



Online ISSN : 2773-9627

Print ISSN : 1685-8379

PRAWARUN

Vol. 21 No. 2 / DECEMBER 2024

PRAWARUN

AGRICULTURAL JOURNAL

Faculty of Agricultural Technology, Rajabhat Maha Sarakham University, Thailand

วารสาร เกษตรพระวรุณ

ปีที่ 21 ฉบับที่ 2 ธันวาคม 2567



วารสารเกษตรพระวรุณ

PRAWARUN AGRICULTURAL JOURNAL

ISSN 1685-8379 (PRINT) ISSN 2773-9627 (ONLINE)

วัตถุประสงค์

1. เพื่อเผยแพร่ความรู้ทางวิชาการของคณาจารย์ นักวิจัย นักวิชาการ และผู้สนใจในสาขาเทคโนโลยีการเกษตร ในมหาวิทยาลัย วิทยาลัย และองค์กรทางการเกษตรทั้งภาครัฐและเอกชน
2. เป็นเวทีทางวิชาการเพื่อแลกเปลี่ยนความรู้และวิทยาการทางด้านการเกษตรระหว่างนักวิชาการ ผู้ประกอบการ และผู้รู้อื่น ๆ
3. เพื่อเป็นเอกสารทางวิชาการอันเป็นประโยชน์ต่อการเรียนการสอนในสาขาเทคโนโลยีการเกษตร และการพัฒนาอาชีพเกษตรให้แก่เกษตรกรและผู้สนใจ

นโยบายและขอบเขตการตีพิมพ์

1. เป็นบทความวิจัย (Research Article) บทความปริทัศน์ (Review Article) หรือบทความวิชาการ (Academic Article) ทางด้านเกษตรศาสตร์และสาขาเทคโนโลยีการเกษตรที่เกี่ยวข้อง ได้แก่ พืชศาสตร์ สัตวศาสตร์ ประมง วิทยาศาสตร์สุขภาพสัตว์ วิทยาศาสตร์การอาหารและอุตสาหกรรมเกษตร ธุรกิจการเกษตร ส่งเสริมการเกษตร สารสนเทศการเกษตร นวัตกรรมเกษตร และนวัตกรรมเทคโนโลยีเครื่องจักรกลการเกษตร เป็นต้น
2. ต้องไม่เคยได้รับตีพิมพ์มาก่อน (ต้นฉบับ หรือส่วนหนึ่งส่วนใดของต้นฉบับ) และต้นฉบับต้องไม่ได้อยู่ระหว่างกระบวนการพิจารณาตีพิมพ์ในวารสารหรือสิ่งตีพิมพ์อื่นใด

ข้อกำหนดเฉพาะของวารสาร

1. บทความที่ลงตีพิมพ์ทุกเรื่องได้รับการตรวจสอบทางวิชาการโดยผู้ประเมินอิสระ (Peer Reviewer) ซึ่งเป็นบุคคลภายนอกจากหลากหลายสถาบันอย่างน้อยบทความละ 3 ท่าน แบบ Double blind
2. กองบรรณาธิการวารสารเกษตรพระวรุณ ไม่สงวนสิทธิ์การคัดลอกแต่ให้อ้างอิง แสดงที่มา

เจ้าของ

คณะเทคโนโลยีการเกษตร มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม

ที่ปรึกษา

อาจารย์ ดร.เนตรชนก จันทร์สว่าง คณบดีคณะ วิทยาศาสตร์ และ เทคโนโลยี
 ศึกษาราชการแทนอธิการบดีมหาวิทยาลัย
 ราชภัฏมหาสารคาม
 ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.กนกวรรณ ศรีวาปี รองอธิการบดีมหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม

บรรณาธิการหลัก

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วันทนี พลวิเศษ คณบดีคณะเทคโนโลยีการเกษตร

คณะกรรมการกองบรรณาธิการ

1. กองบรรณาธิการบุคคลภายนอกมหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม ที่อยู่นอกมหาวิทยาลัยต่างประเทศ
 - 1.1 Prof. Dr. Clemen Fuchs University of Applied Sciences, Neubrandenburg, Germany
 - 1.2 Associate Professor Dr. J.T. Thomas Faculty of Veterinary Medicine, Department of Farm Animal Health, Utrecht University the Netherlands
2. กองบรรณาธิการบุคคลภายนอกมหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม ที่อยู่นอกมหาวิทยาลัยในประเทศไทย
 - 2.1 รองศาสตราจารย์ ดร.ฉลอง วชิราภากร คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น
 - 2.2 รองศาสตราจารย์ ดร.สมชาย ชคตระการ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์
 - 2.3 รองศาสตราจารย์ ดร.เกษม สร้อยทอง คณะเทคโนโลยีการเกษตร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
 - 2.4 รองศาสตราจารย์ ดร.วิทยา ตรีโลเกศ คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น
 - 2.5 รองศาสตราจารย์ ดร.โอภาส พิมพา คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขตสุราษฎร์ธานี
 - 2.6 รองศาสตราจารย์ ดร.นนทวิทย์ อารีชัย คณะประมง มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
 - 2.7 รองศาสตราจารย์ น.สพ. ดร. อตถพร รุ่งสิทธิชัย คณะสัตวแพทยศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม
 - 2.8 ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.เฉลิมพล เอื่องกลาง คณะวิทยาศาสตร์และศิลปศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคล วิทยาเขตนครราชสีมา
 - 2.9 ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อนันต์ เชาว์เครือ คณะสัตวศาสตร์และเทคโนโลยีการเกษตร มหาวิทยาลัยศิลปากร วิทยาเขตสารสนเทศเพชรบุรี
 - 2.10 ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วสันต์ เขียวสุวรรณ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม
 - 2.11 ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ไกรเลิศ ทวีกุล คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น
 - 2.12 ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.มนกานต์ อินทรกำแหง คณะสัตวแพทยศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม
 - 2.13 ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.รัชนี นามมาตย์ สถาบันวิจัยวลัยรุกขเวช มหาวิทยาลัยมหาสารคาม
3. กองบรรณาธิการบุคคลภายในมหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม
 - 3.1 ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ชูทวีป ปาลกะวงศ์ ณ อยุธยา บรรณาธิการประจำบทความสาขาเทคโนโลยีการอาหาร
 - 3.2 ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.นิตติยา ด่านโอภาส บรรณาธิการประจำบทความสาขาวิชาสัตวศาสตร์
 - 3.3 ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.จุฑารัตน์ แก่นจันทร์ บรรณาธิการประจำบทความสาขาประมง
 - 3.4 ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ทวีทรัพย์ ไชยรักษ์ บรรณาธิการประจำบทความสาขาวิชาพืชศาสตร์
 - 3.5 อาจารย์ นายสัตวแพทย์ ดร.ไกรจักร แก้วพรม บรรณาธิการประจำบทความสาขาวิทยาศาสตร์สุขภาพสัตว์
 - 3.6 ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อุตร จิตจักร บรรณาธิการประจำบทความสาขาเทคโนโลยีสารสนเทศการเกษตร
 - 3.7 อาจารย์ ดร.มนันยา นันทสาร บรรณาธิการประจำบทความสาขาบริหารธุรกิจเกษตร
 - 3.8 ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วิรุณ โมนะตระกูล บรรณาธิการประจำบทความสาขานวัตกรรมเทคโนโลยีเครื่องจักรกล

- | | |
|--|--|
| 4. ฝ่ายจัดการงานวารสารเกษตรพระวรุณ | |
| 4.1 ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วันทนี พลวิเศษ | ผู้จัดการวารสาร (Journal Manager) |
| 4.2 อาจารย์วีระเดช โชนสันเทียะ | ผู้พิสูจน์อักษร (Proofreader) |
| 4.3 ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.พุทชาติ อิ่มใจ | ผู้ออกแบบกราฟฟิก (Graphic Designer) |
| 4.4 อาจารย์ ดร.มนันยา นันทสาร | เหรียญกวารสาร |
| 4.5 นางสาวศรัณญา ภูหัวไร่ | ผู้ช่วยเหรียญกวารสาร |
| 4.6 นายธรรมชาติ แสงนิล | บรรณาธิการฝ่ายผลิต (Production Editor) |
| 4.7 นางสาวชยาภย์ ฤทธาพรหม | บรรณาธิการฝ่ายผลิต (Production Editor) |

กำหนดเผยแพร่	ปีละ 2 ฉบับ
	ฉบับที่ 1 มกราคม – มิถุนายน
	ฉบับที่ 2 กรกฎาคม – ธันวาคม
เครดิตภาพ	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.พุทชาติ อิ่มใจ
สำนักงาน	คณะเทคโนโลยีการเกษตร มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม
	เลขที่ 80 ถนนนครสวรรค์ ตำบลตลาด อำเภอเมือง จังหวัดมหาสารคาม 44000
โทรศัพท์/โทรสาร	043 - 725439
อีเมล	prawarun.j@rmu.ac.th
เว็บไซต์วารสารเกษตรพระวรุณ	https://li01.tci-thaijo.org/index.php/pajrmu/index



QR Code วารสารเกษตรพระวรุณ

ข้อความและบทความในวารสารนี้เป็นความคิดเห็นของผู้เขียนโดยเฉพาะ
กองบรรณาธิการไม่มีส่วนรับผิดชอบในเนื้อหาและข้อคิดเห็นนั้นๆ แต่อย่างใด

คำนำ

การพัฒนาทางด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีของประเทศไทยในปัจจุบัน ส่งผลให้เกิดความก้าวหน้าทางด้านเกษตรศาสตร์และเทคโนโลยีการเกษตรเปลี่ยนแปลงอย่างรวดเร็ว ทำให้เกิดองค์ความรู้ งานวิจัย และนวัตกรรมทางการเกษตร ที่เกี่ยวข้องมากมาย เพื่อเป็นการถ่ายทอดองค์ความรู้ทางด้านเกษตรศาสตร์ และเทคโนโลยีการเกษตร ทางคณะเทคโนโลยีการเกษตร มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม จึงได้จัดทำวารสารวิชาการเพื่อเผยแพร่องค์ความรู้ และงานวิจัย ในรูปแบบบทความวิจัย (Research Article) บทความวิชาการ (Academic Article) และ บทความปริทัศน์ (Review Article) โดยมีขอบเขตการรับตีพิมพ์บทความด้านเกษตรศาสตร์และสาขาเทคโนโลยีการเกษตรที่เกี่ยวข้อง ได้แก่ พืชศาสตร์ สัตวศาสตร์ ประมง วิทยาศาสตร์ทางสุขภาพสัตว์ วิทยาศาสตร์การอาหารและอุตสาหกรรมเกษตร ธุรกิจการเกษตร ส่งเสริมการเกษตร สารสนเทศการเกษตร นวัตกรรมการเกษตร และนวัตกรรมเทคโนโลยีเครื่องจักรกลการเกษตร เป็นต้น โดยกำหนดการเผยแพร่ปีละ 2 ฉบับ ฉบับที่ 1 ระหว่างเดือนมกราคม – มิถุนายน และ ฉบับที่ 2 ระหว่างเดือนกรกฎาคม – ธันวาคม

วารสารเกษตรพระวรุณในปี พ.ศ. 2567 ถือเป็นปีที่ 21 โดยวารสารได้รับผลการประเมินคุณภาพวารสารอยู่ในฐานข้อมูล TCI กลุ่มที่ 1 ซึ่งเป็นวารสารที่อยู่ในผลประเมินคุณภาพมีระยะเวลาการรับรองคุณภาพวารสารตั้งแต่วันที่ 1 มกราคม พ.ศ. 2565 ไปจนถึง วันที่ 31 ธันวาคม พ.ศ. 2567 ในฐานข้อมูล Thai-Journal Citation Index: TCI ของศูนย์ดัชนีการอ้างอิงวารสารไทย ตามที่ศูนย์ดังกล่าวประกาศไว้ เมื่อวันที่ 30 มิถุนายน พ.ศ. 2565 ซึ่งหมายถึงคุณภาพเป็นที่การยอมรับและมีประโยชน์ต่อวงวิชาการด้านเกษตรศาสตร์และเทคโนโลยีการเกษตร

สำหรับวารสารปีที่ 21 (Volume 21) ฉบับที่ 2 (Number 2) นี้ประกอบด้วย บทความวิจัย (Research Articles) จำนวน 30 บทความ จากหลากหลายสาขาที่เกี่ยวข้อง โดยมีกำหนดการเผยแพร่ระหว่างเดือนกรกฎาคม – ธันวาคม พ.ศ. 2567 ผ่านวารสารตีพิมพ์ในรูปแบบวารสาร (ISSN 1685-8379) และเผยแพร่ออนไลน์ผ่านระบบ Thai Journal online (ThaiJO) (ISSN 2773-9627)

ทางกองบรรณาธิการเกษตรพระวรุณหวังเป็นอย่างยิ่งว่าจะเป็นสื่อกลางในการช่วยเผยแพร่องค์ความรู้ใหม่และงานวิจัยทางด้านเทคโนโลยีการเกษตรแก่ คณาจารย์ นักวิจัย นักวิชาการ นักศึกษาและผู้ที่มีส่วนเกี่ยวข้องที่ได้รับข้อมูลที่มีประโยชน์ในการต่อยอดองค์ความรู้และงานวิจัยที่เกี่ยวข้องเพื่อการพัฒนาประเทศให้ก้าวหน้าและยั่งยืนต่อไป

กองบรรณาธิการวารสารเกษตรพระวรุณ
28 ธันวาคม 2567

วารสาร

เกษตรพระวรุณ

PRAWARUN AGRICULTURAL JOURNAL

ปีที่ 21 ฉบับที่ 2 กรกฎาคม - ธันวาคม 2567

VOL. 21 NO. 2 July - December 2024

ISSN 1685-8379

สารบัญ

บทความวิจัย (Research Article)

- พารามิเตอร์การสังเคราะห์ด้วยแสงและปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายได้ของอ้อยโคลนดีเด่นภายใต้สภาวะเครียดจากการขาดน้ำ 1
ธีระรัตน์ ชินแสน, แสงเดือน ชนะชัย, ชัยนัต ภักดีไทย, อัมรารวรรณ ทิพย์วัฒน์ และ กรองกาญจน์ ป้องปัญจมิตร
Photosynthetic parameters and total soluble solid of promising sugarcane clones under drought stress condition
Theerarat Chinnasaen, Sangdaun Chanachai, Chayant Pakdeethai, Ammarawan Tipayawat and Krongkan Pongpanchamit
- ประสิทธิภาพของน้ำหมักชีวภาพที่มีผลต่อการเจริญเติบโตของปลานิลในระบบไบโอฟลอค 12
จุฑามาศ ทะแกล้วนพันธุ์, อัจฉรีย์ ภูมวรรณ, บุญญติ ศิริธนาวงศ์ และ ชลิดา ข้างแก้ว
Effects of different bio-extract formulas on the growth performance of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) in biofloc system
Chuthamat Thaklaewphan, Autcharee Phoomawan, Bunyat Sirithanawong and Chalida Changklaew
- การพัฒนาผลิตภัณฑ์พาสต้าปราศจากกลูเตนจากแป้งข้าวกล้องภาคใต้ เสริมโปรตีนด้วยกระบวนการเอ็กซ์ทรูชัน 23
สุภาษิต ชุกกลิ่น
Development of gluten-free pasta product from brown rice flour in Southern fortified protein by extrusion process
Supasit Chooklin
- ผลของการใช้สารเคลือบผิวที่บริโภคได้และชนิดของบรรจุภัณฑ์ต่อการเปลี่ยนแปลง คุณภาพและอายุการเก็บรักษาของหอมแดงตัดแต่งพันธุ์ศรีสะเกษ 33
ธนวรรณ มุสิกกา, พนารัตน์ สังข์อินทร์, สุเมธ เพี้ยยุระ และ จิรายุ มุสิกกา
Effects of edible coatings and packaging on the quality change and shelf life of ready to eat fresh cut Sisaket shallot
Thananwan Musika, Panarat Sungin, Sumeth Piayura and Jirayu Musika

- การพัฒนาเทคนิค LAMP เพื่อตรวจหาเชื้อไวรัส โรค ลัมปี สกิน ในโค 43

ธีระยุทธ ชาวุฒิ, อรพรรณ อาจคำภา, ธีรเจต เลหาเสถียร, ภาวดี เสรีตระกูล และ นรินทร์ ปรียวิชญากดี

Development of LAMP assay for detection on lumpy skin disease virus in cattle

teerayoot chawut, Orapun Arjkumpa, Teerajet Laohasatian, Pawat Seritrakul and Narin Preyavichyapugdee
- ผลของระยะปลูกต่อการเจริญเติบโตและผลผลิตของมันจาวมะพร้าว 53

รัตนารณ กุลชาติ, ศศิธร ประพรม, รัชนีวรรณ ชูเชิด, อาภาพร บุญภา และ รพีพร ศรีสถิต

Effects of plant spacing on growth and yield of white yam (*Dioscorea alata* L.)

Ratanaporn Koolachart, Sasithorn Praprom, Ratchaneewan Chuchird, Apaporn Boonpa, and Rapeeporn Srisathit
- เทคโนโลยีชีวภาพเพื่อย่อยสลายตอซังข้าวขึ้นน้ำของเกษตรกรตำบลพิทเพียน อำเภอมหาราช จังหวัด 63

พระนครศรีอยุธยา

ศตวรรษณ คงสมจิตต์, สุพัตรา ศรีสุวรรณ และ ปรีดา สามงามยา

Biotechnology to decomposes floating rice stubble of farmers in Pittapian Subdistrict, Maharat District, Phra Nakhon Si Ayutthaya Province

Satawan Kongsomjit, Supattra Srisuwan and Preeda Samngamya
- ผลของการเสริม linoleic acid albumin และ conjugated linoleic acid ในน้ำยาเพาะเลี้ยงตัวอ่อน 69

ต่อการพัฒนาสู่ระยะ blastocyst

พิรวิทย์ เชื้อวงศ์บุญ, ดำรงรักษ์ รักษ์วงศ์ฤทธิ์, เทวินทร์ วงษ์พระลับ และ สุจิรา ธรรมวัง

Effect of supplementing culture medium with linoleic acid albumin and conjugated linoleic on blastocyst embryo production rates

Phirawit Chuawongboon, Dumrongruk Rakwongrit, Thevin Vongpralub and Sujira Thummawung
- การสกัดไคโตซานจากเศษเปลือกกุ้งขาวและการประยุกต์ใช้ในการปลูกพรรณไม้ในน้ำจืด 77

วิจิตรา ตั้งซี, ศรัณย์ รักษาพรหมณ์ และ ณัฐพล ราชูภิมันต์

Extraction of chitosan from Pacific white shrimp (*Litopenaeus vannamei*) shell waste and its application in the cultivation of aquatic plants (*Bacopa caroliniana*)

Wijittra Tungse, Sarun Rucksapram and Natthaphon Rachuphimon
- การพัฒนาน้ำยาเจือจางน้ำเชื้อไก่พื้นเมือง เพื่ออนุรักษ์และพัฒนาสายพันธุ์ไก่พื้นเมืองไทย 83

กรวิทย์ ลักแกทิพย์สุตา บุญมาทัน, นพรัตน์ ผกาเจิด, ธนิตพันธ์ พงษ์จงมิตร, ณัฐวัฒน์ ต้นพล และ สมร พรชื่นชูวงศ์

Development of native chicken semen diluent for Thai native chicken breeds conservation and development

Thipsuda Boonmatan, Noppharat Phakachoed, Tanitpan Pongjongmit, Nathawat Tanpol and Samorn Ponchunchoovong
- ผลของสารโคลชิซินต่อการเปลี่ยนแปลงการเจริญเติบโต และลักษณะทางสัณฐานวิทยา ของข้าวพันธุ์ขาวเจ้า 93

จังหวัดชัยนาท

สัณฐิตา ดังคจิวงกูร

Effects of colchicine on growth and morphological characteristics of *Oryza sativa* L. cv. Khao Jek in Chai Nat Province

Santhita Tungkajiwangkoon
- เปรียบเทียบการงอก ผลผลิต และความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระของต้นอ่อนข้าวจ้าวสายพันธุ์ 102

ชมดาว ขำจริง และ ณัฐพล รุ่งเจริญ

Comparison of Five Rice Cultivar Grass Germination Yield and Radical Scavenging Activity

Chomdao Khumjing and Nattapon Rungjaroen

- การเสริมน้ำหมักชีวภาพจากเปลือกมังคุดในน้ำดื่มต่อสมรรถนะการผลิต และคุณภาพซากของไก่พื้นเมืองลูกผสมนิวิวัฒน์ วรามิตร, หทัยชนก อินทร์สูงเนิน และ ทิพย์วดี ประไพวงษ์ 108

Supplementation fermented bio-extracts from mangosteen's peel in drinking water on production performance and carcass traits of crossbred Thai native chickens

Wiwat Waramit, Hathaichanok Insoongnern and Tipwadee Prapaiwong
- ผลการใช้วัตถุดิบแหล่งโปรตีนทางเลือกทดแทนกากถั่วเหลืองบางส่วนในอาหารไก่ไข่ 119

สุวิทย์ ทิพอุเทน, ธราดล จิตจักร, จักพรรณี ประชาชิต, ทาริกา ทิพอุเทน, นิภาพร วงศ์สีดา, ธนวัฒน์ พรหมแสง, จีระศักดิ์ เสนานิคม, บริพัตร เหลืองประมวณ, โกวิทย์ พชรบุษราคัมกุล, สายัณห์ สืบผาง และ ชัยพฤกษ์ หงษ์ลัดดาพร

Effect of partial replacement of soybean meal with alternative protein sources in diets laying hens

Suwit Thip-uten, Tharadol Jitjak, Jakkapat Prachachit, Tarika Thip-uten, Niphaphon Wongsida, Thanawat Promsang, Jirasak Senanikhom, Boripat Luangpramol, Kowit Patcharabudsarakumkul, Sayan Subepang and Chaiyapruet Hongladdaporn
- การพัฒนาผลิตภัณฑ์จากแก้วมังกรตามแนวคิดเศรษฐกิจสร้างสรรค์ ในพื้นที่ตำบลร่องจิก อำเภอภูเรือ จังหวัดเลย 127

สุภาวดี สำราญ, วรินทร์ธร โตพันธ์, ขวัญคนิศา อินทรตระกูล และ ณัฐธิญา ทรัพย์บุญญากุล

The product development from dragon fruit according to the creative economy concept in the area of Rong Chik Subdistrict, Phu Ruea District, Loei Province

Supawadee Sumran, Warintorn Tophan, Kwankanit Intaratrakul and Nattiya Supphunyakul
- การปฏิบัติของเกษตรกรที่มีผลต่อปริมาณข้าวพันธุ์อื่นปนในการผลิตเมล็ดพันธุ์ข้าว กข6 ในอำเภอมืองขอนแก่น จังหวัดขอนแก่น 136

พรจิต หินเฮว และ ไชยธีระ พันธุ์ภักดี

Farmer practices affecting the quantity contamination of mixed rice varieties in the RD6 rice seed production in Mueang Khon Kaen District, Khon Kaen Province

Phomjit Hinthaow and Chaiteera Panpakdee
- อิทธิพลของการจัดการปุ๋ยแบบผสมผสานต่อผลผลิตของข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ในจังหวัดเลย 144

กมลทิพย์ สังข์แก้ว, ลาวัญย์ จันทร์อัมพร, ปรียพัชร ทองมัน และ สุพัตรา ชาวกงจักร

Effect of integrated fertilizer management on the yield of maize in Loei Province

Kamontip Sungkaew, Lawan Chanamporn, Pariyaphat Thongman and Supatra Chawkongjuck
- ผลการใช้เมล็ดหญ้าข้าวนกในอาหารต่อสมรรถภาพการผลิตของเป็ดเทศกบินทร์บุรี 153

ครวญ บัวศิริ, กล้าหาญ สุวรรณศิริ, สหกร สุกุลวงศ์วิริยะ, ณัฐภูมิ เหมโคกน้อย, ปิยะนันท์ นวลหนูปล้อง และ สันติ หมัดหมั่น

Effect of Barnyardgrass seeds in rations on production performance of Kabinburi Muscovy ducks

Kruan Buakeeree, Kahan Suwankeeree, Sachakorn Sakulwongviriya, Nattawut Hemkoknoiy, Piyanan Nualhnuplong and Santi Madman
- การศึกษาและพัฒนาตู้อบแห้งทรงกระบอกแบบลาดหมุนโดยใช้อากาศร้อน เพื่อใช้ในกระบวนการแปรรูป 159

รักพงษ์ ชันชวธิ, สวาส อาจสาลี, กันตพงษ์ แซ่โฮ และ ปิยะพงษ์ สิงห์บัว

Study and development of a rotating tray air-circulating drying cylindrical chamber for application in the agricultural product drying process

Rakpong Khanthawithi, Swas Oajsalee, Kantapong Khaeso and Piyapong Singbua

- ผลของความเร็วรอบที่มีต่อการหลอมเศษยางพาราในการผลิตเชื้อเพลิงชีวภาพด้วยกระบวนการไพโรไลซิสแบบเร็ว 168
อมวิชัย หาญพิชาญชัย , บรรยวัธ สุกุณา, กันตพงษ์ แซ่โล, ชัยยันต์ จันทร์ศิริ, โชคชัย ชุยอ้อย, กฤษฎางค์ เสนาวงษ์, สมพร เกษแก้ว และ กิตติพงษ์ ลาลูน
 Effect of the impeller speed on the melting of natural rubber scraps in biofuel production via fast pyrolysis
Apiwit Harnpichanchai, Bunyawat Sukhuna, Kantapong Khaeso, Chaiyan Junsiri, Chokchai Suiyay, Kritsadang Senawong, Somporn Katekaew and Kittipong Laloon
- การผลิตและการวิเคราะห์ต้นทุน ผลตอบแทนการเลี้ยงปลากะพงขาวในพื้นที่น้ำเค็มเกลือสินเธาว์ กรณีศึกษา: 176
ฟาร์มฮังปลากะพง อำเภอบ้านดุง จังหวัดอุดรธานี
ศิริภรณ์ โคตะมี และ กฤษฎากรณ์ ว่องไว
 Production and analysis of cost, returns of white sea bass (*Lates calcarifer*) culture on the rock salt field: a case study in Hong farm in Ban Dung District, Udon Thani Province
Siriporn Kotamee and Krisdakorn Wongwai
- สถานการณ์ผู้ประกอบการเลี้ยงกุ้งก้ามกรามในจังหวัดกาฬสินธุ์ 187
ณัฐพล การอรุณ, กীরวิชัย เพชรจุล และ อนุพงษ์ ทานกระโทก
 The Situation of giant freshwater prawn (*Macrobrachium rosenbergii* de Man) entrepreneurs in Kalasin Province
Nattapon Kanaroon, Keeravit Petjul and Anupong Tankrathok
- การพัฒนาผลิตภัณฑ์ผงน้ำก่ายเตี้ยหมี่เลี้ยงเสริมสาหร่ายผักกาดทะเลอบแห้ง 197
มารศรี จันลี, โสมรค์มี กล่ำกล่อมจิตร, กรวิทย์ สักแกแก้ว และ นันธิดา แดงขาว
 Product development of Moo-Liang noodle soup powder supplemented with dried sea lettuce (*Ulva rigida*)
Marasri Junsj, Sommarut Klamklomjit, Korawit Sakkaekaew and Nantida Dangkhaw
- การพัฒนาผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวชนิดแท่งจากกล้วยเล็บมือนางอบแห้ง 209
อุราภรณ์ เรืองวัชรินทร์, พรพวตา จันทโร และ จิรัชติ เรืองวัชรินทร์
 Product development of snack bar from dried lady finger banana
Uraporn Rueangwatcharin, Prawta Juntaro and Jirachart Rueangwatcharin
- การพัฒนาผลิตภัณฑ์เม็ดไข่มุกจากผลไม้โดยวิธีการพ่นที่ตอบสนอง 218
นันทา เบ็ญเนตร และ วิภา ประพินอักษร
 Development of fruit tapioca pearl using response surface methodology
Nantha Pengnet and Wipa Prapinaksorn
- การวิเคราะห์คุณลักษณะของบัตรเซนเซอร์ตรวจวัดสารเคมีกำจัดศัตรูพืชตกค้างในผักผลไม้ที่มีผลต่อความพึง 228
พอใจของผู้ใช้งานในกรุงเทพมหานคร
ณรงค์ชัย ใจอารีย์, สุภาภรณ์ เลิศศิริ, ชัญชนา ธนชยานนท์ และ ชลาธร จูเจริญ
 Analysis of characteristic of pesticide residue sensor cards for fruits and vegetables affecting user satisfaction in Bangkok
Narongchai Jai-a-ree, Supaporn Lertsiri, Chanchana Thanachayanont and Chalathon Choocharoen
- อิทธิพลของปุ๋ยฟอสฟอรัสต่อผลผลิตและปริมาณสารต้านอนุมูลอิสระในเมล็ดข้าวพันธุ์ไรซ์เบอร์รี่และ 239
ทับทิมชุมแพ (กข 69)
เมษนฤทธิ โยธสิงห์, คณางค์ รัตนานิคม, ชนาภานต์ เทโบลต์ พรหมอุทัย และ อยุธย์ คงปั้น
 Effects of phosphorus fertilizer on yield and grain antioxidant in rice cv. Riceberry and Tubtim Chumphae (RD69)
Mesnarid Yotasing, Khakhanang Ratananikom, Chanakan Prom-u-thai and Ayut Kongpun

- การศึกษาคุณลักษณะของเกษตรกรต้นแบบในจังหวัดนราธิวาส
ประจักษ์ เทพคุณ และ อภิญญา รัตนไชย
A study of the characteristics of the model farmers in Narathiwat Province
Prajak Thepkun and Apinya Ratanachai

250
- ความหลากหลายชนิดของปลาและความชุกชุมของปลาที่จับได้ด้วยวิธีประมงพื้นบ้านในลุ่มน้ำสงคราม
ตอนล่าง จังหวัดนครพนม
ชนาพร รัตนมาลี, นิภาวรรณ ดุ ชูยซ์ และ วิวรรณ แก่นสา
Species diversity and abundance fluctuation of fish by local fishery in the lower
Songkhram River Basin, Nakhon Phanom Province
Chanaporn Rattanamalee, Nipawan Du Souich Du Souich and Wiwat Kaensa

262
- คุณสมบัติของดินและคุณภาพน้ำต่อการผลิตกุ้งก้ามกรามในบ่อดินในจังหวัดกาฬสินธุ์
สววิภา รัตนกร, เกษม เขตตะวัน, บุญถม ทับสมบัติ, อุไร กุลบุญ และ ทิฆัมพร กรรเจียก
Effect of soil properties and water quality on production in giant freshwater prawn ponds
in Kalasin Province
*Sawipa Ruttanakorn, Kasame Chetawan, Boonthom Tubsombat, Urai Koolboon
and Tikumporn Kunjiek*

272



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

บทความวิจัย

พารามิเตอร์การสังเคราะห์ด้วยแสงและปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายได้ของอ้อยโคลนดีเต้น ภายใต้สภาวะเครียดจากการขาดน้ำ

ธีระรัตน์ ชินแสน* แสงเดือน ชนะชัย ชัยนต์ ภัคธิไทย อัมรารวรรณ ทิพย์วัฒน์ และ กรองกาญจน์ ป้องปัญญมิตร

ศูนย์วิจัยพืชไร่ขอนแก่น ตำบลศิลา อำเภอเมือง จังหวัดขอนแก่น ประเทศไทย 40000

ข้อมูลบทความ

Article history

รับ: 8 เมษายน 2567

แก้ไข: 19 มิถุนายน 2567

ตอบรับการตีพิมพ์: 25 มิถุนายน 2567

ตีพิมพ์ออนไลน์: 18 กรกฎาคม 2567

คำสำคัญ

คำชักนำการเปิด-ปิดปากใบ

ปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายได้

อัตราการคายน้ำ

อัตราการสังเคราะห์ด้วยแสงสุทธิ

บทคัดย่อ

การสังเคราะห์ด้วยแสงเป็นแหล่งของเคมีอินทรีย์และพลังงานเพื่อการเจริญเติบโตและผลผลิตของพืช แต่การขาดน้ำเป็นอีกหนึ่งปัจจัยสำคัญที่ส่งผลกระทบต่อกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสง ดังนั้น การวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาการเปลี่ยนแปลงค่าพารามิเตอร์การสังเคราะห์ด้วยแสงกับปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายได้ (TSS) เมื่ออยู่ภายใต้สภาวะขาดแคลนน้ำและการตอบสนองหลังการได้รับน้ำอีกครั้งของอ้อยโคลนดีเต้น โดยดำเนินการทดลอง ณ ศูนย์วิจัยพืชไร่ขอนแก่น ปี พ.ศ. 2566 วางแผนการทดลองแบบ Split plot design จำนวน 3 ซ้ำ ประกอบด้วย 2 ปัจจัย ได้แก่ ปัจจัยหลัก (main plot) คือ (1) การให้น้ำตามความต้องการของพืช และ (2) จดการให้น้ำนาน 19 วัน และปัจจัยรอง (sub plot) คือ พันธุ์โคลนอ้อยดีเต้น ได้แก่ (1) KK07-599 (2) KK12(R)-085 (3) KK3/E09-1 (4) LK92-11 และ (5) KK3 จากการศึกษพบว่า การขาดน้ำทำให้ค่าพารามิเตอร์การสังเคราะห์ด้วยแสงของอ้อย ได้แก่ อัตราการสังเคราะห์ด้วยแสงสุทธิ (A) อัตราการคายน้ำ (E) และคำชักนำการเปิด-ปิดปากใบ (g_s) มีค่าลดลง แต่ความเข้มข้นของคาร์บอนไดออกไซด์ในใบ (Ci) และ TSS มีค่าเพิ่มขึ้น เมื่อเทียบกับอ้อยพันธุ์โคลนเดียวกันที่ได้รับน้ำ โดยโคลน KK3/E09-1 ที่ขาดน้ำนาน 14 วัน มีค่า g_s เพียง $0.02 \text{ mmol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ และพบว่า ค่า A E และ g_s มีความสัมพันธ์กันอย่างมากในทางเดียวกัน ทั้งนี้ เมื่อได้รับการให้น้ำอีกครั้งอ้อยสามารถฟื้นฟูพารามิเตอร์การสังเคราะห์ด้วยแสงใกล้เคียงกับอ้อยที่ได้รับน้ำตามปกติโดยเฉพาะในอ้อยดีเต้นโคลน KK07-599 และ KK3/E09-1 ซึ่งอาจสามารถนำมาใช้ประกอบการคัดเลือกพันธุ์อ้อยหรือเป็นต้นแบบการศึกษาด้านสรีรวิทยาการสังเคราะห์ด้วยแสงของอ้อยในประเทศไทยต่อไป

บทนำ

การสังเคราะห์ด้วยแสงเป็นอีกหนึ่งกระบวนการทางสรีรวิทยาที่มีความสำคัญต่อพืช เนื่องจากเป็นการนำพลังงานแสงมาเปลี่ยนแปลงคาร์บอนไดออกไซด์และน้ำให้เป็นพลังงานเคมีในรูปของสารประกอบอินทรีย์หรือสารประกอบที่มีคาร์บอนเป็นองค์ประกอบเพื่อการใช้ประโยชน์ในวัตถุประสงค์ต่าง ๆ เช่น การเจริญเติบโต การเก็บในแหล่งสะสม (sink) เป็นต้น การสังเคราะห์ด้วยแสงถูกควบคุมด้วยปัจจัยที่หลากหลายทั้งปัจจัยภายในที่เกี่ยวข้องกับลักษณะจำเพาะของพันธุ์พืชชั้น ๆ และปัจจัยภายนอกที่สภาพแวดล้อม ณ ขณะที่พืชเหล่านั้นเจริญเติบโตเป็นตัวกำหนด เช่น แสง อุณหภูมิ และความชื้น เป็นต้น สำหรับอ้อยเมื่อจำแนกด้วยกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสงถูกจัดให้เป็นพืช C4 ที่มีศักยภาพสูงในการตรึงคาร์บอนไดออกไซด์ซึ่งจะเกิดขึ้นทั้งที่ mesophyll cell และ bundle sheath cell โดยผลิตภัณฑ์แรกที่ได้คือ oxaloacetate ที่มีคาร์บอน 4 อะตอม จากนั้นจะถูกเปลี่ยนรูปเป็นน้ำตาลซูโครสเพื่อลำเลียงสู่ส่วนต่าง ๆ ของพืชผ่านท่อลำเลียงอาหาร และเก็บสะสมน้ำตาลในเซลล์ parenchyma ของลำต้นซึ่งเป็นแหล่งของน้ำตาลในอ้อยและเป็นวัตถุดิบสำหรับการผลิตน้ำตาลในภาคอุตสาหกรรมในลำดับต่อไป (Moore, 1995) ดังนั้น การ

สะสมน้ำตาลในอ้อยจึงมีความเชื่อมโยงกับการสังเคราะห์ด้วยแสง สอดคล้องกับ Inman-Bamber et al. (2010) ที่รายงานว่าการรักษาสภาพการสังเคราะห์ด้วยแสงในอ้อยมีส่วนช่วยเพิ่มการสะสมน้ำตาลซูโครสทั้งโคลนที่มีน้ำตาลซูโครสต่ำหรือมีน้ำตาลซูโครสสูง

น้ำภายในพืชเป็นหนึ่งในปัจจัยสำคัญที่มีบทบาทต่อการสังเคราะห์ด้วยแสง นับตั้งแต่โมเลกุลของน้ำที่แตกตัวและให้อิเล็กตรอนเพื่อเข้าสู่กระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสง รวมถึงการเคลื่อนที่ของสารอาหารที่มีน้ำช่วยลำเลียงในกระบวนการ phloem loading และ phloem unloading สู่แหล่งสะสมในพืช อย่างไรก็ตาม การเพาะปลูกพืชยังคงประสบปัญหาการขาดแคลนน้ำ โดยเฉพาะอย่างยิ่งการปลูกอ้อยในเขตอาศัยน้ำฝนที่มีความเสี่ยงต่อการขาดแคลนน้ำเพื่อการเพาะปลูก Jaiphong et al. (2016) รายงานว่า อ้อยพันธุ์ NiF8 มีพารามิเตอร์การสังเคราะห์ด้วยแสง ได้แก่ อัตราการสังเคราะห์ด้วยแสงสุทธิ คำชักนำการเปิด-ปิดปากใบ และอัตราการคายน้ำลดลงเมื่ออ้อยขาดน้ำนาน 15 วัน ซึ่งแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับอ้อยที่ได้รับน้ำตามปกติ สอดคล้องกับ Chinnasaen et al. (2023) ที่รายงานว่า เมื่ออยู่ภายใต้สภาวะเครียดจากการขาดน้ำค่าพารามิเตอร์การสังเคราะห์ด้วยแสงของอ้อยโคลนดีเต้นและพันธุ์เปรียบเทียบกับค่า

*Corresponding author

E-mail address: nongtheerarat@gmail.com (T. Chinnasaen)

Online print: 18 July 2024 Copyright © 2024. This is an open access article, production, and hosting by Faculty of Agricultural Technology, Rajabhat Maha Sarakham University. <https://doi.org/10.14456/paj.2024.31>

ลดลงเมื่อเปรียบเทียบกับอ้อยที่ได้รับน้ำตามปกติ โดยโคลน KK14-030 สามารถฟื้นคืนค่าชักนำการเปิด-ปิดปากใบและการคายน้ำให้มีความใกล้เคียงกับอ้อยที่ได้รับน้ำตามปกติภายหลังได้รับน้ำอีกครั้ง ภายใน 1 วัน ขณะที่เดียวกัน Vu & Allen Jr (2009) ได้เสนอว่า นอกจากการศึกษาความเข้มข้นของคาร์บอนไดออกไซด์และอุณหภูมิที่มีผลต่อการสังเคราะห์ด้วยแสงของอ้อยแล้ว ความชื้นหรือน้ำยังเป็นอีกหนึ่งปัจจัยที่ควรศึกษาเพื่อนำมาประกอบการคัดเลือกพันธุ์อ้อยซึ่งเป็นพืชที่มีความสำคัญต่ออุตสาหกรรมน้ำตาลและอุตสาหกรรมเชื้อเพลิงขณะเดียวกัน Endres et al. (2010) กล่าวว่า การทราบความสัมพันธ์ระหว่างค่าชักนำการเปิด-ปิดปากใบ การคายน้ำ และการสังเคราะห์ด้วยแสงมีความสำคัญต่อการคัดเลือกพันธุ์อ้อยทั้งด้านศักยภาพการใช้น้ำหรือการทนทานต่อความแห้งแล้ง ขณะที่ การสังเคราะห์ด้วยแสงเป็นแหล่งของเคมีอินทรีย์และพลังงานเพื่อการเจริญเติบโตและผลผลิตของพืช การรับทราบถึงความสัมพันธ์ของพารามิเตอร์การสังเคราะห์ด้วยแสงในอ้อยโคลนดีเด่นหรือพันธุ์อ้อยทางการค้าต่อสภาวะแล้งจึงเป็นแนวทางที่ทำให้ทราบถึงกลไกภายในพืชต่อผลผลิตที่ได้รับซึ่งอาจเป็นแนวทางไปสู่การคัดเลือกพันธุ์อ้อย รวมถึงเพื่อเพิ่มการรับรู้หรือเพิ่มข้อมูลด้านการสังเคราะห์ด้วยแสงในพันธุ์อ้อยของไทย

ดังนั้น การวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาการเปลี่ยนแปลงค่าพารามิเตอร์การสังเคราะห์ด้วยแสงและความสัมพันธ์ของค่าพารามิเตอร์การสังเคราะห์ด้วยแสงกับปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายได้ (TSS) เมื่ออยู่ภายใต้สภาวะขาดแคลนน้ำและการตอบสนองหลังการได้รับน้ำอีกครั้งของอ้อยโคลนดีเด่นซึ่งอยู่ในขั้นการเปรียบเทียบในไร่เกษตรกรหรือผ่านการคัดเลือกในไร่เกษตรกรของศูนย์วิจัยพืชไร่ขอนแก่น เพื่อเป็นแนวทางประกอบการคัดเลือกอ้อยพันธุ์ใหม่ที่เหมาะสมต่อการเพาะปลูกในเขตอาศัยน้ำฝนของไทย

อุปกรณ์และวิธีการวิจัย

แผนการทดลอง

วางแผนการทดลองแบบ Split plot design จำนวน 3 ซ้ำ ประกอบด้วย 2 ปัจจัย ได้แก่ ปัจจัยหลัก (main plot) คือ การจัดการการให้น้ำ 2 รูปแบบ ได้แก่ ให้น้ำตามความต้องการของพืช (อ้างอิงตามการศึกษาของ Paisancharoen et al., 2012) และงดการให้น้ำนาน 19 วัน โดยเริ่มต้นที่อายุ 297 - 316 วันหลังปลูก (ระยะสุกแก่) และปัจจัยรอง (sub plot) คือ พันธุ์/โคลนอ้อยที่แตกต่างกัน 5 พันธุ์/โคลน ได้แก่ อ้อยโคลนดีเด่น 3 โคลน คือ KK07-599 KK12(R)-085 และ KK3/E09-1 และพันธุ์เปรียบเทียบ คือ LK92-11 และ KK3 (พันธุ์อ้อยที่นิยมปลูก) สำหรับการให้น้ำตามความต้องการของพืช (อ้อย) แสดงดังสมการด้านล่าง (ตามวิธีของ Smith (1992) และ Doorenbos & Kassam (1979)) โดยให้น้ำด้วยระบบน้ำหยดทุก ๆ 7 วัน

$$ETc = Kc \times ETo$$

เมื่อ ETc = ปริมาณความต้องการน้ำของพืช (mm/day)

Kc = สัมประสิทธิ์การใช้น้ำของพืช

ETo = ปริมาณการใช้น้ำของพืชอ้างอิง (mm/day)

วิธีดำเนินการทดลอง

ปลูกอ้อย ณ แปลงทดลองศูนย์วิจัยพืชไร่ขอนแก่น อำเภอเมือง จังหวัดขอนแก่น ปี 2566 ในวงคอนกรีตเส้นผ่านศูนย์กลางขนาด 80 cm สูง 100 cm ดินที่ใช้ปลูกมีค่าความเป็นกรด-ด่างเท่ากับ 5.4 ค่าการนำไฟฟ้า เท่ากับ 0.018 dS/m ปริมาณอินทรีย์วัตถุเท่ากับ 0.47 % และปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด ปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ ปริมาณโพแทสเซียม และแคลเซียมที่สกัดได้มีค่าเท่ากับ 0.024 % 69.25 mg/g 41.37 ppm และ 253.97 ppm ตามลำดับ ทั้งนี้ ดินปลูกมีความจุความชื้นสนาม และความหนาแน่นเท่ากับ 13.56 % และ 1.65 g/cm³ ตามลำดับ ดำเนินการปลูกอ้อยพันธุ์/โคลนละ 3 หน่วยการทดลองต่อซ้ำ น้ำหนักดินปลูกเฉลี่ยต่อหน่วยการทดลองมีค่าประมาณ 345 kg และให้น้ำตามความต้องการของอ้อยหลังปลูก (โดยคำนวณจากค่าปริมาณการใช้น้ำของพืชอ้างอิงร่วมกับค่าสัมประสิทธิ์การใช้น้ำของอ้อยในแต่ละช่วงอายุ) เมื่ออ้อยมีอายุ 297 วัน จึงจัดการให้น้ำตามแผนการทดลองที่กำหนด สำหรับการใส่ปุ๋ยดำเนินการโดยแบ่งใส่ 2 ครั้ง ครั้งแรกใส่พร้อมปลูก (15-15-15 อัตรา 50 kg/rai) ครั้งที่ 2 ใส่หลังจากครั้งแรก 2 ½ เดือน (สูตร 15-15-15 อัตรา 50 kg/rai) ดูแลรักษา กำจัดวัชพืช และควบคุมการเข้าทำลายของโรคและแมลงตลอดช่วงการเพาะปลูก ในกรณีที่ฝนตกระหว่างช่วงที่งดการให้น้ำใช้พลาสติกคลุมวงบ่อคอนกรีตเพื่อป้องกันฝน จากนั้นที่อายุ 317 วัน จึงกลับมาให้น้ำอ้อยที่งดการให้น้ำอีกครั้ง โดยระหว่างดำเนินการทดลองอ้อยมีอายุ 297-320 วัน (อ้อยอยู่ในระยะสุกแก่ที่มีค่าสัมประสิทธิ์การใช้น้ำ เท่ากับ 0.83 (Paisancharoen et al., 2012)) อุณหภูมิสูงสุดรายวันและอุณหภูมิต่ำสุดรายวันอยู่ในช่วง 28.0-34.5 และ 15.5-24.5 °C ตามลำดับ ความชื้นสัมพัทธ์รายวันและความชื้นสัมพัทธ์รายวันเฉลี่ยอยู่ในช่วง 60-77 และ 68.5 % ตามลำดับ ทั้งนี้ ระหว่างการงดการให้น้ำมีวันที่มีฝน 1 วัน คือ วันที่ 18 ของการงดการให้น้ำ มีปริมาณน้ำฝน เท่ากับ 0.4 mm (Figure 1-A) (ใช้ข้อมูลทางอุตุนิยมวิทยาของศูนย์วิจัยพืชไร่ขอนแก่น ตำบลศิลา อำเภอเมือง จังหวัดขอนแก่น) ขณะที่ การงดการให้น้ำทำให้ดินมีความชื้นลดลงอย่างต่อเนื่องทุกระดับความลึกที่ 0-20, 20-50 และ 50-80 cm เมื่องดการให้น้ำนาน 19 วัน ดินมีความชื้นเฉลี่ยประมาณ 3.86 4.68 และ 3.82 % ตามลำดับ ขณะที่ ดินที่ได้รับน้ำตามปกติมีความชื้น เท่ากับ 7.62 7.25 และ 6.54 % ตามลำดับ (Figure 1-B, D) (คำนวณ % ความชื้นดิน ตามวิธีของ Khonghintaisong et al., 2017) ทั้งนี้ Paisancharoen et al. (2012) ได้รายงานค่า จุดเหี่ยวถาวรของดินปลูกอ้อยมีค่า เท่ากับ 4.2 % ขณะที่ ความชื้นดินที่ขาดน้ำนาน 19 วัน ในการทดลองครั้งนี้ มีค่าน้อยกว่า 4 % (ระดับ 0-20 และ 50-80 cm) เพื่อป้องกันความเสียหาย (อ้อยตาย) จึงสิ้นสุดการควบคุมการให้น้ำ และกลับมาให้น้ำอีกครั้งเพื่อศึกษาการฟื้นตัวของอ้อยภายหลังการได้รับน้ำอีกครั้ง

การบันทึกข้อมูล

ดำเนินการบันทึกข้อมูลก่อนการควบคุมการให้น้ำเมื่ออ้อยมีอายุ 297 วัน หลังควบคุมการให้น้ำนาน 7 14 และ 19 วัน หรืออ้อยมีอายุ 304 311 และ 316 วัน ตามลำดับ และหลังการได้รับน้ำอีกครั้งนาน 3 วัน หรืออ้อยมีอายุ 320 วัน โดยข้อมูลที่ดำเนินการบันทึกประกอบด้วย

(1) สรีรวิทยาการสังเคราะห์ด้วยแสง วัดค่าพารามิเตอร์การสังเคราะห์ด้วยแสงด้วยเครื่อง LCpro T Advanced Portable Photosynthesis System (ADC BioScientific Ltd., Hoddesdon, UK) โดยสุ่มวัดจากตัวอย่างใบอ้อยที่สมบูรณ์ในใบที่ 2 หรือ 3 จากยอดที่กางเต็มที่ ในเวลา 08.00-10.00 น. และเป็นวันที่แดดจ้า กำหนดค่าความเข้มแสงที่ใช้วัด เท่ากับ $1500 \mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ (Liu et al., 2020) ส่วนความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในอากาศและอุณหภูมิอากาศขึ้นอยู่กับสภาพแวดล้อมระหว่างการบันทึกข้อมูลในวันนั้น ๆ โดยค่าพารามิเตอร์ที่บันทึก ได้แก่ อัตราการสังเคราะห์ด้วยแสงสุทธิ (Net photosynthesis rate; A) ความเข้มข้นของคาร์บอนไดออกไซด์ในใบ (internal CO_2 concentration; Ci) อัตราการคายน้ำ (Transpiration rate; E) และค่าชักนำการเปิดปิดปากใบ (Stomatal conductance; g_s)

(2) ปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายได้ (Total soluble solid, TSS) วัดด้วยเครื่อง Hand-Held Refractometer (Master refractometer, Japan) หน่วยเป็นองศาบริกซ์ ($^{\circ}\text{Brix}$) โดยใช้แท่งเหล็กปลายแหลมเจาะปล้องอ้อยที่อยู่บริเวณกึ่งกลางของลำอ้อยซึ่งเป็นปล้องอ้อยที่อยู่ในระยะแก่ (Qudsieh et al., 2001) แล้วใช้น้ำคั้นจากปล้องอ้อยที่เจาะได้วัดค่า TSS การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ

วิเคราะห์ความแตกต่างของแต่ละลักษณะที่ทำการศึกษาระหว่างเปรียบเทียบความแตกต่างตามแผนการทดลองด้วยวิธี Duncan's new multiple range test ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 % ด้วยโปรแกรมสำเร็จรูป เปรียบเทียบการให้น้ำที่แตกต่างกันของแต่ละพันธุ์/โคลน โดย pare T-test ด้วยโปรแกรม excel และตรวจสอบสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (Coefficient of correlation) ของแต่ละลักษณะ

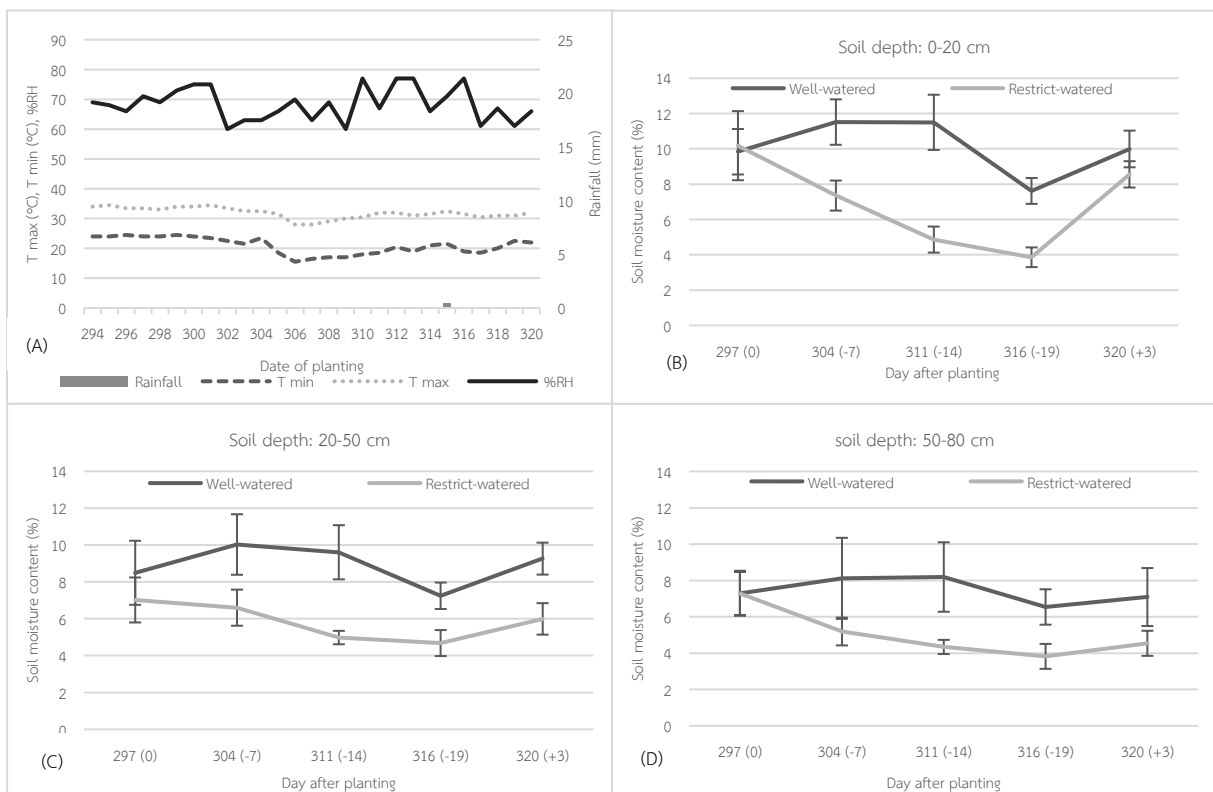


Figure 1 Daily climate (A) and soil moisture content at various soil depths; 0-20 cm (B), 20-50 cm (C), 50-80 cm (D), (data are mean $\pm$ SE) during conduct the experiment at Khon Kaen Field Crops Research Center, Khon Kaen Province on 5 to 27 November, 2023, restrict-watered period is among 298-316 day after planting.

ผลและวิจารณ์ผลการวิจัย

ค่าพารามิเตอร์การสังเคราะห์ด้วยแสง

อัตราการสังเคราะห์ด้วยแสงสุทธิ (Net photosynthesis rate; A) ไม่พบปฏิสัมพันธ์ระหว่างการจัดการการให้น้ำและพันธุ์/โคลนอ้อยที่แตกต่างกันต่อค่า A แต่พบว่า อ้อยที่ขาดน้ำนาน 7 14 และ 19 วัน มีค่าเฉลี่ยของค่า A น้อยกว่าอ้อยที่ได้รับน้ำตามความต้องการของพืชอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ เท่ากับ 10.77 และ 13.72 4.80 และ 13.21 และ 3.80 และ 9.32 $\mu\text{molCO}_2\text{m}^{-2}\text{s}^{-1}$ ตามลำดับ (ไม่แสดงข้อมูล) อย่างไรก็ตาม เมื่อเปรียบเทียบอ้อยภายในพันธุ์/โคลนเดียวกันแต่ได้รับการจัดการการให้น้ำที่แตกต่างกันพบว่า การงดการให้น้ำมีผลให้อ้อยมีค่า A น้อยกว่าอ้อยที่ได้รับน้ำ โดยค่า A มีแนวโน้ม

ลดลงเมื่อระยะเวลาขาดน้ำยาวนานขึ้น โคลน KK07-599 ที่ขาดน้ำนาน 7 และ 14 วัน มีค่า A เท่ากับ 11.38 และ 4.72 $\mu\text{molCO}_2\text{m}^{-2}\text{s}^{-1}$ ตามลำดับ ซึ่งแตกต่างทางสถิติกับอ้อยที่ได้รับน้ำที่มีค่า A เท่ากับ 18.52 และ 18.53 $\mu\text{molCO}_2\text{m}^{-2}\text{s}^{-1}$ ตามลำดับ และโคลน KK3/E09-1 ที่ขาดน้ำนาน 14 และ 19 วัน มีค่า A เท่ากับ 3.53 และ 4.55 $\mu\text{molCO}_2\text{m}^{-2}\text{s}^{-1}$ ตามลำดับซึ่งแตกต่างทางสถิติกับอ้อยที่ได้รับน้ำที่มีค่า A เท่ากับ 12.35 และ 11.58 $\mu\text{molCO}_2\text{m}^{-2}\text{s}^{-1}$ ตามลำดับ เช่นเดียวกับพันธุ์ LK92-11 ที่ขาดน้ำนาน 19 วัน มีค่า A น้อยกว่าอ้อยที่ได้รับน้ำอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ เท่ากับ 2.06 และ 11.46 $\mu\text{molCO}_2\text{m}^{-2}\text{s}^{-1}$ ตามลำดับ อย่างไรก็ตาม พบว่า ค่า A ของโคลน KK12(R)-085 มีค่าไม่แตกต่างทางสถิติ แต่พบว่าเมื่อกลับมาได้รับน้ำ

อีกครั้งทำให้อ้อยที่ขาดน้ำมีค่า A น้อยกว่าอ้อยที่ได้รับน้ำอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ เท่ากับ 6.67 และ $10.24 \mu\text{molCO}_2\text{m}^{-2}\text{s}^{-1}$ ตามลำดับ ทั้งนี้ พบว่า ค่า A ของพันธุ์ KK3 มีค่าไม่แตกต่างกันทางสถิติทั้งช่วงที่อ้อยขาดน้ำหรืออ้อยกลับมาได้รับน้ำอีกครั้ง (Figure 2)

ความเข้มข้นของคาร์บอนไดออกไซด์ในใบ (internal CO_2 concentration, Ci) ไม่พบปฏิสัมพันธ์ระหว่างการจัดการการให้น้ำ และพันธุ์/โคลนอ้อยที่แตกต่างกันต่อค่า Ci แต่พบว่า อ้อยที่ขาดน้ำนาน 7 วัน มีค่าเฉลี่ยของค่า Ci น้อยกว่าอ้อยที่ได้รับน้ำตามความต้องการของพืชอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ เท่ากับ 127.20 และ $141.13 \mu\text{molmol}^{-1}$ ตามลำดับ (ไม่แสดงข้อมูล) อย่างไรก็ตาม เมื่อ

เปรียบเทียบอ้อยภายในพันธุ์/โคลนเดียวกันแต่ได้รับการจัดการการให้น้ำที่แตกต่างกัน พบว่า การงดการให้น้ำมีผลให้อ้อยบางพันธุ์/โคลนมีค่า Ci สูงกว่าอ้อยที่ได้รับน้ำและแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยโคลน KK07-599 ที่ขาดน้ำนาน 14 วัน มีค่า Ci สูงกว่าอ้อยที่ได้รับน้ำเท่ากับ 123.67 และ $63.67 \mu\text{molmol}^{-1}$ ตามลำดับ และการขาดน้ำนาน 19 วัน มีผลให้อ้อยมีค่า Ci สูงกว่าอ้อยที่ได้รับน้ำ ซึ่งพบในโคลน KK12(R)-085 เท่ากับ 220.33 และ $108.67 \mu\text{molmol}^{-1}$ ตามลำดับ และพันธุ์ KK3 เท่ากับ 235.67 และ $165.67 \mu\text{molmol}^{-1}$ ตามลำดับ ขณะที่ โคลน KK3/E09-1 ที่ได้รับน้ำมีค่า Ci สูงกว่าอ้อยที่ขาดน้ำนาน 7 วัน และในวันที่สามหลังจากอ้อยได้รับน้ำอีกครั้ง (Figure 2)

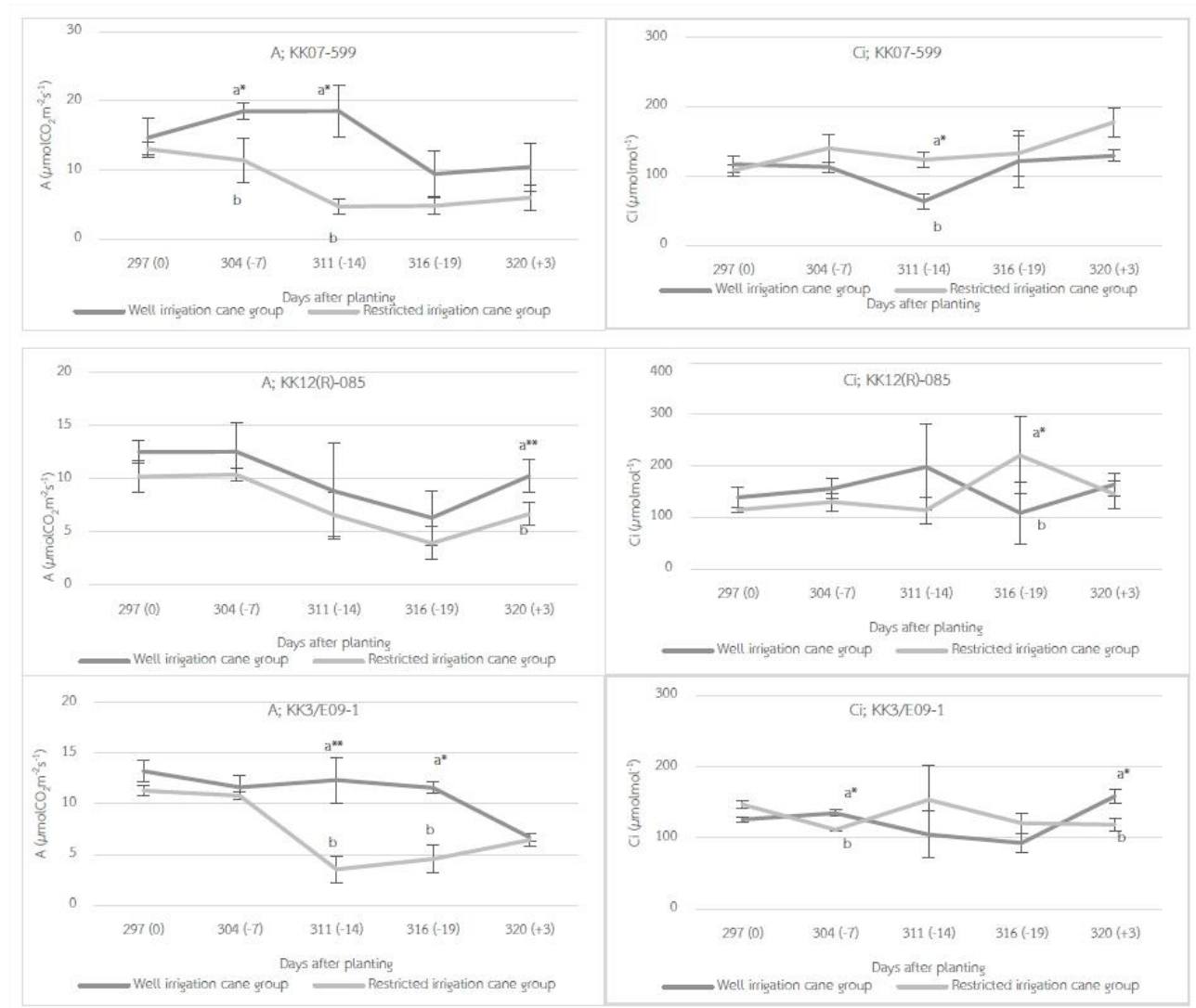


Figure 2 Net photosynthesis rate; A (left panel) and internal CO_2 concentration; Ci (right panel) of promising sugarcane clones (data are mean $\pm$ SE), restrict-watered period is among 297-316 day after planting, - = day after restrict-water, + = day after rehydration. Mean followed by the same letter in each day are not significantly different by T-test for various watered. *=Significant at $p < 0.05$, **=Significant at $p < 0.01$.

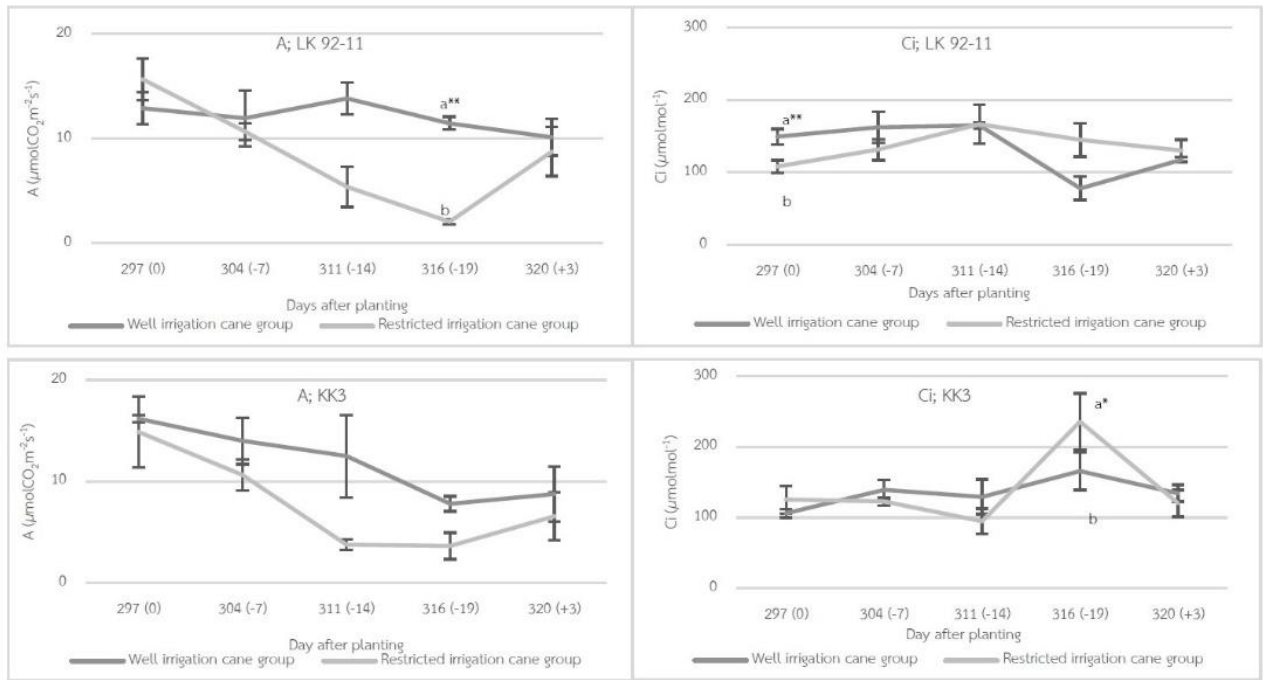


Figure 2 (Cont.) Net photosynthesis rate; A (left panel) and internal CO₂ concentration; Ci (right panel) of promising sugarcane clones (data are mean $\pm$ SE), restrict-watered period is among 297-316 day after planting, - = day after restrict-water, + = day after rehydration. Mean followed by the same letter in each day are not significantly different by T-test for various watered. * = Significant at p < 0.05, ** = Significant at p < 0.01.

อัตราการคายน้ำ (Transpiration rate; E) ไม่พบปฏิสัมพันธ์ระหว่างการจัดการการให้น้ำและพันธุ์/โคลนย่อยที่แตกต่างกันต่อค่า E แต่พบว่า อ้อยที่ขาดน้ำนาน 7 14 และ 19 วัน มีค่าเฉลี่ยของค่า E น้อยกว่าอ้อยที่ได้รับน้ำตามความต้องการของพืชอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ เท่ากับ 1.50 และ 1.74 0.86 และ 1.54 และ 0.68 และ 1.34 $\text{mmolm}^{-2}\text{s}^{-1}$ ตามลำดับ (ไม่แสดงข้อมูล) อย่างไรก็ตาม เมื่อเปรียบเทียบอ้อยภายในพันธุ์/โคลนเดียวกันแต่ได้รับการจัดการการให้น้ำที่แตกต่างกัน พบว่า การงดการให้น้ำมีผลให้อ้อยมีค่า E น้อยกว่าอ้อยที่ได้รับน้ำ โดยค่า E มีแนวโน้มลดลงเมื่อระยะเวลาขาดน้ำยาวนานขึ้น โคลน KK12(R)-085 ที่ขาดน้ำนาน 14 วัน มีค่า E ต่างทางสถิติกับอ้อยที่ได้รับน้ำ เท่ากับ 1.14 และ 1.40 $\text{mmolm}^{-2}\text{s}^{-1}$ ตามลำดับ เช่นเดียวกับ โคลน KK3/E09-1 ที่ขาดน้ำนาน 14 และ 19 วัน มีค่า E น้อยกว่าอ้อยที่ได้รับน้ำ เท่ากับ 0.60 และ 0.81 $\text{mmolm}^{-2}\text{s}^{-1}$ ตามลำดับ และ 1.42 และ 1.56 $\text{mmolm}^{-2}\text{s}^{-1}$ ตามลำดับ รวมถึง พันธุ์ LK92-11 และ KK3 ที่ค่า E ของอ้อยที่ขาดน้ำนาน 19 และ 14 วัน ตามลำดับ มีค่า E น้อยกว่าอ้อยที่ได้รับน้ำ โดยแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ อย่างไรก็ตาม พบว่า การขาดน้ำมีผลให้ค่า E ของโคลน KK07-599 มีค่าไม่แตกต่างกันทางสถิติ เช่นเดียวกับค่า E

ของทุกพันธุ์/โคลนที่ไม่แตกต่างกันทางสถิติในวันที่สามหลังกลับมาได้รับน้ำอีกครั้ง (Figure 3)

ค่าชักนำการเปิด-ปิดปากใบ (Stomatal conductance; g_s) ไม่พบปฏิสัมพันธ์ระหว่างการจัดการการให้น้ำและพันธุ์/โคลนย่อยที่แตกต่างกันต่อค่า g_s แต่พบว่า อ้อยที่ขาดน้ำนาน 7 14 และ 19 วัน มีค่าเฉลี่ยของค่า g_s น้อยกว่าอ้อยที่ได้รับน้ำตามความต้องการของพืชอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ เท่ากับ 0.07 และ 0.09 0.03 และ 0.07 และ 0.02 และ 0.05 $\text{mmolm}^{-2}\text{s}^{-1}$ ตามลำดับ (ไม่แสดงข้อมูล) อย่างไรก็ตาม เมื่อเปรียบเทียบอ้อยภายในพันธุ์/โคลนเดียวกันแต่ได้รับการจัดการการให้น้ำที่แตกต่างกันพบว่า การงดการให้น้ำมีผลให้อ้อยมีค่า g_s น้อยกว่าอ้อยที่ได้รับน้ำ โดยค่า g_s มีแนวโน้มลดลงเมื่อระยะเวลาขาดน้ำยาวนานขึ้น และแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติในอ้อยโคลน KK3/E09-1 ที่ขาดน้ำนาน 14 วัน มีค่า g_s เท่ากับ 0.02 และ 0.06 $\text{mmolm}^{-2}\text{s}^{-1}$ ตามลำดับ และพันธุ์ LK92-11 ที่ขาดน้ำนาน 19 วัน มีค่า g_s เท่ากับ 0.01 และ 0.06 $\text{mmolm}^{-2}\text{s}^{-1}$ ตามลำดับ ขณะที่ พันธุ์/โคลนอื่นที่การขาดน้ำหรือการกลับมาได้รับน้ำอีกครั้งมีค่า g_s ไม่แตกต่างจากอ้อยที่ได้รับ (Figure 3)

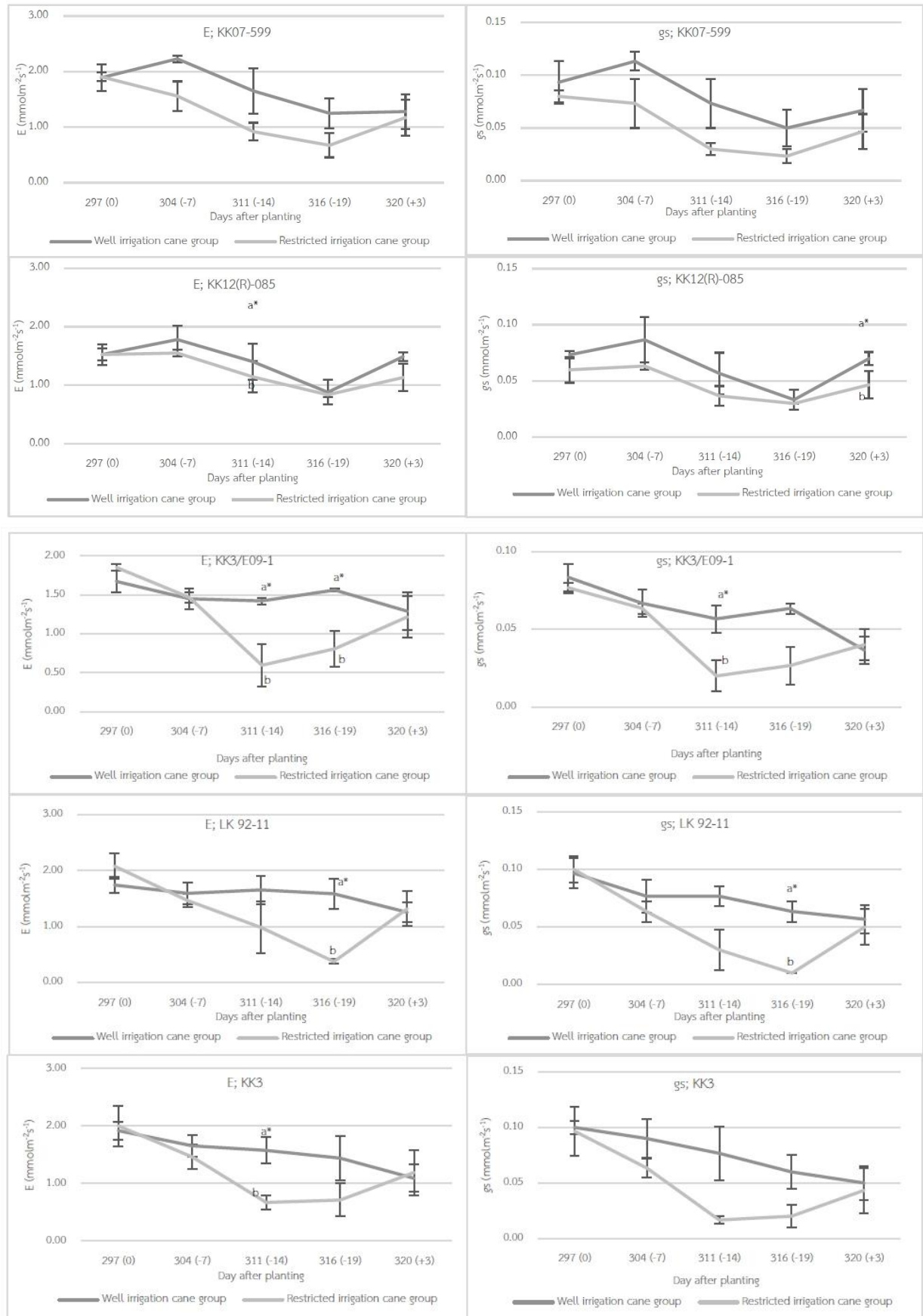


Figure 3 Transpiration rate; E (left panel) and stomatal conductance; gs (right panel) of promising sugarcane clones (data are mean±SE), restrict-watered period is among 297-316 day after planting, - = day after restrict-water, + = day after rehydration. Mean followed by the same letter in each day are not significantly different by T-test for various watered. * = Significant at p < 0.05, ** = Significant at p < 0.01.

ปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายได้ (Total soluble solid; TSS) ไม่พบปฏิสัมพันธ์ระหว่างการจัดการการให้น้ำและพันธุ์/โคลน อ้อยที่แตกต่างกันต่อค่า TSS แต่พบว่า อ้อยที่ขาดน้ำนาน 7 และ 19 วัน มีค่าเฉลี่ยของค่า TSS สูงกว่าอ้อยที่ได้รับน้ำตามความต้องการของพืชอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ เท่ากับ 20.87 และ 19.70 และ 22.40 และ 20.93 °Brix ตามลำดับ (ไม่แสดงข้อมูล) อย่างไรก็ตาม เมื่อเปรียบเทียบอ้อยภายในพันธุ์/โคลนเดียวกันแต่ได้รับการจัดการการให้

น้ำที่แตกต่างกัน พบว่า พันธุ์/โคลนอ้อยส่วนใหญ่มีค่า TSS ไม่แตกต่างกันทางสถิติ แต่พบว่า ค่า TSS ของอ้อยที่ขาดน้ำมีแนวโน้มสูงขึ้นเมื่อระยะเวลาในการขาดน้ำเพิ่มขึ้นและมีค่ามากกว่าอ้อยที่ได้รับน้ำ โดยเฉพาะอย่างยิ่งโคลน KK3/E09-1 ที่ขาดน้ำนาน 19 วัน มีค่า TSS สูงกว่าอ้อยที่ได้รับน้ำ เท่ากับ 22.75 และ 20.08 °Brix ตามลำดับ หรือในวันที่สามหลังจากกลับมาได้รับน้ำอีกครั้ง มีค่าเท่ากับ 20.25 และ 18.67 °Brix ตามลำดับ (Figure 4)

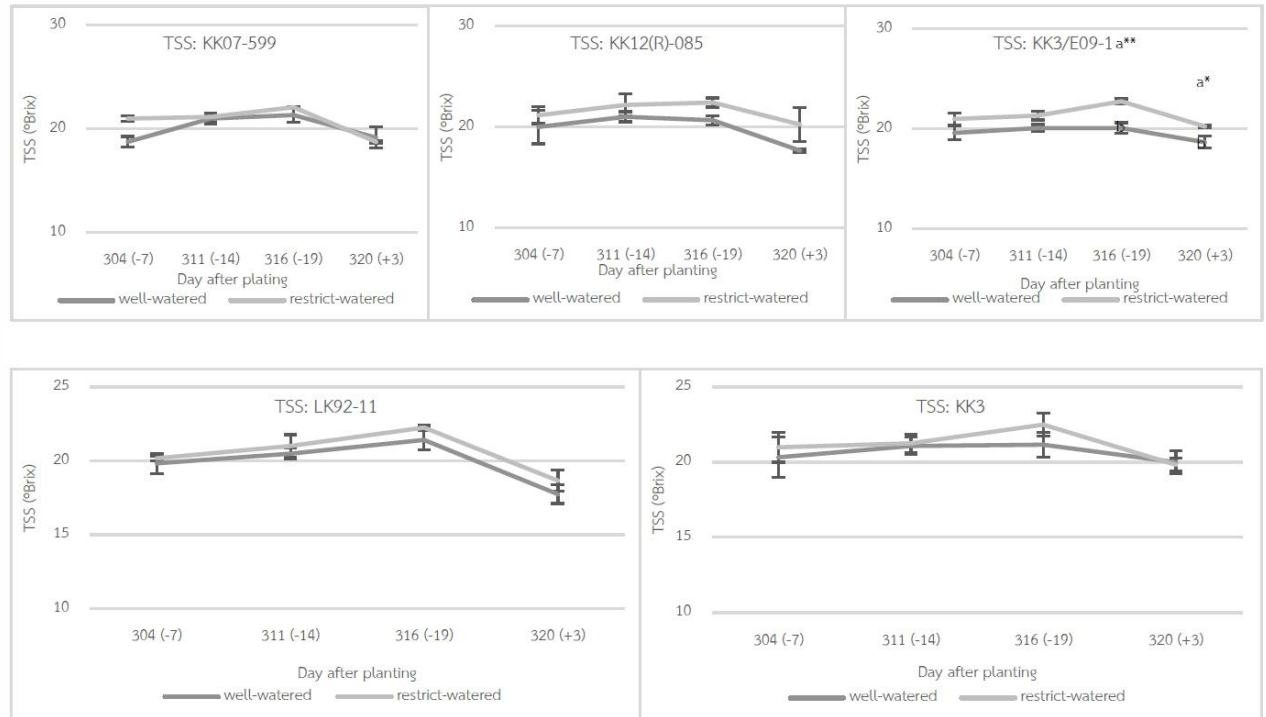


Figure 4 Total soluble solid; TSS of promising sugarcane clones (data are mean±SE), restrict-watered period is among 297-316 day after planting, - = day after restrict-water, + = day after rehydration. Mean followed by the same letter in each day are not significantly different by T-test for various watered.

*=Significant at $p < 0.05$, **=Significant at $p < 0.01$.

สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ของอ้อยที่ขาดน้ำนาน 19 วัน และในวันที่ 3 หลังได้รับน้ำอีกครั้ง

วิเคราะห์สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ระหว่างค่าพารามิเตอร์การสังเคราะห์ด้วยแสงและปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายได้ของอ้อยที่ขาดน้ำนาน 19 วัน พบว่า ค่า A ของอ้อยมีความสัมพันธ์ปานกลางในทางตรงข้ามกับค่า Ci ($r=-0.553^*$) ขณะที่ มีความสัมพันธ์กันอย่างสูงในทางเดียวกันกับ E และ gs ($r=0.751^*$ และ 0.782^{**}) แต่ไม่มีความสัมพันธ์กับค่า TSS สำหรับค่า Ci ไม่มีความสัมพันธ์กับค่า E gs

หรือ TSS ขณะที่ ค่า E มีความสัมพันธ์กันอย่างสูงในทางเดียวกันกับค่า gs ($r=0.953^{**}$) แต่มีความสัมพันธ์น้อยในทางตรงข้ามกับค่า TSS และค่า gs มีความสัมพันธ์น้อยในทางตรงข้ามกับค่า TSS ทั้งนี้ หลังจากขาดน้ำ 19 วัน ในวันที่สามหลังได้รับน้ำอีกครั้ง พบว่า ค่า A ไม่มีความสัมพันธ์กับค่า Ci และ TSS แต่พบว่า มีความสัมพันธ์อย่างสูงในทางเดียวกันกับค่า E และ gs ($r=0.909^{**}$ และ 0.922^{**}) เช่นเดียวกับ ค่า E ที่มีความสัมพันธ์อย่างสูงในทางเดียวกันกับค่า gs ($r=0.974^{**}$) (Table 1)

Table 1 Correlation coefficients among photosynthetic parameters and TSS of promising sugarcane clones at date 19th of restrict-watered and at date 3rd of re-watering (restrict-watered group)

Trait	A ^{1/2}	Ci	E	gs
At date 19 th of restrict-watered				
Ci	-0.553* ^{2/2}			
E	0.751*	-0.075ns		
gs	0.782**	-0.086ns	0.953**	
TSS	-0.016ns	0.018ns	-0.287ns	-0.221ns
At date 3 rd of re-watering				
Ci	0.082ns			
E	0.909**	0.221ns		
gs	0.922**	0.264ns	0.974**	
TSS	0.001ns	0.149ns	0.135ns	0.122ns

^{1/2}A=net photosynthesis rate, Ci=internal CO₂ concentration, E=transpiration rate, gs=stomatal conductance, and TSS=total soluble solid

^{2/2}*Correlation is significant at the 0.05 level (2-tailed) **Correlation is significant at the 0.01 level (2-tailed) ns=not significant

การขาดน้ำทำให้อ้อยมีการสังเคราะห์ด้วยแสงลดลง เนื่องจากเมื่อพืชขาดน้ำ การตอบสนองแรกที่เกิดขึ้นเพื่อลดการสูญเสียคือการลดการคายน้ำด้วยการปิดปากใบที่เป็นผลมาจากเซลล์คุมที่มีแรงเต่งลดลง (Gupta et al., 1989; Chaves et al., 2002) ดังนั้น ค่า gs และ E ของอ้อยจึงมีค่าลดลงตามลำดับ และมีแนวโน้มลดลงมากยิ่งขึ้นเมื่อระยะเวลาขาดน้ำเพิ่มขึ้น จากลักษณะดังกล่าวจึงทำให้ค่า A มีความสัมพันธ์กับค่า gs และค่า E สอดคล้องกับการศึกษาของ Silva et al. (2013) รายงานว่า อ้อยทนแล้งพันธุ์ TCP02-4587 มีค่า A สัมพันธ์ในทางเดียวกันกับค่า gs และ E ($r=0.96^{**}$ และ 0.93^{**} ตามลำดับ) และมีความสัมพันธ์น้อยในทางตรงข้ามกับค่า Ci Leanasawat et al. (2021) รายงานว่า ค่าพารามิเตอร์การสังเคราะห์ด้วยแสง ได้แก่ ค่า A E และ gs ของอ้อยที่ได้รับความชื้นที่ระดับความจุ ความชื้นสนามมีค่าสูงกว่าอ้อยที่ได้รับความชื้นครึ่งเท่าของความจุ ความชื้นสนามหรืออ้อยที่เจริญเติบโตโดยอาศัยน้ำฝน และ Gomathi et al. (2011) รายงานว่า อ้อยที่ได้น้ำมีค่า A เฉลี่ยสูงกว่าอ้อยที่ขาดน้ำ เท่ากับ 18.49 และ $12.21 \mu\text{molCO}_2\text{m}^{-2}\text{s}^{-1}$ ตามลำดับ เช่นเดียวกับ ค่า E เฉลี่ยของอ้อยที่ได้น้ำมีค่าสูงกว่าอ้อยที่ขาดน้ำ เท่ากับ 1.78 และ $1.51 \text{mmolm}^{-2}\text{s}^{-1}$ ตามลำดับ ดังนั้น Ribeiro et al. (2013) จึงแนะนำว่า พันธุ์โคลนอ้อยที่สามารถคงศักยภาพการสังเคราะห์ด้วยแสงได้แม้อยู่ภายใต้สภาวะที่มีน้ำจำกัดจะถูกจัดให้อยู่ในกลุ่มอ้อยที่ทนทานต่อความแห้งแล้ง เช่นเดียวกับ Gomathi et al. (2011) ที่รายงานว่ามีอยู่ 2 สภาวะแล้ง อ้อยทนแล้งพันธุ์ Co99004 และ Co99008 จะสูญเสียน้ำในปริมาณน้อย ในขณะที่มีอัตราการสังเคราะห์ด้วยแสงมากกว่าการเจริญเติบโต อย่างไรก็ตาม จากการศึกษาในครั้งนี้พบว่า การขาดน้ำมีผลให้อ้อยส่วนใหญ่มีค่า Ci สูงกว่าอ้อยที่ได้น้ำตามปกติ ซึ่งอาจมีสาเหตุจากอิเล็กตรอนที่ได้จากการแตกตัวของน้ำมีจำกัดจึงทำให้ได้พลังงาน (ATP, NADPH) ที่เกิดจากการเคลื่อนที่ของอิเล็กตรอนในระบบแสง II ลดลงทำให้ (1) พลังงานที่ใช้รีดิวซ์คาร์บอนไดออกไซด์ในกระบวนการตรึงคาร์บอนไดออกไซด์มีจำกัดจึงส่งผลให้อ้อยไม่สามารถตรึงคาร์บอนไดออกไซด์ได้ตามปกติ หรือ (2) ขาดพลังงานในขั้นตอน Regeneration ของกระบวนการตรึงคาร์บอนไดออกไซด์ทำให้มี RuBP ไม่เพียงพอสำหรับตรึงคาร์บอนไดออกไซด์จึงทำให้มีคาร์บอนไดออกไซด์สูงขึ้น (Kasemsap, 2006)

ขณะเดียวกัน สภาวะแล้งเป็นปัจจัยหลักที่จำกัดการสะสมน้ำตาลในอ้อย (Venkataramana et al., 1986) ทั้งนี้ Gomathi et al. (2011) ได้สนับสนุนว่า สภาวะแล้งมีผลกระทบต่อน้ำตาลซูโครส โดย

น้ำตาลซูโครสจะเปลี่ยนกลับเป็นน้ำตาลเฮกโซส (น้ำตาลกลูโคสและน้ำตาลฟรุกโทส) ทำให้น้ำตาลในอ้อยมีคุณภาพลดลงและมีผลต่อการสะสมน้ำตาล โดยเฉพาะอย่างยิ่งการเคลื่อนย้ายน้ำตาลจากแหล่งผลิตสู่แหล่งสะสม เนื่องจากน้ำมีส่วนช่วยเคลื่อนย้ายน้ำตาลใน phloem loading โดยเมื่อค่าศักย์ของน้ำใน sieve tube ลดลง ทำให้น้ำจากท่อลำเลียงน้ำออสโมซิสเข้าสู่ sieve tube แล้วช่วยลำเลียงน้ำตาลหรือสารอาหารสู่แหล่งใช้ (Kasemsap, 2006) ดังนั้น เมื่อขาดน้ำจึงอาจเป็นสาเหตุให้น้ำในท่อลำเลียงน้ำน้อยลง และส่งผลให้น้ำตาลระหว่าง phloem loading มีความเข้มข้นมากขึ้น สอดคล้องกับการศึกษาในครั้งนี้ที่พบว่า อ้อยที่ขาดน้ำทุกพันธุ์/โคลนมีค่า TSS สูงกว่าอ้อยที่ได้น้ำตามปกติโดยไม่ได้รับผลกระทบจากอัตราการสังเคราะห์ด้วยแสงที่ลดลง Jaiphong et al. (2016) ที่รายงานว่า อ้อยที่ขาดน้ำนาน 15 วัน มีซูโครสเพิ่มขึ้นและแตกต่างทางสถิติกับอ้อยที่ได้น้ำตามปกติ ขณะเดียวกัน Gomathi et al. (2011) กล่าวว่า สภาวะแล้งทำให้อ้อยมีการเจริญเติบโตลดลงจึงอาจเป็นสาเหตุให้คาร์บอนส่วนใหญ่ที่ได้จากการสังเคราะห์ด้วยแสงถูกเก็บสะสมยังลำอ้อยในรูปของน้ำตาลมากกว่าถูกนำไปใช้ในแหล่งใช้อื่น ต่างจากอ้อยที่ได้น้ำตามปกติที่ยังสามารถรักษาการเจริญเติบโตได้ โดยคาร์บอนที่ได้จากการสังเคราะห์ด้วยแสงนอกจากจะถูกสะสมในลำอ้อยแล้ว ยังถูกเคลื่อนย้ายไปยังแหล่งใช้อื่น เช่น ใบ ปล้อง หรือ ยอด เพื่อวัตถุประสงค์ต่าง ๆ เช่น กระบวนการหายใจ การสังเคราะห์โปรตีนและไฟเบอร์ เป็นต้น (Bindon & Botha, 2002; Wang, 2017) และจากลักษณะดังที่กล่าวมาแล้วข้างต้นจึงอาจส่งผลให้พารามิเตอร์การสังเคราะห์ด้วยแสงไม่สัมพันธ์กับค่า TSS ทั้งในสภาวะขาดน้ำหรือได้น้ำอีกครั้ง

ทั้งนี้ เมื่ออ้อยที่ผ่านการงดการให้น้ำแล้วได้น้ำอีกครั้ง พบว่าค่าพารามิเตอร์การสังเคราะห์ด้วยแสงมีค่าใกล้เคียงกับอ้อยที่ได้น้ำตามปกติ โดยอ้อยสามารถฟื้นฟูศักยภาพการสังเคราะห์ด้วยแสงด้วยการเพิ่มค่าชักนำการเปิด-ปิดปากใบ และเพิ่มการคายน้ำที่ให้น้ำเกิดการเคลื่อนที่ภายในต้นพืชทดแทน (ไอน้ำ) ที่สูญเสียจากการคายน้ำ ประกอบกับ ดินมีความชื้นเพิ่มขึ้นภายหลังการให้น้ำอีกครั้ง (Figure 1) ทำให้ท่อลำเลียงน้ำมีน้ำเพิ่มขึ้น ดังนั้น อ้อยจึงอาจมีน้ำเพียงพอสำหรับการใช้ประโยชน์ในระบบแสง II (PSII) และเพื่อการลำเลียงสารอาหารที่ได้จากการสังเคราะห์ด้วยแสง โดยพิจารณาจากค่าอัตราการสังเคราะห์ด้วยแสงสุทธิที่เพิ่มขึ้น และค่า TSS ที่ลดลง สอดคล้องกับการศึกษาของ Dinh et al. (2019) ที่รายงานว่า อ้อยสามารถฟื้นฟูการสังเคราะห์ด้วยแสงได้ทันทีหลังได้น้ำอีกครั้ง และ Medeiros et al. (2013) รายงาน

ว่า อ้อยพันธุ์ RB962962 ที่ขาดน้ำนาน 8 วัน สามารถฟื้นตัวได้อย่างรวดเร็วในวันที่สองหลังได้รับน้ำอีกครั้ง

การศึกษาในครั้งนี้ ถึงแม้ว่าพันธุ์/โคลนอ้อยที่ดำเนินการศึกษาไม่ได้แสดงลักษณะพารามิเตอร์การสังเคราะห์ด้วยแสงที่บ่งชี้ถึงการทนทานต่อความแห้งแล้ง แต่อ้อยเหล่านั้นได้แสดงออกโดยลดการสูญเสียน้ำด้วยการปิดปากใบซึ่งเป็นการปรับตัวของพืชเมื่ออยู่ภายใต้สภาวะขาดน้ำ ขณะเดียวกัน จากหลายการศึกษาที่ผ่านมาแสดงให้เห็นว่า การฟื้นตัวเป็นอีกหนึ่งลักษณะที่สามารถนำมาใช้เพื่อบ่งชี้ถึงศักยภาพด้านการสังเคราะห์ด้วยแสงของอ้อยได้ (Aidar et al., 2014; Wang et al., 2022) โดยเฉพาะอย่างยิ่งพันธุ์อ้อยที่แตกต่างกันจะมีลักษณะพารามิเตอร์การสังเคราะห์ด้วยแสงต่อการฟื้นตัวที่แตกต่างกัน (Leanasawat et al., 2021) ดังนั้น อ้อยโคลนดีเด่นที่สามารถฟื้นฟูปารามิเตอร์การสังเคราะห์ด้วยแสงใกล้เคียงกับอ้อยที่ได้รับน้ำตามปกติคือ KK07-599 และ KK3/E09-1 เช่นเดียวกับอ้อยพันธุ์ LK92-11 และ KK3 ที่มีค่า g_s และ E ใกล้เคียงกับอ้อยที่ได้รับน้ำตามปกติ โดยเฉพาะอย่างยิ่งอ้อยพันธุ์ KK3 ที่ได้รับการยอมรับจากหลายการทดลองที่ผ่านมาว่าหลังจากผ่านสภาวะกระแทกแล้งแล้ว สามารถฟื้นตัวได้อย่างรวดเร็วเมื่อได้รับน้ำอีกครั้ง (Namwongsa et al., 2019; Buakom et al., 2020) ทั้งนี้ ในวันที่ 19 ของการควบคุมการให้น้ำในการศึกษาครั้งนี้ พบว่าค่าพารามิเตอร์การสังเคราะห์ด้วยแสงของอ้อยที่ได้รับน้ำตามปกติมีค่าลดลงหรือใกล้เคียงกับอ้อยทั้งการให้น้ำนั้น เป็นเพราะช่วงการวัดข้อมูลดังกล่าวอยู่ในช่วงก่อนครบกำหนดการให้น้ำ ทำให้ดินมีความชื้นลดลง (Figure 1) และส่งผลต่อการสังเคราะห์ด้วยแสงของพืชตามลำดับ (Chinnasaen et al., 2023)

สรุปผลการวิจัย

การขาดน้ำมีอิทธิพลต่อพารามิเตอร์การสังเคราะห์ด้วยแสงและปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายได้มากกว่าพันธุ์/โคลนอ้อยที่แตกต่างกัน และไม่พบปฏิสัมพันธ์ระหว่างการจัดการการให้น้ำและพันธุ์/โคลนอ้อยที่แตกต่างกันต่อค่าพารามิเตอร์ดังกล่าว อย่างไรก็ตามพบว่า เมื่อขาดน้ำพารามิเตอร์การสังเคราะห์ด้วยแสงของอ้อย ได้แก่ อัตราการสังเคราะห์ด้วยแสงสุทธิ อัตราการคายน้ำ และค่าชักนำการเปิด-ปิดปากใบมีค่าลดลง โดยทั้งสามพารามิเตอร์มีความสัมพันธ์กันอย่างสูงในทางเดียวกัน ขณะที่ ความเข้มข้นของคาร์บอนไดออกไซด์ในใบและปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายได้มีค่าเพิ่มขึ้น ทั้งนี้ เมื่อได้รับการให้น้ำอีกครั้ง อ้อยโคลนดีเด่น ได้แก่ KK07-599 และ KK3/E09-1 สามารถฟื้นฟูปารามิเตอร์การสังเคราะห์ด้วยแสงได้ใกล้เคียงกับอ้อยที่ได้รับน้ำตามปกติ โดยอ้อยโคลนดีเด่นดังกล่าวควรถูกคัดเลือกเพื่อทดสอบในประเด็นการศึกษาอื่น ๆ เช่น ความสัมพันธ์ระหว่างการสังเคราะห์ด้วยแสงกับการสะสมน้ำตาลภายใต้เงื่อนไขของการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ (เช่น สภาวะแล้ง อุณหภูมิสูง และ น้ำท่วมขัง เป็นต้น) หรือใช้อ้อยโคลนดีเด่นทั้งสองเป็นพ่อหรือแม่พันธุ์ในขั้นตอนการผสมพันธุ์ซึ่งอาจทำให้ได้อ้อยพันธุ์ใหม่ที่มีความโดดเด่นด้านการปรับตัวทางการสังเคราะห์ด้วยแสงต่อการเปลี่ยนแปลงของสภาพภูมิอากาศนั้น ๆ ขณะเดียวกัน รูปแบบการศึกษาในครั้งนี้อาจสามารถนำมาใช้เป็นต้นแบบประกอบการคัดเลือกพันธุ์อ้อยในขั้นตอนการปรับปรุงพันธุ์อ้อยได้เช่นเดียวกัน

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณกองทุนส่งเสริมวิทยาศาสตร์ วิจัยและนวัตกรรม ที่ให้การสนับสนุนงบประมาณสำหรับการดำเนินการวิจัยในครั้งนี้

References

- Aidar, S. T., Meirelles, S. T., Oliveira, R. F., Chaves, A. R. M., & Fernandes-Júnior, P. I. (2014). Photosynthetic response of poikilochlorophyllous desiccation-tolerant *Pleurostima purpurea* (Velloziaceae) to dehydration and rehydration. *Photosynthetica*, 52(1), 124-133. doi:10.1007/s11099-014-0014-0
- Bindon, K. A., & Botha, F. C. (2002). Carbon allocation to the insoluble fraction, respiration and triose-phosphate cycling in the sugarcane culm. *Physiologia Plantarum*, 116(1), 12-19. doi:10.1034/j.1399-3054.2002.1160102.x
- Buakom, W., Krachal, P., Gonkhamdee, S., Songsri, P., & Jongrunklang, N. (2020). Responses of rooting and physiological characteristics of sugarcane grown under mimic drought stress as low water potential at early stage. *Khon Kaen Agriculture Journal*, 48(6), 1442-1457. doi:10.14456/kaj.2020.127
- Chaves, M. M., Pereira, J. S., Maroco, I., Rodrigues, M. L., Ricardo, C. P. P., Osório, M. L., Carvalhlo, I., Faria, T., & Pinharo, C. (2002). How plants cope with water stress in the field ? photosynthesis and growth. *Annals of Botany*, 89(7), 907-916. doi:10.1093/aob/mcf105
- Chinnasaen, T., Chanachai, S., Pakdeethai, C., Tippiyawat, A., Jungpol, P., Boonchim, T., & Pongpanchamit, K. (2023). The change in photosynthetic parameters of sugarcane promising clones under drought stress. *Prawarun Agricultural Journal*, 20(1), 54-64. doi: 10.14456/paj.2023.7. (in Thai)
- Dinh, T. H., Takaragawa, H., Watanabe, K., Nakabaru, M., & Kawamitsu, Y. (2019). Leaf photosynthesis response to change of soil moisture content in sugarcane. *Journal Sugar Tech*, 21(6), 949–958. doi: 10.1007/s12355-019-00735-8
- Doorenbos, J., & Kassam, A.H. (1979). *Yield Response to Water*. Rome, Italy: Food and Agriculture Organization of the United Nations.
- Endres, L., Silva, J. V., Ferreira, V. M., & Barbosa, G. V. de S. (2010). Photosynthesis and water relations in Brazilian sugarcane. *The Open Agriculture Journal*, 4(1), 31-37. doi: 10.2174/1874331501004010031
- Gomathi, R., Vasantha, S. Hemaprabha, G., Alarmelu, S., & Shanthi, R.M. (2011). Evaluation of elite sugarcane clones for drought tolerance. *Journal of Sugarcane Research*, 1(1), 55 - 62.

- Gupta, A. S., Berkowitz, G. A., & Pier, P. A. (1989). Maintenance of photosynthesis at low leaf water potential in wheat. *Plant Physiology*, 89(4), 1358-1365. doi: 10.1104/pp.89.4.1358
- Inman-Bamber, N. G., Bonnett, G. D., Spillman, M. F., Hewitt, M. H., & Glassop, D. (2010). Sucrose accumulation in sugarcane is influenced by temperature and genotype through the carbon source-sink balance. *Crop and Pasture Science*, 61(2), 111-121. doi: 10.1071/CP09262
- Jaiphong, T., Tominaga, J., Watanabe, K., Nakabaru, M., Takaragawa, H., Suwa, R., Ueno, M., & Kawamitsu, Y. (2016). Effects of duration and combination of drought and flood conditions on leaf photosynthesis, growth and sugar content in sugarcane. *Plant Production Science*, 19(3), 427-437. doi: 10.1080/1343943X.2016.1159520
- Kasemsap, P. (2006). *Biology 2*. Bangkok, Thailand: The Promotion of Academic Olympiad and Development of Science Education Foundation. (in Thai)
- Khonghintaisong, J., Songsri, P., & Jongrunklang, N. (2017). Growth and physiological patterns of sugarcane cultivars to mimic drought conditions in late rainy season system. *Naresuan University Journal: Science and Technology*, 25(2), 102-112. (in Thai)
- Leanasawat, N., Kositrakun, M., Lontom, W., & Songsri, P. (2021). Physiological and agronomic traits of certain sugarcane genotypes grown under field conditions as influenced by early drought stress. *Agronomy*, 11(11), 2319. doi:10.3390/agronomy11112319
- Liu, Y. Y., Li, J., Liu, S. C., Yu, Q., Tong, X. J., Zhu, T. T., Gao, X. X., & Yu, L. X. (2020). Sugarcane leaf photosynthetic light responses and their difference between varieties under high temperature stress. *Photosynthetica*, 58(4), 1009-1018. doi: 10.32615/ps.2020.038
- Medeiros, D. B., da Silva, E. C., Nogueira, R. J. M. C., Teixeira, M. M., & Buckeridge, M. S. (2013). Physiological limitations in two sugarcane varieties under water suppression and after recovering. *Theoretical and Experimental Plant Physiology*, 25(3), 213-222. doi:10.1590/S2197-00252013000300006
- Moore, P. H. (1995). Temporal and spatial regulation of sucrose accumulation in the sugarcane stem. *Australian Journal of Plant Physiology*, 22(4), 661-679. doi:10.1071/PP9950661
- Namwongsa, J., Jongrunklang, N., & Songsri, P. (2019). Genotypic variation in root distribution and physiological responses of sugarcane induced by drought stress. *SABRAO Journal of Breeding and Genetics*, 51(4), 470-493. doi:10.1101/503912
- Paisancharoen, K., Sansayawichai, T., Luanmanee, S., Thippayarugs, S., Chusorn, K., Chuenrung, J., & Pakdeethai, C. (2012). Water requirement and Kc values of Khon Kaen 3 sugarcane variety. *Khon Kaen Agriculture Journal*, (Suppl. 3), 103-114. (in Thai)
- Qudsieh, H. Y. M., Yusof, S., Osman, A., & Rahman, R. A. (2001). Physico-chemical changes in sugarcane (*Saccharum officinarum* var *yellow cane*) and the extracted juice at different portions of the stem during development and maturation. *Food Chemistry*, 75(2), 131-137. doi:10.1016/S0308-8146(00)00294-6
- Ribeiro, R. V., Machado, R. S., Machado, E. C., Machado, D. F. S. P., Filho, J. R. M., & Landell, M. G. A. (2013). Revealing drought-resistance and productive patterns in sugarcane genotypes by evaluating both physiological responses and stalk yield. *Experimental Agriculture*, 49(2), 212-224. doi:10.1017/S0014479712001263
- Silva, M de. A., Jifon, J., dos Santos, C. M., Jadoski, C. J., & Da Silva, J. A. (2013). Photosynthetic capacity and water use efficiency in sugarcane genotypes subject to water deficit during early growth phase. *Brazilian Archives of Biology and Technology*, 56(5), 735-748. doi:10.1590/S1516-89132013000500004
- Smith, M. (1992). *CROPWAT: a computer Program for irrigation planning and management*. Rome, Italy: Food and Agriculture Organization of the United Nations.
- Venkataramana, S., Gururaja Rao, P. N., & Naidu, K. M. (1986). The effects of water stress during the formative phase on stomatal resistance and leaf water potential and its relationship with yield in ten sugarcane varieties. *Field Crop Research*, 13, 345-353. doi:10.1016/0378-4290(86)90035-3
- Vu, J. V. C., & Allen Jr, L. H. (2009). Stem juice production of the C₄ sugarcane (*Saccharum officinarum*) is enhanced by growth at double-ambient CO₂ and high temperature. *Journal of Plant Physiology*, 166(11), 1141-1151. doi: 10.1016/j.jplph.2009.01.003
- Wang, J., Zhang, X., Han, Z., Feng, H., Wang, Y., Kang, J., Han, X., Wang, L., Wang, C., Li, H., & Ma, G. (2022). Analysis of physiological indicators associated with drought tolerance in wheat under drought and re-watering conditions. *Antioxidants (Basel)*, 11(11), 2266. doi: 10.3390/antiox11112266
- Wang, J., Zhao, T., Yang, B., & Zhang, S. (2017). Sucrose metabolism and regulation in sugarcane. *Journal of Plant Physiology & Pathology*, 5(4), 1-6. doi: 10.4172/2329-955X.1000167

Research article

Photosynthetic parameters and total soluble solid of promising sugarcane clones under drought stress condition

Theerarat Chinnasaen* Sangdaun Chanachai Chayant Pakdeethai Ammarawan Tippayawat and Krongkan Pongpanchamit

Khon Kaen Field Crops Research Center, Sila, Khon Kaen District, Khon Kaen Province, Thailand 40000

ARTICLE INFO**Article history**

Received: 8 April 2024

Revised: 19 June 2024

Accepted: 25 June 2024

Online published: 18 July 2024

Keyword

Stomatal conductance

Total soluble solid

Transpiration rate

Net photosynthesis rate

ABSTRACT

Photosynthesis is the major source of organic carbon and energy for plant growth and biomass production. However, drought is one of the crucial factors that affect photosynthesis. Hence, this study aimed to evaluate the change in photosynthetic parameters and TSS (Total soluble solid) under drought stress and the recovery after re-watering in promising sugarcane clones at Khon Kaen Field Crops Research Center (KKFCRC) in 2023. The experimental design was a split plot with 3 replications, main plots were (1) well-watered based on plant requirement, (2) restricted-watered for 19 days, and subplots were the genotypes of sugarcane: (1) KK07-599, (2) KK12(R)-085, (3) KK3/E09-1, (4) LK92-11, and (5) KK3. The results showed that drought reduced the photosynthetic parameters as net photosynthesis (A), transpiration rate (E), and stomatal conductance (gs) while internal CO₂ concentration (Ci) and TSS tended to be elevated when compared with the homogenous genotype that was irrigated with well-watered, restricted irrigation for 14 days in KK3/E09-1 presented the lowest gs as 0.02 mmolm⁻²s⁻¹, and A, E, and gs presented high positive correlation in each other. Moreover, photosynthetic parameters were recovered after re-watering, especially in KK07-599 and KK3/E09-1 which could apply to selecting sugarcane breeding or be the study model of sugarcane photosynthesis physiology in Thailand.

*Corresponding author

E-mail address: nongtheerarat@gmail.com (T. Chinnasaen)

Online print: 18 July 2024 Copyright © 2024. This is an open access article, production, and hosting by Faculty of Agricultural Technology, Rajabhat Maha Sarakham University. <https://doi.org/10.14456/paj.2024.31>



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

บทความวิจัย

ประสิทธิภาพของน้ำหมักชีวภาพที่มีผลต่อการเจริญเติบโตของปลานิลในระบบไบโอฟลอค

จุฑามาศ ทะแกลัวพันธ์* อัจฉริย์ ภูมวรรณ บัญญัติ ศิริธนาวงศ์ และ ชลิตา ข้างแก้ว

สาขาวิชาการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ คณะเทคโนโลยีการเกษตร มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบุรี อำเภอเมือง จังหวัดเพชรบุรี ประเทศไทย 76000

ข้อมูลบทความ

Article history

รับ: 28 ตุลาคม 2566

แก้ไข: 17 มีนาคม 2567

ตอบรับการตีพิมพ์: 19 มิถุนายน 2567

ตีพิมพ์ออนไลน์: 23 กรกฎาคม 2567

คำสำคัญ

น้ำหมักชีวภาพ

ปลานิล

ไบโอฟลอค

คุณภาพน้ำ

การเจริญเติบโต

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาประสิทธิภาพของน้ำหมักชีวภาพในสูตรต่าง ๆ ที่มีผลต่อการเจริญเติบโตของปลานิลซึ่งเลี้ยงในระบบไบโอฟลอค โดยวางแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ ประกอบด้วย 4 ชุดการทดลอง ชุดการทดลองละ 3 ซ้ำ ได้แก่ ชุดการทดลองที่ 1 การเลี้ยงปลานิลด้วยระบบปกติ (ชุดควบคุม) ชุดการทดลองที่ 2 การเลี้ยงปลานิลระบบ ไบโอฟลอคร่วมกับน้ำหมักชีวภาพสูตรอเอ็ม ชุดการทดลองที่ 3 การเลี้ยงปลานิลระบบไบโอฟลอคร่วมกับน้ำหมักชีวภาพ สูตรจุลินทรีย์บาซิลลัส และชุดการทดลองที่ 4 การเลี้ยงปลานิลระบบไบโอฟลอคร่วมกับน้ำหมักชีวภาพสูตรจุลินทรีย์สังเคราะห์แสง เริ่มต้นเลี้ยงปลานิลน้ำหนักเฉลี่ย 7.68 ± 0.48 เซนติเมตร ความยาวเฉลี่ย 6.52 ± 0.40 กรัม ในตู้กระจกขนาด $24 \times 12 \times 15$ นิ้ว (ปริมาตรน้ำ 54 ลิตร) อัตราความหนาแน่น 45 ตัว/ตารางเมตร ให้อาหารสำเร็จรูปวันละ 2 มื้อ ตรวจวัดคุณภาพน้ำทุกสัปดาห์ เป็นเวลา 6 สัปดาห์ เมื่อสิ้นสุดการทดลอง พบว่า การเลี้ยงปลานิลระบบไบโอฟลอคร่วมกับน้ำหมักชีวภาพสูตรอเอ็มมีการเจริญเติบโตดีที่สุด อัตราการรอดตายสูง (100 %) อัตราการแลกเนื้อต่ำ (0.83) เนื่องจากน้ำหมักชีวภาพสูตรอเอ็มก่อให้เกิดตะกอนจุลินทรีย์ได้มาก เมื่อนำไปวิเคราะห์พบว่ามีโปรตีน 23.43 % ของน้ำหนักแห้ง โดยทุกชุดการทดลองมีคุณภาพน้ำที่ใกล้เคียงกัน อุณหภูมิน้ำ 28-30 องศาเซลเซียส ค่าความเป็นกรดเป็นด่าง 6.7-8.3 ค่าอัลคาไลน์ดี 68-119 มิลลิกรัม/ลิตรของแคลเซียมคาร์บอเนต ไนโตรเจน 0-0.5 มิลลิกรัม/ลิตร แอมโมเนียรวม 0-0.2 มิลลิกรัม/ลิตร ปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำ 4-5 มิลลิกรัม/ลิตร ปริมาณของแข็งแขวนลอย 100-500 มิลลิกรัม/ลิตร ซึ่งคุณภาพน้ำของทุกชุดการทดลองมีค่าเฉลี่ยไม่แตกต่างจากชุดควบคุม นอกจากนี้ยังพบแบคทีเรียชนิดดีหลายชนิดในบ่อบำบัดน้ำทั้งจากระบบ ได้แก่ ไรแดง (*Moina macrocopa*) และไรดิเฟอร์ (*Brachionus* sp.) ซึ่งเป็นอาหารเสริมสำหรับปลานิลอีกด้วย ส่วนการเลี้ยงปลานิลระบบไบโอฟลอคร่วมกับน้ำหมักชีวภาพสูตรอเอ็มสามารถบำบัดแอมโมเนียได้ดีทำให้เปลี่ยนถ่ายน้ำน้อยทำให้ประหยัดต้นทุนการเลี้ยง

บทนำ

ระบบการเลี้ยงสัตว์น้ำโดยใช้ตะกอนจุลินทรีย์หรือที่เรียกว่าฟลอค เป็นระบบที่อาศัยการเปลี่ยนตะกอนของเสียอินทรีย์ที่มีองค์ประกอบจำพวกไนโตรเจนเป็นหลักให้เกิดการเกาะตัวกันโดยอาศัยการเติมแหล่งคาร์โบไฮเดรตลงไปเพื่อให้เป็นแหล่งคาร์บอน การควบคุมสมดุลไบโอฟลอคในระบบจึงต้องควบคุมสัดส่วน C/N Ratio ให้สมดุลกัน (Hmadhloo et al., 2013; Jitmanowan, 2020) เพื่อกระตุ้นให้ตะกอนจุลินทรีย์เหล่านั้นสามารถเปลี่ยนกลับเป็นอาหารสำหรับปลาได้โดยการเพิ่มจำนวนเซลล์ใหม่ให้มากขึ้น รวมถึงช่วยลดปริมาณของเสียในระบบให้ลดลงได้อีกด้วย จึงถือได้ว่าจุลินทรีย์ ไบโอฟลอคได้เปลี่ยนของเสียให้เป็นอาหารสำหรับปลาและควบคุมปริมาณของเสียแอมโมเนียให้อยู่ระดับที่ไม่เป็นพิษในระบบ ปัจจุบันมีการแนะนำให้ใช้จุลินทรีย์หลายชนิดเพื่อสร้างไบโอฟลอคที่มีประสิทธิภาพรวมทั้งการเลือกแหล่งคาร์โบไฮเดรตที่เหมาะสม ระบบไบโอฟลอคช่วยแก้ปัญหามลพิษทางน้ำและปรับปรุงคุณภาพของทรัพยากรน้ำได้ นอกเหนือจากการรีไซเคิลสารอาหารที่พบในน้ำโดยเมตาบอลิซึมของแบคทีเรียเฮเทอโรโทรฟิก ซึ่งอยู่ภายในระบบ

นิเวศบ่อเลี้ยงสัตว์น้ำภายในฟาร์ม (Castro-Nieto et al., 2012) ซึ่งสามารถเสริมการทำงานของระบบได้โดยเติมหัวเชื้อจุลินทรีย์เชิงพาณิชย์ได้ร่วมกับเสริมอาหารจากคาร์โบไฮเดรตลงไปในช่วงเช้าอาหาร (Azim & Little, 2008) การเสริมจุลินทรีย์ที่มีประสิทธิภาพ (Effective microorganism หรือ EM) ซึ่งจุลินทรีย์เหล่านี้ได้จากอากาศและติดมากับเศษสิ่งมีชีวิตที่นำมาทำน้ำหมักชีวภาพ ได้แก่ แบคทีเรียที่สังเคราะห์แสง (Photosynthetic bacteria) แบคทีเรียที่ตรึงไนโตรเจนได้ (Nitrogen-fixing bacteria) แอคติโนมัยซีต (Actinomycetes) ยีสต์ราชนิดต่าง ๆ และกลุ่มจุลินทรีย์สร้าง กรด เช่น แบคทีเรียผลิตกรดแลกติก (Lactic acid bacteria) (Phonpisuttimas, 2012) ลักษณะของตะกอนไบโอฟลอคที่เกิดขึ้นจะเป็นสารประกอบที่เกิดจากจากอินทรีย์วัตถุ 60 ถึง 70 % ซึ่งมีส่วนผสมที่ต่างกันของจุลินทรีย์ (เชื้อรา สาหร่าย โปรโตซัว และไรดิเฟอร์) และสารอนินทรีย์ประมาณ 30-40 % เช่น คอลลอยด์ โพลีเมอร์อินทรีย์ และเซลล์ที่ตายแล้วของสิ่งมีชีวิตต่าง ๆ ซึ่งตะกอนอาจมีขนาดใหญ่ได้ถึง 1,000 ไมโครเมตร มีรูปร่างไม่สม่ำเสมอ เต็มไปด้วยรูพรุนและของเหลวไหลผ่านได้ (Chu & Lee, 2004)

*Corresponding author

E-mail address: runchoo@gmail.com (C. Thaklaewphan)

Online print: 23 July 2024 Copyright © 2024. This is an open access article, production, and hosting by Faculty of Agricultural Technology, Rajabhat Maha Sarakham University. <https://doi.org/10.14456/paj.2024.32>

การสร้างตะกอนฟลอคทำให้ผลผลิตสัตว์น้ำเพิ่มขึ้นได้โดยไม่ต้องเพิ่มพื้นที่การเลี้ยง ในอนาคตระบบนี้จะมีบทบาทมากขึ้นเนื่องจากอุตสาหกรรมสัตว์น้ำที่เติบโตมากขึ้นเพื่อตอบสนองความต้องการของประชากรโลก อีกทั้งข้อดีอีกประการหนึ่งของการใช้ระบบไบโอฟลอคคือการลดต้นทุนการผลิต ซึ่งไม่เพียงเป็นประโยชน์ต่อผู้ผลิตเท่านั้น แต่ยังเป็นประโยชน์ต่อผู้บริโภคอีกด้วยในแง่ที่สามารถเข้าถึงแหล่งโปรตีนจากสัตว์น้ำได้มากขึ้น

สายพันธุ์จุลินทรีย์ที่เหมาะสมในระบบเลี้ยงต้องมีความสามารถที่จะทนทานอยู่ได้ในสภาพการเลี้ยงที่มีความหนาแน่นของประชากรสิ่งมีชีวิตในระบบหนาแน่นมากและจะต้องมีคุณสมบัติช่วยปรับปรุงคุณภาพน้ำให้ดีขึ้นได้ รวมถึงสามารถอยู่ร่วมกับสิ่งมีชีวิตอื่น ๆ ในระบบได้ ซึ่งทำให้เกิดความหลากหลายทางชีวภาพภายในระบบเลี้ยง ทั้งนี้หากไม่ได้เสริมตัวเชื้อจุลินทรีย์เข้าไป ก็จะมีขึ้นอยู่กัจุลินทรีย์ที่พบในแหล่งน้ำในธรรมชาตินั้น บางส่วนจุลินทรีย์เหล่านั้นอาจทำหน้าที่เป็นตัวควบคุมทางชีวภาพ บางส่วนอาจทำหน้าที่เป็นสารควบคุมทางชีวภาพเพื่อต่อต้านเชื้อโรคผ่านการดำรงชีพแบบแข่งขันในระบบนิเวศ เนื่องจากความสามารถของโปรไบโอติกที่แตกต่างกัน (Ray et al., 2010a; Ray et al., 2010b) อย่างไรก็ตามเพื่อให้บรรลุถึงการใช้ประโยชน์จากแบคทีเรียเฮเทอโรโทรฟิกในการเลี้ยงระบบไบโอฟลอค สิ่งจำเป็นที่จะต้องรักษาสสมดุลเพื่อปรับความสัมพันธ์ระหว่างคาร์บอนต่อไนโตรเจน (C:N) ในแหล่งน้ำและต้องใช้คาร์บอนประมาณ 20 ยูนิต์เพื่อดูดซับไนโตรเจน 1 หน่วย ซึ่งได้จากการเพิ่มอาหารที่มีโปรตีนต่ำลงไปเพื่อให้ได้สารคาร์โบไฮเดรต เช่น กากน้ำตาล ในปริมาณที่เพียงพอ (Emerenciano et al., 2011; Avnimelech, 2014) เมื่อเสริมคาร์โบไฮเดรตในอัตราที่เพียงพอแบคทีเรียก็จะเจริญเติบโตได้ดีภายในระบบการเลี้ยง โดยเริ่มใช้สารประกอบไนโตรเจนที่มีอยู่ในน้ำซึ่งอยู่ในรูปที่เป็นพิษต่อการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ เช่น คาร์บอนอินทรีย์ แอมโมเนีย ไนโตรเจนไนเตรท ไนไตรท์ และฟอสเฟตเป็นแหล่งพลังงาน ด้วยการออกซิไดซ์ของสาหร่าย เชื้อรา และแบคทีเรียอื่น ๆ และจากการกรองของสิ่งมีชีวิตในมวลน้ำสามารถใช้สารเหล่านั้นเป็นอาหารได้ (Avnimelech, 2014) บทบาทการดูดกลืนไนโตรเจนเข้าสู่กระบวนการไนตริฟิเคชันเป็นกลไกการควบคุมระดับไนโตรเจนอนินทรีย์ในไบโอฟลอคของระบบการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ ทำให้ตะกอนจุลินทรีย์ที่เกิดขึ้นมีความสำคัญสำหรับการควบคุมไนโตรเจนอนินทรีย์ในระยะต่าง ๆ ของการทดลอง ในระยะแรกก่อนการเกิดขึ้นของกระบวนการไนตริฟิเคชันที่สมบูรณ์ การเติมสารคาร์บอนอินทรีย์จะช่วยให้การเปลี่ยนไนโตรเจนให้กลายเป็นก้อนจุลินทรีย์เกิดขึ้นต่อมาในระยะไนตริฟิเคชันอัตราการเกิดขึ้นของก้อนจุลินทรีย์ก็จะเกิดขึ้นในระดับที่น้อยลงตามลำดับ กระบวนการต่าง ๆ เหล่านี้ก็มีหน้าที่ในการควบคุมไนโตรเจนที่มีประสิทธิผลบนพื้นฐานของผลลัพธ์ที่แตกต่างกันจึงจำเป็นต้องมีการศึกษาเพิ่มเติมเพื่อระบุความสัมพันธ์ทางนิเวศวิทยาระหว่างแบคทีเรียเฮเทอโรโทรฟิกกับปัจจัยต่าง ๆ ในระบบไบโอฟลอคต่อไป เบื้องต้นในแนวทางการปฏิบัติที่เติมสารคาร์บอนอินทรีย์ลงไปเสริมจนกระทั่งเกิดไนตริฟิเคชันที่สมบูรณ์หรือใช้เป็นกลยุทธ์ในการลดปริมาณความเข้มข้นของแอมโมเนียและไนไตรท์อย่างรวดเร็วที่ได้ผลภายในฟาร์มทั่วไป ในด้านการใช้ระบบไบโอฟลอคในฟาร์มอัจฉริยะ Nootong (2011) ระบุว่าจำเป็นต้องมี

เครื่องแยกตะกอนจุลินทรีย์ที่มีประสิทธิภาพหรือต้องมีการควบคุมปริมาณสารแขวนลอยในน้ำไม่เกิน 500 มิลลิกรัมต่อลิตร เพื่อปรับปรุงประสิทธิภาพและความยั่งยืนของระบบการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำแบบไบโอฟลอคให้เกิดขึ้นได้ตลอดการเลี้ยง ประสิทธิภาพของจุลินทรีย์ที่จะช่วยรักษาสสมดุลตะกอนฟลอคในระบบมีหลายกลุ่มในแง่ของการส่งเสริมความยั่งยืนให้เกิดขึ้นในการใช้ระบบไบโอฟลอคในการเลี้ยงสัตว์น้ำจึงจำเป็นต้องค้นหากลุ่มจุลินทรีย์ที่เหมาะสมซึ่งควรเป็นชนิดพันธุ์ในท้องถิ่นและสามารถเตรียมได้โดยกระบวนการที่เกษตรกรสามารถดำเนินการได้ โดยคณะผู้วิจัยได้สำรวจปัญหาการวิจัยจากเกษตรกรที่เลี้ยงปลานิลและปลาสลิดแบบผสมผสานในพื้นที่ตำบลหนองปลาไหล ตำบลบางครก อำเภอบางบาล และตำบลบ้านแหลม ตำบลบางขุนไทร อำเภอบ้านแหลม จังหวัดเพชรบุรี ซึ่งได้รับการส่งเสริมการเลี้ยงปลาในระบบไบโอฟลอคเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการผลิต แต่เกษตรกรขาดองค์ความรู้ในการใช้จุลินทรีย์ร่วมกับระบบเลี้ยงที่ได้รับการส่งเสริมเทคโนโลยีไบโอฟลอค ดังนั้น คณะผู้วิจัยจึงมุ่งเน้นที่จะหาสูตรน้ำหมักชีวภาพที่เหมาะสมซึ่งได้จากกรรมวิธีการเตรียมและขยายหัวเชื้อจากการส่งเสริมและโครงการบริการวิชาการของศูนย์การเรียนรู้ตามหลักปรัชญาเศรษฐกิจพอเพียงแห่งมหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบุรี (Klinngam & Thaklaewphan, 2022) สำหรับการเลี้ยงปลานิลในระบบไบโอฟลอคแบบกึ่งพัฒนาเพื่อเป็นแนวทางการใช้น้ำหมักชีวภาพเลี้ยงปลานิลให้มีประสิทธิภาพต่อไป

อุปกรณ์และวิธีการวิจัย

การวางแผนการทดลอง

การทดลองนี้เป็นการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ (Complete randomized design, CRD) ในการเลี้ยงปลานิล ชุดการทดลองแบ่งเป็น 4 ชุดการทดลอง ๆ ละ 3 ซ้ำ

ชุดการทดลองที่ 1 ชุดควบคุมเลี้ยงปลานิลระบบปกติ ให้อาหารเม็ดอย่างเดียว

ชุดการทดลองที่ 2 การเลี้ยงปลานิลระบบไบโอฟลอคโดยใช้น้ำหมักชีวภาพเอเอ็ม

ชุดการทดลองที่ 3 การเลี้ยงปลานิลระบบไบโอฟลอคโดยใช้น้ำหมักชีวภาพหัวเชื้อบาซิลลัส

ชุดการทดลองที่ 4 การเลี้ยงปลานิลระบบไบโอฟลอคโดยใช้น้ำหมักชีวภาพจุลินทรีย์สังเคราะห์แสง

วิธีการดำเนินการวิจัย

1. การเตรียมตัวอย่างพันธุ์ปลานิลพันธุ์ซูเปอร์แบล็ค (Super black®) จากฟาร์มเพาะพันธุ์ปลาเอกชน หลังจากซื้อลูกพันธุ์ปลานิลมาแล้วนำเลี้ยงพักในถังเป็นเวลา 1 สัปดาห์ เพื่อให้ลูกปลาได้มีการปรับสภาพ และคัดขนาดลูกพันธุ์ปลานิลที่มีขนาดใกล้เคียงกัน โดยมีความยาวเฉลี่ย 6.52 ± 0.40 เซนติเมตร น้ำหนักเฉลี่ย 7.68 ± 0.48 กรัม มาสู่มบับปลาทดลองใส่ตู้กระจก และเลี้ยงในตู้กระจกอีก 1 สัปดาห์ เพื่อปรับสภาพลูกพันธุ์ปลานิลให้เหมาะสมกับคุณภาพน้ำก่อนการทดลอง โดยใส่ลูกพันธุ์ปลานิลในอัตราความหนาแน่น 8 ตัวต่อตู้ (45 ตัวต่อตารางเมตร) ใช้ตู้กระจกขนาด $24 \times 12 \times 15$ นิ้ว

การเตรียมน้ำ โดยสูบน้ำมาพักไว้และใส่ปูนขาวเพื่อปรับสภาพน้ำให้มีความเป็นกรดเป็นด่างที่เหมาะสม จากนั้นนำไปผ่านถุงกรองผ้าอวนตาถี่เพื่อเติมน้ำลงไปให้ระดับความลึกประมาณ 12 เซนติเมตร

เพื่อให้มีน้ำเลี้ยง 54 ลิตร และรักษาระดับน้ำให้คงที่ตลอดการเลี้ยง ส่วนการเตรียมระบบการเลี้ยงด้วยเทคโนโลยีไบโอฟลอค เติมน้ำในตู้ทดลอง โดยใช้หัวทราย 2 หัวต่อตู้ เพื่อหมุนเวียนน้ำในตู้ทดลองของ

ชุดการทดลองที่ 2 ถึง 4 เป็นระบบการเลี้ยงด้วยเทคโนโลยี ไบโอฟลอค ร่วมกับน้ำหมักชีวภาพสูตรต่าง ๆ (Figure 1)

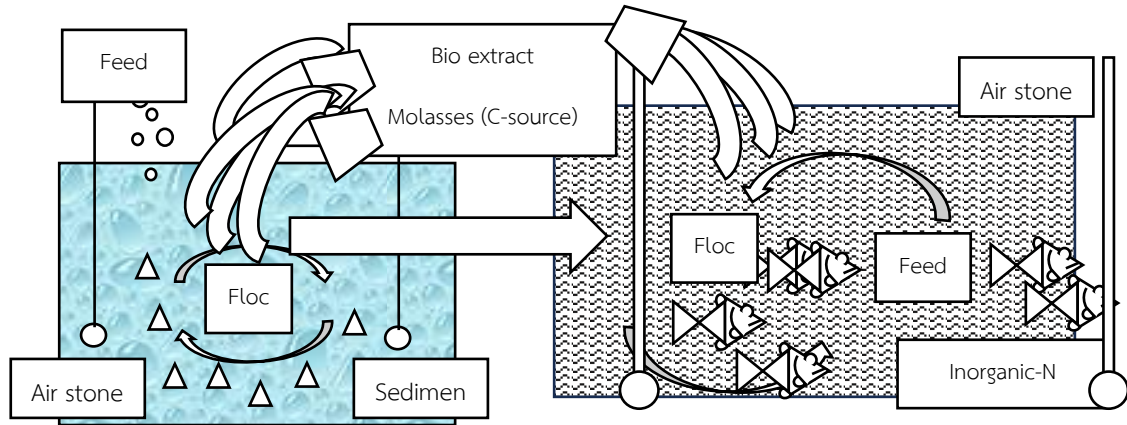


Figure 1 A schematic of the process of biofloc system in Nile tilapia rearing tank.

2. การเตรียมน้ำหมักชีวภาพ

2.1 น้ำหมักชีวภาพ สูตรที่ 1 น้ำหมักเอเอ็มใช้ในชุดการทดลองที่ 2 ทำหัวเชื้อหมักเตรียมขึ้นเองจากส่วนผสม จากหัวเชื้อดินกอไม้ผลไม้สุก (กล้วยน้ำว้าและมะละกอ) 1 กิโลกรัม หมักจนได้น้ำหัวเชื้อสีน้ำตาล มีกลิ่นหอม เป็นเวลาประมาณ 2 เดือน จากนั้นนำมาขยายในอาหารเลี้ยง ได้แก่ หัวเชื้อ 10 ลิตร กากน้ำตาล 10 ลิตร รำละเอียด 5 กิโลกรัม ใส่น้ำ 5 ลิตร เติมน้ำเปล่าให้ครบ 150 ลิตร ปิดฝาภาชนะถึงหมักไว้หลวม ๆ หมั่นคนเพื่อระบายแก๊ส หมักไว้ในที่ร่ม 1 เดือนขึ้นไป (Klinngam & Thaklaewphan, 2022)

2.2 น้ำหมักชีวภาพ สูตรที่ 2 ใช้ในชุดการทดลองที่ 3 นำหัวเชื้อบาซิลลัสเชิงพานิชย์ (ปม.1) หมักกับน้ำมะพร้าว 30 ลิตร หัวเชื้อ 20 กรัม เติมน้ำเปล่าให้ครบ 150 ลิตร ปิดฝาภาชนะถึงหมักไว้หลวม ๆ หมั่นคนเพื่อระบายแก๊ส หมักไว้ในถังมีฝาปิดในที่ ร่ม 1 เดือน (Klinngam & Thaklaewphan, 2022)

2.3 น้ำหมักชีวภาพ สูตรที่ 3 ใช้ในชุดการทดลองที่ 4 หัวเชื้อจุลินทรีย์สังเคราะห์แสงจากกรมวิชาการเกษตร (สำนักงานเกษตรจังหวัดเพชรบุรี) มาขยาย โดยเตรียมอาหารขยายเชื้อขึ้นจากส่วนผสม ได้แก่ ไข่ไก่ 2 ฟอง น้ำเปล่า 20 ลิตร ผงชูรส 1 ช้อนชา ใส่ขวดพลาสติกใส วางไว้ในกลางแดดจนเชื้อเจริญเต็มขวดสังเกตว่ามีสีแดงอมชมพูทั่วทั้งขวด นำมาขยายลงในถัง ไข่ไก่ 4 ฟอง น้ำเปล่า 150 ลิตร ผงชูรส 1 ช้อนโต๊ะ ผสมกันลงในถังมีฝาปิดสีชาวางไว้ในที่มีแสง เป็นเวลาประมาณ 1 สัปดาห์

3. การเตรียมตะกอนจุลินทรีย์เพื่อสร้างระบบไบโอฟลอคในชุดการทดลองที่ 2-4 ทำโดยเตรียมน้ำลงถัง PE ขนาด 100 ลิตร ละลายสารอาหารที่เตรียมจากอาหารปลาเชิงพานิชย์ 200 กรัม กากน้ำตาล 100 มิลลิลิตร และน้ำหมักชีวภาพสูตรต่าง ๆ ปริมาตร 100 มิลลิลิตร ใช้ไม้คนให้เข้ากัน ส่วนชุดการทดลองที่ 1 ชุดควบคุมใช้อาหารปลาเชิงพานิชย์หมักกับกากน้ำตาล ไม่มีการเติมน้ำหมักชีวภาพ จากนั้นตรวจสอบตะกอนจุลินทรีย์ทุกวันเมื่อได้ระดับตะกอนจุลินทรีย์ที่ 40 มิลลิลิตรต่อลิตร จึงนำไปเติมลงในตู้ทดลองในอัตราส่วนตะกอน 1 มิลลิลิตรต่อน้ำ 1 ลิตร และเติมลงไปทุก ๆ ครั้งที่เปลี่ยนถ่ายน้ำ ใช้หัวสลับปรับความแรงของอากาศ

ในแต่ละตู้ ให้ใกล้เคียงกันมากที่สุด ด้านบนตู้ปิดด้วยตาข่ายกรองแสง แห่คาร์บอนของระบบไบโอฟลอคในงานทดลองนี้จะใช้กากน้ำตาล โดยจะเติมน้ำตาลลงตู้ทดลอง 4 มิลลิลิตร และเติมน้ำหมักชีวภาพในชุดการทดลองที่ 2 ถึง 4 ในอัตราเฉลี่ย 0.53 มิลลิลิตรต่อน้ำ 1 ลิตร (ประมาณ 28 มิลลิลิตรต่อตู้) ทุกสัปดาห์

4. การให้อาหาร จะให้อาหารปลาวันละ 2 มื้อต่อวัน ให้อาหารปลาในจวนอม ในช่วงเช้าเวลา 8.00 น. และเย็นเวลา 16.00 น. โดยสัปดาห์แรกให้อาหารเชิงพานิชย์และหยุดให้อาหารในช่วงเช้าของวันที่ตรวจวัดการเจริญเติบโต ในทุกชุดการทดลองที่ความสะอาดถังตู้ช่วงเย็นของทุกวันและเปลี่ยนถ่ายน้ำ 80 % สัปดาห์ละ 1 ครั้ง

5. สุ่มตัวอย่างน้ำที่มีอาหารและตะกอนจุลินทรีย์ไบโอฟลอคไปกรองเอาแต่ตะกอนเพื่อนำไปวิเคราะห์ทางเคมีประกอบทางเคมีดังนี้ โปรตีนด้วยวิธี Kjeldahl nitrogen method ด้วยเครื่องย่อย และเครื่องกลั่นไขมันด้วยวิธี Ether extraction แบบ Soxhlet ความชื้นด้วยวิธี Drying method เถ้าด้วยวิธี Muffle furnace combustion เเยื่อใยด้วยวิธี Classical method (AOAC, 1995) ส่วน Nitrogen free extract (NFE) (1) สามารถคำนวณได้โดยสมการต่อไปนี้

$$\% \text{ NFE} = 100 - (\% \text{ โปรตีน} + \% \text{ ไขมัน} + \% \text{ เถ้า} + \% \text{ เยื่อใย} + \% \text{ ความชื้น}) \quad (1)$$

พลังงานที่ย่อยได้ที่ทำการคำนวณโดยสมการ (NRC, 1983) (2) ดังต่อไปนี้

$$\text{พลังงานที่ย่อยได้} = \frac{(\% \text{ โปรตีน} \times 4) + (\% \text{ ไขมัน} \times 8.5)}{(\% \text{ คาร์โบไฮเดรต} \times 2.5)} \quad (2)$$

6. การตรวจวัดอัตราการเจริญเติบโต โดยนำปลานิลมาชั่งน้ำหนักและวัดความยาวทั้งหมด (Total length) ในวันเริ่มต้นการทดลองและทุก ๆ สัปดาห์จนครบ 6 สัปดาห์ นำค่าที่ได้ไปคำนวณหาปริมาณน้ำหนักเริ่มต้นเฉลี่ย (3) น้ำหนักสุดท้ายเฉลี่ย (4) ความยาวเริ่มต้นเฉลี่ย (5) ความยาวสุดท้ายเฉลี่ย (6) น้ำหนักเฉลี่ยที่เพิ่มต่อวัน (7) อัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อ (8) และอัตราการรอดตาย (9) ซึ่งสูตรการคำนวณมีดังต่อไปนี้

- น้ำหนักเริ่มต้นเฉลี่ย (กรัม) (Initial weight) = น้ำหนักวันแรกของการทดลอง/จำนวนตัว (3)
 น้ำหนักสุดท้ายเฉลี่ย (กรัม) (Final weight) = น้ำหนักวันสุดท้ายของการทดลอง/จำนวนตัว (4)
 ความยาวเริ่มต้นเฉลี่ย (เซนติเมตร) (Initial length) = ความยาววันแรกของการทดลอง/จำนวนตัว (5)
 ความยาวสุดท้ายเฉลี่ย (เซนติเมตร) (Final length) = ความยาววันสุดท้ายของการทดลอง/จำนวนตัว (6)
 น้ำหนักเฉลี่ยที่เพิ่มต่อวัน (กรัมต่อวัน) (Daily weight gain) = น้ำหนักที่เพิ่มเฉลี่ย/จำนวนวันที่เลี้ยง (7)
 อัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อ (Feed conversion ratio, FCR) = น้ำหนักของอาหารทั้งหมดที่ปลากิน/น้ำหนักปลาที่เพิ่มขึ้น (8)
 อัตราการรอดตาย (%) (Survival rate) = จำนวนวันที่เลี้ยง/จำนวนปลาที่ปล่อย $\times$ 100 (9)

7. ตรวจวัดคุณภาพน้ำ โดยใช้เทอร์โมมิเตอร์วัดอุณหภูมิ (องศาเซลเซียส) และใช้มิเตอร์วัดปริมาณตะกอนของแข็งแขวนลอย คุณภาพน้ำที่ใช้ชุดทดสอบ (Test kit) วัดค่า ได้แก่ ความเป็นกรด-ด่าง (pH) ค่าอัลคาไลน์ตี้ (มิลลิกรัม/ลิตร) ไนโตรท์ (มิลลิกรัม/ลิตร) ค่าแอมโมเนีย (มิลลิกรัม/ลิตร) และปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำ (มิลลิกรัม/ลิตร)

การบันทึกผลและวิเคราะห์ข้อมูล

การติดตามการเจริญเติบโตโดยการชั่งน้ำหนัก วัดความยาว ผลการตรวจวัดคุณภาพน้ำ ตรวจนับจำนวนตัวปลาในถัง ที่เหลือรอดแล้ว นำไปคำนวณหาอัตราการรอด รวมระยะเวลาในการเลี้ยง 6 สัปดาห์ ทำการวิเคราะห์ข้อมูลอัตราการเจริญเติบโต (4, 6 และ 8) และอัตราการรอดตาย (9) โดยค่าความแปรปรวน (Analysis of variance, ANOVA) และเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยโดยวิธี Duncan's new multiple range test (DMRT) ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 % โดยโปรแกรมคำนวณสำเร็จรูป โปรแกรม R

สถานที่ทำการทดลอง

โรงเพาะฟัก สาขาวิชาการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ คณะเทคโนโลยีการเกษตร มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบุรี ทั้งนี้ งานวิจัยนี้ผ่านการพิจารณาของคณะกรรมการกำกับดูแลการเลี้ยงและใช้สัตว์เพื่องานทางวิทยาศาสตร์ (คกส.) ของทางสถาบันแล้วก่อนดำเนินการทดลอง

ผลและวิจารณ์ผลการวิจัย

ผลการเจริญเติบโตและอัตราการรอดของปลานิล

เมื่อสิ้นสุดการทดลอง พบว่า การเลี้ยงปลานิลในระบบไบโอฟลอคในชุดการทดลองที่ 2 ทำให้อาหารที่ปลากินได้มากที่สุดมีค่าเท่ากับ 24.37 ± 0.64 กรัม รองลงมาคือชุดการทดลองที่ 4 มีค่าเท่ากับ 21.29 ± 0.33 กรัม และชุดการทดลองที่ 3 มีค่าเท่ากับ 21.00 ± 0.16 กรัม และชุดการทดลองที่ 1 มีค่าเท่ากับ 20.67 ± 0.12 กรัม (Table 2) เมื่อเปรียบเทียบความแตกต่างทางสถิติ พบว่าความยาวเฉลี่ยของปลานิลที่เลี้ยงในระบบไบโอฟลอคในชุดการทดลองที่ 2 มีค่า 14.12 ± 0.64 เซนติเมตร และชุดการทดลองที่ 4 มีค่า 15.06 ± 0.33 เซนติเมตร แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) กับชุดการทดลองที่ 1 มีค่า 11.35 ± 0.91 เซนติเมตร และชุดการทดลองที่ 3 มีค่า 12.11 ± 0.85 เซนติเมตร องค์ประกอบทางเคมีของตะกอนอาหารและจุลินทรีย์ไบโอฟลอคในแต่ละชุดการทดลอง มีองค์ประกอบโปรตีนรวม

13.61-23.44 % ไขมัน 1.95-6.46 % เยื่อใย 2.23-9.47 % เถ้า 2.72-11.17 % คาร์โบไฮเดรต 54.72-79.35 % และพลังงานที่ย่อยได้ 264.48-289.85 กิโลแคลอรีต่อ 100 กรัมอาหาร (Table และ Figure 2) ซึ่งพบว่า Emerenciano et al. (2011) อ้างถึงใน Castro-Nieto (2012) ตะกอนฟลอคมีองค์ประกอบโปรตีนรวมค่อนข้างสูง 30.40 % ไขมัน 0.47 % เยื่อใย 0.83 % เถ้า 39.20 % คาร์โบไฮเดรต 29.10 % ทำให้กุ้งที่เลี้ยงในระบบไบโอฟลอคมีการเจริญเติบโตที่ดีจากการกินตะกอนฟลอคซึ่งเป็นโปรตีนจากจุลินทรีย์เป็นอาหารและของเสียไนโตรเจนต่ำ (Avnimelech, 2014) นอกจากนี้ Caipang et al. (2015) แสดงให้เห็นว่า การเจริญเติบโตของปลาที่เลี้ยงในระบบไบโอฟลอคซึ่งมีแหล่งคาร์บอนแตกต่างกันนั้นจะขึ้นอยู่กับประสิทธิภาพของอาหารที่ใช้ในการเลี้ยงด้วย ซึ่งน้ำหนักเฉลี่ยที่เพิ่มต่อวันมีค่าแตกต่างกันทางสถิติ ($p < 0.05$) โดยชุดการทดลองที่ 2 มีค่ามากกว่าชุดการทดลองอื่น มีค่า 0.37 ± 0.64 กรัม/ตัว/วัน รองลงมาคือชุดการทดลองที่ 4 มีค่า 0.31 ± 0.64 กรัม/ตัว/วัน ชุดการทดลองที่ 3 มีค่า 0.30 ± 0.12 กรัม/ตัว/วัน และชุดการทดลองที่ 1 มีค่า 0.28 ± 0.12 กรัม/ตัว/วัน อัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อของชุดการทดลองที่ 2 มีค่าต่ำกว่าชุดการทดลองอื่นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) มีค่า 0.78 ± 0.01 รองลงมาเป็นชุดการทดลองที่ 1 4 และ 3 ตามลำดับ มีค่า 0.84 ± 0.03 0.87 ± 0.03 และ 0.88 ± 0.03 ตามลำดับ

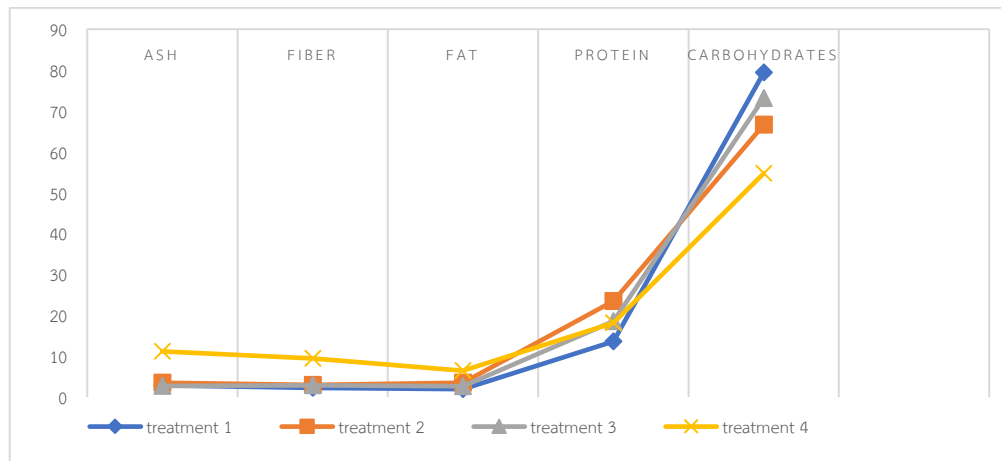
ต้นทุนการเลี้ยงปลานิลในระบบการเลี้ยงต่าง ๆ ซึ่งคิดต้นทุนจากค่าน้ำ ค่าไฟ ค่าอาหาร ค่ากากน้ำตาล ค่าระบบชีวภาพและการกรองตะกอน ซึ่งเมื่อเริ่มต้นการทดลองมีการเติมน้ำลงตู้กระจก มีการเปลี่ยนถ่ายน้ำสัปดาห์ละ 1 ครั้ง ในปริมาณ 104 ลิตรต่อตู้ มีการเติมกากน้ำตาล 4 มิลลิลิตรต่อตู้ โดยรักษาระดับน้ำภายในตู้ปริมาตร 54 ลิตร และ มีการเติมน้ำหมักชีวภาพ 1.3 มิลลิลิตรต่อตู้ (อัตราการเติม 0.53 มิลลิลิตรต่อลิตร) ซึ่งช่วยลดปริมาณการเปลี่ยนถ่ายน้ำได้สอดคล้องกับ Rucksapram et al. (2021) พบว่า การเลี้ยงปลานิลในระบบไบโอฟลอคสามารถประหยัดต้นทุนได้ดีกว่าการเลี้ยงปลานิลด้วยระบบอื่น ๆ นอกจากนี้ยังสามารถเปลี่ยนอาหารจากชนิดที่มีโปรตีน 30 % มาเป็น 20 % ซึ่งลดค่าใช้จ่ายค่าอาหารได้ประมาณ 7-8 บาทต่อกิโลกรัม เนื่องจากระบบเทคโนโลยีไบโอฟลอค มีโปรตีน ไขมัน คาร์โบไฮเดรต และกรดไขมัน ที่เพียงพอต่อความต้องการของสัตว์น้ำ จึงสามารถช่วยลดต้นทุนการผลิตด้านอาหารสัตว์น้ำได้ ประหยัดต้นทุนค่าน้ำ ค่าแรงงานในการสูบเปลี่ยนถ่ายน้ำ และช่วยลดปัญหามลพิษจากการเปลี่ยนถ่ายน้ำออกสู่แหล่งน้ำธรรมชาติ โดยน้ำจากระบบเลี้ยงปลานิลในการทดลองนี้เมื่อถ่ายเทออกจากระบบแล้วจะนำไปพักไว้ในบ่อพักน้ำทิ้งเพื่อบำบัดคุณภาพต่อไป และเมื่อตรวจหาสิ่งมีชีวิตในบ่อพักน้ำทั้งจากระบบเลี้ยงภายใต้กล้องสเตอริโอ พบแพลงก์ตอนสัตว์หลายชนิด ได้แก่ ไรแดง (*Moina macrocopa*) และไรดิเฟอร์ (*Brachionus* sp.) ซึ่งสามารถนำกลับมาเป็นอาหารเสริมสำหรับปลานิลในระบบเลี้ยงได้อีกด้วย

Table 1 Chemical composition on dry matter basis of biofloc in treatments

Chemical composition (% dry matter basis)	Treatment			
	1	2	3	4
Ash	2.86	3.49	2.74	11.17
Fiber	2.23	2.98	2.89	9.47
Fat	1.95	3.48	2.67	6.46
Total protein	13.61	23.44	18.54	18.19
Carbohydrates	79.35	66.61	73.15	54.72

Table 2 Growth performance of Nile tilapia fish in treatment tanks

Treatment	Individual final weight (g)	Final length (g)	Average daily growth (g/d)	FCR	Survival rate (%)
1	20.67±0.12 ^a	11.35±0.91 ^a	0.28±0.12 ^a	0.84±0.03 ^b	100
2	24.37±0.64 ^b	14.12±0.64 ^b	0.37±0.64 ^b	0.78±0.01 ^a	100
3	21.00±0.16 ^a	12.11±0.85 ^a	0.30±0.12 ^a	0.88±0.03 ^b	83.88
4	21.29±0.33 ^a	15.06±0.33 ^b	0.31±0.64 ^a	0.87±0.03 ^b	100
P-Value	0.008 [*]	0.001 [*]	0.014 [*]	0.006 [*]	0.095 ^{ns}

^{ns} Non significant difference at $p \geq 0.05$.^{*} Significant difference at $p < 0.05$.**Figure 2** Chemical composition on dry matter basis of biofloc in treatments.

อัตราการรอดของปลานิล คุณภาพน้ำ และต้นทุนของน้ำที่ใช้เลี้ยง

อัตราการรอดของชุดการทดลองที่ 1 ชุดการทดลองที่ 2 ชุดการทดลองที่ 4 มีแนวโน้มที่จะสูงกว่าชุดการทดลองที่ 3 มีอัตราการรอด 83.88 % โดยชุดการทดลองที่ 1 2 และ 4 มีอัตราการรอด 100 % ตามลำดับ ซึ่งสามารถสังเกตได้จากปริมาณไนโตรเจน แอมโมเนีย ที่มีค่าไม่สูงมากจึงส่งผลให้มีตะกอนไบโอฟลอคที่ไม่หนาแน่นจนเกินไป ทั้งนี้ การใช้น้ำหมักชีวภาพในระบบไบโอฟลอคต้องควบคุมปริมาณสารแขวนลอยในน้ำเลี้ยงไม่ควรเกิน 500 มิลลิกรัม/ลิตร และควบคุมค่าความเป็นกรด-ด่างให้มีค่าไม่ให้ต่ำกว่า 6.5 (Rucksapram et al., 2021) ซึ่งการทดลองนี้สอดคล้องกับ Sittplangkoon et al. (2012) ให้เหตุผลว่าการควบคุมความเข้มข้นของสารอินทรีย์ไนโตรเจนและอัตราการบำบัดแอมโมเนียโดยตะกอนชีวภาพจากระบบเลี้ยงสัตว์น้ำแบบปิดของตะกอนชีวภาพที่เกิดขึ้นในระบบเลี้ยงสัตว์น้ำสามารถควบคุมความเข้มข้นของแอมโมเนียและไนโตรเจนให้ต่ำ Hmadhloo et al. (2013) ให้เหตุผลว่าอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนในการเลี้ยงปลานิลในระบบไบโอฟลอค มีผลต่ออัตราการเจริญเติบโตของปลานิล โดยมีปริมาณไนโตรเจนและ แอมโมเนียเพิ่มขึ้นแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \geq 0.05$) Nurhatijah et al. (2016) ปริมาณตะกอนฟลอคไม่ได้ส่งผลต่อความเค็มของน้ำ อุณหภูมิ ค่าความเป็น

กรด-ด่าง ปริมาณแอมโมเนีย และไนโตรเจนอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ แต่ส่งผลต่อค่าอัลคาไลน์ได้อย่างมีนัยสำคัญ โดยปกติแล้วคุณภาพน้ำที่ใช้ในการเลี้ยงกุ้งกุลาดำนั้นจะต้องควบคุมให้อยู่ในเกณฑ์ที่เหมาะสมอยู่แล้วแต่ในแง่ของการเลี้ยงด้วยระบบไบโอฟลอคส่งผลให้คุณภาพน้ำโดยรวมมีค่าที่ดีกว่าการเลี้ยงในระบบปกติเนื่องจากปริมาณของเสียไนโตรเจนในระบบต่ำ Thanakitpairin et al. (2016) เลี้ยงปลานิลที่ระดับความหนาแน่นเริ่มต้น 3.0 กก./ลบ.ม. โดยไม่มีการเปลี่ยนถ่ายน้ำและแยกตะกอนจากบ่อเลี้ยงเป็นเวลา 60 วันแล้ว พบว่าการควบคุมปริมาณตะกอนชีวภาพให้อยู่ในช่วง 200-800 มิลลิกรัมของแข็งแขวนลอยต่อลิตร ซึ่งเทียบเท่ากับปริมาณของเสียไนโตรเจนในช่วง 2.9-9.6 มิลลิกรัมไนโตรเจนต่อลิตรต่อวัน จะสามารถควบคุมความเข้มข้นของแอมโมเนียและไนโตรเจนในน้ำให้ต่ำกว่า 1.0 มิลลิกรัมไนโตรเจนต่อลิตร แสดงให้เห็นว่าการรักษาระดับตะกอนแขวนลอยในระบบจะช่วยลดปริมาณของเสียประเภทแอมโมเนียและไนโตรเจนได้ดี สอดคล้องกับงานทดลองนี้พบว่าคุณสมบัติของน้ำทั่วไปอยู่ในเกณฑ์ปกติและเหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของปลานิล (Table 3) โดยทุกชุดการทดลองมีคุณภาพน้ำที่ใกล้เคียงกัน (Figure 3) อุณหภูมิ น้ำตาลลดการเลี้ยงอยู่ในช่วง 28-30 องศาเซลเซียส ค่าความเป็นกรด-ด่าง 6.7-8.3 ค่าอัลคาไลน์ที่ 68-119 มิลลิกรัม/ลิตรของแคลเซียม

คอร์บอนเต ไนโตรท์ 0-0.5 มิลลิกรัม/ลิตร แอมโมเนียรวม 0-0.2 มิลลิกรัม/ลิตร ปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำ 4-5 มิลลิกรัม/ลิตร ปริมาณของแข็งแขวนลอย 100-500 มิลลิกรัม/ลิตร (Table 3) ทำให้ในงานทดลองนี้มีต้นทุนการเปลี่ยนถ่ายน้ำ 3.12 2.30 2.00 และ 3.02 บาท/วัน ตามลำดับ

คุณภาพน้ำที่ดีจากการเลี้ยงในระบบไบโอฟลอกยังช่วยให้ผลผลิตปลานิลมีคุณภาพเนื้อที่ดี (Fisheries department, 2008a; Fisheries department, 2008b; Wangwibulkit, 2009) แม้ว่าการผลิตปลานิลด้วยระบบไบโอ-ฟลอก ซึ่งเป็นการเลี้ยงที่ระดับความหนาแน่นสูง มุ่งเน้นเพื่อให้ได้ผลผลิตที่มากขึ้นแต่การเลี้ยงปลานิลที่เลี้ยงในระบบหนาแน่นสูงมักพบปัญหาการล้นโคลนที่มาจากสารจือออสมิน Jitmanowan (2020) ควบคุมคุณภาพน้ำให้มีระดับคาร์บอน

ต่อไนโตรเจน (C:N) 14:1 และ 10:1 ทดลองในบ่อขนาด 2 ตันเป็นเวลา 90 วันพบว่าทำให้มีปริมาณฟลอกที่ตกตะกอน ค่าเฉลี่ย 52.64 ± 1.84 มิลลิกรัม/ลิตร และ 34.73 ± 13.9 มิลลิกรัม/ลิตร แต่ทั้งนี้ปลานิลยังสามารถอาศัยอยู่ได้ มีกลิ่นโคลนในบ่อเลี้ยงปลานิล 0.10 ไมโครกรัม/ลิตร โดยทำให้ปลามีการเจริญเติบโตที่ดีและอัตราการอดต่างกัน เมื่อเทียบต้นทุนค่าอาหารพบว่าคาร์บอนต่อไนโตรเจน 14:1 มีต้นทุนต่ำกว่า 10:1 ดังนั้น การเติมแหล่งคาร์บอนในการทดลองนี้ได้ใช้กากน้ำตาลเป็นแหล่งคาร์บอนและมีการเปลี่ยนถ่ายน้ำก็ยังคงต้องมีการเติมกากน้ำตาลในอัตรา 0.53 มิลลิกรัม/ลิตร อย่างสม่ำเสมอเพื่อควบคุมสัดส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน นอกเหนือจากการรักษาคุณภาพน้ำให้อยู่ในเกณฑ์ที่ดีสำหรับการเจริญเติบโตของปลานิลและผลต่ออัตราการอดของปลานิลได้อย่างชัดเจน

Table 3 The values of water temperature, pH, alkalinity, nitrite, total ammonia nitrogen, dissolved oxygen concentrations and TSS in respective treatments

Parameters	Treatment 1	Treatment 2	Treatment 3	Treatment 4
Temperature (°C)	28-30	28-30	28-30	28-30
pH	6.7-8.3	7.4-8	6.7-8.3	7.4-8
Alkalinity (mg/L CaCO ₃)	68-102	85-119	68-119	68-102
Nitrite (mg/L NO ₂ ⁻ -N)	0	0.5	0	0.5
Total ammonia nitrogen (mg/L NH ₃ -N)	0-1	0-2	0-0.5	0-2
Dissolved oxygen (mg/L)	4	4-5	4	4-5
Total suspended solids (TSS) (mg/L)	100-200	200-500	200-300	200-300

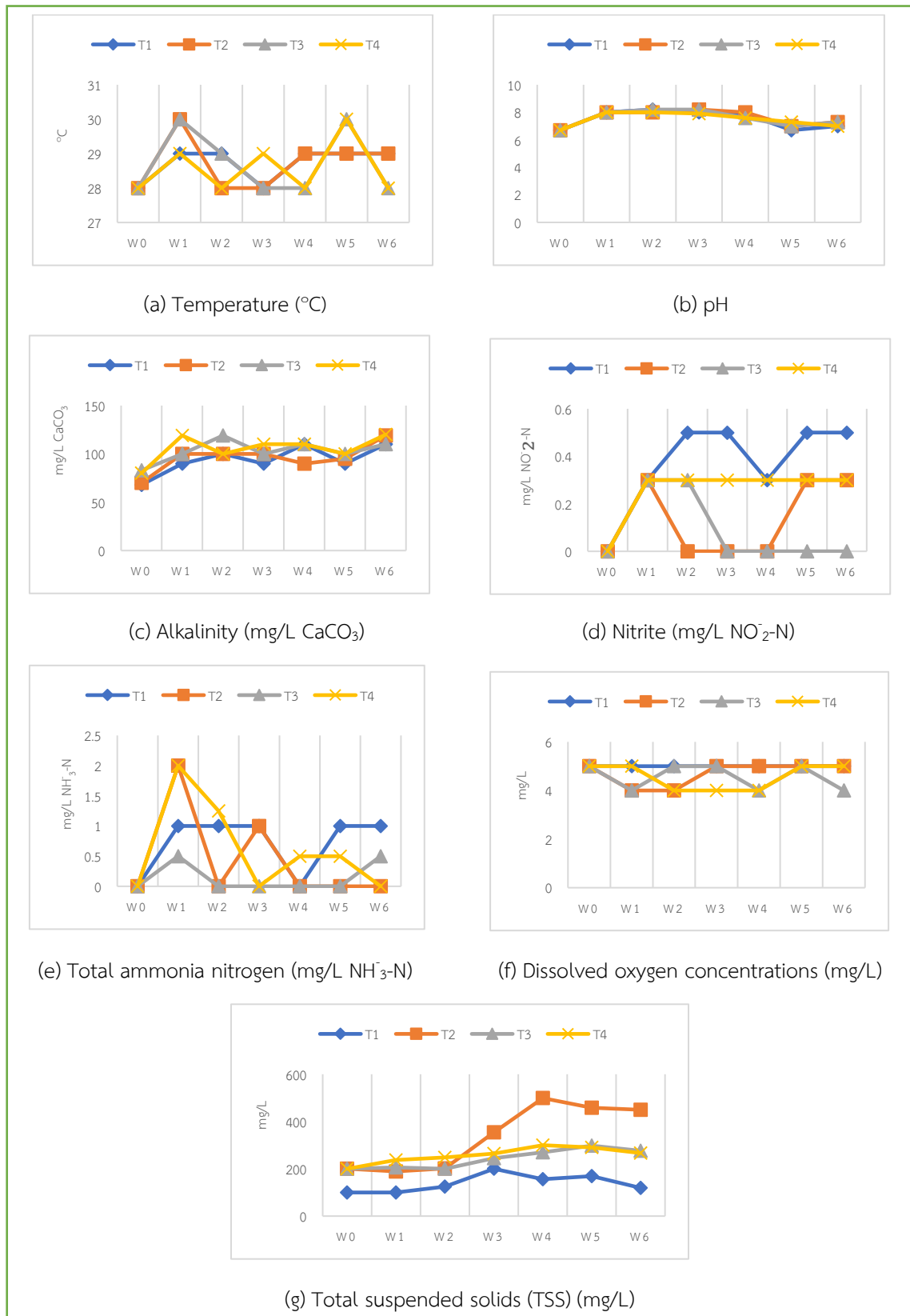


Figure 3 Levels of water temperature (a), pH (b), alkalinity (c), nitrite (d), total ammonia (e), dissolved oxygen concentrations (f) and TSS (g) in respective treatments from week 1 to 6.

