้องเผชิญความเสี่ยงด้านการผลิตที่เพิ่มขึ้น

ภาคเกษตรกรรมมีความเสี่ยงหลายรูปแบบ ทั้งด้านการผลิต การตลาด การเงิน สถาบัน และความเสี่ยงส่วนบุคคล (Komarek *et al.*, 2020) โดยเฉพาะความไม่แน่นอนจากปัจจัยภายนอกที่ควบคุมไม่ได้ เช่น ภูมิอากาศ แมลงศัตรูพืช และโรคพืช (Baethgen *et al.*, 2010) การเกษตรในประเทศไทยส่วนใหญ่พึ่งพาทรัพยากรธรรมชาติและสภาพอากาศเป็นหลัก ทำให้มีความเสี่ยงสูงจากการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ (Sinnarong *et al.*, 2022)

ภาคตะวันออกเฉียงเหนือเป็นพื้นที่ราบสูงขนาดใหญ่และเป็นแหล่งผลิตข้าวที่สำคัญของประเทศไทย แม้จะมีการพัฒนาระบบชลประทานในพื้นที่บางส่วน แต่ภูมิภาคนี้ยังคงประสบปัญหาภัยแล้งและอุทกภัยอย่างต่อเนื่อง ส่งผลกระทบต่อผลผลิตข้าวนาปี ลักษณะทางกายภาพของภูมิภาค ทั้งดินที่มีความสามารถในการอุ้มน้ำต่ำและรูปแบบการกระจายตัวของฝนที่ไม่สม่ำเสมอ ทำให้เกิดคำถามว่าระบบชลประทานสามารถลดความเสี่ยงจากความผันผวนของสภาพภูมิอากาศได้อย่างมีประสิทธิภาพเพียงใด การศึกษานี้จึงมุ่งเปรียบเทียบผลกระทบของ

ปริมาณน้ำฝนต่อผลผลิตข้าวระหว่างพื้นที่ในเขตและนอกเขตชลประทาน เพื่อประเมินประสิทธิภาพของระบบชลประทานในการรับมือกับการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศในภูมิภาคที่มีความเปราะบางสูง

แม้ว่าการศึกษาก่อนหน้านี้ได้วิเคราะห์ผลกระทบของการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศต่อการผลิตข้าวในบางภูมิภาคของประเทศไทย (Pakeechai *et al.*, 2020; Puphoung *et al.*, 2019; Sinnarong *et al.*, 2019; Sinnarong *et al.*, 2022) แต่ยังไม่มีการศึกษาที่คำนึงถึงอิทธิพลเชิงพื้นที่ของเขตชลประทานมาก่อน การวิจัยนี้จึงมุ่งเติมเต็มช่องว่างโดยวิเคราะห์ผลกระทบและความเสี่ยงจากการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศต่อการผลิตข้าวนาปีที่แตกต่างกันตามเขตชลประทาน

บทความนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลกระทบและความเสี่ยงจากการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศต่อการผลิตข้าวนาปีในเขตชลประทานในภาคตะวันออกเฉียงเหนือของไทย โดยประยุกต์ใช้กรอบทฤษฎีฟังก์ชันการผลิตสตอแชสติก (Stochastic Production Function) ของ Just and Pope (1978) การวิเคราะห์ใช้ข้อมูลแบบพาแนลซึ่งรวมอิทธิพลเชิงพื้นที่และอิทธิพลเชิงเวลาเข้าด้วยกัน ทำให้สามารถวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรสภาพภูมิอากาศและผลผลิตข้าวได้อย่างครอบคลุม การวิเคราะห์ใช้วิธีกำลังสองน้อยที่สุดทั่วไปแบบเป็นไปได้ (Feasible Generalized Least Squares: FGLS) เพื่อแก้ไขปัญหาความคลาดเคลื่อนที่แตกต่างกัน (heteroskedasticity) และความสัมพันธ์อัตโนมัติในข้อมูล (autocorrelation) ผลการศึกษานี้จะให้ข้อมูลเชิงลึกเกี่ยวกับความเปราะบางของพื้นที่ปลูกข้าวในเขตชลประทานที่แตกต่างกันต่อการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ

วิธีดำเนินการวิจัย

ข้อมูลกลุ่มตัวอย่างที่ใช้ศึกษา

1. ข้อมูลการผลผลิตข้าวนาปีรายจังหวัดของภาคตะวันออกเฉียงเหนือ 19 จังหวัด ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2545-2565 จากสำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร ประกอบด้วย พื้นที่เก็บเกี่ยว ผลผลิตข้าว ผลผลิตเฉลี่ย

2. ข้อมูลสภาพอากาศในอดีต ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2545-2565 ของ Climatic Research Unit Gridded Time Series (CRU TS) และข้อมูลสภาพอากาศในอนาคตจากการสมมุติเหตุการณ์ของ CMIP6 ที่เผยแพร่โดย World Bank (2022) ประกอบด้วย อุณหภูมิเฉลี่ย ปริมาณหยาดน้ำฟ้า หรือปริมาณน้ำฝน

การวิเคราะห์ข้อมูล

1. การทดสอบความนิ่งของข้อมูลพาเนล (Panel Unit Root Test) เพื่อตรวจสอบปัญหาการถดถอยปลอม (spurious regression) ก่อนจะนำไปวิเคราะห์ข้อมูล โดยทดสอบความสัมพันธ์เชิงดุลยภาพระยะยาวของข้อมูลแบบพาเนล (Panel Unit Root Test) ณ ระดับ Level หรือ I(0) ด้วยวิธี Im-Pesaran and Shin (IPS) test (Im *et al.*, 2003) โดยมีสมมติฐานหลัก H_0 แสดงว่าตัวแปรที่สนใจศึกษาข้อมูลมีลักษณะไม่นิ่ง (non-stationary)

2. การทดสอบรูปแบบสมการแบบ Fixed และ Random Effects ด้วยวิธี Hausman's Specification Test เนื่องจากการประมาณการข้อมูลพาแนล สามารถประมาณได้ทั้ง 2 วิธี ดังนั้น จึงจำเป็นต้องมีเครื่องมือเพื่อช่วยทดสอบว่าวิธีใดเหมาะสมกับแบบจำลองมากที่สุด (Studenmund, 2011) โดยมีสมมุติฐานหลัก H_0: มีความเหมาะสมการใช้ Random Effect Model แต่ถ้าปฏิเสธสมมุติฐานหลัก H_1: มีความเหมาะสมการใช้ Fixed Effect Model

3. การทดสอบแบบ Autocorrelation คือ การทดสอบหาค่าอัตสหสัมพันธ์ภายในระหว่างผลผลิตและปัจจัยนำเข้าในช่วงเวลา t ใด ๆ ด้วยวิธี Wooldridge (2002) โดยมีสมมุติฐานหลัก H_0: ไม่มีอัตสหสัมพันธ์ภายในอันดับที่หนึ่ง แต่ถ้าปฏิเสธสมมุติฐานหลัก H_1: มีอัตสหสัมพันธ์ภายในอันดับที่หนึ่ง

4. การทดสอบปัญหาค่าคลาดเคลื่อนมีความแปรปรวนไม่คงที่ (Heteroscedasticity Test) การใช้ข้อมูลภาคตัดขวางมักจะมีโอกาสที่ค่าความคลาดเคลื่อนมีความแปรปรวนไม่คงที่สูงกว่ากรณีที่ใช้ข้อมูลอนุกรมเวลา ซึ่งผิดข้อสมมติพื้นฐานของวิธีการกำลังสองน้อยที่สุด ด้วยวิธี Modified Wald Test for Groupwise Heteroskedasticity (Greene, 2000) หากผลการทดสอบพบว่า ค่าสถิติ Chi-square ที่คำนวณได้มีค่าสูงกว่าค่าวิกฤต (prob. < วิกฤต (prob. < (α) จะปฏิเสธสมมติฐานหลัก แสดงว่า สมการถดถอยมีปัญหาค่าความแปรปรวนของค่าความคลาดเคลื่อนไม่คงที่ (heteroscedasticity)

5. วิธีการประมาณค่าด้วยวิธีกำลังสองน้อยที่สุดแบบทั่วไปที่เป็นไปได้ (Feasible Generalized Least Squares: FGLS) เพื่อแก้ไขปัญหาค่าความแปรปรวนของค่าความความคลาดเคลื่อนไม่คงที่ ตามวิธีการศึกษาของ Sinnarong *et al.* (2022)

การกำหนดแบบจำลอง

จากแนวคิดฟังก์ชันการผลิตของ Just and Pope (1978); Just and Pope (1979) **กำหนดรูปแบบฟังก์ชันการผลิตแบบ Stochastic Production Function (SPF)** หรือ $y = f(x, v)$ เมื่อ x เป็นเวกเตอร์ของปัจจัยการผลิตทั่วไป เช่น ที่ดิน ทุน แรงงาน และ v เป็นเวกเตอร์ของปัจจัยการผลิตที่ไม่สามารถควบคุมได้ ได้แก่ สภาพอากาศในพื้นที่เพาะปลูก ทั้งนี้เพื่อนำปัจจัยเชิงสุ่มที่จะส่งผลต่อความไม่แน่นอนในการผลิต เช่น ปริมาณน้ำฝน อุณหภูมิ ความเข้มของแสง (Battese *et al.*, 1997; Jatuporn and Takeuchi, 2022; Yu *et al.*, 2022) เพื่อให้ได้ผลกระทบที่เกิดจากการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศที่มีต่อผลผลิตข้าวโดยกำหนดให้อิทธิพลของตัวแปรอื่นที่ไม่ได้นำเข้ามาวิเคราะห์เป็นค่าคลาดเคลื่อนของแบบจำลอง ดังนั้นการวิจัยครั้งนี้จึงได้จัดรูปแบบของสมการให้อยู่ในรูปแบบ Double-Log โดยให้อยู่ในรูปของลอการิทึมธรรมชาติ (ln) เพื่อแสดงถึงการเปลี่ยนแปลงไปของร้อยละความยืดหยุ่น

สมการผลผลิตเฉลี่ย (mean production function)

$$\begin{aligned}\ln Production_{it} = {} & \alpha_0 + \beta_{it} \ln Area_{havest_{it}} + \beta_{it} \ln Time_{it} + \beta_a \ln Precipitation_a + \\ & \beta_b \ln Variance_Precipitation_b + \beta_c Rain_Over_c + \beta_d \ln Temp_d + \\ & \beta_e \ln Variance_Temp_e + u_{it} + v_{it}\end{aligned} \quad (1)$$

โดยที่

lnProduction	คือ	ผลผลิตข้าวรายจังหวัด i ณ ปีที่ t (ตัน)
lnArea_harvest	คือ	พื้นที่เก็บเกี่ยวผลผลิตข้าวรายจังหวัด i ณ ปีที่ t (ไร่)
lnTime	คือ	แนวโน้มของเวลา ซึ่งตัวแทนของเทคโนโลยีที่เปลี่ยนไปตามช่วงเวลา
lnPrecipitation	คือ	ปริมาณน้ำฝนสะสมรายปี (มิลลิเมตร)
lnVariance_Precipitation	คือ	ความแปรปรวนปริมาณน้ำฝนสะสมรายปี (มิลลิเมตร)^2
Rain_Over	คือ	ตัวแปรหุ่นเป็นตัวแทนของเหตุการณ์ปริมาณน้ำฝนสะสมที่เกินความต้องการ (มากกว่า 1,290 มิลลิเมตร เท่ากับ 1 หรือน้อยกว่า 1,290 มิลลิเมตร เท่ากับ 0)

lnTemp	คือ อุณหภูมิเฉลี่ยรายปี (องศาเซลเซียส)
lnVariance_Temp	คือ ความแปรปรวนอุณหภูมิเฉลี่ยรายปี (องศาเซลเซียส)^2
u_{it}	คือ ผลกระทบเฉพาะช่วงเวลา (time-specific fixed effects) ซึ่งจับผลกระทบที่เกิดขึ้นในช่วงเวลา t ที่มีผลต่อทุกหน่วยพื้นที่ i
v_{it}	คือ ค่าความคลาดเคลื่อน (error term) ซึ่งเป็นส่วนที่เหลือในแบบจำลองที่ไม่สามารถอธิบายได้ด้วยตัวแปรอิสระที่กำหนด
i และ t	คือ พื้นที่แต่ละจังหวัดที่ i และ ณ เวลา t

วิเคราะห์ในโมเมนต์ที่สูงขึ้นสำหรับการวิเคราะห์ฟังก์ชันความแปรปรวนของผลผลิตฟังก์ชันความเบ้ ฟังก์ชันความโด่งของผลิต สามารถประยุกต์แนวคิดแบบจำลองเชิงโมเมนต์ของฟังก์ชันการผลิตตามแบบของ Antle (1983); Antle and Havenner (1983) ได้ดังสมการความแปรปรวนของผลผลิต โดยที่ u^2 คือ ความแปรปรวนของผลผลิตเฉลี่ย

$$u^2 = \alpha_0 + \beta_{it} \ln Area_havest_{it} + \beta_{it} \ln Time_{it} + \beta_a \ln Precipitation_a + \beta_b \ln Variance_Precipitation_b + \beta_c Rain_Over_c + \beta_d \ln Temp_d + \beta_e \ln Variance_Temp_e + \mu_{it} + v_{it} \quad (2)$$

ผลการวิจัย

การวิเคราะห์ถูกแบ่งเป็น 3 กรณี ได้แก่ (1) พื้นที่นอกเขตชลประทาน (2) พื้นที่ในเขตชลประทาน และ (3) พื้นที่โดยรวม เนื่องจากการเข้าถึงระบบชลประทานในภาคตะวันออกเฉียงเหนือยังมีน้อย การศึกษาแยกกรณีจะช่วยประเมินบทบาทของระบบชลประทานในการลดความเสี่ยงจากความแปรปรวนของสภาพภูมิอากาศ และเปรียบเทียบผลกระทบระหว่างพื้นที่ที่สามารถควบคุมปริมาณน้ำได้กับพื้นที่ที่ต้องพึ่งพาน้ำฝนซึ่งมีความแปรปรวนสูง จาก Table 1 ผลการวิเคราะห์สถิติพรรณนา สำหรับตัวแปรตามผลผลิตข้าวในฤดูของภาคตะวันออกเฉียงเหนือ แสดงให้เห็นว่าค่าเฉลี่ยที่สูงขึ้นมีความสัมพันธ์กับค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานที่สูงขึ้นสำหรับทั้งนอกและในเขตชลประทาน สำหรับตัวแปรพื้นที่เก็บเกี่ยวผลผลิตข้าว จะเห็นได้ว่าพื้นที่เก็บเกี่ยวผลผลิตข้าวในเขตชลประทานมีขนาดที่น้อยกว่าพื้นที่เก็บเกี่ยวผลผลิตข้าวนอกเขตชลประทานมาก คิดเป็นร้อยละ 3.92 ของพื้นที่เก็บเกี่ยวผลผลิตข้าวในฤดูทั้งหมด แสดงให้เห็นถึงการเข้าถึงแหล่งน้ำชลประทานของเกษตรกรผู้ปลูกข้าวในภาคตะวันออกเฉียงเหนือค่อนข้างน้อย เป็นผลให้เกษตรกรผู้ปลูกข้าวส่วนใหญ่ต้องพึ่งพาน้ำฝนเป็นหลัก ซึ่งไม่สามารถควบคุมปริมาณน้ำได้ เมื่อดูความแปรปรวนของปริมาณน้ำฝนสะสมในช่วงการผลิต พบว่าค่าเฉลี่ยที่สูงขึ้นมีความสัมพันธ์กับค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานที่สูงขึ้น กล่าวได้ว่าปริมาณน้ำฝนสะสมมีความแปรปรวนสูง และเมื่อดูค่าเฉลี่ยปริมาณน้ำฝนสะสมในช่วงการผลิตเท่ากับ 1,322.47 มิลลิเมตร ซึ่งเกินกว่าความต้องการปริมาณน้ำฝนของข้าวที่ 1,290 มิลลิเมตร (Phitsanulok Rice Research Center, 2017)

ด้วยเหตุนี้ผู้วิจัยจึงสร้างตัวแปรหุ่นเพื่อเป็นตัวแทนของปริมาณน้ำฝนสะสมที่เกินความต้องการที่อาจจะสร้างความเสียหายให้กับผลผลิตข้าวได้ จากสถิติแสดงให้เห็นว่าสัดส่วนค่าเฉลี่ยของปริมาณน้ำฝนสะสมที่เกินความต้องการคิดเป็นร้อยละ 50.1 ของพื้นที่ศึกษา สำหรับตัวแปรอุณหภูมิเฉลี่ยในช่วงการผลิตที่เป็นตัวแทนและได้รวมอิทธิพลของอุณหภูมิสูงสุดต่ำสุดไว้แล้วนั้นมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 26.69 องศาเซลเซียส ซึ่งอยู่ในช่วงที่

เหมาะสมสำหรับปลูกข้าว 25–35 องศาเซลเซียส ดังที่มีการศึกษาในจีนตอนใต้ (Song *et al.*, 2022) และเอเชียเขตร้อนชื้น (Welch *et al.*, 2010) อีกทั้งไม่มีข้อมูลบันทึกที่เกิน 35 องศาเซลเซียสขึ้นไปที่สามารถสร้างความเสียหายต่อเกสรตัวผู้ (Farrell *et al.*, 2006) เมื่อดูความแปรปรวนของอุณหภูมิเฉลี่ยในช่วงการผลิต พบว่ามีค่าเฉลี่ยและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานค่อนข้างน้อย

Table 1 Descriptive statistics of the date used in the estimations

Variable	Obs	Mean	Std. Dev.	Min	Max
Wet season rice production (tonnes)	361	604,550.69	332,802.16	111,349	1,432,101
Wet season rice area harvested (rai)	361	1,719,257.60	925,554.46	313,356	4,163,693
Out-irrigated production (tonnes)	361	537,001.18	299,597.16	99,031	1,323,437
Out-irrigated area harvested (rai)	361	1,544,448.10	838,660.74	279,675	3,807,093
In-irrigated production (tonnes)	361	67,549.51	50,736.325	5,534	263,502
In-irrigated area harvested (rai)	361	174,809.50	130,788.80	7,388	614,351
Cumulative precipitation (mm)	361	1,322.477	266.482	846.906	2,540.216
Variance of the precipitation (mm^2)	361	1,416.386	2,271.729	0.054	24,774.875
Rain over requirement (>1,290 mm.) (Dummy)	361	0.501	0.501	0.000	1.000
Average temperature (°C)	361	26.699	0.614	24.56	28.036
Variance of the average temperature ($°C^2$)	361	0.006	0.006	0.000	0.032

จาก Table 2 ผลการทดสอบทดสอบความนิ่งของข้อมูลแบบพาเนล (Panel Unit Root Test) ณ ระดับ Level หรือ I(0) ด้วยวิธี Im-Pesaran-Shin พบว่า ตัวแปรทุกตัวปฏิเสธสมมุติฐานหลัก (all panels contain unit roots) สรุปได้ว่า ตัวแปรที่ใช้ศึกษามีลักษณะนิ่ง (stationary) ที่ระดับนัยสำคัญ 0.01 ดังนั้นไม่จำเป็นต้องดำเนินขั้นตอนการแก้ไขรูปแบบข้อมูลและสามารถนำไปวิเคราะห์ข้อมูลแบบพาเนลต่อได้

Table 2 Panel unit root test results

	Variables	Im-Pesaran-Shin	
		W-t-bar	p-value
	Linear		
Dependent	Wet season rice production (tonnes)	-4.5052	0.0000***
	Wet season rice area harvested (rai)	-4.6960	0.0000***
	Non-Irrigated area production (tonnes)	-3.5882	0.0002***
	Non-Irrigated area harvested (rai)	-4.3470	0.0000***
	Irrigated production (tonnes)	-2.8921	0.0019***
	Irrigated area harvested (rai)	-2.9858	0.0014***

Table 2 (Continued)

	Variables	Im-Pesaran-Shin	
		W-t-bar	p-value
Independent	Cumulative precipitation (mm)	-9.2561	0.0000***
	Variance of the precipitation (mm^2)	-19.0358	0.0000***
	Average temperature (°C)	-8.8796	0.0000***
	Variance of the average temperature ($°C^2$)	-12.9698	0.0000***
Dependent	**Natural logarithm**		
	Wet season rice production (tonnes)	-4.4513	0.0000***
	Wet season rice area harvested (rai)	-4.7025	0.0000***
	Non-irrigated area production (tonnes)	-3.5108	0.0002***
	Non-irrigated area harvested (rai)	-4.3607	0.0000***
	Irrigated production (tonnes)	-2.9873	0.0014***
	Irrigated area harvested (rai)	-3.4996	0.0002***
Independent	Cumulative precipitation (mm)	-8.6029	0.0000***
	Variance of the precipitation (mm^2)	-14.7481	0.0000***
	Average temperature (°C)	-8.9666	0.0000***
	Variance of the average temperature ($°C^2$)	-12.3373	0.0000***

Source: from analysis result

*, **, and *** indicate that the significant at the 10%, 5%, and 1% level of significance

จาก Table 3 ผลการทดสอบลักษณะการกำหนดแบบจำลอง เมื่อทดสอบรูปแบบสมการ ด้วยวิธี Hausman's พบว่าแบบจำลองผลผลิตข้าวนาปีรวมและแบบจำลองผลผลิตข้าวนาปีนอกเขตชลประทาน ไม่สามารถปฏิเสธสมมุติฐานหลักอย่างไม่มีระดับนัยสำคัญ จึงมีความเหมาะสมต่อการใช้ Random Effect Model เนื่องจากผลการทดสอบ Hausman ไม่ปฏิเสธสมมติฐานหลัก แสดงว่าไม่มีความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยเฉพาะหน่วย (Individual-specific Effects) กับตัวแปรอิสระ ทำให้ตัวประมาณค่า Random Effects มีประสิทธิภาพสูงกว่าและให้ข้อมูลเชิงประชากรที่สมบูรณ์กว่า ในขณะที่แบบจำลองผลผลิตข้าวนาปีในเขตชลประทาน ปฏิเสธสมมุติฐานหลักอย่างมีระดับนัยสำคัญที่ 0.01 จึงมีความเหมาะสมการใช้ Fixed Effect Model เนื่องจากผลการทดสอบ Hausman ปฏิเสธสมมติฐานหลัก บ่งชี้ว่ามีความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยเฉพาะหน่วยกับตัวแปรอิสระ จึงจำเป็นต้องควบคุมความแตกต่างระหว่างหน่วยที่ไม่ได้สังเกต (unobserved heterogeneity) ที่คงที่ตามเวลา แต่เมื่อได้ทดสอบแบบจำลองหลังการประมาณค่าเพื่อตรวจการละเมิดข้อสมมุติฐานของแบบจำลองสมการถดถอย จากการทดสอบ serial correlation ด้วยวิธี Wooldridge พบว่าแบบจำลองผลผลิตข้าวนาปีรวม แบบจำลองผลผลิตข้าวนาปีนอกเขตชลประทานและแบบจำลองผลผลิตข้าวในเขตชลประทาน ปฏิเสธ

สมมุติฐานหลักอย่างมีระดับนัยสำคัญที่ 0.1 สรุปได้ว่า แบบจำลองทั้งสามมีอัตสหสัมพันธ์ภายในอันดับที่หนึ่ง และสุดท้ายจากการทดสอบปัญหา Heteroscedasticity ด้วยวิธี Wald Test for Groupwise Heteroskedasticity พบว่าแบบจำลองทั้งสาม ปฏิเสธสมมุติฐานหลักอย่างมีระดับนัยสำคัญที่ 0.05 สรุปได้ว่า แบบจำลองดังกล่าวมีค่าคลาดเคลื่อนมีความแปรปรวนไม่คงที่ กล่าวโดยสรุปแล้วแบบจำลองผลผลิตข้าวนาปีรวมและแบบจำลองผลผลิตข้าวนาปีนอกเขตชลประทาน มีความเหมาะสมต่อการใช้ Random Effect Model ในขณะที่แบบจำลองผลผลิตข้าวนาปีในเขตชลประทาน มีความเหมาะสมการใช้ Fixed Effect Model ดังแสดงผลการวิเคราะห์ข้อมูลพาแนลใน Table 3 แต่อย่างไรก็ตาม แบบจำลองดังกล่าวมีปัญหามีอัตสหสัมพันธ์ภายในอันดับที่หนึ่งและมีค่าคลาดเคลื่อนมีความแปรปรวนไม่คงที่ ด้วยเหตุนี้จึงมีความเหมาะสมที่จะใช้วิธีการประมาณค่าด้วยวิธีกำลังสองน้อยที่สุดแบบทั่วไปที่เป็นไปได้ (FGLS) เพื่อแก้ไขปัญหาค่าความแปรปรวนของค่าความความคลาดเคลื่อนไม่คงที่ร่วมกับปรับปัญหามีอัตสหสัมพันธ์ภายในอันดับที่หนึ่ง

Table 3 Model specification of all wet season rice, non-irrigated area and irrigated area

Type of test	Hypothesis	Wet season rice	Non-irrigated area	Irrigated area
Hausman Test: Choice between fixed and random effects	H_o: Difference in coefficients not systematic	χ^2 (6) = 10.06	χ^2 (6) p1 m = 8.15	χ^2 (6) = 39.09***
Wooldridge Test for serial correlation	H_0: no first-order autocorrelation	F(1, 18) = 25.199***	F(1, 18) = 27.854***	F(1, 18) = 4.353*
Modified Wald Test for group wise heteroskedasticity	H_0: sigma(i)^2 = sigma^2 for all i	χ^2 (19) = 144.50***	χ^2 (19) = 228.31***	χ^2 (19) = 297.56***

Source: from analysis result

*, **, and *** indicate that the significant at the 10%, 5%, and 1% level of significance

จาก Table 4 ผลแบบจำลองฟังก์ชันผลผลิตเฉลี่ยโดยใช้การประมาณค่าด้วยวิธีกำลังสองน้อยที่สุดแบบทั่วไปที่เป็นไปได้ (FGLS) ในการศึกษาครั้งนี้ใช้รูปแบบจำลอง Cobb-Douglas เพื่ออธิบายความสัมพันธ์ของปัจจัยการผลิตข้าว โดยที่ค่าสัมประสิทธิ์ (β) แสดงถึงความยืดหยุ่นของปัจจัยการผลิตข้าวนาปีที่มีต่อเปลี่ยนแปลงไปร้อยละปริมาณผลผลิตข้าวพบว่า **ตัวแปรพื้นที่ปลูกข้าว** มีผลกระทบเชิงบวกต่อร้อยละปริมาณผลผลิตข้าวนาปีรวม ข้าวนาปีทั้งนอกและในเขตชลประทานอย่างมีระดับนัยสำคัญที่ 0.01 กล่าวคือ เมื่อพื้นที่ปลูกข้าวเพิ่มขึ้นร้อยละ 1 ส่งผลให้ผลผลิตเฉลี่ยข้าวนาปีรวมเพิ่มขึ้นร้อยละ 0.9898 ที่ระดับนัยสำคัญที่ 0.01 เช่นเดียวกันกับผลผลิตเฉลี่ยข้าวนาปีทั้งนอกและในเขตชลประทานเพิ่มขึ้นร้อยละ 0.9879 และ 0.9627 ตามลำดับ เมื่อพิจารณา**ตัวแปรแนวโน้มของเวลา (trend time)** อันเป็นตัวแทนของเทคโนโลยีการผลิตที่เปลี่ยนไปตามกาลเวลา มีผลกระทบเชิงบวกต่อร้อยละปริมาณผลผลิตข้าวนาปีรวม (β = 0.0311) และนอกเขต

ชลประทาน (β = 0.0331) อย่างมีระดับนัยสำคัญที่ 0.01 ในขณะที่มีผลกระทบเชิงบวกต่อร้อยละปริมาณผลผลิตข้าวนาปีในเขตชลประทาน (β = 0.0074) อย่างมีระดับนัยสำคัญที่ 0.10 เมื่อพิจารณา**ตัวแปรปริมาณน้ำฝนสะสม** มีผลกระทบเชิงบวกต่อร้อยละปริมาณผลผลิตข้าวนาปีรวม (β = 0.0439) และนอกเขตชลประทาน (β = 0.0573) อย่างมีระดับนัยสำคัญที่ 0.01 ในขณะที่มีผลกระทบเชิงลบต่อร้อยละปริมาณผลผลิตข้าวนาปีในเขตชลประทาน (β = -0.1012) อย่างมีระดับนัยสำคัญที่ 0.01 **ตัวแปรความแปรปรวนของปริมาณน้ำฝนสะสม** มีผลกระทบเชิงบวกต่อร้อยละปริมาณผลผลิตข้าวนาปีทั้งสามกรณี โดยส่งผลให้ผลผลิตข้าวนาปีรวม ข้าวนาปีนอกเขตชลประทาน และข้าวนาปีในเขตชลประทานเพิ่มขึ้นร้อยละ 0.0017, 0.0018 และ 0.0051 ตามลำดับ ที่ระดับนัยสำคัญ 0.01 ผลการศึกษานี้ขัดแย้งกับแนวคิดทั่วไปที่ว่าความแปรปรวนของปริมาณน้ำฝนควรส่งผลเชิงลบต่อผลผลิต ปรากฏการณ์นี้อาจเกิดจากการที่ความแปรปรวนสูงสัมพันธ์กับช่วงที่มีปริมาณน้ำฝนมาก ซึ่งในพื้นที่ที่มีแนวโน้มแห้งแล้งอาจเป็นประโยชน์ต่อการเติบโตของข้าว ทั้งนี้ควรมีการศึกษาเพิ่มเติมเพื่อยืนยันความสัมพันธ์ดังกล่าว

เมื่อพิจารณา**ตัวแปรหุ่นเป็นตัวแทนของเหตุการณ์ปริมาณน้ำฝนสะสมที่เกินความต้องการ** แสดงถึงปริมาณน้ำฝนสะสมที่เกินความต้องการถูกกำหนดให้มีค่า 1 เมื่อพื้นที่มีปริมาณน้ำฝนสะสมเกิน 1,290 มิลลิเมตร ซึ่งเป็นปริมาณน้ำสูงสุดที่ข้าวต้องการตลอดช่วงการเจริญเติบโต (Phitsanulok Rice Research Center, 2017) และมีค่า 0 เมื่อปริมาณน้ำฝนไม่เกินค่าดังกล่าว ตัวแปรนี้ช่วยระบุสถานการณ์ที่มีน้ำมากเกินไป ซึ่งอาจส่งผลให้เกิดน้ำท่วมขังในนาข้าวและส่งผลเสียต่อผลผลิต มีผลกระทบเชิงลบต่อร้อยละปริมาณผลผลิตข้าวนาปีรวมและนอกเขตชลประทานอย่างมีระดับนัยสำคัญที่ 0.01 กล่าวคือ เมื่อเกิดเหตุการณ์ปริมาณน้ำฝนสะสมที่เกินความต้องการขึ้น ส่งผลให้ผลผลิตเฉลี่ยข้าวนาปีลดลงร้อยละ 0.0021 และผลผลิตเฉลี่ยข้าวนาปีนอกเขตชลประทานลดลงร้อยละ 0.0029 ที่ระดับนัยสำคัญที่ 0.01

ถัดมาเมื่อพิจารณา**ตัวแปรอุณหภูมิเฉลี่ย** มีผลกระทบเชิงลบต่อร้อยละปริมาณผลผลิตข้าวนาปีรวม (β = -0.3111) และนอกเขตชลประทาน (β = -0.2649) อย่างมีระดับนัยสำคัญที่ 0.01 ในขณะที่มีผลกระทบเชิงบวกต่อร้อยละปริมาณผลผลิตข้าวนาปีในเขตชลประทาน (β = 0.3667) อย่างมีระดับนัยสำคัญที่ 0.01 กล่าวโดยสรุปแล้ว พื้นที่ปลูกข้าวและแนวโน้มของเวลามีผลเชิงบวกต่อผลผลิตข้าวทั้งสามกรณี

ต่อมาเมื่อพิจารณาตัวแปรกลุ่มน้ำฝนจะเห็นได้ว่า ปริมาณน้ำฝนสะสมมีผลเชิงบวกต่อผลผลิตข้าวนาปีรวมและนอกเขตชลประทาน ในขณะที่มีผลเชิงลบต่อผลผลิตข้าวในเขตชลประทาน ในกรณีความแปรปรวนของปริมาณน้ำฝนสะสมมีผลเชิงบวกต่อผลผลิตข้าวทั้งสามกรณี ผลการศึกษาที่พบว่าความแปรปรวนของปริมาณน้ำฝนมีผลเชิงบวกต่อผลผลิต ขัดแย้งกับแนวคิดทางทฤษฎี อาจเป็นผลจากข้อจำกัดของการวัดความแปรปรวน หรืออาจมีตัวแปรแทรกซ้อนที่ไม่ได้ควบคุมในแบบจำลอง จึงควรตีความด้วยความระมัดระวังและศึกษาเพิ่มเติม เมื่อพิจารณาเหตุการณ์ปริมาณน้ำฝนสะสมที่เกินความต้องการล้วนมีผลเชิงลบต่อต่อผลผลิตข้าวทั้งสามกรณี

ถัดไปเมื่อพิจารณาตัวแปรกลุ่มอุณหภูมิจะเห็นได้ว่า อุณหภูมิเฉลี่ยและความแปรปรวนของอุณหภูมิเฉลี่ยมีผลเชิงลบต่อผลผลิตข้าวนาปีรวมและนอกเขตชลประทาน ในขณะที่มีผลเชิงบวกต่อผลผลิตข้าวในเขตชลประทาน อย่างไรก็ตาม เมื่อทราบถึงปัจจัยที่มีผลกระทบต่อผลผลิตเฉลี่ยข้าวนาปีทั้งสามกรณีจากฟังก์ชันผลผลิตเฉลี่ยแล้ว ยังต้องคำนึงถึงความเสี่ยงจากความแปรปรวนของผลผลิตข้าวนาปีรวม ดังแสดงใน Table 5

Table 4 Mean function with cross-sectional time-series FGLS regression

Variables	Wet season rice	Non-irrigated area	Irrigated area
Wet season rice area harvested (rai)	0.98983***		
	(0.00191)		
Non-irrigated area harvested (rai)		0.98799***	
		(0.00263)	
Irrigated area harvested (rai)			0.96271***
			(0.00258)
Trend time (technology change)	0.03115***	0.03316***	0.00744*
	(0.00046)	(0.00158)	(0.00409)
Cumulative precipitation (mm)	0.04399***	0.05736***	-0.10128***
	(0.00259)	(0.00460)	(0.00910)
Variance of the precipitation (mm^2)	0.00173***	0.00188***	0.00511***
	(0.00007)	(0.00015)	(0.00049)
Rain over requirement (>1,290 mm = 1, over water)	-0.00214***	-0.00299***	-0.00333
	(0.00064)	(0.00093)	(0.00290)
Average temperature (℃)	-0.31118***	-0.26498***	0.36673***
	(0.01742)	(0.04940)	(0.05658)
Variance of the average temperature ($℃^2$)	-0.00041***	-0.00085***	0.00314***
	(0.00008)	(0.00022)	(0.00053)
Constant	-0.27304***	-0.51588***	-1.01127***
	(0.06589)	(0.16123)	(0.15317)
Observations	361	361	361
Number of province and period	19	19	19
Model significance wald χ^2 (7)	402,719.35***	176,444.67***	387,852.66***

Source: from analysis result

Numbers in parentheses are standard errors.

*, **, and *** indicate that the significant at the 10%, 5%, and 1% level of significance

จาก Table 5 มีผลการวิเคราะห์แบบจำลองความเสี่ยงจากความแปรปรวนของผลผลิตข้าวนาปี โดยใช้รูปแบบสมการแบบ Cobb-Douglas ด้วยวิธีกำลังสองน้อยที่สุดแบบพาเนล (PLS) โดยที่ค่าสัมประสิทธิ์ (β) แสดงถึงตัวแปรอธิบายเป็นตัวแปรที่ส่งผลในการเพิ่มความแปรปรวนของผลผลิตข้าวนาปี หรือตัวแปรเพิ่มความเสี่ยง (risk-increased variables) พบว่า **ตัวแปรพื้นที่ปลูกข้าว**เป็นตัวแปรลดความเสี่ยงของร้อยละปริมาณผลผลิตข้าวนาปีทั้งนอก (ไม่มีระดับนัยสำคัญ) และในเขตชลประทานอย่างมีระดับนัยสำคัญที่ 0.01 กล่าวคือ เมื่อพื้นที่ปลูกข้าวเพิ่มขึ้นร้อยละ 1 ส่งผลให้ความเสี่ยงจากความแปรปรวนของผลผลิตเฉลี่ยข้าวนาปีในเขตชลประทานลดลงร้อยละ 0.0138 ที่ระดับนัยสำคัญที่ 0.01 อาจกล่าวได้ว่า การเพิ่มขึ้นของพื้นที่ปลูกข้าวช่วยลดความเสี่ยงจากความแปรปรวนของผลผลิตนั้น อาจอธิบายได้ด้วยหลักการกระจายความเสี่ยงเชิงพื้นที่ (spatial risk diversification) กล่าวคือ เมื่อพื้นที่เพาะปลูกมีขนาดใหญ่ขึ้น ผลกระทบจากภัยพิบัติเฉพาะที่ (localized disasters) จะส่งผลต่อสัดส่วนของผลผลิตรวมน้อยลง นอกจากนี้ การเพาะปลูกในพื้นที่ขนาดใหญ่ยังเอื้อต่อการประหยัดต่อขนาด (economies of scale) ทำให้เกษตรกรสามารถเข้าถึงเทคโนโลยีการผลิตและการจัดการที่มีประสิทธิภาพมากขึ้น เช่น เครื่องจักรกลการเกษตร ระบบชลประทาน และวิธีการจัดการศัตรูพืชแบบบูรณาการ

เมื่อพิจารณา**ตัวแปรแนวโน้มของเวลา (trend time)** เป็นตัวแปรลดความเสี่ยงของร้อยละปริมาณผลผลิตข้าวนาปี (β = -0.0042) นอกเขตชลประทาน (β = -0.0041) และในเขตชลประทาน (β = -0.0126) อย่างมีระดับนัยสำคัญที่ 0.01 อาจกล่าวได้ว่า ตัวแปรแนวโน้มของเวลาที่ช่วยลดความเสี่ยง สะท้อนถึงการพัฒนาอย่างต่อเนื่องของเทคโนโลยีการเกษตร การปรับปรุงพันธุ์ข้าวให้ทนทานต่อสภาพแวดล้อมที่แปรปรวน และการพัฒนาระบบเตือนภัยทางการเกษตรที่มีประสิทธิภาพมากขึ้น ส่งผลให้เกษตรกรสามารถวางแผนและรับมือกับความเสี่ยงได้ดีขึ้นตามกาลเวลา

ถัดมาเมื่อพิจารณา**ตัวแปรอุณหภูมิเฉลี่ย** เป็นตัวแปรลดความเสี่ยงของร้อยละปริมาณผลผลิตข้าวนาปี (β = -0.0810) และนอกเขตชลประทาน (β = -0.0937) อย่างมีระดับนัยสำคัญที่ 0.05 ในขณะตรงกันข้ามเป็นตัวแปรเพิ่มความเสี่ยงของร้อยละปริมาณผลผลิตข้าวนาปีในเขตชลประทาน (β = 0.2333) อย่างมีระดับนัยสำคัญที่ 0.10 จากผลการศึกษาจะเห็นได้ว่าความขัดแย้งระหว่างผลกระทบของอุณหภูมิในพื้นที่นอกเขตและในเขตชลประทาน สะท้อนให้เห็นว่าระบบชลประทานช่วยบรรเทาผลกระทบเชิงลบของตัวแปรสภาพอากาศบางประการ แต่อาจไม่สามารถจัดการกับความเสี่ยงทั้งหมดได้ โดยเฉพาะในภาวะที่อุณหภูมิสูงร่วมกับความชื้นสูงในพื้นที่ชลประทาน ซึ่งอาจเอื้อต่อการระบาดของโรคและแมลงศัตรูพืช

กล่าวโดยสรุปแล้ว พื้นที่ปลูกข้าว แนวโน้มของเวลา และปริมาณน้ำฝนสะสม เป็นตัวแปรลดความเสี่ยงของร้อยละปริมาณผลผลิตข้าวนาปีทั้งสามกรณี ในทางเดียวกัน ความแปรปรวนของปริมาณน้ำฝนสะสม เหตุการณ์ปริมาณน้ำฝนสะสมที่เกินความต้องการ และความแปรปรวนของอุณหภูมิเฉลี่ย เป็นตัวแปรเพิ่มความเสี่ยงของร้อยละปริมาณผลผลิตข้าวนาปีทั้งสามกรณี หากเมื่อพิจารณาความแตกต่างของอุณหภูมิเฉลี่ยเป็นตัวแปรลดความเสี่ยงของร้อยละปริมาณผลผลิตข้าวนาปีและนอกเขตชลประทาน ในทางตรงกันข้ามก็เป็นตัวแปรเพิ่มความเสี่ยงของร้อยละปริมาณผลผลิตข้าวนาปีในเขตชลประทาน จากผลการศึกษาข้างต้น สามารถนำมาเปรียบเทียบกับผลการศึกษาของงานก่อนหน้าที่เกี่ยวข้อง

Table 5 Risk of Wet Season Rice Production from Variance Function

Variables	All rice in season	Non-irrigated area	Irrigated area
Wet season rice area harvested (rai)	-0.00139		
	(0.00123)		
Out-irrigated area harvested (rai)		-0.00098	
		(0.00132)	
In-irrigated area harvested (rai)			-0.01385***
			(0.00340)
Trend time (technology change)	-0.00427***	-0.00412***	-0.01268***
	(0.00093)	(0.00100)	(0.00374)
Cumulative precipitation (mm)	-0.00748	-0.00684	-0.01567
	(0.00598)	(0.00643)	(0.02391)
Variance of the precipitation (mm^2)	0.00016	0.00019	0.00034
	(0.00033)	(0.00035)	(0.00131)
Rain over requirement (>1,290 mm = 1, over water)	0.00300	0.00302	0.00983
	(0.00227)	(0.00245)	(0.00911)
Average temperature (℃)	-0.08103**	-0.09373**	0.23338*
	(0.03582)	(0.03838)	(0.13777)
Variance of the average temperature ($℃^2$)	0.00074**	0.00073**	0.00006
	(0.00034)	(0.00037)	(0.00137)
Constant	0.35645***	0.38744***	-0.45670
	(0.12218)	(0.13118)	(0.48773)
Observations	361	361	361
R-squared	0.1220	0.1084	0.0838
Adjusted R-squared	0.1050	0.0908	0.0656
Root MSE	0.0132	0.0142	0.0529
Model significance F-test	7.008***	6.136***	4.613***

Source: from analysis result.