เมื่อสิ้นสุดการทดลองพบว่า การเลี้ยงปลานิลในระบบไบโอฟลอคในชุดการทดลองที่ 2 ทำให้ค่าเฉลี่ยน้ำหนักรวมและความยาวเฉลี่ยของปลานิลดีที่สุด แต่ชุดการทดลองที่ 3 มีต้นทุนการเปลี่ยนถ่ายน้ำต่ำที่สุด ต้นทุนการผลิตน้ำหมักชีวภาพและกากน้ำตาลของชุดการทดลอง

ที่ 1 ชุดควบคุมเลี้ยงปลานิลน้ำใสปกติ ใส่กากน้ำตาล และการเลี้ยงปลานิลระบบไบโอฟลอคชุดการทดลองที่ 2 ใช้น้ำหมักชีวภาพอีเอ็ม ชุดการทดลองที่ 3 ใช้น้ำหมักชีวภาพหัวเชื้อบาซิลลัส และชุดการทดลองที่ 4 ใช้น้ำหมักชีวภาพจุลินทรีย์สังเคราะห์แสง 0.35 2.20 2.45

และ 0.83 บาท/ลิตร ตามลำดับ สอดคล้องกับงานวิจัยของ Thanakitpairin et al. (2016) ศึกษาแหล่งคาร์บอนที่เหมาะสมในการผลิตไบโอฟลอคในบ่อเลี้ยงปลานิลและปลาตะเพียนที่ความหนาแน่น 30 และ 50 ตัวต่อตารางเมตร โดยแหล่งคาร์บอน คือ กากน้ำตาล รำละเอียด ขนบึงและข้าวโพดป่น ทำการเลี้ยงเป็นระยะเวลา 6 เดือน เมื่อสิ้นสุดการทดลอง พบว่าการใช้แหล่งคาร์บอนทั้ง 4 ชนิด ไม่มีผลต่ออัตราการรอดตาย การเจริญเติบโต อัตราการเจริญเติบโตเฉลี่ยต่อวัน อัตราการแลกเนื้อและ อัตราการเจริญเติบโตจำเพาะของปลานิล และปลาตะเพียน แต่จะมีผลต่อตะกอนแขวนลอยรวม (TSS) หรือไบโอฟลอคของบ่อปลาตะเพียนมากกว่าบ่อเลี้ยงปลานิล ดังนั้นแม้จะเพิ่มแหล่งคาร์บอนอื่น ๆ นอกเหนือจากกากน้ำตาลไม่มีผลให้อัตราการเจริญเติบโตของปลานิลและปลาตะเพียน แตกต่างกัน Khumsat et al. (2018) และ Sittplangkoon et al. (2012) ได้ศึกษาการควบคุมความเข้มข้นของสารอินทรีย์ไนโตรเจนและอัตราการบำบัดแอมโมเนียโดยตะกอนชีวภาพจากระบบเลี้ยงสัตว์น้ำแบบปิดเป็นระยะเวลา 60 วัน พบว่า ตะกอนชีวภาพที่เกิดขึ้นในระบบเลี้ยงสัตว์น้ำสามารถควบคุมความเข้มข้นของแอมโมเนีย 9 และไนโตรที่ต่ำกว่า 1.0 มิลลิกรัม/ลิตร เมื่อของแข็งแขวนลอยมีปริมาณอยู่ในช่วง 200-500 มิลลิกรัม/ลิตร โดยมีอัตราการบำบัดแอมโมเนียที่สูงที่สุดเท่ากับ 60.6 ± 7.8 มิลลิกรัม/กรัม ของแข็งแขวนลอยต่อวัน และอัตราการเจริญเติบโตของปลานิลเมื่อมีปริมาณตะกอนชีวภาพต่ำกว่า 200 มิลลิกรัม/ลิตร โดยมีอัตราการเจริญเติบโตมากกว่าเมื่อมีปริมาณตะกอนชีวภาพสูงกว่า 400 มิลลิกรัม/ลิตร ปริมาณ 2-3 เท่า ตะกอนแขวนลอยที่เกิดขึ้นสามารถช่วยควบคุมความเข้มข้นของแอมโมเนียและไนโตรที่ต่ำกว่า 1.0 มิลลิกรัม/ลิตร ได้เมื่อระดับความเข้มข้นของตะกอนแขวนลอยอยู่ในช่วงระหว่าง 200 ถึง 800 มิลลิกรัม/ลิตร โดยมีอัตราการบำบัดแอมโมเนียอยู่ในช่วง 0.007 ถึง 0.023 มิลลิกรัม/ลิตร/วัน โดยมีความสัมพันธ์กับปัจจัยอื่น ๆ เช่น สุขภาพของสัตว์น้ำ ความสามารถในการคงปริมาณออกซิเจนในน้ำ สอดคล้อง กับ Azim & Little (2008); Sittplangkoon et al. (2012) โดยการใช้จุลินทรีย์ในน้ำมาจับกับสารอินทรีย์แล้วให้เปลี่ยนรูปเป็นโปรตีน การเลี้ยงปลานิลด้วยระบบไบโอฟลอคเป็นระบบการเลี้ยงที่ดีที่สุดในการเปรียบเทียบการเลี้ยงในระบบไบโอฟลอคร่วมกับการใช้น้ำหมักชีวภาพ โดยส่งผลให้ปลานิลมีการเจริญเติบโตดี อัตราการรอดตายสูง อัตราการแลกเนื้อต่ำ และสามารถบำบัดแอมโมเนียได้โดยไม่ต้องเปลี่ยนถ่ายน้ำทำให้ประหยัดต้นทุน แต่อาจจะต้องควบคุมปริมาณสารแขวนลอยในน้ำไม่ควรเกิน 500 มิลลิกรัม/ลิตร และควบคุมระดับความเป็นกรดเป็นด่างไม่ให้ต่ำกว่า 6.5 และพบว่า ตะกอนจุลินทรีย์มีโปรตีน 21 % ของน้ำหนักแห้ง ส่วน Rucksapram et al. (2021) ศึกษาผลการใช้ไบโอฟลอคต่อการเจริญเติบโตและการควบคุมคุณภาพน้ำในการเลี้ยงปลากะพงขาวในน้ำจืดโดยใช้รำละเอียดเป็นแหล่งคาร์บอน อัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน (C:N ratio = 20:1) พบว่าออกซิเจนที่ละลายน้ำ อุณหภูมิของน้ำ ไนโตร และไนเตรทไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) แต่ค่า pH ปริมาณสารแขวนลอยและความเข้มข้นของแอมโมเนียรวมในชุดการทดลองที่ใช้ไบโอฟลอคมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับชุดควบคุม ($p < 0.05$) โดยชุดการทดลองที่ใช้ไบโอฟลอคมีค่าความเป็นกรด-ด่างและปริมาณแอมโมเนียรวมต่ำกว่าชุดควบคุมตลอดการเลี้ยง ชุดการ

ทดลองที่ใช้ไบโอฟลอคสามารถลดแอมโมเนียรวมได้ 15.15-75.13 % เมื่อเทียบกับชุดควบคุม ซึ่งแสดงให้เห็นว่าการใช้ไบโอฟลอคสามารถลดปริมาณแอมโมเนียรวมในน้ำได้และเป็นการควบคุมคุณภาพน้ำไม่ให้เกินอันตรายต่อปลากะพงขาวได้อีกด้วย ทั้งนี้รูปแบบการเติมอากาศเข้าไปในระบบไบโอฟลอคเพื่อให้ตะกอนสามารถบำบัดของเสียไนโตรเจนก็มีส่วนสำคัญ Yankay (2022) พบว่าคาร์บอนต่อไนโตรเจน 5:1 เป็นอัตราส่วนที่เพียงพอต่อการสร้างตะกอนไบโอฟลอคที่มีประสิทธิภาพในการกำจัดสารอินทรีย์ไนโตรเจนได้อย่างสมบูรณ์ทั้งในรูปแอมโมเนียและไนเตรทผ่านกระบวนการไนตริฟิเคชันในเวลา 30 วัน ในการเลี้ยงกุ้งขาวแวนนาไม เพื่อศึกษาประสิทธิภาพของอุปกรณ์เติมอากาศแบบหัวทรายและแบบเวนจูรีดัดแปลง โดยพบว่าอุปกรณ์เติมอากาศแบบเวนจูรีดัดแปลงมีประสิทธิภาพสูงกว่าแบบหัวทราย ซึ่งในงานทดลองนี้ได้ใช้การหมุนเวียนน้ำแบบหัวทรายแต่ใช้การเปิดอากาศให้มีความแรงและวางรูปแบบการไหลเวียนของหัวทรายเป็นวงกลมก็พบว่าได้ผลที่สอดคล้องกัน การเลือกใช้หัวเชื้อจุลินทรีย์ การเสริมแหล่งคาร์บอนที่ดีและการออกแบบระบบหมุนเวียนน้ำที่สอดคล้องกันจะทำให้สามารถช่วยควบคุมความเข้มข้นของแอมโมเนีย และไนโตรที่ได้ดี หากแอมโมเนียและไนโตรที่ในน้ำมีค่าเกิน 1.0 มิลลิกรัม/ลิตร จะส่งผลกระทบต่อสุขภาพของสัตว์น้ำหรือส่งผลต่ออัตราการรอดได้ (Timmons et al., 2002) เนื่องจากปริมาณของเสียที่สะสมจะขึ้นอยู่กับกิจกรรมของแบคทีเรียในกระบวนการแอมโมนิฟิเคชัน และเกิดจากอัตราการเจริญเติบโตที่แตกต่างกันระหว่างแบคทีเรียกลุ่ม Ammonia oxidizing bacteria (AOB) และ Nitrite oxidizing bacteria (NOB) (Vadivelu et al., 2007) ซึ่ง Nootong et al. (2011) พบว่าปริมาณตะกอนแขวนลอยที่มีอยู่ในน้ำเป็นปัจจัยสำคัญร่วมด้วย

สรุปผลการวิจัย

เมื่อพิจารณาการใช้น้ำหมักชีวภาพสูตรอีเอ็มในชุดการทดลองที่ 2 การเลี้ยงปลานิลระบบไบโอฟลอค มีข้อดีหลายประการ เช่น สัตว์น้ำสามารถเจริญเติบโตได้ดี ประหยัดต้นทุนค่าอาหาร ประหยัดต้นทุนค่าเปลี่ยนถ่ายน้ำ ปลานิลมีการเจริญเติบโตที่ดี มีอัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อต่ำ อัตราการรอดสูง และสามารถช่วยควบคุมความเข้มข้นของแอมโมเนีย และไนโตรที่ได้ดี หากแอมโมเนียและไนโตรที่ในน้ำมีค่าเกินกว่าที่สัตว์น้ำจะทนได้ก็จะส่งผลกระทบต่อสุขภาพของสัตว์น้ำหรือส่งผลต่ออัตราการรอดได้ การสะสมของสารประกอบอินทรีย์ไนโตรเจนพบได้ในระบบไนตริฟิเคชัน ซึ่งเป็นผลมาจากการย่อยสลายของโปรตีนให้เป็นแอมโมเนียด้วยกิจกรรมของแบคทีเรียในกระบวนการแอมโมนิฟิเคชันและระบบนิเวศของกลุ่มแบคทีเรียหลายกลุ่มทำงานร่วมกันในน้ำซึ่งมีปริมาณตะกอนอยู่ในระบบระหว่าง 200 ถึง 800 มิลลิกรัม/ลิตร แต่หากมีการเพิ่มขึ้นของแอมโมเนียในระบบอย่างต่อเนื่องอาจเป็นการบ่งชี้ให้เห็นว่าปริมาณแอมโมเนียที่เกิดขึ้นในระบบมาจากการขับถ่ายของเสียของสัตว์น้ำและการย่อยสลายของตะกอนมีค่ามากกว่าความสามารถของระบบที่จะรองรับได้ ปริมาณตะกอนแขวนลอยภายใต้ระบบเลี้ยงสัตว์น้ำหมุนเวียนแบบปิดเป็นองค์ประกอบที่สำคัญต่อกระบวนการไนตริฟิเคชัน ในการควบคุมความเข้มข้นของสารประกอบอินทรีย์ไนโตรเจน ดังนั้น น้ำหมักชีวภาพสูตรอีเอ็มใช้ในชุดการทดลองที่ 2 จึงมีประสิทธิภาพที่ดีโดยส่งผลทำให้ปลา

นิลมีการเจริญเติบโตที่ดีที่สุด ทั้งนี้การใช้น้ำหมักชีวภาพให้มีประสิทธิภาพต่อการเจริญเติบโตของปลานิลในระบบไบโอฟลอค จำเป็นที่จะต้องควบคุมสมดุลของเสียในระบบกับปริมาณตะกอน ฟลอคให้เหมาะสมกันจึงจะทำให้การเลี้ยงประสบความสำเร็จได้ การใช้น้ำหมักชีวภาพเสริมในการเลี้ยงระบบไบโอฟลอคช่วยสร้าง สมดุลให้เกิดขึ้นในระบบการเลี้ยงซึ่งสามารถเลี้ยงได้ทั้งชุมชนเมืองที่มี พื้นที่น้อย และสามารถต่อยอดเชิงพาณิชย์ได้

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบพระคุณ โครงการการพัฒนาศูนย์เรียนรู้การเกษตร ตามปรัชญาเศรษฐกิจพอเพียง มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบุรี ปีที่ 3 ปีงบประมาณ 2565 มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบุรีที่สนับสนุนทุนวิจัย อุปกรณ์และสถานที่การดำเนินการวิจัย

References

- Association of Official Analytical Chemists (AOAC). (1995). *Official methods of analysis* (16th ed.). Washington D. C., United States: Association of Official Analytical Chemists.
- Avnimelech, Y. (2014). *Biofloc technology: a practical guide book* (3rd ed.). Baton Rouge, Louisiana, United States: The World Aquaculture Society.
- Azim, M. E., & Little, D. C. (2008). The biofloc technology (BFT) in indoor tanks: water quality, biofloc composition, and growth and welfare of Nile Tilapia (*Oreochromis niloticus*). *Aquaculture*, 283(1-4), 29-35. doi: 10.1016/j.aquaculture.2008.06.036
- Caipang, C. M, A., Choo, H. X., Bai, Z., Huang, H., & Lay-yag, C. M. (2015). Viability of sweet potato flour as carbon source for the production of biofloc in freshwater culture of tilapia, *Oreochromis* sp. *International Aquatic Research*, 7(4), 329-336. doi: 10.1007/s40071-015-0117-7
- Castro-Nieto, L. M., Castro-Barrera, T., De Lara-Andrade, R., Castro-Mejía, J., & Castro-Mejía, G. (2012). Biofloc systems in aquaculture biofloc systems: a technological breakthrough in aquaculture. *Revista Digital del Departamento El Hombre y su Ambiente*, 1(1), 1-5.
- Chu, C. P., & Lee, D. J. (2004). Multiscale structures of biological flocs. *Chemical Engineering Science*, 59(8-9), 1875-1883. doi: 10.1016/j.ces.2004.01.040
- Emerenciano, M., Ballester, E. L. C., Cavalli, R. O., & Wasielesky, W. (2011). Biofloc technology application as a food resource in a limited water exchange nursery system for pink shrimp *Farfantepenaeus brasiliensis* (Latreille, 1817). *Aquaculture research*, 43(3), 447-457. doi: 10.1111/j.1365-2109.2011.02848.x
- Fisheries department. (2008a). *Nile Tilapia culture*. Bangkok, Thailand: Ministry of Agriculture and Cooperatives. (in Thai)
- Fisheries department. (2008b). *Hormonal Sex-reversed Nile Tilapia culture*. Bangkok, Thailand: Ministry of Agriculture and Cooperatives. (in Thai)
- Hmadhloo, S., Tanyaros, S., & Phumee, P. (2013). Effect of C:N ratio in integrated culture of white shrimp (*Litopenaeus vannamei*) and Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) using biofloc technology. *Rajamangala University of Technology Srivijaya Research Journal*, 5(1), 96-106. (in Thai)
- Jitmanowan, S. (2020). *Effect of carbon/nitrogen ratio (C:N) on geosmin in Nile tilapia (Oreochromis niloticus) under biofloc system* (Master's thesis). Chiangmai, Thailand: Maejo University. (in Thai)
- Khumsat, U., Lopbarmung, Y., & Buaban, T. (2018). Culture of Nile Tilapia (*Oreochromis niloticus*) with biofloc technology (Special problem). Nakhonsawan, Thailand: Nakhonsawan Rajabhat University. (in Thai)
- Klinngam, S., & Thaklaewphan, C. (2022). *Driving AIC Phetchaburi Province towards a high performance AIC center* (AIC Phetchaburi Province annual report). Phetchaburi, Thailand: Phetchaburi Rajabhat University. (in Thai)
- Nootong K., Pavasant, P., & Powtongsook, S. (2011). Effects of organic carbon addition in controlling inorganic nitrogen concentrations in a biofloc system. *Journal of the World Aquaculture Society*, 42(3), 339-346. doi: 10.1111/j.1749-7345.2011.00472.x
- Nurhatijah, N., Muchlisin, Z. A., Sarong, M. A., & Supriatna, A. (2016). Application of biofloc to maintain the water quality in culture system of the tiger prawn (*Penaeus monodon*). *AACL Bioflux*, 9(4), 923-928.
- National Research Council (NRC). (1983). *Nutrient requirements of warmwater fishes and shellfishes*. Washington D. C., United States: National Academy Press.
- Phonpisuttimas, S. (2012). Fermented bio-extracts and agricultures. *Journal of Research Unit on Science, Technology and Environment for Learning*, 3(1), 59-65. (in Thai)
- Ray, A. J., Lewis, B. L., Browdy, C. L., & Leffler, J. W. (2010a). Suspended solids removal to improve shrimp (*Litopenaeus vannamei*) production and an evaluation of a plant-based feed in minimal-exchange, superintensive culture systems. *Aquaculture*, 299 (1-4), 89 - 98 . doi:

- 10.1016/j.aquaculture.2009.11.021
- Ray, A. J., Seaborn, G., Leffler, J. W., Wilde, S. B., Lawson, A., & Browdy, C. L. (2010b). Characterization of microbial communities in minimal-exchange, intensive aquaculture systems and the effects of suspended solids management. *Aquaculture*, 310(1-2), 130-138. doi: 10.1016/j.aquaculture.2010.10.019
- Rucksapram, S., Tungse, W., & Rachuphimon, N. (2021). Biofloc technology and bio-extract applications for indoor culture of Nile Tilapia (*Oreochromis niloticus*). *Journal of Agriculture*, 37(3), 243-253. (in Thai)
- Sittplangkoon, P., Pungrasmi, W., & Noothong, K. (2012). Control of inorganic nitrogen concentrations and ammonium removal rates by biological sludge from closed aquaculture cultivating system. *Proceeding of the 9th Kasetsart University Kamphaeng Saen Campus Conference* (pp. 317-323). Bangkok, Thailand: Kasetsart University. (in Thai)
- Thanakitpairin, A., Noothong, K., & Pungrasmi, W. (2016). The Effects of biological flocculation from recirculating aquaculture system on controlling the inorganic nitrogen concentrations. *Burapha Science Journal*, 21(3), 50-57. (in Thai)
- Timmons, M. B., Ebeling, J. M., Wheaton, F. W., Summerfelt, S. T., & Vinci, B. J. (2002). *Recirculating aquaculture systems* (2nd ed.). New York, United States: Cayuga Aqua Ventures LLC.
- Vadivelu, V. M., Keller, J., & Yuan, Z. (2007). Effect of free ammonia on the respiration and growth processes of an enriched *Nitrobacter* culture. *Water Research*, 41(4), 826-834. doi: 10.1016/j.watres.2006.11.030
- Wangwibulkit, S. (2009). *Water quality for fisheries*. Bangkok, Thailand: Department of Fisheries Science, Faculty of Agricultural Technology, King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang. (in Thai)
- Yankay, S. (2022). *Effects of different aeration systems on ammonia removal efficiency of biofloc in closed aquaculture system for Litopenaeus vannamei* (Master's thesis). Bangkok, Thailand: Chulalongkorn University. (in Thai)

Research article

Effects of different bio-extract formulas on the growth performance of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) in biofloc system

Chuthamat Thaklaewphan* Autcharee Phoomawan Bunyat Sirithanawong and Chalida Changklaew

Department of Aquaculture, Faculty of Agricultural Technology, Phetchaburi Rajabhat University, Muang District, Phetchaburi Province, Thailand 76000

ARTICLE INFO**Article history**

Received: 28 October 2023

Revised: 17 March 2024

Accepted: 19 June 2024

Online published: 23 July 2024

Keyword

Bio extract

Nile tilapia

Biofloc system

Water quality

Growth performance

ABSTRACT

This research aimed to investigate the growth and survival rates of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) using biofloc technology with various groups of microorganisms. The study employed a completely randomized design comprising four sets of experiments, with each experiment repeated three times. The four sets of experiments consisted of the following: In experiment set 1, tilapias were raised under normal conditions (control group); experiment set 2 utilized biofloc technology for tilapia cultivation with naturally fermented effective microorganisms (EM); experiment set 3 utilized biofloc technology for tilapia cultivation with bacillus bacteria; and experiment set 4 utilized biofloc technology for tilapia cultivation with photosynthetic bacteria (PSB). The tilapia, with an average size of 7.68 ± 0.48 g and 6.52 ± 0.40 cm, were raised at a density of 45 fish per square meter in 24x12x15 inch (54 L) tanks. Ready-made food was given to feed them twice a day. Consecutive water quality monitoring was done in different raising forms for a period of six weeks. The results at the end of the experiment showed that raising the tilapia with naturally fermented EM in experiment set 2 yielded the best results. It affected the good growth rate and had a high survival rate (100 %). Additionally, it resulted in a low feed conversion ratio due to the microbial sludge, which comprised 23.43 % protein of dry unit weight. Temperature ranged from 28 to 32 °C, pH from 6.7 to 8.3, alkalinity from 68 to 119 mg/L CaCO₃, nitrite from 0 to 0.5 mg/L NO₂-N, ammonia from 0 to 0.2 mg/L NH₃-N, dissolved oxygen concentrations from 4.0 to 5.0 mg/L, and total suspended solids concentrations from 100 to 500 mg/L, respectively, with no significant differences between the mean values calculated for the control culture. Finally, various kinds of zooplankton, e.g., *Moina macrocopa* and *Brachionus* sp., were found in wastewater treatment systems, which can be used as supplementary food for the tilapia. Furthermore, using photosynthetic bacteria (PSB) with naturally fermented EM affected ammonia treatment and helped reduce the frequency of changing the water in the fish tank, thus reducing costs.

*Corresponding author

E-mail address: runchoo@gmail.com (C. Thaklaewphan)

Online print: 23 July 2024 Copyright © 2024. This is an open access article, production, and hosting by Faculty of Agricultural Technology, Rajabhat Maha Sarakham University. <https://doi.org/10.14456/paj.2024.32>



การพัฒนาผลิตภัณฑ์พาสต้าปราศจากกลูเตนจากแป้งข้าวกล้องภาคใต้เสริมโปรตีนด้วยกระบวนการเอ็กซ์ทราซัน

สุภาชิต ชุกกลิ่น*

หลักสูตรเทคโนโลยีและนวัตกรรมอาหาร คณะอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย วิทยาเขตนครศรีธรรมราช อำเภอทุ่งใหญ่ จังหวัดนครศรีธรรมราช ประเทศไทย 80240

ข้อมูลบทความ

Article history

รับ: 22 เมษายน 2567

แก้ไข: 23 พฤษภาคม 2567

ตอบรับการตีพิมพ์: 16 กรกฎาคม 2567

ตีพิมพ์ออนไลน์: 30 กรกฎาคม 2567

คำสำคัญ

พาสต้า

กลูเตน

ข้าวกล้อง

โปรตีนทางเลือก

เอ็กซ์ทราซัน

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ได้พัฒนาผลิตภัณฑ์พาสต้าปราศจากกลูเตนจากแป้งข้าวกล้องภาคใต้ (ข้าวเม็ดยาว 62 ข้าวสังข์หยดและข้าวเล็บนก) ด้วยกระบวนการเอ็กซ์ทราซันเสริมโปรตีน พบว่า คุณลักษณะทางกายภาพ ทางเคมี การต้านอนุมูลอิสระและปริมาณฟีนอลิกทั้งหมดของแป้งข้าวกล้องภาคใต้มีค่าที่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) ข้าวกล้องเม็ดยาว 62 มีค่ากิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระ (1.02 mg vitamin C/g DW) และปริมาณฟีนอลิกทั้งหมด (0.83 mg GAE/g DW) สูงสุด การพัฒนาเส้นพาสต้าจากข้าวกล้องภาคใต้โดยใช้แป้งข้าวกล้องเม็ดยาว 62 ร้อยละ 0, 10, 20, 30 และ 40 โดยน้ำหนัก) ทดแทนแป้งสาลีเพื่อผลิตเส้นพาสต้าด้วยกระบวนการเอ็กซ์ทราซัน พบว่า การเพิ่มปริมาณแป้งข้าวกล้องเม็ดยาวในเส้นพาสต้าจะมีค่า L^* , a^* และ b^* น้อยกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับตัวอย่างควบคุม แต่ค่าความแน่นเนื้อ ค่าความต้านแรงดึง เวลาในการปรุงและการสูญเสียการปรุงของเส้นพาสต้าเพิ่มขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับเส้นพาสต้าทางการค้า โดยที่ปริมาณแป้งข้าวกล้องเม็ดยาว 62 ร้อยละ 20 มีคะแนนความพึงพอใจทางประสาทสัมผัสมากที่สุด ส่วนการพัฒนาเส้นพาสต้าข้าวกล้องเม็ดยาว 62 เสริมโปรตีน (ผงจิ้งหรีด ถั่วเหลืองผง และไข่ขาวผง) ร้อยละ 10 โดยน้ำหนัก พบว่าสูตรพาสต้าจากแป้งข้าวกล้องเม็ดยาว 62 เสริมผงจิ้งหรีดและผงถั่วเหลืองร้อยละ 10 มีคะแนนความพึงพอใจทางด้านประสาทสัมผัสมากที่สุด เมื่อเปรียบเทียบกับปริมาณของโปรตีนที่ศึกษา

บทนำ

ข้าวเป็นพืชอาหารที่สำคัญชนิดหนึ่งของโลกและยังเป็นอาหารหลักของประชากรสองในสามของประชากรโลก โดยเฉพาะประเทศในแถบภูมิภาคเอเชีย นอกจากนี้ข้าวยังจัดเป็นอาหารที่มีคาร์โบไฮเดรตสูงเนื่องจากมีแป้งเป็นองค์ประกอบอยู่ถึงร้อยละ 90 จึงเป็นแหล่งของอาหารที่ให้พลังงานแก่ร่างกายและยังมีโปรตีนอยู่ร้อยละ 9 ไชมันร้อยละ 1.50 รวมไปถึงวิตามินและแร่ธาตุต่าง ๆ ที่จำเป็นต่อร่างกายหลายชนิดอีกร้อยละ 1.50 ซึ่งข้าวกล้องเป็นข้าวชนิดหนึ่งที่มีการขัดสีน้อย ข้าวที่ได้ยังคงมีจมูกข้าวและเยื่อหุ้มเมล็ดข้าวเหลืออยู่มากจึงอุดมไปด้วยโปรตีน ไชมัน เส้นใยอาหาร วิตามิน และแร่ธาตุมากกว่าข้าวขาว (Sriprapai et al., 2018)

ภาคใต้มีพื้นที่ขนาดใหญ่ไปด้วยชายฝั่งอ่าวไทยทางตะวันออกและชายฝั่งอันดามันทางตะวันตก และพื้นที่เป็นเทือกเขาและที่ราบลุ่มอาชีพรส่วนใหญ่ของชาวใต้ คือ ทำประมง ทำสวนยาง ปาล์มและผลไม้ และทำนา โดยการทำนาคืออาชีพที่ราบริมทะเล บริเวณลุ่มน้ำและที่ว่างระหว่างเทือกเขา โดยแหล่งปลูกข้าวที่สำคัญ คือ จังหวัดนครศรีธรรมราช จังหวัดสงขลาและจังหวัดพัทลุง โดยจังหวัดนครศรีธรรมราชเป็นแหล่งของทรัพยากรทางการเกษตร (ยาง ปาล์ม และข้าว) ที่สำคัญของภาคใต้ ข้าวที่ปลูกมีทั้งข้าวนาและข้าวไร่โดยข้าว

นาปลูกมากในบริเวณพื้นที่ลุ่มน้ำปากพนัง อ.ปากพนัง นิยมปลูกข้าวสายพันธุ์ คือ เล็บนกปัตตานี (ลักษณะเด่น คือ คุณภาพการสีและหุงต้มดี แปรรูปเป็นเส้นก๋วยเตี๋ยว คุณภาพดี มีความนุ่มเหนียว) ไชมันตรีน และสังข์หยดพัทลุง เป็นต้น ส่วนข้าวไร่มีการปลูกมากใน อ.ทุ่งสง ซึ่งข้าวไร่เกษตรกรจะปลูกแซมระหว่างต้นยางพาราก่อนที่จะเติบโตจนสามารถกรีดยได้ ข้าวสายพันธุ์ที่นิยมปลูก คือ ข้าวเม็ดยาว 62 และข้าวสังข์หยดซึ่งเป็นข้าวที่มีคุณค่าทางโภชนาการและสารต้านอนุมูลอิสระโดยข้าวเม็ดยาว 62 มีปริมาณโปรตีน ไชมัน เส้นใย เถ้า และคาร์โบไฮเดรตเท่ากับ 7.25 2.55 0.77 1.73 และ 77.95 (% w/w) ตามลำดับ ค่าการต้านอนุมูลอิสระด้วย DPPH และปริมาณฟีนอลิกทั้งหมดเท่ากับ 6.94 (mg vitamin C/g DW) และ 0.74 (mg GAE/g DW) ตามลำดับ สำหรับข้าวสังข์หยดปริมาณโปรตีน ไชมัน เส้นใย เถ้า และคาร์โบไฮเดรตเท่ากับ 8.81, 1.87, 4.45, 1.08 และ 73.72 (% w/w) ตามลำดับ ค่าการต้านอนุมูลอิสระด้วย DPPH และปริมาณฟีนอลิกทั้งหมดเท่ากับ 0.53 (mg vitamin C/g DW) และ 0.03 (mg GAE/g DW) ตามลำดับ (Chooklin, 2023) เหมาะที่นำมาทำผลิตภัณฑ์อาหารสุขภาพ เช่น เครื่องดื่ม ขนมอบ ขนมขบเคี้ยวและผลิตภัณฑ์พาสต้า เป็นต้น

ผลิตภัณฑ์พาสต้าเป็นผลิตภัณฑ์อาหารที่รับประทานเป็น

*Corresponding author

E-mail address: supasit.c@rmutsv.ac.th (S. Chooklin)

Online print: 30 July 2024 Copyright © 2024. This is an open access article, production, and hosting by Faculty of Agricultural Technology, Rajabhat Maha Sarakham University. <https://doi.org/10.14456/paj.2024.33>

อาหารหลักมาแต่โบราณของชาวยุโรป และในปัจจุบันพาสตายังเป็นผลิตภัณฑ์ที่หลายประเทศบริโภคเป็นอาหารมื้อหลัก และได้รับความนิยมทั้งในแถบเอเชียและยุโรปอีกด้วย โดยพาสตานั้นทำมาจากแป้งเซโมลินา (Semolina) ซึ่งไม่ด้วยวิธีพิเศษจากแป้งสาลีชนิดดรัม นามาผสมกับน้ำนวดให้เข้ากัน แล้วนำเข้าเครื่องเอ็กสตรูเดอร์ ออกมาเป็นเส้นรูปต่างๆ กัน จะเห็นได้ว่าแป้งสาลีเป็นองค์ประกอบส่วนใหญ่ที่ใช้ในการผลิตพาสต้า ทำให้พาสตายังคงมีคุณค่าทางโภชนาการค่อนข้างน้อย โดยวัตถุดิบที่ใช้ในการผลิต คือ แป้งสาลีและไข่ไก่ น้ำ และอาหารประเภทพาสต้าถูกจัดไว้ในกลุ่มอาหารที่มีคุณค่าทางโภชนาการต่ำ เนื่องจากมีปริมาณของคาร์โบไฮเดรตสูง มีปริมาณสารอาหาร และใยอาหารต่ำ (Limroongreungrat et al., 2017) นอกจากนี้แป้งสาลีผลิตจากข้าวสาลีซึ่งต้องนำเข้าจากต่างประเทศ ทำให้ต้นทุนการผลิตสูงขึ้นไปด้วย ดังนั้นหากสามารถพัฒนาผลิตภัณฑ์พาสต้าให้เป็นผลิตภัณฑ์ที่มีคุณค่าทางโภชนาการเพิ่มขึ้น โดยการนำข้าวกล้องมาใช้ทดแทนแป้งสาลีในผลิตภัณฑ์พาสต้า นอกจากจะเป็นการเพิ่มคุณค่าให้แก่ผลิตภัณฑ์แล้วยังเป็นการลดต้นทุนการผลิตพาสต้าได้อีกด้วย นอกจากนี้แป้งข้าวกล้องยังมีองค์ประกอบของสารประกอบโพลีฟีนอล ซึ่งมีบทบาทสำคัญในการช่วยลดภาวะเครียดที่เกิดจากออกซิเดชัน และมีสมบัติในการเป็นสารต้านอนุมูลอิสระมากกว่าข้าวขาว และการเสริมสารอาหารเชิงหน้าที่ (function ingredients) เช่น เส้นใย วิตามินและโปรตีน โดยเฉพาะโปรตีนจากพืช (ถั่ว) และสัตว์ (แมลง) เมื่อนำไปใช้ในการพัฒนาผลิตภัณฑ์พาสต้าสดจะมีประโยชน์ต่อสุขภาพของผู้บริโภคได้ (Sriprapai et al., 2018)

งานวิจัยนี้จึงทำการผลิตผลิตภัณฑ์พาสต้าแป้งข้าวกล้องภาคใต้เสริมโปรตีนด้วยเครื่องเอ็กสตรูเดอร์สกรูคู่เพื่อหาสภาวะที่เหมาะสมของแป้งข้าวกล้องภาคใต้และชนิดโปรตีนที่เหมาะสมในการผลิตผลิตภัณฑ์พาสต้า

อุปกรณ์และวิธีการวิจัย

1. การเตรียมแป้งข้าวกล้องภาคใต้และแหล่งโปรตีน

นำข้าวเปลือก (เล็บนกปัตตานี สังข์หยดพัทลุง และเม็ดฝ้าย 62) ได้จากวิสาหกิจชุมชนบ้านหนองคล้าสามัคคี อ.ทุ่งสง จ.นครศรีธรรมราช ไปกระเทาะเปลือกด้วยเครื่องกระเทาะเปลือกส่วนของแหล่งโปรตีนจากพืช (ถั่วเหลืองจากร้านค้าในพื้นที่ จ.นครศรีธรรมราช) และสัตว์ (จิ้งหรีดบ้าน จากวิสาหกิจชุมชนปลูกผักปลอดสารพิษ จังหรีดนายทั้ง อ.เชียรใหญ่ จ.นครศรีธรรมราช และไข่ขาวผงจากร้านค้าในพื้นที่ จ.นครศรีธรรมราช) นำข้าวที่ผ่านการกระเทาะเปลือก ถั่วเหลืองและจิ้งหรีดบ้านมาบดด้วยเครื่องบดละเอียดคัดขนาดด้วยตะแกรงร่อน (Mesh no. 60) แล้วเก็บในถุงอะลูมิเนียมฟอยด์ปิดสนิทที่อุณหภูมิ 4°C ก่อนนำไปวิเคราะห์คุณภาพ

2. การวิเคราะห์คุณภาพแป้งข้าวกล้องภาคใต้

2.1 คุณภาพทางเคมี ได้แก่ องค์ประกอบทางเคมี (Proximate analysis) ได้แก่ ความชื้น โปรตีน ไขมัน เยื่อใย เถ้า และคาร์โบไฮเดรต ด้วยวิธี AOAC (2000) กิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระตามวิธีของ Brand-Williams et al. (1995) และปริมาณฟีนอลิกทั้งหมดตามวิธีของ Singleton et al. (1999)

2.2 คุณภาพทางกายภาพ ได้แก่ ค่าสี (L^* , a^* และ b^*) ด้วยเครื่องวัดสี Hunter Lab นำตัวอย่างเส้นพาสต้าที่ได้จากกระบวนการ

เอ็กสตรูชันและผ่านการบดด้วยเครื่องบด นำผงของตัวอย่างที่ได้บรรจุใส่ในอุปกรณ์ใส่ตัวอย่าง และวัดสีโดยใช้เครื่องวัดสี บันทึกค่าสี L^* , a^* และ b^* ในระบบ CIE Lab โดยค่า L^* คือ ค่าความสว่าง (0 = สีดำ, 100 = สีขาว) ค่า a^* คือ ค่าสีแดง-เขียว (+ = สีแดง, - = สีเขียว) และค่า b^* คือ ค่าสีเหลือง-น้ำเงิน (+ = สีเหลือง, - = สีน้ำเงิน)

3. การพัฒนาสูตรพาสต้าจากแป้งข้าวกล้องภาคใต้

3.1 ศึกษาปริมาณแป้งข้าวกล้องภาคใต้ที่เหมาะสมที่ใช้เติมในพาสต้า

นำแป้งข้าวกล้องภาคใต้ (ข้อ 1) มาใช้ทดแทนแป้งข้าวเจ้าเพื่อทำผลิตภัณฑ์พาสต้า โดยแปรปริมาณแป้งข้าวกล้องภาคใต้ที่ใช้ทดแทนแป้งเจ้าข้าว 5 ระดับ คือ ร้อยละ 0, 10, 20, 30 และ 40 โดยนำหนักผสมแป้งสาลี แป้งข้าวเจ้า แป้งมันสำปะหลัง เกลือ น้ำมันพืช น้ำที่อัตราส่วนร้อยละ 61 (ปรับลดตามแป้งข้าวกล้องร้อยละ 10-40), 10, 20, 1, 3 และ 5 ตามลำดับ โดยผลิตพาสต้าโดยใช้เครื่องเอ็กสตรูเดอร์สกรูคู่ (Twin screw extruder) ระดับโรงงานต้นแบบ (Pilot plant) ปรับอุณหภูมิ (Barrel temperature) 1-6 และตาย (Die) เท่ากับ 40, 80, 90, 120, 80, 70 และ 60°C ตามลำดับ อัตราการป้อนและความเร็วรอบสกรูเท่ากับ 6 และ 100 rpm ตามลำดับ นำเส้นพาสต้าที่ได้มาทำให้แห้ง โดยใช้ตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิ 60°C นาน 4 hr (ความชื้นน้อยกว่าร้อยละ 10) บรรจุพาสต้าในถุงพลาสติกโพลีเอทิลีนและปิดผนึกให้สนิทเพื่อรอการวิเคราะห์คุณภาพต่อไป

1) คุณภาพหลังการต้ม (Cooking quality) ได้แก่ เวลาที่เหมาะสมในการต้มพาสต้าให้สุก (Cooking time) ปริมาณของแข็งที่สูญเสียระหว่างการต้ม (Cooking loss) และน้ำหนักที่ได้หลังการต้ม (Cooking Yield) ตามวิธี AOAC (2000)

2) คุณภาพทางกายภาพ ได้แก่ ค่าสี (L^* , a^* และ b^*) โดยใช้เครื่องวัดสี Hunter Lab คุณลักษณะเนื้อสัมผัส โดยใช้เครื่องวิเคราะห์เนื้อสัมผัส Texture Analyzer วัดค่าความแน่นเนื้อ (Firmness) และค่าความต้านทานต่อการดึงขาด (Tensile strength) ของพาสต้า ด้วยเครื่อง Texture Analyzer ตามวิธี AACC Method (AACC, 2000) ด้วยความเร็ว 0.17 mm/sec ระยะทาง 4.5 mm โดยค่าความแน่นเนื้อมีหน่วยเป็น กรัม และความต้านทานต่อการดึงขาด มีหน่วยเป็น นิวตัน

3. คุณภาพทางประสาทสัมผัส นำพาสต้าที่เตรียมได้มาทดสอบคุณภาพทางประสาทสัมผัสด้านสี กลิ่น รสชาติ เนื้อสัมผัส และความชอบโดยรวม ใช้วิธีการทดสอบความชอบด้วยวิธี 9-Point Hedonic Scale ใช้ผู้ทดสอบ 30 คน โดยการเตรียมตัวอย่างพาสต้าที่ใช้ในการทดสอบใช้เวลาในการต้มพาสต้า ให้สุกตามเวลาที่ได้จากการทดลอง

3.1 วางแผนการทดลองแบบ CRD (Completely Randomized Design) ทำการ ทดลอง 3 ซ้ำเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยโดยวิธี Duncan's New Multiple Range Test (DMRT) ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 สำหรับการประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสวางแผนการทดลองแบบ RCBD (Randomized Complete Block Design) เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยโดยวิธี Duncan's New Multiple Range Test (DMRT) ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05

3.2 ศึกษาชนิดของโปรตีนที่เหมาะสมที่ใช้เติมในพาสต้าโดยแปรชนิดโปรตีน 3 ชนิด คือ ไข่ขาวผง ผงถั่วเหลือง และผงจิ้งหรีด ร้อยละ 10 โดยน้ำหนัก ทำพาสต้าเช่นเดียวกับข้อ 3.1 (แป้งข้าวกล้องภาคใต้ที่

เหมาะสม) วิเคราะห์คุณภาพดังนี้ การวิเคราะห์คุณภาพหลังการต้ม AOAC (2000) ค่าสีโดยใช้เครื่องวัดสี Hunter Lab ลักษณะเนื้อสัมผัสโดยใช้เครื่องวิเคราะห์เนื้อสัมผัส Texture Analyzer และประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสใช้วิธีการทดสอบความชอบด้วยวิธี 9-Point Hedonic Scale พิจารณาเลือกชนิดของโปรตีนที่เหมาะสมที่ใช้เติมในผลิตภัณฑ์พาสต้าข้าวกล้องภาคใต้เสริมโปรตีนจากคะแนนความชอบโดยรวมสูงที่สุด

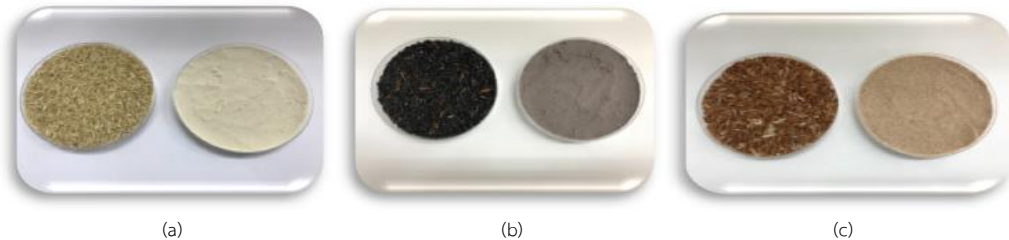


Figure 1 Brown rice flour in Southern (a) Med Fai 62 (b) Sung Yod Phatthalung (c) Leb Nok Pattani

จาก Figure 1 พบว่า แป้งข้าวกล้องภาคใต้ทั้ง 3 ชนิด มีลักษณะปรากฏที่ต่างกัน โดยแป้งข้าวกล้องเม็ดฝ้าย 62 มีลักษณะสีม่วงแดงเข้ม แป้งข้าวกล้องสังข์หยดมีลักษณะสีน้ำตาลแดงเข้ม ส่วนแป้งข้าวกล้องเล็บนกปัตตานีมีสีขาวน้ำตาลอ่อน

การวิเคราะห์คุณภาพทางกายภาพและทางเคมีของแป้งข้าวกล้องเม็ดฝ้าย 62 แสดงดัง Table 1 พบว่า แป้งข้าวกล้องเม็ดฝ้าย 62 มีลักษณะสีม่วงเข้ม ขนาดอนุภาค 250 μm มีค่าความสว่าง (L^*) ค่าความเป็นสีแดง (a^*) และค่าความเป็นสีเหลือง (b^*) เท่ากับ 48.42, 4.56 และ 0.67 ตามลำดับ ส่วนผลการวิเคราะห์คุณภาพทางเคมีของแป้งข้าวกล้องเม็ดฝ้าย 62 แสดงดัง Table 1 พบว่า องค์ประกอบทางเคมีของแป้งข้าวกล้องเม็ดฝ้าย 62 ประกอบด้วยค่าโปรตีน ไขมัน เยื่อใย เถ้าและคาร์โบไฮเดรตเท่ากับร้อยละ 10.59, 1.69, 8.00 , 0.97 และ 75.87 ตามลำดับ สำหรับการต้านอนุมูลอิสระและปริมาณฟีนอลิกทั้งหมดของแป้งข้าวกล้องเม็ดฝ้ายเท่ากับ 1.02 mg vitamin C/g DW และ 0.83 mg GAE/g DW ตามลำดับ สอดคล้องกับการศึกษาของ Chooklin (2023) ศึกษาผลของแป้งข้าวกล้องไรนคร (ข้าวเม็ดฝ้าย 62 และข้าวสังข์หยด) และผงจิ้งหรีดต่อคุณภาพของเอ็กซ์ทราคตขนมขบเคี้ยว พบว่า ลักษณะปรากฏของแป้งข้าวกล้องเม็ดฝ้ายมีสีม่วงเข้ม คุณลักษณะทางกายภาพ (ขนาดอนุภาค 250 μm มีค่า L^* , a^* และ b^* เท่ากับ 48.26, 4.91 และ 0.87 ตามลำดับ) ส่วนคุณลักษณะทางเคมี (ปริมาณโปรตีน ไขมัน เส้นใย เถ้าและคาร์โบไฮเดรตเท่ากับร้อยละ 7.25, 2.55, 0.77, 1.73 และ 77.95 (w/w) ตามลำดับ) สำหรับการต้านออกซิเดชันและปริมาณฟีนอลิกทั้งหมดของแป้งข้าวกล้องเม็ดฝ้ายเท่ากับ 6.94 mg vitamin C/g DW และ 0.74 mg GAE/g DW ตามลำดับ สำหรับการศึกษาในงานวิจัยดังกล่าว

การวิเคราะห์คุณภาพทางกายภาพและทางเคมีของข้าวกล้องสังข์หยดแสดงดัง Table 1 พบว่า ข้าวกล้องสังข์หยดมีลักษณะสีน้ำตาลเข้ม ขนาดอนุภาค 250 μm มีค่าความสว่าง (L^*) ค่าความเป็นสีแดง (a^*) และค่าความเป็นสีเหลือง (b^*) เท่ากับ 63.32, 9.23 และ 13.53 ตามลำดับ ส่วนผลการวิเคราะห์คุณภาพทางเคมีของแป้งข้าวกล้องสังข์หยดแสดงดัง Table 1 พบว่า องค์ประกอบทางเคมีของข้าวกล้องสังข์หยดประกอบด้วยค่าโปรตีน ไขมัน เยื่อใย เถ้า และคาร์โบไฮเดรตเท่ากับ

ผลและวิจารณ์ผลการวิจัย

1. ผลการเตรียมแป้งข้าวกล้องภาคใต้

ผลการเก็บตัวอย่างข้าวกล้องทั้ง 3 ชนิด ที่ปลูกในภาคใต้ ได้แก่ ข้าวเม็ดฝ้าย 62 ข้าวสังข์หยดพัทลุง และ ข้าวเล็บนกปัตตานี นำมาผ่านการเตรียมแป้งข้าวกล้องภาคใต้ได้ตัวอย่างแป้งข้าวกล้อง (Figure 1)

ร้อยละ 10.28, 2.98, 9.30, 1.65 และ 73.77 ตามลำดับ สำหรับค่าการต้านอนุมูลอิสระและปริมาณฟีนอลิกทั้งหมดของข้าวกล้องสังข์หยดเท่ากับ 0.94 mg vitamin C/g DW และ 0.44 mg GAE/g DW ตามลำดับ สอดคล้องกับการศึกษาของ Chooklin (2023) ศึกษาผลของแป้งข้าวกล้องไรนครและผงจิ้งหรีดต่อคุณภาพของเอ็กซ์ทราคตขนมขบเคี้ยว พบว่า ข้าวกล้องสังข์หยดมีสีของข้าวแดงอ่อน ขนาดอนุภาค 250 μm มีค่า L^* , a^* และ b^* เท่ากับ 79.81, 3.69 และ 14.17 ตามลำดับ ปริมาณโปรตีน ไขมัน เส้นใย เถ้า และคาร์โบไฮเดรตเท่ากับ ร้อยละ 8.81, 1.87, 4.45, 1.08 และ 73.72 (w/w) ตามลำดับ สำหรับการต้านออกซิเดชันและปริมาณฟีนอลิกทั้งหมดของแป้งข้าวกล้องสังข์หยดเท่ากับ 0.53 mg vitamin C/g DW และ 0.03 mg GAE/g DW ตามลำดับ

การวิเคราะห์คุณภาพทางกายภาพและทางเคมีของข้าวกล้องเล็บนกปัตตานีแสดงดัง Table 1 พบว่า ข้าวกล้องเล็บนกปัตตานี มีลักษณะสีขาวครีม ขนาดอนุภาค 250 μm มีค่าความสว่าง (L^*) ค่าความเป็นสีแดง (a^*) และค่าความเป็นสีเหลือง (b^*) เท่ากับ 84.19, 1.43 และ 12.68 ตามลำดับ ส่วนผลการวิเคราะห์คุณภาพทางเคมีของข้าวกล้องเล็บนกปัตตานี แสดงดัง Table 1 พบว่า องค์ประกอบทางเคมีของข้าวกล้องเล็บนกปัตตานี ประกอบด้วยค่าโปรตีน ไขมัน เยื่อใย เถ้าและคาร์โบไฮเดรตเท่ากับร้อยละ 10.22, 2.22, 1.45 , 1.56 และ 75.45 ตามลำดับ สำหรับการต้านอนุมูลอิสระและปริมาณฟีนอลิกทั้งหมดของข้าวกล้องเล็บนกปัตตานี เท่ากับ 0.68 mg vitamin C/g DW และ 0.15 mg GAE/g DW ตามลำดับ

ดังนั้นข้าวกล้องเม็ดฝ้าย 62 จึงถูกเลือกนำไปศึกษาต่อเนื่องจากมีค่ากิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระ (1.02 mg vitamin C/g DW) และปริมาณฟีนอลิกทั้งหมดสูงสุด (0.83 mg GAE/g DW)

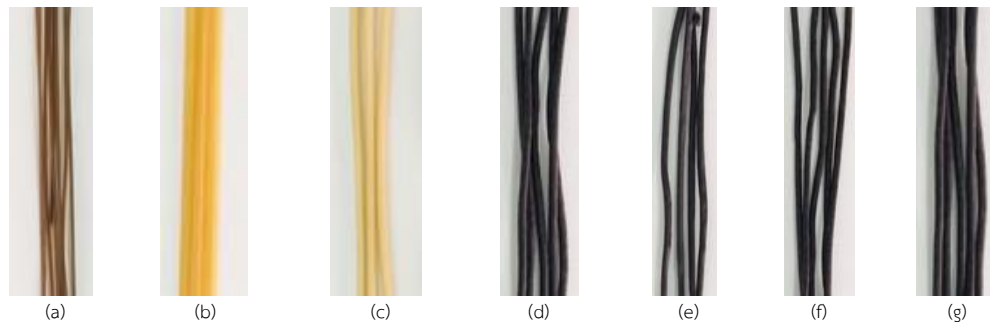
2. ผลการพัฒนาสูตรพาสต้าจากแป้งข้าวกล้องภาคใต้

2.1 ปริมาณแป้งข้าวกล้องภาคใต้ที่เหมาะสมที่ใช้เติมในพาสต้า แป้งข้าวกล้องที่ใช้ทดแทนแป้งข้าวเจ้าเพื่อทำผลิตภัณฑ์พาสต้า โดยแปรปริมาณแป้งข้าวกล้องที่ใช้ทดแทนแป้งสาลี 5 ระดับ คือ ร้อยละ 0, 10, 20, 30 และ 40 โดยน้ำหนัก ดังแสดงใน Figure 2

Table 1 Physical and chemical properties of brown rice in Southern

Properties	Types		
	Med Fai 62 (MF)	Sung Yod (SY)	Leb Nok Pattani (LNP)
Physical			
- Color value			
L*	48.42±0.21 ^c		
a*	4.56±0.03 ^b	63.32±0.17 ^b	84.19±0.04 ^a 1.43±0.02 ^c
b*	0.67±0.16 ^c	9.23±0.02 ^a	12.68±0.08 ^b
- Particle size (µm) ^{ns}	250	13.53±0.11 ^a 250	250
Chemical			
- Moisture (%)	10.87±0.51 ^b	11.30±1.39 ^a	10.53±0.31 ^b
- Protein (%)	10.59±0.34 ^a	10.28±0.05 ^b	10.22±0.00 ^b
- Fat (%)	1.69±0.30 ^c	2.98±0.12 ^a	2.22±0.60 ^b
- Crude fiber (%)	8.00±9.65 ^b	9.30±16.97 ^a	1.45±0.61 ^c
- Ash (%)	0.97±0.02 ^c	1.65±0.01 ^a	1.56±0.05 ^b
- Carbohydrate (%)	75.87±1.0 ^a	73.77±1.27 ^b	75.45±0.82 ^a
- Water activity (a _w)	0.52±0.03 ^b	0.64±0.02 ^a	0.51±0.01 ^b
- Antioxidant by DPPH (mg vitamin C/g DW)	1.02±0.01 ^a	0.94±0.00 ^b	0.68±0.02 ^c
- Total phenolic (mg GAE/g DW)	0.83±0.02 ^a	0.44±0.01 ^b	0.15±0.01 ^c

Values are mean ± SD of triplicate samples (n=3)

Different superscript letters in the same row indicate significant difference ($p<0.05$)**Figure 2** Extruded pasta fortified Med Fai (MF) 62 brown rice flour (a) commercial pasta (riceberry) (b) commercial pasta (wheat rice) (c) control (d) MF-10 % (e) MF-20 % (f) MF-30 % (g) MF-40 %.

ค่าสีของเส้นพาสต้าเป็นค่าคุณภาพหนึ่งที่มีความสำคัญซึ่งจากการศึกษาคุณสมบัติทางกายภาพเส้นพาสต้า แสดงดัง Table 2 พบว่า ค่า L*, a* และ b* มีค่าอยู่ระหว่าง 19.04-23.67 1.42-4.09 และ -1.72-0.26 ตามลำดับ สำหรับเส้นพาสต้าที่เติมแป้งข้าวกล้องเม็ดฝ้าย 62 ส่วนพาสต้าทางการค้าจากแป้งข้าวไรซ์เบอร์รี่จะมีค่า L* น้อยกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับตัวอย่างควบคุม การเพิ่มปริมาณแป้งข้าวกล้องเม็ดฝ้าย 62 ในเส้นพาสต้าจะมีค่า L* น้อยกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับตัวอย่างควบคุม เช่นเดียวกับค่า a* และค่า b* เส้นพาสต้าจากการเติมแป้งข้าวกล้องเม็ดฝ้าย 62 จะมีลักษณะสีม่วงเข้ม เนื่องจากแป้งข้าวกล้องเม็ดฝ้าย 62 มีสารสีของแอนโทไซยานิน การศึกษาของ Chan et al. (2022) ศึกษาการผลิตพาสต้าปราศจากกลูเตนจากผลพลอยได้ข้าวดำด้านเคมีกายภาพ คุณค่าทาง

โภชนาการ และประสาทสัมผัส พบว่า ค่า L*, a* และ b* เท่ากับ 45.51, 7.75 และ 2.28 ตามลำดับ เส้นพาสต้ามีลักษณะเป็นสีน้ำตาลจากการเติมแป้งข้าวดำ Sriprapai et al. (2018) ศึกษาการพัฒนาผลิตภัณฑ์พาสต้าสดจากแป้งข้าวกล้อง พบว่า สูตรควบคุมและ สูตรที่มีการใส่ปริมาณแป้งข้าวกล้องที่ระดับต่าง ๆ มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) โดยเมื่อมีการเพิ่มปริมาณแป้งข้าวกล้องมากขึ้นส่งผลให้ค่าสีแดง (a*) เพิ่มขึ้น ในขณะที่ค่า ความสว่าง (L*) และค่าสีเหลือง (b*) ลดลงเนื่องจากข้าวกล้องมีรงควัตถุชนิดแอนโทไซยานิน ซึ่งเป็นรงควัตถุที่ให้สีแดงน้ำเงิน หรือม่วง ดังนั้นการใช้ปริมาณแป้งข้าวกล้องทดแทนแป้งสาลีมากขึ้นจึงส่งผลให้พาสต้าชนิดราวีโอลีแบบสดมีค่าสีแดงเพิ่มขึ้น ซึ่งอาจส่งผลทำให้ค่าสีเหลืองและค่าความสว่างมีค่าลดลง

Table 2 Physical properties of extruded Med Fai (MF)62 brown rice pasta with different percentages of MF

Sample	Color		
	L*	a*	b*
Commercial (riceberry)	30.22±1.28 ^c	5.31±0.31 ^b	10.62±2.07 ^c
Commercial (wheat rice)	51.48±0.12 ^b	12.62±0.41 ^a	35.33±1.03 ^a
Control	58.53±0.38 ^a	4.98±0.16 ^b	24.15±0.47 ^b
MF-10 %	19.04±1.80 ^e	1.42±0.31 ^e	-0.32±1.35 ^d
MF-20 %	19.41±0.16 ^e	1.59±0.09 ^e	-1.72±0.08 ^d
MF-30 %	23.67±2.52 ^d	3.20±0.61 ^d	0.26±1.99 ^d
MF-40 %	22.21±0.18 ^d	4.09±0.07 ^c	-0.54±0.05 ^d

Values are mean ± SD of triplicate samples (n=3).

Different superscript letters in the same column indicate significant difference ($p<0.05$).

จากการศึกษาคุณสมบัติทางเคมีและทางกายภาพเส้นพาสต้าจากการศึกษาปริมาณแป้งข้าวกล้องเม็ดยาว 62 แสดงดัง Table 3 พบว่า ค่าความชื้นของพาสต้าทางการค้าและพาสต้าผสมข้าวกล้องเม็ดยาว มีค่าอยู่ที่ร้อยละ 2.71-6.55 ตามลำดับ ซึ่งความชื้นไม่เกินร้อยละ 10 ทำให้สามารถเก็บรักษาได้นาน การศึกษาของ Charoenthaikij et al. (2018) ศึกษาคุณสมบัติเคมีกายภาพและประสาทสัมผัสของพาสต้าข้าวกล้องปราศจากกลูเตนเสริมโปรตีนไข่ขาว พบว่า ปริมาณความชื้นของพาสต้าข้าวกล้องปราศจากกลูเตนมีค่าอยู่ระหว่างร้อยละ 4.70-6.20 โดยน้ำหนักเปียก ซึ่งเป็นไปตามมาตรฐานพาสต้าขององค์การอาหารและยาแห่งสหรัฐอเมริกา (United States Food and Drug Administration, FDA)

ค่าปริมาณน้ำอิสระของพาสต้าทางการค้าและพาสต้าผสมข้าวกล้องเม็ดยาว มีค่าอยู่ที่ 0.28-0.77 ตามลำดับ ซึ่งพาสต้าจะจัดอยู่ใน

กลุ่มอาหารแห้ง จึงบ่งชี้ได้ว่าผลิตภัณฑ์พาสต้าทั้งหมดไม่เสี่ยงต่อการเสื่อมเสียจากจุลินทรีย์ได้ง่าย และมีอายุการเก็บรักษานาน

ค่าความแน่นเนื้อของพาสต้าทางการค้าและพาสต้าผสมแป้งข้าวกล้องเม็ดยาว 62 มีค่าอยู่ที่ 2.54-15.20 นิวตัน ค่าความต้านแรงดึงของพาสต้าทางการค้าและพาสต้าผสมแป้งข้าวกล้องเม็ดยาว 62 มีค่าอยู่ที่ 0.44-0.94 นิวตัน การเพิ่มปริมาณแป้งข้าวกล้องเม็ดยาวในเส้นพาสต้าทำให้ค่าความแน่นเนื้อและค่าความต้านแรงดึงเพิ่มขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับเส้นพาสต้าทางการค้า การศึกษาของ Srirajan et al. (2021) ศึกษาการเตรียมสเปกตรัมเสริมแป้งถั่วเหลืองกำจัดไขมัน แป้งตัดแปรและผงเปลือกทุเรียนด้วยเอ็กส์ทราซัน พบว่า ค่าการต้านทานแรงดึงของสเปกตรัมแป้งข้าวปุ้นสูงจะเพิ่มขึ้นกับการเติมปริมาณผงเปลือกทุเรียนจาก 0.13-0.19 N

Table 3 Chemical properties and characteristic of extruded Med Fai (MF) 62 brown rice pasta with different percentages of MF

Sample	Chemical and physical properties			
	Moisture content (%)	Water activity	Firmness (N)	Tensile strength (N)
Commercial (riceberry)	5.12±0.29 ^b	0.28±0.01 ^d	3.42±0.39 ^d	0.44±0.15 ^e
Commercial (wheat rice)	2.71±0.06 ^c	0.29±0.01 ^d	2.54±0.00 ^d	0.66±0.03 ^{cd}
Control	5.90±0.35 ^{ab}	0.67±0.09 ^b	7.52±1.23 ^c	0.86±0.06 ^{ab}
MF-10 %	3.29±0.05 ^c	0.77±0.02 ^a	11.44±1.16 ^b	0.51±0.05 ^{de}
MF-20 %	4.84±0.50 ^b	0.64±0.05 ^{bc}	12.50±1.83 ^b	0.56±0.04 ^{de}
MF-30 %	6.55±0.88 ^a	0.58±0.02 ^c	13.64±0.52 ^{ab}	0.75±0.12 ^{bc}
MF-40 %	5.64±1.18 ^{ab}	0.59±0.03 ^c	15.20±2.12 ^a	0.94±0.04 ^a

Values are mean ± SD of triplicate samples (n=3).

Different superscript letters in the same column indicate significant difference ($p<0.05$).

ผลการวิเคราะห์คุณภาพการปรุง (Cooking quality) เส้นพาสต้าแป้งข้าวกล้องเม็ดยาว 62 แสดงดัง Table 4 พบว่า เวลาในการปรุงสุก (Cooking time) ของผลิตภัณฑ์ทั้งหมดอยู่ในช่วง 13.40-30.60 min การเพิ่มปริมาณแป้งข้าวกล้องเม็ดยาว 62 มากขึ้นทำให้เวลาในการปรุงสุกของเส้นพาสต้าสูงขึ้น เมื่อเปรียบเทียบกับผลิตภัณฑ์ทางการค้า

การสูญเสียการปรุง (Cooking loss) เป็นดัชนีของทางด้านทานต่อการแตกตัวระหว่างการปรุงพาสต้า ถูกนำมาใช้เพื่อบ่งชี้ประสิทธิภาพการปรุงอาหารโดยรวมของพาสต้า เนื่องจากการขาดกลูเตนในพาสต้าแป้งข้าวกล้องเม็ดยาว 62 โมเลกุลของแป้งจะมีความสามารถในการสร้างเมทริกซ์น้อยลง ส่งผลให้ผลิตภัณฑ์สำเร็จรูปมีการสูญเสียการปรุงอาหารสูง การสูญเสียการปรุงของผลิตภัณฑ์ทั้งหมดอยู่ในช่วง 2.28-10.25 % ส่วนน้ำหนักการปรุงของผลิตภัณฑ์ทั้งหมดอยู่ในช่วง 22.14-59.77 g การศึกษาของ Rungsardthong et al. (2021) ศึกษาคุณสมบัติทางกายภาพและการปรุงของเอ็กส์ทราเตตสเปกตรัมข้าวเสริมเส้นใยเปลือกมะม่วง พบว่า เวลาการปรุงสุกของผลิตภัณฑ์อยู่ในช่วง 11.00-11.50 min และการสูญเสียการปรุง

ของผลิตภัณฑ์อยู่ในช่วง 7.74-10.27 % ซึ่งอยู่ในช่วงที่ยอมรับของบะหมี่ทางการค้า (< 12.50 % โดยน้ำหนักเปียก)

Table 5 แสดงผลของการทดสอบทางประสาทสัมผัสของเส้นพาสต้าแป้งข้าวกล้องเม็ดยาว 62 พบว่า ระดับคะแนนความชอบของผลิตภัณฑ์พาสต้าทั้งหมดมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p<0.05$) โดยการเพิ่มปริมาณแป้งข้าวกล้องเม็ดยาว 62 ส่งผลให้คะแนนความชอบลดลงเปรียบเทียบกับผลิตภัณฑ์ทางการค้า โดยที่สูตรเส้นพาสต้าที่ผสมแป้งข้าวกล้องเม็ดยาว 62 ร้อยละ 20 มีคะแนนความพึงพอใจทางประสาทสัมผัสสูงสุด (7.90) เปรียบเทียบกับชุดควบคุม ดังนั้นจึงเลือกสภาวะดังกล่าวไปดำเนินการศึกษาต่อไป

2.2 ศึกษาชนิดของโปรตีนที่เหมาะสมที่ใช้เติมในพาสต้า

ดำเนินการโดยแปรชนิดโปรตีน 3 ชนิด คือ ผงจิ้งหรีด ผงถั่วเหลือง และไข่ขาวผง ร้อยละ 10 โดยน้ำหนัก พบว่า ผงโปรตีนจากแหล่งโปรตีนแต่ละชนิดมีลักษณะปรากฏแตกต่างกัน (Figure 3)

เมื่อนำผงโปรตีนมาเสริมในผลิตภัณฑ์เส้นพาสต้าแป้งข้าวกล้องเม็ดยาว 62 ร้อยละ 20 ด้วยกระบวนการเอ็กส์ทราซัน แสดงดัง Figure 4

Table 4 Cooking quality of extruded Med Fai (MF) 62 brown rice pasta with different percentage of MF

Sample	Cooking quality		
	Cooking time (min)	Cooking loss (%)	Cooking weight (g)
Commercial (riceberry)	13.40±0.20 ^f	5.53±0.37 ^e	56.53±0.25 ^b
Commercial (wheat flour)	18.30±0.20 ^e	2.28±0.10 ^f	55.13±0.06 ^b
Control	30.60±0.30 ^a	10.25±0.09 ^a	22.14±0.14 ^f
MF-10 %	21.30±0.20 ^d	9.87±0.09 ^b	29.40±0.07 ^e
MF-20 %	22.40±0.20 ^c	5.72±0.05 ^e	59.77±0.09 ^a
MF-30 %	22.50±0.20 ^c	6.84±0.02 ^d	50.83±0.07 ^c
MF-40 %	25.30±0.20 ^b	8.36±0.03 ^c	33.88±0.04 ^d

Values are mean ± SD of triplicate samples (n=3).

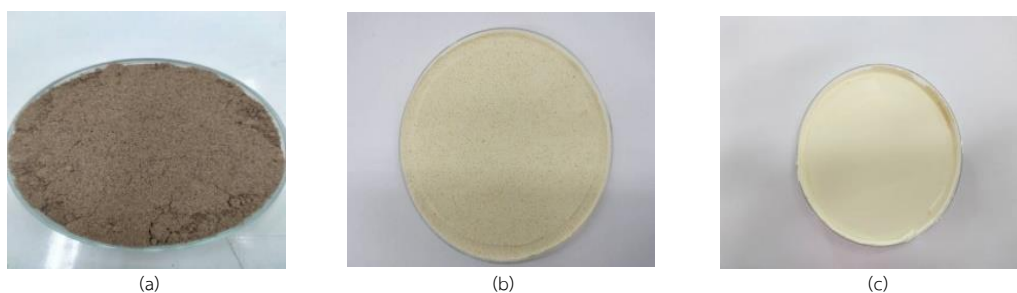
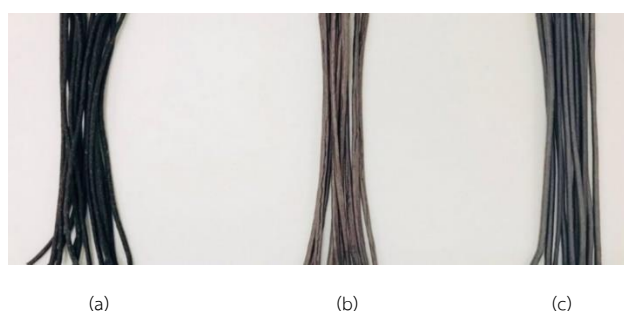
Different superscript letters in the same column indicate significant difference ($p<0.05$).

Table 5 Sensory properties extruded Med Fai 62 brown rice pasta with different % of MF

Sample	Sensory test				
	Color	Odor	Flavor	Texture	Overall liking
Commercial (riceberry)	8.03±0.83 ^a	7.90±0.66 ^a	7.93±0.58 ^a	8.33±0.60 ^a	8.40±0.49 ^a
Commercial (wheat rice)	8.00±0.98 ^a	7.96±0.96 ^a	7.66±0.71 ^{ab}	7.86±0.93 ^b	8.56±0.50 ^a
Control	7.60±1.06 ^b	5.33±1.89 ^b	6.46±1.67 ^c	6.90±1.62 ^c	6.73±1.11 ^c
MF-10 %	5.90±1.47 ^c	5.36±1.44 ^b	5.73±1.76 ^d	7.30±0.74 ^{bc}	7.00±0.74 ^{bc}
MF-20 %	5.86±1.45 ^c	5.50±1.57 ^b	5.96±1.51 ^d	7.96±0.96 ^b	7.90±0.80 ^b
MF-30 %	5.86±1.45 ^c	5.43±1.52 ^b	5.90±1.47 ^d	6.83±0.94 ^c	6.73±0.94 ^c
MF-40 %	5.86±1.45 ^c	5.46±1.76 ^b	5.93±1.50 ^d	6.56±0.93 ^d	6.43±1.13 ^d

Values are mean ± SD of triplicate samples (n=3).

Different superscript letters in the same column indicate significant difference ($p<0.05$).

**Figure 3** Type of protein (a) cricket powder: CP (b) soybean powder: SBP (c) white egg powder: WEP.**Figure 4** Pasta fortified protein from extruded Med Fai 62 brown rice pasta at flour content 20 % (a) CP-10 % (b) SBP-10 % (c) WEP-10 %

ในบรรดาคุณสมบัติทางประสาทสัมผัส ค่าสีเป็นหนึ่งในคุณลักษณะที่ประเมินได้ง่ายที่สุด จากการศึกษารวตค่าสี (Table 6) พบว่า ค่า L^* ของเส้นพาสต้าข้าวกล้องเม็ดยาว 62 เสริมโปรตีน พบว่า ค่า L^* , a^* และ b^* มีค่าอยู่ระหว่าง 19.41-30.40, -0.44-2.14 และ -1.72-1.79 ตามลำดับ การเติมไข่ขาวผงร้อยละ 10 มีค่าความสว่างมากที่สุด เมื่อเปรียบเทียบกับทุกตัวอย่าง การเติมผงจิ้งหรีด (CP)

ในการผลิตพาสต้าไม่ส่งผลต่อค่าสี ตัวอย่างพาสต้าที่มี CP มีสีเข้มไม่แตกต่างกับตัวอย่างควบคุม ส่วนการเติมผงถั่วเหลือง (SBP) และไข่ขาวผง (WEP) มีค่าความสว่างเพิ่มขึ้นเปรียบเทียบกับตัวอย่างควบคุม การศึกษาของ Duda et al. (2019) ศึกษาคุณภาพด้านทางโภชนาการและคุณสมบัติเนื้อสัมผัสของพาสต้าแป้งสาลี durum ที่เสริมผงจิ้งหรีด พบว่า พาสต้าที่เติมผงจิ้งหรีดร้อยละ 10 มีค่า L^* , a^* และ b^* เท่ากับ

51.22, 7.42 และ 12.72 ตามลำดับ Ansari et al. (2013) ศึกษาผลของแป้งถั่วเหลืองกำจัดไขมัน แชนแทนกัมและอนุพหุโมเลกุลการต่อคุณภาพของสปาเกตตี้ พบว่า ผลิตภัณฑ์สปาเกตตี้เติมแป้งถั่วเหลืองกำจัดไขมันร้อยละ 10 มีค่า L^* , a^* และ b^* เท่ากับ 52.40, 8.40 และ 35.65 ตามลำดับ

Table 7 แสดงคุณสมบัติทางเคมีและกายภาพของเส้นพาสต้าข้าวกล้องเม็ดยาว 62 เสริมโปรตีน พบว่า ค่าความชื้นและปริมาณน้ำอิสระของผลิตภัณฑ์พาสต้าอยู่ระหว่าง 1.73-5.75 % และ 0.53-0.64 ตามลำดับ ส่วนค่าความแน่นเนื้อและการต้านทานแรงดึงมีค่าสูงสุดในตัวอย่างควบคุม ในขณะที่ Duda et al. (2019) ศึกษาคุณภาพด้านทางโภชนาการและคุณสมบัติเนื้อสัมผัสของพาสต้าแป้งสาลีที่เสริมผงจิ้งหรีด พบว่า พาสต้าที่เติมผงจิ้งหรีดร้อยละ 10 มีค่าความแน่นเนื้อ 4.13 N และแรงเหวี่ยงทั้งหมด 0.33 N/mm x s Ansari et al. (2013) ศึกษาผลของแป้งถั่วเหลืองกำจัดไขมัน แชนแทนกัมและอนุพหุโมเลกุลการต่อคุณภาพของสปาเกตตี้ พบว่า ผลิตภัณฑ์สปาเกตตี้เติมแป้งถั่วเหลืองกำจัดไขมันร้อยละ 10 มีค่าความแน่นเนื้อ 1.87 N Detchewa & Naivikul (2018) ศึกษาคุณสมบัติทางสัณฐานวิทยาและคุณค่าโภชนาการของสปาเกตตี้ปราศจากกลูเตนจากแป้งข้าว ผงโปรตีนไข่ขาวและโปรตีนไอโซเลตถั่วเหลือง พบว่า ผลิตภัณฑ์สปาเกตตี้ปราศจากกลูเตนจากแป้งข้าวเติมผงโปรตีนไข่ขาวร้อยละ 5 และโปรตีนไอโซเลตถั่วเหลืองร้อยละ 5 มีค่าความแน่นเนื้อ 1.91 N และค่าการต้านทานแรงดึงเท่ากับ 0.08 N

จากการศึกษาการตรวจสอบคุณภาพของเส้นพาสต้าหลังการต้ม (Cooking quality) พบว่า พาสต้าแป้งข้าวกล้องเม็ดยาวเสริมโปรตีน มีระยะเวลาการปรุง (Cooking time) อยู่ที่ 16.00-19.00 min เมื่อเปรียบเทียบกับปริมาณโปรตีนที่ศึกษา น้ำหนักหลังปรุงสุก (Cooking weight) อยู่ที่ร้อยละ 15.86-27.80 และการสูญเสียระหว่าง

การปรุง อยู่ที่ 22.76-24.32 g (Table 8) ในขณะที่ Duda et al. (2019) ศึกษาคุณภาพด้านทางโภชนาการและคุณสมบัติเนื้อสัมผัสของพาสต้าแป้งสาลีที่เสริมผงจิ้งหรีด พบว่า ผลิตภัณฑ์พาสต้าที่เติมผงจิ้งหรีดร้อยละ 10 มีระยะเวลาการปรุง น้ำหนักการปรุงและการสูญเสียการปรุง เท่ากับ 6.35 min, 1.78 g/g และ 2.96 % ตามลำดับ Ansari et al. (2013) ศึกษาผลของแป้งถั่วเหลืองกำจัดไขมัน แชนแทนกัมและอนุพหุโมเลกุลการต่อคุณภาพของสปาเกตตี้ พบว่า ผลิตภัณฑ์สปาเกตตี้เติมแป้งถั่วเหลืองกำจัดไขมันร้อยละ 10 มีน้ำหนักการปรุงและการสูญเสียการปรุงเท่ากับ 239.80 g และ 7.62 % ตามลำดับ Detchewa & Naivikul (2018) ศึกษาคุณสมบัติทางสัณฐานวิทยาและคุณค่าโภชนาการของสปาเกตตี้ปราศจากกลูเตนจากแป้งข้าว ผงโปรตีนไข่ขาวและโปรตีนไอโซเลตถั่วเหลือง พบว่า ผลิตภัณฑ์สปาเกตตี้ปราศจากกลูเตนจากแป้งข้าวเติมผงโปรตีนไข่ขาวร้อยละ 5 และโปรตีนไอโซเลตถั่วเหลืองร้อยละ 5 มีค่าระยะเวลาการปรุง การสูญเสียการปรุงและดัชนีการดูดซับน้ำเท่ากับ 13.60 min, 22.29 % และ 238.10 % ตามลำดับ

การประเมินผู้บริโภคด้านอาหารไม่เพียงแต่ขึ้นอยู่กับคุณค่าทางโภชนาการหรือผลกระทบที่อาจเกิดขึ้นต่อสุขภาพเท่านั้น แต่ยังรวมถึงลักษณะทางประสาทสัมผัสที่ส่งผลโดยตรงต่อความชอบ การเลือก และความปรารถนาของผู้บริโภคด้วย คะแนนความพึงพอใจทางประสาทสัมผัสของพาสต้าแป้งข้าวกล้องเม็ดยาวเสริมโปรตีน ด้านสีมีค่าคะแนนอยู่ที่ 7.03-8.57 ด้านกลิ่น 6.67-8.33 ด้านรสชาติ 6.93-8.70 ด้านเนื้อสัมผัส 6.93-8.73 และด้านความชอบรวม 6.93-8.60 จากการศึกษาปริมาณของโปรตีน พบว่า สูตรพาสต้าจากแป้งข้าวกล้องเม็ดยาวเสริมจิ้งหรีดและเสริมผงถั่วเหลือง ร้อยละ 10 มีคะแนนความชอบโดยรวมมากที่สุด ($p \leq 0.05$) เมื่อเปรียบเทียบกับชนิดของโปรตีนที่ศึกษา (Table 9)

Table 6 Physical properties of extruded pasta 20 % Med Fai 62 brown rice flour fortified different protein source

Sample	Color		
	L^*	a^*	b^*
Control	19.41±0.16 ^c	1.59±0.09 ^a	-1.72±0.08 ^b
CP-10 %	20.46±1.00 ^c	1.76±0.23 ^a	1.79±0.15 ^a
SBP-10 %	25.77±1.54 ^b	2.14±0.68 ^a	1.63±1.38 ^a
WEP-10 %	30.40±0.88 ^a	-0.44±0.55 ^b	-0.62±0.77 ^b

Values are mean ± SD of triplicate samples (n=3).

Different superscript letters in the same column indicate significant difference ($p < 0.05$).

Table 7 Chemical and texture properties of extruded pasta 20 % Med Fai 62 brown rice flour fortified different protein source

Sample	Chemical properties			
	Moisture content (%)	Water activity	Firmness (N)	Tensile strength (N)
Control	4.84±0.50 ^a	0.64±0.05 ^{ab}	13.64±0.52 ^a	0.61±0.05 ^a
CP-10 %	5.75±0.06 ^a	0.70±0.02 ^a	8.62±0.82 ^b	0.52±0.05 ^b
SBP-10 %	1.73±0.76 ^b	0.59±0.04 ^{bc}	6.02±0.51 ^c	0.42±0.05 ^c
WEP-10 %	2.56±0.56 ^b	0.53±0.03 ^c	6.73±0.18 ^c	0.41±0.03 ^c

Values are mean ± SD of triplicate samples (n=3).

Different superscript letters in the same column indicate significant difference ($p < 0.05$).

Table 8 Cooking quality of extruded pasta 20 % Med Fai 62 brown rice flour fortified different protein sources

Sample	Cooking Quality		
	Cooking time (min)	Cooking loss (%)	Cooking weight (g)
Control	22.40±0.20 ^a	11.36±0.03 ^a	29.77±0.09 ^a
CP-10 %	19.00±0.00 ^b	9.30±0.58 ^b	22.76±2.89 ^b
SBP-10 %	16.00±0.00 ^c	8.86±0.57 ^c	24.02±0.74 ^b
WEP-10 %	17.00±0.00 ^c	7.80±1.08 ^d	24.32±0.46 ^b

Values are mean ± SD of triplicate samples (n=3).

Different superscript letters in the same column indicate significant difference ($p<0.05$).

Table 9 Sensory test of extruded pasta 20 % Med Fai 62 brown rice flour fortified different protein sources

Sample	Sensory test				
	Color	Odor	Flavor	Texture	Overall liking
Control	5.86±1.45 ^d	5.50±1.57 ^d	5.96±1.51 ^c	7.96±0.96 ^b	7.90±0.80 ^b
CP-10 %	7.93±0.45 ^b	8.33±0.55 ^a	8.70±0.53 ^a	8.57±0.50 ^a	8.60±0.56 ^a
SBP-10 %	8.57±0.50 ^a	7.87±0.68 ^b	8.50±0.51 ^a	8.73±0.45 ^a	8.37±0.49 ^a
WEP-10 %	7.03±0.49 ^c	6.67±0.55 ^c	6.93±0.58 ^b	6.93±0.52 ^c	6.93±0.58 ^c

Values are mean ± SD of triplicate samples (n=3).

Different superscript letters in the same column indicate significant difference ($p<0.05$).

สรุปผลการวิจัย

คุณลักษณะทางกายภาพ ทางเคมี การต้านอนุมูลอิสระและปริมาณฟีนอลิกทั้งหมดของแป้งข้าวกล้องภาคใต้ ประกอบด้วย ข้าวเม็ดยาว 62 ข้าวเล็บบกปัตตานี และข้าวสังข์หยดพัทลุง มีค่าที่แตกต่างกัน ทั้งนี้ขึ้นกับสายพันธุ์ข้าวแต่ละชนิด การพัฒนาเส้นพาสต้าจากข้าวกล้องภาคใต้ แป้งข้าวกล้องที่ใช้ทดแทนแป้งสาลีเพื่อผลิตเส้นพาสต้าปริมาณแป้งข้าวกล้องเม็ดยาว 62 ร้อยละ 20 มีคะแนนความพึงพอใจทางประสาทสัมผัส การสูญเสียการปรุงและแรงต้านการดึง ใกล้เคียงกับพาสต้าทางการค้ามากที่สุด การพัฒนาเส้นพาสต้าข้าวกล้องเม็ดยาวเสริมโปรตีนผงจิ้งหรีดและเสริมผงถั่วเหลือง ร้อยละ 10 มีคะแนนความชอบโดยรวมมากที่สุด เมื่อเปรียบเทียบกับปริมาณของโปรตีนที่ศึกษา

กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้วิจัยขอขอบคุณกองทุนส่งเสริมวิทยาศาสตร์ วิจัย และนวัตกรรม (ววน.) ภายใต้งบประมาณประจำปี 2566 และขอขอบคุณห้องปฏิบัติการนวัตกรรมอาหารและการบรรจุ คณะอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย วิทยาเขตนครศรีธรรมราช (ทุ่งใหญ่) ที่อำนวยความสะดวกในการใช้อุปกรณ์และเครื่องมือวิทยาศาสตร์ในการทำวิจัยครั้งนี้

References

- American Association of Cereal Chemists (AACC). (2000). *Approved methods of the American Association of Cereal Chemists* (10th ed.). Saint Paul, Minnesota, United States: American Association of Cereal Chemists.
- Ansari, A., Kalbasi-Ashtari, A., & Gerami, A. (2013). Effects of defatted soy flour, xanthan gum, and processing temperatures on quality criteria of spaghetti. *Journal of Agricultural Science and Technology*, 15(2), 265-278.

- Association of Official Analytical Chemists (AOAC). (2000). *Official methods of analysis* (16thed.). Washington D. C., United States: Association of Official Analytical Chemists.
- Brand-Williams, W., Cuvelier, M. E., & Berset, C. (1995). Use of a free radical method to evaluate antioxidant activity. *LWT-Food Science and Technology*, 28(1), 25-30. doi: 10.1016/S0023-6438(95)80008-5
- Chan, P. V., Meza, S. L. R., Manfre, D. L., Venturini, A. C., Yoshida, C. M. P., Schmieles, M., & Sinnecker, P. (2022). Production of gluten-free pasta from black rice by-products: physicochemical, nutritional and sensory attributes. *Research, Society and Development*, 11(11), 1-12. doi: 10.33448/rsd-v11i11.34057
- Charoenthaikij, P., Prommin, A., Suratananon, A., Itthisophonkul, T., Naknaen, P., & Phongpa-ngan, P. (2018). Physicochemical properties and sensory quality of gluten-free brown rice pasta enriched with egg white protein. *The Journal of King Mongkut's University of Technology North Bangkok*, 28(3), 627-638. doi: 10.14416/j.kmutnb.2018.04.004 (in Thai)
- Chooklin, S. (2023). Effects of Nakhon upland brown rice flour and cricket powder on quality of extruded snacks. *Rajamangala University Technology of Srivijaya Journal*, 15(3), 702-715. (in Thai)
- Detchewa, P., & Naivikul, O. (2018). Morphological and functional properties of gluten-free rice spaghetti based on rice flour, egg white protein powder and soy protein Isolate. *Microscopy and Microanalysis Research*, 31(1), 18-23. doi: 10.14456/microsc-microanal-res.2018.3
- Duda, A., Adamczak, J., Chelminska, P., Juskiewicz, J., &

- Kowalczewski, P. (2019). Quality and nutritional/textural properties of durum wheat pasta enriched with cricket powder. *Foods*, 8(2), 46. doi: 10.3390/foods8020046
- Limroongreungrat, K., Suksomboon, A., & Sangnak, A. (2017). *Development of functional rice pasta supplemented with pulse flour* (Report No.173196, 1-82). Chon buri, Thailand: Food Science and Technology Department, Faculty of Science, Burapha University. (in Thai)
- Rungsardthong, V., Namprakob, P., Korkerd, S., & Lamsal, B. (2021). Physical and cooking properties of extruded rice spaghetti supplemented with mango peel fibre. *Journal of Current Science and Technology*, 11(2), 230-239. doi: 10.14456/jcst.2021.24
- Singleton, V. L., Orthofer, R., & Lamuela-Raventos, R. M. (1999). Analysis of total phenols and other oxidation substrates and antioxidants by means of folin-ciocalteu reagent. *Methods in Enzymology*, 299, 152-178. doi: 10.1016/S0076-6879(99)99017-1
- Srirajan, S., Mounmued, W., Rungsardthong, V., Vatanyoopaisarn, S., Thumthanaruk, B., Puttanlek, C., Uttapap, D., & Wongsa, J. (2021). Preparation of rice spaghetti with added defatted soy flour, modified starch and durian peel powdered by extrusion method. *Science, Engineering and Health Studies*, 15, 1-7. doi: 10.14456/sehs.2021.5
- Sriprapai, H., Boonchai, C., & Huadong, Y. (2018). Development of fresh pasta from brown rice flour. *Thai Journal of Science and Technology*, 7(1), 58-69. doi: 10.14456/tjst.2018.18 (in Thai)

Research article

Development of gluten-free pasta product from brown rice flour in Southern fortified protein by extrusion process

Supasit Chooklin

Food Technology and Innovation, Faculty of Agro – Industry, Rajamangala University of Technology Srivijaya, Nakhon Si Thammarat Campus, Amphoe Thungyai, Nakhon Si Thammarat Province, Thailand 80240

ARTICLE INFO

Article history

Received: 22 April 2024

Revised: 23 May 2024

Accepted: 16 July 2024

Online published: 30 July 2024

Keyword

Pasta

Gluten

Brown rice

Alternative protein

Extrusion

ABSTRACT

This research developed a gluten-free pasta product from Southern brown rice flour (Med Fai 62 rice, Sung Yod rice and Leb Nok rice) fortified with protein through an extrusion process. It was found that the physical, chemical, antioxidant and total phenolic properties of Southern brown rice flour has significantly different values ($p < 0.05$). Med Fai 62 brown rice had the highest antioxidant activity (1.02 mg vitamin C/g DW) and total phenolic content (0.83 mg GAE/g DW). Development of pasta from Southern brown rice using Med Fai 62 brown rice flour (0 %, 10 %, 20 %, 30 %, and 40 % w/w) to fortify wheat flour in pasta production with the extrusion process. It was found that increasing the amount of Med Fai 62 brown rice flour in the pasta had lower L^* , a^* and b^* values compared to the control sample. However, the firmness strength values, tensile strength value, cooking time and cooking loss of pasta are increased compared to commercial pasta. Based on the amount of brown rice flour mixed with 20 % Med Fai 62 flour, it received the highest sensory satisfaction scores. As for the development of Med Fai 62 brown rice pasta 62, fortified with protein (cricket powder, soybean powder, and egg white powder) at 10 % (w/w), It was found that the pasta recipe made from Med Fai 62 brown rice flour supplemented with 10 % cricket powder and soybean powder had the highest sensory satisfaction score when compared with the other protein amounts studied.

*Corresponding author

E-mail address: runchoo@gmail.com (S. Chooklin)

Online print: 30 July 2024 Copyright © 2024. This is an open access article, production, and hosting by Faculty of Agricultural Technology, Rajabhat Maha Sarakham University. <https://doi.org/10.14456/paj.2024.33>



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

บทความวิจัย

ผลของการใช้สารเคลือบผิวที่บริโภคได้และชนิดของบรรจุภัณฑ์ต่อการเปลี่ยนแปลงคุณภาพและอายุการเก็บรักษาของหอมแดงตัดแต่งพันธุ์ศรีสะเกษ

ธนวรรณ มุสิก¹ พนารัตน์ สังข์อินทร์¹ สุเมธ เพี้ยยุระ² และจิรายุ มุสิก^{3*}

¹สาขาวิชาเทคโนโลยีและนวัตกรรมอาหาร คณะศิลปศาสตร์และวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏศรีสะเกษ อำเภอเมือง จังหวัดศรีสะเกษ 33000

²สาขาเทคโนโลยีการอาหาร คณะเทคโนโลยีการเกษตร มหาวิทยาลัยราชภัฏสกลนครอำเภอเมือง จังหวัดสกลนคร 47000

³สาขาอุตสาหกรรมเกษตร คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี อำเภอรวยราช อำเภอวารินชำราบ จังหวัดอุบลราชธานี 34190

ข้อมูลบทความ

Article history

รับ: 10 เมษายน 2567

แก้ไข: 23 พฤษภาคม 2567

ตอบรับการตีพิมพ์: 7 กรกฎาคม 2567

ตีพิมพ์ออนไลน์: 31 กรกฎาคม 2567

คำสำคัญ

สารเคลือบผิวที่บริโภคได้

บรรจุภัณฑ์

การเปลี่ยนแปลงคุณภาพ

อายุการเก็บรักษา

หอมแดงตัดแต่ง

บทคัดย่อ

การศึกษามูลของชนิดสารเคลือบผิวที่บริโภคได้จากสารสกัดกระเจียบเขียว สารสกัดกระเจียบเขียวร่วมกับสารสกัดกระเทียม สารสกัดกระเจียบเขียวร่วมกับสารสกัดกระชายขาว สารเคลือบผิวเชิงการค้า และชนิดของบรรจุภัณฑ์ต่อคุณภาพและอายุการเก็บรักษาของหอมแดงตัดแต่งพันธุ์ศรีสะเกษ คัดเลือกหอมแดงขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 2 ± 0.5 เซนติเมตร ปอกเปลือกและทำความสะอาด จุ่มสารเคลือบผิวชนิดต่าง ๆ บรรจุในภาชนะปิดหุ้มด้วยฟิล์มพลาสติก (PVC) และถุง nylon-LLDPE ในสภาวะสุญญากาศ เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 12 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 16 วัน ผลการศึกษาพบว่าสภาวะที่เหมาะสมคือการเคลือบผิวหอมแดงด้วยสารสกัดกระเจียบเขียวร่วมกับสารสกัดกระชายขาว บรรจุถุง nylon-LLDPE ในสภาวะสุญญากาศ การเคลือบด้วยสารเคลือบผิวและการใช้พลาสติกชนิด nylon-LLDPE ซึ่งมีคุณสมบัติขวางกั้นไอน้ำและก๊าซที่ดีกว่าฟิล์มพลาสติก (PVC) สามารถควบคุมความชื้นของหอมแดงหลังการตัดแต่ง ช่วยลดปัญหาการสูญเสียน้ำหนัก ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงค่าสี และค่าความแน่นเนื้อเพียงเล็กน้อย มีความปลอดภัยด้านจุลินทรีย์ ในระหว่างการเก็บรักษา 16 วัน ได้ไม่แตกต่างจากการใช้สารเคลือบผิวเชิงการค้า งานวิจัยนี้ชี้ให้เห็นว่าการเคลือบผิวด้วยสารสกัดจากพืชสมุนไพร ชนิดของบรรจุภัณฑ์ และสภาวะการบรรจุ ส่งผลต่อการสูญเสียน้ำหนัก ค่าสี ค่าความแน่นเนื้อของหอมแดงตัดแต่ง ผลการศึกษานี้สามารถนำไปเป็นข้อมูลพื้นฐานในการผลิตสารเคลือบผิวที่บริโภคได้จากสารสกัดพืชสมุนไพรอื่น ๆ เพื่อยืดอายุผัก และผลไม้ ในอนาคต สามารถลดต้นทุนผลิต เนื่องจากสารเคลือบผิวเชิงการค้าในปัจจุบันมีราคาสูง หรือต้องนำเข้าจากต่างประเทศ

บทนำ

ปัจจุบันพฤติกรรมผู้บริโภคอาหารของมนุษย์มีการเปลี่ยนแปลงไปมีสาเหตุมาจากสภาวะแวดล้อมของโลก สภาพเศรษฐกิจ รวมทั้งโรคระบาดเข้ามากระทบให้ทุกอย่างเกิดการเปลี่ยนแปลง ไม่เว้นแม้แต่อุตสาหกรรมอาหารและการเกษตร ที่ต้องปรับตัวเพื่อรองรับกระแสการบริโภคของผู้บริโภคในวิถีใหม่ (new normal) ที่มุ่งเน้นการดูแลสุขภาพ และแสวงหาอาหารที่มีคุณค่าทางโภชนาการ รวมทั้งการปรุงอาหารรับประทานเองมากขึ้น ทั้งยังมีการปรับรูปแบบการใช้ชีวิตที่จะเปลี่ยนแปลงไปสู่การทำงานจากที่บ้าน (Work from Home) นำมาสู่การให้ความสำคัญกับเลือกสรรวัตถุดิบไปจนถึงการปรุงอาหาร ผักตัดแต่งพร้อมบริโภคหรือพร้อมปรุง ได้แก่ หอมแดง กระเทียม กระชาย พริก แครอท ผักกาดหอม และกะหล่ำปลี จึงเป็นที่ต้องการอย่างมาก เนื่องจากเป็นผลิตภัณฑ์ที่สดใหม่สามารถบริโภคได้ทันทีหรือนำมาปรุงอาหาร หอมแดงเป็นพืชสมุนไพรที่นิยมนำมาประกอบอาหารหลายชนิด โดยเฉพาะหอมแดงพันธุ์ศรีสะเกษที่มีคุณลักษณะเด่น คือผิวมัน หัวแห้ง สีแดงสด คอเล็กเรียวยาว กลิ่นฉุนแรง และได้รับการขึ้นทะเบียน

สิ่งบ่งชี้ทางภูมิศาสตร์ (Geographical Indication, GI) จากกรมทรัพย์สินทางปัญญา (Department of Intellectual Property, 2022) ปริมาณการส่งออกหอมแดงของประเทศไทย ในช่วง 9 เดือนแรกของปี 2566 พบว่า มูลค่าการส่งออกอยู่ที่ 2.45 ล้านบาท ส่วนใหญ่ผลิตหอมแดงจากภาคตะวันออกเฉียงเหนือและภาคเหนือ (จ.ศรีสะเกษ จ.ลำพูน จ.เพชรบูรณ์ จ.อุดรธานี และจ.เชียงราย) ในจังหวัดศรีสะเกษมีพื้นที่ปลูกหอมแดงประมาณ 21,817 ไร่ ให้ผลผลิตปีละ 77,420 ตัน จำหน่ายหอมแดงทั้งในประเทศและต่างประเทศ ได้แก่ อินโดนีเซีย มาเลเซีย และเวียดนาม เป็นต้น สร้างรายได้ปีละกว่า 1,600 ล้านบาท แต่ในปัจจุบันยังพบปัญหาการจำหน่ายหอมแดงตัดแต่งในด้านคุณภาพ ไม่ว่าจะเป็นการงอกของต้นราก และความปลอดภัยด้านจุลินทรีย์ส่งผลให้คุณภาพและอายุการวางจำหน่ายสั้นลง เทคโนโลยีการใช้สารเคลือบผิวที่บริโภคได้จึงเป็นนวัตกรรมทางเลือกหนึ่งที่จะนำมาช่วยคงคุณภาพของผักและผลไม้ หลังจากการเก็บเกี่ยว หรือหลังจากการแปรรูป โดยสารเคลือบผิวที่บริโภคได้จะทำหน้าที่เป็นเยื่อเลือกผ่านที่สามารถควบคุมการแลกเปลี่ยนของก๊าซออกซิเจนและคาร์บอนไดออกไซด์ได้ลดการ

*Corresponding author

E-mail address: musikacirayu18@gmail.com (T. Musika)

Online print: 31 July 2024 Copyright © 2024. This is an open access article, production, and hosting by Faculty of Agricultural Technology, Rajabhat Maha Sarakham University. <https://doi.org/10.14456/paj.2024.34>

สูญเสียความชื้นผลผลิตที่ได้ยังคงมีความสดใหม่ทำให้เป็นที่ยอมรับของผู้บริโภค นอกจากนี้ยังสามารถเติมวัตถุเจือปนอาหารเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพของสารเคลือบผิวบริโภคได้ในแง่ของความปลอดภัยด้านจุลินทรีย์ได้ (Sathianteerapap, 2020) ทั้งนี้สารที่นำมาใช้ผลิตเป็นสารเคลือบผิวผักและผลไม้ทั้งชนิดที่รับประทานไม่ได้ เช่น ไซจาก การสังเคราะห์โดยขบวนการทางเคมี และสารเคลือบที่รับประทานได้ ทำมาจากสารสกัดธรรมชาติ แต่สารสกัดธรรมชาตินั้นให้ความเงางามน้อยกว่าสารเคลือบกลุ่มสังเคราะห์ แต่สามารถยืดอายุคุณภาพผลผลิตได้ยาวนานกว่า ซึ่งในปัจจุบันยังมีการนำเข้าสารเคลือบจากต่างประเทศ หรือสารเคลือบผิวเชิงการค้าในประเทศค่อนข้างมีราคาที่สูง จากรายงานวิจัยก่อนหน้านี้ได้ศึกษาการแช่หอมแดงปอกเปลือกในแคลเซียมคลอไรด์ (CaCl_2) ความเข้มข้น 2 % บรรจุในสภาวะสุญญากาศทำให้ยังคงรักษาคุณภาพหอมแดงปอกเปลือกไว้ได้เป็นเวลา 15 วัน ที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส (Thivya, 2022) และมีการใช้สารเคลือบผิวทางทะเลเคลือบผิวหอมแดงตัดแต่งสามารถยืดอายุการวางจำหน่ายได้ 13 วัน (Obklin et al., 2019) แต่ยังไม่ได้ศึกษาการใช้สารเคลือบผิวร่วมกับสารสกัดพืชสมุนไพรชนิดอื่น ๆ ดังนั้นการวิจัยครั้งนี้จึงมีความสนใจที่จะศึกษาการใช้สารเคลือบผิวที่บริโภคได้ที่สกัดจากกระเจี๊ยบเขียวร่วมกับสารสกัดกระเทียม กระชายขาว เป็นพืชที่เพาะปลูกในจังหวัด มาพัฒนาเป็นสารเคลือบผิวที่บริโภคได้ที่มีความปลอดภัยต่อผู้บริโภค ซึ่งสารสกัดจากสารเมือกของพืชเช่น กระเจี๊ยบเขียว ร่วมกับการเติมสารสกัดจากพืชสมุนไพร ได้แก่ กระเทียมและกระชายที่มีฤทธิ์ในการต้านเชื้อจุลินทรีย์ มีรายงานวิจัยพบว่าในผักกระเจี๊ยบเขียวมีสารเมือกที่ประกอบไปด้วย polysaccharide แบบพอลิเมอร์สายเกลียว โดยมี galactose, rhamnose และ galacturonic acid อยู่ในโครงสร้างสาร polysaccharide มีฤทธิ์เพิ่มความชุ่มชื้นแก่ผิวหนังได้ นอกจากนี้กระเจี๊ยบเขียวยังเป็นแหล่งของสารประกอบ polyphenolic โดยมี hyperoside, quercetin, coumarin, scopoletin, uridine, phenylalanine อื่น ๆ พันธ quercetin และ (-)-epigallocatechin ซึ่งเป็นสารประกอบหลักของการต้านอนุมูลอิสระที่พบในกระเจี๊ยบเขียว (Jia et al, 2010) นอกจากนี้ยังศึกษาชนิดของบรรจุภัณฑ์ และสภาวะการบรรจุที่อาจจะส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงคุณภาพและอายุการเก็บรักษาของหอมแดงตัดแต่ง เพื่อนำองค์ความรู้ไปช่วยยืดอายุการเก็บรักษาและคงคุณภาพของหอมแดงตัดแต่ง และเป็นแนวทางในการซื้อวัตถุดิบที่มีคุณภาพมีความปลอดภัยได้ตรงตามความต้องการของผู้บริโภคในวิถีใหม่

อุปกรณ์และวิธีการวิจัย

วัตถุดิบและการเตรียมตัวอย่างสารเคลือบผิวที่บริโภคได้ชนิดต่าง ๆ เตรียมสารสกัดจากกระเจี๊ยบเขียว

เตรียมสารเคลือบจากกระเจี๊ยบเขียวโดยใช้อัตราส่วนกระเจี๊ยบเขียว 1 ส่วนต่อน้ำ 5 ส่วน (w/v) ตัดแปลงตามวิธีของ Deemart et al. (2021) โดยนำกระเจี๊ยบเขียวมาล้างทำความสะอาดด้วยโซเดียมไฮโปคลอไรด์ความเข้มข้น 200 ppm นำกระเจี๊ยบไปนึ่งที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เวลา 10 นาที พักให้เย็นชั่งน้ำหนักกระเจี๊ยบ 400 กรัม ต่อน้ำกลั่น 2,000 มิลลิลิตร แล้วนำมาปั่นด้วยเครื่องปั่นผสม กรองแยกกาก และนำส่วนของเหลวที่ได้ไปนึ่งฆ่าเชื้อที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 นาที ทิ้งไว้ให้เย็นที่อุณหภูมิห้อง

การเตรียมสารสกัดจากกระเทียม และกระชายขาว

กระเทียมพันธุ์เบาหรือพันธุ์พื้นเมืองศรีสะเกษระยะที่แก่จัด อายุประมาณ 75 - 90 วัน จำนวนกลีบต่อหัวประมาณ 11 - 13 กลีบ (Thammathorn & Kaewkoon, 2021) และกระชายขาวแก่อายุเก็บเกี่ยว 11 - 12 เดือน (Poljan, 2020) วิธีการสกัดดัดแปลงตามวิธีของ Limhang et al. (2016) นำกระเทียมไทยกลีบ หรือกระชายขาว ชั่งน้ำหนัก 30 กรัม ลดขนาดด้วยเครื่องปั่นผสม จากนั้นนำไปผสมกับเอทานอล 95 % ในสัดส่วน 2 : 1 (w/v) แช่ในขวดโหลที่ปิดฝา เป็นเวลา 3 วัน ที่อุณหภูมิห้อง นำมากรองด้วยกระดาษกรอง Whatman เบอร์ 1 สารสกัดที่ได้จะนำไปประเหยให้เข้มข้นด้วยเครื่องระเหยแห้งแบบสุญญากาศ (rotary evaporator) ที่อุณหภูมิ 40 - 50 องศาเซลเซียส จะได้สารสกัดสีน้ำตาลที่เหนียวข้นนำมาบรรจุในขวดสีชาเพื่อสำหรับใช้เตรียมสารเคลือบผิวในขั้นตอนต่อไป

การเตรียมสารเคลือบผิว

นำสารสกัดจากกระเจี๊ยบเขียว 1700 มิลลิลิตร มาผสมกับสารสกัดกระเทียม หรือกระชายขาว 300 มิลลิลิตร ผสมให้เข้ากัน ปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นให้ได้ปริมาตร 2000 มิลลิลิตร และนำไปนึ่งที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 นาที ทิ้งไว้ให้เย็นที่อุณหภูมิห้อง เพื่อนำไปใช้เป็นสารเคลือบในขั้นตอนต่อไป

การเคลือบผิวหอมแดงตัดแต่งและการบรรจุ

คัดเลือกหอมแดงพันธุ์ศรีสะเกษหัวที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ย 2 ± 0.5 เซนติเมตร ปอกเปลือกและนำไปแช่ในสารละลายโซเดียมไฮโปคลอไรด์ความเข้มข้น 200 ppm เป็นเวลา 2 นาที นำหอมแดงตัดแต่งไปเคลือบด้วยสารเคลือบบริโภคได้ที่เตรียมไว้ โดยการจุ่มตัดแต่งจาก Geraldine et al. (2008) จุ่มในสารเคลือบที่มีอุณหภูมิ 25 ± 2 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 10 นาที จากนั้นกรองด้วยกระชอน และผึ่งให้แห้งที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 30 นาที ซึ่งแบ่งออกเป็น 10 ชุดการทดลองดังนี้ สารเคลือบจากกระเจี๊ยบเขียว (okra), สารเคลือบจากกระเจี๊ยบเขียวร่วมกับสารสกัดกระเทียม (okra with garlic) สารเคลือบจากกระเจี๊ยบเขียวร่วมกับสารสกัดกระชายขาว (okra with fingerroot) สารเคลือบผิวเชิงการค้ายี่ห้อ Eden (commercial) น้ำกลั่น (control) หอมแดงตัดแต่งเคลือบผิวถูกบรรจุในภาชนะโฟมหุ้มด้วยฟิล์มพลาสติก (PVC) ภาชนะ 100 $\pm$ 5 กรัม และใช้ถุง nylon-linear low density polyethylene (nylon-LLDPE) บรรจุในสภาวะสุญญากาศ อุณหภูมิ 100 $\pm$ 5 กรัม จากนั้นเก็บรักษาในตู้แช่เย็นที่อุณหภูมิ 12 องศาเซลเซียส ระยะเวลา 16 วัน ตัดแปลงจาก Thivya (2022) และ Obklin et al. (2019) นำหอมแดงตัดแต่งมาวิเคราะห์คุณภาพ ในวันที่ 0 4 8 12 และ 16 วัน

การวิเคราะห์คุณภาพ

1) % การสูญเสียน้ำหนัก (% weight loss) ตัดแปลงจาก Waghmare & Annapure (2015) ชั่งน้ำหนักหอมแดงตัดแต่งวันที่บรรจุเป็นน้ำหนักเริ่มต้น (A_0) น้ำหนักในวันที่ 0 4 8 12 และ 16 วัน (A_1) ด้วยเครื่องชั่งทศนิยม 4 ตำแหน่ง นำมาคำนวณการสูญเสีย น้ำหนักดังสมการที่ 1

$$\% \text{ weight loss} = (A_0 - A_1) / A_0 \times 100 \quad (1)$$

2) ค่าสี ระบบ CIE Lab ยี่ห้อ Hunter Lab รุ่น Mini Scan EZ 4500 (Gat & Ananthanarayan, 2016) และการเปลี่ยนแปลงค่าสี (hue angle) คำนวณจากสมการที่ 2

$$\text{hue angle} = \arctangent(b^*/a^*) \quad (2)$$

3) วัดค่าความแน่นเนื้อ ตัดแปลงจาก Thivya (2022) โดยใช้ Texture analyzer โดยใช้หัวเจาะขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 6 มิลลิเมตร เคลื่อนที่ด้วยอัตราเร็ว 20 มิลลิเมตร/วินาที

4) ระดับความยาวราก (แบ่งเป็น 3 ระดับ คือ ระดับที่ 1 ความยาวรากน้อยกว่า 3 มิลลิเมตร ระดับที่ 2 ความยาวราก 4-6 มิลลิเมตร และ ระดับที่ 3 ความยาวรากน้อยกว่า 7 มิลลิเมตร) (Obklin et al., 2019)

5) ค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) นำของเหลวที่ได้จากการปั่นแยกน้ำแยกกากใส่ในบีกเกอร์ขนาด 50 มิลลิลิตร แล้วใช้ปลายของแท่งวัด pH meter จุ่มลงในของเหลวดังกล่าว รวณค่าที่ได้คงที่และอ่านค่าที่ได้ (Page et al., 2016)

6) วิเคราะห์ปริมาณแบคทีเรียทั้งหมด (Total variable counts) ตามวิธีของ AOAC (2000) และปริมาณยีสต์และรา (Yeast and mold counts) ตามวิธีของ AOAC (2000)

การวางแผนการทดลองทางสถิติ

วางแผนการทดลองแบบสุ่มตลอด (Completely Randomized Design, CRD) แต่ละทรีทเมนต์มี 5 ซ้ำ นำข้อมูลที่ได้จากการวิเคราะห์ข้อมูลทางกายภาพ เคมี และจุลินทรีย์ วิเคราะห์ความแปรปรวนของข้อมูล Analysis of variance (ANOVA) แสดงข้อมูลด้วยเฉลี่ย ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน และเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยโดยวิธี Duncan's New Multiple Range Test ที่ระดับนัยสำคัญ 95 % โดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูป SPSS

ผลและวิจารณ์ผลการวิจัย

% การสูญเสียน้ำหนัก (% weight loss)

ผลการวิเคราะห์ % การสูญเสียน้ำหนัก พบว่าการใช้สารเคลือบผิวหอมแดงตัดแต่งชนิดต่างๆ และบรรจุในถุงสุญญากาศชนิด nylon-LLDPE บรรจุในสภาวะสุญญากาศนั้น ไม่พบการสูญเสียน้ำหนักในระหว่างการเก็บรักษาตลอดระยะเวลา 16 วัน แต่การบรรจุในภาชนะโฟมหุ้มด้วยฟิล์มพลาสติก (PVC) เกิดการสูญเสียน้ำหนักเพิ่มขึ้น

อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) ในระหว่างวันที่ 12 - 16 ของการเก็บรักษา ซึ่งหอมแดงตัดแต่งที่เคลือบผิวด้วยน้ำกลั่น (control) พบการสูญเสียน้ำหนักมากที่สุดเท่ากับ 4.17 ± 2.41 % รองลงมาคือ การเคลือบผิวด้วยสารสกัดกระเจี๊ยบเขียว สารสกัดกระเจี๊ยบเขียวร่วมกับสารสกัดกระเทียม สารสกัดกระเจี๊ยบเขียวร่วมกับสารสกัดกระชายขาว และสารเคลือบผิวเชิงการค้ามีค่าเท่ากับ 3.00 ± 0.78 % 2.35 ± 0.78 % 2.13 ± 0.80 % และ 1.41 ± 0.00 % ตามลำดับ (Table 1) จะเห็นได้ว่าการสูญเสียน้ำหนักของหอมแดงตัดแต่งนั้นเป็นผลมาจากชนิดของบรรจุภัณฑ์และสภาวะการบรรจุ ซึ่งการบรรจุในถุงพลาสติกชนิด nylon-LLDPE สามารถทำให้เกิดสภาวะสุญญากาศ จึงช่วยลดการสูญเสียน้ำหนักน้อยกว่าการบรรจุในภาชนะโฟมหุ้มด้วยฟิล์มพลาสติก (PVC) ผลิตภัณฑ์ผ่านการแปรรูป เช่น ปอกเปลือก ตัด และบด ฯลฯ เพิ่มการสูญเสียน้ำหนักเนื่องจากการผลิตเอทิลีน ค่ากิจกรรมของน้ำ a_w และพื้นที่ผิวต่อหน่วยปริมาตร ในระหว่างการเก็บรักษาการสูญเสียน้ำหนักของผลิตภัณฑ์จะเพิ่มขึ้นตามลักษณะการหายใจและการคายน้ำ (Singh, 2010) สอดคล้องกับงานวิจัยของ Obklin et al. (2019) ที่กล่าวว่าการเคลือบผิวหอมแดงตัดแต่งด้วยวานหางจรเข้ ความเข้มข้น 50 % บรรจุในถุงสุญญากาศจะช่วยลดการสูญเสียน้ำหนักได้ Boonyakiat & Chuamuangphan (2011) นำผักตัดแต่งพร้อมบรรจุในถุงสุญญากาศจะสามารถลดการสูญเสียน้ำหนักของผักได้ เนื่องมาจากบรรจุภัณฑ์แบบพลาสติกชนิด nylon-LLDPE มีคุณสมบัติการขวางกั้น (barrier properties) ของไอน้ำและก๊าซต่าง ๆ ที่ดีกว่าฟิล์มพลาสติก (PVC) จึงสามารถช่วยรักษาระดับความชื้นภายในบรรจุภัณฑ์ ส่งผลให้ผลิตภัณฑ์การสูญเสียน้ำหนักลดลงในระหว่างการเก็บรักษา (Mangaraj & Goswami, 2009) นอกจากนี้ Suphamityotin (2013) กล่าวว่าเมื่อพืชเก็บเกี่ยวมาแล้ว ยังคงมีกระบวนการหายใจและใช้ออกซิเจนเป็นวัตถุดิบ ดังนั้นหากลดปริมาณออกซิเจนลง จะช่วยลดอัตราการหายใจ เกิดการสร้างเอทิลีน และกระบวนการออกซิเดชันอื่น ๆ จึงช่วยชะลอกระบวนการทางชีวเคมีต่าง ๆ ในผลผลิต หรือการใช้สารเคลือบผักหรือผลไม้ เพื่อเพิ่มสิ่งกีดขวางและลดการคายน้ำให้ผลผลิตได้

Table 1 Effects of edible coating types and packaging on % weight loss of fresh cut shallot during storage at 12°C for 16 days

Treatment	% weight loss				
	0 Days ^{ns}	4 Days ^{ns}	8 Days ^{ns}	12 Days	16 Days
A	0.00±0.00 ^C	0.00±0.00 ^C	0.00±0.00 ^C	2.47±0.81 ^{Bb}	3.00±0.78 ^{Aa}
B	0.00±0.00 ^C	0.00±0.00 ^C	0.00±0.00 ^C	1.43±0.67 ^{Bd}	2.35±0.78 ^{Ac}
C	0.00±0.00 ^C	0.00±0.00 ^C	0.00±0.00 ^C	1.52±0.80 ^{Bc}	2.31±0.80 ^{Ac}
D	0.00±0.00 ^C	0.00±0.00 ^C	0.00±0.00 ^C	2.74±1.37 ^{Ba}	4.17±2.41 ^{Aa}
E	0.00±0.00 ^C	0.00±0.00 ^C	0.00±0.00 ^C	1.06±0.25 ^{Be}	1.41±0.00 ^{Ad}
F	0.00±0.00	0.00±0.00	0.00±0.00	0.00±0.00	0.00±0.00
G	0.00±0.00	0.00±0.00	0.00±0.00	0.00±0.00	0.00±0.00
H	0.00±0.00	0.00±0.00	0.00±0.00	0.00±0.00	0.00±0.00
I	0.00±0.00	0.00±0.00	0.00±0.00	0.00±0.00	0.00±0.00
J	0.00±0.00	0.00±0.00	0.00±0.00	0.00±0.00	0.00±0.00

^{a-c} Different letters in the same column are significantly different ($p \leq 0.05$).

^{A-B} Different letters in the same row are significantly different ($p \leq 0.05$).

^{ns} Nonsignificant in the same column and row ($p > 0.05$).

A = okra and foam tray wrapped with PVC plastic film

B = okra with garlic and foam tray wrapped with PVC plastic film

C = okra with fingerroot and foam tray wrapped with PVC plastic film

D = control and foam tray wrapped with PVC plastic film

E = commercial and foam tray wrapped with PVC plastic film

F = okra with vacuum bag

G = okra with garlic and vacuum bag

H = okra with fingerroot and vacuum bag

I = control and vacuum bag

J = commercial and vacuum bag

ค่าสี (L^* a^* b^*) และค่า hue angle

ผลการวิเคราะห์ค่าสี L^* แสดงถึงความสว่างของผลิตภัณฑ์ในระหว่างการเก็บรักษา พบว่าในช่วงระยะเวลาการเก็บรักษา 16 วัน หอมแดงตัดแต่งมีการเปลี่ยนแปลงค่าความสว่างอย่างช้า ๆ โดยหอมแดงตัดแต่งที่ผ่านการเคลือบด้วยสารเคลือบผิวชนิดต่าง ๆ ที่บรรจุในถาดโฟมหุ้มด้วยพลาสติก (PVC) มีสีซีดลงส่งผลให้มีค่าความสว่างเพิ่มขึ้น อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) แต่หอมแดงตัดแต่งที่ผ่านการเคลือบด้วยสารเคลือบผิว 10 ชนิด บรรจุถุงสุญญากาศชนิด nylon - LLDPE จะทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงสีเล็กน้อย มีค่า L^* อยู่ในช่วง 55.09 - 62.92 ซึ่งแตกต่างกับการบรรจุในถาดโฟมหุ้มด้วยพลาสติก (PVC) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) ค่า a^* แสดงถึงค่าความเป็นสีแดงของผลิตภัณฑ์ โดยสีหอมแดงนั้น จะมีลักษณะสีม่วงอมชมพู จากผลการทดลองพบว่า เมื่อระยะเวลาการเก็บรักษาเพิ่มขึ้น ค่าความเป็นสีแดงของหอมแดงตัดแต่งที่เคลือบผิวด้วยสารเคลือบผิวที่บริโภคได้ ทุกวิธีหมั้นท์

มีแนวโน้มลดลงแต่ไม่แตกต่างจาก วิธีหมั้นท์อื่นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) โดยเฉพาะในวันที่ 12 - 16 ของการเก็บรักษา นอกจากนี้ยังพบว่าการเคลือบผิวหอมแดงตัดแต่งด้วยสารสกัดกระเจียบเขียว ร่วมกับสารสกัดกระเทียมบรรจุในสุญญากาศ มีการเปลี่ยนแปลงค่าความเป็นสีแดง ($a^* = 3.66 \pm 0.50$) น้อยที่สุด สำหรับค่า b^* แสดงถึงค่าความเป็นสีเหลืองของผลิตภัณฑ์ แสดงดัง Figure 1(c) จากการทดลองพบว่า การเคลือบผิวหอมแดงตัดแต่งด้วยสารเคลือบชนิดต่าง ๆ สภาวะการบรรจุและชนิดบรรจุภัณฑ์ที่แตกต่างกันนั้น ส่งผลต่อค่า b^* ในทุกวิธีหมั้นท์โดยมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) เมื่อระยะเวลาในการเก็บรักษานานขึ้น ซึ่งพบว่าในวันที่ 16 ของการเก็บรักษาหอมแดงตัดแต่งที่บรรจุในถาดโฟมหุ้มด้วยฟิล์มพลาสติก (PVC) เคลือบผิวด้วยสารสกัดกระเจียบเขียว สารสกัดกระเจียบเขียวร่วมกับสารสกัดกระเทียม มีค่า b^* สูงที่สุดคือ 12.13 ± 0.89 และ 11.93 ± 0.29 ตามลำดับ สอดคล้องกับข้อมูลค่าความสว่าง (L^*) Figure 1 a)

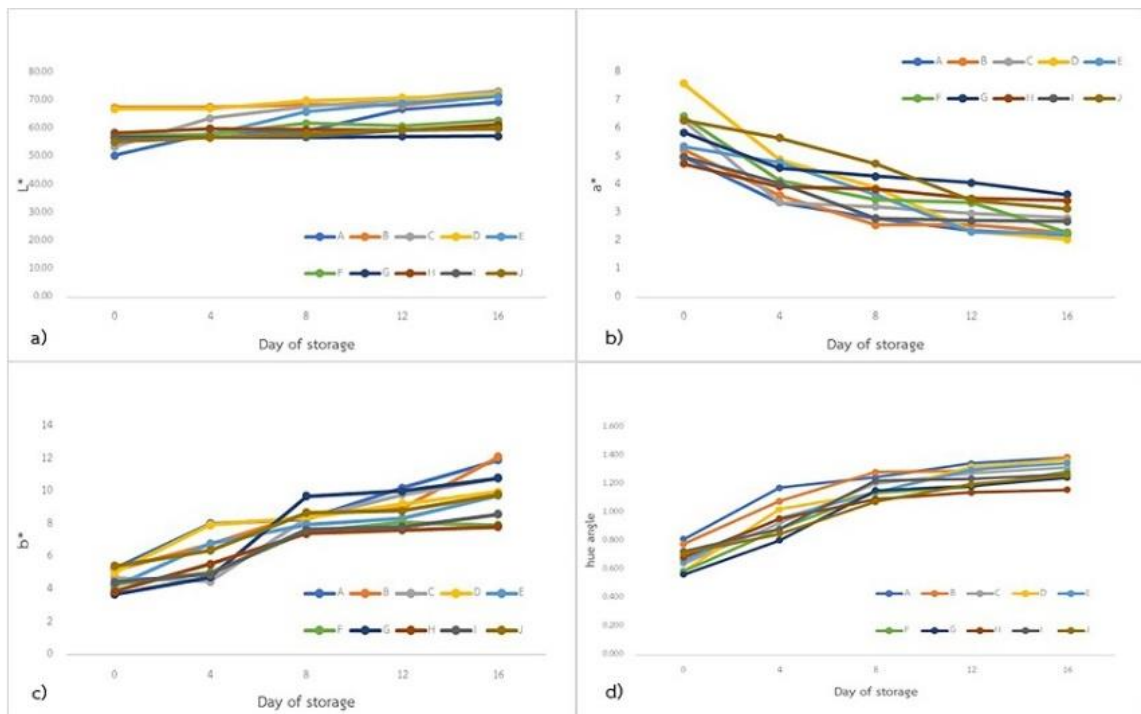


Figure 1 L^* value a) a^* value b) b^* value c) and hue angle d) of and hue angle of fresh cut shallot during storage at 12 °C for 16 days.

การทดลองนี้ใช้ค่า hue angle เป็นเกณฑ์ในการกำหนดคุณภาพ จากผลการทดลองพบว่าตัวอย่างหอมแดงตัดแต่งเคลือบผิว 10 หน่วยทดลอง อายุการเก็บรักษาเป็นเวลา 16 วัน ในค่างามของสี (hue angle) มีค่างามของสีอยู่ในช่วง 0.56 - 1.38 ซึ่งมีค่างามของสีในช่วง 0 - 45 องศา แสดงความเป็นสีม่วงแดงถึงสีส้มแดง (McGuire, 1992) ในตัวอย่างหอมแดง โดยพบว่าชนิดสารเคลือบผิวทั้ง 10 ชนิด และระยะเวลาการเก็บรักษา 16 วัน มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) เมื่อระยะเวลาการเก็บรักษาเพิ่มขึ้นตัวอย่างหอมแดงตัดแต่งที่เคลือบผิว มีแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงสีจากสีม่วงแดง

เป็นสีส้มแดง เมื่อพิจารณาชนิดบรรจุภัณฑ์ คือ ถาดโฟมหุ้มด้วยพลาสติก (PVC) และถุงสุญญากาศชนิด nylon - LLDPE พบว่าการเก็บรักษาโดยใช้ถุงสุญญากาศ มีการเปลี่ยนแปลงของสีในตัวอย่างหอมแดงที่น้อยกว่าการบรรจุในถาดโฟมหุ้มพลาสติก (PVC) อย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) การเก็บรักษาในถุงสุญญากาศสามารถป้องกันการสัมผัสกับอากาศได้ดีกว่าบรรจุในถาดโฟมหุ้มพลาสติก (PVC) ซึ่งการเปลี่ยนแปลงสีในผักเกิดจากปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลที่เกี่ยวข้องกับเอนไซม์ (enzymatic browning reaction) โดยเฉพาะบริเวณผิวหน้าของผักที่ผ่านการตัดแต่ง ทำให้เอนไซม์ สารที่ทำปฏิกิริยา (substrate)

และออกซิเจนเข้ามาสัมผัสกันสาร monophenol (ไม่มีสี) จะถูกออกซิไดซ์ เป็นไดฟีนอล (diphenol) ซึ่งไม่มีสี และถูกออกซิไดซ์ต่อเป็น o-quinone ซึ่งจะทำปฏิกิริยาต่อกับกรดแอมิโนหรือโปรตีนได้เป็นสารสีน้ำตาล และจะรวมตัวกันเป็นพอลิเมอร์ที่มีโมเลกุลใหญ่ และมีสีน้ำตาล (Rattanapanon, 2017) การนำหอมแดงตัดแต่งมาผ่านกระบวนการเคลือบผิวด้วยสารเคลือบผิวที่บริโภคได้ร่วมกับการบรรจุในถุงสุญญากาศสามารถลดปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาล ดังในผลการทดลองการเคลือบผิวด้วยสารสกัดกระเจี๊ยบเขียวร่วมกับสารสกัดกระเทียม สารสกัดกระเจี๊ยบเขียวร่วมกับสารสกัดกระเทียม และการบรรจุในสุญญากาศ มีแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงสีในหอมแดงตัดแต่งน้อยกว่าสารเคลือบผิวชนิดอื่นๆที่ระยะเวลาการเก็บรักษา 16 วัน แม้ว่าจะใช้สารเคลือบผิวชนิดเดียวแต่มีการใช้บรรจุภัณฑ์ที่ต่างกัน ผลการทดลองดังกล่าวทำให้ทราบว่านอกจากชนิดของสารเคลือบผิวที่มีผลชะลอการเปลี่ยนแปลงสีในหอมแดงตัดแต่งแล้ว อีกปัจจัยที่สำคัญคือชนิดบรรจุภัณฑ์และสภาวะการบรรจุที่ใช้ หากมีความเหมาะสมก็จะส่งผลให้สามารถยืดอายุการเก็บรักษาตัวอย่างหอมแดงตัดแต่งได้ดี

ค่าความแน่นเนื้อ (g)

ความแน่นของผลผลิตสดเป็นปัจจัยคุณภาพที่สำคัญที่เกี่ยวข้องกับโครงสร้างเซลล์จะขึ้นอยู่กับการ pre-treatment ชนิดของบรรจุ

ภัณฑ์หรือสภาวะการบรรจุที่ต่างกันและสภาพการเก็บรักษา การเปลี่ยนแปลงส่วนใหญ่เกิดขึ้นระหว่างการเก็บรักษา เนื่องจากการลักษณะการหายใจและการคายน้ำของผลผลิตสด ผลของการวิเคราะห์ค่าความแน่นเนื้อพบว่า ชนิดของสารเคลือบผิวไม่มีผลต่อค่าความแน่นเนื้อของผลิตภัณฑ์หอมแดงตัดแต่ง แต่การบรรจุในถุง nylon-LLDPE ในสภาวะสุญญากาศจะช่วยชะลอการสูญเสียความชื้นของหอมแดงตัดแต่ง โดยพบว่าสารเคลือบผิวหอมแดงตัดแต่งด้วยสารสกัดกระเจี๊ยบเขียวร่วมกับสารสกัดกระเทียม และสารสกัดกระเจี๊ยบเขียวร่วมกับสารสกัดกระเทียมขาวบรรจุถุง nylon-LLDPE ในสภาวะสุญญากาศ มีการเปลี่ยนแปลงค่าความแน่นเนื้อน้อยที่สุดแต่ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ซึ่งมีค่าความแน่นเนื้อเท่ากับ 2169.33 ± 0.15 g และ 1889.87 ± 0.09 g ตามลำดับ (Figure 2) ซึ่งค่าความแน่นเนื้อจะสัมพันธ์กับการสูญเสียน้ำหนักเมื่อระยะเวลาการเก็บรักษาเพิ่มขึ้น เนื่องจากไม่มีชั้นป้องกันและการสัมผัสกับเนื้อเยื่อภายในที่ส่งผลให้แรงดันที่เกิดขึ้นภายในเซลล์และความกรอบของผลไม่ลดลง (Thivya, 2022) เห็นได้จากค่าความแน่นเนื้อของหอมแดงตัดแต่งที่จุ่มในน้ำกลั่น เคลือบด้วยสารเคลือบผิวสารสกัดจากกระเจี๊ยบเขียวบรรจุในถาดโฟมหุ้มด้วยฟิล์มพลาสติก PVC มีค่าความแน่นเนื้อลดลงมากที่สุดในระหว่างการเก็บรักษาเวลา 16 วัน

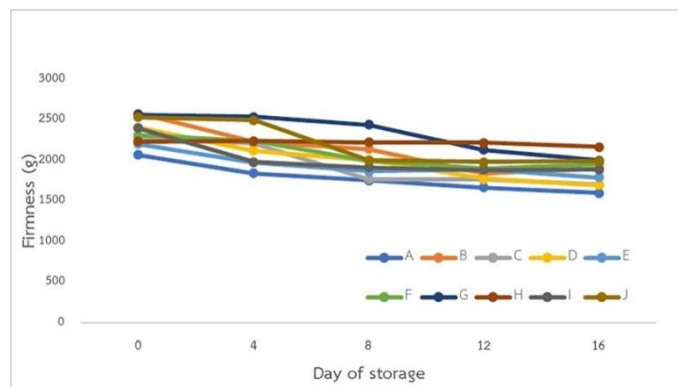


Figure 2 Effects of edible coating types and packaging on firmness (g) of fresh cut shallot during storage at 12 °C for 16 days.

A = okra and foam tray wrapped with PVC plastic film

B = okra with garlic and foam tray wrapped with PVC plastic film

C = okra with fingerroot and foam tray wrapped with PVC plastic film

D = control and foam tray wrapped with PVC plastic film

E = commercial and foam tray wrapped with PVC plastic film

F = okra with vacuum bag

G = okra with garlic and vacuum bag

H = okra with fingerroot and vacuum bag

I = control and vacuum bag

J = commercial and vacuum bag

ระดับความยาวราก

ผลการวิเคราะห์ระดับความยาวรากของหอมแดงตัดแต่งที่ผ่านการเคลือบผิวด้วยสารเคลือบชนิดต่าง ๆ ชนิดบรรจุภัณฑ์ และสภาวะการบรรจุที่ต่างกัน พบว่าหอมแดงตัดแต่งเคลือบผิวและบรรจุในถาดโฟมที่หุ้มด้วยฟิล์มพลาสติก (PVC) ทุกทรีทเมนต์นั้นเมื่อระยะเวลาในการเก็บรักษานานขึ้น ส่งผลให้มีระดับความยาวรากเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) จากผลการทดลองพบว่าในวันที่ 8 - 16 ของการเก็บรักษาหอมแดงที่เคลือบผิวด้วยกระเจี๊ยบเขียวและบรรจุในถาดโฟมหุ้มด้วยพลาสติก PVC มีระดับความยาวรากสูงที่สุด ซึ่งระดับความยาวรากเฉลี่ยอยู่ที่ระดับ 3 หอมแดงตัดแต่งที่เคลือบผิวและบรรจุในถุง nylon-LLDPE ในสภาวะสุญญากาศมีระดับความยาวรากเฉลี่ยอยู่ที่ระดับ 1 ซึ่งต่ำกว่าระดับความยาวรากหอมแดงตัดแต่งที่บรรจุในถาดโฟมหุ้มด้วยฟิล์มพลาสติก

(PVC) (Figure 3) การบรรจุหอมแดงตัดแต่งในถาดโฟมหุ้มด้วยฟิล์มชนิด PVC นั้น อากาศและความชื้นสามารถซึมผ่านได้ส่งผลให้หอมแดงตัดแต่งมี % การเกิดรากสูง โดยจะพบว่ามีความยาวรากเฉลี่ยอยู่ที่ระดับ 3 ในวันที่ 8 ของการเก็บรักษาในหอมแดงตัดแต่งที่ผ่านการเคลือบผิวและบรรจุในถาดโฟม แต่การบรรจุในถุง nylon-LLDPE ในสภาวะสุญญากาศนั้น ไม่พบการเกิดรากตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา 16 วัน สอดคล้องกับงานวิจัย Obklin et al. (2019) ที่รายงานว่าหอมแดงตัดแต่งที่บรรจุในถุงสุญญากาศพอลิเอไมด์ (polyamide, PA) มีระดับความยาวรากเฉลี่ยอยู่ที่ระดับ 1 ซึ่งบรรจุภัณฑ์ที่มีผลต่อการเกิดราก โดยหอมแดงตัดแต่งที่บรรจุในถุงสุญญากาศเกิดรากช้ากว่าหอมแดงตัดแต่งที่บรรจุในถาดโฟมหุ้มด้วยฟิล์มพลาสติก (PVC) มีรายงานวิจัยพบว่าบรรจุภัณฑ์สุญญากาศ (vacuum packaging) มีความเหมาะสมกับผลผลิตที่มีออกซิเจนเป็นปัจจัยกระตุ้นให้เกิดการ

เปลี่ยนแปลงของปฏิกิริยาทางเคมีและชีวเคมี ซึ่งอาจส่งผลให้คุณภาพของผลิตภัณฑ์ลดลง (Denoya et al., 2015) ในสภาวะที่ปริมาณออกซิเจนภายในบรรจุภัณฑ์สูญญากาศมีอยู่อย่างจำกัด มีผลให้อัตรา

การหายใจของผลิตภัณฑ์ลดลงตามไปด้วยสามารถชะลอการเสื่อมสภาพและช่วยยืดอายุการเก็บรักษาของผลิตภัณฑ์ให้นานขึ้นได้ (Özkaya et al., 2016)



Figure 3 Effects of edible coating types and packaging on root sprouting of fresh cut shallot during storage at 12 °C for 16 days.

- | | |
|--|---|
| A = okra and foam tray wrapped with PVC plastic film | F = okra with vacuum bag |
| B = okra with garlic and foam tray wrapped with PVC plastic film | G = okra with garlic and vacuum bag |
| C = okra with fingerroot and foam tray wrapped with PVC plastic film | H = okra with fingerroot and vacuum bag |
| D = control and foam tray wrapped with PVC plastic film | I = control and vacuum bag |
| E = commercial and foam tray wrapped with PVC plastic film | J = commercial and vacuum bag |

ค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH)

ผลการวิเคราะห์ค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) ของหอมแดงตัดแต่งเคลือบผิวด้วยสารเคลือบผิวชนิดต่าง ๆ บรรจุในถาดโฟมหุ้มด้วยฟิล์ม PVC และบรรจุในถุง nylon-LLDPE ในสภาวะสูญญากาศชนิดพบว่า ค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) ของหอมแดงตัดแต่งอยู่ในช่วง 5.92 - 6.61 (Figure 4) และมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) ในระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 12 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 16 วัน เนื่องมาจากในระหว่างการเก็บรักษานั้นหอมแดงตัดแต่ง

ยังมีการกระบวนการหายใจเกิดขึ้นส่งผลทำให้ปริมาณกรดลดลงสอดคล้องกับรายงานของ Abbasi et al. (2009) ได้อธิบายว่าค่าความเป็นกรด-ด่างเกิดจากการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของไฮโดรเจนไอออนในผลิตภัณฑ์ซึ่งจะสัมพันธ์กันกับความแก่-อ่อน อัตราการหายใจและกระบวนการเมตาบอลิซึมในผลิตภัณฑ์เมื่อผลิตภัณฑ์มีอัตราการหายใจสูงจะเกิดการเสื่อมเสียของผลิตภัณฑ์ขึ้นทำให้ปริมาณกรดลดลงเนื่องจากถูกนำไปใช้เป็นสารตั้งต้นของกระบวนการหายใจ ส่งผลให้ปริมาณกรดลดลงซึ่งสัมพันธ์กับค่าความเป็นกรด-ด่างที่เพิ่มขึ้น

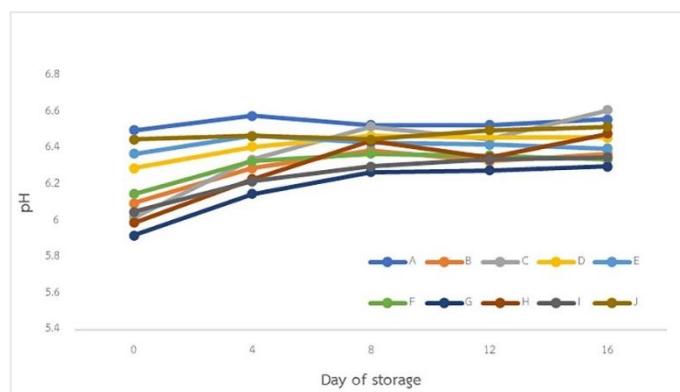


Figure 4 Effects of edible coating types and packaging on pH of fresh cut shallot during storage at 12 °C for 16 days.

- | | |
|--|---|
| A = okra and foam tray wrapped with PVC plastic film | F = okra with vacuum bag |
| B = okra with garlic and foam tray wrapped with PVC plastic film | G = okra with garlic and vacuum bag |
| C = okra with fingerroot and foam tray wrapped with PVC plastic film | H = okra with fingerroot and vacuum bag |
| D = control and foam tray wrapped with PVC plastic film | I = control and vacuum bag |
| E = commercial and foam tray wrapped with PVC plastic film | J = commercial and vacuum bag |

ปริมาณแบคทีเรียทั้งหมด ปริมาณยีสต์และรา

ผลการวิเคราะห์ปริมาณแบคทีเรียทั้งหมดแสดงให้เห็นว่าตลอดระยะเวลาการเก็บรักษาหอมแดงตัดแต่งในทุกทริพเม้นต์ตรวจพบจำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมด อยู่ระหว่าง 1.22×10^2 - 6.75×10^2 โคโลนี/กรัม (Table 2) ปริมาณยีสต์และราน้อยกว่า 200 โคโลนี/กรัม (Table 3) การเคลือบหอมแดงตัดแต่งด้วยสารเคลือบผิวชนิดต่าง ๆ และบรรจุในถาดโฟมหุ้มด้วยพลาสติก PVC ไม่พบการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ได้ในวันที่ 0 - 8 วันของการเก็บรักษา แต่กลับพบการเจริญเติบโตของแบคทีเรีย ยีสต์และราในวันที่ 12 ของการเก็บรักษาสำหรับหอมแดงตัดแต่งด้วยสารเคลือบผิวชนิดต่าง ๆ บรรจุในถุง nylon-LLDPE ในสภาวะสุญญากาศส่งผลให้ปริมาณแบคทีเรียทั้งหมด ปริมาณยีสต์และรา ไม่เกินกำหนดตามมาตรฐานตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา 16 วัน ทั้งนี้สารเคลือบที่ใช้ส่งผลให้ปริมาณจุลินทรีย์ชนิดต่าง ๆ ไม่เกินเกณฑ์มาตรฐานที่กำหนดไว้ ซึ่งเป็นไปตามเกณฑ์มาตรฐานผักตัดแต่งพร้อมบริโภคที่กำหนดให้ปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมดไม่เกิน 1×10^6 โคโลนี/กรัม จำนวนยีสต์น้อยกว่า 1,000 โคโลนี/กรัม จำนวนราน้อยกว่า 500 โคโลนี/กรัม (Department of Medical Sciences, 2017) เนื่องจากในขั้นตอนการเตรียมหอมแดงมีขั้นตอนการทำความสะอาดด้วยสารละลายโซเดียมไฮโปคลอไรด์ความเข้มข้น

200 ppm จึงช่วยยับยั้งการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ Rico et al. (2007) รายงานว่าอุตสาหกรรมผักและผลไม้ตัดแต่งพร้อมบริโภคนิยมใช้สารละลายคลอรีนในการล้างทำความสะอาดและลดการปนเปื้อนของจุลินทรีย์ โดยเฉพาะโซเดียมไฮโปคลอไรด์ ซึ่งสารประกอบคลอรีนที่นิยมใช้ที่ระดับความเข้มข้น 50 - 200 ppm ระยะเวลาไม่เกิน 5 นาที นอกจากนี้สารเคลือบผิวที่พัฒนาขึ้นมีการเติมสารสกัดจากกระเทียมซึ่งมีสารอัลลิซิน (allicin) Somsu et al. (2017) และในกระชายขาวมีสาร geraniol มีฤทธิ์ในการต้านการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ สอดคล้องกับรายงานของ Klangmuang & Sothornvit (2012) พัฒนาฟิล์มเคลือบผิวมะม่วง โดยนำน้ำมันหอมระเหยจากสมุนไพรไทยแต่ละชนิด เช่น ชิง ไพล และกระชาย เติมนลงในฟิล์ม HPMC - based composite ที่ระดับความเข้มข้น 15,000 มิลลิกรัม/ลิตร สามารถชะลอการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ได้ สำหรับสภาวะการบรรจุผลต่อการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ โดยพบว่าการบรรจุในถาดโฟมหุ้มด้วยพลาสติก PVC มีอัตราการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์เพิ่มขึ้นเมื่อระยะเวลาการเก็บรักษานานขึ้น เนื่องจากฟิล์มพลาสติก PVC มีการซึมผ่านของอากาศและความชื้นส่งผลให้จุลินทรีย์ที่ต้องการอากาศสามารถเจริญเติบโตได้ ทั้งนี้ปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมด ปริมาณยีสต์และราไม่เกินตามมาตรฐานกำหนด

Table 2 Total variable counts of fresh cut shallot during storage at 12 °C for 16 days

Treatment	Total variable counts (CFU/g)				
	0 Days	4 Days	8 Days	12 Days	16 Days
A	Not detected	Not detected	Not detected	2×10^2	3.1×10^2
B	Not detected	Not detected	Not detected	1.22×10^2	2.8×10^2
C	Not detected	Not detected	Not detected	2.5×10^2	3×10^2
D	Not detected	Not detected	Not detected	3.3×10^2	6.75×10^2
E	Not detected	Not detected	Not detected	1.34×10^2	2.15×10^2
F	Not detected	Not detected	Not detected	Not detected	Not detected
G	Not detected	Not detected	Not detected	Not detected	Not detected
H	Not detected	Not detected	Not detected	Not detected	Not detected
I	Not detected	Not detected	Not detected	Not detected	Not detected
J	Not detected	Not detected	Not detected	Not detected	Not detected

Table 3 Yeast and mold counts of fresh cut shallot during storage at 12 °C for 16 days

Treatment	Yeast and Mold counts (CFU/g)				
	0 Days	4 Days	8 Days	12 Days	16 Days
A	Not detected	Not detected	Not detected	<200	<200
B	Not detected	Not detected	Not detected	<200	<200
C	Not detected	Not detected	Not detected	<200	<200
D	Not detected	Not detected	<200	<200	<200
E	Not detected	Not detected	Not detected	<200	<200
F	Not detected	Not detected	Not detected	Not detected	Not detected
G	Not detected	Not detected	Not detected	Not detected	Not detected
H	Not detected	Not detected	Not detected	Not detected	Not detected
I	Not detected	Not detected	Not detected	Not detected	Not detected
J	Not detected	Not detected	Not detected	Not detected	Not detected

A = okra and foam tray wrapped with PVC plastic film

B = okra with garlic and foam tray wrapped with PVC plastic film

C = okra with fingerroot and foam tray wrapped with PVC plastic film

D = control and foam tray wrapped with PVC plastic film

E = commercial and foam tray wrapped with PVC plastic film

F = okra with vacuum bag

G = okra with garlic and vacuum bag

H = okra with fingerroot and vacuum bag

I = control and vacuum bag

J = commercial and vacuum bag

สรุปผลการวิจัย

สารเคลือบผิวที่บริโภคได้ที่เหมาะสมที่ช่วยยืดอายุหอมแดงตัดแต่ง คือการใช้สารเคลือบผิวกระเจี๊ยบเขียวร่วมกับสารสกัดกระชาย

ขาว บรรจุถุงพลาสติกชนิด nylon-LLDPE ในสภาวะสุญญากาศ และเก็บรักษาที่อุณหภูมิแช่เย็นที่ 12 องศาเซลเซียส ช่วยชะลอการเปลี่ยนแปลงสีของหอมแดงตัดแต่ง รักษาคุณสมบัติด้านเนื้อสัมผัส ลด

การสูญเสียน้ำหนักระหว่างการเก็บรักษา จำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมดและปริมาณของยีสต์และราไม่เกินตามเกณฑ์มาตรฐานผักตัดแต่งพร้อมบริโภคกำหนด สามารถปรับปรุงคุณภาพของหอมแดงตัดแต่งพร้อมบริโภคได้ระหว่างการเก็บรักษาอย่างน้อย 16 วัน การเปรียบเทียบต้นทุนการผลิตสารเคลือบผิวกระเจี๊ยบเขียวร่วมกับสารสกัดกระชายขาวที่ผลิตได้ต่อ 1 ลิตร ประมาณ 100 บาท ในขณะที่ราคาของสารเคลือบผิวเชิงการค้ามีราคา 500 บาท/ลิตร นอกจากนี้ยังพบว่า การใช้สารเคลือบผิวที่ผลิตได้สามารถนำไปใช้เพื่อคงคุณภาพของผักและผลไม้ที่ไม่แตกต่างจากสารเคลือบผิวเชิงการค้าและยังช่วยลดต้นทุนการผลิต ข้อมูลดังกล่าวจะเป็นประโยชน์สำหรับการพัฒนาสารเคลือบผิวที่บริโภคได้จากสารสกัดธรรมชาติชนิดอื่นและบรรจุภัณฑ์ชนิดใหม่ หรือประยุกต์ใช้กับอุณหภูมิตู้เย็น (0 - 7 องศาเซลเซียส) อาจจะมีความเป็นไปได้ที่หอมแดงตัดแต่งมีอายุการเก็บรักษายาวนานขึ้น

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณอุดหนุนการวิจัยจากงบประมาณแผ่นดินด้าน ววน. ประเภท Basic research ประจำปีงบประมาณ 2566 ขอขอบคุณ สาขาวิชาเทคโนโลยีและนวัตกรรมอาหาร คณะศิลปศาสตร์และวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏศรีสะเกษสนับสนุนอุปกรณ์ เครื่องมือและสถานที่ในการทำงานวิจัย

References

Abbasi, N. A., Iqbal, Z., Maqbool, M., & Hafiz, I. A. (2009). Postharvest quality of mango (*Mangifera indica* L.) fruit as affected by chitosan coating. *Pakistan Journal of Botany*, 41(1), 343-357.

Association of Official Analytical Chemists (AOAC). (2000). *Official methods of analysis* (17th ed.). Washington, D. C., United States: Association of Official Analytical Chemist.

Boonyakiat, D., & Chuamuangphan, C. (2011). Effect of washing, storage temperature and vacuum bags on quality of ready-to-cook Japanese pumpkin and red bell pepper. *Agricultural Science Journal*, 42(Suppl. 1), 656-659. (in Thai)

Deeammart. J., Phasuk. S., & Nilsang. P. (2021). Use of mucilage from matard (*Dillenia indica* Linn) and okra (*Abelmoschus esculentus* L. Moench) as a thickener in soup powder. *VRU Research and Development Journal Science and Technology*, 16(3), 71-80. (in Thai)

Denoya, G. I., Vaudagna, S. R., & Polenta, G. (2015). Effect of high pressure processing and vacuum packaging on the preservation of fresh-cut peaches. *LWT-Food Science and Technology*, 62(1 part 2), 801-806. doi: 10.1016/j.lwt.2014.09.036

Department of Intellectual Property. (2022). *Geographical indications of Sisaket shallots*. Accessed March 20, 2024. Retrieved from

<https://www.ipthailand.go.th/images/3534/2563/GI/GI63100142.pdf>.

Department of Medical Sciences. (2017). *Announcement on microbiological quality criteria of food and contact containers food*. Accessed January 11, 2017. Retrieved from http://bqsf.dmsc.moph.go.th/bqsfWeb/index.php/sdm_downloads/dmsc-micro/.

Gat, Y., & Ananthanarayan, L. (2016). Use of paprika oily extract as pre-extrusion colouring of rice extrudates: Impact of processing and storage on colour stability. *Journal of Food Science and Technology*, 53(6), 2887-2894. doi: 10.1007/s13197-016-2271-3

Geraldine R. M., Soare, N. F. F., Botrel, D. A., & Gonçalves, L. A. (2008). Characterization and effect of edible coatings on minimally processed garlic quality. *Carbohydrate Polymers*, 72(3), 403-409. doi: 10.1016/j.carbpol.2007.09.012

Jia, L., Li, H. F., & Jing, L. L. (2010). Chemical constituents in n-butanol extract of *Abelmoschus esculentus* L. *Chinese Traditional and Herbal Drugs*, 41(11), 1771-1773.

Klangmuang, P., & Sothornvit, R. (2012). Antifungal performance of hydroxypropyl methylcellulose film incorporated with essential oil against *Colletotrichum gloeosporioides*. *Agricultural Science Journal*, 43(Suppl. 3), 625-628. (in Thai)

Limhang, K., Hiranvattanasuk, J., & Inthawat, M. (2016). Effect of garlic extract on inhibition of *Vibrio parahaemolyticus* and *Vibrio harveyi*. *Khon Kaen Agriculture Journal*. 44 (Suppl. 1), 650-655. (in Thai)

Mangaraj, S., & Goswami, T. K. (2009). *Modified atmosphere packaging of fruits and vegetables for extending shelf-life-a Review*. Accessed March 20, 2024. Retrieved from [http://www.globalsciencebooks.info/Online/GSBOOnline/images/0906/FP_3\(1\)/FP_3\(1\)1-31o.pdf](http://www.globalsciencebooks.info/Online/GSBOOnline/images/0906/FP_3(1)/FP_3(1)1-31o.pdf).

McGuire, R. G. (1992). Reporting of objective color measurements. *HortScience*, 27(12), 1254-1255. doi: 10.21273/HORTSCI.27.12.1254

Özkaya, O., Yildirim, D., Dündar, Ö., & Tükel, S. S. (2016). Effects of 1 - methylcyclopropane (1 - MCP) and modified atmosphere packaging on postharvest storage quality of nectarine fruit. *Scientia Horticulturae*, 198, 454-461. doi: 10.1016/j.scienta.2015.12.016

Obklin, N., Boonruang, K., & Mongkolchaiyaphruek, A. (2019). Effect of aloe vera gel coating on postharvest quality and shelf life of fresh cut shallot (*Allium ascalonicum* L.). *Agricultural Science Journal*. 50 (Suppl. 3), 119-122. (in Thai)

Page, N., González-Buesa, J., Ryser, E. T., Harte, J., & Almenar, E. (2016). Interactions between sanitizers and packaging gas compositions and their effects on the safety and

- quality of fresh-cut onions (*Allium cepa* L.). *International Journal of Food Microbiology*, 218, 105-113. doi: 10.1016/j.ijfoodmicro.2015.11.017
- Poljan, P. (2020). *Growth and effect of salicylic acid on secondary metabolite and calcium accumulation in Boesenbergia rotunda (L.) Mansf.* (Master's thesis). Bangkok, Thailand: Thammasat University. (in Thai)
- Rattanapanon, N. (2017). *Food chemistry* (5th ed.). Bangkok, Thailand: Odeonstore. (in Thai)
- Rico, D., Martín-Diana, A. B., Barat, J. M., & Barry-Ryan, C. (2007). Extending and measuring the quality of fresh-cut fruit and vegetables: a review. *Trends in Food Science & Technology*, 18(7), 373-386. doi: 10.1016/j.tifs.2007.03.011
- Sathianteerapap, S. (2020). *Effect of edible coating on the quality change of fresh cut cabbage during storage* (Master's thesis). Nakhon Pathom, Thailand: Silpakorn University. (in Thai)
- Singh, S. (2010). Modified atmosphere packaging of fresh produce: current status and future needs. *LWT-Food Science and Technology*, 43(3), 381-392. doi: 10.1016/j.lwt.2009.05.018
- Somsu, T., Watanasit, S., Yuenyongsawad, S., & Wasiksiri, S. (2017). Nutritional compositions and allicin content in garlic powder Si Sa Ket, Chiang Mai and Chinese garlic cultivars. *Journal of Agriculture*, 33(1), 131-140. (in Thai)
- Suphamityotin, P. (2013). *Fruit and vegetable technology*. Bangkok, Thailand: Odeonstore. (in Thai)
- Thammathorn, P., & Kaewkoon, P. (2021). *Planting garlic*. Accessed May 25, 2024. Retrieved from <https://esc.doae.go.th/%E0%B8%81%E0%B8%A3%E0%B8%B0%E0%B9%80%E0%B8%97%E0%B8%B5%E0%B8%A2%E0%B8%A1/>.
- Thivya, P. (2022). Effect of chemical preservatives and packaging treatment on storage quality of peeled shallot onion. *Applied Food Research*. 2(2), 100160. doi: 10.1016/j.afres.2022.100160
- Waghmare, R. B., & Annapure, U. S. (2015). Integrated effect of sodium hypochlorite and modified atmosphere packaging on quality and shelf life of fresh-cut cilantro. *Food Packaging and Shelf Life*, 3, 62-69. doi: 10.1016/j.fpsl.2014.11.001

Research article

Effects of edible coatings and packaging on the quality change and shelf life of ready to eat fresh cut Sisaket shallot

Thananwan Musika¹ Panarat Sungin¹ Sumeth Piayura² and Jirayu Musika^{3*}

¹*Division of Food technology and innovation Faculty of Liberal Arts and Science, Sisaket Rajabhat University, Mueang District, Sisaket Province 33000, Thailand*

²*Department of Food Technology Faculty of Agriculture and Technology, Sakon Nakhon Rajabhat University, Mueang District, Sakon Nakhon Province 47000, Thailand*

³*Department of Agro-Industry Faculty of Agriculture Ubon Ratchathani University, Warin Chamrap District, Ubon Ratchathani Province, 34190 Thailand*

ARTICLE INFO**Article history**

Received: 10 April 2024

Revised: 23 May 2024

Accepted: 7 July 2024

Online published: 31 July 2024

Keyword

Edible coating

Packaging

Quality change

Storage life

Fresh-cut shallot

ABSTRACT

This study investigates the effect of edible coating types made from Okra extract, Okra (*Abelmoschus esculentus* (L.) Moench) extract with Garlic (*Allium sativum* L.) extract, Okra extract with Fingerroot (*Boesenbergia rotunda* (L.)) extract, commercial coatings, and types of packaging on the quality and shelf life of Sisaket fresh-cut shallots. Shallots with a diameter of 2±0.5 cm were selected, peeled, and cleaned. The selected shallots were dipped in various types of coatings and packed in foam trays covered with PVC plastic film and Nylon-LLDPE bags under vacuum conditions. The samples were stored at 12 °C for 16 days. The results showed that the optimum condition was coating fresh-cut shallots with Okra extract and Fingerroot extract and packaging them in Nylon-LLDPE bags under vacuum conditions. Coating with edible coating and using nylon-LLDPE plastic, which has better vapor and gas barrier properties than PVC film, can control the moisture of the shallots after cutting, reducing weight loss, and causing minor changes in hue angle and firmness. This condition shows no difference in microbiological safety compared with using commercial coatings during 16 days of storage. This research indicates that coating with herbal plant extracts, packaging types, and packing conditions affect weight loss, color values, and firmness of fresh-cut shallots. The results of this study can be used as basic information to produce edible coatings from other herbal plant extracts to extend the shelf life of vegetables and fruits in the future.

*Corresponding author

E-mail address: musikacirayu18@gmail.com (T. Musika)

Online print: 31 July 2024 Copyright © 2024. This is an open access article, production, and hosting by Faculty of Agricultural Technology, Rajabhat Maha Sarakham University. <https://doi.org/10.14456/paj.2024.34>



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

บทความวิจัย

การพัฒนาเทคนิค LAMP เพื่อตรวจหาเชื้อไวรัส โรค ลัมปี สกิน ในโค

ธีระยุทธ ชาวุฒิ^{1*} อรพรรณ อางคำภา² ธีรเจต เลหาเสถียร³ ภวัต เสรีตระกูล³ และ นรินทร์ ปรียวิญญูภักดี³

¹ สาขาวิชาสัตวศาสตร์ วิทยาลัยเกษตรและเทคโนโลยีเพชรบุรี อำเภอชะอำ จังหวัดเพชรบุรี 76120

² สำนักงานปศุสัตว์เขต 4 อำเภอเมือง จังหวัดขอนแก่น ประเทศไทย 40000

³ คณะสัตวศาสตร์และเทคโนโลยีการเกษตร มหาวิทยาลัยศิลปากร อำเภอชะอำ จังหวัดเพชรบุรี 76120

ข้อมูลบทความ

Article history

รับ: 17 เมษายน 2567

แก้ไข: 9 กรกฎาคม 2567

ตอบรับการตีพิมพ์: 27 กรกฎาคม 2567

ตีพิมพ์ออนไลน์: 21 สิงหาคม 2567

คำสำคัญ

โรคลัมปี สกิน

เทคนิคแลมป์

เทคนิคปฏิกิริยาลูกโซ่พอลิเมอเรส

ความจำเพาะ

ความไว

บทคัดย่อ

โรคลัมปี สกิน (LSD) เกิดจากเชื้อไวรัสในสกุล *Capripoxviruses* (CaPVs) เป็นโรคที่มีความสำคัญทางเศรษฐกิจและส่งผลกระทบต่อสุขภาพในอุตสาหกรรมเลี้ยงโคและกระบือ สามารถแพร่กระจายของเชื้อไวรัสโดยมีแมลงดูดเลือดเป็นพาหะนำโรค นอกจากนี้ยังสามารถติดต่อได้ผ่านการสัมผัสตัวป่วยโดยตรง ผ่านทางน้ำเชื้อของพ่อพันธุ์ที่เป็นโรคหรือผ่านทางรกได้ ลักษณะอาการของโรค มีไข้ ต่อมหนองเหลืองบวมโต พบตุ่มหนองแข็ง และเป็นแผลตามผิวหนัง อาจมีแผลบริเวณเนื้อเยื่อที่ปาก การตรวจวินิจฉัยด้วยวิธีการที่รวดเร็วจึงมีความสำคัญในการควบคุมการระบาดของโรค เทคนิค Loop-mediated isothermal amplification (LAMP) เป็นวิธีการตรวจที่พัฒนาขึ้นให้ง่าย และรวดเร็ว เนื่องจากเป็นการเพิ่มปริมาณดีเอ็นเอของเชื้อโรคด้วยอุณหภูมิคงที่และเหมาะสำหรับการใช้ภาคสนาม วัตถุประสงค์ในการวิจัยในครั้งนี้เพื่อพัฒนาเทคนิค LAMP ตรวจหาเชื้อไวรัสโรคลัมปี สกิน (LSDV) จากตัวอย่างโคที่แสดงอาการป่วยเป็นโรคลัมปี สกิน (LSD) โดยการเปรียบเทียบกับการตรวจด้วยเทคนิค PCR จากผลการวิเคราะห์ตัวอย่าง (เลือดในหลอด EDTA จำนวน 100 ตัวอย่าง และเนื้อเยื่อผิวหนัง จำนวน 86 ตัวอย่าง) พบว่าตัวอย่างร้อยละ 56.98 (106/186) ให้ผลบวกต่อการตรวจด้วยเทคนิค PCR และตัวอย่างร้อยละ 63.97 (119/186) ให้ผลบวกต่อการตรวจด้วยเทคนิค LAMP จากผลการวิจัยทำให้สรุปได้ว่าเทคนิค LAMP มีประสิทธิภาพสูงกว่าเทคนิค PCR นอกจากนี้ยังพบว่ามีความไวสูงที่ระดับการเจือจาง 10^{-5} ng/ μ l และมีความจำเพาะต่อเชื้อไวรัสโรคลัมปี สกิน (LSDV) โดยไม่ทำปฏิกิริยากับเชื้อจุลินทรีย์ชนิดอื่นที่ใช้ทดสอบ การศึกษาลำดับนิวคลีโอไทด์ทางด้านสายพันธุ์มีคล้ายคลึงกับเชื้อไวรัสโรคลัมปี สกิน (LSDV) ที่เคยพบในประเทศจีน ยองกง และเวียดนาม ทำให้สรุปได้ว่าเทคนิค LAMP มีความไวและความจำเพาะสูง เหมาะสำหรับการตรวจหาเชื้อไวรัสโรคลัมปี สกิน ในพื้นที่ภาคสนาม ที่ไม่ต้องใช้อุปกรณ์และเครื่องมือที่ทันสมัย

บทนำ

โรคลัมปี สกิน (Lumpy skin disease: LSD) เป็นโรคที่องค์การโรคระบาดสัตว์ระหว่างประเทศ (Office International des Epizooties, OIE) ได้บันทึกไว้เป็นโรคระบาดที่เกิดจากการมีพาหะนำโรคไปยังโค และกระบือ ก่อให้เกิดผลกระทบต่อสุขภาพสัตว์และผลกระทบต่อเศรษฐกิจเป็นอย่างมากในช่วงระยะเวลาที่ผ่านมา เนื่องจากสามารถแพร่กระจายเชื้อโรคไปยังพื้นที่อื่นได้เริ่มต้นที่ทวีปแอฟริกาไปยังพื้นที่ทั่วโลก พบอัตราการเกิดโรคสูงถึงแม้จะมีอัตราการตายต่ำ (Abutarbush et al., 2015) การสูญเสียที่เกิดขึ้นในสัตว์ได้แก่ สภาพร่างกายสัตว์ซูบผอม ผิวหนังถูกทำลาย ประสิทธิภาพของระบบสืบพันธุ์ต่ำลงทั้งเพศผู้และเพศเมีย การเกิดโรคเต้านมอักเสบส่งผลให้ผลิตน้ำมน้อยลง และเกิดภาวะการแท้งลูก (Tuppurainen & Oura 2012) การส่งออกทั้งสัตว์มีชีวิตและผลิตภัณฑ์ลดลงทำให้สูญเสียเงินจำนวนมหาศาลในภาคอุตสาหกรรมผลิตเนื้อสัตว์ อุตสาหกรรมการผลิตนม อุตสาหกรรมการเลี้ยงสัตว์และอุตสาหกรรมอื่น ๆ ที่เกี่ยวข้องกับสัตว์และผลิตภัณฑ์ โดยเฉพาะในอุตสาหกรรมเหล่านี้พบว่าเกษตรกรต้องสูญเสียรายได้ จากการเลี้ยงสัตว์ที่ผลผลิตลดลง และค่าบริการด้านรักษาสัตว์ป่วย (Gari et al., 2010) พบการระบาดครั้งแรกในประเทศแซมเบีย เมื่อปี ค.ศ. 1929 และได้

แพร่กระจายไปทั่วทั้งทวีปแอฟริกา ตะวันออกกลาง ยุโรปตะวันออกเฉียงใต้ ภาคกลางของเอเชียและล่าสุดระบาดไปยังแถบเอเชียใต้และประเทศจีน ปัจจุบันโรคนี้เป็นโรคประจำถิ่นในหลายพื้นที่ ในปีค.ศ. 2019 พบการระบาดครั้งแรกในพื้นที่ทวีปเอเชียใต้ โดยพบที่ประเทศบังกลาเทศ ในปี ค.ศ. 2019 พบโรคนี้พบในประเทศอินเดีย (Sudhakar et al., 2020) และภาคตะวันตกของประเทศจีน ที่มีพรมแดนติดกับประเทศคาซัคสถาน ได้หวัน ยองกง และประเทศภูฏาน (Lu et al., 2021) หลังจากนั้นพบในประเทศเมียนมาร์ และประเทศเวียดนาม (Tran et al., 2021)

สำหรับประเทศไทยมีรายงานการเกิดโรค LSD เป็นครั้งแรกในโคเนื้อพบแสดงอาการป่วยคล้ายโรค LSD ได้แก่ พบตุ่มหนองที่ผิวหนัง มีไข้สูง ไม่ค่อยกินอาหาร และพบเส้นเลือดที่ขาและต่อมน้ำเหลืองขยายใหญ่ ได้รับการตรวจยืนยันการติดเชื้อไวรัส โรคลัมปี สกิน (Lumpy skin disease virus, LSDV) โดยเทคนิค Real-time PCR จากตัวอย่างเลือด (Blood EDTA) และสะเก็ดแผลของผิวหนัง (Scabs and skin lesion) เชื้อไวรัสได้รับแยกชนิดและการจัดลำดับนิวคลีโอไทด์จากตัวอย่างที่ยืนยันการติดเชื้อ (Arjokumpa et al., 2021) ผลการวิเคราะห์วิวัฒนาการของสายพันธุ์ (Phylogenetic tree) พบว่าเชื้อไวรัส LSDV มีความคล้ายกับเชื้อไวรัส LSDV ที่แพร่ระบาดในประเทศ

*Corresponding author

E-mail address: chawut98@gmail.com (T. Chawut)

Online print: 21 August 2024 Copyright © 2024. This is an open access article, production, and hosting by Faculty of Agricultural Technology, Rajabhat Maha Sarakham University. <https://doi.org/10.14456/paj.2024.35>

รัสเซีย ประเทศอินเดีย และประเทศเคนยา ในปี ค.ศ. 2019 ประมาณ ร้อยละ 99.80 - 100 การวินิจฉัยเชื้อไวรัส LSDV

ในปัจจุบันการตรวจวินิจฉัยยืนยันเชื้อไวรัส LSDV ทางอนุชีววิทยานิยมใช้เทคนิค PCR มากที่สุด เนื่องจากมีความไวและแม่นยำสูง แต่การใช้เทคนิค PCR ในการตรวจวินิจฉัยจำเป็นต้องทำในห้องปฏิบัติการโดยใช้บุคลากรที่มีความเชี่ยวชาญด้านอนุชีววิทยาซึ่งมีจำนวนน้อย และใช้เวลาในการวิเคราะห์ค่อนข้างนาน (Ochwo et al., 2020) สำหรับเทคนิค Loop-mediated isothermal amplification (LAMP) เป็นเทคนิคทางอนุชีวโมเลกุล เพิ่มขยายปริมาณสารพันธุกรรมคล้ายกับเทคนิค PCR แต่จะมีข้อดีกว่าเนื่องใช้เวลาในการดำเนินการน้อยกว่าและมีความแม่นยำที่มากกว่าโดยปฏิกิริยาของ LAMP เกิดขึ้นได้ในอุณหภูมิคงที่ประมาณ 70 องศาเซลเซียส ใช้ระยะเวลาประมาณ 45 - 60 นาที โดยไม่จำเป็นต้องอาศัยเครื่องควบคุมอุณหภูมิขึ้นลง (Thermocycler) เทคนิค LAMP ยังสามารถอ่านผลได้ง่ายและหลากหลายวิธี โดยสามารถอ่านผลได้ด้วยตาเปล่าจากความขุ่นและยืนยันผลด้วยวิธีเจลอิเล็กโตรโฟรีซิส (Gel electrophoresis) สะดวกต่อการนำไปใช้ในภาคสนาม ทำให้สามารถวินิจฉัยเชื้อไวรัส LSDV ได้อย่างรวดเร็ว (Notomi et al., 2000) วัตถุประสงค์ของการวิจัยครั้งนี้เพื่อพัฒนาเทคนิค LAMP ในการตรวจวินิจฉัยเชื้อไวรัส LSDV เปรียบเทียบกับการตรวจวินิจฉัยด้วยเทคนิค PCR จากตัวอย่างโคที่มีการระบาดของโรค LSD ในพื้นที่ศึกษา

อุปกรณ์และวิธีการวิจัย

การเก็บตัวอย่าง

ตัวอย่างที่ใช้ในการศึกษาครั้งนี้จะแบ่งออกเป็น 1) ตัวอย่างเลือดที่ดูดเก็บจากเส้นเลือดดำที่คอหรือโคนหาง (3 มิลลิลิตร) ในหลอดเก็บเลือด EDTA 2) ตัวอย่างจากก้อนเนื้อผิวหนังที่ได้จากการขูดแบบปลอดเชื้อ (Skin scabs) วิธีการเก็บตัวอย่างปฏิบัติตามคำแนะนำของ OIE ตัวอย่างเชื้อไวรัส LSDV ถูกเก็บจากฟาร์มโคที่แสดงอาการของโรค LSD ในจังหวัดเพชรบุรี (Figure 1) ซึ่งตัวอย่างเชื้อไวรัส LSDV จะถูกเก็บจากโคจำนวน 100 ตัว โดยในการเก็บตัวอย่างได้รับความอนุเคราะห์ตัวอย่างจากสำนักงาน ปศุสัตว์จังหวัดเพชรบุรี กรมปศุสัตว์ ทั้งนี้การเก็บตัวอย่างจากสัตว์ดำเนินการตามขั้นตอนการปฏิบัติงานมาตรฐาน (Standard operating procedures, SOP) ของหน่วยงานราชการแต่ละหน่วยงาน โดยในการเก็บตัวอย่างเชื้อไวรัส LSDV ได้รับการได้รับการอนุมัติจากคณะกรรมการกำกับดูแลการเลี้ยงและใช้สัตว์เพื่องานทางวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศิลปากร (Project ID: 05/2565)



Figure 1 Clinical signs of lumpy skin disease in cattle in the study area. Generalized indigenous Ulcerative Nodular skin lesion covering whole body.