Numbers in parentheses are standard errors.

*, **, and *** indicate that the significant at the 10%, 5%, and 1% level of significance

วิจารณ์ผลการวิจัย

จากผลการศึกษาของแบบจำลองฟังก์ชันผลผลิตเฉลี่ยข้างต้น สรุปได้ว่าตัวแปรพื้นที่ปลูกข้าวซึ่งเป็นตัวแทนจากทฤษฎีการผลิตของทั้งสามกรณี ข้าวนาปี ข้าวนาปีนอกเขตชลประทาน และข้าวนาปีในเขตชลประทานล้วนแล้วแต่มีผลกระทบเชิงบวกต่อผลผลิตข้าวและขณะเดียวกันเป็นตัวแปรลดความเสี่ยงจากความแปรปรวนต่อการผลิตข้าวอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของ Sinnarong *et al.* (2019) ที่ศึกษาผลกระทบการเปลี่ยนแปลงสภาพอากาศต่อการผลิตข้าวภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ช่วงปี ค.ศ. 1989-2009 และ Sinnarong *et al.* (2022) ได้ศึกษาเพิ่มเติมในช่วงปี 1989-2017 เช่นเดียวกับ Pakeechai *et al.* (2020) ที่ศึกษาผลกระทบการเปลี่ยนแปลงสภาพอากาศต่อการผลิตข้าวภาคกลาง ช่วงปี พ.ศ. 2530–2560 และ Puphoung *et al.* (2019) ที่ศึกษาผลกระทบการเปลี่ยนแปลงสภาพอากาศต่อการผลิตข้าวภาคเหนือ ช่วงปี พ.ศ. 2530–2560 โดยให้ผลการศึกษาตรงกันว่า พื้นที่ปลูกข้าวมีผลกระทบเชิงบวกต่อผลผลิตข้าวอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ซึ่งเป็นไปตามทฤษฎีอุปทานสินค้าเกษตรและทฤษฎีการผลิต

ตัวแปรแนวโน้มของเวลามีผลกระทบเชิงบวกต่อผลผลิตข้าวทั้งสามกรณี และขณะเดียวกันเป็นตัวแปรลดความเสี่ยงจากความแปรปรวนต่อการผลิตข้าวอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ซึ่งสอดคล้องกับผลการศึกษาของ Puphoung *et al.* (2019); Pakeechai *et al.* (2020) และ Sinnarong *et al.* (2022) พบว่า ตัวแปรแนวโน้มเวลาหรือการพัฒนาเทคโนโลยีการเกษตรข้าวเป็นตัวแปรลดผลกระทบและความเสี่ยงที่ผลผลิตจะลดลง (Downside Risk) จากการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศที่เพิ่มขึ้นในอนาคต แสดงให้เห็นว่า เทคโนโลยีการผลิตมีผลต่อระดับผลผลิตข้าวนาปีเฉลี่ยในทิศทางเดียวกันและมีส่วนสำคัญในการผลิตทางการเกษตร ซึ่งเป็นการพัฒนาเทคโนโลยีการผลิต ซึ่งเป็นตามทฤษฎีการผลิตเมื่อคำนึงถึงเทคโนโลยีตามกฎของอุปทาน หากเมื่อพิจารณาตัวแปรกลุ่มการเปลี่ยนแปลงสภาพอากาศ อันได้แก่ ปริมาณน้ำฝนสะสม ความแปรปรวนของ ปริมาณน้ำฝนสะสม อุณหภูมิเฉลี่ย ความแปรปรวนของอุณหภูมิเฉลี่ย และตัวแปรหุ่นเป็นตัวแทนของเหตุการณ์ปริมาณน้ำฝนสะสมที่เกินความต้องการมากกว่า 1,290 มิลลิเมตร (Phitsanulok Rice Research Center, 2017) ตัวแปรปริมาณน้ำฝนสะสม มีผลกระทบเชิงบวกต่อผลผลิตข้าวนาปีและพื้นที่นอกเขตชลประทาน ตรงกันข้ามมีผลกระทบเชิงลบต่อผลผลิตข้าวนาปีในเขตชลประทาน แต่ขณะเดียวกันเป็นตัวแปรลดความเสี่ยงจากความแปรปรวนต่อการผลิตข้าวทั้งสามกรณีอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ซึ่งสอดคล้องกับผลการศึกษาของ Sinnarong *et al.* (2019); Puphoung *et al.* (2019); Pakeechai *et al.* (2020) และ Sinnarong *et al.* (2022) ปริมาณน้ำฝนสะสมเป็นปัจจัยสำคัญต่อการผลิตข้าวเนื่องจากประเทศไทยยังต้องพึ่งพาน้ำฝนเป็นหลักและการเข้าถึงแหล่งน้ำชลประทานยังมีน้อย ในกรณีของในเขตชลประทานที่มีผลเชิงลบ แสดงถึงความไม่สมดุลของปริมาณน้ำในภาคตะวันออกเฉียงเหนือที่เมื่อถึงฤดูฝนมักจะมีมากจนน้ำท่วมและยามเมื่อฝนแล้งก็ขาดแคลนตามลำดับ

ตัวแปรอุณหภูมิเฉลี่ย มีผลกระทบเชิงลบต่อผลผลิตข้าวนาปีกับพื้นที่นอกเขตชลประทาน ขณะเดียวกันเป็นตัวแปรเพิ่มความเสี่ยงจากความแปรปรวนต่อการผลิตข้าวของสองกรณีข้างต้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ซึ่งตรงกันข้ามกับพื้นที่ในเขตชลประทานที่มีผลกระทบเชิงบวกต่อผลผลิตข้าวและเป็นตัวแปรลดความเสี่ยงจากความแปรปรวนต่อการผลิตข้าวอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ผลการศึกษาในกรณีของข้าวนาปีกับพื้นที่นอกเขตชลประทาน สอดคล้องกับงานของ Sinnarong *et al.* (2019) และ Puphoung *et al.* (2019) เช่นเดียวกับในกรณีผลการศึกษาของ Pakeechai *et al.* (2020) ที่ใช้อุณหภูมิสูงสุดเฉลี่ยเป็นตัวแทนก็มีผลกระทบเชิงลบต่อผลผลิตข้าวนาปีและเป็นตัวแปรเพิ่มความเสี่ยงจากความแปรปรวนต่อการผลิตข้าวอย่างมีนัยสำคัญทาง

สถิติ อย่างไรก็ตาม ได้มีผลการศึกษาของ Sinnarong *et al.* (2022) ที่ได้ระบุถึงทิศทางของผลกระทบเชิงบวกต่อผลผลิตข้าวนาปีในภาคตะวันออกเฉียงเหนือช่วงปี พ.ศ. 2532–2560 แม้จะไม่ได้มีนัยสำคัญก็ตาม สุดท้ายตัวแปรหุ่นเป็นตัวแทนของเหตุการณ์ปริมาณน้ำฝนสะสมที่เกินความต้องการ มีผลกระทบเชิงลบต่อผลผลิตข้าว ขณะเดียวกันเป็นตัวแปรเพิ่มความเสี่ยงจากความแปรปรวนต่อการผลิตข้าวทั้งสามกรณีอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ทั้งนี้ยังไม่มีการศึกษาใดใช้ตัวแปรหุ่นนี้ในการศึกษามาก่อน แต่ Puphoung *et al.* (2019) ได้ใช้ตัวแปรจำนวนวันที่ฝนตกและความแปรปรวนของจำนวนวันที่ฝนตก ในการอธิบายอิทธิพลของเหตุการณ์ที่เกี่ยวข้องกับปริมาณน้ำฝนสะสม โดยระบุว่า จำนวนวันที่ฝนตกมีผลกระทบเชิงบวกต่อผลผลิตข้าวนาปีในภาคเหนือ และความแปรปรวนของจำนวนวันที่ฝนตกมีผลกระทบเชิงลบต่อผลผลิตข้าวในพื้นที่ข้างต้น กล่าวโดยสรุปแล้ว ปัจจัยที่มีผลกระทบและความเสี่ยงต่อผลผลิตข้าวนาปีนอกเขตชลประทาน มีทิศทางและขนาดของอิทธิพลที่คล้ายกับผลผลิตข้าวนาปีรวม ในขณะที่ผลผลิตข้าวนาปีในเขตชลประทานมีตัวแปรปริมาณน้ำฝนสะสมกับตัวแปรอุณหภูมิเฉลี่ยที่มีผลกระทบและความเสี่ยงต่อผลผลิตข้าวนาปี มีทิศทางและขนาดของอิทธิพลที่แตกต่างกันอย่างชัดเจน สามารถอนุมานได้ว่ามีอิทธิพลของลักษณะพื้นที่ได้รับน้ำจากชลประทานที่แตกต่างกัน

สรุปผลการวิจัย

การศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อวิเคราะห์ผลกระทบและความเสี่ยงจากการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศต่อการผลิตข้าวนาปีในพื้นที่เขตชลประทานและนอกเขตชลประทานของภาคตะวันออกเฉียงเหนือของประเทศไทย โดยมุ่งตอบคำถามวิจัยว่าปัจจัยด้านภูมิอากาศมีอิทธิพลต่อการผลิตข้าวนาปีแตกต่างกันอย่างไรในพื้นที่ที่มีลักษณะการเข้าถึงน้ำชลประทานที่แตกต่างกัน

การวิเคราะห์ใช้แบบจำลองฟังก์ชันการผลิตแบบ Stochastic Production Function (SPF) โดยประยุกต์วิธีกำลังสองน้อยที่สุดทั่วไปแบบเป็นไปได้ (FGLS) กับข้อมูลพาแนลจาก 19 จังหวัดในภาคตะวันออกเฉียงเหนือระหว่างปี พ.ศ. 2545–2563 ผลการศึกษา พบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญของอิทธิพลปัจจัยด้านภูมิอากาศระหว่างพื้นที่ทั้งสองประเภท ดังนี้

พื้นที่ปลูกข้าวและแนวโน้มของเวลา (ตัวแทนของเทคโนโลยี) มีผลกระทบเชิงบวกต่อผลผลิตข้าวในทุกพื้นที่ ปริมาณน้ำฝนสะสมมีผลกระทบเชิงบวกในพื้นที่นอกเขตชลประทาน แต่มีผลกระทบเชิงลบในพื้นที่เขตชลประทาน ซึ่งอาจเนื่องมาจากปัญหาน้ำท่วมขังในพื้นที่ที่มีการจัดการน้ำอยู่แล้ว

ด้านความเสี่ยงในการผลิต พบว่าพื้นที่ปลูกข้าวขนาดใหญ่ช่วยลดความเสี่ยงจากความแปรปรวนของผลผลิต โดยเฉพาะในเขตชลประทาน เนื่องจากการกระจายความเสี่ยงเชิงพื้นที่ แนวโน้มของเวลาที่ช่วยลดความเสี่ยงสะท้อนถึงประสิทธิภาพของการพัฒนาเทคโนโลยีการเกษตรและระบบเตือนภัยที่ดีขึ้น ขณะที่ความแปรปรวนของปริมาณน้ำฝนและเหตุการณ์น้ำฝนเกินความต้องการเป็นปัจจัยเพิ่มความเสี่ยงอย่างมีนัยสำคัญในทุกพื้นที่

ผลการศึกษาชี้ให้เห็นว่า แม้ระบบชลประทานจะช่วยบรรเทาความเสี่ยงจากการขาดแคลนน้ำ แต่ไม่ได้ลดความเสี่ยงทั้งหมดจากการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ โดยเฉพาะในกรณีของเหตุการณ์น้ำท่วม การพัฒนาระบบชลประทานในอนาคตควรคำนึงถึงความสามารถในการระบายน้ำและการจัดการน้ำส่วนเกินด้วย นอกจากนี้ ยังแสดงให้เห็นถึงประโยชน์ของการพัฒนาเทคโนโลยีการเกษตรและการขยายพื้นที่เพาะปลูกในเชิงกระจายความเสี่ยง ซึ่งสามารถนำไปสู่การกำหนดนโยบายสนับสนุนการเกษตรแปลงใหญ่และการพัฒนาเทคโนโลยีที่เหมาะสมกับบริบทของพื้นที่

การศึกษานี้มีนัยสำคัญในเชิงนโยบาย โดยชี้ให้เห็นว่า แม้ระบบชลประทานจะช่วยบรรเทาความ

เสี่ยงจากการขาดแคลนน้ำ แต่ไม่ได้ลดความเสี่ยงทั้งหมดจากการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ โดยเฉพาะในกรณีของเหตุการณ์น้ำท่วมหรือฝนตกหนัก ดังนั้น การพัฒนาระบบชลประทานในอนาคตควรคำนึงถึงความสามารถในการระบายน้ำและการจัดการน้ำส่วนเกินด้วย นอกจากนี้ ผลการศึกษายังแสดงให้เห็นถึงประโยชน์ของการพัฒนาเทคโนโลยีการเกษตรและการขยายพื้นที่เพาะปลูกในเชิงกระจายความเสี่ยง ซึ่งสามารถนำไปสู่การกำหนดนโยบายสนับสนุนการเกษตรแปลงใหญ่และการพัฒนาเทคโนโลยีที่เหมาะสมกับบริบทของพื้นที่

อย่างไรก็ตาม การศึกษานี้มีข้อจำกัดบางประการ ได้แก่ การใช้ข้อมูลระดับจังหวัดซึ่งอาจไม่สามารถสะท้อนความแตกต่างในระดับพื้นที่ย่อย และไม่ได้รวมปัจจัยระดับฟาร์ม เช่น การจัดการพื้นที่เพาะปลูก คุณสมบัติของดิน หรือสายพันธุ์ข้าวที่ใช้ ซึ่งอาจมีอิทธิพลต่อความเปราะบางของผลผลิตต่อการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ

การวิจัยในอนาคตควรศึกษาเพิ่มเติมในระดับพื้นที่ย่อยลงไป โดยรวมปัจจัยระดับฟาร์มเข้าในการวิเคราะห์ เช่น เทคนิคการจัดการพื้นที่ การเลือกใช้สายพันธุ์ข้าวที่เหมาะสมกับสภาพพื้นที่และสภาพภูมิอากาศ และการใช้เทคโนโลยีสมัยใหม่ในการบริหารจัดการน้ำ ซึ่งจะช่วยให้เข้าใจกลไกการตอบสนองของผลผลิตข้าวต่อการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศได้อย่างลึกซึ้งยิ่งขึ้น

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณ “ทุนนักศึกษาเรียนดี” ของมหาวิทยาลัยแม่โจ้ที่ได้จัดสรรทุนให้กับนักศึกษาให้ได้มีโอกาสเข้าศึกษาต่อในระดับบัณฑิตศึกษา อันนำไปสู่การต่อยอดองค์ความรู้ เพื่อสร้างสรรค์งานวิจัยที่เป็นประโยชน์ต่อสาธารณะ

เอกสารอ้างอิง

Antle, J.M. 1983. Testing the stochastic structure of production: a flexible moment-based approach. **Journal of Business & Economic Statistics** 1(3): 192–201.

Antle, J. M. and A. Havenner. 1983. **Formulating and Estimating Dynamic Stochastic Production Models.** Minneapolis, MN: AgEcon Search, University of Minnesota. 36 p.

Baethgen, W., J. Hansen, A. Ines, J. Jones, H. Meinke and P. Steduto. 2010. **Contributions of Agricultural Systems Modeling to Weather Index Insurance.** New York: International Research Institute for Climate and Society (IRI). 7 p.

Battese, G.E., A.N. Rambaldi and G.H. Wan. 1997. A stochastic frontier production function with flexible risk properties. **Journal of Productivity Analysis** 8(3): 269–280.

Farrell, T., K. Fox, R. Williams, S. Fukai and L. Lewin. 2006. Minimising cold damage during reproductive development among temperate rice genotypes; II. genotypic variation and flowering traits related to cold tolerance screening. **Australian Journal of Agricultural Research** 57(1): 89–100.

Greene, W.H. 2000. **Econometric Analysis**. 4th ed. Englewood Cliffs, NJ: Prentice Hall. 1004 p.

Im, K.S., M.H. Pesaran and Y. Shin. 2003. Testing for unit roots in heterogeneous panels. **Journal of Econometrics** 115(1): 53–74.

Jatuporn, C. and K. Takeuchi. 2022. Assessing the impact of climate change on the agricultural economy in Thailand: an empirical study using panel data analysis. **Environmental Science and Pollution Research** 30(1): 8123–8132.

Just, R.E. and R.D. Pope. 1978. Stochastic specification of production functions and economic implications. **Journal of Econometrics** 7(1): 67–86.

Just, R.E. and R.D. Pope. 1979. Production function estimation and related risk considerations. **American Journal of Agricultural Economics** 61(2): 276–284.

Komarek, A.M., A. De Pinto and V.H. Smith. 2020. A review of types of risks in agriculture: what we know and what we need to know. **Agricultural Systems** 178(1): 102738.

Maiti, A., M.K. Hasan, S. Sannigrahi, S. Bar, S. Chakraborti, S.S. Mahto, S. Chatterjee, S. Pramanik, F. Pilla, J. Auerbach, O. Sonnentag, C. Song and Q. Zhang. 2024. Optimal rainfall threshold for monsoon rice production in India varies across space and time. **Communications Earth & Environment** 5(1): 302.

National Centers for Environmental Information (NOAA). 2023. **Climate at a glance: global time series**. [Online]. Available https://www.ncei.noaa.gov/access/monitoring/climate-at-a-glance/global/time-series (January 24, 2023).

Pakeechai, K., N. Sinnarong, K. Autchariyapanitkul and P. Supapunt. 2020. The impacts of climate change factors on rice production and climate-smart agriculture in the watershed areas of central Thailand. **RMUTSB Academic Journal (Humanities and Social Sciences)** 5(2): 196–218. [in Thai]

Phitsanulok Rice Research Center. 2017. **Irrigation Rice Production Technology in Lower Region**. Phitsanulok: Phitsanulok Rice Research Center. 313 p. [in Thai]

Puphoung, S., N. Sinnarong, K. Autchariyapanitkul and K. Satienpirakul. 2019. Impacts of climate change on rice yield in the north region. **Graduate School Journal CRRU.** 12(2): 119–132. [in Thai]

Sinnarong, N., C.-C. Chen, B. McCarl and B.-L. Tran. 2019. Estimating the potential effects of climate change on rice production in Thailand. **Paddy and Water Environment** 17(1): 1–9.

Sinnarong, N., S. Kuson, W. Nunthasen, S. Puphoung and V. Souvannasouk. 2022. The potential risks of climate change and weather index insurance scheme for Thailand's economic crop production. **Environmental Challenges** 8(1): 100575.

Song, Y., C. Wang, H.W. Linderholm, Y. Fu, W. Cai J. Xu, L. Zhuang, M. Wu, Y. Shi, G. Wang and D. Chen. 2022. The negative impact of increasing temperatures on rice yields in southern China. **Science of the Total Environment** 820: 153262.

Studenmund, A. 2011. **Using Econometrics: A Practical Guide.** 6th ed. New York: Pearson. 648 p.

Welch, J.R., J.R. Vincent, M. Auffhammer, P.F. Moya, A. Dobermann and D. Dawe. 2010. Rice yields in tropical/subtropical Asia exhibit large but opposing sensitivities to minimum and maximum temperatures. **Proceedings of the National Academy of Sciences** 107(33): 14562–14567.

Wooldridge, J.M. 2002. Econometric analysis of cross section and panel data MIT press. **Cambridge, MA: MIT Press** 108(2): 245–254.

World Bank. 2022. **Climate change knowledge portal**. [Online]. Available https://climateknowledgeportal.worldbank.org/ (April 21, 2023).

Yu, Y., J.S. Clark, Q. Tian and F. Yan. 2022. Rice yield response to climate and price policy in high-latitude regions of China. **Food Security** 14(5): 1143–1157.

Journal of Agri. Research & Extension 42(3): 221-230

การศึกษาต้นทุนและผลตอบแทนทางการเงินของผลิตภัณฑ์ด้านเภสัชกรรม จากสมุนไพรพื้นบ้านภาคเหนือ “มะแขว่น”

The Study of Cost and Benefit of Northern Herbs Pharmaceutical Product “Ma-Kwaen”

ชัยยศ สัมฤทธิ์สกุล* อัชญา ไพคำนาม และอรุณี ยศบุตร

Chaiyot Sumritsakun*, Atchaya Paikhamnam and Arunee Yodbutr

คณะบริหารธุรกิจ มหาวิทยาลัยแม่โจ้ เชียงใหม่ 50290

Faculty of Business Administration, Maejo University, Chiang Mai, Thailand 50290

*Corresponding author: Chaiyot_s@hotmail.com

Received: *April 26, 2024*
Revised: *March 20, 2025*
Accepted: *March 27, 2025*

Abstract

The objective of this research was to analyze the cost and benefit of pharmaceutical product from nothern herbs, Ma-Kwaen. Data were collected from 11 community enterprises producing and selling herbal balm in the northern region. The results of the analysis of financial costs and benefits showed that community enterprises’ initial investment in the production and distribution of herbal balms was 5,832.00 Baht, consisting of average working capital of 4,260 Baht and average tools and equipment of 1,572.00 Baht. The average net income in the first year was 2,866.41 Baht, the second year was 4,049.31 Baht, the third year was 4,046.54 Baht, the fourth year was 5,468.28 Baht and the fifth year was 1,950.90 Baht. The results of the investment project analysis revealed that it has a payback period of approximately 1 year and 9 months. Investment in this herbal balm had a net present value was 5,131.52 Baht with an internal rate of return of 54.48%. Therefore, it is wise to invest in this herbal balm production.

Keywords: cost and benefit, balm, Ma-Kwaen

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อวิเคราะห์หาต้นทุนและผลตอบแทนทางการเงินของการพัฒนาผลิตภัณฑ์ด้านเภสัชกรรมจากสมุนไพรพื้นบ้านภาคเหนือ “มะแขว่น” โดยเก็บข้อมูลจากวิสาหกิจชุมชนที่ผลิตและจำหน่ายยาหม่องสมุนไพรในเขตภาคเหนือ จำนวน 11 วิสาหกิจ ผลการวิเคราะห์ต้นทุนและผลตอบแทนทางการเงินพบว่าเงินลงทุนในการผลิตและจำหน่ายยาหม่องสมุนไพรของวิสาหกิจชุมชนมีมูลค่าเท่ากับ 5,832.00 บาท ประกอบด้วย เงินทุนหมุนเวียนเฉลี่ยเท่ากับ 4,260 บาท และเครื่องมือและอุปกรณ์เฉลี่ยเท่ากับ 1,572.00 บาท โดยรายรับสุทธิเฉลี่ย ในปีที่ 1 เท่ากับ 2,866.41 บาท ปีที่ 2 เท่ากับ 4,049.31 บาท ปีที่ 3 เท่ากับ 4,046.54 บาท ปีที่ 4 เท่ากับ 5,468.28 บาท และปีที่ 5 เท่ากับ 1,950.90 บาท และผลการวิเคราะห์โครงการลงทุนพบว่ามีระยะเวลาคืนทุนประมาณ 1 ปี 9 เดือน การลงทุนในการผลิตยาหม่องครั้งนี้มูลค่าปัจจุบันสุทธิมีค่า เท่ากับ 5,131.52 บาท มีอัตราผลตอบแทนภายในของการลงทุนเท่ากับ 54.48%

คำสำคัญ: ต้นทุนและผลตอบแทนทางการเงิน ยาหม่อง มะแขว่น

คำนำ

ปัจจุบันการนำเครื่องเทศหรือสมุนไพรบางชนิดที่มีฤทธิ์ทางยา (phytochemical) และมีสรรพคุณด้านการป้องกันโรคมาใช้เป็นส่วนผสมในผลิตภัณฑ์ ได้เริ่มมีบทบาทต่อวิถีชีวิตของคนไทยมากขึ้นเรื่อย ๆ เครื่องเทศหลายชนิดมีฤทธิ์ส่งเสริมสุขภาพ เช่น ยับยั้งการเกิดมะเร็ง ลดความดัน และมีสารต้านอนุมูลอิสระ (antioxidants) เป็นต้น ทำให้กระแสความต้องการของตลาดเพิ่มมากขึ้น และทำให้มีการนำเข้าเครื่องเทศและสมุนไพร รวมถึงผลิตภัณฑ์ต่าง ๆ ที่มีส่วนผสมจากธรรมชาติจากต่างประเทศเพิ่มมากขึ้นเรื่อย ๆ การนำเข้าจึงเป็นการทำให้ประเทศไทยต้องเสียดุลการค้าจำนวนไม่น้อยสำหรับผลิตภัณฑ์ที่มีส่วนผสมจากสารสกัดธรรมชาติชนิดต่าง ๆ

สมุนไพรพื้นบ้านภาคเหนือหลายชนิด เช่น มะแขว่น มะเดื่อ และผักเชียงดา ประกอบด้วยสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพหลาย ๆ ชนิด ได้แก่ lupeol, alkaloid nutaecarpine, coumarins, scopoletin, ß-pheliandrene, xanthoxyletin, sabinene, linalool, limonene, p-cymene, alpha-pinene, alphaterpineol และ terpinen-ol (Itthipanichpong *et al*., 2002; Negi *et al.,* 2012; Bubpawan *et al*., 2015) สารประกอบเหล่านี้มีฤทธิ์ต้านการเกิดออกซิเดชัน (oxidation) และทำลายแบคทีเรียชนิด *Staphylococcus aureas* ได้ (Samy *et al*., 2011)

สารสกัดผลมะแขว่น มีคุณสมบัติการต้านอนุมูลอิสระ (antioxidant activity) และมีฤทธิ์ต้านการเจริญของจุลินทรีย์ที่ทำให้เกิดโรค (pathogens) หลายชนิด เช่น เชื้อแบคทีเรีย *Mycobacterium tuberculosis* ที่อาจก่อให้เกิดวัณโรค (tuberculosis) การติดเชื้อ *Klebsiella pneumoniae* ที่มักเกิดขึ้นในผู้ที่มีภูมิคุ้มกันอ่อนแอ เป็นต้น (Nanasombat and Wimuttigosol, 2011) รวมทั้งยังสามารถต้านการเกิดออกซิเดชัน (oxidation) ในเซลล์มะเร็งต่อมลูกหมาก (Tangjitjaroenkun, 2010) น้ำมันหอมระเหย (limonella oil) และสารสกัดพืชสกุลมะแขว่น (Zanthoxylum) ประกอบด้วย geranial, citral, neral, neryl acetate, ß-caryophyllene, ocimene และ geranyl acetate สารดังกล่าวมีฤทธิ์ต้านจุลินทรีย์กลุ่ม *Trichophyton mentagophytes*, *S. aureus*, *E. coli*, *Bacillus cereus* และ *Pseudomonas aeruginosa* ได้ (Negi *et al*., 2012) นอกจากนั้นผลมะแขว่น ยังประกอบด้วย **α**-terpinene, **α**-terpineol, terpinen-4-ol, terpineol, **α**-pinene, sabinene และ limonene (Bubpawan *et al*., 2015; Itthipanichpong *et al*., 2002) ซึ่งมีฤทธิ์ต้านการอับเสบ (Silveira *et al*., 2013)

Imphat and Woottisin (2021) ได้พัฒนาน้ำมันนวดที่มีส่วนประกอบของน้ำมันหอมระเหยจาก

ผลมะแขว่น ผลการวิจัยแสดงให้เห็นว่าสามารถลดปวดกล้ามเนื้อน่องในผู้เข้าร่วมวิจัยที่ถูกเหนี่ยวนำให้มีอาการปวดแบบเฉียบพลัน และผู้วิจัยแนะนำน้ำมันนวดมะแขว่น ความเข้มข้นร้อยละ 3 พบว่าสามารถลดอาการปวดกล้ามเนื้อแบบเฉียบพลันได้ และ Sungkajanttranon and Kladcharoen (2008) ได้ทำการพัฒนาสูตรยาหม่องและเปรียบเทียบความพึงพอใจของผู้ทดลองใช้ โดยพบว่ายาหม่องสูตรที่มีน้ำมันจากผลมะแขว่นผู้ทดลองใช้มีความพึงพอใจมากเป็นอันดับ 2 รองลงมาจากสูตรทั่วไป (สูตรควบคุม) จากงานวิจัยดังกล่าวทำให้ทราบว่า มะแขว่นมีศักยภาพสูงที่จะสามารถนำไปพัฒนา และประยุกต์ใช้ประโยชน์ในอุตสาหกรรมผลิตภัณฑ์ด้านเภสัชกรรม (pharmaceutical products) โดยจะเป็นการสร้างมูลค่าเพิ่ม (value creation) และนวัตกรรมให้กับทรัพยากรท้องถิ่นของไทยที่มีอยู่หลากหลาย และมีศักยภาพในการแปรรูป

อย่างไรก็ตาม งานวิจัยเกี่ยวกับการวิเคราะห์ความคุ้มค่าของการลงทุนในการผลิตและจำหน่ายผลิตภัณฑ์ด้านเภสัชกรรม (ยาหม่องสมุนไพร) จากสารออกฤทธิ์จากมะแขว่นยังมีน้อย ทำให้ขาดข้อมูลที่เป็นข้อมูลทางการเงินเพื่อใช้ในประกอบการการตัดสินใจลงทุนพัฒนาผลิตภัณฑ์ยาหม่องสมุนไพรจากมะแขว่น เนื่องจากผู้ประกอบการต้องคำนึงถึงความคุ้มค่าของการลงทุน เพื่อใช้ในการตัดสินใจลงทุนในโครงการดังกล่าว ทำให้วัตถุดิบสินค้าเกษตรของไทยยังไม่ได้ถูกนำมาเพิ่มมูลค่าตามที่ควรจะเป็น ดังนั้นเพื่อให้ผู้ประกอบการมีข้อมูลทางการเงินเพื่อใช้ในการตัดสินใจลงทุนผลิตและจำหน่ายผลิตภัณฑ์ด้านเภสัชกรรม (ยาหม่องสมุนไพร) จากสารออกฤทธิ์จากมะแขว่น งานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อวิเคราะห์ต้นทุนและผลตอบแทนทางการเงินของผลิตภัณฑ์ด้านเภสัชกรรมจากสมุนไพรพื้นบ้านภาคเหนือ “มะแขว่น” เพื่อใช้เป็นข้อมูลในการตัดสินใจลงทุนของกลุ่มเกษตรกรและผู้ประกอบการสำหรับการตัดสินใจลงทุนในอนาคต

การวิเคราะห์งบประมาณลงทุน หมายถึง การประเมินผลตอบแทนจากการลงทุนของโครงการที่มีระยะเวลาการดำเนินงานยาวนาน เพื่อวิเคราะห์ความคุ้มค่าของเงินลงทุน หรือค่าใช้จ่ายที่ลงไป (cost) กับรายได้หรือผลตอบแทนที่ได้รับ (benefit) ตลอดอายุของโครงการเพื่อพิจารณาว่าโครงการดังกล่าวนั้นมีความคุ้มค่าในการลงทุนหรือความเป็นไปได้ในการลงทุน มีขั้นตอนการวิเคราะห์โดยเริ่มจาก 1) ประมาณการเงินลงทุนสุทธิหรือที่เรียกว่าเงินลงทุนเริ่มแรก ซึ่งจะรวบรวมจากการลงทุนในสินทรัพย์ที่ต้องจ่ายซื้อในการลงทุน เช่น ที่ดิน เครื่องจักร สิ่งก่อสร้างอาคาร ยานพาหนะ เป็นต้น ทั้งนี้เงินลงทุนเริ่มแรกยังรวมถึงเงินทุนตั้งต้นด้วย 2) ผลตอบแทนสุทธิของการลงทุน โดยวิเคราะห์จาก กระแสเงินสดรับ และกระแสเงินสดจ่ายตลอดระยะเวลาในการดำเนินงานของโครงการ โดยโครงการลงทุนที่พิจารณาอาจมีทั้งการตัดสินใจลดต้นทุนโดยการซื้อเครื่องจักรใหม่ การขยายโรงงานหรือโกดัง การตัดสินใจเลือกเครื่องจักรใหม่มาทดแทนเครื่องจักรเก่า การตัดสินใจเช่าซื้อหรือซื้อเงินสด เป็นต้น (Garrison *et al.,* 2014)

วิธีการที่นิยมใช้ในการวิเคราะห์งบประมาณลงทุน คือ วิธีที่คำนึงถึงเรื่องค่าของเงินตามเวลา ซึ่งแบ่งออกเป็น 4 วิธี ได้แก่ 1) มูลค่าปัจจุบันสุทธิของผลตอบแทนรวม (Net Present Value: NPV) คือ การเปรียบเทียบมูลค่าปัจจุบันของกระแสเงินสดรับสุทธิกับเงินลงทุนสุทธิ โดยใช้อัตราผลตอบแทนที่ต้องการเป็นอัตราในการคิดลดมูลค่าของเงิน โดยจะตัดสินใจยอมรับโครงการลงทุนนั้นเมื่อมูลค่าปัจจุบันของผลตอบแทนรวมมีค่าเป็นศูนย์หรือบวก ซึ่งแสดงว่าโครงการลงทุนนั้นให้ผลตอบแทนตามที่ต้องการ หรือให้ผลตอบแทนมากกว่าที่ต้องการ 2) อัตราส่วนผลตอบแทนภายในโครงการ (Internal Rate of Return: IRR) เป็นการคำนวณหาอัตราผลตอบแทนที่แท้จริงของโครงการที่พิจารณานั้น คือ อัตราผลตอบแทนที่นำมาคิดลดมูลค่าปัจจุบันตามวิธี

มูลค่าปัจจุบันสุทธิของผลตอบแทนรวม (NPV) แล้วมูลค่าปัจจุบันสุทธิของผลตอบแทนรวม (NPV) มีค่าเป็นศูนย์ โดยจะตัดสินใจยอมรับโครงการลงทุนนั้นเมื่ออัตราผลตอบแทนที่แท้จริงของโครงการมากกว่า หรืออัตราผลตอบแทนที่กิจการต้องการพิจารณานั้น 3) อัตราส่วนผลตอบแทนต่อต้นทุน (Benefit Cost Ratio: BCR) คือ อัตราส่วนระหว่างมูลค่าปัจจุบันของโครงการและมูลค่าปัจจุบันของเงินลงทุน โดยจะตัดสินใจยอมรับการลงทุนเมื่ออัตราส่วนที่ได้มีค่ามากกว่าหรือเท่ากับ 1 ซึ่งแสดงให้เห็นว่าผลตอบแทนที่ได้รับมากกว่าเงินลงทุนที่ลงทุนไป 4) ดัชนีความสามารถในการทำกำไร (Profitability Index: PI) คือ อัตราส่วนระหว่างมูลค่าปัจจุบันสุทธิของผลตอบแทนรวมต่อมูลค่าปัจจุบันของเงินลงทุนที่ลงทุนไป โดยดัชนีความสามารถในการทำกำไรจะแสดงให้เห็นถึงผลตอบแทนที่ได้รับจากการใช้เงินลงทุน 1 หน่วย โดยจะยอมรับโครงการลงทุนที่ให้ค่าดัชนีที่มากกว่าหรือเท่ากับ 1 หรือหากมีหลายโครงการให้เลือก ควรยอมรับโครงการลงทุนที่ให้ค่าดัชนีความสามารถในการทำกำไร (PI) มากที่สุด เพราะแสดงให้เห็นถึงผลตอบแทนของโครงการลงทุนนั้นมากที่สุดเมื่อใช้เงินลงทุนที่เท่ากัน และวิธีการที่ไม่คำนึงถึงเรื่อง ค่าของเงินตามเวลา คือ วิเคราะห์จากระยะเวลาการคืนทุน (Payback Period: PB) เป็นการพิจารณาถึงกระแสเงินสดรับของโครงการว่าสามารถชดเชยเงินลงทุนเริ่มแรก (initial investment) ได้ครบเมื่อไหร่ โดยจะพิจารณาโครงการลงทุนที่มีระยะเวลาคืนทุนที่สั้นที่สุด (Garrison *et al.,* 2014)

การใช้การวิเคราะห์งบประมาณการลงทุนนอกจากจะได้รับความนิยมในภาคธุรกิจแล้ว ยังมีการใช้การวิเคราะห์ต้นทุนและผลตอบแทนในภาคการเกษตรอย่างแพร่หลาย ตัวอย่างเช่น การศึกษาต้นทุนและผลตอบแทนในการเพาะเลี้ยงจิ้งหรีดเชิงพาณิชย์ (Soithongdee and Nilaporngoun, 2019) ศึกษาต้นทุนและผลตอบแทนจากการปลูกพืชเศรษฐกิจของเกษตรกรในเขตตำบลหัวเมือง อำเภอเมืองปาน จังหวัดลำปาง (Singkam and Satjawathee, 2020) ดังนั้น ผู้วิจัยจึงนำวิธีการคำนวณดังกล่าวมาใช้ในการวิจัยครั้งนี้

วิธีดำเนินการวิจัย

การศึกษาต้นทุนและผลตอบแทนทางการเงินของผลิตภัณฑ์ด้านเภสัชกรรมจากสมุนไพรพื้นบ้านภาคเหนือ “มะแขว่น” ได้กำหนดประชากรและกลุ่มตัวอย่าง ขั้นตอนดำเนินการวิจัย ดังมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

ประชากรและกลุ่มตัวอย่าง

ประชากรในการศึกษาในครั้งนี้ วิสาหกิจชุมชนผู้ผลิตและจำหน่ายยาหม่องสมุนไพรในประเทศไทย โดยเลือกกลุ่มตัวอย่างแบบเจาะจง (Purposive sampling) โดยกลุ่มตัวอย่างที่ทำการเก็บรวบรวมข้อมูล คือ วิสาหกิจชุมชนที่ผลิตและจำหน่ายยาหม่องสมุนไพรในเขตภาคเหนือ (เขต 6) ที่อยู่ในฐานข้อมูล ระบบสารสนเทศวิสาหกิจชุมชน กองส่งเสริมวิสาหกิจชุมชน กรมส่งเสริมการเกษตร ที่เว็บไซต์ https://smce.doae.go.th/index.php โดยมีจำนวนทั้งหมด 11 กลุ่มวิสาหกิจชุมชน

เครื่องมือที่ใช้ในการศึกษา

เครื่องมือที่ใช้ในการเก็บรวบรวมข้อมูล คือ แบบสัมภาษณ์ การสัมภาษณ์ และการสังเกตการณ์การทำงานและกระบวนการผลิตยาหม่องสมุนไพรของวิสาหกิจชุมชนที่ผลิตและจำหน่ายยาหม่องสมุนไพรในเขตภาคเหนือ (เขต 6)

การเก็บรวบรวมข้อมูล

ข้อมูลที่ใช้ในการศึกษาได้ดำเนินการเก็บรวบรวมข้อมูลจากแหล่งข้อมูล คือ 1) ข้อมูลปฐมภูมิ เก็บรวบรวมข้อมูลที่ได้จากการสัมภาษณ์ประธานกลุ่มวิสาหกิจชุมชน โดยเก็บรวบรวมข้อมูลทั่วไป ข้อมูลเกี่ยวกับการดำเนินงาน

สอบถามถึงขั้นตอน วิธีการปฏิบัติเกี่ยวกับวิธีการผลิตยาหม่องสมุนไพร ต้นทุน และผลตอบแทน และ 2) แหล่งข้อมูลทุติยภูมิ ศึกษาค้นคว้ารวบรวมข้อมูลจากเอกสาร ตลอดจนการศึกษาค้นคว้าจากเอกสารงานวิจัยที่เกี่ยวข้องรวมถึงการค้นคว้าผ่านทางระบบอินเตอร์เน็ต

การทดสอบแบบสอบถาม

การศึกษาวิจัยครั้งนี้ ผู้วิจัยใช้แบบสัมภาษณ์โดยตรงเป็นเครื่องมือในการเก็บรวบรวมข้อมูลและทดสอบคุณภาพของแบบสัมภาษณ์ในด้านความเที่ยงตรงเชิงเนื้อหา (content validity) ของแบบสัมภาษณ์ที่สร้างขึ้นเพื่อใช้เป็นเครื่องมือในการวัดสิ่งที่ต้องการศึกษา โดยผู้วิจัยนำไปให้ผู้ทรงคุณวุฒิที่ตรวจสอบพิจารณา แนะนำและปรับปรุงแก้ไข