การสกัดดีเอ็นเอจากตัวอย่าง

การสกัดดีเอ็นเอจากเลือด

ใช้ชุด gSYNC™ DNA extraction kit (Geneaid, Taiwan)

โดยการดูดตัวอย่างเลือด 200 ไมโครลิตร ใส่ 1.5 มิลลิลิตร Microcentrifuge tube ปรับปริมาตร ที่ 200 ไมโครลิตร กับ PBS แล้วเติม Proteinase K ปริมาตร 20 ไมโครลิตร ผสมให้เข้ากัน บ่มที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เวลา 5 นาที จากนั้นเติม GSB Buffer ปริมาตร 200 ไมโครลิตร บ่มที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เวลา 5 นาที จับพลิกหลอดทุก ๆ 2 นาที เติม Absolute ethanol 200 ไมโครลิตร ลงในหลอดตัวอย่างทันที และเขย่าเป็นเวลา 10 วินาที หากเกิดตะกอน ให้ใช้ปิเปตดูดส่วนใสใส่ใน GS column ที่รองด้วย 2.0 มิลลิลิตร Microcentrifuge tube ปั่นที่ความเร็ว 14,000 รอบต่อนาที เป็นเวลา 1 นาที ทั้งหลอดตัวอย่าง แล้วย้าย GS column ไปยัง 2.0 มิลลิลิตร Microcentrifuge tube ใหม่ เติม W1A Buffer 400 ไมโครลิตร ใน GS column ที่รองด้วย 2.0 มิลลิลิตร Microcentrifuge tube ปั่นที่ความเร็ว 14,000 รอบต่อนาที เป็นเวลา 30 วินาที ย้าย GS column ไปยัง 2.0 มิลลิลิตร Microcentrifuge tube ใหม่ เติม Wash buffer 600 ไมโครลิตร ในหลอด GS column ปั่นที่ความเร็ว 14,000 รอบต่อนาที เป็นเวลา 30 วินาที ย้าย GS column ไปยัง 2.0 มิลลิลิตร Microcentrifuge tube ใหม่ ปั่นที่ความเร็ว 14,000 รอบต่อนาที เป็นเวลา 3 นาที ย้าย GS column ที่แห้งไปยังหลอด 1.5 มิลลิลิตร Microcentrifuge tube เติม pre-heated Elution buffer 100 ไมโครลิตร ใส่ TE buffer หรือ Water ในตรงกลาง Column matrix ตั้งทิ้งไว้อย่างน้อย 3 นาที เมื่อ TE buffer หรือ Water ละลายสมบูรณ์แล้ว นำไปปั่นที่ความเร็ว 14,000 รอบต่อนาที เป็นเวลา 30 วินาที จะได้ DNA ที่บริสุทธิ์ เก็บ Genomic DNA ที่อุณหภูมิ -20 องศาเซลเซียส (Zhang et al., 2006)

การสกัด DNA จากเนื้อเยื่อผิวหนัง (Tissue Genomic DNA)

ใช้ชุด gSYNC™ DNA extraction kit (Geneaid, Taiwan)

โดยนำเนื้อเยื่อผิวหนังอย่างน้อย 25 มิลลิกรัม ใส่ 1.5 มิลลิลิตร Microcentrifuge tube ถ้าตัวอย่างมีปริมาณเซลล์มาก ให้ลดปริมาตรลงเหลือ 10 mg เติม GST buffer 200 ไมโครลิตร และ เติม 20 ไมโครลิตร ของ Proteinase K หมุนวนให้ทั่ว บ่มที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส ใช้เวลาข้ามคืน นำมาปั่นที่ความเร็ว 14,000 รอบต่อนาที เป็นเวลา 2 นาที ย้ายส่วนที่เป็นของเหลวมาไว้ในหลอด 1.5 มิลลิลิตร Microcentrifuge tube เติม GSB buffer 200 ไมโครลิตร เขย่าให้เข้ากันเป็นเวลา 10 วินาที เติม Absolute ethanol 200 ไมโครลิตร ลงในหลอดตัวอย่างทันที และเขย่าเป็นเวลา 10 วินาที หากเกิดตะกอน ให้ใช้ปิเปตดูดส่วนใสใส่ใน GS column ที่รองด้วย 2.0 มิลลิลิตร Microcentrifuge tube ปั่นที่ความเร็ว 14,000 รอบต่อนาที เป็นเวลา 1 นาที ทั้งหลอดตัวอย่าง แล้วย้าย GS column ไปยัง 2.0 มิลลิลิตร Microcentrifuge tube ใหม่ เติม W1A buffer 400 ไมโครลิตร ใน GS column ที่รองด้วย 2.0 มิลลิลิตร Microcentrifuge tube ปั่นที่ความเร็ว 14,000 รอบต่อนาที เป็นเวลา 30 วินาที ย้าย GS Column ไปยัง 2.0 มิลลิลิตร Microcentrifuge tube ใหม่ เติม Wash buffer 600 ไมโครลิตร ในหลอด GS column ปั่นที่ความเร็ว 14,000 รอบต่อนาที เป็นเวลา 30 วินาที ย้าย GS column ไปยัง 2.0 มิลลิลิตร Microcentrifuge tube ใหม่ ปั่นที่ความเร็ว 14,000 รอบต่อนาที เป็น

เวลา 3 นาที ย้าย GS column ที่แห้งไปยังหลอด 1.5 มิลลิลิตร Microcentrifuge tube เติม pre-heated Elution buffer 100 ไมโครลิตร ใส่ TE buffer หรือ Water ในตรงกลาง Column matrix ตั้งทิ้งไว้อย่างน้อย 3 นาที เมื่อ TE Buffer หรือ Water ละลายสมบูรณ์แล้ว นำไปปั่นที่ความเร็ว 14,000 รอบต่อนาที เป็นเวลา 30 วินาที จะได้ DNA ที่บริสุทธิ์ เก็บ Genomic DNA ที่อุณหภูมิ -20 องศาเซลเซียส การเพิ่มปริมาณดีเอ็นเอด้วยวิธี Polymerase chain reaction (PCR)

นำดีเอ็นเอที่สกัดได้จากเลือดและเนื้อเยื่อผิวหนังมาเพิ่มปริมาณยีน GPCR ด้วยเทคนิค PCR โดยออกแบบไพรเมอร์ให้มีความจำเพาะต่อยีนที่จำเพาะต่อเชื้อไวรัส LSDV (GPCR) โดยใช้โปรแกรม Primer3 (You et al., 2008) เมื่อได้ไพรเมอร์ที่เหมาะสมแล้ว ในปฏิกิริยาจะมีการเตรียม PCR reaction mixture 25 ไมโครลิตร ประกอบด้วย Standard Taq reaction buffer 2.5 ไมโครลิตร, dNTPs 0.5 ไมโครลิตร และ Forward primer และ Reverse primer อย่างละ 0.5 ไมโครลิตร, Template DNA 1.0 ไมโครลิตร, Taq DNA Polymerase 0.2 ไมโครลิตร และ Nuclease free water 19.8 ไมโครลิตร หลังจากนั้นจะนำหลอด PCR ใส่ลงในเครื่องควบคุมอุณหภูมิและตั้งค่าอุณหภูมิเครื่องควบคุมอุณหภูมิ โดยเริ่มจากขั้นตอน Initial denaturation สายดีเอ็นเอให้เกิดการแยกสายออกจากกันเป็นสายเดี่ยวที่ 94 องศาเซลเซียส 5 นาที จากนั้นจึงเข้าสู่ขั้นตอนของการเพิ่มปริมาณสายดีเอ็นเอเป้าหมาย ทั้งหมด 35 รอบ Denaturation ที่ 94 องศาเซลเซียส 60 วินาที Annealing ที่ 50 องศาเซลเซียส 30 วินาที Extension ที่ 72 องศาเซลเซียส 60 วินาที หลังจากจบขั้นตอนนี้จะวนกลับไปยังกระบวนการที่ขั้นตอน Denaturation จนครบ 35 รอบ จะทำการสังเคราะห์ต่อไปที่ 72 องศาเซลเซียส อีก 5 นาที และคงรักษาอุณหภูมิไว้ที่ 4 องศาเซลเซียส หลังจากนั้นนำ PCR product ที่ได้ไปผสมกับ Loading dye และอ่านผลโดยวิธี Gel electrophoresis ผ่านร้อยละ 2 (w/v) Agarose gel และย้อม DNA ด้วย Ethidium bromide เปรียบเทียบขนาดของ DNA ที่ได้กับ 100 bp DNA ladder ตรวจสอบการเรืองแสงของ DNA โดย UV transilluminator เพื่อยืนยันการเพิ่มปริมาณของดีเอ็นเอเป้าหมาย

การเพิ่มปริมาณดีเอ็นเอด้วยวิธี Loop-mediated isothermal amplification (LAMP)

นำดีเอ็นเอที่สกัดได้จากเนื้อเยื่อผิวหนังมาเพิ่มปริมาณยีน สำหรับวินิจฉัยเชื้อไวรัส LSDV ด้วยเทคนิค LAMP โดยออกแบบไพรเมอร์ให้มีความจำเพาะต่อยีนที่จำเพาะต่อเชื้อไวรัส LSDV จากโปรแกรม PrimerExplorer (Tomita et al., 2008) เตรียม LAMP reaction mixture 25 ไมโครลิตร ประกอบด้วย 12.5 ไมโครลิตร ของ DNA master mix (LavaLAMP kit), target-specific primer mix ประกอบด้วย 0.5 ไมโครลิตร ของ F3 และ B3, 2.0 ไมโครลิตร ของ FIP และ BIP, 1.0 ไมโครลิตร ของ FLP และ BLP, 1.0 ไมโครลิตร ของ green fluorescent dye, 1.0 ไมโครลิตร ของ template DNA และ 3.5 ไมโครลิตร ของ Nuclease free water หลังจากนั้นใส่หลอดทดลองลงในเครื่อง Real-time fluorescent detector (Analytik Jena instruments) และตั้งอุณหภูมิเครื่องควบคุมอุณหภูมิ โดยเริ่มที่การ amplification ที่ 70 องศาเซลเซียส 60 นาที และคงรักษาอุณหภูมิไว้ที่ 4 องศาเซลเซียส โดย LAMP product สามารถนำมา

อ่านผลได้หลากหลายวิธี โดยสามารถอ่านได้จากค่าการเรืองแสงของสี ย้อม Green fluorescent dye ในช่องแสง FAM channel จากเครื่อง Real-time fluorescent detector และสามารถอ่านด้วยตาเปล่าจากความขุ่นของตะกอน Magnesium pyrophosphate สีขาวที่เกิดจากการทำปฏิกิริยา และสามารถอ่านผลได้จากการเรืองแสง Fluorescent ผ่านหลอด UV ด้วยตาเปล่า นอกจากนี้ LAMP product สามารถนำมายีนย่นผลผ่าน Gel ที่ร้อยละ 2 ของ Agarose gel electrophoresis

ศึกษาความจำเพาะ (Specificity) ของเทคนิค LAMP

นำ DNA ของเชื้อชนิดอื่น ได้แก่เชื้อ *E.coli*, *Staphylococcus aureus*, *Bacillus cereus* และ *Salmonella spp.* มาใช้ในการทำ LAMP reaction เพื่อหาความจำเพาะ โดยได้รับความอนุเคราะห์เชื้อบริสุทธิ์จากกลุ่มงานห้องปฏิบัติการจุลชีววิทยา คณะสัตวศาสตร์และเทคโนโลยีการเกษตร มหาวิทยาลัยศิลปากร

ศึกษาความไว (Sensitivity) ของเทคนิค PCR และเทคนิค LAMP

ศึกษาความไวในการวินิจฉัยเชื้อไวรัส LSDV ของเทคนิค LAMP และ PCR โดยการนำดีเอ็นเอที่สกัดได้ในแต่ละตัวอย่างมาเจือจางให้มีความเข้มข้นของดีเอ็นเอที่ลดลงในแต่ละหลอดทดลอง โดยยีน GPCR จะมีระดับความเข้มข้นของดีเอ็นเอทั้งหมด ที่ 44.5, 4.45, 0.44, 0.04, 0.004, 0.0004, 0.00004 และ 0.000004 ng/ μ l ตามลำดับ และใช้ดีเอ็นเอในแต่ละระดับการเจือจางมาเป็น Template ในการวินิจฉัยด้วยเทคนิค LAMP และ PCR เมื่อได้ผลการทดสอบความไวของแต่ละเทคนิคแล้ว นำผลมาวิเคราะห์และเปรียบเทียบเพื่อนำไปใช้ตรวจในภาคสนามได้

การวิเคราะห์และหาลำดับนิวคลีโอไทด์

ศึกษาลำดับนิวคลีโอไทด์ของยีน GPCR โดยนำข้อมูลของลำดับนิวคลีโอไทด์มาวิเคราะห์เปรียบเทียบความเหมือนและต่างกัน (Nucleotide alignment) กับข้อมูลลำดับนิวคลีโอไทด์ที่มีรายงานใน GenBank ตำแหน่งและเปรียบเทียบกับสายพันธุ์ LSDV โดยใช้ Geneious Prime (Kearse et al., 2012) และ โปรแกรม BioEdit (Hall, 1999)

การวิเคราะห์ของสายพันธุ์เชื้อไวรัส LSDV

วิเคราะห์โดยใช้โปรแกรม MEGA X (Kumar et al., 2021) ใช้สำหรับวิเคราะห์วิวัฒนาการสายพันธุ์เชื้อไวรัส LSDV ของยีน GPCR ในประเทศที่มีการระบาดของโรคล้มปี่ สกน เปรียบเทียบกับลำดับนิวคลีโอไทด์ของเชื้อไวรัส LSDV, SPPT และ GTPV อื่น ๆ ใน GenBank (Benson et al., 2013)

การวิเคราะห์ทางสถิติ

ทำการวิเคราะห์ข้อมูลโดยใช้สถิติเชิงพรรณนา (Descriptive statistics) เป็นค่าจำนวนนับ ร้อยละ ค่าเฉลี่ย และแสดงลักษณะทางพันธุกรรมของเชื้อไวรัส LSDV เป็น Phylogenetic tree โดยในการศึกษารุ่นนี้ทำการวิเคราะห์ข้อมูลด้วยโปรแกรม ไมโครซอฟท์ เอ็กเซล และโปรแกรม R (Table 1)

ผลและวิจารณ์ผลการวิจัย

การวินิจฉัยเชื้อไวรัส LSDV ด้วยเทคนิค LAMP

นำดีเอ็นเอตัวอย่างที่มีผลการวินิจฉัยด้วยเทคนิค PCR เป็นบวก มาเพิ่มปริมาณยีนสำหรับวินิจฉัยเชื้อไวรัส LSDV ด้วยเทคนิค LAMP โดยใช้เครื่อง Real-time fluorescent detector จากช่องแสง

FAM พบว่ามีการเพิ่มขึ้นของกราฟจากหลอดทดลอง (Figure 2) และเมื่อนำมาอ่านผลจากความชันของการทำปฏิกิริยาในหลอดทดลองด้วยตาเปล่า และอ่านผลจากการเรืองแสง Fluorescent ภายใต้หลอด UV พบว่าความชัน ในแต่ละหลอดทดลองมีความแตกต่างกันเพียงเล็กน้อยเท่านั้น โดยหลอดที่มีการเพิ่มขึ้นของกราฟจากการอ่านผลที่ช่องแสง FAM ด้วยเครื่อง Real-time fluorescent detector จะมีความชัน และเมื่อนำมาวัดค่าดูดกลืนแสง (Optical density, OD) ที่ความยาวคลื่น 600 nm ด้วยเครื่อง Spectrophotometer พบว่าหลอดทดลอง Positive control และ PCR+ มีค่า OD ที่สูงกว่าหลอดทดลองควบคุม (no-Template control) และหลอดที่ใส่ผล PCR เป็นลบ อ่านผลโดยร้อยละ 2 ของ Agarose gel electrophoresis (Figure 3)

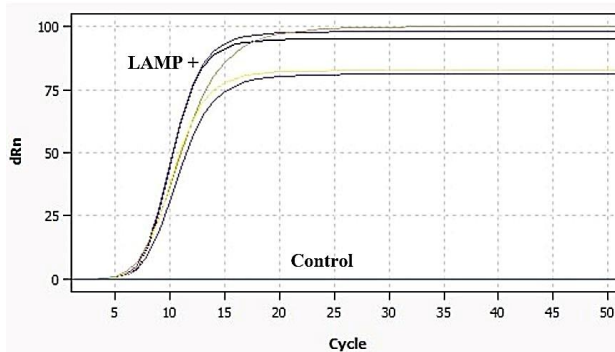


Figure 2 Analysis of LAMP technique by fluorescent assay in real-time fluorescent detector in the FAM channel.

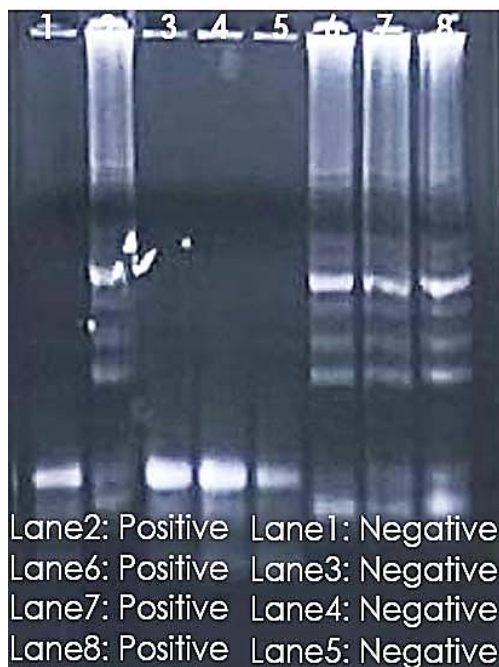


Figure 3 Analysis of the LAMP technique by running on a 2 % agarose gel electrophoresis showing the amplification products Lane 1: negative, lane 2: positive, lane 3: negative, lane 4: negative, lane 5: negative, lane 6: positive, lane 7: positive, lane 8: positive.

การศึกษาลำดับนิวคลีโอไทด์ของเชื้อไวรัส LSDV

วิเคราะห์ลำดับนิวคลีโอไทด์ของยีน GPCR จากตัวอย่างโดยใช้วิธีการวิเคราะห์ลำดับนิวคลีโอไทด์แบบ BTseq และเมื่อนำไปทำ Sequence alignment เพื่อดูความเหมือนและต่างกันของลำดับ

นิวคลีโอไทด์ และนำมาวิเคราะห์ในเชิงวิวัฒนาการของยีน GPCR ของเชื้อ LSDV, SPPV และ GTPV จากฐานข้อมูลใน GenBank พบว่ายีน GPCR ของตัวอย่างมีลำดับนิวคลีโอไทด์เหมือนกับเชื้อ LSDV/MW355944/China/2020 (Lu et al., 2021), LSDV/MW732649/Hong Kong/2020 (Flannery et al., 2022), LSDV/MN598005/Xinjiang/2019 (Zan et al., 2022) และ LSDV/MZ577073/Vietnam/2021 (Trinh et al., 2022) มากที่สุด โดยมีความเหมือนกันของลำดับนิวคลีโอไทด์ร้อยละ 100 มีความเหมือนกันกับสายพันธุ์อ้างอิง AF325528/Africa/Neethling/2490 (Chibssa et al., 2021) อยู่ร้อยละ 99.40 และเมื่อนำไปเปรียบเทียบกับเชื้อที่อยู่ในจีนัสเดียวกัน ได้แก่ KF661977/SPPV/China/2013 (Ma et al., 2022) และ JN596275/GTPV/China/2012 (Su et al., 2015) พบว่ามีความเหมือนกันอยู่ที่ร้อยละ 98 โดยมีความเหมือนกันของลำดับนิวคลีโอไทด์ร้อยละ 100 และมีความเหมือนของลำดับนิวคลีโอไทด์กับ LSDV/MN508357/China/2019 (Wang et al., 2022) และ LSDV/MN598006/Xinjiang/2019 (Zan et al., 2022) อยู่ที่ร้อยละ 99.90 และมีความเหมือนกันกับสายพันธุ์อ้างอิง LSDV/AF325528/Africa/Neethling/2490 (Chibssa et al., 2021) อยู่ร้อยละ 99.20 นอกจากนี้เมื่อนำไปเปรียบเทียบกับเชื้อที่อยู่ในจีนัสเดียวกัน ได้แก่ SPPV/KF661979/China/2013 (Yang et al., 2017) และ GTPV/KF495252/India/2015 (Kumar et al., 2021) พบว่ามีความเหมือนกันของลำดับนิวคลีโอไทด์ร้อยละ 95.60 และร้อยละ 96.40 ตามลำดับ (Figure 4)

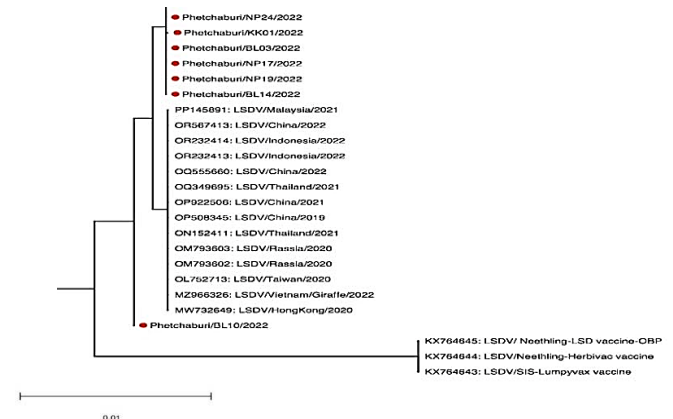


Figure 4 The neighbor-joining phylogenetic analyses of GPCR gene in cattle tissue sample with the GPCR gene sequences of LSDV, GTPV, and SPPV available in the GenBank.

การตรวจวินิจฉัยการติดเชื้อไวรัสโรคลัมปี สกิน (LSDV) ในโคด้วยเทคนิค Loop Mediated Isothermal Amplification (LAMP)

การศึกษความจำเพาะ (Specificity) ของเทคนิค LAMP ในการตรวจวินิจฉัยเชื้อไวรัส LSDVจากการตรวจความจำเพาะในตรวจเชื้อไวรัส LSDV ด้วยเทคนิค LAMP พบว่าสามารถตรวจเชื้อไวรัส LSDV ได้ทุกตัวอย่างที่ทดสอบโดยไม่เกิดปฏิกิริยาข้ามกับเชื้อ *E.coli*, *Staphylococcus aureus* และ *Bacillus cereus* (Figure 5)

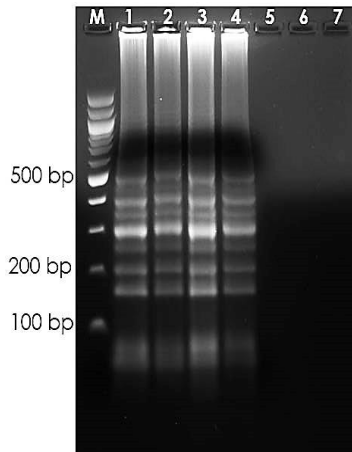


Figure 5 Specificity of LAMP assay to goat lumpy skin disease virus (LSDV), *E. coli*, *Staphylococcus aureus* and *Bacillus cereus*. Lane M: 100 bp DNA ladder, lanes 1-4: positive, lane 5: *E. coli*, lane 6: *Staphylococcus aureus* and lane 7: *Bacillus cereus*.

เปรียบเทียบความไว (Sensitivity) ของเทคนิค PCR และ LAMP ในการตรวจวินิจฉัยเชื้อไวรัส LSDV

นำตัวอย่างของโคที่แสดงอาการของโรค LSD มาสกัดดีเอ็นเอ และวัดปริมาณของดีเอ็นเอด้วย Nanodrop spectrophotometer (Eppendorf BioSpectrometer® basic, Germany) ก่อนที่จะนำไปหาค่าความไวในการตรวจวินิจฉัยของแต่ละเทคนิค โดยดีเอ็นเอที่สกัดได้มีปริมาณ 44.5 ng/μl หลังจากนั้นนำดีเอ็นเอที่สกัดได้มาเจือจางย่น GPCR ครึ่งละ 10 เท่า (Ten-fold dilution series) โดยมีระดับความเข้มข้นของดีเอ็นเอทั้งหมดในแต่ละหลอด ที่ 44.50, 4.45, 0.44, 0.04, 0.004, 0.0004 และ 0.00004 ng/μl ตามลำดับ และนำดีเอ็นเอที่สกัดได้และดีเอ็นเอที่เจือจางแล้วในแต่ละระดับไปทดสอบความไวในการตรวจวินิจฉัยเชื้อไวรัส LSDV ด้วยเทคนิค PCR และเทคนิค LAMP พบว่าเมื่อนำมาตรวจวินิจฉัยด้วยเทคนิค PCR และนำมาอ่านผลด้วยร้อยละ 2 ของ Agarose gel electrophoresis มีอัตราการตรวจพบดีเอ็นเอของยีน GPCR ที่มีความเข้มข้นน้อยที่สุดที่ 0.04 ng/μl (10^{-4} dilution) (Figure 6) เมื่อนำมาตรวจวินิจฉัยด้วยเทคนิค LAMP พบว่าอัตราการตรวจพบดีเอ็นเอที่มีความเข้มข้นของดีเอ็นเอที่น้อยที่สุดที่สามารถตรวจพบได้อยู่ที่ 0.004 ng/μl (10^{-5} dilution) ซึ่งสูงกว่าเทคนิค PCR (Figure 7)

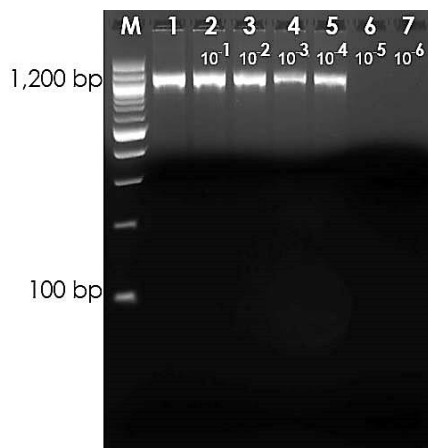


Figure 6 Sensitivity test of PCR assay in GPCR gene on 2 % agarose gel electrophoresis. Lane M: 100 bp DNA ladder, Lane 1: original DNA concentration 44.50 ng/μl, Lanes 2-6: ten-fold serially-diluted DNA at 4.45, 0.44, 0.04, 0.004, 0.0004 and 0.00004 ng/μl.

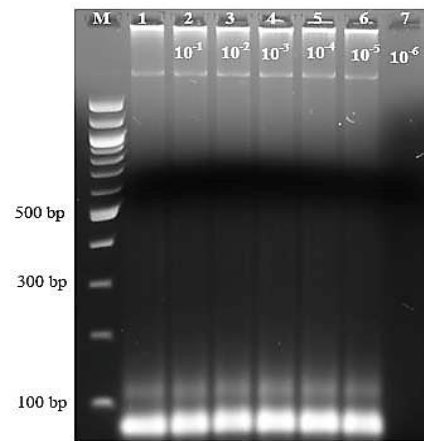


Figure 7 Sensitivity test of LAMP assay on 2 % agarose gel electrophoresis. Lane M: 100 bp DNA ladder, Lane 1: original DNA concentration 44.50 ng/μl, Lanes 2-6: ten-fold serially-diluted DNA at 4.45, 0.44, 0.04, 0.004, 0.0004 and 0.00004 ng/μl.

การเปรียบเทียบวิธีการตรวจวินิจฉัยโรค LSD ในตัวอย่างด้วยเทคนิค PCR กับ เทคนิค LAMP ในพื้นที่ศึกษา

ผลการตรวจวินิจฉัยเชื้อไวรัส LSDV จากตัวอย่างเลือด (จำนวน 100 ตัวอย่าง) และตัวอย่างเนื้อเยื่อผิวหนัง (จำนวน 86 ตัวอย่าง) ด้วยเทคนิค LAMP และเทคนิค PCR อ่านผลโดยร้อยละ 2 ของ Agarose gel electrophoresis พบว่าเทคนิค PCR จากตัวอย่างเลือดให้ผลบวก 26 ตัวอย่าง คิดเป็นร้อยละ 26 ตัวอย่างเนื้อเยื่อผิวหนังให้ผลบวก 80 ตัวอย่าง คิดเป็นร้อยละ 93 เมื่อนำดีเอ็นเอจากตัวอย่างต่าง ๆ มาเพิ่มปริมาณยีนด้วยเทคนิค LAMP และนำมาอ่านผลด้วยร้อยละ 2 ของ Agarose gel electrophoresis พบว่าตัวอย่างเลือดให้ผลบวก 36 ตัวอย่าง คิดเป็นร้อยละ 36 ตัวอย่างเนื้อเยื่อผิวหนังให้ผลบวก 83 ตัวอย่าง คิดเป็นร้อยละ 96.51 แสดงให้เห็นว่าเทคนิค LAMP สามารถตรวจวินิจฉัยหาเชื้อไวรัส LSDV ได้สูงกว่าเทคนิค PCR (Table 2)

โรค LSD เป็นโรคติดเชื้อไวรัสที่ก่อให้เกิดความเสียหายทางเศรษฐกิจในด้านการเลี้ยงปศุสัตว์ และการระบาดทำให้เกิดความสูญเสียทางเศรษฐกิจอย่างมากสำหรับปศุสัตว์และอุตสาหกรรมการผลิตโคทั่วโลก (Bamouh et al., 2021) มีการแพร่ระบาดของโรคอย่างรวดเร็วระหว่างสัตว์ผ่านแมลงที่เป็นพาหะเช่น ยุง (*Culex tritaeniorhynchus* และ *Aedes natiionus*) เห็บ (*Rhipicephalus appendiculatus* และ *Amblyomma hebraeum*) และแมลงวันกัด (*Stomoxys calcitrans* และ *Biomyia fasciata*) นอกจากนี้ โรค LSD สามารถแพร่เชื้อได้ทางน้ำเชื้อ นม และรกในแม่โคที่ติดเชื้ (Tuppurainen et al., 2005) อย่างไรก็ตามการสัมผัสโดยตรงในโคอาจเป็นสาเหตุของการแพร่เชื้อ LSD เพียงเล็กน้อย (Elhaig et al., 2017) ดังนั้นวิธีการตรวจวินิจฉัยที่รวดเร็วและแม่นยำจึงเป็นเป้าหมายสำคัญในการป้องกันการแพร่กระจายของ โรค LSD ในปัจจุบันใช้วิธีการตรวจวินิจฉัยและยืนยันผลด้วยเทคนิค PCR อย่างไรก็ตามการวินิจฉัยโรคด้วยเทคนิคนี้จะใช้เวลาที่ค่อนข้างนาน และต้องส่งตัวอย่างเข้าห้องปฏิบัติการที่มีเครื่องมือและบุคลากรที่มีความเชี่ยวชาญ ส่งผลให้เกิดการล่าช้าในการวินิจฉัยโรคและอาจก่อให้เกิดการสูญเสียที่มากขึ้นได้ สอดคล้องกับผลการวิจัย การเปรียบเทียบความไวของเทคนิค LAMP พบว่ามากกว่าเทคนิค PCR อยู่ 10 เท่า เมื่อเทียบกับระยะเวลาการอ่านผลพบว่าเทคนิค LAMP ใช้ระยะเวลาประมาณ 30-45 นาที ซึ่งเทคนิค PCR ใช้

ระยะเวลาประมาณ 3-5 ชั่วโมง และต้องใช้วิธีการที่ยุงยากในการอ่านผล ซึ่งแตกต่างจากเทคนิค LAMP ใช้การอ่านผลจากความขุ่นหรือการเปลี่ยนสีของปฏิกิริยาในหลอดทดลอง ทำให้มีความจำเป็นที่จะต้องมีการพัฒนาเทคนิคการตรวจวินิจฉัยโรค LSD ที่รวดเร็วและแม่นยำ ซึ่งจะสามารถช่วยลดระยะเวลาในการวินิจฉัยและยังสามารถลดการสูญเสียได้อีกด้วย การวินิจฉัยเชื้อไวรัส LSDV ด้วยเทคนิค PCR ในการตรวจหาชิ้น GPCR จากตัวอย่าง โดยพบว่าชิ้น GPCR เป็นยีนที่เกี่ยวข้องกับการกระตุ้นให้เกิดการเพิ่มจำนวนเซลล์ในบริเวณรอยโรคและกดภูมิคุ้มกันของโฮสต์ให้ต่ำลงในขณะติดเชื้อ (El-Tholoth & El-Kenawy, 2016) ในปัจจุบันจึงเป็นยีนที่นิยมนำมาใช้ในการเพิ่มปริมาณดีเอ็นเอเพื่อวินิจฉัยหาเชื้อไวรัส LSDV (El-Kholy et al., 2008)

ปัจจุบันนี้ชิ้น GPCR นิยมนำมาใช้กันอย่างแพร่หลายในการตรวจหาระดับโมเลกุลของเชื้อไวรัส LSDV ในโคและกระบือ (Cêtre-Sossah et al., 2017) ตัวอย่างที่นำมาตรวจมีรายงานพบว่าอัตราการตรวจพบเชื้อไวรัส LSDV สูงในตัวอย่างเนื้อเยื่อผิวหนังที่พบรอยโรค (Awad et al., 2010) ซึ่งสูงกว่าตัวอย่างจากเลือดสดคล่องกับรายงานวิจัยที่มีการศึกษาพบว่าเนื้อเยื่อผิวหนังที่พบในโคที่แสดงอาการป่วยของโรค LSD เชื้อไวรัสสามารถที่มีชีวิตอยู่ได้นานถึง 35 วัน และการตรวจพบดีเอ็นเอของเชื้อไวรัสพบได้นานถึง 3 เดือน ทำให้สรุปได้ว่าการเก็บตัวอย่างเพื่อการวินิจฉัยเชื้อไวรัส LSDV จากตัวอย่างเลือดนั้นจะต้องเก็บในระหว่างการติดเชื้อในกระแสเลือดโดยปกติแล้วมีระยะเวลาสั้น ๆ ประมาณ 4-11 วัน หลังการติดเชื้อไวรัส LSDV จะเพิ่มปริมาณของเชื้อไวรัสที่เนื้อเยื่อผิวหนัง (Tuppurainen et al., 2005) ดังนั้นเนื้อเยื่อบริเวณผิวหนังจึงเป็นตัวอย่างที่ดีสำหรับการตรวจวินิจฉัยหาเชื้อไวรัส LSDV มากกว่าตัวอย่างจากเลือด

ในการศึกษาลำดับนิวคลีโอไทด์ของเชื้อไวรัส LSDV จากชิ้น GPCR พบว่าลำดับนิวคลีโอไทด์เหมือนกันกับเชื้อไวรัส LSDV ที่พบในประเทศจีน ประเทศเวียดนาม และฮ่องกง โดยอาจเป็นไปได้ว่าการระบาดในประเทศไทยเกิดจากการนำเข้าโคที่ติดเชื้อมาจากประเทศดังกล่าวหรือเกิดจากการนำเข้าโคติดเชื้อไวรัส LSDV มาจากแหล่งที่มาเดียวกับประเทศดังกล่าว จึงส่งผลให้เชื้อไวรัส LSDV ที่พบในจังหวัดเพชรบุรีมีพันธุกรรมเหมือนกับเชื้อไวรัส LSDV ที่พบในประเทศจีน ประเทศเวียดนาม และฮ่องกง นอกจากนี้ลำดับนิวคลีโอไทด์ของเชื้อไวรัส LSDV ที่ศึกษาถึงความแตกต่างกับสายพันธุ์อ้างอิงจากประเทศแอฟริกา (Neethling strain) เล็กน้อย ซึ่งเป็นประเทศที่ได้มีการเริ่มระบาดของโรค LSD ในช่วงแรกใน ปีค.ศ. 1929-1988 คาดว่าเกิดจากการระบาดของโรค LSD นั้นมีการแพร่กระจายออกไปในหลายประเทศเป็นระยะเวลานาน ซึ่งจะเกิดการกลายพันธุ์ของเชื้อไวรัส LSDV มาโดยตลอดระยะเวลาการระบาด จนกระทั่งเมื่อมีการเข้ามาระบาดของโรคในทวีปเอเชียรวมถึงประเทศไทยทำให้เชื้อไวรัส LSDV ที่พบในจังหวัดเพชรบุรีและประจวบคีรีขันธ์มีการกลายพันธุ์จนมีพันธุกรรมที่แตกต่างจากเชื้อ LSDV สายพันธุ์อ้างอิงและคาดว่าเชื้อไวรัส LSDV ที่ระบาดในจังหวัดเพชรบุรีและประจวบคีรีขันธ์ไม่ได้เกิดจากการติดเชื้อจากวัคซีนป้องกันโรค LSD ที่เป็นวัคซีนประเภทเชื้อเป็นอ่อนฤทธิ์ (Live attenuated virus vaccine) เนื่องจากวัคซีนที่ใช้ในจังหวัดเพชรบุรีและจังหวัดประจวบคีรีขันธ์เป็นวัคซีนสายพันธุ์ Neethling-type (MSD Animal Health) หากการระบาดในจังหวัด

เพชรบุรีและจังหวัดประจวบคีรีขันธ์เกิดจากวัคซีนที่ใช้พันธุกรรมของเชื้อไวรัส LSDV ควรจะเหมือนกันกับ Neethling strain จากประเทศแอฟริกามากที่สุด

การหาความจำเพาะของการตรวจเชื้อไวรัส LSDV ด้วยเทคนิค LAMP ในงานวิจัยครั้งนี้ พบว่ามีความจำเพาะสูงเนื่องจากไม่เกิดปฏิกิริยาข้าม (Cross reaction) กับเชื้อชนิดอื่น ๆ ที่ใช้ทดสอบ (Chu et al., 2011) การเปรียบเทียบความไวในการตรวจวินิจฉัยของเทคนิค PCR และเทคนิค LAMP พบว่าเทคนิค LAMP มีความไวในการตรวจวินิจฉัยสูงกว่าเทคนิค PCR ทั้งนี้อาจจะขึ้นกับการออกแบบไพรเมอร์ในเทคนิค LAMP ให้มีความจำเพาะที่สูงต่อยีนที่เป็นเป้าหมาย จึงทำให้สามารถวินิจฉัยเชื้อไวรัสได้ในตัวอย่างที่มีปริมาณของดีเอ็นเอน้อย เนื่องจากผลการทดสอบความไวในการตรวจวินิจฉัยบ่งบอกว่าเทคนิค LAMP มีความไวสูง ซึ่งส่งผลให้สามารถพัฒนาเทคนิค LAMP เพื่อที่จะนำไปวินิจฉัยโรคได้มากขึ้น ในภาคสนามได้ การอ่านผลจากความขุ่นของการทำปฏิกิริยาในหลอดทดลองด้วยตาเปล่าของเทคนิค LAMP พบว่าในทุกหลอดทดลองมีความขุ่นที่ใกล้เคียงกันแต่เมื่อนำมาวัดค่าดูดกลืนแสง (Optical density, OD) ที่ความยาวคลื่น 600 nm ด้วยเครื่อง Spectrophotometer พบว่าหลอดที่มีการเพิ่มขึ้นของกราฟจากการอ่านผลที่ช่องแสง FAM ด้วยเครื่อง Real-time fluorescent detector จะมีค่า OD ที่สูงกว่าหลอดที่ไม่มีการเพิ่มขึ้นของกราฟ ซึ่งผลการอ่านค่าความขุ่นจากค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 600 nm สอดคล้องกับการอ่านผลจากกราฟด้วยเครื่อง Real-time fluorescent detector เมื่อนำมาอ่านผลโดยร้อยละ 2 ของ Agarose gel electrophoresis พบว่าสามารถแยกผลการทดสอบได้ชัดเจน สอดคล้องกับงานวิจัยที่มีรายงานไว้พบว่าเทคนิค LAMP มีความไวที่ระดับ 10^{-5} ng/ μ l และไม่ทำปฏิกิริยากับเชื้อชนิดอื่น ๆ (Mwanandota et al., 2018)

การศึกษาตัวอย่างที่มีการระบาดของโรคได้มากขึ้นในพื้นที่ศึกษา เพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพและยืนยันการติดเชื้อไวรัส LSDV ด้วยเทคนิค PCR และเทคนิค LAMP โดยใช้ตัวอย่างจากเนื้อเยื่อผิวหนังและตัวอย่างเลือดที่เก็บในโคเนื้อที่แสดงอาการป่วยโรค LSD พบว่าการตรวจด้วยเทคนิค LAMP ให้ผลบวกทั้งในตัวอย่างเลือดและตัวอย่างจากเนื้อเยื่อผิวหนังสูงกว่าเทคนิค PCR สอดคล้องกับรายงานที่มีตรวจพบในประเทศรัสเซีย (Sprygin et al., 2018) และประเทศอาเซอร์ไบจาน (Zeynalova et al., 2016) ข้อสังเกตที่ได้จากการศึกษาในครั้งนี้พบว่าการตรวจตัวอย่างเลือดให้ผลบวกต่ำกว่าตัวอย่างเนื้อเยื่อผิวหนังมากเมื่อตรวจด้วยทั้งเทคนิค LAMP และเทคนิค PCR สอดคล้องกับรายงานวิจัยที่มีการศึกษาพบว่าเนื้อเยื่อผิวหนังที่พบในโคที่แสดงอาการป่วยโรค LSD เชื้อไวรัสสามารถมีชีวิตอยู่ได้นานถึง 35 วัน และสามารถตรวจพบดีเอ็นเอของเชื้อไวรัสได้จนถึง 3 เดือน ทำให้สรุปได้ว่าการเก็บตัวอย่างเพื่อการวินิจฉัยเชื้อไวรัส LSDV จากตัวอย่างเลือดนั้นจะต้องเก็บในระหว่างการติดเชื้อในกระแสเลือดโดยปกติแล้วจะมีระยะเวลาสั้น ๆ ประมาณ 4-11 วัน หลังการติดเชื้อไวรัส LSDV หลังจากนั้นปริมาณของเชื้อไวรัสจะเพิ่มปริมาณที่เนื้อเยื่อผิวหนัง (Tuppurainen et al., 2005) ดังนั้นเนื้อเยื่อบริเวณผิวหนังที่เกิดการรอยโรคจึงเป็นตัวอย่างที่ดีสำหรับการตรวจวินิจฉัยหาเชื้อไวรัส LSDV ด้วยเทคนิค LAMP มากกว่าตัวอย่างจากเลือด

สรุปผลการวิจัย

การพัฒนาเทคนิค Loop-mediated isothermal amplification (LAMP) สำหรับตรวจวินิจฉัยเชื้อไวรัส LSDV ที่ก่อโรคล้มปี่ สกิ้นในโค จากผลการทดลองสรุปได้ว่าสามารถนำเทคนิค LAMP มาตรวจวินิจฉัยเชื้อไวรัส LSDV ได้โดยเทคนิค LAMP มีความจำเพาะสูงโดยไม่ทำปฏิกิริยาข้ามกับเชื้ออื่น ๆ เมื่อเปรียบเทียบความไวในการตรวจวินิจฉัยสูงกว่าเทคนิค PCR อีกด้วย การพัฒนาเทคนิค LAMP เพื่อใช้ในการตรวจวินิจฉัยโรค LSD จำเป็นที่จะต้องคำนึงถึงเรื่องการปนเปื้อนเป็นอย่างมาก เนื่องจากเทคนิค LAMP มีความจำเพาะและความไวที่ค่อนข้างสูง อาจก่อให้เกิดผลบวกปลอม (False positive) ได้นอกจากนี้ยังต้องคำนึงถึงการออกแบบไพรเมอร์ 4-6 สาย ให้มีความจำเพาะต่อยีนเป้าหมาย ซึ่งหากเริ่มปฏิกิริยาแล้วไพรเมอร์มีการจับกันเอง (Primer dimer) ก็จะมีผลให้เกิดผลบวกปลอมได้เช่นกัน ทั้งนี้การพัฒนาเทคนิค LAMP ในการวินิจฉัยโรคจากงานวิจัยนี้เป็นเพียงต้นแบบเท่านั้น ในการนำไปใช้จริงในภาคสนามจะต้องมีการ

พัฒนาเพิ่มเติมในด้านของการลดต้นทุนของชุดตรวจ และการเพิ่มความสะดวกและรวดเร็วในการวินิจฉัยโรคอีกด้วย

กิตติกรรมประกาศ

โครงการวิจัยเรื่อง การพัฒนาเทคนิค LAMP เพื่อตรวจหาเชื้อไวรัส โรค ล้มปี่ สกิ้น ในโค ขอขอบคุณ สำนักวิจัยและพัฒนาการอาชีวศึกษา สำนักงานคณะกรรมการการอาชีวศึกษา ที่สนับสนุนทุนการวิจัยด้านวิทยาศาสตร์ วิจัยและนวัตกรรม ทำให้โครงการวิจัยในครั้งนี้สำเร็จลุล่วงตามวัตถุประสงค์และให้โอกาสได้เรียนรู้สิ่งใหม่ ๆ แนวทางในการแก้ไขปัญหาต่าง ๆ รวมถึงให้ความเชื่อมั่นในการทำงาน จนทำให้สามารถดำเนินงานวิจัยไปได้อย่างราบรื่น

ขอขอบคุณ คณะสัตวศาสตร์และเทคโนโลยีการเกษตร มหาวิทยาลัยศิลปากร วิทยาเขตสารสนเทศเพชรบุรี สำหรับการอนุเคราะห์ห้องปฏิบัติการ วัสดุและอุปกรณ์สำหรับงานวิจัยในครั้งนี้

Table 1 Target genes for primers and their sequences

Target gene	Primer	Length	Sequence (5'-3')
LAMP	FIP	44	ACAAAGAGCATTACATAATCCAGAATAGAAAAATCAGGAGGTGT
	BIP	47	ACAAAAGAGGCCAAAAAGTTCTATTGCAGAAATTTTATATCCGCATCG
	F3	22	AAGTTACTTATATGCGAAAAGG
	B3	23	GTGTTATCATCTTCTATAACAAC
	FLP	14	CTGTAAAAATTTTCA
GPCR	BLP	15	AACACTTTAGTTTAT
	Forward	25	CCAATGCTAATACTACCAGCACTAC
	Reverse	22	CTTAGTACAGTTAGTAGCAACC

Table 2 The results of LAMP and PCR assays for LSDV for samples from study area

Sites	Tissue detected positive					Blood detected positive				
	Tissue	Blood	PCR	LAMP	PCR %	LAMP %	PCR	LAMP	PCR %	LAMP %
Ban Lat	38	38	35	36	92.10	94.73	11	15	28.94	39.47
Tha Yang	18	22	16	17	88.88	94.44	5	7	22.72	31.81
Kaeng Krachan	15	20	14	15	93.33	100.00	4	6	25.00	30.00
Nong Ya Pong	15	20	15	15	100.00	100.00	6	8	30.00	40.00
Total	86	100	80	86	93.00	96.51	26	36	26.00	36.00

References

- Abutarbush, S. M., Ababneh, M. M., Al Zoubi, I. G., Al Sheyab, O. M., Al Zoubi, M. G., Aleksh, M. O., & Al Gharabat, R. J. (2015). Lumpy skin disease in Jordan: disease emergence, clinical signs, complications and preliminary-associated economic losses. *Transboundary and Emerging Diseases*, 62(5), 549-554. doi: 10.1111/tbed.12177
- Arjkumpa, O., Suwannaboon, M., Boonrawd, M., Punyawan, I., Laobannu, P., Yantaphan, S., Bungwai, A., Ponyium, V., Suwankitwat, N., Boonpomprasert, P., Nuansrichay, B., Kaewkalong, S., Ounpomma, D., Charoenlarp, W., Pamaranon, N., Prakotcheo, R., Buameetoo, N., Punyapornwithaya, V., & Songkasupa, T. (2021). First emergence of lumpy skin disease in cattle in Thailand, 2021. *Transboundary and Emerging Diseases*, 68(6), 3002-3004. doi: 10.1111/tbed.14246
- Awad, W. S., Ibrahim, A. K., Mahran, K., Fararh, K. M., & Abdel Moniem, M. I. (2010). Evaluation of different diagnostic methods for diagnosis of lumpy skin disease in cows. *Tropical Animal Health and Production*, 42(4), 777-783. doi: 10.1007/s11250-009-9486-5
- Bamouh, Z., Hamdi, J., Fellahi, S., Khayi, S., Jazouli, M., Tadlaoui, K. O., Fihri, O. F., Tuppurainen, E., & Elharrak, M. (2021). Investigation of post vaccination reactions of two live attenuated vaccines against lumpy skin disease of cattle. *Vaccines (Basel)*, 9(6), 621. doi: 10.3390/vaccines9060621

- Benson, D. A., Cavanaugh, M., Clark, K., Karsch-Mizrachi, I., Lipman, D. J., Ostell, J., & Sayers, E. W. (2013). GenBank. *Nucleic Acids Research*, 41(D1), D36-D42. doi: 10.1093/nar/gks1195
- Cêtre-Sossah, C., Dickmu, S., Kwiatek, O., & Albina, E. (2017). A G-protein-coupled chemokine receptor: a putative insertion site for a multi- pathogen recombinant capripoxvirus vaccine strategy. *Journal of Immunological Methods*, 448, 112-115. doi: 10.1016/j.jim.2017.05.007
- Chibssa, T. R., Sombo, M., Lichoti, J. K., Adam, T. I. B., Liu, Y., Elraouf, Y. A., Grabherr, R., Settypalli, T. B. K., Berguido, F. J., Loitsch, A., Sahle, M., Cattoli, G., Diallo, A., & Lamien, C. E. (2021). Molecular analysis of East African lumpy skin disease viruses reveals a mixed isolate with features of both vaccine and field isolates. *Microorganisms*, 9(6), 1142. doi: 10.3390/microorganisms 9061142
- Chu, Y., Yan, X., Gao, P., Zhao, P., He, Y., Liu, J., & Lu, Z. (2011). Molecular detection of a mixed infection of Goatpox virus, Orf virus, and *Mycoplasma capricolum* subsp. capripneumoniae in goats. *Journal of Veterinary Diagnostic Investigation*, 23(4), 786-789. doi: 10.1177/1040638711407883
- Elhaig, M. M., Selim, A., & Mahmoud, M. (2017). Lumpy skin disease in cattle: frequency of occurrence in a dairy farm and a preliminary assessment of its possible impact on Egyptian buffaloes. *Onderstepoort Journal of Veterinary Research*, 84(1), e1-e6. doi: 10.4102/ojvr.v84i1.1393
- El-Kholy, A. A., Soliman, H. M. T., & Abdelrahman, K. A. (2008). Polymerase chain reaction for rapid diagnosis of a recent lumpy skin disease virus incursion to Egypt. *Arab Journal of Biotechnology*. 11(2), 293-302.
- El-Tholoth, M., & El-Kenawy, A. A. (2016). G-protein-coupled chemokine receptor gene in lumpy skin disease virus isolates from cattle and water buffalo (*Bubalus bubalis*) in Egypt. *Transboundary and Emerging Diseases*, 63(6), e288-e295. doi: 10.1111/tbed.12344
- Flannery, J., Shih, B., Haga, I. R., Ashby, M., Corla, A., King, S., Freimanis, G., Polo, N., Tse, A. C. N., Brackman, C. J., Chan, J., Pun, P., Ferguson, A. D., Law, A., Lycett, S., Batten, C., & Beard, P. M. (2022). A novel strain of lumpy skin disease virus causes clinical disease in cattle in Hong Kong. *Transboundary and Emerging Diseases*, 69(4), e336-e343. doi: 10.1111/tbed.14304
- Gari, G., Waret-Szkuta, A., Grosbois, V., Jacquet, P., & Roger, F. (2010). Risk factors associated with observed clinical lumpy skin disease in Ethiopia. *Epidemiology & Infection*, 138(11), 1657-1666. doi: 10.1017/S0950268810000506
- Hall, T. A. (1999). BioEdit: a user-friendly biological sequence alignment editor and analysis program for Windows 95/98/NT. *Nucleic Acids Symposium Series*, 41(41), 95-98.
- Kearse, M., Moir, R., Wilson, A., Stones-Havas, S., Cheung, M., Sturrock, S., Buxton, S., Cooper, A., Markowitz, S., Duran, C., Thierer, T., Ashton, B., Meintjes, P., & Drummond, A. (2012). Geneious basic: an integrated and extendable desktop software platform for the organization and analysis of sequence data. *Bioinformatics*, 28(12), 1647-1649. doi:10.1093/bioinformatics/bts199
- Kumar, N., Chander, Y., Kumar, R., Khandelwal, N., Riyesh, T., Chaudhary, K., Shanmugasundaram, K., Kumar, S., Kumar, A., Gupta, M. K., Pal, Y., Barua, S., & Tripathi, B. N. (2021). Isolation and characterization of lumpy skin disease virus from cattle in India. *PLoS One*, 16(1), e0241022. doi: 10.1371/journal.pone.0241022
- Lu, G., Xie, J., Luo, J., Shao, R., Jia, Kun, J., & Li, S. (2021). Lumpy skin disease outbreaks in China, since 3 August 2019. *Transboundary and Emerging Diseases*, 68(2), 216-219. doi: 10.1111/tbed.13898
- Ma, J., Yuan, Y., Shao, J., Sun, M., He, W., Chen, J., & Liu, Q. (2022). Genomic characterization of lumpy skin disease virus in southern China. *Transboundary and Emerging Diseases*, 69(5), 2788-2799. doi: 10.1111/tbed.14432
- Mwanandota, J. J., Macharia, M., Ngeleja, C. M., Sallu, R. S., Yongolo, M. G., Mayenga, C., & Holton, T. A. (2018). Validation of a diagnostic tool for the diagnosis of lumpy skin disease. *Veterinary Dermatology*, 29(6), 532-e178. doi: 10.1111/vde.12690
- Notomi, T., Okayama, H., Masubuchi, H., Yonekawa, T., Watanabe, K., Amino, N., & Hase, T. (2000). Loop-mediated isothermal amplification of DNA. *Nucleic Acids Research*. 28(12), e63-e63. doi: 10.1093/nar/28.12.e63
- Ochwo, S., VanderWaal, K., Ndekezi, C., Nkamwesiga, J., Munsey, A., Witto, S. G., Nantima, N., Mayanja, F., Okurut, A. R. A., Atuhare, D. K., & Mwiine, F. N. (2020). Molecular detection and phylogenetic analysis of lumpy skin disease virus from outbreaks in Uganda 2017–2018. *BMC Veterinary Research*, 16(1), 1-10. doi: 10.1186/s12917-020-02288-5
- Sprygin, A., Artyuchova, E., Babin, Y., Prutnikov, P., Kostrova, E., Byadovskaya, O., & Kononov, A. (2018). Epidemiological characterization of lumpy skin disease outbreaks in Russia in 2016. *Transboundary and Emerging Diseases*, 65(6), 1514-1521. doi: 10.1111/tbed.12889

- Su, H. L., Jia, H. J., Yin, C., Jing, Z. Z., Luo, X. N., & Chen, Y. Y. (2015). Phylogenetic analysis of Gansu sheep pox virus isolates based on P32, GPCR, and RPO30 genes. *Genetics and Molecular Research*, 14(1), 1887-1898. doi: 10.4238/2015.March.13.17
- Sudhakar, S. B., Mishra, N., Kalaiyarasu, S., Jhade, S. K., Hemadri, D., Sood, R., Bal, G. C., Nayak, M. K., Pradhan, S. K., & Singh, V. P. (2020). Lumpy skin disease (LSD) outbreaks in cattle in Odisha state, India in August 2019: epidemiological features and molecular studies. *Transboundary and Emerging Diseases*, 67(6), 2408-2422. doi: 10.1111/tbed.13579
- Tomita, N., Mori, Y., Kanda, H., & Notomi, T. (2008). Loop-mediated isothermal amplification (LAMP) of gene sequences and simple visual detection of products. *Nature Protocols*, 3(5), 877-882. doi: 10.1038/nprot.2008.57
- Tran, H. T. T., Truong, A. D., Dang, A. K., Ly, D. V., Nguyen, C. T., Chu, N. T., Van Hoang, T., Nguyen, H. T., Nguyen, V. T., & Dang, H. V. (2021). Lumpy skin disease outbreaks in Vietnam, 2020. *Transboundary and Emerging Diseases*, 68(3), 977-980. doi: 10.1111/tbed.14022
- Trinh, T. B. N., Nguyen, V. T., Nguyen, T. T. H., Mai, N. T. A., Le, P. N., Lai, T. N. H., Phan, T. H., Tran, D. H., Pham, N. T., Dam, V. P., Nguyen, T. L., Ambagala, A., Babiuk, S., & Le, V. P. (2022). Molecular and histopathological characterization of lumpy skin disease in cattle in northern Vietnam during the 2020–2021 outbreaks. *Archives of Virology*, 167(11), 2143-2149. doi: 10.1007/s00705-022-05533-4
- Tuppurainen, E. S. M., & Oura, C. A. L. (2012). Review: lumpy skin disease: an emerging threat to Europe, the Middle East and Asia. *Transboundary and Emerging Diseases*, 59(1), 40-48. doi: 10.1111/j.1865-1682.2011.01242.x
- Tuppurainen, E. S. M., Venter, E. H., & Coetzer, J. A. W. (2005). The detection of lumpy skin disease virus in samples of experimentally infected cattle using different diagnostic techniques. *Onderstepoort Journal of Veterinary Research*, 72(2), 153-164. doi: 10.4102/ojvr.v72i2.213
- Wang, Y., Zhao, L., Yang, J., Shi, M., Nie, F., Liu, S., Wang, Z., Huang, D., Wu, H., Li, D., Lin, H., & Li, Y. (2022). Analysis of vaccine-like lumpy skin disease virus from flies near the western border of China. *Transboundary and Emerging Diseases*, 69(4), 1813-1823. doi: 10.1111/tbed.14159
- Yang, Y., Qin, X., Zhang, X., Zhao, Z., Zhang, W., Zhu, X., Cong, G., Li, Y., & Zhang, Z. (2017). Development of real-time and lateral flow dipstick recombinase polymerase amplification assays for rapid detection of goatpox virus and sheeppox virus. *Virology Journal*, 14(1), 131. doi: 10.1186/s12985-017-0792-7
- You, F. M., Huo, N., Gu, Y. Q., Luo, M.-C., Ma, Y., Hane, D., Lazo, G. R., Dvorak, J., & Anderson, O. D. (2008). BatchPrimer3: a high throughput web application for PCR and sequencing primer design. *BMC Bioinformatics*, 9(1), 253. doi: 10.1186/1471-2105-9-253
- Zan, X., Huang, H., Guo, Y., Di, D., Fu, C., Wang, S., Wu, Y., Wang, J., Ma, Y., Chai, C., Su, R., Song, Q., & Wang, W. (2022). Molecular characterization of a novel subgenotype of lumpy skin disease virus strain isolated in Inner Mongolia of China. *BMC Veterinary Research*, 18(1), 295. doi: 10.1186/s12917-022-03383-5
- Zeynalova, S., Asadov, K., Guliyev, F., Vatani, M., & Aliyev, V. (2016). Epizootology and molecular diagnosis of lumpy skin disease among livestock in Azerbaijan. *Frontiers in Microbiology*, 7, 1022. doi: 10.3389/fmicb.2016.01022
- Zhang, B. W., Li, M., Ma, L. C., & Wei, F. W. (2006). A widely applicable protocol for DNA isolation from fecal samples. *Biochemical Genetics*, 44(11-12), 503-512. doi: 10.1007/s10528-006-9050-1

Research article

Development of LAMP technique for detection on lumpy skin disease virus in cattle

Teerayut Chawut^{1*} Orapun Arjkumpa² Teerajet Laohasatian³ Pawat Seritrakul³
and Narin Preyavichyapugdee³

¹ Animal Science College of Agriculture and Technology Phetchaburi, Cha-am District, Phetchaburi Province, 76120

² The 4th Regional Livestock office, Mueang District, Khon Kaen Province, 40000

³ Animal Sciences and Agricultural Technology, Silpakorn University, Cha-am District, Phetchaburi Province 76120

ARTICLE INFO**Article history**

Received: 17 April 2024

Revised: 9 July 2024

Accepted: 27 July 2024

Online published: 21 August 2024

Keyword

Lumpy skin disease virus (LSDV)

Loop-mediated isothermal amplification
technique

Polymerase

chain reaction technique

Specificity

Sensitivity

ABSTRACT

Lumpy skin disease (LSD), caused by a virus of the genus *Capripoxvirus* (CaPVs), represents a significant economic concern in cattle livestock management. LSD has the potential for rapid transmission, facilitated by blood-sucking insects that serve as vectors for the virus (LSDV). Additionally, transmission can occur through direct contact with infected animals, via the semen of an infected breeder, or transplacentally. The disease is characterized by fever, enlarged lymph nodes, firm and circumscribed nodules on the skin, and ulcerative lesions, particularly on the mucous membranes of the mouth. A key to preventing the spread of LSDV in cattle is rapid and accurate detection. Loop-mediated isothermal amplification (LAMP) assay is a novel technique that works by amplifying the specific target nucleic acid at a constant temperature, which is simple, fast, and easy to use in the field. The objective of this study was to develop a prototype LAMP assay to detect LSDV from various cattle samples and compare it to the conventional PCR assay. The results indicated that, of the 186 samples collected (comprising 100 EDTA blood samples and 86 skin scab samples) from cattle exhibiting clinical signs of lumpy skin disease (LSD), 56.98 % (106/186) tested positive for LSDV using the PCR assay. In contrast, 63.97 % (119/186) tested positive for LSDV using the LAMP assay, suggesting that the LAMP assay demonstrates higher sensitivity compared to the conventional PCR assay. Moreover, sensitivity analysis showed a detection limit of 10^{-5} ng/ μ L. The specificity analysis test showed no cross-detection with other infectious agents. Additionally, the nucleotide alignment was 100 % identical to the LSDV strains from China, Hong Kong, and Vietnam. The LAMP assay detailed in this report is simple, cost-effective, highly sensitive, and particularly well-suited for the diagnosis of LSDV in laboratories with limited equipment and in resource-constrained rural settings.

*Corresponding author

E-mail address: chawut98@gmail.com (T. Chawut)

Online print: 21 August 2024 Copyright © 2024. This is an open access article, production, and hosting by Faculty of Agricultural Technology, Rajabhat Maha Sarakham University. <https://doi.org/10.14456/paj.2024.35>



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

บทความวิจัย

ผลของระยะปลูกต่อการเจริญเติบโตและผลผลิตของมันจาวมะพร้าว

รัตนารณ กุลชาติ* ศศิธร ประพรม รัชนิวรรณ ชูเชิด อาภาพร บุญญา และ รพีพร ศรีสฤติย์

ศูนย์วิจัยและพัฒนาการเกษตรชัยภูมิ ตำบลนาฝาย อำเภอเมือง จังหวัดชัยภูมิ ประเทศไทย 36000

ข้อมูลบทความ

Article history

รับ: 6 มิถุนายน 2567

แก้ไข: 9 สิงหาคม 2567

ตอบรับการตีพิมพ์: 10 สิงหาคม 2567

ตีพิมพ์ออนไลน์: 28 สิงหาคม 2567

คำสำคัญ

มันจาวมะพร้าว

ระยะปลูก

การเจริญเติบโต

ผลผลิต

ผลตอบแทน

บทคัดย่อ

การใช้ระยะปลูกที่เหมาะสมในการผลิตมันจาวมะพร้าว (*Dioscorea alata* L.) สามารถลดต้นทุนการผลิตและเพิ่มผลผลิต รายได้ของเกษตรกร และมูลค่าทางเศรษฐกิจในพื้นที่ การทดลองนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาระยะปลูกที่เหมาะสมในการผลิตมันจาวมะพร้าว วางแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ภายในบล็อก ศึกษา 5 ระยะปลูก จำนวน 4 ซ้ำ ระยะปลูกระหว่างแถวและระหว่างต้น ประกอบด้วย 100x100 100x80 80x80 80x50 และ 50x50 เซนติเมตร ทำการทดลอง ณ แปลงศูนย์วิจัยและพัฒนาการเกษตรชัยภูมิ ตำบลนาฝาย อำเภอเมือง จังหวัดชัยภูมิ ระหว่างเดือนเมษายน-ธันวาคม 2566 บันทึกข้อมูลการเจริญเติบโต ผลผลิต ต้นทุนการผลิต รายได้ ผลตอบแทน และสัดส่วนรายได้ต่อต้นทุน (BCR) ผลการทดลอง พบว่าระยะปลูกมันจาวมะพร้าวทำให้ความยาวเถา ความกว้างใบ ความยาวใบ และจำนวนใบแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ การปลูกมันจาวมะพร้าวโดยใช้ระยะปลูก 50x50 เซนติเมตร ทำให้ความยาวเถา ความกว้างใบ ความยาวใบ และจำนวนใบมากที่สุด และมีลักษณะการเจริญเติบโตอื่น ๆ สูงด้วย ระยะปลูกมีผลทำให้ผลผลิตของมันจาวมะพร้าวแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ การปลูกมันจาวมะพร้าวโดยใช้ระยะปลูก 50x50 เซนติเมตร ทำให้มันจาวมะพร้าวมีผลผลิตสูงสุดและมีความคุ้มค่าต่อการลงทุนมากที่สุด การปลูกมันจาวมะพร้าวโดยใช้ระยะปลูก 50x50 เซนติเมตร เหมาะสมในการผลิตมันจาวมะพร้าวมากที่สุดทั้งในแง่การให้ผลผลิตและความคุ้มค่าต่อการลงทุน

บทนำ

มันจาวมะพร้าว (*Dioscorea alata* L.) เป็นพืชที่มีหัวและอยู่ในวงศ์ Dioscoreaceae พืชหัวในสกุลมันจาวมะพร้าว (*Dioscorea* spp.) เป็นพืชอาหารหลักซึ่งปลูกอย่างกว้างขวางในเขตร้อนของแอฟริกาตะวันตก เอเชีย อเมริกากลาง และอเมริกาใต้ ซึ่งมีบทบาทสำคัญในการปรับปรุงชีวิตความเป็นอยู่ของประชาชนและความมั่นคงทางอาหาร (Suja et al., 2003) มันจาวมะพร้าวมีสารอาหารสูงประกอบด้วยคาร์โบไฮเดรต โปรตีน ฟอสฟอรัส แคลเซียม เบต้าแคโรทีน โพแทสเซียม วิตามิน และกรดโฟลิก (Makiyah & Djati, 2018)

จากการสำรวจและวิเคราะห์พื้นที่การผลิตมันจาวมะพร้าวในจังหวัดชัยภูมิ มีเกษตรกรปลูกประมาณ 400-500 ราย ปลูกอายุละ 1-40 ไร่ รวมพื้นที่กว่า 1,000 ไร่ คิดเป็นมูลค่าทางเศรษฐกิจกว่า 50 ล้านบาท ผลผลิตจะเริ่มเก็บเกี่ยวประมาณเดือนตุลาคมถึงเมษายนของทุกปี สำหรับเทคโนโลยีการผลิตมันจาวมะพร้าวในพื้นที่พบว่าเกษตรกรปลูกด้วยหัวพันธุ์อัตรา 250-330 กิโลกรัมต่อไร่ คิดเป็นต้นทุน 10,000-12,000 บาทต่อไร่ ใช้ระยะปลูกที่หลากหลาย ส่วนใหญ่เกษตรกรจะใช้ระยะปลูกประมาณ 50x50 และ 80x50 เซนติเมตร ได้ผลผลิต 2-3 ตันต่อไร่ จากงานวิจัยนี้ได้ทำการสัมภาษณ์นายอดิศักดิ์ ปาติสสัย เมื่อปี 2563 พบว่าต้นทุนการผลิตรวมประมาณ 20,000 บาทต่อไร่ ผลตอบแทนประมาณ 50,000 บาทต่อไร่ ซึ่งมีผลตอบแทนมากกว่าการผลิตมันสำปะหลัง ในพื้นที่เดียวกัน

50-60 เท่า จากการวิเคราะห์เทคโนโลยีการผลิตของเกษตรกร พบว่าเกษตรกรใช้เทคโนโลยีการผลิตตามคำแนะนำของเพื่อนบ้านและปฏิบัติสืบต่อกันมา ซึ่งยังขาดเทคโนโลยีด้านวิชาการทำให้เกษตรกรได้ผลผลิตค่อนข้างต่ำ ดังนั้นหากมีการพัฒนาเทคโนโลยีการผลิตโดยเฉพาะอย่างยิ่ง การใช้ระยะปลูกที่เหมาะสม จะสามารถยกระดับผลผลิตของเกษตรกรเพิ่มขึ้นได้ และทำให้เกษตรกรมีต้นทุนการผลิตลดลง ได้ผลผลิตและมีรายได้เพิ่มขึ้น เพิ่มมูลค่าทางเศรษฐกิจในพื้นที่

การวิจัยระยะปลูกมันจาวมะพร้าวที่ผ่านมาพบว่า ระยะปลูกที่ดีที่สุดแตกต่างกันในการศึกษาที่ต่างกัน Lyonga et al. (1973) รายงานว่าในการปลูกมันจาวมะพร้าวโดยการทำค้าง ระยะปลูก 100x66 เซนติเมตร ให้ผลผลิตสูงสุด Saravaiya et al. (2010) พบว่าการปลูกมันจาวมะพร้าวในเดือนพฤษภาคมโดยใช้ระยะปลูก 75x50 เซนติเมตร ให้ผลผลิตสูงสุด และในการศึกษาเมื่อไม่นานมานี้พบว่า ระยะปลูก 60x30 เซนติเมตร ให้ผลผลิตสูงสุดและสูงกว่าการปลูกระยะห่าง (90x90 เซนติเมตร) เป็นอย่างมาก (Mhaskar et al., 2020) และระยะปลูกห่าง (75x75 เซนติเมตร) ให้ผลผลิตต่อต้นมากที่สุด ในขณะที่ระยะปลูกถี่ (50x50 เซนติเมตร) ให้ผลผลิตต่อพื้นที่มากที่สุด (Sebastian et al., 2020)

ในพืชอื่น เช่น ข้าวสาลี การปลูกโดยใช้ความหนาแน่นประชากรสูงควบคุมวัชพืชได้ดีกว่าการปลูกโดยใช้ความหนาแน่นประชากรต่ำ (Xi et al., 2022) สำหรับมันจาวมะพร้าวการใช้ระยะปลูกถี่มากที่สุด (60x60 เซนติเมตร) ทำให้สะสมน้ำหนักแห้งรวมและ

*Corresponding author

E-mail address: ratanaporn38@hotmail.com (R. Koolachart)

Online print: 28 August 2024 Copyright © 2024. This is an open access article, production, and hosting by Faculty of Agricultural Technology, Rajabhat Maha Sarakham University. <https://doi.org/10.14456/paj.2024.36>

น้ำหนักแห้งของส่วนเหนือดินมากที่สุด (Suja et al., 2003) หัวพันธุ์ขนาดกลางและขนาดเล็กให้ผลผลิตไม่แตกต่างกันทั้งในระยะปลูกที่ (90x30 เซนติเมตร) และระยะปลูกห่าง (90x60 เซนติเมตร) แต่หัวพันธุ์ขนาดใหญ่ให้ผลผลิตสูงสุด (Ferguson et al., 2009) การเพิ่มความหนาแน่นของประชากรพืชทำให้ผลผลิตหัวเพิ่มขึ้นแต่ขนาดหัวเล็กลง (Gurnah, 1974) ซึ่งจากการทดลองโดยใช้ความหนาแน่นประชากรพืชที่ 5,333 6,400 8,000 10,666 และ 16,000 ต้นต่อไร่ ตามลำดับ พบว่าความหนาแน่นประชากรพืชต่ำ (5,333 ต้นต่อไร่) ให้น้ำหนักแห้งของหัวและส่วนเหนือดินมากกว่าความหนาแน่นของประชากรพืชสูง โดยความหนาแน่นประชากรพืชที่ 5,333 และ 6,400 ต้นต่อไร่ มีจำนวนหัวมากกว่าความหนาแน่นประชากรพืชที่ 10,666 และ 16,000 ต้นต่อไร่ (Okpara et al., 2014)

จากการศึกษาที่ผ่านมาพบว่าระยะปลูกที่ดีที่สุดมีความแตกต่างกัน โดยทั่วไประยะปลูกห่างสามารถเพิ่มขนาดของหัว ส่วนระยะปลูกถี่สามารถเพิ่มผลผลิตต่อพื้นที่ แต่ยังไม่สามารถระบุได้ชัดเจนว่าระยะปลูกใดเหมาะสมที่สุดกับสภาพการผลิตมันจาวมะพร้าวในประเทศไทยทั้งคุณภาพของหัวที่ตลาดต้องการและผลผลิตที่ยอมรับได้ ได้แก่ ขนาดหัว รูปทรง ผิว สารอาหาร และรสชาติ เป็นต้น สมมุติฐานของการวิจัยนี้คือ การใช้ระยะปลูกถี่ที่สุดหรือการเพิ่มความหนาแน่นของประชากรพืชมากที่สุดทำให้เพิ่มผลผลิตมันจาวมะพร้าวได้ การศึกษานี้มีวัตถุประสงค์ เพื่อศึกษาอิทธิพลผลของระยะปลูกต่อการเจริญเติบโตและผลผลิตของมันจาวมะพร้าว ซึ่งผลการทดลองนี้สามารถนำมาใช้เป็นข้อมูลและแนวทางในการเพิ่มผลผลิตของมันจาวมะพร้าวในประเทศไทย

อุปกรณ์และวิธีการวิจัย

แผนการทดลองและการจัดการพืช

วางแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ภายในบล็อก (Randomized complete block design, RCBD) ศึกษา 5 ระยะปลูก จำนวน 4 ซ้ำ ระยะปลูกระหว่างแถวและระหว่างต้น ประกอบด้วย 100x100 100x80 80x80 80x50 และ 50x50 เซนติเมตร แปลงย่อยมีขนาด 4x5 เมตร มีทั้งหมด 20 แปลง

เก็บตัวอย่างดินก่อนปลูกส่งเข้าห้องปฏิบัติการเพื่อวิเคราะห์สมบัติทางเคมีของดิน ซึ่งสมบัติทางเคมีของดินแสดงไว้ในตารางที่ 1 เตรียมดินโดยไถตากดินไว้ 14 วัน ใส่ปุ๋ยคอกรองพื้นอัตรา 1,000 กิโลกรัมต่อไร่ แล้วไถพรวนกลบปุ๋ยคอกลงในดิน

เตรียมต้นพันธุ์โดยใช้หัวพันธุ์ที่มีอายุ 9 เดือน ใช้พันธุ์มันจาวมะพร้าวพันธุ์พื้นเมืองที่ปลูกมานานในพื้นที่ ตัดแบ่งหัวพันธุ์ให้มีขนาดเท่า ๆ กัน เพาะหัวพันธุ์ที่ตัดแล้วในเรือนเพาะชำ ย้ายปลูกเมื่อต้นกล้าอายุ 30 วัน ปลูกลงแปลงโดยใช้ระยะปลูก 5 วิธีตามที่กำหนดไว้ จำนวน 1 ต้นต่อหลุม

กำจัดวัชพืชราก่อนการใส่ปุ๋ยเคมี โดยใส่ปุ๋ยเคมีครั้งที่ 1 สูตร 13-13-21 อัตรา 50 กิโลกรัมต่อไร่ ใส่หลังย้ายปลูก 1 เดือน และ ครั้งที่ 2 สูตร 13-13-21 อัตรา 50 กิโลกรัมต่อไร่ ใส่หลังย้ายปลูก 3 เดือน เก็บเกี่ยวผลผลิตเมื่อมีมันอายุ 8 เดือน

การบันทึกข้อมูล

บันทึกข้อมูลคุณสมบัติทางเคมีและกายภาพของดินก่อนปลูก ประกอบด้วย pH ของดิน อินทรีย์วัตถุ ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์

โพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ และเนื้อดิน

บันทึกข้อมูลอุตุนิยมวิทยาโดยสถานีอุตุนิยมวิทยาชัยภูมิ ประกอบด้วย ความชื้นสัมพัทธ์ ปริมาณน้ำฝน ค่าการคายระเหยของน้ำ อุณหภูมิต่ำสุด และอุณหภูมิสูงสุด ตั้งแต่เริ่มย้ายปลูกจนเก็บเกี่ยว ในระหว่างเดือนพฤษภาคมถึงเดือนธันวาคม 2566

บันทึกข้อมูลพืช ได้แก่ ความยาวของเถา จำนวนข้อของเถา จำนวนเถาต่อต้น จำนวนยอดบนเถาหลัก จำนวนใบบนเถาหลัก ความยาวใบ ความกว้างใบ และความยาวก้านใบ เมื่อ 30 60 และ 90 วันหลังย้ายปลูก วัดความยาวเถาจากเถาหลัก จำนวน 10 ต้นในแต่ละแปลง นับจำนวนข้อของเถาหลัก จำนวน 10 ต้นในแต่ละแปลง นับจำนวนเถาทุกเถาที่เกิดจากหัวพันธุ์ จาก 10 ต้นในแต่ละแปลง นับจำนวนยอดที่เกิดจากเถาหลัก จาก 10 ต้นในแต่ละแปลง นับทุกใบในเถาหลัก จาก 10 ต้นในแต่ละแปลง วัดความยาวใบของใบที่ 3 ของเถาหลัก จาก 10 ต้นในแต่ละแปลง วัดความกว้างใบที่ 3 ของเถาหลัก จาก 10 ต้นในแต่ละแปลง วัดความยาวของก้านใบที่ 3 ของเถาหลัก จาก 10 ต้นในแต่ละแปลง

เก็บเกี่ยวผลผลิตในเดือนธันวาคม 2566 เมื่อมันจาวมะพร้าวมีอายุ 8 เดือน บันทึกผลผลิตและองค์ประกอบผลผลิต ได้แก่ ผลผลิตหัวสด น้ำหนักหัวต่อต้น น้ำหนักเฉลี่ยต่อหัว จำนวนหัวต่อต้น จำนวนหัวต่อไร่ ความกว้างหัว และความยาวหัว เก็บข้อมูลผลผลิตจากทุกต้นที่มีต้นอื่นล้อมรอบ เว้นแถวข้างแปลง ต้นหัวแถว และท้ายแถว ในพื้นที่เก็บเกี่ยว 3x4 เมตร เพื่อวัดผลผลิตต่อไร่ น้ำหนักหัวต่อต้น จาก 10 ต้นในแต่ละแปลง น้ำหนักเฉลี่ยต่อหัว จาก 10 ต้นในแต่ละแปลง จำนวนหัวต่อต้น จาก 10 ต้นในแต่ละแปลง จำนวนหัวต่อไร่คำนวณจากจำนวนหัวต่อต้น คูณด้วยความหนาแน่นของประชากรต่อไร่ ความกว้างหัววัดจากส่วนที่กว้างที่สุดของหัวจากตัวอย่าง 10 ต้นในแต่ละแปลง ความยาวหัววัดจากส่วนที่ยาวที่สุดของหัวจากตัวอย่าง 10 ต้นในแต่ละแปลงย่อย

คำนวณต้นทุนการผลิต (คำนวณจากผลรวมของค่าเตรียมดิน ค่าหัวพันธุ์ ค่าปุ๋ยคอก ค่าปุ๋ยเคมี ค่าเชื้อราไตรโคเดอร์มา ค่าปลูก ค่าดูแลรักษา ค่าเก็บเกี่ยวและรวบรวม และค่าเช่าที่ดิน (บาทต่อไร่)) รายได้รวมก่อนหักต้นทุน (คำนวณจากผลผลิต (กิโลกรัมต่อไร่) x ราคาผลผลิต (บาทต่อกิโลกรัม)) รายได้สุทธิหลังหักต้นทุน (คำนวณจากรายได้รวมก่อนหักต้นทุน (บาทต่อไร่) - ต้นทุนการผลิต (บาทต่อไร่)) และสัดส่วนของรายได้ต่อต้นทุนการผลิต (Benefit cost ratio, BCR, B/C ratio = Benefit/Cost (B/C > 1 คำนวณค่าการลงทุน, B/C = 1 เท่าทุน, B/C < 1 ไม่คุ้มทุน ขาดทุน))

การวิเคราะห์ข้อมูล

วิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติทุกลักษณะตามแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ภายในบล็อก และเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยโดยวิธี Least significant difference test (LSD) (Gomez & Gomez, 1984) ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 และ 0.01 โดยใช้โปรแกรม MSTAT-C (Bricker, 1989) และคำนวณค่าสหสัมพันธ์ระหว่างลักษณะโดยใช้โปรแกรม Microsoft Excel

ผลและวิจารณ์ผลการวิจัย

ผลวิเคราะห์สมบัติทางเคมีของดิน

ดินที่ใช้ปลูกมันจาวมะพร้าวมี pH 5.46 อยู่ในระดับกรดจัด อินทรีย์วัตถุในดิน (OM) 0.44 เปอร์เซ็นต์ จัดอยู่ในระดับที่ค่อนข้างต่ำ ปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ อยู่ในระดับสูงมาก 54 มิลลิกรัมต่อ

กิโลกรัม ปริมาณโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ในดินระดับสูง 66 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม และลักษณะเนื้อดินเป็นดินร่วนปนทราย (Sandy loam) (Table 1)

ค่าความเป็นกรดเป็นด่างของดินต่ำเกินไปอาจทำให้การปลดปล่อยธาตุอาหารพืชไม่ดีเท่าที่ควร และดินเป็นกรดอาจเป็นปัจจัยที่จำกัดผลผลิต ค่า pH ในดินที่เหมาะสมสำหรับพืชโดยทั่วไปควรอยู่ในช่วง pH 6-6.50 หรือกรดอ่อน ๆ เป็นช่วงที่เหมาะสมที่สุด พืชสามารถนำเอาธาตุอาหารไปใช้ได้มากที่สุด ส่วนดินที่มีค่า pH ต่ำกว่า 5.50 หรือตั้งแต่ pH 8.50 จะถูกจัดให้เป็น ดินที่มีปัญหาด้านเกษตร เนื่องจากเป็นดินที่ขาดธาตุอาหาร มีความอุดมสมบูรณ์ต่ำ และเพาะปลูกได้ยาก (Hanna Instruments, 2024) ซึ่งการใช้แคลเซียม เช่น ปูนขาว ปูนเปลือกหอย หรือยิปซัมสามารถยกระดับค่าความเป็นกรดเป็นด่างของดินได้ (Wongkrachang & Rattaneetu, 2014)

ค่าอินทรีย์วัตถุต่ำเป็นอีกปัจจัยหนึ่งที่จำกัดผลผลิตพืช อินทรีย์วัตถุช่วยจับยึดธาตุอาหารและปลดปล่อยธาตุอาหารเป็นประโยชน์ต่อพืช (Department of Land Development, 2024) อินทรีย์วัตถุเป็นแหล่งธาตุอาหารพืชหลักโดยเฉพาะไนโตรเจน นอกจากนั้นอินทรีย์วัตถุยังเป็นแหล่งของธาตุอาหารรองซึ่งพืชต้องการน้อยแต่มีความจำเป็นมาก อย่างไรก็ตามควรมีการศึกษาเพิ่มเติมในด้านการตอบสนองของมันจาวมะพร้าวต่อปุ๋ยไนโตรเจนส่วนธาตุอาหารหลักอื่น ๆ เช่น ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียมถือว่ามีอย่างเพียงพอ

แต่อย่างไรก็ตามมันจาวมะพร้าวที่ศึกษาสามารถเจริญเติบโตและให้ผลผลิตได้ค่อนข้างปกติ ทั้งนี้เนื่องจากในแปลงมีการใช้ปุ๋ยคอกรองพื้นก่อนปลูก อัตรา 1,000 กิโลกรัมต่อไร่ ซึ่งการใช้ปุ๋ยอินทรีย์ยังช่วยปรับสภาพความเป็นกรดเป็นด่างของดินและค่าการนำไฟฟ้า (EC) ให้เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของพืชอีกด้วย (Ta-oun & Panchaban, 2002)

สภาพฟ้าอากาศ

ปริมาณน้ำฝนรวมตลอดฤดูปลูกเท่ากับ 984.40 มิลลิเมตร (Figure 1) การกระจายของฝนเริ่มตั้งแต่ย้ายปลูกจนถึง 200 วันหลังย้ายปลูก ปริมาณน้ำฝนถือว่าน้อยเมื่อเทียบกับปริมาณน้ำฝนในส่วนต่าง ๆ ของประเทศ แต่การกระจายตัวของฝนนั้นค่อนข้างดี ดังนั้นปริมาณน้ำฝนจึงเพียงพอสำหรับการเจริญเติบโตของมันจาวมะพร้าว ซึ่งเป็นพืชที่ใช้น้ำน้อยและค่อนข้างจะทนแล้ง โดยทั่วไปมันจาวมะพร้าวเป็นพืชที่ปลูกอาศัยน้ำฝนเป็นหลักไม่จำเป็นต้องรดน้ำ เว้นแต่ดินแห้งมากหรือฝนไม่ตกเป็นระยะเวลานาน และความชื้นสัมพัทธ์มีค่าอยู่ระหว่าง 49.63 ถึง 93.38 เปอร์เซ็นต์ สอดคล้องกันกับการกระจายตัวของฝน ความชื้นสัมพัทธ์จะสูงในช่วงที่มีฝนตกชุกและจะต่ำในช่วงที่ไม่มีฝน ซึ่งความชื้นสัมพัทธ์จะบ่งบอกถึงความชื้นในอากาศ โดยปริมาณน้ำฝนจะช่วยทำให้ความชื้นในอากาศสูงขึ้นเป็นผลทำให้มันจาวมะพร้าวมีการเจริญเติบโตดีขึ้นเมื่อได้รับปริมาณน้ำฝนที่เหมาะสม ค่าการคายระเหยเฉลี่ยรายวัน 5.01 มิลลิเมตร ส่วนอุณหภูมิมีค่าระหว่าง 16.30-41.50 องศาเซลเซียส อุณหภูมิจะสูงช่วงปลูกและจะต่ำช่วงเก็บเกี่ยว

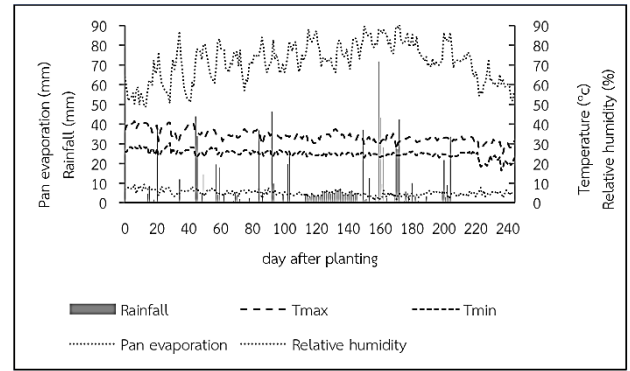


Figure 1 Relative humidity (%), rainfall (mm), pan evaporation (mm), maximum (Tmax) temperature (°C) and minimum (Tmin) temperature (°C) in Chaiyaphum Province 2023.

การเจริญเติบโต

ระยะปลูกทำให้ความยาวเถาแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.01$) และจำนวนข้อต่อเถาแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) ที่อายุ 30 วันหลังย้ายปลูก (Table 2) ระยะปลูก 50x50 เซนติเมตร มีความยาวเถาสูงสุด 105 เซนติเมตร ในขณะที่ระยะปลูก 100x80 เซนติเมตร มีความยาวเถาต่ำสุด 68 เซนติเมตร คล้ายกันกับความยาวเถา ซึ่งระยะปลูก 50x50 เซนติเมตร มีจำนวนข้อต่อเถาสูงสุด (11.35 ข้อ) และระยะปลูก 100x100 เซนติเมตร มีจำนวนข้อต่อเถาต่ำสุด (7.65 ข้อ) ระยะปลูกไม่ทำให้ความยาวเถาและจำนวนข้อต่อเถาแตกต่างกันทางสถิติ เมื่อ 60 และ 90 วันหลังย้ายปลูก ความยาวเถาและจำนวนข้อต่อเถาเพิ่มมากขึ้นเมื่อ 60 และ 90 วันหลังย้ายปลูก

ระยะปลูกไม่ทำให้จำนวนเถาต่อต้นและจำนวนยอดบนเถาหลักแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ เมื่อ 30 60 และ 90 วันหลังย้ายปลูก (Table 3) จำนวนเถาต่อต้นและจำนวนยอดบนเถาหลักเพิ่มขึ้นตามจำนวนวันหลังย้ายปลูก เมื่อ 30 60 และ 90 วันหลังย้ายปลูก จำนวนเถาต่อต้นมีค่าเท่ากับ 1.37 2.58 และ 3.38 เถาตามลำดับ จำนวนยอดบนเถาหลักเฉลี่ย 2.47 ยอดต่อเถา เมื่อ 30 วันหลังย้ายปลูก และเพิ่มขึ้นเป็น 3.33 ยอดต่อเถา เมื่อ 60 วันหลังย้ายปลูก และ 3.54 ยอดต่อเถา เมื่อ 90 วันหลังย้ายปลูก

จำนวนใบต่อต้นเพิ่มขึ้นจาก 10.71 ใบ เมื่อ 30 วันหลังย้ายปลูก เป็น 26.78 ใบ เมื่อ 60 วันหลังย้ายปลูก และ 35.47 ใบ เมื่อ 90 วันหลังย้ายปลูก (Table 4) ระยะปลูกไม่ทำให้จำนวนใบแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ เมื่อ 30 และ 90 วันหลังย้ายปลูก อย่างไรก็ตามระยะปลูกทำให้จำนวนใบแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) เมื่อ 60 วันหลังย้ายปลูก ระยะปลูก 50x50 เซนติเมตร มีจำนวนใบสูงสุด (29.11 ใบ) รองลงมาคือระยะปลูก 80x80 เซนติเมตร (28.04 ใบ) และ 80x50 เซนติเมตร (26.04 ใบ) ตามลำดับ ในขณะที่ระยะปลูก 100x100 เซนติเมตร มีจำนวนใบน้อยที่สุด (21.33 ใบ)

ความยาวใบเพิ่มขึ้นจาก 12.55 เซนติเมตร เมื่อ 30 วันหลังย้ายปลูก เป็น 12.84 และ 13.64 เซนติเมตร เมื่อ 60 และ 90 วันหลังย้ายปลูก ตามลำดับ (Table 4) ระยะปลูกทำให้ความยาวใบแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) เมื่อ 30 วันหลังย้ายปลูก แต่ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติเมื่อ 60 และ 90 วันหลังย้ายปลูก เมื่อ 30 วันหลังย้ายปลูก ระยะปลูก 50x50 เซนติเมตร มีความยาวใบสูงสุด (13.39 เซนติเมตร) รองลงมาคือระยะปลูก 80x50 เซนติเมตร

(13.01 เซนติเมตร) 80x80 เซนติเมตร (12.36 เซนติเมตร) และ 100x100 เซนติเมตร (12.25 เซนติเมตร) ตามลำดับ ในขณะที่ระยะปลูก 100x80 เซนติเมตร มีความยาวใบต่ำสุด (11.73 เซนติเมตร)

ความกว้างใบเพิ่มขึ้นจาก 7.55 เซนติเมตร เมื่อ 30 วันหลังย้ายปลูก เป็น 7.62 เซนติเมตร เมื่อ 60 วันหลังย้ายปลูก และ 7.73 เซนติเมตร เมื่อ 90 วันหลังย้ายปลูก ตามลำดับ (Table 5) อย่างไรก็ตามระยะปลูกไม่ทำให้ความกว้างใบแตกต่างกันทางสถิติ เมื่อ 30 60 และ 90 วันหลังย้ายปลูก

ความยาวของก้านใบเพิ่มขึ้นจาก 6.23 เซนติเมตร เมื่อ 30 วันหลังย้ายปลูก เป็น 6.37 เซนติเมตร เมื่อ 60 วันหลังย้ายปลูก และ 7.01 เซนติเมตร เมื่อ 90 วันหลังย้ายปลูก ตามลำดับ (Table 5) ระยะปลูกทำให้ความยาวของก้านใบแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) เมื่อ 30 วันหลังย้ายปลูก ระยะปลูก 50x50 เซนติเมตร มีความยาวของก้านใบสูงสุด (6.55 เซนติเมตร) รองลงมาคือระยะปลูก 80x50 เซนติเมตร (6.49 เซนติเมตร) ระยะปลูก 100x100 เซนติเมตร (6.37 เซนติเมตร) และระยะปลูก 80x80 เซนติเมตร (5.93 เซนติเมตร) ตามลำดับ ส่วนระยะปลูก 100x80 เซนติเมตร มีความยาวของก้านใบต่ำสุด (5.81 เซนติเมตร)

ความกว้างของใบและความยาวของใบเป็นลักษณะที่บ่งบอกขนาดของใบและมีความสัมพันธ์กับพื้นที่ใบและดัชนีพื้นที่ใบ (Verwijst & Wen, 1996) นอกจากนั้น ความยาวของใบ ความกว้างของใบ และความยาวของก้านใบยังบ่งบอกการเจริญเติบโตของมันจาวมะพร้าวตามอายุของการเจริญเติบโตที่เพิ่มขึ้น อย่างไรก็ตาม ความยาวของใบและความยาวของก้านใบบ่งบอกการเจริญเติบโตของมันจาวมะพร้าวได้ดีกว่าความกว้างของใบเพราะระยะปลูกทำให้ทั้งสองลักษณะมีความแตกต่างกันในช่วงอายุ 30 วันหลังย้ายปลูก

ระยะปลูกที่เหมาะสมสามารถบ่งบอกได้ด้วยดัชนีพื้นที่ใบซึ่งเป็นสัดส่วนของพื้นที่ใบต่อพื้นที่ปลูก พืชแต่ละชนิดมีดัชนีพื้นที่ใบที่เหมาะสมแตกต่างกันไป ถั่วเหลืองมีดัชนีพื้นที่ใบอยู่ระหว่าง 6.0 ถึง 6.5 (Tagliapietra et al., 2018) ข้าวโพดมีดัชนีพื้นที่ใบที่เหมาะสมอยู่ระหว่าง 4.50 ถึง 6 (Liu et al., 2020) มันสำปะหลังมีดัชนีพื้นที่ใบที่เหมาะสมอยู่ระหว่าง 3.0 ถึง 3.50 (Veltkamp, 1986) ถั่วลิสงมีดัชนีพื้นที่ใบที่เหมาะสมอยู่ระหว่าง 5 ถึง 7 (Kiniry et al., 2005) ถึงแม้ว่าในการศึกษานี้ไม่ได้มีการศึกษาดัชนีพื้นที่ใบซึ่งเป็นลักษณะที่สำคัญที่เชื่อมโยงกับผลผลิตในสภาพแปลงปลูก อย่างไรก็ตามในการศึกษาที่ผ่านมามีรายงานว่า ดัชนีพื้นที่ใบของมันจาวมะพร้าวอยู่ระหว่าง 1.24 ถึง 5.73 (Law-Ogbomo & Remison, 2008) และ 0.90 ถึง 7.80 (Goenaga & Irizarry, 1994) ซึ่งขึ้นอยู่กับอายุ อัตราปุ๋ย พันธุ์ที่ใช้และระยะปลูก ดัชนีพื้นที่ใบที่น้อยเกินไปทำให้พื้นที่ปลูกมีแสงแดดส่องถึงพื้นได้มาก ส่วนดัชนีพื้นที่ใบที่มากเกินไปทำให้เกิดการแข่งขันสารอาหารระหว่างใบและผลผลิต ซึ่งการปลูกระยะถี่ทำให้พืชมีดัชนีพื้นที่ใบสูงกว่าการปลูกระยะห่าง นอกจากนี้จากการศึกษาของ Fang et al. (2018) พบว่าการจัดการระยะปลูกหรือความหนาแน่นของต้นพืชที่เหมาะสมนั้นจะส่งผลให้การเจริญเติบโตทางลำต้นและใบ และส่งเสริมให้บักวีตมีดัชนีพื้นที่ใบที่เพิ่มขึ้น ซึ่งเป็นลักษณะที่เกี่ยวข้องกับการรับแสงและการสังเคราะห์อาหารและการเจริญเติบโต ส่งเสริมให้มีผลผลิตที่เพิ่มขึ้น

ในการศึกษานี้ พบระยะปลูกมีผลทำให้ลักษณะที่ศึกษามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติมากที่สุด เมื่อ 30 วันหลังย้ายปลูก โดยระยะปลูกทำให้ความยาวของก้านใบ ความยาวของใบ และความยาวของก้านใบแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ และเมื่อ 60 วันหลังย้ายปลูก ระยะปลูกทำให้จำนวนใบแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติเท่านั้น ในขณะที่ระยะปลูกไม่ทำให้ในทุกลักษณะที่ศึกษาแตกต่างกันทางสถิติ เมื่อ 90 วันหลังย้ายปลูก ประเด็นที่น่าสนใจก็คือ ระยะปลูกถี่ทำให้มันจาวมะพร้าวมีการเจริญเติบโตในระยะแรกดีกว่าระยะปลูกห่างในทุกลักษณะการเจริญเติบโตที่มีความแตกต่างกันทางสถิติ เนื่องจากมีจำนวนต้นต่อไร่มากกว่าจึงมีการเจริญเติบโตคลุมพื้นที่ได้เร็วกว่า อย่างไรก็ตามการเจริญเติบโตในระยะหลัง ระยะปลูกไม่ทำให้การเจริญเติบโตแตกต่างกัน ซึ่งการส่องผ่านของแสงในระยะแรกของการเจริญเติบโตมีมากกว่าในระยะหลังการเจริญเติบโต (Khan et al., 2020) ดังนั้นพืชที่ปลูกระยะถี่จึงได้ประโยชน์จากแสงในระยะแรกของการเจริญเติบโตมากกว่าพืชที่ปลูกระยะห่าง แต่เมื่อพืชเจริญเติบโตเต็มที่แล้วพืชที่ปลูกระยะถี่มีอัตราการเจริญเติบโตลดลงเนื่องจากมีการแข่งขันกันเองในการรับแสงของใบ

การเปรียบเทียบลักษณะการเจริญเติบโตกับการศึกษาอื่น ๆ ทำได้ยาก เนื่องจากในประเทศไทยมันจาวมะพร้าวไม่ใช่พืชหลักและมีการศึกษาน้อย นอกจากนั้นการเจริญเติบโตเป็นแบบเถาเลื้อยพันทำให้การศึกษาการเจริญเติบโตทำได้ยาก ในการศึกษานี้วัดการเจริญเติบโตตั้งแต่ 30 วันหลังย้ายปลูกถึง 90 วันหลังย้ายปลูก หลังจาก 90 วันแล้วมันจาวมะพร้าวยังมีการเจริญเติบโตต่อไปอีกและเถาเริ่มจะพันกัน (Figure 2) สามารถแบ่งระยะการเจริญเติบโตของมันจาวมะพร้าวออกเป็น 4 ระยะคือ ระยะพักตัวของหัว ระยะการเจริญเติบโตอย่างรวดเร็วของเถาและราก ระยะพัฒนาหัวอย่างรวดเร็วพร้อมกับการหลุดร่วงของใบ และระยะหัวเจริญเติบโตเต็มที่ตามด้วยน้ำหนักหัวลดลง (Sobulo, 1972) ซึ่งในการศึกษานี้วัดการเจริญเติบโตถึงระยะการเจริญเติบโตอย่างรวดเร็วของเถาเท่านั้น ควรมีการศึกษาระยะการเจริญเติบโตต่อไปเพื่อให้เข้าใจการให้ผลผลิตของมันจาวมะพร้าวมากขึ้น

ผลผลิตและองค์ประกอบผลผลิต

ระยะปลูกทำให้ผลผลิตหัวสด น้ำหนักหัวต่อต้น น้ำหนักหัวเฉลี่ย จำนวนหัวต่อต้น และจำนวนหัวต่อไร่ แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.01$) แต่ระยะปลูกไม่มีผลทำให้ความกว้างหัวและความยาวหัวแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (Table 6) น้ำหนักหัวต่อต้น ขนาดของหัว และจำนวนหัวต่อไร่ จึงเป็นองค์ประกอบผลผลิตที่สำคัญของมันจาวมะพร้าวที่มีผลต่อผลผลิตต่อไร่และลักษณะเหล่านี้มีความผันแปรไปตามระยะปลูก

ระยะปลูก 50x50 เซนติเมตร มีผลผลิตหัวสดสูงสุด (2,164 กิโลกรัมต่อไร่) และมีจำนวนหัวต่อไร่สูงสุด (30,238 หัวต่อไร่) ส่วนระยะปลูก 100x100 เซนติเมตร มีผลผลิตหัวต่ำสุด (1,208 กิโลกรัมต่อไร่) และมีจำนวนหัวต่อไร่ต่ำสุด (9,690 หัวต่อไร่) จะเห็นได้ว่าการปลูกระยะชิดที่สุด (50x50 เซนติเมตร) ให้ผลผลิตสูงสุด ผลผลิตอาจเพิ่มขึ้นมากกว่าถ้าใช้ระยะปลูกชิดมากกว่านี้ ซึ่งควรจะมีการศึกษาต่อไป

ระยะปลูก 100x100 และ 100x80 เซนติเมตร มีน้ำหนักหัวต่อต้นสูงสุด (755 และ 739 กรัม ตามลำดับ) และมีจำนวนหัวต่อ

ต้นสูงสุด (7.75 และ 8.25 หัว ตามลำดับ) ซึ่งไม่แตกต่างกันทางสถิติ แต่ทั้งสองระยะปลูกมีขนาดหัวและจำนวนหัวต่อต้นสูงกว่าระยะปลูก 80x50 และ 50x50 เซนติเมตร อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (368 และ 339 กรัม ตามลำดับ สำหรับน้ำหนักหัวต่อต้น และ 4.75 และ 5 หัวต่อต้น ตามลำดับ สำหรับจำนวนหัว)

ระยะปลูก 80x80 เซนติเมตร มีขนาดหัวใหญ่ที่สุด (102 กรัมต่อหัว) ซึ่งไม่แตกต่างจากรยะปลูก 100x100 เซนติเมตร (99 กรัมต่อหัว) และระยะปลูก 100x80 เซนติเมตร (90 กรัมต่อหัว) แต่ใหญ่กว่าอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติเมื่อเปรียบเทียบกับระยะปลูก 80x50 เซนติเมตร (85 กรัมต่อหัว) และระยะปลูก 50x50 เซนติเมตร (68 กรัมต่อหัว) อย่างไรก็ตามระยะปลูกที่ห่างขึ้นทำให้มีขนาดหัวที่ใหญ่ขึ้น เกษตรกรอาจเลือกระยะปลูกที่ห่างขึ้นถ้าขนาดของหัวมีผลต่อราคาผลผลิตเพราะทำให้คุณภาพของหัวดีขึ้น

เมื่อเทียบการเจริญเติบโตต่อต้นของระยะปลูกที่แตกต่างกัน ระยะปลูกห่างมีการเจริญเติบโตต่อต้นมากกว่าระยะปลูกถี่ ดังนั้นผลผลิตต่อต้นและขนาดของหัวจึงมากกว่า แม้ว่าระยะปลูกถี่จะแข่งขันกับวัชพืชได้ดีกว่าระยะปลูกห่าง แต่ผลผลิตต่อต้นจะน้อยกว่าระยะปลูกห่างและขนาดของหัวก็เล็กกว่าระยะปลูกห่างด้วยเช่นกัน อย่างไรก็ตามระยะปลูกถี่ทำให้มีจำนวนหัวต่อพื้นที่มากกว่าระยะปลูกห่าง

ในมันฝรั่งซึ่งเป็นพืชหัวที่สำคัญ การลดลงของผลผลิตขึ้นอยู่กับระยะเวลาการปลูกด้วยพืช ยิ่งมีระยะเวลาการปลูกด้วยพืชนานเท่าใดผลผลิตก็จะมากขึ้นเท่านั้น (Isik et al., 2015) อย่างไรก็ตามระยะปลูกถี่ไม่ได้เพิ่มระยะเวลาการปลูกด้วยพืช แต่ช่วยเพิ่มความสามารถในการแข่งขันของพืชปลูกทำให้วัชพืชน้อยลง (Xi et al., 2022) การเพิ่มประชากรของพืชปลูกจึงเป็นวิธีหนึ่งในการเพิ่มความสามารถในการแข่งขันของพืชปลูก จากภาพของแปลงทดลองจะเห็นว่าระยะปลูกถี่มีจำนวนหัวต่อพื้นที่มากกว่าระยะปลูกห่าง (Figure 2)

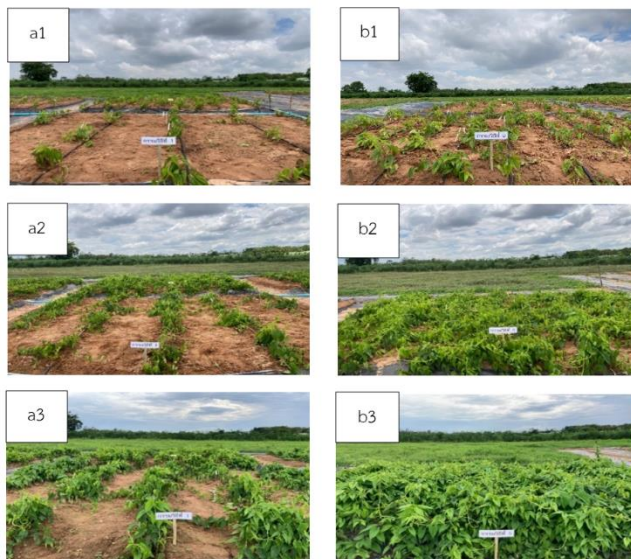


Figure 2 Growth of white yam grown at low plant density (100x100 cm) at 30 (a1), 60 (a2) and 90 (a3) days after transplanting (DAT) and high plant density (50x50 cm) at 30 (b1), 60 (b2) and 90 (b3) DAT.

ความกว้างหัวมีค่าเฉลี่ยอยู่ระหว่าง 7.75 เซนติเมตร ของระยะปลูก 100x100 เซนติเมตร และ 9 เซนติเมตร ของระยะปลูก 80x80 เซนติเมตร ซึ่งไม่แตกต่างกันทางสถิติในระหว่างระยะปลูกทั้งหมด ความยาวหัวมีค่าเฉลี่ยอยู่ระหว่าง 9.00 เซนติเมตร ของระยะปลูก 100x100 เซนติเมตร และ 10.50 เซนติเมตร ของระยะปลูก 80x80 และ 80x50 เซนติเมตร ซึ่งไม่แตกต่างกันทางสถิติในระหว่างระยะปลูกทั้งหมดเช่นเดียวกันกับความกว้างของหัว ความกว้างและความยาวของหัวไม่สามารถนำมาใช้เป็นลักษณะคุณภาพและองค์ประกอบผลผลิตของหัวเพราะไม่มีความแตกต่างกันเมื่อระยะปลูกแตกต่างกัน

ผลการทดลองชี้ให้เห็นว่าการปลูกมันจาวมะพร้าวที่ระยะถี่ที่สุด (ระยะปลูก 50x50 เซนติเมตร) ทำให้มีจำนวนหัวต่อพื้นที่มากที่สุด ทั้งนี้เนื่องจากมันจาวมะพร้าวไม่ได้ต้องการพื้นที่ในการเจริญเติบโตของหัวมากเหมือนกับพืชหลายชนิด เนื่องจากในขณะที่มันจาวมะพร้าวที่มีการปลูกระยะห่างขึ้นกลับทำให้เป็นการเพิ่มพื้นที่ให้วัชพืชเจริญเติบโตมากขึ้น ซึ่งเป็นการเพิ่มต้นทุนในการกำจัดวัชพืช อีกทั้งยังเป็นการสูญเสียพื้นที่ในการปลูก เนื่องจากการเจริญเติบโตของหัวมันจาวมะพร้าวจะจำกัดอยู่แค่ออ่ง ๆ ต้นเท่านั้น จึงทำให้ขนาดหัวไม่แตกต่างกันในแต่ละกรรมวิธี แต่จะพบว่าองค์ประกอบผลผลิตที่มีผลต่อการให้ผลผลิตของมันจาวมะพร้าวมากที่สุดกลับเป็นจำนวนต้นที่ปลูกต่อไร่ ซึ่งยังมีจำนวนต้นต่อไร่สูง ในระยะปลูกถี่ที่สุด 50x50 เซนติเมตร ยิ่งทำให้มีจำนวนหัวเฉลี่ยต่อไร่สูง ส่งผลให้ผลผลิตเฉลี่ยต่อไร่สูงตามไปด้วย ถึงแม้จะมีน้ำหนักหัวเฉลี่ยต่อต้นและน้ำหนักหัวเฉลี่ยต่อหัวต่ำกว่าระยะปลูก 80x80 เซนติเมตร แต่ยังให้ผลผลิตเฉลี่ยต่อไร่สูงสุด ดังนั้นจะเห็นได้ว่าองค์ประกอบผลผลิตมีลักษณะที่ยึดหยุ่นสามารถทดแทนและชดเชยซึ่งกันและกันได้ กล่าวคือ เมื่อองค์ประกอบผลผลิตหนึ่งลดลงผลผลิตอาจจะไม่ลดลง เพราะว่าผลผลิตนั้นจะถูกชดเชยด้วยองค์ประกอบอื่นที่เพิ่มขึ้น (Sampet, 1999)

จะเห็นได้ว่าผลผลิตของมันจาวมะพร้าวต่อพื้นที่มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามระยะปลูกที่แคบลง เนื่องจากการจัดระยะปลูกที่แคบลงทำให้มีจำนวนประชากรต่อพื้นที่เพิ่มขึ้นส่งผลให้ผลผลิตต่อพื้นที่เพิ่มขึ้นตามไปด้วย ระยะปลูกที่เหมาะสมในการศึกษาอื่น ๆ ที่มีรายงานไว้พบว่า ในการปลูกมันจาวมะพร้าวโดยการดำ การทำค้าง ระยะปลูก 100x66 เซนติเมตร ที่มีความหนาแน่นของประชากรเท่ากับ 2,400 ต้นต่อไร่ ให้ผลผลิตสูงสุด เมื่อเทียบกับความหนาแน่นของประชากร 400 800 และ 3,200 ต้นต่อไร่ (Lyonga et al., 1973) การปลูกมันจาวมะพร้าวในเดือนพฤษภาคมโดยใช้ระยะปลูก 75x50 เซนติเมตร ให้ผลผลิตสูงสุด เมื่อเทียบกับระยะปลูก 75x75 และ 100x100 เซนติเมตร (Saravaiya et al., 2010) ในการศึกษาเมื่อไม่นานมานี้พบว่า ระยะปลูก 60x30 เซนติเมตร ให้ผลผลิตสูงสุดและสูงกว่าการปลูกระยะห่าง (90x90 เซนติเมตร) เป็นอย่างมาก (Mhaskar et al., 2020) ผลการทดลองนี้สอดคล้องกับการศึกษาในมันจาวมะพร้าวที่ทำเมื่อไม่นานมานี้ ซึ่งพบว่าระยะปลูกห่าง (75x75 เซนติเมตร) ให้ผลผลิตต่อต้นมากกว่าระยะปลูกถี่ ในขณะที่ระยะปลูกถี่ให้ผลผลิตต่อพื้นที่มากกว่าระยะปลูกห่าง และระยะปลูก 50x50 เซนติเมตร ให้ผลผลิตสูงสุด (Sebastian et al., 2020) นอกจากนั้นในการศึกษาที่ผ่านมาพบว่าการปลูกมันจาวมะพร้าวโดยใช้ความหนาแน่นของประชากรต่ำให้น้ำหนักแห้งของส่วนเหนือดินสูงกว่าการปลูกโดยใช้ความหนาแน่นของ

ประชากรสูง และให้จำนวนหัวต่อต้นมากกว่าการปลูกโดยใช้ความหนาแน่นของประชากรสูง (Okpara et al., 2014)

ความสัมพันธ์ระหว่างลักษณะต่าง ๆ กับผลผลิต

จากการวิเคราะห์ค่าสหสัมพันธ์ พบว่า ลักษณะที่วิเคราะห์มีความสัมพันธ์กันในเชิงบวกอย่างมากหรือน้อยมากแล้วแต่ลักษณะ (Table 7) ตารางข้อมูลที่แสดงเป็นข้อมูลวิเคราะห์เมื่อ 30 วันหลังย้ายปลูก กับผลผลิตและจำนวนหัวต่อไร่ เมื่อ 8 เดือนหลังปลูก เนื่องจากข้อมูลเมื่อ 60 และ 90 วันหลังย้ายปลูก แสดงความสัมพันธ์คล้ายกันกับข้อมูลเมื่อ 30 วันหลังย้ายปลูก แต่ค่าสหสัมพันธ์ต่ำกว่าเพียงเล็กน้อย จึงได้นำเสนอข้อมูลเมื่อ 30 วันหลังย้ายปลูก เพียงอย่างเดียว

ซึ่งค่าสหสัมพันธ์ส่วนมากเป็นบวกค่อนข้างสูงแต่ไม่มีนัยสำคัญ อาจเป็นเพราะตัวอย่างที่ใช้วัดมีขนาดเล็กเกินไป อย่างไรก็ตามมีค่าสหสัมพันธ์เชิงบวกสูงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ เช่น ความยาวเถา มีสหสัมพันธ์เชิงบวกอย่างมีนัยสำคัญกับจำนวนข้อ จำนวนใบ ความยาวใบ และจำนวนหัวต่อไร่ จำนวนใบนอกจากจะมีสหสัมพันธ์เชิงบวกอย่างมีนัยสำคัญกับความยาวเถาแล้วยังมีสหสัมพันธ์เชิงบวกอย่างมีนัยสำคัญกับผลผลิตหัวและจำนวนหัวต่อไร่อีกด้วย ส่วนจำนวนหัวต่อไร้นั้นนอกจากจะมีสหสัมพันธ์เชิงบวกอย่างมีนัยสำคัญกับความยาวเถา และจำนวนใบแล้วยังมีสหสัมพันธ์เชิงบวกอย่างมีนัยสำคัญกับผลผลิตหัวด้วยเช่นกัน

ค่าสหสัมพันธ์บ่งบอกความสัมพันธ์ของลักษณะต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องกับลักษณะเป้าหมายเช่นผลผลิต โดยทั่วไปค่าสหสัมพันธ์จะมีความหมายและใช้ประโยชน์ได้อย่างมีประสิทธิภาพเมื่อมีค่าสูง 75 เปอร์เซ็นต์ขึ้นไป ในการศึกษาครั้งนี้ลักษณะที่น่าสนใจคือ จำนวนใบและความยาวเถาในระยะต้น ๆ ของการเจริญเติบโต ซึ่งอาจใช้เป็นเกณฑ์ในการประเมินศักยภาพผลผลิตได้ในการคัดเลือกพันธุ์หรือในแปลงปลูกเพื่อการผลิตเชิงพาณิชย์ ความยาวเถาและจำนวนใบเป็นลักษณะที่วัดง่ายและไม่ทำลายต้นพืช ส่วนจำนวนหัวต่อไร้นั้นสามารถใช้ประเมินผลผลิตเมื่อเก็บเกี่ยว

การศึกษาในมันจาวมะพร้าวรายงานว่า จำนวนใบมีสหสัมพันธ์เชิงบวกกับผลผลิตหัวและสามารถใช้จำนวนใบในการทำนายผลผลิตของมันจาวมะพร้าวได้ (Ekwere et al., 2023) ในการปลูกมันจาวมะพร้าวแบบไม่ทำค้างและทำค้าง Hamaoka et al. (2022)

รายงานว่า น้ำหนักต้นแห้งและจำนวนใบมีความสัมพันธ์กับผลผลิตหัว ในขณะที่ลักษณะหัวกลมสัมพันธ์กับผลผลิตหัวในการปลูกแบบไม่ทำค้างเท่านั้น เช่นเดียวกันกับในมันเทศ ลักษณะการเจริญเติบโตส่วนมากสัมพันธ์ทางบวกกับผลผลิตหัวและสามารถใช้ลักษณะที่สัมพันธ์กับผลผลิตเป็นเกณฑ์ในการคัดเลือกพันธุ์ (Alam et al., 2023)

สรุปผลการวิจัย

การใช้ระยะปลูกที่ดีที่สุดหรือการเพิ่มความหนาแน่นของประชากรพืชมากที่สุดทำให้เพิ่มผลผลิตมันจาวมะพร้าวได้ โดยการปลูกมันจาวมะพร้าวที่ระยะปลูก 50x50 เซนติเมตร ซึ่งเป็นระยะที่มีประชากรหนาแน่นที่สุดทำให้มันจาวมะพร้าวมีผลผลิตสูงสุด เนื่องจากมีจำนวนหัวต่อไร่สูงสุด อีกทั้งทำให้มีความคุ้มค่าต่อการลงทุนมากที่สุด และทำให้ความยาวเถา ความกว้างใบ ความยาวใบ และจำนวนใบมากที่สุด นอกจากนี้ยังมีแนวโน้มทำให้จำนวนข้อของเถา จำนวนเถา จำนวนยอดบนเถาหลัก และความยาวของก้านใบมากกว่ากรรมวิธีอื่นๆ ดังนั้นจากการศึกษาระยะปลูกที่เหมาะสมในการผลิตมันจาวมะพร้าวในการศึกษานี้ คือ ระยะปลูก 50x50 เซนติเมตร อย่างไรก็ตามควรมีการศึกษาระยะปลูกที่ชิดกว่านี้ รวมถึงมีการศึกษาความสัมพันธ์ของระยะปลูกกับจำนวนวัชพืช และระดับการแข่งขันของวัชพืชที่มีต่อการเจริญเติบโตและผลผลิต

กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้วิจัยขอขอบคุณสำนักงานคณะกรรมการส่งเสริมวิทยาศาสตร์ วิจัยและนวัตกรรม (สกสว.) และกรมวิชาการเกษตรที่ให้การสนับสนุนงบประมาณในการทำวิจัยครั้งนี้ นายขจรวิทย์ พันธุ์ยางน้อย ผู้อำนวยการสำนักวิจัยและพัฒนาการเกษตรเขตที่ 4 ผู้เริ่มเขียนโครงการวิจัยมันจาวมะพร้าว นายถวัลย์ เกษมาลา ที่ให้คำแนะนำในการเขียนบทความ ตลอดจนขอขอบคุณพนักงาน เจ้าหน้าที่ นักวิชาการเกษตรของศูนย์วิจัยและพัฒนาการเกษตรชัยภูมิที่ลงพื้นที่เก็บรวบรวมข้อมูล และเกษตรกรผู้ปลูกมันจาวมะพร้าว บ้านคำน้อย ตำบลห้วยต้อน อำเภอเมือง จังหวัดชัยภูมิ ที่ให้ความอนุเคราะห์ในการให้ข้อมูลพื้นฐานการผลิตมันจาวมะพร้าว

Table 1 Soil properties at the experimental site

pH	Organic Matter (OM, %)	Available Phosphorus (Avail.P, mg/kg)	Exchangeable Potassium (Exch.K, mg/kg)	Soil Texture
5.46	0.44	54	66	Sandy loam

Table 2 Means for vine length and number of nodes of vine of white yam at 30, 60 and 90 days after transplanting (DAT)

Spacing	Vine Length (cm)			Number of Nodes of Vine		
	30 DAT	60 DAT	90 DAT	30 DAT	60 DAT	90 DAT
100x100 cm	72 ^c	135	157	7.65 ^c	14.91	16.79
100x80 cm	68 ^c	157	164	8.45 ^{bc}	16.62	16.56
80x80 cm	78 ^{bc}	140	158	9.95 ^{ab}	14.82	17.31
80x50 cm	89 ^b	131	157	10.90 ^a	14.77	17.99
50x50 cm	105 ^a	145	166	11.35 ^a	15.65	19.25
Average	82	142	161	9.66	15.35	17.58
F-test	**	ns	ns	*	ns	ns
CV (%)	9.88	10.52	12.40	14.16	12.80	11.61

ns, *, ** = non-significantly different at $P \leq 0.05$, significantly different at $P \leq 0.05$ and 0.01, respectively.

Mean values with different letters in each column are significantly different at $P \leq 0.05$ by LSD.

Table 3 Means for vine number and number of vine shoots of white yam at 30, 60 and 90 days after transplanting (DAT)

Spacing	Vine Number			Number of Vine Shoots		
	30 DAT	60 DAT	90 DAT	30 DAT	60 DAT	90 DAT
100x100 cm	1.45	2.75	3.59	2.45	3.09	3.49
100x80 cm	1.35	2.33	3.38	2.15	3.47	3.64
80x80 cm	1.25	2.53	3.71	2.25	3.48	3.43
80x50 cm	1.30	2.58	2.98	2.95	2.99	3.35
50x50 cm	1.50	2.71	3.26	2.55	3.60	3.78
Average	1.37	2.58	3.38	2.47	3.33	3.54
F-test	ns	ns	ns	ns	ns	ns
CV (%)	22.02	11.33	21.05	18.41	17.85	7.36

ns = non-significantly different at $P \leq 0.05$.**Table 4** Means for leaf number and leaf length of white yam at 30, 60 and 90 days after transplanting (DAT)

Spacing	Leaf Number			Leaf Length (cm)		
	30 DAT	60 DAT	90 DAT	30 DAT	60 DAT	90 DAT
100x100 cm	8.90	21.33 ^b	34.28	12.25 ^{bc}	12.38	13.42
100x80 cm	9.90	29.40 ^a	33.50	11.73 ^c	12.38	13.47
80x80 cm	10.55	28.04 ^a	34.08	12.36 ^{bc}	12.84	13.45
80x50 cm	11.10	26.04 ^{ab}	37.58	13.01 ^{ab}	13.16	13.90
50x50 cm	13.10	29.11 ^a	37.88	13.39 ^a	13.45	13.96
Average	10.71	26.78	35.46	12.55	12.84	13.64
F-test	ns	*	ns	*	ns	ns
CV (%)	16.87	12.74	14.99	4.84	5.95	5.94

ns, * = non-significantly different at $P \leq 0.05$, significantly different at $P \leq 0.05$.Mean values with different letters in each column are significantly different at $P \leq 0.05$ by LSD.**Table 5** Means for leaf width and leaf petiole length of white yam at 30, 60 and 90 days after transplanting (DAT)

Spacing	Leaf Width (cm)			Leaf Petiole Length (cm)		
	30 DAT	60 DAT	90 DAT	30 DAT	60 DAT	90 DAT
100x100 cm	7.84	7.96	8.21	6.37 ^{ab}	6.44	7.12
100x80 cm	7.34	7.35	7.77	5.81 ^c	6.19	7.07
80x80 cm	7.57	7.89	8.00	5.93 ^{bc}	5.98	6.92
80x50 cm	7.96	8.02	8.38	6.49 ^a	6.61	7.08
50x50 cm	7.55	7.62	7.73	6.55 ^a	6.65	6.86
Average	7.65	7.77	8.01	6.23	6.37	7.01
F-test	ns	ns	ns	*	ns	ns
CV (%)	12.27	6.11	4.84	5.11	8.96	8.92

ns, * = non-significantly different at $P \leq 0.05$, significantly different at $P \leq 0.05$.Mean values with different letters in each column are significantly different at $P \leq 0.05$ by LSD.**Table 6** Means for tuber yield, tuber weight/plant, tuber weight/tuber, tuber number/plant, tuber number/rai, tuber width and tuber length of white yam at 8 months after planting

Spacing	Tuber Yield (kg/rai)	Tuber Weight (g/plant)	Tuber Weight (g/tuber)	Tuber Number (tubers/plant)	Tuber Number (tubers/rai)	Tuber Width (cm)	Tuber Length (cm)
100x100 cm	1208 ^c	755 ^a	99 ^{ab}	7.75a ^b	9690 ^d	7.75	9.00
100x80 cm	1418 ^{bc}	739 ^a	90 ^{ab}	8.25 ^a	13840 ^c	8.00	10.25
80x80 cm	1652 ^b	688 ^a	102 ^a	6.75 ^b	14840 ^{bc}	9.00	10.50
80x50 cm	1497 ^b	368 ^b	85 ^b	4.75 ^c	16920 ^b	8.25	10.50
50x50 cm	2164 ^a	339 ^b	68 ^c	5.00 ^c	30238 ^a	8.50	9.75
Average	1588	578	89	6.50	17106	8.30	10.00
F-test	**	**	**	**	**	ns	ns
CV (%)	11.00	23.96	10.75	11.58	10.05	10.94	12.35

ns, ** = non-significantly different at $P \leq 0.05$, significantly different at $P \leq 0.01$.Mean values with different letters in each column are significantly different at $P \leq 0.05$ by LSD.

Table 7 Correlation coefficients between growth parameters evaluated at 30 DAT and yield traits evaluated at harvest

Traits	Vine Length	Node Number	Leaf Number	Leaf Length	Tuber Yield
Node Number	0.886*				
Leaf Number	0.939*	0.919*			
Leaf Length	0.967**	0.853	0.834		
Tuber Yield	0.864	0.813	0.957*	0.725	
Tuber Number	0.924*	0.815	0.977**	0.797	0.963**

*, ** = Significantly different at $P \leq 0.05$ and 0.01 , respectively.

Table 8 Economic benefits of white yam production

Spacing	Cost (Baht/rai)	Income ^{1/} (Baht/rai)	Net income (Baht/rai)	BCR
100x100 cm	17,690	42,280	24,590	2.39
100x80 cm	18,165	49,630	31,465	2.73
80x80 cm	18,759	57,820	39,061	3.08
80x50 cm	20,540	52,395	31,855	2.55
50x50 cm	23,390	75,740	52,350	3.24
Average	19,709	55,573	35,864	2.82

^{1/} Income was calculated from the yield multiplied by the price of yam at 35 Baht per kilogram.

References

- Adhikari, G., Bista, D., Bhattarai, A., & Paudel, H. (2021). Effect of tuber size and nutrient source on the yield of yam (*Dioscorea* sp.). *Acta Scientifica Malaysia*, 5(1), 17-19. doi: 10.26480/asm.01.2021.17.19
- Alam, Z., Akter, S., Khan, M. A. H., Alam, M. S., Sultana, S., Akhter, S., Rahman, M. M., & Islam, M. M. (2023). Yield performance and trait correlation of BARI released sweet potato varieties studied under several districts of Bangladesh. *Heliyon*, 9(7), e18203. doi: 10.1016/j.heliyon.2023.e18203
- Bricker, A. A. (1989). *MSTAT- C user's guide*. North Carolina, United States: Statistical Analysis System Institute Inc.
- Department of Land Development. (2024). *Information for soil management*. Accessed May 5, 2024. Retrieved from https://www.ldd.go.th/Web_Soil/Page_02.htm. (in Thai)
- Ekwere, O. J., Efreteui, A., Udounang, P., & Ben, F. E. (2023). Evaluation of some growth and yield traits of nine cultivars of white Guinea yam (*Dioscorea rotundata* poir.). *AKSU Journal of Agriculture and Food Sciences*, 7(2), 83-96. doi: 10.61090/aksuja.2023.013
- Fang, X., Li, Y., Nie, J., Wang, C., Huang, K., Zhang, Y., Zhang, Y., She, H., Liu, X., Ruan, R., Yuan, X., & Yi, Z. (2018). Effects of nitrogen fertilizer and planting density on the leaf photosynthetic characteristics, agronomic traits and grain yield in common buckwheat (*Fagopyrum esculentum* M.). *Field Crops Research*, 219, 160-168. doi: 10.1016/j.fcr.2018.02.001
- Ferguson, T. U., Haynes, P. H., & Spence, J. A. (2009). The effect of sett size, sett type and spacing on some aspects of growth, development and yield in white Lisbon yams (*D. alata* L.). *Agricultural and Food Sciences*, 2009, 649-655.
- Goenaga, R. J., & Irizarry, H. (1994). Accumulation and partitioning of dry matter in water yam. *Agronomy, Journal*, 86(6), 1083-1087. doi: 10.2134/agronj1994.00021962008600060029x
- Gomez, K. A., & Gomez, A. A. (1984). *Statistical procedures for agricultural research* (2nd ed.). New York, United State: John Wiley & Sons.
- Gurnah, A. M. (1974). Effects of spacing, sett weight and fertilizers on yield and yield components in yams. *Experimental Agriculture*, 10(1), 17-22. doi: 10.1017/s0014479700006360
- Hamaoka, N., Moriyama, T., Taniguchi, T., Suriyasak, C., & Ishibashi, Y. (2022). Identification of phenotypic traits associated with tuber yield performance in non-staking cultivation of water yam (*Dioscorea alata* L.). *Agronomy*, 12(10), 2323. doi: 10.3390/agronomy12102323
- Hanna Instruments. (2024). *pH values in soil (acid and base): Who do not know is at risk*. Accessed May 5, 2024. Retrieved from [https://www.hannathailand.com/2022/02/03/ค่า-ph-ในดิน-กรดต่าง-ใครยัง/#:~:text=สำหรับค่า%20pH%20ในดิน,อุณหภูมิ%20และเพาะ](https://www.hannathailand.com/2022/02/03/ค่า-ph-ในดิน-กรดต่าง-ใครยัง/#:~:text=สำหรับค่า%20pH%20ในดิน,อุณหภูมิ%20และเพาะ.). (in Thai)
- Isik, D., Akca, A., Altop, E. K., Tursun, N., & Mennan, H. (2015). The Critical period for weed control (CPWC) in potato (*Solanum tuberosum* L.). *Notulae Botanicae Horti Agrobotanici Cluj-Napoca*, 43(2), 355-360. doi: 10.15835/nbha43210031
- Khan, N., Han, Y., Xing, F., Feng, L., Wang, Z., Wang, G., Yang, B., Fan, Z., Lei, Y., Xiong, S., Li, X., & Li, Y. (2020). Plant density influences reproductive growth, lint yield and boll spatial distribution of

- cotton. *Agronomy*, 10(1), 14. doi: 10.3390/agronomy10010014
- Kiniry, J. R., Simpson, C. E., Schubert, A. M., & Reed, J. D. (2005). Peanut leaf area index, light interception, radiation use efficiency, and harvest index at three sites in Texas. *Field Crops Research*, 91(2-3), 297-306. doi: 10.1016/j.fcr.2004.07.021
- Law-Ogbomo, K. E., & Remison, S. U. (2008). Growth and yield of white guinea yam (*Dioscorea rotundata* Poir.) influenced by NPK fertilization on a forest site in Nigeria. *Journal of Tropical Agriculture*, 46(1-2), 21-24.
- Liu, G., Yang, Y., Liu, W., Guo, X., Xue, J., Xie, R., Ming, B., Wang, K., Hou, P., & Li, S. (2020). Leaf removal affects maize morphology and grain yield. *Agronomy*, 10(2), 269. doi: 10.3390/agronomy10020269
- Lyonga, S. N., Fayemi, A. A., & Agboola, A. A. (1973). Agronomic studies on edible yam in the grassland plateau region of the United Republic of Cameroon. In Leakey, C. A. (Ed.), *Proceeding of the 3rd symposium of the international society of tropical root crops* (pp. 340-346). Ibadan, Nigeria: ITTA.
- Makiyah, S. N. N., & Djati, M. S. (2018). Potency of purple yam (*Dioscorea alata* L.) as an immunomodulatory agent. *Berkala Kedokteran*, 14(1), 89-98.
- Mhaskar, N. V., Jadye, A. T., Malshe, K. V., Bhagat, S. B., & Dahiphale, A. V. (2020). Evaluation lesser yam (*Dioscorea esculenta* L.) tuber yield and economics under different crop geometry in lateritic soils of Konkan. *International Journal of Chemical Studies*, 8(3), 1772-1775. doi: 10.22271/chemi.2020.v8.i3x.9455
- Okpara, D. A., Ikoro, A. I., Mbah, E., & Akpaninyang, F. (2014). Growth and yield of white yam (*Dioscorea rotundata* Poir.) microsett in response to plant population and NPK fertilizer. *Nigerian Journal of Crop Science*, 2(1), 72-76.
- Sampet, C. (1999). *Physiology of crop production*. Chiangmai, Thailand: Nopburee press. (in Thai)
- Saravaiya, S. N., Chauhari, P. P., Chauhan, G. G., Patel, N. B., Patel, K. A., & Chauhari, J. H. (2010). Influence of spacing, time of planting and seed corm size on yield of elephant foot yam [*Amorphophallus paeoniifolius* (Dennst.) Nicolson cv. Gajendra under south Gujarat conditions. *The Asian Journal of Horticulture*, 5(1), 119-120.
- Sebastian, A., Prameela, P., & Menon, M. V. (2020). Productivity of lesser yam [*Dioscorea esculenta* (Lour.) Burkill] as affected by seed tuber size and spacing. *Journal of Tropical Agriculture*, 58(1), 119-124.
- Sobulo, R. A. (1972). Studies on white yam (*Dioscorea rotundata*) I. growth analysis. *Experimental Agriculture*, 8(2), 99-106. doi: 10.1017/S0014479700005044
- Suja, G., Nair, V. M., & Pushpakumari, R. (2003). Influence of plant population and sett size on biomass accumulation and quality of white yam (*Dioscorea rotundata*) intercropped in coconut (*Cocos nucifera*) gardens. *Indian Journal of Agronomy*, 48(4), 274-276.
- Tagliapietra, E. L., Streck, N. A., da Rocha, T. S. M., Richter, G. L., da Silva, M. R., Cera, J. C., Guedes, J. V. C., & Zanon, A. J. (2018). Optimum leaf area index to reach soybean yield potential in subtropical environment. *Agronomy Journal*, 110(3), 932-938. doi: 10.2134/agronj2017.09.0523
- Ta-oun, M., & Panchaban, S. (2002). Development of rice-residue application in agriculture. *Journal of academic service center*, 10, 72-78. (in Thai)
- Veltkamp, H. J. (1986). *Physiological causes of yield variation in cassava (Manihot esculenta Crantz)*. Wageningen, the Netherlands: Agricultural University Wageningen.
- Verwijst, T., & Wen, D. Z. (1996). Leaf allometry of *Salix viminalis* during the first growing season. *Tree Physiology*, 16(7), 655-660. doi: 10.1093/treephys/16.7.655
- Wongkrachang, S., & Rattaneetu, B. (2014). Acid soil management by using the lime and organic matter. *Princess of Naradhiwas University Journal*, 6(1), 103-112. (in Thai)
- Xi, N., Wu, Y., Weiner, J., & Zhang, D. Y. (2022). Does weed suppression by high crop density depend on crop spatial pattern and soil water availability?. *Basic & Applied Ecology*, 61(3), 20-29. doi: 10.1016/j.baae.2022.03.001

Research article

Effects of plant spacing on growth and yield of white yam (*Dioscorea alata* L.)

Ratanaporn Koolachart* Sasithorn Praprom Ratchaneewan Chuchird
Apaporn Boonpa and Rapeeporn Srisathit

Chaiyaphum Agricultural Research and Development Center Na Fai Subdistrict, Mueang District,
Chaiyaphum Province, Thailand 36000

ARTICLE INFO**Article history**

Received: 6 June 2024

Revised: 9 August 2024

Accepted: 10 August 2024

Online published: 28 August 2024

Keyword

white yam

plant spacing

growth

yield

net income

ABSTRACT

The cultivation of white yam (*Dioscorea alata* L.) at appropriate planting spacing can reduce production costs for farmers and increase crop productivity, income and economic value in the region. The purpose of this experiment was to study the appropriate plant spacing for white yam production. The experiment was designed in a randomized complete block design with five spacings and four replicates. The spacings were 100x100 cm, 100x80 cm, 80x80 cm, 80x50 cm and 50x50 cm. The experiment was conducted under field conditions at Chaiyaphum Agricultural Research and Development Center, Na Fai Subdistrict, Mueang District, Chaiyaphum Province, from April to December 2023. Data on growth parameters, tuber yield, production costs, income and the benefit-cost ratio (BCR) were recorded. White yam plant spacing significantly affected vine length, leaf width, leaf length, and leaf number. For white yam, a plant spacing of 50x50 cm resulted in the highest values for vine length, leaf width, leaf length and leaf number, and this spacing was also high for other growth parameters. The plant spacings were also differed significantly in the tuber yield of white yam. Planting white yam at 50x50 cm spacing gave the highest tuber yield and was the most rewarding investment. Planting white yam at 50x50 cm spacing was most suitable for white yam production, both in terms of yield and investment value.

*Corresponding author

E-mail address: ratanaporn38@hotmail.com (R. Koolachart)

Online print: 28 August 2024 Copyright © 2024. This is an open access article, production, and hosting by Faculty of Agricultural Technology, Rajabhat Maha Sarakham University. <https://doi.org/10.14456/paj.2024.36>



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

บทความวิจัย

เทคโนโลยีชีวภาพเพื่อย่อยสลายต่อซังข้าวขึ้นน้ำของเกษตรกรตำบลพิทเพียน อำเภอมหาราช จังหวัดพระนครศรีอยุธยา

ศตวรรษ คสมจิตต์¹ สุพัตรา ศรีสุวรรณ^{2*} และ ปรีดา สามงามยา²

¹สาขาส่งเสริมและการจัดการนวัตกรรมการเกษตร คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ เขตจตุจักร กรุงเทพมหานคร ประเทศไทย 10900

²ภาควิชาส่งเสริมและนิเทศศาสตร์เกษตร คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ เขตจตุจักร กรุงเทพมหานคร ประเทศไทย 10900

ข้อมูลบทความ

Article history

รับ: 25 พฤษภาคม 2567

แก้ไข: 15 กรกฎาคม 2567

ตอบรับการตีพิมพ์: 4 กันยายน 2567

ตีพิมพ์ออนไลน์: 17 กันยายน 2567

คำสำคัญ

เทคโนโลยีชีวภาพ

ต่อซังข้าว

ข้าวขึ้นน้ำ

พระนครศรีอยุธยา

บทคัดย่อ

การวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษา 1) ลักษณะพื้นฐานส่วนบุคคลและด้านเศรษฐกิจ 2) ระดับความรู้เกี่ยวกับเทคโนโลยีชีวภาพเพื่อย่อยสลายต่อซังข้าวขึ้นน้ำ 3) ความคิดเห็นที่มีต่อเทคโนโลยีชีวภาพเพื่อย่อยสลายต่อซังข้าวขึ้นน้ำ 4) เปรียบเทียบความแตกต่างความคิดเห็นที่มีต่อเทคโนโลยีชีวภาพเพื่อย่อยสลายต่อซังข้าวขึ้นน้ำตามลักษณะพื้นฐานส่วนบุคคลและด้านเศรษฐกิจ และ 5) ความสัมพันธ์ระหว่างความรู้กับความเห็นที่มีต่อเทคโนโลยีชีวภาพเพื่อย่อยสลายต่อซังข้าวขึ้นน้ำ กลุ่มตัวอย่าง คือ เกษตรกรผู้ปลูกข้าวขึ้นน้ำในตำบลพิทเพียน จำนวน 127 คน โดยใช้แบบสัมภาษณ์ สถิติที่ใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูล ได้แก่ ร้อยละ ค่าเฉลี่ย ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน ค่า t-test F-test วิเคราะห์ LSD สำหรับทดสอบความแตกต่างรายคู่ และค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ของเพียร์สัน ผลการวิจัยพบว่า เกษตรกรส่วนใหญ่เป็นเพศหญิง ร้อยละ 58.30 อายุเฉลี่ย 56.93 ปี จบการศึกษาในระดับประถมศึกษา ร้อยละ 52.80 จำนวนสมาชิกในครัวเรือนเฉลี่ย 2.94 คน พื้นที่ปลูกข้าวขึ้นน้ำเฉลี่ย 27.32 ไร่ ส่วนใหญ่เป็นพื้นที่เช่า ร้อยละ 42.50 ประสบการณ์ในการปลูกข้าวขึ้นน้ำเฉลี่ย 21.02 ปี เกษตรกรมีความรู้เกี่ยวกับเทคโนโลยีชีวภาพเพื่อย่อยสลายต่อซังข้าวขึ้นน้ำอยู่ในระดับมาก ร้อยละ 80 เกษตรกรมีความเห็นต่อเทคโนโลยีชีวภาพเพื่อย่อยสลายต่อซังข้าวขึ้นน้ำโดยรวมอยู่ในระดับมาก ค่าเฉลี่ย 4.07 ผลการเปรียบเทียบความแตกต่างความคิดเห็น พบว่าประสบการณ์ในการปลูกข้าวขึ้นน้ำแตกต่างกัน มีความคิดเห็นต่อเทคโนโลยีชีวภาพเพื่อย่อยสลายต่อซังข้าวขึ้นน้ำโดยรวมแตกต่างกัน ที่ระดับนัยสำคัญทางสถิติ 0.05 ส่วนความสัมพันธ์ระหว่างความรู้กับความเห็น พบว่าด้านกระบวนการผลิต ความรู้กับความเห็นของเกษตรกรที่มีต่อเทคโนโลยีชีวภาพเพื่อย่อยสลายต่อซังข้าวขึ้นน้ำ มีความสัมพันธ์กัน ที่ระดับนัยสำคัญทางสถิติ 0.01

บทนำ

กรมส่งเสริมการเกษตรได้กำหนดกลยุทธ์ในการส่งเสริมการผลิตที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม มุ่งเน้นการลดการเผาในพื้นที่การเกษตร ด้วยการสร้างความเข้าใจให้เกษตรกรรับรู้ถึงผลกระทบที่เกิดขึ้นจากการเผา เนื่องจากในปัจจุบันเกษตรกรมักใช้วิธีการเผาต่อซังฟางข้าวเพื่อความสะดวกในการไถเตรียมดินในการเพาะปลูกฤดูต่อไป ซึ่งการเผาทำให้เกิดดินเสื่อมโทรม อินทรีย์วัตถุและธาตุอาหารในดินลดลง โครงสร้างดินอัดแน่น ทำลายจุลินทรีย์ที่เป็นประโยชน์ในดิน เกิดฝุ่นละอองและควัน สาเหตุหนึ่งของภาวะโลกร้อนและยังส่งผลต่อสุขภาพอีกด้วย (Department of Agricultural Extension, 2020) และนำเสนอทางเลือกในการใช้เทคโนโลยีจัดการต่อซังข้าวอย่างเหมาะสมปรับเปลี่ยนวิธีการผลิตให้เป็นการทำเกษตรปลอดการเผา ปรับเปลี่ยนพฤติกรรมของเกษตรกรให้มีความพร้อมกับการเปลี่ยนแปลงของสภาพภูมิอากาศและสถานการณ์ภัยพิบัติทางธรรมชาติที่มีค่าความน่าไว้มากขึ้นในอนาคต (Department of Agricultural Extension, 2023) ตำบลพิทเพียน เป็นตำบลที่ปลูกข้าวขึ้นน้ำมากที่สุดในอำเภอมหาราช

จังหวัดพระนครศรีอยุธยา มีพื้นที่ปลูก 6,618 ไร่ ซึ่งข้าวขึ้นน้ำเป็นข้าวไวต่อช่วงแสง นิยมปลูกในนาที่มีน้ำท่วมขังในระหว่างการทำนาข้าวฤดูนาปรังที่ระดับน้ำลึกตั้งแต่ 1 - 5 เมตรเป็นเวลาไม่น้อยกว่า 1 เดือน มีความสามารถในการยืดปล้องให้ยาวออกไปเพื่อหนีน้ำสามารถชुरงให้ตั้งขึ้นเหนือผิวน้ำได้ดีตามการเพิ่มของระดับน้ำในนาอายุข้าวประมาณ 8 - 9 เดือน ให้ผลผลิตค่อนข้างต่ำ แต่ยังพบว่าในพื้นที่ยังประสบปัญหาการจัดการต่อซังข้าวขึ้นน้ำ โดยหลังการเก็บเกี่ยวผลผลิตแล้วยังคงเหลือต่อซังข้าวที่มีความสูงมาก ต่อซังข้าวมีความแข็ง เกษตรกรส่วนใหญ่จึงใช้วิธีการเผา ส่งผลให้ตำบลพิทเพียนมีปัญหาการเผาในพื้นที่การเกษตรทุกปี โดยข้อมูลจำนวนจุดความร้อนสะสมจากดาวเทียมระบบ MODIS ประจำปี พ.ศ. 2565 - 2566 พบว่า ตำบลพิทเพียน มีจำนวนจุดความร้อนสะสมสูงสุดเป็นอันดับหนึ่งในอำเภอมหาราช ประกอบกับดินมีความอุดมสมบูรณ์ของดินต่ำ โครงสร้างดินแน่นทึบ ส่งผลให้ได้รับผลผลิตตกต่ำ (Maharat District Agricultural Extension Office, 2023) การจัดการต่อซังข้าวด้วยเทคโนโลยีชีวภาพเป็นอีกวิธีหนึ่งที่ช่วยปรับปรุงบำรุงดิน ช่วยเพิ่มอินทรีย์วัตถุและธาตุ

*Corresponding author

E-mail address: agrstsw@ku.ac.th (S. Srisuwan)

Online print: 17 September 2024 Copyright © 2024. This is an open access article, production, and hosting by Faculty of Agricultural Technology, Rajabhat Maha Sarakham University. <https://doi.org/10.14456/paj.2024.37>

อาหารในดิน (Yamdeeka et al., 2022) มีสารส่งเสริมการเจริญเติบโตของพืช ช่วยย่อยสลายต่อซังข้าวให้อ่อนนุ่ม และช่วยปรับปรุงบำรุงดินให้ร่วนซุย (Ministry of Agriculture and Cooperatives, 2024) สำนักงานเกษตรอำเภอมหาราชได้จัดอบรมถ่ายทอดความรู้ให้กับเกษตรกรตำบลพิทยะเมื่อเดือนมกราคม พ.ศ. 2566 เพื่อให้เกษตรกรมีความรู้ความเข้าใจเกี่ยวกับเทคโนโลยีชีวภาพเพื่อย่อยสลายต่อซังข้าวขึ้นน้ำ เพื่อเป็นแนวทางในการจัดการต่อซังข้าวขึ้นน้ำ ซึ่งสอดคล้องกับกลยุทธ์การส่งเสริมการผลิตที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อมของกรมส่งเสริมการเกษตร ดังนั้นการศึกษาเทคโนโลยีชีวภาพเพื่อย่อยสลายต่อซังข้าวขึ้นน้ำของเกษตรกรตำบลพิทยะ อำเภอมหาราช จังหวัดพระนครศรีอยุธยา จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาลักษณะพื้นฐานส่วนบุคคลและด้านเศรษฐกิจ ระดับความรู้เกี่ยวกับเทคโนโลยีชีวภาพเพื่อย่อยสลายต่อซังข้าวขึ้นน้ำ ความคิดเห็นที่มีต่อเทคโนโลยีชีวภาพเพื่อย่อยสลายต่อซังข้าวขึ้นน้ำ เปรียบเทียบความแตกต่างความคิดเห็นที่มีต่อเทคโนโลยีชีวภาพเพื่อย่อยสลายต่อซังข้าวขึ้นน้ำตามลักษณะพื้นฐานส่วนบุคคลและด้านเศรษฐกิจ และศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างความรู้กับความเห็นที่มีต่อเทคโนโลยีชีวภาพเพื่อย่อยสลายต่อซังข้าวขึ้นน้ำของเกษตรกร ทั้งนี้เพื่อนำผลการวิจัยมาเป็นแนวทางในการจัดการต่อซังข้าวขึ้นน้ำ ซึ่งจะประโยชน์ในการจัดการต่อซังข้าวขึ้นน้ำให้กับเกษตรกรในอำเภอมหาราช จังหวัดพระนครศรีอยุธยา หรือพื้นที่อื่น ๆ ต่อไป

อุปกรณ์และวิธีการวิจัย

ประชากรและกลุ่มตัวอย่าง

ประชากรที่ใช้ในการศึกษาคือ เกษตรกรผู้ปลูกข้าวขึ้นน้ำในพื้นที่ตำบลพิทยะ อำเภอมหาราช จังหวัดพระนครศรีอยุธยา ที่ขึ้นทะเบียนเกษตรกรกับสำนักงานเกษตรอำเภอมหาราช ฤดูในปี ปีการผลิต 2565/66 จำนวน 184 คน คำนวณหาขนาดของกลุ่มตัวอย่างด้วยวิธีของ Taro Yamane (Niyamangkoon, 2013) ที่ค่าความคลาดเคลื่อนที่ยอมรับได้ที่ 0.05 ได้ขนาดกลุ่มตัวอย่าง 127 คน จากนั้นใช้วิธีการสุ่มแบบแบ่งชั้นภูมิ เพื่อหาสัดส่วนกลุ่มตัวอย่างในแต่ละหมู่บ้าน แล้วจึงทำการสุ่มตัวอย่างอย่างง่าย ด้วยการจับสลากรายชื่อเกษตรกรในแต่ละหมู่บ้านให้ครบตามขนาดกลุ่มตัวอย่างที่คำนวณได้ โดยเก็บรวบรวมข้อมูลในเดือนกุมภาพันธ์ถึงเดือนเมษายน พ.ศ. 2567

เครื่องมือที่ใช้ในงานวิจัย

เครื่องมือที่ใช้ในงานวิจัย คือ แบบสัมภาษณ์ แบ่งเป็น 4 ตอน ได้แก่ 1) ลักษณะพื้นฐานส่วนบุคคล 2) ลักษณะด้านเศรษฐกิจ 3) ความรู้เกี่ยวกับเทคโนโลยีเพื่อชีวภาพย่อยสลายต่อซังข้าวขึ้นน้ำ และ 4) ความคิดเห็นที่มีต่อเทคโนโลยีชีวภาพเพื่อย่อยสลายต่อซังข้าวขึ้นน้ำ นำเครื่องมือมาทดสอบความเที่ยงตรงตามเนื้อหาด้วยวิธีหา Item-Objective Congruence (IOC) ได้ค่าดัชนีความสอดคล้อง เท่ากับ 0.94 สำหรับการวัดความรู้เกี่ยวกับเทคโนโลยีชีวภาพเพื่อย่อยสลายต่อซังข้าวขึ้นน้ำ เป็นความรู้ทั่วไปประกอบไปด้วยความรู้เกี่ยวกับจุลินทรีย์ การผลิตและวิธีการนำไปใช้ในการย่อยสลายต่อซังข้าวขึ้นน้ำของน้ำหมักชีวภาพ จากสารเร่งซุปเปอร์ พด.2 ประโยชน์ของเทคโนโลยีชีวภาพเพื่อย่อยสลายต่อซังข้าวขึ้นน้ำ นำไปทดสอบ (Try out) กับกลุ่มเกษตรกรผู้ปลูกข้าวขึ้นน้ำในตำบลพิทยะซึ่งไม่ซ้ำกับกลุ่มตัวอย่าง จำนวน 30 คน ทำการวิเคราะห์หาค่าความเชื่อมั่นโดยใช้สูตร KR-20 ตามแบบคู

เดอร์-ริชาร์ดสัน (Kuder – Richardson Reliability Coefficient) ได้ค่าสัมประสิทธิ์ความเชื่อมั่นเท่ากับ 0.712 มีจำนวน 12 ข้อ (จากจำนวน 20 ข้อ) ซึ่งครอบคลุมกับวัตถุประสงค์ของการวิจัย การวัดระดับความรู้เกี่ยวกับการเทคโนโลยีเพื่อชีวภาพย่อยสลายต่อซังข้าวขึ้นน้ำของเกษตรกร ใช้คำถามจำนวน 12 ข้อโดยเกษตรกรที่ตอบถูกให้ 1 คะแนน และตอบผิดให้ 0 คะแนน กำหนดช่วงคะแนนความรู้ตามการแบ่งอันตรายภาคขึ้นได้ 3 ระดับ ได้แก่ (1) มีความรู้ระดับน้อย คะแนน 0 – 4 คะแนน (2) มีความรู้ระดับปานกลาง คะแนน 5 – 8 คะแนน (3) มีความรู้ระดับมาก คะแนน 9 – 12 คะแนน และแบบสัมภาษณ์เทคโนโลยีชีวภาพเพื่อย่อยสลายต่อซังข้าวขึ้นน้ำของเกษตรกร ประกอบไปด้วยความคิดเห็นด้านคุณสมบัติ ด้านกระบวนการผลิต และด้านประโยชน์ที่ได้รับของเทคโนโลยีชีวภาพเพื่อย่อยสลายต่อซังข้าวขึ้นน้ำ คำนวณหาค่าสัมประสิทธิ์ความเชื่อมั่นแอลฟาของคอนบาค (Cronbach's alpha Reliability Coefficient) ได้ค่าสัมประสิทธิ์ความเชื่อมั่นเท่ากับ 0.843 การวัดระดับความคิดเห็นต่อเทคโนโลยีเพื่อชีวภาพย่อยสลายต่อซังข้าวขึ้นน้ำของเกษตรกร มีจำนวน 21 ข้อ โดยเกษตรกรให้คะแนนความคิดเห็น 5 ระดับ คือ 1 เห็นด้วยน้อยที่สุด 2 เห็นด้วยน้อย 3 เห็นด้วยปานกลาง 4 เห็นด้วยมาก และ 5 เห็นด้วยมากที่สุด กำหนดช่วงคะแนนเฉลี่ยความคิดเห็นตามการแบ่งอันตรายภาคขึ้นได้ 3 ระดับ ได้แก่ (1) เห็นด้วยในระดับน้อย คะแนนเฉลี่ย 1.00 – 2.33 คะแนน (2) เห็นด้วยในระดับปานกลาง คะแนนเฉลี่ย 2.34 – 3.66 คะแนน (3) เห็นด้วยในระดับมาก คะแนนเฉลี่ย 3.67 – 5.00 คะแนน

การวิเคราะห์ข้อมูล

ลักษณะพื้นฐานส่วนบุคคลและด้านเศรษฐกิจ ความรู้ และความคิดเห็นของเกษตรกรถูกแจกแจงด้วยสถิติเชิงพรรณนา (Descriptive statistics) ได้แก่ ร้อยละ ค่าเฉลี่ย ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน การเปรียบเทียบความแตกต่างความคิดเห็นต่อเทคโนโลยีชีวภาพเพื่อย่อยสลายต่อซังข้าวขึ้นน้ำของเกษตรกรตามลักษณะพื้นฐานส่วนบุคคลและด้านเศรษฐกิจ ด้วย ค่า t-test และ F-test วิเคราะห์ LSD สำหรับทดสอบความแตกต่างรายคู่ และการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างความรู้กับความเห็นที่มีต่อเทคโนโลยีชีวภาพเพื่อย่อยสลายต่อซังข้าวขึ้นน้ำด้วยค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ของเพียร์สัน

ผลและวิจารณ์ผลการวิจัย

ลักษณะส่วนบุคคลและด้านเศรษฐกิจ

จากการวิจัย พบว่า เกษตรกรส่วนใหญ่เป็นเพศหญิง ร้อยละ 58.30 มีอายุเฉลี่ย 56.93 ปี จบการศึกษาในระดับประถมศึกษา ร้อยละ 52.80 จบการศึกษาในระดับประถมศึกษา ร้อยละ 52.70 จำนวนสมาชิกในครัวเรือนเฉลี่ย 2.94 คนมีพื้นที่ที่ปลูกข้าวขึ้นน้ำทั้งหมดเฉลี่ย 27.32 ไร่ ลักษณะการถือครองที่ดินส่วนใหญ่เป็นเช่า ร้อยละ 42.50 ประสบการณ์ในการปลูกข้าวขึ้นน้ำเฉลี่ย 21.02 ปี สำหรับรายได้และรายจ่ายจากการปลูกข้าวขึ้นน้ำ พบว่า เกษตรกรมีรายได้จากการปลูกข้าวขึ้นน้ำโดยเฉลี่ย 113,896.85 บาทต่อปี (รอบปีการผลิต 2566) มีรายจ่ายจากการปลูกข้าวขึ้นน้ำโดยเฉลี่ย 47,363.54 บาทต่อปี (รอบปีการผลิต 2566)

Table 1 The farmer's knowledge levels on biotechnology to decomposes floating rice stubble.

Knowledge levels on biotechnology to decompose floating rice stubble	Frequency	Percentage
Moderate knowledge level (5 - 8 scores)	47	37.0
High knowledge level (9 - 12 scores)	80	63.0
Total	127	100.0

Mean = 8.06, Max = 12, Min = 5.

Table 2 The farmer's opinion on biotechnology to decomposes floating rice stubble.

The opinion of biotechnology to decompose floating rice stubble	Mean ¹	Standard Deviation	Opinion levels ²
Features	4.10	0.798	High
Processes	4.05	0.889	High
Benefits	4.05	0.775	High
Total	4.07	0.821	High

¹ The average was calculated from the level of opinions as follows, 5 = Mostly agree, 4 = Strongly agree, 3 = Moderately agree, 2 = Slightly agree, 1 = Least agree.

² The opinion levels was as follows, the average: 3.67 - 5.00 means high agree, 2.34 - 3.66 means moderately agree, 0.00 - 2.33 means little agreement.

จาก Table 1 พบว่า เกษตรกรส่วนใหญ่มีความรู้เกี่ยวกับเทคโนโลยีชีวภาพเพื่อย่อยสลายตอซังข้าวขึ้นน้ำในระดับมาก ร้อยละ 63 มีความรู้ในระดับปานกลาง ร้อยละ 37 และไม่มีเกษตรกรที่มีความรู้ในระดับน้อยอาจเนื่องมาจากมีหน่วยงานกรมส่งเสริมการเกษตรและกรมพัฒนาที่ดิน เข้ามาจัดเวทีถ่ายทอดองค์ความรู้เกี่ยวกับเทคโนโลยีชีวภาพเพื่อย่อยสลายตอซังข้าวขึ้นน้ำให้แก่เกษตรกร พร้อมฝึกปฏิบัติและการจัดทำแปลงสาธิต ทำให้เกษตรกรได้ฝึกปฏิบัติและได้ลงมือทำแปลงสาธิต จึงส่งผลให้เกษตรกรมีความรู้และความเข้าใจในเทคโนโลยีชีวภาพเพื่อย่อยสลายตอซังข้าวขึ้นน้ำมากขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับ Kongjan et al (2021) ได้ศึกษาเรื่อง การจัดการตอซังและฟางข้าวของเกษตรกรในโครงการส่งเสริมการหยุดเผาในพื้นที่การเกษตร จังหวัดพระนครศรีอยุธยา พบว่า เกษตรกรส่วนใหญ่มีความรู้เกี่ยวกับการจัดการตอซังและฟางข้าวในระดับมาก ร้อยละ 79.40

จาก Table 2 พบว่า ความคิดเห็นของเกษตรกรที่มีต่อเทคโนโลยีชีวภาพเพื่อย่อยสลายตอซังข้าวขึ้นน้ำโดยรวมอยู่ในระดับมาก (ค่าเฉลี่ย 4.07) เกษตรกรมีความคิดเห็นต่อเทคโนโลยีชีวภาพเพื่อย่อยสลายตอซังข้าวขึ้นน้ำ ทั้ง 3 ด้าน ได้แก่ ด้านคุณสมบัติ ด้านกระบวนการผลิตและด้านประโยชน์ที่ได้รับ อยู่ในระดับมาก (ค่าเฉลี่ย 4.10, 4.05, และ 4.05 ตามลำดับ) ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากเทคโนโลยีชีวภาพนี้มีคุณสมบัติที่นอกจากจะช่วยย่อยสลายตอซังข้าวขึ้นน้ำแล้ว ยังมีประโยชน์ช่วยเพิ่มธาตุอาหาร เพิ่มความอุดมสมบูรณ์ เพิ่มอินทรีย์วัตถุและเพิ่มจุลินทรีย์ที่เป็นประโยชน์ในดิน มีสารส่งเสริมการเจริญเติบโตของต้นข้าวและช่วยเพิ่มคุณภาพของผลผลิต ปรับปรุงโครงสร้างดินให้ร่วนซุย มีกระบวนการผลิตง่าย ไม่ซับซ้อน วัสดุอุปกรณ์หาได้ง่ายในชุมชน เป็นเทคโนโลยีทางเลือกช่วยจัดการตอซังข้าวเพื่อลดการเผาในพื้นที่การเกษตรได้ รวมทั้งกระบวนการทำได้ง่าย

Table 3 Comparing averages the opinion of biotechnology to decomposes floating rice stubble by basic personal characteristics

Basic personal characteristics	The opinion of biotechnology to decompose floating rice stubble							
	Features		Processes		Benefits		Total	
	t/F-test	p-value	t/F-test	p-value	t/F-test	p-value	t/F-test	p-value
Gender	-0.700 ^{ns}	0.485	-1.305 ^{ns}	0.194	0.007 ^{ns}	0.994	-0.785 ^{ns}	0.434
Ages	1.655 ^{ns}	0.195	0.480 ^{ns}	0.620	2.718 ^{ns}	0.070	2.195 ^{ns}	0.116
Education level	0.616 ^{ns}	0.542	0.608 ^{ns}	0.546	1.487 ^{ns}	0.230	1.297 ^{ns}	0.277
Number of household members	0.672 ^{ns}	0.512	0.974 ^{ns}	0.380	1.473 ^{ns}	0.233	0.540 ^{ns}	0.584

^{ns} Means not statistically significant at the 0.05 level.

Gender = t-test / Ages, Education level, Number of household members = F-test.

Table 4 Comparing averages the overall opinion of biotechnology to decomposes floating rice stubble by economics characteristics

Economics characteristics	The opinion of biotechnology to decompose floating rice stubble							
	Features		Processes		Benefits		Total	
	F-test	p-value	F-test	p-value	F-test	p-value	F-test	p-value
Floating rice planting area	2.198 ^{ns}	0.115	0.732 ^{ns}	0.483	1.068 ^{ns}	0.347	1.899 ^{ns}	0.154
Land tenure	1.036 ^{ns}	0.358	2.547 ^{ns}	0.082	2.842 ^{ns}	0.062	0.331 ^{ns}	0.719
Floating rice planting experiences	3.637 [*]	0.029	0.701 ^{ns}	0.498	3.256 [*]	0.042	3.528 [*]	0.032
Income from Floating rice planting	2.618 ^{ns}	0.077	0.583 ^{ns}	0.560	0.513 ^{ns}	0.600	1.658 ^{ns}	0.195
Expenses from Floating rice planting	2.809 ^{ns}	0.064	0.277 ^{ns}	0.759	3.303 [*]	0.040	2.876 ^{ns}	0.060

^{ns} Means not statistically significant at the 0.05 level.

^{*} Means statistically significant at the 0.05 level.

จาก Table 3 พบว่า ผลการเปรียบเทียบความแตกต่างของความคิดเห็นของเกษตรกรที่มีต่อเทคโนโลยีชีวภาพเพื่อย่อยสลายตอซังข้าวขึ้นน้ำตามปัจจัยส่วนบุคคล พบว่า เพศ อายุ ระดับการศึกษา และจำนวนสมาชิกในครัวเรือนของเกษตรกรแตกต่างกัน มีความคิดเห็นต่อเทคโนโลยีชีวภาพเพื่อย่อยสลายตอซังข้าวขึ้นน้ำโดยรวมเฉลี่ยไม่แตกต่างกันที่ระดับนัยสำคัญทางสถิติ 0.05 เมื่อพิจารณารายด้านทั้ง 3 ด้าน ได้แก่ ด้านคุณสมบัติ ด้านกระบวนการผลิต ด้านประโยชน์ที่ได้รับ เกษตรกรมีความคิดเห็นต่อเทคโนโลยีชีวภาพเพื่อย่อยสลายตอซังข้าวขึ้นน้ำไม่แตกต่างกัน

จาก Table 4 พบว่า เกษตรกรที่มีประสบการณ์ในการปลูกข้าวขึ้นน้ำแตกต่างกัน มีความคิดเห็นต่อเทคโนโลยีชีวภาพเพื่อย่อยสลายตอซังข้าวขึ้นน้ำโดยรวมแตกต่างกัน ที่ระดับนัยสำคัญทางสถิติ 0.05 (เมื่อพิจารณาผลการทดสอบ LSD พบว่า เกษตรกรที่มีประสบการณ์ 2 – 15 ปี (ร้อยละ 47) และ 16 – 28 ปี (ร้อยละ 38) มีความคิดเห็นต่อเทคโนโลยีชีวภาพเพื่อย่อยสลายตอซังข้าวขึ้นน้ำมากกว่าเกษตรกรที่มีประสบการณ์ 29 – 41 ปี (ร้อยละ 42) อาจเนื่องมาจากเกษตรกรที่มีประสบการณ์ 2 – 28 ปี (ร้อยละ 85) เป็นช่วงที่เทคโนโลยีชีวภาพเริ่มมีบทบาทมากขึ้นในภาคการเกษตร จึงมีโอกาสได้เรียนรู้ ได้รับการส่งเสริม และได้เข้ารับการอบรมเกี่ยวกับเทคโนโลยีชีวภาพมากขึ้นจึงมีแนวโน้มเห็นด้วยกับเทคโนโลยีชีวภาพเพื่อย่อยสลายตอซังข้าวขึ้นน้ำ ส่วนเกษตรกรที่มีประสบการณ์มากอาจมีการยึดติดกับรูปแบบการปลูกข้าวที่ถูกถ่ายทอดมาตั้งแต่รุ่นบรรพบุรุษ ซึ่งสอดคล้องกับแนวคิดของ Oskamp & Schultz (1977) ที่กล่าวว่าประสบการณ์โดยตรงของบุคคล ที่ได้ประสบเหตุการณ์ด้วย

ตัวเองหรือได้พบเห็นทำให้บุคคลมีความตั้งใจ จะเกิดความคิดเห็นต่อประสบการณ์เหล่านั้น

สำหรับพื้นที่ปลูกข้าวขึ้นน้ำทั้งหมด ลักษณะการถือครองที่ดิน และรายได้จากการปลูกข้าวขึ้นน้ำที่แตกต่างกันความคิดเห็นที่มีต่อเทคโนโลยีชีวภาพเพื่อย่อยสลายตอซังข้าวขึ้นน้ำโดยรวมไม่แตกต่างกันที่ระดับนัยสำคัญทางสถิติ 0.05 ส่วนรายจ่ายจากการปลูกข้าวขึ้นน้ำพบว่า เกษตรกรที่มีรายจ่ายจากการปลูกข้าวขึ้นน้ำที่แตกต่างกัน ความคิดเห็นที่มีต่อเทคโนโลยีชีวภาพเพื่อย่อยสลายตอซังข้าวขึ้นน้ำโดยรวมไม่แตกต่างกัน ที่ระดับนัยสำคัญทางสถิติ 0.05 (เมื่อพิจารณารายด้านพบว่า ในด้านประโยชน์ที่ได้รับ รายจ่ายจากการปลูกข้าวขึ้นน้ำของเกษตรกรแตกต่างกัน ความคิดเห็นที่มีต่อเทคโนโลยีชีวภาพเพื่อย่อยสลายตอซังข้าวขึ้นน้ำแตกต่างกัน ที่ระดับนัยสำคัญทางสถิติ 0.05) เมื่อพิจารณาผลการทดสอบ LSD พบว่า เกษตรกรที่มีรายจ่ายจากการปลูกข้าวขึ้นน้ำ 7,700 – 30,000 บาทต่อปี (ร้อยละ 50) มีความคิดเห็นต่อเทคโนโลยีชีวภาพเพื่อย่อยสลายตอซังข้าวขึ้นน้ำมากกว่าเกษตรกรที่มีรายจ่ายจากการปลูกข้าวขึ้นน้ำ 30,001 – 50,000 บาทต่อปี (ร้อยละ 39) และ 50,000 – 160,000 บาทต่อปี (ร้อยละ 38) อาจเนื่องมาจากเกษตรกรที่มีรายจ่ายจากการปลูกข้าวขึ้นน้ำ 7,700 – 30,000 บาทต่อปีนั้นมีพื้นที่ในการปลูกข้าวขึ้นน้ำที่น้อยกว่าเกษตรกรที่มีรายจ่ายจากการปลูกข้าวขึ้นน้ำสูงกว่า ซึ่งเทคโนโลยีชีวภาพเพื่อย่อยสลายตอซังข้าวขึ้นน้ำนี้เป็นเทคโนโลยีที่มีขั้นตอนการทำที่ง่าย ไม่ซับซ้อน วัสดุและอุปกรณ์สามารถหาได้ง่ายในชุมชนต้นทุนน้อย ทำให้เกษตรกรอาจเล็งเห็นถึงประโยชน์ ความสะดวก ความเหมาะสมกับพื้นที่ของตนเองและความคุ้มค่าที่จะได้รับ

Table 5 Analysis of the correlation between knowledge and opinions on biotechnology to decomposing floating rice stubble

Knowledge of biotechnology to decompose floating rice stubble	Farmer's opinions	r	p-value	The result
	Features	-0.045 ^{ns}	0.619	No correlate
	Processes	-0.237 ^{**}	0.007	correlate
	Benefits	-0.077 ^{ns}	0.390	No correlate

^{ns} Means not statistically significant at the 0.05 level.

^{**} Means statistically significant at the 0.01 level.