การวิเคราะห์ข้อมูล

ข้อมูลที่รวบรวมได้จากการสัมภาษณ์โดยตรงและการสังเกตการณ์การทำงาน กระบวนการผลิตยาหม่องสมุนไพร นำมาวิเคราะห์ข้อมูล โดยหาต้นทุนเฉลี่ยและรายได้เฉลี่ยเพื่อวิเคราะห์ผลตอบแทนจากการลงทุน มีขั้นตอนดังนี้

1. วิเคราะห์เงินลงทุนเริ่มแรก
2. วิเคราะห์ต้นทุนและผลตอบแทนจากการจำหน่ายยาหม่องสมุนไพร
3. วิเคราะห์ประเมินการลงทุน ด้วยเครื่องมือทางการเงินโดยใช้ 3 วิธี ดังนี้

3.1. วิธีงวดระยะเวลาคืนทุน (Payback Period Method หรือ PBP)

3.2. วิธีมูลค่าปัจจุบันสุทธิ (Net Present Value Method หรือ NPV)

3.3. วิธีอัตราผลตอบแทนภายในของการลงทุน (Internal Rate of Return Method หรือ IRR)

*หมายเหตุ อัตราคิดลดคิดจากอัตราเงินปันผล 20% (ผลตอบแทนที่กลุ่มวิสาหกิจฯ ต้องการ ได้จากการสัมภาษณ์)

ผลการวิจัย

ข้อมูลทั่วไปของกลุ่มวิสาหกิจชุมชนผู้ผลิตและจำหน่ายยาหม่องสมุนไพรในเขตภาคเหนือ (เขต 6)

จากการรวบรวมข้อมูลจากการสัมภาษณ์โดยตรงและการสังเกตการณ์การทำงาน สมาชิกของกลุ่มวิสาหกิจชุมชนผู้ผลิตยาหม่องสมุนไพรในเขตภาคเหนือ ส่วนใหญ่เป็นผู้หญิง ซึ่งคิดเป็น 100% มีช่วงอายุระหว่าง 41–50 ปี คิดเป็นร้อยละ 30 และมีช่วงอายุ 60–70 ปี คิดเป็นร้อยละ 30 เท่ากัน ด้านประสบการณ์ในการผลิต วิสาหกิจชุมชนผู้ผลิตและจำหน่ายยาหม่องสมุนไพรในเขตภาคเหนือส่วนใหญ่มีประสบการณ์การผลิตนับถึงปัจจุบันอยู่ระหว่าง 6–10 ปี คิดเป็นร้อยละ 80 ผลิตภัณฑ์ยาหม่องสมุนไพรที่ผลิตส่วนใหญ่เป็นชนิดขี้ผึ้งสูงถึงร้อยละ 83.33 ส่วนที่เหลือเป็นชนิดน้ำ

กระบวนการผลิตยาหม่องสมุนไพร มีขั้นตอนและวิธีการผลิต แบ่งเป็น 2 ขั้นตอน ดังนี้

ขั้นตอนที่ 1 การเตรียมวัตถุดิบและอุปกรณ์การผลิต

1) เตรียมอุปกรณ์ ได้แก่ กระทะ มีด ผ้าขาวบาง ไม้พาย ถ้วยตวง ตาชั่ง ทัพพี กะละมัง เตา แก๊ส ขวดบรรจุภัณฑ์สำหรับใส่ยาหม่อง

2) เตรียมวัตถุดิบ ได้แก่ มะแขว่น น้ำมันงาหรือน้ำมันแก้ว พิมเสน การบูร เมนทอล น้ำมันสะระแหน่หรือน้ำมันยูคาลิปตัส วาสลีน พาราฟิน

3) ล้างทำความสะอาดวัตถุดิบที่เตรียมไว้

ขั้นตอนที่ 2 ขั้นตอนการทำยาหม่อง

1) นำพิมเสน การบูร เมนทอล น้ำมันสาระแหน่ น้ำมันระกำมาผสมจนละลายเป็นเนื้อเดียวกันแล้วพักไว้

2) นำวาสลีน และพาราฟิน ไปให้ความร้อนจนละลายเป็นของเหลวแล้วพักไว้

3) เตรียมสารสกัดจากมะแขว่น

4) นำส่วนผสม ข้อ 1–3 มาผสมให้เข้ากัน จากนั้นบรรจุลงขวดขณะที่น้ำยายังร้อนอยู่

5) ทิ้งไว้ให้เย็นจนแข็งตัว จากนั้นปิดฝาขวดเป็นอันเสร็จสิ้นกระบวนการ

Table 1 Investment of northern herbs pharmaceutical product, Ma-Kwaen (*Zanthozylum limonella* Alston) project

Item	Mean	SD
Working capital (Baht)	4,260.00	1,639.51
Equipment (Baht)	1,572.00	2,021.60
Total	**5,832.00**	**3,661.11**

จาก Table 1 พบว่าเงินลงทุนเริ่มแรกของวิสาหกิจชุมชนสมุนไพรพื้นบ้านภาคเหนือ “มะแขว่น” คิดเฉลี่ยเท่ากับ 5,832.00 บาท โดยมีส่วนเบี่ยงเบนอยู่ที่ 3,661.11 บาท ประกอบด้วย เงินทุนหมุนเวียนเฉลี่ยเท่ากับ 4,260.00 บาท โดยมีส่วนเบี่ยงเบนอยู่ที่ 1,639.51 บาท และเครื่องมือและอุปกรณ์เฉลี่ยเท่ากับ 1,572.00 บาท โดยมีส่วนเบี่ยงเบนอยู่ที่ 2,021.60 บาท

Table 2 Equipment of northern herbs pharmaceutical product, Ma-Kwaen (*Zanthozylum limonella* Alston) project

Item	Mean	SD
Pots	607.20	1,034.69
Dippers	58.80	78.64
Ladles	29.00	13.42
Spoons	19.00	7.50
Weighing scale	217.20	27.22
Measuring cup	136.00	103.04
Stove	429.80	732.09
Other equipment	75.00	25.00
Total	**1,572.00**	**2,021.60**

จาก Table 2 พบว่า เครื่องมือและอุปกรณ์ของวิสาหกิจชุมชนสมุนไพรพื้นบ้านภาคเหนือ “มะแขว่น” คิดเฉลี่ยเท่ากับ 1,572.00 บาท โดยมีส่วนเบียงเบนอยู่ที่ 2,021.60 บาท ประกอบด้วย หม้ออลูมิเนียม/หม้อทองเหลือง/หม้อหุงข้าวเฉลี่ยเท่ากับ 607.20 บาท โดยมีส่วนเบี่ยงเบนอยู่ที่ 1,034.69 บาท กระบวยเฉลี่ยเท่ากับ 58.50 บาท โดยมีส่วนเบี่ยงเบนอยู่ที่ 78.64 บาท ทัพพีเฉลี่ยเท่ากับ 29.00 บาท โดยมีส่วนเบี่ยงเบนอยู่ที่ 13.42 บาท ช้อนชา/ช้อนโต๊ะ เฉลี่ยเท่ากับ 19.00 บาท โดยมีส่วนเบี่ยงเบนอยู่ที่ 7.50 บาท เครื่องชั่งเฉลี่ยเท่ากับ 217.20 บาท โดยมีส่วนเบี่ยงเบนอยู่ที่ 27.22 บาท บีกเกอร์/ถ้วยตวงเฉลี่ยเท่ากับ 136.00 บาท โดยมีส่วนเบี่ยงเบนอยู่ที่ 103.04 บาท เตาไฟฟ้า/เตาแก๊สเฉลี่ยเท่ากับ 429.80 บาท โดยมีส่วนเบี่ยงเบนอยู่ที่ 732.09 บาท และเครื่องมือและอุปกรณ์อื่น ๆ เฉลี่ยเท่ากับ 75 บาท โดยมีส่วนเบี่ยงเบนอยู่ที่ 25.00 บาท

Table 3 Annual cash flow of northern herbs pharmaceutical product Ma-Kwaen (*Zanthozylum limonella* Alston) project

Item	Year				
	1	2	3	4	5
Revenue	**8,457.00**	**10,509.00**	**10,611.00**	**13,547.00**	**5,455.00**
Expenditure					
Direct Materials					
- Extracted from Ma-Kwaen	296.64	419.00	435.65	604.13	149.00
- Vaseline	231.85	256.21	255.28	333.93	219.32
- Paraffin	107.22	110.11	110.00	119.36	105.73
- Menthol	606.94	672.20	681.08	770.94	528.20
- Borneo camphor	528.54	584.63	592.26	669.48	460.88
- Camphor	271.92	294.35	297.40	328.29	244.85
- Extracted from herbs	232.63	267.22	271.92	319.55	190.90
- Sesame oil	295.33	428.77	446.92	630.65	134.33
Total direct materials	**2,571.06**	**3,032.49**	**3,090.52**	**3,776.32**	**2,033.20**
Direct labor	**1,403.15**	**1,983.20**	**2,003.84**	**2,429.60**	**648.00**
Other expense					
- Gas	100.00	140.00	147.50	175.00	42.50
- Packaging	1,516.38	1,304.00	1,322.60	1,697.80	780.40
Total other expense	**1,616.38**	**1,444.00**	**1,470.10**	**1,872.80**	**822.90**
Total expenditure	**5,590.59**	**6,459.69**	**6,564.46**	**8,078.72**	**3,504.10**
Net cash flows	**2,866.41**	**4,049.31**	**4,046.54**	**5,468.28**	**1,950.90**

จาก Table 3 พบว่าวิสาหกิจชุมชนสมุนไพรพื้นบ้านภาคเหนือ “มะแขว่น” มีรายรับเฉลี่ย ในปีที่ 1 เท่ากับ 8,457.00 บาท ปีที่ 2 เท่ากับ 10,509.00 บาท ปีที่ 3 เท่ากับ 10,611.00 บาท ปีที่ 4 เท่ากับ 13,547.00 บาท และปีที่ 5 เท่ากับ 5,455.00 บาท มีรายจ่ายรวมเฉลี่ย ในปีที่ 1 เท่ากับ 5,590.59 บาท ปีที่ 2 เท่ากับ 6,459.69 บาท ปีที่ 3 เท่ากับ 6,564.46 บาท ปีที่ 4 เท่ากับ 8,078.72 บาท และปีที่ 5 เท่ากับ 3,504.10 บาท และมีรายรับสุทธิเฉลี่ย ในปีที่ 1 เท่ากับ 2,866.41 บาท ปีที่ 2 เท่ากับ 4,049.31 บาท ปีที่ 3 เท่ากับ 4,046.54 บาท ปีที่ 4 เท่ากับ 5,468.28 บาท และปีที่ 5 เท่ากับ 1,950.90 บาท

โดยรายจ่าย ประกอบด้วยค่าวัตถุดิบ ค่าแรงงาน และค่าใช้จ่ายอื่น ๆ โดย ค่าวัตถุดิบเฉลี่ย ในปีที่ 1 เท่ากับ 2,571.06 บาท ปีที่ 2 เท่ากับ 3,032.49 บาท ปีที่ 3 เท่ากับ 3,090.52 บาท ปีที่ 4 เท่ากับ 3,776.32 บาท และปีที่ 5 เท่ากับ 2,033.20 บาท ค่าแรงงานเฉลี่ย ในปีที่ 1 เท่ากับ 1,403.15 บาท ปีที่ 2 เท่ากับ 1,983.20 บาท ปีที่ 3 เท่ากับ 2,003.84 บาท ปีที่ 4 เท่ากับ 2,429.60 บาท

และปีที่ 5 เท่ากับ 648.00 บาท และค่าใช้จ่ายอื่น ๆ เฉลี่ยในปีที่ 1 เท่ากับ 1,616.38 บาท ปีที่ 2 เท่ากับ 1,444.00 บาท ปีที่ 3 เท่ากับ 1,470.10 บาท ปีที่ 4 เท่ากับ 1,872.80 บาท และปีที่ 5 เท่ากับ 822.90 บาท

Table 4 The results of cost and benefit of northern herbs ยharmaceutical product, Ma-Kwaen (*Zanthozylum limonella* Alston) project

Analysis	Results
Payback period	1 Year 9 Month
Net Present Value per Rai (NPV)	5,131.51 Bath
Internal Rate of Return (IRR)	54.48%

จาก Table 4 พบว่าระยะเวลาคืนทุนจากการลงทุนผลิตยาหม่องสมุนไพรพื้นบ้านภาคเหนือ “มะแขว่น” มีระยะเวลาคืนทุนประมาณ 1 ปี 9 เดือน (2,965.59 x 12/4,049.31) มูลค่าปัจจุบันสุทธิมีค่า เท่ากับ 5,131.51 บาท ซึ่งมีค่ามากกว่าศูนย์ นั่นหมายถึง การลงทุนผลิตยาหม่องสมุนไพรพื้นบ้านภาคเหนือมะแขว่นนี้ให้ผลตอบแทนที่สูงกว่าอัตราผลตอบแทนที่ต้องการ คือ 20% และมีอัตราผลตอบแทนภายในของการลงทุน (Internal Rate of Return: IRR) เท่ากับ 54.48% ซึ่งมีค่าสูงกว่าอัตราผลตอบแทนที่ต้องการ คือ 20%

วิจารณ์และสรุปผลการวิจัย

การศึกษาต้นทุนและผลตอบแทนทางการเงินของผลิตภัณฑ์ด้านเภสัชกรรมจากสมุนไพรพื้นบ้านภาคเหนือ “มะแขว่น” ครั้งนี้ พบว่าเงินลงทุนในการผลิตและจำหน่ายยาหม่องสมุนไพร ของวิสาหกิจชุมชนมีมูลค่าเท่ากับ 5,832.00 บาท ประกอบด้วย เงินทุนหมุนเวียนเฉลี่ยเท่ากับ 4,260.00 บาท และเครื่องมือและอุปกรณ์เฉลี่ยเท่ากับ 1,572.00 บาท โดยรายรับสุทธิเฉลี่ยในปีที่ 1 เท่ากับ 2,866.41 บาท ปีที่ 2 เท่ากับ 4,049.31 บาท ปีที่ 3 เท่ากับ 4,046.54 บาท ปีที่ 4 เท่ากับ 5,468.28 บาท และปีที่ 5 เท่ากับ 1,950.90 บาท และผลการวิเคราะห์โครงการลงทุนพบว่า ระยะเวลาคืนทุนจากการลงทุนผลิตยาหม่องสมุนไพรพื้นบ้านภาคเหนือ “มะแขว่น” มีระยะเวลาคืนทุนประมาณ 1 ปี 9 เดือน (2,965.59 x 12/4,049.31) ผลการวิจัยสอดคล้องกับ Tananchai (2015) ที่พบว่าระยะเวลาคืนทุนในการผลิตผลิตภัณฑ์หมวกใบลาน ประมาณ 11 เดือน 9 วัน ซึ่งระยะเวลาคืนทุนน้อยกว่าระยะเวลาลงทุนในการผลิตผลิตภัณฑ์หมวกใบลาน ที่กำหนดไว้ 10 ปี มูลค่าปัจจุบันสุทธิมีค่า เท่ากับ 5,131.51 บาท ซึ่งมีค่ามากกว่าศูนย์ นั้นหมายถึง การลงทุนผลิตยาหม่องสมุนไพรพื้นบ้านภาคเหนือ “มะแขว่น” ให้ผลตอบแทนที่สูงกว่าอัตราผลตอบแทนที่ต้องการ คือ 20% ผลการวิจัยสอดคล้องกับ Tananchai (2015) ที่พบว่ามูลค่าปัจจุบันสุทธิของการลงทุนในการผลิตผลิตภัณฑ์หมวกใบลาน เท่ากับ 2,183,665.66 บาท ที่อัตราคิดลด ร้อยละ 8.00 ซึ่งมีค่ามากกว่าศูนย์ แต่ผลการวิจัยไม่สอดคล้องกับ Boonkumol (2020) ที่พบว่าการลงทุนปลูกข้าวพันธุ์กข31 ของเกษตรกรในพื้นที่องค์กรบริหารส่วนตำบลบึงทองหลางไม่คุ้มค่ากับการลงทุน เนื่องจากมูลค่าปัจจุบันของผลตอบแทนสุทธิ เท่ากับ 141,231.49 บาท สำหรับเกษตรกรที่มีขนาดพื้นที่เพาะปลูก 1–30 ไร่ เท่ากับ 328,529.35 บาท สำหรับเกษตรกรที่มีขนาดพื้นที่เพาะปลูก 31–60 ไร่ และเท่ากับ 569,173.83 บาท สำหรับเกษตรกรที่มีพื้นที่เพาะปลูก 61 ไร่ขึ้นไป และมีอัตราผลตอบแทนภายในของการลงทุน (Internal Rate

of Return: IRR) เท่ากับ 54.48% ซึ่งมีค่าสูงกว่าอัตราผลตอบแทนที่ต้องการ คือ 20% สอดคล้องกับงานวิจัยของ Tananchai (2015) ที่พบว่าอัตราผลตอบแทนภายในของการลงทุนในการผลิตผลิตภัณฑ์หมวกใบลานมีค่าเท่ากับร้อยละ 123.91 มีมูลค่ามากกว่าอัตราดอกเบี้ยเงินให้กู้ยืมของธนาคารกรุงไทย จำกัด (มหาชน) ที่กำหนดเท่ากับร้อยละ 8.00 และงานวิจัยของ Soithongdee, and Nilapomgoun (2019) ที่พบว่าการลงทุนเลี้ยงจิ้งหรีดเชิงพาณิชย์มีโอกาสขยายจากธุรกิจครัวเรือนสู่การดำเนินธุรกิจเชิงพาณิชย์ได้ เนื่องจากมีอัตราผลตอบแทนจากการลงทุนประมาณที่ 20–40% ต่อปี แต่ไม่สอดคล้องกับ Boonkumol (2020) ที่พบว่าการลงทุนปลูกข้าวพันธุ์ กข 31 ของเกษตรกรในพื้นที่องค์กรบริหารส่วนตำบลบึงทองหลางไม่คุ้มค่ากับการลงทุน เนื่องจากอัตราผลตอบแทนภายในโครงการ (IRR) เท่ากับร้อยละ 0

ข้อเสนอแนะและข้อจำกัดในการวิจัย

จากผลการศึกษาพบว่า ผลตอบแทนทางการเงินของผลิตภัณฑ์ด้านเภสัชกรรมจากสมุนไพรพื้นบ้านภาคเหนือ “มะแขว่น” ครั้งนี้ มีความเป็นไปได้ในการลงทุน เนื่องจากมีระยะเวลาคืนทุนที่สั้น มูลค่าปัจจุบันสุทธิมีค่าเป็นบวก และอัตราผลตอบแทนภายในสูง ดังนั้นหากนักลงทุนสนใจลงทุนจึงเป็นอีกทางเลือกหนึ่งในการลงทุน

ในการวิจัยครั้งนี้มีเก็บข้อมูลเฉพาะในเขตภาคเหนือ และผลตอบแทนทางการเงินของผลิตภัณฑ์ด้านเภสัชกรรมจากสมุนไพรพื้นบ้านภาคเหนือ “มะแขว่น” เท่านั้น ในวิจัยครั้งต่อไปสามารถขยายขอบเขตการศึกษาออกไปเป็นทั่วประเทศได้ และนอกจากนี้การศึกษาครั้งนี้อาจใช้เป็นแนวทางการศึกษาต้นทุนและผลตอบแทนทางการเงินของผลิตภัณฑ์ด้านเภสัชกรรมจากสมุนไพรพื้นบ้านชนิดอื่น ๆ ได้อีกด้วย

เอกสารอ้างอิง

Aujirpongpan, S. 2009. **Managerial Accounting.** Bangkok: Mc Graw Hill. 496 p. [in Thai]

Boonkumol, T. 2020. **Cost and Return on Investment Analysis of Rice Farming RD31 in the Area of Buengthonglang Subdistrict, Lam Luk Ka District, Pathum Thani Province.** Master Thesis. Valaya Alongkorn Rajabhat University. 123 p. [in Thai]

Bubpawan, P., S. Boonphong, C. Sriwattanawarunyoo and V. Udeye. 2015. Characterization of the essential oil and fatty oil from Makhwaen fruit (*Zanthoxylum rhetsa* (Roxb.) DC). **NU. International Journal of Science** 12(1): 1–10.

Garrison, R.H., E.W. Noreen and P.C. Brewer. 2014. **Managerial Accounting.** 15th ed. Columbus: McGraw-Hill Education. 800 p.

Imphat C. and N. Woottisin. 2021. Development of massage oil containing essential oil from *Zanthoxylum limonella* fruit and pail relief effect on calf muscles in healthy volunteers. **Journal of Thai Traditional and Alternative Medicine** 19(1): 147–160 [in Thai]

Itthipanichpong C., N. Ruangrungsi and C. Pattanaautsahakit. 2002. Chemical composition and pharmacological effects of essential oil from the fruit of *Zanthoxylum limonella*. **J Med Assoc Thai** 85(Suppl1): S3.

Nanasombat, S. and P. Wimuttigosol. 2011. Antimicrobial and antioxidant activity of spice essential oils. **Food Science and Biotechnology** 20: 45–53.

Negi, J.S., V.K. Bisht, A.K. Bhandari, R. Bisht and S.K. Negi. 2012. Major constituents, antioxidant and antibacterial activities of *Zanthoxylum armatum* DC. essential oil. **Iranian Journal of Pharmacology and Therapeutics** 11: 68–72.

Samy, R.P., S. Ignacimuthu and V.T.K. Chow 2011. **Evaluation of antimicrobial studies of traditional medicine.** [Online]. Available http://precedings.nature.com/documents/6027/version/1/files/npre20116027-1.pdf (March 10, 2025)

Silveira e Sá RdCd, L.N. Andrade and D. Pergentino de Sousa. 2013. A review on anti-inflammatory activity of monoterpene. **Molecules** 18: 1227–1254.

Singkam, S. and T. Satjawathee. 2020. Cost and return of economic plants of farmers in Hua Mueang sub-district, Muang Pan district, Lampang province. **Journal of Agricultural Research and Extension** 37(3): 103–117. [in Thai]

Soithongdee, N. and N. Nilaporngoun. 2019. Cost and return of commercial cricket farming: evidence the central region of Thailand. **MBA-KKU Journal** 12(1): 165–186. [in Thai]

Sungkajanttranon, O. and P. Kladcharoen. 2008. Using Fruit Oil Extract *of Zanthoxylum limonella* (Dennst.) Aast. and *Capsicum frutescens* Linn. for Producing Medicinal Balm. pp. 186–193. *In* **Proceedings of The 5th Kasetsart University Kamphang Saen Campus Conference.** Nakhon Prathom: Kasetsart University. [in Thai]

Tananchai, T. 2015. Financial cost-banefit analysis of palm leaves hat production from Banphan Municipal district, Mueang district, Lamphun province. **FEU Academic Review Journal** 9(1): 122–131. [in Thai]

Tangjitjaroenkun, J. 2010. **Bioactive Compound from Ma-Kwaen *Zanthoxylum limonella* Alston.** Master Thesis. Chulalongkorn University. 178 p. [in Thai]

Journal of Agri. Research & Extension 42(3): 231-245

แนวทางการพัฒนาผลิตภัณฑ์ และปัจจัยส่วนผสมทางการตลาดที่ส่งผลต่อการตัดสินใจซื้อน้ำยาเจือจางน้ำเชื้อเพื่อการขยายพันธุ์ไก่กีฬาและไก่สวยงาม

Product Development Guidelines and Marketing Mix Factors Affecting the Purchasing Decision of Semen Diluents for the Breeding of Fighting Cocks and Show Chickens

ณปภัช ช่วยชูหนู ไพศาล กะกุลพิมพ์ และจรีวรรณ จันทร์คง*

Napapach Chuaychu-noo, Phaisan Kakulpim and Jareewan Chankong*

คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย นครศรีธรรมราช 80110

Faculty of Agriculture, Rajamangala University of Technology Srivijaya, Nakhon Sri Thammarat, Thailand 80110

*Corresponding author: jareewan.rmutsv@gmail.com

Received: *May 31, 2025*
Revised: *August 15, 2025*
Accepted: *August 27, 2025*

Abstract

This study investigated approaches to product development and the marketing mix factors affecting the purchasing decisions for semen diluents used in breeding fighting cocks and show chickens. A total of 100 participants from the provinces of Nakhon Si Thammarat, Phatthalung, and Surat Thani were surveyed using questionnaires and focus group discussions. The findings revealed that, within each demographic category, the largest proportions of respondents were male (82%), aged 61 years or older (42%), held a bachelor's degree (33%), and were self-employed (47%). Most participants purchased semen diluents primarily for breeding purposes, sourcing them through distributors or animal supply outlets. Packaging preferences favored screw-cap vials with a maximum volume of 5 ml, priced at no more than 10 Baht per ml. Regarding the marketing mix (4Ps), product was identified as the most influential factor in purchasing decisions, followed by price, distribution channel, and promotion. When considering each factor individually, respondents valued convenience of use most highly for the product; for price, they prioritized reasonable pricing that was not excessively high; for distribution channels, they emphasized convenient locations and ease of purchase; and for promotion, they valued marketing activities that supported their buying decisions. Consumers also placed strong emphasis on high-quality service. The findings suggest that entrepreneurs and stakeholders in this sector should prioritize these marketing mix elements as essential components when formulating strategies for future product development.

Keyword: marketing mix factors, semen diluents, fighting cocks, show chickens

บทคัดย่อ

การศึกษาครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาแนวทางในการพัฒนาผลิตภัณฑ์ และปัจจัยส่วนผสมทางการตลาดที่ส่งผลต่อการตัดสินใจซื้อน้ำยาเจือจางน้ำเชื้อเพื่อการขยายพันธุ์ไก่กีฬาและไก่สวยงาม จากกลุ่มตัวอย่าง จำนวน 100 ราย ในพื้นที่จังหวัดนครศรีธรรมราช พัทลุง และสุราษฎร์ธานี โดยการใช้แบบสอบถามและการประชุมกลุ่มย่อย พบว่าผู้มีส่วนเกี่ยวข้องในกระบวนการผลิตและการจัดจำหน่ายไก่กีฬาและไก่สวยงาม ในระดับมากที่สุด คือ เพศชาย อายุ 61 ปีขึ้นไป การศึกษาระดับปริญญาตรี อาชีพธุรกิจส่วนตัว มีอัตราร้อยละ 82, 42, 33 และ 47 ตามลำดับ ส่วนใหญ่เลือกซื้อผลิตภัณฑ์นี้เพื่อการเพาะขยายพันธุ์ไก่กีฬาและไก่สวยงาม โดยสะดวกที่จะซื้อผลิตภัณฑ์นี้ผ่านตัวแทนจัดจำหน่าย ร้านจำหน่ายอุปกรณ์ในการเลี้ยงสัตว์ สำหรับลักษณะบรรจุภัณฑ์ต้องการเป็นแบบขวดฝาเกลียว ปริมาณไม่เกิน 5 มิลลิลิตรต่อขวด และจัดจำหน่ายในราคาไม่เกิน มิลลิลิตรละ 10 บาท ด้านปัจจัยส่วนผสมทางการตลาด (4Ps) ที่ส่งผลต่อการตัดสินใจซื้อให้ความสำคัญกับปัจจัยด้านผลิตภัณฑ์มากที่สุด และให้ความสำคัญในระดับมาก ต่อปัจจัยด้านราคา ปัจจัยด้านช่องทางการจัดจำหน่าย และปัจจัยด้านการส่งเสริมการตลาด ตามลำดับ เมื่อพิจารณาในรายด้าน พบว่า ปัจจัยด้านผลิตภัณฑ์ ให้ความสำคัญมากที่สุดในประเด็นความสะดวกในการใช้งาน ส่วนปัจจัยด้านราคาให้ความสำคัญในประเด็นราคาที่สมเหตุสมผล ไม่สูงจนเกินไป ส่วนปัจจัยด้านช่องทางการจัดจำหน่าย ให้ความสำคัญเรื่องสถานที่จัดจำหน่ายที่สะดวก สามารถหาซื้อได้ง่าย และปัจจัยด้านการส่งเสริมการตลาด ผู้บริโภคให้ความสำคัญมากในประเด็นของการบริการที่ดี ทั้งนี้กลุ่มผู้ประกอบการ และผู้มีส่วนเกี่ยวข้องในการพัฒนาผลิตภัณฑ์สินค้ากลุ่มนี้ ควรนำปัจจัยส่วนผสมทางการตลาดมาเป็นส่วนสำคัญในการกำหนดกลยุทธ์เพื่อการพัฒนาต่อไป

คำสำคัญ: ส่วนผสมทางการตลาด น้ำยาเจือจางน้ำเชื้อ ไก่กีฬา ไก่สวยงาม

คำนำ

ไก่พื้นเมืองไทยมีการเลี้ยงมาอย่างยาวนาน เป็นสัตว์เลี้ยงคู่กับเกษตรกร มีความสามารถในการหากินเก่ง ทนต่อสภาพแวดล้อมและโรคระบาด การเลี้ยงไก่พื้นเมืองมีวัตถุประสงค์เพื่อใช้บริโภคเนื้อ ไข่ หรือเพื่อจำหน่าย และเพื่อเป็นสัตว์เลี้ยงสวยงามที่สามารถใช้ในด้านการประกวดแข่งขันและการกีฬา ซึ่งกีฬาชนไก่นั้นเป็นวิถีชีวิตของเกษตรกรหลังจากเสร็จฤดูการทำไร่ทำนา แต่ในปัจจุบันกีฬาชนไก่เป็นที่ยอมรับและเป็นที่นิยม มีผู้ประกอบการให้บริการเปิดสนามชนไก่เพื่อเป็นธุรกิจ รวมทั้งบริการสนามกีฬาชนไก่เพื่อการท่องเที่ยวเชิงวัฒนธรรม ทำให้การชนไก่ถูกยกระดับเป็นส่วนหนึ่งที่ช่วยอนุรักษ์ไก่พื้นเมืองไทยและส่งเสริมการท่องเที่ยว สำหรับด้านการประกวดไก่สวยงาม ซึ่งประกอบด้วย ไก่หลากหลายสายพันธุ์ เช่น ไก่พื้นเมืองไทย ไก่แจ้ และไก่สายพันธุ์ต่างประเทศ ยังจัดให้มีการประกวดแข่งขันและยังได้รับความสนใจสูง มีกลุ่มตลาดเฉพาะที่ดำเนินธุรกิจรวมทั้งมีการจัดตั้งสมาคมต่าง ๆ เพื่อรักษามาตรฐานในการดำเนินกิจกรรม ซึ่งแสดงให้เห็นถึงความต้องการทางการตลาดของไก่กลุ่มดังกล่าว นอกจากนั้นพบว่าไก่เหล่านี้สามารถเพิ่มมูลค่าได้ 100–1,000 เท่า จากไก่ทั่วไป และเป็นส่วนสำคัญของการอนุรักษ์พันธุกรรมไม่ให้เกิดการผสมข้ามสายพันธุ์ ในส่วนของไก่พื้นเมืองไทยช่วยให้ยังคงรักษาความเป็นเอกลักษณ์ประจำถิ่นไว้ได้ เช่น เหลืองหางขาว (พิษณุโลก) ประดู่หางดำ (สุโขทัย) แสมดำ (พิจิตร) เขียวหางดำ (อุตรดิตถ์และฉะเชิงเทรา) เทาหางขาว (ตาก) ด่าง (แพร่) เป็นต้น (Buatongjan, 2015) อย่างไรก็ตาม ไก่ที่มีมูลค่าสูงเหล่านี้ในช่วงของการแข่งขันหรือการประกวด จะต้องมีการเตรียมตัวฝึกซ้อม จึงไม่มีโอกาสในการขยายพันธุ์ เพราะการผสมพันธุ์ตาม

ธรรมชาตินั้นส่งผลต่อความเสียหายให้กับขน รูปทรง และรูปร่างของตัวไก่ทั้งตัวผู้และตัวเมียได้ อีกทั้งไก่ชนภายหลังการแข่งขันอาจพิการ จึงไม่สามารถผสมพันธุ์ได้ ดังนั้นเพื่อลดการสูญเสียโอกาสในการขยายพันธุ์ของไก่ที่มีลักษณะดี และเป็นที่ต้องการของตลาด จากประเด็นปัญหาการขยายพันธุ์ไก่ที่กล่าวมาข้างต้นนี้ สามารถแก้ไขได้ด้วยการใช้เทคโนโลยีการผสมเทียม (Khongsen *et al*., 2013) ทั้งนี้พบว่าเกษตรกรสมัยใหม่เริ่มมีการพัฒนาการขยายพันธุ์ไก่กลุ่มนี้ด้วยวิธีการผสมเทียมมากขึ้น เพื่อทดแทนการผสมพันธุ์ตามธรรมชาติ เนื่องจากการจัดการและขั้นตอนการผสมเทียมไก่นั้น มีผลกระทบต่อสุขภาพร่างกายไก่น้อยมาก แต่ในขณะเดียวกันสามารถเพิ่มประสิทธิภาพการใช้ประโยชน์จากพ่อพันธุ์ (Srimarak, 1989) เนื่องจากรีดน้ำเชื้อ 1 ครั้ง สามารถผสมเทียมไก่ได้ 10–20 ตัว (ขึ้นอยู่กับคุณภาพของน้ำเชื้อ) อีกทั้งยังสามารถลดปัญหาที่เกิดจากสรีระพ่อและแม่พันธุ์ที่เป็นอุปสรรคต่อการผสมพันธุ์ตามธรรมชาติได้อีกด้วย ซึ่งในกระบวนการการผสมเทียมนั้น “น้ำยาเจือจางน้ำเชื้อ” เป็นส่วนประกอบที่สำคัญในการผสมเทียม

น้ำยาเจือจางน้ำเชื้อที่ดี ต้องมีคุณสมบัติเป็นแหล่งพลังงาน ควบคุมความเป็นกรด-ด่าง ค่าแรงดันสารละลายใกล้เคียงกับน้ำกาม ควบคุมการเจริญของจุลินทรีย์ในน้ำเชื้อ จากรายงานวิจัยของต่างประเทศน้ำยาเจือจางน้ำเชื้อมีหลายสูตร เช่น Lake EK Tselutin BPSE IGGKPh เป็นต้น (Thananurak *et al.* 2017) ซึ่งช่วยยืดอายุการเก็บรักษาน้ำเชื้อ และอายุอสุจิในระบบสืบพันธุ์เพศเมีย เป็นปัจจัยสำคัญในการเพิ่มอัตราการผสมติด แต่ในปัจจุบันพบว่าผู้เพาะขยายพันธุ์ไก่ นิยมใช้น้ำเกลือความเข้มข้น 0.9 เปอร์เซ็นต์ (NaCl 0.09%) ทดแทนน้ำยาเจือจาง เนื่องจากสามารถหาซื้อได้ง่าย แต่การใช้น้ำเกลือนั้น ทำหน้าที่เพียงเพิ่มปริมาตรน้ำเชื้อให้สะดวกต่อการใช้งานเท่านั้น จึงส่งผลต่ออัตราการผสมติดค่อนข้างต่ำ และต้องทำการผสมเทียม 2–3 ครั้งต่อสัปดาห์ แต่สำหรับไก่กีฬาและไก่สวยงามนั้น เป็นไก่ที่มีมูลค่าสูง และมีการเลี้ยงดูที่แตกต่างจากไก่ทั่วไป นั่นคือต้องผ่านการแข่งขันและการฝึกซ้อม สร้างความเครียดที่ส่งผลต่อระบบสืบพันธุ์และคุณภาพน้ำเชื้อ ซึ่งการใช้น้ำยาเจือจางน้ำเชื้อที่มีคุณภาพจะสามารถเพิ่มอัตราการผสมติด สนับสนุนโอกาสในการคัดเลือก และพัฒนาสายพันธุ์ได้เพิ่มขึ้น สร้างโอกาสในการค้าเซลล์สืบพันธุ์ จากการเก็บรักษาน้ำเชื้อได้นาน โดยในปัจจุบันมีการพัฒนาน้ำยาเจือจางน้ำเชื้อไก่เชิงพาณิชย์เพื่อจำหน่าย แต่บริษัทผู้ผลิตส่วนใหญ่อยู่ในต่างประเทศ การนำเข้ามาใช้ในประเทศไทยส่งผลให้น้ำยาเจือจางน้ำเชื้อเชิงพาณิชย์มีราคาแพง จึงเป็นโอกาสในการพัฒนาผลิตภัณฑ์น้ำยาเจือจางน้ำเชื้อไก่กีฬาและไก่สวยงามในประเทศไทย เพื่อเพิ่มโอกาสและทางเลือกให้กับกลุ่มผู้ผลิต และแก้ไขปัญหาให้กับกลุ่มลูกค้าเป้าหมาย โดยเฉพาะในพื้นที่ภาคใต้ของประเทศไทย ซึ่งไก่กีฬาได้รับความนิยม เนื่องจากมีลักษณะที่แตกต่างจากภาคอื่นของประเทศไทย ทั้งในด้านการเรียกชื่อ ลักษณะสีขน และในการแข่งขันของภาคใต้จะเป็นการต่อสู้ที่ใช้ระยะเวลาสั้นมาก เพราะการใช้เดือยซึ่งมีความแหลมคม สามารถทำให้เกิดบาดแผลฉกรรจ์อย่างรวดเร็ว ไก่พื้นเมืองภาคใต้จึงไม่จำเป็นต้องมีชั้นเชิงมากนัก แต่ต้องเป็นไก่ดุ บินเร็ว ตีไว ทำให้ได้เปรียบคู่ต่อสู้ (Suwanpugee, *et al*. 2019)

จากสถานการณ์ข้างต้นทำให้ผู้วิจัยเล็งเห็นถึงความสำคัญ ในการศึกษาเกี่ยวกับปัจจัยส่วนผสมทางการตลาดที่ส่งผลต่อการตัดสินใจซื้อน้ำยาเจือจางน้ำเชื้อเพื่อการขยายพันธุ์ไก่กีฬาและไก่สวยงาม รวมทั้งรวบรวมข้อมูลพฤติกรรมผู้บริโภคเพื่อเป็นแนวทางในการพัฒนาผลิตภัณฑ์ ซึ่งเป็นปัจจัยที่สำคัญในการกระตุ้นให้ผู้บริโภคเกิดความต้องการในตัวสินค้าเหล่านั้น โดยศึกษากลุ่มตัวอย่างในเขตพื้นที่ภาคใต้ ประกอบด้วย จังหวัดนครศรีธรรมราช พัทลุง และสุราษฎร์ธานี อีกทั้งเพื่อเป็นประโยชน์ในการส่งเสริมและพัฒนาผู้ประกอบการด้านการขยายพันธุ์ไก่กีฬาและไก่สวยงาม และทิศทางการจัดจำหน่ายต่อไปในอนาคต

วิธีดำเนินการวิจัย

วิธีดำเนินการวิจัยครั้งนี้ทำการเก็บรวบรวมข้อมูลและดำเนินการวิจัย ดังขั้นตอนต่อไปนี้

ประชากรและกลุ่มตัวอย่าง

ประชากรที่ใช้ในการศึกษาครั้งนี้ ได้แก่ ผู้มีส่วนเกี่ยวข้องในกระบวนการผลิตและการจัดจำหน่ายไก่กีฬาและไก่สวยงาม ซึ่งไม่ทราบขนาดจำนวนประชากรที่แน่ชัด กำหนดกลุ่มตัวอย่าง โดยคำนวณจากสูตรการหาขนาดตัวอย่างที่ระดับความเชื่อมั่น ร้อยละ 95 ความคลาดเคลื่อนที่ยอมรับได้ 0.1 ของดับเบิ้ลยู จี โคชรัน (Cochran, 1977) ได้ขนาดกลุ่มตัวอย่างผู้มีส่วนเกี่ยวข้องในกระบวนการผลิตและการจัดจำหน่าย จำนวน 97 ราย ทั้งนี้เพื่อป้องกันความผิดพลาด ผู้วิจัยจึงดำเนินการเก็บรวบรวมข้อมูลกลุ่มตัวอย่างทั้งหมด จำนวน 100 ราย และทำการคัดเลือกกลุ่มตัวอย่างแบบเฉพาะเจาะจง (purposive sampling) โดยคัดเลือกจาก ผู้มีส่วนเกี่ยวข้องในกระบวนการผลิตและการจัดจำหน่ายไก่กีฬาและไก่สวยงาม ตัวแทนสมาคม ชมรมด้านการเลี้ยงและการจัดประกวดแข่งขันไก่กีฬาและไก่สวยงาม กลุ่มผู้ประกอบการสนามไก่กีฬา และผู้จัดการประกวดไก่สวยงามในพื้นที่จังหวัดนครศรีธรรมราช ประกอบด้วย อำเภอเมือง อำเภอจุฬาภรณ์ อำเภอชะอวด และอำเภอทุ่งสง พื้นที่จังหวัดพัทลุง ประกอบด้วย อำเภอเมือง อำเภอควนขนุน และอำเภอเขาชัยสน และพื้นที่จังหวัดสุราษฎร์ธานี ประกอบด้วย อำเภอเมือง อำเภอเวียงสระ และอำเภอกาญจนดิษฐ์ อำเภอละ 10 ราย รวมจำนวน 100 ราย ที่สมัครใจเข้าร่วมดำเนินโครงการวิจัย มีอายุมากกว่า 18 ปีขึ้นไป สามารถอ่านออกเขียนได้ และยินยอมเข้าร่วมดำเนินโครงการวิจัย

เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัยครั้งนี้เป็นแบบสอบถาม (questionnaires) และมีการตรวจสอบเครื่องมือโดยทำการตรวจสอบความเที่ยงตรงตามเนื้อหา (content validity) โดยผู้วิจัยนำแบบสอบถามที่สร้างขึ้นไปตรวจสอบความเที่ยงตรงตามเนื้อหาจากผู้เชี่ยวชาญด้านเศรษฐศาสตร์ การตลาด และการจัดการธุรกิจเกษตร รวมจำนวน 3 ท่าน หลังจากนั้นนำมาหาค่าดัชนีความสอดคล้อง (IOC) และความเหมาะสมของภาษาที่ใช้ (wording) เพื่อนำไปปรับปรุงแก้ไขก่อนนำไปใช้ในการสัมภาษณ์เพื่อเก็บข้อมูลจริง ซึ่งแบ่งออกเป็น 4 ส่วน ดังนี้

ส่วนที่ 1 ข้อมูลทั่วไปด้านสภาพสังคมและเศรษฐกิจของผู้ตอบแบบสอบถาม

ส่วนที่ 2 ข้อมูลแนวทางในการออกแบบผลิตภัณฑ์น้ำยาเจือจางน้ำเชื้อเพื่อการขยายพันธุ์ไก่กีฬาและไก่สวยงาม

ส่วนที่ 3 ปัจจัยทางด้านการตลาดที่ส่งผลต่อความต้องการซื้อน้ำยาเจือจางน้ำเชื้อเพื่อการขยายพันธุ์ไก่กีฬาและไก่สวยงาม

ส่วนที่ 4 ข้อเสนอแนะต่อการพัฒนาผลิตภัณฑ์น้ำยาเจือจางน้ำเชื้อเพื่อการขยายพันธุ์ไก่กีฬาและไก่สวยงาม

ทั้งนี้ผู้วิจัยได้ดำเนินการยื่นขออนุมัติการทำวิจัยในมนุษย์ต่อคณะกรรมการจริยธรรมในมนุษย์ มหาวิทยาลัยวลัยลักษณ์ เลขที่เอกสารรับรอง WUEC-24-068-01 รหัสโครงการวิจัย WU-EC-EX-3-020-67 ตั้งแต่วันที่ 28 กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2567

การเก็บรวบรวมข้อมูล

เก็บรวบรวมข้อมูลจากแบบสอบถาม และการประชุมกลุ่มย่อย ด้านแนวทางการพัฒนาผลิตภัณฑ์ และปัจจัยส่วนผสมทางการตลาดที่ส่งผลต่อการตัดสินใจซื้อ

น้ำยาเจือจางน้ำเชื้อเพื่อการขยายพันธุ์ไก่กีฬาและไก่สวยงาม จากกลุ่มตัวอย่างผู้มีส่วนเกี่ยวข้องในกระบวนการผลิตและการจัดจำหน่ายไก่กีฬาและไก่สวยงาม กลุ่มผู้ประกอบการสนามไก่กีฬา และผู้จัดการประกวดไก่สวยงาม จำนวน 100 ราย โดยใช้การประเมินคำตอบประยุกต์ตามแบบของ Likert scale question (Pongvichai, 2015) แต่ละคำถามมีคำตอบให้เลือก โดยกำหนดค่าน้ำหนักของการประเมิน ดังนี้

ระดับ 5 = มีระดับความสำคัญมากที่สุด
ระดับ 4 = มีระดับความสำคัญมาก
ระดับ 3 = มีระดับความสำคัญปานกลาง
ระดับ 2 = มีระดับความสำคัญน้อย
ระดับ 1 = มีระดับความสำคัญน้อยที่สุด

การวิเคราะห์ข้อมูล

ผู้วิจัยทำการวิเคราะห์ข้อมูลจากแบบสอบถาม (questionnaires) ดังนี้

1) วิเคราะห์เชิงพรรณนา (Descriptive Method) เป็นการวิเคราะห์โดยอาศัยวิธีการทางสถิติอย่างง่าย เพื่อใช้อธิบายถึงข้อมูลทั่วไปด้านสภาพสังคมและเศรษฐกิจของผู้ตอบแบบสอบถาม และแนวทางในการพัฒนาผลิตภัณฑ์น้ำยาเจือจางน้ำเชื้อเพื่อการขยายพันธุ์ไก่กีฬาและไก่สวยงาม

2) การวิเคราะห์เชิงปริมาณ (quantitative Method) โดยนำข้อมูลจากแบบสอบถามที่ได้ มาวิเคราะห์ค่าความถี่ ค่าร้อยละ ค่าเฉลี่ย ค่าเบี่ยงแบนมาตรฐาน (Pongvichai, 2015) โดยค่าระดับความสำคัญใช้การแปลผลค่าเฉลี่ยของคะแนนจากมาตรฐานส่วนประเมินค่าชนิด 5 ระดับ และใช้การแบ่งช่วงการแปลผลตามหลักของการแบ่งอันตรภาคชั้น โดยใช้ค่าสูงสุดลบด้วยค่าต่ำสุด และหารด้วยจำนวนระดับที่ศึกษา ดังนั้นความห่างของแต่ละช่วงจึงเท่ากับ 0.8 สามารถแบ่งช่วงได้ดังนี้

ค่าคะแนนเฉลี่ย :

4.21–5.00 = ระดับที่มีความสำคัญมากที่สุด
3.41–4.20 = ระดับที่มีความสำคัญมาก
2.61–3.40 = ระดับที่มีความสำคัญปานกลาง
1.81–2.60 = ระดับที่มีความสำคัญน้อย
1.00–1.80 = ระดับที่มีความสำคัญน้อยที่สุด

ผลการวิจัย

การศึกษาแนวทางในการพัฒนาผลิตภัณฑ์ และปัจจัยส่วนผสมทางการตลาดที่ส่งผลต่อการตัดสินใจซื้อน้ำยาเจือจางน้ำเชื้อเพื่อการขยายพันธุ์ไก่กีฬาและไก่สวยงาม ผู้วิจัยดำเนินการคัดเลือกกลุ่มตัวอย่างประกอบด้วย ผู้มีส่วนเกี่ยวข้องในกระบวนการผลิตและการจัดจำหน่ายไก่กีฬาและไก่สวยงาม กลุ่มผู้ประกอบการสนามไก่กีฬา และผู้จัดการประกวดไก่สวยงาม ในพื้นที่จังหวัดนครศรีธรรมราช พัทลุง และจังหวัดสุราษฎร์ธานี จำนวน 100 ราย เพื่อศึกษาถึงข้อมูลพฤติกรรม แนวทางในการพัฒนาผลิตภัณฑ์น้ำยาเจือจางต้นแบบของไก่กีฬาและไก่สวยงาม และวิเคราะห์ปัจจัยส่วนผสมทางการตลาด (4Ps) ประกอบด้วย ด้านผลิตภัณฑ์ ราคา ช่องทางการจัดจำหน่าย และการส่งเสริมการตลาด โดยมีรายละเอียดการศึกษาข้อมูล ดังนี้

ข้อมูลทั่วไปด้านสังคมและเศรษฐกิจของกลุ่มตัวอย่าง

ผู้มีส่วนเกี่ยวข้องในกระบวนการผลิตและการจัดจำหน่ายไก่กีฬาและไก่สวยงาม กลุ่มผู้ประกอบการสนามไก่กีฬา และผู้จัดการประกวดไก่สวยงาม จำนวน 100 ราย พบว่า กลุ่มตัวอย่างส่วนใหญ่เป็นเพศชาย ร้อยละ 82 เพศหญิง ร้อยละ 18 มีอายุ 61 ปีขึ้นไป มากที่สุด ร้อยละ 42 รองลงมา อายุ 51–60 ปี, อายุ 41–50 ปี, อายุ 31–40 ปี และอายุ 21–30 ปี มีอัตราร้อยละ 31, 16, 8 และ 3 ตามลำดับ ด้านสถานภาพ สมรสมากที่สุด ร้อยละ 68

และโสด ร้อยละ 32 ด้านการศึกษามากที่สุด ในระดับปริญญาตรี ร้อยละ 33 รองลงมา ระดับปวส. ปวช. มัธยมศึกษาตอนต้น และประถมศึกษา อัตราร้อยละ 25, 20, 9 และ 8 ตามลำดับ ด้านอาชีพ ประกอบธุรกิจส่วนตัวมากที่สุด ร้อยละ 47 รองลงมาคือ เกษตรกร พนักงานบริษัท พนักงานภาครัฐ นักศึกษามหาวิทยาลัย และอาชีพรับจ้างทั่วไป มีอัตราร้อยละ 21, 16, 7, 5 และ 4 ตามลำดับ ด้านรายได้เฉลี่ย 30,001–50,000 บาทต่อเดือนมากที่สุด ร้อยละ 44 รองลงมา รายได้เฉลี่ย 15,001–30,000 บาทต่อเดือน ร้อยละ 39 และรายได้เฉลี่ยมากกว่า 50,000 บาทต่อเดือน ร้อยละ 11 ตามลำดับ รายละเอียดดัง Table 1

Table 1 Frequency and percentage of general information on consumer

(n = 100)

Item	Frequency	Percentage
Gender		
- Male	82	82.00
- Female	18	18.00
Age (years)		
- Less than 20	-	-
- 21–30	3	3.00
- 31–40	8	8.00
- 41–50	16	16.00
- 51–60	31	31.00
- Over 60	42	42.00
Status		
- Single	32	32.00
- Marriage	68	68.00
Education		
- Elementary	8	8.00
- Junior high school	9	9.00
- High school	4	4.00
- Vocational certificate	20	20.00
- High vocational certificate	25	25.00
- Bachelor’s degree	33	33.00
- Higher than Bachelor’s degree	1	1.00

Table 1 (Continued)

Item	Frequency	Percentage
Occupations		
- Self-employed	47	47.00
- Agriculturist	21	21.00
- Company employee	16	16.00
- Civil servant	7	7.00
- University student	5	5.00
- Others, such as general employee	4	4.00
Incomes Per Month		
- Less than 15,000 Baht	6	6.00
- 15,001–30,000 Baht	39	39.00
- 30,001–50,000 Baht	44	44.00
- More than 50,001 Baht	11	11.00

Source: from questionnaires and calculations

ข้อมูลแนวทางการพัฒนาการออกแบบผลิตภัณฑ์น้ำยาเจือจางน้ำเชื้อเพื่อการขยายพันธุ์ไก่กีฬาและไก่สวยงาม

จากการศึกษาพฤติกรรมกลุ่มตัวอย่าง เพื่อเป็นแนวทางในการออกแบบผลิตภัณฑ์น้ำยาเจือจางน้ำเชื้อเพื่อการขยายพันธุ์ไก่กีฬาและไก่สวยงาม จำนวน 100 ราย พบว่าผู้มีส่วนเกี่ยวข้องในกระบวนการผลิตและการจัดจำหน่ายไก่กีฬาและไก่สวยงาม กลุ่มผู้ประกอบการสนามไก่กีฬา และผู้จัดการประกวดไก่สวยงาม ประกอบด้วย พฤติกรรมด้านการเลือกซื้อผลิตภัณฑ์นี้เพื่อการเพาะขยายพันธุ์ไก่กีฬาและไก่สวยงามมากที่สุด ร้อยละ 56 รองลงมา เพื่อการจัดจำหน่ายต่อกลุ่มลูกค้าที่สนใจ ร้อยละ 41 และเพื่อการศึกษาทดลอง ร้อยละ 3 และสะดวกที่จะซื้อผลิตภัณฑ์นี้ผ่านตัวแทนจัดจำหน่าย ร้านจำหน่ายอุปกรณ์ในการเลี้ยงสัตว์มากที่สุด ร้อยละ 52 รองลงมาคือ สมาคมด้านไก่กีฬาและไก่สวยงาม ร้อยละ 28 ผ่านระบบออนไลน์ ร้อยละ 11 และกลุ่มวิสาหกิจชุมชน กลุ่มเกษตรกรผู้เลี้ยงไก่ในพื้นที่ ร้อยละ 9 สำหรับลักษณะบรรจุภัณฑ์ผลิตภัณฑ์น้ำยาเจือจางน้ำเชื้อเพื่อการขยายพันธุ์ไก่กีฬาและไก่สวยงาม ต้องการปริมาณน้ำยาเจือจางน้ำเชื้อต่อขวดไม่เกิน 5 มิลลิลิตร มากที่สุด ร้อยละ 68 ไม่เกิน 10 มิลลิลิตร ร้อยละ 23 และไม่เกิน 15 มิลลิลิตร ร้อยละ 9 ด้านราคาจำหน่าย พบว่าระดับราคาน้ำยาเจือจางน้ำเชื้อที่เต็มใจจ่าย ที่ระดับราคาไม่เกิน 10 บาทต่อมิลลิลิตร มากที่สุด ร้อยละ 79 รองลงมา ไม่เกิน 15 บาทต่อมิลลิลิตร ร้อยละ 15 และไม่เกิน 20 บาทต่อมิลลิลิตร ร้อยละ 6 ตามลำดับ ด้านลักษณะบรรจุภัณฑ์ที่ต้องการเป็นแบบขวดฝาเกลียวมากที่สุด ร้อยละ 65 รองลงมา แบบขวดฝาจุกซิลิโคน ร้อยละ 32 และแบบอื่น ๆ เช่น แบบซอง ร้อยละ 3 ด้านการทำประชาสัมพันธ์

เพื่อส่งเสริมการรับรู้ผลิตภัณฑ์ พบว่าการทำประชาสัมพันธ์ผ่านช่องทางระบบออนไลน์ เช่น Facebook, TikTok มากที่สุด ร้อยละ 49 รองลงมาคือ ผ่านหัวหน้าสมาคม และพนักงานขาย ร้อยละ 27 รายละเอียดดัง Table 2

Table 2 Product development guidelines of semen diluent formula for fighting cock and show chicken breed

(n = 100)

Item	Frequency	Percentage
1. Rationale for product selection		
- For breeding fighting cock and show chickens	56	56.00
- For distribution to interested customers	41	41.00
- Others, such as for study and testing	3	3.00
2. Distribution channels		
- Distributors/animal supply outlets	52	52.00
- Fighting cock and show chickens groups/associations	28	28.00
- Community enterprises/chicken farmer groups in the community	9	9.00
- Others, such as online system	11	11.00
3. Appropriate vial size		
- not exceed 5 ml per vial	68	68.00
- not exceed 10 ml per vial	23	23.00
- not exceed 15 ml per vial	9	9.00
4. Appropriate product price		
- not exceed 10 Baht per ml	79	79.00
- not exceed 15 Baht per ml	15	15.00
- not exceed 20 Baht per ml	6	6.00
5. Type of product packaging		
- Screw cap vial	65	65.00
- Silicone cap vial	32	32.00
- Others, such as sachet	3	3.00
6. Product advertising channel		
- TV/radio program	9	9.00
- Brochure/vinyl banner	14	14.00
- Online system such as Facebook, TikTok	49	49.00
- Others, such as leader, salesman	27	27.00

Source: from questionnaires and calculations

ปัจจัยส่วนผสมทางการตลาดที่ส่งผลต่อการตัดสินใจซื้อน้ำยาเจือจางน้ำเชื้อเพื่อการขยายพันธุ์ไก่กีฬาและไก่สวยงาม

จากการศึกษาปัจจัยส่วนผสมทางการตลาด (4Ps) ส่งผลต่อการตัดสินใจซื้อน้ำยาเจือจางน้ำเชื้อเพื่อการขยายพันธุ์ไก่กีฬาและไก่สวยงาม จำนวน 100 ราย โดยปัจจัยส่วนประสมทางการตลาด (marketing mix) ประกอบด้วย ปัจจัยด้านผลิตภัณฑ์ (product) ได้แก่ ประเด็นด้านความทนทาน ผลิตภัณฑ์มีความสะดวกในการใช้งาน และผลิตภัณฑ์มีความน่าสนใจ สร้างสรรค์ ปัจจัยด้านราคา (price) ได้แก่ ประเด็นด้านราคามีความเหมาะสม ไม่สูงจนเกินไป ระดับราคามีความคงที่ ราคาถูกกว่าผลิตภัณฑ์อื่นที่ทดแทนได้ ปัจจัยด้านช่องทางการจัดจำหน่าย (place) ได้แก่ สถานที่จัดจำหน่ายสะดวกและสามารถหาซื้อได้ง่าย ส่วนปัจจัยด้านการส่งเสริมการตลาด (promotion) ได้แก่ ประเด็นด้านการบริการที่ดี มีส่วนลด ของแถม การโฆษณา และประชาสัมพันธ์

ทั้งนี้พบว่า ผู้มีส่วนเกี่ยวข้องในกระบวนการผลิตและการจัดจำหน่ายไก่กีฬาและไก่สวยงาม กลุ่มผู้ประกอบการสนามไก่กีฬา และผู้จัดการประกวดไก่สวยงาม ให้ความสำคัญกับปัจจัยด้านผลิตภัณฑ์ มากที่สุด ($\bar{X}$=4.38) และให้ความสำคัญในระดับมาก ต่อปัจจัยด้านราคา ($\bar{X}$=4.19) ปัจจัยด้านช่องทางการจัดจำหน่าย ($\bar{X}$=3.87) และปัจจัยด้านการส่งเสริมการตลาด ($\bar{X}$=3.56) ซึ่งส่งผลต่อการตัดสินใจซื้อผลิตภัณฑ์น้ำยาเจือจางน้ำเชื้อเพื่อการขยายพันธุ์ไก่กีฬาและไก่สวยงาม เมื่อพิจารณาในรายด้าน พบว่าปัจจัยด้านผลิตภัณฑ์ให้ความสำคัญในประเด็นความสะดวกในการใช้งานมากที่สุด รองลงมา คือ ความทนทาน ความน่าสนใจและความคิดสร้างสรรค์ ส่วนปัจจัยด้านราคา ผู้บริโภคให้ความสำคัญในประเด็นราคาที่สมเหตุสมผลไม่สูงจนเกินไป รองลงมา คือ ระดับราคามีความคงที่ และระดับราคาถูกกว่าสินค้าในกลุ่มเดียวกัน ตามลำดับ ส่วนปัจจัยด้านช่องทางการจัดจำหน่าย ให้ความสำคัญเรื่องสถานที่จัดจำหน่ายที่สะดวก สามารถหาซื้อได้ง่าย และการมีช่องทางการจัดจำหน่ายผ่านระบบออนไลน์ สำหรับปัจจัยด้านการส่งเสริมการตลาด ผู้บริโภคให้ความสำคัญมากที่สุด ในประเด็นของการบริการที่ดี รองลงมา คือ การมีส่วนลดหรือของแถม และการโฆษณาประชาสัมพันธ์ รายละเอียดดัง Table 3

Table 3 Marketing factors (4Ps) affecting the purchase of semen diluent formula for fighting cock and show chicken breed

Marketing factors	$\bar{X}$	SD	Importance level
Product	**4.38**	**0.45**	**Highest**
- Ease to use	4.47	0.63	Highest
- Durability	4.31	0.46	Highest
- Interest/creativity	4.28	0.71	Highest
Price	**4.19**	**0.46**	**High**
- Suitable price	4.44	0.57	Highest
- Stable price	4.29	0.61	Highest
- Cheaper price than competitors	3.84	0.65	High

Table 3 (Continued)

Marketing Factors	$\bar{x}$	SD	Importance Level
Place	**3.87**	**0.34**	**High**
- Nearby distribution sources	4.15	0.41	High
- Easy to access	4.02	0.32	High
- Online sales	3.32	0.55	Medium
Promotion	**3.56**	**0.50**	**High**
- Service	3.69	0.65	High
- Discount/free gifts	3.53	0.52	High
- Advertising	3.39	0.75	Medium

Source: from questionnaires and calculations

วิจารณ์ผลการวิจัย

จากการศึกษาแนวทางในการพัฒนาผลิตภัณฑ์และปัจจัยส่วนผสมทางการตลาดที่ส่งผลต่อการตัดสินใจซื้อน้ำยาเจือจางน้ำเชื้อเพื่อการขยายพันธุ์ไก่กีพาและไก่สวยงาม เพื่อเป็นแนวทางในการพัฒนาผลิตภัณฑ์และกำหนดกลยุทธ์ที่จะใช้พัฒนาผลิตภัณฑ์ในวงการปศุสัตว์ไทย ในปัจจุบันการผสมเทียมได้เข้ามามีบทบาทสำคัญในการผลิตปศุสัตว์เป็นอย่างมาก โดยเฉพาะในเรื่องของการปรับปรุงพันธุกรรมและผลผลิต เพื่อให้สัตว์มีพันธุกรรมที่ดีมีจำนวนเพิ่มมากขึ้นในเวลาอันรวดเร็ว (Majarune *et al*., 2013) การผสมเทียมในสัตว์ปีกมีการพัฒนามาอย่างยาวนาน แต่ยังมีการใช้อยู่ในวงจำกัด (Lake and Stewart, 1978; Perry, 1968) สำหรับประเทศไทยแม้ว่าเทคนิคการผสมเทียมในไก่มีการดำเนินการอยู่บ้าง แต่มีข้อมูลของความสามารถในการผลิตน้ำเชื้อของไก่เพศผู้ คุณภาพน้ำเชื้อ และความสามารถในการผสมติดของไก่ ซึ่งยังคงมีอยู่น้อยมาก (Sunathai *et al*., 2004) ดังนั้นในกระบวนการผลิตน้ำเชื้อ จึงต้องมีการพัฒนาสูตรสารเจือจางน้ำเชื้อขึ้นมาเรื่อย ๆ เพื่อช่วยเพิ่มปริมาตรน้ำเชื้อ รักษาคุณภาพน้ำเชื้อและยืดอายุอสุจิ และมีอัตราการผสมติดสูง (Chauychu-noo *et al*., 2023) โดยส่วนใหญ่จะค้นพบเฉพาะในส่วนของการพัฒนาสูตรน้ำยาเจือจางน้ำเชื้อไก่ แต่กระบวนการพัฒนาด้านบรรจุภัณฑ์ และผลิตภัณฑ์ยังไม่ค้นพบการศึกษา แต่มีการศึกษาในส่วนของการใช้สารเจือจางน้ำเชื้อในการผสมเทียมสุกรและแพะในเชิงการค้า จากการศึกษาของ Somprasong *et al*. (2023) ศึกษาเปรียบเทียบการใช้สารเจือจางน้ำเชื้อพื้นฐานกับสารเจือจางน้ำเชื้อทางการค้าในการแช่แข็งน้ำเชื้อแพะ จากการศึกษานี้ทำให้ทราบว่าสารเจือจางน้ำเชื้อทางการค้า ช่วยรักษาคุณภาพน้ำเชื้อแพะแช่แข็งได้ดี ช่วยลดขั้นตอนในการเตรียมสารเจือจางน้ำเชื้อและยังสามารถนำไปประยุกต์ใช้ในฟาร์มหรือหน่วยงานต่าง ๆ ได้

จากการศึกษาปัจจัยส่วนผสมทางการตลาด (4Ps) ที่ส่งผลต่อการตัดสินใจซื้อน้ำยาเจือจางน้ำเชื้อเพื่อการขยายพันธุ์ไก่ พบว่าปัจจัยด้านผลิตภัณฑ์ ส่งผลต่อการตัดสินใจซื้อในระดับมากที่สุด โดยเฉพาะประเด็นด้านความสะดวกในการใช้งาน ส่วนปัจจัยด้านราคา ด้านช่องทางการจัดจำหน่าย และด้านการส่งเสริมการตลาดอยู่ในระดับมาก โดยแยกเป็นรายประเด็น พบว่าปัจจัยด้านราคา ให้ความสำคัญกับราคาที่สมเหตุสมผล ไม่สูงจนเกินไป ส่วนปัจจัยด้านช่องทางการจัดจำหน่าย ให้ความสำคัญในเรื่องสถานที่จัดจำหน่ายที่สะดวก สามารถหาซื้อได้ง่าย และปัจจัยด้านการส่งเสริมการตลาด ให้

ความสำคัญในประเด็นของการบริการที่ดี ทั้งนี้จากการศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับผลิตภัณฑ์ในกลุ่มปศุสัตว์ พบว่ามีความสอดคล้องกับงานวิจัยของ Srisopa (2010) ซึ่งศึกษากลยุทธ์การตลาดซึ่งสัมพันธ์กับลำดับของปัจจัยในการตัดสินใจเลือกซื้อยารักษาโรคสัตว์: กรณีศึกษาบริษัท เฮลท์ แคร์ จำกัด โดยพบว่าจุดเด่นทางด้านผลิตภัณฑ์ คือ สินค้าที่มีคุณภาพที่สูงเมื่อเปรียบเทียบกับคู่แข่งขัน มีช่องทางการจัดจำหน่ายที่กระจายในทุกส่วนและการส่งมอบสินค้าได้ตามกำหนด แต่ด้านราคา (price) พบว่าการใช้กลยุทธ์ราคาสูงอาจได้ผลดี เนื่องจากสินค้าเป็นสินค้าที่เน้นด้านคุณภาพ มีกระบวนการผลิตที่มีมาตรฐานและมีประสิทธิภาพในการป้องกันและรักษาโรค ด้านการส่งเสริมการตลาด (promotion) พบว่าการแจ้งข้อมูลข่าวสาร การเตือนความจำในด้านตราสินค้า การส่งเสริมการขายโดยใช้พนักงานขาย ส่งผลต่อการซื้อสินค้ากลุ่มนี้

แต่ทั้งนี้พบประเด็นพฤติกรรมผู้บริโภคที่ส่งผลต่อการพัฒนาผลิตภัณฑ์ด้านเวชภัณฑ์สัตว์ จากงานวิจัยของ Malingam (2015) ซึ่งศึกษาเกี่ยวกับพฤติกรรมของผู้บริโภคที่มีผลต่อการเลือกซื้อเวชภัณฑ์ยาสัตว์ ของผู้ประกอบการผู้เลี้ยงสุกรในจังหวัดราชบุรี พบว่าด้านอำนาจในการสั่งซื้อ ส่วนใหญ่เป็นเจ้าของกิจการ และวัตถุประสงค์หลักในการสั่งซื้อส่วนใหญ่ใช้ในกิจการ รองลงมาใช้เพื่อจัดจำหน่าย โดยชนิดของเวชภัณฑ์ที่นิยมสั่งซื้อส่วนใหญ่เป็นแบบยาผสมอาหาร รองลงมาเป็นแบบยาฉีดและวัคซีน โดยมีความถี่ในการสั่งซื้อรายเดือน และด้านช่องทางการเลือกซื้อ พบว่าส่วนใหญ่เป็นพนักงานขายของบริษัท รองลงมาเป็น ร้านค้าและสหกรณ์ ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยนี้ในส่วนของช่องทางจัดจำหน่าย โดยสะดวกซื้อผลิตภัณฑ์ผ่านตัวแทนจัดจำหน่าย/ร้านจำหน่ายอุปกรณ์ในการเลี้ยงสัตว์มากที่สุด รองลงมา คือ ผ่านกลุ่มหรือสมาคมด้านการเลี้ยงไก่กีฬาและไก่สวยงาม ส่วนแนวคิดสินค้าเกษตร (ปศุสัตว์) ปลอดภัยภายใต้มาตรฐาน “Q” พบว่าลูกค้าให้ความสำคัญระดับมากที่สุด โดยเฉพาะกลุ่มลูกค้าให้ความสำคัญมากที่สุดต่อการเลือกใช้วัคซีนและยาที่มีคุณภาพ อีกทั้งยังสอดคล้องกับงานวิจัยของ Thanathakornkul (2014) ซึ่งศึกษาปัจจัยส่วนผสมทางการตลาดของผู้บริโภคที่ส่งผลต่อร้านขายยาในอำเภอเมือง จังหวัดกาญจนบุรี ผลการวิจัยพบว่าผู้ตอบแบบสอบถามแสดงความคิดเห็นในส่วนของปัจจัยส่วนประสมทางการตลาดของร้านขายยาโดยรวมอยู่ในระดับมาก เมื่อพิจารณาเป็นรายด้าน พบว่าส่วนประสมการตลาดทุกด้านมีอิทธิพลต่อการซื้อในระดับมาก โดยเฉพาะด้านลักษณะกายภาพ ด้านบุคลากร ด้านสถานที่ และด้านผลิตภัณฑ์ และในประเด็นด้านพฤติกรรมการเลือกรับบริการจากร้านขายยา พบว่าผู้มีอิทธิพลมากที่สุดในการซื้อ คือ ตัวเอง และเหตุผลสำคัญในการเลือกรับบริการจากร้านขายยาโดยตรง คือ ต้องการได้รับคำปรึกษาจากเภสัชกร และมีพฤติกรรมการเลือกรับบริการซ้ำ ซึ่งสอดคล้องกับการเลือกซื้อผลิตภัณฑ์น้ำยาเจือจางน้ำเชื้อเพื่อการขยายพันธุ์นี้ผ่านตัวแทนจัดจำหน่าย และร้านจำหน่ายอุปกรณ์ในการเลี้ยงสัตว์มากที่สุดเช่นกัน ทั้งนี้เพื่อต้องการรับคำปรึกษา และการบริการโดยตรงจากทางร้านหรือตัวแทนผู้จัดจำหน่าย

รวมทั้งจากการศึกษางานของ Pookjit (2022) ซึ่งทำการศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการตัดสินใจซื้อผลิตภัณฑ์เสริมอาหารในสัตว์เลี้ยงของผู้บริโภคในเขตกรุงเทพมหานคร พบว่าผู้บริโภคส่วนใหญ่มีระดับความคิดเห็นของด้านผลิตภัณฑ์โดยรวมอยู่ในระดับดีมาก โดยแยกเป็นรายประเด็น ในส่วนด้านประโยชน์หลัก คือ ประโยชน์พื้นฐานของตัวสินค้า หรือผลิตภัณฑ์โดยตรงที่ผู้ซื้อหรือผู้บริโภคจะได้รับ ด้านรูปลักษณ์ของผลิตภัณฑ์ คือลักษณะทางกายภาพที่ผู้บริโภครับรู้ได้ ซึ่งเป็นส่วนที่ทำการเสริมผลิตภัณฑ์ให้สามารถทำหน้าได้อย่างสมบูรณ์มากยิ่งขึ้น ส่งผลให้มีความน่าใช้มากยิ่งขึ้น ส่วนด้านผลิตภัณฑ์ที่คาดหวัง คือ คุณสมบัติของผลิตภัณฑ์กับเงื่อนไขที่ผู้ซื้อคาดหวังจะได้รับจากการใช้ผลิตภัณฑ์ การเสนอผลิตภัณฑ์ที่คาดหวังจะต้องคำนึงถึงความพึงพอใจของลูกค้าเป็นหลัก และด้านผลิตภัณฑ์ควบ คือ ผลประโยชน์เพิ่มเติมหรือบริการที่ผู้ซื้อจะได้รับควบคู่ไปกับการซื้อสินค้า เช่น

บริการหลังการขาย และด้านศักยภาพเกี่ยวกับผลิตภัณฑ์ คือ คุณสมบัติของผลิตภัณฑ์ใหม่ที่เกิดจากการเปลี่ยนแปลง หรือพัฒนาขึ้นมาใหม่ เพื่อสามารถตอบสนองต่อความต้องการของลูกค้าในอนาคต ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัย โดยพบว่าในส่วนของปัจจัยด้านผลิตภัณฑ์จะส่งผลต่อการตัดสินใจซื้อของผู้บริโภคมากที่สุด ดังนั้นกลุ่มผู้ประกอบการ ผู้พัฒนาผลิตภัณฑ์สินค้าเสริมในกลุ่มปศุสัตว์ ควรคำนึงถึงปัจจัยส่วนประสมทางด้านการตลาด โดยเฉพาะประเด็นด้านผลิตภัณฑ์ (product) เป็นส่วนสำคัญในการกำหนดกลยุทธ์ในการพัฒนา

สรุปผลการวิจัย

การศึกษาครั้งนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาแนวทางในการพัฒนาผลิตภัณฑ์ และปัจจัยส่วนผสมทางการตลาดที่ส่งผลต่อการตัดสินใจซื้อน้ำยาเจือจางน้ำเชื้อเพื่อการขยายพันธุ์ไก่กีฬาและไก่สวยงาม จากกลุ่มตัวอย่าง จำนวน 100 ราย ในพื้นที่จังหวัดนครศรีธรรมราช พัทลุง และสุราษฎร์ธานี โดยการใช้แบบสอบถามและการประชุมกลุ่มย่อย พบว่าผู้มีส่วนเกี่ยวข้องในกระบวนการผลิตและการจัดจำหน่ายไก่กีฬาและไก่สวยงาม ในระดับมากที่สุด คือ เพศชาย อายุ 61 ปีขึ้นไป การศึกษาระดับปริญญาตรี อาชีพธุรกิจส่วนตัว มีอัตราร้อยละ 82, 42, 33 และ 47 ตามลำดับ ส่วนใหญ่เลือกซื้อผลิตภัณฑ์เพื่อการเพาะขยายพันธุ์ไก่กีฬาและไก่สวยงาม ร้อยละ 56 และเพื่อการจัดจำหน่ายต่อกลุ่มลูกค้าที่สนใจ ร้อยละ 41 โดยสะดวกที่จะซื้อผลิตภัณฑ์นี้ผ่านตัวแทนจัดจำหน่าย ร้านจำหน่ายอุปกรณ์ในการเลี้ยงสัตว์ มากที่สุด ร้อยละ 52

สำหรับลักษณะบรรจุภัณฑ์ผลิตภัณฑ์น้ำยาเจือจางน้ำเชื้อเพื่อการขยายพันธุ์ไก่กีฬาและไก่สวยงาม ปริมาณต่อขวด ไม่เกินขวดละ 5 มิลลิลิตร มากที่สุด ร้อยละ 68 ด้านระดับราคาที่เต็มใจจ่าย ระดับราคาไม่เกิน 10 บาท ต่อมิลลิลิตร มากที่สุด ร้อยละ 79 โดยลักษณะบรรจุภัณฑ์ที่ต้องการเป็นแบบขวดฝาเกลียว มากที่สุด ร้อยละ 65 โดยควรทำการทำประชาสัมพันธ์ผลิตภัณฑ์นี้เพื่อให้เป็นที่รู้จักผ่านช่องทางออนไลน์ เช่น Facebook, TikTok มากที่สุด สำหรับปัจจัยส่วนผสมทางการตลาด (4Ps) ให้ความสำคัญกับปัจจัยด้านผลิตภัณฑ์มากที่สุด ($\bar{X}$=4.38) และให้ความสำคัญในระดับมาก ต่อปัจจัยด้านราคา ($\bar{X}$=4.19) ปัจจัยด้านช่องทางการจัดจำหน่าย ($\bar{X}$=3.87) และปัจจัยด้านการส่งเสริมการตลาด ($\bar{X}$=3.56) ตามลำดับ ซึ่งส่งผลต่อการตัดสินใจซื้อผลิตภัณฑ์น้ำยาเจือจางน้ำเชื้อเพื่อการขยายพันธุ์ไก่กีฬาและไก่สวยงาม เมื่อพิจารณาในรายด้าน พบว่าปัจจัยด้านผลิตภัณฑ์ ให้ความสำคัญมากที่สุดในประเด็นความสะดวกในการใช้งาน ส่วนปัจจัยด้านราคา ผู้บริโภคให้ความสำคัญในประเด็นราคาที่สมเหตุสมผล ไม่สูงจนเกินไป ส่วนปัจจัยด้านช่องทางการจัดจำหน่าย ให้ความสำคัญเรื่องสถานที่จัดจำหน่ายที่สะดวก สามารถหาซื้อได้ง่าย สำหรับปัจจัยด้านการส่งเสริมการตลาด ผู้บริโภคให้ความสำคัญมากในประเด็นของการบริการที่ดี ทั้งนี้พบว่า ปัจจัยด้านผลิตภัณฑ์ ส่งผลต่อการตัดสินใจซื้อของผู้บริโภคมากที่สุด ดังนั้นกลุ่มผู้ประกอบการ ผู้พัฒนาผลิตภัณฑ์สินค้าบริการกลุ่มนี้ จึงควรให้ความสำคัญกับการพัฒนาผลิตภัณฑ์น้ำยาเจือจางน้ำเชื้อที่มีคุณภาพ มีความสะดวกต่อการใช้งาน โดยควรนำมาเป็นส่วนสำคัญในการกำหนดกลยุทธ์เพื่อการพัฒนา

ข้อเสนอแนะ

จากกระบวนการวิจัยโดยการใช้แบบสอบถามและการประชุมกลุ่มย่อย สามารถสรุปข้อเสนอแนะเพื่อเป็นแนวทางในการพัฒนาผลิตภัณฑ์น้ำยาเจือจางน้ำเชื้อเพื่อการขยายพันธุ์ไก่กีฬาและไก่สวยงาม ดังนี้

1. จากผลการศึกษาปัจจัยด้านผลิตภัณฑ์ (product) พบว่า ปัจจัยด้านผลิตภัณฑ์ ส่งผลต่อการตัดสินใจซื้อในระดับมากที่สุด ดังนั้นผู้ประกอบการที่เกี่ยวข้องควรให้ความสำคัญกับประเด็น ดังนี้ ผลิตภัณฑ์ควรมีความสะดวกในการใช้งาน มีความทนทาน รวมทั้งการออกแบบบรรจุภัณฑ์และตราสินค้าให้เป็นที่จดจำ ซึ่งจะเป็นแนวทางในการเจาะตลาดกลุ่มลูกค้าเป้าหมาย

แต่ผลิตภัณฑ์ในกลุ่มน้ำยาเจือจางน้ำเชื้อสัตว์ปีกที่ใช้ในประเทศไทยส่วนใหญ่ต้องนำเข้าจากต่างประเทศ ส่งผลให้ระดับราคาสูง ผู้เพาะขยายพันธุ์จึงนิยมใช้น้ำเกลือความเข้มข้น 0.9 เปอร์เซ็นต์ (NaCl 0.09%) ทดแทนน้ำยาเจือจางน้ำเชื้อ เพียงเพื่อให้เกิดความสะดวกต่อการใช้งานเท่านั้น แต่ไม่ส่งผลต่ออัตราการผสมติด และอายุการเก็บรักษาน้ำเชื้อ รวมทั้งลักษณะขวดบรรจุภัณฑ์ขนาดใหญ่อาจส่งผลต่อการใช้งาน และมีปริมาณต่อขวดที่สูง การนำมาใช้ในกระบวนการผสมเทียมเพื่อเพาะขยายพันธุ์แต่ละครั้งอาจไม่สะดวกเท่าที่ควร ดังนั้นจึงเป็นโอกาสในการพัฒนาคิดค้นน้ำยาเจือจางน้ำเชื้อที่มีขนาดและปริมาณที่เหมาะสมกับสายพันธุ์สัตว์ปีกในประเทศไทย โดยเฉพาะไก่กีฬาและไก่สวยงามมีมูลค่าสูง

2. จากผลการศึกษาปัจจัยด้านราคา (price) พบว่า ปัจจัยด้านราคา ส่งผลต่อการตัดสินใจซื้อในระดับมาก ดังนั้นผู้ประกอบการควรให้ความสำคัญกับประเด็นดังนี้ ควรตั้งราคาให้มีความเหมาะสมกับคุณภาพและปริมาณ ไม่แตกต่างจากผลิตภัณฑ์ในลักษณะใกล้เคียงมากจนเกินไป โดยในปัจจุบันมีการพัฒนาน้ำยาเจือจางน้ำเชื้อไก่เชิงพาณิชย์เพื่อจำหน่าย แต่บริษัทผู้ผลิตส่วนใหญ่อยู่ในต่างประเทศ การนำเข้ามาใช้ในประเทศไทยส่งผลให้น้ำยาเจือจางน้ำเชื้อมีราคาแพง และบางครั้งจัดจำหน่ายในลักษณะขายส่งหรือต้องซื้อกล่องใหญ่ โดย 1 กล่อง มีขนาดบรรจุตั้งแต่ 100 ขวดขึ้นไป ซึ่งอาจส่งผลกระทบต่อผู้ใช้ที่มีกำลังซื้อต่อรอบไม่สูงมากนัก ทั้งนี้จากการศึกษาพบว่า ปริมาณที่เหมาะสมและเป็นที่ต้องการคือ ขวดละไม่เกิน 5 มิลลิลิตร โดยผู้ใช้มีความเต็มใจจ่ายในระดับราคาไม่เกินมิลลิลิตรละ 10 บาท และควรมีป้ายแสดงราคาที่ชัดเจน

3. จากผลการศึกษาปัจจัยด้านช่องทางการจัดจำหน่าย (place) พบว่าปัจจัยด้านช่องทางการจัดจำหน่ายส่งผลต่อการตัดสินใจซื้อในระดับมาก ดังนั้นผู้ประกอบการควรให้ความสำคัญกับประเด็น ดังนี้ ผลิตภัณฑ์ควรหาซื้อได้ง่าย มีตัวแทนจัดจำหน่าย/ร้านจำหน่ายอุปกรณ์ในการเลี้ยงสัตว์ หรือมีทีมพนักงานขายในการเข้าไปพบโดยตรงกับผู้มีอำนาจในการตัดสินใจซื้อ และเน้นเรื่องการขนส่งที่รวดเร็ว รวมถึงการเก็บรักษาสินค้าก่อนส่งมอบให้กับลูกค้า และอาจเพิ่มช่องทางการจำหน่ายทางสื่อออนไลน์ สำหรับกลุ่มลูกค้าในพื้นที่อื่น ๆ

4. จากผลการศึกษาปัจจัยด้านการส่งเสริมการตลาด (promotion) พบว่าปัจจัยด้านการส่งเสริมการตลาดส่งผลต่อการตัดสินใจซื้อในระดับมาก ดังนั้นผู้ประกอบการควรให้ความสำคัญกับประเด็น ดังนี้ ผู้ประกอบการควรมีการบริการที่ดี มีส่วนลด หรือราคาพิเศษในเทศกาลต่าง ๆ หรือของแถม เช่น อุปกรณ์เสริมประเภทไซริงค์ ที่ต้องใช้งานร่วมกับน้ำยาเจือจางน้ำเชื้อเพื่อการขยายพันธุ์ไก่ รวมทั้งมีการประชาสัมพันธ์ผ่านระบบออนไลน์ การนำเสนอคลิปวิดีโอกิจกรรมที่น่าสนใจ การบ่งบอกถึงวิธีการใช้งาน ที่สามารถเข้าถึงกลุ่มลูกค้าในวงกว้าง เช่น Facebook, TikTok โดยเน้นการทำการตลาดเชิงรุกกับกลุ่มเป้าหมายที่เคยใช้สินค้า และกลุ่มลูกค้าใหม่ให้รับรู้และรับทราบถึงข้อมูลด้านประสิทธิภาพของตัวผลิตภัณฑ์ คุณสมบัติที่แตกต่างทั้งด้านการผลิต รวมทั้งเพิ่มการบริการทางวิชาการให้กับกลุ่มเกษตรกรและผู้เกี่ยวข้องในการผลิตและจำหน่ายไก่กีฬาและไก่สวยงาม

กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้วิจัยขอขอบคุณผู้มีส่วนเกี่ยวข้องในกระบวนการผลิตและการจัดจำหน่ายไก่กีฬาและไก่สวยงาม กลุ่มผู้ประกอบการสนามไก่กีฬา และผู้จัดการประกวดไก่สวยงามทุกท่าน ที่ให้ความอนุเคราะห์ในการจัดประชุมกลุ่มและตอบแบบสอบถาม รวมทั้งขอขอบคุณงบประมาณสนับสนุนทุนวิจัยจากมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย งบประมาณกองทุนส่งเสริมวิทยาศาสตร์ วิจัยและนวัตกรรม ประจำปี พ.ศ. 2567 ภายใต้โครงการวิจัยการพัฒนาสูตรน้ำยาเจือจางน้ำเชื้อเพื่อการขยายพันธุ์ไก่กีฬาและไก่สวยงาม และขอขอบคุณคณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย ที่ให้การสนับสนุนการดำเนินโครงการวิจัยครั้งนี้เป็นอย่างดี

เอกสารอ้างอิง

Buatongjan, P. 2015. The value added of native chicken. **Khon Kaen Agricultural Journal** 43(SUPPL. 2): 227–230. [in Thai]

Chauychu-noo, N., P. Maliwan, J. Chankong and P. Kakulpim. 2023. **Guidebook to breeding and hatching technology for native chickens.** [Online]. Available https://www.nstda.or.th/agritec/wp-content/uploads/2023/08/.pdf (May 1, 2024). [in Thai]

Cochran, W.G. 1977. **Sampling Techniques** 3rded. New York: John Wiley & Sons. 448 p.

Khongsen, M., W. Wanichapichart, S. Khunchamnan and A. Niyomdecha. 2013. The methodes of semen collection and artificial insemination in Thai native chicken. **Princess of Naradhiwas University Journal** 5(4): 132–143. [in Thai]

Lake, P.E. and J.M. Stewart. 1978. **Artificial Insemination in Poultry.** Bulletin 213. London: Ministry of Agriculture, Fisheries and Food. 33 p.

Majarune, S., R. Phungchai, T. Raungprim, W. Maitreejet, S. Poonko, D. Soisongnoen, W. Saeton and U. Kasemsawas. 2013. A Comparison of the Chicken Duck and Quail Egg Yolk in the Egg Yolk-Tris Extender for the Cryopreservation of Kamphaeng Saen Bull Semen. pp. 3134–3140. *In* **The 10th KU-KPS Conference.** Nakhon Pathom: Kasetsart University Kamphaeng Saen Campus. [in Thai]

Malingam, N. 2015. **The Marketing Mix in the Customer's Perspective to Influence the Purchase of Pharmaceutical Products and the Concept of Animals (Livestock) under Safety Standards 0the "Q" of Swine Farmer in Ratchaburi**. Master Thesis. Silpakorn University. 150 p. [in Thai]

Perry, E.J. 1968. **The Artificial Insemination of Farm Animal**. New Jersey: Quinn & Boden Company, Inc. 473 p.

Pongvichai, S. 2015. **Computer-based Statistical Data Analysis: Focus on Research**. 25th. Bangkok: Chulalongkorn University Printing House. 479 p. [in Thai]

Pookjit, T. 2022. **Factors Affecting Consumer's Decision to Purchase Pet Food Supplement in the Bangkok Metropolitan Area**. Master Thesis. Srinakharinwirot University. 113 p. [in Thai]

Somprasong, W., J. Ponggun and S. Leethongdee. 2023. Comparison of semen diluted basis (tris-egg yolk) with diluted commercial semen (Andromed®) in frozen goat semen on sperm quality by CASA. **King Mongkut's Agricultural Journal** 41(2): 140–145. [in Thai]

Srimarak, S. 1989. **Reproductive Physiclogy of Poultry**. Khon Kaen: Khon Kaen University. 165 p. [in Thai]

Srisopa, V. 2010. **Business Strategy and Marketing Strategy Related to the Sequence of Decision Factors Selection of Veterinary Medicines: Case Study of Health Care Co., Ltd. Veterinary Medicine Business.** Master Thesis. University of the Thai Chamber of Commerce. 105 p. [in Thai]

Sunathai, S., T. Cheunchomjit, K. Phothikanit and T. Vongpralub. 2004. Frozen semen production of Thai indigenous cocks. **KKU Veterinary Journal** 14(1): 26–33.

Suwanpugee, A., T. Srithai-Rak and S. Phanthangkul. 2019. A study on feather colors and income of fighting cock in Khuan Khanun district and Pa Phayun district, Phatthalung province. **KHON KAEN AGRICULTURAL JOURNAL** 47(SUPPL.2): 1053–1058. [in Thai]

Thananurak, P., N. Chuaychu-noo and T. Vongpralub. 2017. Freezability and fertility of Thai native chicken semen indifferent diluents. **The Thai Journal of Veterinary Medicine** 47: 551–556.

Thanathakornkul, N. 2014. **Marketing Mix Factor of Customer's Affecting to Drug Store in Muang District, Kanchanaburi Province.** Master Thesis. Silpakorn University. 84 p. [in Thai]

วารสารวิจัยและส่งเสริมวิชาการเกษตร 42(3): 246-257

ปริมาณและองค์ประกอบทางเคมีของขยะอาหารจากโรงแรมในพื้นที่เทศบาลเมืองชะอำ จังหวัดเพชรบุรี และเทศบาลเมืองหัวหิน จังหวัดประจวบคีรีขันธ์

Quantity and Chemical Composition of Food Waste from Hotels in Cha-am Municipality Phetchaburi Province and Hua Hin Municipality, Prachuap Khiri Khan Province

อุไรวรรณ ไอยสุวรรณ์[1,*] ธนวดี พรหมจันทร์[1] และจีระศักดิ์ ชอบแต่ง[2]

Auraiwan Isuwan[1,*] Thanawadee Promchan[1] and Jeerasak Chobtang[2]

[1]สาขาวิชาเทคโนโลยีการผลิตพืช คณะสัตวศาสตร์และเทคโนโลยีการเกษตร มหาวิทยาลัยศิลปากร วิทยาเขตสารสนเทศเพชรบุรี เพชรบุรี 76120

[2]สำนักพัฒนาอาหารสัตว์ กรมปศุสัตว์ กระทรวงเกษตรและสหกรณ์ ปทุมธานี 12000

[1]Program in Plant Production Technology, Faculty of Animal Sciences and Agricultural Technology, Silpakorn University Phetchaburi IT Campus, Phetchaburi, Thailand 76120

[2]Bureau of Animal Nutrition Development, Department of Livestock Development, Ministry of Agriculture and Cooperatives Pathum Thani, Thailand 12000

*Corresponding author: isuwan_a@silpakorn.edu

Received: *February 16, 2025*
Revised: *July 24, 2025*
Accepted: *August 27, 2025*

Abstract

Although the hotel business usually supports the economic development of the tourism sector, it also generates food waste, which negatively impacts environmental quality. The present study was conducted to assess the quantity and specific characteristics of food waste from hotels in Cha-Am Municipality and Hua Hin Municipality. Data were obtained from 26 participating hotels. Results showed that the assessed quantities of food waste in Cha-Am and Hua Hin were 594.06 and 634.83 tons annually. Most of the food waste was generated from the post-kitchen activities which included food leftovers (45.26% of total food waste in Cha-Am and 42.34% of total food waste in Hua Hin). Most of the food waste from the pre-kitchen activities was vegetable and fruit waste (29.70% in Cha-Am and 41.07% in Hua Hin) and meat, milk and egg waste (9.50% in Cha-Am and 6.62% in Hua Hin). The chemical composition of the food leftovers was suitable as feed for rearing black soldier fly larvae, whereas the vegetable and fruit waste could be used as a source of organic fertilizers. Fish waste, shrimp shell, egg shell and bakery waste had the potentials to be used as an animal feedstuff. However, the risk of heavy metal contamination in fish waste and shrimp shell could limit their usability. Waste sorting according to its properties and use limits could be one of the most effective strategies to reduce quantities of waste sent to landfills and to support sustainability of the tourism sector of Thailand.

Keywords: food waste, hotel, chemical composition, tourism

บทคัดย่อ

ถึงแม้ว่าธุรกิจโรงแรมจะมีส่วนช่วยสนับสนุนเศรษฐกิจของภาคการท่องเที่ยว แต่ก็มีส่วนในการสร้างขยะอาหาร ซึ่งส่งผลกระทบต่อคุณภาพของสิ่งแวดล้อม งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อประเมินปริมาณและลักษณะจำเพาะของขยะอาหารจากโรงแรมในพื้นที่เทศบาลเมืองชะอำ และเทศบาลเมืองหัวหิน เก็บข้อมูลจากตัวอย่างโรงแรมจำนวน 26 แห่ง พบว่าปริมาณขยะอาหารจากธุรกิจโรงแรมตลอดช่วงการเก็บข้อมูลในเทศบาลเมืองชะอำเท่ากับ 594.06 ตัน และในเทศบาลเมืองหัวหินเท่ากับ 634.83 ตัน จากการจำแนกขยะอาหารพบมีขยะอาหารประเภทเศษอาหารเหลือจากการบริโภคมากที่สุดถึงร้อยละ 45.26 ของขยะอาหารทั้งหมดในเขตเทศบาลเมืองชะอำ และร้อยละ 42.34 ของขยะอาหารทั้งหมดในเขตเทศบาลเมืองหัวหิน โดยขยะอาหารในกลุ่มนี้ส่วนใหญ่เกิดจากขั้นตอนหลังทำครัว ส่วนขยะอาหารในขั้นตอนก่อนการทำครัว ซึ่งส่วนใหญ่เป็นขยะอาหารประเภทเศษผักและผลไม้ คิดเป็นร้อยละ 29.70 ในเขตเทศบาลเมืองชะอำ และร้อยละ 41.07 ในเขตเทศบาลเมืองหัวหิน รองลงมาเป็นขยะอาหารประเภทเศษเนื้อ นม และไข่ ร้อยละ 9.50 ในเขตเทศบาลเมืองชะอำ และร้อยละ 6.62 ในเขตเทศบาลเมืองหัวหิน ซึ่งขยะอาหารประเภทเศษอาหารเหลือจากการบริโภคมีองค์ประกอบทางเคมีที่เหมาะสำหรับการนำไปเป็นอาหารเลี้ยงหนอนแมลงวันลาย เศษผักและผลไม้เหมาะสำหรับใช้ในการผลิตปุ๋ยหมัก ส่วนเศษปลา เปลือกกุ้ง เปลือกไข่และเศษขนมอบ เหมาะสำหรับนำไปเป็นวัตถุดิบอาหารสัตว์ อย่างไรก็ตาม ข้อจำกัดที่สำคัญในการใช้ประโยชน์เศษปลาและเปลือกกุ้งเป็นอาหารสัตว์ คือ ระดับการปนเปื้อนของโลหะหนัก การคัดแยกขยะอาหารให้สอดคล้องกับคุณสมบัติและข้อจำกัดเพื่อการนำไปใช้ประโยชน์ได้อย่างเหมาะสม เป็นการลดปริมาณขยะที่จะไปสู่หลุมฝังกลบ และช่วยส่งเสริมความยั่งยืนของภาคการท่องเที่ยวของประเทศไทย

คำสำคัญ: ขยะอาหาร โรงแรม องค์ประกอบทางเคมี การท่องเที่ยว

คำนำ

ในแต่ละปีมีขยะอาหารทั่วโลกมากถึง 1.3 พันล้านตันหรือประมาณ 1 ใน 3 ของอาหารที่ผลิตได้ (Gustavsson *et al*., 2011) สำหรับประเทศไทยปัญหาขยะอาหารนับเป็นปัญหาสำคัญ โดยเฉพาะในเขตเมืองและเขตที่มีการท่องเที่ยวที่เข้มข้น ปัญหาขยะอาหารนั้นไม่เพียงเป็นการสูญเสียทรัพยากรในการผลิตอาหาร แต่ยังส่งผลเสียต่อสิ่งแวดล้อมเนื่องจากการจัดการขยะอาหารก่อให้เกิดมลภาวะจำนวนมาก เกิดการแพร่กระจายของเชื้อโรคลงสู่แหล่งน้ำและเกิดกลิ่นเหม็น รวมไปถึงเกิดก๊าซเรือนกระจก (greenhouse gas) ซึ่งเป็นสาเหตุสำคัญทำให้เกิดสภาวะโลกร้อน (global warming) หรือการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศของโลก (Melikoglu *et al*., 2013) ภาคการท่องเที่ยวของประเทศไทยมีบทบาทสำคัญอย่างมากต่อการพัฒนาเศรษฐกิจและสร้างรายได้ให้กับสังคมและประเทศ

จังหวัดเพชรบุรีและประจวบคีรีขันธ์เป็นพื้นที่การท่องเที่ยวที่สำคัญของประเทศไทย เนื่องจากมีแหล่งท่องเที่ยวครบครันทั้งแหล่งท่องเที่ยวทางธรรมชาติและวัฒนธรรม กองเศรษฐกิจการท่องเที่ยวและกีฬา กระทรวงการท่องเที่ยวและกีฬา (Economics Tourism and Sports Division, Ministry of Tourism and Sports, 2023) รายงานว่า ในปี 2565 จังหวัดเพชรบุรีและประจวบคีรีขันธ์ มีรายได้จากการท่องเที่ยวถึง 24,541.55 และ 33,871.62 ล้านบาท ตามลำดับ ในการนี้ธุรกิจโรงแรมถือเป็นภาคส่วนสำคัญที่สนับสนุนภาคการท่องเที่ยว ในขณะเดียวกันธุรกิจโรมแรมก็เป็นภาคส่วนที่ก่อให้เกิดปัญหาขยะอาหาร โดยเฉพาะโรงแรมที่ให้บริการห้องอาหารและการจัดเลี้ยง การจัดการขยะอาหารที่ไม่เหมาะสมนั้น นอกจากก่อให้เกิดผลกระทบทางด้าน

สิ่งแวดล้อมแล้ว ยังส่งผลต่อภาพลักษณ์ที่ดีของเมืองท่องเที่ยวอีกด้วย ข้อมูลปริมาณและองค์ประกอบทางเคมีของขยะอาหารเป็นข้อมูลพื้นฐานที่มีความสำคัญสำหรับใช้ในการกำหนดแนวทางการจัดการขยะอาหารได้อย่างมีประสิทธิภาพ โดยเฉพาะอย่างยิ่งการนำแนวคิดเศรษฐกิจหมุนเวียน (circular economy) มาปรับใช้เป็นทางเลือกใหม่ในการจัดการทรัพยากรที่เน้นการหมุนเวียนวัสดุกลับมาใช้ซ้ำหรือสร้างมูลค่าเพิ่มอย่างต่อเนื่อง การนำขยะอาหารมาใช้ประโยชน์ เช่น การแปรรูปเป็นปุ๋ยอินทรีย์หรือพลังงานชีวภาพ ถือเป็นแนวทางหนึ่งที่ช่วยลดปริมาณของเสีย ลดการฝังกลบ และส่งเสริมการใช้ทรัพยากรอย่างมีประสิทธิภาพ (FAO, 2013)

การวิจัยมีวัตถุประสงค์เพื่อประเมินปริมาณและลักษณะจำเพาะของขยะอาหารสำหรับใช้เป็นข้อมูลในการวางแผนการใช้ประโยชน์ขยะอาหารจากธุรกิจโรงแรมในพื้นที่เทศบาลเมืองชะอำ จังหวัดเพชรบุรี และเทศบาลเมืองหัวหิน จังหวัดประจวบคีรีขันธ์

วิธีดำเนินการวิจัย

ประชากรและกลุ่มตัวอย่าง

ประชากร หมายถึง จำนวนโรงแรมและที่พักทั้งหมดที่ขึ้นทะเบียนกับเทศบาลเมืองชะอำ จำนวน 90 แห่ง และเทศบาลเมืองหัวหิน จำนวน 141 แห่ง โรงแรมและที่พักของทั้ง 2 พื้นที่ถูกจัดแบ่งโดยใช้เกณฑ์ของเทศบาลออกเป็น 3 กลุ่มตามขนาดของกิจการ (เล็ก กลาง และใหญ่) จากนั้น สุ่มตัวอย่างตามสัดส่วนจำนวนไม่น้อยกว่าร้อยละ 10 ของประชากรในแต่ละขนาด เพื่อเป็นตัวแทนของโรงแรมและที่พัก ได้กลุ่มตัวอย่างที่ใช้ในการศึกษา ดังนี้ โรงแรมและที่พักในเขตเทศบาลเมืองชะอำ ขนาดใหญ่จำนวน 2 แห่ง ขนาดกลางจำนวน 2 แห่ง และขนาดเล็กจำนวน 6 แห่ง โรงแรมและที่พักในเขตเทศบาลเมืองหัวหิน ขนาดใหญ่จำนวน 2 แห่ง ขนาดกลางจำนวน 2 แห่ง และขนาดเล็กจำนวน 12 แห่ง

ช่วงระยะเวลาเก็บข้อมูล

เก็บข้อมูลขยะอาหารจากกลุ่มตัวอย่างโรงแรมและที่พัก ตั้งแต่เดือนสิงหาคม พ.ศ. 2564 ถึง เดือนกรกฎาคม พ.ศ. 2565 โดยมีรายละเอียดช่วงเวลาในการเก็บข้อมูลตามวิธีการใน Isuwan *et al.* (2024)

การจำแนกขยะอาหารและการสุ่มตัวอย่าง

ขยะอาหารทั้งหมดจะถูกคัดแยกตามประเภทออกเป็น 5 ประเภท ได้แก่ 1) เศษเนื้อ นม และไข่ 2) เศษผักและผลไม้ 3) เศษขนมอบ ขนมปัง และขนมหวาน 4) เศษอาหารทะเล และ 5) เศษอาหารเหลือจากการบริโภค ทำการบันทึกข้อมูลน้ำหนักขยะอาหารแต่ละประเภท จากนั้นจำแนกขยะอาหารทั้ง 5 ประเภทอีกครั้งโดยใช้คุณสมบัติเป็นเกณฑ์ ตามคำแนะนำของ Teigiserova *et al.* (2020) จำนวน 5 กลุ่มย่อย ได้แก่ 1) ขยะอาหารที่มนุษย์สามารถบริโภคได้ 2) ขยะอาหารที่เหมาะสำหรับทำเป็นอาหารสัตว์ 3) ขยะอาหารที่เหมาะสำหรับใช้เลี้ยงหนอนแมลงวันลาย 4) ขยะอาหารที่เหมาะสำหรับทำก๊าซชีวภาพ และ 5) ขยะอาหารที่เหมาะสำหรับใช้ทำปุ๋ยหมัก ชั่งน้ำหนักและสุ่มเก็บตัวอย่างขยะอาหารแต่ละประเภทที่จำแนกตามคุณสมบัติเพื่อนำไปวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมี

การเตรียมตัวอย่างและการวิเคราะห์ทางเคมี

นำขยะอาหารที่จำแนกตามคุณสมบัติมาสับย่อยให้มีขนาด 3–5 ซม. คลุกเคล้าให้เข้ากัน จากนั้นสุ่มตัวอย่างขยะอาหารปริมาณ 1–2 กก. แล้วนำไปสับย่อยอีกครั้งให้มีขนาด 0.5–1 ซม. นำไปอบโดยใช้ตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิ 65 องศาเซลเซียส นาน 72 ชั่วโมง หรือจนน้ำหนักคงที่ จากนั้นบดตัวอย่างผ่านตะแกรงที่มีรูขนาด 1 มม. พารามิเตอร์ที่วิเคราะห์ ได้แก่ วัตถุแห้ง (Dry Matter: DM) ตามวิธีที่ 930.15 (Association of Official Analytical Chemists, 2016) โปรตีนด้วยการหาเปอร์เซ็นต์ไนโตรเจนด้วยวิธี Kjeldahl แล้วใช้แฟคเตอร์

6.25 ตามวิธีที่ 5983-2 (International Organization for Standardization, 2009) ไขมัน (Ether Extract: EE) โดยใช้ปิโตรเลียมอีเธอร์ตามวิธีที่ 2003.05 เถ้า (ash) โดยเผาตัวอย่างที่อุณหภูมิ 600 องศาเซลเซียส นาน 2 ชั่วโมง ตามวิธีที่ 942.05 (Association of Official Analytical Chemists, 2016) ผนังเซลล์ (Neutral Detergent Fiber: NDF) โดยใช้ sodium sulphite และ alpha amylase ตามวิธีที่ 5.1 ของ Undersander *et al*. (1993) ลิกโนเซลลูโลส (Acid Detergent Fiber: ADF) ด้วยวิธี 973.18 และลิกนิน (Acid Detergent Lignin: ADL) ตามวิธีที่ 973.18 (Association of Official Analytical Chemists, 2016) วิเคราะห์โลหะหนัก ได้แก่ แคดเมียม ตะกั่ว และปรอท โดยใช้วิธี EPA method 1631 (U.S. Environmental Protection Agency, 2002) วิเคราะห์ธาตุอาหารพืช ได้แก่ ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ (Available Phosphorus: Avail. P) โดยใช้น้ำยาสกัด Bray II (Bray and Kurtz, 1945) วัดปริมาณด้วยเครื่อง UV-Spectrophotometer โพแทสเซียม (Exchangeable Potassium: Exch. K) แคลเซียม (Exchangeable Calcium: Exch. Ca) และแมกนีเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ (Exchangeable Magnesium: Exch. Mg) โดยการสกัดด้วยสารละลาย ammonium acetate เข้มข้น 1 N pH 7 ใช้อัตราส่วนดินต่อน้ำยาสกัด 1:10 นำสารละลายที่ได้วัดปริมาณด้วยเครื่อง Flame Photometer (Peech *et al*., 1947)

การประเมินปริมาณขยะอาหารต่อนักท่องเที่ยว

เก็บข้อมูลจำนวนแขกที่เข้าพักในช่วงเวลาเดียวกับการเก็บข้อมูลปริมาณขยะอาหาร โดยปริมาณขยะอาหารจากโรงแรมและที่พักได้จากการรวบรวมขยะอาหารจากทุกกิจกรรมที่เกิดขึ้นภายในโรงแรมและที่พัก จากนั้นนำข้อมูลจำนวนแขกเข้าพักและขยะอาหารที่เก็บได้มาประเมินปริมาณขยะอาหารต่อนักท่องเที่ยวหนึ่งคน โดยนำปริมาณขยะอาหารทั้งหมดหารด้วยจำนวนโรงแรม แล้วนำค่าที่ได้หารด้วยจำนวนแขกที่เข้าพักจริง ซึ่งจะได้ปริมาณขยะอาหารต่อคนต่อการเข้าพักของนักท่องเที่ยวหนึ่งคืน

การคำนวณปริมาณขยะอาหารจากโรงแรมและที่พัก

1) คำนวณอัตราการเกิดขยะอาหารเฉลี่ยวันธรรมดา 1 วัน หรือเฉลี่ยวันหยุดสุดสัปดาห์ 1 วัน แยกตามขนาดของโรงแรม โดยใช้สูตร

อัตราการเกิดขยะอาหารเฉลี่ย (กก./แห่ง/วัน)

$$= \frac{\text{น้ำหนักขยะอาหารทั้งหมดจากโรงแรม (กก./วัน)}}{\text{จำนวนโรงแรม (แห่ง)}}$$

2) ประเมินปริมาณขยะอาหารรายเดือนจากโรงแรมทั้งหมดแยกตามขนาด มีรายละเอียดตามรายงานใน Isuwan *et al*. (2024; 2025)

3) ประเมินปริมาณขยะอาหารทั้งหมดจากกิจการโรงแรมในเขตพื้นที่เทศบาลเมืองชะอำและเทศบาลเมืองหัวหิน โดยใช้ผลรวมปริมาณขยะอาหารรายเดือนทั้ง 12 เดือน

ผลการวิจัย

ปริมาณขยะอาหาร

ปริมาณขยะอาหารจำแนกตามประเภท ในช่วงระยะเวลาที่ทำการศึกษาในพื้นที่เทศบาลเมืองชะอำและเทศบาลเมืองหัวหินมีปริมาณขยะอาหารจำนวน 594.06 ตัน และ 634.83 ตัน ตามลำดับ ขยะอาหารส่วนใหญ่เป็นเศษอาหารเหลือจากการบริโภค (Figure 1) มีถึงร้อยละ 45.26 ในเขตเทศบาลเมืองชะอำ และร้อยละ 42.34 ในเขตเทศบาลเมืองหัวหิน ถัดมาเป็นขยะอาหารประเภทเศษผักและผลไม้ที่เกิดจากการตัดแต่งก่อนการปรุงอาหาร (in-kitchen) พบในเขตเทศบาลเมืองชะอำร้อยละ 29.70 และร้อยละ 41.07 ในเขตเทศบาลเมืองหัวหิน อันดับที่ 3 เป็นขยะอาหารประเภทเศษเนื้อ นม และไข่ โดยส่วนใหญ่เป็นเปลือกไข่ พบในเขตเทศบาลเมืองชะอำร้อยละ 9.50 และร้อยละ 6.62 ในเขตเทศบาลเมืองหัวหิน อันดับที่ 4 เป็นขยะอาหารประเภทเศษขนมอบขนมปังและขนมหวาน โดยขยะอาหารประเภทนี้ส่วนใหญ่เป็นขอบขนมปังแผ่นและขนมปังแผ่นที่หมดอายุ มีปริมาณร้อยละ 7.59 ในเขตเทศบาลเมืองชะอำ และ

ร้อยละ 5.04 ในเขตเทศบาลเมืองหัวหิน และอันดับที่ 5 เป็นขยะอาหารประเภทเศษอาหารทะเลที่เหลือจากการเตรียมวัตถุดิบก่อนการปรุงอาหาร ประกอบด้วยเปลือกกุ้ง เปลือกหอย หัวและก้างปลา ในเขตเทศบาลเมืองชะอำพบร้อยละ 7.95 และในเขตเทศบาลเมืองหัวหินพบร้อยละ 4.93

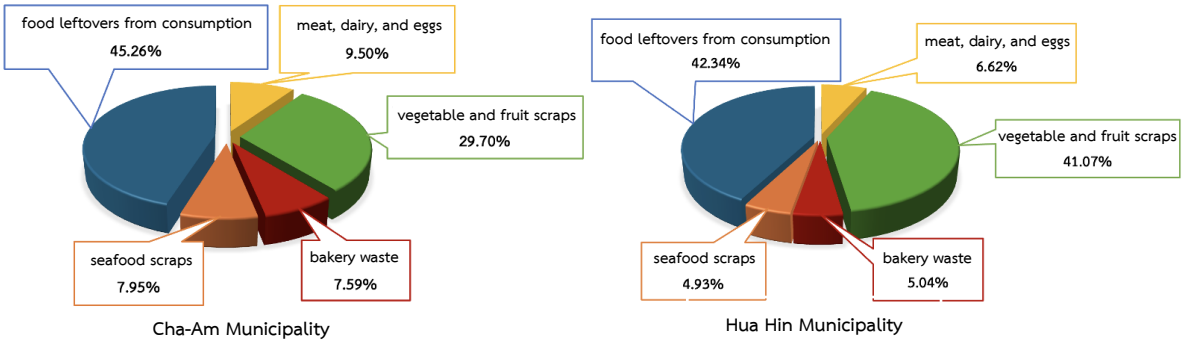


Figure 1 Type of food waste quantity classified by type

ปริมาณขยะอาหารจำแนกตามคุณสมบัติ จากขยะอาหารทั้งหมดไม่มีขยะอาหารส่วนที่มนุษย์สามารถบริโภคได้ ขยะอาหารส่วนใหญ่มีคุณสมบัติที่เหมาะสำหรับใช้เลี้ยงหนอนแมลงวันลาย ร้อยละ 45.26 ในเขตเทศบาลเมืองชะอำ และร้อยละ 42.34 ในเขตเทศบาลเมืองหัวหิน ถัดมาเป็นขยะอาหารที่เหมาะสำหรับใช้ทำปุ๋ยหมัก ซึ่งขยะอาหารในกลุ่มย่อยนี้ประกอบด้วยเศษผักและผลไม้ ร้อยละ 29.70 ในเขตเทศบาลเมืองชะอำ และร้อยละ 41.07 ในเขตเทศบาลเมืองหัวหิน ส่วนขยะอาหารที่เหมาะสำหรับเป็นอาหารสัตว์ส่วนใหญ่เป็นเศษเนื้อ นม และไข่ เศษอาหารทะเล รวมไปถึงเศษขนมอบ ขนมปังและขนมหวาน มีสัดส่วนร้อยละ 25.04 ในเขตเทศบาลเมืองชะอำ และร้อยละ 16.59 ในเขตเทศบาลเมืองหัวหิน (Figure 2)

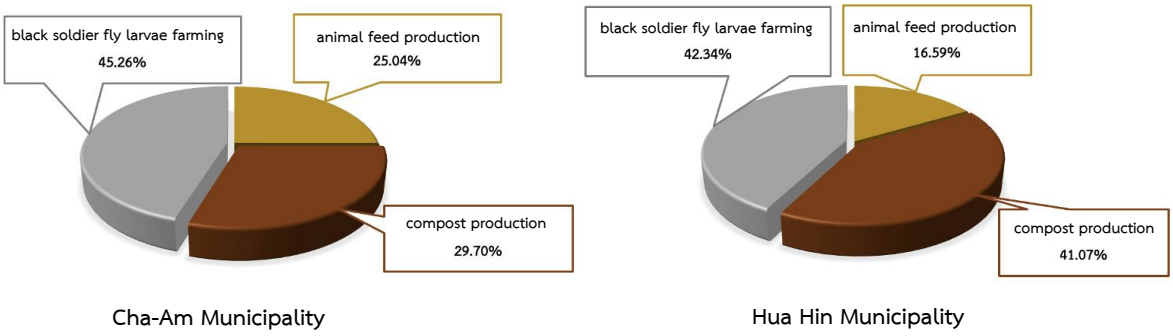


Figure 2 Food waste quantity from hotels and accommodations classified into subgroups by characteristics

ปริมาณขยะอาหารต่อจำนวนนักท่องเที่ยว

อัตราขยะอาหารต่อนักท่องเที่ยว 1 คน ทั้งในเขตเทศบาลเมืองชะอำและเทศบาลเมืองหัวหินมีค่าเฉลี่ยใกล้เคียงกัน (Table 1) โดยมีค่าเฉลี่ยจากโรงแรมทุกขนาดเท่ากับ 309.63 และ 311.76 กรัมต่อคนต่อการเข้าพัก 1 คืน ตามลำดับ อย่างไรก็ตาม เมื่อพิจารณาแยกตามขนาดโรงแรม พบว่าโรงแรมขนาดเล็กมีค่าเฉลี่ยปริมาณขยะอาหารสูงที่สุดเท่ากับ 549.65 กรัมต่อคนต่อการเข้าพัก 1 คืน ในเขตเทศบาลเมืองชะอำ และ 613.27 กรัมต่อคนต่อการเข้าพัก 1 คืน ในเขตเทศบาลเมืองหัวหิน ส่วนปริมาณขยะอาหารของโรงแรมขนาดกลางในเขตเทศบาลเมืองชะอำ มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 174.89 กรัมต่อคนต่อการเข้าพัก 1 คืน และในเขตเทศบาลเมืองหัวหิน 199.18 กรัมต่อคนต่อการเข้าพัก 1 คืน ส่วนขยะอาหารที่เกิดจากโรงแรมขนาดใหญ่มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 204.34 และ 122.82 กรัมต่อคนต่อการเข้าพัก 1 คืน ในเขตเทศบาลเมืองชะอำและเทศบาลเมืองหัวหิน ตามลำดับ

Table 1 Amount of food waste per tourist generated by hotels and accommodations of different sizes in Cha-Am municipality and Hua Hin municipality

Food waste (g/person/night)	Cha-Am municipality	Hua Hin municipality
Small-sized hotels	549.65	613.27
Medium-sized hotels	174.89	199.18
Big sized hotels	204.34	122.82

องค์ประกอบทางเคมีของขยะอาหาร

องค์ประกอบทางเคมีของขยะอาหารที่เหมาะสำหรับใช้เลี้ยงหนอนแมลงวันลาย ขยะอาหารในกลุ่มนี้เป็นขยะอาหารประเภทเศษอาหารเหลือจากการบริโภคด้วยความหลากหลายของวัตถุดิบที่ใช้ในการประกอบอาหารและการปนเปื้อนของเนื้อสัตว์หลากหลายชนิด ทำให้องค์ประกอบทางเคมีของขยะอาหารในกลุ่มนี้มีโปรตีนค่อนข้างสูง อยู่ในช่วงร้อยละ 23.30–26.89 (Table 2) อย่างไรก็ตาม การนำขยะอาหารในกลุ่มนี้ไปใช้เลี้ยงสัตว์มีข้อจำกัดและขัดกับข้อกฎหมายในพระราชบัญญัติการควบคุมคุณภาพอาหารสัตว์ ปี พ.ศ. 2558 นอกจากนี้ยังพบว่า ขยะอาหารกลุ่มนี้ยังมีค่าวัตถุแห้งค่อนข้างต่ำ มีค่าอยู่ในช่วงร้อยละ 30.21–32.26 ซึ่งอาจทำให้ขยะอาหารเน่าเสียได้ง่ายกว่ากลุ่มอื่น ๆ

องค์ประกอบทางเคมีของขยะอาหารที่เหมาะสำหรับใช้ทำปุ๋ยหมัก ขยะอาหารในกลุ่มนี้ส่วนใหญ่เป็นเศษผักและผลไม้ซึ่งมีความเสี่ยงต่อการเน่าเสียสูงมาก เนื่องจากมีค่าวัตถุแห้งที่ต่ำมาก มีค่าอยู่ในช่วงร้อยละ 8.95–9.45 (Table 3) แต่มีปริมาณธาตุอาหารหลักและธาตุอาหารรองที่เหมาะสมสำหรับเป็นปุ๋ยอินทรีย์

องค์ประกอบทางเคมีของขยะอาหารที่เหมาะสำหรับทำเป็นอาหารสัตว์ ขยะอาหารในกลุ่มนี้ประกอบด้วย เศษปลา ที่มีโปรตีนอยู่ในช่วงร้อยละ 41.59–45.31 และเปลือกกุ้งมีโปรตีนอยู่ในช่วงร้อยละ 41.70–51.70 นอกจากนี้ เปลือกไข่และเศษขนมปัง ซึ่งเป็นขยะอาหารที่มีค่าวัตถุแห้งในระดับสูง การมีค่าวัตถุแห้งสูงทำให้มีความเสี่ยงต่อการเน่าเสียน้อย

Table 2 Chemical compositions of food waste from hotels and accommodations in Cha-Am municipality and Hua Hin municipality (mean±standard deviation)

Waste	Percentage						
	DM	Protein	Ash	Fat	NDF	ADF	ADL
Cha-Am municipality							
Fish scraps	32.69±1.61	41.59±1.86	25.39±1.30	32.10±3.38	Not analyzed	Not analyzed	Not analyzed
Seashells	95.29±2.67	5.86±0.91	90.28±0.48	2.74±0.30	Not analyzed	Not analyzed	Not analyzed
Shrimp shells	26.16±3.67	41.70±2.26	26.66±5.06	13.42±3.91	Not analyzed	Not analyzed	Not analyzed
Eggshells	81.68±2.35	5.98±2.34	87.59±2.16	3.30±1.62	Not analyzed	Not analyzed	Not analyzed
Bread	65.93±3.23	16.00±1.44	1.66±0.63	15.66±0.60	Not analyzed	Not analyzed	Not analyzed
Food scraps	32.26±4.44	23.30±3.22	8.69±1.43	20.32±5.93	34.92±1.80	11.98±8.47	0.93±0.88
Vegetable and fruit scraps	8.95±1.20	12.33±1.07	9.18±2.29	12.68±2.91	33.12±6.62	17.66±3.86	0.44±0.16
Hua Hin municipality							
Fish scraps	35.67±3.03	45.31±2.25	15.97±6.26	20.95±10.31	Not analyzed	Not analyzed	Not analyzed
Seashells	94.23±2.67	3.58±0.76	90.19±5.59	4.55±0.98	Not analyzed	Not analyzed	Not analyzed
Shrimp shells	26.07±4.58	51.70±0.72	21.51±1.97	17.99±2.27	Not analyzed	Not analyzed	Not analyzed
Eggshells	84.42±1.92	6.02±1.33	90.16±1.77	3.74±1.25	Not analyzed	Not analyzed	Not analyzed
Bread	70.36±4.08	14.70±1.77	2.06±0.36	16.78±3.25	Not analyzed	Not analyzed	Not analyzed
Food scraps	30.21±1.59	26.89±1.24	10.06±1.39	27.33±4.42	41.88±8.64	23.79±8.58	4.06±1.57
Vegetable and fruit scraps	9.45±0.66	11.73±0.99	7.43±0.15	18.90±2.25	24.99±4.41	19.36±2.07	0.38±0.14

Table 3 Plant nutrients in food waste from hotels and accommodations in Cha-Am municipality and Hua Hin municipality (mean±standard deviation)

	Plant nutrients[1/] (%)					
	N	P	K	Ca	Mg	S
Cha-Am municipality						
Eggshells	Not analyzed	0.11±0.01	Not analyzed	40.37±7.03	Not analyzed	Not analyzed
Vegetable and fruit scraps	1.97±0.17	0.33±0.03	1.52±0.35	0.80±0.80	0.21±0.07	0.43±0.24
Hua Hin Municipality						
Eggshells	Not analyzed	0.44±0.04	Not analyzed	35.36±5.11	Not analyzed	Not analyzed
Vegetable and fruit scraps	1.88±0.16	0.30±0.01	2.11±0.25	0.34±0.10	0.14±0.04	0.18±0.03

[1/] N is Nitrogen, P is Phosphorus, K is Potassium, Ca is Calcium, Mg is Magnesium, and S is Sulfur.