จาก Table 5 เมื่อพิจารณารายด้าน พบว่า ความรู้เกี่ยวกับเทคโนโลยีชีวภาพเพื่อย่อยสลายตอซังข้าวขึ้นน้ำกับความคิดเห็นด้านกระบวนการผลิตของเกษตรกรที่มีต่อเทคโนโลยีชีวภาพเพื่อย่อยสลายตอซังข้าวขึ้นน้ำมีความสัมพันธ์กันในเชิงลบ ที่ระดับนัยสำคัญทางสถิติ 0.01 โดยเกษตรกรที่มีความรู้อยู่ในระดับมาก มีความคิดเห็นต่อเทคโนโลยีชีวภาพเพื่อย่อยสลายตอซังข้าวขึ้นน้ำในระดับน้อย (เกษตรกรที่มีความรู้อยู่ในระดับมาก มีประสบการณ์น้อยในการปลูกข้าวขึ้นน้ำ (2 – 15 ปี) ร้อยละ 28.35 มีพื้นที่ปลูกข้าวขึ้นน้ำมาก (31 – 76 ไร่) ร้อยละ 23.62 มีรายได้จากการปลูกข้าวขึ้นน้ำสูง (132,000 – 292,000 บาทต่อปี) ร้อยละ 22.05) เนื่องจากพื้นที่ปลูกที่มีมาก เกษตรกรจึงมีความสนใจเทคโนโลยีอื่น ๆ มากกว่าเทคโนโลยีชีวภาพเพื่อย่อยสลายตอซังข้าวขึ้นน้ำ ซึ่งมีกระบวนการหรือระยะเวลาที่รวดเร็วกว่าและสะดวกซึ่งสอดคล้องกับแนวคิดของ Triandis (1971) ที่กล่าวว่า ถ้าบุคคลมีความรู้หรือมีการติดต่อกับสิ่งใดสิ่งหนึ่งได้ครบถ้วนแล้ว บุคคลนั้นจะมีความคิดเห็นที่ชัดเจนมากขึ้นต่อสิ่งนั้น ๆ ในทิศทางบวกหรือลบก็ได้ และเกษตรกรที่มีความรู้ในระดับมากอาจหาวิธีการหรือกระบวนการที่เหมาะสม กับพื้นที่ปลูกข้าว

ขึ้นน้ำที่มีจำนวนมาก จึงทำให้มีความคิดเห็นต่อเทคโนโลยีชีวภาพเพื่อย่อยสลายตอซังข้าวขึ้นน้ำในระดับน้อย

สรุปผลการวิจัย

เกษตรกรส่วนใหญ่เป็นเพศหญิง มีอายุเฉลี่ย 56.93 ปี จบการศึกษาระดับประถมศึกษา มีจำนวนสมาชิกในครัวเรือนเฉลี่ย 2.94 คน มีพื้นที่ปลูกข้าวขึ้นน้ำเฉลี่ย 27.32 ไร่ โดยส่วนใหญ่เป็นพื้นที่เช่า มีประสบการณ์ในการปลูกข้าวขึ้นน้ำเฉลี่ย 21.02 ปี เกษตรกรมีความรู้เกี่ยวกับเทคโนโลยีชีวภาพเพื่อย่อยสลายตอซังข้าวขึ้นน้ำอยู่ในระดับมาก เกษตรกรมีความคิดเห็นต่อเทคโนโลยีชีวภาพเพื่อย่อยสลายตอซังข้าวขึ้นน้ำอยู่ในระดับมาก ผลการเปรียบเทียบความแตกต่างของความคิดเห็น พบว่าประสบการณ์ในการปลูกข้าวขึ้นน้ำของเกษตรกรมีผลต่อความคิดเห็นต่อเทคโนโลยีชีวภาพเพื่อย่อยสลายตอซังข้าวขึ้นน้ำ โดยเกษตรกรที่มีประสบการณ์น้อยในการปลูกข้าวขึ้นน้ำ จะมีความคิดเห็นต่อเทคโนโลยีชีวภาพเพื่อย่อยสลายตอซังข้าวขึ้นน้ำในระดับมาก ซึ่งเป็นช่วงที่เทคโนโลยีชีวภาพได้เข้ามามีบทบาทมากขึ้นในภาคการเกษตร ทั้งยังได้รับการถ่ายทอดความรู้จากสำนักงานเกษตรอำเภอ

มหาราช ทำให้เกษตรกรกลุ่มนี้มีโอกาสได้เรียนรู้ ได้รับการส่งเสริม และได้เข้ารับการอบรมมากขึ้น จึงมีความเห็นด้วยกับเทคโนโลยีชีวภาพเพื่อย่อยสลายตอซังข้าวขึ้นน้ำ ส่วนความสัมพันธ์ระหว่างความรู้กับความคิดเห็นที่มีต่อเทคโนโลยีชีวภาพเพื่อย่อยสลายตอซังข้าวขึ้นน้ำ พบว่า ด้านกระบวนการผลิต มีความสัมพันธ์กันในเชิงลบ มาจากประสบการณ์มากในการปลูกข้าวขึ้นน้ำ มีรายได้เพิ่มขึ้นจากการปลูกข้าวขึ้นน้ำ มีพื้นที่มากสำหรับปลูกข้าวขึ้นน้ำและส่วนใหญ่เป็นพื้นที่เช่า จึงส่งผลต่อความคิดเห็นของเกษตรกรที่มีต่อเทคโนโลยีชีวภาพเพื่อย่อยสลายตอซังข้าวขึ้นน้ำในด้านการผลิต ดังนั้นหน่วยงานที่เกี่ยวข้อง ควรส่งเสริมและสนับสนุนให้เกษตรกรเห็นถึงประโยชน์ คุณสมบัติของเทคโนโลยีชีวภาพเพื่อย่อยสลายตอซังข้าวขึ้นน้ำอย่างต่อเนื่อง เนื่องจากเทคโนโลยีชีวภาพเพื่อย่อยสลายตอซังข้าวขึ้นน้ำมีต้นทุนน้อย ช่วยปรับปรุงบำรุงดิน เพิ่มธาตุอาหารและอินทรีย์วัตถุในดิน ขั้นตอนการผลิตทำได้ง่าย แต่ยังมีข้อจำกัดในระยะเวลาในการย่อยสลาย จึงควรพัฒนากระบวนการผลิตให้มีความสะดวกและรวดเร็วในการย่อยสลายตอซังข้าวขึ้นน้ำ เพื่อให้เกษตรกรสามารถนำไปปฏิบัติได้อย่างเหมาะสมและเกิดประสิทธิภาพ

กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบพระคุณเกษตรกรตำบลพิศพนทุกท่านที่ให้ความร่วมมือในการตอบแบบสัมภาษณ์เพื่องานวิจัยในครั้งนี้ ขอขอบคุณผู้นำชุมชน อาสาสมัครเกษตรกรหมู่บ้าน รวมไปถึงผู้ที่มีส่วนเกี่ยวข้องทุกท่านที่ช่วยเก็บรวบรวมข้อมูล

References

- Department of Agricultural Extension. (2023). *Annual operational plan for 2024 of the department of Agricultural Extension*, Accessed May 13, 2024. Retrieved from https://d29iw4c1csrw3qcloudfront.net/wp-content/uploads/2023/03/annual_operational_plan-2024.pdf (in Thai)
- Department of Agricultural Extension. (2020). *Guide to promoting*

the cessation of burning in agricultural Areas.

- Bangkok, Thailand: New Thammada Press (Thailand) Co., LTD. (in Thai)
- Kongjan, K., Treewannakul, P., & Rengkwunkway, M. (2021). Management of rice stubble and straw of farmers in project of extension for stop burning at agri-area in Phra Nakhon Si Ayutthaya Province. *Agricultural Science Journal*, 52(1), 20–31. (in Thai)
- Maharat District Agricultural Extension Office. (2023). *Pitapijan Subdistrict agricultural development plan*. Accessed February 10, 2024. Retrieved from https://ayutthaya.doe.go.th/maharat/?page_id=2782. (in Thai)
- Ministry of Agriculture and Cooperatives. (2024). *Microbial activator PD2 Land Development Department, Decomposed rice stubble, reduce costs, add nutrients and prepare soil before planting*. Accessed May 15, 2024. Retrieved from <https://www.moac.go.th/news-preview-461391791794>. (in Thai)
- Niyamangkoon, S. (2013). *Research methods in social science and statistics used*. Bangkok, Thailand: Tanbundit Co., LTD. (in Thai)
- Oskamp, S., & Schultz, W. P. (1977). *Attitude and opinion*, New Jersey, United States: Englewood Cliffs.
- Triandis, H. C. (1971). *Attitude and attitude change (foundations of social psychology)*. New Jersey, United States: John Wiley & Sons Inc.
- Yamdeeka, C., Nakayan, P., Konsaeng, S., Areerisom, P., & Nilawonk. (2022). Influence of bio-extracts on decomposition and chemical property changes of rice straw. *Khon Kean Agriculture Journal*, 50(6), 1797-1807. (in Thai) doi: 10.14456/kaj.2022.145

Research article

Biotechnology to decomposes floating rice stubble of farmers in Pittapian Subdistrict, Maharat District, Phra Nakhon Si Ayutthaya Province

Satawan Kongsomjit¹ Supattra Srisuwan^{2*} and Preeda Samngamya²

¹*Division of Agricultural Extension and Innovation Management, Faculty of Agriculture, Kasetsart University, Chatuchak District, Bangkok Province, Thailand 10900*

^{2*}*Department of Agricultural Extension and Communication, Faculty of Agriculture, Kasetsart University, Chatuchak District, Bangkok Province, Thailand 10900*

ARTICLE INFO**Article history**

Received: 25 May 2024

Revised: 15 July 2024

Accepted: 4 September 2024

Online published: 17 September 2024

Keyword

Biotechnology

Rice stubble

Floating rice

Phra Nakhon Si Ayutthaya

ABSTRACT

The objectives of this study were to study 1) basic personal and economic characteristics, 2) the knowledge about biotechnology to decompose floating rice stubble, 3) the opinion on biotechnology to decompose floating rice stubble, 4) compare the difference between study personal and economic characteristics of farmer's opinion and 5) the relationship between knowledge and opinions of farmers regarding biotechnology to decomposing floating rice stubble. The sample group consisted of 127 farmers who grew floating rice in Pittapian Subdistrict. Data were collected using an interview form. Statistics used in data analysis include percentage, mean, standard deviation, t-test, F-test, Least Significant Difference (LSD), and Pearson's Correlation Coefficient. The results revealed that most of the farmers were female 52.80 % had an average age of 56.93 years, graduated from elementary level 52.80 %, had an average household member of 2.94 persons, had an average floating rice field area of 27.32 rai and the most of hold the land by lease 42.50 %, had an average experience of floating rice planting 21.02 years. Farmers' overall knowledge about biotechnology to decompose floating rice stubble was at a high level of 80 %. Farmers' opinions on biotechnology to decompose floating rice stubble were generally high, with an average of 4.07. The results of comparing opinions revealed that farmers with different experiences in growing floating rice stubble had different opinions regarding biotechnology to decomposing floating rice stubble overall with statistically significant at the 0.05 level. The knowledge and opinions of farmers regarding biotechnology for decomposing floating rice stubble were related in terms of the production process statistical significance level of 0.01.

*Corresponding author

E-mail address: agrstsw@ku.ac.th (S. Srisuwan)

Online print: 17 September 2024 Copyright © 2024. This is an open access article, production, and hosting by Faculty of Agricultural Technology, Rajabhat Maha Sarakham University. <https://doi.org/10.14456/paj.2024.37>



ผลของการเสริม linoleic acid albumin และ conjugated linoleic acid ในน้ำยาเพาะเลี้ยงตัวอ่อนต่อการพัฒนาสู่ระยะ blastocyst

พิรวิทย์ เชื้อวงษ์บุญ^{1*} ดำรงรักษ์ รักวงศ์ฤทธิ์² สุจิตรา ธรรมวัง³ และ เทวินทร์ วงษ์พระลับ²

¹คณะสัตวศาสตร์และเทคโนโลยีการเกษตร มหาวิทยาลัยศิลปากร วิทยาเขตสารสนเทศเพชรบุรี อำเภอชะอำ จังหวัดเพชรบุรี ประเทศไทย 76120

²สาขาวิชาสัตวศาสตร์ คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น อำเภอเมือง จังหวัดขอนแก่น ประเทศไทย 40002

³ศูนย์วิจัยการผสมเทียมและเทคโนโลยีชีวภาพสระบุรี อำเภอแก่งคอย จังหวัดสระบุรี ประเทศไทย 18620

ข้อมูลบทความ

Article history

รับ: 29 เมษายน 2567

แก้ไข: 3 มิถุนายน 2567

ตอบรับการตีพิมพ์: 3 กันยายน 2567

ตีพิมพ์ออนไลน์: 18 กันยายน 2567

คำสำคัญ

กรดไขมันไม่อิ่มตัว

ตัวอ่อน

โคพื้นเมือง

บทคัดย่อ

การศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อปรับปรุงน้ำยาในการเลี้ยงตัวอ่อนเพื่อเพิ่มอัตราการพัฒนาของตัวอ่อน ภายหลังการเลี้ยงตัวอ่อนระยะ 2-4 เซลล์ ให้พัฒนาสู่ระยะ blastocyst ของตัวอ่อนโคพื้นเมือง โดยผลการเสริม linoleic acid albumin (LAA) ระดับ 0 1 2 และ 3 mg/ml และ conjugated linoleic acid (CLA) ที่ระดับ 0 0.1 0.2 และ 0.3 mg/ml ในน้ำยาเพาะเลี้ยงตัวอ่อนจากระยะ 2-4 เซลล์ สู่อัตราการพัฒนาของตัวอ่อนระยะ blastocyst ที่ 8 วัน พบว่า LAA ระดับ 0 และ 1 mg/ml ให้อัตราการพัฒนาของตัวอ่อนระยะ blastocyst ที่ 8 วัน สูงกว่า LAA ระดับ 2 และ 3 mg/ml ($P < 0.05$) และพบว่า CLA ระดับ 0 และ 0.1 mg/ml ให้อัตราการพัฒนาของตัวอ่อนถึงระยะ blastocyst สูงกว่าระดับ 0.2 และ 0.3 mg/ml ($P < 0.05$) สรุปได้ว่า ในโคพื้นเมืองการเสริม LAA และ CLA ในน้ำยาเลี้ยงตัวอ่อนระยะ 2-8 วัน ภายหลังการปฏิสนธิ ไม่ส่งผลต่อการเพิ่มอัตราการพัฒนาของตัวอ่อนระยะ blastocyst ได้

บทนำ

ในอุตสาหกรรมการเลี้ยงโค ได้มีการนำเทคโนโลยีทางการสืบพันธุ์มาใช้ได้แก่ การผสมเทียม การกระตุ้นการเพิ่มการตกไข่ การเจาะเก็บไข่ (Ovum pickup, OPU) การผลิตตัวอ่อนในห้องปฏิบัติการ การแช่แข็งตัวอ่อน และการย้ายฝากตัวอ่อน เป็นต้น มีการพัฒนาเทคนิคด้านการย้ายฝากตัวอ่อน มาเป็นลำดับ และในปี 2013 ทั้งโลกมีการย้ายตัวอ่อนทั้งสิ้น 986,983 ตัวอ่อน ประกอบด้วยตัวอ่อนที่ชะล้างจากมดลูกแม่โค 575,783 ตัวอ่อน ที่เหลือเป็นตัวอ่อนที่ผลิตในห้องปฏิบัติการทั้งไข่จากเทคนิค OPU และจากการเจาะเก็บจากรังไข่ของโคที่ได้จากโรงฆ่าสัตว์ (Perry, 2013) ในปี 2018 ทั่วโลกมีการย้ายฝากตัวอ่อนทั้งสิ้น 1,129,041 ตัวอ่อน โดยเป็นตัวอ่อนจากแม่โคที่ทำ superovulation จำนวน 386,133 ตัวอ่อน และผลิตในห้องปฏิบัติการเป็นจำนวนถึง 742,908 ตัวอ่อน (Viana, 2019) การคัดเลือกพันธุ์ในโคพิจารณาจากยีนส์ ที่มีความจำเพาะตามที่ต้องการมีความสำคัญมากขึ้น ตอบสนองต่อการผลิตแม่โคชั้นยอด

ทำให้สามารถเพิ่มสัตว์ที่มีพันธุกรรมดีเด่นมากขึ้นเป็นลำดับ การผลิตตัวอ่อนจากห้องปฏิบัติการสามารถช่วยการปรับปรุงพันธุ์ได้รวดเร็วขึ้น โดยสามารถผลิตตัวอ่อนพันธุ์ดีได้ในปริมาณมาก อย่างไรก็ตามพบว่าตัวอ่อนที่ผลิตจากห้องปฏิบัติการมีอัตราการตั้งท้องจากการย้ายฝากต่ำกว่าตัวอ่อนที่ชะล้างจากแม่โค พบว่าการย้ายฝากตัวอ่อนที่ได้จากการเพาะเลี้ยงในห้องปฏิบัติการมีเพียง 9 % ของตัวอ่อนที่ผลิตได้จากห้องปฏิบัติการเท่านั้นต่างจากตัวอ่อนที่ผลิตจากแม่โคมีการย้ายฝากถึง 60 % ของตัวอ่อน (Perry, 2013)

ได้มีการศึกษาถึงการปรับปรุงคุณภาพตัวอ่อนจากการผลิตในห้องปฏิบัติการโดยการควบคุมการสะสมไขมันของเซลล์ตัวอ่อน ได้แก่ การเสริม linoleic acid albumin (LAA) ในน้ำยาเลี้ยงตัวอ่อน ให้ตัวอ่อนสามารถพัฒนาถึงระยะ morula ถึง blastocyst (Hochi et al., 1999) การเสริม Conjugated linoleic acid (CLA) พบว่า มีผลดีต่อการรอดชีวิตของตัวอ่อน (Pereira et al., 2007) และ Pereira et al. (2008) ยังได้รายงานไว้ว่า CLA ดังกล่าวมีผลดีต่อ re-expansion

*Corresponding author

E-mail address: chuawongboon_p@su.ac.th (P. Chuawongboon)

Online print: 18 September 2024 Copyright © 2024. This is an open access article, production, and hosting by Faculty of Agricultural Technology, Rajabhat Maha Sarakham University. <https://doi.org/10.14456/paj.2024.38>

ของตัวอ่อนทั้งที่ผ่าแบ่งภายหลังการเลี้ยงและพวกที่ไม่ผ่าแบ่ง (Chasombat et al., 2015) ได้รายงานถึงผลดีของ LAA ระดับ 1 และ 2 % และ CLC 2 mg/ml ในน้ำยาบ่มไข่โค ต่ออัตราการรอดชีวิตของไข่ และอัตราการพัฒนาของตัวอ่อนถึงระยะ blastocyst จากไข่ที่ผ่านการแช่แข็ง จึงมีความจำเป็นที่จะต้องศึกษาเพื่อแสวงหาเทคนิคที่มีประสิทธิภาพในการเลี้ยงตัวอ่อนและเก็บรักษาตัวอ่อนโคพื้นเมือง อันจะเป็นประโยชน์ต่อการอนุรักษ์ และใช้ประโยชน์ทางพันธุกรรมของโคพื้นเมืองต่อไป ตลอดจนเป็นองค์ความรู้เพื่อนำไปต่อยอดใช้ในการเลี้ยงตัวอ่อนโคสายพันธุ์อื่น ซึ่งการเสริมสาร LAA และ CLA ในน้ำยาเลี้ยงตัวอ่อน เพื่อให้ตัวอ่อนระยะ 2-4 เซลล์ได้พัฒนา ถึงระยะ blastocyst ในอัตราที่สูงได้

จากการค้นคว้ายังไม่พบการศึกษาการเสริมสาร LAA และ CLA ในช่วงการเลี้ยงตัวอ่อนหลังการปฏิสนธิหรือ ระยะ 2-4 เซลล์ต่ออัตราการพัฒนาสู่ระยะ blastocyst ในวันที่ 8 ของตัวอ่อนโคพื้นเมือง และลูกผสมพื้นเมือง ดังนั้นการวิจัยครั้งนี้วัตถุประสงค์หลักเพื่อปรับปรุงสูตรน้ำยาเพื่อให้ตัวอ่อนโคพื้นเมืองและลูกผสมพื้นเมืองที่ผลิตในห้องปฏิบัติการ (*In Vitro* Embryo Production, IVP) โดยเปรียบเทียบระดับที่เหมาะสมของ LAA และ CLA ในน้ำยาเพาะเลี้ยงตัวอ่อน ต่ออัตราการพัฒนาจนถึงระยะ blastocyst ของตัวอ่อนโคพื้นเมืองและลูกผสมพื้นเมือง

อุปกรณ์และวิธีการวิจัย

น้ำเชื้อโค

ใช้น้ำเชื้อแบบแช่แข็งของโคพื้นเมืองไทย โดยนำน้ำเชื้อแช่แข็งที่ใช้น้ำยาเจือจางน้ำเชื้อ Tris egg yolk ของพ่อพันธุ์ที่มีผลการประเมินคุณภาพน้ำเชื้อด้านการเคลื่อนที่เฉลี่ยแล้วไม่น้อยกว่า 40 % มาใช้ในการทดสอบความสามารถในการปฏิสนธิและการพัฒนาของเอ็มบริโอในนอกร่างกาย

การประเมินความสามารถในการปฏิสนธิและการพัฒนาของตัวอ่อนนอกร่างกาย

1) การเพาะเลี้ยง oocyte จนสมบูรณ์พร้อมปฏิสนธิในนอกร่างกาย

Oocyte จากรังไข่โคที่ได้มาจากโรงฆ่าสัตว์ท้องถิ่นที่ทำการคัดเลือกด้วยวิธีการเจาะดูดจากฟอลลิเคิลเส้นผ่าศูนย์กลาง 2-6 ml และทำการประเมินคุณภาพของ oocyte ภายใต้กล้องจุลทรรศน์แบบสเตอริโอ โดยจัดแบ่งเกรดตามจำนวนชั้นของคิวมูลัสเซลล์ (cumulus cell: CCs) oocyte เกรด A มี CCs มากกว่า 4 ชั้น เกรด B มี CCs 3-4 ชั้น เกรด C มี CCs 1-2 ชั้น เกรด D ไม่มี CCs และเกรด E มี CCs กระจัดตัวแล้วรอบล้อม oocyte (Merton et al., 2003)

ในการทดลองนี้เลือกใช้ oocyte ที่มีเกรด A และ B โดยนำ oocyte มาล้างด้วยน้ำยา TCM-199 จำนวน 4 ครั้ง นอกจากนั้นนำ oocyte จำนวน 20-25 ใบ มาเพาะเลี้ยงใน drop ของน้ำยา TCM-

199 ที่เสริม FSC 10 %, penicillin-streptomycin 1 % (v/v), LH 10 µg/mL, FSH 1 µg/ml และ estradiol 1 µg/mL โดยแบ่งการทดลองออกเป็น 4 กลุ่ม หลังจากนั้นปิดทับด้วย mineral oil (sigma, M-8410) บ่มเป็นเวลา 22-24 ชั่วโมง ในตู้บ่มที่อุณหภูมิ 38.5 °C คาร์บอนไดออกไซด์ที่ระดับ 5 % ความชื้นที่ระดับ 95 % (Shamsuddin & Rodriguez-Martinez, 1994)

2) การปฏิสนธิในนอกร่างกาย

นำหลอดน้ำเชื้อแช่แข็ง (frozen semen) มาทำละลายในน้ำอุ่นที่อุณหภูมิ 37 °C เป็นเวลา 30 วินาที ตัดหลอดแล้วนำไปทำการคัดเลือกอสุจิที่แข็งแรงด้วยเทคนิค ว่ายขึ้นด้านบน (swim up) เพื่อคัดเลือกอสุจิที่พร้อมปฏิสนธิ โดยปลดปล่อยน้ำเชื้อบริเวณก่อนหลอดพลาสติกปลอดเชื้อขนาด 5 mL หลอดละ 150 µL ที่มีสารละลาย Tyrode's albumin lactate pyruvate (TALP) อยู่ปริมาตร 2 mL จำนวน 3 หลอดต่อกลุ่มทดลอง นำไปบ่มไว้ที่อุณหภูมิ 38.5 °C คาร์บอนไดออกไซด์ที่ระดับ 5 % ความชื้นที่ระดับ 95 % นาน 45 นาที ดูส่วนปริมาตร 1.5 mL ของแต่ละหลอดใส่ในพลาสติกขนาด 15 mL ไปปั่นเหวี่ยงด้วยเครื่องปั่นเหวี่ยง (รุ่น LMC 3000, Biosan, Latvia) ที่ 1700 รอบต่อนาที เป็นเวลานาน 5 นาที จากนั้นดูส่วนบนที่มีลักษณะใสออก และ นำส่วนของตะกอนอสุจิ ปริมาตร 1000 µL มาเจือจางในน้ำยา TALP ปริมาตร 2 mL หลังจากนั้นนำไปปั่นเหวี่ยงอีกครั้งที่ 1700 รอบต่อนาที เป็นเวลา 2 นาที แล้วดูส่วนบนทิ้ง และนับความเข้มข้นอสุจิเพื่อปรับความเข้มข้นของอสุจิสุดท้ายคือ 1×10^6 ตัว/mL ในหยด µL น้ำยา TALP-IVF โดยเสริม EFAF-BSA 5 mg/ml (Sigma, A6003) และเฮปารินความเข้มข้น 10 µL/mL (Leo, Denmark) หลังจากนั้นนำ oocyte จำนวน 20-25 ใบมาบ่มร่วมกับอสุจิในน้ำยา TALP-IVF ปริมาตร 100 µL ปิดทับด้วย mineral oil แล้วบ่มในตู้ที่อุณหภูมิ 38.5 °C ที่ระดับความชื้น 95 % และคาร์บอนไดออกไซด์ที่ระดับ 5 % เป็นเวลานาน 18 ชั่วโมง (Shamsuddin & Rodriguez-Martinez, 1994)

3) การเพาะเลี้ยงตัวอ่อนนอกร่างกาย

นำตัวอ่อนที่ผ่านการปฏิสนธิใหม่ (presumptive zygote) ทำการแยกคิวมูลัสเซลล์ที่ล้อมรอบออกโดยใช้ปิเปตแก้ว และล้างในน้ำยา CR 1aa (Rosenkrans et al., 1993) จำนวน 4 ครั้ง จากนั้นย้าย oocyte ขณะที่คล้ายไซโกต (presumptive Zygote) จำนวน 20-25 ใบ ลงในน้ำยา CR 1 aa ปริมาตร 50 µL ซึ่งเสริม BSA 3 mg/ml ปิดทับ mineral oil บ่มเลี้ยงในตู้บ่ม tri gas CO₂ (Model, 3131 Thermo scientific, USA) ที่อุณหภูมิ 38.5 °C ที่ระดับความชื้น 95 % คาร์บอนไดออกไซด์ 5 %, ไนโตรเจน 90 % และออกซิเจน 5 % หลังจากปฏิสนธิ 72 ชั่วโมง ทำการประเมินการปฏิสนธิจากการแบ่งตัวของตัวอ่อน (cleavage rate) หลังจากนั้นนำเอ็มบริโอที่แบ่งเซลล์อย่างน้อย 4 เซลล์ ย้ายลงในน้ำยา CR 1 aa ปริมาตร 50 µL ที่เสริม BSA 3 mg/ml ปิดทับ mineral oil เลี้ยงในตู้บ่ม

tri gas CO₂ ที่อุณหภูมิ 38.5 °ซ คาร์บอนไดออกไซด์ 5 % ไนโตรเจน 90 % และออกซิเจน 5 % จนถึงวันที่ 8 บันทึกผลเอ็มบริโอระยะ Blastocysts (Shamsuddin & Rodriguez-Marting, 1994)

สถานที่ทดลอง

ห้องปฏิบัติการเทคโนโลยีชีวภาพทางสัตว์ ภาควิชาสัตวศาสตร์ คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น และคณะสัตวศาสตร์และเทคโนโลยีการเกษตร มหาวิทยาลัยศิลปากร

การเก็บข้อมูล

การเพาะเลี้ยงตัวอ่อนโคในอกร่างกายโดยบันทึกอัตราการปฏิสนธิ และอัตราการพัฒนาของตัวอ่อนในระยะ Zygotes และตัวอ่อนระยะ blastocyst ในวันที่ 8 อัตราการกลับมาพัฒนาภายหลังการแช่แข็งและทำละลาย และนำกลับมาเลี้ยงในน้ำยาเลี้ยงตัวอ่อน

แผนการดำเนินการทดลอง

การวิจัยประกอบไปด้วย การเสริม linoleic acid albumin (LAA) และ conjugated linoleic acid (CLA) ในน้ำยาเพาะเลี้ยงตัวอ่อนโคอายุตั้งแต่ 2-4 เซลล์ ต่ออัตราการพัฒนาสู่ระยะ blastocyst

1) การเสริม LAA ในน้ำยาเลี้ยงตัวอ่อนต่อการพัฒนาสู่ระยะ Blastocyst ใช้แผนการทดลองแบบ CRD นำรังไข่โคพื้นเมืองมาเจาะเก็บ oocyte ที่มีคุณภาพระดับ 1 และ 2 นำมาเลี้ยงในน้ำยา IVM ทำการปฏิสนธิกับอสุจิโคพื้นเมือง ตามวิธีการที่ได้กล่าวมาแล้วข้างต้น ภายหลังการปฏิสนธิ นำ Zygote มาเลี้ยงในน้ำยา IVC เป็นเวลา 48 ชั่วโมง จากนั้นนำตัวอ่อนระยะ 2 เซลล์ขึ้นไปมาเลี้ยงในน้ำยาเลี้ยงตัวอ่อน *In vitro* culture (IVC) ที่มีส่วนผสมของ LAA (Sigma, L 9530) 0, 1, 2 และ 3 mg/ml เลี้ยงในตู้เลี้ยงตัวอ่อนแบบ Tri-gas เปลี่ยนน้ำยา IVC 50 % ทุก 2 วัน เก็บข้อมูลการพัฒนามาจนถึงระยะ blastocyst ภายหลังการปฏิสนธิใน 8 วัน

2) การเสริม CLA ในน้ำยาเลี้ยงตัวอ่อนต่อการพัฒนาสู่ระยะ Blastocyst ใช้แผนการทดลองแบบ CRD นำรังไข่โคพื้นเมืองมาเจาะเก็บ oocyte ที่มีคุณภาพระดับ 1 และ 2 นำมาเลี้ยงในน้ำยา IVM ทำการปฏิสนธิกับอสุจิโคพื้นเมือง ตามวิธีการที่กล่าวมาแล้วข้างต้น

ภายหลังการปฏิสนธิ นำ Zygote มาเลี้ยงในน้ำยา IVC เป็นเวลา 48 ชม. จากนั้นนำตัวอ่อนระยะ 2 เซลล์ขึ้นไปมาเลี้ยงในน้ำยาที่มีส่วนผสมของ CLA (Sigma, L05507) ระดับ 0, 0.1, 0.2 และ 0.3 มก/มล. วิธีการละลาย และเจือจางดำเนินการตามคำแนะนำของบริษัทผู้ผลิตเลี้ยงตู้ เลี้ยงตัวอ่อนแบบ tri-gas; 90 % N₂, 5 % O₂ และ 5 % CO₂ อุณหภูมิ 38.5 °ซ ความชื้น 99 % เปลี่ยนน้ำยา 50 % ทุก 2 วัน เก็บข้อมูลจำนวนตัวอ่อนที่พัฒนาถึงระยะ blastocyst เมื่ออายุ 8 วัน นับจากวันที่ทำการปฏิสนธิ

การวิเคราะห์ทางสถิติ

ผลการทดลองและข้อมูลทั้งหมดจะถูกนำมาวิเคราะห์ความแปรปรวน (Analysis of Variance: Anova) ภายใต้การทดลองแบบ Randomize completed block design (RCBD) ระดับความเชื่อมั่น 95 % และเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ย โดยใช้วิธี Duncan's new multiple rang test (DMRT) โดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูป SAS (1998)

ผลและวิจารณ์ผลการวิจัย

ผลของการเสริม linoleic acid albumin (LAA) และ conjugated linoleic acid (CLA) ในน้ำยาเพาะเลี้ยงตัวอ่อนโคอายุตั้งแต่ 2-4 เซลล์ ต่ออัตราการพัฒนาสู่ระยะ blastocyst ของตัวอ่อนโคพื้นเมือง

1) ผลของการเสริม linoleic acid albumin ในน้ำยาเพาะเลี้ยงตัวอ่อนโคต่ออัตราการพัฒนาสู่ระยะ blastocyst ของตัวอ่อนโคพื้นเมือง พบว่าการเสริม linoleic acid albumin (LAA) ที่ระดับ 0 1 2 และ 3 มก/มล. ในน้ำยาเลี้ยงตัวอ่อนโคพื้นเมือง และลูกผสมพื้นเมืองบราห์มันตั้งแต่ระยะ 2 ถึง 4 เซลล์ขึ้นไปจนถึงระยะ blastocyst นั้น การเสริมในระดับ 2 และ 3 mg/ml ให้ผลต่ำกว่ากลุ่มควบคุมและกลุ่มที่เสริม 1 mg/ml ดังแสดงใน Table 1

Table 1 Effect of supplementation in embryos culture medium with linoleic acid albumin (LAA) on blastocyst embryo production rates (15 replications)

Treatment	No. of 2-4 cells embryos	% of oocytes developed to 8 days blastocyst ($\bar{x} \pm SD$)
Control (0 mg/ml)	215	31.1 $\pm$ 1.6 ^a
LAA (1 mg/ml)	220	31.3 $\pm$ 4.1 ^a
LAA (2 mg/ml)	225	26.4 $\pm$ 3.5 ^b
LAA (3 mg/ml)	209	25.6 $\pm$ 3.4 ^b
P-value		0.0081

^{a,b} Means within a column with different superscripts are statistically different (P<0.05).

1 mg LAA /ml was about 940 μ M.

2) ผลของการเสริม conjugated linoleic acid ในน้ำยาเพาะเลี้ยงตัวอ่อนโคระยะตั้งแต่ 2-4 เซลล์ ต่ออัตราการพัฒนาสู่ระยะ blastocyst ของตัวอ่อนโคพื้นเมือง พบว่าการเสริม conjugated linoleic acids (CLA) ที่ระดับ 0.1, 0.2 และ 0.3 mg/ml ในน้ำยา

เลี้ยงตัวอ่อนโคพื้นเมือง และลูกผสมพื้นเมืองบราห์มัน การเสริม CLA ในระดับ 0.2 และ 0.3 mg/ml ให้อัตราการพัฒนาของตัวอ่อนจนถึงระยะ blastocyst ที่ 8 วันภายหลังการปฏิสนธิ ต่ำกว่าการเสริมที่ระดับ 0.1 mg/ml และกลุ่มควบคุม ดังแสดงใน Table 2

Table 2 Effect of supplementation in embryos culture medium with conjugated linoleic acid (CLA) on blastocyst embryo production rates (15 replications)

Group	No. of ≥ 2 cells embryos	blastocyst Embryo (%)
Control		
0 mg CLA /ml	221	32.1 $\pm$ 4.8 ^a
0.1 mg CLA/ml	227	33.0 $\pm$ 3.3 ^a
0.2 mg CLA/ml	229	28.1 $\pm$ 3.9 ^b
0.3 mg CLA/ml	228	24.1 $\pm$ 3.8 ^c
P-value		0.007

^{a, b, c} Mean in the same column with different superscripts are statistically different (P< 0.05).

0.1 mg CLA/ml was about 357 μ M.

การผลิตตัวอ่อนโคภายใต้ห้องปฏิบัติการมีบทบาทมากขึ้นในการเป็นแหล่งตัวอ่อนที่จะนำไปเพิ่มประชากรโคพันธุ์ดีต่อไป โดยส่วนใหญ่ นำไปย้ายฝากยังแม่ตัวรับในรูปแบบตัวอ่อนสด ทั้งนี้เนื่องจากตัวอ่อนที่ผลิตภายใต้ห้องปฏิบัติการมีความไวต่อความเสียหายจากการแช่แข็ง เมื่อเปรียบเทียบกับตัวอ่อนที่มาจากแม่โคโดยตรง ซึ่งผ่านกระบวนการขยายพันธุ์โดยเทคโนโลยี superovulation ทั้งนี้เนื่องจากตัวอ่อนที่ผ่านการผลิตภายใต้ห้องปฏิบัติการมีปริมาณ lipid ภายในเซลล์สูง เมื่อทำการแช่แข็งและทำละลายตัวอ่อนจึงมีความเสียหายมากกว่าตัวอ่อนจากแม่โค จึงได้มีการศึกษาถึงการลด lipid droplet ในไข่ (oocyte) และตัวอ่อนโดยกรรมวิธีต่าง ๆ รวมถึงการเสริมสารในน้ำยาเลี้ยงซึ่งส่วนใหญ่เป็นการศึกษาในโคตระกูลยุโรป ในการศึกษาครั้งนี้คณะผู้วิจัยได้ดำเนินการศึกษาโดยใช้ไข่จากโคพื้นเมืองและลูกผสมบราห์มันพื้นเมืองโดยทำการปฏิสนธิในห้องปฏิบัติการด้วยน้ำเชื้อโคพื้นเมือง

ผลของการเสริม LAA ในน้ำยาเลี้ยงตัวอ่อนตั้งแต่ 48 ชั่วโมง ภายหลังการปฏิสนธิ (ระยะประมาณ 2-4 เซลล์) ในระดับ 0, 1, 2, และ 3 mg/ml (1mg. ประมาณ 940 μ M LAA) จนถึงวันที่ 8 ภายหลังการปฏิสนธิ (ระยะ blastocyst) ซึ่งพบว่ากลุ่มควบคุม และกลุ่มที่เสริม LAA มีอัตราการพัฒนาสู่ระยะ blastocyst สูงกว่ากลุ่มที่เสริมในระดับ 2 และ 3 mg/ml แสดงให้เห็นว่าการเสริม LAA ในระดับที่สูงเกินไปไม่เป็นผลดีต่อการพัฒนาตัวอ่อน สอดคล้องกับรายงานของ Hochi et al. (1999) ซึ่งพบว่า LAA ที่ระดับสูงมีผลเสียต่อการพัฒนาของ blastocyst คาดว่าผลดังกล่าวน่าจะมีสาเหตุจาก lipid peroxide ซึ่งมาจาก linoleic acid มีผลกระทบต่อการแบ่งเซลล์ โดยมีรายงานว่า polyunsaturated fatty acid (รวมถึง LAA) ชัดขวางการแบ่งเซลล์ระยะ 1 ถึงระยะ 2 เซลล์ของตัวอ่อนหนูซึ่งเมื่อมีการเสริมสารต้านอนุมูลอิสระในน้ำยาเลี้ยงตัวอ่อนพบว่าสามารถลดปัญหานี้ได้ (Nonogaki et al. 1994) สอดคล้องกับ Hendrikx (2016) ซึ่งรายงานว่าน้ำยาเลี้ยงตัวอ่อนที่มี linoleic acid ทำให้การพัฒนาของตัวอ่อนไปยังระยะ blastocyst ลดลง

จากการเสริม CLA ในน้ำยาเลี้ยงตัวอ่อนช่วงระยะ 2-4 เซลล์ (หลังการปฏิสนธิ 48 ชม.) ต่อการพัฒนาจนถึงระยะ blastocyst โดยทำการเสริมที่ระดับ 0, 0.1, 0.2 และ 0.3 mg/ml (0.1 mg/ml ประมาณ 357 μ M) พบว่าการเสริม CLA ระดับ 0 และ 0.1 mg/ml ให้อัตราของการพัฒนาสู่ระยะ blastocyst ที่ 8 วัน ภายหลังการปฏิสนธิ สูงกว่า ระดับ 0.2 และ 0.3 mg/ml นอกจากนี้ Absolon-Medina et al. (2014) รายงานว่าการเสริม CLA ชนิดเดียวกันนี้ที่ระดับ 100 μ M ไม่มีผลต่ออัตราการพัฒนาของตัวอ่อนจนถึงระยะ blastocyst และยังได้รายงานว่าการเสริม CLA ในน้ำยาเลี้ยงตัวอ่อนระดับ 20-200 μ M เป็นระยะเวลายาวนานมีผลเสียต่อคุณภาพตัวอ่อน ในการศึกษาทำการเสริม CLA ในน้ำยาเลี้ยงตัวอ่อนระหว่างอายุ 2-8 วันซึ่งค่อนข้างยาวนานจึงอาจส่งผลเสียต่อการพัฒนาตัวอ่อนได้ ผลการเสริม LAA และ CLA ในน้ำยาเลี้ยงตัวอ่อนตามระดับความเข้มข้นระดับที่ทำการศึกษานี้ จึงไม่ได้ให้ผลผลิต blastocyst แตกต่างจากกลุ่มควบคุมและมีผลเสียเมื่อใช้ความเข้มข้นที่สูง แต่หากเสริม LAA สูงถึง 0.3 % ก็มีผลต่อ lipid bilayer โดยทำให้เยื่อหุ้มเซลล์มีความยืดหยุ่นสูงขึ้น เป็นการปรับปรุงองค์ประกอบของเนื้อเยื่อหุ้มเซลล์ได้ (Hochi et al., 1999) นอกจากนี้ Leao et al. (2015) ได้รายงานว่าการเสริม CLA ซึ่งมีส่วนผสมระหว่าง trans-9, 11 และ 10, 12-CLA isomer ทั้งในระยะ IVM ซึ่งเป็นช่วงการพัฒนาจนสมบูรณ์ของไข่ ก่อนที่จะนำไปปฏิสนธิ และระยะ IVM + IVC (ระยะเป็นไข่-หลังปฏิสนธิ-เป็นตัวอ่อน จนถึง blastocyst) นอกจากนี้ แสดงให้เห็นว่าการเสริม CLA ไปมีผลลดปริมาณ lipid ใน เซลล์ไข่และตัวอ่อน (Pereira et al., 2007) อีกทั้งไปเปลี่ยนแปลงองค์ประกอบของไขมันที่เยื่อหุ้มเซลล์ (Leao et al., 2015) และอีกประการหนึ่ง มีรายงานว่าไข่ของโคตระกูลอินเดียนมีปริมาณ lipid droplet สูงกว่าโคตระกูลยุโรป (Ballard et al., 2006 ; Pereira et al., 2016; Lopez-Damian et al., 2018) ตลอดจนโคพื้นเมืองและลูกผสมบราห์มันพื้นเมือง ซึ่งเป็นแหล่งของไข่ที่ทำการศึกษานี้จัดเป็นกลุ่มที่มีไขมันในไข่ (oocyte) สูง

ผลการศึกษาพบว่าอัตราการรอดของตัวอ่อนไม่มีความแตกต่างกันในทางสถิติ ซึ่งการศึกษาของนักวิจัยท่านอื่นนั้น Hochi et al. (1999) ได้รายงานว่าการเสริม sericin ตั้งแต่ระยะ zygote มีผลต่อตัวอ่อนระยะ Morula

จากรายงานการศึกษาแสดงให้เห็นถึงผลของการเสริม tran -10, cis-12 CLA ในน้ำยา IVM ส่งผลต่อคุณภาพไข่ภายหลังการปฏิสนธิ (Matos et al., 2015; Collade et al., 2015) รวมถึงผลของการเสริมในน้ำยาเลี้ยงตัวอ่อนตั้งแต่ระยะ zygote (Perera et al., 2007) แต่การศึกษาของ Absolon-Medina et al., (2014) ซึ่งศึกษาผลของการเสริม CLA ชนิด cis-9, tran -11 และ tran -10, cis-12 ทั้งระดับและช่วงระยะเวลาต่าง ๆ ของการพัฒนาตั้งแต่ระยะ oocyte จนถึงระยะ blastocyst ต่อคุณภาพตัวอ่อนโดยระบุว่า cis-9, tran-11 เท่านั้น และรายงานนี้ชี้ให้เห็นว่า การเสริม cis-9, tran-11 ในระยะเวลานานไม่ควรใช้ความเข้มข้นสูงแต่หากเสริมในระยะ 36 ชั่วโมงสุดท้ายควรเสริมในระดับความเข้มข้นที่สูงขึ้น ผลการศึกษารังนี้ซึ่งแตกต่างจากรายงานอื่นอาจเนื่องมาจากระดับการเสริมสารที่ต่างกันและเหตุผลแวดล้อมอื่น ๆ ต่างกัน ดังที่ได้กล่าวมาข้างต้น

นอกจากนี้ จากการศึกษา fatty acid เช่น oleic acid (Adema et al., 2011; Karasahin, 2019) รายงานว่ามีผลต่อตัวอ่อนมากกว่า linoleic acid และมีรายงานว่าเกี่ยวข้องกับ cryotolerance (Absalon – Medina et al., 2014) และในน้ำยา IVM ควรเสริม FBS ระดับประมาณ 5 % เนื่องจาก ซีรัม มีผลต่อการสะสมปริมาณ lipid ในตัวอ่อน

สรุปผลการวิจัย

การศึกษถึงการปรับปรุงการพัฒนาของตัวอ่อนโคพื้นเมืองและบราห์มันลูกผสมพื้นเมืองพบว่า ผลของการเสริม Linoleic acid albumin (LAA) ในน้ำยาเลี้ยงตัวอ่อนตั้งแต่ 48 ชั่วโมง ภายหลังการปฏิสนธิ (ระยะประมาณ 2-4 เซลล์) ในระดับ 0 1 2 และ 3 mg/ml (1 มก. ประมาณ 940 µM LAA) จนถึงวันที่ 8 ภายหลังการปฏิสนธิ (ระยะ blastocyst) ซึ่งพบว่ากลุ่มควบคุม และกลุ่มที่เสริม LAA มีอัตราการพัฒนาสู่ระยะ blastocyst สูงกว่ากลุ่มที่เสริมในระดับ 2 และ 3 mg/ml แต่อัตราการรอดของตัวอ่อนไม่แตกต่างกันระหว่างปัจจัย ส่วนการเสริม CLA ในน้ำยาเลี้ยงตัวอ่อน ระยะ 2-8 วัน ภายหลังการปฏิสนธิ ไม่ส่งผลต่อการเพิ่มอัตราการพัฒนาของตัวอ่อนระยะ blastocyst

นอกจากนี้จากการศึกษารังนี้เป็นการศึกษาถึงการปรับปรุงการพัฒนาของตัวอ่อนโคพื้นเมืองและบราห์มันลูกผสมพื้นเมือง โดยรังไข่ที่นำมาศึกษาได้จากโรงฆ่าสัตว์ท้องถิ่น ซึ่งแม่โคที่ถูกนำมาเข้าสู่โรงฆ่าสัตว์นั้น ส่วนใหญ่เป็นพวกที่มีอายุมากและเป็นแม่โคที่ถูกคัดทิ้งจากปัญหาทางการสืบพันธุ์ จึงอาจเป็นสาเหตุพื้นฐานที่ทำให้ไขมีคุณภาพ

แปรปรวน แม้ว่าจะมีการคัดเลือกลำตัวนำมาใช้ในขั้นตอน IVM แล้วก็ตาม ในการศึกษาได้ใช้ระดับ LAA และ CLA ที่ใกล้เคียงกับการศึกษาแต่สูงกว่าบางรายงานของนักวิจัยอื่น แต่แหล่งที่มาของ oocyte มีความแตกต่างกันโดยรายงานเกือบทั้งหมดเป็นการศึกษาในท้องถิ่นที่มีการเลี้ยงโค *Bos taurus* ซึ่งไขของโคกลุ่มดังกล่าวมีไขมันต่ำกว่า ไขของกลุ่ม *Bos indicus* ซึ่งโคพื้นเมืองไทยเป็นสายพันธุ์ย่อยในกลุ่ม *Bos indicus* จึงอาจเป็นสาเหตุหนึ่งที่ทำให้ผลที่ได้ในการศึกษานี้มีผลแตกต่างกับการศึกษาอื่น จากสายพันธุ์สัตว์ที่มีความแตกต่างกันกับการศึกษาอื่น ดังนั้นหากมีผู้สนใจที่มีความประสงค์จะทำการศึกษาเมื่อปรับปรุงคุณภาพตัวอ่อนของโคกลุ่มโคพื้นเมืองไทยหรือลูกผสมพื้นเมืองไทย

กิตติกรรมประกาศ

การวิจัยครั้งนี้ได้รับการสนับสนุนจากทุนอุดหนุนโครงการวิจัยทุนทั่วไปมหาวิทยาลัยขอนแก่น และขอขอบคุณมหาวิทยาลัยศิลปากรที่ช่วยสนับสนุนการวิจัยให้สำเร็จลุล่วงด้วยดี

References

- Absalon-Medina, V. A., Bedford-Guaus, S. J., Gilbert, R. O., Siqueira, L. C., Esposito, G., Schneider, A., Cheong, S. H., & Butler, W. R. (2014). The effects of conjugated linoleic acid isomers cis-9, trans-11 and trans-10, cis-12 on *in vitro* bovine embryo production and cryopreservation. *Journal of Dairy Science*, 97(10), 6164-6176. doi: 10.3168/jds.2013-7719
- Aderma, H., Vos, P. L. A. M., Lolicato, F., Roelen, B. A. J., Knijn, H. M., Vaandrager, A. B., Helms, J. B., & Gadella, B. M. (2011). Oleic acid prevents detrimental effects of saturated fatty acids on bovine oocyte developmental competence. *Biology Reproduction*, 85(1), 62-69. doi: 10.1095/biolreprod.110.088815
- Ballard, C. B., Looney, C. R., Linsey, B. R., Pryor, J. H., Lynn, J. W., Bondioli K. R., & Godke, R. A. (2006). Using a buoyant density gradient and Nile red staining to evaluate the lipid content of *Bos taurus* and *Bos indicus* oocytes. *Reproduction Fertility and Development*, 19(1), 170-171. doi:10.1071/RDv19n1Ab106
- Chasombat, J., Vongpralub, T., Sirisathien, S., Phasuk, Y., & Sonseeda, P. (2015). Vitrification of Thai native cattle oocytes: effect of ethylene glycol concentrations and exposure time, linoleic acid albumin and cholesterol- loaded methyl- β -cyclodextrin. *Cryoletters*, 36(3), 165-173.

- Collado, M. D., Saraiva, N. Z., Lopes, F. L., Gaspar, R. C., Padilha, L. C., Costa, R. R., Rossi, G. F., Vantini, R., & Garcia, J. M. (2015). Influence of bovine serum albumin and fetal bovine serum supplementation during in vitro maturation on lipid and mitochondrial behaviour in oocytes and lipid accumulation in bovine embryos. *Reproduction, Fertility and Development*, 28(11) , 1721- 1732. doi. : 10.1071/RD15067
- Hendrikx, A. L. (2016) . *Lipid modifications to improve cryopreservation of bovine in vitro produced oocytes and embryos*. (Doctoral dissertation). Utrecht, the Netherlands: Honors Programme Veterinary Medicine, Utrecht University.
- Hochi, S., Kimura, K., & Hanada, A. (1999). Effect of linoleic acid-albumin in the culture medium on freezing sensitivity of *in vitro*- produced bovine morulae. *Theriogenology*, 52(3), 497-504. doi:10.1016/S0093-691X(99)00146-6
- Karasahin, T. (2019). The effect of oleic and linoleic acid addition to the culture media on bovine embryonic development following vitrification. *Polish Journal of Veterinary Sciences*, 22(4), 661-666. doi: 10.24425/pjvs.2019.129978
- Leão, B. C. S., Rocha- Frigoni, N. A. S, Cabral, E. C., Coelho, M. B., Ferreira, C. R., Eberlin, M. N., Accorsi, M. F., Nogueiro, É., & Mingoti, G. Z. (2015). Improved embryonic cryosurvival observed after *in vitro* supplementation with conjugated linoleic acid is related to changes in the membrane lipid profile. *Theriogenology*, 84(1), 127- 136. doi: 10.1016/j.theriogenology.2015.02.023
- López-Damián, E. P., Jiménez-Medina, J. A., Lammoglia, M. A., Pimentel, J. A., Agredano-Moreno, L. T., Wood, C., Galina, C. S., & Fiordeliso, T. (2018). Lipid droplets in clusters negatively affect *Bos indicus* embryos during cryopreservation. *Anatomia Histologia Embryologia*. 47(5), 435-443. doi: 10.1111/ahc.12382
- Matos, J. E., Marques, C. C., Moura, T. F., Baptista, M. C., Horta, A. E. M., Soveral, G., & Pereira, R. M. L. N. (2015). Conjugated linoleic acid improves oocyte cryosurvival through modulation of the cryoprotectants influx rate. *Reproduction Biology and Endocrinology*, 13,(1), 1-8. doi: 10.1186/s12958-015-0059-3
- Merton, J. S., de Roos, A. P. W., Mulaart, E., de Ruigh, L., Kaal, L., Vos, P. L. A. M., & Dieleman S. J. (2003). Factors affecting oocyte quality and quantity in commercial application of embryo technologies in the cattle breeding industry. *Theriogenology*, 59(2) , 651- 674. doi: 10.1016/S0093-691X(02)01246-3
- Nonogaki, T., Noda, Y., Goto, Y., kishi, J., & Mori, T. (1994). Developmental blockage of mouse embryos caused by fatty acids. *Journal of Assisted Reproduction and Genetics*, 11(9), 482-488. doi: 10.1007/BF02215713
- Pereira, L. C., Ferreira-Silva, J. C., Cantanhede, L. F., Neto H. F. V., Andrade J. C., Souza, B. P. de A., Moura, M. T., & Oliveira, M. A. L. (2016). Viability of *in vitro* produced embryos of gyr cattle (*Bos indicus*) after cryopreservation by vitrification under field conditions. *Boletim de Indústria Animal*, 73(2),159-164. doi: 0.17523/bia.v73n2p159
- Pereira, R. M., Baptista, M. C., Vasques, M. I., Horta, A. E. M., Portugal, P. V., Bessa, R. J. B., Silva, C. E., Pereira, M. S., & Marques, C. C. (2007). Cryosurvival of bovine blastocysts is enhanced by culture with trans-10, cis-12 conjugated linoleic acid. *Animal Reproduction Science*, 98(3-4), 293- 301. doi: 10.1016/j.anireprosci.2006.03.015
- Pereira, R. M., Carvalhais, I., Pimenta, J., Baptista, M. C., Vasques, M. I., Horta, A. E. M., Santos, I. C., Marques, M. R., Reis, A., Silva Pereira, M., & Marques, C. C. (2008). Biopsied and vitrified bovine embryos viability is improved by trans10, and cis12 conjugated linoleic acid supplementation during in vitro embryos culture. *Animal Reproduction Science*, 106(3-4), 322-332. doi: 10.1016/j.anireprosci.2007.05.008
- Perry, G. (2013). Statistics of embryo collection and transfer in domestic farm animals. Accessed July 2, 2024. Retrieved from <https://www.iets.org/Portals/0/Documents/Public/Committees/DRC/December2014.pdf>
- Rosenkrans, C. F. J., Zeng, G. Q., McNamara, G. T., Schoff, P. K., & First, N. L. (1993). Development of bovine embryo *in vitro* as affected by energy substrates. *Biology of Reproduction*, 49(3), 459-462. doi: 10.1095/biolreprod49.3.459
- Statistical Analysis System (SAS). (1998). *SAS/STAT user' guide*. North Carolina, United States: SAS Institute Inc.
- Shamsuddin, M., & Rodriguez – Martinez, H. (1994). A simple, non-traumatic swim-up method for the selection of spermatozoa for *in vitro* fertilization in the bovine. *Animal Reproduction Science*, 36(1-2), 61-75. doi: 10.1016/0378-4320(94)90054-X

- Viana, J. (2019). *The international embryo transfer society data retrieval committee 2018, statistics of embryo collection and transfer in domestic farm animal*. Accessed July 2, 2024. Retrieved from <https://www.iets.org/>

Research article

Effect of supplementing culture medium with linoleic acid albumin and conjugated linoleic on blastocyst embryo production rates

Phirawit Chuawongboon^{1*} Dumrongruk Rakwongrit² Sujira Thummawung³ and Thevin Vongpralub²

¹Faculty of Animals Sciences and Agricultural Technology, Slipakorn University, Phetchaburi IT Campus District, Cha-am District, Phetchaburi Province, Thailand 76120

²Department of Animal Science, Faculty of Agricultural, Khon Kaen University, Khon Kaen Province, Thailand 40002

³Saraburi Artificial Insemination and Biotechnology Research Center, Kaeng Khoi District, Saraburi Province, Thailand 18620

ARTICLE INFO**Article history**

Received: 29 April 2024

Revised: 3 June 2024

Accepted: 3 September 2024

Online published: 18 September 2024

Keyword

Unsaturated fatty acid

Embryo

Native cattle

ABSTRACT

The objective of the present study was to improve the culture medium and the survival rates of in vitro-produced blastocyst embryos from native cattle. The effects of supplementing the culture medium with linoleic acid albumin (LAA) (0, 1, 2, and 3 mg/ml) and conjugated linoleic acid (CLA) (0, 0.1, 0.2, and 0.3 mg/ml) on the production rates of 2- to 4-cell embryos to D8 blastocyst embryos and on the survival rates of vitrified blastocyst embryos were evaluated. The results showed that the blastocyst rates in the LAA 0 mg and 1 mg groups were higher than in the 2 mg and 3 mg groups ($P<0.05$), and the CLA 0 mg and 0.1 mg groups were higher than the 0.2 mg and 0.3 mg groups ($P<0.05$). In conclusion, this study demonstrated that supplementation with LAA and CLA in the embryo medium from day 2 to day 8 had no beneficial effect on blastocyst embryo production in native cattle.

*Corresponding author

E-mail address: chuawongboon_p@su.ac.th (P. Chuawongboon)

Online print: 18 September 2024 Copyright © 2024. This is an open access article, production, and hosting by Faculty of Agricultural Technology, Rajabhat Maha Sarakham University. <https://doi.org/10.14456/paj.2024.38>



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

บทความวิจัย

การสกัดไคโตซานจากเศษเปลือกกุ้งขาวและการประยุกต์ใช้ในการปลูกพรรณไม้กลางแจ้ง

วิจิตรา ตุงษ์* ศรัณย์ รักษาพรหมณ์ และ ณัฐพล ราชภูมิรัตน์

สาขาวิชาเทคโนโลยีการผลิตสัตว์น้ำ คณะเทคโนโลยีการเกษตร มหาวิทยาลัยราชภัฏสงขลา อำเภอเมือง จังหวัดสงขลา ประเทศไทย 90000

ข้อมูลบทความ

Article history

รับ: 13 มิถุนายน 2567

แก้ไข: 19 สิงหาคม 2567

ตอบรับการตีพิมพ์: 24 สิงหาคม 2567

ตีพิมพ์ออนไลน์: 23 กันยายน 2567

คำสำคัญ

ไคโตซาน

เปลือกกุ้ง

กุ้งขาว

พรรณไม้กลางแจ้ง

ต้นลานไพลิน

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์สกัดไคโตซานจากเศษเปลือกกุ้งขาวด้วยวิธีทางเคมี โดยนำไคโตซานที่ได้ใช้ในการปลูกต้นลานไพลิน เพื่อส่งเสริมการเจริญเติบโต พบว่าเศษเปลือกกุ้งขาวที่นำมาสกัดมีปริมาณไคติน 34.01 % มีปริมาณไคโตซานโดยน้ำหนักจากไคติน และโดยน้ำหนักจากเปลือกกุ้ง 95.89 และ 32.69 % ตามลำดับ จากนั้นนำสารสกัดไคโตซานมาใช้ศึกษาการเจริญเติบโตของต้นลานไพลิน โดยวางแผนการทดลองแบบสุ่มอย่างสมบูรณ์ 4 ชุดการทดลอง ๆ ละ 3 ซ้ำ คือ 1) ปลูกในดินที่ไม่ผสมไคโตซาน + น้ำที่ไม่ผสมไคโตซาน (ชุดควบคุม) 2) ปลูกในดินที่ผสมไคโตซาน 80 มิลลิกรัม/ดิน 500 กรัม + น้ำที่ไม่ผสมไคโตซาน 3) ปลูกในดินที่ไม่ผสมไคโตซาน + น้ำที่ผสมไคโตซาน + ฉีดพ่นสารละลายไคโตซาน 500 ppm ทุก 7 วัน และ 4) ปลูกในดินที่ไม่ผสมไคโตซาน + น้ำที่ผสมไคโตซาน 875 มิลลิกรัม/น้ำ 35 ลิตร โดยทำการทดลองปลูกเป็นเวลา 8 สัปดาห์ เมื่อสิ้นสุดการทดลองพบว่าต้นลานไพลินมีจำนวนใบ 29.29, 38.83, 33.33 และ 36.80 ใบ ตามลำดับ ($p>0.05$) มีความยาวใบ 1.24, 1.44, 1.42 และ 1.60 เซนติเมตร ตามลำดับ ($p<0.05$) มีความกว้างใบ 1.00, 1.02, 1.02 และ 1.06 เซนติเมตร ตามลำดับ ($p<0.05$) และมีความสูงลำต้น 7.10, 9.03, 8.61 และ 10.30 เซนติเมตร ตามลำดับ ($p<0.05$) ดังนั้นการใช้สารสกัดไคโตซานจากเศษเปลือกกุ้งขาวสามารถทำให้ต้นลานไพลินเจริญเติบโตได้ดี โดยสามารถใช้ไคโตซานได้ในหลายรูปแบบทั้งผสมในดินปลูก ละลายในน้ำที่ปลูก หรือฉีดพ่น

บทนำ

ปัจจุบันประชาชนหันมาให้ความสนใจในการอนุรักษ์ทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อมมากขึ้น จึงได้มีความร่วมมือจากทั้งนักวิชาการและผู้ประกอบการในการค้นหาและนำสิ่งต่าง ๆ จากธรรมชาติมาใช้ประโยชน์เพื่อทดแทนสารเคมีที่เป็นอันตราย ดังนั้นไคโตซานจึงเป็นอีกทางเลือกหนึ่งซึ่งเป็นการนำสารสกัดจากธรรมชาติมาใช้ให้ก่อประโยชน์มากมาย ทั้งด้านการเกษตร อุตสาหกรรมอาหาร เกษตร และการแพทย์ และยังเป็นการนำของเหลือทิ้งจากการเกษตรมาใช้ให้เกิดประโยชน์ ลดขยะภาคการเกษตร สอดคล้องกับแนวคิดเศรษฐกิจหมุนเวียนที่รัฐบาลส่งเสริมอยู่ในปัจจุบัน ในส่วนของไคโตซานนั้นเป็นผลิตภัณฑ์ธรรมชาติที่ได้จากอนุพันธ์ของสารไคตินที่สามารถละลายน้ำและเป็นตัวทำละลายได้ดี เพราะเป็นสายโพลิเมอร์ประจุบวก ไคโตซานได้มาจากการสกัดจากสัตว์ที่มีเปลือกและกระดอง ได้แก่ โครงสร้างของเปลือกกุ้ง กระดองปู แกนหมึก เปลือกหอย และผนังเซลล์ของเห็ดราบางชนิด (Kanoekwanjamrus, 2001; Hoffmann et al., 2010; Preecha et al., 2011; Kulabong, 2012) ประโยชน์ของไคโตซานทางด้านการเกษตรพบว่าสามารถช่วยกระตุ้นภูมิคุ้มกันต้านโรคในสัตว์ กะตุ้นการย่อยอาหารและการเจริญเติบโต และช่วยให้เม็ดอาหารคงรูปอยู่ในน้ำได้นาน (Kotsaeng et al., 2012) นอกจากนั้นในทางด้านพืชไคโตซานช่วยป้องกันแมลงศัตรูพืชจากโรคและแมลงศัตรูพืช และยืดอายุการเก็บรักษาเมล็ดพันธุ์ (Sharathchandra et al., 2004) และใช้เป็นสารเร่งการเจริญเติบโต

ของพืชได้ (Wanichapongpan et al., 2001) โดยไม่ส่งผลกระทบต่อสภาพแวดล้อม และก่อให้เกิดความยั่งยืน โดยเฉพาะการนำไคโตซานมาใช้กับพรรณไม้กลางแจ้ง ซึ่งเป็นพืชเศรษฐกิจ เป็นที่ต้องการทั้งตลาดภายในและต่างประเทศ ซึ่งการจัดสวนน้ำในตู้ปลาหมักนิยมนำต้นลานไพลินมาปลูกเป็นไม้ประดับ เสน่ห์ของไม้ดอกชนิดนี้คือนอกจากใบหนาสีเขียวและดอกให้สวยงามเพลินตาแล้ว ดอกยังส่งกลิ่นหอมตลอดวันด้วย ดังนั้น วัตถุประสงค์ของการวิจัยในครั้งนี้คือ เพื่อศึกษาปริมาณไคโตซานที่สกัดได้จากเศษเปลือกกุ้งขาวและทดสอบประสิทธิภาพของไคโตซานที่สกัดได้ต่อการเจริญเติบโตของพรรณไม้กลางแจ้ง

อุปกรณ์และวิธีการวิจัย

การเตรียมสารสกัดไคตินจากเปลือกกุ้งขาว

นำเปลือกกุ้งขาวมาล้างแล้วตากแดดให้แห้ง ใช้เวลาประมาณ 2-3 วัน แล้วนำมาแช่ในสารละลายไฮโดรคลอริกเข้มข้น 1 โมลาร์ เป็นเวลา 72 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิห้อง (28 ± 2 องศาเซลเซียส) โดยใช้อัตราส่วนระหว่างเปลือกกุ้งขาวต่อสารละลายกรด 1:20 (น้ำหนักต่อปริมาตร) หลังจากนั้นล้างด้วยน้ำกลั่นจนสะอาด จากนั้นนำเปลือกกุ้งที่ได้กำจัดแคลเซียมคาร์บอเนตแล้วจะถูกนำมาผ่านขั้นตอนการกำจัดโปรตีน โดยนำเปลือกกุ้งมาผสมกับสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้น 2 โมลาร์ ใช้แท่งแก้วคนเป็นเวลา 1 ชั่วโมงที่อุณหภูมิห้อง (28 ± 2 องศาเซลเซียส) ในอัตราส่วนเปลือกกุ้งต่อสารละลายต่าง 1:20 (น้ำหนักต่อ

*Corresponding author

E-mail address: wijittra.tu@skru.ac.th (W. Tungse)

Online print: 23 September 2024 Copyright © 2024. This is an open access article, production, and hosting by Faculty of Agricultural Technology, Rajabhat Maha Sarakham University. <https://doi.org/10.14456/paj.2024.39>

ปริมาตร) คนให้เข้ากัน และนำมาล้างด้วยน้ำกลั่นจนสะอาด นำเปลือกกุ้งแช่ในสารละลายเอทานอล 95 % กวนตลอดเวลา 5 นาที ในอัตราส่วนเปลือกกุ้งต่อสารละลาย 1:20 (น้ำหนักต่อปริมาตร) หลังจากนั้นล้างด้วยน้ำกลั่นจนสะอาด แล้วนำไปอบจนแห้งที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 ชั่วโมง (Kotsaeng et al., 2012)

การสกัดไคโตซานจากสารไคติน

นำไคตินที่สกัดได้มาแยกหมู่ Acetyl (Deacetylation) โดยแช่ในสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 2 โมลาร์ ในอัตราส่วนสารไคตินต่อสารละลายต่าง 1:20 (น้ำหนักต่อปริมาตร) คนให้เข้ากันเป็นเวลา 15 นาที ที่อุณหภูมิ 140 ± 10 องศาเซลเซียส ด้วยเครื่องกวนสารให้ความร้อน (Hotplate stirrer) หลังจากนั้นกรองและล้างด้วยน้ำจนหมดสารละลายต่าง แล้วอบให้แห้งที่อุณหภูมิ 100 ± 10 องศาเซลเซียส สารที่ได้ คือไคโตซาน แล้วนำสารที่ได้ไปเปรียบเทียบกับ % จากสารไคตินตั้งต้นและเปรียบเทียบกับ % จากปริมาณเปลือกกุ้งขาวตั้งต้นต่อไป (Kotsaeng et al., 2012)

ศึกษาประสิทธิภาพของไคโตซานที่สกัดได้ต่อการเจริญเติบโตของพรรณไม้ในน้ำลานไพลิน

เตรียมกระถางปลูก โดยใช้กระถางพลาสติกขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1.5 นิ้ว ความสูง 5 เซนติเมตร จำนวน 120 กระถาง โดยใช้ชุดการทดลองละ 30 กระถาง และปลูกในบ่อซีเมนต์กลม การเตรียมบ่อซีเมนต์กลมขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1 เมตร ความสูงประมาณ 40 เซนติเมตร เติมน้ำลงไปจนบ่อให้สูง 5.50 เซนติเมตร ทำการเพาะต้นกล้าในแปลงเดียวกันโดยใช้ระยะเวลาในการเพาะกล้าเป็นเวลา 20 วัน หลังจากนั้นค่อยนำไปแยกปลูกในแต่ละชุดการทดลอง โดยสุ่มเลือกต้นกล้ามาปลูกกระถางละ 1 ต้น

เตรียมสารละลายไคโตซานเพื่อใช้เป็นสารละลายหัวเชื้อเข้มข้น โดยนำไคโตซานที่ได้จากการทดลองที่ 1 จำนวน 20 กรัม ละลายในกรดอะซิติกความเข้มข้น 2 % ปริมาตร 1 ลิตร (ได้สารละลายหัวเชื้อที่มีความเข้มข้นของไคโตซาน 20,000 มิลลิกรัมต่อลิตร (ppm)) นำสารละลายไคโตซานที่ได้มาทดสอบประสิทธิภาพการเจริญเติบโตของต้นไม้น้ำลานไพลิน โดยแบ่งชุดการทดลองได้ดังนี้ ชุดการทดลองที่ 1 ปลูกในดินที่ไม่ผสมไคโตซาน + น้ำที่ไม่ผสมไคโตซาน (ชุดควบคุม) ชุดการทดลองที่ 2 ปลูกในดินที่ผสมไคโตซาน อัตราส่วน 80 มิลลิกรัม/ดิน 500 กรัม + น้ำที่ไม่ผสมไคโตซาน ชุดการทดลองที่ 3 ปลูกในดินที่ไม่ผสมไคโตซาน + น้ำที่ไม่ผสมไคโตซาน + ฉีดพ่นสารละลายไคโตซาน 500 ppm ทุก 7 วัน ชุดการทดลองที่ 4 ปลูกในดินที่ไม่ผสมไคโตซาน + น้ำที่ผสมไคโตซาน อัตราส่วน 875 มิลลิกรัม/น้ำ 35 ลิตร โดยวางแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ (Complete Randomized Design, CRD) แต่ละชุดการทดลองกระทำ 3 ซ้ำ ซ้ำละ 10 ต้น บันทึกข้อมูลทุกสัปดาห์ เป็นเวลา 8 สัปดาห์ โดยบันทึกลักษณะการเจริญเติบโตของต้นลานไพลิน 4 ลักษณะ คือ จำนวนใบ ความยาวใบ ความกว้างใบ และความสูงลำต้น (Figure 1) และเก็บข้อมูลคุณภาพน้ำ ได้แก่ บันทึกอุณหภูมิของน้ำทุกวันวันละ 2 ครั้ง ในเวลาเช้า-เย็น วัดความเป็นกรด-ด่าง ทุก 7 วัน

การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ

วิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติด้วยการวิเคราะห์ความแปรปรวน (Analysis of variance, ANOVA) และตรวจสอบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยโดยวิธี Duncan's multiple range test (DMRT) ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 %

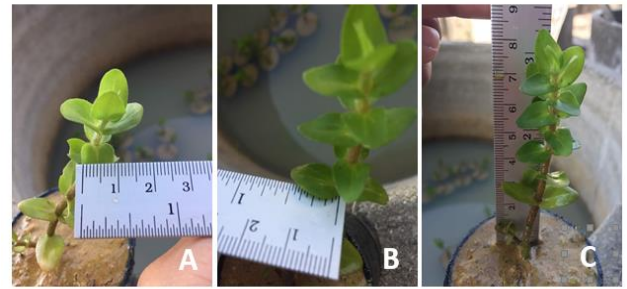


Figure 1 Measuring the growth of aquatic plants (*Bacopa caroliniana*).

A = Measuring of leaf width, B = Measuring of leaf length and C = Measuring of stalk heights.

ผลและวิจารณ์ผลการวิจัย

ปริมาณไคตินและไคโตซานจากเปลือกกุ้งขาว

จากการสกัดไคตินและไคโตซานจากเปลือกกุ้งขาว พบว่าเปลือกกุ้งขาวน้ำหนัก 50 กรัม สามารถสกัดไคตินได้ปริมาณ 17.01 ± 0.98 กรัม และได้ปริมาณไคโตซาน 16.35 ± 0.91 กรัม ซึ่งคิดเป็น % ของไคตินโดยน้ำหนักจากเปลือกกุ้งเท่ากับ 34.01 ± 1.96 % และคิดเป็น % ของไคโตซานโดยน้ำหนักจากไคตินและจากเปลือกกุ้งเท่ากับ 95.89 ± 0.96 และ 32.69 ± 1.83 % ตามลำดับ (Table 1) ลักษณะของไคตินที่สกัดได้มีสีขาวขุ่นผสมสีน้ำตาลและแข็ง ส่วนไคโตซานมีลักษณะสีขาวขุ่นผสมสีน้ำตาลและอ่อนนุ่มกว่าไคติน (Figure 2) ซึ่งการทดลองครั้งนี้แตกต่างกับผลการสกัดไคโตซานของ Kotsaeng & Chompusaen (2013) โดยพบว่าได้ปริมาณไคตินและไคโตซานจากการสกัดเปลือกกุ้งขาวที่ระดับ 9.92 และ 7.78 % ตามลำดับ อาจเป็นไปได้ว่าวิธีการสกัดแตกต่างกัน ส่งผลให้มีปริมาณไคโตซานแตกต่างกันได้ ส่วนการทดลองของ Aichayawanich & Saengprapaitip (2019) ยืนยันว่าระดับอุณหภูมิและโซเดียมไฮดรอกไซด์มีอิทธิพลต่อปริมาณไคโตซานในขั้นตอน Deacetylation โดยพบว่าไคโตซานจากเกล็ดปลาถูกผลิตขึ้นภายใต้สภาวะ 35 45 และ 55 องศาเซลเซียส พร้อมกับโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 2 โมลาร์ เป็นเวลา 5 ชั่วโมง และอัตราส่วนระหว่างไคตินและโซเดียมไฮดรอกไซด์เท่ากับ 1:4 1:6 และ 1:8 ส่งผลให้ผลผลิตของไคโตซานอยู่ในช่วง 24.94-49.84 %



Figure 2 Chitin (A) and Chitosan characteristics (B).

ประสิทธิภาพของไคโตซานที่สกัดได้ต่อการเจริญเติบโตของพรรณไม้น้ำ
ลานไพลิน

ในแต่ละสัปดาห์ของการเพาะเลี้ยงต้นไม้น้ำลานไพลินในแต่ละชุด
การทดลอง พบว่าจำนวนใบ ความยาวใบ ความกว้างใบ และความสูงของ
ลำต้น มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ และในชุดการทดลองที่ 2, 3 และ 4 มี
แนวโน้มสูงกว่าชุดควบคุม เมื่อสิ้นสุดการทดลองหลังเพาะเลี้ยงเป็นเวลา 8
สัปดาห์ พบว่าต้นลานไพลินแต่ละชุดการทดลองมีจำนวนใบ 29.29 ± 8.79 ,
 38.83 ± 9.83 , 33.33 ± 6.16 และ 36.80 ± 9.45 ใบต่อต้น ตามลำดับ ซึ่งไม่
มีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 % แต่ค่าเฉลี่ยของ
จำนวนใบจากการใช้ไคโตซานทั้ง 3 ชุดการทดลองมีแนวโน้มส่งผลให้
จำนวนใบเพิ่มขึ้นเมื่อเทียบกับกลุ่มควบคุม (Table 2 และ Figure 3) เมื่อ
พิจารณาความยาวใบในแต่ละสัปดาห์ที่มีความยาวใบเพิ่มขึ้นลดลงสลับกัน
ไป (Figure 4) เมื่อสิ้นสุดการทดลอง พบว่าความยาวใบของต้นลานไพลิน
เท่ากับ 1.24 ± 0.14 , 1.44 ± 0.13 , 1.42 ± 0.15 และ 1.60 ± 0.22
เซนติเมตร ตามลำดับ โดยพบว่า ชุดการทดลองที่ 1 มีความแตกต่างจาก
ชุดการทดลองที่ 2, 3 และ 4 ซึ่งมีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความ
เชื่อมั่น 95 % แต่ในชุดการทดลองที่ 2 และ 3 ไม่มีความแตกต่างกันทาง
สถิติ (Table 3) ในส่วนของความกว้างใบ พบว่าต้นลานไพลินแต่ละชุด
การทดลองมีค่าของความกว้างใบเท่ากับ 0.90 ± 0.09 , 1.02 ± 0.10 ,
 1.02 ± 0.10 และ 1.06 ± 0.17 เซนติเมตร ตามลำดับ ไม่มีความแตกต่าง
กันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 % (Table 4) โดยพบว่าเมื่อเลี้ยงไป
1 สัปดาห์ ความกว้างใบลดลง หลังจากนั้นมีความกว้างใบสูงขึ้น ซึ่งชุดการ
ทดลองที่ 3 มีความกว้างใบสูงที่สุดในสัปดาห์ที่ 5 หลังจากนั้นมีความกว้าง
ใบลดลง ดังแสดงใน Figure 5 ซึ่งอาจเกิดจากร่วงของใบใหญ่ และมีการ
งอกใบใหม่ขึ้นมาทดแทน ทำให้มีความกว้างของใบลดลงได้ในบางสัปดาห์
และเมื่อพิจารณาความสูงของลำต้นในแต่ละสัปดาห์ พบว่าต้นลานไพลิน
แต่ละชุดการทดลองมีค่าของความสูงลำต้นเท่ากับ 7.10 ± 1.61 ,
 9.03 ± 1.59 , 8.61 ± 0.86 และ 10.30 ± 2.28 เซนติเมตร ตามลำดับ โดย
พบว่าชุดการทดลองที่ 1 แตกต่างจากชุดการทดลองที่ 2, 3 และ 4 แต่ใน
ชุดการทดลองที่ 2 และ 3 ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความ
เชื่อมั่น 95 % (Table 5) ค่าเฉลี่ยความสูงของลำต้นในชุดการทดลองที่ 2,
3 และ 4 ซึ่งมีการใช้ไคโตซานในการปลูกต้นลานไพลินมีแนวโน้มทำให้
ความสูงของลำต้นสูงกว่ากลุ่มควบคุม ดังแสดงใน Figure 6 ซึ่งผลการ
ทดลองทุกพารามิเตอร์ของสัปดาห์ที่ 8 สรุปรวมไว้ใน Table 6 ทำให้เห็น
ได้ชัดว่าการใช้ไคโตซานส่งผลให้ต้นลานไพลินเจริญเติบโตได้ดี

ผลการทดลองในครั้งนี้ สอดคล้องกับการศึกษาของ
Wattanakor & Rungcharoenthong (2016) ซึ่งศึกษาผลของไคโต
ซานต่อผลผลิตข้าวเจ้าหอมนิล 2 ถูฤดูกาล พบว่าการใช้ไคโตซานที่ระดับ
ความเข้มข้น 0, 2, 4, 8, 10 และ 16 มิลลิกรัมต่อลิตร มีผลทำให้ความยาว
รวงแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ โดยมีความยาวรวงเฉลี่ย 23.19, 23.90,
24.17, 24.70, 24.98 และ 24.68 เซนติเมตร ตามลำดับ และสอดคล้องกับ
การทดลองของ Pattamaputit & Rungcharoenthong (2016) ซึ่ง
ศึกษาผลของไคโตซานต่อการเจริญเติบโต ผลผลิต และปริมาณกรดซาลิไซ
ลิกในพริกชี้หนู พบว่าการใช้ไคโตซานสามารถส่งเสริมอัตราการ
เจริญเติบโตของความสูง จำนวนผลทั้งหมด น้ำหนักผลผลิตต่อต้น ปริมาณ
รงควัตถุ และกรดซาลิไซลิกสูงกว่าชุดควบคุม โดยการใช้ไคโตซานที่

ปริมาณ 5-20 มิลลิกรัมต่อลิตร สามารถเพิ่มอัตราการเจริญเติบโต ผลผลิต
และปริมาณกรดซาลิไซลิกในพริกชี้หนูได้ Barka et al. (2004) รายงานว่า
ไคโตเจล (Chitogel) ซึ่งเป็นอนุพันธ์ของไคโตซานช่วยเพิ่มการเจริญเติบโต
ของพืชได้ โดยทดสอบเสริมไคโตเจล 1.75 % ในอาหารเลี้ยงเชื้อของต้น
อ่อนองุ่น พบว่าการผลิ ตออกซิเจนเพิ่มขึ้น 2 เท่า และการตรึง
คาร์บอนไดออกไซด์เพิ่มขึ้นเพียง 1.5 เท่า แสดงให้เห็นว่าไคโตเจลมีผลดี
ต่อการสังเคราะห์แสง และพบว่าความเข้มข้นของ N-acetyl
chitosaccharides แปรผันในตัวกลางการเจริญเติบโต ขึ้นอยู่กับลักษณะ
ทางเคมีและทางกายภาพ ซึ่งเป็นสาเหตุให้รากมีการเจริญเติบโตที่ดี
(Katiyar et al., 2015) ดังนั้นการใช้ไคโตซานส่งผลให้พืชมีการ
เจริญเติบโตที่ดีได้

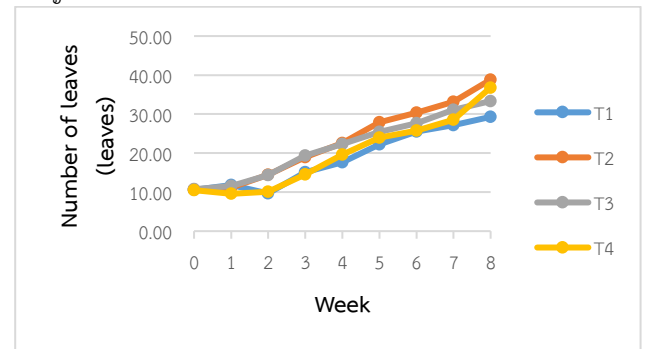


Figure 3 Growth of the aquatic plant (*Bacopa caroliniana*) by studying the number of leaves (leaves).

T1 = Treatment 1, T2 = Treatment 2, T3 = Treatment 3 and T4 = Treatment 4.

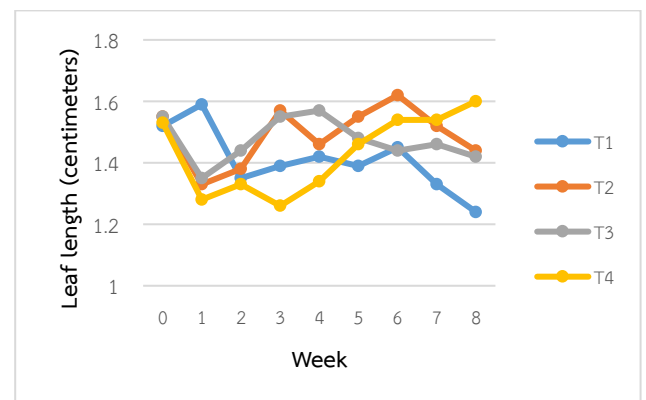


Figure 4 Growth of the aquatic plant (*Bacopa caroliniana*) by studying the leaf length (centimeters).

T1 = Treatment 1, T2 = Treatment 2, T3 = Treatment 3 and T4 = Treatment 4.

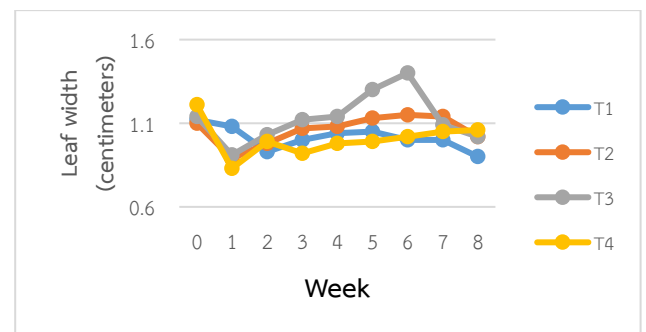


Figure 5 Growth of the aquatic plant (*Bacopa caroliniana*) by studying the leaf width (centimeters).

T1 = Treatment 1, T2 = Treatment 2, T3 = Treatment 3 and T4 = Treatment 4.

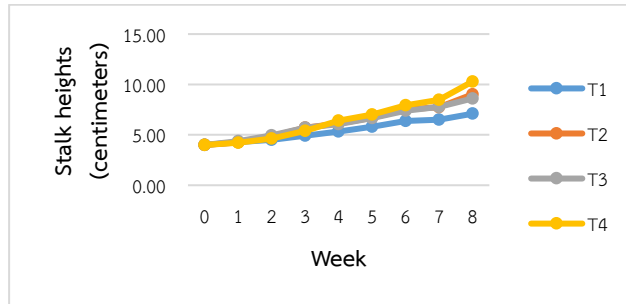


Figure 6 Growth of the aquatic plant (*Bacopa caroliniana*) by studying the stalk heights (centimeters).

T1 = Treatment 1, T2 = Treatment 2, T3 = Treatment 3 and T4 = Treatment 4.

สรุปผลการวิจัย

เศษเหลือจากเปลือกกุ้งขาวสามารถนำมาสร้างมูลค่าเพิ่มได้โดยการนำมาสกัดไคโตซานเพื่อนำไปใช้ประโยชน์ทางการเกษตรได้ ซึ่งเป็นการลดขยะให้เหลือศูนย์ โดยพบว่าไคโตซานจากเปลือกกุ้งขาวสามารถส่งเสริมการเจริญเติบโตของพรรณไม้ น้ำแล้นทั้งความยาวใบ ความกว้างใบ และความสูงของลำต้น โดยสามารถใช้ไคโตซานได้ในหลายรูปแบบทั้งผสมในดินปลูก ละลายในน้ำที่ปลูก หรือฉีดพ่น

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณ นางสาวนัทศิมา ยาชะรัต และนางสาวภัทรศยา บุญรุ่ง นักศึกษาโปรแกรมวิชาการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ คณะเทคโนโลยีการเกษตร มหาวิทยาลัยราชภัฏสงขลาที่ได้ช่วยเหลือในการเตรียมตัวอย่างและวิเคราะห์ผลในห้องปฏิบัติการ

Table 1 Quantity of chitin and chitosan extracted from Pacific white shrimp (*Litopenaeus vannamei*) shells

Replications	Shrimp shell quantity (g)	Chitin quantity		Chitosan quantity		
		Weight (g)	% weight from shrimp shells	Weight (g)	% weight from chitin	% weight from shrimp shells
1	50.00	17.32	34.64	16.49	95.21	32.98
2	50.00	17.79	35.58	17.18	96.57	34.36
3	50.00	15.91	31.82	15.37	96.57	32.69
Average	50.00±0	17.01±0.98	34.01±1.96	16.35±0.91	95.89±0.96	32.69±1.83

Table 2 Growth of the aquatic plant (*Bacopa caroliniana*) based on the study of number of leaves (leaves)

Treatment	Week								
	0	1	2	3	4	5	6	7	8
1	10.60±1.24 ^a	11.80±1.62 ^a	9.67±3.78 ^b	15.13±4.33 ^{ab}	17.67±5.62 ^b	22.23±6.31 ^b	25.53±6.63 ^a	27.13±6.67 ^a	29.29±8.79 ^a
2	10.63±0.95 ^a	11.20±2.16 ^a	14.43±3.77 ^a	18.93±4.05 ^{ab}	22.60±5.39 ^a	27.87±5.56 ^a	30.33±5.93 ^a	33.13±6.48 ^a	38.83±9.83 ^a
3	10.80±0.97 ^a	11.57±1.12 ^a	14.37±2.02 ^a	19.37±4.03 ^a	22.33±4.45 ^a	25.40±4.47 ^{ab}	27.67±5.11 ^a	30.93±5.00 ^a	33.33±6.16 ^a
4	10.53±0.83 ^a	9.57±1.93 ^b	10.13±2.86 ^b	14.50±3.73 ^b	19.63±5.16 ^{ab}	23.93±6.54 ^{ab}	25.77±6.95 ^a	28.53±6.64 ^a	36.80±9.45 ^a

The statistical analysis of each column using letters a-b shows the statistical differences of the parameter for each week ($p < 0.05$).

Table 3 Growth of the aquatic plant (*Bacopa caroliniana*) based on the study of leaf length (centimeters)

Treatment	Week								
	0	1	2	3	4	5	6	7	8
1	1.52±0.08 ^a	1.59±0.39 ^a	1.35±0.35 ^a	1.39±0.44 ^a	1.42±0.36 ^{ab}	1.39±0.31 ^a	1.45±0.29 ^b	1.33±0.21 ^b	1.24±0.14 ^c
2	1.55±0.13 ^a	1.30±0.17 ^{ab}	1.38±0.25 ^a	1.57±0.30 ^a	1.46±0.24 ^{ab}	1.55±0.24 ^a	1.62±0.17 ^a	1.52±0.15 ^a	1.44±0.13 ^b
3	1.52±0.11 ^a	1.35±0.18 ^{ab}	1.44±0.22 ^a	1.55±0.26 ^a	1.57±0.27 ^a	1.48±0.21 ^a	1.44±0.16 ^b	1.46±0.14 ^a	1.42±0.15 ^b
4	1.53±0.12 ^a	1.28±0.18 ^b	1.33±0.14 ^a	1.26±0.29 ^a	1.34±0.28 ^b	1.46±0.24 ^a	1.54±0.25 ^{ab}	1.54±0.21 ^a	1.60±0.22 ^a

The statistical analysis of each column using letters a-b shows the statistical differences of the parameter for each week ($p < 0.05$).

Table 4 Growth of the aquatic plant (*Bacopa caroliniana*) based on the study of leaf width (centimeters)

Treatment	Week								
	0	1	2	3	4	5	6	7	8
1	1.12±0.12 ^a	1.08±0.10 ^a	0.93±0.25 ^a	1.00±0.31 ^{ab}	1.04±0.27 ^{ab}	1.05±0.26 ^a	1.00±0.27 ^a	1.00±0.20 ^b	0.90±0.09 ^b
2	1.10±0.16 ^a	0.89±0.17 ^b	0.98±0.22 ^a	1.07±0.17 ^{ab}	1.08±0.17 ^{ab}	1.13±0.23 ^a	1.15±0.16 ^a	1.14±0.13 ^a	1.02±0.10 ^{ab}
3	1.14±0.08 ^a	0.91±0.15 ^b	1.03±0.19 ^a	1.12±0.20 ^a	1.14±0.20 ^a	1.30±0.78 ^a	1.40±1.09 ^a	1.09±0.11 ^a	1.02±0.10 ^{ab}
4	1.21±0.13 ^a	0.83±0.15 ^b	0.99±0.17 ^a	0.92±0.20 ^b	0.98±0.15 ^b	0.99±0.14 ^a	1.02±0.14 ^a	1.05±0.17 ^b	1.06±0.17 ^a

The statistical analysis of each column using letters a-b shows the statistical differences of the parameter for each week ($p < 0.05$).

Table 5 Growth of the aquatic plant (*Bacopa caroliniana*) based on the study of stalk heights (centimeters)

Treatment	Week								
	0	1	2	3	4	5	6	7	8
1	4.00±0.00	4.27±0.19 ^a	4.50±0.64 ^b	4.92±0.88 ^b	5.32±1.00 ^a	5.82±1.25 ^b	6.37±1.36 ^a	6.51±1.38 ^b	7.10±1.61 ^c
2	4.00±0.00	4.24±0.24 ^a	4.86±0.54 ^a	5.70±0.98 ^a	6.13±1.03 ^a	6.69±1.21 ^{ab}	7.51±1.11 ^a	7.73±1.24 ^{ab}	9.03±1.59 ^{ab}
3	4.00±0.00	4.38±0.18 ^a	4.94±0.31 ^a	5.70±0.50 ^a	6.07±0.55 ^a	6.67±0.65 ^{ab}	7.41±0.64 ^a	7.77±0.64 ^{ab}	8.61±0.86 ^b
4	4.00±0.00	4.21±0.20 ^a	4.63±0.40 ^b	5.40±0.87 ^b	6.40±1.45 ^a	7.01±1.48 ^b	7.94±1.59 ^a	8.49±1.75 ^b	10.30±2.28 ^a

The statistical analysis of each column using letters a-b shows the statistical differences of the parameter for each week ($p < 0.05$).

Table 6 Growth of the aquatic plant (*Bacopa caroliniana*) based on the study of number of leaves, leaf length, leaf width and stalk heights in the 8th week

Treatment	Number of leaves (leaves)	Leaf length (centimeters)	Leaf width (centimeters)	Stalk heights (centimeters)
1	29.29±8.79 ^a	1.24±0.14 ^c	0.90±0.09 ^b	7.10±1.61 ^c
2	38.83±9.83 ^a	1.44±0.13 ^b	1.02±0.10 ^{ab}	9.03±1.59 ^{ab}
3	33.33±6.16 ^a	1.42±0.15 ^b	1.02±0.10 ^{ab}	8.61±0.86 ^b
4	36.80±9.45 ^a	1.60±0.22 ^a	1.06±0.17 ^a	10.30±2.28 ^a

The statistical analysis of each column using letters a-b shows the statistical differences of the parameters (p<0.05).

References

- Aichayawanich, S., & Saengprapaitip, M. (2019). Isolation and characterization of chitosan from fish scale waste. *Proceeding of the 12th TSAE International Conference, In IOP Conference Series: Earth and Environmental Science* (p. 012051). Hard Rock Hotel Pattaya, Chonburi, Thailand: Department of Agricultural Engineering, Faculty of Engineering, King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang (KMUTL). doi:10.1088/1755-1315/301/1/012051
- Barka, E. A., Eullaffroy, P., Cle'ment, C., & Vernet, G. (2004). Chitosan improves development, and protects *Vitis vinifera* L. against *Botrytis cinerea*. *Plant Cell Reports*, 22(8), 608-614. doi: 10.1007/s00299-003-0733-3
- Hoffmann, K., Daum, G., Köster, M., Kulicke, W. M., Meyer-Rammes, H., Bisping, B., & Meinhardt, F. (2010). Genetic improvement of *Bacillus licheniformis* strains for efficient deproteinization of shrimp shells and production of high-molecular-mass chitin and chitosan. *Applied and Environmental Microbiology*, 76(24), 8211-8221. doi: 10.1128/AEM.01404-10
- Kanoekwanjamrus, S. (2001). *Study on kinetics of Chitin-Chitosan processing* (Master's Thesis). Bangkok, Thailand: King Mongkuts University of Technology Thonburi. (in Thai)
- Katiyar, D., Hemantaranjan, A., & Singh, B. (2015). Chitosan as a promising natural compound to enhance potential physiological responses in plant: a review. *Indian Journal of Plant Physiology*, 20(1), 1-9. doi: 10.1007/s40502-015-0139-6
- Kotsaeng, N., & Chompusaen, P. (2013). Effects of chitosan on chinese kale growth. *Proceedings of the 9th Maha Sarakham University research conference* (pp. 478-484). Mahasarakham, Thailand: Mahasarakham University. (in Thai)
- Kotsaeng, N., Wongcharean, K., & Namtaku, K. (2012). *Applications of chitin and chitosan in agriculture*. Kalasin, Thailand: Kalasin Rajabhat University press. (in Thai)
- Kulabtong, S. (2012). Biology and culture of windowpane oyster (*Placuna placenta*). *Veridian E-Journal, Silpakorn University*, 5(1), 764-770. (in Thai)
- Pattamaputit, W., & Rungcharoenthong, P. (2016). Effect of chitosan on growth, yield and salicylic acid content in bird chili. *Khon Kaen Agriculture Journal*, 44(Suppl. 1), 141-146. (in Thai)
- Preecha, C., Kulabtong, S., & Kunlapapuk, S. (2011). Review on: Biology and ecology of sand worm (*Namalycastis* spp.: Nereididae) in Thailand. *Veridian E-Journal, Silpakorn University*, 4(2), 667-677. (in Thai)
- Sharathchandra, R. G. S., Raj, S. N., Shetty, N., Amruthesh, K. N., & Shetty, S. (2004). A Chitosan formulation Elexa (TM) induces downy mildew disease resistance and growth promotion in pearl millet. *Crop Protection*, 23(10), 881-838. doi: 10.1016/j.cropro.2003.12.008
- Wanichapongpan, P., Suriyachan, K., & Chandkrachang, S. (2001). Effect of chitosan on the growth of Gerbera flower plant (*Gerbera jamesonii*). *Chitin and chitosan in Life Science*, 198-201.
- Wattanakorn, K., & Rungcharoenthong, P. (2016). Effect of chitosan on yield in Hom-nin rice two seasons. *Khon Kaen Agriculture Journal*, 44(Suppl. 1), 290-294. (in Thai)

Research article

Extraction of chitosan from Pacific white shrimp (*Litopenaeus vannamei*) shell waste and its application in the cultivation of aquatic plants (*Bacopa caroliniana*)

Wijittra Tungse* Sarun Rucksapram and Natthaphon Rachuphimon

Program in Aquatic Animal Production Technology, Faculty of Agricultural Technology, Songkhla Rajabhat University, Mueang District, Songkhla Province, Thailand 90000

ARTICLE INFO**Article history**

Received: 13 June 2024

Revised: 19 August 2024

Accepted: 24 August 2024

Online published: 23 September 2024

Keyword

Chitosan

Shrimp shell

Litopenaeus vannamei

Aquatic plant

Bacopa caroliniana

ABSTRACT

This research aims to extract chitosan from white shrimp shell waste using a chemical method. The extracted chitosan was then used to enhance growth in *Bacopa caroliniana* cultures. The extraction process yielded 34.01 % chitin from the white shrimp shell waste. The chitosan yield was 95.89 % from the chitin and 32.69 % from the shrimp shells by weight. Subsequently, the chitosan extract was used to study the growth of *B. caroliniana*. The experiment followed a completely randomized design with 3 replications and 4 treatments: 1) planted in soil without chitosan + water without chitosan (control group), 2) planted in soil mixed with 80 ml of chitosan/500 g of soil + water without chitosan, 3) planted in soil without chitosan + water without chitosan + sprayed with 500 ppm chitosan solution every 7 days, and 4) planted in soil without chitosan + water mixed with 875 ml of chitosan/35 L of water. The cultivation period lasted 8 weeks. At the end of the experiment, the results showed that *B. caroliniana* had leaf counts of 29.29, 38.83, 33.33, and 36.80 leaves, respectively ($p>0.05$); leaf lengths of 1.24, 1.44, 1.42, and 1.60 centimeters, respectively ($p<0.05$); leaf widths of 1.00, 1.02, 1.02, and 1.06 centimeters, respectively ($p<0.05$); and stalk heights of 7.10, 9.03, 8.61, and 10.30 centimeters, respectively ($p<0.05$). Therefore, the use of chitosan extract from white shrimp shell waste can promote the growth of *B. caroliniana*. Chitosan can be employed in various forms, including mixing it into planting soil, dissolving it in planting water, or applying it as a spray.

*Corresponding author

E-mail address: wijittra.tu@skru.ac.th (W. Tungse)

Online print: 23 September 2024 Copyright © 2024. This is an open access article, production, and hosting by Faculty of Agricultural Technology, Rajabhat Maha Sarakham University. <https://doi.org/10.14456/paj.2024.39>



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

บทความวิจัย

การพัฒนาน้ำยาเจือจางน้ำเชื้อไก่อพื้นเมือง เพื่ออนุรักษ์และพัฒนาสายพันธุ์ไก่อพื้นเมืองไทย

ทิพย์สุดา บุญมาทัน^{1*} นพรัตน์ ผกาเขต¹ ธนิตพันธ์ พงษ์จงมิตร¹ ณัฐวัฒน์ ตันพล¹ และ สมร พรชื่นชวงค์²

¹สาขาวิชาเทคโนโลยีการผลิตสัตว์ คณะเทคโนโลยีการเกษตร มหาวิทยาลัยกาฬสินธุ์ อำเภอเมืองกาฬสินธุ์ จังหวัดกาฬสินธุ์ ประเทศไทย 46000

²สาขาวิชาเทคโนโลยีและนวัตกรรมทางสัตว์ สำนักวิชาเทคโนโลยีการเกษตร มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี อำเภอเมือง จังหวัดนครราชสีมา ประเทศไทย 30000

ข้อมูลบทความ	บทคัดย่อ
Article history รับ: 20 มิถุนายน 2567 แก้ไข: 6 สิงหาคม 2567 ตอบรับการตีพิมพ์: 20 กันยายน 2567 ตีพิมพ์ออนไลน์: 30 กันยายน 2567 คำสำคัญ น้ำยาเจือจางน้ำเชื้อ ไก่อพื้นเมือง	การศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลของน้ำยาเจือจาง KSU diluent (น้ำยาเจือจางที่พัฒนาขึ้น) BPSE Lake's diluent และกลุ่มควบคุม (NaCl 0.90 %) ต่อคุณภาพน้ำเชื้อไก่อพื้นเมืองที่เก็บรักษาแบบแช่เย็นที่ระยะเวลา 1-4 วัน พบว่าคุณภาพน้ำเชื้อสดของไก่อพื้นเมืองพันธุ์เหลืองหางขาวมีปริมาณน้ำเชื้อ 0.39 ± 0.04 มล./ตัว ความเข้มข้นของน้ำเชื้อ $2.28 \pm 0.13 \times 10^9$ ตัว/มล. ค่า pH 7.38 ± 0.02 ค่าออสโมลาลิตี 324 ± 2.65 mOsm/kg อัตราการเคลื่อนที่ 91.67 ± 14.43 % และอัตราการมีชีวิต 96.00 ± 1.00 % ผลของน้ำยาเจือจาง KSU diluent BPSE Lake's diluent และกลุ่มควบคุมต่อคุณภาพน้ำเชื้อไก่อพื้นเมือง พบว่าเมื่อระยะเวลาการเก็บรักษาเพิ่มขึ้น การใช้น้ำยาเจือจาง KSU diluent BPSE และ Lake's diluent ให้ผลอัตราการเคลื่อนที่ อัตราการเคลื่อนที่แบบไปข้างหน้า ลักษณะการเคลื่อนที่ (average path velocity (VAP) curvilinear velocity (VCL) และ straight line velocity (VSL)) อัตราการมีชีวิต อัตราการผสมติด และอัตราการฟักลดลง ($P < 0.05$) โดยน้ำยาเจือจาง KSU diluent ให้ผลอัตราการเคลื่อนที่ อัตราการเคลื่อนที่แบบไปข้างหน้า และลักษณะการเคลื่อนที่ (VAP VCL และ VSL) ลดลงในวันที่ 3 ของการเก็บรักษา ($P < 0.05$) แต่อย่างไรก็ตามการเก็บรักษาน้ำเชื้อที่ระยะเวลา 1 และ 2 วัน พบว่าน้ำยาเจือจาง KSU diluent ให้ผลอัตราการผสมติดสูงไม่แตกต่างจาก BPSE และ Lake's diluent ($P > 0.05$) โดยน้ำยาเจือจาง KSU diluent ให้ผลอัตราการผสมติดสูงที่สุด (57.51 ± 11.54 %) เมื่อเก็บรักษาน้ำเชื้อที่ระยะเวลา 3 วัน ($P < 0.05$) นอกจากนี้ น้ำยาเจือจาง KSU diluent BPSE และ Lake's diluent ให้ผลอัตราการฟักไม่แตกต่างกันในทุกระยะเวลาของการเก็บรักษา ($P > 0.05$) ดังนั้นน้ำยาเจือจาง KSU diluent สามารถนำมาใช้ในการเก็บรักษาน้ำเชื้อไก่อพื้นเมืองได้ 3 วัน

บทนำ

ไก่อพื้นเมืองไทยถือเป็นทรัพยากรทางธรรมชาติที่มีคุณค่าอยู่คู่กับคนไทยมาตั้งแต่อดีตจนถึงปัจจุบัน เนื่องจากไก่อพื้นเมืองเลี้ยงง่าย ทนทานต่อโรค สภาพแวดล้อมที่แร้นแค้น และเนื้อสัตว์รสชาติอร่อยจึงทำให้มีราคาสูงกว่าไก่อะเทศประมาณ 2-3 เท่า อีกทั้งยังสามารถผสมพันธุ์ และขยายพันธุ์ได้เองตามธรรมชาติ (Laopai boon & Duangjinda, 2012) แต่อย่างไรก็ตามไก่อพื้นเมืองไทยมีข้อเสียในด้านการเจริญเติบโตช้า แต่ลักษณะเด่นของไก่อพื้นเมืองไทยยังเป็นประโยชน์อย่างมากต่อการพัฒนาสายพันธุ์ นอกจากนี้ปัญหาของโรคระบาดในไก่อพื้นเมืองที่สำคัญ เช่น โรคไขหวัดนก โรคคหิวัต โรคนิวคลีโอซิส และโรคฝีดาษ มีผลกระทบทำให้จำนวนไก่อพื้นเมืองไทยลดลง อีกทั้งยังมีผลกระทบทำให้เกิดความเสียหายทางด้านเศรษฐกิจ โดยเฉพาะโรคไขหวัดนก ซึ่งเกิดการระบาดอย่างหนักตั้งแต่ ปี พ.ศ. 2547 และมีแนวโน้มกลายเป็นโรคประจำ

ถิ่น (Phomwisetsirikun et al., 2012) ดังนั้นจึงควรที่จะศึกษาแนวทางแก้ปัญหาดังกล่าวเพื่ออนุรักษ์และพัฒนาสายพันธุ์ไก่อพื้นเมืองไทย ซึ่งการเก็บรักษาน้ำเชื้อแบบแช่เย็นเป็นอีกแนวทางหนึ่งที่จะสามารถช่วยในการขยายพันธุ์กรรมไก่อพื้นเมืองได้อย่างรวดเร็ว และสามารถช่วยอนุรักษ์และพัฒนาสายพันธุ์ไก่อพื้นเมืองไทยไว้ได้ โดยปัจจัยที่มีผลต่อการเก็บรักษาน้ำเชื้อแบบแช่เย็น คือ น้ำยาเจือจางน้ำเชื้อ (diluent) มีคุณสมบัติช่วยเพิ่มปริมาณน้ำเชื้อ เป็นแหล่งพลังงานให้กับตัวอสุจิเพื่อใช้ในกระบวนการเมแทบอลิซึม ช่วยยืดระยะเวลาการเคลื่อนที่และการมีชีวิตรอดให้กับตัวอสุจิ ซึ่งน้ำยาเจือจางน้ำเชื้อที่มีประสิทธิภาพจะต้องมีค่า pH และค่าออสโมลาลิตีที่เหมาะสม และใกล้เคียงกับค่า seminal fluid ของน้ำเชื้อสัตว์ที่ทำการศึกษา เพราะหากอสุจิอยู่ในสภาวะที่มีค่า pH ต่ำ จะทำให้อสุจิมีการใช้ออกซิเจนเพิ่มขึ้น มีการผลิตกรดแลกติก ส่งผลให้อสุจิเคลื่อนที่ลดลง และหากอสุจิอยู่ในสภาวะที่มีค่า pH สูง จะส่งผลให้อสุจิมีอัตรา

*Corresponding author

E-mail address: Thipsuda_Boonmatan@hotmail.com (T. Boonmatan)

Online print: 30 September 2024 Copyright © 2024. This is an open access article, production, and hosting by Faculty of Agricultural Technology, Rajabhat Maha Sarakham University. <https://doi.org/10.14456/paj.2024.40>

เมแทบอลิซึมสูงขึ้น สำหรับสภาวะที่มีค่าออสโมลาลิตีต่ำจะทำให้เซลล์อสุจิ บวม และสภาวะที่มีค่าออสโมลาลิตีสูงจะทำให้เซลล์อสุจิมีการสูญเสีย น้ำ และเกิดภาวะเซลล์เหี่ยว (Boonmatan, 2013) โดยทั่วไปค่า pH และค่า ออสโมลาลิตีที่เหมาะสมในสัตว์ปีกจะอยู่ในช่วงระหว่าง 6.0-8.0 และ 250-460 mOsm/kg ตามลำดับ (Siudzinska & Lukaszewicz, 2008) ปัจจุบัน มีการพัฒนาน้ำยาเจือจางน้ำเชื้อสัตว์ปีกเชิงพาณิชย์เพื่อจำหน่าย และ บริษัทผู้ผลิตส่วนใหญ่อยู่ในต่างประเทศ การนำเข้ามาใช้ในประเทศไทย ส่งผลให้น้ำยาเจือจางเชิงพาณิชย์มีราคาแพง จึงทำให้นักวิจัยให้ความสนใจ ในการพัฒนาคิดค้นน้ำยาเจือจางที่เหมาะสมกับสายพันธุ์สัตว์ปีก จากการศึกษาของ Getachew et al. (2023) ได้ศึกษาเปรียบเทียบน้ำยา เจือจาง BPSE (น้ำยาเจือจางทางการค้า) กับน้ำยาเจือจางที่พัฒนาขึ้นเอง โดยมี Tris-egg yolk เป็นส่วนประกอบหลัก ในการเก็บรักษาน้ำเชื้อไก่ ฟันเมืองสายพันธุ์ Horro พบว่า น้ำยาเจือจางที่พัฒนาขึ้นมีคุณภาพ ใกล้เคียงกับน้ำยาเจือจางทางการค้า Chankitisakul et al. (2022) พัฒนา น้ำยาเจือจาง NCAB ในการเก็บรักษาน้ำเชื้อไก่พื้นเมืองไทยสายพันธุ์ประดู่ ทางดำ พบว่าการเก็บรักษาน้ำเชื้อที่ระยะเวลา 24 ชั่วโมง น้ำยาเจือจาง NCAB ให้ผลอัตราการผสมติดอัตราการฟักออกสูงกว่าน้ำยาเจือจาง IGGKPh ดังนั้นงานวิจัยครั้งนี้จึงมีแนวคิดที่จะพัฒนาน้ำยาเจือจางให้ เหมาะสมกับน้ำเชื้อไก่พื้นเมือง เพื่ออนุรักษ์และพัฒนาสายพันธุ์ไก่พื้น เมืองไทยให้อยู่คู่กับประเทศไทยอย่างยั่งยืน

อุปกรณ์และวิธีการวิจัย

สัตว์ทดลอง

การศึกษานี้ครั้งนี้ได้รับอนุญาตใช้สัตว์เพื่องานทางวิทยาศาสตร์ ตามเอกสารอนุญาตเลขที่ KSU-AE-012/2565 โดยใช้พ่อพันธุ์ไก่พื้นเมือง พันธุ์เหลืองหางขาวอายุประมาณ 7 เดือนขึ้นไป จำนวน 30 ตัว และใช้แม่ ไก่ไข่สายพันธุ์การคำ (CP Brown) ที่มีอัตราการไข่ไม่น้อยกว่า 75 % จำนวน 96 ตัว ซึ่งใช้สถานที่แผนกสัตว์ปีก และห้องปฏิบัติการสัตววิทยา ทางสัตว์ สาขาวิชาเทคโนโลยีการผลิตสัตว์ คณะเทคโนโลยีการเกษตร มหาวิทยาลัยกาฬสินธุ์ ในการดำเนินงานวิจัย

การรีดน้ำเชื้อ

การรีดน้ำเชื้อพ่อพันธุ์ไก่ใช้วิธีการนวดช่องท้อง (abdominal massage) ตามวิธีของ Quinn & Burrows (1936) โดยใช้ผู้ปฏิบัติ จำนวน 2 คน คือ คนที่ 1 เป็นคนอุ้มไก่กระชับไว้ที่เอวยื่นทางออก ทางด้านหน้า ใช้มือรวบขาทั้ง 2 ข้างเข้าหากัน และใช้อีกมือหนึ่งลูบ หลังพ่อไก่เบา ๆ ค่อย ๆ ลงน้ำหนักจากโคนปีกผ่านมาที่หลังไปที่หาง และใช้นิ้วหัวแม่มือกับนิ้วชี้บีบกระดุนบริเวณก้นพ่อไก่อย่างรวดเร็ว พ่อไก่จะแสดงปฏิกิริยากระดกหางขึ้นพร้อมดันอวัยวะเพศรูปร่างเป็น ลอนคู่ปลายแหลมยื่นออกมาจากรูทวาร และผู้ปฏิบัติคนที่ 2 จะนำ ภาชนะที่สะอาดรองรับน้ำเชื้อที่ไหลออกมา จากนั้นทำการประเมิน ปริมาณน้ำเชื้อ ความเข้มข้นของตัวอสุจิ อัตราการเคลื่อนที่ และอัตรา การมีชีวิตเป็นรายตัว แล้วนำน้ำเชื้อรวมกัน (pool semen) เพื่อนำไป วัดค่า pH และค่าออสโมลาลิตี โดยน้ำเชื้อที่จะนำมาใช้ในการศึกษา จะต้องมีลักษณะสีขาวขุ่นคล้ายน้ำมัน ไม่มีเลือด อุจจาระ ปนอยู่ และมี อัตราการเคลื่อนที่ของตัวอสุจิมากกว่า 75 %

การศึกษาผลของน้ำยาเจือจางน้ำเชื้อไก่พื้นเมืองที่เก็บรักษาแบบแช่เย็น

ทำการเตรียมน้ำยาเจือจาง 3 สูตร ได้แก่ KSU diluent (น้ำยาเจือ จางที่พัฒนาขึ้น) BPSE (Sexton & Fewlass, 1978) และ Lake's diluent (Chalah et al., 1999) ตามส่วนประกอบที่ แสดงใน Table 1 โดยใช้ โซเดียมคลอไรด์ (sodium chloride; NaCl) ที่ระดับความเข้มข้น 0.90 % เป็นกลุ่มควบคุม นำไปวัดค่าความเป็นกรด-ด่าง และค่าออสโมลาลิตี เก็บ ใส่ขวดแก้วปิดฝาให้สนิท และนำไปเก็บรักษาในตู้เย็นที่อุณหภูมิ 4-5 °C จากนั้นนำน้ำเชื้อสดที่มีอัตราการเคลื่อนที่ 75 % ขึ้นไป มาเจือจางกับ น้ำยาเจือจางในหลอด eppendorf ที่อัตราส่วนน้ำเชื้อสดต่อน้ำยาเจือจาง 1:3 ผสมให้เข้ากันโดยการกลับลดไปมาอย่าง เบา ๆ และนำไปเก็บรักษา ในตู้เย็นที่ อุณหภูมิ 4-5 °C เพื่อนำไปประเมินอัตราการเคลื่อนที่ อัตราการ เคลื่อนที่แบบไปข้างหน้า ลักษณะการเคลื่อนที่แบบต่าง ๆ (average path velocity (VAP) curvilinear velocity (VCL) และ straight line velocity (VSL)) อัตราการมีชีวิต อัตราการผสมติด และอัตราการฟัก เป็นระยะเวลา 1-4 วัน

Table 1 The composition of sperm diluents

Composition	Diluents (g/25 ml)			
	Control	KSU diluent	BPSE	Lake's diluent
Sodium chloride	0.2250	-	-	-
Magnesium acetate	-	0.0600	0.0085	0.0292
Sodium acetate	-	-	0.1075	-
Potassium citrate	-	0.0500	0.0170	-
Sodium glutamate	-	0.6000	0.2442	0.5311
Dipotassium hydrogen phosphate	-	-	0.4160	-
Potassium dihydrogen phosphate	-	-	0.0163	-
Fructose	-	-	-	0.2000
TES*	-	-	0.0488	-
Potassium acetate	-	-	-	0.1480
Polyvinylpyrrolidone (PVP)	-	0.1000	-	0.0750
Glucose	-	0.3000	0.1250	-
pH	6.04±0.03	7.13±0.01	9.03±0.01	7.36±0.01
Osmolarity (mOsm/kg)	285±1.67	351±2.83	459±4.92	378±3.67

* N-[Tris(hydroxymethyl)methyl]-2-aminoethanesulfonic acid.

แผนการทดลอง

การพัฒนาถ่ายน้ำเชื้อจากน้ำเชื้อไก่พื้นเมืองเพื่ออนุรักษ์และพัฒนาสายพันธุ์ไก่พื้นเมืองไทย ใช้พ่อพันธุ์ไก่พื้นเมืองพันธุ์เหลืองหางขาว จำนวน 30 ตัว ในการศึกษาผลของน้ำยาเจือจางต่อคุณภาพน้ำเชื้อไก่พื้นเมืองที่เก็บรักษาแบบแช่เย็น และใช้แม่พันธุ์ไข่ จำนวน 96 ตัว แบ่งออกเป็น 4 ทรีตเมนต์ ทรีตเมนต์ละ 3 ซ้ำ ๆ ละ 8 ตัว ในการศึกษาผลของน้ำยาเจือจางต่ออัตราการผสมติดและอัตราการฟักออกของน้ำเชื้อไก่พื้นเมืองที่เก็บรักษาแบบแช่เย็น โดยมีการวางแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ (completely randomized design; CRD) มีกลุ่มทดลองที่ต้องการศึกษา จำนวน 4 กลุ่มทดลอง คือ 1) 0.9 % NaCl (กลุ่มควบคุม) 2) น้ำยาเจือจาง KSU diluent 3) น้ำยาเจือจาง BPSE และ 4) น้ำยาเจือจาง Lake's diluent

การเก็บข้อมูล

การประเมินอัตราการเคลื่อนที่ของตัวอสุจิใช้วิธีการประเมิน 2 วิธี คือ 1) การประเมินอัตราการเคลื่อนที่เบื้องต้นก่อนนำน้ำเชื้อมาทำการศึกษา ทำได้โดยการหยดน้ำเกลือ 5 ไมโครลิตรลงบนสไลด์ และหยดน้ำเชื้อ 1 ไมโครลิตร จากนั้นใช้เข็มเขี่ยน้ำเกลือมาแตะกับน้ำเชื้อเพียงเล็กน้อย แล้วสังเกตการเคลื่อนที่ภายใต้กล้องจุลทรรศน์แบบ compound microscope ที่กำลังขยาย 10 เท่า โดยให้เกณฑ์การเคลื่อนที่ของอสุจิ ดังต่อไปนี้ จาก Guest (1973) 2) ใช้เครื่อง computer assisted semen analysis (CASA) สำหรับประเมินอัตราการเคลื่อนที่ อัตราการเคลื่อนที่แบบไปข้างหน้า และลักษณะการเคลื่อนที่ของตัวอสุจิที่เก็บรักษาแบบแช่เย็น โดยการนำน้ำเชื้อที่เก็บรักษาแบบแช่เย็นมาเจือจางด้วยน้ำยาเจือจางที่อัตราการเจือจาง 1 : 15 (Sample : diluent) และใช้ micropipette ดูด้วยอย่าง 3 ไมโครลิตร โหลดลงบน dual slide sperm analysis ที่ปิดด้วย cover glass ที่วางอยู่บน stage ของเครื่อง CASA และทำการ

วิเคราะห์โดยมีการกำหนดค่า analysis setup (Temperature: 37.0 °C, Cell Travel Max: 10 µm, Enable Motile Static Collision: False, Motile cell require a tail: True, Progressive: STR 50 %, Progressive VAP: 30 µm/s, Slow VAP: 10 µm/s, Slow VSL: 15 µm/s, Static Algorithm: Width Multiplier, Static VAP: 3 µm/s, Static VSL: 1 µm/s, Static Width Multiplier: 0.5, Frame Capture Speed: 60 Hz, Frame Count: 45, Elongation Max: 100 %, Elongation Min: 1 %, Enable Advanced Tail Detect: True, Head Brightness Min: 90, Head Size Max: 30 µm² และ Head Size Min: 3 µm²) ดัดแปลงจาก Boonmatan (2013)

การประเมินอัตราการมีชีวิต โดยการย้อมสี eosin-nigrosin นำไปส่องภายใต้กล้องจุลทรรศน์แบบ compound microscope ที่กำลังขยาย 100 เท่า อสุจิมีชีวิตจะมีลักษณะสีขาวไม่ติดสีย้อม ส่วนตัวตายจะติดสีย้อมเป็นสีชมพู สีแดง หรือสีม่วงเข้ม

การประเมินความเข้มข้นของน้ำเชื้อ โดยใช้สไลด์สำหรับนับเม็ดโลหิตนำไปส่องภายใต้กล้องจุลทรรศน์แบบ compound microscope ที่กำลังขยาย 40 เท่า แล้วนำมาคำนวณหาค่าเฉลี่ยจำนวนอสุจิที่นับได้ต่อ 1 มล. ดังนี้

ความเข้มข้นของน้ำเชื้อ (จำนวนอสุจิ/มล.) = (จำนวนอสุจิที่นับได้ทั้ง 5 บริเวณ/5) × 25 × อัตราการเจือจาง × 10⁴

การประเมินอัตราการผสมติดและอัตราการฟัก ทำได้โดยการผสมเทียมให้กับแม่ไก่สายพันธุ์การคำจำนวน 2 ครั้ง (2 วัน/ครั้ง) โดยใช้จำนวนอสุจิต่อแม่ไก่ 1 ตัว เท่ากับ 300 ล้านตัว และจะเริ่มเก็บไข่ภายหลังจากการผสมเทียม 1 วัน เป็นระยะเวลา 1 สัปดาห์ และนำไปเข้าตู้ฟัก จากนั้นตรวจสอบอัตราการผสมติดโดยการส่องไข่ที่อายุฟัก 7 วัน และตรวจสอบอัตราการฟักที่อายุฟัก 21 วัน

การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ

วิเคราะห์ความแปรปรวนระหว่างทรีตเมนต์ (ANOVA) ตามแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ (CRD) ที่มีการวัดซ้ำ วิเคราะห์ความแตกต่างค่าเฉลี่ยด้วยวิธี Duncan's new multiple rang test ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 % และวิเคราะห์ความแตกต่างเนื่องจากเวลาด้วย orthogonal polynomials โดยใช้โปรแกรม SPSS version 27

ผลและวิจารณ์ผลการวิจัย

คุณภาพน้ำเชื้อสดของไก่พื้นเมืองพันธุ์เหลืองหางขาว

จากการประเมินคุณภาพน้ำเชื้อสดของไก่พื้นเมืองพันธุ์เหลืองหางขาว พบว่ามีปริมาตรน้ำเชื้อเท่ากับ 0.39 ± 0.04 มล./ตัว ความ

เข้มข้นของน้ำเชื้อเท่ากับ $2.28 \pm 0.13 \times 10^9$ ตัว/มล. ค่า pH เท่ากับ 7.38 ± 0.02 ค่าออสโมลาลิตีเท่ากับ 324 ± 2.65 mOsm/kg อัตราการเคลื่อนที่เท่ากับ 91.67 ± 14.43 % และอัตราการมีชีวิตเท่ากับ 96.00 ± 1.00 % แสดงใน Table 2 ซึ่งสอดคล้องกับการรายงานของ Boonmatan (2013) พบว่าน้ำเชื้อสดของไก่พื้นเมืองพันธุ์เหลืองหางขาวมีปริมาตรเท่ากับ 0.39 ± 0.17 มล./ตัว ความเข้มข้นของน้ำเชื้อเท่ากับ $3.03 \pm 0.37 \times 10^9$ ตัว/มล. ค่า pH เท่ากับ 7.23 ± 0.06 และมีค่าออสโมลาลิตีเท่ากับ 306 ± 0.56 mOsm/kg นอกจากนี้ Chotesangasa (2001) ได้ทำการศึกษาคุณภาพน้ำเชื้อสดของไก่พื้นเมืองไทยที่อายุ 35-52 สัปดาห์ พบว่ามีปริมาตรน้ำเชื้อเท่ากับ 0.4 มล. และความเข้มข้นของน้ำเชื้อเท่ากับ $7.03-8.00 \times 10^9$ ตัว/มล.

Table 2 Fresh semen quality of native chicken "Leung Hang Kao"

Parameter	N	Mean $\pm$ S.D.
Volume (ml/head)	30	0.39 ± 0.04
Concentration ($\times 10^9$ sperm/ml)	30	2.28 ± 0.13
Motility (%)	30	91.67 ± 14.43
Viability (%)	30	96.00 ± 1.00
pH	3	7.38 ± 0.02
Osmolarity (mOsm/kg)	3	324 ± 2.65

ผลของน้ำยาเจือจางต่ออัตราการเคลื่อนที่ อัตราการเคลื่อนที่แบบไปข้างหน้า และลักษณะการเคลื่อนที่แบบต่างๆ (VAP VCL และ VSL) ของน้ำเชื้อไก่พื้นเมืองที่เก็บรักษาแบบแช่เย็น เป็นระยะเวลา 1-4 วัน

จากการศึกษาผลของน้ำยาเจือจาง KSU diluent BPSE Lake's diluent และกลุ่มควบคุม (NaCl 0.90 %) ต่ออัตราการเคลื่อนที่ของน้ำเชื้อไก่พื้นเมืองที่เก็บรักษาแบบแช่เย็นที่อุณหภูมิ 5 °C เป็นระยะเวลา 1-4 วัน พบว่าการใช้น้ำยาเจือจาง KSU diluent BPSE Lake's diluent และกลุ่มควบคุม มีผลทำให้อัตราการเคลื่อนที่ลดลงเมื่อระยะเวลาการเก็บรักษาเพิ่มขึ้น ($P < 0.05$) โดยน้ำยาเจือจาง KSU diluent มีผลทำให้อัตราการเคลื่อนที่ลดลง เมื่อเก็บรักษาน้ำเชื้อเป็นระยะเวลา 3 วัน สำหรับน้ำยาเจือจาง Lake's diluent BPSE และกลุ่มควบคุม ให้ผลอัตราการเคลื่อนที่ลดลงเมื่อเก็บรักษาน้ำเชื้อเป็น

ระยะเวลา 2 วัน ($P < 0.05$) แต่อย่างไรก็ตามเมื่อทำการเก็บรักษาน้ำเชื้อที่ระยะเวลา 1 วัน พบว่าน้ำยาเจือจาง Lake's diluent ให้ผลอัตราการเคลื่อนที่สูงไม่แตกต่างกับน้ำยาเจือจาง KSU diluent ($P > 0.05$) เมื่อทำการเก็บรักษาน้ำเชื้อที่ระยะเวลา 2 วัน พบว่าผลของอัตราการเคลื่อนที่ไม่แตกต่างกันเมื่อใช้น้ำยาเจือจาง KSU diluent BPSE และ Lake's diluent ($P > 0.05$) เมื่อเก็บรักษาน้ำเชื้อที่ระยะเวลา 3 วัน พบว่าน้ำยาเจือจาง KSU diluent ให้ผลอัตราการเคลื่อนที่ต่ำกว่าน้ำยาเจือจาง BPSE และ Lake's diluent อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) และน้ำยาเจือจาง BPSE ให้ผลอัตราการเคลื่อนที่สูงที่สุด เมื่อเก็บรักษาน้ำเชื้อที่ระยะเวลา 4 วัน ($P < 0.05$) โดยกลุ่มควบคุมให้ผลอัตราการเคลื่อนที่ต่ำที่สุดทุกระยะเวลาที่ทำการเก็บรักษา ($P < 0.05$) แสดงใน Table 3

Table 3 The effect of diluents on motility rate of native chicken sperm in cool storage at 1-4 day

Diluents	Motility (%)			
	1 day	2 day	3 day	4 day
Control	$56.63 \pm 6.51^{C,a}$	$12.83 \pm 2.38^{B,b}$	$9.37 \pm 1.00^{C,b,c}$	$5.00 \pm 1.44^{C,c}$
KSU diluent	$80.43 \pm 5.44^{A,B,a}$	$76.27 \pm 2.87^{A,a}$	$40.17 \pm 4.20^{B,b}$	$25.87 \pm 4.55^{B,c}$
BPSE	$76.47 \pm 5.50^{B,a}$	$70.30 \pm 7.33^{A,b}$	$52.90 \pm 2.61^{A,c}$	$47.93 \pm 5.44^{A,d}$
Lake's diluent	$88.20 \pm 5.68^{A,a}$	$74.57 \pm 2.34^{A,b}$	$54.30 \pm 7.03^{A,c}$	$23.83 \pm 2.11^{B,d}$

^{A, B, C} within the same column indicated difference between diluents ($P < 0.05$).

^{a, b, c} within the same row indicated difference between time ($P < 0.05$).

จากการศึกษาผลของน้ำยาเจือจาง KSU diluent BPSE Lake's diluent และกลุ่มควบคุม (NaCl 0.90 %) ต่ออัตราการเคลื่อนที่แบบไปข้างหน้าของน้ำเชื้อไก่พื้นเมืองที่เก็บรักษาแบบแช่เย็นที่อุณหภูมิ 5 °C เป็นระยะเวลา 1-4 วัน พบว่าน้ำยาเจือจาง KSU diluent BPSE Lake's diluent และกลุ่มควบคุม มีผลทำให้อัตราการเคลื่อนที่แบบไปข้างหน้าลดลง เมื่อระยะเวลาการเก็บรักษาเพิ่มขึ้น ($P < 0.05$) โดยการใช้น้ำยาเจือจาง KSU diluent มีผลทำให้อัตราการเคลื่อนที่แบบไปข้างหน้าลดลงเมื่อเก็บรักษาน้ำเชื้อเป็นระยะเวลา 3 วัน สำหรับน้ำยาเจือจาง Lake's diluent BPSE และกลุ่มควบคุม ให้ผลอัตราการ

เคลื่อนที่แบบไปข้างหน้าลดลงเมื่อเก็บรักษาเป็นระยะเวลา 2 วัน ($P < 0.05$) แต่อย่างไรก็ตามเมื่อทำการเก็บรักษาน้ำเชื้อที่ระยะเวลา 1 วัน พบว่าน้ำยาเจือจาง Lake's diluent ให้ผลอัตราการเคลื่อนที่แบบไปข้างหน้าสูงที่สุด ($P < 0.05$) เมื่อทำการเก็บรักษาน้ำเชื้อที่ระยะเวลา 2 วัน พบว่าน้ำยาเจือจาง Lake's diluent ให้ผลอัตราการเคลื่อนที่แบบไปข้างหน้าสูงไม่แตกต่างจากการใช้น้ำยาเจือจาง BPSE และ KSU diluent ($P > 0.05$) และเมื่อทำการเก็บรักษาน้ำเชื้อที่ระยะเวลา 3 และ 4 วัน พบว่าน้ำยาเจือจาง BPSE ให้ผลอัตราการเคลื่อนที่แบบไปข้างหน้าสูงที่สุด ($P < 0.05$) แสดงใน Table 4

Table 4 The effect of diluents on progressive rate of native chicken sperm in cool storage at 1-4 day

Diluents	Progressive (%)			
	1 day	2 day	3 day	4 day
Control	11.16±2.57 ^{D,a}	0.90±1.21 ^{B,b}	0.33±0.23 ^{C,b}	0.13±0.23 ^{B,b}
KSU diluent	20.90±3.15 ^{C,a}	16.50±3.77 ^{AB,a}	1.60±0.57 ^{C,b}	0.60±0.36 ^{B,b}
BPSE	28.87±3.02 ^{B,a}	21.27±10.78 ^{A,ab}	15.33±3.09 ^{A,b,c}	6.47±2.27 ^{A,c}
Lake's diluent	45.33±6.30 ^{A,a}	23.90±11.96 ^{A,b}	5.27±1.59 ^{B,c}	0.60±0.35 ^{B,c}

A, B, C, D within the same column indicated difference between diluents ($P < 0.05$).

a, b, c within the same row indicated difference between time ($P < 0.05$).

จากการศึกษาผลของน้ำยาเจือจาง KSU diluent BPSE Lake's diluent และกลุ่มควบคุม (NaCl 0.90 %) ต่อความเร็วในการเคลื่อนที่เฉลี่ย (VAP) ของน้ำเชื้อไก่พื้นเมืองที่เก็บรักษาแบบแช่เย็นที่อุณหภูมิ 5 °C เป็นระยะเวลา 1-4 วัน พบว่าเมื่อระยะเวลาการเก็บรักษาเพิ่มขึ้น มีผลทำให้ความเร็วในการเคลื่อนที่เฉลี่ยลดลงในทุกกลุ่มทดลองที่ทำการศึกษา ($P < 0.05$) ยกเว้นกลุ่มควบคุม โดยการใช้ยาเจือจาง KSU diluent และ BPSE มีผลทำให้ความเร็วในการเคลื่อนที่เฉลี่ยลดลงเมื่อเก็บรักษาน้ำเชื้อเป็นระยะเวลา 3 วัน สำหรับน้ำยาเจือจาง Lake's diluent มีผลทำให้ความเร็วในการเคลื่อนที่เฉลี่ยลดลง

เมื่อเก็บรักษาน้ำเชื้อเป็นระยะเวลา 2 วัน แต่อย่างไรก็ตามเมื่อทำการเก็บรักษาน้ำเชื้อที่ระยะเวลา 1 วัน พบว่าน้ำยาเจือจาง Lake's diluent ให้ผลความเร็วในการเคลื่อนที่เฉลี่ยสูงที่สุด ($P < 0.05$) เมื่อทำการเก็บรักษาน้ำเชื้อที่ระยะเวลา 2 วัน พบว่าน้ำยาเจือจาง Lake's diluent ให้ผลความเร็วในการเคลื่อนที่เฉลี่ยสูงไม่แตกต่างจากการใช้น้ำยาเจือจาง BPSE และ KSU diluent ($P > 0.05$) และเมื่อทำการเก็บรักษาน้ำเชื้อที่ระยะเวลา 3 และ 4 วัน พบว่าน้ำยาเจือจาง BPSE ให้ผลความเร็วในการเคลื่อนที่เฉลี่ยสูงที่สุด ($P < 0.05$) แสดงใน Table 5

Table 5 The effect of diluents on average path velocity (VAP) of native chicken sperm in cool storage at 1-4 day

Diluents	VAP (µm/sec)			
	1 day	2 day	3 day	4 day
Control	21.50±2.80 ^{D,a}	15.47±11.11 ^{B,a}	11.54±0.78 ^{C,a}	10.28±2.26 ^{B,a}
KSU diluent	31.80±2.69 ^{C,a}	27.24±4.36 ^{AB,a}	13.51±1.54 ^{C,b}	12.90±2.24 ^{B,b}
BPSE	37.43±0.71 ^{B,a}	36.96±3.12 ^{A,a}	31.32±0.94 ^{A,b}	21.18±4.90 ^{A,c}
Lake's diluent	51.04±4.43 ^{A,a}	37.82±10.22 ^{A,b}	17.99±1.20 ^{B,c}	12.31±2.58 ^{B,c}

A, B, C, D within the same column indicated difference between diluents ($P < 0.05$).

a, b, c within the same row indicated difference between time ($P < 0.05$).

จากการศึกษาผลของน้ำยาเจือจาง KSU diluent BPSE Lake's diluent และกลุ่มควบคุม (NaCl 0.90 %) ต่อความเร็วในการเคลื่อนที่วิถีโค้ง (VCL) ของน้ำเชื้อไก่พื้นเมืองที่เก็บรักษาแบบแช่เย็นที่อุณหภูมิ 5 °C เป็นระยะเวลา 1-4 วัน พบว่าเมื่อระยะเวลาการเก็บรักษาเพิ่มขึ้น มีผลทำให้ความเร็วในการเคลื่อนที่วิถีโค้งลดลงเมื่อใช้น้ำยาเจือจาง KSU diluent BPSE และ Lake's diluent ($P < 0.05$) ยกเว้นกลุ่มควบคุม ซึ่งพบว่าเมื่อ

ระยะเวลาการเก็บรักษาเพิ่มขึ้น ไม่มีผลต่อความเร็วในการเคลื่อนที่วิถีโค้ง ($P > 0.05$) แต่อย่างไรก็ตาม เมื่อทำการเก็บรักษาน้ำเชื้อเป็นระยะเวลา 1 และ 2 วัน พบว่าน้ำยาเจือจาง Lake's diluent ให้ผลความเร็วในการเคลื่อนที่วิถีโค้งสูงที่สุด ($P < 0.05$) และเมื่อทำการเก็บรักษาน้ำเชื้อที่ระยะเวลา 3 และ 4 วัน พบว่าน้ำยาเจือจาง BPSE ให้ผลความเร็วในการเคลื่อนที่วิถีโค้งสูงที่สุด ($P < 0.05$) แสดงใน Table 6

Table 6 The effect of diluents on curvilinear velocity (VCL) of native chicken sperm in cool storage at 1-4 day

Diluents	VCL (µm/sec)			
	1 day	2 day	3 day	4 day
Control	40.28±4.30 ^{C,a}	36.01±23.75 ^{C,a}	29.95±4.16 ^{C,a}	25.68±3.04 ^{B,a}
KSU diluent	68.49±2.78 ^{B,a}	64.17±7.41 ^{A^B,a}	34.67±3.64 ^{C,b}	34.06±2.42 ^{B,c}
BPSE	76.45±1.49 ^{B,a}	72.62±1.96 ^{A^B,a}	71.52±5.48 ^{A,a}	55.57±12.38 ^{A,b}
Lake's diluent	101.61±7.12 ^{A,a}	88.87±27.96 ^{A,a}	42.82±2.71 ^{B,b}	31.07±4.38 ^{B,b}

^{A, B, C} within the same column indicated difference between diluents ($P < 0.05$).

^{a, b, c} within the same row indicated difference between time ($P < 0.05$).

จากการศึกษาผลของน้ำยาเจือจาง KSU diluent BPSE Lake's diluent และกลุ่มควบคุม (NaCl 0.90 %) ต่อความเร็วในการเคลื่อนที่วิถีตรง (VSL) ของน้ำเชื้อไก่พื้นเมืองที่เก็บรักษาแบบแช่เย็นที่อุณหภูมิ 5 °C เป็นระยะเวลา 1-4 วัน พบว่าเมื่อระยะเวลาการเก็บรักษาเพิ่มขึ้นมีผลทำให้ความเร็วในการเคลื่อนที่วิถีตรงลดลงในทุกกลุ่มทดลองที่ทำการศึกษา ($P < 0.05$) โดยการใช้ยาเจือจาง KSU diluent BPSE และ Lake's diluent มีผลทำให้ความเร็วในการเคลื่อนที่วิถีตรงลดลงในวันที่ 3 ของการเก็บรักษา สำหรับกลุ่มควบคุมมีผลทำให้ความเร็วในการเคลื่อนที่วิถีตรงลดลงในวันที่ 2 ของการเก็บรักษา แต่อย่างไรก็ตามเมื่อทำการเก็บรักษา

น้ำเชื้อที่ระยะเวลา 1 วัน พบว่าน้ำยาเจือจาง Lake's diluent ให้ผลความเร็วในการเคลื่อนที่วิถีตรงสูงไม่แตกต่างจากการใช้น้ำยาเจือจาง BPSE ($P > 0.05$) เมื่อเก็บรักษาน้ำเชื้อที่ระยะเวลา 2 วัน พบว่าน้ำยาเจือจาง BPSE ให้ผลความเร็วในการเคลื่อนที่วิถีตรงสูงไม่แตกต่างจากการใช้น้ำยาเจือจาง Lake's diluent ($P > 0.05$) โดยน้ำยาเจือจาง KSU diluent ให้ผลความเร็วในการเคลื่อนที่วิถีตรงไม่แตกต่างจากการใช้น้ำยาเจือจาง Lake's diluent และกลุ่มควบคุม ($P > 0.05$) เมื่อเก็บรักษาน้ำเชื้อในระยะเวลาที่เพิ่มขึ้น 3 และ 4 วัน พบว่าน้ำยาเจือจาง BPSE ให้ผลความเร็วในการเคลื่อนที่วิถีตรงสูงที่สุด ($P < 0.05$) แสดงใน Table 7

Table 7 The effect of diluents on straight line velocity (VSL) of native chicken sperm in cool storage at 1-4 day

Diluents	VCL (µm/sec)			
	1 day	2 day	3 day	4 day
Control	16.48±2.54 ^{B,a}	8.09±5.85 ^{C,b}	6.66±0.73 ^{C,b}	4.14±0.69 ^{B,b}
KSU diluent	18.64±3.12 ^{B,a}	15.30±2.77 ^{BC,a}	6.31±0.50 ^{C,b}	4.78±0.80 ^{B,b}
BPSE	30.17±4.68 ^{A,a}	27.81±5.05 ^{A,a}	20.27±1.79 ^{A,b}	11.53±2.87 ^{A,c}
Lake's diluent	34.35±4.40 ^{A,a}	23.74±9.16 ^{AB,a}	9.21±1.32 ^{B,b}	6.25±2.06 ^{B,b}

^{A, B, C} within the same column indicated difference between diluents ($P < 0.05$).

^{a, b, c} within the same row indicated difference between time ($P < 0.05$).

ผลของน้ำยาเจือจางต่ออัตราการมีชีวิตของน้ำเชื้อไก่พื้นเมืองที่เก็บรักษาแบบแช่เย็น เป็นระยะเวลา 1-4 วัน

จากการศึกษาผลของน้ำยาเจือจาง KSU diluent BPSE Lake's diluent และกลุ่มควบคุม (NaCl 0.90 %) ต่ออัตราการมีชีวิตของน้ำเชื้อไก่พื้นเมืองที่เก็บรักษาแบบแช่เย็นที่อุณหภูมิ 5 °C เป็นระยะเวลา 1-4 วัน พบว่าเมื่อระยะเวลาการเก็บรักษาเพิ่มขึ้น การใช้ยาเจือจาง KSU diluent BPSE Lake's diluent และกลุ่มควบคุม มีผลให้อัตราการมีชีวิตลดลง ($P < 0.05$) โดยทุกกลุ่มทดลองที่

ทำการศึกษาให้ผลอัตราการมีชีวิตลดลงในวันที่ 2 ของการเก็บรักษา ($P < 0.05$) แต่อย่างไรก็ตามเมื่อเก็บรักษาน้ำเชื้อที่ระยะเวลา 1 และ 2 วัน พบว่าน้ำยาเจือจาง KSU diluent ให้ผลอัตราการมีชีวิตสูงไม่แตกต่างจากการใช้น้ำยาเจือจาง Lake's diluent ($P > 0.05$) เมื่อระยะเวลาการเก็บรักษาน้ำเชื้อเพิ่มขึ้นเป็น 3 และ 4 วัน พบว่าน้ำยาเจือจาง KSU diluent BPSE และ Lake's diluent ให้ผลอัตราการมีชีวิตไม่แตกต่างกันและสูงกว่ากลุ่มควบคุมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) แสดงใน Table 8

Table 8 The effect of diluents on viability rate of native chicken sperm in cool storage at 1-4 day

Diluents	Viability (%)			
	1 day	2 day	3 day	4 day
Control	65.00±3.00 ^{C,a}	49.00±3.60 ^{C,b}	7.33±4.04 ^{C,c}	3.33±4.16 ^{B,c}
KSU diluent	89.00±1.00 ^{A,a}	84.33±2.53 ^{A^b}	70.67±5.51 ^{A^c}	62.67±3.05 ^{A^d}
BPSE	84.00±1.00 ^{B,a}	78.33±2.51 ^{B^{ab}}	75.33±0.58 ^{A^{bc}}	70.67±7.64 ^{A^c}
Lake's diluent	88.67±1.15 ^{A,a}	84.00±3.00 ^{A^b}	71.67±5.13 ^{A^c}	65.67±0.04 ^{A^d}

^{A, B, C} within the same column indicated difference between diluents ($P < 0.05$).

^{a, b, c, d} within the same row indicated difference between time ($P < 0.05$).

ผลของน้ำยาเจือจางต่ออัตราการผสมติดและอัตราการฟักของน้ำเชื้อไก่พื้นเมืองที่เก็บรักษาแบบแช่เย็น เป็นระยะเวลา 1-4 วัน

จากการศึกษาผลของน้ำยาเจือจาง KSU diluent BPSE Lake's diluent และกลุ่มควบคุม (NaCl 0.90 %) ต่ออัตราการผสมติดของน้ำเชื้อไก่พื้นเมืองที่เก็บรักษาแบบแช่เย็นที่อุณหภูมิ 5 °C เป็นระยะเวลา 1-4 วัน พบว่าเมื่อระยะเวลาการเก็บรักษาเพิ่มขึ้น มีผลทำให้อัตราการผสมติดลดลงในทุกกลุ่มทดลองที่ทำการศึกษา ($P < 0.05$) โดยการใช้ยาเจือจาง KSU diluent BPSE และ Lake's diluent ให้ผลอัตราการผสมติดลดลงในวันที่ 2 ของการเก็บรักษา ซึ่งน้ำยาเจือ

จาง KSU diluent ยังคงให้ผลอัตราการผสมติดสูงกว่า 50 % เมื่อทำการเก็บรักษาน้ำเชื้อเพิ่มขึ้นเป็นระยะเวลา 3 วัน แต่อย่างไรก็ตามการเก็บรักษาน้ำเชื้อที่ระยะเวลา 1 และ 2 วัน พบว่า น้ำยาเจือจาง KSU diluent ให้ผลอัตราการผสมติดสูงไม่แตกต่างจากการใช้น้ำยาเจือจาง BPSE และ Lake's diluent ($P > 0.05$) และเมื่อการเก็บรักษาน้ำเชื้อเพิ่มขึ้นเป็นระยะเวลา 3 และ 4 วัน พบว่าน้ำยาเจือจาง KSU diluent ให้ผลอัตราการผสมติดสูงที่สุด ($P < 0.05$) สำหรับกลุ่มควบคุม พบว่าไม่ให้ผลอัตราการผสมติดในทุกช่วงเวลาที่ทำการเก็บรักษา แสดงใน Table 9

Table 9 The effect of diluents on fertility rate of native chicken sperm in cool storage at 1-4 day

Diluents	Fertility (%)			
	1 day	2 day	3 day	4 day
Control	0.00±0.00 ^{B,a}	0.00±0.00 ^{B,a}	0.00±0.00 ^{C,a}	0.00±0.00 ^{C,a}
KSU diluent	77.02±6.82 ^{A,a}	59.68±5.15 ^{A,b}	57.51±11.54 ^{A,b}	47.62±5.64 ^{A,b}
BPSE	82.78±15.16 ^{A,a}	53.66±3.57 ^{A,b}	28.33±5.13 ^{B,c}	15.02±0.63 ^{B,c}
Lake's diluent	80.22±10.82 ^{A,a}	52.78±4.81 ^{A,b}	26.74±3.17 ^{B,c}	17.95±4.45 ^{B,c}

^{A, B, C} within the same column indicated difference between diluents ($P < 0.05$).

^{a, b, c} within the same row indicated difference between diluents ($P < 0.05$).

จากการศึกษาผลของน้ำยาเจือจาง KSU diluent BPSE Lake's diluent และกลุ่มควบคุม (NaCl 0.90 %) ต่ออัตราการฟักของน้ำเชื้อไก่พื้นเมืองที่เก็บรักษาแบบแช่เย็นที่อุณหภูมิ 5 °C เป็นระยะเวลา 1-4 วัน พบว่าเมื่อระยะเวลาการเก็บรักษาเพิ่มขึ้น มีผลทำให้อัตราการฟักลดลงในทุกกลุ่มทดลองที่ทำการศึกษา ($P < 0.05$) โดยน้ำยาเจือจาง KSU diluent BPSE และ Lake's diluent ให้ผลอัตรา

การฟักลดลงในวันที่ 4 ของการเก็บรักษา แต่อย่างไรก็ตามเมื่อเก็บรักษาน้ำเชื้อที่ระยะเวลา 1-4 วัน พบว่าการใช้น้ำยาเจือจาง KSU diluent BPSE และ Lake's diluent ให้ผลอัตราการฟักไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($P > 0.05$) สำหรับกลุ่มควบคุม พบว่าไม่ให้ผลอัตราการฟักในทุกช่วงเวลาที่ทำการเก็บรักษา แสดงใน Table 10

Table 10 The effect of diluents on hatchability rate of native chicken sperm in cool storage at 1-4 day

Diluents	Hatchability (%)			
	1 day	2 day	3 day	4 day
Control	0.00±0.00 ^{B,a}	0.00±0.00 ^{B,a}	0.00±0.00 ^{B,a}	0.00±0.00 ^{B,a}
KSU diluent	76.53±6.01 ^{A,a}	68.45±5.16 ^{A,ab}	65.74±9.75 ^{A,ab}	57.14±12.37 ^{A,b}
BPSE	70.48±0.83 ^{A,a}	68.45±5.16 ^{A,a}	63.89±12.73 ^{A,ab}	50.00±0.00 ^{A,b}
Lake's diluent	72.22±6.94 ^{A,a}	69.84±2.75 ^{A,a}	55.57±9.62 ^{A,ab}	44.44±9.62 ^{A,b}

^{A, B} within the same column indicated difference between diluents ($P < 0.05$).

^{a, b} within the same row indicated difference between diluents ($P < 0.05$).

จากการศึกษาการใช้ยาเจือจาง KSU diluent BPSE Lake's diluent เก็บรักษาน้ำเชื้อไก่พื้นเมืองพันธุ์เหลืองหางขาวแบบแช่เย็นที่ระยะเวลาการเก็บรักษา 1-4 วัน พบว่าเมื่อระยะเวลาการเก็บรักษาน้ำเชื้อเพิ่มขึ้น มีผลทำให้อัตราการเคลื่อนที่ อัตราการเคลื่อนที่แบบไปข้างหน้า ความเร็วในการเคลื่อนที่เฉลี่ย ความเร็วในการเคลื่อนที่วิถีโค้ง ความเร็วในการเคลื่อนที่วิถีตรง อัตราการมีชีวิต อัตราการผสมติด และอัตราการฟัก ของน้ำเชื้อไก่พื้นเมืองลดลง สอดคล้องกับการศึกษาของ Boonmatan (2013) ได้ศึกษาการใช้ยาเจือจาง modified extender ที่มีค่าออสโมลาลิตีที่ระดับ 300 350 และ 400

mOsm/kg น้ำยาเจือจาง BPSE Lake's diluent IGGKP และ EK เก็บรักษาน้ำเชื้อไก่พื้นเมืองพันธุ์เหลืองหางขาวที่ระยะเวลา 1-7 วัน พบว่าเมื่อระยะเวลาการเก็บรักษาเพิ่มขึ้นมีแนวโน้มทำให้คุณภาพน้ำเชื้อลดลง และยิ่งสอดคล้องกับการศึกษาของ Siudzinska & Lukaszewicz (2008) พบว่าเมื่อใช้น้ำยาเจือจาง Lake's diluent EK และ Tselutin ในการเก็บรักษาน้ำเชื้อไก่ในระยะเวลาที่เพิ่มขึ้นมีผลทำให้คุณภาพน้ำเชื้อลดลงเช่นกัน ซึ่งเป็นผลมาจากการผลิตกรดแลกติกของตัวสุจิจากกระบวนการเมแทบอลิซึมส่งผลทำให้สุจิอยู่ในสภาวะที่มีค่า pH สูงขึ้น และมีผลทำให้การเคลื่อนที่ของตัวสุจิลดลง

อีกทั้งในระยะเวลาการเก็บรักษาที่เพิ่มขึ้นตัวอสุจิมีการใช้แหล่งพลังงาน (น้ำตาลกลูโคส น้ำตาลฟรุกโทส และ inositol) เพิ่มมากขึ้น จึงส่งผลทำให้อัตราการมีชีวิตของตัวอสุจิลดลง (Donoghue & Wishart, 2000) จากการศึกษาพบว่าน้ำยาเจือจาง KSU diluent ให้ผลอัตราการเคลื่อนที่ อัตราการเคลื่อนที่แบบไปข้างหน้า ความเร็วในการเคลื่อนที่เฉลี่ย ความเร็วในการเคลื่อนที่วิถีโค้ง และความเร็วในการเคลื่อนที่วิถีตรง ลดลงในวันที่ 3 ของการศึกษา ซึ่งลดลงช้ากว่าการใช้ยาเจือจาง BPSE และ Lake's diluent ในการเก็บรักษาน้ำเชื้อเป็นระยะเวลา 1 วัน และการเก็บรักษาน้ำเชื้อที่ระยะเวลา 1 และ 2 วัน พบว่าน้ำยาเจือจาง KSU diluent ให้ผลอัตราการผสมติดสูงไม่แตกต่างจากการใช้น้ำยาเจือจาง BPSE และ Lake's diluent ยิ่งไปกว่านั้นการใช้น้ำยาเจือจาง KSU diluent ยังคงให้ผลอัตราการผสมติดสูงที่สุด และยังคงให้ผลอัตราการผสมติดมากกว่า 50 % เมื่อเก็บรักษาน้ำเชื้อที่ระยะเวลา 3 วัน อาจเนื่องมาจากน้ำยาเจือจาง KSU diluent ที่พัฒนาขึ้นมีระดับของค่า pH (7.13 ± 0.01) และค่าออสโมลาลิตี (351 ± 2.83 mOsm/kg) อยู่ในระดับที่เหมาะสมกับการเก็บรักษาน้ำเชื้อของสัตว์ปีก ซึ่งค่า pH ที่เหมาะสมกับการเก็บรักษาน้ำเชื้อสัตว์ปีกจะอยู่ในช่วง 7.0-7.4 และค่าออสโมลาลิตีที่เหมาะสมสำหรับการเก็บรักษาน้ำเชื้อสัตว์ปีกอยู่ในช่วง 250-450 mOsm/kg (Siudzinska & Lukaszewic, 2008) หากตัวอสุจิอยู่ในสภาวะที่มีค่า pH และค่าออสโมลาลิตีไม่เหมาะสมจะมีผลทำให้อัตราการเคลื่อนที่ และอัตราการมีชีวิตลดลง อสุจิเมื่ออยู่ในสภาวะที่มีค่า pH สูงเกินไป จะมีผลทำให้เกิดการเมแทบอลิซึมของตัวอสุจิสูงขึ้น และในทางตรงกันข้ามหากอสุจิอยู่ในสภาวะที่มีค่า pH ต่ำเกินไปจะทำให้เกิดการแตกหักจากการใช้ออกซิเจนเพิ่มขึ้น มีผลให้อัตราการเคลื่อนที่ของตัวอสุจิลดลงสำหรับสภาวะที่มีค่าออสโมลาลิตีสูงเกินไป จะทำให้อสุจิสูญเสียน้ำจนเกิดสภาวะเซลล์เหี่ยว และในสภาวะที่มีค่าออสโมลาลิตีต่ำเกินไปจะทำให้ตัวอสุจิบวม (Siudzinska & Lukaszewic, 2008) และนอกจากนี้ น้ำยาเจือจาง KSU diluent มีองค์ประกอบของสารเคมี magnesium acetate potassium citrate sodium glutamate glucose และ Polyvinylpyrrolidone ที่มีความสำคัญต่อการเก็บรักษาน้ำเชื้อไก่แบบแช่เย็น และมีส่วนประกอบของสารเคมีดังกล่าวในปริมาณที่สูงกว่าน้ำยาเจือจาง BPSE และ Lake's diluent โดยน้ำยาเจือจางที่ดีจะต้องมีส่วนประกอบของสารเคมีใกล้เคียงกับค่าไอออนใน seminal plasma และในน้ำเชื้อของสัตว์ โดย Moreno & Blesbois (2020) รายงานว่าใน seminal plasma ของสัตว์ปีกจะมีไอออน Na^+ K^+ Cl^- Ca^{2+} และ Mg^{2+} โดยจะมี Na^+ อยู่ในระดับสูง ดังนั้นการที่มีส่วนประกอบของสาร magnesium acetate และ potassium citrate ในน้ำยาเจือจาง เป็นการพัฒนาน้ำยาเจือจางให้มีส่วนประกอบของค่าไอออนใกล้เคียงกับ seminal plasma และน้ำเชื้อไก่ที่นำมาศึกษา นอกจากนี้ในส่วนประกอบของน้ำยาเจือจาง KSU diluent ยังมีสารเคมี sodium glutamate เป็นส่วนประกอบหลักในน้ำยาเจือจาง

ซึ่งเป็นส่วนประกอบหลักใน seminal plasma ของไก่ที่มีบทบาทในการรักษาระดับของแรงดันออสโมติกของน้ำเชื้อ (Sexton & Fewlass, 1978) สำหรับแหล่งพลังงานของตัวอสุจิไม่ว่าจะเป็นน้ำตาล glucose และน้ำตาล fructose มีความเหมาะสมในการรักษาอัตราการมีชีวิต และรักษาความสมดุลของแรงดัน ออสโมติกของน้ำเชื้อ (Khaeruddin et al., 2023) ยิ่งไปกว่านั้นในน้ำยาเจือจาง KSU diluent ยังมีส่วนประกอบของสารเคมี Polyvinylpyrrolidone ซึ่งมีคุณสมบัติป้องกันอันตรายให้กับตัวอสุจิในสภาวะอุณหภูมิต่ำ และจากการศึกษาพบว่ากลุ่มควบคุม (NaCl 0.90 %) ไม่ให้ผลอัตราการผสมติดและอัตราการฟักตั้งแต่วันที่ 1-4 ของการเก็บรักษาน้ำเชื้อ ซึ่งจากการประเมินผลของอัตราการเคลื่อนที่ อัตราการเคลื่อนที่แบบไปข้างหน้า และอัตราการมีชีวิตมีค่าต่ำมาก จึงอาจส่งผลให้ตัวอสุจิไม่สามารถเคลื่อนที่ไปถึงจุดผสมได้

สรุปผลการวิจัย

จากการศึกษาคุณภาพน้ำเชื้อสดของไก่พื้นเมืองพันธุ์เหลืองหางขาว พบว่ามีปริมาตรน้ำเชื้อเท่ากับ 0.39 ± 0.04 มล./ตัว ความเข้มข้นของน้ำเชื้อเท่ากับ $2.28 \pm 0.13 \times 10^9$ ตัว/มล. ค่า pH เท่ากับ 7.38 ± 0.02 ค่าออสโมลาลิตีเท่ากับ 324 ± 2.65 mOsm/kg อัตราการเคลื่อนที่เท่ากับ 91.67 ± 14.43 % และอัตราการมีชีวิตเท่ากับ 96.00 ± 1.00 % ส่วนการพัฒนาน้ำยาเจือจาง KSU diluent ที่พัฒนาขึ้นมีคุณภาพใกล้เคียงกับน้ำยาเจือจาง BPSE และ Lake's diluent โดยสามารถนำมาใช้ในการเก็บรักษาน้ำเชื้อไก่พื้นเมืองแบบแช่เย็นที่อุณหภูมิ 5°C ได้เป็นระยะเวลา 3 วัน ซึ่งสามารถนำไปใช้ประโยชน์ในการอนุรักษ์และพัฒนาสายพันธุ์ไก่พื้นเมืองไทยได้ต่อไป

กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้วิจัยขอขอบคุณกองทุนส่งเสริมวิทยาศาสตร์ วิจัย และนวัตกรรม ประจำปีงบประมาณ พ.ศ. 2566 มหาวิทยาลัยกาฬสินธุ์ ที่ให้ทุนสนับสนุนในการดำเนินงานวิจัย และขอขอบคุณสาขาวิชาเทคโนโลยีการผลิตสัตว์ คณะเทคโนโลยีการเกษตร มหาวิทยาลัยกาฬสินธุ์ ที่ให้ความอนุเคราะห์สถานที่เลี้ยงสัตว์ทดลอง และห้องปฏิบัติการในการดำเนินงานวิจัย

References

- Boonmatan, T. (2013). *Cold and frozen storage of native chicken "Leung Hang Kao" semen*. (Master's thesis). Nakhon Ratchasima Thailand: Suranaree University of Technology.
- Chalah, T., Seigneurin, F., Blesbois, E., & Brillard, J. P. (1999). *In vitro* comparison of fowl sperm viability in

- ejaculates frozen by three different techniques and relationship with subsequent fertility *in vivo*. *Cryobiology*, 39(2), 185-191. doi: 10.1006/cryo.1999.2201
- Chankitisakul, V., Boonkum, W., Kaewkanha, T., Pimprasert, M., Ratchamak, R., Authaida, S., & Thananurak, P. (2022). Fertilizing ability and survivability of rooster sperm diluted with a novel semen extender supplemented with serine for practical use on smallholder farms. *Poultry Science*, 101(12), 102188. doi: 10.1016/j.psj.2022.102188
- Chotesangasa, R. (2001). Effects of mating ratio, cock number in the flock and breeder age on fertility in Thai native chicken flock. *Agriculture and Natural Resources*, 35(2), 122 – 131.
- Donoghue, A. M., & Wishart, G. J. (2000). Storage of poultry semen. *Animal Reproduction Science*, 62(1-3), 213-232. doi: 10.1016/S0378-4320(00)00160-3
- Getachew, T., Lemma, A., & Goshu, G (2023). Effects of using commercial and homemade extenders on sperm quality of liquid stored semen of Horro chicken breed. *Journal of World's Poultry Research*, 13(2), 216-222. doi: 10.36380/jwpr.2023.24
- Guest, W. C. (1973). *Spermatology and sperm preservation of channel catfish, Ictalurus punctatus*. (Master's thesis). Louisiana, United States: Louisiana State University.
- Khaeruddin, K., Ciptadi, G., Yusuf, M., Hermawansyah, S., & Wahjuningsih, S. (2023). Effect of addition of glucose or fructose in three types of crystalloid fluid on spermatozoa quality of Gaga' chicken from south Sulawesi, Indonesia. *Pakistan Journal of Zoology*, 1-8. doi: 10.17582/journal.pjz/20211128011130
- Laopaiboon, B., & Duangjinda, M. (2012). Native chickens of Thailand: the past, present, and future. *Khon Kaen Agriculture Journal*, 40, 309-312. (in Thai)
- Moreno, J. S., & Blesbois, E. (2020). Functional aspects of seminal plasma in bird reproduction. *International Journal of Molecular Sciences*, 21(16), 5664. doi:10.3390/ijms21165664
- Phornwisetsirikun, S., Yano, T., Chotinun, S., & Rojanasthien, S. (2012). Knowledge, participation and opinion to operate model development project of rearing and management to reduce the risk of Avian Influenza and other outbreaks in native chicken of demonstration farm network farmers in the single outbreak and re-outbreak areas of Avian Influenza in Northern Thailand. *Journal of Kasetsart Veterinarians*, 22(2), 60-75. (in Thai)
- Quinn, J. P., & Burrows, W. H. (1936). Artificial insemination in fowls. *Journal of Heredity*, 28, 31-37.
- Sexton, T. J., & Fewlass, T. A. (1978). A new poultry semen extender 2. effect of the diluent components on the fertilizing capacity of chicken semen stored at 5°C. *Poultry Science*, 57(1), 277-284. doi: 10.3382/ps.0570277
- Siudzinska, A., & Lukaszewicz, E. (2008). Effect of semen extenders and storage time on sperm morphology of four chicken breeds. *Journal of Applied Poultry Research*, 17(1), 101- 108. doi: 10.3382/japr.2007-00048

Research article

Development of native chicken semen diluent for Thai native chicken breeds conservation and development

Thipsuda Boonmatan^{1*} Noppharat Phakachod¹ Tanitpan Pongjongmit¹

Nathawat Tanpol¹ and Samorn Ponchunchoovong²

¹Department of Animal Production Technology, Faculty of Agricultural Technology, Kalasin University, Mueang Kalasin District, Kalasin, Thailand 46000

²Department of Animal Technology and Innovation, Institute of Agricultural Technology, Suranaree University of Technology, Mueang District, Nakhon Ratchasima, Thailand 30000

ARTICLE INFO

Article history

Received: 20 June 2024

Revised: 6 August 2024

Accepted: 20 September 2024

Online published: 30 September 2024

Keyword

Semen diluent

Native chicken

ABSTRACT

The objective of this study was to investigate the effect of KSU diluent (developed diluent), BPSE, Lake's diluent and control (0.90 % NaCl) on the quality of native chicken sperm during cool storage from day 1 to day 4. The result for fresh semen of native chicken "Leung Hang Kao" showed sperm volume, sperm concentration, pH, osmolality, motility rate and viability rate were 0.39 ± 0.04 ml/head, $2.28 \pm 0.13 \times 10^9$ sperm/ml, 7.38 ± 0.02 , 324 ± 2.65 mOsm/kg, 91.67 ± 14.43 % and 96.00 ± 1.00 % respectively. The effect of KSU diluent, BPSE, Lake's diluent and control on the diluted sperm quality of native chickens indicated that motility rate, progressive rate, average path velocity (VAP), curvilinear velocity (VCL), straight line velocity (VSL), viability rate, fertility rate and hatchability rate decreased with increasing storage time ($P < 0.05$). Sperm diluted with KSU diluent showed decreased motility rate, progressive rate, VAP, VCL and VSL by day 3 of storage ($P < 0.05$). However, sperm diluted with KSU diluent on days 1 and 2 higher fertility rates compared to BPSE and Lake's diluent, though not significantly ($P > 0.05$). KSU diluent yielded the highest fertility rate (57.51 ± 11.54 %) by day 3 of the storage ($P < 0.05$). Additionally, sperm diluted with KSU diluent, BPSE and Lake's diluent did not significantly affect hatchability rates during storage ($P > 0.05$). Therefore, KSU diluent can be used to preserve native chicken semen for up to 3 days.