วิจารณ์ผลการวิจัย

ขยะอาหารจากธุรกิจโรงแรมที่พักส่วนใหญ่เป็นเศษอาหารเหลือจากการบริโภคซึ่ง Tokarchuk *et al*. (2021) รายงานว่า ขยะอาหารที่เกิดขึ้นในโรงแรมและที่พักส่วนใหญ่เป็นเศษอาหารที่เหลือจากการบริโภคของลูกค้า (plate waste) โดยเฉพาะการบริการของโรงแรมในรูปแบบบุฟเฟต์ซึ่งมีแนวโน้มทำให้ลูกค้าตักอาหารเกินความต้องการ ในทำนองเดียวกัน Papargyropoulou *et al*. (2019) พบว่าโรงแรมมีขยะอาหารที่เหลือจากการบริโภคของลูกค้าในสัดส่วนสูงที่สุดคิดเป็นร้อยละ 34 ของขยะอาหารทั้งหมด อย่างไรก็ตาม ขนาดโรงแรมที่พักมีผลต่อปริมาณขยะอาหาร โรงแรมที่พักขนาดเล็กมีปริมาณขยะอาหารต่อคนต่อการเข้าพัก 1 คืน สูงกว่าขนาดกลางและขนาดใหญ่ สอดคล้องกับการศึกษาของ Koiwanit and Filimonau (2021) รายงานว่า อัตราขยะอาหารที่เกิดจากที่พักแบบโฮมสเตย์และโรงแรมราคาประหยัดหรือโรงแรมขนาดเล็ก มีปริมาณขยะอาหารและความแปรปรวนสูง ทั้งนี้ส่วนหนึ่งเกิดจากนักท่องเที่ยวที่เข้าพักโฮมสเตย์และโรงแรมขนาดเล็ก ส่วนใหญ่เป็นนักท่องเที่ยวในระดับครอบครัว และโรงแรมและที่พักในประเภทดังกล่าวส่วนใหญ่ไม่ได้ให้บริการอาหารกับแขกผู้เข้าพัก ทำให้ผู้เข้าพักต้องเป็นผู้ซื้ออาหารมารับประทานเอง เป็นสาเหตุหนึ่งทำให้ขยะอาหารที่เกิดขึ้นในโรงแรมและที่พักขนาดเล็กสูงกว่าขนาดอื่น ๆ

ขยะอาหารแต่ละประเภทมีปริมาณและสัดส่วนที่แตกต่างกัน ทำให้มีองค์ประกอบทางเคมีและลักษณะทางกายภาพแตกต่างกัน ดังนั้น การหมุนเวียนขยะอาหารมาใช้ใหม่ตามแนวคิดเศรษฐกิจหมุนเวียน (circular economy) จึงแตกต่างกัน การแปรรูปขยะอาหารเป็นปุ๋ยอินทรีย์หรือพลังงานชีวภาพ ถือเป็นแนวทางหนึ่งที่ช่วยลดปริมาณของเสียและลดการฝังกลบ (FAO, 2013) เช่น เศษอาหารเหลือจากการบริโภคสามารถใช้เลี้ยงหนอนแมลงวันลายซึ่งสามารถย่อยสลายสารอินทรีย์ได้อย่างรวดเร็ว (Diener *et al*., 2011) หนอนแมลงวันลายมีโปรตีนสูงถึงร้อยละ 42 และไขมันร้อยละ 35 (Sheppard *et al*., 2002) สามารถใช้เป็นส่วนผสมในอาหารสัตว์ได้ (Surendra *et al*., 2020) หรืออาจใช้เป็นแหล่งโปรตีนทดแทนในอาหารสัตว์ เช่น อาหารปลา อาหารไก่ (Cullere *et al*., 2016) และอาหารสุกร (Newton *et al*., 2005) เศษผักและผลไม้มีธาตุอาหารพืชเหมาะสำหรับเป็นปุ๋ยหมัก การนำเศษผักและผลไม้ไปทำเป็นปุ๋ยหมักเป็นทางเลือกหนึ่งที่มีความยุ่งยากน้อยกว่าการนำไปใช้ประโยชน์ในลักษณะอื่น ขยะอาหารในกลุ่มนี้มีความชื้นที่ค่อนข้างสูง อาจจำเป็นต้องปรับความชื้นให้เหมาะสมกับการทำปุ๋ยหมัก โดยการผสมกับวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรอื่น ๆ ที่แห้งสามารถช่วยดูดซับและปรับความชื้นให้เหมาะสมต่อการทำปุ๋ยหมัก เช่น ใบก้ามปูและชานอ้อย เป็นต้น

ขยะอาหารในกลุ่มที่เหมาะสำหรับเป็นอาหารสัตว์ส่วนใหญ่ประกอบด้วย เศษปลาและเปลือกกุ้ง ซึ่งมีโปรตีนสูงถึงร้อยละ 45.31 และร้อยละ 51.70 ตามลำดับ Karaket *et al*. (2022) รายงานว่า เศษปลาและเปลือกกุ้งสามารถใช้เป็นแหล่งโปรตีนในอาหารสัตว์ได้ดี สามารถใช้ทดแทนปลาป่นได้ เปลือกไข่มีแคลเซียมและฟอสฟอรัสสูงสามารถใช้เป็นแหล่งแร่ธาตุในสูตรอาหารสัตว์ได้ (Safamehr *et al.,* 2013) ส่วนเศษขนมปังมีโปรตีนอยู่ในระดับปานกลางแต่มีไขมันอยู่ในระดับสูง ทั้งนี้เนื่องจากขนมปังส่วนใหญ่ประกอบด้วยแป้ง น้ำตาล และไขมัน (Lertchunhakiat *et al*., 2016) Sirirotjanaput *et al*. (2025) พบว่าการใช้เศษขนมปังทดแทนข้าวโพดในสูตรอาหารไก่เนื้อ ช่วยลดต้นทุนค่าอาหารของไก่เนื้อโดยไม่ส่งผลเสียต่อสมรรถนะการผลิตของสัตว์ อย่างไรก็ตาม การนำขยะอาหารไปเป็นอาหารสัตว์มีข้อควรระวังโดยเฉพาะการปนเปื้อนโลหะหนัก Isuwan *et al*. (2024) พบว่าเปลือกกุ้งมีแคดเมียมสูงถึง 3.03 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ซึ่งเป็นระดับที่เกินเกณฑ์มาตรฐานที่กำหนดสำหรับใช้เป็นอาหารสัตว์ (ไม่เกิน 2 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม) และเศษปลามีปรอทสูงถึง 1.40 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ซึ่งเกินเกณฑ์มาตรฐานที่กำหนดสำหรับใช้เป็นอาหารสัตว์

(ไม่เกิน 0.33 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม) ดังนั้น หากจะมีการใช้ขยะอาหารเหล่านี้ไปเป็นอาหารสัตว์ต้องตรวจสอบให้มั่นใจก่อนว่าระดับการปนเปื้อนของโลหะหนักของขยะอาหารเหล่านี้ต้องไม่เกินเกณฑ์มาตรฐาน

การกำจัดขยะอาหารที่มีการปนเปื้อนของโลหะหนักมีความซับซ้อน และต้องอาศัยความระมัดระวังเป็นพิเศษ การจัดการที่ไม่เหมาะสมทำให้โลหะหนักแพร่กระจายเข้าสู่ระบบนิเวศและวนกลับเข้าสู่ห่วงโซ่อาหาร ซึ่งในที่สุดจะส่งผลกระทบต่อสุขภาพของมนุษย์ (Suwanaruang, 2020) การจัดการขยะปนเปื้อนโลหะหนักสามารถทำได้หลายวิธี แต่ทุกวิธีต้องอาศัยระบบการจัดการที่มีต้นทุนสูงมาก เช่น การใช้ถ่านชีวภาพหรือสารดูดซับอื่น ๆ เป็นตัวดูดซับโลหะหนัก หรือการใช้สารเคมีเพื่อเปลี่ยนโลหะหนักให้เป็นสารประกอบที่ไม่ละลายน้ำ เป็นต้น (Angon *et al*., 2024) สำหรับการปนเปื้อนของโลหะหนักของเปลือกกุ้งและเศษปลาส่วนหนึ่งเกิดจากการปนเปื้อนของโลหะหนักของระบบนิเวศแล้ววนกลับเข้าสู่ห่วงโซ่อาหาร ดังนั้น การควบคุมการปนเปื้อนโลหะที่ต้นทางเพื่อไม่ให้รั่วไหลเข้าสู่ระบบนิเวศนับเป็นวิธีการป้องกันที่มีประสิทธิภาพ เช่น การเปลี่ยนวิธีกำจัดขยะปนเปื้อนโลหะหนัก (เช่น ขยะอิเล็กทรอนิกส์) จากวิธีการนำไปฝังกลบ (landfilling) มาเป็นวิธีการคัดแยกขยะปนเปื้อนเหล่านั้นแล้วนำไปกำจัดด้วยวิธีการจำเพาะที่เหมาะสม นอกจากนี้ ในกรณีกุ้งและปลาที่ได้จากการเพาะเลี้ยง การเลือกใช้วัตถุดิบอาหารสัตว์ที่ไม่มีการปนเปื้อนโลหะหนักก็สามารถช่วยป้องกันการปนเปื้อนโลหะหนักในกุ้งและปลาได้

สรุปผลการวิจัย

ขยะอาหารจากธุรกิจโรงแรมในเทศบาลเมืองหัวหินมีปริมาณสูงกว่าเทศบาลเมืองชะอำ 40.77 ตัน โดยขยะอาหารส่วนใหญ่เป็นเศษอาหารเหลือจากการบริโภค ซึ่งเหมาะสำหรับการนำไปทำเป็นอาหารเพื่อเลี้ยงหนอนแมลงวันลาย เศษผักและผลไม้เหมาะสำหรับใช้ในการผลิตปุ๋ยหมัก ส่วนเศษปลา เปลือกกุ้ง เปลือกไข่ และเศษขนมอบ เหมาะสำหรับการแปรรูปเป็นวัตถุดิบอาหารสัตว์ ดังนั้น การคัดแยกขยะอาหารให้สอดคล้องกับคุณสมบัติและข้อจำกัดเพื่อการนำไปใช้ประโยชน์ได้อย่างเหมาะสม เป็นแนวทางที่ช่วยลดปริมาณขยะไปสู่หลุมฝังกลบ และช่วยส่งเสริมความยั่งยืนของภาคการท่องเที่ยวของประเทศต่อไป

กิตติกรรมประกาศ

ผลงานวิจัยนี้ได้รับทุนอุดหนุนการวิจัยจากสำนักงานการวิจัยแห่งชาติ ประจำปีงบประมาณ พ.ศ. 2564

เอกสารอ้างอิง

Angon, P.B., M.S. Islam, S. Kc, A. Das, N. Anjum, A. Poudel and S.A. Suchi. 2024. Sources, effects and present perspectives of heavy metals contamination: soil, plants and human food chain. **Heliyon** 10(7): e28357.

Association of Official Analytical Chemists. 2016. **Official Methods of Analysis (20th ed)**. Washington DC: Association of Official Analytical Chemists. 3000 p.

Bray, R.H. and L.T. Kurtz. 1945. Determination of total organic and available forms of phosphorus in soil**. Soil Science** 59(1): 39–45.

Cullere, M., G. Tasoniero, V. Giaccone, R. Miotti-Scapin, E. Claeys, S. De Smet and D.A. Zotte. 2016. Black soldier fly as dietary protein source for broiler quails: apparent digestibility, excreta microbial load, feed choice, performance, carcass and meat traits. **Animal**. 10: 1923–1930.

Diener, S., C. Zurbrügg, F.R. Gutiérrez, D.H. Nguyen A. Morel, T. Koottatep and K. Tockner. 2011. Black Soldier Fly Larvae for Organic Waste Treatment-prospects and Constraints. pp. 1-8. *In* **Proceedings of the WasteSafe 2011 – 2nd International Conference on Solid Waste Management in the Developing Countries 13-15 February 2011**. Khulna: Khulna University of Engineering & Technology (KUET).

Economics Tourism and Sports Division, Ministry of Tourism and Sports. 2023. **Domestic tourism statistics - classify by region and province 2023**. [Online]. Available https://www.mots.go.th/news/category/705 (May 14, 2024). [in Thai]

FAO. 2013. **FAOSTAT.** Rome: Food and Agriculture Organization of the United Nations. 307 p.

Gustavsson, J., C. Cederberg, U. Sonesson, R. van Otterdijk and A. Meybeck. 2011. **Global Food Losses and Food Waste: Extent, Causes and Prevention**. Rome: Food and Agriculture Organization of the United Nations. 29 p.

International Organization for Standardization. 2009. **ISO 5983-2: 2009; Animal Feeding Stuffs-Determination of Nitrogen Content and Calculation of Crude Protein Content-Part 2: Block Digestion and Steam Distillation Method.** Geneva: International Organization for Standardization (ISO). 15 p.

Isuwan, A., T. Promchan and J. Chobtang. 2024. Quantity, chemical composition and utilization potential of food waste from restaurants and food services: a case in Cha-Am town municipality area, Phetchaburi province, and Hua Hin town municipality area, Prachuap Khiri Khan province. **Journal of Environmental and Sustainable Management**. 20(1): 64–79. [in Thai]

Isuwan, A., T. Promchan, W. Sirirotjanaput, J. Sannork, J. Chobtang and N. Chaisalee. 2025. Quantity, cost and environmental impacts of food waste landfilling in Cha-Am municipality, Phetchaburi province and Hua Hin municipality, Prachuap Khiri Khan province. **Burapha Science Journal** 30(2): (In Press). [in Thai]

Karaket, T., M. Seel-audom and B. Yuangsoi. 2022. Partial replacement of fish meal with blood meal in diet on growth performance for nursing Red Tilapia (*Oreochromis* spp.). **Burapha Science Journal** 27(2): 801–814. [in Thai]

Koiwanit, J. and V. Filimonau. 2021. Carbon footprint assessment of home-stays in Thailand. **Resources, Conservation Recycling** 164: Article 105123.

Lertchunhakiat, K., P. Saenphoom, M. Nopparatmaitree and S. Chimthong. 2016. Effect of eggshell as a calcium source of breeder cock diet on semen quality. **Agriculture and Agricultural Science Procedia** 11: 137–142.

Melikoglu, M., C.S.K. Lin and C. Webb. 2013. Analysing global food waste problem: pinpointing the facts and estimating the energy content. **Central European Journal of Engineering** 3(2): 157–164.

Newton, L.A.R.R.Y., C.R.A.I.G. Sheppard, D.W. Watson, G.A.R.Y. Burtle and R.O.B.E.R.T. Dove. 2005. **Using the Black Soldier Fly, *Hermetia illucens*, as a Value-added Tool for the Management of Swine Manure.** Raleigh, NC: Animal and Poultry Waste Management Center, North Carolina State University. 17. P.

Papargyropoulou, E., J.K. Steinberger, N. Wright, R. Lozano, R. Padfield and Z. Ujang. 2019. Patterns and causes of food waste in the hospitality and food service sector: food waste prevention insights from Malaysia. **Sustainability** 11(21): 6016.

Peech, M., L.T. Alexander, L.A. Dean and J.F. Reed. 1947. **Method of Soil Analysis for Soil Fertility Investigation.** Washington: Government Printing Office, Department of Agriculture. 25 p.

Safamehr, A., M.I. Lanille, D.M. Anderson and J.L. MacIsaac. 2013. Evaluation of composition and *In vitro* solubility rate of by-products of the Atlantic shellfish industry as alternative calcium sources. **Journal of Applied Poultry Research** 22(3): 529–538.

Sheppard, D.C., J.K. Tomberlin, J.A. Joyce, B.C. Kiser and S.M. Sumner. 2002. Rearing methods for the black soldier fly (Diptera: Stratiomyidae). **Journal of Medical Entomology** 39(4): 695–698.

Sirirotjanaput, W., J. Chobtang, A. Isuwan, S. Chimtomg and J. Sittiya. 2025. Effects of adding dietary bakery waste to corn on broiler growth performance, carcass traits, and feed costs. **Veterinary World** 18(2): 440–445.

Surendra, K.C., J.K. Tomberlin, A. van Huis, J.A. Cammack, L.H.L. Heckmann and S.K. Khanal. 2020. Rethinking organic wastes bioconversion: evaluating the potential of the black soldier fly *(Hermetia illucens* (L.)) (Diptera: Stratiomyidae) (BSF). **Waste Management** 117: 58–80.

Suwanaruang, T. 2020. Heavy metal contaminated in environments and health effects. **Research and Development Health System Journal** 77(13): 76–82. [in Thai]

Teigiserova, D.A., L. Hamelin and M. Thomsen. 2020. Towards transparent valorization of food surplus, waste and loss: clarifying definitions, food waste hierarchy, and role in the circular economy. **Science of the Total Environment** 706: 136033.

Tokarchuk, O., G. Roberto and M. Oswin. 2021. Estimating tourism social carrying capacity. **Annals of Tourism Research** 86: 102971.

Undersander, D., D.W. Mertens and N. Theix. 1993. **Forage Analysis Procedures**. Omaha, NE: National Forage Testing Association. 154 p.

U.S. Environmental Protection Agency. 2002. **Method 1631 Revision E: Mercury in Water by Oxidation, Purge and Trap, and Cold Vapor Atomic Fluorescence Spectrometry.** Washington, D.C: U.S. Environmental Protection Agency (EPA). 27 p.

วารสารวิจัยและส่งเสริมวิชาการเกษตร 42(3): 258-273

การใช้ระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์เพื่อประเมินพื้นที่เหมาะสมในการฝังกลบขยะมูลฝอยตามหลักสุขาภิบาล จังหวัดลพบุรี

Application of Geographic Information System for Assessing Suitable Areas for Sanitary Landfill According to Sanitary Standards Sites in Lop Buri Province

ขวัญชัย ชัยอุดม* วรินทร สุดแสวง และเอมิกา รสโหมด

Kwanchai Chai-udom*, Warintorn Sudsawang and Amika Rosmode

สาขาวิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏเทพสตรี ลพบุรี 15000

Environmental Science, Faculty of Science and Technology, Thepsatri Rajabhat University, Lop Buri, Thailand 15000

*Corresponding author: kwanchai.c@lawasri.tru.ac.th

Received: *November 01, 2024*
Revised: *May 24, 2025*
Accepted: *June 06, 2025*

Abstract

This research used a geographic information system for sanitary landfill site selection. Based on 11 criteria influencing sanitary landfill site selection and spatial data, suitable areas for landfill sites were determined using the weighted overlay technique with ArcGIS 10.2.

The results showed that the most influential factor is the distance from water sources and wetlands, with a weight of 11.03%. This is followed by proximity to water supply, groundwater levels, distance from communities, slope, geological conditions, historical sites, flood risk areas, soil type, land use, and transportation routes, with weights of 10.66, 10.29, 9.56, 9.56, 9.19, 8.82, 8.46, 8.09, 7.72 and 6.62%, respectively. The most suitable areas for sanitary landfills are mainly located in Khok Samrong district, covering 224.64 square kilometers (3.62% of the province's total area). This is followed by Chai Badan District (182.05 sq. km., 2.93%), Tha Luang District (81.21 sq. km., 1.30%), and the least suitable area is in Sa Bot District (0.86 sq. km., 0.01%). It is recommended that public participation should be promoted and taken into account when evaluating suitable landfill sites. Additionally, long-term waste reduction is required for sustainable waste management.

Keywords: suitable sanitary landfill area, geographic information system, overlay technique

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อหาพื้นที่ที่เหมาะสมสำหรับการฝังกลบขยะมูลฝอยของจังหวัดลพบุรี วิเคราะห์ข้อมูลเชิงพื้นที่ด้วยวิธีการถ่วงน้ำหนักและเทคนิคการซ้อนทับข้อมูลเชิงพื้นที่ (overlay technique) ด้วยโปรแกรม ArcGIS 10.2 จากเกณฑ์การคัดเลือกพื้นที่ 11 ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการเลือกพื้นที่เพื่อสร้างบ่อฝังกลบขยะอย่างถูกหลักสุขาภิบาล

ผลการศึกษา พบว่าปัจจัยที่ใช้ในการคัดเลือกพื้นที่ที่มีค่าถ่วงน้ำหนักมากที่สุด คือ ระยะห่างจากแหล่งน้ำและพื้นที่ชุ่มน้ำ มีค่าถ่วงน้ำหนัก ร้อยละ 11.03 รองลงมาคือ ประปา ระดับน้ำใต้ดิน ระยะห่างจากชุมชน ความลาดชัน สภาพทางธรณี โบราณสถาน พื้นที่เสี่ยงภัยน้ำท่วม เนื้อดิน การใช้ประโยชน์ที่ดิน และเส้นทางคมนาคม ร้อยละ 10.66, 10.29, 9.56, 9.56, 9.19, 8.82, 8.46, 8.09, 7.72 และ 6.62 ตามลำดับ ส่วนพื้นที่ที่มีเหมาะสมมากสำหรับเป็นพื้นที่ฝังกลบขยะมูลฝอยแบบถูกหลักสุขาภิบาลในจังหวัดลพบุรี ส่วนใหญ่อยู่ในเขตพื้นที่อำเภอโคกสำโรง มีเนื้อที่ 224.64 ตารางกิโลเมตร (ร้อยละ 3.62 ของพื้นที่ทั้งจังหวัด) รองลงมาคือ พื้นที่อำเภอชัยบาดาล มีเนื้อที่ 182.05 ตารางกิโลเมตร (ร้อยละ 2.93) อำเภอท่าหลวง มีเนื้อที่ 81.21 ตารางกิโลเมตร (ร้อยละ 1.30) และน้อยที่สุดคือ พื้นที่อำเภอสระโบสถ์ มีเนื้อที่ 0.86 ตารางกิโลเมตร (ร้อยละ 0.01) อย่างไรก็ตาม ควรมีการส่งเสริมให้มีขบวนการมีส่วนร่วมของประชาชนเพื่อใช้ประกอบการประเมินพื้นที่เหมาะสมในการเป็นพื้นที่ฝังกลบขยะมูลฝอยตามหลักสุขาภิบาล และพิจารณาแนวทางการจัดการขยะที่ยั่งยืนเพื่อลดปริมาณขยะ ในระยะยาว

คำสำคัญ: สถานที่ฝังกลบขยะมูลฝอยแบบถูกหลักสุขาภิบาล เทคโนโลยีภูมิสารสนเทศ เทคนิคการซ้อนทับข้อมูลเชิงพื้นที่

คำนำ

ปัจจุบันปัญหาขยะในประเทศไทยนับวันจะยิ่งทวีความรุนแรงขึ้นโดยเฉพาะปัญหาขยะตกค้างในสิ่งแวดล้อม จากการรายงานของ Pollution Control Department (2024) พบว่าในปี พ.ศ. 2566 ประเทศไทยมีขยะมูลฝอยเกิดขึ้นประมาณ 26.95 ล้านตัน หรือประมาณ 73,840 ตัน/วัน เพิ่มขึ้นร้อยละ 5 เมื่อเทียบกับปี พ.ศ. 2565 และเทียบกับจำนวนประชากรเฉลี่ยเท่ากับ 1.12 กิโลกรัม/คน/วัน แต่ความสามารถในการเก็บขนขยะได้เพียง 20.15 ล้านตัน (74%) ของขยะที่เกิดขึ้น และนำไปกำจัด 15.64 ล้านตัน (58%) แบ่งเป็นแบบถูกต้อง 10.17 ล้านตัน ไม่ถูกสุขาภิบาล 5.47 ล้านตัน (20%) จึงก่อให้เกิดปริมาณของขยะที่ตกค้างตามสถานที่ต่าง ๆ มากมาย สำหรับจังหวัดลพบุรีมีปริมาณขยะมูลฝอยเกิดขึ้นทั้งจังหวัดประมาณ 749 ตัน/วัน และมีจำนวนขยะมูลฝอยที่นำกลับมาใช้ประโยชน์ 200 ตัน/วัน ส่วนที่เหลือเป็นจำนวนขยะที่กำจัดแบบไม่ถูกต้องมากถึง 594 ตัน/วัน ของปริมาณขยะมูลฝอยที่เกิดขึ้น จังหวัดลพบุรีมีสถานที่กำจัดขยะมูลฝอยมากถึงจำนวน 36 แห่ง แต่ 34 แห่ง เป็นสถานที่กำจัดขยะมูลฝอยที่ไม่ถูกต้องตามหลักสุขาภิบาล และมีเพียง 2 แห่ง ที่ดำเนินการอย่างถูกต้อง ได้แก่ เทศบาลเมืองบ้านหมี่และองค์การบริหารส่วนตำบลโคกสำโรงเท่านั้น โดยพื้นที่ทั้ง 2 แห่งสามารถรองรับการจัดการขยะได้อีก 20 ปี (Provincial Office of Natural Resources and Environment Lop Buri, 2024) และปัญหาอีกอย่างหนึ่งนั่นคือ การรวมกลุ่มพื้นที่ในการจัดการขยะมูลฝอย (cluster) พบว่ามีจำนวน 6 กลุ่ม ครอบคลุมพื้นที่บางส่วนของอำเภอเมืองลพบุรี อำเภอท่าวุ้ง อำเภอบ้านหมี่ และอำเภอโคกสำโรง ส่วนอำเภอที่เหลือยังคงเป็นการทิ้งในสถานที่กำจัดขยะมูลฝอยแบบเทกอง และบางส่วนชุมชนจัดการขยะมูลฝอยด้วยตนเอง ไม่มีการเก็บขนโดยองค์กรปกครองส่วนท้องถิ่น ซึ่งการกำจัดขยะมูลฝอยแบบเทกองนั้น ก่อให้เกิดผลกระทบต่อ

สิ่งแวดล้อมและสุขภาพอนามัยต่าง ๆ มากมาย เช่น เป็นแหล่งอาหารและเพาะพันธุ์ของแมลงนำโรคต่าง ๆ มลพิษทางทัศนียภาพ ปัญหากลิ่นเหม็น และปัญหาด้านคุณภาพน้ำ และการปนเปื้อนของน้ำที่เกิดจากน้ำชะขยะมูลฝอย

ระบบสารสนเทศทางภูมิศาสตร์ได้ถูกนำมาใช้ในการเพิ่มประสิทธิภาพ การแก้ไขปัญหาด้านขยะมูลฝอยหลายด้าน เช่น Ghobadi (2024) ประเมินความเหมาะสมด้านสิ่งแวดล้อมสำหรับการเลือกสถานที่ฝังกลบขยะมูลฝอย (MSW) โดยใช้ระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ (GIS) และการประเมินหลายเกณฑ์ (multi-criteria evaluation) Noinamsai and Wachirawongsakorn (2017) ได้ศึกษาการใช้ระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์เพื่อประเมินพื้นที่ที่เหมาะสมในการฝังกลบขยะมูลฝอยแบบถูกหลักสุขาภิบาลใน จังหวัดอุตรดิตถ์ โดยการวิเคราะห์ข้อมูลเชิงพื้นที่ด้วยวิธีการถ่วงน้ำหนักและเทคนิคการซ้อนทับข้อมูล หลักเกณฑ์ของกรมควบคุมมลพิษและ Vichiansinpa *et al*. (2015) ได้ใช้ระบบสารสนเทศทางภูมิศาสตร์ศึกษาหาพื้นที่ที่เหมาะสม ต่อการฝังกลบขยะมูลฝอย กรณีศึกษา: อำเภอลำปลายมาศ จังหวัดบุรีรัมย์ โดยการวิเคราะห์ปัจจัยทางด้านชีวกายภาพ และสภาพแวดล้อมทางสังคมวัฒนธรรม ซึ่งมี 10 ปัจจัย ซึ่งผลการศึกษาสามารถบอกพื้นที่ที่เหมาะสมเชิงพื้นที่ได้อย่างถูกต้องและเหมาะสม นอกจากนี้ lamchuen *et al.* (2023) ได้ศึกษาการวิเคราะห์โครงข่ายระบบการเก็บขนขยะและแนวทางในการหาแหล่งกลบฝังใหม่ กรณีศึกษาเทศบาลนครสงขลา จังหวัดสงขลา เพื่อวิเคราะห์หาเส้นทางที่สั้นที่สุดในการให้บริการเก็บขนขยะและหาพื้นที่ที่เหมาะสมในการกลบฝังขยะ และ Mallick (2021) ศึกษาการคัดเลือกพื้นที่ฝังกลบขยะมูลฝอยชุมชนโดยใช้เทคนิค Fuzzy-AHP และเทคนิคภูมิสารสนเทศศาสตร์ในภูมิภาคอาซีร์ ประเทศซาอุดีอาระเบีย จากปัญหาข้างต้นจำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องหาพื้นที่เพื่อรองรับปริมาณขยะที่มีจำนวนมากขึ้นทดแทนพื้นที่ฝังกลบในปัจจุบัน เพื่อลดปริมาณของขยะตกค้าง ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อประเมินพื้นที่เหมาะสมในการฝังกลบขยะมูลฝอยตามหลักสุขาภิบาลโดยใช้ระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ และผลที่ได้จะแสดงในรูปแบบเชิงพื้นที่ ซึ่งจะเป็นประโยชน์อย่างยิ่งต่อองค์กรส่วนท้องถิ่นและหน่วยงานที่เกี่ยวข้อง ที่จะนำไปใช้ในการวางแผนสำหรับฝังกลบขยะมูลฝอย และจัดการปัญหาขยะมูลฝอยในจังหวัดลพบุรีและพื้นที่ใกล้เคียงต่อไป

วิธีดำเนินการวิจัย

พื้นที่ศึกษา คือ จังหวัดลพบุรี ครอบคลุมพื้นที่ทั้งหมด 11 อำเภอ ได้แก่ อำเภอลำสนธิ อำเภอหนองม่วง อำเภอชัยบาดาล อำเภอท่าวุ้ง อำเภอท่าหลวง อำเภอบ้านหมี่ อำเภอพัฒนานิคม อำเภอสระโบสถ์ อำเภอเมืองลพบุรี อำเภอโคกสำโรง และอำเภอโคกเจริญ ซึ่งมีเนื้อที่ประมาณ 6,199.8 ตารางกิโลเมตร หรือ 3,874,875 ไร่

การวิเคราะห์ข้อมูล สามารถแบ่งขั้นตอนการวิเคราะห์ออกเป็น 2 ขั้นตอนหลัก ได้แก่ การกำหนดปัจจัยเพื่อจำแนกระดับความเหมาะสมของพื้นที่ฝังกลบขยะมูลฝอยแบบถูกหลักสุขาภิบาลและการวิเคราะห์การซ้อนทับข้อมูล ซึ่งมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

1. การกำหนดปัจจัยเพื่อจำแนกระดับความเหมาะสมของพื้นที่ฝังกลบขยะมูลฝอยแบบถูกหลักสุขาภิบาล โดยเป็นการจำแนกระดับชั้นความเหมาะสมของพื้นที่โดยสัมพันธ์กับปัจจัยที่สำคัญที่ส่งผลกระทบต่อการตั้งพื้นที่ฝังกลบขยะมูลฝอยแบบถูกหลักสุขาภิบาล ซึ่งสามารถแบ่งออกเป็น 3 ขั้นตอน ดังนี้

1.1) การกำหนดปัจจัยที่ใช้ในการวิเคราะห์เลือกพื้นที่ที่เหมาะสมในการฝังกลบขยะมูลฝอยแบบถูกหลักสุขาภิบาล จะอาศัยหลักเกณฑ์พิจารณาด้านสิ่งแวดล้อมของกรมควบคุมมลพิษ (Pollution Control Department, 2024) และกรมโรงงานอุตสาหกรรม พ.ศ. 2535 สรุปได้ปัจจัยทั้งสิ้น 11 ปัจจัย ดังนี้ 1) ระยะห่างจากแหล่งน้ำและพื้นที่ชุ่มน้ำ 2) เขตโบราณสถาน 3) เขตระบบประปา 4) เส้นทางคมนาคม 5) ระดับน้ำใต้ดิน 6) สภาพทางธรณีวิทยา 7) ความลาดชัน 8) การใช้ประโยชน์

ที่ดิน 9) ลักษณะเนื้อดิน 10) พื้นที่เสี่ยงภัยน้ำท่วม 11) ระยะห่างจากชุมชน

1.2) การออกแบบและจัดทำฐานข้อมูลระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ โดยการรวบรวมข้อมูลข้อมูลทุติยภูมิจากหน่วยงานราชการที่เกี่ยวข้อง นำมาออกแบบและจัดทำฐานข้อมูลระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ที่ประกอบด้วยข้อมูลเชิงพื้นที่และข้อมูลเชิงลักษณะในรูปแบบเชิงตัวเลข (Table 1)

Table 1 Designing and creating a geographic information system database

Themes name	Layers name	Feature type name
1. Political boundary	Sub-district / district / province	Polygon
2. Area study	Lop Buri province	Polygon
3. Historical sites	Historic site	Point
4. Water supply	Water supply	Point
5. Water resource	Surface water area / stream	Polygon / line
6. Transportation	Road	Line
7. Groundwater	Groundwater	Line
8. Geology	Geology	Polygon
9. Contour	Slope	Polygon
10. Land use	Land use	Polygon
11. Soil texture	Soil texture	Polygon
12. Risk area	Flooding	Polygon

1.3) การกำหนดระดับคะแนนความเหมาะสมของปัจจัย โดยใช้หลักการให้ค่าน้ำหนักความสำคัญและจัดระดับความเหมาะสมของปัจจัยจากผู้เชี่ยวชาญด้านสิ่งแวดล้อม จำนวน 3 ท่าน ด้วยวิธีการถ่วงน้ำหนัก (rating weighting) (Narongrit, 2005) โดยคำนวณได้จากสมการที่ 1

พื้นที่เหมาะสม = W_1* L_1* + W_2* L_2 + ... + W_n* L_n (1)

กำหนดให้

W_1 W_2 ..... W_n หมายถึง ค่าถ่วงน้ำหนักของปัจจัยที่ 1, 2 ถึง N

L_1 L_2 ..... L_n หมายถึง ค่าคะแนนของปัจจัยที่ 1, 2 ถึง N

2. การวิเคราะห์การซ้อนทับ (overlay technique analysis)

2.1) การประยุกต์ใช้ระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ (GIS) โดยการนำชั้นข้อมูลระดับชั้นความเหมาะสมของทุกปัจจัยที่ถูกให้ค่าคะแนน (score or rating) และค่าถ่วงน้ำหนัก (weight) มาวิเคราะห์การซ้อนทับและจำแนกระดับพื้นที่ที่เหมาะสมออกเป็น 3 ระดับ ซึ่งคำนวณได้จากสมการที่ 2 ดังแสดงใน Table 2 (Narongrit, 2005)

ช่วงห่างของชั้นความเหมาะสม

$$= \frac{\text{ค่าความเหมาะสมสูงสุด} - \text{ค่าความเหมาะสมต่ำสุด}}{\text{จำนวนระดับความเหมาะสม}} \quad (2)$$

Table 2 Determination of suitability score for landfill factors

Suitability	Score
Low	4
Medium	6
High	8

2.2) การกำหนดพื้นที่ที่เป็นข้อจำกัดในการฝังกลบขยะมูลฝอย

วิเคราะห์หาพื้นที่ที่เหมาะสมที่ได้จากข้อ 1.1) นำมาตัดออก (clip) พื้นที่ที่ไม่สามารถฝังกลบ (พื้นที่กันออก) ออกจากพื้นที่เหมาะสม

2.3) การจำแนกระดับความเหมาะสมของพื้นที่เพื่อการฝังกลบขยะมูลฝอย

วิธีการซ้อนทับแบบ multiply overlay operation เป็นการซ้อนทับพื้นที่เหมาะสม (suit) กับพื้นที่มีข้อจำกัด (limit) เพื่อกำหนดหรือกันพื้นที่มีข้อจำกัดในการฝังกลบขยะมูลฝอย และจัดทำแผนที่ (map layout) แสดงพื้นที่เหมาะสมในการฝังกลบขยะมูลฝอยแบบถูกหลักสุขาภิบาล พร้อมคำนวณเนื้อที่ความเหมาะสมในแต่ละระดับ ดัง Figure 1

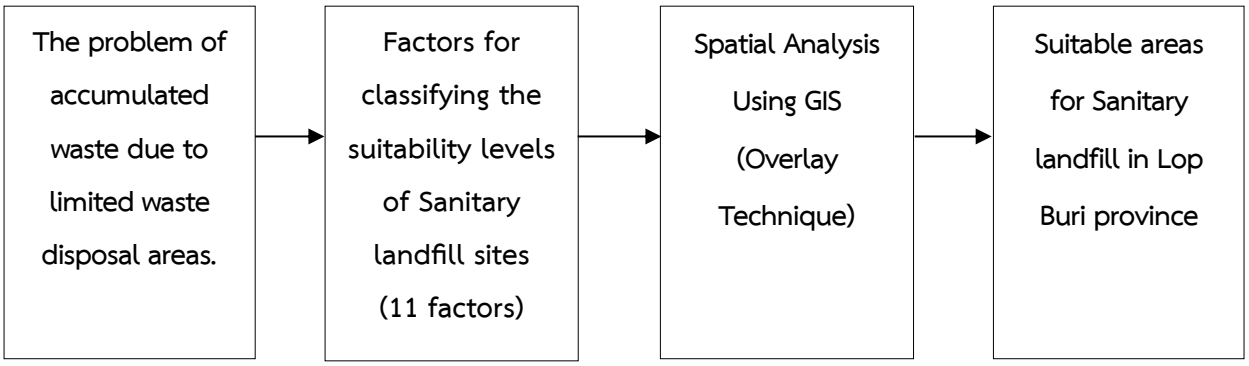


Figure 1 Conceptual framework

ผลการวิจัย

ค่าน้ำหนักของปัจจัยที่ใช้วิเคราะห์สถานที่ที่เหมาะสม

ผลจากการหาค่าน้ำหนักความสำคัญของปัจจัยที่ใช้ในการตัดสินใจเลือกพื้นที่เหมาะสมสำหรับการฝังกลบขยะมูลฝอยแบบถูกหลักสุขาภิบาลในจังหวัดลพบุรี ตามหลักเกณฑ์ของกรมควบคุมมลพิษและกรมโรงงานอุตสาหกรรม ซึ่งค่าน้ำหนักความสำคัญในแต่ละปัจจัยมาจากค่าเฉลี่ยคะแนนที่ประเมินได้จากผู้เชี่ยวชาญด้านสิ่งแวดล้อม 3 ท่าน พบว่าปัจจัยทางกายภาพที่มีค่าถ่วงน้ำหนักความสำคัญมากที่สุด 3 ลำดับ คือ ปัจจัยด้านระยะห่างจากแหล่งน้ำ/พื้นที่ชุ่มน้ำ มีค่าเท่ากับร้อยละ 11.03 รองลงมาคือ ปัจจัยด้านประปา มีค่าเท่ากับร้อยละ 10.66 และปัจจัยด้านระดับน้ำใต้ดิน มีค่าเท่ากับร้อยละ 10.29 ส่วนปัจจัยอื่น ๆ เช่น ระยะห่างจากชุมชน ความลาดชัน สภาพทางธรณี มีค่าถ่วงน้ำหนักเท่ากับร้อยละ 9 ส่วนปัจจัยโบราณสถาน พื้นที่เสี่ยงภัยน้ำท่วม และลักษณะเนื้อดิน มีค่าถ่วงน้ำหนักเท่ากับร้อยละ 8 ดัง Table 3

Table 3 The relative importance of factors considered in the analysis of suitable areas for sanitary landfills

Factors	Weighted value	Weighted value (%)
1. Distance from water sources and wetlands	0.11	11.03
2. Water supply	0.11	10.66
3. Groundwater level	0.10	10.29
4. Distance from community	0.10	9.56
5. Slope	0.10	9.56
6. Geology	0.09	9.19
7. Historical sites	0.09	8.82
8. Flood risk areas	0.08	8.46
9. Soil texture	0.08	8.09
10. Land use	0.08	7.72
11. Transportation	0.07	6.62
Total	**1**	**100**

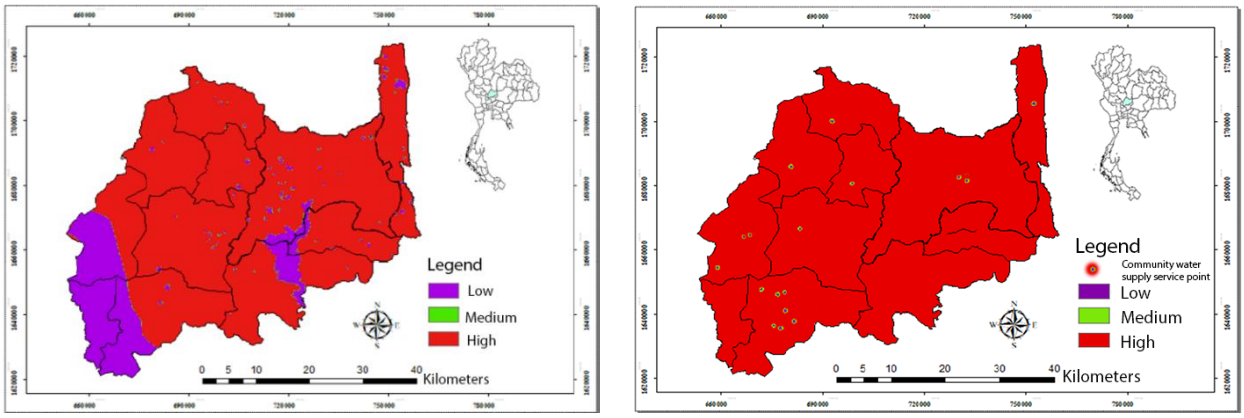
ผลการวิเคราะห์เชิงพื้นที่ของปัจจัยที่เหมาะสมสำหรับพื้นที่ฝังกลบขยะมูลฝอยแบบถูกหลักสุขาภิบาล

ปัจจัยที่ 1 ด้านระยะห่างจากแหล่งน้ำและพื้นที่ชุ่มน้ำ

พิจารณาคะแนนความเหมาะสมออกเป็น 3 ระดับย่อย คือ พื้นที่ที่ห่างจากแหล่งน้ำและพื้นที่ชุ่มน้ำมากกว่า 300 เมตรขึ้นไป จัดอยู่ในพื้นที่ที่มีระดับความเหมาะสมมาก (High) พื้นที่ที่ห่างจากแหล่งน้ำและพื้นที่ชุ่มน้ำ 200–300 เมตร จัดอยู่ในพื้นที่ที่มีระดับความเหมาะสมปานกลาง (medium) ส่วนพื้นที่ห่างจากแหล่งน้ำและพื้นที่ชุ่มน้ำน้อยกว่า 200 เมตร จัดอยู่ในพื้นที่ที่มีความเหมาะสมน้อย (low) (Figure 2a)

ปัจจัยที่ 2 ด้านประปาชุมชน

พิจารณาระดับความเหมาะสมแบ่งออกเป็น 3 ระดับ คือ พื้นที่ที่ห่างจากประปาชุมชนมากกว่า 700 เมตรขึ้นไป จัดอยู่ในพื้นที่ที่มีความเหมาะสมมาก (high) ส่วนพื้นที่ที่อยู่ห่างจากประปาชุมชน 400–700 เมตร จัดอยู่ในพื้นที่ที่มีความเหมาะสมปานกลาง (medium) พื้นที่ที่ห่างจากประปาชุมชนน้อยกว่า 400 เมตร จัดอยู่ในพื้นที่มีความเหมาะสมน้อย (low) (Figure 2b)