*Corresponding author

E-mail address: Thipsuda_Boonmatan@hotmail.com (T. Boonmatan)

Online print: 30 September 2024 Copyright © 2024. This is an open access article, production, and hosting by Faculty of Agricultural Technology, Rajabhat Maha Sarakham University. <https://doi.org/10.14456/paj.2024.40>



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

บทความวิจัย

ผลของสารโคลชิซินต่อการเปลี่ยนแปลงการเจริญเติบโต และลักษณะทางสัณฐานวิทยาของข้าวพันธุ์ขาวเจ๊ก จังหวัดชัยนาท

สันธิตา ตังคจิวงกูร*

หลักสูตรเกษตรศาสตร์ คณะเกษตรและชีวภาพ มหาวิทยาลัยราชภัฏจันทรเกษม เขตจตุจักร กรุงเทพมหานคร ประเทศไทย 10900

ข้อมูลบทความ

Article history

รับ: 10 กรกฎาคม 2567

แก้ไข: 9 กันยายน 2567

ตอบรับการตีพิมพ์: 10 กันยายน 2567

ตีพิมพ์ออนไลน์: 5 ตุลาคม 2567

คำสำคัญ

สารโคลชิซิน

ขาวเจ๊ก

สัณฐานวิทยา

บทคัดย่อ

การวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลของสารละลายโคลชิซินต่ออัตราการรอดชีวิต การเจริญเติบโต การเปลี่ยนแปลงจำนวนโครโมโซม ขนาดของเซลล์ปากใบ และลักษณะทางสัณฐานวิทยาของข้าวพันธุ์ขาวเจ๊ก โดยได้เก็บรวบรวมตัวอย่างเมล็ดข้าวพันธุ์ขาวเจ๊กจากอำเภอหันคา จังหวัดชัยนาท และนำมาลีดที่งอกแล้วมาแช่ในสารละลายโคลชิซินที่มีความเข้มข้นต่างๆ คือ 0 0.01 0.05 0.10 และ 0.50 % เป็นระยะเวลา 1 2 และ 3 วัน ตามลำดับ ผลการวิจัยพบว่า อัตราการรอดชีวิตเฉลี่ยของข้าวหลังจากแช่ในสารละลายโคลชิซินเป็นเวลา 60 วัน ลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) เมื่อความเข้มข้นของสารเพิ่มขึ้นและระยะเวลาในการแช่ยาวนานขึ้น นอกจากนี้ ภายหลังจากการแช่สารละลายโคลชิซินเป็นเวลา 120 วัน พบว่า ความสูงเฉลี่ยของต้นข้าวมีแนวโน้มลดลงเมื่อความเข้มข้นของสารและระยะเวลาในการแช่เพิ่มขึ้น เมื่อนำมาตรวจสอบโครโมโซม สามารถคัดเลือกต้นเตตราพลอยด์ ได้จำนวน 2 ต้น ซึ่งมีจำนวนโครโมโซม $2n = 4x = 48$ คือ ที่ระดับความเข้มข้น 0.10 %, 1 วัน และที่ระดับความเข้มข้น 0.50 %, 1 วัน พบความแตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง ($P < 0.01$) ในส่วนของความยาวและความกว้างของเซลล์ปากใบระหว่างพืชพลอยด์และเตตราพลอยด์ ซึ่งบ่งชี้ว่าพืชเตตราพลอยด์มีลักษณะทางสัณฐานวิทยาที่เปลี่ยนแปลงไป นอกจากนี้ความยาวของรวงข้าว รวมถึงความยาวและความหนาของเมล็ดข้าวในต้นเตตราพลอยด์ยังมีค่ามากกว่าต้นดิพลอยด์อย่างชัดเจน

บทนำ

ข้าว ถือเป็นธัญพืชหลักที่สำคัญของมนุษย์ ปัจจุบันผู้บริโภคใส่ใจสุขภาพมากขึ้น ซึ่งหากพิจารณาถึงองค์ประกอบทางเคมีต่างๆ ภายในข้าว พบว่าข้าวประกอบด้วย โปรตีน คาร์โบไฮเดรต ไขมัน เยื่อใย วิตามิน แร่ธาตุ สารต้านอนุมูลอิสระที่สำคัญ และมีสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพ ปัจจุบันมีการปรับปรุงพัฒนาสายพันธุ์ข้าวให้มีลักษณะต่างๆ ที่ดีขึ้น โดยการปลูกข้าวในประเทศไทยเป็นการปลูกข้าวแบบใช้น้ำฝน ในเขตพื้นที่ภาคกลางเกือบทุกจังหวัดประสบปัญหาการขาดแคลนน้ำอย่างรุนแรง เนื่องจากสถานการณ์ภัยแล้ง โดยเฉพาะจังหวัดสุพรรณบุรีและจังหวัดชัยนาทได้รับผลกระทบอย่างหนัก ข้าวที่ปลูกในพื้นที่ภาคกลางเป็นข้าวที่มีราคาผลผลิตสูง มีคุณภาพ และเป็นที่ต้องการของผู้บริโภค ดังนั้น ควรมีการพัฒนาสายพันธุ์ข้าวทั้งสายพันธุ์เศรษฐกิจและข้าวสายพันธุ์ท้องถิ่นให้มีลักษณะเด่น มีคุณภาพดี ทนทานต่อความแห้งแล้ง และมีองค์ประกอบผลผลิตที่สูงขึ้น เพื่อตอบสนองความต้องการในตลาดอย่างมีประสิทธิภาพ (Yuenyen et al., 2023)

ข้าวขาวเจ๊ก เป็นข้าวเจ้าที่ไวต่อช่วงแสง อายุเบา เก็บเกี่ยวผลผลิตในช่วงเดือนพฤศจิกายน พื้นที่ทำนาของจังหวัดชัยนาท ระบายน้ำชลประทานยังไม่ถึง จึงต้องรอแหล่งน้ำจากปริมาณน้ำฝนในการเพาะปลูก ทำให้เกษตรกรในพื้นที่ปลูกข้าวพันธุ์นี้ปีละครั้ง ข้าวพันธุ์

ขาวเจ๊กเป็นข้าวเจ้านาปี ซึ่งเป็นข้าวพื้นเมืองสายพันธุ์ดีของจังหวัดชัยนาท ที่ศูนย์วิจัยข้าวชัยนาท กองวิจัยและพัฒนาข้าว กรมการข้าว ได้ดำเนินงานในกิจกรรมการรวบรวม และได้คัดเลือกพันธุ์ไว้ ข้าวพันธุ์นี้มีคุณลักษณะดีหลายประการ อาทิเช่น มีคุณภาพเมล็ดดี เมล็ดค่อนข้างยาว ใหญ่และอ้วน มีกลิ่นหอมอ่อนๆ ไม่แพ้ข้าวหอมมะลิเมื่อสุกแล้ว รสชาติอร่อย อ่อนนุ่มกำลังดี รวมทั้งได้รับความนิยมจากเกษตรกร และผู้บริโภคเป็นอย่างมาก (Office of Agricultural Economics, 2018) ข้าวพันธุ์นี้จึงมีผลผลิตไม่เพียงพอต่อความต้องการของตลาด เนื่องจากเป็นข้าวที่มีระยะเก็บเกี่ยวผลผลิต 120 วัน เกษตรกรผู้ปลูกข้าวจึงหันไปปลูกข้าวพันธุ์อื่นๆ ที่มีอายุการเก็บเกี่ยวสั้น สำหรับข้าวสายพันธุ์พื้นเมืองนั้น เป็นข้าวที่มีลักษณะเด่น คือ เกิดจากการเพาะพันธุ์และคัดเลือกพันธุ์ที่ทนสภาพแวดล้อมต่างๆ เช่น ทนต่อแดดและฝน เหมาะสมกับสภาพดินฟ้าอากาศในท้องถิ่นนั้นๆ ซึ่งข้าวพื้นเมืองอาจเป็นพันธุ์ดั้งเดิม หรือเกิดจากการกลายพันธุ์ของข้าวตามธรรมชาติก็ได้ ปัจจุบันมีการรวบรวมข้าวพื้นเมืองหลายสายพันธุ์ แต่มักไม่ได้รับการส่งเสริมให้ปลูกมากนัก ในอดีตการปลูกข้าวพันธุ์พื้นเมืองเป็นการปลูกข้าวแบบนาดำ ใช้ปริมาณเมล็ดข้าวไม่มาก ซึ่งแตกต่างจากปัจจุบันที่มุ่งเน้นการปลูกแบบการดำ ปัญหาในการปลูกข้าวของเกษตรกรมีสาเหตุมาจากปัจจัยทางกายภาพ เช่น ภัยแล้ง ปัญหา

*Corresponding author

E-mail address: Santhita.t@chandra.ac.th (S. Tungkajiwangkoon)

Online print: 5 October 2024 Copyright © 2024. This is an open access article, production, and hosting by Faculty of Agricultural Technology, Rajabhat Maha Sarakham University. <https://doi.org/10.14456/paj.2024.41>

น้ำท่วมพื้นที่ เป็นต้น และปัจจัยทางชีวภาพ เช่น ปัญหาโรคและแมลงศัตรูพืชต่างๆ ทำให้ผลผลิตข้าวลดลง (Samleekaew et al., 2017)

การปรับปรุงพันธุ์ข้าวเป็นการเพิ่มศักยภาพของผลผลิตเป็น การปรับปรุง เปลี่ยนแปลงลักษณะทางพันธุกรรมให้มีผลผลิตสูง มี คุณภาพ และเป็นที่ต้องการของตลาด โดยขนาดของเมล็ดข้าวมีความ หลากหลายตามความต้องการของผู้บริโภคและมีการส่งออกในหลาย ประเทศ เช่น ประเทศในแถบเอเชีย แอฟริกาเหนือ ลาตินอเมริกา และ ตะวันออกกลาง ซึ่งมีการส่งออกข้าวที่มีขนาดเมล็ดปานกลางได้ถึง 3 ล้านตันต่อปี (Junbuathong et al., 2021) การชักนำให้เกิด polyploid เป็นอีกทางเลือกหนึ่งที่นิยมนำมาใช้ในการปรับปรุงพันธุ์ พืช ซึ่งพืชที่เป็น polyploidy จะมีลักษณะฟีโนไทป์แตกต่างจาก ต้นดิพลอยด์ เช่น ความสูง ขนาดของลำต้น และเมล็ดมีขนาดใหญ่กว่า ต้นดิพลอยด์ เป็นต้น โคลชิซินเป็นสารที่นิยมใช้ในการเพิ่มจำนวน โครโมโซม โดยจะส่งผลต่อจำนวนโครโมโซมที่เพิ่มขึ้นเป็นสองเท่าใน การแบ่งเซลล์ มีการยับยั้งการสร้างเส้นใยสปินเดิล ทำให้โครมาติดของ โครโมโซมไม่แยกออกจากกันในระยะแอนาเฟส จึงทำให้โครโมโซม เพิ่มขึ้นเป็นสองเท่า โดยพืชโพลีพลอยด์มักมีขนาดใหญ่กว่า (Hailu et al., 2021) สารโคลชิซินเป็นสารที่นิยมนำมาใช้ในการชักนำให้เกิดโพลี พลอยด์ โดยสารโคลชิซินจะยับยั้งการแบ่งเซลล์ในระยะแรกของเมตา เฟส ทำให้ไม่สามารถสร้างเส้นใยไมโทติกที่จำเป็นสำหรับการแยก โครโมโซม ระหว่างการแบ่งเซลล์แบบไมโทซิสได้ จึงทำให้โครโมโซม เพิ่มขึ้นเป็นสองเท่า (Haring, et al., 2023) และประสบความสำเร็จใน พืชหลายชนิด เช่น ฝ้าย (Maru et al., 2021) กาแฟ (Venial et al., 2020) และหยาดน้ำค้าง (ไม้กินแมลง) (Tungkajiwangkoon et al., 2016) เป็นต้น ซึ่งการทำให้โครโมโซมเพิ่มขึ้นเป็นสองเท่า ส่งผลให้พืช มีลักษณะที่ดีขึ้น เช่น ใบหนาขึ้น ลำต้นแข็งแรงมากขึ้น ดอกใหญ่ขึ้น และสามารถแก้ความเป็นหมันได้ เป็นต้น วิธีนี้เป็นวิธีการปรับปรุงพันธุ์ เพื่อสร้างความหลากหลายทางธรรมชาติ แต่อย่างไรก็ตามควรใช้ด้วยความ ระมัดระวัง เนื่องจากเป็นสารก่อมะเร็ง

ดังนั้นจากเหตุผลดังกล่าว ผู้วิจัยจึงมีความคิดที่จะหาแนวทาง ในการปรับปรุงพันธุ์ข้าวขาวเจ๊ก เพื่อสร้างองค์ความรู้ใหม่ เพิ่ม คุณลักษณะที่ดีของข้าวพันธุ์พื้นเมือง และเป็นทางเลือกให้แก่เกษตรกร ปลูกข้าวพันธุ์ที่ให้ผลผลิตต่อไร่สูงกว่าเดิม โดยวัตถุประสงค์ของการ วิจัย เพื่อศึกษาระดับความเข้มข้นของสารละลายโคลชิซิน และ ระยะเวลาในการแช่สารละลายโคลชิซิน ที่มีผลต่อลักษณะทาง สันฐานวิทยา และลักษณะคุณภาพต่างๆ ในการปรับปรุงพันธุ์ข้าว พันธุ์ขาวเจ๊ก

อุปกรณ์และวิธีการวิจัย

ทำการเก็บรวบรวมตัวอย่างเมล็ดข้าวพันธุ์ขาวเจ๊กจากอำเภอ หนาคา จังหวัดชัยนาท ได้ปฏิบัติตามระเบียบที่คณะกรรมการกำหนดใน พระราชบัญญัติคุ้มครองพันธุ์พืช พ.ศ. 2542 โดยมีได้มีวัตถุประสงค์ เพื่อประโยชน์ทางการค้า ทำการคัดเลือกเมล็ดพันธุ์ โดยพิจารณาจาก ขนาดเมล็ด ความสมบูรณ์ และการไม่มีโรคหรือแมลงปะปน หลังจาก นั้นเพาะเมล็ด 5 วัน คัดเลือกต้นอ่อนที่งอกสำหรับการแช่สารละลาย โคลชิซิน โดยพิจารณาคัดเลือกลำต้นอ่อนที่เจริญเติบโตดี มีความสูง ประมาณ 3 - 5 เซนติเมตร หรือมีใบจริงออกมา 1 - 2 ใบ ซึ่งแสดงว่า ต้นอ่อนมีความแข็งแรงพอสำหรับการทรีตด้วยสารละลายโคลชิซิน

การทดลองนี้วางแผนการทดลองแบบ 5x3 Factorial experiments in CRD โดยใช้สารละลายโคลชิซินระดับความเข้มข้น 0 0.01 0.05 0.10 และ 0.50 % ระยะเวลาการแช่สารละลายโคลชิซิน คือ 1 2 และ 3 วัน ตามลำดับ แต่ละชุดการทดลองเริ่มการทดลอง โดยเพาะเมล็ด ข้าวขาวเจ๊ก หลังจากนั้นเมื่อเมล็ดเริ่มงอก ทำการคัดเลือกลำต้นที่งอก ขนาดเท่าๆ กัน จำนวน 20 ต้น ต่อ 1 ทรีตเมนต์ ข้าละ 1 ต้น รวม 300 ต้น นำต้นอ่อนที่เริ่มงอก (อายุ 5 วัน) และนำไปแช่ในสารละลาย โคลชิซิน ความเข้มข้นละ 20 ต้น เวลาในการแช่ คือ 1 2 และ 3 วัน หลังจากนั้นนำต้นอ่อนไปปลูกในวัสดุปลูกที่มีอัตราส่วนทรายและถ่าน แกลบเป็นส่วนผสม ในอัตราส่วน 1:1 เมื่อต้นอายุ 2 สัปดาห์ ได้ย้าย ปลูกลงในกระถางขนาด 4 นิ้ว ซึ่งมีวัสดุปลูก คือ ดินร่วนเหนียว หรือ ดินทราย โดยระยะเวลาการทดลองทั้งสิ้น 120 วัน บันทึกการ เปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้น เมื่อเปรียบเทียบกับชุดควบคุม หลังจากแช่ สารละลายโคลชิซินเป็นระยะเวลา 120 วัน คัดเลือกลำต้นที่คาดว่าจะเกิด การเพิ่มจำนวนโครโมโซมไปทำการตรวจสอบโครโมโซมด้วยกล้องจุลทรรศน์ compound microscope ศึกษาผลของความเข้มข้นและระยะเวลาการจุ่มแช่สารละลายโคลชิซิน ต่อการรอดชีวิต เป็นระยะเวลา 60 วัน

การศึกษ้อัตราการรอดชีวิต (%) บันทึกการเปลี่ยนแปลงทุก สัปดาห์ ภายหลังจากแช่เมล็ดข้าวพันธุ์ขาวเจ๊กด้วยสารละลายโคลชิซิน 60 วัน และนำลงปลูก พบอัตราการรอดชีวิตเริ่มคงที่ ในการศึกษาการ รอดชีวิตของต้นกล้าข้าว ใช้เกณฑ์การพิจารณา คือ ต้นกล้าถือว่ารอด ชีวิตเมื่อมีการเจริญเติบโตต่อเนื่อง ใบเขียวสด และลำต้นแข็งแรง ส่วน ต้นกล้าที่ใบแห้งเหี่ยว ลำต้นเน่า หรือไม่เจริญเติบโตจะถือว่าตาย

การบันทึกผลอัตราการรอดชีวิต (%) ของข้าวพันธุ์ขาวเจ๊ก ภายหลังจากการแช่เมล็ดข้าวพันธุ์ขาวเจ๊กด้วยสารละลายโคลชิซินและ นำลงปลูก 60 วัน โดยคำนวณจากสูตร

$$\text{อัตราการรอดชีวิต (\%)} = \frac{\text{จำนวนต้นที่รอดชีวิต}}{\text{จำนวนต้นทั้งหมด}} \times 100$$

การศึกษการเจริญเติบโตด้านความสูงของของต้นข้าวพันธุ์ขาวเจ๊ก เมื่ออายุ 120 วัน

หลังจากแช่สารละลายโคลชิซินและปลูกข้าวครบ 120 วัน สุ่ม ตัวอย่างข้าวที่แช่ด้วยสารละลายโคลชิซินที่ระดับ ความเข้มข้น 0 0.01 0.05 0.10 และ 0.50 % ระยะเวลาการแช่สารละลายโคลชิซิน คือ 1 2 และ 3 วัน ตามลำดับ มาตัวอย่างละ 5 ต้น มาทำการวัดและบันทึก ค่าเพื่อหาค่าเฉลี่ยความสูง (เซนติเมตร) โดยวัดความสูงจากโคนต้น (บริเวณที่ต้นข้าวงอกขึ้นจากดิน) จนถึงจุดสูงสุดของรวงข้าว หรือยอด ของต้นข้าว

ศึกษาผลของความเข้มข้นและระยะเวลาการจุ่มแช่สารละลายโคลชิซิน ต่อการเปลี่ยนแปลงจำนวนโครโมโซม เมื่ออายุ 120 วัน

1. นำรากที่เตรียมไว้ ใส่ในน้ำยาฟิกส์ราก สารเคมีที่ใช้ คือ สารละลายคาร์นอย (Carnoy's solution) ซึ่งเตรียมจาก 3 absolute ethanol : 1 glacial acetic acid แช่รากทิ้งไว้ที่อุณหภูมิ ต่ำเย็น คือ ประมาณ 10°C เป็นเวลา 24 ชั่วโมง

2. นำรากที่เก็บไว้ในแอลกอฮอล์มาล้างให้สะอาด โดยการ ไฮโดรไลซิสด้วยกรดเกลือเข้มข้น 1 นอร์มัล (1 N HCL) เพื่อทำลาย

ผนังเซลล์ (middle lamella) โดยทำการอุ่นให้ร้อนที่อุณหภูมิ 60 °C นาน 4 นาที

3. หลังจากไฮโดรไลซิสแล้ว นำรากมาล้างด้วยน้ำกลั่น 2 - 3 ครั้ง ซับด้วยกระดาษทิชชู จากนั้นนำมาย้อมสีด้วย Carbol fuchsin นานประมาณ 2 ชั่วโมง ตัดปลายรากเฉพาะส่วนที่ติดสีม่วงแดง ซึ่งประกอบด้วยเนื้อเยื่อเจริญวบนสไลด์ หยดสี Carbol fuchsin 1 - 2 หยด ปิดด้วยแผ่นแก้วปิดสไลด์ แล้วเคาะปลายรากด้วยปลายฟอ์เซปให้เซลล์กระจายดีหลังจากนั้นใช้เทคนิค squash ซึ่งเป็นวิธีพื้นฐานโดยการใช้หัวแม่มือกดทับบนสไลด์เพื่อให้โครโมโซมอยู่ในระนาบเดียวกัน นับจำนวนโครโมโซมด้วยกล้องจุลทรรศน์แบบใช้แสง โดยใช้เลนส์ใกล้วัตถุกำลังขยาย 100 เท่า

การคำนวณความถี่ของต้นเตตราพลอยด์ (Tetraploid Frequency) ในประชากร

สามารถทำได้โดยใช้สูตรคำนวณ ดังนี้

$$\text{ความถี่ของต้นเตตราพลอยด์} = \frac{\text{จำนวนต้นเตตราพลอยด์ทั้งหมด}}{\text{จำนวนต้นทั้งหมดในประชากร}} \times 100$$

การศึกษาลักษณะและขนาดของปากใบเฉลี่ยของต้นข้าวขาวเจ๊ก เมื่ออายุ 120 วัน

เก็บใบที่ 3 จากยอดของต้นข้าวพันธุ์ขาวเจ๊กในชุดควบคุมเปรียบเทียบกับต้นที่มีการเปลี่ยนแปลงจำนวนโครโมโซม นำมาลอกผิวใบด้านล่าง โดยทำการหยดน้ำกลั่น 1 หยด และปิดด้วยกระจกปิดสไลด์ ศึกษาลักษณะและขนาดของเซลล์ปากใบด้วยกล้องจุลทรรศน์กำลังขยาย 40 เท่า จำนวน 5 ซ้ำ เพื่อหาค่าเฉลี่ย

การศึกษาความยาวของรวงข้าว, ความกว้าง, ความยาว และความหนาของเมล็ดข้าว เมื่ออายุ 120 วัน

ความยาวของรวงข้าว สุ่มตัวอย่างรวงข้าวของต้นในชุดควบคุมกับต้นเตตราพลอยด์มาวัดเปรียบเทียบ ซึ่งวัดจากโคนรวงที่ติดกับใบจนถึงปลายรวง โดยใช้ไม้ตลับเมตรที่มีความละเอียด 0.10 มิลลิเมตร

ความกว้าง, ความยาว และความหนาของเมล็ดข้าว สุ่มตัวอย่างเมล็ดข้าวมาวัดความกว้าง, ความยาว และความหนาของเมล็ดข้าว โดยใช้เวอร์เนียร์คาร์ลิปเปอร์ทำการวัด 3 ซ้ำ ๆ ละ 10 เมล็ด บันทึกรูปเป็นหน่วยมิลลิเมตร โดยความยาวของเมล็ดข้าว ซึ่งวัดจากฐานล่างสุดของกลีบดอกถึงยอดเมล็ด โดยใช้เวอร์เนียร์คาร์ลิปเปอร์ที่มีความละเอียด 0.01 มิลลิเมตร ความกว้างของเมล็ดข้าว วัดส่วนกึ่งกลางของเมล็ด โดยใช้เวอร์เนียร์คาร์ลิปเปอร์ที่มีความละเอียด 0.01 มิลลิเมตร ความหนาของเมล็ดข้าว วัดจากส่วนกึ่งกลางของเมล็ดข้าว เพราะส่วนนี้เป็นส่วนที่หนาที่สุดและสามารถให้ค่าที่แม่นยำที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับส่วนอื่น ๆ ของเมล็ดข้าว

การวิเคราะห์ค่าทางสถิติ

เปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยด้วยวิธี Duncan's new multiple range test (DMRT) ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 % หรือ 99 % (ตามหัวข้อที่แสดงผล) โดยใช้โปรแกรม SPSS 17.0

ผลและวิจารณ์ผลการวิจัย

ศึกษาผลของความเข้มข้นและระยะเวลาการแช่สารละลายโคลชิซินต่อการรอดชีวิต เป็นระยะเวลา 60 วัน

หลังจากทำการคัดเลือกเมล็ดที่มีขนาดเท่า ๆ กัน จำนวน 300 เมล็ด มาทำการแช่ด้วยสารละลายโคลชิซินที่ระดับความเข้มข้น 0 0.01 0.05 0.10 และ 0.50 % เวลาในการแช่ คือ 1 2 และ 3 วัน ตามลำดับ ภายหลังจากแช่ด้วยสารละลายโคลชิซิน 60 วัน พบว่าที่ระดับความเข้มข้น 0.50 % ซึ่งเป็นความเข้มข้นสูงสุด อัตราการรอดชีวิตเฉลี่ยต่ำที่สุดอยู่ที่ 8.76 % ซึ่งบ่งชี้ว่าความเข้มข้นของโคลชิซินที่สูงมาก เมื่อรวมกับระยะเวลาการแช่สารที่ยาวนาน ทำให้การเจริญเติบโตของต้นพืชชะลอตัวอย่างมากหรือหยุดชะงัก ส่งผลให้ต้นพืชไม่สามารถรอดชีวิตได้ ในทางกลับกันที่ความเข้มข้น 0 % ซึ่งไม่มีการใช้โคลชิซินเลย ต้นพืชมีอัตราการรอดชีวิตสูงที่สุด อยู่ที่ 84.80 % แสดงให้เห็นว่าการไม่ใช้สารละลายโคลชิซินช่วยให้ต้นพืชสามารถเจริญเติบโตได้อย่างเต็มที่ โดยพบว่าระดับความเข้มข้นของสารละลายโคลชิซิน และระยะเวลาการแช่สารมีอิทธิพลร่วมกันอย่างชัดเจนต่ออัตราการรอดชีวิตของต้นพืช และมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 % โดยความเข้มข้นที่สูงและการแช่สารเป็นเวลานาน ทำให้ผลกระทบรุนแรงมากขึ้น ส่งผลให้อัตราการรอดชีวิตลดลงอย่างมาก (Table 1) สอดคล้องกับการทดลองของ Kerdswan & Te-chato (2012) ที่ศึกษาผลของสารละลายโคลชิซินต่ออัตรา การรอดชีวิต ลักษณะทางสัณฐานวิทยา สรีรวิทยา และเซลล์วิทยาของกล้วยไม้ช้างแดง พบว่า อัตราการรอดชีวิตจะลดลงเมื่อระดับความเข้มข้นสูงขึ้น และระยะเวลาการแช่นานขึ้น และการทดลองของ Choopeng et al. (2019) ที่ศึกษาผลของโคลชิซินต่ออัตราการรอดชีวิตและระดับโพลีพลอยดี ในกล้วยไม้ลูกผสมระหว่าง *Dendrobium santana* x *D. friedericksianum* พบว่า ระดับความเข้มข้นโคลชิซินที่สูงขึ้น ระยะเวลาการแช่นานขึ้น ส่งผลให้อัตราการรอดชีวิตต่ำลง ซึ่งสันนิษฐานว่า ความเข้มข้นของสารละลายโคลชิซินมีความเป็นพิษต่อเซลล์พืช ส่งผลให้กระบวนการภายในเซลล์เกิดความไม่สมดุลและส่งผลให้พืชตายในที่สุด

การศึกษาการเจริญเติบโตด้านความสูงของของต้นข้าวพันธุ์ขาวเจ๊ก เมื่ออายุ 120 วัน

เมื่อปลูกข้าวครบ 120 วัน สุ่มตัวอย่างข้าวที่แช่ด้วยสารละลายโคลชิซินที่ระดับความเข้มข้น 0 0.01 0.05 0.10 และ 0.50 % ระยะเวลาการแช่สารละลายโคลชิซิน คือ 1 2 และ 3 วัน ตามลำดับ มาตัวอย่างละ 5 ต้น มาทำการวัดและบันทึกค่าเพื่อหาค่าเฉลี่ยความสูง (เซนติเมตร) โดยวัดความสูงจากโคนต้น (บริเวณที่ต้นข้าวงอกขึ้นจากดิน) จนถึงจุดสูงสุดของรวงข้าว หรือยอดของต้นข้าว พบว่า อิทธิพลร่วมระหว่างความเข้มข้นของโคลชิซินและระยะเวลาการแช่สารละลายส่งผลอย่างมีนัยสำคัญต่อการเจริญเติบโตของพืช โดยความเข้มข้นที่สูงขึ้นและการแช่สารนานขึ้นทำให้การเจริญเติบโตชะลอตัวหรือหยุดชะงัก ตัวอย่างเช่น ที่ความเข้มข้น 0.50 % ในวันแรก พืชมีความสูงเฉลี่ยสูงถึง 109 เซนติเมตร แต่ความสูงลดลงอย่างมากและพบต้นตายเมื่อเวลาในการแช่มากขึ้น และมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 % (Table 2) สอดคล้องกับการทดลองของ Tiwari & Mishra (2012) ที่ศึกษาผลของสารละลายโคลชิซินในไม้ดอกล้มลุก *Phlox drummondii* พบว่า สารละลายโคลชิซินที่มี

ความเข้มข้นสูงและระยะเวลาในการแช่ขาน ทำให้พืชมีความสูงต่ำลง เกิดจากการขัดขวางการเกิดพอลิเมอร์เซชันของไมโครทูบูลในการแบ่งเซลล์แบบไมโทซิส ทำให้จำนวนโครโมโซมเป็นสองเท่า และจากการยับยั้งการสร้างเส้นใยสปินเดิลไม่ให้เกิดการแยกตัวของโครโมโซม จะทำให้เกิดการชะลอการเจริญเติบโต นอกจากนี้ยังมีรายงานผลกระทบจากการกลายพันธุ์อื่น ๆ รวมถึงการเปลี่ยนแปลงเชิงปริมาณ สำหรับพืชต่างๆ อาทิเช่น Maneerattanarungroj et al. (2016) ได้ศึกษาผลของสารละลายโคลชิซินต่ออัตราการรอดชีวิต ลักษณะทางสัณฐานวิทยา และลักษณะทางกายวิภาคในข้าวหอมนิล พบว่า หลังจากการพอกฆ่าเชื้อด้วยสารละลายโซเดียมไฮโปคลอไรท์ (Clorox) และแช่ในสารละลายโคลชิซินที่ระดับความเข้มข้น 0 0.01 0.02 0.03 และ 0.04 % ในที่มีด เป็นระยะเวลา 24 และ 48 ชั่วโมง และเพาะเลี้ยงบนอาหารสูตร MS เป็นระยะเวลา 6 สัปดาห์ ข้าวหอมนิลที่แช่สารละลายโคลชิซิน 24 ชั่วโมง ที่ระดับความเข้มข้น 0.01 และ 0.02 % มีอัตราการรอดชีวิตสูงสุดเท่ากัน พบลักษณะทางสัณฐานวิทยาของต้นที่แช่สารละลายโคลชิซิน ที่ระดับความเข้มข้นไม่เปลี่ยนแปลง แต่จำนวนใบ ความกว้างใบ ความยาวใบ และขนาดของเซลล์ปากใบมากกว่าต้นในชุดควบคุม และสารละลายโคลชิซินยังช่วยในเรื่องการสร้างโพลิพลอยด์ในข้าว Parera & Dahanayake (2016) ได้ศึกษาผลของสารละลายโคลชิซินที่ระดับความเข้มข้นต่างๆ ต่อการชักนำให้เกิดโพลิพลอยด์ในแคลลัสของข้าวพันธุ์ Suwadel และ Sulalai เพื่อเพิ่มความทนทานต่อความแห้งแล้งและความเค็ม พบว่า แคลลัสที่ได้รับสารโคลชิซินในความเข้มข้น 30, 60, 90 และ 120 มก./ลิตร ในเวลา 12 และ 24 ชั่วโมงสามารถรอดชีวิตได้ แต่ความสามารถในการสร้างยอดของแคลลัสลดลง เมื่อความเข้มข้นของสารและระยะเวลาการแช่เพิ่มขึ้น แสดงให้เห็นว่า สารโคลชิซินมีผลต่อการพัฒนาและความทนทานของข้าว ซึ่งต้องมีการควบคุมความเข้มข้นและระยะเวลาอย่างเหมาะสมถึงจะเกิดประสิทธิภาพ

ศึกษาผลของความเข้มข้นและระยะเวลาการจุ่มแช่สารละลายโคลชิซินต่อการเปลี่ยนแปลงลักษณะทางสัณฐานวิทยา

ภายหลังการแช่เมล็ดข้าวด้วยสารละลายโคลชิซิน ที่ระดับความเข้มข้น 0 0.01 0.05 0.10 และ 0.50 % เวลาในการแช่ คือ 1 2 และ 3 วัน ตามลำดับ เป็นเวลา 120 วัน ได้ทำการศึกษาการเปลี่ยนแปลงของลักษณะทางสัณฐานวิทยาของต้นข้าวขาวแจ็ก ได้ทำการคัดเลือกต้นที่ได้รับการแช่ด้วยสารละลายโคลชิซินที่ระดับความเข้มข้นต่างๆ โดยพบว่าที่ระดับความเข้มข้น 0.50 % 1 วัน มีลักษณะดีขึ้น เช่น ใบมีลักษณะหนาและมีสีเขียวเข้ม เป็นต้น (Figure 1) เมื่อเปรียบเทียบกับต้นในชุดควบคุม พบว่า ค่าเฉลี่ยความยาวของรวงข้าว ค่าเฉลี่ยความยาวของเมล็ดข้าว และค่าเฉลี่ยความหนาของเมล็ดข้าวในต้นเตตราพลอยด์มีค่ามากกว่าต้นดิพลอยด์ และแตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง โดยต้นดิพลอยด์มีค่าเฉลี่ยความยาวรวงข้าว คือ 13.96 ± 0.79 ต้นเตตราพลอยด์มีค่าเฉลี่ยความยาวรวงข้าว คือ 23.15 ± 1.49 มิลลิเมตร ต้นดิพลอยด์มีค่าเฉลี่ยความยาวเมล็ดข้าว คือ 10.75 ± 0.62 ต้นเตตราพลอยด์มีค่าเฉลี่ยความยาวเมล็ดข้าว คือ 11.86 ± 0.67 ต้นดิพลอยด์มีค่าเฉลี่ย ความหนาของเมล็ดข้าว คือ 2.24 ± 0.11 ต้นเตตราพลอยด์มีค่าเฉลี่ยความหนาของเมล็ดข้าว คือ 3.37 ± 0.09 ซึ่งทั้ง 3 ข้อมูลนี้มีความแตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง ที่ระดับความเชื่อมั่น 99 % อย่างไรก็ตามค่าเฉลี่ยความกว้างของเมล็ดข้าวไม่มีความแตกต่างทางสถิติ เมื่อเปรียบเทียบกับต้นดิพลอยด์และต้นเตตราพลอยด์ ที่

ระดับความเชื่อมั่น 99 % (Table 4) ซึ่งสอดคล้องกับการทดลองของ Eng et al. (2021) ที่ศึกษาผลของโคลชิซินต่อลักษณะทางสัณฐานวิทยาในกระทู้ (*Neolamarckia cadamba*) พบว่า ใบมีสีเขียวเข้ม ลำต้นมีขนาดใหญ่ขึ้น ซึ่งอาจสัมพันธ์กับคลอโรพลาสต์ภายในเซลล์ที่เพิ่มมากขึ้น และความหนาของใบ ทำให้ใบมีสีเขียวเข้มขึ้น โดยจำนวนคลอโรพลาสต์ สามารถศึกษาทางกายวิภาคของปากใบ

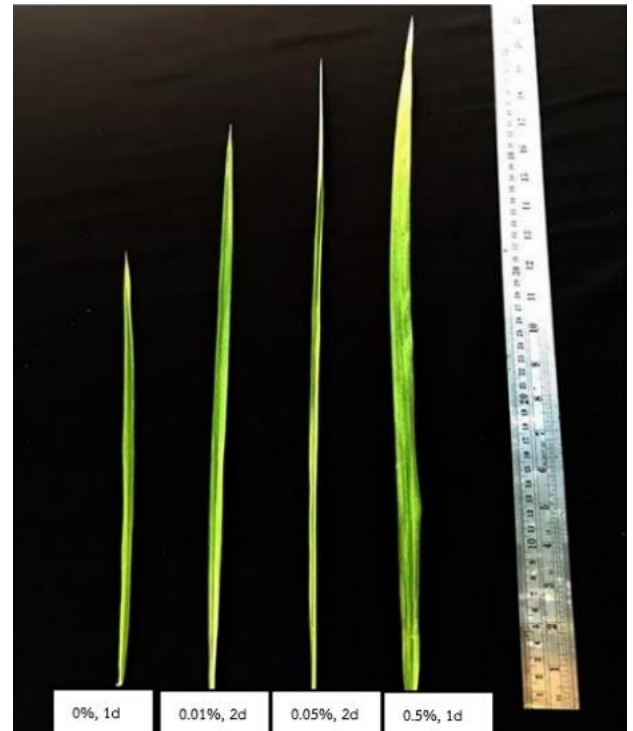


Figure 1 Comparison of leaf sizes resulting from treatment with colchicine solution at different concentrations and durations (0 %, 1 day, 0.01 %, 2 days, 0.05 %, 2 days, and 0.50 %, 1 day for 120 days).

ศึกษาผลของความเข้มข้นและระยะเวลาการจุ่มแช่สารละลายโคลชิซินต่อการเปลี่ยนแปลงจำนวนโครโมโซม

ภายหลังการแช่ด้วยสารละลายโคลชิซิน ระดับความเข้มข้น 0 0.01 0.05 0.10 และ 0.50 % เวลาในการแช่ คือ 1 2 และ 3 วัน ตามลำดับ เป็นเวลา 120 วัน ได้ทำการคัดเลือกต้น ที่คาดว่าจะ เป็นต้นเตตราพลอยด์ ซึ่งพบการเปลี่ยนแปลงลักษณะสัณฐานที่ชัดเจน เช่น ใบมีลักษณะหนาและมีสีเขียวเข้ม เป็นต้น มาทำการตรวจสอบโครโมโซมด้วยกล้องจุลทรรศน์ compound microscope ที่กำลังขยาย 100X โดยพบต้นดิพลอยด์ หรือต้นปกติมีจำนวนโครโมโซม ($2n=2x=24$) และสามารถคัดเลือกต้นเตตราพลอยด์ได้จำนวน 2 ต้น คือ ที่ระดับความเข้มข้น 0.10 % 1 วัน และที่ระดับความเข้มข้น 0.50 % 1 วัน ($2n=4x=48$) (Figure 2, Table 3) โดยพบว่าสารละลายโคลชิซินสามารถชักนำให้เกิดต้นเตตราพลอยด์ในพืชหลายชนิด (Lv et al., 2024)

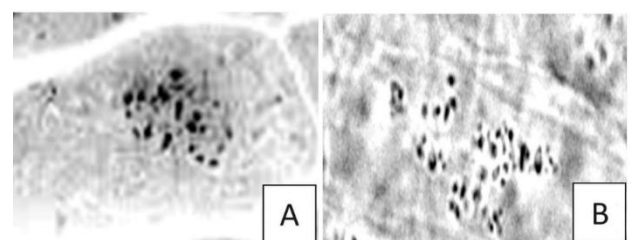


Figure 2 Metaphase chromosomes of mitosis in root tips (A) diploid control; (B) obtained tetraploid (100X).

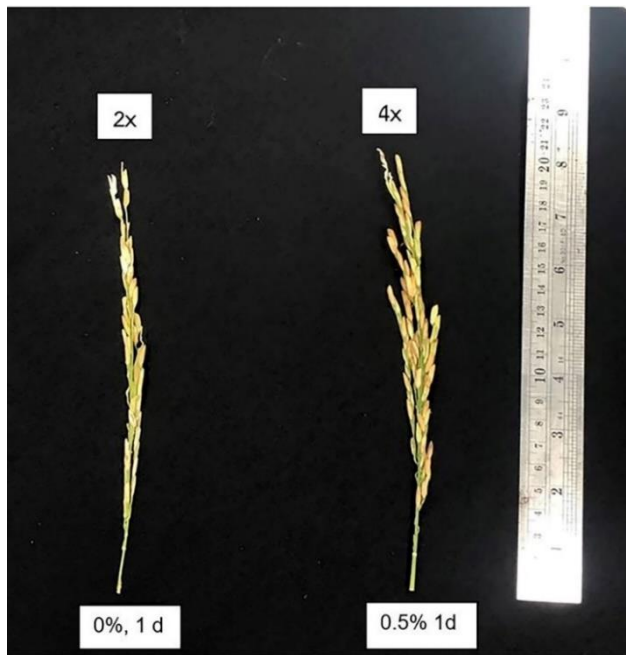


Figure 3 Comparison of the size of the panicles between the diploid and tetraploid plants after treat colchicine 120 days. panicles of the diploid (left), panicles of the tetraploid (right).

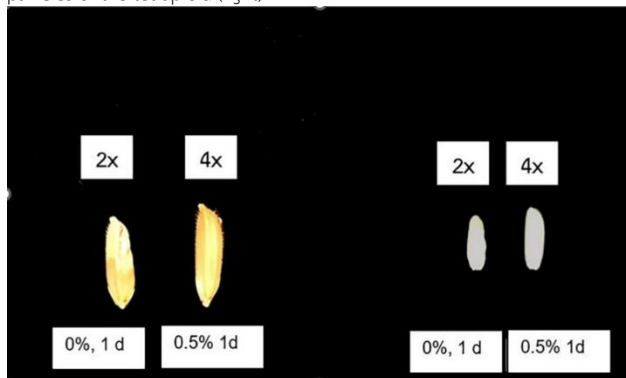


Figure 4 Comparison of the size of seed between the diploid and tetraploid plants after treat colchicine 120 days.

ศึกษาผลของความเข้มข้นและระยะเวลาการจุ่มแช่สารละลายโคลชิซินต่อการเปลี่ยนแปลงขนาดของเซลล์ปากใบเฉลี่ยของต้นข้าวขาวเจ็กดิพลอยด์ และเตตราพลอยด์ (โดยสุ่มจากต้นเตตราพลอยด์ที่ระดับความเข้มข้น 0.10 % และ 0.50 % เวลาในการแช่ คือ 1 วัน)

ภายหลังการแช่ด้วยสารละลายโคลชิซินที่ระดับความเข้มข้น 0 0.01 0.05 0.10 และ 0.50 % เวลาในการแช่ คือ 1 2 และ 3 วัน ตามลำดับ เป็นเวลา 120 วัน ได้ทำการศึกษาเปรียบเทียบการเปลี่ยนแปลงขนาดของเซลล์ปากใบเฉลี่ยของต้นข้าวพันธุ์ขาวเจ็กดิพลอยด์ และเตตราพลอยด์ ด้วยกล้องจุลทรรศน์ compound microscope กำลังขยาย 40X พบว่า ความยาวของเซลล์ปากใบเฉลี่ยและความกว้างของเซลล์ปากใบเฉลี่ย มีความแตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 99 % ความยาวของเซลล์ปากใบเฉลี่ยของต้นดิพลอยด์ คือ 21.10 ± 0.97 ไมโครเมตร และความยาวเซลล์ปากใบเฉลี่ยของต้นเตตราพลอยด์ คือ 22.53 ± 1.42 ไมโครเมตร ความกว้างของเซลล์ปากใบเฉลี่ยของต้นดิพลอยด์ คือ 15.20 ± 0.74 ไมโครเมตร และความกว้างเซลล์ปากใบเฉลี่ยของต้นเตตราพลอยด์ คือ 17.25 ± 1.24 ไมโครเมตร (Figure 5, Table 5) ซึ่งสอดคล้องกับรายงานของ Kara & Yazar (2022) ที่ได้ศึกษาผลของสารละลายโคลชิซินในองุ่นสำหรับ

ใช้ทำไวน์ พบว่า ภายหลังการทรีตด้วยสารละลายโคลชิซิน มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงขนาดของของปากใบทั้งด้านความกว้างและความยาว โดยพบว่าเมื่อเปรียบเทียบกับต้นดิพลอยด์และต้นเตตราพลอยด์ ต้นดิพลอยด์มีความยาวของเซลล์ปากใบเฉลี่ย 21.10 ± 0.97 ต้นเตตราพลอยด์มีความยาวของเซลล์ปากใบเฉลี่ย 22.53 ± 1.42 และมีความแตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญความแตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง นอกจากนี้ Tammu et al. (2021) ได้ศึกษาผลของสารละลายโคลชิซินต่อการเปลี่ยนแปลงจำนวนโครโมโซมในพริก Katokkon โดยแช่ในสารละลายโคลชิซินที่ระดับความเข้มข้นแตกต่างกัน 4 ระดับ ดังนี้ 0.025 % (K1), 0.05 % (K2), 0.075 % (K3), และ 0.10 % (K4) ระยะเวลาการแช่ 24 ชั่วโมง พบว่า ทุกระดับความเข้มข้นสามารถชักนำให้เกิดมิโทสพอลอยด์ และขนาดของปากใบในด้านความยาวไม่มีความแตกต่างทางสถิติ แต่ขนาดความกว้างของปากใบระหว่างต้นโพลีพลอยด์และดิพลอยด์ มีความแตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ ซึ่งพืชแต่ละชนิดมีความแตกต่างกันในเรื่องของขนาด แต่โดยส่วนใหญ่พบขนาดของปากใบจะใหญ่ขึ้นในพืชที่เป็นออโตเตตราพลอยด์ นอกจากนี้ความหนาแน่นของปากใบก็สามารถเป็นตัวบ่งชี้ที่สำคัญของการเกิดโพลีพลอยด์ ซึ่งเป็นการตรวจสอบโดยทางอ้อม ในการเหนี่ยวนำให้เกิดโพลีพลอยด์ สามารถใช้การวิเคราะห์ขนาดของปากใบร่วมด้วย เนื่องจากขนาดของปากใบ ถือเป็นตัวชี้วัดหนึ่งในการเปรียบเทียบระดับของโพลีพลอยด์ในพืชหลายชนิด พบว่า ภายหลังการชักนำให้เกิดโพลีพลอยด์ด้วยสารละลายโคลชิซิน ความหนาแน่นของปากใบลดลงเนื่องจากเซลล์มีขนาดที่ใหญ่ขึ้น ซึ่งการวัดขนาดของปากใบเป็นตัวบ่งชี้ที่เชื่อถือได้และมีประสิทธิภาพ มักนิยมใช้ร่วมกับการนับโครโมโซม (Nagat et al., 2020)

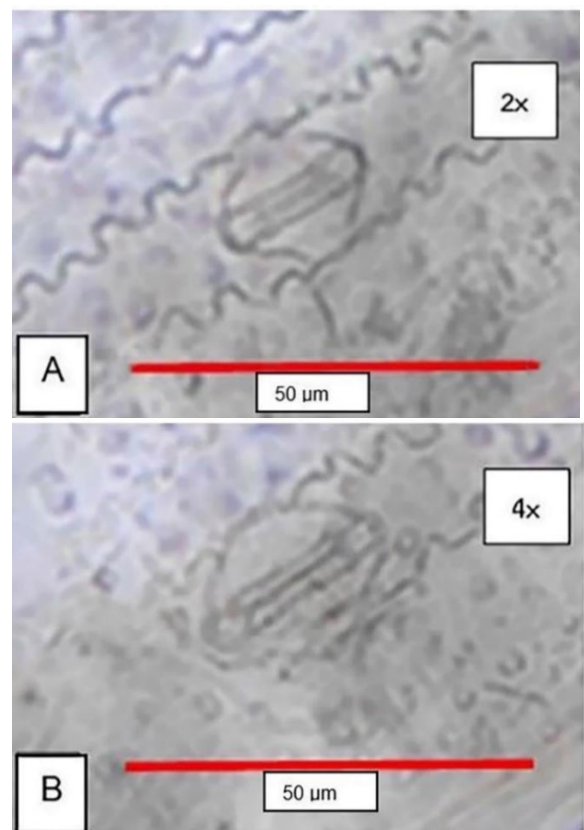


Figure 5 Comparison of the stomata size of diploid ($2n=2x=24$) (A), tetraploid ($2n=4x=48$) (B). Bar=50 μ m.

สรุปผลการวิจัย

การศึกษา % การรอดชีวิตของข้าวพันธุ์ขาวเจ็ก พบว่า ระดับความเข้มข้นของสารละลายโคลชิซินและระยะเวลาการแช่สารมีอิทธิพลร่วมกันอย่างชัดเจนต่ออัตราการรอดชีวิตของต้นพืช และมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 % พบว่า อิทธิพลร่วมระหว่างความเข้มข้นของโคลชิซินและระยะเวลาการแช่สารละลายส่งผลอย่างมีนัยสำคัญต่อการเจริญเติบโตของพืช โดยความเข้มข้นที่สูงขึ้นและการแช่สารนานขึ้น ทำให้การเจริญเติบโตชะลอตัวหรือหยุดชะงัก เมื่อทำการคัดเลือกต้นที่ คาดว่าจะเป็นเตตราพลอยด์ จากลักษณะทางสัณฐานวิทยาที่ดีขึ้นมาทำการตรวจสอบโครโมโซมด้วยกล้องจุลทรรศน์ compound microscope และสามารถคัดเลือกต้นเตตราพลอยด์ได้จำนวน 2 ต้น คือ ที่ระดับความเข้มข้น 0.10 % 1 วัน และที่ระดับความเข้มข้น 0.50 % 1 วัน ($2n=4x=48$) นอกจากนี้ยังได้ศึกษาการเปรียบเทียบการเปลี่ยนแปลงขนาดของเซลล์ปากใบเฉลี่ยของต้นข้าวขาวเจ็กดิพลอยด์และเตตราพลอยด์ด้วยกล้องจุลทรรศน์ compound microscope

กำลังขยาย 40X ได้ทำการเปรียบเทียบ ความยาวของรวงข้าว, ความกว้างความยาว และความหนาของเมล็ดข้าวพันธุ์ขาวเจ็กดิพลอยด์และเตตราพลอยด์ พบว่า ความยาวเซลล์ปากใบเฉลี่ย และความกว้างเซลล์ปากใบเฉลี่ย ความยาวของรวงข้าว, ความยาวและความหนาของเมล็ดข้าวพันธุ์ขาวเจ็กของต้นเตตราพลอยด์มีค่ามากกว่าต้นดิพลอยด์ โดยมีความแตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง แต่ความกว้างของของเมล็ดข้าวพันธุ์ขาวเจ็กไม่มีค่าแตกต่างทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่น 99 %

กิตติกรรมประกาศ

ผู้เขียนขอขอบคุณมหาวิทยาลัยราชภัฏจันทรเกษมที่สนับสนุนทุนวิจัย และขอขอบคุณกลุ่มเกษตรกรในอำเภอหันคา จังหวัดชัยนาท ในการเก็บตัวอย่าง และหลักสูตรเกษตรศาสตร์ คณะเกษตรและชีวภาพ มหาวิทยาลัยราชภัฏจันทรเกษม ที่ให้ความอนุเคราะห์แปลงทดลองและห้องปฏิบัติการในการวิจัยครั้งนี้

Table 1 Effect of colchicine concentration and duration time on the survival rate of *Oryza sativa* L. cv. Khao Jek after treat colchince solution at 60 days

Concentration of colchicine (%)	Survival rate (%)			Average of survival rate (%)
	Duration period (days)			
	1	2	3	
0	91.90 ^a	83.75 ^a	78.75 ^a	84.80 ^{a1/}
0.01	63.15 ^b	59.40 ^b	43.13 ^b	55.23 ^b
0.05	54.38 ^c	13.75 ^c	12.50 ^c	26.88 ^c
0.10	27.50 ^d	11.25 ^c	2.50 ^d	13.75 ^d
0.50	5.63 ^e	1.875 ^d	1.25 ^d	8.76 ^d
Average (%)	48.51 ^{a2/}	34.01 ^b	27.63 ^c	
F-test	Concentration Level			*
	Soaking duration			*
	Concentration Level X Soaking duration			*
C.V. (%)	3.91			

^{1/}Different letters within the same columns indicate statistically significance difference using DMRT test at 95 % ($p<0.05$).

^{2/} Different letters within the same row indicate statistically significance difference using DMRT test at 95 % ($p<0.05$).

*=There were statistically significant difference at 95 %; ns= not significant difference.

Tables 2 Effect of colchicine concentration and duration time on the average height of *Oryza sativa* L. cv. Khao Jek at 120 days

Concentration Of colchicine (%)	Average height (cm)			Total average (cm)
	Duration period (days)			
	1	2	3	
0	67.44 ± 4.39 ^b	68.06 ± 4.06 ^a	66.42 ± 4.13 ^a	67.31 ^{b1/}
0.01	87.91 ± 3.96 ^a	64.82 ± 3.57 ^b	72.13 ± 2.23 ^a	74.95 ^a
0.05	68.06 ± 4.06 ^b	68.00 ± 1.41 ^a	72.00 ± 1.41 ^a	69.35 ^b
0.10	68.80 ± 3.11 ^b	72.50 ± 2.12 ^a	-	47.10 ^c
0.50	109.00 ^a	-	-	36.33 ^d
Average (%)	80.24 ^{a2/}	54.68 ^b	42.11 ^c	
F-test	Concentration Level	*		
	Soaking duration	*		
Concentration LevelX		*		
Soaking duration				
C.V. (%)	14.79			

^{1/}Different letters within the same columns indicate statistically significance difference using DMRT test at 95 % ($p<0.05$).

^{2/} Different letters within the same row indicate statistically significance difference using DMRT test at 95 % ($p<0.05$).

*=There were statistically significant difference at 95 %; ns= not significant difference.

Table 3 Frequency of polyploidization of *Oryza sativa* L. cv. Khao Jek for 120 days after colchicine treatment

Concentration of colchicine (%)	Duration period (days)	Total number of plants	Number of tetraploid	Frequency of tetraploid (%)
0	1	20	0	0
	2	20	0	0
	3	20	0	0
0.01	1	20	0	0
	2	20	0	0
	3	20	0	0
0.05	1	20	0	0
	2	20	0	0
	3	20	0	0
0.10	1	20	1	5
	2	20	0	0
	3	20	0	0
0.50	1	20	1	5
	2	20	0	0
	3	20	0	0

Table 4 Comparison between diploid and tetraploid plants of panicle length, length width and thickness of a grain of rice at 120 days

Plants	Panicle length (mm)	Length of a grain of rice (mm)	Width of a grain of rice (mm)	Thickness of a grain of rice (mm)
Diploid	13.96 ± 0.79 ^{1/2/}	10.75 ± 0.62 ^b	2.28 ± 0.28	2.24 ± 0.11 ^b
Tetraploid	23.15 ± 1.49 ^a	11.86 ± 0.67 ^a	2.22 ± 0.14	3.37 ± 0.09 ^a
t-test	**	**	ns	**

** There is a statistical difference at the 99 % confidence level.

ns= not significant difference.

^{1/}Average ± Standard Deviation.

^{2/}Different letters within the same columns indicate statistically significance difference.

Comparing the means of two samples by t-test method.

Table 5 Effect of colchicine concentration and duration period on stomata size

Plants	Mean stomata Length ± SD (µm)	Mean stomata Width ± SD (µm)
Diploid	21.10 ± 0.97 ^{1/2/}	15.20 ± 0.74 ^b
Tetraploid	22.53 ± 1.42 ^a	17.25 ± 1.24 ^a
t-test	**	**

** There is a statistical difference at the 99 % confidence level.

^{1/}Average ± Standard Deviation.

^{2/}Different letters within the same columns indicate statistically significance difference.

Comparing the means of two samples by t-test method.

References

- Choopeng, S., Te-chato, S., & Khawnium, T. (2019). Effect of colchicine on survival rate and ploidy level of hybrid between *Dendrobium santana* x *D. friedericksianum* orchid. *International Journal of Agricultural Technology*, 15(2), 249-260.
- Eng, W. H., Ho, W. S., & Ling, K. H. (2021). Effects of colchicine treatment on morphological variations of *Neolamarckia cadamba*. *International Journal of Agricultural Technology*, 17(1), 47-66.
- Hailu, M. G., Mawcha, K. T., Nshimiyimana, S., & Suharsono, S. (2021). Garlic micro-propagation and polyploidy induction *In vitro* by colchicine. *Plant Breeding and Biotechnology*, 9(1), 1-19. doi: 10.9787/PBB.2021.9.1.1
- Haring, F., Farid, M., Sudirman, S., & Anshori, M. F. (2023). The morpho-somatic and chromosomal changes in colchicine polyploidy induction *Colocasia esculenta* var. Antiquorum. *Plant Breeding and Biotechnology*, 11(2), 105-116. doi: 10.9787/PBB.2023.11.2.105
- Junbuathong, S., Thongrak, W., Yaodam, K., Sukviwat, W., Maneenil, P., Kriswadi, A., Wutiwong, K., Thamasamisorn, B., Ruksopa, K., & Lengburnrung, P. (2021). RD91, a non-glutinous rice variety. *Thai Rice Research Journal*, 12(2), 5-19. (in Thai)
- Kara, Z., & Yazar, K. (2022). Induction of polyploidy in grapevine (*Vitis vinifera* L.) seedlings by *in vivo* colchicine applications. *Turkish Journal of Agriculture and Forestry*, 46(2), 152-159. doi: 10.55730/1300-011X.2967

- Kerdsuwan, N., & Te-chato, S. (2012). Effects of colchicine on survival rate, morphological, physiological and cytological characters of chang daeng orchid (*Rhynchostylis gigantea* var. *rubrum* Sagarik) *in vitro*. *Journal of Agricultural Technology*, 8(4), 1451-1460.
- Lv, H., Zhou, Y., Tian, H., Fei, Z., Li, D., & Zhong, C. (2024). New insights into colchicine-mediated tetraploidy in *Actinidia chinensis* 'Donghong'. *The Horticulture Journal*, 93(3), 273-281. doi: 10.2503/hortj.QH-136
- Maneerattananurongroj, P., Weruwanaruk, C., & Maneerattananurongroj, P. (2016). Effect of colchicine on some morphological and anatomical characteristics of Homnil rice seedling (*Oryza sativa* L.), Landrace rice of Thailand. *Koch Cha Sam Journal of Science*, 38(2), 72-78.
- Maru, B., Parihar, A., Kulshrestha, K., & Vaja, M. (2021). Induction of polyploidy through colchicine in cotton (*Gossypium herbaceum*) and its conformity by cytology and flow cytometry analyses. *Journal of Genetics*, 100(1), 52. doi: 10.1007/s12041-021-01297-z
- Nagat, E., Kamla, B., & Hoda, K. (2020). Phenotypic and molecular characterization of polyploidy *Vicia faba* induced by colchicine. *GSC Biological and Pharmaceutical Sciences*, 11(03), 235-243. doi:10.30574/gscbps.2020.11.3.0184
- Office of Agricultural Economics. (2018). *Office of Agricultural Economics*. Accessed November 23, 2018, Retrieved from <https://www.oae.go.th>. (in Thai)
- Parera, P. C. D., & Dahanayake, N. (2016). Chromosome observation of rice root tip and effect of callus colour variation and texture in different colchicine concentrations on the induction of rice polyploids. *Universal Journal of Agricultural Research*, 4(2), 56-59. doi: 10.13189/ujar.2016.040205
- Samleekaew, K., Taenthong, O., Rotduang, P., & Ramasoot, S. (2017). Propagation of Kab-dum native rice cultivar (*Oryza sativa*) by tissue culture techniques. *Wichcha Journal*, 36(2), 25-35. (in Thai)
- Tammu, R. M., Nuringtyas, T. R., & Daryono, B. S. (2021). Colchicine effects on the ploidy level and morphological characters of Katokkon pepper (*Capsicum annum* L.) from north Toraja, Indonesia. *Journal of Genetic Engineering and Biotechnology*, 19(1), 31. doi: 10.1186/s43141-021-00131-4.
- Tiwari, A. K., & Mishra, S. K. (2012). Effect of colchicine on mitotic polyploidization and morphological characteristics of *Phlox drummondii*. *African Journal of Biotechnology*, 11(39), 9336-9342. doi: 10.5897/AJB11.3820
- Tungkajiwangkoon, S., Shirakawa, J., Azumatani, M., & Hoshi, Y. (2016). Breeding and cytogenetic characterizations of new hexaploid *Drosera* strains colchicine-induced from triploid hybrid of *D. rotundifolia* and *D. spatulata*. *Cytologia*, 81(3), 263-269. doi: 0.1508/cytologia.81.263
- Venial, L. R., Mendonça, M. A. C., Amaral-Silva, P. M., Canal, G. B., de Jesus Passos, A. B. R., Ferreira, A., Soares, T. C. B., & Clarindo, W. R. (2020). Autotetraploid *Coffea canephora* and auto-alloctaploid *Coffea arabica* from *in vitro* chromosome set doubling: new germplasms for *Coffea*. *Frontiers in Plant Science*, 11, 154. doi: 10.3389/fpls.2020.00154
- Yuenyen, Y., Viriyawattana, N., & Sinworn, S. (2023). Development of drought-tolerant rice between local rice varieties and economic varieties in Suphanburi Province. *Academic Journal: Uttaradit Rajabhat University Science and Technology (for Local Development)*, 18(2), 13-24. (in Thai)

Research article

Effects of colchicine on growth and morphological characteristics of *Oryza sativa* L. cv. Khao Jek in Chai Nat Province

Santhita Tungkajiwangkoon*

Program in Agriculture, Faculty of Agriculture and Life Sciences, Chandrakasem Rajabhat University, Chatuchak District, Bangkok Province, Thailand 10900

ARTICLE INFO**Article history**

Received: 10 July 2024

Revised: 9 September 2024

Accepted: 10 September 2024

Online published: 5 October 2024

Keyword

Colchicine

Khao Jek

morphology

ABSTRACT

The study aimed to investigate the effects of colchicine on survival rate, growth, chromosome number variation, stomatal cell size, and morphological characteristics of *Oryza sativa* L. cv. Khao Jek. Samples were collected from Hankha District in Chai Nat Province. Germinated seeds of *Oryza sativa* L. cv. Khao Jek were immersed in different concentrations of colchicine solution (0, 0.01, 0.05, 0.10, and 0.50 %) for 1, 2, and 3 days, respectively. The average survival rate of the rice after 60 days of colchicine treatment significantly decreased ($P < 0.05$) as the concentration and duration of treatment increased. After 120 days of treatment, plant height was found to decrease as both the concentration of colchicine and the duration of treatment increased. Chromosome counting confirmed the presence of two tetraploid plants, both with chromosome numbers of $2n = 4x = 48$, at 0.10 % and 0.50 % colchicine concentrations for 1 day. Highly significant differences ($P < 0.01$) in stomatal length and width between diploid and tetraploid plants were observed, indicating that tetraploid plants exhibit altered morphological characteristics. The panicle length, as well as the length and thickness of the seeds in tetraploid plants, were greater compared to those in diploid plants.

*Corresponding author

E-mail address: Santhita.t@chandra.ac.th (S. Tungkajiwangkoon)

Online print: 5 October 2024 Copyright © 2024. This is an open access article, production, and hosting by Faculty of Agricultural Technology, Rajabhat Maha Sarakham University. <https://doi.org/10.14456/paj.2024.41>


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

บทความวิจัย

เปรียบเทียบการงอก ผลผลิต และความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระของต้นอ่อนข้าวห้าสายพันธุ์ ขมดาว ขำจริง* และ ญัฐพล รุ่งเจริญ

สาขาวิชาเกษตรศาสตร์ คณะเทคโนโลยีการเกษตร มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบุรี อำเภอเมือง จังหวัดเพชรบุรี ประเทศไทย 76000

ข้อมูลบทความ

Article history

รับ: 25 มิถุนายน 2567

แก้ไข: 1 กันยายน 2567

ตอบรับการตีพิมพ์: 26 กันยายน 2567

ตีพิมพ์ออนไลน์: 10 ตุลาคม 2567

คำสำคัญ

ต้นอ่อนข้าว

การงอก

ผลผลิต

ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อเปรียบเทียบการงอก ผลผลิต และความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ โดยใช้ข้าวทั้งหมด 5 สายพันธุ์ คือ ข้าวสาลี ข้าวไรซ์เบอร์รี่ ข้าว กข 79 ข้าว กข 85 และข้าว กข 95 วางแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ (Completely Randomized Design : CRD) ผลการทดลองด้านการงอก และผลผลิต พบว่า เมล็ดพันธุ์ข้าวสาลี มีอัตราการงอกเร็วที่สุด คือ 3 วัน และมีเปอร์เซ็นต์การงอก ดีขึ้นตามลำดับการงอก ดีที่สุด คือ 93.33 เปอร์เซ็นต์ และ 14.85 และค่าความเขียวของใบ 33.65 SPAD UNIT น้ำหนักสด 177.93 กรัมต่อน้ำหนักเมล็ด 200 กรัม น้ำคั้น 84.00 มิลลิลิตรต่อน้ำหนักเมล็ด 200 กรัม และของแข็งที่ละลายน้ำได้ทั้งหมด 7.66 องศาบริกซ์ มีปริมาณมากที่สุดเช่นกัน ส่วนต้นอ่อนข้าวสาลี กข 95 พบว่ามีความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระสูงสุด คือ 1.27 มิลลิกรัมสมมูลของโทร็อกซ์ต่อกรัมน้ำหนักสด

บทนำ

ต้นอ่อนข้าวสาลีนิยมปลูกในประเทศแถบยุโรป และอเมริกา แต่ในปัจจุบันคนไทยบางกลุ่มนิยมปลูกเพื่อนำมาคั้นเป็นเครื่องดื่ม เนื่องจากอุดมไปด้วยคลอโรฟิลล์จากธรรมชาติสามารถต้านการอักเสบ ซึ่งเป็นคุณสมบัติอย่างหนึ่งของคลอโรฟิลล์ และมีสารต้านอนุมูลอิสระสูง (Sirikul, 2023) นอกจากนี้มีงานวิจัยเกี่ยวกับต้นอ่อนข้าวสาลีพันธุ์อื่นที่มีปริมาณคลอโรฟิลล์ และมีคุณสมบัติอย่างอื่นเทียบเคียงกับต้นอ่อนข้าวสาลี คือ Thongchuang et al. (2022) ศึกษาเกี่ยวกับต้นอ่อนข้าว 3 สายพันธุ์ ได้แก่ พันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 พันธุ์ไรซ์เบอร์รี่ และพันธุ์สินเหล็กเพื่อศึกษาการเจริญ และสารต้านอนุมูลอิสระ พบว่าต้นอ่อนข้าวทั้ง 3 สายพันธุ์มีอายุการเก็บเกี่ยว 14 วัน มีน้ำหนักเมล็ดใกล้เคียงกัน แต่เมื่ออายุ 21 วัน ต้นอ่อนข้าวสินเหล็กมีน้ำหนักสด และน้ำหนักแห้งสูงกว่าข้าวสาลีพันธุ์อื่น ต้นอ่อนข้าวไรซ์เบอร์รี่อายุ 7 วัน มีความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ DPPH สูงสุดเท่ากับ 42.86 มิลลิกรัมสมมูลของกรดแอสคอร์บิกต่อ 100 กรัม น้ำหนักสด ซึ่งไม่มีความสัมพันธ์กับปริมาณฟีนอลรวมที่มีปริมาณมากที่สุดที่อายุ 21 วัน นอกจากนี้ปริมาณคลอโรฟิลล์ และแคโรทีนอยด์ของต้นอ่อนข้าวทั้ง 3 สายพันธุ์ มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่อต้นอ่อนข้าวมีอายุมากขึ้น โดยต้นอ่อน

ข้าวไรซ์เบอร์รี่อายุ 18 วัน มีปริมาณคลอโรฟิลล์ และแคโรทีนอยด์สูงสุด

ดังนั้นงานวิจัยนี้ จึงมีความสนใจศึกษา โดยเปรียบเทียบการงอก ผลผลิต และความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระของต้นอ่อนข้าว 5 สายพันธุ์ คือ ข้าวสาลี ข้าวไรซ์เบอร์รี่ ข้าว กข 79 ข้าว กข 85 และข้าว กข 95 ซึ่งเป็นข้าวที่นิยมปลูกโดยทั่วไป และในจังหวัดเพชรบุรี เพื่อศึกษาคุณสมบัติที่ดี และความเหมาะสมต่อการนำมาผลิตต้นอ่อนข้าวได้ และยังเป็นแนวทางให้กับเกษตรกรหรือบุคคลที่สนใจในการเลือกสายพันธุ์สำหรับผลิตต้นอ่อนข้าวต่อไป

อุปกรณ์และวิธีการวิจัย

การเตรียมเมล็ดและวัสดุเพาะ

ใช้ถาดพลาสติกสำหรับเพาะต้นอ่อนข้าวขนาดกว้าง x ยาว x สูง เท่ากับ 30 x 60 x 3.5 เซนติเมตร โดยนำวัสดุเพาะ คือ ขุยมะพร้าว และแกลบเผาในอัตรา 1:1 ผสมให้เข้ากันนำมาใส่ลงในถาดเพาะให้พอดีกับขอบถาด โดยเกลี่ยวัสดุเพาะให้เรียบเสมอกันและแน่นทั่วทั้งถาดทั้งหมด 15 ถาด

*Corresponding author

E-mail address: Chomdao2526@gmail.com (C. Khumjing)

Online print: 10 October 2024 Copyright © 2024. This is an open access article, production, and hosting by Faculty of Agricultural Technology, Rajabhat Maha Sarakham University. <https://doi.org/10.14456/paj.2024.42>

การเตรียมเมล็ดพันธุ์ข้าว

นำเมล็ดข้าวทั้ง 5 สายพันธุ์ คือ ข้าวสาลี ข้าวไรซ์เบอร์รี่ ข้าว กข 79 ข้าว กข 85 และข้าว กข 95 แช่น้ำเป็นเวลา 8 ชั่วโมง

การเพาะเมล็ดข้าว

นำเมล็ดพันธุ์ข้าวที่เตรียมไว้ จำนวน 200 กรัมต่อถาด มาวาง ในถาดที่เตรียมวัสดุเพาะไว้ กระจายให้ทั่วทั้งถาดเพาะไม่ให้เมล็ด ช้อนทับกัน โดยใช้จำนวน 3 ถาดต่อสายพันธุ์ จากนั้นรดน้ำโดยใช้ หัวฉีดน้ำปรับระดับหัวแบบกระจายให้ทั่วถาดเพาะนำกระสอบ พลาสติกมาวางทับ แล้วใช้ถาดเพาะอีกอันทับไว้ ทำสลับเช่นนี้จนครบ ชั้นสุดท้ายทับด้วยถาดเพาะเปล่าแล้วนำอิฐมาวางทับ โดยวางทับแยก ไปแต่ละสิ่งทดลอง พร้อมทั้งนำไปวางไว้ในที่มีดช้อนถาดทับกัน 2 วัน หลังจากนั้นเปิดถาดที่ช้อนทับออกแล้วนำแต่ละถาดไปไว้ในที่มีด 3 วัน แล้วนำมาไว้ที่ชั้นวางกลางแจ้งเปิดให้ได้รับแสง 2 วัน หลังจากนั้น ทำการเก็บเกี่ยว ใช้ระยะเวลาเพาะต้นอ่อนข้าวทั้ง 7 วัน โดยแต่ละ ทรีทเมนต์ใช้สายพันธุ์ข้าว 5 สายพันธุ์ คือ 1. ข้าวสาลี 2. ข้าวไรซ์เบอร์รี่ 3. ข้าว กข79 4. ข้าว กข85 และ 5. ข้าว กข95 จำนวน 3 ซ้ำ ๆ ละ 1 ถาด ใช้ถาดเพาะต้นอ่อนข้าวทั้งหมด 15 ถาด

การบันทึกผลการวิจัย

ก่อนเพาะเมล็ดนำไหมพรมมาวางสุมจำนวน 5 จุดของถาด เพาะ คือ มุมทั้ง 4 มุม และจุดตรงกลางของถาด จุดละ 10 เมล็ด เพื่อตรวจนับอัตราการงอก (วัน) คำนวณจากจำนวนวันที่เมล็ด สามารถงอกได้ 50 เปอร์เซ็นต์ของการงอกทั้งหมด (Khumjing & Duangyai, 2022) ส่วนเปอร์เซ็นต์การงอก (%) คำนวณตามวิธีของ Koonyodying et al. (2010) คือ (จำนวนเมล็ดที่งอก/จำนวนเมล็ดที่ เพาะ) $\times$ 100 โดยนับวันที่ 7 และดัชนีความเร็วในการงอก = (จำนวน ต้นอ่อนปกติวันที่ 1/วันที่ 1) + (จำนวนต้นอ่อนปกติวันที่ 2/วันที่ 2) +....+ (จำนวนต้นอ่อนปกติวันที่ 7/วันที่ 7) ตามวิธีของ Santipracha (1981) การวัดความสูงต้นอ่อน (เซนติเมตร) วัดโดยใช้ไม้บรรทัดวัด เหนือจากวัสดุเพาะ 1 เซนติเมตร จนถึงปลายยอดต้นอ่อน (Khumjing & Duangyai, 2022) วัดค่าความเขียวของใบต้นอ่อน (SPAD UNIT) ใช้เครื่อง Chlorophyll meter รุ่น SPAD-502Plus โดยสุมวัดจำนวน 20 ต้นต่อถาด หลังจากนั้นเก็บเกี่ยวทั้งถาดเมื่อต้น อ่อนข้าวอายุ 7 วัน ใช้มีดตัดโคนสูง 1 เซนติเมตรจากถาดเพาะ แล้วชั่งน้ำหนักสดต้นอ่อนข้าว (กรัมต่อน้ำหนักเมล็ด 200 กรัม) ด้วย เครื่องชั่งดิจิตอล ทศนิยม 2 ตำแหน่ง ยี่ห้อ Sartorius รุ่น BSA3202S- CW แล้วนำมาวัดปริมาณน้ำคั้น (มิลลิลิตรต่อน้ำหนักเมล็ด 200 กรัม) โดยเอาใบต้นอ่อนข้าวที่ตัดมาทำความสะอาด ไปคั้นน้ำด้วยเครื่องคั้น น้ำข้าวสาลี ยี่ห้อ Angel Juicer รุ่น Model 7500 และวัดด้วย กระบอกตวง ต่อมานำสารสกัดหยาบที่ได้มาวัดปริมาณของแข็งที่ ละลายน้ำได้ทั้งหมด (องศาบริกซ์) ด้วยเครื่อง Digital refractometer รุ่น MA871 และวิเคราะห์ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ DPPH (mgTE/gFW) ดัดแปลงจากวิธีของ Sittisart et al. (2020)

และอ่านค่าสัญญาณด้วยเครื่อง microplate reader โดยปิเปต สารละลายตัวอย่างปริมาตร 100 ไมโครลิตร เติมสารละลาย DPPH (ความเข้มข้น 0.2 mM ละลายในเมทานอล) ปริมาตร 100 ไมโครลิตร ผสมให้เข้ากันในหลุมไมโครเวลเพลท ตั้งทิ้งไว้ 30 นาทีในที่มืด แล้ว นำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 517 นาโนเมตร คำนวณ ค่า เปอร์เซ็นต์ DPPH inhibition จากเปอร์เซ็นต์สีม่วงที่หายไป เปรียบเทียบกับกราฟมาตรฐานของสารละลาย Trolox (ความเข้มข้น 0-50 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร) คำนวณค่าการต้านอนุมูลอิสระในรูป มิลลิกรัมสมมูลโทรลอกซ์ต่อกรัม (mg Trolox equivalent/g)

การวิเคราะห์ข้อมูล

นำข้อมูลมาวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติ (Analysis of Variance : ANOVA) ตาม แผน การ ทด ล อ ง Completely Randomized Design (CRD) เปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ย โดยใช้วิธี Duncan's New Multiple Range Test (DMRT) โดย โปรแกรม SPSS เวอร์ชัน 22

ผลและวิจารณ์ผลการวิจัย

การงอกของเมล็ดพันธุ์ต้นอ่อนข้าว 5 สายพันธุ์ พบว่า ต้นอ่อน ข้าวสาลีมีการงอกดีที่สุดที่ 93.33 เปอร์เซ็นต์ (Table 1) เนื่องจากข้าว สาลีที่นำมาใช้เพาะต้นอ่อนเป็นพันธุ์ ผาง 60 โดยมีความแข็งแรง หรือ ลักษณะดีเด่นของพันธุ์กรรมที่มาจากลูกผสม Pitic62 / Frondosa /// Pitic62 / Mazoe // Mexipak โดยเมล็ดมีรูปร่างรี เยื่อหุ้มเมล็ดสี เหลืองนวล น้ำหนัก 1,000 เมล็ด 37 กรัม มีขนาดเมล็ด ลักษณะเด่น ทนทานต่อสภาพอากาศร้อนและแห้งแล้งได้ดี และต้านทานโรคราสนิม ใบ (Division of Rice Research and Development, 2016) นอกจากนี้ข้าวสาลีพันธุ์ ผาง 60 มีความสมบูรณ์ แข็งแรงของเมล็ด พันธุ์ดูได้จากการงอก และดัชนีความเร็วในการงอก ซึ่งการวัด ดัชนีความความเร็วในการงอกเป็นการประเมินความแข็งแรงของเมล็ด พันธุ์ที่อาศัยความเร็วในการงอก โดย Duangpatra (1987) รายงานว่า เมล็ดพันธุ์ที่แข็งแรงงอกเร็ว และมีอัตราการเจริญเติบโตสูงตามไป ด้วย สอดคล้องกับผลการวิจัยต้นอ่อนข้าวสาลีมี อัตราการงอกเร็วสุด 3 วัน และมีดัชนีความเร็วในการงอกดีที่สุด คือ 14.85 เมื่อเมล็ดพันธุ์ สมบูรณ์ แข็งแรงทำให้มีเปอร์เซ็นต์การงอกที่ดี (Table 1) ทั้งนี้การ งอกที่มีปริมาณมากยังส่งผลให้ข้าวสาลีมีผลผลิตดีที่สุด และด้านค่า ความเขียว น้ำหนักสด และปริมาณน้ำคั้นสูงที่สุด เนื่องจาก Benjawan et al. (2010) ได้มีการศึกษาเปรียบเทียบปริมาณ คลอโรฟิลล์ในน้ำคั้นของใบข้าวสาลีกับน้ำคั้นจากใบข้าวเจ้าและข้าว เหนียว พบว่าในน้ำคั้นของใบข้าวสาลีมีปริมาณคลอโรฟิลล์สูงกว่าน้ำ คั้นใบข้าวทั้ง 2 ถึง 6 เท่า ซึ่งสอดคล้องกับพันธุ์ข้าวทั้ง 4 สายพันธุ์ คือ ข้าวไรซ์เบอร์รี่ ข้าว กข79 ข้าว กข85 และ ข้าว กข95 ที่เป็นพันธุ์ ข้าวเจ้า โดยการทดสอบของ Kasemsap et al. (1994) ในพืชบาง ชนิดในประเทศไทยระหว่างค่าความเขียวใบและปริมาณคลอโรฟิลล์

รวมในใบที่สกัดมีความสัมพันธ์กันอย่างมีนัยสำคัญ ซึ่งอาจทำให้ข้าวสารีมีค่าความเคี้ยวมากตามไปด้วย นอกจากนี้การวิเคราะห์ปริมาณสารอาหารในต้นอ่อนข้าวสารีพบว่า น้ำคั้นจากต้นอ่อนข้าวสารีประกอบด้วยคลอโรฟิลล์ถึง 70 เปอร์เซ็นต์ (Padalia et al., 2010) และรายงานวิจัยของ Kohler (1944) ศึกษาคุณค่าทางโภชนาการของใบอ่อนของพืชในกลุ่ม cereal grass จำพวกข้าวพาสาลี และข้าวสารี พบว่ามีคุณค่ามากกว่าในเมล็ดปกติ โดยที่ระยะ jointing stage มีค่าสูงกว่าในระยะการเจริญเติบโตอื่น ได้แก่ สารอาหารต่าง ๆ เช่น คลอโรฟิลล์ โปรตีน วิตามิน และเกลือแร่ ส่วนปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ทั้งหมดของต้นอ่อนข้าวสารี และ กข85 มีปริมาณมากที่สุด คือ 7.66 องศาบริกซ์ และ 7.73 องศาบริกซ์ ตามลำดับ (Table 2) แตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญกับต้นอ่อนข้าวสาลีพันธุ์อื่น เนื่องจากของแข็งทั้งหมดที่ละลายน้ำได้ คือปริมาณของสารประกอบชนิดต่าง ๆ ที่ละลายได้อย่างสมบูรณ์ในตัวที่ละลายที่มีอยู่ในตัวอย่างซึ่งส่วนใหญ่ คือ น้ำตาล และกรดอินทรีย์ชนิดต่าง ๆ รวมทั้งกรดอะมิโน และกรดแอสคอร์บิกหรือวิตามินซีด้วย (Bradley, 1998) การทดลองของ Sirikul (2023) มีการวิเคราะห์สารอาหารที่อยู่ในต้นอ่อนข้าวสารีปริมาณ 100 กรัมจากน้ำคั้นต้นอ่อนข้าวสารี 2.8 ออนซ์ พบว่ามีกรดอะมิโนที่จำเป็น 9 ตัว คือ Histidine Isoleucine Leucine Lysine Methionine Phenylalanine Threonine Tryptophan และ Valine ส่วนกรดอะมิโนที่ไม่จำเป็นมี 9 ตัว คือ Alanine Arginine Aspartic Acid Cystine Glutamic Acid Glycine Tyrosine Proline และ Serine และมีวิตามินซีสูงถึง 7 มิลลิกรัม โดยมีคุณค่าทางอาหารที่หลากหลายและเข้มข้นจึงทำให้ข้าวสารีมีปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ทั้งหมดสูง ส่วนข้าว กข85 ที่มีปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้สูง 7.73 องศาบริกซ์ (Table 2) เป็นข้าวที่ได้จากการผสม

พันธุ์ 3 ทางระหว่างลูกผสมชั่วที่ 1 ของ PSBRc 10 มีลักษณะเด่นคือ ผลผลิตสูง ทนแล้ง ต้านทานต่อเพลี้ยกระโดดสีน้ำตาล และโรคไหม้ (Cheapun et al., 2019) กับ CNT96028-21-1-PSL-1-1 คือ ข้าว กข 41 ที่มีลักษณะเด่นคุณภาพเมล็ดทางกายภาพดีเป็นข้าวเจ้าเมล็ดยาวเรียวยาว ปริมาณอมิโลสสูง ต้นแข็ง ใบและกาบใบสีเขียว ใบงอตั้งตรง (Durongkarn, 2015) นำไปผสมกับ LPHR303-PSL-30-4-2 ปลูกรดเลือกแบบสืบประวัติชั่วที่ 2-6 ได้สายพันธุ์ PSL07023-CNT-18-2-1-3 โดยได้ศึกษาวิจัยปรับปรุงพันธุ์ และมีมิตรรับรองให้ใช้พันธุ์ข้าว กข 85 (Deerusamee et al., 2020) ซึ่งเป็นข้าวที่ผสม 3 ทางมีลักษณะเด่นทั้งด้านผลผลิต คุณภาพเมล็ด เมื่อเจริญเติบโตอาจจะมีปริมาณน้ำตาล และกรดอินทรีย์ชนิดต่าง ๆ รวมทั้งกรดอะมิโน และกรดแอสคอร์บิกอยู่จำนวนไม่น้อยในใบของต้นอ่อน ขณะที่ความสูงต้นอ่อนข้าวสาลีพันธุ์ กข95 มีความสูงมากที่สุด คือ 12.24 เซนติเมตร (Table 1) โดยมีความแตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ เนื่องจากลักษณะประจำพันธุ์ของข้าวพันธุ์ กข95 เมื่อโตเต็มที่จะมีความสูงมากกว่าข้าวสาลีพันธุ์อื่น ๆ คือสูง 110 เซนติเมตรขึ้นไป (Deerusamee et al., 2022) และนอกจากนี้ยังมีผลของความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระที่มีสูงสุด 1.27 ± 0.23 มิลลิกรัมสมมูลของโพลกซ์ต่อกรัมน้ำหนักสด (Table 3) โดยในใบพืชเป็นส่วนที่มีการสะสมสารภายในพืชปริมาณมากกว่าส่วนของเมล็ด (Nilsamranchit & Tateing, 2015) รวมถึงสารที่สามารถต้านอนุมูลอิสระด้วย และมีรายงานว่าในต้นอ่อนของข้าวพบสารประกอบจำพวกฟีนอลิกเป็นจำนวนมาก (Khumkha, 2009) ซึ่งสารเหล่านี้มีความสามารถในการออกฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ และยังเป็นแหล่งของแร่ธาตุและกรดอะมิโนที่จำเป็นต่อร่างกายหลายชนิด

Table 1 The germination rate, % of germination, germination speed index and seedling height of five rice varieties grass

Rice Varieties	Germination rate (days)	Germination (%)	Germination speed index	Seedling height (cm)
Wheat grass	3.00 ^c	93.33 ^a	14.85 ^a	9.64 ^c
Rice berry	5.00 ^b	80.00 ^b	8.14 ^b	10.20 ^c
RD79	5.33 ^b	74.66 ^b	7.44 ^b	9.36 ^c
RD85	6.00 ^a	22.66 ^c	1.90 ^c	11.40 ^b
RD95	5.00 ^b	27.33 ^c	2.61 ^c	12.24 ^a
F-test	**	**	**	**
CV (%)	5.31	7.98	9.58	21.79

** = highly significantly different at $P < 0.01$.

^{abc} different letters in a column are highly significantly different level ($p < 0.01$) according to Duncan's multiple range test.

Table 2 The leaf greenness, fresh yields, juice extract and total soluble solid of five rice varieties grass

Rice Varieties	Leaf greenness (SPAD UNIT)	Fresh yields (g/seed weight 200 g)	Juice extract (mL/seed weight 200 g)	Total soluble solid (°Brix)
Wheat grass	33.65 ^a	177.93 ^a	84.00 ^a	7.66 ^a
Rice berry	6.06 ^b	109.63 ^{bc}	45.33 ^{bc}	6.26 ^b
RD79	5.89 ^b	142.43 ^{ab}	50.66 ^b	5.46 ^b
RD85	4.75 ^{bc}	51.43 ^d	17.33 ^d	7.73 ^a
RD95	3.76 ^c	78.53 ^{cd}	26.33 ^{cd}	6.46 ^b
F-test	**	**	**	**
CV (%)	45.94	67.53	88.08	27.41

** = highly significantly different at P<0.01

^{abcd} different letters in a column are highly significantly different level (p<0.01) according to Duncan's multiple range test**Table 3** The radical scavenging activity of five rice cultivar grass

Rice Cultivar	Radical scavenging activity (mgTE/gFW)
Wheat grass	0.48±0.06 ^{1/}
Rice berry	0.81±0.12
RD79	0.89±0.07
RD85	0.76±0.08
RD95	1.27±0.23

Mean ± standard deviation.

^{1/}Analysis data by Central Laboratory and Greenhouse Complex of Kasetsart University Kamphaeng Saen Campus (2023).

สรุปผลการวิจัย

จากการศึกษาเปรียบเทียบต้นอ่อนข้าว 5 สายพันธุ์ พบว่า ข้าวสาเลีมีการงอก และผลผลิตของต้นอ่อนดีที่สุด คือ อัตราการงอก 3 วัน เปอร์เซนต์การงอก 93.33 เปอร์เซนต์ ดัชนีความเร็วการงอก 14.85 ค่าความเขียวของใบ 33.65 SPAD UNIT น้ำหนักสด 177.93 กรัมต่อน้ำหนักเมล็ด 200 กรัม น้ำคั้น 84.00 มิลลิลิตรต่อน้ำหนักเมล็ด 200 กรัม และของแข็งที่ละลายน้ำได้ทั้งหมด 7.66 องศาบริกซ์ ส่วนต้นอ่อนข้าว กข95 มีความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระมากที่สุด คือ 1.27 มิลลิกรัมสมมูลของโทรลอคซ์ต่อกรัมน้ำหนักสด จากงานวิจัยนี้ ต้นอ่อนข้าวสาเลีจัดเป็นสายพันธุ์ที่เหมาะสมสำหรับการนำมาสกัดน้ำคอลลอยด์ หรือนำมาพัฒนาเป็นผลิตภัณฑ์จากต้นอ่อนข้าวต่อไป และรวมทั้งต้นอ่อนข้าว กข95 สามารถนำมาบริโภคเพื่อการชะลอวัย

กิตติกรรมประกาศ

การทำงานวิจัยครั้งนี้สามารถสำเร็จไปได้ด้วยดี ผู้วิจัยขอขอบคุณสาขาวิชาเกษตรศาสตร์ คณะเทคโนโลยีการเกษตร และฐานเรียนรู้โมไครกรีน ศูนย์เรียนรู้การเกษตรตามปรัชญาเศรษฐกิจพอเพียง มหาวิทยาลัยราชภัฏเทพบุรี

References

Benjawan, L., Jiwajinda, S., Aroonrungsikul, C., Vihokto, S., & Khunprom, C. (2010). *Nutritional values of juice from*

Thai-rice leaves and product development. Accessed September 10, 2024. Retrieved from https://kukr.lib.ku.ac.th/kukr_es/covid19/search_detail/result/309144. (in Thai)

Bradley, R. L. (1998). Moisture and total solids analysis. In S.S. Nielsen (Ed.), *Food analysis*. (pp. 85-103). Maryland, United States: Aspen.

Cheapun, K., Suviwat, W., Lengbunrung, P., Patison, K., & Thammasamisorn, B. (2019). *Yield and agronomic characters of new elite line represented soft cooked white rice*. Accessed September 10, 2024. Retrieved from <https://tarr.arda.or.th/preview/item/ik-tgVrVJ3vrdSlGMLqTR>. (in Thai)

Deerusamee, C., Boonchuay, D., Channoo, C., Vitoonjit, D., Suksiri, P., Boontham, S., Rodkasem, A., Yoosingh, W., Chantachack, N., & Khunbanthao, N. (2022). RD95 (Dok Jao Praya), a non-glutinous rice variety. *Thai Rice Research Journal*, 13(2), 29-49. (in Thai)

Deerusamee, C., Boonchuay, D., Channoo, C., Vitoonjit, D., Suksiri, P., Boontham, S., Rodkasem, A., Yoosingh, W., Khunbanthao, N., & Phonkhod, B. (2020). RD85, a non-glutinous rice variety. *Thai Rice Research Journal*, 11(2), 30-55. (in Thai)

- Division of Rice Research and Development. (2016). *Rice knowledge bank 60 (Fahng 60)*. Accessed September 10, 2024. Retrieved from <https://webold.ricethailand.go.th/rkb3/title-index.php-file=content.php&id=137.htm>. (in Thai)
- Duangpatra, J. (1987). *Seed vigor and vigor test*. Accessed September 10, 2024. Retrieved from https://kukr.lib.ku.ac.th/kukr_es/index.php/covid19/search_detail/result/24941%0A%0A. (in Thai)
- Durongkarn, S. (2015). *Management of Klaeng series (soil group No.6) for increase efficiency of rice cultivation in Si Mahosot District, Prachinburi Province*. Accessed September 10, 2024. Retrieved from <https://e-library.ldd.go.th/library/flip/bib9842f/bib9842f.html#p=15>. (in Thai)
- Kasemsap, P., Sethpakdee, R., Saikhunthot, P., Phattaralerphong, J., & Boongorgaew, P. (1994). Estimation of leaf chlorophyll content from leaf greenness of some species in Thailand. *Proceedings of the 32nd Kasetsart university annual conference: plants*. (pp.114-129). Bangkok, Thailand Kasetsart University. (in Thai)
- Khumjing, C., & Duangyai, W. (2022). Effect of substrate media on pea sprouts production. *Journal of Agricultural Science and Management*, 5(2), 48-55. (in Thai)
- Khumkha, O. (2009). *Factor effecting the germination and nutritional value of grain seedlings*. Bangkok, Thailand: King Mongkut's University of Technology Thonburi. (in Thai)
- Kohler, G. O. (1944). The effect of stage of growth on the chemistry of the grasses. *Journal of Biological Chemistry*, 152(2), 215-223. doi: 10.1016/S0021-9258(18)72044-9
- Koonyodying, D., Elliott, S., & Wangpakapattanawong, P. (2010). Seed germination treatments of some rare tree species for forest restoration in northern Thailand. *KKU Research Journal*, 15(10), 951-964.
- Nilsamranchit, S., & Tateing, S. (2015). Seed morphology and polyphenolic compounds of Longan. *Journal of Agriculture*, 31(2), 167-175. (in Thai)
- Padalia, S., Sushma, D., Indira, R., Gupta, A., & Mamta, D. (2010). Multitude potential of wheatgrass juice (Green Blood): an overview. *Chronicles of Young Scientists*, 1(2), 23-28.
- Santipracha, W. (1981). *Good seeds*. Songkla, Thailand: Prince of Songkla University. (in Thai)
- Sirikul, P. (2023). *Wheatgrass: reduces blood pressure, prevents diabetes, fights cancer*. Bangkok, Thailand: Mantra Publisher. (in Thai)
- Sittisart, P., Dunkhunthod, B., & Chuea-nongthon, C. (2020). Antioxidant and anti-inflammatory activities of ethanolic extract from *Hoya kerrii* Craib. *Chiang Mggai Journal of Science*, 47(5), 912-925.
- Thongchuang, M., Ekchaweng, K., Kaboun, K., & Chinpongpanich, A. (2022). Influence of harvesting period of three rice seedlings on DPPH radical scavenging activity. *PKRU SciTech Journal*, 6(1), 34-46. (in Thai)

Research article

Comparison of five rice cultivars sprouts on germination yield and radical scavenging activity

Chomdao Khumjing* and Nattapon Rungjaroen

Department of Agriculture, Faculty of Agricultural Technology, Phetchaburi Rajabhat University, Mueang District, Phetchaburi Province Thailand 76000

ARTICLE INFO**Article history**

Received: 25 June 2024

Revised: 1 September 2024

Accepted: 26 September 2024

Online published: 10 October 2024

Keyword

rice sprouts

germination

yield

radical scavenging activity

ABSTRACT

The objective of this research was to compare the germination yield and radical scavenging activity among five rice strains: wheat, Riceberry, RD79, RD85, and RD95. The experiments were conducted using a completely randomized design (CRD). The results showed that wheat seeds had the fastest germination rate (3 days), the highest germination %, and the highest germination index (93.33 % and 14.85, respectively). Moreover, the leaf greenness value of wheat sprouts was 3.65 SPAD units, the fresh weight was 177.93 g per 200 g of seed weight, the juice volume was 84.00 ml per 200 g of seed weight, and the total dissolved solids value was 7.66 °Brix. RD95 sprouts had the highest antioxidant capacity, with a value of 1.27 mg TE/g FW.

*Corresponding author

E-mail address: Chomdao2526@gmail.com (C. Khumjing)

Online print: 10 October 2024 Copyright © 2024. This is an open access article, production, and hosting by Faculty of Agricultural Technology, Rajabhat Maha Sarakham University. <https://doi.org/10.14456/paj.2024.42>



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

บทความวิจัย

การเสริมน้ำหมักชีวภาพจากเปลือกมังคุดในน้ำดื่มต่อสมรรถนะการผลิตและคุณภาพซากของไก่พื้นเมืองลูกผสม

วิวัฒน์ วรามิตร¹ หทัยชนก อินทร์สูงเนิน² และ ทิพย์วดี ประไพวงษ์^{1*}

¹สาขาวิชาเทคโนโลยีการผลิตสัตว์ คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรมและการเกษตร มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก วิทยาเขตจันทบุรี อำเภอเขาชะเมา จังหวัดจันทบุรี ประเทศไทย 22210

²สาขาวิชาสัตวศาสตร์ คณะเกษตรศาสตร์และทรัพยากรธรรมชาติ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก เขตพื้นที่บางพระ อำเภอศรีราชา จังหวัดชลบุรี ประเทศไทย 20110

ข้อมูลบทความ

Article history

รับ: 13 มิถุนายน 2567

แก้ไข: 6 สิงหาคม 2567

ตอบรับการตีพิมพ์: 26 กันยายน 2567

ตีพิมพ์ออนไลน์: 15 ตุลาคม 2567

คำสำคัญ

น้ำหมักชีวภาพ

เปลือกมังคุด

ไก่พื้นเมืองลูกผสม

บทคัดย่อ

การศึกษาการเสริมน้ำหมักชีวภาพจากเปลือกมังคุดในน้ำดื่มต่อสมรรถนะการผลิตและคุณภาพซากของไก่พื้นเมืองลูกผสม (ประดู่หางดำ x เหลืองหางขาว) ใช้ไก่ทดลอง 120 ตัว แบ่งเป็น 4 กลุ่ม คือ กลุ่มเสริมน้ำหมักชีวภาพจากเปลือกมังคุดในน้ำดื่มที่ระดับ 0 10 30 และ 50 มิลลิลิตร/ลิตร วางแผนการทดลองแบบสุ่มภายในบล็อก จากการศึกษาพบว่ากลุ่มที่เสริมน้ำหมักชีวภาพจากเปลือกมังคุดในน้ำดื่ม 50 มิลลิลิตร/ลิตร มีปริมาณการกินได้เฉลี่ยตลอดการทดลองมีค่าสูงกว่าทุกวิธีหมั้นต์ ($P < 0.01$) และไก่พื้นเมืองลูกผสมอายุระหว่าง 43-120 วัน และ 14-120 วัน ที่ได้รับน้ำหมักชีวภาพจากเปลือกมังคุดในน้ำดื่มที่ระดับ 50 มิลลิลิตร/ลิตร มีประสิทธิภาพการเปลี่ยนอาหารต่ำที่สุด ($P < 0.01$) กลุ่มที่ได้รับน้ำหมักชีวภาพจากเปลือกมังคุดในน้ำดื่มที่ระดับ 10 และ 50 มิลลิลิตร/ลิตร มีเปอร์เซ็นต์การอยู่รอดโดยเฉลี่ยตลอดการทดลองสูงสุด ($P < 0.01$) กลุ่มที่เสริมน้ำหมักชีวภาพจากเปลือกมังคุดในน้ำดื่มมีต้นทุนค่าอาหารต่อการเพิ่มน้ำหนัก 1 กิโลกรัม สูงกว่ากลุ่มควบคุม ($P < 0.01$) และการเสริมน้ำหมักชีวภาพจากเปลือกมังคุดในน้ำดื่มส่งผลต่อน้ำหนักมีชีวิต เพอร์เซ็นต์ซาก เพอร์เซ็นต์ชิ้นส่วนตัดแต่ง เพอร์เซ็นต์น้ำหนักเนื้ออก เพอร์เซ็นต์น้ำหนักน่อง เพอร์เซ็นต์น้ำหนักตับ เพอร์เซ็นต์น้ำหนักก้น ไชมันในช่องท้อง ($P < 0.01$) เพอร์เซ็นต์น้ำหนักปีก และเพอร์เซ็นต์น้ำหนักหัวและคอ ($P < 0.05$) โดยกลุ่มที่เสริมน้ำหมักชีวภาพจากเปลือกมังคุดในน้ำดื่มมีเปอร์เซ็นต์ไขมันช่องท้องต่ำกว่ากลุ่มควบคุม ($P < 0.01$) ดังนั้น การเสริมน้ำหมักชีวภาพจากเปลือกมังคุดในน้ำดื่มส่งผลดีต่อสมรรถนะการผลิตและคุณภาพซากของไก่พื้นเมืองลูกผสม

บทนำ

ระบบการผลิตไก่เนื้อประกอบด้วย 2 ระบบหลัก คือ ระบบการเลี้ยงปกติทั่วไป ซึ่งกำหนดเป้าหมายไปที่การผลิตจำนวนมากและราคาถูก และระบบการผลิตทางเลือกที่ให้ความสำคัญกับสวัสดิภาพสัตว์และความยั่งยืนทางอาหาร (Narinc et al., 2015) โดยพบว่าระบบการผลิตไก่เนื้อทางเลือกมีหลายระบบด้วยกัน เช่น การเลี้ยงแบบปล่อยอิสระ และระบบการเลี้ยงแบบอินทรีย์ (Scientific Committee on Animal Health and Animal Welfare, 2000) การบริโภคเนื้อไก่และไข่ไก่พื้นเมืองเป็นอีกทางเลือกหนึ่งสำหรับผู้บริโภคที่ใส่ใจเรื่องสุขภาพและเป็นที่ยอมรับมาหลายทศวรรษแล้ว เนื่องจากเนื้อไก่พื้นเมือง

มีรสชาติและเนื้อสัมผัสที่ดี (Das et al., 2018) และมียีนส์ประกอบของซากดีกว่าไก่เนื้อสายพันธุ์ทางการค้าเนื่องจากมีปริมาณไขมันต่ำ (Ganabadi et al., 2009) รวมทั้งเนื้อมีความหนาแน่น รสชาติอร่อย ปราศจากสารเคมีตกค้างด้วยวิธีการเลี้ยงแบบท้องถิ่น จึงเป็นที่ต้องการของผู้บริโภค ส่งผลให้เนื้อไก่พื้นเมืองมีราคาสูงกว่าเนื้อไก่ทั่วไป 2-3 เท่า (Ritchoo, 2019) อย่างไรก็ตาม ไก่พื้นเมืองลูกผสมมีการเจริญเติบโตเร็ว ขณะที่ลักษณะภายนอกและคุณภาพเนื้อใกล้เคียงกับไก่พื้นเมืองจึงน่าจะเป็นอีกทางเลือกหนึ่งให้กับผู้บริโภคได้ (Suwanlee & Salagham, 2018)

น้ำหมักชีวภาพเป็นของเหลวที่ได้จากการหมักพืชหรือสัตว์กับ

*Corresponding author

E-mail address: tipwadee_pr@rmutto.ac.th (T. Prapaiwong)

Online print: 15 October 2024 Copyright © 2024. This is an open access article, production, and hosting by Faculty of Agricultural Technology, Rajabhat Maha Sarakham University. <https://doi.org/10.14456/paj.2024.43>

น้ำตาลหรือกากน้ำตาล จะมีจุลินทรีย์ธรรมชาติที่เกิดขึ้นหลายชนิด รวมทั้งธาตุอาหารพืช ฮอร์โมนพืช สารประกอบที่สกัดได้จากเซลล์พืช และเซลล์สัตว์หลายชนิด คาร์โบไฮเดรต โปรตีน กรดอะมิโน และเอนไซม์ (Ghaly et al., 2013) โดยในน้ำหมักชีวภาพมีจุลินทรีย์ที่มีประสิทธิภาพหรืออีเอ็ม (effective microorganism, EM) เป็นกลุ่มจุลินทรีย์ที่มีคุณสมบัติแตกต่างกัน คือ 1) กลุ่มเชื้อราทำหน้าที่เป็นตัวเร่งการย่อยสลาย 2) จุลินทรีย์กลุ่มสังเคราะห์แสง ทำหน้าที่สังเคราะห์สารอินทรีย์ให้แก่วัสดุหมัก 3) จุลินทรีย์กลุ่มที่เพิ่มขบวนการหมัก ซึ่งเป็นตัวกระตุ้นให้การย่อยสลายเกิดขึ้นได้มากขึ้น 4) จุลินทรีย์กลุ่มตรึงก๊าซไนโตรเจนจากอากาศ เพื่อให้วัสดุหมักผลิตสารที่เป็นประโยชน์ต่อการเจริญเติบโต เช่น โปรตีนและสารอินทรีย์อื่น ๆ และ 5) จุลินทรีย์กลุ่มสร้างกรดแลคติกซึ่งทำหน้าที่ในการต่อต้านเชื้อราและแบคทีเรียที่เป็นพิษ (Chantsavang et al., 1998) โดยส่วนใหญ่เป็นจุลินทรีย์ในกลุ่มแลคโตบาซิลลัสและยีสต์ (Higa & Parr, 1994) นอกจากนี้ Kromratanaporn (2012) รายงานการใช้กากหมักชีวภาพในสัตว์เคี้ยวเอื้องโดยใช้น้ำหมักชีวภาพ 1 ส่วนต่อน้ำ 1,000 ส่วน (1 : 1,000) สามารถช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการย่อยอาหารได้มากขึ้น นอกจากนี้สัตว์ปีก สุกร และสัตว์เคี้ยวเอื้องที่ได้รับน้ำหมักชีวภาพอย่างสม่ำเสมอทั้งการเสริมในน้ำหรือในอาหารจะมีความต้านทานโรคต่าง ๆ ได้ดี โดยเฉพาะโรคระบบทางเดินอาหาร ช่วยลดความเครียดจากการขนย้ายสัตว์และการเปลี่ยนแปลงของสภาพอากาศ

Chantsavang et al. (1998) ศึกษาการเสริมจุลินทรีย์อีเอ็มและน้ำจากการหมักพืชสมุนไพรด้วยจุลินทรีย์อีเอ็มในน้ำดื่มในไก่กระหวัดพันธุ์เบอร์เบอร์ โดยใช้จุลินทรีย์อีเอ็มหรือน้ำที่ได้จากการหมักพืชสมุนไพรด้วยจุลินทรีย์อีเอ็มต่อน้ำเปล่า 1:3000 พบว่าการเสริมจุลินทรีย์อีเอ็มและน้ำจากการหมักพืชสมุนไพรด้วยจุลินทรีย์อีเอ็มในน้ำดื่มมีผลต่อสมรรถภาพการผลิตและคุณภาพซากของไก่กระหวัด ($P < 0.05$) อย่างไรก็ตาม Jaiwai et al. (2012) ศึกษาการเสริมน้ำหมักชีวภาพจากพืชหมักสีเขียวต่อสมรรถนะการผลิต คุณภาพซากและต้นทุนการผลิตไก่พื้นเมืองของฟาร์มเกษตรกรในจังหวัดเชียงราย พบว่าปริมาณอาหารที่กิน น้ำหนักตัวที่เพิ่มขึ้น ประสิทธิภาพการเปลี่ยนอาหาร และคุณภาพไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($P > 0.05$) และ Prachachit et al. (2019) ศึกษาผลการเสริมน้ำหมักชีวภาพจากฟ้าทะลายโจรและลูกใต้ใบในน้ำดื่มต่อประสิทธิภาพการผลิตและคุณภาพซากของไก่เนื้อ พบว่าน้ำหนักตัวสุดท้าย น้ำหนักตัวที่เพิ่มขึ้น อัตราการเจริญเติบโต ประสิทธิภาพการเปลี่ยนอาหาร และดัชนีผลผลิตของไก่เนื้อไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($P > 0.05$) แต่กลุ่มที่เสริมน้ำหมักชีวภาพจากฟ้าทะลายโจรและลูกใต้ใบในน้ำดื่มที่ระดับ 50 มิลลิลิตร/น้ำ 1 ลิตร มีอัตราการเลี้ยงรอดดีกว่ากลุ่มควบคุม ($P < 0.05$)

เปลือกมังคุด (mangosteen peel) จัดเป็นวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรที่มีปริมาณมากในพื้นที่ภาคตะวันออก โดยเฉพาะจังหวัด

จันทบุรี ซึ่งเปลือกมังคุดมีสารเคมีที่มีฤทธิ์ทางชีวภาพ โดยเฉพาะสารประกอบฟีนอลิก เช่น α -mangostin, γ -mangostin, garcinone-C (Gar-C), garcinone-D (Gar-D), garcinone-E (Gar-E), gartanin และ smeatxanthone-A (Widowati et al. 2014; Gondokesumo et al. 2018) สารกลุ่มแอนโทไซยานิน (anthocyanins) มีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ ด้านการอักเสบช่วยสมานแผล มีประสิทธิภาพในการปกป้องเซลล์จากการถูกทำลายโดยอนุมูลอิสระ ยับยั้งการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ (Chaovanalikit & Mingmuang, 2007) นอกจากนี้ยังพบสารแทนนิน (tannins) 7-14 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งเป็นสารที่มีรสฝาด มีฤทธิ์ฆ่าเชื้อโรค และสมานแผล (Sakdisaeng & Nakorn, 2002) อย่างไรก็ตาม การใช้น้ำหมักชีวภาพในการเลี้ยงสัตว์ยังมีการศึกษาและมีข้อมูลทางวิชาการออกมาเผยแพร่ค่อนข้างน้อย จึงทำให้เกษตรกรใช้น้ำหมักชีวภาพกับสัตว์ในสัดส่วนและปริมาณที่แตกต่างกันออกไป ดังนั้น การศึกษาในครั้งนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลของการเสริมน้ำหมักชีวภาพจากเปลือกมังคุดในน้ำดื่มต่อสมรรถนะการผลิตและคุณภาพซากของไก่พื้นเมืองลูกผสม (ประดู่หางดำ x เหลืองหางขาว)

อุปกรณ์และวิธีการวิจัย

สัตว์ทดลอง ทรีทเมนต์ และการวางแผนการทดลอง

งานทดลองนี้ใช้ไก่พื้นเมืองลูกผสม (ประดู่หางดำ x เหลืองหางขาว) คณะเพศ อายุ 1 วัน จำนวน 120 ตัว เลี้ยงในคอกโดยมีแม่กลบเป็นวัสดุรองพื้น แบ่งไก่ทดลองออกเป็น 4 กลุ่ม กลุ่มละ 3 ซ้ำ ซ้ำละ 10 ตัว (replication) วางแผนการทดลองแบบสุ่มภายในบล็อก (randomized complete block design, RCBD) โดยจัดทรีทเมนต์ประกอบด้วย ปัจจัยเนื่องจากการเสริมน้ำหมักชีวภาพจากเปลือกมังคุด 4 ระดับ คือ 0 10 30 และ 50 มิลลิลิตร/น้ำดื่ม 1 ลิตร และกำหนดให้เพศเป็นบล็อก

วิธีการทดลอง

ทำการทดลองในโรงเรือนระบบเปิด โดยเลี้ยงไก่พื้นเมืองลูกผสม (ประดู่หางดำ x เหลืองหางขาว) ในคอกขนาด 2x3 เมตร (ความหนาแน่น 1.67 ตัวต่อตารางเมตร) ภายในโรงเรือนมีการเปิดพัดลมเพื่อให้อากาศหมุนเวียนถ่ายเทได้สะดวก ก่อนการทดลอง 14 วัน ทำความสะอาดโรงเรือนและพ่นยาฆ่าเชื้อโรคทั่วทั้งโรงเรือนและอุปกรณ์ที่จะใช้เลี้ยง และทำการพักเล้าทิ้งไว้ 14 วัน หลังจากนั้นเมื่อลูกไก่อายุ 1 วัน มาถึงโรงเรือนทำการกลูกไก่เพื่อให้ความอบอุ่น ให้วัคซีนป้องกันโรคนิวคาสเซิลและหลอดลมอักเสบ ทำการเลี้ยงไก่ทดลองเป็นเวลา 14 วัน โดยให้อาหารลูกไก่พื้นเมืองที่มีระดับโปรตีน 20 เปอร์เซ็นต์ เพื่อให้คุ้นเคยกับสภาพแวดล้อมของโรงเรือน เมื่อลูกไก่พื้นเมืองลูกผสม อายุครบ 14 วัน ทำการสุ่มลูกไก่แบ่งเข้าแต่ละกลุ่มการทดลอง โดยแต่ละกลุ่มทดลองจะมีสัดส่วนลูกไก่เพศผู้และเพศเมียเท่า ๆ กัน น้ำหนักตัวเฉลี่ยเริ่มต้นเท่า ๆ กัน ไก่ทดลองได้รับอาหารและน้ำสะอาดแบบเต็มที่ (*ad libitum*) ตลอดการทดลอง มีการทำวัคซีนตามโปรแกรมวัคซีนไก่พื้นเมือง

การเตรียมน้ำหมักชีวภาพจากเปลือกมังคุด

เริ่มจากการนำเปลือกมังคุดพันธุ์พื้นเมืองสด 3 กิโลกรัม มาล้างทำความสะอาดและนำมาหั่นหรือทุบให้เป็นชิ้นเล็ก ๆ ขนาด 1-2 เซนติเมตร แล้วใส่ลงในถังหมักขนาด 20 ลิตร เติมน้ำตาล 1 กิโลกรัม หัวเชื้อจุลินทรีย์อีเอ็มทางการค้า จากบริษัท อี เอ็ม คิวเซ จำกัด จำนวน 1 ลิตร และน้ำสะอาด 10 ลิตร หลังจากนั้นกวนส่วนผสมให้เข้ากัน ทำการปิดฝาถังหมักให้สนิท และหมักทิ้งไว้เป็นเวลา 14 วัน เมื่อครบกำหนดแล้วคั้นเอาเฉพาะน้ำใส่ขวดเพื่อนำไปใช้ในการทดลองต่อไป

การเก็บข้อมูล

ทำการเก็บข้อมูลโดยจดบันทึกน้ำหนักเริ่มต้นและสิ้นสุดของสัตว์ทดลอง บันทึกการเปลี่ยนแปลงน้ำหนักที่เพิ่มขึ้นของสัตว์ทดลอง ทุกสัปดาห์เพื่อคำนวณอัตราการเจริญเติบโต (average daily gain, ADG) และอัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นน้ำหนัก (feed conversion ratio, FCR) บันทึกปริมาณอาหารที่ให้และอาหารที่เหลือ เพื่อคำนวณหาปริมาณอาหารที่กินได้ต่อวัน (feed intake, FI) บันทึกจำนวนและชั่งน้ำหนักสัตว์ทดลองที่ตาย เพื่อใช้คำนวณหาอัตราการเลี้ยงรอด เมื่อไก่ทดลองอายุครบ 120 วัน สุ่มไก่ทดลองเพศละ 1 ตัว จากทุกเช้า ทำการชั่งน้ำหนักมีชีวิตก่อนฆ่า และนำมาชั่งอาหารแต่ให้ไก่กินน้ำสะอาดเป็นเวลา 12-16 ชั่วโมง หลังจากนั้นทำการชั่งน้ำหนักมีชีวิตหลังจากอดอาหาร แล้วทำการฆ่าโดยตัดแปลงจากวิธีของ Chotesangasa & Gongrattananun (1999) และทำการบันทึกคุณภาพซากตามแบบสากล ได้แก่ คะแนนเกรดซาก น้ำหนักมีชีวิต น้ำหนักเนื้ออก น้ำหนักแข้งและเท้า น้ำหนักอวัยวะภายใน และน้ำหนักชิ้นส่วนเนื้อที่ได้จากการชำแหละ เพื่อนำมาคำนวณหาเปอร์เซ็นต์ซาก เปอร์เซ็นต์ชิ้นส่วนตัดแต่ง เปอร์เซ็นต์น้ำหนักปีก เปอร์เซ็นต์น้ำหนักสะโพก เปอร์เซ็นต์น้ำหนักน่อง เปอร์เซ็นต์น้ำหนักหัวและคอ เปอร์เซ็นต์น้ำหนักตับ เปอร์เซ็นต์น้ำหนักก้น และ เปอร์เซ็นต์น้ำหนักไขมันในช่องท้อง

การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ

นำข้อมูลที่ได้นำมาทำการวิเคราะห์เพื่อหาค่าความแปรปรวน (analysis of variances, ANOVA) และเปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างค่าเฉลี่ยในแต่ละกลุ่มการทดลอง ด้วยวิธี Duncan's new multiple range test (Steel & Torrie, 1980) ด้วยโปรแกรม SAS (SAS, 2012) กำหนดระดับความแตกต่างของค่าเฉลี่ยระหว่างทรีทเมนต์ที่ระดับนัยสำคัญทางสถิติที่ $P < 0.05$

ผลและวิจารณ์ผลการวิจัย

การศึกษาการเสริมน้ำหมักชีวภาพจากเปลือกมังคุดในน้ำดื่มต่อสมรรถนะการผลิตและคุณภาพซากของไก่พื้นเมืองลูกผสมในครั้งนี้ มีสูตรอาหารชั้น 3 ระยะ คือ ไก่พื้นเมืองอายุ 14-21 วัน อายุ 22-42 วัน และอายุ 43-120 วัน โดยสูตรอาหารทดลองมีระดับโปรตีน 20.11 เปอร์เซ็นต์ พลังงาน 3,063.95 Kcal/kg ระดับโปรตีน 16.35 เปอร์เซ็นต์ พลังงาน 3,141.23 Kcal/kg และระดับโปรตีน 14.29 เปอร์เซ็นต์ พลังงาน 3,066.57 Kcal/kg ตามลำดับ ซึ่งระดับโปรตีนและพลังงานในสูตรอาหารชั้นทั้ง 3 ระยะ ได้จากการคำนวณตามคำแนะนำของ Chaiyanukulkiti et al. (1991) Panja (1999) และ Polsiri (2001) (Table 1)

ผลของน้ำหมักชีวภาพจากเปลือกมังคุดในน้ำดื่มต่อสมรรถนะการผลิตไก่พื้นเมืองลูกผสม

การศึกษาผลของน้ำหมักชีวภาพจากเปลือกมังคุดในน้ำดื่มต่อสมรรถนะการผลิตไก่พื้นเมืองลูกผสม ดังแสดงใน Table 2 พบว่าปริมาณการกินได้ของไก่พื้นเมืองลูกผสมอายุ 22-42 วัน ในกลุ่มที่ได้รับน้ำหมักชีวภาพจากเปลือกมังคุดในน้ำดื่มที่ระดับ 0 และ 30 มิลลิลิตร/ลิตร มีค่าเท่ากับ 39.86 กรัมต่อวัน และ 39.91 กรัมต่อวัน ตามลำดับ มีค่าสูงกว่ากลุ่มที่ได้รับน้ำหมักชีวภาพจากเปลือกมังคุดในน้ำดื่มที่ระดับ 10 และ 50 มิลลิลิตร/ลิตร ($P < 0.01$) ปริมาณการกินได้ของไก่พื้นเมืองลูกผสมอายุ 43-120 วัน ในกลุ่มที่ได้รับน้ำหมักชีวภาพจากเปลือกมังคุดในน้ำดื่มที่ระดับ 0 และ 50 มิลลิลิตร/ลิตร มีค่าเท่ากับ 60.49 กรัมต่อวัน และ 61.01 กรัมต่อวัน ตามลำดับ มีค่าสูงกว่ากลุ่มที่ได้รับน้ำหมักชีวภาพจากเปลือกมังคุดในน้ำดื่มที่ระดับ 10 และ 30 มิลลิลิตร/ลิตร ($P < 0.01$) อย่างไรก็ตาม ปริมาณการกินได้โดยเฉลี่ยตลอดการทดลองของกลุ่มที่ได้รับน้ำหมักชีวภาพจากเปลือกมังคุดในน้ำดื่มที่ระดับ 50 มิลลิลิตร/ลิตร มีค่าเท่ากับ 57.31 กรัมต่อวัน มีปริมาณการกินได้สูงกว่าทุกทรีทเมนต์ ($P < 0.01$) ซึ่งปัจจัยต่าง ๆ ที่ส่งผลให้ปริมาณการกินได้ในกลุ่มที่ได้รับน้ำหมักชีวภาพจากเปลือกมังคุดในน้ำดื่มมีค่าสูงกว่าหรือต่ำกว่ากลุ่มควบคุมอาจเนื่องจากรสชาติของอาหาร ระบบการเลี้ยง และปัจจัยทางสิ่งแวดล้อมอื่น ๆ (Merennungba et al., 2024) โดยทั่วไปความต้องการอาหารที่เพิ่มขึ้นส่งผลให้อัตราการเจริญเติบโตมากขึ้น ไก่เนื้อกินอาหารเพิ่มขึ้นเพื่อให้เพียงพอต่อความต้องการดำรงชีพและความอยากอาหาร โดยพบว่าไก่เนื้อที่มีขนาดใหญ่มีความต้องการอาหารมากกว่าไก่เนื้อที่มีขนาดเล็ก (Rahman et al., 2022)

Table 1 Ingredients and nutrients composition of diets

Ingredients (kg)	Ingredients of diets		
	14 - 21 d	22 - 42 d	43 - 120 d
Maize	44	40	40.5
broken-milled rice	15.5	16	17.5
Rice bran	9	8.75	9
cassava chip	0	12.25	12
Soybean oil	1	0.5	0
Soybean meal	16.5	11.5	8.5
Fish meal (55 % CP)	8.5	7.5	6.5
Oyster shell	2	1	2.5
Di-calcium phosphate	0.5	0.5	1.5
L-lysine	2	1	1
Salt	0.5	0.5	0.5
Premix	0.5	0.5	0.5
Total	100	100	100
Crude protein (%)	20.11	16.35	14.29
ME (Kcal/kg)	3,063.95	3,141.23	3,066.57

อัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นน้ำหนักของไก่พื้นเมืองลูกผสม อายุระหว่าง 43-120 วัน และอายุระหว่าง 14-120 วัน ในกลุ่มที่ได้รับ น้ำหมักชีวภาพจากเปลือกมั่งคุดในน้ำดื่มที่ระดับ 50 มิลลิลิตร/ลิตร เท่ากับ 2.66 และ 2.67 มีค่าต่ำกว่ากลุ่มที่ได้รับน้ำหมักชีวภาพจาก เปลือกมั่งคุดในน้ำดื่มที่ระดับ 0 10 และ 30 มิลลิลิตร/ลิตร ($P < 0.01$) (Table 2) จุลินทรีย์ที่มีประสิทธิภาพส่วนมากเป็นแบคทีเรียแกรมบวก (Department of Agriculture, 2003) ได้แก่ กลุ่ม *Lactobacillus* และ *Bacillus* ซึ่งจุลินทรีย์ *Lactobacillus* นี้สามารถยับยั้ง เชื้อจุลินทรีย์ก่อโรคกลุ่ม *Salmonella E. coli* และ *Clostridium botulinum* ได้เป็นอย่างดีและส่งเสริมการใช้ประโยชน์ของอาหาร กระตุ้นการสร้างภูมิคุ้มกันโรคในลำไส้ และ *Bacillus* สามารถสร้าง เอนไซม์ช่วยย่อยโปรตีนและแป้ง เช่น amylase protease hemi-cellulase ทำให้อาหารดูดซึมไปใช้ประโยชน์ได้สูงขึ้น (Kaewmanee, 2010) โดยบทบาทของจุลินทรีย์กลุ่มนี้จะเข้าเกาะกับผนังระบบ ทางเดินอาหาร เพื่อป้องกันแบคทีเรียที่เป็นโทษเข้าเกาะผนังระบบ ทางเดินอาหาร ทำให้การย่อยและการดูดซึมอาหารเป็นปกติและยัง ช่วยเพิ่มจำนวนของจุลินทรีย์ที่เป็นประโยชน์ต่อร่างกายได้ (Mitchell & Kenworthy 1976) ดังนั้นเมื่อสัตว์กินน้ำที่มีส่วนประกอบของ จุลินทรีย์เหล่านี้ก็จะทำให้เพิ่มจุลินทรีย์ที่มีประโยชน์ในร่างกายและ จุลินทรีย์เหล่านี้ไปช่วยในกระบวนการย่อยและการดูดซึมอาหารดีขึ้น จึงส่งผลให้ร่างกายของสัตว์สามารถนำโภชนาไปใช้ประโยชน์ได้อย่าง เต็มที่และส่งผลให้ปริมาณการกินได้เพิ่มสูงขึ้น และอัตราการเปลี่ยน อาหารเป็นน้ำหนักดีขึ้น รวมทั้งเปลือกมั่งคุดประกอบด้วย สารประกอบฟีนอลิก เช่น สารแอลฟา-แมงโกสทิน เป็นสารในกลุ่ม แซนโทน (xanthone) มีปริมาณเท่ากับ 11-18 เปอร์เซ็นต์ สารกลุ่ม แอนโธไซยานิน และสารแทนนิน มีปริมาณ 7-14 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งสาร เหล่านี้สามารถออกฤทธิ์ทางชีวภาพและมีบทบาทสำคัญในการ

ปรับปรุงผลผลิตปศุสัตว์ (Bramardipa et al., 2019) โดยเฉพาะมีฤทธิ์ ด้านอนุมูลอิสระ (antioxidant) และสามารถกระตุ้นภูมิคุ้มกันใน ร่างกายของสัตว์ (Núñez-Sellés et al., 2007) เมื่อร่างกายของสัตว์มี ภูมิคุ้มกันเพิ่มขึ้น ส่งผลให้สัตว์มีสุขภาพและร่างกายแข็งแรงและกิน อาหารได้มากขึ้น และสารประกอบแซนโทนในเปลือกมั่งคุดมีบทบาท สำคัญในการซ่อมแซมโครงสร้างวิลไล (villi) ในลำไส้และสามารถยับยั้ง การเจริญเติบโตของแบคทีเรียที่ก่อโรคในลำไส้ ส่งผลให้การดูดซึม สารอาหารเข้าสู่ร่างกายเพิ่มสูงขึ้น และน้ำหนักตัวเพิ่มมากขึ้น (Adriani et al., 2018) โดยทั่วไปพบว่าสารประกอบออกฤทธิ์ทางชีวภาพที่พบ ในพืชสมุนไพรสามารถกระตุ้นความอยากอาหารและเพิ่มปริมาณการ กินได้และเพิ่มการหลั่งเอนไซม์ในการย่อยอาหาร กระตุ้นภูมิคุ้มกัน เป็นสารต้านอนุมูลอิสระ และสารต้านจุลินทรีย์ (Toghyani et al., 2010)

เปอร์เซ็นต์การเลี้ยงรอดของไก่พื้นเมืองลูกผสมอายุ 14-21 วัน ในกลุ่มที่ได้รับน้ำหมักชีวภาพจากเปลือกมั่งคุดในน้ำดื่มที่ระดับ 0 10 และ 50 มิลลิลิตร/ลิตร มีค่าเท่ากับ 98.75 98.80 และ 98.80 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ($P < 0.01$) และไก่พื้นเมืองลูกผสมอายุ 22-42 วัน และอายุ 14-120 วัน ที่ได้รับน้ำหมักชีวภาพจากเปลือกมั่งคุดในน้ำ ดื่มที่ระดับ 10 และ 50 มิลลิลิตร/ลิตร มีเปอร์เซ็นต์การเลี้ยงรอด เท่ากับ 98.75 และ 98.75 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ($P < 0.01$) (Table 2) ทั้งนี้อาจเนื่องจากเปลือกมั่งคุดมีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ ด้านการ อักเสบและต้านเชื้อแบคทีเรีย และสามารถกระตุ้นระบบภูมิคุ้มกันใน ไก่เนื้อโดยเพิ่มจำนวนเซลล์เม็ดเลือดขาวชนิดลิมโฟไซด์และชนิดเฮท เทอโรฟิล เมื่อระบบภูมิคุ้มกันของร่างกายไก่เพิ่มขึ้น สามารถป้องกัน การเกิดโรคและส่งผลให้สัตว์มีสุขภาพดีและแข็งแรง (Ele et al., 2018) รวมทั้งจุลินทรีย์ที่มีประสิทธิภาพที่พบในน้ำหมักชีวภาพ ส่วนมากอยู่ในกลุ่ม *Lactobacillus* และ *Bacillus* โดยจุลินทรีย์กลุ่ม

Lactobacilli สามารถยับยั้งจุลชีพก่อโรค เช่น *Salmonella* spp. และ *E. coli* ได้ (Boguslawska-Tryk et al., 2012) โดยจุลินทรีย์กลุ่ม *Lactobacillus* สามารถผลิตกรดอินทรีย์ เช่น กรดแลคติกและกรดอะซิติก เป็นต้น และสามารถผลิต Bacteriocin Bacteriostatics และ Bacteriocides ซึ่งทำหน้าที่ในการยับยั้งเชื้อก่อโรคในท่อทางเดิน

อาหาร เช่น *Salmonella Campylobacter* และ *E. coli* เป็นต้น (Nabizadeh, 2012; De Maesschalck et al., 2015) ดังนั้นเมื่อไก่ทดลองได้รับน้ำหมักชีวภาพจากเปลือกมังคุดในน้ำดื่มจึงทำให้เปอร์เซ็นต์การเลี้ยงรอดเพิ่มมากขึ้น

Table 2 Supplementation fermented bio-extracts from mangosteen's peel in drinking water on production performance in crossbred Thai native chickens

Items	Fermented bio-extracts from mangosteen's peel level (mL.) in water 1,000 ml				SEM	P-value	
	0	10	30	50		Sex	Treatment
Initial weight (g)	34.43	34.21	35.19	35.03			
Final weight (g)	1,695.43	1,687.46	1,705.32	1,673.20			
Weight gain (g/h/d)							
14 to 21 d	12.68	13.01	13.84	14.10	1.01	0.56	0.08
22 to 42 d	14.37	14.04	14.68	14.78	0.70	0.98	0.43
43 to 120 d	14.98	14.82	15.38	15.06	0.26	0.98	0.32
Average 14 to 120 d	16.93	16.88	17.03	16.83	0.18	0.24	0.87
Feed intake (g/h/d)							
14 to 21 d	28.38	27.68	27.40	26.88	0.86	0.49	0.07
22 to 42 d	39.86 ^A	37.94 ^B	39.91 ^A	37.46 ^B	0.21	<0.01	<0.01
43 to 120 d	60.49 ^A	59.89 ^B	58.92 ^C	61.01 ^A	0.22	<0.01	<0.01
Average 14 to 120 d	54.56 ^D	56.04 ^C	56.69 ^B	57.31 ^A	0.19	<0.01	<0.01
Feed conversion ratio							
14 to 21 d	2.56	2.51	2.64	2.63	0.07	0.37	0.82
22 to 42 d	2.77	2.78	2.79	2.68	0.01	0.65	0.32
43 to 120 d	2.88 ^A	2.84 ^{AB}	2.76 ^B	2.66 ^C	0.00	0.95	<0.01
Average 14 to 120 d	2.87 ^{AB}	2.89 ^A	2.80 ^B	2.67 ^C	0.00	0.57	<0.01
Survival rate (%)							
14 to 21 d	98.75 ^A	98.80 ^A	97.50 ^B	98.80 ^A	0.31	0.91	<0.01
22 to 42 d	97.50 ^B	98.75 ^A	97.50 ^B	97.50 ^B	0.18	0.39	<0.01
43 to 120 d	98.75	98.75	98.80	98.80	0.17	0.46	0.99
Average 14 to 120 d	97.50 ^B	97.50 ^B	97.50 ^B	98.75 ^A	0.04	0.84	<0.01
Cost of production (baht/kg of weight gain)							
14 to 21 d	34.57 ^D	35.27 ^C	37.29 ^B	38.12 ^A	0.18	0.39	<0.01
22 to 42 d	32.67 ^D	33.55 ^C	36.47 ^B	37.08 ^A	0.21	0.67	<0.01
43 to 120 d	32.90 ^B	33.15 ^B	37.81 ^A	38.03 ^A	0.34	0.92	<0.01
Average 14 to 120 d	34.72 ^C	35.90 ^B	36.28 ^B	36.90 ^A	0.23	0.50	<0.01

^{A, B, C, D} in the same row with different superscripts are significantly different ($P < 0.01$).

อย่างไรก็ตาม Hafez et al. (2022) รายงานว่าความหนาแน่นของไก่เนื้อที่สูงขึ้นส่งผลให้อัตราการตายของไก่เนื้อเพิ่มขึ้นระหว่างการเลี้ยง ทำให้ขาและผิวหนังอักเสบ เกิดรอยขีดข่วนจากการพักผ่อน การเคลื่อนไหว และการจิกพื้นดินลดลง ซึ่งการเลี้ยงไก่เนื้ออย่างหนาแน่นส่งผลเสียต่อสวัสดิภาพของไก่เนื้อหลายประการ นอกจากนี้อาจมีความสัมพันธ์กับสภาพแวดล้อม สภาพภูมิอากาศที่เอื้ออำนวย อาหารมีคุณภาพ และแนวทางการเลี้ยงที่เหมาะสม (Merennungba et al., 2024) ต้นทุนค่าอาหารต่อการเพิ่มน้ำหนัก 1 กิโลกรัม ตลอดช่วงของการทดลอง มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.01$) โดยพบว่ากลุ่มที่ได้รับน้ำหมักชีวภาพ

จากเปลือกมังคุดในน้ำดื่มที่ระดับ 10 30 และ 50 มิลลิลิตร/ลิตร มีค่าเฉลี่ยของต้นทุนค่าอาหารต่อการเพิ่มน้ำหนัก 1 กิโลกรัม เท่ากับ 35.90 36.28 และ 36.90 บาท ตามลำดับ มีค่าสูงกว่ากลุ่มควบคุม ($P < 0.01$) (Table 2) ทั้งนี้เนื่องจากอัตราการเจริญเติบโตของไก่พื้นเมืองลูกผสมที่ได้รับน้ำหมักชีวภาพจากเปลือกมังคุดในน้ำดื่มอายุ 14-120 วัน มีค่าไม่แตกต่างจากกลุ่มควบคุมและประสิทธิภาพการใช้อาหารมีค่าสูงกว่ากลุ่มควบคุม ผลของน้ำหมักชีวภาพจากเปลือกมังคุดในน้ำดื่มต่อองค์ประกอบซากของไก่พื้นเมืองลูกผสม

การศึกษามูลของน้ำหมักชีวภาพจากเปลือกมังคุดในน้ำดื่มต่อ

องค์ประกอบซากของไก่พื้นเมืองลูกผสม แสดงใน Table 3 พบว่าน้ำหนักมีชีวิตของไก่พื้นเมืองลูกผสมที่ได้รับน้ำหมักชีวภาพจากเปลือกมังคุดในน้ำดื่มมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยกลุ่มที่ได้รับน้ำหมักชีวภาพจากเปลือกมังคุดในน้ำดื่มที่ระดับ 50 มิลลิลิตร/ลิตร มีน้ำหนักมีชีวิตสูงสุด ($P < 0.01$) เปรอร์เซ็นต์ชิ้นส่วนตัดแต่งและเปอร์เซ็นต์น้ำหนักก้นของไก่พื้นเมืองลูกผสมที่ได้รับน้ำหมักชีวภาพจากเปลือกมังคุดในน้ำดื่มมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยกลุ่มที่ได้รับน้ำหมักชีวภาพจากเปลือกมังคุดในน้ำดื่มที่ระดับ 30 มิลลิลิตร/ลิตร มีค่าสูงกว่ากลุ่มที่ได้รับน้ำหมักชีวภาพจากเปลือกมังคุดในน้ำดื่มที่ระดับ 0 10 และ 50 มิลลิลิตร/ลิตร ($P < 0.01$) (Table 3) ซึ่งระดับของเยื่อใยในอาหารไก่มีผลต่อการพัฒนาของก้น (Edmew et al., 2024) สอดคล้องกับ Olajide (2017) รายงานว่าก้นมีน้ำหนักเพิ่มมากขึ้นเป็นผลจากการหมักของเนื้อที่มีเยื่อใยสูงในอาหารของไก่เนื้อระยะโตเต็มที่ แต่น้ำหนักก้นจะมากหรือน้อยอาจเกิดจากน้ำหนักซากของไก่เนื้อโดยตรง สำหรับเปอร์เซ็นต์น้ำหนักตับของไก่พื้นเมืองลูกผสมที่ได้รับน้ำหมักชีวภาพจากเปลือกมังคุดในน้ำดื่มที่ระดับ 10 มิลลิลิตร/ลิตร มีค่าสูงสุด ($P < 0.01$) และเปอร์เซ็นต์ซากของกลุ่มที่ได้รับน้ำหมักชีวภาพจากเปลือกมังคุดในน้ำดื่มที่ระดับ 10 และ 50 มิลลิลิตร/ลิตร มีค่าสูงสุด ($P < 0.01$) (Table 3) ซึ่งผลผลิตซากได้รับอิทธิพลในหลายปัจจัย เช่น พันธุ์อาหารสัตว์ การชำแหละซาก น้ำหนักมีชีวิต และเพศของไก่เนื้อ

(Havenstein et al., 2003; Kierógczyk et al., 2017)

เปอร์เซ็นต์น้ำหนักปีกของไก่พื้นเมืองลูกผสมที่ได้รับน้ำหมักชีวภาพจากเปลือกมังคุดในน้ำดื่มมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยพบว่ากลุ่มที่ได้รับน้ำหมักชีวภาพจากเปลือกมังคุดในน้ำดื่มที่ระดับ 30 มิลลิลิตร/ลิตร มีค่าสูงกว่ากลุ่มที่ได้รับน้ำหมักชีวภาพจากเปลือกมังคุดในน้ำดื่มที่ระดับ 0 10 และ 50 มิลลิลิตร/ลิตร ($P < 0.05$) เปรอร์เซ็นต์น้ำหนักเนื้ออกของไก่พื้นเมืองลูกผสมที่ได้รับน้ำหมักชีวภาพจากเปลือกมังคุดในน้ำดื่มที่ระดับ 10 และ 30 มิลลิลิตร/ลิตร มีค่าสูงกว่ากลุ่มที่ได้รับน้ำหมักชีวภาพจากเปลือกมังคุดในน้ำดื่มที่ระดับ 0 และ 50 มิลลิลิตร/ลิตร ($P < 0.01$) นอกจากนี้ยังพบว่า เปรอร์เซ็นต์น้ำหนักน่อง และเปอร์เซ็นต์น้ำหนักหัวและคอของกลุ่มที่ได้รับน้ำหมักชีวภาพจากเปลือกมังคุดในน้ำดื่มมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยเปอร์เซ็นต์น้ำหนักน่องของกลุ่มที่ได้รับน้ำหมักชีวภาพจากเปลือกมังคุดในน้ำดื่มที่ระดับ 0 และ 30 มิลลิลิตร/ลิตร มีค่าสูงกว่ากลุ่มที่ได้รับน้ำหมักชีวภาพจากเปลือกมังคุดในน้ำดื่มที่ระดับ 0 และ 50 มิลลิลิตร/ลิตร ($P < 0.01$) เปรอร์เซ็นต์น้ำหนักหัวและคอของกลุ่มที่ได้รับน้ำหมักชีวภาพจากเปลือกมังคุดในน้ำดื่มที่ระดับ 0 และ 50 มิลลิลิตร/ลิตร มีค่าสูงกว่ากลุ่มที่ได้รับน้ำหมักชีวภาพจากเปลือกมังคุดในน้ำดื่มที่ระดับ 10 และ 30 มิลลิลิตร/ลิตร ($P < 0.05$)

Table 3 Supplementation fermented bio-extracts from mangosteen's peel in drinking water on carcass composition of crossbred Thai native chickens

Items	Fermented bio-extracts from mangosteen's peel level (mL.) in water 1,000 ml				SEM	P-value	
						Sex	Treatment
	0	10	30	50			
Live weight (g)	1,627.56 ^D	1,713.04 ^B	1,663.18 ^C	1,766.46 ^A	188.09	0.95	<0.01
Carcass (%)	64.64 ^B	66.63 ^A	65.21 ^B	66.04 ^A	0.24	0.64	<0.01
Carcass grade score	4.42	4.38	4.37	4.47	0.16	0.57	0.96
Dressing yield (%)	73.43 ^C	74.00 ^B	75.21 ^A	74.08 ^B	0.20	0.77	<0.01
Breast meat weight (%)	19.82 ^C	21.56 ^A	22.19 ^A	20.84 ^B	0.32	0.45	<0.01
Wing weight (%)	6.68 ^b	6.59 ^b	7.25 ^a	6.75 ^b	0.13	0.62	<0.05
Thigh weight (%)	14.25	14.73	14.19	14.92	0.27	0.66	0.07
Drumstick weight (%)	17.62 ^A	16.75 ^B	17.96 ^A	16.96 ^B	0.18	0.74	<0.01
Head and neck weight (%)	12.85 ^a	12.31 ^{ab}	11.86 ^b	12.26 ^{ab}	0.24	0.27	<0.05
Feet weight (%)	8.47	8.80	8.75	8.94	0.15	0.99	0.26
Liver weight (%)	2.58 ^B	2.85 ^A	2.54 ^B	2.63 ^B	0.02	0.69	<0.01
Heart weight (%)	0.67	0.68	0.66	0.66	0.00	0.36	0.95
Gizzard weight (%)	3.77 ^C	4.40 ^B	4.94 ^A	4.62 ^B	0.06	0.35	<0.01
Abdominal fat (%)	1.78 ^A	1.42 ^B	1.33 ^B	1.40 ^B	0.03	0.96	<0.01

A, B, C, D in the same row with different superscripts are significantly different ($P < 0.01$).

a, b, c, d in the same row with different superscripts are significantly different ($P < 0.05$).

จากผลการศึกษาก่อนองค์ประกอบซากของไก่พื้นเมืองลูกผสม พบว่าน้ำหมักชีวภาพจากเปลือกมังคุดในน้ำดื่มส่งผลต่อน้ำหนักมีชีวิต เปรอร์เซ็นต์ซาก เปรอร์เซ็นต์ชิ้นส่วนตัดแต่ง เปรอร์เซ็นต์น้ำหนักเนื้ออก เปรอร์เซ็นต์น้ำหนักน่อง เปรอร์เซ็นต์น้ำหนักตับ เปรอร์เซ็นต์น้ำหนักก้น ไชมันในช่องท้อง ($P < 0.01$) เปรอร์เซ็นต์น้ำหนักปีก และเปอร์เซ็นต์

น้ำหนักหัวและคอ ($P < 0.05$) เนื่องจากจุลินทรีย์ที่มีประสิทธิภาพในน้ำหมักชีวภาพส่วนมากเป็นแบคทีเรียกลุ่ม *Lactobacillus* และ *Bacillus* ซึ่งจุลินทรีย์ *Lactobacillus* นี้สามารถยับยั้งเชื้อจุลินทรีย์ก่อโรคกลุ่ม *Salmonella*, *Escherichia coli* และ *Clostridium botulinum* ได้เป็นอย่างดี และส่งเสริมการใช้ประโยชน์ของอาหาร

กระตุ้นการสร้างภูมิคุ้มกันโรคในลำไส้ และ *Bacillus* สามารถสร้างเอนไซม์ช่วยย่อยโปรตีนและแป้ง เช่น amylase protease hemi-cellulase ทำให้อาหารดูดซึมไปใช้ประโยชน์ได้สูงขึ้น (Kaewmanee, 2010) รวมทั้งเปลือกมังคุดมีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ และสามารถกระตุ้นภูมิคุ้มกันในร่างกายของสัตว์ (Núñez-Sellés et al., 2007) ดังนั้นเมื่อไก่ทดลองได้รับการเสริมน้ำหมักชีวภาพจากเปลือกมังคุดในน้ำดื่มจึงทำให้สัตว์มีภูมิคุ้มกันเพิ่มขึ้น ส่งผลให้สัตว์มีสุขภาพดี ร่างกายแข็งแรง และกินอาหารได้มากขึ้น ผลที่ตามมา คือ น้ำหนักมีชีวิต เเปอร์เซ็นต์ซาก เเปอร์เซ็นต์ชิ้นส่วนตัดแต่ง เเปอร์เซ็นต์น้ำหนักเนื้ออก เเปอร์เซ็นต์น้ำหนักน่อง เเปอร์เซ็นต์น้ำหนักตับ เเปอร์เซ็นต์น้ำหนักก้น ไขมันในช่องท้อง เเปอร์เซ็นต์น้ำหนักปีก และเปอร์เซ็นต์น้ำหนักหัวและคอที่สูงขึ้นด้วย (Table 3)

สำหรับกลุ่มที่ได้รับน้ำหมักชีวภาพจากเปลือกมังคุดในน้ำดื่มที่ระดับ 10 30 และ 50 มิลลิลิตร/ลิตร มีเปอร์เซ็นต์น้ำหนักไขมันช่องท้องต่ำกว่ากลุ่มควบคุม ($P < 0.01$) (Table 3) เนื่องจากเปลือกมังคุดมีสารกลุ่มแอนโธไซยานิน ซึ่งเป็นรงควัตถุหรือสารสีที่ให้สีแดงม่วงและน้ำเงินที่มีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ (Glinubon et al., 2021) สอดคล้องกับ Park et al. (1997) รายงานว่าสารต้านอนุมูลอิสระสามารถยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ไลเปสได้ ส่งผลทำให้การย่อยและการดูดซึมไขมันเข้าสู่ร่างกายลดลง รวมทั้งสามารถยับยั้งการทำงานของน้ำดีที่หลั่งจากตับ ทำให้ไขมันไม่แตกตัว และร่างกายไม่สามารถนำไขมันไปใช้ประโยชน์ได้ จึงส่งผลทำให้ระดับไขมันในร่างกายลดลง อย่างไรก็ตาม สารต้านอนุมูลอิสระที่พบในเปลือกมังคุดสามารถป้องกันการอักเสบของเซลล์ ยับยั้งการเจริญเติบโตของแบคทีเรียก่อโรค เพิ่มพื้นที่ผิวในการดูดซึมสารอาหาร จึงส่งผลให้สัตว์มีอัตราการเจริญเติบโตเพิ่มขึ้น (Widjastuti et al., 2018) ดังนั้นการเสริมน้ำหมักชีวภาพจากเปลือกมังคุดในน้ำดื่มจึงส่งผลดีต่อสมรรถนะการผลิต น้ำหนักมีชีวิต เเปอร์เซ็นต์ซาก และองค์ประกอบซากของไก่พื้นเมืองลูกผสม

สรุปผลการวิจัย

การศึกษาการเสริมน้ำหมักชีวภาพจากเปลือกมังคุดในน้ำดื่มต่อสมรรถนะการผลิตและคุณภาพซากของไก่พื้นเมืองลูกผสม สรุปได้ว่าควรทำการเสริมหมักชีวภาพจากเปลือกมังคุดในน้ำดื่มที่ระดับ 50 มิลลิลิตร/ลิตร ส่งผลให้ไก่พื้นเมืองลูกผสมมีน้ำหนักตัวเพิ่มขึ้น ปริมาณการกินได้และอัตราการเลี้ยงรอดสูง ประสิทธิภาพการเปลี่ยนอาหารดีที่สุด น้ำหนักมีชีวิตและเปอร์เซ็นต์ซากมีค่าสูงสุด ถึงแม้ว่ากลุ่มที่เสริมน้ำหมักชีวภาพจากเปลือกมังคุดในน้ำดื่มมีต้นทุนค่าอาหารต่อการเพิ่มน้ำหนัก 1 กิโลกรัม สูงกว่ากลุ่มควบคุม แต่กลุ่มที่เสริมน้ำหมักชีวภาพจากเปลือกมังคุดในน้ำดื่มมีเปอร์เซ็นต์ไขมันช่องท้องต่ำกว่ากลุ่มควบคุม ซึ่งถือได้ว่าเป็นที่ต้องการของผู้บริโภคเนื้อไก่ในกลุ่มที่ดูแลสุขภาพและรักสุขภาพ

กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้วิจัยขอขอบพระคุณมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก ที่สนับสนุนงบประมาณในการทำงานวิจัยในครั้งนี้ ขอขอบพระคุณสาขาวิชาเทคโนโลยีการผลิตสัตว์ คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก วิทยาเขตจันทบุรี ที่ให้ความอนุเคราะห์ในการใช้เครื่องมือและสถานที่ในการดำเนินการวิจัย และขอขอบพระคุณ คณาจารย์ และเจ้าหน้าที่มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก วิทยาเขตจันทบุรีทุกท่านที่มีส่วนช่วยทำให้งานวิจัยดังกล่าวสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

References

- Adriani, L., Widjastuti, T., Nurdianti, R. R., & Wiradimadja, R. (2018). Effects of mangosteen peel extract (*Garcinia mangostana* L.) on blood lipid of Sentul chicken growth phase. *Proceeding of the 3rd international conference of integrated intellectual community* (pp. 1-5). Hannover, Germany: Elsevier Inc.
- Boguslawska-Tryk, M., Piotrowska, A., & Burlikowska, K. (2012). Dietary fructans and their potential beneficial influence on health and performance parameters in broiler chickens. *Journal of Central European Agriculture*, 13(2), 272–291. doi: 10.5513/JCEA01/13.2.1045
- Bramardipa, A. A. B., Adi, A. A. A. M., & Putra, I. G. A. A. (2019). Effectiveness of mangosteen peel extract (*Garcinia mangostana* Linn.) in minimizing the immunosuppressive effect of monosodium glutamate. *Indonesian Veterinary Journal*, 20(2), 211 – 218. doi: 10.19087/jveteriner.2019.20.2.211
- Chaiyanukulkiti, N., Rojanastid, S., Pojun, S., & Pusittigul, I. (1991). *Nutrient recommendation for poultry 2 native chicken (growing period)*. Accessed September 22, 2024. Retrieved from <https://nutrition.dld.go.th/nutrition/> (in Thai)
- Chantsavang, S., Sritooma, T., & Watcharangkul, P. (1998). Influence of effective microorganisms on the quality of poultry products. *Proceeding of the 36th Kasetsart university annual conference* (pp. 48). Bangkok, Thailand: Kasetsart University. (in Thai)
- Chantsavang, S., Triwutanon, O., & Chaiwatanasin, W. (1998). Effect of supplemented with microbial medicinal plant extract in broiler drinking water. *Kasetsart Journal (Natural Science)*, 32(3), 285-291. (in Thai)

- Chaovanalikit, A., & Mingmuang, A. (2007). Anthocyanin and total phenolic content of mangosteen and its juices. *Srinakharinwirot Science Journal*, 23(1), 68-78. (in Thai)
- Chotesangasa, R., & Gongrattananun, N. (1999). Growth and carcass quality of native chickens raised under the natural day length and the photoperiod of twenty-three hours a day. *Kasetsart Journal (Natural Science)*, 33(1), 60-74. (in Thai)
- Das, A., Gupta, M. D., Khan, K. I., Momin, M., & Miaz, O. F. (2018). Genetic and phenotypic parameter estimates for body weight and egg production at sexual maturity in Hilly x Fayoumi crossbred chickens. *Asian Journal of Medical and Biological Research*, 4(2), 186-192. doi: 10.3329/ajmbr.v4i2.38254
- De Maesschalck, C., Eeckhaut, V., Maertens, L., De Lange, L., Marchal, L., Nezer, C., De Baere, S., Croubels, S., Daube, G., Dewulf, J., Haesebrouck, F., Ducatelle, R., Taminiau, B., & Van Immerseel, F. (2015). Effects of xylo-oligosaccharides on broiler chicken performance and microbiota. *Applied and Environmental Microbiology*, 81(17), 5880–5888. doi: 10.1128/AEM.01616-15
- Department of Agriculture. (2003). *Science information on biological fermentation water (Part 1)*. Bangkok, Thailand: Quick Print Offset. (in Thai)
- Edmew, T., Muleta, E., & Tesfaye, E. (2024). Evaluation of carcass characteristics and meat composition of broiler chicken fed graded levels of tannia (*Xanthosoma sagittifolium*) corn meal as a replacement for maize. *Journal of Applied Animal Research*, 52(1), 1-7. doi: 10.1080/09712119.2024.2335932
- Ele, J. J. G., Migalbin, J. R., Sepelagio, E. G., Jimenez, V. B., & Lacia, P. G. F. (2018). Immune response of broiler chickens fed diets with different levels of mangosteen (*Garcinia mangostana* Linn.) rind powder. *Asia Pacific Journal of Multidisciplinary Research*, 6(2), 35-44.
- Ganabadi, S., Mutuviren, S., Hilmi, M. A., Babjee, S. M. A., Yaakub, H., & Fakurazi, S. (2009). Carcass composition of jungle fowl in comparison with broilers and indigenous chicken. *Asian Journal of Animal Sciences*, 3(1), 13-17. doi: 10.3923/ajas.2009.13.17
- Ghaly, A. E., Ramakrishnan, V. V., Brooks, M. S., Budge, S. M., & Dave, D. (2013). Fish processing wastes as a potential source of proteins, amino acids and oils: a critical review. *Journal of Microbial & Biochemical Technology*, 5(4), 107-129. doi: 10.4172/1948-5948.1000110
- Glinubon, J., Siriboon, C., Salangam, I., Nopparatmaitree, M., Chaiwang, N., & Bunmee, T. (2021). Effect of mangosteen (*Garcinia mangostana* L.) peel powder supplementation in broiler diet on growth performance, carcass composition and meat quality. *Khon Kaen Agriculture Journal*, 50(2), 516-526. doi: 10.14456/kaj.2022.00. (in Thai)
- Gondokesumo, M. E., Pardjianto, B., Sumitro, S. B., Widowati, W., & Dimiyati A. (2018). Microstructural characterization of the *Garcinia mangostana* fruit at different maturity level. *Journal of Natural Remedies*, 18(2), 63–70. doi: 10.18311/jnr/2018/20936
- Hafez, M. H., El-Kazaz, S. E., Alharthi, B., Ghamry, H. I., Alshehri, M. A., Sayed, S., Shukry, M., & El-Sayed, Y. S. (2022). The impact of curcumin on growth performance, growth-related gene expression, oxidative stress, and immunological biomarkers in broiler chickens at different stocking densities. *Animals (Basel)*, 12(8), 958. doi: 10.3390/ani12080958
- Havenstein, G. B., Ferket, P. R., & Qureshi, M. A. (2003). Carcass composition and yield of 1957 versus 2001 broilers when fed representative 1957 and 2001 broiler diets. *Poultry Science*, 82(10), 1509-1518. doi: 10.1093/ps/82.10.1509
- Higa, T., & Parr, J. F. (1994). *Beneficial and effective microorganisms for a sustainable agriculture and environment*. Shizuoka, Japan: International Nature Farming Research Centre.
- Jaiwai, P., Limwattana, C., Sunkwan, J., & Pimkamlai, O. (2012). Effect of supplementing fermented bio-extracts from green plant on production performance, carcass quality and production cost of Thai native chickens in Chiang Rai province. *Animal Feed Development Seminar* (pp. 1-7). Phetchaburi, Thailand: Bureau of Animal Nutrition Development, Department of Livestock Development. (in Thai)

- Kaewmanee, K. (2010). *Effects of dietary supplementation of guava leaf and mangosteen peel powder on immunity intestinal morphology and E. coli count in broilers*. (Master's thesis). Khon Kaen, Thailand: Khon Kaen University. (in Thai)
- Kierończyk, B., Rawski, M., Józefiak, D., & Świątkiewicz, S. (2017). Infectious and non-infectious factors associated with leg disorders in poultry—a review. *Annals of Animal Science*, 17(3), 645-669. doi: 10.1515/aoas-2016-0098
- Kromratanaporn, P. (2012). *Method of biological fermentation and herbs*. Accessed June 3, 2024. Retrieved from <https://www.kongyang.go.th/doc/1466757157.pdf>. (in Thai)
- Merennungba, Zuyie, R., Nizamuddin, Vidyarthi, V. K., Rutsa, M. C., & Singh, R. (2024). Effect of Amla (*Embolica officinalis*) powder on the performance of broiler chicken under different stocking density. *International Journal of Agricultural Science*, 9, 26-39. doi: 10.13140/RG.2.2.19464.23043
- Mitchell, I. D., & Kenworthy, R. (1976). Investigations on a metabolite from *Lactobacillus bulgaricus* which neutralizes the effect of enterotoxin from *Escherichia coli* pathogenic for pigs. *Journal of Applied Bacteriology*, 41(1), 163-174. doi: 10.1111/j.1365-2672.1976.tb00615.x
- Nabizadeh, A. (2012). The effect of inulin on broiler chicken intestinal microflora, gut morphology, and performance. *Journal of Animal and Feed Sciences*, 21(4), 725–734. doi: 10.22358/jafs/66144/2012
- Nariç, D., Aksoy, T., Önenç, A., & Çürek, D. I. (2015). The influence of body weight on carcass and carcass part yields, and some meat quality traits in fast- and slow-growing broiler chickens. *Kafkas Üniversitesi veteriner Fakültesi Dergisi*, 21(4), 527-534. doi: 10.9775/kvfd.2014.12878
- Núñez-Sellés, A. J., Delgado-Hernández, R., Garrido-Garrido, G., García-Rivera, D., Guevara-García, M., & Pardo-Andreu, G. L. (2007). The paradox of natural products as pharmaceuticals. experimental evidences of a mango stem bark extract. *Pharmacological Research*, 55(5), 351-358. doi: 10.1016/j.phrs.2007.01.004
- Olajide, R. (2017). Replacement value of fermented wild cocoyam [*Colocasia esculenta* (L.) Schott] corm meal for maize in broiler finisher diets. *Journal of Animal Production Research*, 29(2), 63–73.
- Panja, P. (1999). A study on the appropriated level of protein on the performance of indigeneous chickens in various period of ages. *Kasetsart Journal (Natural Science)*, 33(4), 543–553. (in Thai)
- Park, H., Seib, P. A., & Chung, O. K. (1997). Fortifying bread with a mixture of wheat fiber and psyllium husk fiber plus three antioxidants. *Cereal Chemistry*, 74(3), 207-211. doi: 10.1094/CHEM.1997.74.3.207
- Polsiri, M. (2001). *Optimum protein and energy level in diet for Southern indigenous and indigenous crossbred chicken*. (Master's thesis). Songkla, Thailand: Prince of Songkla University. (in Thai)
- Prachachit, J., Jitajak, T., Bootyothee, K., & Arungamol, S. (2019). Effect of supplementation bio-extracts from *Andrographis paniculata* and *Phyllanthus amarus* on production performance and carcass quality in broilers. *Khon Kaen Agriculture Journal*, 47(Suppl. 1), 813-818. (in Thai)
- Rahman, M. A., Hossain, M. M., Rahman, M. M., Ali, M. S., Hossain, M. A., & Hashem, M. A. (2022). Growth performance and meat quality of rice fed broiler and native chicken genotypes in Bangladesh. *Meat Research*, 2(3), 1-9. doi:10.55002/mr.2.3.23
- Ritchoo, K. (2019). *Effect of rearing system on quality, physical properties and chemical composition of Betong chicken meat*. (Master's thesis). Songkla, Thailand: Prince of Songkla University. (in Thai)
- Sakdisseata, N., & Na Nakorn, S. (2002). *Mangosteen*. Bangkok, Thailand: RUMTHAI Press Co., Ltd. (in Thai)
- Scientific Committee on Animal Health and Animal Welfare. (2000). *The welfare of chickens kept for meat production (broilers)* (Report). Accessed June 1, 2024. Retrieved from https://food.ec.europa.eu/system/files/2020-12/sci-com_scah_out39_en.pdf.
- Statistical Analysis System (SAS). (2012). *Statistical analysis system, user's guide*. Statistical (9th ed.). North Carolina, United States: SAS Institute Inc.
- Steel, R. G., & Torrie, J. H. (1980). *Principles and procedures of statistics: a biometrical approach*. (2nd ed.). New York, United States: McGraw-Hill.

- Suwanlee, S., & Salagham, I. (2018). Productive performance of Thai indigenous crossbred chicken between Pradu Hangdam sire and broiler-layer dam. *Khon Kaen Agriculture Journal*, 46(Suppl. 3), 517-524. (in Thai)
- Toghyani, M., Toghyani, M., Gheisari, A., Ghalamkari, G., & Mohammadrezaei, M. (2010). Growth performance, serum biochemistry and blood hematology of broiler chicks fed different levels of black seed (*Nigella sativa*) and peppermint (*Mentha piperita*). *Livestock Science*, 129(1-3), 173-178. doi: 10.1016/j.livsci.2010.01.021
- Widjastuti, T., Abun, R., Wiradimadja, R., Setiyawan, H., & Rusmana, D. (2018). The effect of ration containing mangosteen peel meal (*Garcinia mangostana*) on final body weight, carcass composition and cholesterol content of Sentul chicken. *Proceeding of the 3rd international conference of integrated intellectual community* (pp. 1-5). Hannover, Germany: Elsevier Inc.
- Widowati, W., Darsono, L., Suherman, J., Yelliantty, Y., & Maesaroh, M. (2014). High performance liquid chromatography (HPLC) analysis, antioxidant, antiaggregation of mangosteen peel extract (*Garcinia mangostana* L.). *International Journal of Bioscience, Biochemistry and Bioinformatics*, 4(6), 458-466. doi: 10.17706/ijbbb.2014.4.6.458-466

Research article

Supplementation fermented bio-extracts from mangosteen's peel in drinking water on production performance and carcass traits of crossbred Thai native chickens

Wiwat Waramit¹ Hathaichanok Insoongnern² and Tipwadee Prapaiwong^{1*}

¹Department of Animal Production Technology, Faculty of Agro-Industrial Technology, Rajamangala University of Technology Tawan-ok, Chanthaburi Campus, Khao Khitchakut District, Chanthaburi Province, Thailand 22210

²Department of Animal Sciences, Faculty of Agriculture and Natural Resources, Rajamangala University of Technology Tawan-ok, Bang Phra Campus, Si Racha District, Chonburi Province, Thailand 20110

ARTICLE INFO

Article history

Received: 13 June 2024

Revised: 6 August 2024

Accepted: 26 September 2024

Online published: 15 October 2024

Keyword

Fermented bio-extracts

Mangosteen's peel

Crossbred Thai native chickens

ABSTRACT

In this study, the effects of supplementation with fermented bio-extracts from mangosteen peel in drinking water on the production performance and carcass composition of crossbred Thai native chickens (Pradu-Hangdum x Leuang Hang Kao) were investigated. A total of 120 broilers were assigned to four groups, each supplemented with fermented bio-extracts from mangosteen peel in drinking water at levels of 0, 10, 30, and 50 ml/l. A randomized complete block design (RCBD) was used, and the results indicated that the group supplemented with 50 ml/l of fermented bio-extracts from mangosteen peel had a higher average feed intake throughout the experiment compared to the other treatments ($P < 0.01$). Native hybrid chickens aged 43–120 days and 14–120 days that received 50 ml/l of fermented bio-extracts in drinking water had the lowest feed conversion ratio ($P < 0.01$). The groups that received 10 and 50 ml/l of fermented bio-extracts in drinking water had the highest average survival rates throughout the experiment ($P < 0.01$). However, the groups supplemented with fermented bio-extracts from mangosteen peel had higher production costs (baht/kg of weight gain) than the control group ($P < 0.01$). Moreover, supplementation with fermented bio-extracts from mangosteen peel in drinking water significantly affected live weight, % carcass, % dressing yield, % breast meat weight, % drumstick weight, % Liver weight, % gizzard weight, % abdominal fat ($p < 0.01$), % wing weight, and % head and neck weight ($p < 0.05$). Specifically, the groups supplemented with fermented bio-extracts from mangosteen peel had a lower % of abdominal fat compared to the control group ($P < 0.01$). Therefore, supplementation with bio-extracts from mangosteen peel in drinking water positively influences the production performance and carcass quality of hybrid native chickens.

*Corresponding author

E-mail address: tipwadee_pr@rmutto.ac.th (T. Prapaiwong)

Online print: 15 October 2024 Copyright © 2024. This is an open access article, production, and hosting by Faculty of Agricultural Technology, Rajabhat Maha Sarakham University. <https://doi.org/10.14456/paj.2024.43>



บทความวิจัย

ผลการใช้วัตถุดิบแหล่งโปรตีนทางเลือกทดแทนกากถั่วเหลืองบางส่วนในอาหารไก่ไข่

สุวิทย์ ทิพอุเทน^{1*} ธราดล จิตจักร¹ จักพรรณี ประชาชาติ¹ ทาริกา ทิพอุเทน² นิภาพร วงศ์สีดา¹ ธนวัฒน์ พรหมแสง¹
 จิระศักดิ์ เสนานิคม¹ บริพัตร เหลืองประมวณ¹ โกวิทย์ พชรบุษราคัมกุล³ สายันท์ สืบผาง⁴ และชัยพฤกษ์ หงษ์ลัดดาพร⁵

¹สาขาวิชาสัตวศาสตร์ คณะเทคโนโลยีการเกษตร มหาวิทยาลัยราชภัฏสุราษฎร์ธานี อำเภอเมืองสุราษฎร์ธานี จังหวัดสุราษฎร์ธานี ประเทศไทย 47000

²สาขาวิชาการประมง คณะเทคโนโลยีการเกษตร มหาวิทยาลัยราชภัฏสุราษฎร์ธานี อำเภอเมืองสุราษฎร์ธานี จังหวัดสุราษฎร์ธานี ประเทศไทย 47000

³สาขาวิชาเทคโนโลยีการอาหาร คณะเทคโนโลยีการเกษตร มหาวิทยาลัยราชภัฏสุราษฎร์ธานี อำเภอเมืองสุราษฎร์ธานี จังหวัดสุราษฎร์ธานี ประเทศไทย 47000

⁴สาขาวิชาเทคโนโลยีการเกษตร คณะศิลปศาสตร์และวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏศรีสะเกษ อำเภอเมืองศรีสะเกษ จังหวัดศรีสะเกษ ประเทศไทย 33000

⁵สาขาวิชาสัตวศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏเลย อำเภอเมืองเลย จังหวัดเลย ประเทศไทย 42000

ข้อมูลบทความ	บทคัดย่อ
Article history รับ: 7 สิงหาคม 2567 แก้ไข: 19 กันยายน 2567 ตอบรับการตีพิมพ์: 16 ตุลาคม 2567 ตีพิมพ์ออนไลน์: 24 ตุลาคม 2567 คำสำคัญ น้ำหนักเศษปลา กากมันสำปะหลัง ไบโกระถิน ไบหม่อน คุณภาพไข่	ปัจจุบันวัตถุดิบแหล่งโปรตีนอาหารสัตว์มีราคาสูงขึ้นอย่างต่อเนื่อง หากสามารถใช้วัตถุดิบที่มีราคาถูกทดแทนโดยไม่กระทบต่อการให้ผลผลิตและคุณภาพของไข่ไก่อาจทำให้ผู้เลี้ยงไก่ไข่มีทางเลือกเพิ่มขึ้น งานวิจัยนี้จึงมุ่งศึกษาผลของแหล่งโปรตีนทางเลือกต่อการให้ผลผลิตและคุณภาพไข่ไก่ วางแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ ใช้ไก่ไข่สายพันธุ์ไฮไลน์บราวน์ (Hy-Line Brown) อายุ 23 สัปดาห์ จำนวน 120 ตัว แบ่งออกเป็น 4 กลุ่ม ๆ ละ 3 ซ้ำ ๆ ละ 10 ตัว สุ่มไก่ให้ได้รับอาหารทดลองที่มีแหล่งโปรตีนทางเลือกที่แตกต่างกันทดแทนกากถั่วเหลืองบางส่วนในสูตรอาหาร ได้แก่ กากถั่วเหลือง (กลุ่มควบคุม, T1) เศษปลาหมักกากมันสำปะหลัง (T2) ไบหม่อน (T3) และ ไบกระถิน (T4) ตามลำดับ ให้อาหารและน้ำดื่มอย่างเต็มที่ตลอดการทดลองเป็นระยะเวลา 60 วัน ผลการทดลองพบว่าแหล่งของโปรตีนมีผลต่อค่าปริมาณอาหารที่กินได้ การเปลี่ยนอาหารเป็นน้ำหนักไข่ 1 กิโลกรัม (FCR) ผลผลิตไข่ น้ำหนักไข่ น้ำหนักเปลือกไข่ และค่าคะแนนสีไข่แดงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) โดย T1 มีการกินอาหารสูงสุด (118.89 กรัม/ตัว/วัน) ในขณะที่ T4 มีการกินอาหารน้อยที่สุด (104.74 กรัม/ตัว/วัน) FCR มีค่าต่ำที่สุดใน T1 (2.97) และมีค่าสูงที่สุดใน T2 (3.57) ผลผลิตไข่สูงสุดพบใน T1 (70 เปอร์เซ็นต์) ในขณะที่ T2 มีการผลิตไข่น้อยที่สุด (53.36 เปอร์เซ็นต์) T1 และ T4 มีน้ำหนักไข่มากกว่า T2 และ T3 ส่วน T1 และ T3 มีน้ำหนักเปลือกไข่มากกว่า T4 และ T2 ในขณะที่ T4 มีสีของไข่แดงเข้มที่สุด (7.05 คะแนน) และ T1 มีสีไข่แดงอ่อนที่สุด (4.61 คะแนน) ส่วนความหนาเปลือกไข่ ค่าออกยูนิต น้ำหนักไข่แดง และน้ำหนักไข่ขาว ไม่แตกต่างทางสถิติ ($P > 0.05$) สรุปได้ว่า แหล่งโปรตีนทางเลือกจากไบกระถิน (T4) สามารถนำมาใช้ทดแทนกากถั่วเหลืองบางส่วนในสูตรอาหารไก่ไข่ ซึ่งสามารถช่วยให้น้ำหนักไข่ดีขึ้นและช่วยเพิ่มสีของไข่แดงให้เข้มขึ้นได้ แต่อาจส่งผลกระทบต่ออาหาร ประสิทธิภาพการเปลี่ยนอาหารเป็นน้ำหนักไข่ และการให้ผลผลิตไข่

บทนำ

ไข่เป็นแหล่งโปรตีนที่ง่าย ราคาต่อหน่วยถูก และเป็นแหล่งที่ดีที่สุดของกรดอะมิโนที่จำเป็นต่อร่างกาย โปรตีนจากไข่ยังช่วยลดปัญหาภาวะทุพโภชนาการ (Malnutrition) ในประเทศด้อยพัฒนาหลายประเทศ แม้ว่าไข่มีราคาถูกกว่าเมื่อเทียบกับราคาเนื้อสัตว์ แต่ในปัจจุบันนี้พบว่าราคาไข่เริ่มปรับตัวเพิ่มขึ้น สาเหตุมาจากหลายปัจจัย และหนึ่งในปัจจัยที่มีผลกระทบต่อผู้เลี้ยงไก่ไข่โดยตรงนั้นคือราคากากถั่วเหลือง

อาหารสัตว์ที่สูงขึ้น โดยเฉพาะวัตถุดิบแหล่งโปรตีน เช่น กากถั่วเหลือง รวมถึงวัตถุดิบอื่นจึงส่งผลให้ราคาไข่ไก่ปรับขึ้น ดังนั้นหากมีวัตถุดิบแหล่งโปรตีนทางเลือกที่สามารถใช้เสริมหรือทดแทนในสูตรอาหารไก่ไข่บางส่วน โดยไม่กระทบการให้ผลผลิตและคุณภาพของไข่ไก่ อาจเป็นทางเลือกที่ช่วยลดต้นทุนการผลิตให้กับผู้เลี้ยงไก่ไข่ได้ ที่ผ่านมานักวิจัยได้พยายามนำวัตถุดิบที่มีในท้องถิ่นหลายชนิด เช่น การใช้ใบถั่วพืชอาหารสัตว์ยืนต้นอย่างกระถิน (*Leucaena leucocephala*)

*Corresponding author

E-mail address: suwit@snru.ac.th (S. Thip-uten)

Online print: 24 October 2024 Copyright © 2024. This is an open access article, production, and hosting by Faculty of Agricultural Technology, Rajabhat Maha Sarakham University. <https://doi.org/10.14456/paj.2024.44>

หรือใบหม่อน (*Morus alba*) ที่สามารถให้ผลผลิตได้ตลอดปีมาเป็นวัตถุดิบโปรตีนเสริมบางส่วนในสูตรอาหารร่วมกับวัตถุดิบโปรตีนหลัก ดังแสดงใน Table 1 และ Table 2 ซึ่งในใบกระถิน ใบหม่อน กากถั่ว

เหลือง และเศษปลาหมึกมีสารอาหารทั้งแหล่งโปรตีน พลังงาน (ไขมัน) รวมทั้งกรดอะมิโนที่เป็นประโยชน์ต่อสัตว์ปีก

Table 1 Chemical composition of leucaena leaves, mulberry leaves, soybean meal and fish waste silage (% of DM)

Items	Leucaena leaves	Mulberry leaves	Soybean meal	Fish waste silage
Dry mater	91.60 ²	89.25 ⁴	88.50 ⁶	18.12 ⁷
Ash	10.70 ¹	11.81 ⁴	5.70 ⁶	0.16 ⁷
Crude protein	23.50 ¹	24.36 ⁵	41.60 ⁶	14.09 ⁷
Ether extract or crude fat	7.00 ¹	8.02 ⁵	1.10 ⁶	50.31 ⁷
Nitrogen free extract	50.10 ¹	56.42 ⁵	35.40 ⁶	-
Crude fiber	10.61 ¹	13.11 ⁴	4.70 ⁶	-
Neutral detergent fiber	23.90 ¹	35.77 ⁴	12.90 ⁶	-
Acid detergent fiber	27.94 ¹	28.00 ⁴	7.90 ⁶	-
Acid detergent lignin	5.70 ³	0.74 ⁵	2.60 ⁶	-
Hemicellulose	19.10 ³	18.99 ⁵	-	-
Cellulose	19.92 ¹	12.84 ⁶	-	-
Tannin	2.70 ¹	1.20 ⁶	-	-
Mimosine	3.10 ¹	-	-	-

¹Islam et al. (1995) ²WTSR (2010) ³Zapata-Campos et al. (2020) ⁴Al-Kirshi et al. (2013) ⁵Batiha et al. (2023) ⁶WTSR (2010) ⁷Thip-uten et al. (unpublish)

Table 2 Partial of essential amino acids for laying hen requirement in leucaena leaves, mulberry leaves, soybean meal and fish waste silage

Items	Leucaena leaves	Mulberry leaves (mg/g DM)	Soybean meal (mg/g N)	Fish waste silage (mg/g)
Lysine	339 ¹	14.33 ²	388 ¹	3.20 ⁴
Methionine	98 ¹	2.99 ²	88 ¹	1.50 ⁴
Threonine	266 ¹	10.52 ²	244 ¹	1.40 ⁴
Tryptophan	-	7.40 ²	6.10 ³	0.72 ⁴
Arginine	277 ¹	12.96 ²	463 ¹	5.30 ⁴
Isoleucine	244 ¹	10.04 ²	294 ¹	1.50 ⁴
Valine	311 ¹	12.83 ²	300 ¹	1.07 ⁴

¹Ter Meulen et al. (1979) ²Machii & Katagiri (1991) ³Espinosa et al. (2021) ⁴Gauthankar et al. (2021)

Abou-Elezz et al. (2011) ได้ทดลองเสริมใบกระถินป่นในอาหารไก่ไข่พันธุ์โรดไอส์แลนด์เรดที่ระดับ 0, 5, 10 และ 15 เปอร์เซ็นต์ พบว่า มีผลต่ออัตราการให้ไข่ไก่ มวลของไข่ อัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นไข่เป็นแบบโค้งกำลัง (Quadratic) และสีของไข่แดงจะมีสีเข้มเพิ่มขึ้นตามระดับของใบกระถินป่นในสูตรอาหาร และเสนอแนะว่าไม่ควรใช้ใบกระถินป่นในสูตรอาหารไก่ไข่เกิน 10 เปอร์เซ็นต์ ในขณะที่ Al-kirsh et al. (2013) ทดลองเสริมใบหม่อนป่นในอาหารไก่ไข่สายพันธุ์ฮัสบาร์น (Isa-Brown) ที่ระดับ 0, 10, 15 และ 20 เปอร์เซ็นต์ พบว่าใบหม่อนป่นทำให้ไก่กินอาหาร ให้ไข่น้ำหนักไข่ และมวลไข่ลดลง แต่ค่าออกยูนิตและสีของไข่แดงสูงกว่ากลุ่มควบคุมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ และได้เสนอแนะว่าการใช้ใบหม่อนป่นในสูตรอาหารไก่ไข่ที่ระดับ 10 เปอร์เซ็นต์ เป็นระดับที่เหมาะสมต่อการให้ผลผลิตไข่และคุณภาพของไข่

นอกจากการใช้ใบกระถินและใบหม่อนป่นแล้ว ยังพบว่ามีกรนำเศษไส้ปลาและอวัยวะภายในท้องปลา (Visceral organs) ที่เหลือจากกระบวนการแปรรูปปลานำมาหมักแล้วนำมาทดลองเลี้ยงสัตว์

ในรายงานของ Kjos et al. (2001) ได้นำเศษปลาแซลมอน (Salmon) จากโรงงานเอกชนในประเทศนอร์เวย์ นำมาหมักด้วยกรดฟอร์มิก (Formic acid) ได้ปลาหมัก (Fish silage) ไปทดลองเลี้ยงไก่ไข่พันธุ์ไวท์เล็กฮอร์น (White Leghorn) ที่ระดับ 5 เปอร์เซ็นต์ ในสูตรอาหารร่วมกับการเสริมไขมันที่ระดับ 0.18, 0.88, 1.68 และ 2.48 เปอร์เซ็นต์ พบว่าปลาหมักไม่มีผลต่อค่าการกินได้ ผลผลิตไข่ กรดไขมันในไข่แดง สีของไข่แดง หรือ คุณภาพด้านประสาทสัมผัส ขณะที่ Ramirez et al. (2013) รายงานว่าในเศษปลาที่เป็นผลพลอยได้จากกระบวนการแปรรูปปลา อุดมไปด้วยโปรตีน กรดอะมิโน และแร่ธาตุ สามารถนำมาใช้เป็นวัตถุดิบอาหารสัตว์ได้

จากข้อมูลข้างต้นทำให้ทราบว่าใบกระถิน ใบหม่อน และเศษปลา มีศักยภาพในการเป็นวัตถุดิบทางเลือกสำหรับนำมาใช้ทดแทนวัตถุดิบหลักโปรตีนได้บางส่วน อย่างไรก็ตาม จากการลงพื้นที่ให้บริการวิชาการแก่ชุมชน ณ ชุมชนท่าบ่อ อำเภอสว่างคราม จังหวัดนครพนม ซึ่งเป็นแหล่งผลิตปลาสดคุณภาพรายใหญ่และสร้างชื่อเสียงให้กับจังหวัด พบว่าในกระบวนการทำปลาสดจะมีเศษเหลือจำนวน

มาก ได้แก่ ส่วนของอวัยวะภายในของปลาและหัวปลาจำนวนมาก แต่เศษปลาจะมีไขมันและความชื้นสูงมีกลิ่นคาวปลา หากนำไปเลี้ยงสัตว์โดยตรงอาจส่งผลต่อการกินอาหาร จึงต้องนำมาลดความชื้นกลิ่นคาวและย่อยเศษกระดูกก่อน จากนั้นจึงนำมาหมักร่วมกับวัตถุดิบอื่นที่มีสภาพแห้ง เช่น กากมันสำปะหลังแห้ง ช่วยลดความชื้น กลิ่นคาวปลา และยังอาจจะทำให้ได้พลังงานเพิ่มขึ้น จากส่วนของเบ่งที่ติดมากับกากมันแห้งด้วย จากการตรวจเอกสารข้างต้นผู้วิจัยจึงสนใจศึกษาเปรียบเทียบการใช้ประโยชน์ได้ของแหล่งของโปรตีนทางเลือกเพื่อเพิ่มฐานข้อมูลในการประยุกต์ใช้วัตถุดิบอาหารสัตว์ให้เพิ่มมากขึ้น ดังนั้นการศึกษานี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลการใช้วัตถุดิบแหล่งโปรตีนทางเลือกทดแทนกากถั่วเหลืองบางส่วนในอาหารไก่ไข่

อุปกรณ์และวิธีการวิจัย

1. การวางแผนการทดลอง สัตว์ทดลอง และอาหารทดลอง

วางแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ (Completely randomized design, CRD) ใช้ไก่ไข่พันธุ์ Hy-Line Brown พร้อมไข่ อายุ 23 สัปดาห์ จำนวน 120 ตัว แบ่งไก่ออกเป็น 4 กลุ่ม ๆ ละ 3 ซ้ำ ๆ ละ 10 ตัว จากนั้นสุ่มไก่ให้ได้รับอาหารที่มีแหล่งโปรตีนทดแทนกากถั่วเหลืองบางส่วนในสูตรอาหารต่างกัน 4 ชนิด (treatment, T) ดังนี้

T1 = โปรตีนจากกากถั่วเหลือง (Control)

T2 = โปรตีนจากกากมันสำปะหลังหมักด้วยน้ำหมักเศษปลา (Cassava pulp fermented with liquid fish waste silage)

(น้ำหมักเศษปลา เตรียมได้จากการนำอวัยวะภายในและส่วนหัวของปลาที่เหลือทิ้งจากการทำปลาต้มของกลุ่มวิสาหกิจปลาต้มชุมชนท่าบ่อศรีสงคราม จังหวัดนครพนม นำมาหมักด้วยกากน้ำตาลจำนวน 15 กิโลกรัม ต่อเศษปลาน้ำหนัก 100 กิโลกรัมสด หมักทิ้งไว้

นาน 14 วัน ในสภาพปกติจะได้น้ำหมักเศษปลา จากนั้นนำน้ำหมักเศษปลาที่ได้ผสมกับกากมันสำปะหลังแห้ง ในอัตราส่วน 1 : 1 คือใช้น้ำหมักเศษปลา 1 กิโลกรัม ต่อกากมันสำปะหลังแห้ง 1 กิโลกรัม คลุกเคล้าให้เข้ากันในด้วยเครื่องผสมอาหารแนวอนเป็นเวลา 30 นาที แล้วบรรจุใส่ในถังหมักพลาสติกขนาด 200 ลิตร อัดวัสดุหมักให้แน่นปิดฝาให้สนิทหมักในสภาพไร้อากาศเป็นระยะเวลา 21 วัน จากนั้นนำออกมาตากแดดให้แห้ง 2-3 วัน แล้วใช้เป็นส่วนผสมในสูตรอาหารไก่ไข่)

T3 = โปรตีนจากใบหม่อน (Mulberry leaves)

(ใช้ใบหม่อนสายพันธุ์สกลนคร-85 อายุเก็บเกี่ยว 2 เดือน เก็บเอาเฉพาะส่วนใบสดจากต้นนำมาสับให้มีขนาดประมาณ 2 เซนติเมตร ตากแดดให้แห้งนาน 3 วัน บดด้วยให้เครื่องบดอาหารสัตว์ให้มีขนาดประมาณ 1 มิลลิเมตร สำหรับเป็นส่วนผสมในอาหารไก่ไข่)

T4 = โปรตีนจากใบกระถิน (Leucaena leaves)

(ใบกระถินสดเก็บจากพื้นที่ไร่นาเกษตรกร นำมาตากแดดนาน 3 วัน ให้ใบร่วง จากนั้นนำไปบดด้วยเครื่องบดให้มีขนาดประมาณ 1 มิลลิเมตร สำหรับเป็นส่วนผสมในอาหารไก่ไข่)

ส่วนผสมในสูตรอาหารทดลองแสดงไว้ใน Table 3 โดยใช้กากถั่วเหลือง เศษปลาหมักกากมันสำปะหลัง ใบหม่อน ใบกระถิน ปลาป่น กรดอะมิโนสังเคราะห์เป็นแหล่งโปรตีน ใช้ข้าวโพด รำข้าว และน้ำมันปาล์มเป็นแหล่งพลังงาน ใช้เกลือแกง หินฟูลินบด ไคคลเซียมฟอสเฟต และวิตามินแร่ธาตุสำเร็จรูปสำหรับไก่ไข่เป็นแหล่งแร่ธาตุและวิตามิน ทำการผสมอาหารตามสัดส่วนแต่ละสูตรให้มีสารอาหารตรงตามความต้องการของไก่ไข่ โดยให้มีระดับโปรตีนและพลังงานเท่ากันทุกสูตร คือ โปรตีน 18 เปอร์เซ็นต์ และพลังงานที่ใช้ประโยชน์ได้เท่ากับ 2,900 กิโลแคลอรีต่อกิโลกรัมอาหาร ตามคำแนะนำของ NRC (1994)

Table 3 Ingredients and chemical composition of experimental diet

Feed ingredients (%)	T1	T2	T3	T4
Soybean meal (45 % CP)	30.00	26.63	25.00	26.63
Cassava pulp fermented with liquid fish waste silage (12.48 % CP)	-	10.00	-	-
Mulberry leaves meal (18.15 % CP)	-	-	10.00	-
Leucaena leaves meal (18.52 % CP)	-	-	-	10.00
Fish meal (55 % CP)	2.00	2.00	2.00	2.00
Rice bran	3.63	2.00	2.00	2.00
Ground corn	52.00	47.00	48.63	47.00
Palm oil	0.50	0.50	0.50	0.50
Dicalcium phosphate	2.02	2.02	2.02	2.02
Mill limestone	9.00	9.00	9.00	9.00
Salt	0.25	0.25	0.25	0.25
DL-Methionine	0.30	0.30	0.30	0.30
¹ Premix for laying hen	0.30	0.30	0.30	0.30
Total	100	100	100	100

Table 3 Ingredients and chemical composition of experimental diet (Continue)

Feed ingredients (%)	T1	T2	T3	T4
Calculated chemical composition				
Dry matter (%)	89.90	89.84	90.44	90.09
Crude protein (%)	18.00	18.00	18.00	18.00
Crude fat (%)	3.54	4.54	3.29	3.48
Crude fiber (%)	3.16	3.24	3.32	3.47
Calcium (%)	3.70	3.69	3.94	3.85
Available phosphorous (%)	0.59	0.57	0.63	0.59
Sodium chloride (%)	0.10	0.10	0.10	0.10
Lysine (%)	0.94	0.84	0.79	0.86
Methionine (%)	0.54	0.51	0.53	0.51
Methionine + cysteine (%)	0.68	0.74	0.72	0.68
Metabolizable energy (kcal/kg)	2,900	2,900	2,900	2,900
Cost of experimental diet (baht/kg)	15.31	14.16	13.81	13.69

T1 = Control (soybean meal), T2 = Cassava pulp fermented with liquid fish waste silage, T3 = Mulberry leaves meal, T4 = Leucaena leaves meal. ¹Premix (mineral and vitamins) provided the following per kilogram of diets; manganese 86.28 mg; iron 108.11 mg; copper 62.74 mg; selenium 32.75 mg; zinc 136.99 mg; iodine 1.64 mg; vitamin A 1650 IU; cholecalciferol 330 IU; vitamin E 100 mg; vitamin K 4.31 mg; vitamin B1 2.53 mg; vitamin B2 8.02 mg; nicotinic acid 53.96 mg; vitamin B6 2.53 mg; vitamin B12 1.54 mg; pantothenic acid 13.23 mg; folic acid 1.38 mg; biotin 5.50 mg; and choline 2583.33 mg.

2. การเก็บรวบรวมข้อมูล

ไก่ทุกฟาร์มที่จัดการเลี้ยงเหมือนกันโดยเลี้ยงในคอกแบบปล่อยอัตราส่วนไก่ 5 ตัว/ตารางเมตร ในสภาพโรงเรือนแบบเปิดได้รับโปรแกรมแสงเท่ากันในแต่ละวันตามสภาพแวดล้อม มีน้ำสะอาดให้กินได้เต็มที่ตลอดเวลา ให้อาหาร 2 ครั้งต่อวัน คือ เวลา 09.00 น. และเวลา 15.00 น. เลี้ยงปรับสภาพในคอกนาน 2 สัปดาห์ โดยใช้อาหารทดลองกลุ่มควบคุม จากนั้นจึงสุ่มไก่ให้ได้รับอาหารทดลองและให้อาหารของแต่ละฟาร์มเท่ากันแบบเต็มที่ (*ad libitum*) ตลอดการทดลองนาน 9 สัปดาห์ เก็บข้อมูลปริมาณการกินได้ การให้ผลผลิตไข่แต่ละวันของไก่ และในช่วงสัปดาห์สุดท้ายของการทดลอง ทำการประเมินคุณภาพไข่ไก่ทางกายภาพตามวิธีของ Thip-uten et al. (2019) โดยมีรายละเอียด ดังนี้ (1) นำไข่มาชั่งน้ำหนักด้วยเครื่องชั่งดิจิทัลชนิด 4 ตำแหน่ง เพื่อวัดน้ำหนักไข่สด (Egg weight, g) (2) ทำการตอกไข่เพื่อวัดค่าความสดหรือค่าฮอกยูนิต (Haugh unit, H.U.) คำนวณได้จากสมการ $H.U. = 100 \times \log (H + 7.57 - 1.7W^{0.37})$ โดย H คือ ความสูงไข่ขาว (มิลลิเมตร) และ W คือ น้ำหนักไข่ (กรัม) (3) แยกไข่แดงออกจากไข่ขาวแล้วชั่งน้ำหนักด้วยเครื่องชั่งดิจิทัล 4 ตำแหน่ง เพื่อหาน้ำหนักไข่แดง (Yolk weight, g) (4) วัดค่าสีของไข่แดงด้วยพัดสีโรส (Roche yolk colour fan) มีค่าคะแนนจาก 1-15 ซึ่งค่าที่เพิ่มขึ้นบ่งบอกถึงสีไข่แดง (Yolk colour) ที่เข้มขึ้นตามค่าคะแนน (5) นำเปลือกไข่รวมเยื่อเปลือกไข่ตากไว้ที่อุณหภูมิห้องนาน

24 ชั่วโมง แล้วนำมาชั่งน้ำหนักเพื่อหาน้ำหนักของเปลือกไข่ (Shell weight, g) (6) คำนวณน้ำหนักไข่ขาว (Albumen weight, g) = (น้ำหนักไข่ทั้งฟอง – น้ำหนักไข่แดง – น้ำหนักเปลือกไข่)

3. การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ

ข้อมูลทั้งหมดนำเข้าวิเคราะห์ความแปรปรวนตามแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ เปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยฟาร์มเมนต์ด้วยวิธี Duncan' new multiple range test ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ ด้วยโปรแกรมสำเร็จรูป SAS 6.12 (SAS, 1996)

ผลและวิจารณ์ผลการวิจัย

น้ำหนักไข่ที่ทดลองเฉลี่ย ปริมาณอาหารที่กินได้ อัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นผลผลิตไข่ ผลผลิตไข่ และคุณภาพของไข่ไก่ แสดงใน Table 4 พบว่าน้ำหนักไข่ที่ทดลองเฉลี่ย ความหนาของเปลือกไข่ ความสดใหม่ของไข่ น้ำหนักไข่แดง และน้ำหนักไข่ขาว มีค่าไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($P > 0.05$) โดยมีค่าอยู่ระหว่าง 1.56 - 1.71 กิโลกรัม 0.22 - 0.23 มิลลิเมตร 85.74 - 90.46 เปอร์เซ็นต์ 13.46 - 14.04 กรัม และ 33.42 - 34.22 กรัม ตามลำดับ ในขณะที่ปริมาณอาหารที่กินได้ อัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นผลผลิตน้ำหนักไข่ 1 กิโลกรัม เปอร์เซ็นต์ผลผลิตไข่ น้ำหนักไข่ น้ำหนักของเปลือกไข่ และสีของไข่แดง มีค่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$)

Table 4 Effect of protein sources on feed intake, egg production, and egg quality

Parameter	T1	T2	T3	T4	SEM	P-value
Average body weight of laying hen (kg)	1.61	1.56	1.48	1.71	0.04	0.122
Feed intake (g/hen/day)	118.89 ^a	114.42 ^a	119.75 ^a	104.74 ^b	4.58	0.002
Feed conversion for 1 kg of egg (kg feed/kg egg)	2.97 ^b	3.57 ^a	3.47 ^a	3.47 ^a	0.09	0.001
Egg production (%)	70.00 ^a	53.36 ^c	57.20 ^b	57.30 ^b	1.95	0.001
Egg weight (g/egg)	59.07 ^a	56.64 ^b	56.63 ^b	58.63 ^a	1.46	0.002
Shell weight (g/egg)	5.83 ^a	5.50 ^b	5.95 ^a	5.57 ^b	0.21	0.004
Shell thickness (mm)	0.23	0.22	0.22	0.23	0.01	0.410
Haugh unit	88.11	85.74	89.06	90.46	7.81	0.770
Yolk weight (g)	14.04	13.85	13.46	13.83	0.41	0.060
Albumen weight (g)	33.46	33.42	33.97	34.22	1.27	0.620
Yolk color index (1-15 scores)	4.61 ^b	4.79 ^b	6.63 ^a	7.05 ^a	0.49	0.001

T1 = Control (soybean meal), T2 = Cassava pulp fermented with liquid fish waste silage, T3 = Mulberry leaves meal, T4 = Leucaena leaves meal. ^{A-C} Means in the same row with different superscript were significant different (P < 0.05), SEM = standard error of the mean.

การกินอาหาร (Feed intake) พบว่ากลุ่มที่ใช้อาหารที่มีแหล่งโปรตีนจากกากถั่วเหลือง (T1) มีการกินอาหารสูงสุดที่ 118.89 กรัม/ตัว/วัน ในขณะที่กลุ่ม T4 (Leucaena leaves meal) มีการกินอาหารน้อยที่สุดที่ 104.74 กรัม/ตัว/วัน ผลนี้อาจเนื่องมาจากความสามารถในการย่อยและการดูดซึมสารอาหารที่แตกต่างกันของโปรตีนจากแหล่งที่ต่างกัน โดยเฉพาะอาหารที่มีโบกระลิน (T4) อาจมีเมแทนินและโมโมซิน (Mimosine) ที่หลงเหลือในโบกระลินทำให้ขัดขวางการย่อย (Ramteke et al., 2019; De Angelis et al., 2021) สอดคล้องกับ Khajareen & Khajareen, (2017) รายงานว่าโมโมซิน ในโบกระลินทั่วไปจะมีอยู่ประมาณ 3-12 เปอร์เซ็นต์ ของโปรตีนในพืช หากสัตว์ได้รับในอาหารมากเกินไปจะทำให้การเจริญเติบโตชะงัก ต่อมาน้ำลายจะขับน้ำลายออกมามาก (Drooling) ขนร่วงบริเวณสะโพกและหางทำให้เกิดคอกหอยพอกทำให้อายุการเป็นหนุ่มสาว (Puberty) นานขึ้นแต่ไม่มีผลเสียหยาต่อคุณภาพเนื้อ นม ไข่ หรือประสิทธิภาพของการสืบพันธุ์ โมโมซินจะถูกทำลายหรือทำให้ลดลงในระหว่างการทำให้แห้งและในอาหารสัตว์ปีกไม่ควรใช้โบกระลินในสูตรอาหารเกิน 5 เปอร์เซ็นต์

อัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นไข่ (Feed conversion ratio, FCR) ค่า FCR ที่ต่ำที่สุดพบในกลุ่ม T1 (2.97) แสดงให้เห็นถึงประสิทธิภาพในการเปลี่ยนอาหารเป็นไข่ที่ดีกว่าเมื่อใช้อาหารที่มีแหล่งโปรตีนจากกากถั่วเหลือง ในขณะที่กลุ่ม T2 ที่ใช้อาหารจากกากมันสำปะหลังหมักด้วยน้ำหมักเศษปลา มีค่า FCR สูงที่สุด (3.57) แสดงถึงการใช้อาหารที่มีประสิทธิภาพน้อยกว่า ซึ่งอาจเกิดจากความสามารถในการย่อยได้ยากของเยื่อใยจากมันสำปะหลังที่หมัก (Abu et al., 2019) อย่างไรก็ตาม ในทางตรงกันข้าม Okrathok et al. (2018) รายงานว่า สามารถใช้กากมันสำปะหลังที่หมักด้วยรา *Aspergillus oryzae* ในสูตรอาหารไก่ไข่ได้มากถึง 24 เปอร์เซ็นต์ โดยที่ไม่ส่งผลกระทบต่อความสามารถในการย่อยได้ของโภชนา การให้ผลผลิตไข่ไก่คุณภาพไข่ และค่าทางชีวเคมีในกระแสดเลือด

การผลิตไข่และน้ำหนักไข่ การผลิตไข่สูงสุดเกิดขึ้นในกลุ่ม T1 (70 เปอร์เซ็นต์) ซึ่งใช้อาหารจากกากถั่วเหลือง ในขณะที่กลุ่ม T2 มีการผลิตไข่น้อยที่สุด (53.36 เปอร์เซ็นต์) เนื่องจากคุณภาพโปรตีนในกากถั่วเหลืองสูงกว่าแหล่งโปรตีนอื่น เช่น กากมันสำปะหลังหมักน้ำหมักเศษปลาซึ่งมีไขมันจากปลาค่อนข้างสูงอาจส่งผลต่อการให้ไข่ (Mohammed Beski, 2015)

คุณภาพของไข่และความหนาของเปลือกไข่ไม่มีความแตกต่างกันระหว่างกลุ่มทดลอง อย่างไรก็ตาม กลุ่ม T3 มีน้ำหนักเปลือกไข่สูงกว่ากลุ่มอื่นแสดงให้เห็นว่าโบหม่อนมีแร่ธาตุแคลเซียมที่ช่วยเสริมสร้างความแข็งแรงของเปลือกไข่ได้ดี อย่างไรก็ตาม ค่าความสดของไข่ (Haugh unit) ไม่มีความแตกต่างกันระหว่างกลุ่มทดลอง ซึ่งแสดงให้เห็นว่าแหล่งโปรตีนไม่ส่งผลกระทบต่อคุณภาพความสดของไข่ (Ledvinka et al., 2012) ส่วนสีของไข่แดงกลุ่ม T4 ซึ่งใช้อาหารจากโบกระลิน มีสีของไข่แดงเข้มที่สุด (7.05 คะแนน) เมื่อเทียบกับกลุ่มอื่นแสดงให้เห็นว่าโบกระลินมีสารแคโรทีนอยด์ที่ช่วยเพิ่มสีของไข่แดงได้ดี ขณะที่กลุ่ม T1 มีสีไข่แดงอ่อนที่สุด (4.61 คะแนน) ซึ่งอาจเนื่องมาจากกากถั่วเหลืองไม่มีสารที่เพิ่มสีของไข่แดง (Karadas et al., 2006)

สรุปผลการวิจัย

จากการทดลองนี้สรุปได้ว่า แหล่งโปรตีนทางเลือกจากโบกระลิน (T4) สามารถนำมาใช้ทดแทนกากถั่วเหลืองได้บางส่วน ในสูตรอาหารไก่ไข่ ซึ่งสามารถช่วยให้น้ำหนักไข่ดีขึ้นและช่วยเพิ่มสีของไข่แดงให้เข้มขึ้นได้ แต่อาจส่งผลกระทบต่อประสิทธิภาพการเปลี่ยนอาหารเป็นน้ำหนักไข่ การให้ผลผลิตไข่ลดลง นอกจากนี้การใช้โปรตีนทางเลือกจากโบหม่อน (T3) ทดแทนกากถั่วเหลืองบางส่วนในสูตรอาหารไก่ไข่ สามารถช่วยให้การกินอาหาร น้ำหนักเปลือกไข่ และสีของไข่แดงเพิ่มขึ้น แต่อาจส่งผลกระทบต่อประสิทธิภาพการเปลี่ยนอาหารเป็นน้ำหนักไข่และการให้ผลผลิตไข่ลดลง

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณสถาบันวิจัยและพัฒนา มหาวิทยาลัยราชภัฏสกลนคร ที่สนับสนุนทุนวิจัย และขอขอบคุณศูนย์หม่อนไหมเฉลิมพระเกียรติ สมเด็จพระนางเจ้าสิริกิติ์ พระบรมราชินีนาถ สกลนคร ที่ให้ความ อนุเคราะห์ใบหม่อน

References

- Abu, E. S. (2019). Review on the role of enzyme supplementation on egg production performance of layer. *International Journal of Animal Husbandry and Veterinary Science*, 4(5), 25-36.
- Abou-Elezz, F. M. K., Sarmiento-Franco, L., Santos-Ricalde, R., & Solorio-Sanchez, F. (2011). Nutritional effects of dietary inclusion of *Leucaena leucocephala* and *Moringa oleifera* leaf meal on Rhode Island Red hens' performance. *Cuban Journal of Agricultural Science*, 45(2), 163-169.
- Al-Kirshi, R., Alimon, A., Zulkifli, I., Atefeh, S., Zahari, M. W., & Ivan, M. (2013). Nutrient digestibility of mulberry leaves (*Morus alba*). *Italian Journal of Animal Science*, 12(2). doi: 10.4081/ijas.2013.e36
- Batiha, G. E. S., Al-Snafi, A. E., Thuwaini, M. M., Teibo, J. O., Shaheen, H. M., Akomolafe, A. P., Teibo, T. K. A., Al-Kuraishy, H. M., Al-Garbeeb, A. I., Alexiou, A., & Papadakis, M. (2023). *Morus alba*: a comprehensive phytochemical and pharmacological review. *Naunyn Schmiedeberg's Archives of Pharmacology*, 396(7), 1399–1413. doi: 10.1007/s00210-023-02434-4
- De Angelis, A., Gasco, L., Parisi, G., & Danieli, P. P. (2021). A multipurpose leguminous plant for the mediterranean countries: *Leucaena leucocephala* as an alternative protein source: a review. *Animals*, 11(8), 2230. doi: 10.3390/ani11082230
- Espinosa, C. D., Oliveira, M. S. F., Htoo, J. K., & Stein, H. H. (2021). Concentrations of digestible amino acids in co-products from threonine and tryptophan fermentation are greater than in soybean meal. *Animal Feed Science and Technology*, 277, 114948. doi: 10.1016/j.anifeedsci.2021.114948
- Gauthankar, M., Khandeparker, R., Shivaramu, M. S., Salkar, K., Sreepada, R. A., & Paingankar, M. (2021). Comparative assessment of amino acids composition in two types of marine fish silage. *Scientific Reports*, 11(1), 15235. doi: 10.1038/s41598-021-93884-4
- Islam, M., Nahar, T. N., & Islam, M. R. (1995). Productivity and nutritive value of *Leucaena leucocephala* for ruminant nutrition-review. *Asian-Australasian Journal of Animal Sciences*, 8(3), 213-217.
- Karadas, F., Grammenidis, E., Surai, P. F., Acamovic, T., & Sparks, N. H. C. (2006). Effects of carotenoids from lucerne, marigold and tomato on egg yolk pigmentation and carotenoid composition. *British Poultry Science*, 47(5), 561-566. doi: 10.1080/00071660600962976
- Khajarearn, S., & Khajarearn, J. M. (2017). *Feeds and feeding nonruminants* (3rd ed.). Khon Kaen, Thailand: Khon Kaen University. (in Thai)
- Kjos, N. P., Herstad, O., Skrede, A., & Øverland, M. (2001). Effects of dietary fish silage and fish fat on performance and egg quality of laying hens. *Canadian Journal of Animal Science*, 81(2), 245-251. doi: 10.4141/A00-086
- Ledvinka, Z., Zita, L., & Klesalová, L. (2012). Egg quality and some factors influencing it: a review. *Scientia Agriculturae Bohemica*, 43(1), 46-52.
- Machii, H., & Katagiri, K. (1991). Varietal differences in nutritive values of mulberry leaves for rearing silkworms. *The Japan Agricultural Research Quarterly*, 25, 202- 208.
- Mohammed Beski, S. S. (2015). *Physiological responses of broiler chickens to dietary high-quality proteins*. (Doctoral dissertation). Sydney, Australia: University of New England.
- Nutrient Requirements Council (NRC). (1994). *Nutrient requirements of poultry* (9th ed.). Washington, D. C., United States: National Academy Press.
- Okrathok, S., Pasri, P., Thongkratok, R., Molee, W., & Khempaka, S. (2018). Effects of cassava pulp fermented with *Aspergillus oryzae* as a feed ingredient substitution in laying hen diets. *Journal of Applied Poultry Research*, 27(2), 188-197. doi: 10.3382/japr/pfx057
- Ramírez, J. C. R., Ibarra, J. I., Romero, F. A., Ulloa, P. R., Ulloa, J. A., Matsumoto, K. S., Cordoba, B. V., & Manzano, M. Á. M.

- (2013). Preparation of biological fish silage and its effect on the performance and meat quality characteristics of quails (*Coturnix coturnix japonica*). *Brazilian Archives of Biology and Technology*, 56(6), 1002 – 1010. doi: 10.1590/S1516-89132013000600016
- Ramteke, R., Doneria, R., & Gendley, M. K. (2019). Antinutritional factors in feed and fodder used for livestock and poultry feeding. *Acta Scientific Nutritional Health*, 3(5), 39-48.
- Statistical Analysis System (SAS) . (1996). *User's guide: statistic, version 6* (12th ed.). North Carolina, United States: SAS Inst. Inc.
- Ter Meulen, U., Struck, S., Schulke, E., & El Harith, E. A. (1979). A review on the nutritive value and toxic aspects of *Leucaena leucocephala*. *Tropical Animal Health and Production*, 4(2). 113-126.
- The Working Committee of Thai Feeding Standard for Ruminant (WTSR). (2010). *Nutrient requirement of beef cattle in Indochinese Peninsula*. Khon Kaen, Thailand: Klunghanavithaya Press.
- Thip-uten, S., Uaegingetch, W., Kodthum, S., Phaitam, P., Lewaree, S., & Thip-uten, T. (2019). Production and egg quality of Phuphan black bone chicken. *Khon Kaen Agriculture Journal*, 47(Suppl. 2), 627-634. (in Thai)
- Thip-uten, S., Wongjirathiti, A., & Thip-uten, T. (unpublish). *Effects of feeding different levels of fish waste silage with cassava pulp on growth performance, blood chemical, carcass traits, duck meat chemical composition and cost of production*. (Report project) Sakon Nakhon, Thailand: Sakon Nakhon Rajabhat University. (in Thai)
- Zapata-Campos, C. C., García-Martínez, J. E., Salinas-Chavira, J., Ascacio-Valdés, J. A., Medina-Morales, M. A., & Mellado, M. (2020). Chemical composition and nutritional value of leaves and pods of *Leucaena leucocephala*, *Prosopis laevigata* and *Acacia farnesiana* in a xerophilous shrubland. *Emirates Journal of Food and Agriculture*, 32(10), 723-730. doi: 10.9755/ejfa.2020.v32.i10.2148

Research article

Effect of partial replacement of soybean meal with alternative protein sources in diets laying hens

Suwit Thip-uten^{1*} Tharadol Jitjak¹ Jakkapat Prachachit¹ Tarika Thip-uten²
Niphaphon Wongsida¹ Thanawat Promsang¹ Jirasak Senanikhom¹
Boripat Luangpramol¹ Kowit Patcharabudsarakumkul³ Sayan Subepang⁴
and Chaiyapruet Hongladdaporn⁵

¹Department of Animal Science, Faculty of Agricultural Technology, Sakon Nakhon Rajabhat University, Mueang Sakon Nakhon District, Sakon Nakhon Province, Thailand 47000

²Department of Fishery Science, Faculty of Agricultural Technology, Sakon Nakhon Rajabhat University, Mueang Sakon Nakhon District, Sakon Nakhon Province, Thailand 47000

³Department of Food Science and Technology, Faculty of Agricultural Technology, Sakon Nakhon Rajabhat University, Mueang Sakon Nakhon District, Sakon Nakhon Province, Thailand 47000

⁴Department of Agricultural Technology, Faculty of Liberal Arts and Science, Sisaket Rajabhat University, Mueang Sisaket District, Sisaket Province, Thailand 33000

⁵Department of Animal Science, Faculty of Science and Technology, Loei Rajabhat University, Mueang Loei District, Loei Province, Thailand 42000

ARTICLE INFO

Article history

Received: 7 August 2024

Revised: 19 September 2024

Accepted: 16 October 2024

Online published: 24 October 2024

Keyword

Liquid fish waste silage

Cassava pulp

Leucaena leaves

Mulberry leaf

Egg quality

ABSTRACT

The rising cost of conventional protein feed sources for livestock has become a significant challenge. If cheaper alternative protein sources can be used without affecting egg production and quality, it could provide a valuable option for poultry farmers. This study aimed to evaluate the effect of different alternative protein sources on egg production and quality. A completely randomized design was used in this experiment, involving 120 Hy-Line Brown laying hens aged 23 weeks. The hens were divided into four treatment groups, with three replicates of 10 hens per group. The experimental diets included four different protein sources: soybean meal (control, T1) fermented fish residue with cassava pulp (T2), mulberry leaves (T3), and Leucaena leaves (T4), respectively. Feed and water were provided ad libitum for 60 days. The results indicated that protein sources had a statistically significant effect ($P < 0.05$) on feed intake, feed conversion ratio (FCR) per kilogram of egg, egg production, egg weight, eggshell weight, and yolk color score. T1 had the highest feed intake (118.89 g/hen/day), while T4 had the lowest feed intake (104.74 g/hen/day). FCR was the lowest in T1 (2.97), while T2 was the highest (3.57). The highest egg production occurred in T1 (70 %), while T2 had the least egg production (53.36 %). T1 and T4 egg weights were higher than T2 and T3. In T1 and T3 eggshell weights were higher than T4 and T2. T4 had the darkest yolk color (7.05 score), while T1 had the lightest yolk color (4.61 score). However, non-significant differences ($P > 0.05$) were observed in eggshell thickness, Haugh unit, yolk weight, or albumen weight. In conclusion, alternative protein sources from leucaena leaves (T4) can be used to partially replace soybean meal in laying hen feed formula, which can help improve egg weight and enhance the color of darker yolks. Still, they may affect feed intake, egg weight, FCR, and egg production.

*Corresponding author

E-mail address: suwit@snru.ac.th (S. Thip-uten)

Online print: 24 October 2024 Copyright © 2024. This is an open access article, production, and hosting by Faculty of Agricultural Technology, Rajabhat Maha Sarakham University. <https://doi.org/10.14456/paj.2024.44>



บทความวิจัย

การพัฒนาผลิตภัณฑ์จากแก้วมังกรตามแนวคิดเศรษฐกิจสร้างสรรค์ในพื้นที่ตำบลร่องจิก อำเภอภูเรือ จังหวัดเลย

สุภาวดี สำราญ^{1*} วรินทร์ธร โดพันธ์² ขวัญณิศา อินทรตระกูล³ ณัฐธิญา ทรัพย์ปัญญากุล⁴

¹สาขาวิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏเลย อำเภอเมือง จังหวัดเลย ประเทศไทย 42000

²สาขาวิชาเศรษฐศาสตร์ คณะวิทยาการจัดการ มหาวิทยาลัยราชภัฏเลย อำเภอเมือง จังหวัดเลย ประเทศไทย 42000

³สาขาวิชาชีววิทยา คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏเลย อำเภอเมือง จังหวัดเลย ประเทศไทย 42000

⁴สาขาวิชาวิทยาศาสตร์ดิจิทัล คณะวิทยาการจัดการ มหาวิทยาลัยราชภัฏเลย อำเภอเมือง จังหวัดเลย ประเทศไทย 42000

ข้อมูลบทความ

บทคัดย่อ

Article history

รับ: 13 สิงหาคม 2567

แก้ไข: 4 ตุลาคม 2567

ตอบรับการตีพิมพ์: 6 ตุลาคม 2567

ตีพิมพ์ออนไลน์: 3 พฤศจิกายน 2567

คำสำคัญ

การพัฒนาผลิตภัณฑ์

แก้วมังกร

เศรษฐกิจสร้างสรรค์

นวัตกรรม

BCG โมเดล

ตำบลร่องจิก อำเภอภูเรือ จังหวัดเลย เป็นพื้นที่ที่มีการปลูกแก้วมังกรมากเป็นอันดับหนึ่งของจังหวัด ซึ่งบางปีประสบปัญหาแก้วมังกรล้นตลาดทำให้ราคาจำหน่ายลดลงเหลือเพียง 3-5 บาทต่อกิโลกรัม งานวิจัยครั้งนี้จึงมีวัตถุประสงค์ในการพัฒนาผลิตภัณฑ์จากแก้วมังกรตามแนวคิดเศรษฐกิจสร้างสรรค์ ซึ่งเป็นการวิจัยเชิงพัฒนาที่ผสมผสานวิธีทั้งวิจัยเชิงปริมาณและคุณภาพ กลุ่มเป้าหมายคือ สมาชิกในกลุ่มวิสาหกิจเกษตรแปลงใหญ่แก้วมังกร ตำบลร่องจิก อำเภอภูเรือ จังหวัดเลย จำนวน 20 คน เครื่องมือในการเก็บรวบรวมข้อมูล ได้แก่ แบบสัมภาษณ์ แบบบันทึก แบบทดลองประสาทสัมผัส และแบบสอบถาม สถิติที่ใช้ในการวิเคราะห์เชิงปริมาณ ได้แก่ การวิเคราะห์ค่าความถี่ ร้อยละ ค่าเฉลี่ย ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน และการวิเคราะห์ความแปรปรวนทางเดียว และวิเคราะห์เชิงคุณภาพด้วยการวิเคราะห์เนื้อหา ผลการดำเนินการวิจัยทำให้เกิดการยกระดับผลิตภัณฑ์จากแก้วมังกรตามแนวคิดเศรษฐกิจสร้างสรรค์จำนวน 2 ผลิตภัณฑ์ ได้แก่ กิมจิแก้วมังกร และขนมชาโกลแก้วมังกร โดยมีการตั้งชื่อว่า “ลองจิก (Longchi)” ผลทดสอบตลาดกับผู้บริโภคทั่วไป พบว่า ได้รับความพึงพอใจในระดับมากที่สุดทั้ง 2 ผลิตภัณฑ์ อีกทั้งผลิตภัณฑ์ดังกล่าวยังได้รับการรับรองมาตรฐานอาหารปลอดภัยจังหวัดเลย (LSF) และมาตรฐานอาหารและยา (อย.) ทำให้เกิดการวางแผนขยายช่องทางการจำหน่ายโดยการบันทึกข้อตกลงกับร้านค้าในพื้นที่จังหวัดเลย และกระตุ้นการรับรู้และการจำหน่ายผ่านการสื่อสารทางการตลาดดิจิทัล ทำให้กลุ่มวิสาหกิจเกษตรแปลงใหญ่แก้วมังกรสามารถมีรายได้สุทธิที่เพิ่มขึ้นนำไปสู่การบริหารจัดการกลุ่มได้อย่างมีประสิทธิภาพและยั่งยืน

บทนำ

แก้วมังกร (Dragon fruit) เป็นผลไม้เศรษฐกิจของประเทศไทยที่มีศักยภาพและแนวโน้มอนาคตที่ดีทางการตลาด เนื่องจากสภาพภูมิอากาศของประเทศไทยเหมาะสมกับการเจริญเติบโตของแก้วมังกร อีกทั้งดูแลรักษาง่าย และคุ้มค่าต่อการลงทุน จึงทำให้เกิดการปลูกแก้วมังกรกระจายไปแทบทุกภาคของประเทศ ซึ่งจังหวัดที่นิยมเพาะปลูกแก้วมังกรมากที่สุด 5 อันดับแรก ได้แก่ จังหวัดเลย จังหวัดนครราชสีมา จังหวัดสมุทรสาคร จังหวัดแพร่ และ จังหวัดมุกดาหาร จังหวัดเลยเป็นจังหวัดที่มีการปลูกแก้วมังกรเป็นจำนวนมาก โดยในปี 2565 มีเนื้อที่ในปลูกแก้วมังกร ถึง 20,311 ไร่ (Topnews, 2022) โดยเฉพาะอำเภอภูเรือที่มีสภาพพื้นที่เป็นที่ราบสลับภูเขา อากาศเย็นตลอดทั้งปี สามารถปลูกพืชเศรษฐกิจได้หลายชนิดจึงเหมาะสมสำหรับการปลูกแก้วมังกร โดยแก้วมังกรที่ปลูกในพื้นที่จะมีลักษณะเด่น คือ รสชาติหวาน กรอบ เนื้อแน่น น้ำหนักดี ผิวสวย เปลือกบาง และสามารถเก็บไว้ได้นาน มีความแตกต่างจากแก้วมังกรที่ปลูกในพื้นที่อื่นของจังหวัดเลย ทำให้ในปัจจุบันแก้วมังกรเป็นพืชเศรษฐกิจหลักที่สร้างรายได้ให้แก่เกษตรกรเป็นอย่างมาก โดยตำบลร่องจิก อำเภอภูเรือ

จังหวัดเลย เป็นตำบลที่มีการปลูกแก้วมังกรมากเป็นอันดับหนึ่งของจังหวัด ซึ่งในปี 2556 พบว่าเพียงตำบลเดียวมีพื้นที่ปลูกทั้งหมดประมาณ 1,938 ไร่ มีผลผลิตประมาณ 2,000-3,000 ตัน/ปี รายได้ 5,000-20,000 บาท/ตัน ณ ราคา 25-35 บาท/กิโลกรัม สร้างรายได้ให้แก่เกษตรกรประมาณปีละ 10-20 ล้านบาท (MGR Online, 2013; Bangkokbiznews, 2017) จากรายได้ที่สูงจึงทำให้เกษตรกรในพื้นที่บริเวณใกล้เคียงนิยมปลูกพืชชนิดนี้กันเพิ่มมากขึ้นเรื่อย ๆ ส่งผลให้ในปี 2563 เกิดปัญหาแก้วมังกรล้นตลาด ราคาจึงลดลงเหลือเพียงกิโลกรัมละ 3-5 บาท (Department of Agricultural Extension, 2020) ทำให้เกษตรกรมีรายได้จากการจำหน่ายแก้วมังกรน้อยลง ประสบปัญหาการขาดทุน และอาจเกิดปัญหาหนี้สินได้อีกได้ในอนาคต

กลุ่มวิสาหกิจเกษตรแปลงใหญ่แก้วมังกร ตำบลร่องจิก อำเภอภูเรือ จังหวัดเลย เป็นกลุ่มเกษตรกรที่มีการเพาะปลูกแก้วมังกรในพื้นที่ขนาดใหญ่ที่สุดของตำบล ด้วยความเข้มแข็งและความมุ่งมั่นในการพัฒนาผลิตภัณฑ์ กลุ่มวิสาหกิจฯ จึงได้ประสานงานกับเกษตรกรอำเภอภูเรือ เพื่อหาแนวทางในการพัฒนาผลิตภัณฑ์จากแก้วมังกรในการเตรียมรับมือกับความผันผวนของตลาด จากการวิเคราะห์ศักยภาพของกลุ่มของ

*Corresponding author

E-mail address: Sumransupawadee@gmail.com (S. Sumran)

Online print: 3 November 2024 Copyright © 2024. This is an open access article, production, and hosting by Faculty of Agricultural Technology, Rajabhat Maha Sarakham University. <https://doi.org/10.14456/paj.2024.45>

นักวิจัย พบว่าประสบปัญหาด้านราคาจากการจำหน่ายผลสด แม้จะเคยมีความพยายามในการแปรรูปผลิตภัณฑ์ แต่ยังไม่ประสบความสำเร็จเท่าที่ควร เนื่องจากขาดองค์ความรู้ด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร ส่งผลให้ผลิตภัณฑ์ขาดความหลากหลายและไม่ตอบสนองความต้องการของผู้บริโภค อีกทั้งในการการศึกษาดูลาดูเป้าหมายชี้ให้เห็นว่ากลุ่มนักท่องเที่ยวเป็นตลาดที่มีศักยภาพสูง เนื่องจากอำเภอภูเรือเป็นแหล่งท่องเที่ยวอันดับ 2 ของจังหวัดเลย นักท่องเที่ยวมักมีความต้องการซื้อผลิตภัณฑ์ชุมชนเป็นของฝาก แต่ปัจจุบันยังมีทางเลือกน้อย แม้ว่าแก้วมังกรจะเป็นผลผลิตท้องถิ่น แต่ด้วยข้อจำกัดของการนำเข้าเลี้ยงง่ายและการขาดผลิตภัณฑ์แปรรูปที่น่าสนใจ จึงไม่สามารถดึงดูดการตัดสินใจซื้อของนักท่องเที่ยวได้อย่างมีประสิทธิภาพ ด้วยเหตุนี้ แนวคิดในการพัฒนาผลิตภัณฑ์แปรรูปจากแก้วมังกรจึงมีความสำคัญเพราะนอกจากจะช่วยแก้ปัญหาด้านราคาให้แก่เกษตรกร (อุปทาน) ยังยังสามารถตอบสนองความต้องการของนักท่องเที่ยว (อุปสงค์)

จากการทบทวนวรรณกรรมที่เกี่ยวข้องกับการแปรรูปแก้วมังกรตามแนวคิดเศรษฐกิจสร้างสรรค์พบว่าแก้วมังกรมีศักยภาพในการนำไปพัฒนาเป็นนวัตกรรมผลิตภัณฑ์โดยงานวิจัยของ O-Chongpian et al. (2017) แสดงให้เห็นถึงการนำเปลือกแก้วมังกรมาใช้ในการพัฒนาผลิตภัณฑ์ที่มีสารสกัดจากเปลือกแก้วมังกรที่ถือเป็นนวัตกรรมใหม่ในวงการเครื่องสำอางสอดคล้องกับแนวโน้มความต้องการผลิตภัณฑ์ที่มาจากรธรรมชาติและเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมของผู้บริโภค เช่นเดียวกับงานวิจัยของ Sapjaroen (2020) ที่ได้นำเปลือกแก้วมังกรไปพัฒนาเป็นสบู่สารสกัดเปลือกแก้วมังกรที่เตรียมในรูปแบบไมโครเอนแคปซูเลชั่นทั้งหมด 6 สูตร ซึ่งผลการศึกษาพบว่ามีเพียง 2 สูตร ที่เหมาะสมนำไปพัฒนาต่อเนื่องจากคุณสมบัติคุณสมบัติที่เหมาะสมใกล้เคียงกับสบู่มมาตรฐาน รวมถึงประกอบด้วยสารสกัดธรรมชาติของเปลือกแก้วมังกร ยิ่งไปกว่านั้นในงานวิจัยของ Thanman & Boosaparker (2019) ยังได้เสนอแนวทางในการพัฒนาผลิตภัณฑ์ทางการเกษตรเพื่อให้สอดคล้องกับความต้องการของผู้บริโภคโดยใช้กระบวนการวิจัยแบบผสมผสานทั้งเชิงปริมาณและคุณภาพเน้นการพัฒนาอย่างมีส่วนร่วมที่มีการศึกษาข้อมูลด้านอุปทานซึ่งวิเคราะห์ตามแนวคิดเศรษฐกิจสร้างสรรค์จากการศึกษาทุนที่ตนเองมีได้แก่ทุนทั้งภายในและภายนอกของชุมชน ตำบลคลองหน้า อำเภอลองหลวง จังหวัดบึงกาฬ และศึกษาข้อมูลด้านอุปสงค์จากการศึกษาพฤติกรรมผู้บริโภคผลิตภัณฑ์ทางการเกษตร ผลการศึกษาพบว่าชุมชนตำบลคลองหน้ามีทุนภายในได้แก่ผลิตภัณฑ์ทางการเกษตรที่มีการพัฒนาตั้งแต่กระบวนการต้นน้ำ กลางน้ำ และปลายน้ำมาอย่างต่อเนื่อง อีกทั้งยังมีเครือข่ายในชุมชน และทุนภายนอกจากเครือข่ายภายนอกชุมชนที่สามารถช่วยเหลือซึ่งกันและกัน ส่วนในด้านผู้บริโภคนั้นจะให้ความสำคัญกับคุณลักษณะของผลิตภัณฑ์โดยเฉพาะความคุ้มค่ากับประโยชน์ที่ได้รับ

จากการทบทวนวรรณกรรมข้างต้นเห็นได้ว่าแก้วมังกรนอกจากจะนำไปในส่วนเนื้อมาแปรรูปได้ ส่วนเปลือกแก้วมังกรยังสามารถนำไปสร้างมูลค่าเพิ่มได้ ดังนั้นผู้วิจัยจึงมีแนวคิดในการพัฒนาผลิตภัณฑ์แก้วมังกรตามแนวคิดเศรษฐกิจสร้างสรรค์ วิเคราะห์จากทั้งด้านอุปทานและอุปสงค์ ผสมผสานกับความคิดสร้างสรรค์ที่สามารถสร้างมูลค่าเพิ่มเชิงพาณิชย์โดยการนำผลผลิตแก้วมังกรมาแปรรูปให้เป็นผลิตภัณฑ์ใหม่โดยใช้ทั้งส่วนเนื้อแก้วมังกรและส่วนเปลือกแก้ว

มังกร ยิ่งไปกว่านั้นเพื่อให้เกิดความเชื่อมั่นแก่ผู้บริโภค ผู้วิจัยจึงจะมีแนวทางที่จะยกระดับผลิตภัณฑ์ดังกล่าวให้ได้มาตรฐานเป็นที่ยอมรับ อาทิ มาตรฐานผลิตภัณฑ์อาหารและยา และมาตรฐานอาหารปลอดภัยจังหวัดเลย (LSF) ซึ่งผลการศึกษาสามารถเพิ่มรายได้ให้กับกลุ่มวิสาหกิจเกษตรแปลงใหญ่แก้วมังกร และเป็นแนวทางให้กับเกษตรกรที่ปลูกแก้วมังกรรายอื่นที่ต้องการแก้ไขปัญหาในช่วงที่ราคาแก้วมังกรผลสดมีราคาตกต่ำ ยังสามารถเป็นอีกหนึ่งทางเลือกให้กับนักท่องเที่ยวที่มาเที่ยวในจังหวัดเลยได้สามารถเลือกซื้อผลิตภัณฑ์เพื่อบริโภคหรือเป็นของฝาก อีกทั้งยังสอดคล้องกับ BCG Model ซึ่งเป็นรูปแบบการพัฒนาเศรษฐกิจที่ประเทศไทยมีความพยายามที่จะสนับสนุนการดำเนินการเพื่อนำไปสู่เป้าหมายการพัฒนาที่ยั่งยืนอย่างเป็นรูปธรรม โดยเป็นการพัฒนาเศรษฐกิจแบบองค์รวมที่จะพัฒนาเศรษฐกิจ 3 มิติ ได้แก่ เศรษฐกิจชีวภาพ (Bioeconomy) เศรษฐกิจหมุนเวียน (Circular Economy) และเศรษฐกิจสีเขียว (Green Economy) (NSTDA, 2020) ซึ่งเป็นการพัฒนาเศรษฐกิจที่ไม่ได้มุ่งเน้นเพียงการพัฒนาเศรษฐกิจเท่านั้น แต่ต้องพัฒนาควบคู่ไปกับการพัฒนาสังคมและการรักษาสิ่งแวดล้อมได้อย่างสมดุลให้เกิดความมั่นคงและยั่งยืนไปพร้อมกัน

อุปกรณ์และวิธีการวิจัย

งานวิจัยนี้เป็นการวิจัยและพัฒนา (Research & Development) ที่ใช้วิธีวิจัยแบบผสมผสานระหว่างการวิจัยเชิงปริมาณและการวิจัยเชิงคุณภาพ *กลุ่มเป้าหมาย*

ได้แก่ สมาชิกกลุ่มวิสาหกิจเกษตรแปลงใหญ่แก้วมังกร ตำบลร่องจิก อำเภอภูเรือ จังหวัดเลย โดยเกณฑ์การคัดเลือกแบบเจาะจงเนื่องจากเป็นกลุ่มที่แสดงความจำนงในการพัฒนาผลิตภัณฑ์ผ่านเกษตรอำเภอภูเรือ และความสนใจเข้าร่วมโครงการ ซึ่งมีจำนวนสมาชิก 30 คน แต่เนื่องจากเป็นผลิตภัณฑ์ที่เน้นความปลอดภัยจึงคัดเลือกเฉพาะสมาชิกที่แปลงปลูกได้รับการรับรองการปฏิบัติทางการเกษตรที่ดี (Good Agricultural Practices: GAP) จำนวน 20 คน *ประชากรและกลุ่มตัวอย่าง*

ได้แก่ นักท่องเที่ยวที่มาท่องเที่ยวในอำเภอภูเรือ จังหวัดเลย ซึ่งไม่ทราบจำนวนประชากรจึงใช้วิธีการกำหนดกลุ่มตัวอย่างด้วยสูตรของ Cochran (1977) ที่ระดับความคลาดเคลื่อน 0.05 ระดับความเชื่อมั่น 95 % ขนาดกลุ่มตัวอย่างที่ต้องการคือประมาณ 385 คน เพื่อให้ได้ข้อมูลที่ครบถ้วนมากที่สุด ในงานวิจัยนี้จึงกำหนดกลุ่มตัวอย่างจำนวน 400 คน

วิธีการดำเนินการวิจัย ประกอบไปด้วย 8 กิจกรรม ได้แก่

กิจกรรมที่ 1 สรุปรวข้อมูลพื้นฐาน สภาพเศรษฐกิจ และสังคมของกลุ่มเป้าหมาย ในพื้นที่ตำบลร่องจิก อำเภอภูเรือ จังหวัดเลย และความต้องการในการพัฒนาผลิตภัณฑ์จากแก้วมังกร รวมถึงสำรวจศักยภาพพื้นที่ที่เพาะปลูกแก้วมังกร วิเคราะห์และสังเคราะห์ตามแนวคิดเศรษฐกิจสร้างสรรค์

กิจกรรมที่ 2 พัฒนาผลิตภัณฑ์จากแก้วมังกร โดยใช้แนวคิดเศรษฐกิจสร้างสรรค์ในการออกแบบและพัฒนาผลิตภัณฑ์ต้นแบบโดยผ่านกระบวนการมีส่วนร่วมจากชุมชน การวิเคราะห์แผนผังการส่งมอบคุณค่า (Value Proposition Canvas) และศึกษาจากห้องปฏิบัติการโดยใช้เครื่องมือทางวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีในการทดสอบ

คุณลักษณะต่างๆ เช่น คุณค่าทางโภชนาการ องค์ประกอบทางเคมี และทางกายภาพ จุลินทรีย์ และการทดสอบด้านประสาทสัมผัส

กิจกรรมที่ 3 นำผลิตภัณฑ์ต้นแบบไปทดสอบตลาด เพื่อประเมินความพึงพอใจของผู้บริโภคที่มีต่อผลิตภัณฑ์ต้นแบบ และนำผลการประเมินมาปรับปรุงหรือพัฒนาผลิตภัณฑ์ให้สมบูรณ์ยิ่งขึ้น

กิจกรรมที่ 4 การฝึกอบรมเชิงปฏิบัติการเพื่อถ่ายทอดเทคโนโลยีและองค์ความรู้ในการจัดทำผลิตภัณฑ์แปรรูปจากแก้วมังกรให้แก่ชุมชน

กิจกรรมที่ 5 ทดสอบการจำหน่ายผลิตภัณฑ์จากแก้วมังกรตามแนวคิดเศรษฐกิจสร้างสรรค์ด้วยกิจกรรมทางการตลาดดิจิทัลโดยร่วมมือกับหน่วยงานภาครัฐหรือเอกชน เพื่อสร้างกระแสการตลาดและรายได้

กิจกรรมที่ 6 เสริมสร้างศักยภาพผลิตภัณฑ์ชุมชน โดยการยื่นขอการรับรองมาตรฐานที่เป็นที่ยอมรับ อย่างน้อย 1 มาตรฐาน

กิจกรรมที่ 7 สำรวจสภาพเศรษฐกิจและสังคมของกลุ่มเป้าหมาย เพื่อประเมินรายได้หลังจากการดำเนินงาน

กิจกรรมที่ 8 สรุปงานวิจัย จัดทำรายงาน และคืนข้อมูลให้ชุมชนและหน่วยงานที่เกี่ยวข้องเพื่อรับทราบ

การเก็บรวบรวมข้อมูล

โดยใช้ แบบสัมภาษณ์กึ่งโครงสร้าง แบบสอบถาม แบบบันทึกข้อมูล และแบบทดลองประสาทสัมผัส

การวิเคราะห์ข้อมูล

วิเคราะห์ข้อมูลเชิงปริมาณใช้สถิติเชิงพรรณนา ได้แก่ ค่าเฉลี่ย ร้อยละ ค่าเฉลี่ย ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน และการวิเคราะห์ความแปรปรวนทางเดียว (One-Way ANOVA) วิเคราะห์ข้อมูลเชิงคุณภาพด้วยการวิเคราะห์เนื้อหา (Content Analysis)

ผลและวิจารณ์ผลการวิจัย

1. ผลการศึกษาการพัฒนาผลิตภัณฑ์ตามแนวคิดเศรษฐกิจสร้างสรรค์ เป็นการออกแบบผลิตภัณฑ์รูปแบบใหม่ ทำให้เกิดผลิตภัณฑ์ใหม่จำนวน 2 ผลิตภัณฑ์ ได้แก่ กิมจิแก้วมังกร และ ขนมชาไก่แก้วมังกร โดยใช้แนวคิดการพัฒนาผลิตภัณฑ์ (Figure 1) แล้วนำไปสอบถามข้อคิดเห็นของผู้บริโภคที่มีต่อแนวทางการพัฒนาผลิตภัณฑ์จากวัตถุดิบแก้วมังกร (Table 1)

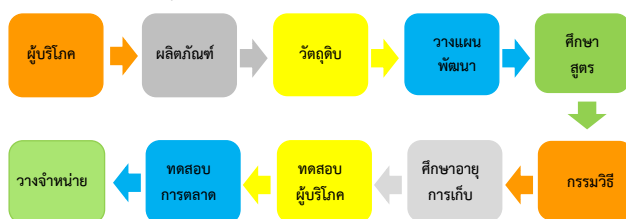


Figure 1 Steps in product development according to the creative economy concept.

ผลจากแบบสอบถามพบว่ากลุ่มเป้าหมายและผู้บริโภคต้องการผลิตภัณฑ์จากวัตถุดิบแก้วมังกรเป็นไปในทิศทางเดียวกัน โดยอยู่ในหมวดของอาหาร ซึ่งต้องการการพัฒนา 4 ประเด็น ได้แก่ การพัฒนาผลิตภัณฑ์ บรรจุภัณฑ์พร้อมรูปแบบฉลาก การบริหารจัดการกลุ่ม ช่องทางการจัดจำหน่าย จากผลการสำรวจสอดคล้องกับกระบวนการพัฒนาผลิตภัณฑ์ตามแนวคิดเศรษฐกิจสร้างสรรค์ เป็น

การพัฒนายกระดับผลิตภัณฑ์จากวัตถุดิบแก้วมังกรให้มีคุณภาพและได้รับมาตรฐาน โดยหลังจากใช้กระบวนการมีส่วนร่วมในการพัฒนาผลิตภัณฑ์ทำให้ชุมชนกลุ่มเป้าหมายมีศักยภาพในการยกระดับมาตรฐานผลิตภัณฑ์ในด้าน คุณภาพของผลิตภัณฑ์ กระบวนการผลิต รูปแบบบรรจุภัณฑ์ ระบบบัญชี และการตลาด ทำให้ชุมชนกลุ่มเป้าหมายพัฒนากระบวนการผลิตให้มีมาตรฐาน

2. การวิเคราะห์ศักยภาพพื้นที่เพาะปลูกวัตถุดิบและศึกษาคุณลักษณะคุณภาพแก้วมังกร พบว่า วัตถุดิบแก้วมังกรในพื้นที่ ตำบลร่องจิก อำเภอภูเรือ จังหวัดเลย ที่นิยมปลูก มีจำนวน 3 สายพันธุ์ ได้แก่ พันธุ์ชาวเวียดนาม พันธุ์แดงคอสตาริกา และพันธุ์เหลืองอิสราเอล เกษตรกรผู้ปลูกแก้วมังกรมีการรวมกลุ่มสมาชิกเกษตรกรแปลงใหญ่แบบแก้วมังกรปลอดสารพิษ จำนวน 200 ไร่ จากพื้นที่ปลูกแก้วมังกรทั้งหมดของอำเภอภูเรือ จังหวัดเลย จำนวน 2,000 ไร่

เมื่อนำแก้วมังกรในพื้นที่ดังกล่าวมาวิเคราะห์คุณสมบัติด้านคุณค่าทางโภชนาการ (Table 2) พบว่าคุณค่าทางโภชนาการของผลแก้วมังกรที่ปลูกในพื้นที่ ตำบลร่องจิก อำเภอภูเรือ จังหวัดเลย ให้พลังงาน 67.70 กิโลแคลอรี ซึ่งใกล้เคียงกับรายงานของ Priyanka et al. (2023) และ Kiranmai (2022) นอกจากนี้มีสารอาหารสำคัญสูงประกอบด้วย โปรตีน ไขมัน น้ำตาลกลูโคส น้ำตาลฟรุคโทส คาร์โบไฮเดรต โดยแก้วมังกรจากแหล่งปลูกที่แตกต่างกันจะมีปริมาณสารสำคัญแตกต่างกันไปด้วย (Luu et al., 2021)

3. ศึกษาความต้องการในการพัฒนาผลิตภัณฑ์แปรรูปจากแก้วมังกร สมาชิกกลุ่มวิสาหกิจเกษตรแปลงใหญ่แก้วมังกรมีความต้องการในการพัฒนาผลิตภัณฑ์ด้านอาหาร ผู้วิจัยจึงนำข้อมูลร่วมสนทนากลุ่ม โดยใช้แนวคิดเศรษฐกิจสร้างสรรค์ในการออกแบบและพัฒนาผลิตภัณฑ์ต้นแบบโดยผ่านกระบวนการมีส่วนร่วมจากชุมชน ซึ่งสามารถสรุปประเด็นความต้องการพัฒนาแบ่งออกเป็นการพัฒนาผลิตภัณฑ์แก้วมังกรจากเปลือกและจากเนื้อ (Figure 2)

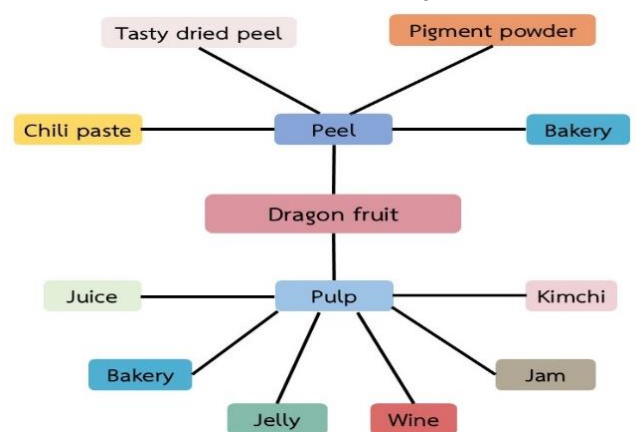


Figure 2 Focus group discussion for product development based on the creative economy concept.

พบว่า สมาชิกกลุ่มวิสาหกิจเกษตรแปลงใหญ่แก้วมังกรต้องการใช้ประโยชน์จากทุกส่วนของแก้วมังกร และมีปัจจัยในการเลือกผลิตภัณฑ์ที่จะทำการพัฒนาโดยส่วนของเนื้อแก้วมังกร ให้คะแนนการยอมรับการแปรรูปเป็น “กิมจิแก้วมังกร” มากที่สุด ส่วนของเปลือกแก้วมังกร ให้คะแนนการยอมรับต่อการแปรรูปเป็น “ขนมขบเคี้ยวกรอบ” มากที่สุด

4. ศึกษาคุณค่าที่ส่งมอบให้ผู้บริโภคด้วยแผนภาพคุณค่า (Value Proposition Canvas) วิเคราะห์ถึงคุณค่าที่ผลิตภัณฑ์จะสามารถส่งมอบให้กับลูกค้าได้อย่างตรงเป้าหมายตามความต้องการดังกล่าว (Figure 3 และ Figure 4)

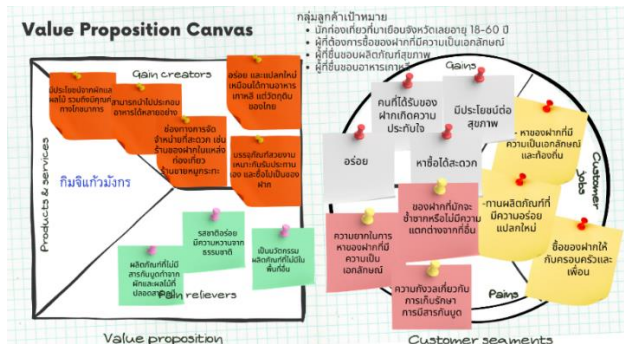


Figure 3 Value Proposition Canvas of Dragon fruit Kimchi.

จากภาพแสดงให้เห็นว่าผลิตภัณฑ์ "กิมจิแก้วมังกร" ที่มีกลุ่มเป้าหมายหลักคือกลุ่มนักท่องเที่ยวที่จังหวัดเลย อายุ 18-60 ปี ซึ่งมีความต้องการของฝากที่มีความเป็นเอกลักษณ์ ผลิตภัณฑ์สุขภาพและอร่อย แต่สิ่งที่ลูกค้ากังวล (Pain) คือ หาสองฝากที่เป็นเอกลักษณ์ยาก กังวลเรื่องสารกันบูดในอาหาร การเก็บรักษาอาหาร สิ่งที่ถูกคาดหวัง (Gains) คือ ได้ลิ้มลองรสชาติใหม่ๆ ที่อร่อยและแปลกใหม่ มีประโยชน์ต่อสุขภาพ ผู้ได้รับประทับใจ และหาซื้อง่ายและสะดวก ดังนั้นผลิตภัณฑ์กิมจิแก้วมังกรจึงเสนอคุณค่าที่ลดความกังวลให้กับลูกค้า (Pain Relievers) และสร้างความสุขจากความคาดหวังให้ลูกค้า (Gain Creators) โดยมีความอร่อยและแปลกใหม่ รสชาติผสมผสานระหว่างความอร่อยของกิมจิและความหวานของแก้วมังกร มีประโยชน์ต่อสุขภาพ ผลิตจากผักและผลไม้สดใหม่ ปลอดภัยไม่ใส่สารกันบูด บรรจุภัณฑ์สวยงาม โดยออกแบบบรรจุภัณฑ์ให้ดูน่าสนใจและเป็นของฝากได้ และมีช่องทางการจัดจำหน่ายโดยวางจำหน่ายในร้านของฝากและร้านอาหารท้องถิ่น

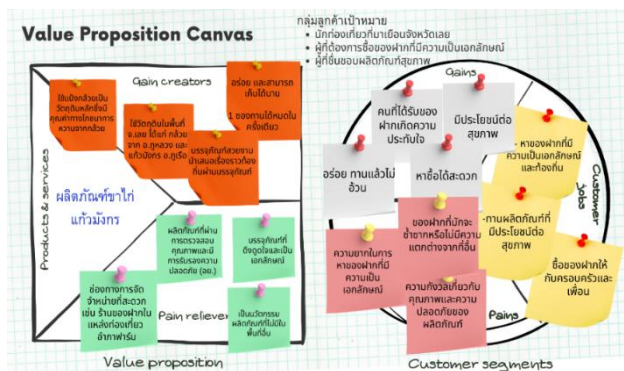


Figure 4 Value Proposition Canvas of Dragon fruit breadsticks.

จากภาพแสดงให้เห็นคุณค่าที่ส่งมอบสำหรับผลิตภัณฑ์ "ชาโกแก้วมังกร" ที่มีกลุ่มลูกค้าเป้าหมายคือนักท่องเที่ยวที่จังหวัดเลยที่ต้องการหาของฝากที่มีเอกลักษณ์และเป็นที่ระลึก และผู้ที่ชื่นชอบผลิตภัณฑ์สุขภาพ ความกังวลของลูกค้า (Pains) คือ ลูกค้าต้องการของฝากที่ไม่เหมือนใครและเป็นตัวแทนของจังหวัดเลย แต่ผลิตภัณฑ์ทั่วไปมักจะมีรูปแบบเดิมๆ ทำให้ลูกค้าเบื่อหน่าย อีกทั้งเรื่องคุณภาพและความปลอดภัย ความคาดหวังของลูกค้า (Gains) คือ ของฝากที่มีความเป็นเอกลักษณ์ ซึ่ง ผลิตภัณฑ์ชาโกแก้วมังกรเป็นของฝากที่ไม่

เหมือนใครและหาซื้อได้ยากในที่อื่น อร่อยและทานแล้วไม่อ้วน หาซื้อได้สะดวก เป็นนวัตกรรมผลิตภัณฑ์ที่ไม่มีในพื้นที่อื่นแตกต่างจากผลิตภัณฑ์อื่นๆ ในตลาด บรรจุภัณฑ์สวยงามและเป็นเอกลักษณ์สามารถนำไปเป็นของฝากได้ ดังนั้นผลิตภัณฑ์ชาโกแก้วมังกรจึงเสนอคุณค่าที่ลดความกังวลให้กับลูกค้า (Pain Relievers) และสร้างความสุขจากความคาดหวังให้ลูกค้า (Gain Creators) โดยชาโกแก้วมังกรเป็นของฝากที่มีเอกลักษณ์ แปลกใหม่ รสชาติอร่อย มีประโยชน์ต่อสุขภาพ ผลิตจากวัตถุดิบในท้องถิ่น และมีบรรจุภัณฑ์ที่สวยงาม ใช้วัตถุดิบในพื้นที่จังหวัดเลย ได้แก่ ถั่วเขียวจากภูหลวง และแก้วมังกรจากภูเรือ ผลิตภัณฑ์ผ่านการตรวจสอบคุณภาพและมีการรับรองมาตรฐานอยู่. บรรจุภัณฑ์สวยงาม นำเสนอเรื่องราวท้องถิ่นผ่านบรรจุภัณฑ์ และมีช่องทางการจัดจำหน่ายที่สะดวก เช่น ร้านของฝากในแหล่งท่องเที่ยวอำเภอฟาร์ม

5. การพัฒนาผลิตภัณฑ์ในท้องปฏิบัติการทางวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร

5.1 การพัฒนาผลิตภัณฑ์กิมจิแก้วมังกร วัตถุดิบที่ใช้ประกอบด้วย เนื้อแก้วมังกร ผักกาดขาว ต้นหอมหรือกุยช่าย แอปเปิล สาลี่ พริกเขียว หอมหัวใหญ่ หัวไชเท้า ขิง กระเทียม งาขาว เกลือ น้ำตาลปี๊บ พริกเกาหลี แป้งข้าวเหนียว ได้ผลิตภัณฑ์กิมจิแก้วมังกร (Figure 5) และผลการวิเคราะห์กิมจิในท้องปฏิบัติการ (Table 3)



Figure 5 Dragon fruit Kimchi products.

จากการศึกษาพบว่าผลที่เกิดจากผลิตภัณฑ์กิมจิแก้วมังกรที่เกิดขึ้นกับชุมชนและอัตลักษณ์ของผลิตภัณฑ์ชุมชน ได้แก่ สามารถใช้แก้วมังกรที่ขายไม่ได้ราคาหรือมีตำหนิเล็กน้อยนำมาแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์เพื่อเป็นการเพิ่มมูลค่าของแก้วมังกรนอกจากนี้ในสูตรการผลิตใช้ปริมาณน้ำตาลน้อยกว่าสูตรปกติ (ใช้น้ำตาล 1 ใน 3 ของสูตรปกติ) เนื่องจากแก้วมังกรมีรสหวานอยู่แล้ว และเมื่อจากการวิเคราะห์คุณค่าทางโภชนาการพบว่าผลิตภัณฑ์กิมจิแก้วมังกรมีพลังงานเท่ากับ 71 กิโลแคลอรี ไขมัน 0.10 % และมีคาร์โบไฮเดรตและโปรตีน 16.40 และ 2.20 กรัม ตามลำดับ มีพีเอชเท่ากับ 4.80 (Table 3) และปริมาณผลิตภัณฑ์ที่ได้เพิ่มขึ้นจากสูตรมาตรฐาน 1.50 เท่า มีเนื้อสัมผัสมีความชื้นเหนียวเพิ่มขึ้น ส่งผลต่อการใช้ปริมาณแป้งข้าวเหนียวลดลง ลักษณะปรากฏเห็นเป็นลักษณะคล้ายงาดำ และกิมจิที่พัฒนาได้คุณค่าทางโภชนาการจากแก้วมังกรเพิ่มสูงขึ้น อีกทั้งในกระบวนการหมักกิมจินั้นแบคทีเรียที่มีบทบาทสำคัญคือแบคทีเรียแลคติกซึ่งรายงานว่ามีหลายสายพันธุ์มีคุณสมบัติในการเป็นโพรไบโอติก เช่น *Lactobacillus plantarum*, *Lb. rhamnosus*, *Lb. acidophilus*, *Lb. brevis*, *Lb. sakei*, *Leuconostoc mesenteroides* และ *Weissella*

cibaria (Chang et al., 2010; Yu et al., 2019; Lee et al., 2015; Won et al., 2020; Nugroho et al., 2024) ทำให้กิมจิเป็นที่สนใจสำหรับกลุ่มผู้บริโภคที่ให้ความใส่ใจในสุขภาพ

เมื่อนำกิมจิที่พัฒนามาประเมินผลทางด้านประสาทสัมผัสโดยวิธี 5-point-Hedonic scale ชนิด 5 ระดับ 1 คือไม่ชอบมากที่สุด 2 คือ ไม่ชอบมาก 3 คือ ชอบปานกลาง 4 คือ ชอบมาก และ 5 คือ ชอบมากที่สุด ใช้ผู้ทดสอบ 50 คน ประเมินผลการทดสอบทางสถิติใช้วิธี One way ANOVA ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 % ($p < 0.05$) จากการวิเคราะห์พบว่าผู้ทดสอบชิมมีความชอบโดยรวมที่ระดับ 4.86 ซึ่งอยู่ในระดับชอบมากที่สุด (Table 4)

5.2 การพัฒนาผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวจากแก้วมังกร โดยมีขั้นตอนดังนี้ เริ่มจากการทำผงแก้วมังกร โดยนำแก้วมังกรมาตัดส่วนที่งอกออกมาจนผิวเกลี้ยง นำไปล้างจนสะอาด ปอกเปลือกแก้วมังกร และแยกออกจากส่วนเนื้อ จากนั้นหั่นแนวยาวขนาด 1 เซนติเมตร จากนั้นวางเรียงเพื่อให้แห้ง โดยใช้ตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 6 ชั่วโมง ในการวางเปลือกแก้วมังกร ใช้การหงายด้านในที่ติดส่วนเนื้อสัมผัสกับความร้อนและตัดแต่งส่วนเนื้อแก้วมังกรที่ติดมาออกเพื่อป้องกันการขึ้นรา เมื่อเปลือกแก้วมังกรแห้งแล้วนำมาเข้าเครื่องบดละเอียดเพื่อการทำเป็นผง จากนั้นนำมาเป็นส่วนประกอบในขนมขบเคี้ยวจากแก้วมังกร โดยใช้วัตถุดิบประกอบด้วยส่วนผสมของผงแก้วมังกร 2 ส่วน ได้แก่ ส่วนที่ 1 ส่วนของขนมขี้ไก่ คือ แป้งกล้วยน้ำว้า 72.50 % น้ำสะอาด 17.50 % และผงเปลือกแก้วมังกร 10 % ส่วนที่ 2 การเคลือบ คือ ไวท์ช็อกโกแลต 100 กรัม และผงแก้วมังกร 10 กรัม เป็นขนมขี้ไก่แก้วมังกร (Figure 6)



Figure 6 The process of drying, grinding dragon fruit peels and mixing into breadsticks.

จากการวิเคราะห์คุณค่าทางโภชนาการในห้องปฏิบัติการของขนมขี้ไก่แก้วมังกรพบว่า มีพลังงาน 132 กิโลแคลอรี ความชื้นร้อยละ 1.67 – 3.56 ซึ่งปริมาณความชื้นอยู่ในเกณฑ์มาตรฐาน (สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม ขนบแป้งกรอบมาตรฐานเลขที่ มผช 523/2563) ปริมาณไขมันของขนมขี้ไก่แก้วมังกรมีปริมาณไขมันต่ำเนื่องจากอัตราส่วนของแป้งกล้วยดิบมีปริมาณไขมันมีค่าน้อย และอยู่ในช่วงที่ไม่เกินมาตรฐาน คือ ร้อยละ 9.29 ถึง 19.08 (Table 5) ซึ่งในการพัฒนาผลิตภัณฑ์จากเปลือกแก้วมังกรเป็นการเพิ่มมูลค่าให้กับแก้วมังกรที่ขายไม่ได้ราคาและส่งเสริมการใช้ประโยชน์เปลือกแก้วมังกรที่เป็นของเหลือทิ้งได้ และนอกจากนี้มียางานว่าในเปลือกแก้ว

มังกรมีองค์ประกอบของใยอาหารทั้งชนิดที่ละลายและไม่ละลายน้ำ (Rosiana et al., 2020) รวมถึงมีเบตาไซยานินและแอนโทไซยานิน ซึ่งมีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระอีกด้วย (Luu et al., 2021)

จากนั้นทดสอบการยอมรับของผู้บริโภคด้านประสาทสัมผัส โดยใช้ผู้บริโภคทั่วไปที่ไม่ผ่านการฝึกฝน จำนวน 50 คน ประเมินในด้านลักษณะปรากฏ ความกรอบ กลิ่นรสชาติ และความชอบโดยรวมโดยใช้วิธี 5 – points hedonic scale ผลการทดสอบพบว่าคะแนนความชอบโดยเฉลี่ยในคุณลักษณะต่างๆทั้งลักษณะปรากฏ กลิ่น/รสชาติ เนื้อสัมผัส (ความกรอบ) อยู่ระดับชอบมากที่สุด และมีความชอบโดยรวมที่ระดับ 4.88 ซึ่งอยู่ระดับชอบมากที่สุด (Table 6)

6. อบรมเชิงปฏิบัติเพื่อถ่ายทอดเทคโนโลยีกับสมาชิกกลุ่มวิสาหกิจเกษตรแปลงใหญ่แก้วมังกร มีดำเนินการใน 2 ส่วน ส่วนแรกอบรมเชิงปฏิบัติการการทำกิมจิแก้วมังกรในพื้นที่ที่ใช้การประเมินตามสภาพจริงและจากการสังเกตพฤติกรรมอย่างเป็นระบบ พบว่า ผู้เข้ารับการถ่ายทอดเทคโนโลยี ให้ความสนใจและมีความกระตือรือร้นในการเรียนรู้ทักษะการปฏิบัติในทุกขั้นตอน พร้อมกับการจดบันทึกควบคู่ไปกับการสอบถามเทคนิคและวิธีการทำ (Figure 7) ส่วนที่สองเป็นอบรมเชิงปฏิบัติการเพื่อการถ่ายทอดเทคโนโลยีในสถานที่ผลิตที่ได้รับการรับรองมาตรฐานสำหรับขนมขี้ไก่แก้วมังกร ซึ่งขนมขี้ไก่แก้วมังกรนั้นได้ยื่นขอรับการรับรองมาตรฐานจากสำนักงานคณะกรรมการอาหารและยาเลขที่ใบอนุญาต 42-201459-6-0017



Figure 7 Training workshop on practical application to transfer Dragon fruit Kimchi processing technology.

จากการวิจัยพบว่าสมาชิกกลุ่มวิสาหกิจเกษตรแปลงใหญ่แก้วมังกรสามารถผลิตและมีความพึงพอใจต่อกระบวนการถ่ายทอดเทคโนโลยี อีกทั้งมีความต้องการในการผลิตเพื่อการจำหน่าย จึงได้มีการจัดกิจกรรมศึกษาดูงานในแหล่งผลิตที่ได้มาตรฐานเพื่อนำมาพัฒนาผลิตภัณฑ์ของตนเอง ซึ่งสถานที่ในการศึกษาดูงานเป็นสถานที่ที่ได้รับการรับรองมาตรฐาน GMP codex ได้แก่ Banana Family ผู้ผลิตขนมจากกล้วย เมื่อวันที่ 6 กรกฎาคม 2565 (Figure 8) จากนั้นผู้วิจัยและชุมชน ร่วมถอดบทเรียนการพัฒนาผลิตภัณฑ์ทั้ง 2 ชนิด ได้แก่ กิมจิแก้วมังกร และขนมขี้ไก่แก้วมังกร และการร่วมออกแบบบรรจุภัณฑ์พร้อมฉลากภายใต้ตราสินค้าลองจิ (Longchi) (Figure 9 และ Figure 10)



Figure 8 Practical training on technology transfer at GMP Codex-certified production facilities for Dragon fruit breadsticks.



Figure 9 Lesson Learns for product development and packaging design Including labels.



Figure 10 Label, packaging, LSF standard symbol, and food additive code number on product packaging.

7. การทดสอบตลาดจากผู้บริโภค โดยนำผลิตภัณฑ์ต้นแบบที่ได้รับการพัฒนาแล้วไปทดสอบตลาดโดยสอบถามความพึงพอใจ 5 ระดับ คือ มากที่สุด มาก ปานกลาง น้อย และน้อยที่สุด ในประเด็นเรื่องรสชาติ บรรจุก้นที่ สี สัน ราคา ปริมาณบรรจุ ฉลาก และความแปลกใหม่ จากผู้บริโภคจำนวน 400 คน ได้แบบสอบถามที่ครบถ้วนสมบูรณ์จำนวน 380 ชุด โดยแบ่งเป็นผู้ตอบผลิตภัณฑ์กิมจิแก้วมังกรจำนวน 136 คน และแบบสอบถามผลิตภัณฑ์ชาไก่แก้วมังกรจำนวน 244 คน แปลผลค่าเฉลี่ยโดยใช้เกณฑ์ 4.21 - 5 หมายถึง ระดับมากที่สุด ค่าเฉลี่ย 3.41 - 4.20 หมายถึง ระดับมาก ค่าเฉลี่ย 2.61 - 3.40 หมายถึง ระดับปานกลาง ค่าเฉลี่ย 1.81 - 2.60 หมายถึง ระดับน้อย และค่าเฉลี่ย 1.00 - 1.80 หมายถึง ระดับน้อยที่สุด ผลการศึกษาพบว่าผู้บริโภคมีความพึงพอใจในภาพรวมของผลิตภัณฑ์กิมจิแก้วมังกรและผลิตภัณฑ์ชาไก่แก้วมังกร มีค่าเฉลี่ย คือ 4.68 (S.D.=0.63) และ 4.75 (S.D.=0.58) ตามลำดับ ซึ่งอยู่ในระดับความพึงพอใจมากที่สุด และพบว่าความพึงพอใจที่มีค่าเฉลี่ยมากที่สุดของผลิตภัณฑ์กิมจิแก้วมังกรและผลิตภัณฑ์ชาไก่แก้วมังกร คือ ความแปลกใหม่ของผลิตภัณฑ์ โดยมีค่าเฉลี่ย คือ 4.74 (S.D.=0.69) และ 4.80 (S.D.=0.57) ตามลำดับ ซึ่งมีความพึงพอใจในระดับมากที่สุด

8. การตลาดดิจิทัลและการจัดจำหน่ายผลิตภัณฑ์ผู้วิจัยได้ทำการวิเคราะห์ต้นทุนผลิตภัณฑ์ร่วมกับสมาชิกกลุ่มวิสาหกิจเกษตรแปลงใหญ่แก้วมังกรเพื่อให้ทราบต้นทุนในการผลิตและกำหนดราคาให้เหมาะสม พบว่า ผลิตภัณฑ์กิมจิแก้วมังกรมีต้นทุนเฉลี่ยต่อกระปุก (450 กรัม) 54.22 บาท หากต้องการกำไรร้อยละ 50 จะต้องกำหนดราคากระปุกละ 109 บาท ในขณะที่ชาไก่แก้วมังกร (15 กรัม) มีต้นทุนเฉลี่ยต่อซอง 7.83 บาท หากต้องการกำไรร้อยละ 25 จะต้องกำหนดราคาซองละ 10 บาท ในด้านการตลาดนักวิจัยในงานวิจัยครั้งนี้ได้มีการส่งเสริมการตลาดดิจิทัล 2 รูปแบบคือ การส่งเสริมการตลาดแบบออนไลน์ที่โดยผ่านสื่อโซเชียล อาทิ เพจ Facebook ชื่อแก้วมังกรแปรรูป อ.อุเรื่อ จ.เลย , Line OA และร่วมจัดทำข้อตกลงร่วมกันกับพาณิชย์จังหวัดเลยในการนำผลิตภัณฑ์ไปจำหน่ายผ่านเว็บไซต์พาณิชย์ฮ็อปปี้ ซึ่งเน้นให้สมาชิกกลุ่มวิสาหกิจสามารถใช้งานเองได้ ไม่ยุ่งยาก อีกทั้งสามารถเข้าถึง

กลุ่มเป้าหมายได้ทั้งในระดับจังหวัดและระดับประเทศ นอกจากนี้ยังมีการสร้างพันธมิตรโดยจับคู่ธุรกิจกับ Banana Family ในการจ้างผลิต (OEM) ร้านยักกินเนื้อ ร้านบาบูคาเฟ่ ในการเป็นช่องทางการจัดจำหน่าย ทั้งนี้เพื่อให้เกิดพันธมิตรทางการค้าและมีตลาดที่แน่นอนและทำให้เกิดความยั่งยืนในกลุ่มวิสาหกิจฯ มากยิ่งขึ้น

ผลจากการดำเนินงานพบว่าเกิดผลกระทบในด้านเศรษฐกิจจากการเพิ่มขึ้นของรายได้สุทธิเปรียบเทียบกับก่อนและหลังดำเนินโครงการซึ่งพบว่ากลุ่มวิสาหกิจเกษตรแปลงใหญ่แก้วมังกร มีรายได้สุทธิจากการจำหน่ายผลิตภัณฑ์แปรรูปเป็นกิมจิแก้วมังกร และชาไก่แก้วมังกรเพิ่มขึ้นร้อยละ 54.88 เกิดผลกระทบทางสังคมเนื่องจากมีเครือข่ายความร่วมมือทางธุรกิจที่เพิ่มมากขึ้น เกิดความเข้มแข็งภายในกลุ่ม อีกทั้งยังก่อให้เกิดผลกระทบในด้านสิ่งแวดล้อม จากการใช้นวัตกรรมเศรษฐกิจหมุนเวียนมาใช้ ทำให้มีการนำเปลือกแก้วมังกรที่เป็นขยะมาทำให้เกิดมูลค่าจากการแปรรูปเป็นชาไก่แก้วมังกรอีกด้วย

จากการพัฒนาผลิตภัณฑ์แปรรูปจากแก้วมังกรได้ผลิตภัณฑ์ที่เกิดจากการนำเปลือกและเนื้อแก้วมังกรมาใช้ประโยชน์โดยมีกระบวนการพัฒนาย่างมีส่วนร่วมซึ่งอาศัยที่สอดคล้องกับงานวิจัยของ Thanman & Boosaparek (2019) และแนวคิดเศรษฐกิจสร้างสรรค์ (Tempittayapaisith, 2011) ซึ่งมีการพัฒนาผลิตภัณฑ์ทั้งกิมจิแก้วมังกร และชาไก่แก้วมังกร ได้อาศัยทุนที่มีอยู่เดิมในพื้นที่ได้แก่ ทุนธรรมชาติ ทุนมนุษย์ ทุนความรู้ภูมิปัญญา ทุนทางสังคม มาผนวกเข้ากับความรู้ เทคโนโลยี สมัยใหม่ของนักวิจัย ทำให้เกิดมูลค่าเพิ่มในเชิงพาณิชย์ ซึ่งถือเป็นนวัตกรรมผลิตภัณฑ์ที่เป็นสิ่งใหม่ เกิดจากความรู้ ความคิดสร้างสรรค์ เกิดการสร้างคุณค่า และก่อให้เกิดประโยชน์ในเชิงพาณิชย์ได้ ซึ่งในการขอรับรองมาตรฐานจากสำนักงานคณะกรรมการอาหารและยา (อย.) กลุ่มวิสาหกิจเกษตรแปลงใหญ่แก้วมังกรไม่สามารถดำเนินการเองได้เพราะต้องใช้ทุนเพื่อสร้างโรงเรือน ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงได้ใช้วิธีการสร้างพันธมิตรโดยเซ็นสัญญาจับคู่ธุรกิจเพื่อจ้างผลิต (OEM) กับ Banana Family ทำให้ได้ประหยัดต้นทุนและสามารถได้รับการรับรองมาตรฐานที่รวดเร็วขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับ Seedee (2016) ที่มีผลการศึกษาพบว่าพันธมิตรทางธุรกิจเป็นกลยุทธ์ความร่วมมือและกระบวนการในการจัดการความร่วมมือระหว่างคู่พันธมิตรที่มีความสำคัญอย่างมากต่อความสำเร็จขององค์กร โดยเป็นกลยุทธ์ที่เป็นความหวังสำหรับธุรกิจขนาดกลางและขนาดเล็กเพื่อใช้ในการต่อยอดและขยายธุรกิจเพื่อสร้างความเข้มแข็งทางการแข่งขันได้ ซึ่งถือเป็นแนวทางที่เหมาะสมกับกลุ่มวิสาหกิจชุมชนและธุรกิจขนาดเล็กอื่นที่มีข้อจำกัดในด้านต้นทุนและเพิ่มขีดความสามารถทางการแข่งขันได้เป็นอย่างดี และหากมีการนำงานวิจัยนี้ไปเป็นแนวทางในการศึกษาการพัฒนาผลิตภัณฑ์ต่าง ๆ ควรคำนึงถึงความยั่งยืนของผลิตภัณฑ์ในระยะยาว ไม่เพียงแต่นั่นที่ความแปลกใหม่ แต่ควรเน้นคุณค่าทางอาหารและประโยชน์ต่อสุขภาพ ซึ่งเป็นแนวโน้มที่ผู้บริโภคให้ความสำคัญ รวมไปถึงการวิเคราะห์คู่แข่งทางการตลาดเพื่อให้เกิดการสร้างกลยุทธ์ที่จะนำไปสู่การสร้างรายได้เปรียบทางการแข่งขันได้อย่างยั่งยืน

สรุปผลการวิจัย

ผลแก้วมังกรที่ปลูกในพื้นที่ ตำบลร่องจิก อำเภออุเรื่อ จังหวัดเลย เมื่อนำมาพัฒนาผลิตภัณฑ์ตามแนวคิดเศรษฐกิจสร้างสรรค์จำนวน 2 ผลิตภัณฑ์ได้แก่ ส่วนของเนื้อแก้วมังกร พัฒนาเป็นผลิตภัณฑ์

กิมจิแก้วมังกร ส่วนของเปลือกแก้วมังกร พัฒนาเป็นผลิตภัณฑ์ขนมชาไก่แก้วมังกร ซึ่งเป็นผลิตภัณฑ์ที่เป็นนวัตกรรมและมีเอกลักษณ์ อีกทั้งมีคุณค่าทางโภชนาการสูง เมื่อทำการทดสอบการยอมรับด้านประสาทสัมผัส ผู้ทดสอบชิมให้การยอมรับผลิตภัณฑ์ทั้ง 2 ผลิตภัณฑ์ ในระดับความพึงพอใจในระดับสูงที่สุด

เมื่อนำผลิตภัณฑ์ต้นแบบที่มีการพัฒนาบรรจุภัณฑ์ ฉลาก และกำหนดราคาสินค้าภายใต้ตราสินค้า “ลองจิ” ทดสอบตลาดพบว่าผู้บริโภคมีความพึงพอใจในผลิตภัณฑ์ทั้ง 2 ชนิดในภาพรวมในระดับมากที่สุด โดยมีค่าเฉลี่ยความพึงพอใจที่สุดในด้านความแปลกใหม่ นอกจากนี้ผลิตภัณฑ์ทั้ง 2 ผลิตภัณฑ์ ยังได้รับการรับรองมาตรฐาน ได้แก่ มาตรฐานจากสำนักงานคณะกรรมการอาหารและยา (อย.) และมาตรฐานอาหารปลอดภัยจังหวัดเลย อีกทั้งได้มีการส่งเสริมการตลาดแบบออนไลน์ที่โดยผ่านสื่อสังคมและร่วมจัดทำข้อตกลงร่วมกันกับพาณิชย์จังหวัดเลยในการนำผลิตภัณฑ์ไปจำหน่ายผ่านเว็บไซต์ “พาณิชย์ซื้อเลย”

(<https://www.phanichshoploei.com/>) ซึ่งเน้นให้สมาชิกกลุ่มวิสาหกิจสามารถใช้งานได้ ไม่ยุ่งยาก อีกทั้งสามารถเข้าถึงกลุ่มเป้าหมายได้ทั้งในระดับจังหวัดและระดับประเทศ

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณสำนักงานการวิจัยแห่งชาติที่ให้ทุนอุดหนุนการวิจัยในครั้งนี้ ขอขอบคุณวิสาหกิจชุมชนกลุ่มเป้าหมายที่ร่วมคิด ร่วมทำ ร่วมแก้ไขปัญหา แม้เกิดอุปสรรคยังพยายามมุ่งมั่นไปด้วยกันพร้อมรอยยิ้มและไม่ตรีจิตขอขอบคุณผู้ประกอบการที่ร่วมลงนามข้อตกลงความร่วมมือทุกท่าน ได้แก่ Banana Family ร้านบาบู ร้านยักษ์กินเนื้อ และร้านหมูกระทะริมคลอง ที่เห็นความสำคัญของการพัฒนาผลิตภัณฑ์ที่มาจากชุมชน ช่วยในการผลักดันให้งานวิจัยบนหิ้งเป็นงานวิจัยขึ้นห้าง

Table 1 Survey results of target groups and consumers on the product development approach using dragon fruit raw materials

Suggestion	$\bar{X}$	S.D.	explanation
1. Food Products Development	4.19	0.10	High level
2. cosmetic products Development	0.81	0.95	Low level
3. other products Development	-	-	-

Table 2 Nutritional value analysis results of dragon fruit grown in Rong Chik Subdistrict, Phu Ruea District, Loei Province

Ingredients	Energy (Kcal)	Carbohydrate (g)	Solids (g)	Fiber (g)	Protein (g)
Dragon Fruit	67.70	21	14	5	2.2

Table 3 Nutritional value of Dragon fruit Kimchi

Energy (Kcal)	Fat (%)	Carbohydrate (g)	Solids (g)	Protein (g)	Sodium (mg)	Potassium (mg)	pH
71	0.1	16.4	0.7	2.2	197	872	4.8

Table 4 The sensory test of Dragon fruit Kimchi

Product	Aroma	Taste	Texture	Overall Preference
Dragon Fruit Kimchi	4.13±0.89	4.10±0.71	4.20±0.88	4.86±0.81

Table 5 Nutritional value of Dragon fruit breadsticks.

Energy (Kcal)	Fat (%)	Carbohydrate (g)	Fiber (g)	Protein (g)	Vitamin C(mg)	Phosphorus (mg)	Calcium (mg)	Moisture (%)
132±0.16	0.2±0.31	41±0.11	0.2±0.02	2.2±0.51	34±0.12	52±0.21	45±0.49	2.11±0.11

The experiment was conducted with 3 replications at a confidence level of 95 %.

Table 6 Sensory test of Dragon fruit breadstick product.

Product	Appearance	Smell/Taste	Texture (Crispiness)	Overall preference
Dragon Fruit Breadsticks	4.34±0.21	4.86±0.10	4.60±0.01	4.88±0.21

The experiment was conducted with 3 replications at a confidence level of 95 %.

References

- Bangkokbiznews. (2017). *Farmers growing dragon fruit for the market generate an annual income of 600,000 baht*. Assessed July 13, 2024. Retrieved from <https://www.bangkokbiznews.com/news/764389> (in Thai)
- Chang, J. H., Shim, Y. Y., Cha, S. K., & Chee, K. M. (2010). Probiotic characteristics of lactic acid bacteria isolated from kimchi. *Journal of Applied Microbiology*, 109(1), 220-230. doi: 10.1111/j.1365-2672.2009.04648.x
- Cochran, W. G. (1977) *Sampling techniques*. (3rd ed.). New York, United States: John Wiley & Sons.
- Department of Agricultural Extension. (2020). *The Department of Agricultural Extension has deployed staff to Loei Province, instructing them to urgently address the issue of falling dragon fruit prices*. Assessed July 13, 2024. Retrieved from <https://secreta.doe.go.th/?p=6502> (in Thai)
- Kiranmai, M. (2022). Review of exotic fruit: nutritional composition, nutraceutical properties and food application of Dragon fruit (*Hylocereus* spp.). *The Pharma Innovation Journal*, 11(6), 613-622.
- Lee, N. K., Han, K. J., Son, S. H., Eom, S. J., Lee, S. K., & Paik, H. D. (2015). Multifunctional effect of probiotic *Lactococcus lactis* KC24 isolated from kimchi. *LWT - Food Science and Technology*, 64(2), 1036-1041. doi: 10.1016/j.lwt.2015.07.019
- Luu, T. T. H., Le, T. L., Nuyhn, N., & Quintela-Alonso, P. (2021). Dragon fruit: a review of health benefits and nutrients and its sustainable development under climate changes in Vietnam. *Czech Journal of Food Sciences*, 39(2), 71-94. doi: 10.17221/139/2020-CJFS
- MGR Online. (2013). *Farmers in Phu Ruea cultivate dragon fruit, generating an annual income of no less than 20 million baht for the community*. Assessed July 13, 2024. Retrieved from <https://mgronline.com/local/detail/9560000106413> (in Thai)
- National Science and Technology Development Agency (NSTDA). (2020). *BCG Economy model*. Accessed June 22, 2024. Retrieved from https://www.nstda.or.th/home/knowledge_post/bcg-by-nstda/ (in Thai)
- Nugroho, D., Thinthasit, A., Surya, E., Hartati, Oh, J. S., Jang, J. G., Benchawattananon, R., & Surya, R. (2024). Immunoenhancing and antioxidant potentials of kimchi, an ethnic food from Korea, as a probiotic and postbiotic food. *Journal of Ethnic Foods*, 11, 12. doi: 10.1186/s42779-024-00232-8
- O-Chongpian, P., Pimpa, P., & Jantrawut, P. (2017). Development of eyes mask containing dragon fruit peel extract. *Journal of Agriculture*, 33(3), 415-425. (in Thai)
- Priyanka, M., Kale, L., Sneha, V., & Bawage, S. B. (2023). Dragon fruit a review of health benefit and nutrients. *International Journal of Research Publication and Reviews*, 4(12), 2487-2497.
- Rosiana, N. M., Suryana, A. L., & Olivia, Z. (2020). The mixture of soybean powder and dragon fruit peel powder as high fiber functional drink. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 411(1), 012044. doi: 10.1088/1755-1315/411/1/012044
- Sapjaroen, P. (2020). *Development of soap with the dragon fruit peel extract in micro-encapsulation form*. (Master's thesis). Pathum Thani, Thailand: Rangsit University. (in Thai)
- Seedee, R. (2016). Business alliance: elements of building alliances, alliance learning process, and alliances performance. *Panyapiwat Journal*, 8(3), 254-264. (in Thai)
- Termpittayapaisith, A. (2011). *Thailand's creative economy*. Assessed July 18, 2024. Retrieved from https://www.nesdc.go.th/ewt_w3c/ewt_dl_link.php?nid=2774 (in Thai)
- Thanman, S., & Boosaparerk, N. (2019). Study of agri-product development and consumer behavior by mixed method approach. *VRU Research and Development Journal Humanities and Social Science*, 14(2), 111-124. (in Thai)
- Topnews. (2022). *Loei Province Dragon fruit production source to feed the largest market in Thailand and ready to send processing plants*. Assessed September 5, 2024. Retrieved from <https://www.topnews.co.th/news/340613> (in Thai)
- Won, S. M., Chen, S., Park, K. W., & Yoon, J. H. (2020). Isolation of lactic acid bacteria from kimchi and screening of *Lactobacillus sakei* ADM14 with anti-adipogenic effect and potential probiotic properties. *LWT*, 126, 109296. doi: 10.1016/j.lwt.2020.109296
- Yu, H. S., Jang, H. J., Lee, N. K., & Paik, H. D. (2019). Evaluation of the probiotic characteristics and prophylactic potential of *Weissella cibaria* strains isolated from kimchi. *LWT*, 112, 108229. doi: 10.1016/j.lwt.2019.05.127

Research article

The product development from dragon fruit according to the creative economy concept in the area of Rong Chik Subdistrict, Phu Ruea District, Loei Province

Supawadee Sumran^{1*} Warintorn Tophan² Kwankanit Intaratrakul³ and Nattiya Supphunyakul⁴

¹ Food Science and Technology Program, Faculty of Science and Technology, Loei Rajabhat University, Muang District, Loei Province Thailand 42000

² Economics Program, Faculty of Management Science, Loei Rajabhat University, Muang District, Loei Province Thailand 42000

³ Biology Program, Faculty of Science and Technology, Loei Rajabhat University, Muang District, Loei Province Thailand 42000

⁴ Digital Communication Arts Program, Faculty of Management Science, Loei Rajabhat University, Muang District, Loei Province Thailand 42000

ARTICLE INFO**Article history**

Received: 13 August 2024

Revised: 4 October 2024

Accepted: 6 October 2024

Online published: 3 November 2024

Keyword

product development

dragon fruit

creative economy

innovation

BCG Model

ABSTRACT

Rong Chik Subdistrict, Phu Ruea District, Loei Province, is a leading area for dragon fruit cultivation in the province. In some years, a surplus in dragon fruit supply has caused prices to plummet to only 3-5 baht per kilogram. This research aimed to develop dragon fruit products based on the concept of creative economy. It was a developmental study integrating both quantitative and qualitative research methods. The target group consisted of 20 members of large-scale dragon fruit agricultural enterprises in Rong Chik Subdistrict, Phu Ruea District, Loei Province. Data collection tools included interviews, data collection forms, sensory tests, and questionnaires. Quantitative analysis was performed using frequency, %, mean, standard deviation, and one-way ANOVA, while qualitative analysis was conducted through content analysis. The research results led to the development of two dragon fruit products based on the concept of creative economy: dragon fruit kimchi and dragon fruit breadsticks, branded as "Longchi." Market testing with general consumers showed the highest satisfaction with both products. Additionally, these products have received certification for Food Safety Standards from Loei Province (LSF) and the Food and Drug Administration (FDA). This has led to plans for expanding distribution channels through agreements in Loei Province and boosting awareness and sales through digital marketing communication. Consequently, the large-scale dragon fruit agricultural enterprise group has increased its net income, leading to effective and sustainable group management.

*Corresponding author

E-mail address: Sumransupawadee@gmail.com (S. Sumran)

Online print: 3 November 2024 Copyright © 2024. This is an open access article, production, and hosting by Faculty of Agricultural Technology, Rajabhat Maha Sarakham University. <https://doi.org/10.14456/paj.2024.45>



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

บทความวิจัย

การปฏิบัติของเกษตรกรที่มีผลต่อปริมาณข้าวพันธุ์อื่นปนในการผลิตเมล็ดพันธุ์ข้าว กข6 ในอำเภอเมืองขอนแก่น จังหวัดขอนแก่น

พรจิต หินเฑาว์ และ ไชยธีระ พันธุ์ภักดี*

สาขาวิชาการส่งเสริมและพัฒนาการเกษตร คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น อำเภอเมือง จังหวัดขอนแก่น ประเทศไทย 40002

ข้อมูลบทความ

Article history

รับ: 19 สิงหาคม 2567

แก้ไข: 23 กันยายน 2567

ตอบรับการตีพิมพ์: 1 พฤศจิกายน 2567

ตีพิมพ์ออนไลน์: 7 พฤศจิกายน 2567

คำสำคัญ

การปฏิบัติของเกษตรกร

การผลิตเมล็ดพันธุ์ข้าว

ข้าวพันธุ์ กข6

อำเภอเมืองขอนแก่น และจังหวัดขอนแก่น

บทคัดย่อ

การศึกษานี้มีวัตถุประสงค์สำคัญเพื่อศึกษาการปฏิบัติของเกษตรกรที่มีผลต่อปริมาณข้าวพันธุ์อื่นปนในการผลิตเมล็ดพันธุ์ข้าว กข6 กลุ่มตัวอย่างคือ กลุ่มเกษตรกรผู้ผลิตเมล็ดพันธุ์ข้าว กข6 ที่ขึ้นทะเบียนกับกรมการข้าว ปี พ.ศ.2566 ในพื้นที่อำเภอเมืองขอนแก่น จังหวัดขอนแก่น จำนวน 92 คน ใช้แบบสัมภาษณ์เป็นเครื่องมือในการเก็บรวบรวมข้อมูล ใช้สถิติเชิงพรรณนาเพื่ออธิบายข้อมูลพื้นฐานทางสังคมและเศรษฐกิจ ข้อมูลการจัดการการผลิตเมล็ดพันธุ์ข้าวของเกษตรกร ผลการศึกษาพบว่าเกษตรกรส่วนใหญ่เป็นเพศหญิง ร้อยละ 52.20 มีประสบการณ์ในการผลิตเมล็ดพันธุ์ข้าวเฉลี่ย 15 ปี เกษตรกรมีขนาดพื้นที่ผลิตเมล็ดพันธุ์ข้าวเฉลี่ย 12 ไร่ 2 งาน และการเก็บเกี่ยวใช้เครื่องเกี่ยวนาเฉลี่ย 97.80 ส่วน ความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยการจัดการการผลิตเมล็ดพันธุ์ข้าวและปริมาณเมล็ดข้าวพันธุ์อื่นปน ใช้การถดถอยพหุคูณเพื่อศึกษาพบว่า 4 ปัจจัยสำคัญ ได้แก่ การเตรียมดิน การดูแลตรวจตัดพันธุ์ปน การเก็บเกี่ยว และการจัดการหลังการเก็บเกี่ยว จากการศึกษาพบว่าปัจจัยดังกล่าวมาจากการที่เกษตรกรมีการทำนาเปลี่ยนสายพันธุ์ข้าวบ่อย จำนวนพื้นที่ในการผลิต เมล็ดพันธุ์มากและแรงงานครัวเรือนน้อย ส่งผลให้การตรวจตัดพันธุ์ปนในแปลงผลิตเมล็ดพันธุ์ข้าวไม่ทันเวลา แนวทาง การแก้ไขคือ เกษตรกรและหน่วยงานที่เกี่ยวข้องควรปรับจำนวนพื้นที่ในการผลิตเมล็ดพันธุ์ข้าวให้เหมาะสมกับแรงงาน และนำเทคโนโลยีมาใช้ในการตรวจตัดพันธุ์ปนในแปลงผลิตเมล็ดพันธุ์ข้าว เพื่อให้ได้เมล็ดพันธุ์ข้าวที่มีคุณภาพสูงสุด

บทนำ

ข้าวเป็นพืชเศรษฐกิจที่สร้างความมั่นคงให้กับประเทศไทย ซึ่งเป็นผู้ผลิตและส่งออกข้าวระดับพรีเมียมไปยังตลาดโลก ปี พ.ศ. 2566 ประเทศไทยมีพื้นที่ปลูกข้าวปีละประมาณ 69.13 ล้านไร่ มีความต้องการใช้เมล็ดพันธุ์ข้าวแต่ละปีประมาณ 1.38 ล้านตัน แต่ทุกภาคส่วนผลิตเมล็ดพันธุ์ข้าวรวมกันยังไม่เพียงพอต่อความต้องการ และการใช้เมล็ดพันธุ์ที่ไม่มีคุณภาพจะส่งผลต่อปริมาณและคุณภาพของผลผลิตเมล็ดพันธุ์ข้าว (Khatsakan & Kochsamrong, 2023) กรมการข้าวได้ส่งเสริมให้เกษตรกรเข้าร่วมโครงการผลิตและกระจายเมล็ดพันธุ์ข้าว ซึ่งในปัจจุบันมีศักยภาพการผลิตทั่วประเทศปีละ 86,000 ตัน (Rice Department, 2021) การผลิตเมล็ดพันธุ์ข้าวฤดูฝน ปี พ.ศ. 2566 ศูนย์เมล็ดพันธุ์ข้าวขอนแก่น มีเป้าหมายการผลิตเมล็ดพันธุ์ข้าว กข6 จำนวน 1,300 ตัน แบ่งเป็นชั้นพันธุ์ขยาย จำนวน 646 ตัน และชั้นพันธุ์จำหน่าย จำนวน 654 ตัน (Khon Kaen Rice

Seed Center, 2023a) ในขั้นตอนการผลิตเมล็ดพันธุ์ข้าวตามมาตรฐานสินค้าเกษตรการปฏิบัติที่ดีสำหรับเมล็ดพันธุ์ข้าว มีวัตถุประสงค์เพื่อให้ได้เมล็ดพันธุ์ข้าวที่มีคุณภาพดีและเหมาะสมสำหรับนำไปปลูกและผลิตเป็นข้าวเพื่อการบริโภคและนำไปแปรรูป โดยคำนึงถึงสิ่งแวดล้อม สุขภาพ ความปลอดภัย สวัสดิภาพของผู้ปฏิบัติงานและผู้บริโภคเมล็ดพันธุ์ (National Bureau of Agricultural Commodity and Food Standards, 2017) และเพื่อให้ได้ผลผลิตตามเป้าหมายการผลิตและให้เมล็ดพันธุ์ข้าวที่มีคุณภาพดี จำเป็นต้องเลือกพื้นที่ให้หลากหลายเพื่อลดความเสี่ยงต่อผลผลิต หากในบางปีที่เกิดภัยพิบัติทางธรรมชาติ เช่น ฝนแล้งหรือน้ำท่วมในพื้นที่แปลง ดังนั้น การเลือกพื้นที่แปลงต้องอยู่บนพื้นฐานทางวิชาการและการส่งเสริมการเกษตร โดยเกษตรกรจะได้รับคำแนะนำและควบคุมการผลิต ให้เป็นไปตามระเบียบกรมการข้าวว่าด้วยมาตรฐานคุณภาพเมล็ดพันธุ์ข้าวในกระบวนการผลิต พ.ศ. 2557 และศูนย์เมล็ดพันธุ์ข้าวจะรับ

*Corresponding author

E-mail address: chaipatp@kku.ac.th (P. Hinthawong)

Online print: 7 November 2024 Copyright © 2024. This is an open access article, production, and hosting by Faculty of Agricultural Technology, Rajabhat Maha Sarakham University. <https://doi.org/10.14456/paj.2024.46>

ซื้อเมล็ดพันธุ์ข้าวที่ผ่านมาตรฐานดังกล่าวคืนจากเกษตรกรในราคาที่สูงกว่าท้องตลาดตามกรอบราคาจำหน่ายเมล็ดพันธุ์พืชของกรมการข้าวประมาณร้อยละ 20

การทำนาข้าวของเกษตรกรในเขตอำเภอเมืองขอนแก่น จังหวัดขอนแก่น มีทั้งการทำนาปี (wet season crop) และนาปรัง (dry season crop) พันธุ์ข้าวที่นิยมปลูกส่วนมาก ได้แก่ กข6 ขาวดอกมะลิ 105 กข49 ชัยนาท1 พิษณุโลก2 เป็นต้น ข้าว กข6 (RD6) เป็นพันธุ์ข้าวที่มีความต้องการของตลาดสูง มีลักษณะเป็นพันธุ์ข้าวเหนียว ไวต่อช่วงแสง นิยมปลูกมาก ในเขตภาคตะวันออกเฉียงเหนือ และภาคเหนือของไทย เนื่องจากเป็นพันธุ์ข้าวเหนียวที่ข้าวสุกอ่อนนุ่ม มีกลิ่นหอม เกษตรกรนิยมบริโภค ให้ผลผลิตเฉลี่ยสูงถึง 666 กิโลกรัมต่อไร่ (Division of Rice Research and Development, 2023) ศูนย์เมล็ดพันธุ์ข้าวขอนแก่น ได้มีการเลือกหมู่บ้านในพื้นที่ตำบลโคกสี ตำบลโนนท่อน ตำบลท่าพระ ตำบลดอนช้าง ตำบลสาวะถี ตำบลสำราญ และตำบลหนองตูม อำเภอเมืองขอนแก่น จังหวัดขอนแก่น เป็นแปลงผลิตเมล็ดพันธุ์ข้าว ทั้งนี้ การเลือกพื้นที่อำเภอเมืองขอนแก่น จังหวัดขอนแก่น เป็นหนึ่งในแปลงผลิตเมล็ดพันธุ์ข้าว กข6 ชั้นพันธุ์ขยาย เพราะเป็นบริเวณที่แหล่ง แม่น้ำพองและแม่น้ำชีไหลบรรจบกัน มีแหล่งน้ำธรรมชาติและแหล่งน้ำชลประทานเหมาะสมต่อการทำการเกษตรตลอดทั้งปี (Royal Irrigation Department, 2018) ทำให้มีปริมาณน้ำเพียงพอต่อการผลิตเมล็ดพันธุ์ข้าว ลดความเสี่ยงการผลิตเมล็ดพันธุ์ไม่ได้ตามเป้าหมายการผลิต ลดระยะทางและเวลาในการขนส่งผลผลิตรวมทั้งการเดินทางของเจ้าหน้าที่และเกษตรกร เกษตรกรในพื้นที่ได้สมัครเข้าร่วมโครงการผลิตและกระจายเมล็ดพันธุ์ข้าวในปี 2566 การผลิตเมล็ดพันธุ์ข้าว กข6 ชั้นพันธุ์ขยาย จำนวน 120 ราย (Khon Kaen Rice Seed Center, 2023b) ในพื้นที่แปลงผลิตเมล็ดพันธุ์ข้าวของเกษตรกรช่วง 3 ฤดูการผลิตที่ผ่านมา ผลการดำเนินงานพบว่า เกษตรกรในกลุ่มบางรายประสบปัญหาด้านคุณภาพ ผลผลิตไม่ผ่านมาตรฐานการจัดซื้อคืนในชั้นพันธุ์ขยาย ผลผลิตที่ได้มีเมล็ดพันธุ์ข้าวอินปนเกินมาตรฐาน

การที่ผลผลิตข้าวของเกษตรกรผู้ผลิตเมล็ดพันธุ์ข้าว มีปริมาณข้าวพันธุ์อินปนเกินมาตรฐาน มากกว่าร้อยละ 10 เกษตรกรยังไม่สามารถควบคุมให้ลดลงได้ และเป็นปัญหาสำคัญของการผลิตเมล็ดพันธุ์ข้าวของศูนย์เมล็ดพันธุ์ข้าวขอนแก่น ทำให้การซื้อเมล็ดพันธุ์คืนจากเกษตรกรในโครงการไม่ได้ตามแผนและเป้าหมายการผลิตเมล็ดพันธุ์ที่กำหนดไว้ อีกทั้งมีแนวโน้มผลผลิตคุณภาพลดลง เกษตรกรผู้ผลิตเมล็ดพันธุ์ข้าวต้องสูญเสียโอกาสและรายได้จากการจำหน่ายผลผลิตเป็นเมล็ดพันธุ์ไม่ได้ (Khon Kaen Rice Seed Center, 2022) ดังนั้น การที่เกษตรกรผู้จัดทำแปลงผลิตเมล็ดพันธุ์ข้าวจะสามารถแก้ไขปัญหามีข้าวพันธุ์อินปนในผลผลิตได้นั้น ต้องมีการทบทวนและร่วมกันแก้ไข ติดตาม ควบคุมแนะนำ กำกับการปฏิบัติในการจัดการกระบวนการผลิตเมล็ดพันธุ์ข้าวในแปลงผลิตเมล็ดพันธุ์ ให้สามารถ

ควบคุมป้องกันปัจจัยที่มีผลต่อการเพิ่มขึ้นของปริมาณ ข้าวพันธุ์อินปน และให้ความสำคัญในการปฏิบัติกิจกรรมการควบคุมการปฏิบัติในแปลงผลิตเมล็ดพันธุ์ข้าวต่าง ๆ อย่างเคร่งครัด (Boonchai, 2012) ดังนั้น ในการศึกษาการปฏิบัติของเกษตรกรที่มีผลต่อปริมาณข้าวพันธุ์อินปนในการผลิตเมล็ดพันธุ์ข้าว กข6 ในอำเภอเมืองขอนแก่น จังหวัดขอนแก่น ซึ่งจะทำให้ได้ข้อมูลสำหรับใช้ในการวางแผน พัฒนารูปแบบวิธีการควบคุมคุณภาพและการส่งเสริมการผลิตเมล็ดพันธุ์ข้าวในแปลงผลิตเมล็ดพันธุ์ข้าว ให้เกษตรกรสามารถผลิตเมล็ดพันธุ์ ที่มีคุณภาพสูง และได้ปริมาณตามเป้าหมาย

อุปกรณ์และวิธีการวิจัย

1. ประชากรและกลุ่มตัวอย่าง

ประชากรที่ใช้ในการศึกษานานครั้งนี้ คือ กลุ่มเกษตรกรผู้ผลิตเมล็ดพันธุ์ข้าว ที่เข้าร่วมจัดทำแปลงผลิตเมล็ดพันธุ์ ข้าว กข6 ชั้นพันธุ์ขยาย ฤดูฝน ปี พ.ศ.2566 กับศูนย์เมล็ดพันธุ์ข้าวขอนแก่น ซึ่งมีเกษตรกรทั้งหมด 120 ราย โดยมีพื้นที่อาศัยอยู่ใน 3 หมู่บ้าน 2 ตำบล ในอำเภอเมืองขอนแก่น จังหวัดขอนแก่น โดยกำหนดขนาดของกลุ่มตัวอย่างที่ใช้ในการศึกษาที่ระดับความคลาดเคลื่อนที่ยอมรับได้จากการสุ่มตัวอย่างที่ 0.05 โดยใช้ตารางการกำหนดกลุ่มตัวอย่างของเครซีและมอร์แกน (Krejcie & Morgan, 1970) ได้กลุ่มตัวอย่างที่ใช้ในการศึกษานี้ทั้งสิ้นจำนวน 92 ราย สุ่มเลือกเกษตรกรเป้าหมายจาก 3 หมู่บ้าน 2 ตำบล ใช้วิธีการสุ่มแบบง่าย (Simple random sampling) โดยวิธีการจับสลากแบบไม่มีการแทนที่ กำหนดให้จำนวนตัวอย่างในแต่ละหมู่บ้านเป็นสัดส่วนกับประชากรที่มีอยู่ (proportional sampling) โดยการเทียบบัญชีรายชื่อไตรยางศ์เพื่อให้ได้กลุ่มตัวอย่างที่จะเป็นตัวแทนของเกษตรกรผู้ผลิตเมล็ดพันธุ์ข้าวในการวิจัย

2. เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

แบบสอบถาม (Questionnaire) ทั้งปลายปิด (Closed-ended question) และปลายเปิด (Open-ended question) ในการรวบรวมข้อมูลทางสังคมและเศรษฐกิจของเกษตรกร การจัดการการผลิตเมล็ดพันธุ์ข้าว การปฏิบัติในการจัดทำแปลงผลิตเมล็ดพันธุ์ข้าว ต่าง ๆ เช่น การใช้เมล็ดพันธุ์ การเตรียมดิน การดูแลตรวจตัดพันธุ์ปน การเก็บเกี่ยว การจัดการหลังการเก็บเกี่ยว และสอบถามถึงปัญหาความคิดเห็น และข้อเสนอแนะเกี่ยวกับการปะปนของข้าวพันธุ์อินปนในการจัดการการผลิตเมล็ดพันธุ์ของเกษตรกรผู้จัดทำแปลงผลิตเมล็ดพันธุ์ข้าว กข6 ชั้นพันธุ์ขยาย แบบสอบถามได้ผ่านการทดสอบคุณภาพด้วยการทดสอบความเชื่อมั่น (reliability) กับเกษตรกรผู้ผลิตเมล็ดพันธุ์ข้าวที่ไม่ใช่เกษตรกรกลุ่มตัวอย่างที่จะศึกษา จำนวน 30 ราย ได้ค่าสัมประสิทธิ์ความเชื่อมั่น (coefficients alpha; α) ที่ระดับ 0.8658 ซึ่งเป็นระดับที่มีความเชื่อถือสามารถนำไปใช้เป็นเครื่องมือในการเก็บรวบรวมข้อมูลกับเกษตรกรกลุ่มตัวอย่างต่อไป

3. การวิเคราะห์ข้อมูล

สถิติเชิงพรรณนา (descriptive statistics) อธิบายข้อมูลพื้นฐานทางสังคมและเศรษฐกิจของเกษตรกรและข้อมูลการจัดการการผลิตเมล็ดพันธุ์ข้าวของเกษตรกร ประกอบด้วยขนาดแปลงผลิตเมล็ดพันธุ์ข้าว เมล็ดพันธุ์ที่ใช้ในการจัดทำแปลงผลิตเมล็ดพันธุ์ข้าว อัตราการใช้เมล็ดพันธุ์ จำนวนครั้งที่ปลูกข้าวในรอบปีที่ผ่านมา วิธีการปลูกข้าวในแปลงผลิตเมล็ดพันธุ์ แหล่งที่มาเมล็ดพันธุ์ที่ใช้ปลูก วิธีการเก็บเกี่ยวข้าวในแปลงผลิตเมล็ดพันธุ์ ตลอดจนปัญหาข้อคิดเห็นและข้อเสนอแนะ เกี่ยวกับการปนของข้าวพันธุ์อื่นในการผลิตเมล็ดพันธุ์ข้าวของเกษตรกร ใช้สถิติ ได้แก่ ค่าความถี่ ค่าร้อยละ ค่าเฉลี่ย ค่าต่ำสุด ค่าสูงสุดและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

ส่วนการแปลความหมายระดับการปฏิบัติในการจัดทำแปลงผลิตเมล็ดพันธุ์ข้าวของเกษตรกร การปฏิบัติควบคุมคุณภาพเมล็ดพันธุ์ข้าวในแปลงผลิตเมล็ดพันธุ์ข้าว ประกอบด้วยการใช้เมล็ดพันธุ์ การเตรียมดิน การตรวจตัดพันธุ์ปน การเก็บเกี่ยว และการจัดการหลังการเก็บเกี่ยว มีระดับคะแนนให้เลือกตอบ 3 ระดับ ดังนี้

ระดับการปฏิบัติ	คะแนน	ความหมาย
ปฏิบัติตามทั้งแปลง	3	มีการปฏิบัติตามคำแนะนำโดยเคร่งครัด
ปฏิบัติตามบางส่วน	2	มีการปฏิบัติบ้างไม่ปฏิบัติตามบ้าง
ไม่ปฏิบัติ	1	ไม่มีการปฏิบัติ

Table 1 Details of the dependent and independent variables used in the multiple regression equation

Variables	Detail
Off-type rice varieties (Y)	number of off-type rice varieties
Soil preparation (X ₁)	Number
How to grow rice seed production (X ₂)	1 = Transplanting, 0 = Sow seeds
Caring for cross-breeding inspection (X ₃)	1 = yes, 0 = no
Source of rice seeds (X ₄)	1 = government, 0 = not government
The harvest rice seed (X ₅)	1 = machine, 0 = not machine
Post-harvest management (X ₆)	1 = owner, 0 = hire

ปัญหา ความคิดเห็น และข้อเสนอแนะเกี่ยวกับการปนของพันธุ์อื่นปนในการผลิตเมล็ดพันธุ์ข้าว กข6 ชั้นพันธุ์ขยาย ของเกษตรกร เป็นคำถามปลายเปิดใช้สถิติเชิงพรรณนาด้วยค่าร้อยละ

หมายเหตุ: งานวิจัยนี้ได้ผ่านการรับรองจริยธรรมการวิจัยในมนุษย์จากคณะกรรมการจริยธรรมการวิจัยในมนุษย์ ตามเลขที่โครงการ HE673051

ผลและวิจารณ์ผลการวิจัย

1. ข้อมูลพื้นฐานทางสังคมและเศรษฐกิจของเกษตรกร

ผลการศึกษาพบว่า เกษตรกรส่วนใหญ่เป็นเพศหญิง คิดเป็นร้อยละ 52.20 ที่กำลังเข้าสู่สังคมผู้สูงอายุ โดยมีอายุเฉลี่ย 52.30 ปี มีอายุน้อยที่สุด คือ 32 ปี และอายุมากที่สุด คือ 67 ปี ส่วนใหญ่จบการศึกษาระดับประถมศึกษา ร้อยละ 65.20 อาชีพหลักทำการเกษตร

ใช้วิธีนำค่าคะแนนเฉลี่ยในแต่ละประเด็นมาเทียบเกณฑ์ ดังนี้

ช่วงคะแนนเฉลี่ย 2.34 – 3.00 คะแนน หมายถึง ระดับการปฏิบัติมาก

ช่วงคะแนนเฉลี่ย 1.67 – 2.33 คะแนน หมายถึง ระดับการปฏิบัติปานกลาง

ช่วงคะแนนเฉลี่ย 1.00 – 1.66 คะแนน หมายถึง ระดับการปฏิบัติน้อย

การวิเคราะห์การถดถอยพหุด้วยวิธีปกติ (Enter multiple regression analysis) เพื่อวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยการจัดการการผลิตเมล็ดพันธุ์ข้าวและปริมาณเมล็ดพันธุ์อื่นปนในการผลิตเมล็ดพันธุ์ข้าว กข6 ชั้นพันธุ์ขยาย ของเกษตรกร (Kraiawan, 2013) ตามสมการพยากรณ์ ดังนี้

$$Y = a + b_1X_1 + b_2X_2 + b_3X_3 + b_4X_4 + b_5X_5 + b_6X_6$$

โดยกำหนดให้ Y คือ ตัวแปรตาม (Y= จำนวนข้าวพันธุ์อื่นปนที่ตรวจนับได้จากตัวอย่าง), a คือ ค่าคงที่ (constant), b₁-6 คือ ค่าสัมประสิทธิ์การถดถอยของตัวแปรอิสระตัวที่ 1 ถึงตัวที่ 6, X คือ ตัวแปรอิสระ ซึ่งตัวแปรตามและตัวแปรอิสระที่ใช้ในสมการมีรายละเอียดดังแสดงไว้ใน Table 1

เคยได้รับการฝึกอบรมเกี่ยวกับการจัดทำแปลงผลิตเมล็ดพันธุ์ข้าว คิดเป็นร้อยละ 82.60 มีจำนวนแรงงานภาคการเกษตรในครัวเรือนเฉลี่ย 2 คน โดยมีแรงงานน้อยที่สุด 1 คน และจำนวนแรงงานมากที่สุด คือ 5 คน รายได้จากการทำการเกษตรทั้งปีเฉลี่ย 63,754 บาท รายได้มากที่สุด 209,000 บาท รายได้น้อยที่สุด 10,800 บาท เกษตรกรส่วนใหญ่มีหนี้สิน คิดเป็นร้อยละ 55.40 ลักษณะเป็นหนี้หลายก้อน โดยกู้จากสถาบันการเงินของรัฐทั้งหมด เช่น ธนาคารเพื่อการเกษตรและสหกรณ์การเกษตร สหกรณ์การเกษตร สถาบันการเงินชุมชนต่าง ๆ มีพื้นที่การถือครองที่ดินเป็นของตนเอง ร้อยละ 90.20 เอกสารสิทธิ์ส่วนใหญ่เป็นโฉนดที่ดิน เกษตรกรส่วนใหญ่มีบทบาทเป็นคณะกรรมการกลุ่มหรือสถาบันเกษตรกร ร้อยละ 95.60 เกษตรกรมีประสบการณ์ในการผลิตเมล็ดพันธุ์ข้าวเฉลี่ย 15 ปี มีประสบการณ์น้อยที่สุด 2 ปี และประสบการณ์มากที่สุด 30 ปี ดัง Table 2

Table 2 Socio-Economic background of farmers (n=92)

Personal and socio-economic background	Number	%
Gender		
Male	44	47.8
Female	48	52.2
Age (years)		
≤ 40	7	7.6
41-50	27	29.4
51-60	47	51.1
> 60	11	11.9
Mean = 52.3 S.D. = 7.49 Min = 32 Max = 67		
Education level		
Primary school	60	65.2
Lower secondary school	16	17.4
Upper secondary school	11	11.9
Diploma	1	1.1
Training/Seminar on Rice Seed Production Plot Development Course		
Never received training	16	17.4
Ever received training	76	82.6
Land ownership		
Own	83	90.2
Own and rent	9	9.8
Experience in rice seed production average 15 years.		

2. ข้อมูลการจัดการการผลิตเมล็ดพันธุ์ข้าวของเกษตรกร

เกษตรกรมีขนาดพื้นที่ผลิตเมล็ดพันธุ์ข้าวเฉลี่ย 12 ไร่ 2 งาน ซึ่งอยู่ในเกณฑ์ที่ศูนย์เมล็ดพันธุ์ข้าวขอนแก่นได้กำหนดไว้ว่า เกษตรกรที่จะเข้าร่วมเป็นสมาชิกกลุ่มผู้ผลิตเมล็ดพันธุ์ข้าว ควรมีพื้นที่เข้าร่วมจัดทำแปลงผลิตเมล็ดพันธุ์ข้าวในแต่ละรายไม่น้อยกว่า 5 ไร่ต่อราย และพบว่าเกษตรกรมีอัตราการใช้เมล็ดพันธุ์เฉลี่ย 9.2 กิโลกรัมต่อไร่ ซึ่งเกษตรกรร้อยละ 96.70 มีการใช้เมล็ดพันธุ์ที่ศูนย์ฯ จัดหาให้เป็นเมล็ดพันธุ์ที่ซื้อจากหน่วยงานราชการ เกษตรกรที่มีการทำนามากกว่า 1 ครั้งต่อปี คิดเป็นร้อยละ 35.90 เกษตรกรส่วนใหญ่นิยมใช้วิธีการปลูกข้าว 2 วิธี การทำนาดำเป็นวิธีที่นิยมสูงสุด คิดเป็นร้อยละ 82.60 การปลูกข้าวอีกแบบที่นิยม คือ การทำนาหอยด คิดเป็นร้อยละ 17.40 ส่วนวิธีการเก็บเกี่ยวข้าวส่วนใหญ่ใช้เครื่องเกี่ยวนวด คิดเป็นร้อยละ 97.80

กิจกรรม 5 ด้าน ในการปฏิบัติควบคุมคุณภาพเมล็ดพันธุ์ข้าวในแปลงผลิตเมล็ดพันธุ์ข้าว ใช้วิธีนำค่าเฉลี่ยในแต่ละด้านเปรียบเทียบกับเกณฑ์ระดับการปฏิบัติ พบว่า เกษตรกรในกลุ่มที่พบเมล็ดพันธุ์อื่นปนในเมล็ดพันธุ์ข้าว กข6 ชั้นพันธุ์ขยาย ด้านการใช้เมล็ดพันธุ์ มีการปฏิบัติอยู่ในระดับมาก ($\bar{X}$ = 2.41) ด้านการเตรียมดิน ด้านการดูแลตรวจตัดพันธุ์ปน ด้านการเก็บเกี่ยว และด้านการจัดการหลังการเก็บเกี่ยว มีการปฏิบัติอยู่ในระดับปานกลาง ($\bar{X}$ = 2.27 $\bar{X}$ = 2.30 $\bar{X}$ = 2.29 $\bar{X}$ = 2.32) สำหรับเกษตรกรในกลุ่มที่ไม่พบเมล็ดพันธุ์อื่นปนในเมล็ดพันธุ์ข้าว กข6 ชั้นพันธุ์ขยาย มีการปฏิบัติด้านการใช้ เมล็ดพันธุ์ ด้านการดูแลตรวจตัดพันธุ์ปน ด้านการเก็บเกี่ยว และด้านการจัดการหลังการเก็บเกี่ยว มีการปฏิบัติอยู่ในระดับมาก ($\bar{X}$ = 2.97 $\bar{X}$ = 2.64 $\bar{X}$ = 2.60 $\bar{X}$ = 2.80) ด้านการเตรียมดิน มีการปฏิบัติอยู่ในระดับปานกลาง ($\bar{X}$ = 2.33) ดัง Table 3

Table 3 Average, Standard deviation and practice level in rice seed production 5 phase

Practices for control quality rice seed in field	Have of type rice varieties (n=29)		Practice level	Don't have of type rice varieties (n=63)		Practice level
	$\bar{X}$	S.D.		$\bar{X}$	S.D.	
1. Using seeds	2.41	0.254	High	2.97	0.179	High
2. Soil preparation	2.27	0.512	Medium	2.33	0.369	Medium
3. Caring for cross-breeding inspection	2.30	0.298	Medium	2.64	0.168	High
4. The harvest	2.29	0.214	Medium	2.60	0.147	High
5. Post-harvest management	2.32	0.422	Medium	2.80	0.343	High
Total average	2.32	0.340	Medium	2.67	0.241	High

Practice level 1.00 - 1.66 Low.

Practice level 1.67 - 2.33 Medium.

Practice level 2.34 - 3.00 High.

ผลการวิเคราะห์การถดถอยพหุด้วยวิธีปกติ (Enter multiple regression analysis) เพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรอิสระกับตัวแปรตาม ตัวแปรอิสระทั้งหมด 6 ตัวแปร คือ การเตรียมดิน วิธีการปลูกข้าวในแปลงผลิตเมล็ดพันธุ์ข้าว การดูแลตรวจตัดพันธุ์ปนแหล่งที่มาเมล็ดพันธุ์ข้าวที่ใช้ปลูก การเก็บเกี่ยวข้าว การจัดการหลังการเก็บเกี่ยว ตัวแปรตามคือ จำนวนข้าวพันธุ์อื่นปน (จำนวนเมล็ด/500 กรัม) เมื่อพิจารณาความสัมพันธ์การตัดสินใจในเชิงพหุ (multiple coefficient of determination : R^2) มีค่าเท่ากับ 0.391 หมายความว่า ตัวแปรอิสระทั้ง 6 ตัวแปรร่วมกันอธิบายการผันแปร

ของปริมาณเมล็ดพันธุ์อื่นปนในการผลิตเมล็ดพันธุ์ข้าว กข6 ชั้นพันธุ์ขยาย ของเกษตรกร ได้ร้อยละ 39.10 ซึ่งตัวแปรอิสระทั้งหมด 6 ตัวแปร มี 4 ตัวแปร ที่มีความสัมพันธ์เชิงบวกต่อตัวแปรตามอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.001 , 0.01 และ 0.05 ได้แก่ การเตรียมดิน การดูแลตรวจตัดพันธุ์ปน การเก็บเกี่ยวข้าว การจัดการหลังการเก็บเกี่ยว ซึ่งสามารถใช้เป็นแนวทางในการวางแผนตั้งแต่เริ่มต้นจนถึงสิ้นสุดกระบวนการ เพื่อส่งเสริมและพัฒนาการผลิตเมล็ดพันธุ์ข้าวให้ได้ผลผลิตที่มีคุณภาพ ตาม Table 4

Table 4 Regression coefficient of factors for management rice seed production and number off- type rice varieties in the RD6 rice seed production

Variables	Coefficient (b)	t	P-value
Constant	4.255	6.580	0.014
1. Soil preparation	0.058	6.604	0.012*
2. How to grow rice seed production	0.033	3.100	0.082
3. Caring for cross-breeding inspection	0.089	9.861	0.002**
4. Source of rice seeds	-0.011	0.005	0.946
5. The harvest rice seed	0.120	3.460	<0.001***
6. Post-harvest management	0.293	3.773	<0.001***
R = 0.625	$R^2 = 0.391$	SEE = 4.118	F = 9.065
Sig. of = 0.000			

* Significant different ($P < 0.05$), ** Significant different ($P < 0.01$), *** Significant different ($P < 0.001$).

จาก Table 4 สามารถอธิบายผลการศึกษาดังนี้ ความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยการจัดการการผลิตเมล็ดพันธุ์ข้าวและปริมาณเมล็ดพันธุ์อื่นปนในการผลิตเมล็ดพันธุ์ข้าว กข6 ชั้นพันธุ์ขยายของเกษตรกร ในอำเภอเมืองขอนแก่น จังหวัดขอนแก่น ได้ว่าความสัมพันธ์ทั้ง 4 ปัจจัยมีความสัมพันธ์กันอย่างใกล้ชิด โดยการเตรียมดินที่ดีจะช่วยลดวงจรการเกิดของ ข้าวเรื้อและปรับปรุงบำรุงดินในพื้นที่ และสามารถเพิ่มอินทรีย์วัตถุในดิน (Sungkaew et al., 2022) ช่วยให้ต้นข้าวแข็งแรงและเจริญเติบโตได้ดี ซึ่งช่วยให้การดูแลตรวจตัดพันธุ์ปนเป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพ ตามระยะการเจริญเติบโตของต้นข้าวทั้งหมด 5 ระยะ คือ ระยะกล้า ระยะแตกกอ ระยะออกดอก ระยะโน้มรวง และระยะสุกแก่ของเมล็ดหรือพลับพลึง (Bureau of Rice Production Extension, 2008) ช่วยรักษาสายพันธุ์ข้าวให้บริสุทธิ์ โดยตรวจสอบและตัดข้าวพันธุ์ที่ไม่ตรงตามสายพันธุ์ออกไปเพื่อไม่ให้เกิดการปนเปื้อนของพันธุ์ข้าวและรักษาคุณภาพของผลผลิตเมื่อถึงการเก็บเกี่ยวข้าวที่ได้รับการดูแลอย่างดีตั้งแต่ต้นจะให้ผลผลิตที่มีคุณภาพสูง หากเกษตรกรนิยมใช้รถเกี่ยวนาข้าว ควรมีการทำความสะอาดด้วยการล้างรถเกี่ยวนา และการจัดการหลังการเก็บเกี่ยวที่เหมาะสม ควรตากเมล็ดพันธุ์ข้าวเพื่อลดความชื้น ในบริเวณที่สามารถมองเห็นหรืออยู่ในสายตาเกษตรกรตลอดเวลา จะช่วยรักษาคุณภาพของเมล็ดข้าวต่อไป ทั้งหมดนี้เป็นกระบวนการต่อเนื่องที่หากทำอย่างถูกต้อง จะทำให้ได้ผลผลิตข้าวที่ดี ในขั้นตอนการเก็บเกี่ยวและการจัดการหลังการเก็บเกี่ยวนี้ หากไม่มีการจัดการที่ดีจะทำให้เกิดปัญหา

การปนของเมล็ดพันธุ์ข้าวอื่น ซึ่งการแยกเมล็ดพันธุ์แต่ละเมล็ดด้วยสายตาจะทำได้ยากยิ่ง การผลิตเมล็ดพันธุ์ต้องอาศัยความตั้งใจจริง ความซื่อสัตย์ ความขยันของเกษตรกร หากไม่ดูแลใส่ใจในขั้นตอนการผลิตเมล็ดพันธุ์ข้าวอาจส่งผลให้การผลิตเมล็ดพันธุ์ข้าวไม่ผ่านมาตรฐานเมล็ดพันธุ์ตามปริมาณเป้าหมายที่กำหนด

4. ปัญหา ข้อคิดเห็น และข้อเสนอแนะ

เกี่ยวกับการการปะปนของพันธุ์อื่นปนในการผลิตเมล็ดพันธุ์ข้าว กข6 ชั้นพันธุ์ขยาย ของเกษตรกร ในภาพรวมเกษตรกรมีปัญหามากมายประเด็นที่สำคัญ ได้แก่ ปัญหาขาดแคลนรถเกี่ยวนาข้าว ร้อยละ 82.84 เป็นปัญหาสำคัญที่ส่งผลกระทบต่อ การเก็บเกี่ยวข้าวของเกษตรกร โดยเฉพาะในช่วงฤดูเก็บเกี่ยวที่มีความต้องการใช้นา รถเกี่ยวนาข้าวเป็นจำนวนมาก รองลงมาคือ ปัญหาต้นทุนการผลิตเมล็ดพันธุ์ข้าวสูง ร้อยละ 45.32 เป็นอีกหนึ่งประเด็นที่เกษตรกรผู้ผลิตเมล็ดพันธุ์ข้าวต้องเผชิญ การประสบปัญหาในเรื่องของราคาที่ไม่แน่นอนตามภาวะเศรษฐกิจ ปัจจัยการผลิตมีราคาสูง ดินขาดความอุดมสมบูรณ์ทำให้ผลผลิตต่ำ และมีการใช้ปุ๋ยเคมีจำนวนมากทำให้เพิ่มต้นทุนการผลิตของเกษตรกร ส่งผลให้กำไรจากการผลิตลดลง และอาจเป็นอุปสรรคต่อการพัฒนาการผลิตข้าวคุณภาพสูง สำหรับข้อคิดเห็นในการจัดการการผลิตเมล็ดพันธุ์ข้าว กข6 ชั้นพันธุ์ขยายของเกษตรกร ส่วนใหญ่มีข้อคิดเห็นถึงข้าวพันธุ์อื่นปน มีสาเหตุมาจากความถี่ของการตรวจตัดพันธุ์ปน การตัดพันธุ์ปนในแปลงผลิตเมล็ดพันธุ์ไม่ทันเวลา ก่อนการเก็บเกี่ยวข้าว ร้อยละ 77.15 เป็นปัญหาสำคัญ

ที่ส่งผลต่อคุณภาพและความบริสุทธิ์ของเมล็ดพันธุ์ การมีพันธุ์ข้าวชนิดอื่นเจริญเติบโตแทรกอยู่ในแปลงปลูกข้าวพันธุ์บริสุทธิ์ทำให้เกิดการปนเปื้อน ส่งผลต่อคุณสมบัติของเมล็ดพันธุ์และอาจส่งผลกระทบต่อผลผลิตในอนาคต รองลงมาคือ เครื่องจักรหรือรถเกี่ยวนาข้าวไม่เพียงพอในฤดูเก็บเกี่ยวผลผลิตข้าวนาปี ร้อยละ 62.78 เกษตรกรมีข้อเสนอแนะเกี่ยวกับข้าวพันธุ์อื่นปน ได้แก่ เกษตรกรต้องขยันตรวจตัดพันธุ์ปนในแปลงผลิตเมล็ดพันธุ์ข้าวอย่างสม่ำเสมอ ร้อยละ 92.14 และรองลงมาคือเกษตรกรควรมีการปลูกข้าวพันธุ์เดิมในแปลงนาไม่ควรเปลี่ยนพันธุ์สลับไปมา เพื่อลดปริมาณข้าวพันธุ์อื่นปนในแปลงผลิตเมล็ดพันธุ์ข้าว ร้อยละ 36.49

สรุปผลการวิจัย

จากการศึกษาการปฏิบัติของเกษตรกรที่มีผลต่อปริมาณข้าวพันธุ์อื่นปนในการผลิตเมล็ดพันธุ์ข้าว กข6 ในอำเภอเมืองขอนแก่น จังหวัดขอนแก่น จำนวน 92 ราย สามารถสรุปผลการวิจัยได้ว่า เกษตรกรผู้ผลิตเมล็ดพันธุ์ข้าว กข6 ชั้นพันธุ์ขยาย แบ่งเกษตรกรได้เป็น 2 กลุ่ม คือเกษตรกรในกลุ่มที่พบเมล็ดพันธุ์อื่นปนและเกษตรกรในกลุ่มที่ไม่พบเมล็ดพันธุ์อื่นปน มีการปฏิบัติในการจัดทำแปลงผลิตเมล็ดพันธุ์ข้าวของเกษตรกร 5 ด้าน เกษตรกรในกลุ่มที่พบเมล็ดพันธุ์อื่นปนในเมล็ดพันธุ์ข้าว กข6 ชั้นพันธุ์ขยาย ด้านการใช้เมล็ดพันธุ์ มีการปฏิบัติอยู่ในระดับการปฏิบัติมาก ด้านการเตรียมดิน ด้านการดูแลตรวจตัดพันธุ์ปน ด้านการเก็บเกี่ยว และด้านการจัดการหลังการเก็บเกี่ยว มีการปฏิบัติอยู่ในระดับปานกลาง แต่อย่างไรก็ตามสำหรับเกษตรกรในกลุ่มที่ไม่พบเมล็ดพันธุ์อื่นปนในเมล็ดพันธุ์ข้าว กข6 ชั้นพันธุ์ขยาย มีการปฏิบัติด้านการใช้เมล็ดพันธุ์ ด้านการดูแลตรวจตัดพันธุ์ปน ด้านการเก็บเกี่ยว และด้านการจัดการหลังการเก็บเกี่ยว มีการปฏิบัติอยู่ในระดับมาก ส่วนด้านการเตรียมดิน มีการปฏิบัติอยู่ในระดับปานกลาง เมื่อใช้การวิเคราะห์ถดถอยพหุด้วยวิธีปกติ วิเคราะห์ปัจจัยการจัดการการผลิตเมล็ดพันธุ์ข้าว 6 ปัจจัย ได้แก่ การเตรียมดิน วิธีการปลูกข้าวในแปลงผลิตเมล็ดพันธุ์ข้าว การดูแลตรวจตัดพันธุ์ปน แหล่งที่มาเมล็ดพันธุ์ข้าวที่ใช้ปลูก การเก็บเกี่ยวข้าว และการจัดการหลังการเก็บเกี่ยวว่าปัจจัยใดที่มีผลต่อปริมาณเมล็ดข้าวพันธุ์อื่นปนในการผลิตเมล็ดพันธุ์ข้าว กข6 ชั้นพันธุ์ขยาย ของเกษตรกร ผลการศึกษาพบว่า มี 4 ปัจจัยที่มีผลอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ได้แก่ การเตรียมดิน การดูแลตรวจตัดพันธุ์ปน การเก็บเกี่ยวข้าว และการจัดการหลังการเก็บเกี่ยว มีผลเชิงบวกต่อปริมาณข้าวพันธุ์อื่นปนอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.001 , 0.01 และ 0.05 ซึ่งข้อมูลดังกล่าวข้างต้นสามารถนำไปใช้เป็นแนวทางในการจัดการการผลิตเมล็ดพันธุ์ข้าวและการวางแผนควบคุมคุณภาพในแปลงผลิตเมล็ดพันธุ์ข้าวให้มีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น ทั้งตัวเกษตรกรและเจ้าหน้าที่ส่งเสริมการผลิตเมล็ดพันธุ์ข้าว ได้ดังนี้

1. เกษตรกรควรมีการจัดการการผลิตเมล็ดพันธุ์ข้าว เช่น

การเตรียมดินก่อนปลูกข้าว ซึ่งเป็นขั้นตอนที่สำคัญในการจัดการดิน ควรมีการไถพรวนดินด้านล่างขึ้นมาจากให้แห้งประมาณ 1-2 สัปดาห์ (ไถตะ) เพื่อกระตุ้นให้ข้าววัชพืชหรือวัชพืชทั่วไปที่ติดค้างอยู่ในดินนาเกิดการงอก แล้วจึงทำการไถอีกรอบ (ไถแปร) เพื่อทำลายข้าววัชพืชที่ขึ้นใหม่ และการย่อยดินให้มีขนาดเล็กลง

2. เกษตรกรควรปลูกข้าวด้วยวิธีการหยอดเป็นหลุมหรือแถวและวิธีการทำนาดำ เพื่อให้ง่าย สะดวก ต่อการดูแลตรวจตัดพันธุ์ปนหากเกษตรกรพบต้นข้าวที่เกิดนอกแถวหรือนอกกอ สามารถกำจัดทิ้งได้โดยเกษตรกรสามารถคาดคะเนได้ว่าข้าวที่เกิดนอกแถวหรือนอกกอ นั้นเป็นข้าวเรื้อ และเกษตรกรควรมีจัดตั้งคณะกรรมการควบคุมคุณภาพแปลงผลิตเมล็ดพันธุ์ข้าวภายในกลุ่ม เพื่อร่วมกันติดตาม ควบคุมแปลงผลิตเมล็ดพันธุ์ข้าวของสมาชิกในกลุ่ม สร้างกิจกรรมการมีส่วนร่วมในการดูแลตรวจตัดพันธุ์ปนทุกระยะอย่างเข้มงวด และช่วยยังลดต้นทุนในการจ้างแรงงานมาตัดพันธุ์ข้าวปน

3. การเก็บเกี่ยวเมล็ดข้าวของเกษตรกรทั่วไป รวมถึงกลุ่มเกษตรกรที่ผลิตเมล็ดพันธุ์ เป็นการใช้เครื่องเกี่ยวนาข้าว เน้นการใช้เทคโนโลยีและนวัตกรรม แทนการใช้แรงงานคน ช่วยประหยัดเวลาและต้นทุนในการเก็บเกี่ยว แต่หากเกษตรกรไม่มีความระมัดระวังในขั้นตอนการเก็บเกี่ยวนี้ อาจจะทำให้เกิดการปนของเมล็ดพันธุ์ข้าวเกิดขึ้นได้สูงมาก เกษตรกรควรมีการทำความสะอาดเครื่องเกี่ยวนา ก่อนการเก็บเกี่ยว และวางแผนการใช้เครื่องเกี่ยวนาด้วยข้าวสายพันธุ์เดียวกัน หากมีการเกี่ยวนาข้าวต่างสายพันธุ์กัน ควรมีการล้างทำความสะอาดเครื่องเกี่ยวนาให้สะอาดก่อน

4. ปัญหาขาดแคลนรถเกี่ยวนาข้าว ถือเป็นปัญหาที่สำคัญเนื่องจากข้าว กข6 เป็นข้าวไวต่อช่วงแสง จะเข้าสู่ระยะตั้งท้องพร้อมกันเมื่อมีแสงช่วงกลางวันน้อยกว่า 12 ชั่วโมง และเข้าสู่ระยะเก็บเกี่ยวประมาณกลางเดือนพฤศจิกายนของทุก ๆ ปี ทำให้เกิดการแย่งรถเกี่ยวนาข้าวในช่วงเวลานี้ เจ้าหน้าที่หรือรัฐบาลควรแก้ไขปัญหานี้ด้วยการสนับสนุนงบประมาณให้กับกลุ่มผู้ผลิตเมล็ดพันธุ์ข้าว เพื่อลงทุนจัดซื้อเครื่องจักรและอุปกรณ์การผลิตเพิ่มเติม

5. การจัดการหลังการเก็บเกี่ยว เป็นอีกหนึ่งปัจจัยที่สำคัญเพราะถือเป็นขั้นตอนสุดท้ายในขั้นตอนการจัดการการผลิตเมล็ดพันธุ์ หากเกษตรกรปฏิบัติในขั้นตอนนี้ไม่รอบคอบ อาจเกิดการปนของเมล็ดพันธุ์ข้าว เช่น ในขั้นตอนการตากข้าว ควรตากบนลานตากข้าวคอนกรีต รองพื้นด้วยผ้าสานหรือตาข่ายมุ้งไนลอน และตากให้แห้งกันในข้าวต่างสายพันธุ์ รวมถึงภาชนะบรรจุหรือกระสอบควรมีการทำความสะอาดก่อนใช้งาน

6. การปฏิบัติที่ถูกต้องของเกษตรกร เกิดจากการรับข่าวสารที่ถูกต้องจากเจ้าหน้าที่และหน่วยงานที่เกี่ยวข้องที่เข้าไปส่งเสริมการผลิตเมล็ดพันธุ์ข้าว การเรียกประชุมเฉพาะประธานหรือตัวแทนกลุ่ม 1-2 ราย อาจทำให้การถ่ายทอดข้อมูลที่รับมาเกิดความคลาดเคลื่อนเจ้าหน้าที่ควรมีการเรียกประชุมเกษตรกรแบบพร้อมเพรียงกันทั้งกลุ่มเพื่อสร้างความเข้าใจและนำไปปฏิบัติได้อย่างถูกต้องตรงกัน

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้สำเร็จบรรลุลักษณะที่พึงประสงค์ได้ด้วยความอนุเคราะห์ของกลุ่มเกษตรกรผู้ผลิตเมล็ดพันธุ์ข้าว ศูนย์เมล็ดพันธุ์ข้าวขอนแก่น กรมการข้าว กระทรวงเกษตรและสหกรณ์ ที่ให้การสนับสนุนและอนุเคราะห์ข้อมูลในการทำวิจัยจนสำเร็จสมบูรณ์ได้

References

- Boonchai, P. (2012). *Factors effecting quantity of red rice grain mixed in Khao Dawk Mali 105 seeds produced by farmers in Prasat District of Surin Province*. (Master's thesis). Nonthaburi. Sukhothai Thammathirat Open University. (in Thai)
- Bureau of Rice Production Extension. (2008) . *Rice seed production*. Accessed August 30, 2023. Retrieved from https://oer.learn.in.th/search_detail/ZipDownload/10109. (in Thai)
- Division of Rice Research and Development. (2023) . *Rice knowledge bank RD6 varieties*. Accessed August 14, 2023. Retrieved from <https://www.ricethailand.go.th/rkb3/title-index.php-file=content.php&id=11.htm> (in Thai)
- Khatsakan, O., & Kochsamrong, M. (2023). The study on rice seed quality control system of Thai farmer. *Thai Rice Research Journal*, 14(1), 89-101. (in Thai)
- Khon Kaen Rice Seed Center. (2023a). *Registration of rice seed producer farmers RD6 2023/2024*. Khon Kaen, Thailand:: Printing House (Brochure). (in Thai)
- Khon Kaen Rice Seed Center. (2023b). *Registration of rice seed producer farmers RD6 2023/2024*. Khon Kaen, Thailand: Printing House (Brochure). (in Thai)
- Khon Kaen Rice Seed Center. (2022). *Report on the Quality of Rice Seed Production 2022*. Khon Kaen, Thailand: Pt Print (Brochure). (in Thai)
- Kraiyawan, Y. (2013). *Multivariate statistical analysis for research* (1sted.). Bangkok, Thailand.: Chulalongkorn University Press. (in Thai)
- Krejcie, R. V., & Morgan, D. W. (1970). Determining sample size for research activities. *Educational and Psychological Measurement*, 30(3), 607 – 610.
- National Bureau of Agricultural Commodity and Food Standards. (2017). *Thai agricultural standard TAS 4406-2017: good agricultural practices for rice seed*. Accessed July 22, 2024. Retrieved from https://www.acfs.go.th/standard/download/GAP_RICE-SEED_60.pdf. (in Thai)
- Sungkaew, K., Suwannawijit, W., & Boonjongrak, S. (2022) . *Research and development of soil: management process in rice fields by participation of farmers on yield and quality of Jasmine rice, Thung Kula Ronghai*. Accessed July 12, 2024. Retrieved from <http://r04.ldd.go.th/homer04/images/research/tum0665.pdf>
- Rice Department. (2021). *News: rice department*. Accessed September 24, 2024. Retrieved from <https://webold.ricethailand.go.th/web/index.php/mactivities/10721-2021-08-11-06-53-15> (in Thai)
- Royal Irrigation Department. (2018). *Soil Resource and land use*. Accessed August 16, 2024. Retrieved from http://opm.rid.go.th/backend/web/filemanager-uploads/source/opm-main/provincial-plan-report/northeast/NEW/02_khonkaen.pdf. (in Thai)

Research article

Farmer practices affecting the quantity contamination of mixed rice varieties in the RD6 rice seed production in Mueang Khon Kaen District, Khon Kaen Province

Phornjit Hinthaow and Chaiteera Panpakdee*

Department of Agricultural Extension and Development, Faculty of Agriculture, Khon Kaen University, Muang District, Khon Kaen Province Thailand 40002

ARTICLE INFO**Article history**

Received: 19 August 2024

Revised: 23 September 2024

Accepted: 1 November 2024

Online published: 7 November 2024

Keyword

Farmer practices

Rice seed production

RD6 rice

Mueang Khon Kaen District and Khon Kaen Province

ABSTRACT

This study aimed to study farmer practices that affect the contamination of mixed rice varieties in the production of RD6 rice seeds. The sample group consisted of 92 farmers in the RD6 rice seed productions group registered with the Rice Department in 2023 in Mueang Khon Kaen District, Khon Kaen Province. An interview was used as the data collection tool. Descriptive statistics were applied to explain basic social and economic data and rice seed production management practices. The study found that most respondents were female (52.20 %) and had an average of 15 years of experience in rice seed production. On average, respondents managed a rice seed production area of 2 hectares, with most (97.80 %) harvesting rice using combined harvesters. As for studying the relationship between rice seed production management factors and the amount of mixed other rice varieties, a multiple regression was used with the normal method. It was found that identified 4 key factors that contributed to the presence of mixed rice varieties: soil preparation, inspection and removal of mixed varieties, harvesting, and post-harvest management. From the study, it was found that this factor comes from the fact that farmers frequently change rice varieties. There is a large amount of land for seed production and there is little household labor. As a result, inspection of mixed varieties in rice seed production plots was not timely. Farmers and related agencies should adjust the amount of rice seed production area to suit the labor and use technology to detect and cut mixed varieties in rice seed production fields. In order to get the highest quality rice seeds.