(a) Distance from water sources and wetlands (b) Water supply

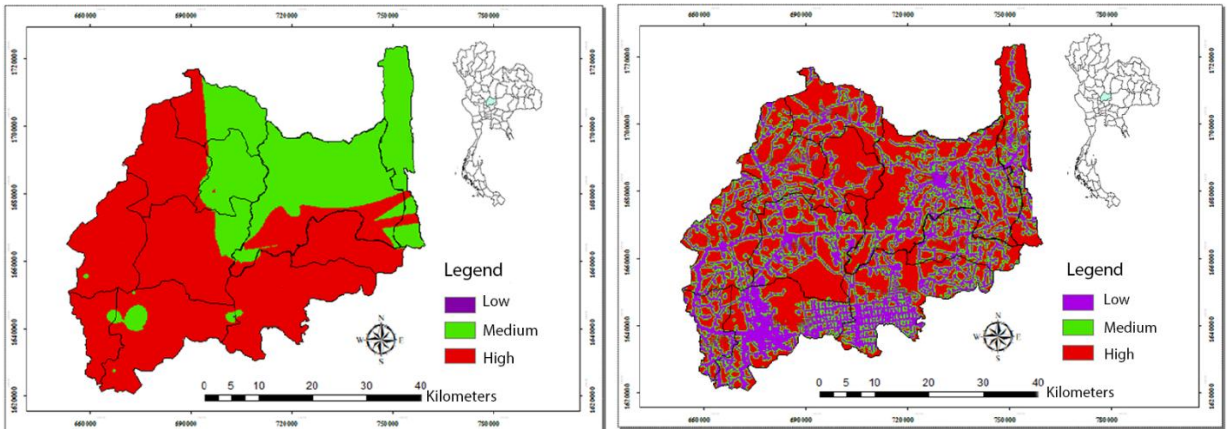
Figure 2 Suitability map for factors such as distance from water sources (a) and wetlands and water supply (b)

ปัจจัยที่ 3 ด้านระดับน้ำใต้ดิน

วิเคราะห์ระดับคะแนนความเหมาะสม แบ่งออกเป็น 3 ระดับ คือ พื้นที่ที่มีระดับน้ำใต้ดินลึกมากกว่า 5 เมตร จัดอยู่ในพื้นที่ที่มีระดับความเหมาะสมมาก (high) ส่วนระดับน้ำใต้ดินลึกปานกลาง 2–5 เมตร จัดอยู่ในพื้นที่ที่มีระดับความเหมาะสมปานกลาง (medium) และพื้นที่ที่มีระดับน้ำใต้ดินตื้น 0–2 เมตร จัดอยู่ในพื้นที่ที่มีระดับความเหมาะสมน้อย (low) (Figure 3a)

ปัจจัยที่ 4 ด้านระยะห่างจากชุมชน

พิจารณาระดับความเหมาะสมแบ่งออกเป็น 3 ระดับ คือ พื้นที่ที่อยู่ห่างมากกว่า 500 เมตร จัดอยู่ในพื้นที่ที่มีระดับความเหมาะสมมาก (high) พื้นที่ที่อยู่ห่าง 200–500 เมตร จัดอยู่ในพื้นที่ที่มีความเหมาะสมปานกลาง (medium) และพื้นที่ที่อยู่ห่าง 0–200 เมตร จัดอยู่ในพื้นที่ที่มีความเหมาะสมน้อย (low) (Figure 3b)



(a) Groundwater level (b) Distance from community

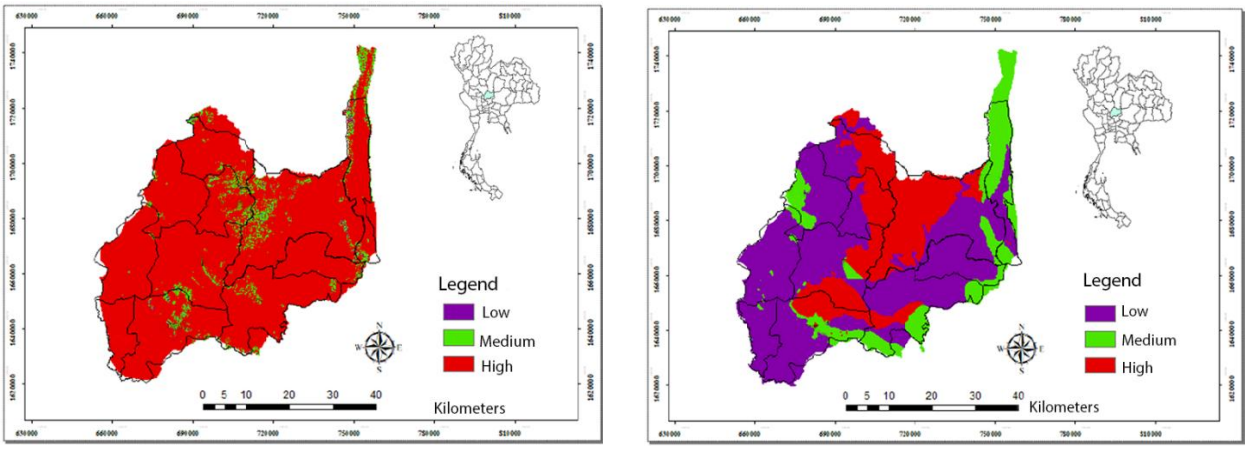
Figure 3 Suitability map for factors such as groundwater level (a) and distance from community (b)

ปัจจัยที่ 5 ด้านความลาดชัน

สามารถแบ่งความเหมาะสมแบ่งออกเป็น 3 ระดับย่อย คือ พื้นที่ที่มีความลาดชันร้อยละ 0–15 จัดอยู่ในพื้นที่ที่มีระดับความเหมาะสมมาก (high) ส่วนความลาดชันร้อยละ 15–35 จัดอยู่ในพื้นที่ที่มีระดับความเหมาะสมปานกลาง (medium) และความลาดชันร้อยละ 35 ขึ้นไป มีระดับความเหมาะสมน้อย (4 คะแนน) (Figure 4a)

ปัจจัยที่ 6 ด้านสภาพทางธรณี

แบ่งพื้นที่ความเหมาะสมออกเป็น 3 ระดับย่อย คือ พื้นที่หินอัคนี หินภูเขาไฟและหินแกรนิต ซึ่งเป็นชั้นหินฐานมีความมั่นคงแข็งแรงเพียงพอที่จะรับน้ำหนักของปริมาณมูลฝอยที่จะบดอัดและฝังกลบ จึงจัดอยู่ในพื้นที่ที่มีความเหมาะสมมาก (high) พื้นที่ชั้นหินตะกอน หินปูน หินทราย และหินดินดาน จัดอยู่ในพื้นที่ที่มีความเหมาะสมปานกลาง (medium) ส่วนพื้นที่ที่เป็นชั้นตะกอนใหม่หรือดินจัดอยู่ในพื้นที่มีความเหมาะสมน้อย (low) (Figure 4b)



(a) Slope (b) Geology

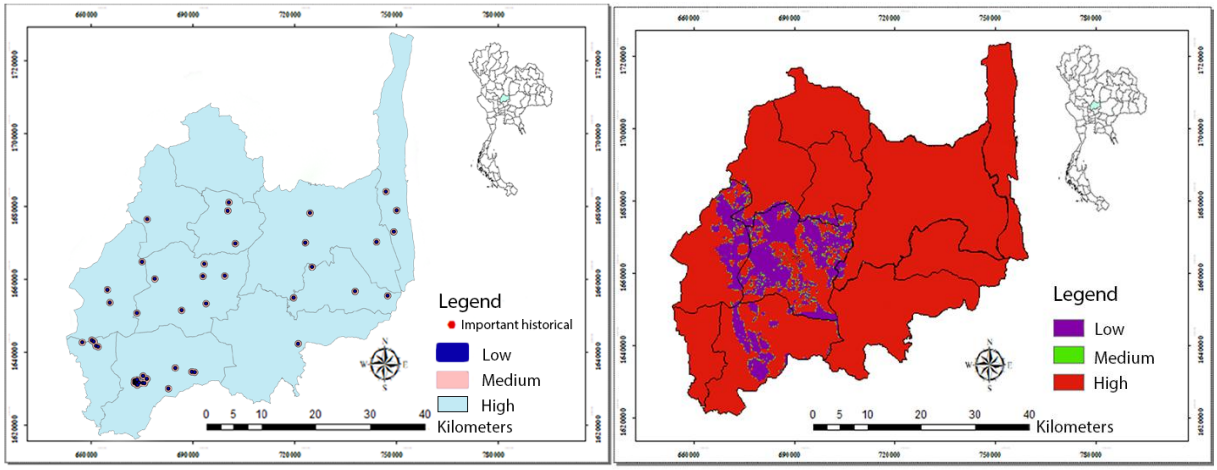
Figure 4 Suitability map for factors such as slope (a) and geology (b)

ปัจจัยที่ 7 ด้านโบราณสถาน

พื้นที่ที่เหมาะสมสำหรับการฝังกลบขยะมูลฝอยต้องตั้งอยู่ห่างจากแนวเขตโบราณสถานไม่น้อยกว่า 1 กิโลเมตรขึ้นไป ซึ่งได้พิจารณาคะแนนความเหมาะสมออกเป็น 3 ระดับ คือ พื้นที่ที่ห่างจากโบราณสถานมากกว่า 1 กิโลเมตรขึ้นไป จัดอยู่ในพื้นที่ที่มีระดับความเหมาะสมมาก (high) ส่วนพื้นที่ที่อยู่ห่างจากโบราณสถานน้อย 0.5–1 กิโลเมตร จัดอยู่ในพื้นที่ที่มีความเหมาะสมปานกลาง (medium) ส่วนพื้นที่ที่อยู่ห่างจากโบราณสถาน 0–0.5 กิโลเมตร จัดอยู่ในพื้นที่ที่มีความเหมาะสมน้อย (low) (Figure 5a)

ปัจจัยที่ 8 ด้านพื้นที่เสี่ยงภัยน้ำท่วม

สามารถแบ่งพื้นที่ความเหมาะสมแบ่งออกเป็น 3 ระดับ คือ พื้นที่ที่อยู่ห่างออกไปมากกว่า 300 เมตร จัดอยู่ในระดับความเหมาะสมมาก (high) พื้นที่ที่อยู่ห่างออกไป 200–300 เมตร จัดอยู่ในระดับความเหมาะสมปานกลาง (medium) และพื้นที่ที่อยู่ห่างออกไปน้อยกว่า 200 เมตร จัดอยู่ในระดับความเหมาะสมน้อย (low) (Figure 5b)



(a) Historical sites (b) Flood risk areas

Figure 5 Suitability map for factors such as historical sites (a) and flood risk areas (b)

ปัจจัยที่ 9 ด้านเนื้อดิน

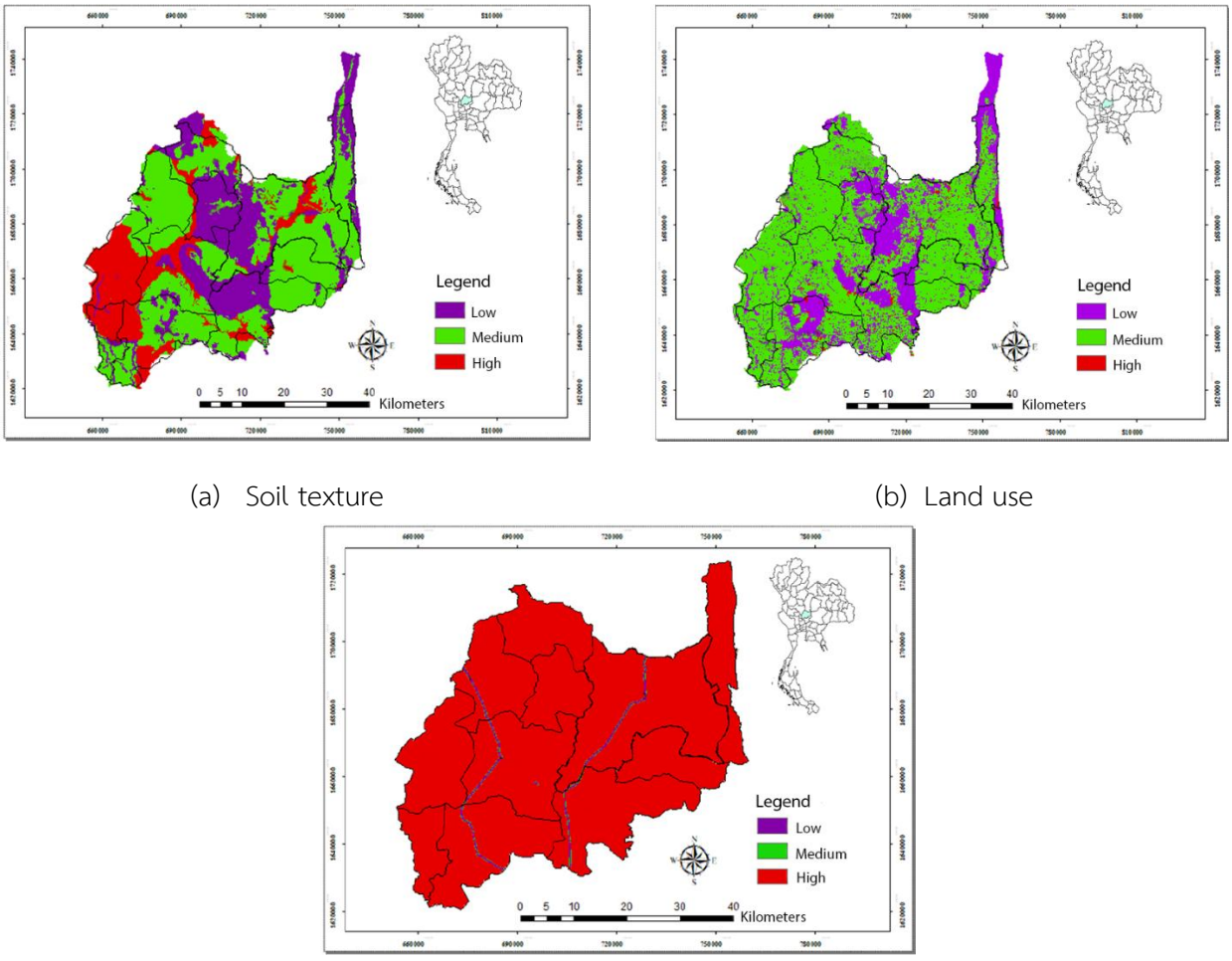
แบ่งระดับคะแนนความเหมาะสมแบ่งออกเป็น 3 ระดับย่อย คือ พื้นที่ที่เป็นดินเหนียว จัดอยู่ในพื้นที่ที่มีระดับความเหมาะสมมาก (high) พื้นที่ดินร่วนปนทรายและดินร่วนเหนียว จัดอยู่ในระดับความเหมาะสมปานกลาง (medium) และพื้นที่ดินร่วน จัดอยู่ในระดับความเหมาะสมน้อย (low) (Figure 6a)

ปัจจัยที่ 10 ด้านการใช้ประโยชน์ที่ดิน

แบ่งระดับคะแนนความเหมาะสมแบ่งออกเป็น 3 ระดับ คือ พื้นที่รกร้างว่างเปล่า ทุ่งหญ้า และไม้ละเมาะ จัดอยู่ในระดับความเหมาะสมมาก (high) พื้นที่นาข้าวและพื้นที่ปลูกพืชสวนและปลูกพืชไร่ จัดอยู่ในระดับความเหมาะสมปานกลาง (medium) และพื้นที่แหล่งน้ำ พื้นที่ลุ่ม พื้นที่เมืองและชุมชน พื้นที่ป่าไม้ จัดอยู่ในพื้นที่ที่มีระดับความเหมาะสมน้อย (low) (Figure 6b)

ปัจจัยที่ 11 ด้านเส้นทางคมนาคม

สามารถแบ่งออกเป็น 3 ระดับ คือ พื้นที่ที่อยู่ห่างจากถนนสายหลักมากกว่า 300 เมตรขึ้นไป จัดอยู่ในระดับความเหมาะสมมาก (high) พื้นที่ที่อยู่ห่างจากถนนสายหลัก 200–300 เมตร จัดอยู่ในระดับความเหมาะสมปานกลาง (medium) ส่วนพื้นที่ที่อยู่ห่างจากถนนสายหลัก 0–200 เมตร จัดอยู่ในระดับความเหมาะสมน้อย (low) (Figure 6c)



(a) Soil texture (b) Land use

(c) Transportation

Figure 6 Suitability map for factors such as soil texture (a), land use (b) and transportation (c)

พื้นที่เหมาะสมสำหรับสถานที่ฝังกลบขยะมูลฝอยแบบถูกหลักสุขาภิบาล

พบว่าจังหวัดลพบุรี มีพื้นที่ที่มีความเหมาะสมในการฝังกลบขยะมูลฝอยแบบถูกหลักสุขาภิบาลทั้งสิ้น 6,199.8 ตารางกิโลเมตร (3,874,875 ไร่) โดยแบ่งความเหมาะสมออกเป็น 3 ระดับ คือ ระดับความเหมาะสมน้อย มีเนื้อที่ 924.23 ตารางกิโลเมตร (577,643.75 ไร่) ร้อยละ 14.91 พื้นที่ระดับความเหมาะสมปานกลาง มีเนื้อที่ 4,550.99 ตารางกิโลเมตร (2,844,368.75 ไร่) ร้อยละ 73.41 ส่วนพื้นที่ที่มีความเหมาะสมมากสำหรับฝังกลบขยะมูลฝอยแบบถูกหลักสุขาภิบาลและอยู่ภายใต้เกณฑ์ของกรมควบคุมมลพิษ จะมีเนื้อที่ประมาณ 724.53 ตารางกิโลเมตร (452,831.25 ไร่) ร้อยละ 11.69 หากแบ่งเป็นรายอำเภอ พบว่าอำเภอโคกสำโรงที่มีพื้นที่ที่อยู่ในระดับความเหมาะสมมากในการฝังกลบขยะมูลฝอยมากที่สุด เท่ากับ 224.64 ตารางกิโลเมตร (215,281.25 ไร่) รองลงมาคือ อำเภอชัยบาดาล มีพื้นที่ 182.05 ตารางกิโลเมตร (166,218.75 ไร่) และอำเภอท่าหลวงมีพื้นที่ 81.21 ตารางกิโลเมตร (69,700 ไร่) ตามลำดับ อีกทั้งยังพบว่าตำแหน่งพื้นที่ฝังกลบขยะในปัจจุบันของเขตเทศบาลเมืองลพบุรี ตั้งอยู่ในพื้นที่ที่มีความเหมาะสมน้อย เนื่องจากอยู่ใกล้กับแหล่งน้ำ (คลองชลประทาน) ซึ่งเป็น

แหล่งน้ำดิบในการผลิตประปา และยังอยู่ใกล้กับชุมชนตำบลถนนใหญ่และเขตเทศบาลเมืองลพบุรีอีกด้วย นอกจากนี้ยังอยู่ในพื้นที่ที่เป็นชั้นตะกอนใหม่ และอยู่ในพื้นที่เสี่ยงภัยน้ำท่วม (ใกล้คลองชลประทาน) และยังอยู่ใกล้กับเส้นทางคมนาคมสายหลัก (หมายเลข 3196) อีกด้วย (Table 4) (Figure 7)

Table 4 The suitability level of an area for sanitary landfill in Lop Buri province

District	Area of each suitability level (square kilometers)		
	Low	Medium	High
Khok Samrong	178.83	578.98	224.64
Chai Badan	101.53	969.42	182.05
Tha Luang	94.09	363.57	81.21
Ban Mi	118.39	403.90	63.40
Mueang Lop Buri	160.93	347.11	57.58
Nong Muang	0.05	405.30	40.15
Khok Charoen	6.08	272.60	38.46
Lam Sonthi	87.41	339.43	20.16
Phatthana Nikhom	27.31	480.52	9.17
Tha Wung	123.02	112.97	6.84
Sa Bot	26.60	277.18	0.86
Total	**924.23**	**4,550.99**	**724.53**
	(14.91%)	**(73.41%)**	**(11.69%)**

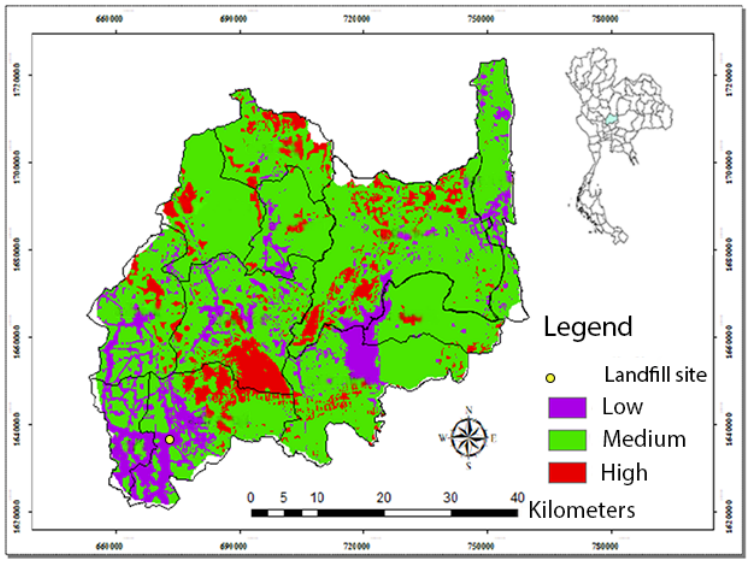


Figure 7 Suitability level of sanitary landfill sites in Lop Buri province

จากการศึกษาพบว่า ในปี พ.ศ. 2566 จังหวัดลพบุรี มีปริมาณรวมทั้งสิ้นขยะ 794 ตันต่อวัน (Pollution Control Department, 2024) โดยอำเภอที่มีปริมาณขยะมากที่สุดคือ อำเภอเมืองลพบุรี มีปริมาณขยะ 397.12 ตันต่อวัน ซึ่งต้องใช้พื้นที่ในการรองรับขยะเท่ากับ 300 ไร่ขึ้นไป (Chinda *et al*., 2012) รองลงมาคืออำเภอโคกสำโรง มีปริมาณขยะ 94.33 ตันต่อวัน ใช้พื้นที่ในการรองรับขยะเท่ากับ 150 ไร่ขึ้นไป (Table 5)

Table 5 Quantity of waste in Lop Buri Province

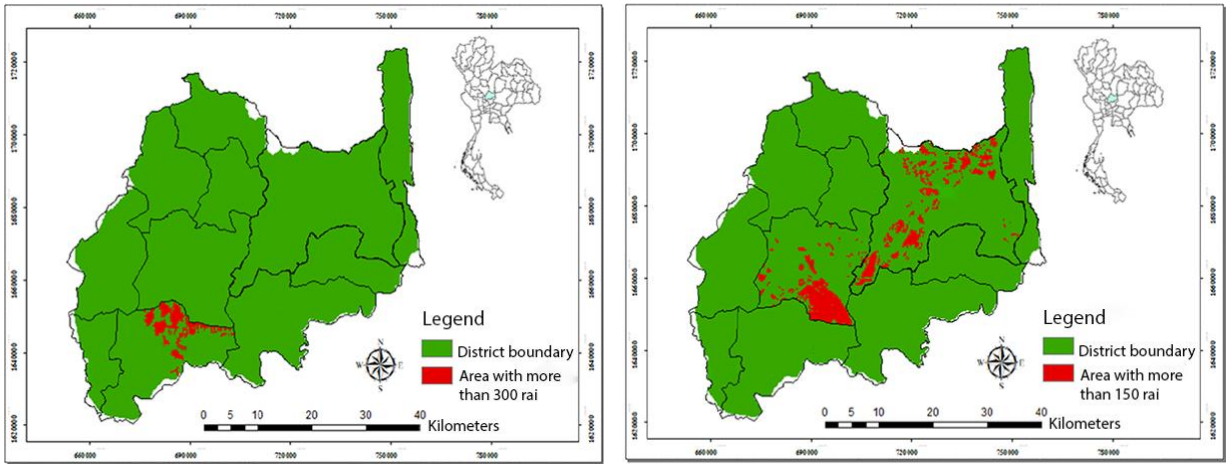
District	Quantity of waste (tons/day)			
	Municipality	Subdistrict Municipality	Subdistrict Administrative Organization	Total
Mueang Lop Buri	224.23	108.72	64.17	397.12
Khok Samrong	-	7.00	78.33	94.33
Chai Badan	-	16.00	13.95	29.95
Ban Mi	5.00	-	20.00	25.00
Phatthana Nikhom	-	27.00	29.00	56.00
Tha Luang	-	7.00	16.17	23.17
Tha Wung	-	6.81	5.20	12.01
Sa Bot	-	9.00	3.50	12.50

Table 5 (Continued)

District	Quantity of waste (tons/day)			
	Municipality	Subdistrict Municipality	Subdistrict Administrative Organization	Total
Khok Charoen	-	-	6.50	6.50
Lam Sonthi	-	-	8.21	8.21
Nong Muang	-	6.00	12.00	18.00
Total	**229.23**	**187.53**	**266.03**	**682.79**

Source: Provincial Office of Natural Resources and Environment Lop Buri (2024)

เมื่อนำวิเคราะห์หาพื้นที่เหมาะสมในการฝังกลบขยะมูลฝอย พบว่าอำเภอเมืองลพบุรีมีพื้นที่เหมาะสมในการฝังกลบขยะที่มีขนาดมากกว่า 300 ไร่ขึ้นไป ส่วนใหญ่ตั้งอยู่บริเวณทิศเหนือของพื้นที่ บริเวณตำบลเขาพระงาม ตำบลโคกตูม ตำบลเขาสามยอด (Figure 8a) และอำเภอโคกสำโรง มีพื้นที่เหมาะสมในการฝังกลบขยะมากกว่า 150 ไร่ขึ้นไป ส่วนใหญ่อยู่บริเวณตำบลคลองเกตุ ตำบลเพนียด และอำเภอชัยบาดาล มีพื้นที่เหมาะสมในการฝังกลบขยะที่มีขนาดมากกว่า 150 ไร่ขึ้นไป ส่วนใหญ่กระจายอยู่บริเวณตอนกลางของอำเภอ ส่วนใหญ่อยู่บริเวณตำบลเขาแหลม ตำบลเกาะรัง ตำบลศิลาทิพย์ และตำบลลำนารายณ์ (Figure 8 (b))



(a) Mueang Lop Buri (b) Khok Samrong

Figure 8 Suitability level of landfill sites in Muang Lopburi (a) and Khok Samrong district (b)

วิจารณ์ผลการวิจัย

จากการวิเคราะห์พื้นที่ที่เหมาะสมในการฝังกลบขยะมูลฝอยแบบถูกหลักสุขาภิบาลในจังหวัดลพบุรี ภายใต้การพิจารณาปัจจัยทางด้านกายภาพต่าง ๆ ที่สำคัญ และมีอิทธิพลต่อการคัดเลือกพื้นที่ทั้งหมด 11 ปัจจัย โดยเรียงปัจจัยตามลำดับความสำคัญที่ต้องพิจารณาในการคัดเลือกพื้นที่จากมากไปน้อย ได้แก่ ระยะห่างจากแหล่งน้ำและพื้นที่ชุ่มน้ำ (ร้อยละ 11.03) ประปาชุมชน (ร้อยละ 10.66) ระดับน้ำใต้ดิน (ร้อยละ 10.29) ระยะห่างจากชุมชน/ความลาดชัน (ร้อยละ 9.56) สภาพทางธรณี (ร้อยละ 9.19) โบราณสถาน (ร้อยละ 8.82) พื้นที่เสี่ยงภัยน้ำท่วม (ร้อยละ 8.46) เนื้อดิน (ร้อยละ 8.09) การใช้ประโยชน์ที่ดิน (ร้อยละ 7.72) เส้นทางคมนาคม (ร้อยละ 6.62) เมื่อวิเคราะห์พื้นที่สามารถแบ่งระดับความเหมาะสมของพื้นที่ได้ 3 ระดับ ได้แก่ พื้นที่ที่เหมาะสมมาก พื้นที่ที่เหมาะสมปานกลาง และพื้นที่ที่เหมาะสมน้อย

โดยพื้นที่ที่เหมาะสมสำหรับฝังกลบขยะมูลฝอยแบบถูกหลักสุขาภิบาลมากที่สุด มีเนื้อที่รวมทั้งสิ้น 724.53 ตารางกิโลเมตร หรือ 452,831.25 ไร่ ซึ่งพื้นที่ที่มีความเหมาะสมมากจะอยู่ทางตอนใต้ของจังหวัด คือ อำเภอโคกสำโรง ทั้งนี้เนื่องจากพื้นที่ดังกล่าวเป็นพื้นที่ราบ ไกลจากพื้นที่เมืองและเขตชุมชนรวมถึงห่างจากโบราณสถานมากกว่า 1 กิโลเมตร และลักษณะเนื้อดินส่วนใหญ่เป็นดินเหนียว ซึ่งมีคุณสมบัติการระบายน้ำต่ำ ซึ่งเป็นไปตามเกณฑ์ของกรมควบคุมมลพิษ และยังสอดคล้องกับงานวิจัยของ Vichiansinpa *et al*. (2015) ซึ่งพบว่าพื้นที่ที่เหมาะสมสำหรับเป็นพื้นที่ฝังกลบขยะมูลฝอยจะเป็นพื้นที่ที่ตั้งอยู่ห่างไกลจากแหล่งชุมชน แหล่งน้ำ และไม่อยู่ในพื้นที่เสี่ยงต่อการเกิดน้ำท่วมเช่นเดียวกัน

สำหรับพื้นที่ที่มีความเหมาะสมปานกลางส่วนใหญ่จะกระจายตัวอยู่บริเวณตอนกลางค่อนไปทางตอนเหนือของจังหวัด มีเนื้อที่ประมาณ 4,550.99 ตารางกิโลเมตร (2,844,368.25 ไร่) และพื้นที่ที่มีความเหมาะสมน้อยจะกระจายตัวอยู่ทางด้านตอนกลางค่อนไปทางตอนบนของจังหวัด ซึ่งตั้งอยู่ในบริเวณภูมิประเทศที่มีลักษณะเป็นภูเขาที่มีความลาดชันสูง มีพื้นที่ 924.23 ตารางกิโลเมตร (577,643.75 ไร่) ทั้งนี้ทางหน่วยงานองค์กรปกครองส่วนท้องถิ่นและหน่วยงานต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องสามารถนำข้อมูลการวิเคราะห์เชิงพื้นที่ที่ได้นี้ไปใช้ในการตัดสินใจวางแผนเลือกพื้นที่ที่เหมาะสมสำหรับการฝังกลบขยะมูลฝอยแบบถูกหลักสุขาภิบาลหรือจัดทำระบบกำจัดขยะมูลฝอยในแต่ละอำเภอของจังหวัดลพบุรีได้

อย่างไรก็ตาม ในการตัดสินใจเลือกพื้นที่ที่เหมาะสมยังคงต้องพิจารณาปัจจัยอื่น ๆ ร่วมด้วย เช่น ปัจจัยทางด้านเศรษฐกิจ (ราคาที่ดิน และปัจจัยทางด้านสังคม) ได้แก่ การยอมรับหรือความเห็นชอบของประชาชนในเขตพื้นที่ดังกล่าว โดยมักดำเนินการด้วยการทำประชาพิจารณ์ก่อนมีการเริ่มจัดทำโครงการ ซึ่งกระบวนการนี้ถือว่าเป็นหัวใจสำคัญประการหนึ่งที่ควรต้องดำเนินการ เพราะถึงแม้ว่าการคัดเลือกพื้นที่จะมีความเหมาะสมทุกประการและมีงบประมาณในการดำเนินโครงการอย่างเพียงพอ แต่หากประชาชนไม่เห็นชอบให้ดำเนินการก่อสร้างพื้นที่ฝังกลบขยะแล้วก็ไม่สามารถจะดำเนินการต่อไปได้ (Chabuk *et al*., 2016; Vichiansinpa *et al*., 2015; Rezaeisabzevar *et al*., 2020; Al-Anbari *et al*., 2018)

สรุปผลการวิจัย

การใช้เทคโนโลยีภูมิสารสนเทศเพื่อประเมินพื้นที่เหมาะสมในการฝังกลบขยะมูลฝอยตามหลักสุขาภิบาล จังหวัดลพบุรี วิเคราะห์โดยใช้ระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ ด้วยวิธีการ weight-rating จากการพิจารณาปัจจัยทั้งหมด 11 ปัจจัย และเทคนิคการซ้อนทับข้อมูลเชิงพื้นที่ (overlay technique) ผลวิจัยพบว่าปัจจัยที่มีค่าถ่วงน้ำหนักมากที่สุด คือ ด้านระยะห่างจากแหล่งน้ำและพื้นที่ชุ่มน้ำ มีค่าถ่วงน้ำหนัก ร้อยละ 11.03 ตามลำดับ และพื้นที่ที่มีเหมาะสมมากสำหรับเป็นพื้นที่ฝังกลบขยะมูลฝอยแบบถูกหลักสุขาภิบาลในจังหวัดลพบุรี

ส่วนใหญ่อยู่ในเขตพื้นที่อำเภอโคกสำโรง มีเนื้อที่ 224.64 ตารางกิโลเมตร (ร้อยละ 3.62 ของพื้นที่ทั้งจังหวัด) รองลงมา คือ พื้นที่อำเภอชัยบาดาล มีเนื้อที่ 182.05 ตารางกิโลเมตร (ร้อยละ 2.93) อำเภอท่าหลวง มีเนื้อที่ 81.21 ตารางกิโลเมตร (ร้อยละ 1.30) และน้อยที่สุดคือ พื้นที่อำเภอสระโบสถ์ มีเนื้อที่ 0.86 ตารางกิโลเมตร (ร้อยละ 0.01) และจากปริมาณขยะในปี พ.ศ. 2563 เมื่อนำไปวิเคราะห์หาพื้นที่เหมาะสมในการฝังกลบขยะมูลฝอยใน 3 อำเภอที่มีปริมาณขยะมากที่สุด พบว่าอำเภอเมืองลพบุรีมีพื้นที่เหมาะสมในการฝังกลบขยะ ที่มีขนาดมากกว่า 300 ไร่ขึ้นไป ส่วนใหญ่จะอยู่บริเวณทิศเหนือ ของพื้นที่บริเวณตำบลเขาพระงาม ตำบลโคกตูม ตำบลเขาสามยอด อำเภอโคกสำโรง มีพื้นที่เหมาะสมในการฝังกลบขยะมากว่า 150 ไร่ขึ้นไป ส่วนใหญ่อยู่บริเวณตำบลคลองเกตุ ตำบลเพนียด และอำเภอชัยบาดาล มีพื้นที่เหมาะสม ในการฝังกลบขยะที่มีขนาดมากว่า 150 ไร่ขึ้นไป ส่วนใหญ่กระจายอยู่บริเวณตอนกลางของอำเภอ ส่วนใหญ่อยู่บริเวณตำบลเขาแหลม ตำบลเกาะรัง ตำบลศิลาทิพย์ และตำบลลำนารายณ์

สำหรับข้อเสนอเชิงนโยบายควรมุ่งเน้นไปที่การมีส่วนร่วมของภาคประชาชน และการบูรณาการหน่วยงานที่เกี่ยวข้อง และควรส่งเสริมแนวทางการลดขยะและการจัดการขยะทางเลือก เพื่อลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม และสร้างความยั่งยืนในการจัดการขยะในระยะยาว

เอกสารอ้างอิง

Al-Anbari, M.A., M.Y. Thameer and N. Al-Ansari. 2018. Landfill site selection by weighted overlay technique: case study of Al-Kufa, Iraq. **Sustainability** 10(4): 999. https://doi.org/10.3390/su10040999

Chabuk, A., N. Al-Ansari, H.M. Hussain, S. Knutsson and R. Pusch. 2016. Landfill site selection using geographic information system and analytical hierarchy process: a case study Al-Hillah Qadhaa, Babylon, Iraq. **Waste Management and Research** 34(5): 427–437. https://doi.org/10.1177/0734242X16633778

Chinda, T., N. Leewattana and N. Leeamnuayjaroen. 2012. The Study of Landfill Situations in Thailand. pp. 1–8. *In* **Proceedings of the 1st Mae Fah Luang University International Conference 2012.** Chiang rai: Mae Fah Luang University.

Ghobadi, M. 2024. Environmental capability assessment for MSW landfill site using geographic information system and multi criteria evaluation. **Advances in Environmental Technology** 10(1): 29–40. https://doi.org/10.22104/aet.2023.6210.1712

Iamchuen, N., B. Sukopromsun, N. Chaikaew and T. Anucharn. 2023. Network analysis of waste collection systems and guidelines for finding landfill areas: a case study of Songkhla municipality, Songkhla province. **Burapha Science Journal** 28(1): 364–383. [in Thai]

Mallick, J. 2021. Municipal solid waste landfill site selection based on fuzzy-AHP and geoinformation techniques in Asir region, Saudi Arabia. **Sustainability** 13(3): 1538. https://doi.org/10.3390/su13031538

Narongrit, C. 2005. **Geographic Information Systems for Environmental Management**. Phitsanulok: Department of Natural Resources and Environment, Faculty of Agriculture, Natural Resources and Environment, Naresuan University. 329 p. [in Thai]

Noinamsai, S. and P. Wachirawongsakorn. 2017. Assessment of suitable areas for sanitary landfill sites in uttaradit province using geographic information systems. **Phibunsongkhram Journal of Science, Technology and Environmental Research** 3(25): 77–85. [in Thai]

Pollution Control Department. 2024. **Information system for municipal waste management.** [Online]. Available https://thaimsw.pcd.go.th/_report_country.php (September 12, 2024).

Pollution Control Department. 2024. **Guidelines for assessing site suitability, design, construction and management of sanitary landfill sites**. [Online]. Available https://www.pcd.go.th/publication/5065/ (September 20, 2024).

Provincial Office of Natural Resources and Environment Lop Buri. 2024. **Provincial natural resources and environmental management plan (5-year period 2023–2027).** [Online]. Available https://lopburi.mnre.go.th/th/information/more/69 (September 12, 2024).