*Corresponding author

E-mail address: chaitpa@kku.ac.th (P. Hinthaow)

Online print: 7 November 2024 Copyright © 2024. This is an open access article, production, and hosting by Faculty of Agricultural Technology, Rajabhat Maha Sarakham University. <https://doi.org/10.14456/paj.2024.46>



บทความวิจัย

อิทธิพลของการจัดการปุ๋ยแบบผสมผสานต่อผลผลิตของข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ในจังหวัดเลย

กมลทิพย์ สังข์แก้ว^{1*} ลาวัญย์ จันทร์อัมพร¹ ปรียพัชร ทองมัน² สุพัตรา ขาวงจักร³

¹ศูนย์วิจัยและพัฒนาการเกษตรเลย อำเภอเมือง จังหวัดเลย ประเทศไทย 42000

²ศูนย์วิจัยและพัฒนาการเกษตรอำนาจเจริญ อำเภอเมือง จังหวัดอำนาจเจริญ ประเทศไทย 37000

³ศูนย์วิจัยและพัฒนาการเกษตรกาฬสินธุ์ อำเภอยางตลาด จังหวัดกาฬสินธุ์ ประเทศไทย 46120

ข้อมูลบทความ

Article history

รับ: 18 สิงหาคม 2567

แก้ไข: 29 กันยายน 2567

ตอบรับการตีพิมพ์: 1 พฤศจิกายน 2567

ตีพิมพ์ออนไลน์: 11 พฤศจิกายน 2567

คำสำคัญ

พืชไร่เศรษฐกิจ

ปุ๋ยชีวภาพฟิสิกส์อาร์-วัน

ปุ๋ยตามค่าวิเคราะห์ดิน

ดินร่วนเหนียวปนทรายแป้ง

บทคัดย่อ

การวิจัยครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อประเมินอิทธิพลการใช้ปุ๋ยแบบผสมผสานต่อผลผลิตของข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ ดำเนินการวิจัยเชิงปฏิบัติการแบบมีส่วนร่วม ในพื้นที่อำเภอภูกระดึง จังหวัดเลย มี 2 กรรมวิธี คือ การใช้ปุ๋ยตามค่าวิเคราะห์ดินร่วมกับปุ๋ยชีวภาพฟิสิกส์อาร์-วัน และการใช้ปุ๋ยตามที่เกษตรกรปฏิบัติอยู่เดิม โดยมี 10 พื้นที่ ทำการทดลอง 2 ครั้ง ใน พ.ศ. 2565 และ 2566 พบว่า ผลผลิตเฉลี่ยข้าวโพดเลี้ยงสัตว์กรรมวิธีทดสอบสูงกว่ากรรมวิธีเกษตรกร และมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.01$) คิดเป็นร้อยละ 17 โดยวิธีทดสอบทำให้ผลผลิตข้าวโพดเลี้ยงสัตว์เพิ่มขึ้นเฉลี่ยร้อยละ 17 ทำให้มีผลตอบแทนเฉลี่ยเพิ่มขึ้นร้อยละ 25 และมีสัดส่วนผลตอบแทนต่อค่าใช้จ่ายการลงทุน (BCR) เฉลี่ยเพิ่มขึ้นร้อยละ 12 เมื่อเทียบกับวิธีเกษตรกร นอกจากนี้ยังสามารถลดต้นทุนต่อหน่วยผลผลิตได้ร้อยละ 11 ดังนั้น เทคโนโลยีการจัดการธาตุอาหารพืชนี้ จึงเป็นอีกทางเลือกหนึ่งที่จะช่วยเพิ่มผลผลิตข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ให้กับเกษตรกรในพื้นที่จังหวัดเลยได้

บทนำ

ข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ (*Zea mays* L.) เป็นพืชไร่เศรษฐกิจที่สำคัญของจังหวัดเลย โดยในปี 2564 มีพื้นที่ปลูก 367,125 ไร่ และมีผลผลิตเฉลี่ย 664 กิโลกรัม/ไร่ (Office of Agricultural Economics, 2022) เกษตรกรส่วนใหญ่ปลูกข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ในสภาพไร่ที่อาศัยน้ำฝน โดยเริ่มปลูกข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ในเดือนมิถุนายนถึงกรกฎาคม และเก็บเกี่ยวในช่วงตุลาคมถึงธันวาคม แต่การปลูกข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ในพื้นที่ที่กลับประสบปัญหาผลผลิตมีแนวโน้มลดลงเรื่อย ๆ เนื่องจากเกษตรกรปลูกข้าวโพดเลี้ยงสัตว์เป็นพืชหลักมานานหลายปีติดต่อกัน ทำให้ความอุดมสมบูรณ์ดินลดลง ประกอบกับความแปรปรวนของสภาพอากาศ และมีการจัดการธาตุอาหารที่ไม่เหมาะสมกับความต้องการของข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ และเกิดการแพร่ระบาดของหนอนกระทู้ข้าวโพดลายจุด ซึ่งเป็นแมลงศัตรูที่สำคัญของข้าวโพด สร้างความเสียหายต่อผลผลิตข้าวโพดอย่างมาก ส่งผลให้ผลผลิตข้าวโพดลดลง ในขณะที่ต้นทุนการผลิตสูงขึ้น เพราะปัจจัยการผลิต เช่น ปุ๋ย สารเคมีกำจัดวัชพืชและศัตรูพืชมีราคาแพง ทำให้ผลตอบแทน

ลดลง เกษตรกรจึงเปลี่ยนไปปลูกพืชอื่นทดแทน เช่น อ้อย มันสำปะหลัง เป็นต้น จึงทำให้พื้นที่เพาะปลูกและผลผลิตข้าวโพดเลี้ยงสัตว์มีแนวโน้มลดลง ดังนั้น หากมีการจัดการปุ๋ยแบบผสมผสานอย่างเหมาะสมสามารถช่วยเพิ่มผลผลิตข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ โดยในปัจจุบันมีงานวิจัยและคำแนะนำเกี่ยวกับการใส่ปุ๋ยตามค่าวิเคราะห์ดินเพื่อลดการใช้ปุ๋ยเคมีและเพิ่มผลผลิตข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ ซึ่งเป็นแนวทางในการลดต้นทุนค่าปุ๋ยเคมี โดยนำเทคโนโลยีการใส่ปุ๋ยตามค่าวิเคราะห์ดินสำหรับพืชไร่เศรษฐกิจของ Department of Agriculture (2021a) มาประยุกต์ใช้ในพื้นที่จังหวัดเลย เพื่อเป็นการประเมินระดับความอุดมสมบูรณ์ของดิน และใส่ปุ๋ยให้ตรงตามความต้องการปริมาณธาตุอาหารของข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ ร่วมกับการคลุมเมล็ดข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ก่อนปลูกด้วยปุ๋ยชีวภาพฟิสิกส์อาร์ (Planting Growth Promoting Rhizobacteria หรือ PGPR) ซึ่งเป็นปุ๋ยชีวภาพที่ประกอบด้วยแบคทีเรียที่อาศัยอยู่ในดินบริเวณรอบรากพืช ช่วยส่งเสริมการเจริญเติบโตของพืชได้ โดยแบคทีเรียกลุ่มนี้มีความสามารถในการตรึงไนโตรเจนเพิ่มประสิทธิภาพการดูดใช้ธาตุอาหารที่เป็นประโยชน์ต่อพืช

*Corresponding author

E-mail address: sungkaew.nok@gmail.com (K. Sungkaew)

Online print: 11 November 2024 Copyright © 2024. This is an open access article, production, and hosting by Faculty of Agricultural Technology, Rajabhat Maha Sarakham University. <https://doi.org/10.14456/paj.2024.47>

เช่น ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และเหล็ก นอกจากนี้ยังสามารถสร้างฮอร์โมนพืชกลุ่มออกซิน (auxins) เพื่อกระตุ้นการเกิดรากของพืชได้ โดยผลิตภัณฑ์ปุ๋ยชีวภาพพืชฟิโอรของกรมวิชาการเกษตรมี 3 สูตร คือ ปุ๋ยชีวภาพพืชฟิโอร-วัน ใช้สำหรับข้าวโพด ข้าวฟ่าง พืชผัก และสมุนไพร ปุ๋ยชีวภาพพืชฟิโอร-ทุ ใช้สำหรับข้าว และปุ๋ยชีวภาพพืชฟิโอร-ทรี ใช้สำหรับอ้อย และมันสำปะหลัง (Department of Agriculture, 2021b) จากข้อมูลดังกล่าวจึงนำปุ๋ยชีวภาพพืชฟิโอร-วัน มาใช้ในการศึกษาครั้งนี้ โดยการใช้ปุ๋ยชีวภาพพืชฟิโอร-วัน ร่วมกับการใส่ปุ๋ยเคมีในการผลิตข้าวโพดเลี้ยงสัตว์พันธุ์นครสวรรค์ 3 สามารถเพิ่มผลผลิตและคุณภาพผลผลิตได้ นอกจากนี้ยังมีแนวโน้มในการช่วยลดการใช้ปุ๋ยเคมีลงได้น้อยร้อยละ 50 (Prongjunthuek et al., 2016) สอดคล้องกับงานวิจัยของ Tharanukul et al. (2021) ที่ทดสอบเทคโนโลยีการลดต้นทุนการผลิตข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ด้วยปุ๋ยชีวภาพพืชฟิโอร-วัน ในพื้นที่จังหวัดนครราชสีมา พบว่า การใช้ปุ๋ยตามค่าวิเคราะห์ดินโดยลดปุ๋ยยูเรียลงร้อยละ 25 ร่วมกับปุ๋ยชีวภาพพืชฟิโอร-วัน สามารถช่วยเพิ่มผลผลิตและรายได้สุทธิให้เกษตรกรได้ร้อยละ 13.16 และ 35.65 ตามลำดับ รวมทั้งยังสามารถลดต้นทุนค่าปุ๋ยเคมีลงได้ร้อยละ 14.34 นอกจากการจัดการปุ๋ย การปฏิบัติทางการเกษตรที่ดีสำหรับการปลูกข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ก็สำคัญเช่นเดียวกัน โดยก่อนปลูกไถเตรียมดินด้วยผานสาม 1 ครั้ง ตากดินไว้ 7-10 วัน เพื่อทำลายวัชพืชและกำจัดดักแด้ของหนอนกระทู้ข้าวโพดลายจุดที่อยู่ในดิน เมื่อพร้อมปลูกจึงไถด้วยผานเจ็ด 1 ครั้ง เพื่อปรับระดับดินให้สม่ำเสมอแล้วจึงปลูกข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ (Department of Agriculture, 2020) จากข้อมูลดังกล่าวข้างต้นจึงจำเป็นต้องทดสอบในแปลงเกษตรกรแต่ละสภาพแวดล้อม เพื่อยืนยันว่าสามารถเพิ่มผลผลิตได้จริง โดยนำไปปรับใช้ให้เหมาะสมสอดคล้องกับสภาพปัญหา และปัจจัยพื้นฐานทางเศรษฐกิจ สังคม และสิ่งแวดล้อมของแต่ละพื้นที่ งานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อประเมินอิทธิพลของการจัดการปุ๋ยแบบผสมผสานต่อผลผลิตข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ในพื้นที่จังหวัดเลย

อุปกรณ์และวิธีการวิจัย

การดำเนินการวิจัย

เป็นการวิจัยเชิงปฏิบัติการแบบมีส่วนร่วมร่วมกับเกษตรกร โดยเปรียบเทียบการจัดการปุ๋ย 2 วิธี คือ การใส่ปุ๋ยตามค่าวิเคราะห์ดิน ร่วมกับการคลุมเมล็ดข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ด้วยปุ๋ยชีวภาพพืชฟิโอร-วัน อัตรา 500 กรัม/เมล็ดข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ 3.50 กิโลกรัม (เมล็ดข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ 3.50 กิโลกรัม/ไร่) และการใช้ปุ๋ยตามที่เกษตรกรปฏิบัติอยู่เดิม

วิธีปฏิบัติการวิจัย

1. คัดเลือกพื้นที่วิจัยที่อำเภอภูกระดึง ซึ่งเป็นแหล่งปลูกข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ที่สำคัญของจังหวัดเลย
2. ประชุมชี้แจง และวางแผนการดำเนินงานร่วมกับเกษตรกรในพื้นที่ตำบลผานกเค้า อำเภอภูกระดึง จำนวน 10 ราย รายละ 2 ไร่

รวมพื้นที่ 20 ไร่

3. แบ่งพื้นที่แปลงทดสอบข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ ออกเป็น 2 พื้นที่ ๆ ละ 1 ไร่ จากนั้นเก็บตัวอย่างดินที่ระดับ 0-20 เซนติเมตร จำนวนอย่างน้อย 15 จุดต่อแปลง นำตัวอย่างดินไปรวมกันแล้วสุ่มดิน 1 กิโลกรัม เพื่อนำไปวิเคราะห์คุณสมบัติทางเคมีในห้องปฏิบัติการ

4. ดำเนินการจัดทำแปลงทดสอบตามกรรมวิธี โดยกรรมวิธีทดสอบ ไถเตรียมดินด้วยผานสาม 1 ครั้ง ตากดินไว้ 7-10 วัน เพื่อทำลายวัชพืชและกำจัดดักแด้ของหนอนกระทู้ข้าวโพดลายจุดที่อยู่ในดิน เมื่อพร้อมที่จะปลูกจึงไถด้วยผานเจ็ด 1 ครั้ง เพื่อปรับระดับดินให้สม่ำเสมอแล้วจึงปลูกข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ โดยการคลุมเมล็ดข้าวโพดด้วยปุ๋ยชีวภาพพืชฟิโอร-วัน อัตรา 500 กรัม/3.5 กิโลกรัมของข้าวโพด (เมล็ดข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ 3.5 กิโลกรัม/ไร่) โดยใช้ระยะปลูกระหว่างแถว 75 เซนติเมตร ระหว่างต้น 20 เซนติเมตร ปลูกในช่วงฤดูฝน (กรกฎาคม-สิงหาคม) โดยใส่ปุ๋ยตามค่าวิเคราะห์ดิน (Table 1) แบ่งใส่ 2 ครั้ง ครั้งที่ 1 ใส่รองพื้นพร้อมปลูก และครั้งที่ 2 ใส่เมื่อข้าวโพดอายุ 25-30 วัน โดยหว่านให้ทั่วแปลง ส่วนกรรมวิธีเกษตรกรปฏิบัติเช่นเดียวกับการปฏิบัติทดสอบยกเว้นการใส่ปุ๋ย โดยเกษตรกรใส่ปุ๋ย ครั้งที่ 1 รองพื้นพร้อมปลูกด้วยสูตร 16-20-0 หรือ 14-9-21 อัตรา 17-25 กิโลกรัมต่อไร่ และครั้งที่ 2 ใส่เมื่อข้าวโพดอายุ 25-30 วัน ด้วยสูตร 46-0-0 อัตรา 17-50 กิโลกรัมต่อไร่

5. เมื่อพบการระบาดของหนอนกระทู้ข้าวโพดลายจุดในระยะแรก พ่นกำจัดด้วยเชื้อแบคทีเรีย *Bacillus thuringiensis* อัตรา 80 มิลลิลิตรต่อน้ำ 20 ลิตร ทุก 4-7 วัน 2-3 ครั้ง ในกรณีที่พบการระบาดมากใช้สารอิมามิกตินเบนโซเอต 5 %WG อัตรา 10 กรัมต่อน้ำ 20 ลิตร พ่นสาร 1-2 ครั้งห่างกัน 7 วัน และหยุดพ่นเมื่อข้าวโพดอายุ 40 วัน

การบันทึกข้อมูล

คุณสมบัติทางเคมีของดินก่อนการทดลอง โดยเก็บตัวอย่างดินที่ระดับ 0-20 เซนติเมตร จำนวนอย่างน้อย 15 จุดต่อแปลง นำตัวอย่างดินไปรวมกันแล้วสุ่มจำนวน 1 กิโลกรัม นำไปวิเคราะห์ pH วัดโดย pH meter (Mettler Toledo รุ่น SevenMulti) ใช้อัตราส่วน ดิน:น้ำ เท่ากับ 1:1 ตามวิธีของ Peech (1965) ปริมาณอินทรีย์วัตถุ (Organic matter) วิเคราะห์ด้วยวิธีการของ Walkley & Black (1934) ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ต่อพืชสกัดดินด้วยน้ำยาสกัด Bray II และวัดการเกิดสีตามวิธี Molybdenum blue โดยใช้ Spectrophotometer (Agilent Technologies รุ่น Cary 8454 USA) (Bray & Kurtz, 1945) และปริมาณโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ โดยสกัดดินด้วยสารละลาย 1N NH_4OAc ที่ pH 7 แล้ววัดด้วย Atomic absorption Spectrophotometer (Perkin Elmer รุ่น AAnalyst 400 USA) (Schollenberger & Simon, 1945) และวัดเนื้อดินด้วยวิธี Hydrometer method

การเจริญเติบโตของข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ ได้ดำเนินการบันทึกข้อมูลความสูงต้น โดยวัดจากระดับผิวดินถึงข้อใบธง ก่อนเก็บเกี่ยว

ที่อายุ 120 วันหลังปลูก

ผลผลิตและองค์ประกอบผลผลิต เก็บเกี่ยวข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ที่อายุ 120 วัน โดยสุ่มเก็บผลผลิตข้าวโพดจำนวน 4 ซ้ำ แต่ละซ้ำมีพื้นที่ 12 ตารางเมตร กระจ่ายทั่วแปลง โดยบันทึกข้อมูลจำนวนต้น น้ำหนักฝัก ร้อยละการกะเทาะ จากนั้นนำไปคำนวณหาน้ำหนักเมล็ดที่ความชื้นร้อยละ 15 และวิเคราะห์ข้อมูลโดยใช้สถิติ T-test independent เปรียบเทียบค่าเฉลี่ย

สูตรการคำนวณ ร้อยละการกะเทาะ = (น้ำหนักเมล็ดขณะเก็บเกี่ยว/น้ำหนักฝักขณะเก็บเกี่ยว) × 100

ข้อมูลด้านเศรษฐศาสตร์ ได้แก่ ต้นทุน รายได้ รายได้สุทธิ ต้นทุนต่อหน่วย และวิเคราะห์อัตราผลตอบแทนต่อค่าใช้จ่ายการลงทุน (Benefit Cost Ratio : BCR) คือ รายได้ต่อต้นทุนผันแปร (BCR > 1 คำนวณการลงทุน

, BCR = 1 เท่าทุน, BCR < 1 ไม่คุ้มค่าทุน ขาดทุน)

ผลและวิจารณ์ผลการวิจัย

คุณสมบัติของดินก่อนการทดลอง

ลักษณะดินส่วนใหญ่เป็นดินร่วนเหนียวปนทรายแป้ง (Silty clay loam) มี pH อยู่ระหว่าง 5.20-6.43 ซึ่งอยู่ในระดับปานกลาง ปริมาณอินทรีย์วัตถุในดินมีค่าอยู่ระหว่างร้อยละ 1.01-4.34 ปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์มีค่าอยู่ระหว่าง 6-67 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม และโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้มีค่าอยู่ระหว่าง 36-185 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม (Table 1)

Table 1 Soil properties and fertilizer requirements tailored by specific soil analysis in Loei Province during 2022-2023.

Crop Year	Farmer no.	Soil properties				Texture	Fertilizer grade of N-P ₂ O ₅ -K ₂ O ^{4/} (kg/rai)
		pH	OM ^{1/} (%)	Avail. P ^{2/} (mg/kg)	Exch.K ^{3/} (mg/kg)		
2022	1	5.20	2.02	9	120	Silty clay loam	10-10-10
	2	5.79	1.93	16	51	Silty clay loam	10-2.5-15
	3	5.46	1.57	9	177	Silty clay loam	10-10-5
	4	5.84	1.13	7	55	Silty clay	10-10-15
	5	6.09	1.63	10	90	Loamy sand	10-5-10
	6	6.09	1.22	8	91	Silty clay loam	10-10-10
	7	6.14	1.14	6	36	Silty clay loam	10-10-15
	8	6.30	1.72	6	70	Silty clay loam	10-10-10
	9	5.82	1.01	11	49	Loamy sand	10-5-15
	10	5.59	1.31	10	136	Loamy sand	10-5-5
2023	1	6.43	1.41	8	115	Sandy clay	10-10-5
	2	5.69	1.62	7	127	Silty clay loam	10-10-5
	3	5.82	1.66	8	123	Silty clay loam	10-10-5
	4	5.68	1.59	11	105	Silty clay loam	10-5-5
	5	5.63	1.69	8	149	Silty clay loam	10-10-5
	6	5.61	2.07	13	185	Sandy clay loam	10-5-5
	7	5.71	1.14	12	72	Loamy sand	10-5-10
	8	6.03	2.81	67	128	Sandy clay loam	5-2.5-5
	9	6.00	2.09	23	163	Silty clay loam	10-2.5-5
	10	6.28	4.34	28	136	Silty clay	5-2.5-5

¹ OM = Organic matter, ² Avail. P = Available phosphorus, ³ Exch. K = Exchangeable potassium., ⁴ Recommended fertilizer rates based on soil analysis.

ซึ่งระดับวิกฤติของ pH ในการปลูกข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ คือ ต่ำกว่า 5.50 และสูงกว่า 7.30 ปริมาณอินทรีย์วัตถุร้อยละ 1 ปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ 10 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม และปริมาณโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ 60 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม (Department of Agriculture, 2021a) นำผลวิเคราะห์ทางเคมีของดินที่ได้ไปหาปริมาณความต้องการปุ๋ยของข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ตามคำแนะนำการใช้ปุ๋ยตามค่าวิเคราะห์ดินสำหรับพืชไร่เศรษฐกิจของกรมวิชาการเกษตร โดยใส่ปุ๋ยเคมีตามอัตราคำแนะนำการใช้ปุ๋ยตามค่า

วิเคราะห์ดินสำหรับพืชไร่เศรษฐกิจของกรมวิชาการเกษตร ร่วมกับการคลุกเมล็ดข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ก่อนปลูกด้วยปุ๋ยชีวภาพฟิซีฟาร์-วัน เปรียบเทียบกับวิธีเกษตรกรที่ใส่ปุ๋ยเคมีตามท้องตลาด โดยมีปริมาณไนโตรเจน 11-26.20 กิโลกรัมNต่อไร่ มีปริมาณฟอสฟอรัส 1.5-6 กิโลกรัมP₂O₅ ต่อไร่ และปริมาณโพแทสเซียม 0-36 กิโลกรัมK₂Oต่อไร่ (Table 2) จากข้อมูลการใส่ปุ๋ยข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ของวิธีเกษตรกร เมื่อนำมาเทียบกับค่าความต้องการธาตุอาหารตามค่าวิเคราะห์ดิน จะเห็นว่าไม่สอดคล้องกับปริมาณธาตุอาหารในดิน และความต้องการธาตุอาหารของ

ข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ โดยส่วนใหญ่ใส่ปุ๋ยไนโตรเจนในปริมาณที่เกินความต้องการ แต่ใส่ปุ๋ยฟอสฟอรัสในปริมาณที่ไม่เพียงพอต่อความต้องการของข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ ซึ่งจากการศึกษาของ Department of Agriculture (2021a) พบว่าข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ตอบสนองต่อปุ๋ยฟอสเฟตตลอดฤดูปลูก แต่มีความต้องการในระหว่างการเจริญเติบโตเริ่มแรกมากกว่าระยะอื่น ๆ โดยฟอสฟอรัสมีบทบาทสำคัญต่อการเจริญเติบโตของราก อย่างไรก็ดีตามในระยะที่ข้าวโพดออกดอก ฟอสฟอรัสมีบทบาทสำคัญในการช่วยเสริมสร้างความสมบูรณ์ให้กับต้นและ

เมล็ด และการดูดใช้ธาตุฟอสฟอรัสจากดินของรากข้าวโพดจะเพิ่มขึ้นจนกระทั่งรากเจริญเติบโตเต็มที่ ฉะนั้นจึงแนะนำให้ใส่ปุ๋ยฟอสเฟตทั้งหมดตั้งแต่เริ่มปลูก ส่วนโพแทสเซียมมีความสำคัญในการสร้างความเจริญเติบโต ความแข็งแรงของลำต้นและการสร้างเมล็ด แต่สภาพดินปลูกข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ในประเทศไทยโดยทั่วไปมีโพแทสเซียมสูง จึงมักไม่พบปัญหาต่อการเจริญเติบโตของข้าวโพด

Table 2 Fertilizer application rate of the test method and the farmers' conventional method in farmer fields at Loei Province during 2022-2023

Crop Year	Farmer no.	Rate of N-P ₂ O ₅ -K ₂ O (kg/rai)		Bio-fertilizer	
		Test	Farmer	Test	Farmer
2022	1	10-10-10	15.5-5-0	PGPR-1	0
	2	10-2.5-15	15.5-5-0	PGPR-1	0
	3	10-10-5	18.6-6-0	PGPR-1	0
	4	10-10-15	15.5-5-0	PGPR-1	0
	5	10-5-10	15.5-5-0	PGPR-1	0
	6	10-10-10	15.5-5-0	PGPR-1	0
	7	10-10-15	18.6-6-0	PGPR-1	0
	8	10-10-10	18.6-6-0	PGPR-1	0
	9	10-5-15	15.5-5-0	PGPR-1	0
	10	10-5-5	18.6-6-0	PGPR-1	0
2023	1	10-10-5	11-4-0	PGPR-1	0
	2	10-10-5	15.5-5-0	PGPR-1	0
	3	10-10-5	15.5-5-0	PGPR-1	0
	4	10-5-5	14.7-4-0	PGPR-1	0
	5	10-10-5	14.7-4-0	PGPR-1	0
	6	10-5-5	14.7-4-0	PGPR-1	0
	7	10-5-10	14.7-4-0	PGPR-1	0
	8	5-2.5-5	10.2-1.5-3.6	PGPR-1	0
	9	10-2.5-5	26.2-4-0	PGPR-1	0
	10	5-2.5-5	21.6-4-0	PGPR-1	0

Table 3 Plant height yield and yield components of maize in Loei Province during 2022-2023

Crop Year	Farmer no.	Plant population (plant/rai)		Plant height (cm)		Ear weight (kg/rai)		Shelling (%)		Grain weight ^{1/} (kg/rai)	
		Test	Farmer	Test	Farmer	Test	Farmer	Test	Farmer	Test	Farmer
2022	1	11,644	12,711	185	172	1,124	1,052	82.50	83.60	836	789
	2	11,378	11,378	192	185	1,451	1,024	87	81.50	1,158	758
	3	12,800	12,800	221	173	1,312	1,109	83.70	85	989	847
	4	11,200	11,556	233	230	1,707	1,365	81.90	81	1,220	961
	5	10,667	10,667	239	249	1,287	1,195	87.10	88.30	997	932
	6	10,667	11,911	196	197	1,294	725	91.90	91.50	1,131	639
	7	10,844	11,556	197	231	1,593	1,536	80	81.30	1,115	1,081
	8	14,222	13,333	195	202	1,707	1,564	81.80	86.70	1,222	1,189
	9	11,022	11,022	200	231	1,451	1,323	80	80	984	912
	10	13,333	14,222	176	208	1,223	1,166	86.50	83.10	986	909
Average		11,778	12,116	203	208	1,415	1,206	84.20	84.20	1,064	902
t-test		Ns		ns		**		ns		**	

Table 3 Plant height yield and yield components of maize in Loei Province during 2022-2023 (Continue)

Crop Year	Farmer no.	Plant population		Plant height		Ear weight		Shelling		Grain weight ^{1/}	
		(plant/rai)		(cm)		(kg/rai)		(%)		(kg/rai)	
		Test	Farmer	Test	Farmer	Test	Farmer	Test	Farmer	Test	Farmer
2023	1	10,533	9,867	214	186	1,340	1,173	83.90	83.70	1,017	880
	2	10,400	8,667	205	194	1,343	980	81.70	80.80	958	699
	3	10,133	8,800	215	208	1,289	893	83	84.40	960	688
	4	8,667	8,933	185	183	1,347	1,147	80.50	81.50	953	834
	5	8,400	9,600	206	217	1,393	1,380	81.80	82.30	1,010	1,006
	6	8,400	8,133	198	201	1,244	1,220	81.60	81.70	900	884
	7	8,400	8,800	205	195	1,213	1,113	83.20	83.70	904	824
	8	8,133	9,467	224	196	1,340	920	81.80	84.70	939	724
	9	8,133	8,400	222	197	1,413	1,283	80.60	81.20	1,012	916
	10	8,400	7,333	214	160	1,277	1,197	81.10	80	912	847
Average		8,960	8,800	209	194	1,320	1,131	81.9	82.4	957	830
t-test		Ns		*		**		ns		**	

การเจริญเติบโตของข้าวโพดเลี้ยงสัตว์

การเจริญเติบโตทางด้านความสูงของข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ที่ระยะเก็บเกี่ยวของแปลงเกษตรกรผู้ปลูกข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ ในพ.ศ. 2565 พบว่า กรรมวิธีทดสอบและกรรมวิธีเกษตรกรไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ แต่ความสูงของข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ใน พ.ศ. 2566 พบว่า ทั้ง 2 กรรมวิธีมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยกรรมวิธีทดสอบมีความสูงต้นเฉลี่ย 209 เซนติเมตร ซึ่งสูงกว่ากรรมวิธีเกษตรกรที่มีความสูงต้นเฉลี่ย 194 เซนติเมตร (Table 3) จากข้อมูลการเจริญเติบโตของข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ จะเห็นได้ว่าการใส่ปุ๋ยตามค่าวิเคราะห์ดิน ร่วมกับคลุกเมล็ดข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ด้วยปุ๋ยชีวภาพพีจีพีอาร์-วัน ส่งผลให้การเจริญเติบโตด้านความสูงของข้าวโพดเลี้ยงสัตว์สูงกว่าการใส่ปุ๋ยของเกษตรกร ซึ่งสอดคล้องกับ Lapo et al. (2021) ที่ศึกษาผลของปุ๋ยชีวภาพพีจีพีอาร์-วัน ร่วมกับปุ๋ยเคมีต่อการเจริญเติบโตและผลผลิตของข้าวโพดหวานในอำเภอภูกระดึง จังหวัดมหาสารคาม พบว่า การใช้ปุ๋ยชีวภาพพีจีพีอาร์-วัน ร่วมกับการใส่ปุ๋ยไนโตรเจนอัตราร้อยละ 50 ตามคำแนะนำปุ๋ยรายแปลง ทำให้การเจริญเติบโตด้านความสูง ความยาวราก น้ำหนักสด น้ำหนักแห้งของต้นและรากข้าวโพดหวานเจริญเติบโตได้ดีกว่าการใช้ปุ๋ยเคมีเพียงอย่างเดียว เนื่องจากปุ๋ยชีวภาพพีจีพีอาร์ประกอบไปด้วยแบคทีเรียที่อาศัยอยู่ในดินบริเวณรอบรากพืชมีความสามารถในการตรึงไนโตรเจน เพิ่มประสิทธิภาพการดูดใช้ธาตุอาหารที่เป็นประโยชน์ต่อพืช เช่น ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และเหล็ก นอกจากนี้ยังสามารถสร้างฮอร์โมนพืชกลุ่มออกซิน (auxins) เพื่อกระตุ้นการเกิดราก ทำให้ระบบรากพืชแข็งแรง เพิ่มประสิทธิภาพในการดูดน้ำและปุ๋ย ส่งผลให้สามารถเพิ่มผลผลิตได้น้อยร้อยละ 10 และลดการใช้ปุ๋ยเคมีในการปลูกพืชได้น้อยร้อยละ 25 ของอัตราแนะนำตามค่าวิเคราะห์ดิน (Department of Agriculture, 2021b)

ผลผลิต และองค์ประกอบผลผลิตของข้าวโพดเลี้ยงสัตว์

ในพ.ศ. 2565 กรรมวิธีทดสอบมีผลผลิตฝักและผลผลิตเมล็ดที่

ความชื้นร้อยละ 15 สูงกว่ากรรมวิธีเกษตรกร โดยมีผลผลิตฝักเฉลี่ย 1,415 กิโลกรัมต่อไร่ และผลผลิตเมล็ดที่ความชื้นร้อยละ 15 เฉลี่ย 1,064 กิโลกรัมต่อไร่ ส่วนกรรมวิธีเกษตรกรมีผลผลิตฝักเฉลี่ย 1,206 กิโลกรัมต่อไร่ และมีผลผลิตเมล็ดที่ความชื้นร้อยละ 15 เฉลี่ย 902 กิโลกรัมต่อไร่ และในพ.ศ. 2566 พบว่ากรรมวิธีทดสอบมีผลผลิตฝักและผลผลิตเมล็ดที่ความชื้นร้อยละ 15 สูงกว่ากรรมวิธีเกษตรกรเช่นกัน โดยมีผลผลิตฝักเฉลี่ย 1,320 กิโลกรัมต่อไร่ และผลผลิตเมล็ดที่ความชื้นร้อยละ 15 เฉลี่ย 957 กิโลกรัมต่อไร่ ส่วนกรรมวิธีเกษตรกรมีผลผลิตฝักเฉลี่ย 1,131 กิโลกรัมต่อไร่ และมีผลผลิตเมล็ดที่ความชื้นร้อยละ 15 เฉลี่ย 830 กิโลกรัมต่อไร่ (Table 3 & Figure 1) จะเห็นได้ว่าการใส่ปุ๋ยตามค่าวิเคราะห์ดินสำหรับข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ร่วมกับการคลุกเมล็ดข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ก่อนปลูกด้วยปุ๋ยชีวภาพพีจีพีอาร์-วัน ทำให้มีผลผลิตสูงกว่าการใช้ปุ๋ยของเกษตรกร ซึ่งจากรายงานของ Meena et al. (2013) พบว่า การใช้ปุ๋ยเคมีร่วมกับปุ๋ยชีวภาพหรือการใช้ปุ๋ยคอกร่วมกับปุ๋ยชีวภาพ เป็นวิธีการที่ทำให้ข้าวโพดมีผลผลิตและองค์ประกอบผลผลิตดีกว่าการใช้ปุ๋ยชนิดใดชนิดหนึ่งเพียงอย่างเดียว สอดคล้องกับรายงานของ Prongjunthuek et al. (2016) ที่ได้ศึกษาการใช้ปุ๋ยชีวภาพพีจีพีอาร์เพื่อเพิ่มผลผลิตและคุณภาพข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ พบว่า การใช้ปุ๋ยชีวภาพพีจีพีอาร์-วัน ร่วมกับการใส่ปุ๋ยเคมีในการผลิตข้าวโพดเลี้ยงสัตว์พันธุ์นครสวรรค์ 3 สามารถช่วยเพิ่มผลผลิตและคุณภาพผลผลิตได้ นอกจากนี้ยังมีแนวโน้มในการช่วยลดการใช้ปุ๋ยเคมีลงได้น้อยร้อยละ 50 และเมื่อนำไปทดสอบกับข้าวโพดหวานพันธุ์ไฮบริด 3 ส่งผลให้มีน้ำหนักฝักสดรวมเปลือกและน้ำหนักฝักสดเปลือกที่สุกที่สุด นอกจากนี้ยังพบว่าการใช้ปุ๋ยชีวภาพพีจีพีอาร์ทำให้ผลผลิตข้าวโพดมีความหวานได้มาตรฐาน (Prongjunthuek et al., 2021) และสอดคล้องกับ Tharanukul et al. (2021) พบว่า การใช้ปุ๋ยตามค่าวิเคราะห์ดินโดยลดปุ๋ยยูเรียลงร้อยละ 25 ร่วมกับการใส่ปุ๋ยชีวภาพพีจีพีอาร์-วัน สามารถช่วยเพิ่มผลผลิตและรายได้สุทธิให้เกษตรกรได้ร้อยละ 13.16 และ 35.65 ตามลำดับ รวมทั้งยังลดต้นทุนค่าปุ๋ยเคมีลงได้ร้อยละ 14.34

การวิเคราะห์ด้านเศรษฐศาสตร์

ในปีพ.ศ. 2565 พบว่า กรรมวิธีทดสอบมีต้นทุนเฉลี่ย 4,232 บาทต่อไร่ ต้นทุนต่อหน่วยผลผลิตเฉลี่ย 4.10 บาทต่อกิโลกรัม รายได้เฉลี่ย 12,766 บาทต่อไร่ ผลตอบแทนเฉลี่ย 8,442 บาทต่อไร่ สัดส่วนรายได้ต่อการลงทุนเฉลี่ย 2.95 ส่วนกรรมวิธีเกษตรกรมีต้นทุนเฉลี่ย 4,131 บาทต่อไร่ ต้นทุนการผลิตต่อหน่วยเฉลี่ย 4.68 บาทต่อกิโลกรัม รายได้เฉลี่ย 10,820 บาทต่อไร่ ผลตอบแทนเฉลี่ย 6,690 บาทต่อไร่ สัดส่วนรายได้ต่อการลงทุนเฉลี่ย 2.60 แม้ว่าการทดสอบจะมีต้นทุนการผลิตที่สูงกว่ากรรมวิธีเกษตรกร แต่เมื่อวิเคราะห์ต้นทุนการผลิตต่อหน่วยพบว่ากรรมวิธีทดสอบสามารถลดต้นทุนการผลิตต่อหน่วยได้ร้อยละ 12 และเมื่อนำมาคำนวณหาค่าเฉลี่ยของรายได้ผลตอบแทน และค่า BCR พบว่า กรรมวิธีทดสอบมีค่ามากกว่ากรรมวิธีเกษตรกรร้อยละ 18.26 และ 13 ตามลำดับ ส่วนการปลูกข้าวโพด

เลี้ยงสัตว์ในปีพ.ศ. 2566 พบว่า กรรมวิธีทดสอบมีต้นทุนเฉลี่ย 3,874 บาทต่อไร่ ต้นทุนต่อหน่วยผลผลิตเฉลี่ย 4.06 บาทต่อกิโลกรัม รายได้เฉลี่ย 9,565 บาทต่อไร่ ผลตอบแทนเฉลี่ย 5,691 บาทต่อไร่ สัดส่วนรายได้ต่อการลงทุนเฉลี่ย 2.48 ส่วนกรรมวิธีเกษตรกรมีต้นทุนเฉลี่ย 3,716 บาทต่อไร่ ต้นทุนการผลิตต่อหน่วยเฉลี่ย 4.51 บาทต่อกิโลกรัม รายได้เฉลี่ย 8,302 บาทต่อไร่ ผลตอบแทนเฉลี่ย 4,586 บาทต่อไร่ สัดส่วนรายได้ต่อการลงทุนเฉลี่ย 2.24 แม้ว่าทั้ง 2 กรรมวิธีมีต้นทุนการผลิตไม่แตกต่างกันทางสถิติ แต่เมื่อวิเคราะห์ต้นทุนการผลิตต่อหน่วยพบว่า กรรมวิธีทดสอบสามารถลดต้นทุนการผลิตต่อหน่วยได้ร้อยละ 10 (Table 4) จากการปลูกทดสอบทั้ง 2 ปี จะเห็นได้ว่าการใส่ปุ๋ยตามกรรมวิธีทดสอบส่งผลให้มีรายได้ ผลตอบแทน และสัดส่วนรายได้ต่อการลงทุน สูงกว่ากรรมวิธีเกษตรกร และสามารถลดต้นทุนต่อหน่วยผลผลิตได้



Figure 1 Yield of maize of the test method compare with the farmers' conventional method in Loei Province in 2023.

Table 4 Effects of fertilizer management technology on economic benefits in maize production at Loei Province during 2022-2023.

Crop Year	Farmer no.	Income ^{1/} (baht/rai)		Total cost ^{2/} (baht/rai)		Cost per unit (baht/kg)		Net income (baht/rai)		BCR (income/ cost)	
		Test	Farmer	Test	Farmer	Test	Farmer	Test	Farmer	Test	Farmer
2022	1	10,032	9,468	4,297	3,894	5.14	4.94	5,735	5,574	2.33	2.43
	2	13,896	9,096	4,255	3,884	3.67	5.12	9,641	5,212	3.27	2.34
	3	11,868	10,164	4,083	4,203	4.13	4.96	7,785	5,961	2.91	2.42
	4	14,640	11,532	4,745	4,341	3.89	4.52	9,895	7,191	3.09	2.66
	5	11,964	11,184	4,107	4,283	4.12	4.60	7,857	6,901	2.91	2.61
	6	13,572	7,668	4,326	3,782	3.82	5.92	9,246	3,886	3.14	2.03
	7	13,380	12,972	4,706	4,350	4.22	4.02	8,674	8,622	2.84	2.98
	8	14,664	14,268	4,497	4,359	3.68	3.67	10,167	9,909	3.26	3.27
	9	11,808	10,944	4,411	3,987	4.48	4.37	7,397	6,957	2.68	2.74
	10	11,832	10,908	3,806	4,223	3.86	4.65	8,026	6,685	3.11	2.58
Average		12766	10820	4323	4131	4.10	4.68	8442	6690	2.95	2.60
t-test		**		*		*		**		*	

Table 4 Effects of fertilizer management technology on economic benefits in maize production at Loei Province during 2022-2023. (Continue)

Crop Year	Farmer no.	Income ^{1/} (baht/rai)		Total cost ^{2/} (baht/rai)		Cost per unit (baht/kg)		Net income (baht/rai)		BCR (income/ cost)	
		Test	Farmer	Test	Farmer	Test	Farmer	Test	Farmer	Test	Farmer
2023	1	10,170	8,800	4,116	3,332	4.05	3.79	6,054	5,468	2.47	2.64
	2	9,580	6,990	3,901	3,519	4.07	5.03	5,679	3,471	2.46	1.99
	3	9,600	6,880	3,930	3,536	4.09	5.14	5,670	3,344	2.44	1.95
	4	9,530	8,340	3,543	3,489	3.72	4.18	5,987	4,851	2.69	2.39
	5	10,100	10,060	4,146	3,737	4.1	3.71	5,954	6,323	2.44	2.69
	6	9,000	8,840	3,915	4,172	4.35	4.72	5,085	4,668	2.3	2.12
	7	9,040	8,240	4,172	3,760	4.62	4.56	4,868	4,480	2.17	2.19
	8	9,390	7,240	3,398	3,359	3.62	4.64	5,992	3,881	2.76	2.16
	9	10,120	9,160	3,806	4,153	3.76	4.53	6,314	5,007	2.66	2.21
	10	9,120	8,470	3,815	4,100	4.18	4.84	5,305	4,370	2.39	2.07
Average		9,565	8,302	3,874	3,716	4.06	4.51	5,691	4,586	2.48	2.24
t-test		**		ns		*		**		*	

ns: non significant, *: significant different at $P < 0.05$, **: significant different at $P < 0.01$.

¹ Income was calculated from the yield multiplied with the price of maize per kilogram 12 baht (price at December, 2022) and 10 baht (price at December, 2023).

² Price of chemical fertilizers, chemicals and biological fertilizers in 2022/2023; formula 46-0-0 = 31/17 baht/kg, formula 18-46-0 = 40/23 baht/kg, formula 0-0-60 = 36/20 baht/kg, formula 16-20-0 = 27/18 baht/kg, formula 14-9-21 = 27 baht/kg, emamectin benzoate = 380 baht/kg and PGPR-1 = 60 baht/bag (1 bag/rai). Total cost is calculated from cost plot preparation and planting 1,100 baht/rai, seeds cost = 1,950/1,850 baht/10 kg (3.5 kg/rai), labor cost for chemical fertilizer application 100 bath/50 kg, weed control cost 350 บาท/200 liter and harvesting cost 12 baht/sack (35kg/sack).

สรุปผลการวิจัย

การใช้ปุ๋ยตามค่าวิเคราะห์ดิน ร่วมกับปุ๋ยชีวภาพฟิซีฟิอาร์-วัน ในข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ ที่ปลูกในสภาพแปลงเกษตรกรจังหวัดเลย สามารถเพิ่มผลผลิตข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ได้เฉลี่ยร้อยละ 17 ผลตอบแทนเฉลี่ยเพิ่มขึ้นร้อยละ 25 มีสัดส่วนรายได้ต่อการลงทุน (BCR) เฉลี่ย เพิ่มขึ้นร้อยละ 12 เมื่อเทียบกับวิธีของเกษตรกรที่ปฏิบัติอยู่เดิม นอกจากนี้ยังสามารถลดต้นทุนต่อหน่วยผลผลิตได้ร้อยละ 11 จากผลงานวิจัยนี้สามารถใช้เป็นคำแนะนำสำหรับการผลิตข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ และเป็นทางเลือกให้แก่เกษตรกรในแต่ละพื้นที่นำไปปรับใช้ ด้วยการใส่ปุ๋ยให้ตรงตามความต้องการของข้าวโพดเลี้ยงสัตว์และเหมาะสมกับสภาพของดิน เพื่อเป็นการเพิ่มผลผลิตในการผลิตข้าวโพดเลี้ยงสัตว์อย่างมีประสิทธิภาพและยั่งยืนต่อไป

กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้วิจัยขอขอบคุณสำนักงานคณะกรรมการส่งเสริมวิทยาศาสตร์ วิจัย และนวัตกรรม ในการสนับสนุนงบประมาณการวิจัยครั้งนี้ ขอขอบคุณเกษตรกรที่ให้ความอนุเคราะห์พื้นที่ในการทดสอบเทคโนโลยีฯ และขอขอบคุณเจ้าหน้าที่ทุกฝ่ายของศูนย์วิจัยและพัฒนาการเกษตรเลย ที่มีส่วนทำให้งานวิจัยครั้งนี้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

References

Bray, R. H., & Kurtz, L. T. (1945). Determination of total organic and available forms of phosphorus in soils.

Soil Science, 59(1), 39-45. doi: 10.1097/00010694-194501000-00006

Department of Agriculture. (2020). *The technology for producing maize*. Bangkok, Thailand: Ministry of Agriculture and Cooperatives. (in Thai)

Department of Agriculture. (2021a). *Recommendations for the use of fertilizers for economic crops*. Bangkok, Thailand: Ministry of Agriculture and Cooperatives. (in Thai)

Department of Agriculture. (2021b). *Bio-fertilizer*. Bangkok, Thailand: Ministry of Agriculture and Cooperatives. (in Thai)

Lapo, Y., Singkham, J., & Viriyasuthee, W. (2021). Effect of PGPR-1 and chemical fertilizers on growth and yield of sweet corn in Kut rang district Mahasarakham province. *Proceedings of the 11th STOU National research conference* (pp. 1823-1836). Nonthaburi, Thailand: Sukhothai Thammathirat Open University. (in Thai)

Meena, M. D., Tiwari, D. D., Chaudhari, S. K., Biswas, D. R., Narjary, B., Meena, A. L., Meena, B. L., & Meena R. B. (2013). Effect of biofertilizer and nutrient levels on yield and nutrient uptake by maize (*Zea may* L.).

- Annals of Agriculture and Biological Research*, 18(2), 176-181.
- Office of Agricultural Economics. (2022). *Information on maize production*. Accessed February 18, 2024. Retrieved from <https://www.oae.go.th/assets/portals/1/fileups/prcaidata/files/maize%20province%2064.pdf>. (in Thai)
- Peech, M. (1965). Soil pH by glass electrode pH meter. In C. A. Black, D. D. Evans, R. L. White, L. E. Ensminger, F. E. Clark., & R. C. Dinsuer (Eds.), *Method of soil analysis part 2: physical and mineralogical properties, including statistics of measurement and sampling* (pp. 914-925). Madison, United States: American Society of Agronomy Inc.
- Prongjunthuek, K., Meunchang, P., Punlai, N., & Yen-uam, W. (2021). *Study on effectiveness of PGPR biofertilizer on growth and yield of sweet corn variety hi-brix 3*. Accessed October 7, 2024. Retrieved from <https://www.doa.go.th/research/attachment.php?aid=2951>. (in Thai)
- Prongjunthuek, K., Meunchang, P., Thongra-a, P., Kuernun, C., Luanmanee, S., & Yen-uam, W. (2016). *Study on effectiveness of plant growth promoting rhizobacteria for increasing of quality and quantity of maize yield*. Accessed August 1, 2024. Retrieved from <https://www.doa.go.th/plan/wp-content/uploads/2021/04/313.3การศึกษาการใช้ปุ๋ยชีวภาพฟิสิกส์เพื่อเพิ่มผลผลิตและคุณภาพข้าวโพดเลี้ยงสัตว์.pdf>. (in Thai)
- Schollenberger, C. J., & Simon, R. H. (1945). Determination of exchange capacity and exchangeable bases in soil-ammonium acetate method. *Soil Science*, 59(1), 13-24. doi: 10.1097/00010694-194501000-00004
- Tharanukul, P., Surat, S., Khaephimai, C., Khongrit, N., Mungjomklang, S., & Israngkul Na Ayudhya, P. (2021). *Testing technologies to cost reduction maize production by biofertilizer (PGPR-1) of nakhon ratchasima province*. Accessed August 1, 2024. <https://www.doa.go.th/plan/wp-content/uploads/2023/07/331.3.pdf>. (in Thai)
- Walkley, A., & Black, I. A. (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. doi: 10.1097/00010694-193401000-00003

Research article

Effect of integrated fertilizer management on the yield of maize in Loei Province

Kamontip Sungkaew^{1*} Lawan Chanamporn¹ Pariyaphat Thongman²
and Supatra Chawkongjuck³

¹*Loei Agricultural Research and Development Center, Mueang District, Loei Province, Thailand 42000*

²*Amnat Charoen Agricultural Research and Development Center, Mueang District, Amnat Charoen Province, Thailand 37000*

³*Kalasin Agricultural Research and Development Center, Yang Talat District, Kalasin Province, Thailand 46120*

ARTICLE INFO

Article history

Received: 18 August 2024

Revised: 29 September 2024

Accepted: 1 November 2024

Online published: 11 November 2024

Keyword

Economic crops

PGPR-1 bio-fertilizer

Chemical fertilizer based on soil analysis

Silty clay loam

ABSTRACT

The objective of this research was to evaluate the effect of integrated fertilizer application on maize yield. Participatory action research (PAR) was conducted in Phu Kradueng District, Loei Province. There were 2 treatments: the use of fertilizer based on soil analysis combined with PGPR-1 bio-fertilizer and the farmers' conventional method. The experiment was conducted in 10 areas over two trials in 2022 and 2023. The results showed that maize yield in the test method was significantly higher than in the farmers' conventional method ($p < 0.01$). The test method could increase maize yield by 17 %, which translates into a substantial rise in net income and benefit-cost ratio for local farmers by 25 % and 12 % respectively compared to the farmer's method. Additionally, the test method reduced the cost per unit of yield by 11 %. Therefore, the nutrient management technology provides an effective option for increasing maize yield for farmers in Loei Province.

*Corresponding author

E-mail address: sungkaew.nok@gmail.com (K. Sungkaew)

Online print: 11 November 2024 Copyright © 2024. This is an open access article, production, and hosting by Faculty of Agricultural Technology, Rajabhat Maha Sarakham University. <https://doi.org/10.14456/paj.2024.47>



ผลการใช้เมล็ดหญ้าข้าวนกในอาหารต่อสมรรถภาพการผลิตของเป็ดเทศกบินทร์บุรี

ศรณ บัวศิริ* กล้าหาญ สุวรรณศิริ สขกร สกุลวงศ์วิริยะ ณัฐวุฒิ เหมโคกน้อย ปิยะนันท์ นวลหนูปล้อง และ สันติ หมดหมั่น

สาขาวิชาเทคโนโลยีการผลิตสัตว์ คณะเทคโนโลยีการเกษตร มหาวิทยาลัยราชภัฏสงขลา อำเภอเมือง จังหวัดสงขลา 900002

ข้อมูลบทความ	บทคัดย่อ
Article history รับ: 27 สิงหาคม 2567 แก้ไข: 3 ตุลาคม 2567 ตอบรับการตีพิมพ์: 3 พฤศจิกายน 2567 ตีพิมพ์ออนไลน์: 12 พฤศจิกายน 2567	
คำสำคัญ หญ้าจากนาข้าว สมรรถภาพการผลิต เป็ดเทศกบินทร์บุรี	การวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาการใช้เมล็ดหญ้าข้าวนกในสูตรอาหารต่อสมรรถภาพการผลิตของเป็ดเทศกบินทร์บุรี โดยใช้แผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ (Completely randomized design; CRD) ประกอบด้วย 4 กลุ่มการทดลอง ได้แก่ อาหารผสมเมล็ดหญ้าข้าวนก 0, 5, 9 และ 13 เปอร์เซ็นต์ในสูตรอาหาร ใช้เป็ดเทศกบินทร์บุรีระยะอายุ 6 สัปดาห์ จำนวน 132 ตัว แต่ละกลุ่มมี 3 ซ้ำ ๆ ละ 11 ตัว ระยะเวลาทำการทดลอง 42 วัน ผลการศึกษาพบว่าตลอดช่วงอายุ 6-12 สัปดาห์ เป็ดเทศกบินทร์บุรีที่ได้รับอาหารผสมเมล็ดหญ้าข้าวนกที่ระดับ 5, 9 และ 13 เปอร์เซ็นต์ในสูตรอาหารมีน้ำหนักตัวเฉลี่ย น้ำหนักตัวที่เพิ่มขึ้น อัตราการเจริญเติบโตต่อตัวต่อวัน อัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นน้ำหนัก และต้นทุนค่าอาหารต่อน้ำหนักตัวที่เพิ่ม 1 กิโลกรัม ไม่แตกต่างกันทางสถิติกับกลุ่มควบคุม ($P > 0.05$) อย่างไรก็ตามปริมาณอาหารที่กินของเป็ดเทศกบินทร์บุรีที่ได้รับอาหารผสมเมล็ดหญ้าข้าวนก 13 เปอร์เซ็นต์ในสูตรอาหาร สูงกว่ากลุ่มที่ได้รับอาหารผสมเมล็ดหญ้าข้าวนก 0, 5 และ 9 เปอร์เซ็นต์ ในสูตรอาหารอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) นอกจากนี้ยังพบว่าเป็ดเทศกบินทร์บุรีที่ได้รับอาหารผสมเมล็ดหญ้าข้าวนกทั้ง 3 สูตร มีแนวโน้มต้นทุนค่าอาหารต่อน้ำหนักที่เพิ่ม 1 กิโลกรัม ต่ำกว่ากลุ่มควบคุม ($P > 0.05$) ดังนั้นจากการศึกษาในครั้งนี้ชี้ให้เห็นว่าสามารถใช้เมล็ดหญ้าข้าวนกได้ถึง 13 เปอร์เซ็นต์ ในสูตรอาหารโดยไม่มีผลกระทบต่อน้ำหนักส่งตลาดของเป็ดเทศกบินทร์บุรี

บทนำ

ปัจจุบันเป็ดเทศกบินทร์บุรีได้รับความนิยมเลี้ยงจากเกษตรกรเนื่องจากเลี้ยงง่าย โตเร็ว ต้านทานโรค และตลาดต้องการ เนื่องจากมีกล้ามเนื้อมาก ไขมันน้อย หนังบาง และมีปริมาณคอเรสเตอรอลต่ำ (Department of Livestock Development, 2002) การผลิตเนื้อของเกษตรกรรายย่อยมักพบปัญหาด้านต้นทุนค่าอาหาร ซึ่งต้นทุนของการผลิตประมาณ 75 เปอร์เซ็นต์เป็นค่าอาหารเนื่องมาจากการใช้อาหารสำเร็จรูปทางการค้า จึงมีความจำเป็นต้องหาแนวทางในการลดต้นทุนให้ต่ำลง ดังนั้นการเลือกใช้อัตุติบในท้องถื่นหรือผลพลอยได้ทางการเกษตรที่มีราคาถูกมาใช้เป็นวัตถุดิบในสูตรอาหารจึงเป็นแนวทางหนึ่งในการแก้ปัญหาดังกล่าวข้างต้น

เมล็ดหญ้าจากนาข้าวเป็นผลพลอยได้จากกระบวนการเก็บเกี่ยวเมล็ดข้าว มีลักษณะทางกายภาพคล้ายข้าวเปลือก โดยเมล็ดหญ้าในนาข้าวเป็นวัชพืชที่พบได้ในทุกท้องถื่น ขยายพันธุ์ได้อย่างรวดเร็ว

ดังนั้นการนำเมล็ดหญ้ามาเป็นวัตถุดิบอาหารสัตว์จึงเป็นการลดการแพร่ขยายของหญ้าวัชพืชอีกทางหนึ่งด้วย อย่างไรก็ตามจากการตรวจสอบความบริสุทธิ์ของเมล็ดหญ้าจากนาข้าวของเกษตรกรในพื้นที่อำเภอรโนด จังหวัดสงขลา ในห้องปฏิบัติการวิเคราะห์เคมีทางเกษตร คณะเทคโนโลยีการเกษตร มหาวิทยาลัยราชภัฏสงขลาพบว่า เมล็ดหญ้าจากนาข้าว ประกอบด้วย เมล็ดพันธุ์หญ้าข้าว 99.53 เปอร์เซ็นต์ และที่เหลืออีก 0.47 เปอร์เซ็นต์ เป็นเมล็ดพันธุ์พืชชนิดอื่น ๆ และสิ่งเจือปน

เมล็ดหญ้าข้าว (Echinochloa spp.) เป็นพืชอายุปีเดียว (Annual weed) ลำต้นตั้งตรงแตกเป็นกอสูง 100-200 เซนติเมตร กาบใบเกลี้ยง ขอบใบขนาน ปลายแหลมยาว 40 เซนติเมตร กว้าง 1.50 เซนติเมตร ไม่มีเส้นใบ ดอกออกเป็นช่อมี 9-12 แขนง มักมีขนสีขาวที่โคน แกนค่อนข้างแบน ช่อดอกย่อยจำนวนมาก ยาว 3.8 มิลลิเมตร เรียงตัวด้านบนของแกน ออกเป็นคู่ มีและไม่มีก้าน

*Corresponding author

E-mail address: kruan.bu@skru.ac.th (K. Buakeeree)

Online print: 12 November 2024 Copyright © 2024. This is an open access article, production, and hosting by Faculty of Agricultural Technology, Rajabhat Maha Sarakham University. <https://doi.org/10.14456/paj.2024.48>

ช่อดอกย่อยที่มีก้านจะมีขนแข็งที่โคนเป็นต่อม กาบคลุมล่างมีเส้นสัน 3 เส้น กาบคลุมบนมีเส้นสัน 5 เส้น ช่อดอกย่อยประกอบด้วย 2 ดอก ดอกล่างเป็นหมัน ใบประดับดอกยาว 2.2 มิลลิเมตร ปลายของเส้น กลางเปลี่ยนเป็นรยางค์แข็ง ใบประดับในเป็นแผ่นใส ดอกย่อยบนเป็น ดอกสมบูรณ์เพศ ใบประดับนอกแข็ง เป็นมัน ปลายแหลม ใบประดับ ในลักษณะคล้ายใบประดับนอก เกสรตัวผู้มี 3 อัน เกสรตัวเมียปลาย แยกเป็น 2 แฉก ผลยาว 2.2 มิลลิเมตร ขยายพันธุ์ด้วยเมล็ด ผลิดเมล็ด ได้เป็นจำนวนมากสูงถึง 47,000 เมล็ด/ต้น เมล็ดมีความหลากหลาย ตั้งแต่ไม่มีหาง (awn) ทางสั้น และหางยาว (Pinsupa, 2022; Weed Science Society of Thailand, 2002)

จากการศึกษาลักษณะทางกายภาพและคุณค่าทางโภชนาของ เมล็ดหญ้าข้าวนกของเกษตรกรในพื้นที่อำเภอรอนดง จังหวัดสงขลา โดยห้องปฏิบัติการวิเคราะห์เคมีทางการเกษตร คณะ เทคโนโลยีการเกษตร มหาวิทยาลัยราชภัฏสงขลา พบว่า เมล็ดหญ้า ข้าวนกมีรูปร่างเป็นทรงรูปไข่ มีปลายแหลม มีสีน้ำตาลอมเหลือง มีความกว้าง 0.1798 เซนติเมตร และมีความยาว เท่ากับ 0.4610 เซนติเมตร สำหรับคุณค่าทางโภชนา พบว่าความชื้น แก้ว ไขมัน โปรตีน เยื่อใย และไนโตรเจนฟรีเอ็กซ์แทรก มีค่าเท่ากับ 10.49, 5.88, 2.87, 9.71, 20.58 และ 50.47 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ สอดคล้องกับ Rodrigues et al. (2004) ที่รายงานหาว่า หญ้าข้าวนกมีโปรตีน เยื่อใย ไขมัน และแป้ง เท่ากับ 9.17, 15.51, 2.82 และ 46.20 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ซึ่งแสดงให้เห็นว่าเมล็ดหญ้าข้าวนกมีเปอร์เซ็นต์โปรตีน ไกล่เคียงกับข้าวเปลือก (9.71 เปอร์เซ็นต์ ของน้ำหนักแห้ง) และมี ไนโตรเจนฟรีเอ็กซ์แทรกค่อนข้างสูง ซึ่งสามารถนำไปใช้เป็น ส่วนประกอบในสูตรอาหารเปิดได้ อย่างไรก็ตาม Yu et al. (2022) รายงานว่า ข้าวมีอะไมโลเพกติน (Amylopectin) สูงและมีเม็ดแป้ง ขนาดเล็กกว่าข้าวโพด จึงทำให้การย่อยแบ่งจากข้าวของสัตว์ได้ดีกว่า ข้าวโพด อาจจะเป็นไปได้นานองเดียวกันกับแป้งในเมล็ดหญ้าข้าวนก ซึ่งมีคุณลักษณะใกล้เคียงกับข้าวเปลือก นอกจากนี้ Rodrigues et al. (2004) ได้ศึกษาการใช้ประโยชน์ได้ของหญ้าข้าวนกในอาหารสัตว์ปีก โดยใช้ไก่เทศผู้ พบว่า พลังงานใช้ประโยชน์ที่ปรากฏและพลังงานใช้ ประโยชน์ได้ที่แท้จริงของหญ้าข้าวนก เท่ากับ 1,813 และ 1,976 กิโล แคลอรี/กิโลกรัม ตามลำดับ ปริมาณแคลเซียมและฟอสฟอรัส เท่ากับ 0.14 และ 0.30 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ส่วนค่าสัมประสิทธิ์การย่อยได้ ของกรดอะมิโนที่จำเป็นและกรดอะมิโนที่ไม่จำเป็น มีค่าเท่ากับ 78.30 และ 78.20 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ

จากการรวบรวมข้อมูลงานวิจัยที่ผ่านมายังไม่ปรากฏข้อมูลที่ แนชัดในการศึกษาการใช้เมล็ดหญ้าข้าวนกเป็นอาหารในการเลี้ยงสัตว์ ปีกโดยเฉพาะในเปิดเทศกบินทร์บุรี ดังนั้นการศึกษครั้งนี้จึงมี วัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลการใช้เมล็ดหญ้าข้าวนกในสูตรอาหารต่อ สมรรถภาพการผลิตของเปิดเทศกบินทร์บุรีระยะรุ่นช่วงอายุ 6-12 สัปดาห์

อุปกรณ์และวิธีการวิจัย

สัตว์ทดลองและแผนการทดลอง

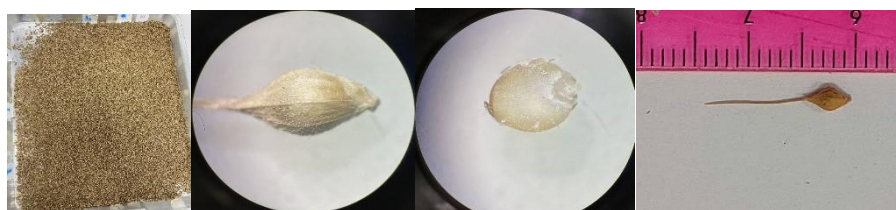
การศึกษานี้ใช้เปิดเทศกบินทร์บุรีอายุ 6 สัปดาห์ จำนวน 132 ตัว วางแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ (Completely randomized design; CRD) ประกอบด้วย 4 กลุ่มการทดลอง กลุ่ม การทดลองละ 3 ซ้ำ ๆ ละ 11 ตัว แต่ละกลุ่มการทดลอง ประกอบด้วย กลุ่มทดลองที่ 1 สูตรอาหารควบคุม (เมล็ดหญ้าข้าวนก 0 เปอร์เซ็นต์ ในสูตรอาหาร) กลุ่มทดลองที่ 2 สูตรอาหารผสมเมล็ดหญ้าข้าวนก 5 เปอร์เซ็นต์ ในสูตรอาหาร กลุ่มทดลองที่ 3 สูตรอาหารผสมเมล็ด หญ้าข้าวนก 9 เปอร์เซ็นต์ ในสูตรอาหาร และกลุ่มทดลองที่ 4 สูตร อาหารผสมเมล็ดหญ้าข้าวนก 13 เปอร์เซ็นต์ ในสูตรอาหาร โดยสัดส่วนเมล็ดหญ้าข้าวนกในสูตรอาหารปรับตามแนวทางการใช้ ข้าวเปลือกที่ศึกษาในหานโดย Yu et al. (2022) สำหรับเมล็ดหญ้า ข้าวนกที่ใช้ในการศึกษานี้ เป็นผลพลอยได้จากการเก็บเกี่ยวข้าว ของเกษตรกรในพื้นที่อำเภอรอนดง จังหวัดสงขลา มีลักษณะดังแสดง ใน Figure 1

ทำการเลี้ยงเปิดเทศกบินทร์บุรีตั้งแต่อายุ 6 สัปดาห์ จนกระทั่ง อายุ 12 สัปดาห์ บนพื้นที่ซีเมนต์ปูด้วยเกลบขนาดคอกเลี้ยง กว้าง 2 เมตร ยาว 2.5 เมตร แต่ละคอกจะกั้นด้วยตาข่าย โรงเรือนเปิดสถานี ปฏิบัติการสัตว์บาล คณะเทคโนโลยีการเกษตร มหาวิทยาลัยราชภัฏ สงขลา ทำการทดลองระหว่างเดือน กรกฎาคม ถึง ตุลาคม 2566 ทั้งนี้ เปิดได้รับแสงสว่างจากธรรมชาติและหลอดไฟฟ้า 24 ชั่วโมงต่อวัน เปิด ทดลองได้รับอาหาร และน้ำสะอาดตลอดเวลา โดยให้อาหารวันละ 2 ครั้ง เข้า-เย็น ซึ่งส่วนประกอบของอาหารทดลองมีโภชนาตามความ ต้องการของเปิดเนื้อตาม NRC (1994) โดยมีโปรตีน 16 เปอร์เซ็นต์ และพลังงานใช้ประโยชน์ได้ 2,900 กิโลแคลอรี/กิโลกรัม ดังแสดงใน Table 1 ใบอนุญาตใช้สัตว์ทดลองของนักวิจัย U1-05618-2559 และ U1-023342558

Table 1 Feed ingredients and compositions of experimental diets

Ingredients (kg)	Treatment 1	Treatment 2	Treatment 3	Treatment 4
Corn	52.00	51.00	50.00	50.00
Rice bran	24.50	20.00	17.00	12.50
Barnyardgrass seeds	0.00	5.00	9.00	13.00
Soybean meal (44 %)	14.50	15.00	15.00	15.50
Fish meal (55 %)	5.00	5.00	5.00	5.00
Dicalcium phosphate	2.00	2.00	2.00	2.00
Salt	1.00	1.00	1.00	1.00
Premix ^{1/}	1.00	1.00	1.00	1.00
Total	100.00	100.00	100.00	100.00
Calculated chemical composition analysis				
Crude protein (%)	16.23	16.28	16.26	16.24
Crude fat (%)	5.51	5.07	4.79	4.37
ME (kcal/kg)	2,927.00	2,938.00	2,948.00	2,963.00
Ca (%)	0.88	0.88	0.88	0.89
P (%)	0.69	0.68	0.68	0.67
Crude fiber (%)	5.30	5.77	6.19	6.47
Price (baht/kg) ^{2/}	18.02	17.42	16.91	16.43

Treatment 1 = feed-mixed Barnyardgrass seeds 0 %, Treatment 2 = feed-mixed Barnyardgrass seeds 5 %, Treatment 3 = feed-mixed Barnyardgrass seeds 9 %, Treatment 4 = feed-mixed Barnyardgrass seeds 13 %, ^{1/}Premix (kilogram diet): vitamin A 400 IU; vitamin D3 250 IU; vitamin E 30 mg; vitamin C 30 mg; vitamin K3 13 mg; vitamin B1 10 mg; vitamin B2 16 mg; vitamin B6 12 mg; vitamin B12 0.1 mg; Ca pantothenic acid 60 mg; folic acid 0.2 mg; nicotinic acid 83 mg; choline 105 mg; Co 0.4 mg; Cu 3.7 mg; I 0.5 mg; Mn 86 mg; Mg108 mg; Zn 62 mg; Fe 42 mg; Ca 11 mg; Na 390 mg; Cl 671 mg; K 78 mg; Met 45 mg. and ^{2/}The price of Barnyardgrass seeds (2 baht/ kilogram).

**Figure 1** Barnyardgrass seeds.

การบันทึกข้อมูล

บันทึกข้อมูลน้ำหนักตัว และปริมาณอาหารที่กินทุกสัปดาห์ ตลอดช่วงอายุ 6-12 สัปดาห์ เพื่อกำหนดน้ำหนักตัวเฉลี่ย (Average body weights) น้ำหนักตัวที่เพิ่มขึ้นเฉลี่ย (Average body weight gain; BWG) อัตราการเจริญเติบโตเฉลี่ย (Average daily gain; ADG) ปริมาณอาหารที่กินเฉลี่ยต่อวัน (Average daily feed intake; ADFI) อัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นน้ำหนัก (Feed conversion ratio; FCR) และต้นทุนค่าอาหารต่อน้ำหนักตัวที่เพิ่มขึ้น 1 กิโลกรัม (Feed cost per gain)

การวิเคราะห์ข้อมูล

นำข้อมูลที่ได้ ได้แก่ น้ำหนักตัวเฉลี่ย น้ำหนักตัวที่เพิ่มขึ้นเฉลี่ย อัตราการเจริญเติบโตเฉลี่ย ปริมาณอาหารที่กินเฉลี่ยต่อวัน อัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นน้ำหนัก และต้นทุนค่าอาหารต่อน้ำหนักตัวที่เพิ่มขึ้น 1 กิโลกรัม มาวิเคราะห์ความแปรปรวน (Analysis of variance; ANOVA) ตามแผนการทดลองสุ่มสมบูรณ์ และเปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างค่าเฉลี่ยของทรีตเมนต์ด้วยวิธี Duncan's new multiple range test (DMRT) ด้วยโปรแกรม SAS (1998)

ผลและวิจารณ์ผลการวิจัย

จากการศึกษาผลการใช้เมล็ดหญ้าข้าวนกในอาหารเปิดเทศกบินทร์บุรีช่วงอายุ 6-12 สัปดาห์ ในอาหาร 4 กลุ่มทดลอง ได้แก่ สูตรอาหารควบคุม สูตรอาหารผสมเมล็ดหญ้าข้าวนก 5, 9 และ 13 เปอร์เซ็นต์ ในสูตรอาหารต่อสมรรถนะการผลิต พบว่าน้ำหนักตัวเฉลี่ยของเปิดเทศกบินทร์บุรีตลอดช่วงอายุ 6-12 สัปดาห์ ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P > 0.05$) เช่นเดียวน้ำหนักตัวที่เพิ่มขึ้น อัตราการเจริญเติบโต ปริมาณอาหารที่กินเฉลี่ยต่อตัวต่อวัน และอัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นน้ำหนักในแต่ละสัปดาห์ ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P > 0.05$) และตลอดช่วงอายุ 6-12 สัปดาห์ เปิดเทศกบินทร์บุรีมีน้ำหนักตัวเฉลี่ย น้ำหนักตัวที่เพิ่มขึ้น อัตราการเจริญเติบโต อัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นน้ำหนัก และต้นทุนค่าอาหารต่อน้ำหนักตัวที่เพิ่มขึ้นไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P > 0.05$) ดังแสดงใน Table 2 สอดคล้องกับการศึกษาของ Chimliang & Luangvaree (2020) ที่พบว่า การใช้ข้าวเปลือกในอาหารไก่พื้นเมืองลูกผสม 0-25 เปอร์เซ็นต์ในสูตรอาหาร มีผลให้

น้ำหนักตัวที่เพิ่มขึ้น อัตราการเจริญเติบโต และอัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นน้ำหนัก ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P > 0.05$) ในขณะที่ Yu et al. (2022) พบว่าการใช้ข้าวเปลือกที่ระดับ 0, 13, 26 และ 54 เปอร์เซ็นต์ ในสูตรอาหาร ไม่มีผลให้อัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นน้ำหนักของห่านระยะเล็กแตกต่างกัน ($P > 0.05$) แต่น้ำหนักสุดท้าย ปริมาณอาหารที่กินต่อตัวต่อวัน และอัตราการเจริญเติบโตต่อตัวต่อวันของห่านที่ได้รับข้าวเปลือกที่ระดับ 26 และ 52 เปอร์เซ็นต์ มีค่าสูงกว่ากลุ่มควบคุมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) ขณะที่การใช้ข้าวเปลือกที่ระดับ 13 เปอร์เซ็นต์ ไม่แตกต่างกับกลุ่มควบคุม ($P > 0.05$) โดยให้เหตุผลว่าข้าวเปลือกเป็นแหล่งพลังงานที่ต้อยตางหนึ่งในอาหารสัตว์ปีก ที่ช่วยปรับปรุงสีเนื้อหน้าอกและการใช้ประโยชน์ของแป้งทั้งหมด แต่มีผลไปเพิ่มปริมาณไขมันในช่องท้อง นอกจากนี้ Yu et al. (2022) ยังรายงานว่า ข้าวเปลือกสามารถปรับปรุงสมรรถภาพการผลิตของลูกห่านโดยการเพิ่มปริมาณการกินอาหาร แต่เนื่องจากการศึกษาครั้งนี้ศึกษาในเปิดเทศกบินทร์บุรีระยะเจริญเติบโต ซึ่งเลยระยะลูกเป็ดมาแล้ว ระบบทางเดินอาหารพัฒนาสมบูรณ์ดีกว่า

ระยะเล็ก ดังนั้นการใช้เมล็ดหญ้าข้าวนกที่ระดับ 5-13 เปอร์เซ็นต์ จึงไม่ส่งผลกระทบต่อสมรรถภาพการผลิตของเปิดเทศกบินทร์บุรี

สำหรับปริมาณอาหารที่กินเฉลี่ยต่อตัวต่อวันในแต่ละสัปดาห์ของเปิดเทศกบินทร์บุรี พบว่า ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P > 0.05$) ถึงแม้ว่าปริมาณอาหารที่กินเฉลี่ยตลอดช่วงอายุ 6-12 สัปดาห์ จะแตกต่างกันก็ตาม ดังแสดงใน Table 2 เป็นไปได้ว่าสูตรอาหารทดลองมีการปรับสมดุลของโภชนาและเยื่อใยใกล้เคียงกัน โดยที่เยื่อใยในสูตรอาหารทดลองทั้ง 4 สูตร ไม่ได้สูงไปกว่าตามรายงานของ Tangtaweewipat et al. (1996) ที่รายงานว่า อาหารเปิดรุ่นควรมีเยื่อใยในระดับ 9-15 เปอร์เซ็นต์ ที่ไม่ส่งผลเสียต่อสมรรถภาพการผลิต นอกจากนี้อาจเป็นผลมาจากคุณลักษณะของเมล็ดหญ้าข้าวนกที่มีแป้งค่อนข้างสูง โดยมีค่าเท่ากับ 46.20 เปอร์เซ็นต์ ที่รายงานโดย Rodrigues et al. (2004) จึงส่งผลให้การย่อยแป้งจากข้าวของสัตว์ได้ดีกว่าเมื่อเทียบกับข้าวโพด เนื่องจากข้าวมีอะไมโลเพกตินสูงและมีเม็ดแป้งขนาดเล็กกว่าข้าวโพด ซึ่งเมล็ดหญ้าข้าวนกมีคุณลักษณะใกล้เคียงกับข้าวเปลือก (Yu et al., 2022)

Table 2 Effect of Barnyardgrass seeds in rations on production performance of Kabinburi Muscovy ducks during 6-12 weeks

Trait	Treatment 1	Treatment 2	Treatment 3	Treatment 4	P-value
Average body weights (g/b)					
6 weeks	1,133.33	1,145.45	1,145.45	1,145.45	0.0519
7 weeks	1,539.39	1,484.84	1,484.84	1,515.15	0.3556
8 weeks	1,939.39	1,903.03	1,860.60	1,890.90	0.7351
9 weeks	2,212.12	2,157.57	2,109.09	2,187.87	0.7431
10 weeks	2,454.54	2,400.00	2,387.88	2,490.90	0.6569
11 weeks	2,624.20	2,624.20	2,545.40	2,690.90	0.6155
12 weeks	2,793.90	2,781.80	2,781.50	2,878.80	0.6801
Average body weight gain (g/b)					
6-7 weeks	406.06	339.39	339.39	369.70	0.2105
7-8 weeks	400.00	418.19	375.76	375.76	0.9204
8-9 weeks	272.73	254.54	248.48	296.97	0.8894
9-10 weeks	242.42	242.43	278.79	303.03	0.7902
10-11 weeks	169.70	224.24	190.90	200.00	0.7658
11-12 weeks	169.69	157.58	202.73	187.88	0.4331
6-12 weekss	1,660.59	1,636.36	1,569.69	1,733.33	0.7967
Average daily gain (g/b/d)					
6-7 weeks	58.01	48.48	48.48	52.81	0.2104
7-8 weeks	57.15	59.74	53.68	53.68	0.9203
8-9 weeks	38.96	36.37	35.50	42.42	0.8817
9-10 weeks	34.63	34.63	39.83	43.29	0.7901
10-11 weeks	24.24	32.03	27.27	28.57	0.7656
11-12 weeks	24.23	22.51	28.96	26.84	0.4332
6-12 weekss	39.54	38.96	38.87	41.27	0.7969
Average daily feed intake (g/b/d)					
6-7 weeks	130.73	122.94	132.46	137.66	0.4504
7-8 weeks	162.76	144.58	163.63	167.96	0.1296
8-9 weeks	154.10	161.9	147.18	160.17	0.4372
9-10 weeks	155.84	154.11	152.38	168.78	0.5877
10-11 weeks	133.33	143.72	150.65	138.35	0.5173
11-12 weeks	142.85	159.30	146.32	157.87	0.5647

Table 2 Effect of Barnyardgrass seeds in rations on production performance of Kabinburi Muscovy ducks during 6-12 weeks (Continue)

Trait	Treatment 1	Treatment 2	Treatment 3	Treatment 4	P-value
Feed conversion ratio					
6-7 weeks	2.27	2.54	2.76	2.64	0.4030
7-8 weeks	2.86	2.44	3.24	3.39	0.5217
8-9 weeks	4.21	4.54	4.22	4.12	0.9590
9-10 weeks	5.78	4.53	4.15	3.94	0.7258
10-11 weeks	6.19	4.81	5.75	4.96	0.7031
11-12 weeks	5.99	7.57	5.10	5.96	0.2907
6-12 weekss	3.72	3.80	3.83	3.79	0.9710
Feed cost per gain (baht)					
6-12 weeks	66.98	66.20	64.76	62.33	0.6995

Treatment 1 = feed-mixed Barnyardgrass seeds 0 %, Treatment 2 = feed-mixed Barnyardgrass seeds 5 %, Treatment 3 = feed-mixed Barnyardgrass seeds 9 %, Treatment 4 = feed-mixed Barnyardgrass seeds 13 %, ^{a,b} mean with different superscripts within the same row are different (P < 0.05).

สรุปผลการวิจัย

การใช้เมล็ดหญ้าข้าวนกในสูตรอาหารเปิดเทศกบินทร์บุรีที่ช่วงอายุ 6-12 สัปดาห์ สามารถใช้ได้ทั้งระดับ 13 เปอร์เซ็นต์ ในสูตรอาหาร โดยไม่ส่งผลกระทบต่อสมรรถนะการผลิตและการกินได้ของเปิดเทศกบินทร์บุรี ตลอดจนต้นทุนค่าอาหารมีแนวโน้มลดลง ซึ่งถือเป็นแนวทางให้กับผู้เลี้ยงเปิดเทศกบินทร์บุรี ในการใช้ประโยชน์จากวัตถุดิบในท้องถิ่นหรือผลพลอยได้จากการเกษตรที่มีราคาถูกมาเป็นวัตถุดิบในสูตรอาหาร

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณห้องปฏิบัติการเคมีทางการเกษตร และสถานที่ปฏิบัติการสัตว์บาล คณะเทคโนโลยีการเกษตร มหาวิทยาลัยราชภัฏสงขลา ที่สนับสนุนสถานที่และอุปกรณ์ในการวิจัยในครั้งนี้

References

- Chimliang, T., & Luangvaree, P. (2020). Effect of the use of Ground Khaothom Mae Phaya Tongdam Paddy rice in diets on productive performance of native crossbred chicken. *Rajabhat Rambhai Barni Research Journal*, 14(2), 192-203. (in Thai)
- Department of Livestock Development. (2002). *Raising of Kabinburi Muscovy Duck*. Bangkok, Thailand: The Agricultural Cooperative Federation of Thailand Publisher. (in Thai)
- Nutrient Requirements Council (NRC). (1994). *Nutrient requirements of poultry* (9th ed.). Washington, D. C., United States: National Academy Press.
- Pinsupa, J., Chindakul, A., Tanutong, A., Mahawong, T., & Intanon, S. (2022). Relationship between morphology characteristics of Barnyardgrass (*Echinochloa crus-galli* (L.) Beauv) and Quinclorac resistance. *Thai Agricultural Research Journal*, 40(1), 59-71. (in Thai) doi: 10.14456/thaidoa-agres.2022.5
- Rodrigues, P. B., Junior, W. M. D., Rostagno, H. S., & Rodrigues, K. F. (2004). Energy values and digestible amino acids of Barnyardgrass seeds (*Echinochloa* spp.) for poultry. *Revista Brasileira de Zootecnia*, 33(5), 1192-1196. doi: 10.1590/S1516-35982004000500011
- Statistical Analysis System (SAS). (1998). *SAS User's guide. version 6.12*. North Carolina, United States: SAS Institute Inc.
- Tangtaweewipat, S., Chava-Isarakul, B., Wongrueng, B., & Yathet, N. (1996). *The use of high fiber diets in poultry*. ChiangMai, Thailand: Department of Animal Science, Faculty of Agriculture, Chiangmai University. (in Thai)
- Weed Science Society of Thailand. (2002). *Common weeds of central Thailand*. Accessed August 3, 2023. Retrieved from <https://anyflip.com/xflkp/tauf>. (in Thai)
- Yu, J., Zhang, H., Yang, H. M., & Wang, Z. Y. (2022). Effects of dietary paddy rice on growth performance, carcass traits, bare skin color, and nutrient digestibility in geese. *Poultry Science*, 101(6), 101865. doi: 10.1016/j.psj.2022.101865

Research article

Effect of Barnyardgrass seeds in rations on production performance of Kabinburi Muscovy ducks

Kruan Buakeeree* Krahan Suwankeeree Sachakorn Sakulwongviriya

Nattawut Hemkoknoi Piyanan Nualhnuplong and Santi Madman

Animal Production Technology Program, Faculty of Agricultural Technology, Songkhla Rajabhat University, Muang District, Songkhla Province, Thailand 90000

ARTICLE INFO**Article history**

Received: 27 August 2024

Revised: 3 October 2024

Accepted: 3 November 2024

Online published: 12 November 2024

Keyword

Barnyardgrass seeds

Production performances

Kabinburi Muscovy duck

ABSTRACT

The objective of this research was to study the effects of Barnyardgrass seeds in rations on the production performance of Kabinburi Muscovy ducks. One hundred and thirty-two ducks, aged 6 weeks and of mixed genders, were randomly allocated to 4 groups. Each group had 3 replications with 11 ducks per replication. The groups received feed mixed with Barnyardgrass seeds at four different levels as follows: the control group (no Barnyardgrass seeds), Group II (5 % Barnyardgrass seeds), Group III (9 % Barnyardgrass seeds), and Group IV (13 % Barnyardgrass seeds). The experimental period lasted 42 days. The results showed that at 6-12 weeks, the average body weight, body weight gain, average daily gain, feed conversion ratio, and feed cost per gain of Kabinburi Muscovy ducks in groups receiving feed mixed with Barnyardgrass seeds were not significantly different from those of the control group ($P > 0.05$). However, the average daily feed intake of Group IV was significantly higher than that of Group II, Group III, and the control group ($P < 0.05$). Additionally, the feed cost per gain for groups receiving Barnyardgrass seeds tended to be lower than that of the control group ($P > 0.05$). From this study, it can be concluded that a 13% inclusion of Barnyardgrass seeds did not affect the market weight of Kabinburi Muscovy ducks.

*Corresponding author

E-mail address: kruan.bu@skru.ac.th (K. Buakeeree)

Online print: 12 November 2024 Copyright © 2024. This is an open access article, production, and hosting by Faculty of Agricultural Technology, Rajabhat Maha Sarakham University. <https://doi.org/10.14456/paj.2024.48>



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

บทความวิจัย

การศึกษาและพัฒนาตู้อบแห้งทรงกระบอกแบบถาดหมุนโดยใช้อากาศร้อน เพื่อใช้ในกระบวนการแปรรูปผลผลิตทางการเกษตรประเภทอบแห้ง

รักพงษ์ ชันธวิริ¹ สวาส อาจสาลี² กันตพงษ์ แซ่โล³ และปิยะพงษ์ สิงห์บัว^{1*}

¹สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์และสถาปัตยกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยวงษ์ชวลิตกุล อำเภอเมือง จังหวัดนครราชสีมา 30000 ประเทศไทย

²สาขาวิชาการจัดการและโลจิสติกส์ คณะวิศวกรรมศาสตร์และสถาปัตยกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยวงษ์ชวลิตกุล อำเภอเมือง จังหวัดนครราชสีมา 30000 ประเทศไทย

³ศูนย์วิจัยเครื่องจักรกลเกษตรและวิทยาการหลังการเก็บเกี่ยว มหาวิทยาลัยขอนแก่น อำเภอเมือง จังหวัดขอนแก่น 40002 ประเทศไทย

ข้อมูลบทความ	บทคัดย่อ
Article history	การวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาและพัฒนาตู้อบแห้งทรงกระบอกแบบถาดหมุนโดยใช้อากาศร้อนสำหรับใช้ในกระบวนการอบแห้งผลผลิตทางการเกษตร การทดสอบได้ดำเนินการกับกล้วยน้ำว้าที่ผ่านการทอดและสไลด์น้ำมัน เพื่อศึกษาปัจจัยที่เหมาะสมในการอบ ได้แก่ อุณหภูมิการอบ 3 ระดับ (70, 80 และ 90°C และระยะเวลาในการอบ 4 ระดับ (5, 10, 15 และ 20 นาที) ผลการทดลองพบว่า อุณหภูมิและเวลาที่มีผลอย่างมีนัยสำคัญต่อการลดความชื้นและการใช้พลังงาน โดยที่อุณหภูมิ 80°C เป็นเวลา 20 นาที สามารถลดความชื้นของกล้วยทอดจาก 5.05 % เหลือ 2.85 % ซึ่งได้สีของผลิตภัณฑ์หลังการอบตามที่ต้องการ โดยใช้พลังงาน 1.62 kWh ผลการวิจัยยังพบว่า อุณหภูมิสูงส่งผลให้การลดความชื้นเร็วขึ้น แต่ก็ใช้พลังงานมากขึ้นตามไปด้วย เมื่อเปรียบเทียบกับตู้อบลมร้อนทรงสี่เหลี่ยมทั่วไป ตู้อบทรงกระบอกแบบถาดหมุนที่พัฒนาขึ้นสามารถทำให้การไหลของอากาศร้อนสม่ำเสมอ และช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการถ่ายเทความร้อนออกจากผลิตภัณฑ์ได้ดียิ่งขึ้น การศึกษานี้จึงเสนอว่าตู้อบทรงกระบอกแบบถาดหมุนเป็นทางเลือกที่มีศักยภาพในการเพิ่มประสิทธิภาพการอบแห้งผลผลิตทางการเกษตร และลดต้นทุนพลังงานในกระบวนการอบแห้ง โดยสามารถปรับปรุงเพื่อให้เหมาะสมกับการผลิตในเชิงพาณิชย์ต่อไป
รับ: 26 กันยายน 2567	
แก้ไข: 30 ตุลาคม 2567	
ตอบรับการตีพิมพ์: 11 พฤศจิกายน 2567	
ตีพิมพ์ออนไลน์: 25 พฤศจิกายน 2567	
คำสำคัญ	
กล้วย	
อบลดความชื้น	
ผลิตภัณฑ์แปรรูป	

บทนำ

กล้วย ชื่อวิทยาศาสตร์ *Musa sp.* เป็นพันธุ์ไม้ท้องถิ่นของเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ มีคุณค่าอาหารสูง ให้พลังงาน 100 กิโลแคลอรีต่อ 100 กรัม กล้วยสุกย่อยง่าย ให้คาร์โบไฮเดรตและวิตามินเอสูง ทั้งกล้วยดิบและกล้วยสุกนำมาใช้แก้อาการผิดปกติของทางเดินอาหาร แก้อาการของโรคกระเพาะ แก้อาการท้องผูก ช่วยแก้ปวดข้อ แก้ไข ช่วยลดความดันโลหิตสูง แก้เจ็บคอ แก้เบาหวาน แก้ปัสสาวะขัด และริดสีดวงทวาร (Horticultural Research Institute, 2024) สามารถนำทุกส่วนของกล้วยมาใช้ประโยชน์ได้ตั้งแต่ใบ กาบ หัวปลี และผล ทั้งในรูปแบบของอาหาร ไม้ใช้อาหาร พืชกรรมต่าง ๆ ในชีวิตประจำวัน และใช้เป็นยารักษาโรค ปัจจุบันกล้วยที่นิยมปลูกเพื่อเป็นการค้าในประเทศไทย มีอยู่ 3 ชนิด คือ กล้วยน้ำว้า กล้วยไข่ และกล้วยหอม (Database for Promoting and Upgrading the Quality of OTOP Products, 2024) ประเทศไทยมีพื้นที่ปลูกกล้วย

ประมาณ 481,639 ไร่ ในจำนวนนี้มีพื้นที่ปลูกกล้วยน้ำว้ามากที่สุด จำนวน 328,456 ไร่ กล้วยไข่จำนวน 63,233 ไร่ กล้วยหอมจำนวน 62,525 ไร่ และกล้วยอื่น ๆ จำนวนประมาณ 27,425 ไร่ (Kamphaeng Phet Provincial Agriculture and Cooperatives Office, 2023) ในปี 2566 ประเทศไทยได้มีผลผลิตกล้วยหอมทอง 120,397 ตัน ซึ่งได้ทำการส่งออกกล้วยหอมทองอยู่ที่ 1,521 ตัน คิดเป็นมูลค่า 53 ล้านบาท โดยประเทศไทยได้โควตาส่งออกกล้วยหอมทองไปญี่ปุ่นปีละ 8,000 ตัน แต่ปัจจุบันส่งออกได้เพียง ปีละ 1,521 - 6,446 ตัน (2564-2566) เนื่องจากผลผลิตไม่ได้ตามคุณภาพที่ญี่ปุ่นกำหนด (Ministry of Commerce, 2024) จึงมีการนำผลผลิตกล้วยที่ไม่ได้ขนาดตามที่ต้องการมาแปรรูป เพื่อไม่ให้ไร้ประโยชน์ และสามารถเก็บได้นานขึ้น อีกทั้งเป็นการเพิ่มมูลค่าให้แก่ผลผลิตกล้วย (Thai Encyclopedia for Youth, 2022) กล้วยอบแห้ง จึงกลายเป็นผลิตภัณฑ์ที่นิยมนำมาแปรรูป เนื่องจากกระบวนการอบแห้งไม่ได้ทำให้

*Corresponding author

E-mail address: piyapong_sin@vu.ac.th (P. Singbua)

Online print: 25 November 2024 Copyright © 2024. This is an open access article, production, and hosting by Faculty of Agricultural Technology, Rajabhat Maha Sarakham University. <https://doi.org/10.14456/paj.2024.49>

คุณค่าของกล้วยสุญหายไป เพียงแค่เนื้อสัมผัสแห้งลง เป็นทางเลือกที่ดีสำหรับคนรักสุขภาพ (Maneefruit, 2019)

การอบแห้ง เป็นหนึ่งในกระบวนการปัจจัยหลักของเกือบทุกการแปรรูปผลิตภัณฑ์อาหารที่สำคัญ เป็นกระบวนการที่น้ำถูกดึงออกจากอาหารเพื่อหยุดหรือชะลอการเจริญของจุลินทรีย์ที่ทำให้เน่าเสีย เช่นเดียวกับการชะลอปฏิกิริยาเคมี (Pornchaloepong & Rattanapanon, 2024) การทำแห้ง สามารถทำได้หลายวิธี ยกตัวอย่างเช่น การตากแห้งอาหาร (food drying) หมายถึง การทำแห้งโดยอาศัยธรรมชาติ เช่น การตากแดด ส่วนการทำแห้งอาหาร (food dehydration) หมายถึง การทำแห้งโดยอาศัยเครื่องมือในการอบแห้ง เช่น ตู้อบ เครื่องอบแห้งแบบลูกกลิ้ง เครื่องอบแห้งแบบพ่นฝอย (spray dry) และอื่น ๆ ภายใต้สภาวะที่มีการควบคุม (Potter & Hotchkiss, 1998) ซึ่งจะเห็นได้ว่าหลักการพื้นฐานของเครื่องอบหรือการอบเพื่อลดความชื้นแก่วัสดุนั้นมีความคล้ายคลึงกัน แต่แตกต่างกันในด้านการลำเลียงความร้อน หรือการนำความร้อนจากแหล่งพลังงานความร้อนที่ใช้ในการอบ รวมถึงการกำหนดวัสดุที่นำมาอบจะให้อยู่นิ่งหรือเคลื่อนที่ได้ และส่วนมากลักษณะของตูอบนั้นจะมีลักษณะเป็นทรงสี่เหลี่ยม ซึ่งจากหลายงานวิจัยที่ทำการจำลองการไหลของความร้อนด้วยคอมพิวเตอร์จะพบว่า ผนังห้องอบที่เป็นกล่องนั้นจะสะท้อนความร้อนและทำให้การไหลมีความแปรปรวนภายในระบบ โดยในงานวิจัยที่ผ่านมาได้ระบุว่าตูอบแห้งแบบสี่เหลี่ยมมีปัญหาความแปรปรวนในการกระจายความร้อนและการสะท้อนของผนังห้องอบ ซึ่งทำให้เกิดปัญหาความไม่สม่ำเสมอในคุณภาพของผลิตภัณฑ์ที่ได้ นอกจากนี้ ยังพบว่าการออกแบบที่เป็นทรงกระบอกสามารถช่วยให้การไหลของความร้อนและอากาศในระบบเป็นไปได้อย่างราบรื่นมากขึ้น ช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการถ่ายเทความร้อนและลดพลังงานที่สูญเสีย (Dev & Raghavan, 2012)

ดังนั้น งานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาและพัฒนาตูอบแห้งทรงกระบอกแบบลาดหมุนโดยใช้อากาศร้อนเพื่อใช้ในการกระบวนการแปรรูปผลผลิตทางการเกษตรประเภทอบแห้ง โดยตูอบแห้งทรงกระบอกแบบลาดหมุนที่พัฒนาขึ้นนี้ถือเป็นนวัตกรรมที่มุ่งเน้นการแก้ไขปัญหาของตูอบแบบเดิม โดยเฉพาะในด้านการกระจายความร้อนและการไหลเวียนของอากาศภายในตูอบ โดยตูอบแห้งทรงกระบอกแบบลาดหมุนได้รับการออกแบบมาให้มีการหมุนของลาดเพื่อช่วยให้อากาศร้อนสามารถไหลเวียนไปทั่วทุกมุมของวัสดุที่นำมาอบ ช่วยลดปัญหาการสะสมของความชื้นในบางส่วน ทำให้ได้ผลผลิตที่มีคุณภาพการอบที่สม่ำเสมอ ลดการสูญเสียพลังงาน

ที่ไม่จำเป็น และลดระยะเวลาในการอบลง อีกทั้งการออกแบบรูปทรงกระบอกช่วยลดการสะท้อนความร้อนจากผนังที่พบในตูอบแบบสี่เหลี่ยม ซึ่งส่งผลให้การไหลเวียนของอากาศภายในตูอบมีประสิทธิภาพมากขึ้น การไหลเวียนของความร้อนและอากาศที่ดีขึ้นจะช่วยลดความแปรปรวนของความร้อนและความชื้น ทำให้สามารถควบคุมคุณภาพและอายุการเก็บรักษาของผลิตภัณฑ์ได้ดียิ่งขึ้น โดยเฉพาะในกระบวนการแปรรูปกล้วยน้ำว้าอบแห้งซึ่งต้องการคุณภาพที่สม่ำเสมอและปราศจากความชื้นส่วนเกิน ซึ่งจะทำให้การทดสอบกับกล้วยน้ำว้าที่ผ่านการทอดและสไลด์น้ำมัน ซึ่งได้จากกลุ่มกิจการบ้านสวนฉิมพลี เลขที่ 222 หมู่ที่ 2 ตำบลหนองจะบก อำเภอเมือง จังหวัดนครราชสีมา ที่ได้ทำการประกอบกิจการแปรรูปสินค้าทางการเกษตรประเภทกล้วย โดยมีผลิตภัณฑ์หลักหลากหลายชนิด เช่น กล้วยน้ำว้าทอดกรอบรสชาติต่าง ๆ 5 รสชาติ และ กล้วยทอดกรอบใส่ไส้มะขาม เป็นต้น โดยจะเปรียบเทียบกับตูอบลมร้อนทรงสี่เหลี่ยมตามท้องตลาดของกลุ่ม พร้อมศึกษาปัจจัยที่เหมาะสมในการอบตูอบแห้งทรงกระบอกแบบลาดหมุน ได้แก่ อุณหภูมิการอบ มีค่าชี้ผลในการศึกษาได้แก่ 1) ความชื้นหลังการอบ 2) ระยะเวลาในการอบ 3) พลังงานที่ใช้ในการอบ เพื่อนำไปเป็นข้อมูลในการคำนวณกำลังการผลิต ต้นทุนการผลิตต่อหน่วยต่อไป โดยมีการตั้งสมมุติฐานคือ อุณหภูมิในการอบที่เหมาะสมจะช่วยลดปริมาณความชื้นในผลผลิตได้ตามมาตรฐานที่กำหนดไว้ ซึ่งจะช่วยลดโอกาสการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์และยืดอายุการเก็บรักษาของผลิตภัณฑ์ รวมไปถึงได้คุณลักษณะตามที่ต้องการของกลุ่ม

อุปกรณ์และวิธีการวิจัย

แนวความคิดในการออกแบบและสร้างเครื่องจักร

จากการศึกษาและการวิจัยรูปแบบเครื่องอบชนิดต่าง ๆ ตามท้องตลาด ซึ่งประสบปัญหาการสะท้อนของลมร้อนดังนั้นในงานนี้จึงมีการศึกษาและออกแบบตูอบแห้งทรงกระบอกแบบลาดหมุนที่ออกแบบให้มีทางเข้าของอากาศร้อนไหลเวียนในตูอบตามแนวเส้นสัมผัสวงกลม ซึ่งจะช่วยให้การไหลของอากาศนั้นมีความสม่ำเสมอ (Aktaş, et al., 2017) และจะเพิ่มช่องว่างตรงกลางของลาดใส่ผลิตภัณฑ์ เพื่อให้เกิดการถ่ายเทความร้อน และพาความร้อนของผลิตภัณฑ์ออกไปทั้งสู่บรรยากาศได้มีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น โดยมีแบบร่างเครื่องต้นแบบดังแสดงใน Figure 1

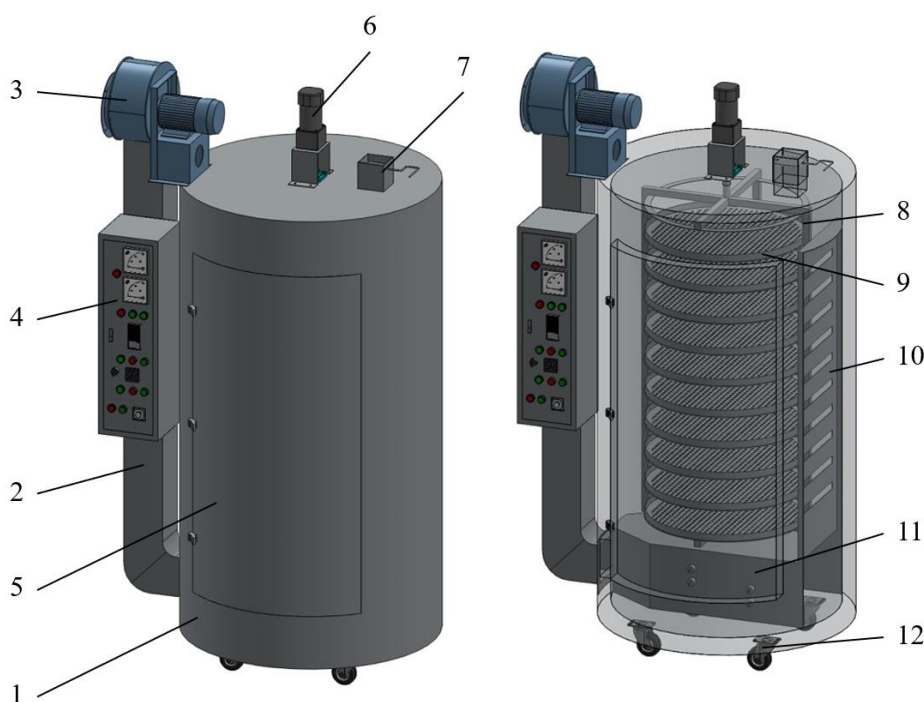


Figure 1 Rotating tray air-circulating drying.

1 = Cylindrical drying chamber, 2 = Air inlet pipe, 3 = Air intake fan, 4 = Control panel, 5 = Drying chamber door,

6 = Tray rack rotation motor, 7 = Air outlet pipe, 8 = Tray rack, 9 = Storage tray, 10 = Hot air outlet inside the drying chamber, 11 = Heater, 12 = Wheels.

หลักการทำงานของเครื่องดัง Figure 1 คือ เมื่อทำการเตรียมวัตถุดิบที่ใช้ในการอบ จะทำการจัดเรียงวัตถุดิบลงในถาดบรรจุ (หมายเลข 9) ทำการเปิดประตูถังอบ (หมายเลข 5) ที่ติดตั้งอยู่ด้านหน้าของถังอบทรงกระบอก (หมายเลข 1) ที่มีล้อ (หมายเลข 12) ช่วยในการเคลื่อนย้าย ทำการบรรจุถาดบรรจุ (หมายเลข 9) ลงในชั้นวางถาด (หมายเลข 8) เมื่อทำการบรรจุถาดเสร็จสิ้น ทำการปิดประตูถังอบ (หมายเลข 5) ทำการปรับตั้งอุณหภูมิ ความเร็วลม และความเร็วถาดหมุนที่ตู้ควบคุม (หมายเลข 4) เมื่อทำการสั่งเปิดการทำงานของเครื่อง ฮีตเตอร์ (หมายเลข 11) จะทำการดึงกระแสไฟเพื่อสร้างความร้อน พัดลมดูดอากาศเข้า (หมายเลข 3) จะทำการดึงอากาศจากสภาพแวดล้อม ผ่านท่ออากาศเข้า (หมายเลข 2) ผ่านการแลกเปลี่ยนความร้อนกับฮีตเตอร์ (หมายเลข 11) ก่อนจะเข้าไปยังห้องการอบผ่านช่องทางออกอากาศร้อนในถังอบ (หมายเลข 10) โดยจะกระทบกับถาดบรรจุ (หมายเลข 9) เพื่อเกิดการไล่ความชื้น โดยมีมอเตอร์หมุนชั้นวางถาด (หมายเลข 6) จะทำการหมุนชั้นวางถาด (หมายเลข 8) เพื่อให้เกิดการไล่ความชื้นได้อย่างทั่วถึง

การทดสอบปัจจัยที่เหมาะสมของเครื่อง

ทำการศึกษาปัจจัยที่เหมาะสมในการอบตู้อบแห้งทรงกระบอกแบบถาดหมุน ได้แก่ อุณหภูมิการอบ (A) 3 ระดับ ได้แก่ 70, 80, และ 90°C และ ระยะเวลาในการอบ (B) 4 ระดับ ได้แก่ 5, 10, 15, และ 20 นาที มีค่าชี้ผลในการศึกษาได้แก่ 1) ความชื้นหลังการอบ 2) พลังงานที่ใช้ในการอบ โดยมีปัจจัยควบคุมได้แก่

ปริมาณการอบ 120 กรัมต่อถาด จำนวน 9 ถาดต่อครั้งการอบ (ประสิทธิภาพสูงสุด) โดยมีการคำนึงถึงความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศภายนอก และอุณหภูมิของสภาพแวดล้อม ซึ่งมีบทบาทสำคัญในกระบวนการอบแห้ง เพื่อให้การทดลองมีความแม่นยำมากยิ่งขึ้น จะมีการหลีกเลี่ยงการเปิดประตูหรือสัมผัสกับวัตถุดิบในระหว่างการทดลอง เพื่อป้องกันการสูญเสียความร้อนและการเปลี่ยนแปลงของความชื้นในเครื่องอบแห้ง หลังจากนั้นทำการสุ่มกล้วยทอดหลังการอบทุก ๆ 5 นาที ไปอบลดความชื้นที่ 105°C เป็นเวลา 24 ชั่วโมง เพื่อหาความชื้นสุดท้ายของตัวอย่าง ตามสมการที่ 1 (Chandramohan & Talukdar, 2014) พร้อมทั้งทำการทดสอบความมีนัยสำคัญด้วยการวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) เพื่อทดสอบว่าระดับอุณหภูมิและระยะเวลาในการอบมีผลกระทบอย่างมีนัยสำคัญต่อความชื้นอย่างไร พร้อมทั้งทำการทดสอบเปรียบเทียบคู่อื่น Least Significant Difference (LSD) เพื่อระบุค่าที่เหมาะสมที่สุดของอุณหภูมิและระยะเวลาในการอบ

$$M_{wb} = \frac{m_i - m_f}{m_i} \times 100 \%$$

เมื่อ M_{wb} คือ ความชื้นฐานเปียก (% w.b.), m_i คือ มวลของวัสดุเริ่มต้น (kg), m_f คือ มวลของวัสดุแห้ง (ผ่านการอบ) (kg)

ผลและวิจารณ์ผลการวิจัย

ผลการทดสอบปัจจัยที่เหมาะสมของเครื่อง

จากการทดสอบปัจจัยที่เหมาะสมของเครื่อง ซึ่งทำการ

ทดสอบปัจจัยในด้านของอุณหภูมิการอบ 3 ระดับ ได้แก่ 70, 80, และ 90°C และ ระยะเวลาในการอบ 4 ระดับ ได้แก่ 5, 10, 15, และ 20 นาที โดยมีการจัดวางวัตถุดิบดังแสดงใน Figure 2 ได้ผลการทดสอบปัจจัยที่เหมาะสม ดังแสดงใน Figure 3 และ Table 1



Figure 2 Arrangement of raw material.

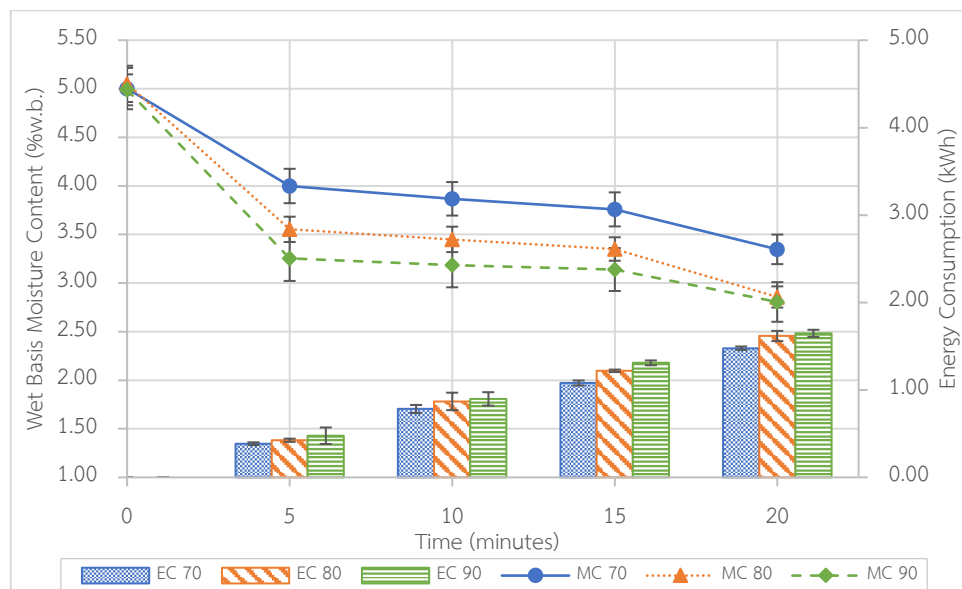


Figure 3 Relationship between moisture content, specific energy, and drying time at different drying temperatures, when MC is moisture content, and EC is Energy consumption.

Table 1 Moisture and energy data used in Drying fried bananas

Temperature (°C)	Time (minutes)	Wet Basis Moisture Content (%)	Energy Consumption (kWh)
70	0	5.00±0.21 ^A	-
	5	4.00±0.18 ^B	0.38±0.02
	10	3.87±0.17 ^{BC}	0.78±0.05
	15	3.76±0.18 ^C	1.08±0.03
	20	3.35±0.15 ^{EF}	1.48±0.02
80	0	5.05±0.19 ^A	-
	5	3.55±0.13 ^D	0.42±0.02
	10	3.45±0.13 ^{DE}	0.87±0.10
	15	3.35±0.12 ^{EF}	1.22±0.01
	20	2.86±0.11 ^H	1.62±0.06
90	0	4.99±0.16 ^A	-
	5	3.25±0.23 ^{FG}	0.48±0.09
	10	3.18±0.23 ^G	0.90±0.08
	15	3.14±0.22 ^G	1.31±0.03
	20	2.81±0.20 ^H	1.65±0.04

The ANOVA results indicate significant effects of both temperature ($F = 120.41$, $P < 0.001$) and time ($F = 604.19$, $P < 0.001$) on moisture content, along with a significant interaction between temperature and time ($F = 8.50$, $P < 0.001$). This suggests that both factors and their interaction are crucial in influencing moisture levels after drying. The Coefficient of Variation (CV) of 4.36 % reflects high reliability in the experimental data, with a Grand Mean moisture content of 3.7073 %. Alpha 0.05, Standard Error for Comparison 0.0762, Critical T Value 1.981, Critical Value for Comparison 0.1511. There are 8 groups (A, B, etc.) in which the means are not significantly different from one another.

จากกราฟ Figure 3 ที่แสดงการเปลี่ยนแปลงของความชื้นตามฐานเปียก (Wet Basis Moisture Content) และการใช้พลังงานในกระบวนการอบกล้วยทอดที่อุณหภูมิต่าง ๆ (70, 80, และ 90°C) เทียบกับเวลาที่แตกต่างกัน พบว่าความชื้นของกล้วยลดลงอย่างชัดเจนเมื่อเวลาผ่านไป โดยเฉพาะในช่วงเวลาเริ่มต้น การลดความชื้นมีแนวโน้มเร็วที่สุดในอุณหภูมิ 90°C กราฟแสดงให้เห็นว่าที่อุณหภูมิสูงกว่า (80 และ 90°C) ความชื้นลดลงเร็วกว่าอุณหภูมิ 70°C อย่างมีนัยสำคัญ นอกจากนี้ การใช้พลังงานยังเพิ่มขึ้นตามเวลา โดยในอุณหภูมิสูงกว่าจะต้องใช้พลังงานมากกว่าเช่นเดียวกัน และจาก Table 1 ซึ่งแสดงข้อมูลความชื้นและพลังงานที่ใช้ในการอบกล้วยทอด พบว่าอุณหภูมิและเวลาที่มีผลอย่างชัดเจนต่อความชื้นของกล้วยและการใช้พลังงาน การอบที่อุณหภูมิ 70°C มีแนวโน้มลดความชื้นจาก 5 % ที่เวลาศูนย์นาที่ เป็น 3.35 % ที่เวลา 20 นาที พร้อมกับการเพิ่มขึ้นของการใช้พลังงานจาก 0.38 kWh ที่เวลา 5 นาที เป็น 1.48 kWh ที่เวลา 20 นาที การเปลี่ยนแปลงนี้แสดงให้เห็นถึงความสัมพันธ์ระหว่างเวลาการอบและพลังงานที่ใช้ โดยเฉพาะเมื่อเวลาการอบนานขึ้น การใช้พลังงานก็เพิ่มขึ้นตามไปด้วย ในกรณีของการอบที่อุณหภูมิ 80°C ความชื้นเริ่มต้นอยู่ที่ 5.05 % และลดลงอย่างมีนัยสำคัญถึง 2.86 % ภายใน 20 นาที การใช้พลังงานเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องจาก 0.42 kWh ที่เวลา 5 นาทีไปจนถึง 1.62 kWh ที่เวลา 20 นาที ซึ่งแสดงให้เห็นว่าอุณหภูมิสูงขึ้นส่งผลให้การลดความชื้นเร็วขึ้น แต่ใช้พลังงานมากขึ้น เมื่อทำการอบที่อุณหภูมิสูงสุดที่ 90°C พบว่าความชื้นเริ่มต้นที่ 4.99 % ลดลงเป็น 2.81 % ที่เวลา 20 นาที ซึ่งใกล้เคียงกับการอบที่อุณหภูมิ 80°C อย่างไรก็ตาม การใช้พลังงานที่อุณหภูมิ 90°C

มีความแตกต่างกันเล็กน้อย โดยที่เวลา 20 นาที การใช้พลังงานอยู่ที่ 1.65 kWh ซึ่งสูงกว่าการอบที่อุณหภูมิ 80°C เล็กน้อย จากการทดลองนี้ชี้ให้เห็นถึงความสำคัญของการเลือกอุณหภูมิและเวลาที่เหมาะสมในการอบกล้วยทอดเพื่อลดความชื้นอย่างมีประสิทธิภาพโดยใช้พลังงานให้น้อยที่สุด สำหรับการอบที่อุณหภูมิสูงจะทำให้ความชื้นลดลงเร็ว แต่ต้องใช้พลังงานมากขึ้น ดังนั้นจึงต้องมีการพิจารณาปัจจัยเหล่านี้เพื่อหาสมดุลระหว่างความประหยัดพลังงานและคุณภาพของผลิตภัณฑ์ ซึ่งมีลักษณะของผลิตภัณฑ์หลังผ่านกระบวนการอบ ดังแสดงใน Figure 4

จากการพิจารณาองค์ประกอบภายนอก หรือค่าสีของกล้วยหลังอบโดยกลุ่มกิจการบ้านสวนฉิมพลี เลขที่ 222 หมู่ที่ 2 ตำบลหนองจบก อำเภอเมือง จังหวัดนครราชสีมาเป็นผู้พิจารณา จึงสามารถสรุปปัจจัยที่เหมาะสมสำหรับกลุ่มประกอบการ คือตัวอย่างที่ผ่านการอบที่ 80°C เป็นระยะเวลา 20 นาที เนื่องจากให้ลักษณะของสีตามที่กลุ่มต้องการ เนื่องจากลักษณะของสีมีสีเหลืองที่เข้มขึ้นอย่างชัดเจน โดยสีเริ่มเปลี่ยนไปในโทนส้มอ่อน แสดงให้เห็นว่าการอบที่อุณหภูมินี้ทำให้กล้วยสูญเสียความชื้นได้มากขึ้น ทำให้สีของกล้วยเปลี่ยนไปอย่างชัดเจน แต่สำหรับที่ 70°C ยังคงความคล้ายคลึงกับสีของกล้วยสด และ 80°C มีสีเหลืองเข้มจนเกือบจะเป็นสีส้ม ซึ่งแสดงถึงการสูญเสียน้ำมากที่สุดจากทั้งสามระดับอุณหภูมิ สีของกล้วยมีความเข้มและดูกระด้างกว่า โดยสามารถคำนวณเป็นกำลังการผลิตเท่ากับ 4.55 กิโลกรัมต่อชั่วโมง หรือคิดเป็น 36.38 กิโลกรัมต่อวัน และสามารถคำนวณต้นทุนการผลิตต่อหน่วยจากพลังงานไฟฟ้าที่ใช้อยู่ที่ 6.47 บาทต่อชั่วโมง หรือคิดเป็น 51.74 บาทต่อวัน เมื่อนำตัวอย่างที่ผ่านการอบที่ปัจจัยที่เหมาะสม จะมีลักษณะของผลิตภัณฑ์ที่ได้ ดังแสดงใน Figure 5

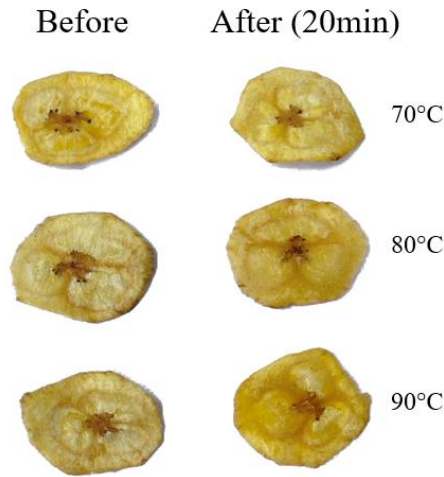


Figure 4 Color samples of bananas after drying for 20 minutes at different temperatures.



Figure 5 Banana drying products.

การเปรียบเทียบเครื่องต้นแบบ

เมื่อทำการเปรียบเทียบเครื่องต้นแบบกับงานวิจัยอื่น ที่มีการอบผลิตภัณฑ์กล้วยในรูปแบบต่าง ๆ การวิจัยในงานนี้ใช้วิธีการอบแห้งด้วยถาดหมุนและระบบหมุนเวียนอากาศที่อุณหภูมิ 80°C เป็นเวลา 20 นาที โดยความชื้นเริ่มต้นอยู่ที่ 5.05 % ฐานเปียก และลดลงเหลือ 2.85 % ฐานเปียก ในขณะที่งานวิจัยอื่น ๆ ใช้เทคนิคและเครื่องมือที่แตกต่างกัน เช่น การอบแห้งด้วยพลังงานแสงอาทิตย์ ที่ใช้เวลา 36 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิ 55°C (Keawsuntia, 2021) หรือการใช้วิธีการอบแห้งด้วยสุญญากาศที่อุณหภูมิ 170°C เป็นเวลา 60-80 นาที

ซึ่งสามารถลดความชื้นจาก 68 % ลงเหลือ 15 % (Inprasit et al., 2021) อีกทั้งยังมีการใช้เครื่องอบแห้งด้วยพลังงานแสงอาทิตย์แบบอ้อมที่อุณหภูมิ 80°C ใช้เวลา 16 ชั่วโมง โดยมีอัตราส่วนความชื้นสุดท้ายที่ 0.20 (Mawire et al., 2024) และการใช้เครื่องอบแห้งด้วยอากาศร้อนที่พัฒนาให้ใช้พลังงานความร้อนจากกระบวนการผลิตถ่านที่อุณหภูมิ 70°C ใช้เวลา 17.75 ชั่วโมง โดยมีความชื้นสุดท้ายที่ 34.21 % (Chunkaew et al., 2018) การเปรียบเทียบนี้แสดงให้เห็นถึงความแตกต่างของวิธีการอบและผลลัพธ์ด้านความชื้นในกล้วยอบแห้ง ดังแสดงใน Table 2

Table 2 Comparison of research

Research	Tools	Test Results	References
Study and development of a rotating tray air-circulating drying cylindrical chamber for application in the agricultural product drying process	Rotating Tray Air-Circulating Drying	80°C 20 mins The initial moisture content is 5.05 % (w.b.) and reduced to 2.85 % (w.b.).	This study
Design and Testing of a Passive Solar Dryer for Banana Drying	Solar Dryer	55°C 36 hrs The initial moisture content is 80 % (w.b.) and reduced to 10 % (w.b.).	Keawsuntia (2021)

Table 2 Comparison of research (Continue)

Research	Tools	Test Results	References
Study of Drying Raw Banana by Vacuum Cooperate with Superheated Steam Technique	Vacuum Cooperate with Superheated Steam	• 170°C • 60-80 mins (vacuum drying) • The initial moisture content is 68 % (w.b.) and reduced to 15 % (w.b.).	Inprasit et al. (2021)
An experimental evaluation of drying banana slices using a novel indirect solar dryer under variable conditions	Indirect solar dryer	• 80°C • 16 hrs • The final moisture ratios are 0.20	Mawire et al. (2024)
Bananas Drying Performance with a Developed Hot Air Dryer Using Waste Heat from Charcoal Production Process	Hot Air Dryer	• 70°C • 17.75 hrs • The final moisture content is 34.21 % (w.b.)	Chunkaew et al. (2018)
Air-drying of banana: Influence of experimental parameters, slab thickness, banana maturity and harvesting season	Air-drying of banana	Drying times to reach 70 % mass loss for drying 1 cm banana slabs: • 30°C: 100 hrs • 40°C: 42 hrs • 50°C: 31 hrs • 60°C: 22 hrs • 70°C: 11 hrs	Nguyen & Price (2007)

จาก Table 2 ตารางเปรียบเทียบการวิจัยที่ใช้วิธีการอบแห้งด้วยเครื่องอบประเภทต่าง ๆ แสดงให้เห็นถึงความหลากหลายของเทคโนโลยีที่ใช้ในการลดความชื้นในผลิตภัณฑ์ เช่น การใช้ตู้อบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ การอบแห้งด้วยไอน้ำร้อน การอบแห้งแบบทางอ้อม และการอบแห้งด้วยลมร้อน ในแต่ละวิธีมีข้อดีและข้อจำกัดที่แตกต่างกันไป เช่น การใช้ตู้อบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ที่ใช้พลังงานต่ำแต่ใช้เวลานานกว่าและมีความเสถียรของอุณหภูมิที่ไม่คงที่

วิธีการอบแห้งด้วยตู้อบแห้งทรงกระบอกแบบลาดหมุนที่ผู้วิจัยเลือกใช้นั้นได้รับการพัฒนาขึ้นเพื่อตอบโจทย์ข้อจำกัดของเทคโนโลยีแบบเดิม โดยมีจุดเด่นคือการกระจายความร้อนที่สม่ำเสมอและการไหลเวียนของอากาศที่มีประสิทธิภาพ ด้วยการออกแบบให้ลาดหมุนอยู่ภายในตู้อบ ช่วยให้ผลิตภัณฑ์ได้รับความร้อนจากทุกทิศทาง ทำให้อลดความชื้นได้รวดเร็วและประหยัดพลังงานมากขึ้น นอกจากนี้ยังสามารถปรับอุณหภูมิและเวลาการอบได้อย่างแม่นยำเพื่อให้ได้ความชื้นและสีของผลิตภัณฑ์ตามที่ต้องการ โดยประสิทธิภาพของตู้อบแห้งทรงกระบอกแบบลาดหมุนในการลดความชื้น สามารถทำได้อย่างรวดเร็วและสม่ำเสมอ ซึ่งเหมาะสมกับการผลิตในระดับอุตสาหกรรม และสามารถนำไปประยุกต์ใช้ในการแปรรูปผลิตภัณฑ์ทางการเกษตรอื่น ๆ

สรุปผลการวิจัย

จากการทดลองพัฒนาตู้อบแห้งทรงกระบอกแบบลาดหมุนโดยใช้อากาศร้อนเพื่อใช้ในการกระบวนการแปรรูปผลผลิตทางการเกษตรประเภทอบแห้ง พบว่า ปัจจัยที่เหมาะสมที่สุดในการอบคืออุณหภูมิที่

80°C เป็นเวลา 20 นาที ซึ่งสามารถลดความชื้นของกล้วยทอดจาก 5.05 % ลงเหลือ 2.85 % โดยใช้พลังงาน 1.62 kWh หรือคิดเป็นค่าพลังงานไฟฟ้า 0.07 บาทต่อกรัมวัตถุดิบ ในระยะเวลา 20 นาที กำลังการผลิตเท่ากับ 4.55 กิโลกรัมต่อชั่วโมง หรือคิดเป็น 36.38 กิโลกรัมต่อวัน และสามารถคำนวณต้นทุนการผลิตต่อหน่วยจากพลังงานไฟฟ้าที่ใช้อยู่ที่ 6.47 บาทต่อชั่วโมง หรือคิดเป็น 51.74 บาทต่อวัน ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่า การใช้ตู้อบแห้งทรงกระบอกแบบลาดหมุนสามารถเพิ่มประสิทธิภาพการอบแห้งได้เมื่อเปรียบเทียบกับตู้อบลมร้อนทรงสี่เหลี่ยมทั่วไป ทั้งนี้ การเลือกอุณหภูมิและเวลาที่เหมาะสมเป็นปัจจัยสำคัญที่ส่งผลต่อการลดความชื้นและการใช้พลังงานในกระบวนการอบแห้ง การอบแห้งที่อุณหภูมิสูงช่วยให้การลดความชื้นเป็นไปได้เร็วขึ้น แต่ก็ต้องใช้พลังงานมากขึ้นตามไปด้วย ซึ่งควรพิจารณาเพื่อหาสมดุลระหว่างคุณภาพของผลิตภัณฑ์และการใช้พลังงานให้เกิดประโยชน์สูงสุด

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณ มหาวิทยาลัยวงษ์ชวลิตกุล กิจการบ้านสวนฉิมพลี ผู้สนับสนุนทุนวิจัยในครั้งนี้ รวมทั้ง ศูนย์วิจัยเครื่องจักรกลเกษตรและวิทยาการหลังการเก็บเกี่ยว มหาวิทยาลัยขอนแก่น ที่เอื้อเฟื้อสถานที่และบุคลากร เพื่อให้งานวิจัยนี้เสร็จเรียบร้อยสมบูรณ์

References

Aktaş, M., Khanlari, A., Aktekel, B., & Amini, A. (2017). Analysis of a new drying chamber for heat pump mint leaves dryer.

- International Journal of Hydrogen Energy*, 42(28), 18034–18044. doi: 10.1016/j.ijhydene.2017.03.007
- Chandramohan, V. P., & Talukdar, P. (2014). *Estimation of equilibrium moisture content and drying time of potato through hot air drying*. August 30, 2024. Retrieved from file:///C:/Users/ACER24/Downloads/chp-10.10072F978-81-322-2743-4_21.pdf
- Chunkaew, P., Tavata, A., Khadwilard, A., & Sriudom, Y. (2018). Bananas drying performance with a developed hot air dryer using waste heat from charcoal production process. *RMUTP Research Journal*, 12(1), 147–158. doi: 10.14456/jrmutp.2018.13
- Database for Promoting and Upgrading the Quality of OTOP Products. (2024). *Banana processing*. Accessed August 12, 2024. Retrieved from <http://otop.dss.go.th/index.php/en/knowledge/informationpack/139-2017-07-04-04-00-08?showall=1&limitstart=> (in Thai)
- Dev, S. R. S., & Raghavan, V. G. S. (2012). Advancements in drying techniques for food, fiber, and fuel. *An International Journal*, 30(Spec. 11–12), 1147–1159. doi: 10.1080/07373937.2012.692747
- Horticultural Research Institute. (2024). *Banana*. Accessed August 13, 2024. Retrieved from https://www.doa.go.th/hort/?page_id=52843 (in Thai)
- Inprasit, C., Fungthongcharoen, T., & Apinaonivej, P. (2021). Study of drying raw banana by vacuum cooperate with superheated steam technique. *Journal of Science and Technology*, 10(3), 25–34. (in Thai)
- Kamphaeng Phet Provincial Agriculture and Cooperatives Office. (2023). *Banana variety “Sukhothai 1” high yield, excellent nutritional value*. Accessed August 13, 2024. Retrieved from https://www.opsmoac.go.th/kamphaengphet-local_wisdom-preview-451491791824 (in Thai)
- Keawsuntia, Y. (2021). Design and testing of a passive solar dryer for banana drying. *Journal of Vongchavalitkul University*, 34(1), 60–74. (in Thai)
- Maneefruit. (2019). *Dried bananas*. Accessed August 13, 2024. Retrieved from <http://www.maneefruit.com/article/18/> (in Thai)
- Mawire, A., Ramokali, M., Mothupi, M., & Vanierschot, M. (2024). An experimental evaluation of drying banana slices using a novel indirect solar dryer under variable conditions. *Heliyon*, 10(7), e28268. doi: 10.1016/j.heliyon.2024.e28268
- Ministry of Commerce. (2024). *Gros Michel banana*. Accessed August 13, 2024. Retrieved from <https://regional.moc.go.th/th/file/get/file/202404296bc608228650237357e6e42b033fc6b1094417.pdf> (in Thai)
- Nguyen, M. H., & Price, W. E. (2007). Air-drying of banana: influence of experimental parameters, slab thickness, banana maturity and harvesting season. *Journal of Food Engineering*, 79(1), 200–207. doi: 10.1016/j.jfoodeng.2006.01.063
- Pornchaloempong, P., & Rattanapanon, N. (2024). *Dehydration*. Accessed August 19, 2024. Retrieved from <https://www.foodnetworksolution.com/wiki/word/0277/dehydration-%E0%B8%81%E0%B8%B2%E0%B8%A3%E0%B8%97%E0%B8%B3%E0%B9%81%E0%B8%AB%E0%B9%89%E0%B8%87> (in Thai)
- Potter, N. N., & Hotchkiss, J. H. (1998). *Food Science* (5th ed.). Maryland, United States: Aspen Publishers, Inc.
- Thai Encyclopedia for Youth. (2022). *Banana processing*. Accessed August 13, 2024. Retrieved from https://saranukromthai.or.th/ebooks/?page_id=224 (in Thai)

Research article

Study and development of a rotating tray air-circulating drying cylindrical chamber for application in the agricultural product drying process

Rakpong Khanthawithi¹ Swas Oajsalee² Kantapong Khaeso³ and Piyapong Singbua^{1*}

¹Department of Mechanical Engineering Faculty of Engineering and Architecture, Vongchavalitkul University, Nakhon Ratchasima Province 30000, Thailand

²Department of Management and Logistics Engineering Faculty of Engineering and Architecture, Vongchavalitkul University, Nakhon Ratchasima Province 30000, Thailand

³Agricultural Machinery and Postharvest Technology Center, Khon Kaen University, Khon Kaen Province 40002, Thailand

ARTICLE INFO**Article history**

Received: 26 September 2024

Revised: 30 October 2024

Accepted: 11 November 2024

Online published: 25 November 2024

Keyword

Banana

Dehydrated

Processed products

ABSTRACT

This research aimed to study and develop a cylindrical rotating tray dryer using hot air for drying agricultural products. The experiment was conducted on fried and oil-drained bananas to determine the optimal drying factors, which included three temperature levels (70, 80, and 90°C) and four drying times (5, 10, 15, and 20 minutes). The results showed that temperature and time significantly affected moisture reduction and energy consumption. At a temperature of 80°C for 20 minutes, the moisture content of fried bananas was reduced from 5.05 % to 2.85 %, achieving the desired color of the product with an energy consumption of 1.62 kWh. The study also found that higher temperatures resulted in faster moisture reduction but increased energy usage. Compared to conventional rectangular hot-air dryers, the developed cylindrical rotating tray dryer provided more uniform hot air flow and enhanced moisture removal efficiency from the product. This study suggests that the cylindrical rotating tray dryer is a promising option for improving the drying efficiency of agricultural products and reducing energy costs in the drying process, with the potential for further adaptation for commercial production.

*Corresponding author

E-mail address: piyapong_sin@vu.ac.th (P. Singbua)

Online print: 25 November 2024 Copyright © 2024. This is an open access article, production, and hosting by Faculty of Agricultural Technology, Rajabhat Maha Sarakham University. <https://doi.org/10.14456/paj.2024.49>



บทความวิจัย

ผลของความเร็วยกที่มีต่อการหลอมเศษยางพาราในการผลิตเชื้อเพลิงชีวภาพด้วยกระบวนการไพโรไลซิสแบบเร็ว

อภิวิชญ์ หาญพิชญชัย¹ บรรยวัธ สุธนา¹ กันตพงษ์ แซ่โล¹ ชัยยันต์ จันทศิริ¹ โชคชัย ชูอัย² กฤษฏาณ์ แสนางษ์³ สมพร เกษแก้ว⁴ และ กิตติพงษ์ ลาอุ่น^{1*}

¹สาขาวิชาวิศวกรรมเกษตร คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น อำเภอเมือง จังหวัดขอนแก่น ประเทศไทย 40002

²สาขาวิชาเกษตรนวัตกรรม คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น อำเภอเมือง จังหวัดขอนแก่น ประเทศไทย 40002

³สถาบันการสอนวิทยาศาสตร์ทั่วไป สำนักงานอธิการบดี มหาวิทยาลัยขอนแก่น อำเภอเมือง จังหวัดขอนแก่น ประเทศไทย 40002

⁴สาขาวิชาชีวเคมี คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น อำเภอเมือง จังหวัดขอนแก่น ประเทศไทย 40002

ข้อมูลบทความ	บทคัดย่อ
Article history	งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาและพัฒนากระบวนการไพโรไลซิสเศษยางพาราเหลือทิ้งเป็นน้ำมันเชื้อเพลิงชีวภาพด้วยการออกแบบกระบวนการหลอมเป็นของเหลว เพื่อให้เกิดความต่อเนื่องในกระบวนการผลิต โดยทำการออกแบบและสร้างเครื่องหลอมเศษยางพาราต้นแบบ พร้อมทดสอบปัจจัยที่เหมาะสมได้แก่ ความเร็วยกในกวนที่ 0, 22, และ 44 rpm มีปัจจัยควบคุมคือ อุณหภูมิการหลอมที่ 300°C มีค่าชี้ผลการทดสอบคือ อัตราการหลอมและพลังงานจำเพาะที่ใช้ในการหลอม ผลทดสอบพบว่า ความเร็วยกในกวนที่ 44 rpm ให้ประสิทธิภาพในการหลอมดีที่สุด โดยมีอัตราการหลอมอยู่ที่ 1.598 ± 0.045 kg/hr และพลังงานจำเพาะที่ใช้ในการหลอมเท่ากับ 1269.914 ± 17.510 Wh/kg คิดเป็นค่าใช้จ่ายในการหลอม 5.59 ± 0.09 baht/kg โดยใช้เวลาในการหลอมเศษยางพาราเป็นของเหลวทั้งหมด 104 ± 5 min การศึกษาครั้งนี้พบว่า การหลอมเศษยางพาราเป็นของเหลวสามารถลดระยะเวลาในการเกิดปฏิกิริยาและเวลาที่ต้องใช้ในการให้ความร้อนของเตาปฏิกรณ์ไพโรไลซิส สามารถนำไปใช้ในการต่อยอดในกระบวนการผลิตเป็นน้ำมันเชื้อเพลิงชีวภาพด้วยกระบวนการไพโรไลซิสแบบต่อเนื่อง เพื่อเป็นการนำวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรมาเป็นเชื้อเพลิงชีวภาพทางเลือก
รับ: 30 สิงหาคม 2567	
แก้ไข: 28 ตุลาคม 2567	
ตอบรับการตีพิมพ์: 4 พฤศจิกายน 2567	
ตีพิมพ์ออนไลน์: 26 พฤศจิกายน 2567	
คำสำคัญ	ความเร็วยกในกวน การเตรียมวัตถุดิบ เศษยางพารา เปลี่ยนของเหลือทิ้งเป็นพลังงาน
ความเร็วยกในกวน	
การเตรียมวัตถุดิบ	
เศษยางพารา	
เปลี่ยนของเหลือทิ้งเป็นพลังงาน	

บทนำ

พลังงานเชื้อเพลิงมีความจำเป็นและเป็นที่ต้องการเพิ่มมากขึ้น เนื่องจากการขยายตัวของอุตสาหกรรมและการเพิ่มขึ้นของประชากรโลก ความต้องการพลังงานทั่วโลกคาดว่าจะเพิ่มขึ้น 57 % ในปี 2050 (Hajjari et al., 2017) ประเทศไทยเป็นหนึ่งในประเทศที่มีการพัฒนาเศรษฐกิจอย่างรวดเร็วในภูมิภาคเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ ซึ่งการเติบโตทางเศรษฐกิจนี้มีความเชื่อมโยงอย่างใกล้ชิดกับการใช้พลังงาน โดยเฉพาะพลังงานเชื้อเพลิงจากฟอสซิล เช่น น้ำมัน ถ่านหิน และก๊าซธรรมชาติ จากแนวโน้มความต้องการใช้พลังงานเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องทำให้หลายปีที่ผ่านมามีการใช้พลังงานทดแทนเพิ่มมากขึ้น โดยได้นำของเสียต่าง ๆ มาเป็นแหล่งพลังงาน เช่น ขยะ พลาสติก ยางรถยนต์ และ วัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร (Arpa et al., 2010; Çay et al., 2012; Patel et al., 2017)

ยาง (cis-1,4-polyisoprene) เป็นพอลิเมอร์ที่สำคัญที่สุดชนิดหนึ่งที่ผลิตโดยพืชตามธรรมชาติ เนื่องจากเป็นวัตถุดิบเชิงกลยุทธ์ที่ใช้ในผลิตภัณฑ์อย่างแพร่หลายในโลก เช่น อุตสาหกรรมการผลิตยางรถยนต์ สายพานยาง ยางรถ ถูมือ รองเท้า และอื่น ๆ (Ahmad et al., 2016) ปริมาณการใช้ยางธรรมชาติทั่วโลกมากกว่า 12.4 ล้านตันต่อปี ส่งผลให้มียางเหลือทิ้งจำนวนมาก (Ahmad et al., 2018; Tamri et al., 2018) เศษยางในรูปแบบของยางรถยนต์ถูมือหรืออื่น ๆ เป็นวัสดุที่มีปัญหาในการกำจัดเนื่องจากมีความทนทานต่อการย่อยสลายทางชีวภาพสูง อย่างไรก็ตามผลิตภัณฑ์ยางเสียส่วนใหญ่โดยเฉพาะอย่างยิ่งยางรถยนต์ใช้แล้ว (Kan et al., 2017) ถูกกำจัดอย่างเรียบง่ายเช่นการเผา การฝังกลบและการย่อยสลายทางชีวภาพ (Hijazi et al., 2018) การหาวิธีกำจัดเศษยางธรรมชาติอย่างมีประสิทธิภาพถือเป็นประเด็น

*Corresponding author

E-mail address: Kittila@kku.ac.th (K. Laloon)

Online print: 26 November 2024 Copyright © 2024. This is an open access article, production, and hosting by Faculty of Agricultural Technology, Rajabhat Maha Sarakham University. <https://doi.org/10.14456/paj.2024.50>

สำคัญในระดับนานาชาติ เนื่องจากปัจจุบันปัญหาการจัดการเศษยางพาราที่ไม่ถูกต้องเกิดขึ้นจากการทิ้งหรือจัดการเศษยางโดยไม่คำนึงถึงผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมและสังคม ซึ่งมีผลเสียทั้งในด้านสุขภาพ สิ่งแวดล้อม และเศรษฐกิจ สำหรับประเทศไทยในช่วงปี 2555-2563 มีพื้นที่ปลูกยางพาราประมาณ 20 ล้านไร่ และมีผลผลิตยางธรรมชาติประมาณ 4.5 ล้านตันต่อปี โดยปริมาณการส่งออกยางธรรมชาติของไทยเฉลี่ยอยู่ที่ประมาณ 3.70 ล้านตันต่อปี กระบวนการผลิตยางธรรมชาติมักก่อให้เกิดเศษยางในขั้นตอนต่าง ๆ เช่น เศษยางจากรอยกรีด ยางกันถ้วย ยางที่ตกลงบนพื้นดิน ภาชนะบรรจุ บ่อบำบัดน้ำเสีย รวมถึงยางที่เหลือจากการแปรรูปเป็นยางแผ่นดิบ ยางฟอง ยางแผ่นรมควัน น้ำยางข้น ยางแท่ง หรือยางก้อนถ้วย คุณภาพต่ำที่มีสิ่งเจือปน เช่น เปลือกไม้หรือเศษดิน ปริมาณเศษยางที่เกิดขึ้นในแต่ละปีประเมินจากผลผลิตยางทั้งหมดคิดเป็น 2 % หรือประมาณ 90,000 ตันต่อปี และหากประเมินเฉพาะจากกระบวนการผลิตยางแผ่นดิบ จะพบว่ามีปริมาณยางเสียประมาณ 18,000 ตันต่อปี โดยปกติเศษยางเหล่านี้มักถูกนำไปใช้เป็นวัตถุดิบในการผลิตยางเครพหรือยางแท่งคุณภาพต่ำ ซึ่งมักเกิดปัญหาความไม่คุ้มค่าในการลงทุน โดยเฉพาะในช่วงที่ราคายางตกต่ำ ดังนั้นแนวทางการจัดการอย่างยั่งยืน ควรมีการรีไซเคิลหรือแปรรูปมาใช้ประโยชน์อื่น ๆ ซึ่งการนำเศษยางพาราเหล่านี้ไปผลิตน้ำมันเชื้อเพลิงชีวภาพจึงเป็นอีกทางเลือกหนึ่งที่สามารถเพิ่มมูลค่าให้กับเศษยางพาราได้

เทคนิคการไพโรไลซิส มีรายงานการศึกษาถึงประสิทธิภาพในการเปลี่ยนชีวมวลและวัสดุเหลือใช้เป็นผลิตภัณฑ์เชื้อเพลิงที่มีศักยภาพ (Lopez et al., 2015; Ganesapillai et al., 2016; Lam et al., 2016) กระบวนการไพโรไลซิสเป็นกระบวนการย่อยสลายวัสดุชีวมวลหรือวัสดุเหลือใช้โดยใช้ความร้อนภายใต้สภาวะบรรยากาศที่จำกัดปริมาณหรือปราศจากออกซิเจนเพื่อผลิตไบโอออยล์ (Bio oil) แก๊ส (gas) และถ่านชาร์ (Char) ซึ่งกระบวนการแบบแบดซ์เป็นระบบปิด สารตั้งต้นและผลิตภัณฑ์จะยังคงอยู่ในเครื่องปฏิกรณ์เป็นระยะเวลาหนึ่งในขณะที่ปฏิกิริยาเกิดขึ้น กระบวนการนี้มีข้อดีหลายประการ เช่น ความเรียบง่ายที่มากขึ้น เนื่องจากไม่ต้องใช้ปั๊มหรือคอมเพรสเซอร์แรงดันสูง และสามารถรองรับวัตถุดิบชีวมวลทุกประเภท นอกจากนี้ การไม่มีตัวกลางของไหลในกระบวนการไพโรไลซิสแบบแบดซ์ช่วยลดความซับซ้อนของการแยกถ่านและผลพลอยได้ อย่างไรก็ตาม กระบวนการแบบแบดซ์ยังมีข้อเสีย เช่น เวลาในการเกิดปฏิกิริยาและเวลาที่ต้องใช้ในการให้ความร้อนและความเย็นที่นานขึ้น ต้นทุนแรงงานที่สูง และความท้าทายในการขยาย

ขนาดสำหรับการผลิตขนาดใหญ่ (Isahak et al., 2012)

หากมีการแปรรูปวัตถุดิบให้เป็นของเหลวจะสามารถช่วยลดระยะเวลาในการให้ความร้อนและเพิ่มกำลังการผลิตเชื้อเพลิงจากกระบวนการไพโรไลซิสแบบแบดซ์ ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาความเร็วรอบของใบกวนในกระบวนการหลอมเศษยางพาราเหลือทิ้ง สำหรับเป็นวัตถุดิบในกระบวนการไพโรไลซิสเป็นน้ำมันเชื้อเพลิงชีวภาพ เพื่อแปรรูปเศษยางพาราจากของแข็งเป็นของเหลว โดยทำการออกแบบและสร้างเครื่องหลอมเศษยางพาราต้นแบบ พร้อมทดสอบปัจจัยที่เหมาะสมได้แก่ ความเร็วรอบใบกวน 3 ระดับ และมีปัจจัยคงที่คือ อุณหภูมิที่ใช้ในการหลอมที่ 300°C โดยมีการตั้งสมมุติฐานว่าการเพิ่มขึ้นของความเร็วรอบจะส่งผลต่ออัตราการหลอมเศษยางพาราและพลังงานจำเพาะ มีค่าชี้ผลการทดสอบคือ อัตราการหลอมและพลังงานจำเพาะที่ใช้ในการหลอม หากมีการแปรรูปยางพาราเป็นของเหลวเพื่อผลิตน้ำมันเชื้อเพลิงชีวภาพได้ ก็จะเป็นอีกทางเลือกในการเพิ่มมูลค่ายางพาราซึ่งเป็นพืชเศรษฐกิจและมีจำนวนมากในประเทศ นอกจากนี้ยังเป็นพลังงานทางเลือกที่มีโอกาสใช้ทดแทนหรือลดการใช้ น้ำมันเชื้อเพลิงของกลุ่มเกษตรกรชาวสวนยางได้

อุปกรณ์และวิธีการวิจัย

1. ออกแบบและสร้างเครื่องต้นแบบ

ออกแบบส่วนประกอบต่าง ๆ ของเครื่องต้นแบบสำหรับหลอมเศษยางพารา เพื่อหลอมเศษยางพาราเป็นของเหลวสำหรับลำเลียงเข้าเครื่องไพโรไลซิสเป็นน้ำมันเชื้อเพลิง โดยพิจารณาเกณฑ์ในการออกแบบจากข้อมูลการศึกษาคุณสมบัติและการทดสอบเบื้องต้นในระดับห้องปฏิบัติการ โดยมีเกณฑ์ในการออกแบบเครื่อง ดังนี้ เครื่องต้นแบบใช้ฮีทเตอร์ไฟฟ้า เพื่อให้สะดวกในการควบคุมอุณหภูมิ โดยจากการศึกษางานวิจัยการสลายตัวของยางพาราพบว่ายางพาราเริ่มแตกตัวที่อุณหภูมิ 326°C อัตราการสลายตัวสูงสุดที่ 380°C และเริ่มสิ้นสุดที่ 460 °C (Wei et al., 2019) ดังนั้นในการศึกษาครั้งนี้จึงควบคุมอุณหภูมิที่ใช้ในการหลอมไม่เกิน 326°C และเครื่องต้นแบบสำหรับหลอมเศษยางพาราสามารถติดตั้งกับเตาปฏิกรณ์ไพโรไลซิสได้ ซึ่งเครื่องต้นแบบสำหรับหลอมเศษยางพารา มีส่วนประกอบหลักได้แก่ หม้อหลอม ชุดให้ความร้อน ใบกวน เกรียวลำเลียง และชุดควบคุมและบันทึกข้อมูล โดยมีรายละเอียดการออกแบบของส่วนประกอบต่าง ๆ ดังต่อไปนี้ แสดงดัง Figure 1

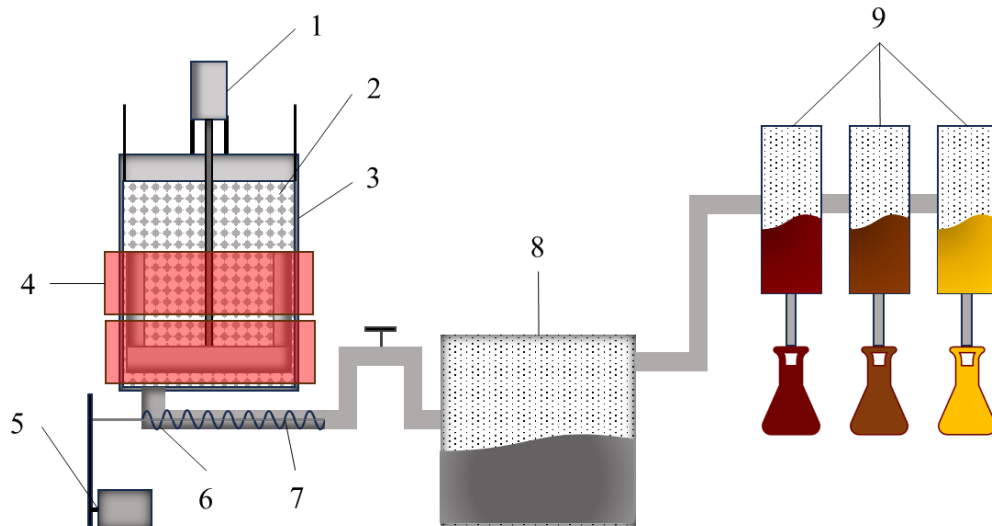


Figure 1 Components of a prototype machine for melting rubber scraps.

1= Impeller motor, 2= Steel grating, 3= Melting pot, 4= Electric heater, 5= Screw conveyor motor, 6= Conveyor pipe, 7= Screw conveyor, 8= Pyrolysis reactor and 9= Oil condensing unit.

หลักการทำงานของเครื่องต้นแบบสำหรับหลอมเศษยางพารา เมื่อทำการเตรียมวัตถุดิบเศษยางพาราที่ความชื้นประมาณ 18.10 % w.b. จะทำการนำวัตถุดิบส่วนหนึ่งมาใส่ในหม้อหลอม ทำการเปิดเครื่อง โดยมีการตั้งอุณหภูมิของฮีตเตอร์ที่ 250°C เพื่อทำการหลอมวัตถุดิบส่วนนี้ให้เป็นของเหลวที่เป็นตัวกลางในการถ่ายเทความร้อนให้แก่วัตถุดิบชุดทดสอบ ในการทดสอบจะทำการควบคุมอัตราการป้อนเศษยางพาราตามที่กำหนด โดยจะเติมผ่านช่องป้อนที่ฝาหม้อหลอม เครื่องต้นแบบสำหรับหลอมเศษยางพาราจะทำการหลอมวัตถุดิบจากความร้อนของฮีตเตอร์ไฟฟ้าผ่านน้ำยางเหลว โดยมีใบกวนที่ทำหน้าที่กระจายความร้อนให้ทั่วถึงกัน เมื่อถึงจุดที่เหมาะสม จะทำการลากล้างน้ำยางเหลวผ่านเกลียวลำเลียงเพื่อส่งไปยังเตาปฏิกรณ์เพื่อเข้าสู่กระบวนการไพโรไลซิสเป็นน้ำมันเชื้อเพลิงต่อไป

2. การทดสอบปัจจัยที่เหมาะสมของเครื่องต้นแบบ

ศึกษาการทำงานของเครื่องต้นแบบสำหรับหลอมเศษยางพารา โดยทำการศึกษาความเร็วรอบของใบกวน 3 ระดับ เพื่อหาอัตราการหลอมของเศษยางพาราและพลังงานจำเพาะที่ใช้ในการหลอม โดยทำการเปิดชุดให้ความร้อนเครื่องแปรรูปยางพาราให้ได้อุณหภูมิ 300°C เพื่อทำการหลอมเศษยางพารา เนื่องจากพิจารณาจากกราฟ Thermogravimetric Analysis (TGA) พบว่าเศษยางพาราเริ่มสลายตัวเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้นประมาณ 360°C (Figure 2) นำเศษยางพาราจากกระบวนการผลิตแผ่นดิบเข้าเครื่องแปรรูปยางพารา โดยป้อนเศษยางพาราให้ได้ปริมาณ 50 กรัม/นาที เมื่อครบเวลา 1 ชั่วโมง ทำการยกตะแกรงซึ่งน้ำหนักเศษยางพาราตกลงในหม้อหลอมเพื่อหาอัตราการหลอม ทำการหลอมต่อจนกว่าเศษยางพาราจะหลอมหมด แล้วทำการเปลี่ยนความเร็วรอบเพื่อทดสอบปัจจัยต่อไป โดยมีแผนการทดสอบปัจจัยที่เหมาะสมของเครื่องต้นแบบ ดังแสดงใน Figure 3 คุณลักษณะทางเคมีของเศษยางพารา ดังแสดง Table 1

ผลและวิจารณ์ผลการวิจัย

ผลออกแบบและสร้างเครื่องต้นแบบ

จากการออกแบบและสร้างเครื่องต้นแบบสำหรับหลอมเศษยางพารา โดยมีวัสดุหลักในการประกอบสร้างคือ โครงสร้างท่อเหล็กขนาด 1 นิ้ว ตัวหม้อหลอมทำจากสแตนเลสหนา 3 mm ม้วนขึ้นรูปขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 30 cm มีการบุนวนกันความร้อนด้วยใยแก้วรอบหม้อหลอมขนาด 1 นิ้ว ใบกวนทำจากแผ่นสแตนเลสขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 27 cm โดยมีผลการสร้างเครื่องต้นแบบดังแสดงใน Figure 4

ผลการทดสอบปัจจัยที่เหมาะสมของเครื่องต้นแบบ

จากการทดสอบปัจจัยที่เหมาะสมได้แก่ ความเร็วรอบใบกวนที่ 0, 22, และ 44 rpm เพื่อหาอัตราการหลอมและพลังงานจำเพาะที่ใช้ในการหลอมเศษยางพารา 3 กิโลกรัม พบว่า อัตราการหลอมของเศษยางพารามีอัตราการหลอมอยู่ที่ 1.078 ± 0.025 , 1.274 ± 0.04 และ 1.598 ± 0.045 kg/hr ตามลำดับ และพลังงานจำเพาะที่ใช้ในการหลอมมีค่าพลังงานจำเพาะอยู่ที่ 1402.616 ± 18.020 , 1338.085 ± 17.875 และ 1295.423 ± 17.509 Wh/kg ตามลำดับ (Figure 5) ซึ่งผลการวิจัยนี้สอดคล้องกับสมมุติฐานที่ตั้งไว้ว่า การเพิ่มความเร็วนวนใบกวนจะช่วยเพิ่มอัตราการหลอมและลดพลังงานจำเพาะที่ใช้ในการหลอม ทั้งนี้เนื่องจากการเพิ่มความเร็วนวนช่วยกระจายความร้อนได้ดียิ่งขึ้น ทำให้กระบวนการหลอมเป็นไปอย่างรวดเร็ว การวิจัยนี้ยังสอดคล้องกับงานวิจัยของ (Kato et al., 2019) ที่พบว่าการเพิ่มความเร็วนวนของการหมุนช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการหลอมในระบบทางกล

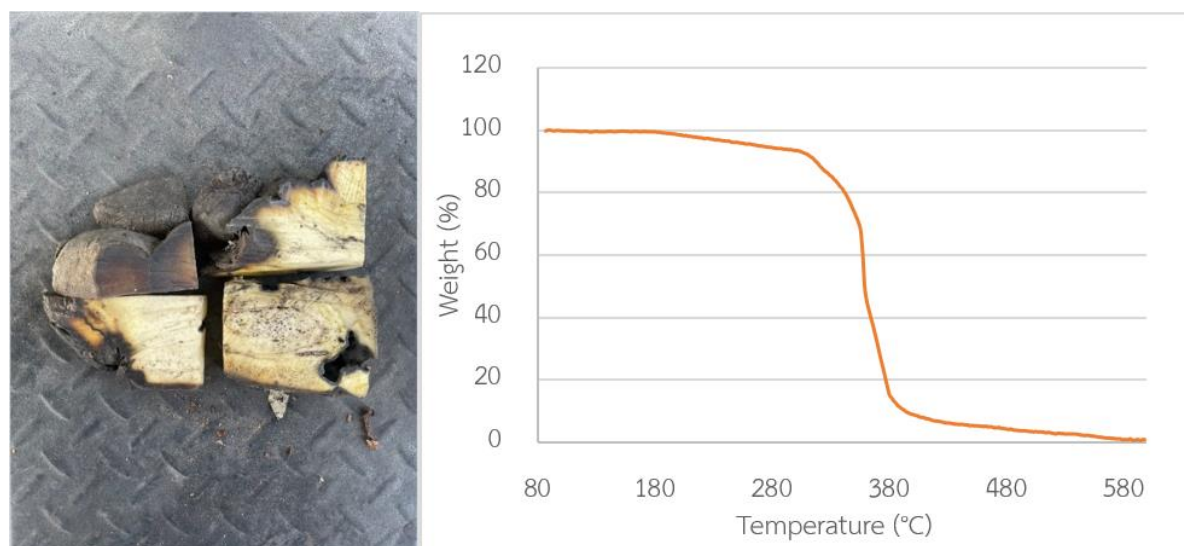


Figure 2 Natural rubber scraps and TGA curve.

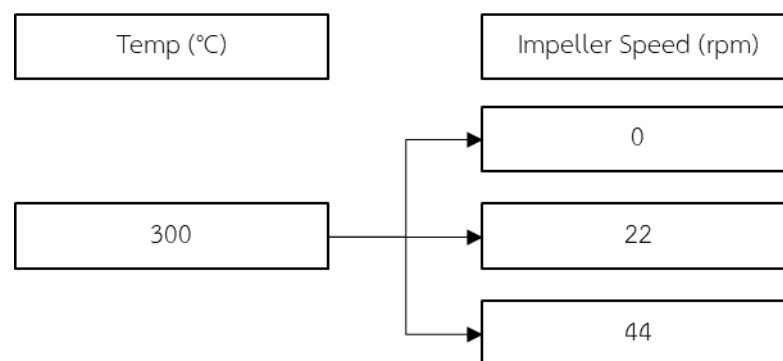


Figure 3 Experiment test.

Table 1 Some properties of Rubber scraps

Proximate analysis (% wt);		Methods/tools used for testing
Moisture	18.1	Thermogravimetric Analyser, brand LECO, model TGA-701
Volatile matter	72.4	
Fixed carbon*	7.1	
Ash	2.4	
Ultimate analysis (% wt);		LECO Method/CHN628, 628S
C	86.291	LECO Method/CHN628, 628S
H	9.157	
N	0.4	
S	0.137	
O*	4.015	

* Calculated by difference.

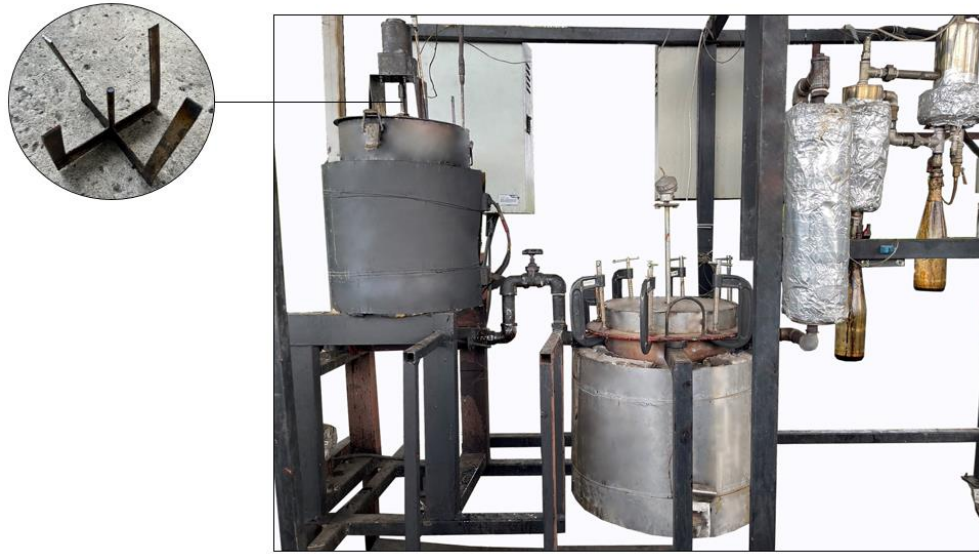


Figure 4 Prototype Natural Rubber scraps melting machine.

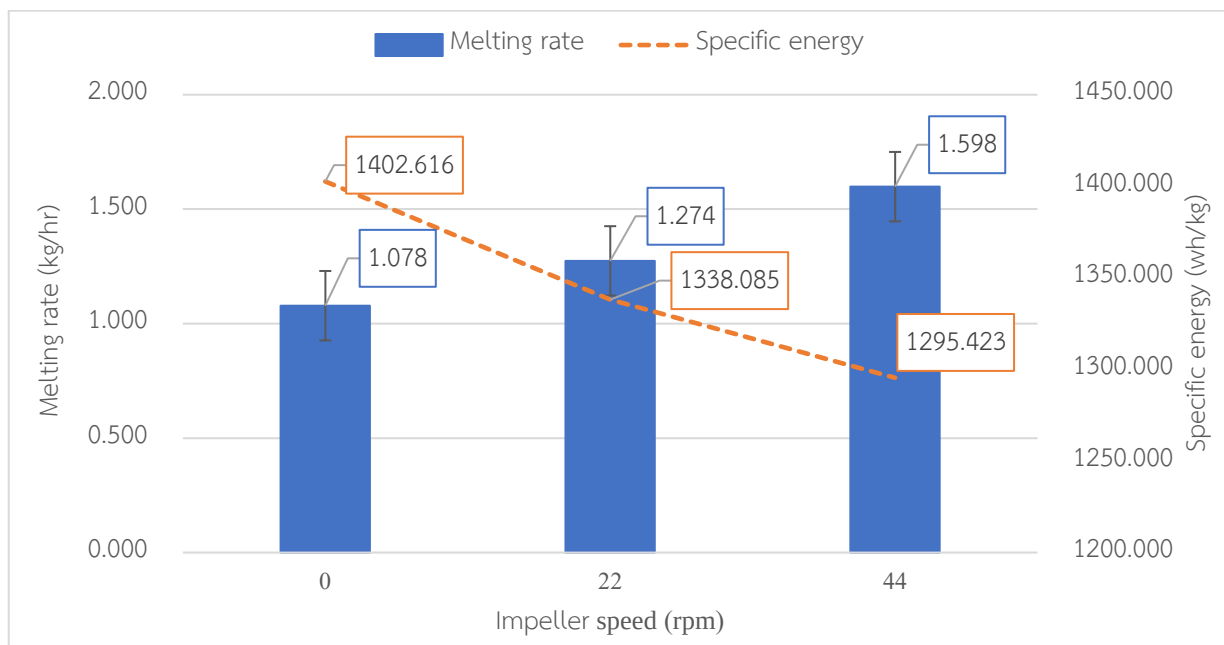


Figure 5 Relationship between melting rate and specific energy at different impeller speeds.

จากการทดสอบเวลาที่ใช้ในการหลอมเศษยางพารา 3 กิโลกรัม ที่ความเร็วรอบ 0, 22 และ 44 rpm มีระยะเวลาที่ใช้ในการหลอมจนหมดเท่ากับ 183 ± 7 , 130 ± 5 และ 105 ± 6 min ตามลำดับ (Figure 6) พบว่าเมื่อทำการหลอมเศษยางพาราจนหมด เวลาที่ใช้ในการหลอมไม่สอดคล้องกับอัตราการหลอมต่อชั่วโมง เนื่องจากเมื่อเศษยางพารารับความร้อนไประยะเวลานึง จะทำการคลายความชื้นและมีลักษณะเป็นกึ่งแข็งกึ่งเหลว หลังจากนั้นจะเริ่มละลายเป็นของเหลวจนหมด โดยในการทดสอบนี้พบว่าเครื่องต้นแบบ

สามารถหลอมเศษยางพาราเป็นของเหลวสีดำและมีความหนืดสูง (Figure 7) สามารถเป็นวัตถุดิบสำหรับการผลิตน้ำมันเชื้อเพลิงด้วยกระบวนการไพโรไลซิสแบบต่อเนื่อง ซึ่งจะช่วยลดระยะเวลาในการเติมวัตถุดิบได้ เนื่องจากกระบวนการไพโรไลซิสแบบแบตช์ยังต้องทำการเปิดเตาปฏิกรณ์เพื่อเติมวัตถุดิบสำหรับผลิตน้ำมันเชื้อเพลิง และใช้เวลาในการเพิ่มอุณหภูมิเตาปฏิกรณ์และเวลาในการเกิดปฏิกิริยาที่ค่อนข้างนาน (Isahak et al., 2012)

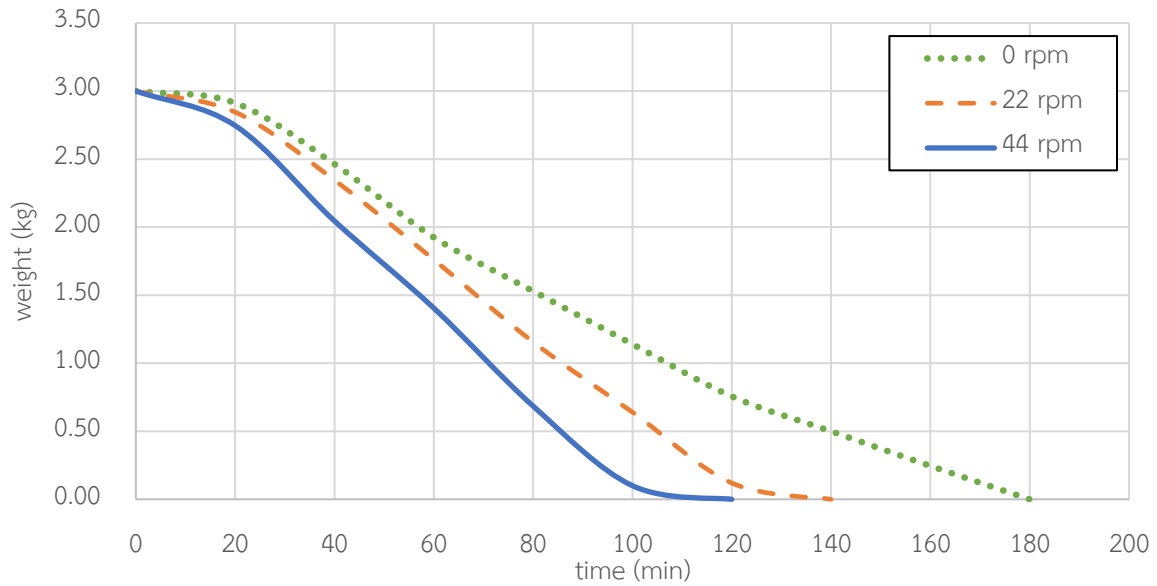


Figure 6 Relationship between time and weight loss of the sample for melting concerning the different impeller speed.



Figure 7 Melted Natural Rubber Scraps.

สรุปผลการวิจัย

จากการศึกษาแนวทางการพัฒนาเครื่องต้นแบบหลอมเศษยางพาราสำหรับเป็นวัตถุดิบในการผลิตน้ำมันเชื้อเพลิงชีวภาพด้วยกระบวนการไพโรไลซิส พบว่า เครื่องต้นแบบสามารถหลอมเศษยางพาราได้ โดยความเร็วรอบใบกวนที่ 44 rpm ให้ผลการหลอมดีที่สุด โดยมีอัตราการหลอมเฉลี่ยอยู่ที่ 1.598 ± 0.045 kg/hr และใช้พลังงานจำเพาะต่ำสุดอยู่ที่ 1269.914 ± 17.510 Wh/kg ซึ่งสอดคล้องกับสมมุติฐานที่ว่าความเร็วรอบใบกวนที่เพิ่มขึ้นส่งผลให้อัตราการหลอมสูงขึ้นและพลังงานจำเพาะลดลง และเครื่องต้นแบบสามารถลดความเสี่ยงน้ำยางพาราเหลวเข้าเตาปฏิกรณ์ไพโรไลซิสได้ ทำให้ช่วยลดเวลาในการเกิดปฏิกิริยา และเวลาที่ต้องใช้ในการให้ความร้อนของเตาปฏิกรณ์ไพโรไลซิส สามารถช่วยเพิ่มกำลังการผลิตน้ำมันเชื้อเพลิงได้มากขึ้น ซึ่งสามารถต่อยอดในระดับอุตสาหกรรม เช่น การเพิ่มกำลังการผลิตโดยใช้หม้อหลอมขนาดใหญ่และมีประสิทธิภาพสูงขึ้น เพื่อรองรับการผลิตในปริมาณมาก และสามารถทำงานต่อเนื่องและรวดเร็วมากขึ้น แต่

ทั้งนี้ข้อจำกัดของเครื่องต้นแบบพบว่ายังไม่สามารถควบคุมอัตราการไหลของน้ำยางพาราเหลวให้คงที่ได้ เนื่องจากอุณหภูมิมีผลต่อความหนืดของน้ำยางพาราเหลว โดยแนวทางการแก้ปัญหาควรติดตั้งชุดทำความร้อนที่ท่อลำเลียง เพื่อรักษาอุณหภูมิน้ำยางพาราเหลวภายในท่อให้มีความหนืดคงที่

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณ สาขาวิชาวิศวกรรมเกษตร คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น ศูนย์วิจัยเครื่องจักรกลเกษตรและวิทยาการหลังการเก็บเกี่ยว มหาวิทยาลัยขอนแก่น กองสาธารณสุขและสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยขอนแก่น และ ศูนย์เรียนรู้ยางนาบูรณาการ มหาวิทยาลัยขอนแก่น ที่เอื้อเฟื้อสถานที่และบุคลากร เพื่อให้งานวิจัยนี้เสร็จเรียบร้อยสมบูรณ์

References

- Ahmad, N., Abnisa, F., & Daud, W. M. A. W. (2016). Potential use of natural rubber to produce liquid fuels using hydrous pyrolysis – a review. *RSC Advances*, 6(73), 68906–68921. doi: 10.1039/C6RA09085K
- Ahmad, N., Abnisa, F., & Daud, W. M. A. W. (2018). Liquefaction of natural rubber to liquid fuels via hydrous pyrolysis. *Fuel*, 218, 227–235. doi: 10.1016/j.fuel.2017.12.117
- Arpa, O., Yumrutas, R., & Demirbas, A. (2010). Production of diesel-like fuel from waste engine oil by pyrolytic distillation. *Applied Energy*, 87(1), 122–127. doi: 10.1016/J.APENERGY.2009.05.042
- Çay, Y., Çiçek, A., Kara, F., & Sağiroğlu, S. (2012). Prediction of engine performance for an alternative fuel using artificial neural network. *Applied Thermal Engineering*, 37, 217–225. doi: 10.1016/j.applthermaleng.2011.11.019
- Ganesapillai, M., Manara, P., & Zabaniotou, A. (2016). Effect of microwave pretreatment on pyrolysis of crude glycerol–olive kernel alternative fuels. *Energy Conversion and Management*, 110(1), 287–295. doi: 10.1016/j.enconman.2015.12.045
- Hajjari, M., Tabatabaei, M., Aghbashlo, M., & Ghanavati, H. (2017). A review on the prospects of sustainable biodiesel production: A global scenario with an emphasis on waste-oil biodiesel utilization. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 72, 445–464. doi: 10.1016/J.RSER.2017.01.034
- Hijazi, A., Boyadjian, C., Ahmad, M. N. M., & Zeaiter, J. (2018). Solar pyrolysis of waste rubber tires using photoactive catalysts. *Waste Management*, 77(6), 10–21. doi: 10.1016/j.wasman.2018.04.044
- Isahak, W. N. R. W., Hisham, M. W. M., Yarmo, M. A., & Hin, T. Y. (2012). A review on bio-oil production from biomass by using pyrolysis method. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 16(8), 5910–5923. doi: 10.1016/J.RSER.2012.05.039
- Kan, T., Strezov, V., & Evans, T. (2017). Fuel production from pyrolysis of natural and synthetic rubbers. *Fuel*, 191, 403–410. doi: 10.1016/j.fuel.2016.11.100
- Kato, K., Yamamoto, T., Komarov, S. V., Taniguchi, R., & Ishiwata, Y. (2019). Evaluation of mass transfer in an aluminum melting furnace stirred mechanically during flux treatment. *Materials Transactions*, 60(9), 2008–2015. doi: 10.2320/matertrans.M2019055
- Lam, S. S., Liew, R. K., Lim, X. Y., Ani, F. N., & Jusoh, A. (2016). Fruit waste as feedstock for recovery by pyrolysis technique. *International Biodeterioration & Biodegradation*, 113, 325–333. doi: 10.1016/j.ibiod.2016.02.021
- Lopez, G., Erkiaga, A., Amutio, M., Bilbao, J., & Olazar, M. (2015). Effect of polyethylene co-feeding in the steam gasification of biomass in a conical spouted bed reactor. *Fuel*, 153, 393–401. doi: 10.1016/j.fuel.2015.03.006
- Patel, A., Arora, N., Mehtani, J., Pruthi, V., & Pruthi, P. A. (2017). Assessment of fuel properties on the basis of fatty acid profiles of oleaginous yeast for potential biodiesel production. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 77, 604–616. doi: 10.1016/j.rser.2017.04.016
- Tamri, Z., Yazdi, A. V., Haghighi, M. N., Abbas-Abadi, M. S., & Heidarinasab, A. (2018). The effect of temperature, heating rate, initial cross-linking and zeolitic catalysts as key process and structural parameters on the degradation of natural rubber (NR) to produce the valuable hydrocarbons. *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis*, 134, 35–42. doi: 10.1016/j.jaap.2018.05.001
- Wei, X., Zhong, H., Yang, Q., Yao, E., Zhang, Y., & Zou, H. (2019). Studying the mechanisms of natural rubber pyrolysis gas generation using RMD simulations and TG-FTIR experiments. *Energy Conversion and Management*, 189(1), 143–152. doi: 10.1016/j.enconman.2019.03.069

Research article

Effect of the impeller speed on the melting of natural rubber scraps in biofuel production via fast pyrolysis

Apiwit Harnpichanchai¹ Bunyawat Sukhuna¹ Kantapong Khaeso¹ Chaiyan Junsiri¹
Chokchai Suiuy² Kritsadang Senawong³ Somporn Katekaew⁴ and Kittipong Laloon^{1*}

¹Department of Agricultural Engineering, Faculty of Engineering, Khon Kaen University, Muang District, Khon Kaen Province, Thailand 40002

²Department of Innovative Agriculture, Faculty of Agriculture, Khon Kaen University, Muang District, Khon Kaen Province, Thailand 40002

³General Education Teaching Institute, Khon Kaen University, Muang District, Khon Kaen Province, Thailand 40002

⁴Department of Biochemistry, Faculty of Science, Khon Kaen University, Muang District, Khon Kaen Province, Thailand 40002

ARTICLE INFO**Article history**

Received: 30 August 2024

Revised: 28 October 2024

Accepted: 4 November 2024

Online published: 26 November 2024

Keyword

Impeller speed

Raw material preparation

Scrap rubber

Turning waste into energy

ABSTRACT

This article aims to study and develop the pyrolysis process for converting rubber waste into biofuel through the design of a continuous liquefaction process. A prototype liquefaction machine was designed and constructed to test optimal conditions, focusing on impeller speeds of 0, 22, and 44 rpm, with a controlled liquefaction temperature of 300°C. Key performance indicators included the melting rate and specific energy consumption. The results indicate that an impeller speed of 44 rpm provided the best liquefaction efficiency, achieving a melting rate of 1.598 ± 0.045 kg/hr and a specific energy consumption of 1269.914 ± 17.510 Wh/kg, translating to a melting cost of 5.59 ± 0.09 THB/hr. The total time required to liquefy the rubber waste was 104 ± 5 minutes. This study concludes that liquefying rubber waste can reduce both the reaction time and heating time in the pyrolysis reactor. The findings can be applied to continuous pyrolysis processes for biofuel production, contributing to the conversion of agricultural waste into alternative bioenergy.