Rezaeisabzevar, Y., A. Bazargan and B. Zohourian. 2020. Landfill site selection using multi criteria decision making: Influential factors for comparing locations. **Journal of Environmental Sciences** 93: 170–184. https://doi.org/10.3390/rs15153754

Vichiansinpa, J., N. Wongram and C. Wantong. 2015. Application of geographic information system on sanitary landfill site selection: a case study of Lam Plai Mat district, Buriram province. **Rommayasan** 13(2): 19–32. [in Thai]

รายนามผู้ทรงคุณวุฒิ

บทความทางวิชาการที่ตีพิมพ์ในวารสารวิจัยและส่งเสริมวิชาการเกษตร ปีที่ 42 ฉบับที่ 1-3 ได้รับความอนุเคราะห์พิจารณาความถูกต้องทางวิชาการของบทความจากผู้ทรงคุณวุฒิจากหลากหลายสถาบัน/หน่วยงาน มหาวิทยาลัยแม่โจ้ขอขอบพระคุณผู้ทรงคุณวุฒิทุกท่าน ดังรายนามต่อไปนี้

มหาวิทยาลัยแม่โจ้

รองศาสตราจารย์ ดร. จักรพงษ์ พวงงามชื่น
รองศาสตราจารย์ ดร. จงกล พรมยะ
รองศาสตราจารย์ ดร. จีราภรณ์ อินทสาร
รองศาสตราจารย์ ดร. ฐิติพรรณ ฉิมสุข
รองศาสตราจารย์ ดร. ณัฐดนัย ลิขิตตระการ
รองศาสตราจารย์ ดร. ดวงพร อมรเลิศพิศาล
รองศาสตราจารย์ ดร. บงกชมาศ เอกเอี่ยม
รองศาสตราจารย์ ดร. ระวี คเณชาบริรักษ์
รองศาสตราจารย์ ดร. ศุภธิดา อ่ำทอง
รองศาสตราจารย์ ดร. สายสกุล ฟองมูล
รองศาสตราจารย์ ดร. สิริวัฒน์ สาครวาสี
รองศาสตราจารย์ ดร. อภินันท์ สุวรรณรักษ์
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ สพ.ญ.ดร. กฤดา ชูเกียรติศิริ
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. เก นันทะเสน
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. จักรพงษ์ กางโสภา
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. เฉลิมศรี นนทสวัสดิ์ศรี
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ชุติมา คงจรูญ
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. เทิดศักดิ์ โทณลักษณ์
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. บัวเรียม มณีวรรณ์
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ประภัสสร วรรณสถิตย์
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ปวีณา ภูมิสุทธาผล
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ภาวิณี อารีศรีสม
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ลักขณา พันธุ์แสนศรี
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. วรรณา มังกิตะ
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ศรัญญา สุวรรณอังกูร
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ศรีกาญจนา คล้ายเรือง

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ศิริกุล ตุลาสมบัติ
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. สุดาพร ตงศิริ
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. สุภาพร แสงศรีจันทร์
อาจารย์ ดร.ขจรเกียรติ์ ศรีนวลสม
อาจารย์ ดร.สุเทพ วัชรเวชศฤงคาร
อาจารย์ ดร.สุภารักษ์ คำพุฒ

มหาวิทยาลัยเชียงใหม่

รองศาสตราจารย์ ดร. เทิด ดิษยธนูวัฒน์
รองศาสตราจารย์ ดร. ธเนศ ศรีวิชัยลำพันธ์
รองศาสตราจารย์ ดร. ปิยะลักษณ์ พุทธวงศ์
รองศาสตราจารย์ ดร. ภูมน สุขวงศ์
รองศาสตราจารย์ ดร. ฟ้าไพลิน ไชยวรรณ
รองศาสตราจารย์ ดร. วสุ ปฐมอารีย์
รองศาสตราจารย์ ดร. อรชร มณีสงฆ์
รองศาสตราจารย์สุวรรณา เลาหะวิสุทธิ์
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ชนิดา สุวรรณประสิทธิ์
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. นริศ ยิ้มแย้ม
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ปณิดา กาจีนะ
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. พิไลรัก อินธิปัญญา
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. วรรณพร คลังเพชร อุเอโน๊ะ
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ศรีสุวรรณ นฤนาทวงศ์สกุล
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. สุรินทร์ นิลสำราญจิต

มหาวิทยาลัยแม่ฟ้าหลวง

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. อัจฉราวดี แผนสนิท

มหาวิทยาลัยพะเยา

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. วาสนา พิทักษ์พล

มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

รองศาสตราจารย์ ดร. เนตรนภิส เขียวขำ
รองศาสตราจารย์ ดร. รัติยา พงศ์พิสุทธา
รองศาสตราจารย์ ดร. วรชาติ วิศวพิพัฒน์

รองศาสตราจารย์ ดร. วิรัตน์ วาณิชย์ศรีรัตนา
รองศาสตราจารย์ ดร. สุภาพร แก้วกอ เลี่ยวไพโรจน์
รองศาสตราจารย์ ดร. สุรวิช วรรณไกรโรจน์
รองศาสตราจารย์คณิตา ตั้งคณานุรักษ์
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. เกรียงศักดิ์ ไทยพงษ์
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. จุฑามาศ ร่มแก้ว
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. เจษฎา เตชมหาศรานนท์
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. พิจิตรา แก้วสอน
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. วชิรญา อิ่มสบาย
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. อัญมณี อาวุชานนท์
ผู้ช่วยศาสตราจารย์พฤทธิ์ ราชรักษ์

มหาวิทยาลัยนเรศวร

ศาสตราจารย์ ดร. ธีระชัย บงการณ์
รองศาสตราจารย์ ดร. จรัณธร บุญญานุภาพ
รองศาสตราจารย์ ดร. มาฆะสิริ เชาวกุล
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. เชิดศักดิ์ ทัพใหญ่
อาจารย์ ดร. อนุพงศ์ วงค์ตามี

มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมาธิราช

รองศาสตราจารย์ ดร. ราณี อิสิชัยกุล
รองศาสตราจารย์ ดร. สุนันท์ สีสังข์
รองศาสตราจารย์ ดร. อัจฉรา โพธิ์ดี
รองศาสตราจารย์บำเพ็ญ เขียวหวาน

มหาวิทยาลัยรามคำแหง

รองศาสตราจารย์ชฎาพร ฑีฆาอุตมากร

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ศาสตราจารย์ ดร. ศักดา ธนิตกุล
รองศาสตราจารย์ ดร. ดุลยพงศ์ วงศ์แสวง
รองศาสตราจารย์ ดร. มานิตย์ จุมปา

มหาวิทยาธรรมศาสตร์

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. จุรีมาศ วังคีรี

มหาวิทยาลัยหอการค้าไทย

รองศาสตราจารย์ ดร. พิชญอร ไหมสุทธิสกุล

มหาวิทยาลัยบูรพา

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. เดชชาติ นิยมตรง

มหาวิทยาลัยศิลปากร

รองศาสตราจารย์ ดร. บุษราภรณ์ งามปัญญา
รองศาสตราจารย์อุไรวรรณ ไอยสุวรรณ์
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. สิงหนาท แสงสีหนาท
ผู้ช่วยศาสตราจารย์มนัสนันท์ นพรัตน์ไมตรี

มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ

รองศาสตราจารย์ ดร. พีระ ตั้งธรรมรักษ์

มหาวิทยาลัยขอนแก่น

รองศาสตราจารย์ ดร. ไกรเลิศ ทวีกุล
รองศาสตราจารย์ ดร. คุณเดช สุริหาร
รองศาสตราจารย์ ดร. นุชรีย์ ศิริ
รองศาสตราจารย์ ดร. บัณฑิต ยวงสร้อย
รองศาสตราจารย์ ดร. พฤกษา หล้าวงษา
รองศาสตราจารย์ ดร. ผกาวดี แก้วกันเนตร
รองศาสตราจารย์ ดร. ยศ บริสุทธิ์
รองศาสตราจารย์ ดร. อดุลย์ อภินันทร์
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ดวงรัตน์ ธงภักดิ์
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. นรินทร์ ชมภูพวง
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. วรวีร์ แสงอาวุธ
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. สิริรัตน์ แสนยงค์

มหาวิทยาลัยมหาสารคาม

ศาสตราจารย์ ดร. อนุชิตา มุ่งงาม
รองศาสตราจารย์ ดร. ศิริรัตน์ ดีศีลธรรม
รองศาสตราจารย์ ดร. สุวรรณ หวังเจริญเดช
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. เกรียงศักดิ์ บุญเที่ยง
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ประยูร วงศ์จันทรา
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. เพ็ญแข ธรรมเสนานุ
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. วรัญญู แก้วดวงตา
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ศิวา แก้วปลั่ง
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. สาธิต แสงประดิษฐ์
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. สุธีรา จันทร์เทศ

มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี

รองศาสตราจารย์ชัยวุฒิ วัดจัง
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. สุรชัย สุวรรณลี
อาจารย์ ดร. นิมมานรดี พรหมทอง

มหาวิทยาลัยวลัยลักษณ์

รองศาสตราจารย์ ดร. สมนึก เอื้อจิระพงษ์พันธ์

มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

รองศาสตราจารย์ ดร. ชัยรัตน์ นิลนนท์
รองศาสตราจารย์ ดร. นริศ ท้าวจันทร์
รองศาสตราจารย์ ดร. อัจฉรา เพ็งหนู
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ปุณณาณี สัมภาวะผล
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. อดิศัย รุ่งวิชานิวัฒน์

มหาวิทยาลัยทักษิณ

รองศาสตราจารย์ ดร. สรพงค์ เบญจศรี
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ภาณุมาศ ฤทธิไชย
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. สุขุมาล หวานแก้ว

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย

รองศาสตราจารย์ ดร. ชุตินุช สุจริต
รองศาสตราจารย์ ดร. ธงชัย นิติรัฐสุวรรณ
รองศาสตราจารย์ ดร. วรวุฒิ เกิดปราง
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. จรีพร เชื้อเจ็ดตน
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. จรีวรรณ จันทร์คง
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. จุฑาทิพย์ อาจชมภู
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. เสน่ห์ รักเกื้อ
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. วิกิจ ผินรับ

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. อุไร กุลบุญ
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ น.สพ.ดร. สุทธิดล ปิยะเดชสุนทร

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา

รองศาสตราจารย์ ดร. ชิติ ศรีตนทิพย์
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. อรรณพ ทัศนอุดม

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก

รองศาสตราจารย์ ดร. ปราโมทย์ พรสุริยา
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ดุสิต ศรีวิไล

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. นพรัตน์ สีม่วง

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ภัทรารัตน์ เทียมเก่า

สถาบันบัณฑิตพัฒนบริหารศาสตร์

รองศาสตราจารย์ ดร. เจริญชัย เอกมาไพศาล
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. พัชรวรรณ นุชประยูร

มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงใหม่

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. นักสิทธิ์ ปัญโญใหญ่

มหาวิทยาลัยราชภัฏสงขลา

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. จักรกริช อนันตศรัณย์

มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงราย

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ศศิวิมล ภู่พวง

มหาวิทยาลัยราชภัฏนครปฐม

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. พิทักษ์พงศ์ ป้อมปราณี

มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบุรี

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. รุ่งกานต์ กล้าหาญ

มหาวิทยาลัยราชภัฏบุรีรัมย์

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ณัฐวุฒิ ทะนันไธสง

มหาวิทยาลัยราชภัฏหมู่บ้านจอมบึง

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ยุพา สะรุโณ

มหาวิทยาลัยราชภัฏศรีสะเกษ

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ปิยฉัตร ทองแพง

มหาวิทยาลัยราชภัฏสุราษฎร์ธานี

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ไซนีย๊ะ สะมาลา

วารสารวิจัยและส่งเสริมวิชาการเกษตร เป็นวารสารราย 4 เดือน กำหนดออกปีละ 3 ฉบับ โดยเริ่มฉบับที่ 1 ในเดือนมกราคม ฉบับที่ 2 ในเดือนพฤษภาคม และฉบับที่ 3 ในเดือนกันยายน มีจุดประสงค์หลักเพื่อเผยแพร่ผลงานวิจัยของมหาวิทยาลัยแม่โจ้ และองค์กร ที่เกี่ยวข้องกับการพัฒนาการเกษตรทั่วประเทศ โดยมีการเผยแพร่ออนไลน์ (Journal Online) ในรูปวารสารอิเล็กทรอนิกส์ (ISSN 2985-0118 (Online) สำหรับหน่วยงานที่เกี่ยวข้องกับการพัฒนาการเกษตร เรื่องที่จะตีพิมพ์ในวารสาร นอกจากบทความวิจัยแล้ว บทความทางวิชาการอื่น ๆ ที่เป็นการแสดงความคิดใหม่ หรือสมมุติฐานใหม่ที่มีหลักฐานอ้างอิง หรือเป็นการแสดงความคิดเห็นอย่างกว้างขวางหรือลึกซึ้งในสาขาวิชาการใดสาขาวิชาการหนึ่งที่เกี่ยวข้องกับการเกษตร หรือเป็นการรวบรวมข้อมูลจากแหล่งต่าง ๆ ก็มีสิทธิ์ได้รับการตรวจสอบทางวิชาการจากผู้ทรงคุณวุฒิที่เชี่ยวชาญในสาขาที่เกี่ยวข้องกับบทความนั้น ๆ อย่างน้อย 3 ท่าน พิจารณาให้ลงตีพิมพ์ได้เช่นเดียวกัน

การเตรียมต้นฉบับ

1. ต้นฉบับ เผยแพร่บทความเป็นภาษาไทย โดยใช้ตัวอักษร TH Sarabun NEW ขนาดตัวอักษร 16 ตัวหนา ในส่วนของหัวข้อเรื่อง และขนาดตัวอักษร 15 ตัวปรกติ ในส่วนของเนื้อหา พิมพ์หน้าเดียว เว้นขอบทั้ง 4 ด้าน 1 นิ้ว (2.5 ซม.) พร้อมระบุเลขหน้า ความยาวของเนื้อเรื่อง รวมรูปภาพ ตาราง และเอกสารอ้างอิงต้องไม่เกิน 10 หน้า

2. ชื่อเรื่อง ต้องมีทั้งภาษาไทยและภาษาอังกฤษ ควรกระชับและตรงกับเนื้อเรื่อง ขนาดตัวอักษร 18 ตัวหนา

3. ชื่อผู้แต่ง และสถานที่ติดต่อ ต้องมีชื่อเต็ม-นามสกุลเต็มทั้งภาษาไทยและภาษาอังกฤษ ขนาดตัวอักษร 15 ตัวหนา และระบุหน่วยงานหรือสถาบันที่สังกัด ของผู้แต่งหลักและผู้แต่งร่วมทุกคน และ E-mail address ของผู้แต่งหลักไว้ด้วย ขนาดตัวอักษร 12 ตัวปรกติ

4. บทคัดย่อ (Abstract) บทความวิจัย/บทความทางวิชาการอื่น ๆ จะต้องมีบทคัดย่อทั้งภาษาไทยและภาษาอังกฤษ ความยาวไม่เกิน 15 บรรทัด โดยเขียนให้กะทัดรัด ตรงประเด็น และให้สาระสำคัญ

5. คำสำคัญ (Keywords) ต้องมีคำสำคัญทั้งภาษาไทย และภาษาอังกฤษไว้ท้ายบทคัดย่อของแต่ละภาษา อย่างละไม่เกิน 5 คำ

6. เนื้อเรื่อง

(1) คำนำ อธิบายความสำคัญของปัญหาและวัตถุประสงค์ของการวิจัย อาจรวมการตรวจเอกสารเข้าไว้ด้วย ในการอ้างอิงเอกสารให้เขียนชื่อผู้แต่ง และปีที่ตีพิมพ์ อยู่ในวงเล็บเดียวกัน หรือเขียนชื่อผู้แต่ง แล้วเขียนปีที่ตีพิมพ์ ไว้ในวงเล็บแล้วแต่กรณี **เฉพาะภาษาอังกฤษ** ดังนี้ “.....โรคใบหงิกมีพบทั่วไปในประเทศบังคลาเทศ จีน อินเดีย อินโดนีเซีย ญี่ปุ่น มาเลเซีย ฟิลิปปินส์ ศรีลังกา ไต้หวัน ไทย (Boccardo and Milne, 1984; Ling *et al.*, 1978) ในประเทศไทยนั้น นอกจากก่อความเสียหายกับ ข้าวปลูกทั้งชนิด Japonica และ Indica (*Oryza sativa*) พันธุ์ต่างๆ แล้ว Thawat (2001) ยังพบว่า ทำความเสียหายได้กับข้าวไร่และข้าวป่าต่างๆ.....”

(2) อุปกรณ์และวิธีการ/วิธีดำเนินการวิจัย อธิบายเครื่องมือ พร้อมระบุวิธีการวิจัย วิธีการเก็บข้อมูล ระยะเวลาและปีที่ทำการวิจัย รวมทั้งวิธีการวิเคราะห์ข้อมูล ให้บรรยายโดยสรุปและไม่จำเป็นต้องระบุวิธีการที่เป็นที่รู้กันทั่วไป

(3) ผลการวิจัย ไม่จำเป็นต้องแสดงวิธีการวิเคราะห์ทางสถิติ แต่ให้เสนอในรูปของตาราง และรูปภาพโดยสรุปหลังจากวิเคราะห์ทางสถิติแล้ว ทั้งนี้ **คำอธิบายและรายละเอียดต่าง ๆ ของตารางและรูปภาพ ต้องเป็นภาษาอังกฤษเท่านั้น** โดยมีความชัดเจน กะทัดรัด และมีหมายเลขกำกับด้านบนของตารางและด้านล่างของรูปภาพ และเมื่ออ้างถึงในเนื้อหาให้ใช้เป็นคำว่า Table และ Figure

(4) การวิจารณ์ผล การสรุปผล และข้อเสนอแนะ ควรวิจารณ์ผลการวิจัยพร้อมทั้งสรุปประเด็น และสาระสำคัญของงานวิจัย หรือให้ข้อเสนอแนะบนพื้นฐานของผลการวิจัย

หมายเหตุ: หน่วยวัดตามระบบต่างๆ ให้ใช้ตัวย่อตามมาตรฐานในการเขียนที่กำหนดไว้ เช่น เซนติเมตร = ซม. ตารางเมตร = ตร.ม. มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม = มก./กก. แต่ถ้าเป็นหน่วยวัดที่มีพยางค์เดียวให้ใช้คำเต็มตามปรกติ เช่น เมตร กรัม ลิตร

7. กิตติกรรมประกาศ เพื่อแสดงความขอบคุณแก่ผู้ให้ทุนวิจัย หรือผู้ที่ได้ให้ความช่วยเหลือในการวิจัย

8. เอกสารอ้างอิง **รายชื่อเอกสารที่ใช้เป็นหลักในการค้นคว้าวิจัยและมีการอ้างถึงในเนื้อหา ต้องแสดงเป็นภาษาอังกฤษเท่านั้น กรณีที่อ้างอิงจากเอกสารภาษาไทยหรือภาษาอื่นๆ ให้แปลเป็นภาษาอังกฤษ โดยมีวงเล็บกำกับท้ายเอกสาร [in Thai]** หรือภาษาอื่นๆ ตามคำแนะนำวิธีการเขียน ดังนี้

การเขียนเอกสารอ้างอิง

การเขียนอ้างอิงภายในเนื้อหา

ในการอ้างอิงเอกสารให้ใช้นามสกุลผู้แต่ง และปีที่ตีพิมพ์ อยู่ในวงเล็บเดียวกัน หรือเขียนนามสกุลผู้แต่ง แล้วเขียนปีที่ตีพิมพ์ไว้ในวงเล็บแล้วแต่กรณี โดย**เป็นภาษาอังกฤษ** ดังนี้

"……..โรคใบหงิกมีพบทั่วไปในประเทศบังคลาเทศ จีน อินเดีย อินโดนีเซีย ญี่ปุ่น มาเลเซีย ฟิลิปปินส์ ศรีลังกา ไต้หวัน ไทย (Boccardo and Milne, 1984; Ling *et al.*, 1978) ในประเทศไทยนั้น นอกจากก่อความเสียหายกับข้าวปลูกทั้งชนิด Japonica และ Indica (*Oryza sativa*) พันธุ์ต่าง ๆ แล้ว Thawat (2001) ยังพบว่า ทำความเสียหายได้กับข้าวไร่และข้าวป่าต่าง ๆ……"

1. บทความจากวารสารวิชาการมาตรฐาน

1.1 ผู้เขียนคนเดียวหรือหลายคน

ชื่อผู้เขียนบทความคนที่ 1,/ผู้เขียนบทความคนที่ 2/และ/ผู้เขียนบทความคนสุดท้าย.//ปีที่พิมพ์.//ชื่อบทความ.//**ชื่อวารสาร**/เลขปีที่(เลขฉบับที่):/เลขหน้า.

Koiprasert, H. and P. Niranatlumpong. 2004. Investigation of method for stainless steel welding wire as a replacement for arc wire comsumables. **Songklanakarin Journal of Science and Technology.** 27(1): 91-100. [in Thai]

Nadeem, M.Y. and M. Ibrahim. 2002. Phosphorus management in wheat-rice cropping system. **Pakistan Journal of Soil Science**. 21(4): 21-23.

Chowdhury, M.A.H., R. Begum, M.R. Kabit and H.M. Zakir. 2002. Plant and animal residue decomposition and transformation of S and P in soil. **Pakistan Journal of Biological Sciences** 5(7): 736-739.

2. หนังสือ

2.1 ผู้เขียนคนเดียวหรือหลายคน

ชื่อผู้แต่งคนที่ 1,/ผู้แต่งคนที่ 2/และผู้แต่งคนสุดท้าย.//ปีที่พิมพ์.//**ชื่อหนังสือ.**//ครั้งที่พิมพ์ (ถ้ามี).//สถานที่พิมพ์:/สำนักพิมพ์.//จำนวนหน้า.

Peyachoknagu, S. 2000. **Pan Thu Vis Sa Wa Kum.** Bangkok: Kasetsart University Press. 256 p. [in Thai]

Aksornkoae, S. 1999. **Ecology and Management of Mangroves**. Bangkok: Kasetsart University Press. 198 p.

Rajeshwar, K. and J.G. Ibanez. 1997. **Environmental Electrochemistry**. San Diego: Academic Press. 327 p.

2.2 บทหนึ่งในหนังสือ

ชื่อผู้เขียนบทความ.//ปีที่พิมพ์.//ชื่อบทความ.//น./เลขหน้าที่ปรากฏเรื่อง.//*ใน*/ชื่อผู้รับผิดชอบ.//**ชื่อหนังสือ.**//รายละเอียดอื่นๆ (ถ้ามี). //ครั้งที่พิมพ์ (ถ้ามี).//สถานที่พิมพ์:/สำนักพิมพ์.

Hill, S.E. 1996. Emultions. pp. 153-185. *In* Hall, G.M. (ed.). **Methods of Testing Protein Functionality**. London: Chapman & Hall.

Jacober, L.F. and A.G. Rand. 1982. Biochemical of Seafood. pp. 347-365. *In* Martin, R.E., G.J. Flick, C.E. Hebard and D.R. Ward (eds.). **Chemistry and Biochemistry of Marine Food Products.** Westport: AVI Inc.

2.3 หนังสือที่มีผู้รับผิดชอบในหน้าที่เป็นผู้รวบรวม ผู้เรียบเรียง หรือบรรณาธิการ

ชื่อผู้รับผิดชอบ.//(หน้าที่รับผิดชอบ).// ปีที่พิมพ์.//**ชื่อเรื่อง.**//ครั้งที่พิมพ์ (ถ้ามี).//สถานที่พิมพ์:/สำนักพิมพ์.//จำนวนหน้า.

Tosirichok, K. (Editor). 1994. **Karn Rak Sa Doi Sa Moon Pri**. 1st. Bangkok: Mayik Publisher. 172 p. [in Thai]

Byrappa, K. and M. Yoshimura. (eds.). 2001. **Handbook of Hydrothermal Technology**. New Jersey: Noyes Publication. 854 p.

3. เอกสารอื่นๆ

3.1 วิทยานิพนธ์

ชื่อผู้แต่ง.//ปีที่พิมพ์.//**ชื่อวิทยานิพนธ์.**//ระดับของวิทยานิพนธ์.//ชื่อสถาบันการศึกษา.//จำนวนหน้า.

Soitongcome, P. 1987. **Tannin Extraction from Rhizophora's Bark for Retanning.** Master Thesis. Kasetsart University. 113 p. [in Thai]

Saiklao, W. 2002. **Adaptive Bandwidth Allocation Control for Virtual Paths in Broadband Networks.** Doctoral Dissertation. Georgia Institute of Technology. 86 p.

3.2 รายงานการประชุมวิชาการ รายงานการสัมมนา ปาฐกถา รายงานประจำปี

ชื่อผู้เขียนบทความ.//ปีที่พิมพ์.//ชื่อบทความ.//น./เลขหน้าที่ปรากฏเรื่อง.//*ใน*/**ชื่อการประชุม.**//รายละเอียดอื่นๆ (ถ้ามี).// ครั้งที่พิมพ์ (ถ้ามี).//สถานที่พิมพ์: สำนักพิมพ์.

Summadee, P. and B. Leenanon. 2013. Production of Probiotic Kefir Product. p**.** 109-116 *In* **Proceedings of the 12th MJU Annual Conference (Poster).** Chiang Mai: Maejo University. [in Thai]

Coates, J. 2013. Clinical Trial for Canine Degenerative Myelopathy. pp. 29-31. *In* **Proceedings of ACVIM Specialty Symposium (Pre-forum) 12-15 June 2013.** Seattle: American College of Veterinary Internal Medicine (ACVIM).

3.3 รายงานผลการวิจัย

ชื่อผู้เขียนงานวิจัย.//ปีที่พิมพ์.//**ชื่องานวิจัย.**//จำนวนหน้า.//*ใน*/รายงานผลการวิจัย.//สถานที่พิมพ์:/ชื่อหน่วยงาน.

Pooprompan, P., K. Duangsong and R. Sribaopern. 2001. **DNA fingerprinting of Thai native orchid *Vanda coerulea***. 62 p. *In* Research Report. Chiang Mai: Maejo University. [in Thai]

Theraumpon, N. 2003. **Automatic Classification of White Blood Cells in Bone Marrow Images**. 74 p. *In* Research Report. Chiang Mai: Chiang Mai University.

3.4 บทความจากวารสาร

ชื่อผู้เขียนบทความ.//ปีที่ตีพิมพ์.//ชื่อบทความ.//**ชื่อวารสาร. (ชื่อเต็มของวารสาร)**//ปีที่ของนิตยสาร(เล่มที่): เลขที่หน้าที่อ้างอิง.

Srinuansom, K. 2018. Half-artficial breeding of *Monopterus albus*. **Maejo Vision** 18(4): 33-37. [in Thai]

3.5 บทความจากหนังสือพิมพ์

ชื่อผู้เขียนบทความ.//ปีที่ตีพิมพ์.//ชื่อบทความ.//**ชื่อหนังสือพิมพ์.**//(เดือน/วันที่/ปี):/เลขที่หน้าที่อ้างอิง.

Manapaisarn, S. 2006. Kra Sate Tra Korn Thai Nai A Na Koth. **Thai Rath**. (January 10, 2006): 7. [in Thai]

3.6 บทความออนไลน์

- **มีเลข DOI (Digital Object Identifier)**

ชื่อผู้เขียนบทความ.//ปีที่ตีพิมพ์.//ชื่อบทความ.//**ชื่อวารสาร**// ปีที่:/หน้าเริ่มต้น-สิ้นสุด. https://doi.org/xxxxxxxxxxxxxx

Rodcharoen, E., N.L. Bruce and P. Pholpunthin. 2017. *Cirolana phuketensis*, a new species of marine

isopod (Crustacea, Isopoda, Cirolanidae) from the Andaman sea coast of Thailand. **ZooKeys** 695(2): 1-17. https://doi.org/10.3897/zookeys.695.13771.

- **ไม่มีเลข DOI (Digital Object Identifier)**

ชื่อผู้เขียนบทความ.//ปีที่ตีพิมพ์.//ชื่อบทความ.//**ชื่อวารสาร.**// ปีที่/หน้าเริ่มต้น-สิ้นสุด.//[Online].//Available http://www.xxxxxxxxxx /(วันที่สืบค้น).

Hasler, K., S. Bröring, S.W.F. Omta and H.W. Olfs. 2015. Life cycle assessment (LCA) of different fertilizer product types. **European Journal of Agronomy** 69: 41-51. [Online]. Available https://doi.org/10.1016/j.eja.2015.06.001 (March 20, 2020)

4. แหล่งข้อมูลอิเลคทรอนิกส์

ผู้แต่งหรือผู้รับผิดชอบ.//ปีที่บันทึกข้อมูล.//**ชื่อเรื่อง.**//[ระบบออนไลน์].//แหล่งที่มา/ระบุแหล่งการติดต่อเครือข่ายหรือการถ่ายโอนแฟ้มข้อมูล ชื่อแฟ้มข้อมูล/(เดือน/วันที่/ปี ที่ค้นข้อมูล).

Maythiyanon, T., N. Piriyarungroj and S. Soponarit. 2004. Novel vortex-fluidized bed combustor with two combustion chambers for rice-husk fuel. **SJST** 26(6): 875-893. [Online]. Available http://www2.psu.ac.th/PresidentOffice/EduService/Journal/Firstpage.htm (September 22, 2005). [in Thai]

National Economic and Social Development Board (NESDB). 2001. **Input-output tables of Thailand.** [Online]. Available http://www.nesdb.go.th (August 8, 2001).

Singh, M. and R.P. Singh. 2001. **Siderophore producing bacteria-as potential biocontrol agents of mushroom disease.** [Online]. Available http://www.uio.no/conferences June2000.htm# Samuels (July 3, 2001).

Guide for Authors

Manuscripts submitted for publication should be of high academic merit and are accepted on condition that they are contributed solely to the Journal of Agricultural Research and Extension. Manuscripts, parts of which have been previously published in conference proceedings, may be accepted if they contain additional material not previously published and not currently under consideration for publication elsewhere.

Submission of a multi-authored manuscript implies the consent of all the participating authors. All manuscripts considered for publication will be peer-reviewed by at least 3 independent referees.

Submission checklist

Manuscript submission must include title page, abstract, keywords, text, tables, figures, acknowledgments, reference list and appendices (if necessary). The title page of this file should include the title of the article, full names, official name and affiliations of all authors, E-mail address, telephone and fax numbers and full postal address of the corresponding author.

Preparation and Submission of Manuscripts

Authors submitting manuscripts for consideration for publication should follow the following guidelines.

1. Manuscript texts must be written using high-quality language. For non-native English language authors, the article should be proof-read by a language specialist before it is sent to Journal.
2. Manuscript texts should not exceed than 10 pages and the combined number of figures and tables. The inclusion of more figures and tables will reduce the word allowance, and vice versa.
3. The manuscript text and tables should be created using Microsoft Word.
4. Manuscript texts should be prepared single column, with sufficient margins (1.0 inch) for editorial and proof-reader's marks. 15 pt TH Sarabun NEW font should be used throughout and all pages numbered consecutively.
5. Abstracts should not exceed than 200 words. About 5 keywords should also be provided.
6. All measures in the text should be reported in abbreviation
7. Tables and figures should each be numbered consecutively.
8. Acknowledgments should be as brief as possible, in a separate section before the references, not in the text or as footnotes.
9. Citations of published literature in the text should be given in the form of author and year in parentheses; (Hoffmann *et al.*, 2001), or, if the name forms part of a sentence, it should be followed by the year in parenthesis; Hoffmann *et al*. (2001). All references mentioned in the reference list must be cited in the text, and vice versa. The references section at the end of the manuscript should list all and only the references cited in the text in alphabetical order of the first author's surname. The following are examples of reference writing.

Reference to a journal article:

Chowdhury, M.A.H., R. Begum, M.R. Kabit and H.M. Zakir. 2002. Plant and animal residue decomposition and transformation of S and P in soil. **Pakistan Journal of Biological Sciences** 5: 736-739.

Reference to article or abstract in a conference proceedings:

Coates, J. 2013. Clinical Trial for Canine Degenerative Myelopathy. pp. 29-31. *In* **Proceedings of ACVIM Specialty Symposium (Pre-forum) 12-15 June 2013.** Seattle: American College of Veterinary Internal Medicine (ACVIM).

Reference to a book:

Rajeshwar, K. and J.G. Ibanez. 1997. **Environmental Electrochemistry**. San Diego: Academic Press. 327 p.

Reference to an edited book:

Hill, S.E. 1996. Emultions. pp. 153-185. *In* Hall, G.M. (ed.). **Methods of Testing Protein Functionality**. London: Chapman & Hall.

Reference to journal online:

Rodcharoen, E., N.L. Bruce and P. Pholpunthin. 2017. *Cirolana phuketensis*, a new species of

marine isopod (Crustacea, Isopoda, Cirolanidae) from the Andaman sea coast of Thailand. **ZooKeys** 695(2): 1-17. https://doi.org/10.3897/zookeys.695.13771.

Hasler, K., S. Bröring, S.W.F. Omta and H.W. Olfs. 2015. Life cycle assessment (LCA) of different fertilizer product types. **European Journal of Agronomy** 69: 41-51. [Online]. Available https://doi.org/10.1016/j.eja.2015.06.001 (March 20, 2020)

Reference to an electronic data source (used only when unavoidable): Supplier/Database name (Database identifier or number)/Item or accession number (Access date) should be included
National Economic and Social Development Board (NESDB). 2001. **Input-output tables of Thailand.** [Online]. Available http://www.nesdb.go.th (August 8, 2001).

10. Submission of manuscript must conform to the format of the Journal of Agricultural Research and Extension and cover letter to the editor. All should be directed to the editor at the http:tci-thaijo.org/index.php/MJUJN/index

การส่งต้นฉบับ การตรวจสอบเบื้องต้น และการแก้ไข

1) ส่งไฟล์ต้นฉบับ **ให้มีรายละเอียดครบตรงตามคำแนะนำในการเตรียมต้นฉบับ และส่งพร้อมใบลงทะเบียนวารสาร** โดยส่งผ่านระบบ ThaiJo ของวารสารวิจัยและส่งเสริมวิชาการเกษตร หรือลิ้งค์ https://www.tci-thaijo.org/index.php/MJUJN/index เท่านั้น

2) กองบรรณาธิการจะพิจารณาบทความในเบื้องต้น ในกรณีที่ต้องแก้ไขจะแจ้งให้เจ้าของบทความทำการแก้ไขก่อนนำส่งต่อให้ผู้ทรงคุณวุฒิพิจารณาในลำดับต่อไป สำหรับบทความที่ไม่ได้รับการพิจารณาให้ดำเนินการต่อจะส่งต้นฉบับคืนให้เจ้าของบทความ

3) บทความที่ได้รับการพิจารณาจากกองบรรณาธิการให้ดำเนินการต่อ จะได้รับการตรวจสอบทางวิชาการจากผู้ทรงคุณวุฒิ อย่างน้อยบทความละ 3 ท่าน ที่เชี่ยวชาญในสาขาที่เกี่ยวข้องกับบทความนั้น ๆ และบทความที่ได้รับการพิจารณาให้ตีพิมพ์ กองบรรณาธิการจะส่งข้อคิดเห็นและข้อเสนอแนะจากผู้ทรงคุณวุฒิ พร้อมทั้งต้นฉบับให้เจ้าของบทความปรับปรุงแก้ไข

4) บทความที่ได้รับการตีพิมพ์จะมีการเผยแพร่ออนไลน์ (Journal Online) ในรูปแบบวารสารอิเล็กทรอนิกส์ที่ https://www.tci-thaijo.org/index.php/MJUJN/index

JOURNAL OF AGRICULTURAL RESEARCH AND EXTENSION

Honorable Consultants: President of Maejo University
Vice President (Asst. Prof. Dr. Suriyajaras Techatunminasakul)
Director, The Office of Agricultural Research and Extension
Vice Director – Academic Service
The Office of Agricultural Research and Extension
Vice Director – Research Affairs
The Office of Agricultural Research and Extension
Vice Director – Administration
The Office of Agricultural Research and Extension

Editor-in Chief: Assoc. Prof. Dr. Kriangsak Sri-Ngernyuang

Associate Editor: Asst. Prof. Dr. Witchaphart Sungpalee

Assistant Editor: Asst. Prof. Dr. Sutheera Hermhuk
Dr. Chuthamat Atnaseo

Editorial Board:

Prof. Emeritus Dr. Savitree	Limtong	Kasetsart University
Prof. Dr. Dokrak	Marod	Kasetsart University
Prof. Dr. Uthairat	Na-Nakorn	Kasetsart University
Prof. Dr. Alissara	Reungsang	Kasetsart University
Prof. Dr. Chatchai	Ngernsaengsaruay	Kasetsart University
Assoc. Prof. Dr. Pichai	Tongdeelert	Kasetsart University
Assoc. Prof. Dr. Skorn	Koonawootrittriron	Kasetsart University
Prof. Dr. Monchai	Duangjinda	Khon Kaen University
Assoc. Prof. Dr. Sakkarin	Nonthapot	Khon Kaen University
Assoc. Prof. Dr. Boonmee	Siri	Khon Kaen University
Assoc. Prof. Dr. Pongsakorn	Suppakittpaisarn	Chiang Mai University
Assoc. Prof. Dr. Wallratat	Intaruccomporn	Chiang Mai University
Asst. Prof. Dr. Piyawan	Suttiprapan	Chiang Mai University
Assoc. Prof. Dr. Wipharat	Chuachuad Chaiyasith	Naresuan University
Assoc. Prof. Dr. Jaruntorn	Boonyanuphap	Naresuan University
Assoc. Prof. Dr. Narit	Taochan	Prince of Songkla University
Prof. Dr. Arnat	Tancho	Maejo University
Assoc. Prof. Dr. Teeka	Yothapakdee	Maejo University
Assoc. Prof. Dr. Siriwat	Sakhonwasee	Maejo University
Assoc. Prof. Dr. Jukkaphong	Poungngamchuen	Maejo University
Assoc. Prof. Dr. Doungporn	Amornlerdpison	Maejo University
Assoc. Prof. Dr. Jongkon	Promya	Maejo University
Asst. Prof. Dr. Kanjana	Narkprasom	Maejo University
Asst. Prof. Dr. Sureewan	Mekkamol	Maejo University
Asst. Prof. Dr. Piyanuch	Niamsup	Maejo University

Proofreading and Language Editing Division Mrs. Thipsuda Pookmanee Dr. Junpen Sara

Operation committee: Ms. Ranrana Kayun Ms. Ampar Sansai
Mr. Kiattisak Tasoon

Journal of Agricultural Research and Extension is a scholarly publication of the Office of Agricultural Research and Extension, Maejo University. It is dedicated to the dissemination of research and academic articles in the fields of agriculture, food, health, and the environment, as well as agricultural innovation and extension. The journal is published three times per year as an online journal, with ISSN 2985-0118 (Online). All submitted manuscripts undergo a rigorous peer-review process by at least three qualified reviewers. Contact with the Journal should be address to:

The Editor, Journal of Agricultural Research and Extension
Academic Services Administration Division, Office of Agricultural Research and Extension
Maejo University, Chiang Mai 50290, Thailand

Tel: +66-53-87-3411
E-mail: Mju_journal@gmaejo.mju.ac.th
Web site: https://li01.tci-thaijo.org/index.php/MJUJN/index

JOURNAL OF AGRICULTURAL RESEARCH AND EXTENSION

Office of Agricultural Research & Extension — Maejo University

Vol. 42 No. 3 September – December 2025 — ISSN 2985-0118

Agri. RESEARCH & EXTENSION

Micropropagation of Champedak (*Artocarpus* integer (Thunb.) Merr.) and Acclimatization of Plantlets in the Greenhouse Conditions
Sakulrat Hansuek, Napassawan Liamnimitr and Wattana Na Nakhon 1-17

Performance Testing of 'Khai Nao Nan' Pumpkin Varieties Across Two Planting Seasons
Chanulak Khanobdee, Pattharaporn Srisamatthakarn, Chaiwat Pongsukhumalkul and Pornpana Jinawong 18-27

Influence of Organic Chemical Fertilizer on Growth, Physiology, Yield and Total Lactone Content of *Andrographis paniculata* in Pot Conditions
Parinyawadee Sritontip, Chiti Sritontip, Seksan Wongsiri, Butsarin Boontem Pimrumpa Samran and Manassawee Wangchailerd 28-40

The Effect of Halopriming with KNO_3 and $CaCl_2$ Solutions on Seed Germination and Vigor of Chinese Mustard
Pichittra Kaewsorn, Piyarat Ruchinarong and Raksak Sermsak 41-54

Influencing of Some Environmental Factors Affected on Vegetation Characteristics in Phu Pra Bhat, Phu Hin Jom Tad - Phu Pra Bhat National Park Udon Thani Province
Kittichai Kaungku, Penpilai Piankhit, Monthon Nosaengsri, Kritsada Phongkaranyapas and Lamthai Asanok 55-73

Antimicrobial Activities against Rice Pathogens of *Bacillus velezensis* and Their Biosurfactant Production
Thanchanok Auearchin, Varaporn Saengtong, Viruntachar Kruefu Piyanuch Niamsup and Srikanjana Klayraung 74-88

The Evaluation of Potential Agriculturally Beneficial Bacteria from Rhizosphere Soil of Sangyod Rice
Pajongsuk Sutarut, Salwa Topee and Saijai Wattanasen 89-102

Bio-innovative Production of Soil Amendment from Spent Oyster Mushroom Substrates Co-fermented with Agricultural Organic Waste Using Endophytic Bacteria as Inoculant
Nuttaporn Chanchay, Soifar Diskhommao and Jutamas Kamnan 103-116

Development of Ready-made Mor Hom Natural Dyes Using Pure Microbial Inoculum Powder
Nuttaporn Chanchay, Korn Yenarom, Luksiga Sungsiri and Ansaya Boonpajaub 117-128

Effects of Seasons on Water Quality and Chlorophyll a Content at Lamae Coast, Lamae District, Chumphon Province
Pornpimol Pimolrat, Nutchapat Suksai, Patcharawalai Sriyasak and Supannee Suwanpakde 129-140

Investigation of Mango Flesh Disorder Using Near-Infrared Spectroscopy (NIRS)
Patomporn Chaiya, Katthareeya Sonthiya, Jutamas Sanguansub, Chantalak Tiyayon, Phonkrit Maniwara and Pimjai Seehanam 141-150

Effect of Drying Process on the Quality and Nutritional Value of Seasoning Powder from Salmon By-Products in Industrial
Rangsita Chunhom, Papimon Prachongpun and Lalita Pankaew 151-161

Effect of Sodium, Calcium, and Potassium Salts on Mozzarella Cheese Properties
Kamonpan Pingdee, Ruangkhaw Tanga and Kornpaka Arkanit 162-172

Capacity Development of Agricultural Extension Officers in Pest Management and the Implementation of Local Plant Clinics Department of Agricultural Extension
Chulaporn Noksakul, Chidchanok Chaiyapong and Apinya Yensabai 173-188

Guidelines for Creating Community Food Security through Local Rice Production in Thung Song District, Nakhon Si Thammarat Province
Rattana Unjan, Sudanai Krualee and Napassawan Liamnimitr 189-203

Unravelling Climate Change's Impact and Risk on Wet Season Rice Production in Irrigated Areas: An Econometric Case Study from Northeastern Thailand
Thanakorn Saensan, Nirote Sinnarong, Waraporn Nunthasen and Ke Nunthasen 204-220

The Study of Cost and Benefit of Northern Herbs Pharmaceutical Product "Ma-Kwaen"
Chaiyot Sumritsakun, Atchaya Paikhamnam and Arunee Yodbutr 221-230

Product Development Guidelines and Marketing Mix Factors Affecting the Purchasing Decision of Semen Diluents for the Breeding of Fighting Cocks and Show Chickens
Napapach Chuaychu-noo, Phaisan Kakulpim and Jareewan Chankong 231-245

Quantity and Chemical Composition of Food Waste from Hotels in Cha-am Municipality Phetchaburi Province and Hua Hin Municipality, Prachuap Khiri Khan Province
Auraiwan Isuwan, Thanawadee Promchan and Jeerasak Chobtang 246-257

Application of Geographic Information System for Assessing Suitable Areas for Sanitary Landfill According to Sanitary Standards Sites in Lop Buri Province
Kwanchai Chai-udom, Warintorn Sudsawang and Amika Rosmode 258-273