*Corresponding author

E-mail address: Kittila@kku.ac.th (K. Laloon)

Online print: 26 November 2024 Copyright © 2024. This is an open access article, production, and hosting by Faculty of Agricultural Technology, Rajabhat Maha Sarakham University. <https://doi.org/10.14456/paj.2024.50>



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

บทความวิจัย

การผลิตและการวิเคราะห์ต้นทุน ผลตอบแทนการเลี้ยงปลากะพงขาวในพื้นที่น้ำเค็ม เกลือสินเธาว์ กรณีศึกษา: ฟาร์มยังปลากะพง อำเภอบ้านดุง จังหวัดอุดรธานี

ศิริภรณ์ โคตะมี และ กฤษฎาภรณ์ ว่องไว*

สาขาธุรกิจการเกษตร คณะเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏอุดรธานี ตำบลสามพร้าว อำเภอเมืองอุดรธานี จังหวัดอุดรธานี 41000 ประเทศไทย

ข้อมูลบทความ	บทคัดย่อ
Article history รับ: 13 สิงหาคม 2567 แก้ไข: 24 กันยายน 2567 ตอบรับการตีพิมพ์: 14 พฤศจิกายน 2567 ตีพิมพ์ออนไลน์: 27 พฤศจิกายน 2567 คำสำคัญ ปลากะพงขาว ต้นทุนและผลตอบแทน กำไรสุทธิ เกลือสินเธาว์	การศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาต้นทุนและผลตอบแทนการเลี้ยงปลากะพงขาว (<i>Lates calcarifer</i>) ในพื้นที่น้ำเค็มเกลือสินเธาว์ อำเภอบ้านดุง จังหวัดอุดรธานี โดยเก็บรวบรวมข้อมูลจากฟาร์มตัวอย่างของผู้ประกอบการในพื้นที่ด้วยการใช้แบบสัมภาษณ์เชิงลึก (In-Depth interview) จากนั้นวิเคราะห์ข้อมูลโดยใช้สถิติเชิงพรรณนาและเชิงปริมาณ ผลการศึกษาพบว่า ต้นทุนการเลี้ยงปลากะพงขาวด้วยวิธีกึ่งธรรมชาติในบ่อดินร่วมกับปลานิลในอัตราส่วนปลากะพงขาวต่อปลานิล เท่ากับ 2 : 1 โดยปล่อยปลานิลขนาดน้ำหนัก 150 กรัม ก่อนเป็นระยะเวลา 1 เดือน เพื่อให้ปลานิลออกลูกเป็นอาหารของปลากะพงขาว จากนั้นปล่อยปลากะพงขาวขนาด 2 นิ้ว จำนวน 1,000 ตัวต่อไร่ ให้อาหารเม็ดสำเร็จรูปโปรตีน 40 % วันละ 1 ครั้ง ในปริมาณปลากินอิ่ม ใช้ระยะเวลาเลี้ยง 8-12 เดือน ได้ผลผลิตปลากะพงขาว 255 กิโลกรัมต่อไร่ ใช้ต้นทุนในการเลี้ยง รวมทั้งสิ้น 33,107.09 บาทต่อไร่ โดยแบ่งเป็นต้นทุนผันแปรเฉลี่ยทั้งหมด 27,216.88 บาทต่อไร่ คิดเป็น 82.21 % และมีต้นทุนคงที่ 5,890.21 บาทต่อไร่ คิดเป็น 17.79 % จำหน่ายผลผลิตปลากะพงขาวในราคา 200 บาทต่อกิโลกรัม คิดเป็นรายได้ทั้งหมด 23,783.12 บาทต่อไร่ต่อรุ่น มีรายได้สุทธิ 17,892.91 บาทต่อไร่ต่อรุ่น และคิดเป็นกำไรสุทธิ 70.17 บาทต่อกิโลกรัม

บทนำ

ปลากะพงขาว (*Lates calcarifer* (Bloch)) หรือ Giant Perch, Sea Bass หรือ White Sea Bass เป็นปลาเศรษฐกิจมูลค่าสูงที่สำคัญของประเทศไทยชนิดหนึ่ง ซึ่งนิยมเลี้ยงกันแพร่หลายในเขตจังหวัดชายฝั่งทะเล โดยเฉพาะอย่างยิ่งในบริเวณพื้นที่จังหวัดฉะเชิงเทรา สุราษฎร์ธานี นครศรีธรรมราช ปัตตานี และสงขลา คิดเป็น 62.10 % ของพื้นที่เลี้ยงทั้งหมด หรือ 56.44 % ของจำนวนฟาร์มเลี้ยงทั้งหมด หรือ 77.03 % ของปริมาณผลผลิตจากการเพาะเลี้ยงทั้งหมด (Fisheries Economic Group, 2018) ปัจจัยหนึ่งที่กระตุ้นให้เกษตรกรต้องการเลี้ยงปลาชนิดนี้คือ ราคาจำหน่ายสูง ราคาขายส่งเฉลี่ย กิโลกรัมละ 160 บาท ราคาขายปลีก กิโลกรัมละ 168 บาท (Fisheries Economic Group, 2022) อีกทั้งเป็นปลาที่มีความทนทานต่อสภาพแวดล้อมได้ดี ทนต่อสภาพความเค็มต่ำสามารถเลี้ยงในแหล่งน้ำจืดได้ จึงมีเกษตรกรหรือผู้ประกอบการในพื้นที่อื่นที่อยู่ห่างไกลจากชายฝั่งทะเล นำไปทดลองเลี้ยงจนประสบความสำเร็จ เช่น เกษตรกรในจังหวัดขอนแก่น บุรีรัมย์ จังหวัดนครสวรรค์ จังหวัด

อุดรธานี (Sodkomkham, 2021) โดยเฉพาะในพื้นที่อำเภอบ้านดุง จังหวัดอุดรธานีเป็นพื้นที่ดินเค็ม ที่มีการทำนาเกลือมาเป็นระยะเวลานาน ผู้ประกอบการบางรายต้องการเปลี่ยนอาชีพจึงมีการทดลองนำปลากะพงขาวเข้ามาเลี้ยงในพื้นที่ ตั้งแต่ปี 2546 ปรากฏว่าปลากะพงขาวสามารถอาศัยอยู่ในพื้นที่น้ำเค็มเกลือสินเธาว์ได้ดี จากนั้นจึงมีการส่งเสริมการเลี้ยงปลากะพงขาวอย่างจริงจังในพื้นที่ โดยสำนักงานประมงจังหวัดอุดรธานี ซึ่งมุ่งเน้นส่งเสริมกลุ่มเกษตรกรหรือผู้ประกอบการที่เคยทำอาชีพผลิตเกลือสินเธาว์จำหน่ายเพื่อให้เป็นอาชีพทางเลือกแก่เกษตรกร จำนวน 14 ราย

อย่างไรก็ตามผลการส่งเสริมดังกล่าว ยังคงมีผู้ประกอบการที่ดำเนินการต่อเพียงรายเดียว ทั้งนี้เพราะการเลี้ยงปลากะพงขาวเป็นทักษะที่ต้องอาศัยประสบการณ์และเงินทุนในการดำเนินการเพราะปลากะพงขาวเป็นปลาประเภทปลากินเนื้อ (carnivorous) ที่ต้องการอาหารโปรตีนสูงซึ่งมีราคาแพง ทำให้ต้นทุนการเลี้ยงส่วนใหญ่เป็นต้นทุนค่าอาหาร ดังรายงานของ Kingcha (2022) เรื่องการศึกษาต้นทุนและผลตอบแทนการเลี้ยงปลากะพงขาวในบ่อดิน จังหวัด

*Corresponding author

E-mail address: Krisdakorn.wo@udru.ac.th (K. Wongwai)

Online print: 27 November 2024 Copyright © 2024. This is an open access article, production, and hosting by Faculty of Agricultural Technology, Rajabhat Maha Sarakham University. <https://doi.org/10.14456/paj.2024.51>

ประจวบคีรีขันธ์ โดยทำการศึกษาใน 1 รอบการผลิตระหว่างเดือน พฤษภาคม ถึง พฤศจิกายน 2564 ทำการสัมภาษณ์เกษตรกรกลุ่ม ตัวอย่างรายบุคคล (interview schedule) จำนวน 39 ราย พบว่า เกษตรกรมีบ่อเลี้ยงขนาดเฉลี่ย 3.25 ไร่ ปล่อยลูกพันธุ์ปลากะพงขาว ขนาด เฉลี่ย 6.41 เซนติเมตร (2.50 นิ้ว) อัตราการปล่อยเฉลี่ย 5,444 ตัวต่อไร่ เลี้ยงด้วยอาหารสำเร็จรูปตลอดการเลี้ยง มีต้นทุนเฉลี่ย 318,702.28 บาทต่อไร่ ประกอบด้วย ต้นทุนคงที่เฉลี่ย 9,223.13 (2.89 %) และต้นทุนผันแปรเฉลี่ย 309,479.15 บาทต่อไร่ (97.11 %) ต้นทุนผันแปรที่มีสัดส่วนสูงสุด คือค่าอาหารเม็ดสำเร็จรูปเฉลี่ย 217,942.19 บาทต่อไร่ (68.39 %) ขณะที่ผลการศึกษาของ Nuidod & Chanprasit (2021) ได้ศึกษาต้นทุนและผลตอบแทนการเลี้ยงปลา กะพงขาวในกระชัง กรณีศึกษา: ตำบลเกาะยอ อำเภอเมือง จังหวัด สงขลา โดยสอบถามและสัมภาษณ์เชิงลึกเกษตรกรที่เป็นสมาชิกกลุ่ม ออมทรัพย์เพื่อการผลิต ตำบลเกาะยอ อำเภอเมือง จังหวัดสงขลา จำนวน 45 ราย พบว่า เกษตรกรซื้อลูกพันธุ์ปลาขนาด 7 – 8 นิ้ว ปล่อยเลี้ยงในกระชังขนาด 5 x 5 x 2.5 เมตร เลี้ยงด้วยอาหารเม็ด สำเร็จรูป ต้นทุนในการเลี้ยงปลากะพงขาวต่อ 1 กระชังเท่ากับ 88,090.61 บาท ประกอบด้วยต้นทุนผันแปรจำนวน 85,923.95 (97.54 %) โดยต้นทุนผันแปรที่มีสัดส่วนสูงสุดคือ ค่าจ้างแรงงานมี จำนวน 43,200 บาท (49.15 %) รองลงมาคือ ค่าอาหารปลาที่มีจำนวน 31,943.95 บาท (36.35 %) และมีต้นทุนคงที่จำนวน 2,166.66 บาท (2.46 %) แต่เมื่อพิจารณาเฉพาะต้นทุนที่เป็นตัวเงิน พบว่า มีต้นทุน เฉลี่ยต่อ 1 กระชัง เท่ากับ 42,923.95 บาท ประกอบด้วย ต้นทุนผัน แปรจำนวน 42,723.95 บาท (99.53 %) เป็นต้นทุนคงที่จำนวน 200 บาท (0.47 %) ต้นทุนที่ไม่เป็นตัวเงิน ได้แก่ ค่าแรงงานและค่าเสื่อม ราคาสินทรัพย์โดยค่าแรงงานนั้นเป็นการใช้แรงงานของตนเองและคน ในครอบครัว ดังนั้น ต้นทุนที่เป็นตัวเงินค่าใช้จ่ายที่สูงที่สุดคือ ค่าอาหารปลา เช่นเดียวกันกับ Fisheries Economic Group (2021) ได้รายงานการวิเคราะห์ต้นทุนและผลตอบแทนการเลี้ยงปลากะพงขาว ในกระชัง จังหวัดสงขลา พื้นที่อำเภอจะนะและอำเภอเทพา โดยศึกษา การผลิตปลา 2 ขนาด คือ ขนาดปลาจาน (0.8 – 1.2 กิโลกรัมต่อตัว) และขนาดปลายักษ์ (3–5 กิโลกรัมต่อตัว) ในเกษตรกรผู้เลี้ยงปลากะพง ขาวในกระชัง จำนวน 19 ราย ด้วยวิธีการสัมภาษณ์เชิงลึก (Key Person) ลักษณะการเลี้ยงของเกษตรกรใช้แรงงานครัวเรือนเป็น หลัก เลี้ยงด้วยอาหารเม็ดสำเร็จรูปในช่วง 1 - 2 เดือนแรก จากนั้น เปลี่ยนมาเลี้ยงด้วยอาหารสด โดยใช้ปลาทุแวกและปลาหลังเขียวสด หรือสับเป็นท่อน สลับกับหัวปลาจากโรงงานปลากระป๋อง เกษตรกร ส่วนใหญ่เลี้ยงในกระชังลอยน้ำ ขนาด 4 x 4 x 1.50 ถึง 2 เมตร ปล่อย ลูกพันธุ์ปลาขนาดความยาวเฉลี่ย 7 นิ้ว ในอัตราความหนาแน่นเฉลี่ย 400 - 500 ตัวต่อกระชัง ใช้ระยะเวลาในการเลี้ยงเฉลี่ย 7 - 9 เดือนต่อ รุ่น อัตรารอดตายเฉลี่ย 78.07 % ผลผลิตที่ได้เฉลี่ย 316.18 กิโลกรัม ต่อกระชัง (900 กรัมต่อตัว) ในขณะที่ การศึกษาต้นทุนและ

ผลตอบแทนการเลี้ยงปลากะพงขาวในกระชัง ขนาดปลายักษ์ (3 - 5 กิโลกรัมต่อตัว) ทำการศึกษาในพื้นที่อำเภอเมืองสงขลาและอำเภอสิงหนคร ในเกษตรกรผู้เลี้ยง จำนวน 28 ราย พบว่า เกษตรกรส่วนใหญ่ เลี้ยงปลากะพงขาวในกระชัง ขนาด 5 x 5 x 2.50 ถึง 3 เมตร ปล่อย ลูกพันธุ์ขนาดความยาวเฉลี่ย 7 นิ้ว ในอัตราความหนาแน่นเฉลี่ย 400 - 500 ตัวต่อไร่ ใช้ระยะเวลาในการเลี้ยงเฉลี่ย 22 - 24 เดือนต่อ รุ่น อัตรารอดโดยเฉลี่ย 52.72 % ผลผลิตเฉลี่ย 785.95 กิโลกรัมต่อ กระชัง (3.34 กิโลกรัมต่อตัว) ต้นทุนการเลี้ยงรวมทั้งสิ้น 95,291.17 บาทต่อกระชัง โดยจำแนกเป็นต้นทุนผันแปร 92,547.39 บาทต่อ กระชัง คิดเป็น 97.12 % ของต้นทุนทั้งหมด เมื่อพิจารณารายละเอียด ของต้นทุนผันแปร พบว่า ต้นทุนหลัก คือ ค่าอาหาร 71,792.11 บาท หรือคิดเป็น 75.34 % ของต้นทุนทั้งหมด รองลงมา คือ ค่าลูกพันธุ์ 9,375 บาท คิดเป็น 9.84 % ค่าจ้างแรงงานและแรงงานครัวเรือน 5,418.05 บาท คิดเป็น 5.69 % ค่าใช้จ่ายในการจับ 2,692.63 บาท คิดเป็น 2.83 % และค่าใช้จ่ายอื่น ๆ เช่น ค่าพลังงาน ค่าซ่อมแซม อุปกรณ์ ค่าเวชภัณฑ์ต่าง ๆ จำนวน 3,269.59 บาท คิดเป็น 3.43 % ส่วนต้นทุนคงที่ 2,743.78 บาทต่อกระชัง คิดเป็น 2.88 %

ด้วยเหตุนี้ ผู้วิจัยจึงได้ทำการศึกษาวิธีการผลิต ต้นทุนและ ผลตอบแทนในการเลี้ยงปลากะพงขาวในพื้นที่นาเกลือสินเธาว์ของ ฟาร์มยังปลากะพง อำเภอบ้านดุง จังหวัดอุดรธานี ซึ่งผลจากการศึกษา ครั้งนี้จะเป็นข้อมูลสำคัญในการส่งเสริมอาชีพและวางแผนการผลิตให้ เกษตรกรที่สนใจเลี้ยงปลากะพงขาวและเป็นข้อมูลสำหรับหน่วยงานที่ เกี่ยวข้องสามารถนำไปใช้ในการประกอบการถ่ายทอด สนับสนุน ส่งเสริมอาชีพและวางแผนการผลิตให้แก่เกษตรกรที่สนใจเลี้ยงปลา กะพงขาวในพื้นที่ดินเค็มอื่น ๆ ต่อไป

กรอบแนวคิดการวิจัย

กรอบแนวคิดการวิจัยการผลิตและการวิเคราะห์ต้นทุน ผลตอบแทนการเลี้ยงปลากะพงขาวในพื้นที่นาเค็มเกลือสินเธาว์ กรณีศึกษา: ฟาร์มยังปลากะพง อำเภอบ้านดุง จังหวัดอุดรธานี เป็นการศึกษการผลิต เกี่ยวข้องกับลักษณะบ่อเลี้ยงและการเตรียมบ่อ เลี้ยง พันธุ์ปลาและแหล่งพันธุ์ปลา ชนิดอาหารและการให้อาหาร การจัดการคุณภาพน้ำระหว่างการเลี้ยง การดูแลและป้องกันรักษาโรค การเก็บผลผลิตและจัดจำหน่าย ส่วนการวิเคราะห์ต้นทุน ผลตอบแทน การเลี้ยงปลากะพงขาว ทำการศึกษาข้อมูลเกี่ยวกับต้นทุนผันแปร ต้นทุนคงที่ รายได้และกำไร ดังแสดงใน Figure 1

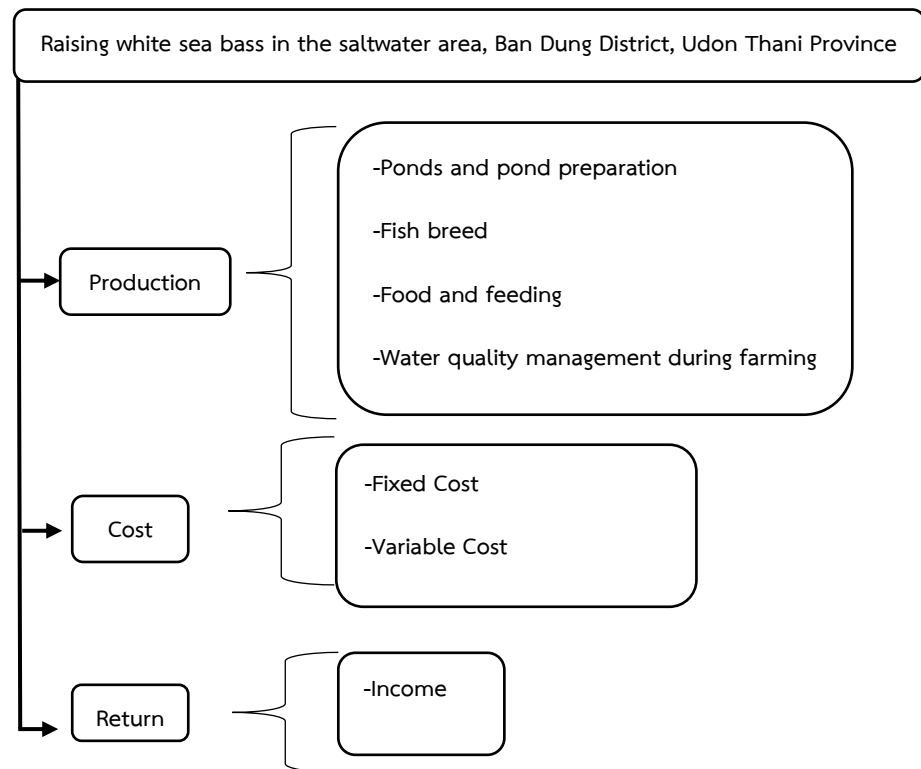


Figure 1 Conceptual Framework.

อุปกรณ์และวิธีการวิจัย

ประชากรในการศึกษาครั้งนี้เป็นผู้ประกอบการเลี้ยงปลากะพงขาวในพื้นที่ อ.บ้านดุง จังหวัดอุดรธานี โดยใช้วิธีการเลือกตัวอย่างแบบ

เจาะจง (Purposive Sampling) คือ ฟาร์มปลากะพงขาวของนายไตรศักดิ์ ศรีเสาวนิตย์ (ฟาร์มฮังปลากะพง) ตั้งอยู่ในพื้นที่น้ำเค็มเกลือสินเธาว์ อำเภอบ้านดุง จังหวัดอุดรธานี (Figure 2)

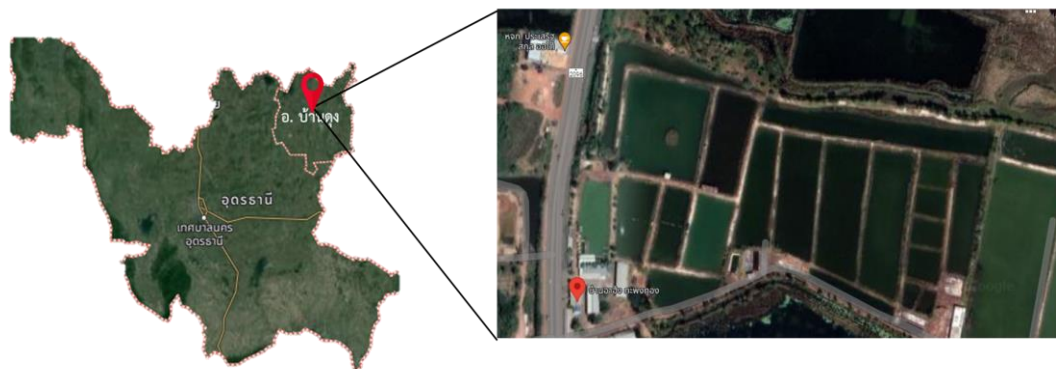


Figure 2 Location of Hong farm, Ban Dung, Udon Thani Province.

Source: Google map (2024)

การเก็บรวบรวมข้อมูล

1. การเก็บรวบรวมข้อมูลโดยใช้การสัมภาษณ์เชิงลึก (In-Depth interview) โดยการสัมภาษณ์เกษตรกรผู้เลี้ยงปลากะพงขาวในบ่อดินพื้นที่ดินเค็มเกลือสินเธาว์ เพื่อให้ได้ข้อมูลด้านการเลี้ยงและต้นทุนการเลี้ยงปลากะพงขาว

2. เครื่องมือที่ใช้ในการรวบรวมข้อมูล ทำการทดสอบแบบสัมภาษณ์ ก่อนนำแบบสัมภาษณ์ไปสัมภาษณ์จริง โดยให้ผู้เชี่ยวชาญจำนวน 3 ท่าน พิจารณาแบบสัมภาษณ์แต่ละข้อในแต่ละส่วนมีความสอดคล้องกับวัตถุประสงค์เชิงพฤติกรรมหรือไม่อย่างไร เป็นการทดสอบความเที่ยงตรงตามเนื้อหาและวัตถุประสงค์ โดยมีรายละเอียดของเนื้อหา คือ การเลี้ยงปลากะพงขาว ได้แก่ การเตรียมบ่อ การเตรียมน้ำ แหล่งลูกพันธุ์ปลา การให้อาหารและการจัดการตลอดระยะเวลาการเลี้ยง ปริมาณผลผลิต ราคาจำหน่าย รวมถึงข้อมูลต้นทุนการเลี้ยงปลากะพงขาวในพื้นที่ดินเค็มเกลือสินเธาว์

3. การวิเคราะห์ข้อมูลในการศึกษาวิจัยครั้งนี้ ทำการประมวลผลและวิเคราะห์ข้อมูลด้วยโปรแกรมสำเร็จรูป ดังนี้

3.1 การวิเคราะห์ข้อมูลเชิงคุณภาพ (Qualitative data analysis) โดยการวิเคราะห์สรุปอุปนัย (Analytic Induction) คือ การตีความสร้างข้อสรุปข้อมูลจากสิ่งที่เป็นรูปธรรมหรือปรากฏการณ์ที่มองเห็นที่เก็บรวบรวมมาได้ ได้แก่ สรุปวิธีการเลี้ยงปลากะพงขาวในบ่อดิน อธิบายถึงการเลี้ยงปลากะพงของรอบการเลี้ยงระหว่าง เดือน มีนาคม - ธันวาคม ปี พ.ศ. 2565 (เทคนิคในการเลี้ยง เทคนิคการผลิต และต้นทุนผลตอบแทน) อธิบายถึงการจัดการผลผลิตและการตลาดของปลากะพงขาวและอธิบายถึงสภาพปัญหาอุปสรรคของเกษตรกรที่เลี้ยงปลากะพงขาวและวิธีแก้ไข

3.2 การวิเคราะห์ข้อมูลเชิงปริมาณ (Quantitative statistical analysis) เป็นการวิเคราะห์ข้อมูลทาง การเงินโดยการนำข้อมูลที่ได้จากการสัมภาษณ์มาใช้วิเคราะห์สถิติเชิงพรรณนา (Descriptive statistical analysis) ได้แก่ % และค่าเฉลี่ย (Harris, 1997) และใช้วิธีการทางสมการต้นทุน รายได้และกำไร เพื่อวิเคราะห์ต้นทุนการเลี้ยงปลากะพงขาว ตลอดจนหาผลตอบแทนที่ได้รับของเกษตรกรผู้เลี้ยงปลากะพงขาวในบ่อดินเค็ม (Kaenkaew et al., 2012) ดังนี้

ทฤษฎีต้นทุนที่ใช้ในครั้งนี้ ตามวิธีที่รายงานไว้โดย Office of Agricultural Economic Research (2014) ดังนี้

1) ต้นทุนคงที่ (Fixed Cost) เป็นค่าใช้จ่ายที่ไม่เปลี่ยนแปลงไปตามปริมาณการเลี้ยงปลากะพงขาวและไม่สามารถเปลี่ยนแปลงได้ในช่วงการผลิตนั้น ๆ ซึ่งผู้ผลิตจะต้องเสียต้นทุนในจำนวนที่คงที่ ไม่ว่าจะทำการเลี้ยงปลากะพงขาวในปริมาณมากน้อยเพียงใดก็ตามหรือแม้ว่าจะไม่มีการเลี้ยงปลากะพงขาวเลย ต้นทุนคงที่อาจอยู่ในรูปของค่าเสียโอกาสหรือค่าเสื่อมราคา โดยต้นทุนคงที่ยังสามารถแบ่งออกได้เป็น 2 รูปแบบ คือ

1.1) ต้นทุนคงที่ที่เป็นเงินสด คือ ค่าใช้จ่ายที่เกษตรกรผู้เลี้ยงปลากะพงขาวจ่ายออกไปจริง เป็นเงินสดในจำนวนที่คงที่

1.2) ต้นทุนคงที่ที่ไม่เป็นเงินสด เป็นค่าใช้จ่ายจำนวนคงที่ที่เกษตรกรผู้เลี้ยงปลากะพงขาว ไม่ได้จ่ายออกไปจริงในรูปของเงินสดหรือเป็นค่าใช้จ่ายคงที่ที่ได้จากการประเมิน เช่น ค่าเสียโอกาสเงินทุน ค่าเสื่อมราคาบ่อดินและอุปกรณ์ต่าง ๆ การคำนวณค่าเสื่อมราคา สามารถคิดค่าเสื่อมราคาแบบเส้นตรง (Straight Line Method) ตามที่มีรายงานไว้โดย Kaewcha (1989) โดยใช้สูตรดังต่อไปนี้

$$\text{ค่าเสื่อมราคา} = \frac{\text{มูลค่าที่ซื้อ} - \text{มูลค่าซาก}}{\text{อายุการใช้งาน (ปี)}}$$

2) ต้นทุนผันแปร (Variable Cost) เป็นต้นทุนการผลิตที่เปลี่ยนแปลงไปตามปริมาณการเลี้ยงปลากะพงขาว โดยจะมีปริมาณไม่คงที่ขึ้นอยู่กับปริมาณการเพาะเลี้ยงหากไม่มีการเพาะเลี้ยงจะไม่มีต้นทุนผันแปร ตัวอย่างของต้นทุนผันแปร ได้แก่ ค่าอาหารสำเร็จรูป ค่าลูกพันธุ์ปลา ค่าจ้างแรงงาน ค่าน้ำมันเชื้อเพลิง ค่าสารเคมีและค่าไฟฟ้า เป็นต้น โดยต้นทุนผันแปรสามารถแบ่งออกได้เป็น 2 รูปแบบ คือ

2.1) ต้นทุนผันแปรที่เป็นเงินสด เป็นค่าใช้จ่ายผันแปรที่เกษตรกรผู้เลี้ยงปลากะพงขาว จ่ายออกไปเป็นเงินสดในการซื้อปัจจัยการผลิต เช่น ค่าอาหารสำเร็จรูป ค่าลูกพันธุ์ปลา ค่าจ้างแรงงาน ค่าน้ำมันเชื้อเพลิง ค่าสารเคมีและค่าไฟฟ้า เป็นต้น

2.2) ต้นทุนผันแปรที่ไม่เป็นเงินสดหรือค่าใช้จ่ายประเมิน เป็นค่าใช้จ่ายที่เกษตรกรผู้เลี้ยงปลากะพงขาวมิได้จ่ายออกไปจริงในรูปของเงินสด เช่น ค่าแรงงานครัวเรือน หรือค่าเสียโอกาสของเงินทุน เป็นต้น

โดยสามารถเขียนสมการความสัมพันธ์ได้ดังนี้

$$TC = TFC + TVC$$

3) ผลตอบแทน คือ รายได้ (Revenue or Income) หมายถึง รายได้หรือการเพิ่มขึ้นของประโยชน์เชิง เศรษฐกิจ ในรอบระยะเวลาบัญชีในรูปกระแสเข้าหรือการเพิ่มค่าของสินทรัพย์หรือการลดลงของหนี้สิน (Keeranant, 2003) โดยวิธีวัดผลกำไรเปรียบเทียบรายได้และค่าใช้จ่ายที่ใช้เกณฑ์ความเกี่ยวพันระหว่างต้นทุนที่เกิดขึ้นที่มาจากรายการเดียว ในการประกอบธุรกิจอย่างน้อยรายได้ทั้งหมดที่ได้ควรสูงกว่าต้นทุนผันแปร จะทำให้ผู้ประกอบการสามารถดำเนินธุรกิจต่อไปได้ซึ่งส่วนเกินนี้ เรียกว่า กำไรจากการดำเนินการหรือรายได้สุทธิ แต่ถ้ารายได้ทั้งหมดหักออกด้วยต้นทุนทั้งหมด (ต้นทุนผันแปรและต้นทุนคงที่) ผลต่างส่วนนี้คือ กำไรสุทธิ

โดยทฤษฎีต้นทุนที่ใช้ในการวิจัยครั้งนี้ คือ

ต้นทุนทั้งหมด = ต้นทุนคงที่ + ต้นทุนผันแปร

ต้นทุนคงที่ = ค่าเสื่อมราคาบ่อ + ค่าเสื่อมราคาอุปกรณ์ + ค่าเสียโอกาสของเงินลงทุน (ระยะยาว)

ต้นทุนผันแปร = ค่าพันธุ์ปลากะพงขาว + ค่าพันธุ์ปลาไนล์ + ค่าอาหารสำเร็จรูป + ค่าไฟฟ้า + ค่าจ้างแรงงาน + ค่าน้ำมันเชื้อเพลิง + ค่าเคมีภัณฑ์ (ปูนขาวโดโลไมต์) + ค่าจ้างแรงงานครัวเรือน + ค่าเสียโอกาสของเงินลงทุน

รายได้ทั้งหมด = จำนวนผลผลิตทั้งหมด x ราคาที่เกษตรกรขายได้

รายได้สุทธิ = รายได้ทั้งหมด - ต้นทุนผันแปร

กำไรสุทธิ = รายได้ทั้งหมด - ต้นทุนทั้งหมด

การวิเคราะห์ค่าเสียโอกาสตามวิธีที่รายงานโดย Nokkate (2011) ดังนี้

ค่าเสียโอกาส = ค่าเสียโอกาสของแรงงานในครัวเรือน* + ค่าเสียโอกาสของเงินทุน** + ค่าเสียโอกาสที่ดิน*** (ค่าใช้ที่ดิน)

*ค่าเสียโอกาสของแรงงานในครัวเรือน = จำนวนวันการทำงาน X อัตราค่าจ้างขั้นต่ำ/วัน

**ค่าเสียโอกาสของเงินทุน = ค่าเสียโอกาสในการนำเงินทุนไปประกอบกิจการอื่น ๆ โดยคำนวณ จากดอกเบี้ยเงินฝากประจำ 12 เดือน

ผลและวิจารณ์ผลการวิจัย

1. ข้อมูลการเลี้ยงปลากะพงขาวของฟาร์มฮังปลาพะง

การเลี้ยงปลากะพงขาวฟาร์มฮังปลาพะงในพื้นที่อำเภอบ้าน

ดุง จังหวัดอุดรธานี บนพื้นที่ฟาร์มทั้งหมด 200 ไร่ ซึ่งมีการจัดการพื้นที่ โดยมีพื้นที่ทำนาเกลือจำนวน 150 ไร่ พื้นที่เลี้ยงกุ้ง 5 ไร่ พื้นที่เลี้ยงปลากะพงขาว จำนวน 8 ไร่ และมีพื้นที่ว่างเปล่า 37 ไร่ ซึ่งพื้นที่เลี้ยงปลากะพง 8 ไร่ แบ่งเป็น 4 บ่อ บ่อละ 2 ไร่ (Figure 3) ผู้เลี้ยงมีประสบการณ์ในการเลี้ยงปลากะพงขาวในน้ำเค็มมาเกลือสินเธาว์เป็นระยะเวลานานถึง 20 ปี โดยเริ่มเลี้ยงครั้งแรกเมื่อปี พ.ศ. 2546 และยังคงดำเนินการเลี้ยงปลากะพงขาวอย่างต่อเนื่องจนถึงปัจจุบัน แต่อย่างไรก็ตามยังเป็นรูปแบบการเลี้ยงแบบกึ่งธรรมชาติ คือ การเลี้ยงปลากะพงขาวในบ่อดินที่เน้นให้กินลูกปลาไนล์เป็นอาหารหลักแล้วเสริมด้วยอาหารเม็ดสำเร็จรูป โดยปล่อยปลากะพงขาวเลี้ยงในอัตราความหนาแน่นต่ำที่ 1,000 ตัวต่อไร่ ซึ่งมีการจัดการการเลี้ยงดังรายละเอียดต่อไปนี้

1.1 บ่อเลี้ยงและการเตรียมบ่อเลี้ยง บ่อเลี้ยงเป็นบ่อดินขนาด

2 ไร่ อยู่บริเวณกลางแจ้ง มีขนาดความลึก 2 เมตร มีคันบ่อสูง 50 - 80 เซนติเมตร ก่อนปล่อยพันธุ์ปลาเลี้ยง ทำการเตรียมบ่อโดยการหว่านปูนขาวโดโลไมต์ ทั่วบ่อเพื่อกำจัดเชื้อโรคและปรับปรุงสภาพความเป็นกรดด่าง (pH) ในอัตรา 25 - 50 กิโลกรัม/ไร่ แล้วตากบ่อไว้ประมาณ 1 เดือน จากนั้นเติมน้ำใส่บ่อในครั้งเดียวให้ระดับ 1 - 1.5 เมตร แล้วปล่อยปลาไนล์ ขนาด 150 กรัม จำนวน 500 ตัวต่อไร่ เป็นปลาเพศเมีย จำนวน 300 ตัว ปลาเพศผู้จำนวน 200 ตัว ก่อนปล่อยปลากะพงขาวเป็นเวลา 1 เดือน



Figure 3 Location of white sea bass ponds of Hong farm, Ban Dung, Udon Thani Province.

Source: Google map (2024)

1.2 พันธุ์ปลากะพงขาว เป็นลูกพันธุ์ที่ซื้อมาจากฟาร์มเพาะพันธุ์ในจังหวัดฉะเชิงเทรา ขนาดลูกปลา 2 นิ้ว ราคาตัวละ 4 บาท ในกรณีซื้อลูกพันธุ์ปลาในปริมาณมากฟาร์มเพาะพันธุ์จะขนส่งลำเลียงลูกปลามาส่งที่ฟาร์มโดยตรง ด้วยการบรรจุลูกปลาในถังพลาสติกพร้อมให้อากาศแล้วขนส่งลำเลียงด้วยรถกระบะบรรทุกเป็นระยะทางประมาณ 570 กิโลเมตร หรือประมาณ 8 ชั่วโมง จากจังหวัดฉะเชิงเทราถึงจังหวัดอุดรธานี การขนส่งลำเลียงที่ใช้ระยะเวลานานนี้ส่งผลให้ลูกปลาบอบช้ำเกิดความ

เสียหายจากการตายบางส่วน ส่วนที่เหลือนำไปพักไว้ในกระชังเพื่ออนุบาลต่อนาน 1 - 2 เดือน ก่อนปล่อยเลี้ยงในบ่อดิน

1.3 อาหารและการให้อาหาร อาหารที่ใช้เลี้ยงปลากะพงขาว มี 2 ประเภท ได้แก่

1) อาหารมีชีวิต คือ ลูกปลาไนล์ โดยการเลี้ยงปลาไนล์ร่วมกับปลากะพงขาวในบ่อเดียวกัน ในอัตราส่วนปล่อยปลากะพงขาว 2 ตัวต่อปลาไนล์ 1 ตัว แล้วปล่อยให้ปลาไนล์แพร่พันธุ์ในบ่อเพื่อเป็นอาหารของปลา

กะพงขาว โดยไม่ได้ให้อาหารเม็ดสำเร็จรูปแก่ปลานิล

2) อาหารเม็ดสำเร็จรูป อาหารที่นำมาเลี้ยงปลากะพงขาวเป็นอาหารเม็ดที่มีปริมาณโปรตีนสูงไม่น้อยกว่า 40 % โดยซื้อจากฟาร์มเพาะพันธุ์ลูกปลาและขนส่งมาพร้อมลูกพันธุ์ปลา ในราคากระสอบละ 1,100 - 1,200 บาท ขนาดบรรจุ 25 กิโลกรัม โดยให้อาหารเม็ดเพียงวันละ 1 ครั้งในตอนเช้าในปริมาณลูกปลากินอิ่ม ปลากะพงขาวเป็นปลาประเภทปลากินเนื้อ คือ กินสัตว์น้ำอื่น ได้แก่ ปลา กุ้ง ที่มีขนาดเล็กกว่าเป็นอาหาร แต่ปลาที่ได้จากการเพาะเลี้ยงจะถูกฝึกให้กินอาหารเม็ดสำเร็จรูปก่อนจำหน่าย ดังนั้น การเลี้ยงปลาของฟาร์มยังปลากะพง จึงใช้วิธีการเลี้ยงปลากะพงขาวร่วมกับการเลี้ยงปลานิลในบ่อเดียวกันเพื่อให้ปลานิลแพร่พันธุ์ให้ลูกปลานิลเป็นอาหารปลากะพงขาวอีกทอดหนึ่งเพื่อลดต้นทุนค่าอาหารเม็ดสำเร็จรูป ซึ่งเป็นเทคนิคเฉพาะที่สำคัญในการลดปริมาณการใช้อาหารเม็ดสำเร็จรูปในการเลี้ยงปลากะพงขาวของฟาร์มยังปลากะพง

1.4 การจัดการคุณภาพน้ำระหว่างการเลี้ยง ตลอดระยะเวลาการเลี้ยงมีการเติมน้ำในบ่อเพียง 1 ครั้ง เมื่อเริ่มเลี้ยงที่ระดับความลึก 2 เมตร โดยไม่มีการเปลี่ยนถ่ายน้ำแต่มีการให้ออกซิเจนในฤดูร้อนและฤดูฝน ในกรณีที่น้ำมีการแบ่งชั้นเพื่อลดการตายของปลาจากระดับความเค็มของน้ำในบ่อไม่เท่ากัน คุณภาพน้ำในบ่อดินในพื้นที่อำเภอบ้านดุง จังหวัดอุดรธานี มีสภาพเป็นดินเค็ม ดังนั้น น้ำจึงมีสภาพเป็นน้ำกร่อยที่มีความเค็มน้ำผิวดิน (Salinity) ที่ระดับ 3 - 10 ppt ในฤดูฝนน้ำมากน้ำบริเวณผิวดินจะมีความเค็มต่ำ ในฤดูแล้งน้ำมีความเค็มสูง ปริมาณ pH 6.8 - 7.8 เป็นค่าค่อนข้างต่ำ ผู้เลี้ยงจึงมีการใช้ปูนขาวโรยในบ่อเลี้ยงอย่างสม่ำเสมอเพื่อปรับ pH ให้อยู่ในระดับไม่น้อยกว่า pH 7 และมีค่าความเป็นกรดเป็น

ด่าง (Alkalinity) 150 - 200 มิลลิกรัมต่อลิตร น้ำที่ใช้เลี้ยงเป็นน้ำฝนที่ขังในพื้นที่บ่อ ในระหว่างการเลี้ยงไม่มีการเปลี่ยนถ่ายน้ำ แต่ปรับปรุงคุณภาพน้ำโดยการเพิ่มปริมาณออกซิเจนละลายในน้ำ (DO) ด้วยการเพิ่มอากาศในบ่อเลี้ยงด้วยเครื่องให้อากาศแบบวางท่อฟิวซีตอสายออกซิเจนและหัวทราย

1.5 การดูแลและป้องกันรักษาโรค การป้องกันโรคเลือกวิธีการเลี้ยงปลากะพงขาวในอัตราความหนาแน่นต่ำเพียง 1,000 ตัวต่อพื้นที่เลี้ยงปลา 1 ไร่ ซึ่งทางฟาร์มได้ให้เหตุผลว่าการเลือกเลี้ยงโดยปล่อยลูกปลาในอัตราความหนาแน่นต่ำนี้เพื่อลดปัญหาน้ำเสียและการเกิดโรค ซึ่งที่ผ่านมาตลอดระยะเวลาการเลี้ยงยังไม่เคยประสบปัญหาเกิดโรคระบาดของปลาในฟาร์ม

1.6 การเก็บผลผลิตและจัดจำหน่าย การเก็บผลผลิตปลากะพงขาวใช้วิธีลากอวน หว่านแหหรือการตกเบ็ด เนื่องจากเป็นบ่อที่มีขนาดเล็กจึงสามารถเก็บผลผลิตได้ง่าย โดยจะเลือกจับปลาที่มีขนาดน้ำหนักตั้งแต่ 0.5 กิโลกรัมขึ้นไป (Figure 4) ส่วนปลาที่มีขนาดเล็กกว่าจะทำการเลี้ยงต่อไป การจำหน่ายใช้วิธีการจำหน่ายที่หน้าฟาร์ม โดยมีคนมารับซื้อในราคาขาย กิโลกรัมละ 200 บาท ซึ่งทางฟาร์มจำหน่ายในราคานี้ตลอดทั้งปี เป็นราคาจำหน่ายที่ค่อนข้างสูงเมื่อเปรียบเทียบกับราคาจำหน่ายของพื้นที่อื่น เมื่อเปรียบเทียบกับรายงานของ Fisheries economics group (2022) ที่จำหน่ายราคาลูกกิโลกรัมละ 168 บาท ทั้งนี้เนื่องจากฟาร์มยังปลากะพง เป็นฟาร์มเดียวที่ผลิตปลากะพงขาวในจังหวัดอุดรธานีและพื้นที่จังหวัดใกล้เคียง ผลผลิตที่ได้จึงมีความสดใหม่ทำให้ฟาร์มสามารถกำหนดราคาขายเองได้



Figure 4 Sea bass catching.

จากผลการศึกษาวิธีการเลี้ยงปลากะพงขาวของฟาร์มยังปลากะพง แสดงให้เห็นว่าปลากะพงขาวสามารถเจริญเติบโตได้ดีในน้ำเค็มเกลือสินเธาว์ ซึ่งมีระดับความเค็มใกล้เคียงกับในน้ำกร่อย การเลี้ยง

ปลากะพงขาวร่วมกับปลานิล โดยปล่อยปลานิลจำนวน 1 ครั้งต่อรุ่นในอัตราปลากะพงขาวต่อปลานิลเท่ากับ 2 : 1 เพื่อให้ปลานิลแพร่พันธุ์เป็นอาหารปลากะพงในบ่อตลอดเวลา ซึ่งปลานิลเป็นปลาที่มีความ

ทนทานต่อน้ำเค็ม จึงสามารถดำรงชีวิตและแพร่พันธุ์อยู่ในน้ำเค็มเกลือสินเธาว์ได้เป็นอย่างดี เป็นวิธีลดต้นทุนค่าอาหารสำเร็จรูปซึ่งมีราคาแพง อย่างไรก็ตามการเลี้ยงปลากะพงร่วมกับปลานิลในอัตราส่วน 2 : 1 ของฟาร์มยังปลากะพง ยังต้องมีการเสริมอาหารเม็ดสำเร็จรูปวันละ 1 ครั้ง ในปริมาณปลากินอิ่ม ทั้งนี้เพราะปริมาณอาหารของปลากะพงที่ได้รับจากการกินลูกปลานิลไม่เพียงพอ สอดคล้องกับรายงานของ Singh et al. (2012) ได้รายงานว่า การเลี้ยงปลากะพงในบ่อดินร่วมกับปลานิลควรปล่อยปลากะพงต่อปลานิลในอัตราส่วน 1 : 6 จึงจะเป็นอัตราส่วนที่เหมาะสมที่ปลานิลจะสามารถให้ผลผลิตลูกปลามากพอจะเป็นอาหารแก่ปลากะพงโดยไม่จำเป็นต้องให้อาหารเม็ดเพิ่ม อีกทั้งการปล่อยปลานิลจำนวนเพียง 500 ตัวต่อไร่ หรือ 0.31 ตัวต่อตารางเมตร ซึ่งเป็นจำนวนที่น้อยเกินไปที่ปลานิลจะให้ผลผลิตลูกปลาเพียงพอเป็นอาหารปลากะพง สอดคล้องกับรายงานการวิจัยของ Surajit et al. (2009) ได้กล่าวว่า การเพาะขยายพันธุ์ปลานิลขนาด 150 ± 50 กรัม ในบ่อดินขนาด 800 ตารางเมตร อัตราส่วน 1 : 1 ตัวต่อตารางเมตร อัตราความหนาแน่น 6 ตัวต่อตารางเมตร คิดเป็นจำนวนแม่ปลา 2,400 ตัวต่อบ่อ หรือ 4,800 ตัวต่อไร่ ในบ่อดินปลานิลสามารถให้ผลผลิตไข่ 19,102.4 ฟองต่อสัปดาห์ อัตราการอดลูกปลาระยะหลังไข่แดงยุบ 84.21 % คิดเป็นผลผลิตลูกปลานิล 16,086 ตัวต่อสัปดาห์หรือคิดเป็น 2,298 ตัวต่อวันต่อไร่ เมื่อเปรียบเทียบกับจำนวนแม่ปลานิลของฟาร์มยังปลากะพงอาจให้ผลผลิตลูกปลานิลต่ำกว่าถึง 16 เท่า และยังสอดคล้องกับรายงานการวิจัยของ Mashai & Rajabipour (2022) ที่รายงานว่า การเลี้ยงปลานิลในน้ำกร่อยความเค็ม 11.5 ส่วนในพันส่วน (part per thousand; ppt) ขนาดน้ำหนักเฉลี่ย 326.6 กรัม ความยาวเฉลี่ย 26 กรัม ปลาตัวที่มีความยาวน้อยที่สุดคือ 17 เซนติเมตร มีน้ำหนัก 83.5 กรัม ในถังไฟเบอร์กลาสขนาดความจุ 3 ลูกบาศก์เมตร สามารถปล่อยพ่อแม่พันธุ์ปลานิลในอัตราส่วน 1:1, 1:4 และ 1:7 ได้โดยให้ผลผลิตไข่ปริมาณไม่ต่างกันคือ 589, 542 และ 582 ฟองต่อบ่อต่อครั้งตามลำดับ แต่ควรปล่อยในอัตราความหนาแน่น 5 ตัวต่อตารางเมตร และมีการสลับพ่อแม่พันธุ์ทุก 10 วัน แม่ปลาจึงจะให้ผลผลิตไข่ดีที่สุด

อย่างไรก็ตามการปล่อยปลากะพงขาวของฟาร์มยังปลากะพงในอัตราความหนาแน่นต่ำจำนวน 1,000 ตัวต่อไร่ ซึ่งตลอดการเลี้ยงไม่มีการเปลี่ยนถ่ายน้ำ ถือว่าเป็นแนวปฏิบัติที่ดีที่เป็นการลดความเสี่ยงต่าง ๆ ที่จะส่งผลให้ปลาในบ่อตาย ไม่ว่าจะเป็นความเสี่ยงต่อคุณภาพน้ำเสียหรือความเสี่ยงในการเกิดโรคระบาด ซึ่งตลอดระยะเวลาที่มีการเลี้ยงปลากะพงขาวของฟาร์มยังปลากะพงยังไม่เคยประสบปัญหาเรื่องโรคของปลาแต่อย่างใด พบเพียงปัญหาการแบ่งชั้นความเค็มของน้ำในฤดูฝน

2. การวิเคราะห์ต้นทุนและผลตอบแทน

การวิเคราะห์ต้นทุนและผลตอบแทนการเลี้ยงปลากะพงขาวพบว่า ต้นทุนการเลี้ยงปลากะพงขาวรวมกับการเลี้ยงปลานิลในบ่อ

เดียวกัน เพื่อใช้ลูกปลานิลเป็นอาหารปลากะพงขาวแล้วเสริมด้วยอาหารเม็ดสำเร็จรูปโปรตีน 40 % วันละ 1 ครั้ง ของฟาร์มยังปลากะพง อำเภอบ้านดุง จังหวัดอุดรธานี ใช้ระยะเวลาเลี้ยง 8 - 12 เดือน ได้ผลผลิต 510 กิโลกรัมต่อบ่อ หรือเฉลี่ย 255 กิโลกรัมต่อไร่ หรือประมาณ 300 ตัวต่อไร่ มีน้ำหนักเฉลี่ยตัวละ 0.85 กิโลกรัม อัตรารอดตาย 30 % ใช้ต้นทุนในการเลี้ยงรวมทั้งสิ้นเฉลี่ย 33,107.09 บาทต่อไร่ โดยแบ่งเป็นต้นทุนผันแปรเฉลี่ยทั้งหมด 27,216.88 บาท (82.21 %) ประกอบด้วย ค่าลูกพันธุ์ปลากะพง 4,000 บาท (12.08 %) ค่าพันธุ์ปลานิล 3,750 บาท (11.33 %) ค่าอาหารเม็ดสำเร็จรูป 14,950.00 บาท (45.19 %) ค่าไฟฟ้า 312.50 บาท (0.94 %) ค่าน้ำมันเชื้อเพลิงเติมเครื่องสูบน้ำ 400 บาท (1.21 %) และ ค่าจ้างแรงงาน 1,406.25 บาท (4.25 %) ส่วนต้นทุนที่ไม่เป็นเงินสด ประกอบด้วย ต้นทุนคงที่ที่ไม่เป็นเงินสด ได้แก่ ค่าเสื่อมราคาบ่อดิน 600 บาท (1.81 %) ค่าเสื่อมราคาอุปกรณ์ 443.33 (1.34 %) ค่าเสียโอกาสเงินที่ลงทุนคงที่ 4,846.88 (14.64 %) ต้นทุนผันแปรที่ไม่เป็นเงินสด ค่าแรงงานครัวเรือน 562.50 (1.70 %) ค่าเสียโอกาสของเงินลงทุนผันแปร 1,615.63 บาท (4.88 %) ผลผลิตทั้งหมด 255 กิโลกรัมต่อไร่ ราคาจำหน่ายสุทธิ 200 บาทต่อกิโลกรัม คิดเป็นรายได้ทั้งหมด 23,783.12 บาทต่อไร่ต่อรุ่น กำไรสุทธิ 17,892.91 บาทต่อไร่ต่อรุ่นและคิดเป็นกำไรสุทธิ 70.17 บาทต่อกิโลกรัม (Table 1)

ผลการวิเคราะห์ต้นทุนในการเลี้ยงปลากะพงขาวในนาเกลือสินเธาว์ อำเภอบ้านดุง จังหวัดอุดรธานี มีต้นทุนสูงที่สุดคือค่าอาหารเม็ดสำเร็จรูป คิดเป็น 45.16 % ซึ่งแสดงให้เห็นว่าการเลี้ยงปลากะพงขาวร่วมกับปลานิล ในอัตราส่วน 2 : 1 นี้ ช่วยลดต้นทุนค่าอาหารลงกว่า 2 เท่า เมื่อเปรียบเทียบกับการเลี้ยงปลากะพงขาวในบ่อดินด้วยอาหารเม็ดสำเร็จรูปเพียงอย่างเดียวที่มีต้นทุนค่าอาหารสูงถึง 72.41 %. (Fisheries Economic Group, 2021) และยังพบว่า มีต้นทุนค่าอาหารที่ต่ำกว่าการเลี้ยงปลากะพงขาวในกระชังด้วยอาหารเม็ดสำเร็จรูปและอาหารสด ที่มีต้นทุนค่าอาหาร 58.61 % การเลี้ยงปลากะพงในกระชัง กรณีศึกษาตำบลเกาะยอ อำเภอมือง จังหวัดสงขลา ที่มีต้นทุนค่าอาหาร 36.35 % ต่อกระชัง ขนาด 5 x 5 x 2.5 เมตร (Nuidod & Chanprasit, 2021) หรือ ต้นทุนค่าอาหารของการเลี้ยงปลากะพงขาวในกระชัง ในจังหวัดสงขลา (Fisheries Economic Group, 2021) นอกจากนี้ Fisheries Economic Group (2020) ได้รายงานว่า การเลี้ยงปลากะพงขาวในบ่อดินด้วยอาหารเม็ดสำเร็จรูป มีต้นทุนสูงที่สุดคือ ต้นทุนค่าอาหารเม็ดสำเร็จ 72.41 % (Fisheries Economic Group, 2021) ด้วยอาหารเม็ดสำเร็จรูปและอาหารสด ที่มีต้นทุนค่าอาหารสูงถึง 58.61 %

อย่างไรก็ตามอัตราการผลิตของฟาร์มยังปลากะพงจำนวน 1,000 ตัวต่อไร่ เป็นอัตราการปล่อยเลี้ยงที่ต่ำ ทำให้ไม่เกิดความคุ้มค่าในการใช้พื้นที่เลี้ยง ซึ่งขัดแย้งกับรายงานการวิจัยของ Kingcha (2022) ที่เลี้ยง 1 รอบการผลิตต่อปี เช่นเดียวกับฟาร์มยัง

ปลากะพง แต่ปล่อยเลี้ยงในอัตราที่สูงกว่าคือเฉลี่ย 5,444.00 ตัวต่อไร่ ใช้ระยะเวลาการเลี้ยงเฉลี่ย 7 - 8 เดือน สามารถเลี้ยงปลาได้ในอัตรา รอดสูงถึง 62.31 % ขนาดผลผลิตเฉลี่ย 1.07 กิโลกรัมต่อตัว และให้ ปริมาณผลผลิตจำนวน 3,474.93 กิโลกรัมต่อไร่ ซึ่งสูงกว่าผลผลิตของ ฟาร์มยังปลากะพงถึง 13.63 เท่า ดังนั้น ในอนาคตฟาร์มยังปลากะพง หรือเกษตรกรผู้เลี้ยงสามารถเลี้ยงด้วยอัตราความหนาแน่นเพิ่มขึ้น

โดยเน้นการจัดการคุณภาพน้ำในบ่อเลี้ยงเพื่อเพิ่มผลผลิตต่อบ่อ และป้องกันความเสียหายจากการตายของปลาเนื่องจากคุณภาพน้ำ ไม่เหมาะสม เพื่อให้เกิดความคุ้มค่าในการใช้บ่อเลี้ยงให้มากที่สุด อีกทั้ง เพื่อตอบสนองความต้องการของตลาด เพราะในปัจจุบันการผลิตปลา กะพงใน อำเภอบ้านดุง ยังมีปริมาณน้อยและไม่เพียงพอต่อความ ต้องการของผู้บริโภค

Table 1 Cost of sea bass culture in salt field (Unit: per rai)

Cost	Cash	Non- Cash	Total	%
	(Baht)	(Baht)		
1. Fixed cost		5,890.21	5,890.21	17.79
Pond depreciation		600.00	600.00	1.81
Instrument depreciation		443.33	443.33	1.34
Opportunity fix cost (rate 0.75 %)		4,846.88	4,846.88	14.64
2. Variable cost	25,038.75	2,178.13	27,216.88	82.21
Fish breedings (sea bass)	4,000.00		4,000.00	12.08
Fish breedings (Adult Nile tilapia)	3,750.00		3,750.00	11.33
Instant food	14,950.00		14,950.00	45.16
Electricity cost	312.50		312.50	0.94
Engine oil	400.00		400.00	1.21
Wage of labor	1,406.25		1,406.25	4.25
Dolomite	220.00		220.00	0.66
Household labor		562.50	562.50	1.70
Opportunity variable cost (rate 0.25 %)		1,615.63	1,615.63	4.88
3. Total Cost	25,038.75	2,178.13	33,107.09	100.00
Total income (baht/rai)				23,783.12
Net profit (baht/rai)				17,892.91
Net profit per kilograms (baht/kilograms)				70.17

สรุปผลการวิจัย

การเลี้ยงปลากะพงขาวในบ่อดินพื้นที่นาเกลือสินเธาว์ อำเภอบ้านดุง จังหวัดอุดรธานี ด้วยวิธีกึ่งธรรมชาติร่วมกับปลานิลในอัตราส่วนปลากะพงขาวต่อปลานิล 2 : 1 โดยปล่อยปลานิลขนาดน้ำหนัก 150 กรัม ก่อนเป็นระยะเวลา 1 เดือน เพื่อให้ปลานิลออกลูกเป็นอาหารของปลากะพงขาว จากนั้นปล่อยปลากะพงขาวขนาด 2 นิ้ว จำนวน 1,000 ตัวต่อไร่ ให้อาหารเม็ดสำเร็จรูปโปรตีน 40 % วันละ 1 ครั้งในปริมาณปลากินอิ่ม ใช้ระยะเวลาเลี้ยง 8 - 12 เดือน ได้ปลาขนาดน้ำหนักเฉลี่ย 850 กรัม ปริมาณผลผลิต 255 กิโลกรัมต่อไร่ ในระหว่างการเลี้ยงคุณภาพน้ำมีระดับความเค็มของน้ำ 3 - 10 พีพีที ค่าความเป็นด่าง 100-150 มิลลิกรัมต่อลิตร pH 6.80 - 7.80 ใช้ต้นทุนในการเลี้ยง รวมทั้งสิ้น 33,107.09 บาทต่อไร่ โดยแบ่งเป็นต้นทุนผันแปรเฉลี่ยทั้งหมด 27,216.88 บาท คิดเป็น 82.21 % ของต้นทุนทั้งหมดต่อไร่ และมีต้นทุนคงที่ 5,890.21 คิดเป็น 17.79 % รายได้จากการจำหน่ายสุทธิ 200 บาทต่อกิโลกรัม คิดเป็นรายได้ทั้งหมด 23,783.12 บาทต่อไร่ต่อรุ่น ซึ่งคิดเป็นกำไรสุทธิ 17,892.91 บาทต่อไร่ต่อรุ่น และคิดเป็นกำไรสุทธิ 70.17 บาทต่อกิโลกรัม ข้อเสนอแนะใน

การทำวิจัยครั้งต่อไปควรมีการศึกษาเพิ่มอัตราความหนาแน่นในการเลี้ยงเพื่อให้เกิดความคุ้มค่าในการใช้พื้นที่ การศึกษาอัตราส่วนที่เหมาะสมระหว่างปลานิลกับปลากะพงขาว ที่ปลานิลสามารถผลิตลูกปลาได้ในปริมาณที่เพียงพอต่อการเป็นอาหารปลากะพงขาวโดยไม่ต้องมีการให้อาหารเม็ดสำเร็จรูปเพิ่มและศึกษาแนวทางการลดต้นทุนค่าอาหารที่สามารถผลิตได้ในท้องถิ่น เช่น การทดลองใช้หนอนโปรตีนสูง Black soldier fly ทดแทนอาหารเม็ดสำเร็จรูป

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณมหาวิทยาลัยราชภัฏอุดรธานีที่ให้การสนับสนุนทุนวิจัยในครั้งนี้ รวมถึงเกษตรกรฟาร์มยังปลากะพงและผู้ประสานงานที่ได้สละเวลาอันมีค่าเพื่อให้ข้อมูลการเลี้ยงปลากะพงในพื้นที่บ่อเกลือสินเธาว์ และขอขอบคุณทีมงานวิจัยทุกท่านที่ได้ร่วมดำเนินงานวิจัยในทุกกิจกรรมจนแล้วเสร็จ

References

- Fisheries Economic Group. (2018). Thai fishing situation. Accessed October 11, 2023. Retrieved from <https://www4.fisheries.go.th/local/index.php/main/site/strategy-economic>. (in Thai)
- Fisheries Economic Group. (2020). *Study of logistics and supply chain for sea bass. Chachoengsao Province*. Accessed October 16, 2023. Retrieved from <https://www4.fisheries.go.th/local/index.php/main/site/strategy-economic>. (in Thai)
- Fisheries Economic Group. (2021). *Analysis of costs and returns of raising sea bass in cages in Songkhla Province*. Accessed October 16, 2023. Retrieved from <https://www4.fisheries.go.th/local/index.php/main/site/strategy-economic>. (in Thai)
- Fisheries Economic Group. (2022). *Participation of local fishing community organizations in career development and empowerment projects. Strength of local fisheries in 2019*. Accessed October 16, 2023. Retrieved from <https://www4.fisheries.go.th/local/index.php/main/site/strategy-economic>. (in Thai)
- Google map. (2024). *Ban Dung District, Udon Thani Province, Thailand*. Accessed July 5, 2024. Retrieved from <https://www.google.com/maps/place/Ban+Dung+District,+Udon+Thani+Province,+Thailand/@17.7085137,103.0939028,11z/>
- Harris, M. B. (1997). *Basic statistics for behavioral research science research* (2nd ed). Massachusetts, United States: Simon & Schuster Company.
- Kaenkaew, C., Koonawoorittriron, S., Osothong, M., & Suwanasopee, T. (2012). Beef production cost of farmers under the Pon Yang Kham Livestock Breeding Cooperative NSC Ltd. *Agricultural Science Journal (Thailand)*, 43(1), 79 - 87. (in Thai)
- Kaewcha, A. (1989). *Economic analysis of commercial and semi-commercial tilapia farming in the central region*. (Master's Thesis). Bangkok, Thailand: Kasetsart University. (in Thai)
- Keeranan, S. (2003). *Fundamentals of finance: principal rationale perspective and analysis*. Bangkok, Thailand: Fuengfah Printing. (in Thai)
- Kingcha, P. (2022). *The study on cost and financial sea bass in Earthen ponds Prachuap Khiri Khan Province Year 2021. (Technical Paper no. 1/2022)*. Prachuap Khiri Khan, Thailand: Fisheries Provincial Office, Department of Fisheries, Ministry of Agriculture and Cooperatives. (in Thai)
- Mashai, N., & Rajabipour, F. (2022). A review on the breeding of Nile tilapia, *Oreochromis niloticus* in brackish water hatchery, Iran. *International Journal of Aquatic Research and Environmental Studies*, 2(2), 29 – 45.
- Nokkate, N. (2011). *Study of the efficiency of using production factors of single, combined and mixed fish farming. In the Nan River area Phitsanulok Province For fisheries management*. (Master's Thesis). Bangkok, Thailand: Kasetsart University. (in Thai)
- Nuidod S., & Chanprasit, S. (2021). Cost-benefit analysis of the cage culture of sea bass: case study of Koh Yo, Mueang Songkhla District, Songkhla Province. *Economics and Business Administration Journal Thaksin University*, 13(1), 163-175. (in Thai)
- Office of Agricultural Economic Research. (2014). *Economics of production and marketing of sea bass in fish cages. economic research papers Agriculture No. 106*. Accessed November 6, 2023. Retrieved from <https://lib.oae.go.th/elib/cgibin/opacexe.exe?op=ds&popt=crd&bid=13174&ref=&ri=0&kid=0&lang=0&db=Main&pat=&cat=cal&skin=u&lpp=32&catop=>. (in Thai)
- Singh, R. K., Khandagale, P. A., Vartak, V., Desai, A. S., & Chavan, S.. (2012). Aquatic environment and yield of sea bass (*Lates calcarifer*, Bloch) in ponds. *International Journal of Environmental and Waste Management*, 10(1), 1 - 12. doi: 10.1504/IJEW.2012.048147
- Sodkomkham, S. (2021). *Raising sea bass in cages along the coast of Ko Yo by Wutthi Rattanapruteep in Songkhla*. Accessed October 23, 2023. Retrieved from https://www.technologychaoban.com/fishery-technology/article_68333. (in Thai)

- Surajit, T., Srisapoome, P., Satienjittr, S., & Thaitungchin, C. (2009). Comparison study on breeding systems of nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) fry production in earthen ponds, tanks and hapas suspended in an earthen pond. *Proceedings of the 47th Kasetsart University Annual Conference Fisheries*. (pp. 434-443). Bangkok, Thailand: Kasetsart University (in Thai)

Research article

Production and analysis of cost, returns of white sea bass (*Lates calcarifer*) culture on the rock salt field: a case study in Hong farm in Ban Dung District, Udon Thani Province

Siriporn Kotamee and Krisdakorn Wongwai*

Department of Agribusiness, Faculty of Technology, Udon Thani Rajabhat University, Tam Bon Samprao, Mueng District, Udon Thani Province, 41000 Thailand

ARTICLE INFO**Article history**

Received: 13 August 2024

Revised: 24 September 2024

Accepted: 14 November 2024

Online published: 27 November 2024

Keyword

White sea bass

Cost and return

Net profit

Rock salt

ABSTRACT

This study aims to analyze the cost and benefits of raising giant sea bass (*Lates calcarifer*) in the rock salt fields of Ban Dung district, Udon Thani province. The data was collected through in-depth interviews and analyzed using descriptive statistics and quantitative analysis. The results found that the cost of raising giant sea bass using a semi-natural method in earthen ponds with tilapia, at a ratio of 2:1 (sea bass to tilapia), involves releasing tilapia weighing 150 grams one month earlier to allow them to give birth, providing food for the sea bass. Then, 1,000 2-inch sea bass per rai are released and fed 40 % protein pellets once a day to meet their dietary needs. It took 8-12 months to raise and produce 255 kilograms of sea bass per rai. The total raising costs were 33,107.09 baht per rai, with an average variable cost of 27,216.88 baht per rai, accounting for 82.21 %, and a fixed cost of 5,890.21 baht per rai, accounting for 17.79 %. Sea bass products are sold at 200 baht per kilogram, yielding a total income of 23,783.12 baht per rai. The model yields a net income of 17,892.91 baht per rai per crop and a net profit of 70.17 baht per kilogram.

*Corresponding author

E-mail address: Krisdakorn.wo@udru.ac.th (K. Wongwai)

Online print: 27 November 2024 Copyright © 2024. This is an open access article, production, and hosting by Faculty of Agricultural Technology, Rajabhat Maha Sarakham University. <https://doi.org/10.14456/paj.2024.51>



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

บทความวิจัย

สถานการณ์ผู้ประกอบการเลี้ยงกุ้งก้ามกรามในจังหวัดกาฬสินธุ์

ณัฐพล การอรุณ^{1*} อนุพงษ์ ทานกระโทก² และ กิรัชญ์ เพชรจุล¹

¹สาขาวิชาสหวิทยาการเกษตร คณะเทคโนโลยีการเกษตร มหาวิทยาลัยกาฬสินธุ์ อำเภอเมือง จังหวัดกาฬสินธุ์ 46000 ประเทศไทย

²สาขาวิชาเทคโนโลยีชีวภาพ คณะเทคโนโลยีการเกษตร มหาวิทยาลัยกาฬสินธุ์ อำเภอเมือง จังหวัดกาฬสินธุ์ 46000ประเทศไทย

ข้อมูลบทความ	บทคัดย่อ
Article history รับ: 21 สิงหาคม 2567 แก้ไข: 3 ตุลาคม 2567 ตอบรับการตีพิมพ์: 12 พฤศจิกายน 2567 ตีพิมพ์ออนไลน์: 2 ธันวาคม 2567	
คำสำคัญ กุ้งก้ามกราม เกษตรกรผู้เลี้ยงกุ้ง การตลาดกุ้งก้ามกราม	กุ้งก้ามกรามจัดเป็นกุ้งน้ำจืดที่มีขนาดใหญ่ที่สุดพบได้ทั่วไปในแหล่งน้ำตามธรรมชาติและบ่อเลี้ยงของเกษตรกรในจังหวัดกาฬสินธุ์ งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาสถานการณ์ผู้ประกอบการเลี้ยงกุ้งก้ามกรามในจังหวัดกาฬสินธุ์ จำนวน 7 อำเภอ ดังนี้ ยางตลาด เมืองกาฬสินธุ์ ห้วยเม็ก หนองกุงศรี กมลาไสย คำม่วง และเขาวง โดยใช้แบบสอบถามและสัมภาษณ์เกษตรกรผู้เลี้ยงกุ้งก้ามกรามจำนวน 430 ราย จากประชากรผู้เลี้ยงกุ้งก้ามกราม 1,141 ราย ผลการศึกษา พบว่าเกษตรกรส่วนใหญ่เป็นเพศชาย ร้อยละ 50.24 อายุมากกว่า 50 ปี ขึ้นไป จบการศึกษาระดับประถมศึกษา ร้อยละ 52.79 ทำอาชีพเลี้ยงกุ้งก้ามกรามมากกว่า 10 ปี มีพื้นที่การเลี้ยง 1-10 ไร่ต่อฟาร์ม เกษตรกรส่วนใหญ่นำลูกกุ้งก้ามกรามมาจากจังหวัดฉะเชิงเทรา ร้อยละ 61.39 จังหวัดสุพรรณบุรี คิดเป็นร้อยละ 24.41 และจังหวัดเพชรบุรี ร้อยละ 14.18 ในราคา 0.30 บาทต่อตัว ร้อยละ 96.97 เนื่องจากลูกกุ้งจากพื้นที่ดังกล่าวมีความแข็งแรงและอัตราการรอดตายสูง ส่วนการเลี้ยงส่วนใหญ่เป็นการเลี้ยงแบบกึ่งพัฒนา ร้อยละ 57.67 อัตราปล่อย 10,000-20,000 ตัวต่อไร่ ร้อยละ 45.58 อาหารที่ใช้เลี้ยงภายในฟาร์มเป็นอาหารสำเร็จรูปทุกราย ร้อยละ 100 ใช้น้ำจากคลองชลประทาน ร้อยละ 72.79 ส่วนการตลาดหรือการจำหน่ายผลผลิตจะมีพ่อค้าคนกลางมารับซื้อที่ฟาร์มราคา 200-250 บาทต่อกิโลกรัม ขนาดของกุ้งก้ามกรามที่จับจำหน่าย 21-25 ตัวต่อกิโลกรัม ร้อยละ 55.34 ใช้ระยะเวลาเลี้ยงนาน 4-5 เดือน เกษตรกรส่วนใหญ่มีปัญหาในเรื่องการขาดแคลนน้ำ ร้อยละ 52.32 โดยเฉพาะฤดูแล้งหรือฤดูการปิดน้ำ มีผลทำให้เกษตรกรเกิดการขาดแคลนน้ำในการเลี้ยงหรือการเปลี่ยนถ่ายน้ำในการเลี้ยงกุ้งก้ามกราม

บทนำ

กุ้งก้ามกราม ชื่อสามัญ Giant freshwater prawn ชื่อวิทยาศาสตร์ *Macrobrachium rosenbergii* de Man จัดเป็นกุ้งน้ำจืดที่มีขนาดใหญ่ที่สุดพบได้ทั่วไปในแหล่งน้ำตามธรรมชาติและบ่อเลี้ยงของเกษตรกร สามารถดำรงชีวิตอยู่ได้ทั้งในน้ำกร่อยและน้ำจืด มีชื่อเรียกที่ต่างกันออกไป เช่น กุ้งแห กุ้งใหญ่ กุ้งแม่น้ำ กุ้งหลวง และกุ้งก้ามเกลี้ยง กุ้งก้ามกรามมีถิ่นกำเนิดอยู่ในเอเชียใต้ ได้แก่ อินเดีย บังคลาเทศ ไปจนถึงเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ ได้แก่ ไทย พม่า เวียดนาม เขมร มาเลเซีย อินโดนีเซีย ฟิลิปปินส์ ตลอดจนทางเหนือของหมู่เกาะโอเชียเนียและทางตะวันตกของหมู่เกาะแปซิฟิก แต่ในปัจจุบันได้ถูกนำไปเลี้ยงอย่างแพร่หลายในภูมิภาคอื่นที่มีภูมิอากาศแบบเขตร้อน เช่น ทิศเหนือและใต้ของอเมริกา อเมริกากลาง ฮาวาย หมู่เกาะตาฮิติ นิวแคลิโดเนีย และแม้กระทั่งนิวซีแลนด์ (Nandlal & Pickering, 2005)

จังหวัดกาฬสินธุ์ ตั้งอยู่ทางภาคตะวันออกเฉียงเหนือของประเทศไทย แบ่งการปกครองส่วนภูมิภาคออกเป็น 18 อำเภอ มีจำนวนประชากรทั้งสิ้น 983,418 คน มีพื้นที่ทั้งหมด 4,341,716 ไร่ โดยมีเนื้อที่ถือครองเพื่อการเกษตร รวมทั้งสิ้น 2,832,890 ไร่ คิดเป็นร้อยละ 65.25 ของพื้นที่ทั้งหมด และจากรายงานของ Kalasin Provincial Fisheries Office (2023) มีจำนวนผู้ประกอบการเลี้ยงกุ้งก้ามกรามที่ขึ้นทะเบียน จำนวนทั้งสิ้น 1,139 ราย มีพื้นที่ในการเลี้ยงกุ้งก้ามกราม จำนวน 7,616 ไร่ ซึ่งส่วนใหญ่ใช้น้ำจากเขื่อนลำปาวในการเลี้ยงกุ้งก้ามกราม สายพันธุ์ของกุ้งก้ามกรามที่พบในบ่อเลี้ยงของเกษตรกรในพื้นที่จังหวัดกาฬสินธุ์ จะมีลักษณะเป็นกุ้งก้ามกรามก้ามทอง กุ้งก้ามกรามก้ามฟ้าและกุ้งก้ามกรามจ๊กโก (Petjul & Sirisawat, 2016) ในอดีตที่ผ่านมาความอุดมสมบูรณ์ของกุ้งก้ามกรามในแหล่งน้ำธรรมชาติมีปริมาณลดลงเรื่อย ๆ เนื่องจากสาเหตุต่าง ๆ เช่น ปัญหาน้ำเสีย การขยายตัวของประชากรผู้บริโภคเพิ่มขึ้น กำลังการผลิตใน

*Corresponding author

E-mail address: nattapon11042541@gmail.com (N. Kanaroon)

Online print: 2 December 2024 Copyright © 2024. This is an open access article, production, and hosting by Faculty of Agricultural Technology, Rajabhat Maha Sarakham University. <https://doi.org/10.14456/paj.2024.52>

ธรรมชาติลดลง ปริมาณการจับมากเกินไปและการทำประมงผิดวิธีและการเกิดโรคระบาด ปัจจุบันจึงได้มีธุรกิจผู้ประกอบการเลี้ยงกุ้งก้ามกรามเพิ่มมากขึ้นเพื่อทดแทนปริมาณกุ้งก้ามกรามจากธรรมชาติที่ผลผลิตลดน้อยลง ปัญหาที่ผ่านมามีเกษตรกรผู้ประกอบการเลี้ยงกุ้งก้ามกรามในพื้นที่จังหวัดกาฬสินธุ์ประสบปัญหาการส่งน้ำผ่านคลองชลประทานไม่ต่อเนื่อง บ่อเลี้ยงกุ้งก้ามกรามของเกษตรกรส่วนใหญ่ค่อนข้างตื้นประมาณ 80 เซนติเมตร เทคนิคการตากบ่อและลอกเลนกันบ่อไม่เหมาะสม การปล่อยลูกกุ้งก้ามกรามเลี้ยงในอัตราที่หนาแน่น ไม่มีการนำเครื่องตีน้ำมาใช้ในการเพิ่มปริมาณออกซิเจนและไม่มีบ่อพักน้ำ (Kalasin Provincial Fisheries Office, 2023) เกษตรกรผู้เลี้ยงกุ้งก้ามกรามมีการนำวัตกรรมการเลี้ยงกุ้งก้ามกรามในโรงโอบีที่คัดแยกได้จากพื้นดินไปใช้ในการเลี้ยงกุ้งก้ามกรามเพื่อเร่งการย่อยโปรตีน ลดระยะเวลาในการย่อย เพิ่มอัตราการเจริญเติบโต และสามารถเพิ่มผลผลิตการเลี้ยงกุ้งก้ามกรามได้ จากรายงานของ Petjul et al. (2018) ได้กล่าวว่าในการทำธุรกิจของผู้ประกอบการที่เลี้ยงกุ้งก้ามกรามมีการขยายตัวอย่างรวดเร็ว เนื่องจากเป็นอาหารโปรตีนที่มีไขมันน้อยกว่าเนื้อสัตว์ (Popnaja, n.d.) ความต้องการของผู้บริโภค กุ้งก้ามกรามจึงมีจำนวนเพิ่มขึ้น เป็นที่ต้องการของตลาดทั้งในและต่างประเทศ สามารถนำมาประกอบอาหารได้หลากหลายชนิด จึงทำให้มีผู้สนใจประกอบอาชีพเลี้ยงกุ้งชนิดนี้กันอย่างแพร่หลาย จนกลายเป็นอาชีพหนึ่งที่สร้างรายได้ให้กับเกษตรกรอย่างมากมาย

การศึกษาในครั้งนี้เป็นการสำรวจสถานการณ์ผู้ประกอบการเลี้ยงกุ้งก้ามกรามในพื้นที่จังหวัดกาฬสินธุ์ โดยจะมีการศึกษาข้อมูลทั่วไปของเกษตรกร วิธีการบริหารจัดการฟาร์ม การเก็บเกี่ยวผลผลิต การตลาด และปัญหาของการเลี้ยงกุ้งก้ามกราม เพื่อจะได้นำมาใช้ประโยชน์เป็นข้อมูลพื้นฐานในการพัฒนาธุรกิจผู้ประกอบการเลี้ยงกุ้งก้ามกรามในจังหวัดกาฬสินธุ์

อุปกรณ์และวิธีการวิจัย

ประชากรและกลุ่มตัวอย่าง

ประชากรที่ทำการศึกษาในครั้งนี้ เป็นกลุ่มเกษตรกรผู้เลี้ยงกุ้งก้ามกรามในจังหวัดกาฬสินธุ์ จำนวน 7 อำเภอ ได้แก่ อำเภอยางตลาด อำเภอเมืองกาฬสินธุ์ อำเภอห้วยเม็ก อำเภอหนองกุงศรี อำเภอกมลาไสย อำเภอดงคำมั่ง และอำเภอเขาวง (Figure 1) จำนวน 1,141 ราย และผู้วิจัยคำนวณขนาดของกลุ่มตัวอย่างจากสูตรการคำนวณของ Yamane (1967) โดยใช้ความคลาดเคลื่อน 0.05 ได้กลุ่มตัวอย่างเกษตรกรผู้เลี้ยงกุ้งก้ามกราม จำนวนไม่น้อยกว่า 296 ราย แต่จากงานวิจัยเพื่อให้ได้ข้อมูลที่มีความน่าเชื่อถือมากขึ้นและลดความคลาดเคลื่อน จึงได้เก็บรวบรวมข้อมูลผู้ประกอบการเลี้ยงกุ้งก้ามกรามในจังหวัดกาฬสินธุ์ทั้งสิ้น 430 ราย

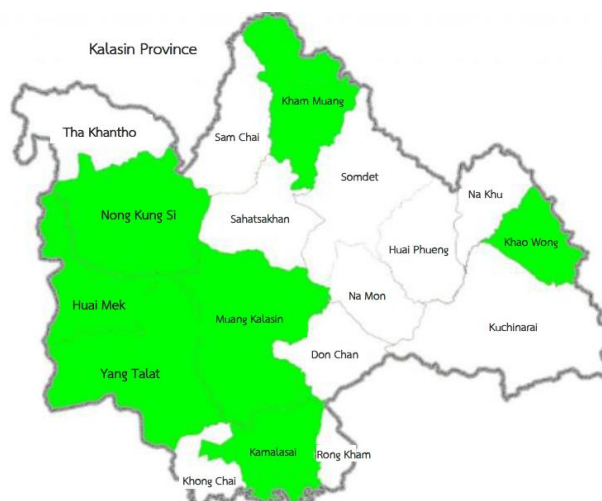


Figure 1 The survey area collected data of prawn farmers in Kalasin Province.

Source: Regional Office of Agricultural Economics (n.d.).

เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

เครื่องมือวิจัยครั้งนี้ คือ สัมภาษณ์โดยแบ่งออกเป็น 4 ส่วน ดังนี้ ส่วนที่ 1 ข้อมูลทั่วไปของเกษตรกรผู้เลี้ยงกุ้งก้ามกราม ส่วนที่ 2 การเลี้ยงและการจัดการฟาร์มกุ้งก้ามกราม ส่วนที่ 3 ผลผลิตและการจำหน่ายกุ้งก้ามกราม และ ส่วนที่ 4 ปัญหาหรือผลกระทบที่มีผลต่อการเลี้ยงกุ้งก้ามกราม ดำเนินการระหว่างเดือนกันยายน พ.ศ. 2566

เดือนธันวาคม พ.ศ. 2566

การตรวจสอบเครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

ผู้วิจัยดำเนินการตรวจสอบคุณภาพของเครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย ดังนี้

1 การตรวจสอบความเที่ยงตรงของเนื้อหา (Content Validity) โดยการนำแบบสอบถามเสนอต่อผู้ทรงคุณวุฒิ รวม 3 ท่าน

เพื่อตรวจสอบความถูกต้องและความสมบูรณ์ตามองค์ประกอบที่กำหนด ดังนั้น ผู้วิจัยจะคัดเลือกข้อคำถามที่มีค่าดัชนี IOC (Index of item objective congruence) ตั้งแต่ 0.50 ขึ้นไป หากข้อคำถามใดมีค่าไม่ถึงเกณฑ์ 0.50 แต่มีความจำเป็นที่จะต้องใช้ข้อคำถามนั้นเพื่อให้ครอบคลุมสิ่งที่ต้องการวัด จะนำข้อคำถามนั้นไปปรับปรุงแก้ไขอีกครั้งตามคำแนะนำของผู้ทรงคุณวุฒิ จากแบบสอบถามได้ค่า IOC มากกว่าหรือเท่ากับ 0.50 (Phasunon, 2012)

2 การวิเคราะห์ความเชื่อมั่น (Reliability) กำหนดให้มีการทดสอบความเชื่อมั่น โดยนำแบบสอบถามที่ได้ปรับปรุงแก้ไขแล้วไปทดสอบความเชื่อมั่น 30 ชุด แล้วนำไปวิเคราะห์หาค่าความเชื่อมั่นของแบบสอบถาม โดยใช้ค่าสัมประสิทธิ์แอลฟา (α -Coefficient) ของครอนบาช (Cronbach) มีค่ามากกว่า 0.70 (Srisa-ard, 2002)

การเก็บรวบรวมข้อมูล

การใช้แบบสัมภาษณ์ ผู้วิจัยจะรวบรวมข้อมูลและเป็นผู้สัมภาษณ์กลุ่มตัวอย่างที่ถูกคัดเลือกไว้ด้วยตัวเอง และบันทึกข้อมูลที่ได้จากการสัมภาษณ์

การวิเคราะห์ข้อมูล

การศึกษาในครั้งนี้เมื่อได้รวบรวมข้อมูลจากการสัมภาษณ์เรียบร้อยแล้ว จะนำข้อมูลทั้งหมดมาทำการวิเคราะห์สถิติเชิงพรรณนา (Descriptive statistics) โดยใช้สถิติพื้นฐานในการวิจัย ได้แก่ ร้อยละ ค่าเฉลี่ย และ ค่าสูงสุดและค่าต่ำสุด เป็นการนำข้อมูลปฐมภูมิที่ได้จากการสัมภาษณ์เกษตรกรผู้เลี้ยงกุ้งก้ามกรามาทำการวิเคราะห์ผล

ผลและวิจารณ์ผลการวิจัย

ข้อมูลทั่วไปเกษตรกรผู้เลี้ยงกุ้งก้ามกราม

จากการลงพื้นที่งานวิจัยทางคณะผู้วิจัยได้ทำการสำรวจพื้นที่ในการเลี้ยงกุ้งก้ามกรามในจังหวัดกาฬสินธุ์ จากการศึกษ พบว่าในปัจจุบันจังหวัดกาฬสินธุ์มีพื้นที่การเลี้ยงกุ้งก้ามกรามทั้งหมด จำนวน 7 อำเภอ มีพื้นที่ในการเลี้ยงกุ้งก้ามกรามรวมทั้งหมด 7,630 ไร่ มีบ่อเลี้ยงกุ้งก้ามกรามทั้งสิ้น จำนวน 4,908 บ่อ และมีเกษตรกรผู้เลี้ยงกุ้งก้ามกรามทั้งสิ้น จำนวน 1,141 ราย (Table 1)

Table 1 Area and number of businesses of prawn farmers in Kalasin Province

District	Number of farmers (person)	Number of ponds (Ponds)	Farming area (rai)
Yangtalad	832	3,339	5,349
Huai Mek	137	710	1,109
Mueang Kalasin	128	614	839
Nong Kung Sri	36	204	283
Kamalasai	4	16	22
Kham Muang	2	15	15
Khao Wong	2	10	13
Total	1,141	4,908	7,630

ผลการศึกษาข้อมูลทั่วไปของเกษตรกรผู้เลี้ยงกุ้งก้ามกรามในจังหวัดกาฬสินธุ์ พบว่าเกษตรกรผู้เลี้ยงกุ้งก้ามกราม ส่วนใหญ่เป็นเพศชาย คิดเป็นร้อยละ 50.24 สอดคล้องกับงานวิจัยของ Ruttanakorn et al. (2023) ที่พบว่าเกษตรกรผู้เลี้ยงกุ้งก้ามกรามเป็นเพศชายสูง คิดเป็นร้อยละ 62.16 และเกษตรกรผู้เลี้ยงกุ้งก้ามกรามในพื้นที่จังหวัดกาฬสินธุ์ จะมีอายุเฉลี่ยมากกว่า 50 ปีขึ้นไป คิดเป็นร้อยละ 62.79 (Table 2) ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Laorit & Pongchompu (2020) ที่พบว่า ข้อมูลพื้นฐานของเกษตรกรผู้เลี้ยงกุ้งก้ามกราม

กลุ่มบัวบาน1 ตำบลบัวบาน อำเภอยางตลาด จังหวัดกาฬสินธุ์ มีอายุเฉลี่ย 56.70 ปี ส่วนการศึกษาอยู่ในระดับประถมศึกษา คิดเป็นร้อยละ 52.79 ด้านประสบการณ์ในการเลี้ยงกุ้งก้ามกรามส่วนใหญ่มีประสบการณ์ในอาชีพการเลี้ยงกุ้งก้ามกรามนานมากกว่า 10 ปี คิดเป็นร้อยละ 70 (Table 2) และจะพบว่าจำนวนผู้เลี้ยงกุ้งก้ามกรามเพิ่มมากขึ้นทุก ๆ ปี สอดคล้องกับงานวิจัยของ Ruttanakorn et al. (2023) ที่พบว่า ส่วนใหญ่มีประสบการณ์เลี้ยงกุ้งก้ามกราม 10 ปีขึ้นไป คิดเป็นร้อยละ 45.95

Table 2 General information for prawn farmers in Kalasin Province

Characteristics	Number of farmers (person)	%
Gender		
- male	216	50.24
- female	214	49.76
Age		
- ≤ 30 years	8	1.86
- 31-40 years	25	5.81
- 41-50 years	127	29.54
- ≥ 51 years	270	62.79
Education		
- primary school	227	52.79
- secondary school	191	44.41
- bachelor's degree	12	2.79
Experience		
- 1-2 years	11	2.55
- 3-5 years	47	10.93
- 6-10 years	71	16.51
- > 11 years	301	70.00

การเลี้ยงและการจัดการฟาร์ม

ผลการศึกษาการเลี้ยงและการจัดการฟาร์มผู้เลี้ยงกุ้งก้ามกรามในจังหวัดกาฬสินธุ์ พบว่าเกษตรกรส่วนใหญ่สนใจเลี้ยงกุ้งก้ามกรามด้วยตนเอง คิดเป็นร้อยละ 54.41 (Table 3) เนื่องจากการเลี้ยงกุ้งก้ามกรามเป็นอาชีพที่ทำรายได้สูง และสามารถจับขายได้ปีละ 2 ครั้ง จึงทำให้เกษตรกรสนใจที่จะเลี้ยงกุ้งก้ามกรามเพิ่มเป็นจำนวนที่มากขึ้น และมีการขายพื้นที่การเลี้ยงออกไป โดยเกษตรกรจะหาองค์ความรู้ในการเลี้ยงกุ้งก้ามกรามด้วยตนเอง การศึกษาจากเพื่อนบ้านที่เลี้ยงอยู่ก่อนแล้ว หรือการเข้ารับการอบรมจากหน่วยงานราชการและเอกชน จากการลงพื้นที่สำรวจจะพบว่า เกษตรกรผู้เลี้ยงกุ้งก้ามกรามส่วนใหญ่จะเป็นเจ้าของที่ดินเอง คิดเป็นร้อยละ 98.13 (Table 3) ซึ่งสอดคล้อง

กับงานวิจัยของ Laorit & Pongchompu (2020) ที่พบว่า เกษตรกรผู้เลี้ยงกุ้งก้ามกรามกลุ่มบัวบาน 1 ตำบลบัวบาน อำเภอยางตลาด จังหวัดกาฬสินธุ์ มีกรรมสิทธิ์ที่ดินเป็นของตนเอง คิดเป็นร้อยละ 80 โดยเกษตรกรผู้เลี้ยงกุ้งก้ามกรามจะปรับพื้นที่จากการทำนาข้าวเดิมมาเป็นการขุดบ่อเลี้ยงกุ้งก้ามกราม ซึ่งผลเสียจากการปรับพื้นที่นาข้าวมาเป็นบ่อเลี้ยงกุ้งก้ามกรามทำให้บ่อเลี้ยงกุ้งก้ามกรามในพื้นที่จังหวัดกาฬสินธุ์มีความลึกน้อยมาก ซึ่งส่วนใหญ่จะลึกเพียง 100-120 เซนติเมตร ทำให้บ่อเลี้ยงกุ้งก้ามกรามขึ้นเงินเร็วและในช่วงหน้าแล้งน้ำจะแห้งไว มีพื้นที่เก็บน้ำน้อยทำให้น้ำมีอุณหภูมิสูงในเวลากลางวันช่วงฤดูร้อนซึ่งจะมีผลต่ออัตราการเจริญเติบโตและอัตราการตายของกุ้งก้ามกรามที่เลี้ยงในบ่อ

Table 3 Reasons for raising and land ownership for prawn farmers in Kalasin Province

Characteristics	Number of farmers (person)	%
Reasons for farming		
- by yourself	234	54.41
- according for neighbors	171	39.76
- Family occupation	24	5.58
- good income	1	0.23
Land ownership		
- owner	422	98.13
- rent	8	1.86

ผลการศึกษาการเลี้ยงและการจัดการฟาร์มผู้เลี้ยงกุ้งก้ามกรามในจังหวัดกาฬสินธุ์ พบว่า เกษตรกรผู้เลี้ยงกุ้งก้ามกรามในจังหวัดกาฬสินธุ์จะมีพื้นที่ขนาดของฟาร์ม 1-10 ไร่ คิดเป็นร้อยละ 85.11 และจะไม่นิยมทำบ่อพักน้ำหรือบ่อเก็บน้ำไว้ใช้ภายในฟาร์ม สอดคล้องกับงานวิจัยของ

Ruttanakom et al. (2023) ที่รายงานว่าเกษตรกรผู้เลี้ยงกุ้งก้ามกรามขนาดพื้นที่ฟาร์ม 1-10 ไร่ สูงถึง คิดเป็นร้อยละ 91.12 และจากการศึกษาพบว่า แหล่งน้ำที่นำมาใช้ภายในฟาร์ม ส่วนใหญ่มาจากแหล่งน้ำจากคลองชลประทาน คิดเป็นร้อยละ 72.79 (Table 4)

Table 4 Size and water sources for prawn farmers in Kalasin Province

Characteristics	Number of farmers (person)	%
Size of farm		
- 1 - 10 rai	366	85.11
- 11 - 20 rai	59	13.72
- 21 - 30 rai	5	1.16
Water sources		
- river	1	0.23
- dam	112	26.04
- reservoir	4	0.93
- Irrigation	313	72.79

จากการศึกษาระบบการเลี้ยงกุ้งก้ามกราม พบว่าเกษตรกรผู้เลี้ยงกุ้งก้ามกรามในพื้นที่จังหวัดกาฬสินธุ์ มีการเลี้ยงกุ้งก้ามกรามแบบกึ่งพัฒนาเป็นส่วนใหญ่ คิดเป็นร้อยละ 57.67 รองลงมาเป็นการเลี้ยงกุ้งก้ามกรามแบบดั้งเดิม คิดเป็นร้อยละ 41.62 โดยจะพบว่าเกษตรกรมีการนำเครื่องต้นน้ำมาใช้ภายในฟาร์ม มีการให้อาหารเม็ดสำเร็จรูป การให้อาหารเป็นเวลา และมีการตรวจสอบคุณภาพน้ำบ้างในบางครั้ง แต่ยังคงขาดข้อมูลในการจดบันทึกรายงานประจำวัน ขาดการปรับปริมาณอาหารที่ให้แก่แต่ละเดือนของการเลี้ยง และเกษตรกรไม่ได้ให้อาหารกุ้งก้ามกรามตามเบอร์ของขนาดกุ้ง จึงทำให้มีรูปแบบการเลี้ยงแบบพัฒนาจำนวนน้อยมาก โดยพบว่ามีเกษตรกรเลี้ยงกุ้งก้ามกรามแบบพัฒนา คิดเป็นร้อยละ 0.69 (Table 5) ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Ruttanakorn et al. (2023) ที่รายงานว่าเกษตรกรผู้เลี้ยงกุ้งก้ามกรามมีรูปแบบการเลี้ยง กุ้งก้ามกรามแบบกึ่งพัฒนา คิดเป็นร้อยละ

74.52 และมีการเลี้ยงกุ้งก้ามกรามแบบดั้งเดิม คิดเป็นร้อยละ 25.48 แต่ไม่พบเกษตรกรเลี้ยงกุ้งก้ามกรามแบบพัฒนา เกษตรกรผู้เลี้ยงกุ้งก้ามกรามในพื้นที่จังหวัดกาฬสินธุ์จะปล่อยลูกกุ้งก้ามกรามในระยะเวลาหลังจากอนุบาลแล้วเป็นเวลา 60 วัน โดยจะปล่อยลูกกุ้งก้ามกรามในอัตรา 5,000–10,000 ตัวต่อไร่ คิดเป็นร้อยละ 45.58 ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Ruttanakorn et al. (2023) ที่รายงานว่าเกษตรกรผู้เลี้ยงกุ้งก้ามกรามส่วนใหญ่ปล่อยลูกกุ้งก้ามกรามในอัตรา 5,000–10,000 ตัวต่อไร่ คิดเป็นร้อยละ 50.97 และจากการศึกษาในด้านแหล่งลูกพันธุ์กุ้งก้ามกรามที่นำมาเลี้ยง ส่วนใหญ่จะนำลูกกุ้งก้ามกรามมาจากจังหวัดฉะเชิงเทรา คิดเป็นร้อยละ 61.39 เกษตรกรให้ความเห็นว่าสาเหตุที่ซื้อพันธุ์กุ้งจากพื้นที่นี้ เพราะลูกกุ้งมีความแข็งแรง อัตราการรอดตายสูง โดยลูกกุ้งก้ามกรามที่ซื้อมามีราคา 0.30 บาทต่อตัว คิดเป็นร้อยละ 96.97 (Table 5)

Table 5 Raising and managing for prawn farmers in Kalasin Province

Characteristics	Number of farmers (person)	%
Prawn farming model		
- traditional	179	41.62
- semi-intensive	248	57.67
- intensive	3	0.69
Releasing rate (prawn/rai)		
- 5,000 – 10,000	172	40.00
- 10,000 – 20,000	196	45.58
- 20,000 – 30,000	62	14.41
Source of baby prawns		
- Suphanburi	105	24.41
- Chachoengsao	264	61.39
- Phetchaburi	61	14.18
Price of baby prawns (bath/prawn)		
- 0.30	417	96.97
- >0.30	13	3.03

เกษตรกรมีการตรวจวัดคุณภาพน้ำก่อนปล่อยลูกกุ้งก้ามกราม คิดเป็นร้อยละ 53.95 โดยเกษตรกรผู้เลี้ยงกุ้งก้ามกรามในจังหวัดกาฬสินธุ์ส่วนใหญ่ คิดเป็นร้อยละ 84.65 ไม่มีบ่อพักน้ำภายในฟาร์ม

(Table 6) จากการสอบถามเกษตรกรผู้เลี้ยงกุ้งก้ามกราม เนื่องจากมีพื้นที่จำกัดมีขนาดเล็ก และฟาร์มของเกษตรกรอยู่ติดกับคลองชลประทาน จึงสะดวกต่อการใช้น้ำ หรือนำน้ำเข้าในฟาร์ม สอดคล้อง

กับงานวิจัยของ Ruttanakorn et al. (2023) ที่พบว่า เกษตรกรผู้เลี้ยง กุ้งก้ามกรามในจังหวัดกาฬสินธุ์ คิดเป็นร้อยละ 80.69 ไม่มีบ่อเตรียม น้ำก่อนเข้าสู่บ่อเลี้ยงและไม่มีบ่อกักน้ำทั้งในฟาร์ม และเกษตรกรผู้ เลี้ยงกุ้งก้ามกราม มีการใช้อาหารสำเร็จรูปทุกราย และใช้อาหารเสริม คิดเป็นร้อยละ 77.44 (Table 6) เพื่อให้กุ้งก้ามกรามกินอาหารได้เพิ่ม

มากขึ้น ปรับสภาพน้ำ และเพิ่มระบบภูมิคุ้มกันให้กับกุ้งก้ามกรามใน บ่อเลี้ยง สอดคล้องกับงานวิจัยของ Petjul et al. (2018) ที่นำ จุลินทรีย์โปรไบโอติกจากการคัดเลือกในบ่อเลี้ยงกุ้งก้ามกรามในพื้นที่ ที่มาใช้ประโยชน์ในการเลี้ยงกุ้งก้ามกราม

Table 6 Water measurement and supplements food for prawn farmers in Kalasin Province

Characteristics	Number of farmers (person)	%
Water quality measurement		
- no	198	46.04
- yes	232	53.95
Artificial feed		
- no	0	0
- yes	430	100
Water storage pond		
- no	364	84.65
- yes	66	13.34
Use nutritional supplements		
- no	97	22.55
- yes	333	77.44

ผลผลิตและการจำหน่ายกุ้งก้ามกราม

ผลการศึกษาการผลิตและการจำหน่ายกุ้งก้ามกรามใน จังหวัดกาฬสินธุ์ พบว่า ผลผลิตกุ้งก้ามกรามส่วนใหญ่ที่จำหน่ายจะมี ขนาด 21–25 ตัวต่อกิโลกรัม คิดเป็นร้อยละ 55.34 โดยมีราคา จำหน่าย 250 บาทต่อกิโลกรัม คิดเป็นร้อยละ 99 (Table 7) วิธีการ ทางการตลาดผลผลิตกุ้งก้ามกรามในพื้นที่จังหวัดกาฬสินธุ์ โดยส่วนใหญ่จะจำหน่ายให้กับพ่อค้าคนกลางมารับซื้อจากหน้าฟาร์ม คิดเป็น ร้อยละ 79.53 (Table 7) ซึ่งเกษตรกรจะจำหน่ายให้กับพ่อค้าคนกลาง ในพื้นที่เพราะสะดวกต่อการหาตลาดจำหน่าย โดยพ่อค้าคนกลางจะใช้ รถกระบะติดถังน้ำเพื่อใส่กุ้งก้ามกรามสดและติดถังออกซิเจนด้านท้าย

รถเพื่อสะดวกในการขนส่งไปจำหน่ายให้กับลูกค้าทั้งในจังหวัดและ ต่างจังหวัด โดยพ่อค้าคนกลางจะเข้ามารับซื้อที่ปากบ่อของเกษตรกร ในพื้นที่ สอดคล้องกับงานวิจัยของ Na-Nakorn & Jintasataporn (2012) ได้ทำการศึกษาสถานะปัจจุบันและแนวโน้มการทำฟาร์มกุ้ง ก้ามกราม (*Macrobrachium rosenbergii* de Man) ในประเทศไทย จำหน่ายให้กับผู้บริโภคในท้องถิ่นไม่ได้ส่งออกต่างประเทศ และ สอดคล้องกับงานวิจัยของ Rangklin et al. (2022) ที่พบว่า การจำหน่ายกุ้งก้ามกรามมีความสัมพันธ์ข้อตกลงระหว่างผู้เลี้ยงและ พ่อค้าคนกลาง ซึ่งส่วนใหญ่จะเป็นสัญญาที่เกิดขึ้นจากการพูดคุยที่ไม่มี ภาระผูกพันทางกฎหมายอย่างเป็นทางการ

Table 7 Marketing of prawn production in Kalasin Province

Characteristics	Number of farmers (person)	%
Prawn production (prawns /kg)		
- 11-15	8	1.86
- 16-20	148	34.41
- 21-25	238	55.34
- 26-30	36	8.37
Price (baht/kg)		
- 200-250	427	99.00
- 251-300	3	0.69
Marketing channels		
- by middlemen	342	79.53
- by themselves	9	2.09
- both middlemen and themselves	79	18.37

ปัญหาหรือผลกระทบที่มีผลต่อการเลี้ยงกุ้งก้ามกราม

ปัญหาหรือผลกระทบที่มีผลต่อการเลี้ยงกุ้งก้ามกราม เกิดโรคระบาดในการเลี้ยง คิดเป็นร้อยละ 63.25 สอดคล้องกับงานของ Pakdeenarong (2015) รายงานว่า ปัจจัยที่สำคัญในการเพาะเลี้ยงกุ้งก้ามกรามในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ได้แก่ ด้านแหล่งน้ำ ด้านการขนส่งและสถานะเศรษฐกิจ ด้านโรคระบาด และควรส่งเสริมให้มีการใช้จุลินทรีย์เพื่อการสร้างสมดุลสิ่งแวดล้อม เพื่อจัดการของเสียที่เกิดขึ้น

ภายในบ่อ และปัญหาที่พบของกลุ่มผู้เลี้ยงกุ้งก้ามกรามในพื้นที่จังหวัดกาฬสินธุ์ ได้รับผลกระทบจากราคาอาหารที่สูงขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Laorit & Pongchompu (2020) ได้พบปัญหาการผลิตกุ้งก้ามกรามของเกษตรกร ได้แก่ ค่าอาหารแพงขึ้น และจากการศึกษาพบว่า ปัญหาผลกระทบจากการตลาดมีน้อยมาก คิดเป็นร้อยละ 8.13 ซึ่งเกษตรกรผู้เลี้ยงกุ้งก้ามกรามในจังหวัดกาฬสินธุ์จะไม่ค่อยพบปัญหาด้านการตลาด และการจำหน่ายสินค้ากุ้งก้ามกรามไม่ได้ (Table 8)

Table 8 The problems for prawn farmers in Kalasin Province

Characteristics	Number of farmers (person)	%
Disease		
- no	158	36.74
- yes	272	63.25
Marketing		
- no	395	91.86
- yes	35	8.13
Feed prices		
- yes	430	100

เกษตรกรผู้เลี้ยงกุ้งก้ามกรามในจังหวัดกาฬสินธุ์ พบปัญหาทางด้านคุณภาพน้ำ คิดเป็นร้อยละ 66.97 (Table 9) โดยจะพบปัญหาน้ำเสียจากน้ำที่ได้รับมาจากเขื่อนลำปาวซึ่งมีการเลี้ยงปลาในกระชังเป็นจำนวนมาก ทำให้น้ำมีคุณภาพน้ำที่ได้รับมาไม่ค่อยเหมาะสมต่อการเลี้ยงกุ้งก้ามกราม สอดคล้องกับงานวิจัยของ Wangkhamhan et al. (2020) พบว่าฟาร์มเลี้ยงกุ้งก้ามกราม บ้านตูม ตำบลบัวบาน อำเภอยางตลาด จังหวัดกาฬสินธุ์ พบว่า น้ำมีค่าความเป็นกรด-ด่างระหว่าง 9.26 - 9.94 มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 9.42 ± 0.05 โดยทั้ง 3 ฟาร์มมีค่าความเป็นกรด-ด่าง ไม่แตกต่างกันทางสถิติ ที่ระดับ 0.05 อาจจะมีผลกระทบกับการลอกคราบของกุ้งก้ามกราม และจากการศึกษา

ปริมาณน้ำที่นำมาใช้ในการเลี้ยง พบว่าเกษตรกรผู้เลี้ยงกุ้งก้ามกรามส่วนใหญ่มีปัญหาในเรื่องการขาดแคลนน้ำ คิดเป็นร้อยละ 52.32 ซึ่งจะพบปัญหาการขาดแคลนน้ำในฤดูแล้งหรือฤดูกาลปี ดน้ำมีผลทำให้เกษตรกรเกิดการขาดแคลนน้ำในการเลี้ยงหรือการเปลี่ยนถ่ายน้ำในการเลี้ยงกุ้งก้ามกราม (Table 9) สอดคล้องกับงานวิจัยของ Ruttanakorn et al. (2023) ที่พบว่า เกษตรกรผู้เลี้ยงกุ้งก้ามกรามในจังหวัดกาฬสินธุ์มีปัญหาเกี่ยวกับปริมาณน้ำใหม่มีไม่เพียงพอต่อการเปลี่ยนถ่ายน้ำในบ่อเลี้ยง ค่าเฉลี่ย 3.67 ± 1.32 และปัญหาน้ำไม่เพียงพอต่อการเลี้ยง ซึ่งส่วนใหญ่จะเกิดขึ้นในฤดูแล้งหรือที่ต้งของฟาร์มเกษตรกรอยู่บริเวณปลายน้ำ

Table 9 The water quality and water shortage of prawn production in Kalasin Province

Characteristics	Number of farmers (person)	%
Water quality		
- no	142	33.02
- yes	288	66.97
Water shortage		
- no	205	47.67
- yes	225	52.32

สรุปผลการวิจัย

จากการสำรวจข้อมูลของผู้ประกอบการเลี้ยงกุ้งก้ามกรามในจังหวัดกาฬสินธุ์ พบว่า ปัจจุบันมีผู้เลี้ยงกุ้งก้ามกรามทั้งหมด จำนวน 7 อำเภอ ได้แก่ ยางตลาด เมืองกาฬสินธุ์ ห้วยเม็ก หนองสูงศรีคมลาไสย คำม่วง และเขาวง พื้นที่เลี้ยงกุ้งก้ามกรามในจังหวัดกาฬสินธุ์ทั้งหมด 7,630 ไร่ มีบ่อในเลี้ยงกุ้งก้ามกราม จำนวน 4,908 บ่อ และมี

เกษตรกรผู้เลี้ยงกุ้งก้ามกราม จำนวน 1,141 ราย ประสบการณ์ในการเลี้ยง กุ้งก้ามกรามมากกว่า 10 ปี ส่วนใหญ่เกษตรกรนำลูกกุ้งก้ามกรามมาจาก จังหวัดฉะเชิงเทรา จังหวัดสุพรรณบุรี และจังหวัดเพชรบุรี โดยพื้นที่ฟาร์มของเกษตรกรส่วนใหญ่จะอยู่ใกล้กับแหล่งน้ำ เช่น เขื่อนลำปาว หรือคลองชลประทาน ซึ่งสะดวกต่อการใช้น้ำในการจัดการภายในฟาร์มระหว่างเลี้ยง ในส่วนการจำหน่ายผลผลิตกุ้ง

ก้ามกรามในพื้นที่จังหวัดกาฬสินธุ์ ผู้ประกอบการจะจำหน่ายให้กับพ่อค้าคนกลางในพื้นที่มารับซื้อเองจากหน้าฟาร์ม สะดวกต่อการขายหรือการตลาดของเกษตรกร ระยะเวลาในการเลี้ยงนาน 4-5 เดือน ขนาดของกุ้งก้ามกรามที่จำหน่าย 21-25 ตัวต่อกิโลกรัม ราคา 200-250 บาทต่อกิโลกรัม แต่ก็พบกับปัญหาอาหารกุ้งที่มีราคาแพง ส่งผลถึงต้นทุนเพิ่มขึ้นแต่กำไรที่ได้รับน้อยลง และอีกทั้งยังพบปัญหาในช่วงฤดูการปิดน้ำเพื่อให้กับเกษตรกรที่ทำนา ทำการเกี่ยวข้าวในช่วงฤดูการเก็บเกี่ยวผลผลิต ทำให้เกษตรกรผู้เลี้ยงกุ้งก้ามกรามนั้นขาดแคลนน้ำในการเลี้ยง หรือในการเปลี่ยนถ่ายน้ำระหว่างการเลี้ยงกุ้งก้ามกรามไม่เพียงพอ ส่งผลให้คุณภาพน้ำเน่าเสีย และเกิดโรคระบาดในฟาร์มได้ เพราะภายในฟาร์มไม่มีบ่อพักน้ำ เนื่องจากพื้นที่ในแต่ละฟาร์มมีขนาดเล็ก จึงไม่สามารถทำบ่อเตรียมน้ำก่อนเข้าสู่บ่อเลี้ยงหรือบ่อพักน้ำได้ ดังนั้นผู้ทำการศึกษาจึงเสนอแนะข้อคิดเห็นให้กับเกษตรกรผู้เลี้ยงกุ้งก้ามกราม ดังนี้ 1) แนะนำให้ใช้พื้นที่เพื่อจัดทำบ่อพักน้ำและกักเก็บน้ำเพื่อใช้ภายในฟาร์ม 2) ให้มีการตรวจวัดคุณภาพน้ำก่อนปล่อยลูกกุ้งและในระหว่างการเลี้ยงกุ้งก้ามกราม และ 3) แนะนำการให้อาหารเสริมจุลินทรีย์ โปรไบโอติก จะช่วยในการเพิ่มประสิทธิภาพการย่อยอาหาร ช่วยเพิ่มระบบภูมิคุ้มกัน และบำบัดน้ำเสียในบ่อเลี้ยง ซึ่งส่งผลต่ออัตราการเจริญเติบโตและอัตราการรอดตายของกุ้งก้ามกรามที่เลี้ยงในบ่อ และเป็นประโยชน์ต่อการเลี้ยงกุ้งก้ามกรามแบบปลอดภัยอย่างยั่งยืนในอนาคต

กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้วิจัยขอขอบคุณกลุ่มเกษตรกรผู้เลี้ยงกุ้งก้ามกรามในจังหวัดกาฬสินธุ์ทั้ง 7 อำเภอ ที่ให้ความอนุเคราะห์ข้อมูลในการศึกษาวิจัยในครั้งนี้ และขอขอบคุณสาขาวิชาสหวิทยาการเกษตร และสาขาวิชาเทคโนโลยีชีวภาพ คณะเทคโนโลยีการเกษตร มหาวิทยาลัยกาฬสินธุ์ อำเภอเมืองกาฬสินธุ์ จังหวัดกาฬสินธุ์ ที่ให้ความอนุเคราะห์อุปกรณ์ สถานที่ในการศึกษา และอำนวยความสะดวกในทุก ๆ ด้าน ตลอดจนขอขอบพระคุณผู้ทรงคุณวุฒิที่ได้ให้คำแนะนำและตรวจคุณภาพแบบสอบถามเพื่อความสะดวกของข้อมูล จนทำให้การศึกษานี้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

References

Kalasin Provincial Fisheries Office. (2023). Group of giant freshwater prawn farmers in Kalasin Province. Kalasin, Thailand: Kalasin Provincial Fisheries Office. (in Thai)

Laorit, R., & Pongchompu, S. (2020). Production management of giant freshwater prawn business for group farmer base on good aquaculture practice (GAP) in Yangtlat, Kalasin Province. *Journal of MCU Nakhondhat*, 7(6), 17-30. (in Thai)

Nandlal, S., & Pickering, T. (2005). *Freshwater prawn Macrobrachium rosenbergii farming in Pacific Island Countries*. Nouméa, New Caledonia: The University of the South Pacific.

Na-Nakorn, U., & Jintasatporn, O. (2012). Current status & prospects of farming the giant river prawn (*Macrobrachium rosenbergii* De Man) in Thailand. *Aquaculture Research*, 43(7), 1015–1022. doi:10.1111/j.1365-2109.2011.03037.x.

Pakdeenarong, N. (2015). Factors for culturing giant freshwater prawns (*Macrobrachium rosenbergii* de Man) in the northeastern. *Burapha Science Journal*, 20(1), 251-260. (in Thai)

Petjul, K. & Sirisawat, M. (2016). Genetic diversity of giant freshwater prawn (*Macrobrachium rosenbergii* de Man) on farm in Kalasin Province using RAPD-PCR technique. *KKU Science Journal*, 44(2), 331-344. (in Thai)

Petjul, K., Kulvitit, K., Tankrathok, A., & Suebchompoo, P. (2018). A study of probiotic microorganisms from giant freshwater prawn (*Macrobrachium rosenbergii* de Man) pond in Kalasin Province. *Khon Kaen Agriculture Journal*. 46(5), 955-964. (in Thai)

Phasunon, P. (2012). Marketing research. Bangkok, Thailand: Top Publishing company limited. (in Thai)

Popnaja. (n.d.). *Energy and nutrients*. Accessed October 22, 2024. Retrieved from https://www.calforlife.com/th/calories/pork-meat-raw#google_vignette. (in Thai)

Regional Office of Agricultural Economics. (n.d.). *Map of Kalasin Province's districts*. Accessed July 29, 2024. Retrieved from <https://oaezone.oae.go.th/view/13/Area.zone4/TH-TH>. (in Thai)

Rangklin, S., Rattanavichai, W., & Mapanao, R. (2022). Current status of giant freshwater prawn (*Macrobrachium rosenbergii*) farmer (GFPF) in Kalasin Province. *Proceeding of the 14th Rajamangala Surin national conference. "Research and Innovation for SDGS"* (pp. A1-A11). Surin, Thailand: Rajamangala University of Technology Isan, Surin campus. (in Thai)

Ruttanakorn, S., Tubsombat, B., Treeinthong, J., Mongkolvai, P., & Chetawan, K. (2023). The situation and problems of *Macrobrachium rosenbergii* farming in Mueang

- District, Yang Talat District, Kalasin Province. *Khon Kaen Agriculture Journal*, 51(1), 27-36. doi:10.14456/kaj.2023.3 (in Thai)
- Srisa-ard, B. (2002). *Preliminary research* (7th ed.). Bangkok, Thailand: Suviriyasan. (in Thai)
- Wangkhamhan, A. R., Jakkeaw, S., & Utanit, S. (2020). Wastewater quality from shrimp culture in a small farm in Ban Tum Bua Ban Subdistrict, Yang Talat District, Kalasin Province. *Journal of Science and Technology Thonburi University*, 4(1), 39-44. (in Thai)
- Yamane, T. (1967). *Statistics, an Introductory Analysis*. (2nd ed.). New York, United States: Harper and Row.

Research article

The Situation of giant freshwater prawn (*Macrobrachium rosenbergii* de Man) entrepreneurs in Kalasin Province

Nattapon Kanaroon^{1*} Anupong Tankrathok² and Keeravit Petjul¹

¹Department of Interdisciplinary Agriculture, Faculty of Agricultural Technology, Kalasin University, Mueang District, Kalasin Province, 46000 Thailand

²Department of Biotechnology, Faculty of Agricultural Technology, Kalasin University, Mueang District, Kalasin Province, 46000 Thailand

ARTICLE INFO**Article history**

Received: 21 August 2024

Revised: 3 October 2024

Accepted: 12 November 2024

Online published: 2 December 2024

Keyword

giant freshwater prawn
prawn farming farmers
prawn marketing

ABSTRACT

Giant freshwater prawns (*Macrobrachium rosenbergii* de Man) are the largest freshwater prawns and are commonly found in natural water sources and farmers' ponds, including those in Kalasin Province, Thailand. This study aimed to assess the status of prawn farming operations in seven districts of Kalasin Province: Yang Talat, Mueang Kalasin, Huai Mek, Nong Kung Si, Kamalasai, Kham Muang, and Khao Wong. Data were collected through questionnaires and interviews with 430 farmers, sampled from a population of 1,141 farmers. The results showed that most farmers were male (50.24 %) and over 50 years old (62.79 %). Most had completed primary education (52.79 %), had over 10 years of farming experience (70 %), and managed farming areas of 1–10 rai per farm (85.11 %). Most farmers sourced juvenile prawns from Chachoengsao Province (61.39 %), Suphanburi Province (24.41 %), and Phetchaburi Province (14.18 %) at a cost of 0.30 baht per prawn (96.97 %). Farmers reported purchasing juvenile prawns from these provinces because of their strength and high survival rates. Most prawn farms used semi-intensive farming methods (57.67 %) with a stocking density of 10,000–20,000 prawns per rai (45.58 %). All farmers used artificial feed (100 %) and relied on irrigation canals for water (72.79 %). For marketing, middlemen typically purchased prawns at the farm at prices ranging from 200 to 250 baht per kilogram (99 %). The prawns sold were primarily sized at 21–25 prawns per kilogram (55.34 %), and the farming cycle lasted 4–5 months. Water shortages were a significant issue for most farmers (52.32 %), particularly during the dry season or when irrigation canals were closed. These shortages affected the farmers' ability to maintain water levels and conduct water changes, posing challenges to prawn farming operations.

*Corresponding author

E-mail address: nattapon11042541@gmail.com (N. Kanaroon)

Online print: 2 December 2024 Copyright © 2024. This is an open access article, production, and hosting by Faculty of Agricultural Technology, Rajabhat Maha Sarakham University. <https://doi.org/10.14456/paj.2024.52>



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

บทความวิจัย

การพัฒนาผลิตภัณฑ์ผงน้ำกล้วยเตี่ยวหมูเลี้ยงเสริมสาหร่ายผักกาดทะเลอบแห้ง

มารศรี จันสี โสมรศม์ กล้ากล่อมจิตร กรวิทย์ สักแกแก้ว และ นันธิดา แดงขาว*

สาขาศิลปการประกอบอาหาร คณะศิลปการประกอบอาหาร วิทยาลัยดุสิตธานี เขตประเวศ กรุงเทพมหานคร ประเทศไทย 10250

ข้อมูลบทความ	บทคัดย่อ
Article history รับ: 27 มิถุนายน 2567 แก้ไข: 16 กันยายน 2567 ตอบรับการตีพิมพ์: 13 พฤศจิกายน 2567 ตีพิมพ์ออนไลน์: 4 ธันวาคม 2567	
คำสำคัญ ผงน้ำกล้วยเตี่ยวหมูเลี้ยง สาหร่ายผักกาดทะเล การทำแห้งแบบโฟมแม่ท ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ	กล้วยเตี่ยวหมูเลี้ยงมีส่วนผสมของเครื่องเทศรวมทั้งสมุนไพรที่มีสรรพคุณหลากหลายส่งผลดีต่อสุขภาพของผู้บริโภค งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อ (1) พัฒนาผลิตภัณฑ์ผงน้ำกล้วยเตี่ยวหมูเลี้ยงเสริมสาหร่ายผักกาดทะเลอบแห้งโดยการทำแห้งแบบโฟมแม่ท (2) ศึกษาผลของการเสริมสาหร่ายผักกาดทะเลอบแห้งต่อคุณสมบัติของผลิตภัณฑ์ จากการประเมินความชอบทางประสาทสัมผัสของน้ำกล้วยเตี่ยวสุตรพื้นฐานด้วยวิธี 9-point Hedonic scale พบว่าสูตรพื้นฐาน SF3 มีคะแนนความชอบโดยรวมมากที่สุดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) นำสูตรพื้นฐาน SF3 มาพัฒนาเป็นผงโดยวิธีการทำแห้งแบบโฟมแม่ท พบว่าการใช้ไข่ขาวเป็นสารที่ทำให้เกิดโฟมปริมาณร้อยละ 6 โดยน้ำหนัก ใช้คาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลสเป็นสารเพิ่มความคงตัวของโฟมปริมาณร้อยละ 1 โดยน้ำหนัก และทำแห้งที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 480 นาที เป็นสภาวะที่เหมาะสมที่สุด ($p<0.05$) จากการประเมินคุณสมบัติทางเคมีกายภาพ จากนั้นศึกษาการประเมินทางประสาทสัมผัสของอัตราส่วนผสมที่เหมาะสมของสาหร่ายผักกาดทะเลอบแห้งต่อผลิตภัณฑ์ผงน้ำกล้วยเตี่ยวหมูเลี้ยงที่ได้รับการยอมรับมากที่สุด พบว่าการเสริมสาหร่ายผักกาดทะเลอบแห้งที่ร้อยละ 1 โดยน้ำหนัก มีคะแนนความชอบโดยรวมมากที่สุด ผลิตภัณฑ์ผงน้ำกล้วยเตี่ยวหมูเลี้ยงและสาหร่ายผักกาดทะเลอบแห้งที่มีปริมาณฟีนอลิกและฟลาโวนอยด์ทั้งหมดที่สกัดได้และมีฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธีการวิเคราะห์ DPPH ABTS และ FRAP จากการตรวจสอบคุณภาพทางจุลินทรีย์ของผลิตภัณฑ์พบว่าอยู่ในเกณฑ์ตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชนผงปรุงรสอาหาร มพช.494/2547 ดังนั้นผลิตภัณฑ์ผงน้ำกล้วยเตี่ยวหมูเลี้ยงที่มีการทำแห้งแบบโฟมแม่ทเสริมสาหร่ายผักกาดทะเลอบแห้ง มีคุณสมบัติทางประสาทสัมผัสที่ดี มีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ และมีความปลอดภัยทางจุลินทรีย์ จึงมีศักยภาพที่จะพัฒนาในอุตสาหกรรมและเชิงพาณิชย์ต่อไป

บทนำ

กล้วยเตี่ยวหมูเลี้ยงเป็นเอกลักษณ์ท้องถิ่นที่มีความสำคัญทางวัฒนธรรมและเศรษฐกิจของภาคตะวันออกของไทยโดยเฉพาะจังหวัดจันทบุรี ความแตกต่างจากกล้วยเตี่ยวทั่วไปคือในน้ำกล้วยเตี่ยวใช้สมุนไพรและเครื่องเทศหลากชนิดมาโขลกผสมกันก่อนใส่ในน้ำต้มกระดูก ซึ่งน้ำกล้วยเตี่ยวหมูเลี้ยงทำให้หลายสูตรเนื่องจากใส่สมุนไพรและเครื่องเทศที่แตกต่างกันตามที่มีในพื้นที่นั้น แต่มีเอกลักษณ์เฉพาะของกล้วยเตี่ยวหมูเลี้ยงที่เหมือนกันคือการเติมสมุนไพรชื่อเร่งเป็นส่วนผสม ซึ่งเร่งเป็นพืชในวงศ์ *Zingiberaceae* และเร่งหอมมีชื่อวิทยาศาสตร์ว่า *Etlingera punicea* (Roxb.) R.M. Smith จะให้กลิ่นหอมเย็นเฉพาะตัว มีรสเผ็ดร้อน (Thai Synchrotron National Lab, 2019) มีรายงานวิจัยพบว่าเร่งหอมมีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระและช่วยบรรเทาอาการทางระบบทางเดินอาหาร เช่น ช่วยขับลม

ช่วยเรื่องอาการท้องอืดเพื่อ จุกเสียด (Chinnasarn et al., 2019) ซึ่งส่งผลดีต่อสุขภาพของผู้บริโภค ในขณะที่สาหร่ายสีเขียวเป็นสาหร่ายที่นิยมรับประทานเนื่องจากโภชนาการสูงอย่างสาหร่ายผักกาดทะเล (*Ulva rigida*) ที่ได้นำมาใช้ประโยชน์อย่างมากในอุตสาหกรรมอาหาร โดยพบว่าสาหร่ายชนิดนี้มีคุณค่าทางโภชนาการและสารอาหารที่เป็นประโยชน์แก่ผู้บริโภค เช่น คาร์โบไฮเดรต กากใย และมีโปรตีนที่สูงเมื่อเทียบกับผลิตภัณฑ์จากเนื้อสัตว์ ในขณะที่มีไขมันต่ำ จึงจัดเป็นแหล่งของโปรตีนทางเลือกที่ดีและส่งผลดีต่อสุขภาพ (De Padua et al., 2004) ทั้งยังมีสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพค่อนข้างสูง ได้แก่ สารประกอบฟีนอลิก แคโรทีนอยด์ สารฟลาโวนอยด์ วิตามินอี และวิตามินซีที่มีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ (Yildiz et al., 2012; Mezghani et al., 2016) ประกอบกับปัจจุบันผู้บริโภคมีภาวะความเร่งรีบ และไม่สะดวกในการเตรียมอาหารด้วยตนเอง

*Corresponding author

E-mail address: Nantida.da@dtc.ac.th (N. Dangkhaw)

Online print: 4 December 2024 Copyright © 2024. This is an open access article, production, and hosting by Faculty of Agricultural Technology, Rajabhat Maha Sarakham University. <https://doi.org/10.14456/paj.2024.53>

จึงมีความต้องการอาหารที่สะดวก รวดเร็ว แต่ยังคงคุณค่าทางโภชนาการและส่งผลดีต่อสุขภาพ ในขณะที่ประเทศไทยอาหารผงหรือเครื่องปรุงรสพร้อมปรุงมีความต้องการเพิ่มขึ้นอย่างมาก เนื่องจากการขยายตัวของตลาดที่เพิ่มสูงขึ้นอย่างรวดเร็วเพื่อตอบสนองความต้องการของผู้บริโภค (Poonnakasem et al., 2015; Munlum & Jungsi, 2024) ผลิตภัณฑ์อาหารแบบผงจึงถูกนำมาใช้ในการประกอบอาหาร เพราะมีความสะดวกและรวดเร็ว

การทำแห้งแบบโฟมเมท (Foam-mat drying) เป็นวิธีที่ถูกนำมาใช้ในอุตสาหกรรมอาหารเนื่องจากเป็นวิธีที่ง่ายและสะดวกในการกำจัดน้ำออกจากอาหาร ตลอดจนยังช่วยรักษาคุณค่าทางโภชนาการและคุณสมบัติทางประสาทสัมผัสของอาหารได้ดีกว่าวิธีการทำแห้งแบบวิธีอื่นทั่วไป (Sangamithra et al., 2015) โดยหลักการการทำแห้งคือต้องทำให้อาหารเหลวหรืออาหารกึ่งเหลวที่ต้องการทำแห้งมีลักษณะเป็นโฟมที่คงตัวในระหว่างการทำแห้ง การเกิดเป็นโฟมทำได้โดยการนำมาตีเพื่อเติมอากาศเข้าไปในอาหารบางชนิด เช่น นํ้านม ไข่ขาวมีองค์ประกอบของโปรตีนและสารโมโนกลีเซอไรด์ ซึ่งมีสมบัติทำให้เกิดโฟมและรักษาโฟมให้คงตัว แต่อาหารบางชนิดต้องใช้สารที่ทำให้เกิดโฟม ซึ่งเป็นโปรตีนที่มีสมบัติเชิงหน้าที่ จากนั้นจึงนำมาทำแห้ง แล้วนำมาบดละเอียดให้เป็นผง ข้อดีของการทำให้อาหารเป็นโฟมก่อนคือเพิ่มอัตราการแห้งของอาหารให้เร็วขึ้น เพราะโครงสร้างของโฟมมีรูพรุน ทำให้เกิดพื้นที่ผิวเพิ่มขึ้น ส่งผลให้นํ้าระเหยออกจากอาหารได้ง่ายและใช้เวลาสั้นลงด้วย ซึ่งการทำอาหารได้สัมผัสกับความร้อนในระยะเวลาที่สั้น ช่วยลดการสูญเสียคุณภาพอาหาร โดยเฉพาะการสูญเสียกลิ่นและการสูญเสียรสชาติของอาหาร และลดการสูญเสียคุณค่าทางโภชนาการของอาหารกลุ่มวิตามินอีกด้วย (Ouppama, 2022)

จากข้อมูลงานวิจัยพบว่ามีการนำการทำแห้งแบบโฟมเมทมาประยุกต์ใช้ในผลิตภัณฑ์อาหารที่หลากหลาย เช่น ผงนํ้าแกงเลียงพร้อมปรุง ซอสมะเขือเทศผง กลัวยผง (Thuwapanichayanan et al., 2008; Poonnakasem et al., 2015; Munlum & Jungsi, 2024) ในขณะที่พบว่ามีงานศึกษาการนำสาหร่ายฝักกาดทะเลอบแห้งไปแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์อาหารที่หลากหลาย เช่น สาหร่ายแผ่นทอดกรอบ ข้าวเกรียบผสมสาหร่าย (Hinsui et al., 2011; Supanpayak et al., 2020) ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงมุ่งศึกษาการผลิตผงนํ้าก้วยเตี้ยวหมูเลียงด้วยวิธีการทำแห้งแบบโฟมเมทเสริมด้วยสาหร่ายฝักกาดทะเลอบแห้งเพื่อเพิ่มคุณค่าทางโภชนาการและการยอมรับทางประสาทสัมผัสของผู้บริโภคต่อผลิตภัณฑ์ผงนํ้าก้วยเตี้ยวหมูเลียงเสริมสาหร่ายฝักกาดทะเลอบแห้งเพื่อเป็นต้นแบบในการประยุกต์ใช้ในเชิงพาณิชย์ให้กับชุมชนหรือผู้ที่สนใจ

อุปกรณ์และวิธีการวิจัย

การเตรียมวัตถุดิบและผลิตนํ้าก้วยเตี้ยวหมูเลียงสูตรพื้นฐานและสาหร่ายฝักกาดทะเลอบแห้ง

งานวิจัยนี้ได้รับการสนับสนุนวัตถุดิบสาหร่ายฝักกาดทะเลจากศูนย์ศึกษาการพัฒนาอ่าวคุ้งกระเบนอันเนื่องมาจากพระราชดำริอำเภอท่าใหม่ จังหวัดจันทบุรีซึ่งเป็นศูนย์ศึกษาและพัฒนาการเพาะเลี้ยง แปรรูป ตลอดจนถ่ายทอดการเรียนรู้สู่ชุมชนหรือผู้สนใจเกี่ยวกับสาหร่ายฝักกาดทะเล และใช้สูตรการทำนํ้าก้วยเตี้ยวหมูเลียงจากจังหวัดจันทบุรีเป็นสูตรเบื้องต้น มาศึกษาและปรับปรุงสูตรพื้นฐานนํ้าก้วยเตี้ยวหมูเลียงเพื่อให้เป็นที่ยอมรับต่อผู้ทดสอบเป็นจำนวน 3 สูตร (SF1 SF2 และ SF3) ที่ระดับความหวานร้อยละ 2, 4 และ 6 โดยมีส่วนผสมทั้งหมดดังแสดงใน Table 1 ขั้นตอนการเตรียมและผลิตได้นํ้าวัตถุดิบมาตัดแต่งและทำความสะอาด ต้มนํ้าจนเดือดที่อุณหภูมิ 98 ± 1 องศาเซลเซียส ใส่กระเทียม หอม ข่า ตะไคร้และกระดูกสันหลังหมูที่ผ่านการลวกแล้วต้มต่อจนเดือด จากนั้นใส่ส่วนผสมที่เหลือ (โปยก็ก อบเชย ลูกกระวาน ลูกผักชี พริกไทยดำ เกา๊ก เห็ดหอม หัวไชเท้า สับปะรด เกลือ นํ้าตาลทรายขาว นํ้าตาลกรวด) ต้มต่อเป็นเวลา 2.50 ชั่วโมง จากนั้นใส่ส่วนผสมของซอสปรุงรส ซีอิ๊วดำ และผงเร่งหอม แล้วต้มต่อเป็นเวลาประมาณ 3-4 ชั่วโมงหรือจนกว่าจะวัดค่าปริมาณของแข็งทั้งหมดได้ 14 ± 1 องศาบริกซ์ จากนั้นทิ้งให้อุณหภูมิลดลงเพื่อศึกษาในขั้นตอนต่อไป

เตรียมสาหร่ายฝักกาดทะเลในรูปแบบผงแห้ง โดยนำสาหร่ายฝักกาดทะเลสดมาล้างนํ้าให้สะอาดจนกระทั่งไม่มีกรวด ทราย แล้วทิ้งให้สะเด็ดนํ้าเป็นเวลา 15 นาที จากนั้นนำไปอบให้แห้งด้วยตู้อบลมร้อน โดยใช้อุณหภูมิในการอบที่ 50 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 4 ชั่วโมงหรือจนมีความชื้นสุดท้ายประมาณร้อยละ 7 บดให้เป็นผงละเอียดโดยใช้เครื่องบด แล้วร่อนผ่านตะแกรงขนาด 60 เมช บรรจุในถุงพลาสติกปิดผนึกแล้วบรรจุลงในถุงฟอยล์ (Limroongreungrat et al., 2016)

Table 1 Standard Moo-Liang noodle soup formulas

Ingredients (g)	Formulas		
	SF1	SF2	SF3
Water	10,000	10,000	10,000
Pork backbone	2,000	2,000	2,000
Garlic	60	60	60
Shallot	60	60	60
Galangal	180	180	180
Lemongrass	180	180	180
Reu-horn powder	5	5	5
Star anise	10	10	10
Cinnamon	20	20	20
White cardamom seed	5	5	5
Coriander seed	5	5	5
Black pepper	10	10	10
Dried goji	10	10	10
Dried Shiitake mushrooms	25	25	25
White radish	600	600	600
Peeled pineapple	500	500	500
Salt	60	60	60
White sugar	40	80	120
Rock sugar	40	40	40
Soy sauce	120	120	120

การประเมินคุณสมบัติทางประสาทสัมผัสของน้ำก๋วยเตี๋ยวหมูเลียงสูตรพื้นฐาน

ศึกษาการยอมรับทางประสาทสัมผัสโดยใช้แบบสอบถามกับกลุ่มผู้บริโภคทั่วไป จำนวน 50 คน ด้วยวิธีการให้คะแนนแบบ 9-point Hedonic scale (Meilgaard et al., 2007) สอบถามความชอบทางด้านลักษณะปรากฏ (Appearance) สี (Color) กลิ่น (Odor) ความรู้สึกในปาก (Mouthfeel) ความรู้สึกหลังกลืน (Aftertaste) รสหวาน (Sweetness) รสชาติโดยรวม (Flavor) และความชอบโดยรวม (Overall liking) ตามลำดับ โดยในกระบวนการทดสอบทำการเสิร์ฟน้ำก๋วยเตี๋ยวหมูเลียงพร้อมเส้นในอัตราส่วน 1.5:1 ที่อุณหภูมิ 80 ± 5 องศาเซลเซียส ปริมาณ 25 กรัม ให้กับผู้ทดสอบเพื่อประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสผลิตภัณฑ์ทั้ง 3 สูตร โดยเติมน้ำคั้นในแต่ละครั้งของการทดสอบแต่ละสูตร โดยผู้เข้าร่วมวิจัยจะต้องเป็นบุคคลที่มีอายุ 18-60 ปี ที่มีสุขภาพดี ไม่มีโรคประจำตัว โดยผู้วิจัยจะแจ้งข้อมูลที่อาจส่งผลกระทบต่อสุขภาพให้ผู้ร่วมวิจัยรับทราบก่อนการทดสอบ และมีเอกสารให้ความยินยอมจากผู้เข้าร่วมวิจัยแต่ละท่าน ทำการคัดเลือกสูตรพื้นฐานน้ำก๋วยเตี๋ยวหมูเลียงที่ได้รับการยอมรับทางประสาทสัมผัสจากผู้ทดสอบชิมมากที่สุดเพื่อนำไปศึกษาในขั้นตอนถัดไป

การวิเคราะห์การทำแห้งแบบโคมเมทของน้ำก๋วยเตี๋ยวหมูเลียงสูตรพื้นฐานที่ผ่านการคัดเลือก

เตรียมน้ำก๋วยเตี๋ยวหมูเลียงที่ได้ผ่านการคัดเลือก โดยใช้สารที่ทำให้เกิดโคม คือ โซเดียมคลอไรด์ที่แตกต่างกัน 4 ระดับ คือ ร้อยละ 2, 4, 6 และ 8 โดยน้ำหนักรวม และใช้คาร์บอกซีเมทิล

เซลลูโลส (Carboxymethyl cellulose: CMC) ร้อยละ 1 โดยน้ำหนัก เพื่อเป็นสารเพิ่มความคงตัวของโคม ที่ให้เกิดโคมด้วยเครื่องผสมอาหารหัวตีตระกร้อ ความเร็วสูงสุด (220 รอบต่อนาที) เป็นเวลา 4 นาที ติดตามคุณภาพทางกายภาพของโคม โดยตรวจวัดค่าความหนาแน่นของโคม ความคงตัวของโคมและการขยายตัวของโคมตามวิธีการของ Affandi et al. (2017) เลือกน้ำก๋วยเตี๋ยวหมูเลียงจากการเติมโซเดียมคลอไรด์ เพื่อเป็นสารก่อโคมที่เหมาะสมที่สุดนำมาศึกษากระบวนการทำแห้งโคม

ศึกษากระบวนการทำแห้งโคม โดยผลิตโคมน้ำก๋วยเตี๋ยวหมูเลียงในสภาวะที่ผ่านการคัดเลือก เกลี่ยโคมลงบนภาชนะที่มีความหนา 2 มิลลิเมตร เข้าอบในเตาอบที่อุณหภูมิ 60, 70 และ 80 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 480 นาที หรือจนกว่าโคมจะแห้ง จากนั้นบดและร่อนผ่านตะแกรงขนาด 60 เมช วิเคราะห์คุณภาพทางกายภาพและเคมีของผงน้ำก๋วยเตี๋ยวหมูเลียง ได้แก่ ร้อยละผลผลิต ความหนาแน่น วัดค่าสีด้วยเครื่องวัดสี (Colorimeter) (CR-400, Konica Minolta, Inc., Osaka, Japan) ค่าวอเตอร์แอคทิวิตีตามวิธีของ AOAC (2005) ด้วยเครื่องวัด water activity (TH-500, AW sprint novasina, Neuheintrasse, Switzerland) วัดค่าความชื้นตามวิธีของ AOAC (2005) ค่า pH โดยเครื่อง pH meter (FiveEasy Benchtop F20, METTLER TOLEDO, Switzerland) ค่าดัชนีการละลายน้ำและดัชนีการคืนน้ำกลับ โดยเตรียมตัวอย่างน้ำก๋วยเตี๋ยวหมูเลียงผง 3 กรัม เติมน้ำกลั่นที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส ปริมาตร 30 มิลลิตร ใส่ในอ่างน้ำควบคุมอุณหภูมิ (WNE Series, Memmert, Germany) เป็น

เวลา 30 นาที นำตัวอย่างสารละลายไปปั่นเหวี่ยง 3,500 รอบต่อนาทีเป็นเวลา 10 นาที (HERMLE Z 206 A, Wehingen, Germany) แยกส่วนใสไปบดด้วยตุบอบลมร้อนที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส (Model 100-800, Memmert, Germany) ขำผ่นคั้น และหาค่าดัชนีการละลายและการดูดกลืนตามวิธีการของ Affandi et al. (2017) จากนั้นทำการคัดเลือกสภาวะการทำแห้งแบบโฟมเมทของน้ำกล้วยเตี้ยพมูเลียซึ่งเหมาะสมที่สุดเพื่อนำไปศึกษาในขั้นตอนถัดไป การประเมินคุณสมบัติทางประสาทสัมผัสของอัตราส่วนผสมของสารห่วยผักกาดทะเลแห้งต่อผลิตภัณฑ์พมูเลียกล้วยเตี้ยพมูเลีย

เตรียมตัวอย่างพมูเลียกล้วยเตี้ยพมูเลียซึ่งผ่านการคัดเลือกโดยนำมาละลายในน้ำร้อนในอัตราส่วน 1:10 โดยน้ำหนัก จากนั้นเติมสารห่วยผักกาดทะเลอบแห้งในอัตราส่วนร้อยละ 0, 1, 2 และ 4 โดยใช้กล้วยเตี้ยพมูเลียที่ไม่ผ่านการทำแห้งเป็นตัวอย่างควบคุม ทำการเสิร์ฟน้ำกล้วยเตี้ยพมูเลียผสมกับเส้นกล้วยเตี้ยพมูเลียในอัตราส่วน 1:5 โดยน้ำหนัก ปริมาณ 25 กรัม ให้กับผู้ทดสอบจำนวน 50 คน ศึกษาหาอัตราส่วนผสมของสารห่วยผักกาดทะเลแห้งที่เหมาะสมต่อน้ำกล้วยเตี้ยพมูเลียพมูเลีย ด้วยการประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัส โดยใช้การให้คะแนนแบบ 9-point Hedonic scale ประเมินความชอบทางด้านลักษณะปรากฏ สี กลิ่น ความรู้สึกในปาก ความรู้สึกหลังกลืน รสหวาน รสชาติโดยรวม และความชอบโดยรวม ทั้งนี้งานวิจัยนี้ได้ผ่านกระบวนการพิจารณาการรับรองจริยธรรมการวิจัยในมนุษย์ จากคณะกรรมการจริยธรรมการวิจัยในมนุษย์มหาวิทยาลัยรังสิต (COA. No.RSUERB2024-035) การวิเคราะห์ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกและฟลาโวนอยด์และกิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระของผลิตภัณฑ์พมูเลียกล้วยเตี้ยพมูเลียและสารห่วยผักกาดทะเลอบแห้ง

วิเคราะห์ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกที่สกัดได้ทั้งหมด (Total phenolic contents; TPC) โดยใช้วิธี Folin-Ciocalteu (ดัดแปลงจากวิธีของ Waterhouse, 2002) นำสารละลายตัวอย่างปริมาตร 1 มิลลิลิตร เติมน้ำละลาย Folin-ciocalteu reagent ที่ความเข้มข้นร้อยละ 10 ปริมาตร 5 มิลลิลิตร ผสมเข้าด้วยกันด้วยเครื่อง vortex mixer วางทิ้งไว้ในที่มืดอุณหภูมิห้องเป็นเวลา 8 นาที จากนั้นเติมน้ำละลาย Na_2CO_3 ที่ความเข้มข้นร้อยละ 7.50 ปริมาตร 4 มิลลิลิตร ผสมให้เข้ากัน วางทิ้งไว้ในที่มืดอุณหภูมิห้องเป็นเวลา 1 ชั่วโมง จากนั้นนำไปวัดค่าดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 765 นาโนเมตร นำค่าที่ได้ไปแทนค่าในสมการของกราฟมาตรฐานกรดแกลลิก แล้วคำนวณ จะได้ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดในตัวอย่าง รายงานผลในหน่วยไมโครโมลสมมูลของกรดแกลลิกต่อ 100 กรัมของตัวอย่างแห้ง ($\mu\text{mol gallic acid equivalent (GAE)}/100 \text{ g dry sample}$)

วิเคราะห์ปริมาณสารประกอบฟลาโวนอยด์ที่สกัดได้ทั้งหมด (Total Flavonoid Content; TFC) (ดัดแปลงจากวิธีของ Salamatullah et al., 2024) โดยนำสารละลายตัวอย่างปริมาตร 625 ไมโครลิตร มาเติมน้ำละลาย NaNO_2 ความเข้มข้นร้อยละ 5 ปริมาตร

37.50 ไมโครลิตร จากนั้นเติม AlCl_3 ความเข้มข้นร้อยละ 10 ปริมาตร 37.50 ไมโครลิตร ผสมให้เข้ากันตั้งทิ้งไว้ในที่มืดอุณหภูมิห้องเป็นเวลา 5 นาที จากนั้นเติมน้ำกลั่นปริมาตร 300 ไมโครลิตร และเติม NaOH ความเข้มข้น 1 โมลาร์ ปริมาตร 250 ไมโครลิตร ผสมให้เข้ากันด้วยเครื่อง vortex mixer จากนั้นนำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 510 นาโนเมตร นำค่าที่ได้ไปแทนค่าในสมการของกราฟมาตรฐานของคาเทชิน คำนวณค่าปริมาณฟลาโวนอยด์ทั้งหมดในตัวอย่าง รายงานผลในหน่วยไมโครโมลสมมูลของคาเทชินต่อ 100 กรัมของตัวอย่างแห้ง ($\mu\text{mol catechin equivalent (CE)}/100 \text{ g dry sample}$)

วิเคราะห์กิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี 2, 2-diphenyl-1-picrylhydrazyl (DPPH) radical scavenging activity (ดัดแปลงจากวิธีของ Xie et al., 2008) โดยปิเปตสารละลายตัวอย่างปริมาตร 0.1 มิลลิลิตร ลงในหลอดทดลอง เติมน้ำละลาย DPPH ความเข้มข้น 0.10 มิลลิโมลาร์ ปริมาตร 0.90 มิลลิลิตร ผสมให้เข้ากันด้วยเครื่อง vortex mixture ตั้งทิ้งไว้ในที่มืดอุณหภูมิห้องเป็นเวลา 30 นาที จากนั้นนำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 517 นาโนเมตร นำค่าที่ได้ไปแทนค่าการดูดกลืนแสงในสมการของกราฟมาตรฐาน คำนวณค่าความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ DPPH รายงานผลในหน่วยไมโครโมลสมมูลของกรดแกลลิกต่อ 100 กรัมของตัวอย่างแห้ง ($\mu\text{mol gallic acid equivalent (GAE)}/100 \text{ g dry sample}$)

วิเคราะห์กิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี FRAP assay (ดัดแปลงจากวิธีของ Tan & Chan., 2014) เตรียม FRAP reagent โดยมีวิธีการดังนี้ เตรียมสารละลาย TPTZ ความเข้มข้น 10 มิลลิโมลาร์ ปริมาตร 2.50 มิลลิลิตร ใน HCl เข้มข้น 40 มิลลิโมลาร์ ผสมกับสารละลาย FeCl_3 ความเข้มข้น 20 มิลลิโมลาร์ ปริมาตร 2.50 มิลลิลิตร แล้วเติม acetate buffer pH 3.60 ความเข้มข้น 300 มิลลิโมลาร์ ปริมาตร 20 มิลลิลิตร ที่เตรียมไว้ลงไปผสมให้เข้ากัน ปิเปตสารละลายตัวอย่างปริมาตร 50 ไมโครลิตร ลงในหลอดทดลอง เติมน้ำละลาย FRAP reagent 950 ไมโครลิตร ผสมให้เข้ากันด้วยเครื่อง vortex mixture ตั้งทิ้งไว้ในที่มืดอุณหภูมิห้องเป็นเวลา 30 นาที จากนั้นนำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 593 นาโนเมตร คำนวณค่าความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ FRAP เปรียบเทียบกับสมการของกราฟมาตรฐาน รายงานผลในหน่วยไมโครโมลสมมูลของกรดแกลลิกต่อ 100 กรัมของตัวอย่างแห้ง ($\mu\text{mol gallic acid equivalent (GAE)}/100 \text{ g dry sample}$)

วิเคราะห์กิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี ABTS assay (ดัดแปลงจากวิธีของ Re et al., 1999) เตรียม ABTS reagent โดยการเตรียมสารละลาย ABTS ความเข้มข้น 7 มิลลิโมลาร์ ปริมาตร 10 มิลลิลิตร ผสมกับสารละลาย $\text{K}_2\text{S}_2\text{O}_8$ ความเข้มข้น 2.45 มิลลิโมลาร์ ปริมาตร 10 มิลลิลิตร เก็บสารผสมที่ได้ไว้ในที่มืดอุณหภูมิห้องเป็นเวลา 12-16 ชั่วโมง เจือจางสารละลายผสมที่ได้ด้วยเอทานอลความ

เข้มข้นร้อยละ 80 จนวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ 734 นาโนเมตรได้เท่ากับ 0.70 ± 0.02 หน่วย ปีเปตสารละลายตัวอย่างปริมาตร 100 ไมโครลิตร ลงในหลอดทดลอง แล้วเติม ABTS reagent ปริมาตร 900 ไมโครลิตร ผสมให้เข้ากันด้วยเครื่อง vortex mixture ตั้งทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 6 นาที แล้วนำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ 734 นาโนเมตร คำนวณค่าความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ ABTS เทียบกับสมการของกราฟมาตรฐาน รายงานผลในหน่วยไมโครโมลสมมูลของกรดแกลลิกต่อ 100 กรัมของตัวอย่างแห้ง ($\mu\text{mol gallic acid equivalent (GAE)}/100 \text{ g dry sample}$)

การวิเคราะห์คุณภาพทางจุลินทรีย์ของผลิตภัณฑ์ผงน้ำก๋วยเตี๋ยวหมูเลีย

ศึกษาคุณภาพทางจุลินทรีย์ตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชนพื้ปรุงรสอาหาร (Thai Community Product Standards, 2014) ได้แก่ จำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมดตามวิธีการของ U.S. Food and Drug Administration (2001a) โคลิฟอร์มโดยวิธีเอ็มพีเอ็นตามวิธีการของ U.S. Food and Drug Administration (2020) ยีสต์และราตามวิธีการของ U.S. Food and Drug Administration (2001b)

การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ

วิเคราะห์และประเมินผลข้อมูลทางด้านสถิติทั้งหมดด้วยด้วยโปรแกรม SPSS คำนวณค่าเฉลี่ย±ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน และวิเคราะห์ความแปรปรวนของข้อมูลทางสถิติด้วยวิธี Analysis of Variance (ANOVA) โดยเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยด้วยวิธี Duncan's New Multiple Range Test (DMRT)

ผลและวิจารณ์ผลการวิจัย

ผลการประเมินคุณสมบัติทางประสาทสัมผัสของน้ำก๋วยเตี๋ยวหมูเลียสูตรพื้นฐาน

ผลการประเมินการยอมรับทางประสาทสัมผัสของผู้บริโภคที่มีต่อน้ำก๋วยเตี๋ยวหมูเลียสูตรเบื้องต้น ความชอบทางด้านลักษณะปรากฏ สี กลิ่น ความรู้สึกในปาก ความรู้สึกหลังกลืน รสหวาน รสชาติโดยรวม และความชอบโดยรวม แสดงดัง Table 2 ผู้บริโภคให้คะแนนความชอบที่มีต่อน้ำก๋วยเตี๋ยวหมูเลียสูตรเบื้องต้นทั้ง 3 สูตร มีคะแนนความชอบด้านลักษณะปรากฏ สี กลิ่น ความรู้สึกในปาก ความรู้สึกหลังกลืน รสหวาน รสชาติโดยรวม และความชอบโดยรวม อยู่ในช่วง 6.40 ± 1.10 - 6.90 ± 1 , 6.70 ± 1.10 - 7.10 ± 1.20 , 6.60 ± 1.10 - 7 ± 1 , 5.70 ± 1.10 - 7.20 ± 1 , 5.90 ± 1 - 6.60 ± 1 , 5.80 ± 1.10 - 6.70 ± 1 , 6.10 ± 1 - 7 ± 1.10 และ 6 ± 1.10 - 6.80 ± 1.10 ตามลำดับ ซึ่งหมายถึงความชอบของผู้ทดสอบอยู่ในระดับชอบเล็กน้อยถึงชอบปานกลาง โดยคะแนนความชอบในทุกคุณลักษณะ ยกเว้นคุณลักษณะทางด้านสีมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) และจากผลคะแนนจากการประเมินคุณลักษณะดังกล่าว พบว่าผู้ทดสอบส่วนใหญ่ให้คะแนนความชอบโดยรวมของก๋วยเตี๋ยวหมูเลียสูตร SF3 มากที่สุดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) ซึ่งน้ำก๋วยเตี๋ยวหมูเลียสูตรดังกล่าวมีอัตราส่วนผสมของน้ำตาลทรายขาวมากที่สุด จากการสอบถามผู้ทดสอบผลิตภัณฑ์ พบว่าน้ำก๋วยเตี๋ยวหมูเลียสูตร SF3 มีรสชาติที่เข้มข้นประกอบกับกลิ่นหอมของสมุนไพรที่มีอยู่ในผลิตภัณฑ์ จึงทำให้มีความเด่นของรสชาติและความชอบโดยรวมที่เด่นกว่าสูตรอื่น ในขณะที่น้ำก๋วยเตี๋ยวหมูเลียสูตร SF1 ซึ่งส่วนผสมของน้ำตาลทรายขาวน้อยที่สุด ส่งผลให้คะแนนความยอมรับต่อผู้บริโภคในทุกคุณลักษณะ (ยกเว้นค่าสี) มีคะแนนน้อยที่สุดเช่นกัน ดังนั้นจากผลการประเมินการยอมรับทางประสาทสัมผัสดังกล่าว จึงได้คัดเลือกน้ำก๋วยเตี๋ยวหมูเลียสูตร SF3 ไปศึกษาการทำแห้งแบบโม่หมักต่อไป

Table 2 Sensory evaluation of standard Moo-Liang noodle soup formulas

Formulas	Sensory evaluation							
	Appearance	Color	Odor	Mouthfeel	Aftertaste	Sweetness	Flavor	Overall linking
SF1	6.40 ± 1.10^b	6.70 ± 1.10^a	6.60 ± 1.10^b	5.70 ± 1.10^b	5.90 ± 1^b	5.80 ± 1.10^b	6.10 ± 1^c	6 ± 1.10^b
SF2	6.90 ± 1^a	7.10 ± 1.20^a	7 ± 1^a	7.20 ± 1^a	6.60 ± 1^a	6.40 ± 1^a	6.40 ± 1.10^b	6.50 ± 1^a
SF3	6.90 ± 1.10^a	6.90 ± 1^a	6.90 ± 1.10^{ab}	6.90 ± 1^a	6.50 ± 1.10^a	6.70 ± 1^a	7 ± 1.10^a	6.80 ± 1.10^a

SF1 means 2 % sugar; SF2 means 4 % sugar; SF3 means 6 % sugar. Within a column, the average values with different letters are significantly different ($p < 0.05$). The values are expressed as mean±standard deviation (n=50).

ผลการวิเคราะห์การทำแห้งแบบโม่หมักของน้ำก๋วยเตี๋ยวหมูเลียสูตรพื้นฐานที่ผ่านการคัดเลือก

ผลการศึกษาการทำแห้งแบบโม่หมักของน้ำก๋วยเตี๋ยวหมูเลียสูตรพื้นฐานที่ผ่านการคัดเลือก โดยงานวิจัยนี้ใช้ไข่ขาวเป็นสารก่อโม่ในปริมาณที่แตกต่างกันและใช้คาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลส

(Carboxymethyl cellulose: CMC) เป็นสารเพิ่มความคงตัวของโม่ร้อยละ 1 โดยน้ำหนัก งานวิจัยนี้เลือกใช้ไข่ขาว เนื่องจากโปรตีนจากไข่ขาวเป็นสารก่อโม่ที่ดีเยี่ยมและถูกนำมาใช้ในอุตสาหกรรมอาหารมาอย่างยาวนาน (Li et al., 2020) ในขณะที่ CMC มีความสามารถช่วยลดแรงตึงผิว เพิ่มความหนืดของโม่และรักษาความคงตัวของโม่

ในระบบในการทำแห้งแบบโฟมเมทไดดี (Yu et al., 2013) จากผลการวิเคราะห์คุณภาพของลักษณะทางกายภาพของโฟมซึ่งประกอบไปด้วย ความหนาแน่น ความคงตัวและการขยายตัวของโฟมดังแสดงใน Table 3 พบว่าค่าความหนาแน่นของโฟมลดลง ในขณะที่ค่าความคงตัวและการขยายตัวของโฟมเพิ่มขึ้นเมื่อเพิ่มปริมาณของไข่ขาวแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) โดยทั่วไปการเกิดโฟมที่มากขึ้นขนาดใหญ่และมีความคงตัวสูงจะส่งผลให้เวลาและอุณหภูมิที่ใช้ในการทำแห้งลดลง การเพิ่มความเข้มข้นของไข่ขาวจะส่งผลให้ความหนืดของระบบเพิ่มขึ้น โดยโปรตีนอัลบูมินในไข่ขาวจะทำหน้าที่เป็น amphoteric emulsifier เชื่อมประสานระหว่างเฟสน้ำและเฟสอากาศเข้าด้วยกันส่งผลให้โฟมมีความคงตัวและมีคุณภาพมากขึ้นในการทำแห้ง (Buljat et al., 2019) จากผลการศึกษารังนี้พบว่า การเพิ่มปริมาณไข่ขาวที่ร้อยละ 6 ของน้ำหนัก มีความคงตัวและการขยายตัวของโฟมแตกต่างกันไม่มีความสำคัญ ($p \geq 0.5$) เมื่อเปรียบเทียบกับ การใช้ปริมาณไข่ขาวที่ร้อยละ 8 ของน้ำหนัก จึงคัดเลือกการใช้ไข่ขาวความเข้มข้นที่ร้อยละ 6 ของน้ำหนัก ไปใช้ในกระบวนการทำแห้งแบบโฟมเมทของน้ำก๋วยเตี๋ยวหมูเลียซึ่งที่ระดับอุณหภูมิทำแห้งที่แตกต่างกัน ทั้งนี้เนื่องจากการใช้ไข่ขาวความเข้มข้นที่สูงกว่าส่งผลกระทบต่อต้นทุนการผลิตและการนำไปใช้ในระดับเชิงพาณิชย์ต่อไป

ผลการวิเคราะห์คุณสมบัติทางเคมีกายภาพของผงน้ำก๋วยเตี๋ยวหมูเลีย (CMC ร้อยละ 1 และไข่ขาวร้อยละ 6 โดยน้ำหนัก) ที่ระดับ

อุณหภูมิ 60, 70 และ 80 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 480 นาที แสดงดัง Table 4 พบว่าค่าสีของผงน้ำก๋วยเตี๋ยวหมูเลีย มีค่าความสว่าง (L^*) เพิ่มขึ้นและค่าความเป็นสีแดง (a^*) ลดลงเมื่ออุณหภูมิในการทำแห้งเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) ส่งผลให้ค่าความเข้มของสีน้ำตาล (Browning index, BI) ลดลง ในขณะที่ค่าวอเตอร์แอคทีวิตี (A_w) และค่าความชื้นอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชนผงปรุงรสอาหาร (Thai Community Product Standards, 2014) ที่กำหนดให้ค่าวอเตอร์แอคทีวิตีต้องไม่เกิน 0.65 และค่าความชื้นต้องไม่เกินร้อยละ 13 โดยน้ำหนัก โดยค่า A_w เป็นการแสดงปริมาณของน้ำอิสระในบริเวณพื้นผิวของผลิตภัณฑ์อาหาร ในขณะที่ค่าความชื้นจะวัดปริมาณน้ำที่มีอยู่จริงทั้งหมด ดังนั้นหากทั้งสองค่านี้มีการเปลี่ยนแปลงหรือมีปริมาณสูงจะส่งผลต่อคุณสมบัติทั้งทางกายภาพและทางเคมี รวมถึงการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ในผลิตภัณฑ์อาหาร (Teoh et al., 2016) นอกจากนี้พบว่า ค่าดัชนีการละลายน้ำและค่าดัชนีการดูดน้ำกลับเพิ่มขึ้นเมื่อเพิ่มอุณหภูมิในการทำแห้งเพิ่มขึ้น โดยค่าทั้งสองมีค่ามากที่สุดที่อุณหภูมิการทำแห้งที่ 80 องศาเซลเซียส ดังนั้นจากการพิจารณาคุณสมบัติของค่าทางเคมีกายภาพเบื้องต้น จึงคัดเลือกสภาวะที่เหมาะสมที่สุดสำหรับการทำแห้งแบบโฟมเมทไดดีที่สภาวะการทำแห้งที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส เพื่อใช้ในการทดลองการประเมินคุณสมบัติทางประสาทสัมผัสต่อไป

Table 3 Foam physical properties of Moo-Liang noodle soup at different egg white levels

Physical qualities	Egg white (%)			
	2	4	6	8
Foam density (g/cm ³)	0.52±0.00 ^a	0.46 ±0.01 ^b	0.35 ± 0.00 ^c	0.33 ± 0.00 ^d
Foam stability (%)	93.33± 0.57 ^c	98.67±0.57 ^b	100.00±0.00 ^a	100.00±0.00 ^a
Foam expansion (%)	92.93±1.08 ^d	118.56±1.40 ^c	191.82±1.19 ^a	193.83±1.15 ^a

Within a row, the average values with different letters are significantly different ($p < 0.05$). The values are expressed as mean±standard deviation (n=3).

Table 4 Physicochemical properties of dried Moo-Liang noodle soup powder at different temperatures

Physicochemical properties	Drying temperature (°C)		
	60	70	80
Yield (%)	16.69	16.84	17.09
Density (g/cm ³)	0.31±0.00 ^a	0.28±0.00 ^b	0.24±0.00 ^c
Color value			
L^*	65.89±0.93 ^b	70.58±0.26 ^a	70.69±0.12 ^a
a^*	5.49±0.13 ^a	4.69±0.04 ^b	4.72±0.08 ^b
b^*	20.86±0.49 ^a	20.76±0.23 ^a	21.8±1.13 ^a
Browning index (BI)	0.33±0.00 ^a	0.32±0.00 ^b	0.32±0.00 ^b
Water activity (A_w)	0.259±0.001 ^a	0.238±0.002 ^b	0.214±0.002 ^c
Moisture content (%)	5.38±0.12 ^a	4.29±0.05 ^b	2.95±0.14 ^c
pH	6.20±0.05 ^a	6.21±0.06 ^a	6.22±0.06 ^a
Water solubility index (%)	33.25±3.35 ^b	33.01±4.94 ^b	48.95±2.64 ^a
Water reabsorption index (%)	3.65±0.38 ^b	4.32±0.27 ^b	5.26±0.40 ^a

Within a row, the average values with different letters are significantly different ($p < 0.05$). The values are expressed as mean±standard deviation (n=3).

ผลการประเมินคุณสมบัติทางประสาทสัมผัสของอัตราส่วนผสมของ
สาหร่ายผักกาดทะเลแห้งต่อผลิตภัณฑ์ผงน้ำก๋วยเตี๋ยวหมูเลีย

ผลการศึกษาการยอมรับทางประสาทสัมผัสของอัตราส่วนผสม
ที่เหมาะสมของสาหร่ายผักกาดทะเลแห้งต่อผลิตภัณฑ์ผงน้ำก๋วยเตี๋ยว
หมูเลียที่ผ่านการทำแห้งแบบโฟมแมท (อุณหภูมิ 80°C เวลา 480
นาท) ดังแสดงใน Table 5 พบว่าผู้บริโภคให้การยอมรับผลิตภัณฑ์ผง
น้ำก๋วยเตี๋ยวหมูเลียที่มีการผสมสาหร่ายผักกาดทะเลอบแห้งร้อยละ 1
(M2) มากที่สุดในส่วนมากของคุณลักษณะที่ทดสอบอย่างมีนัยสำคัญ
ทางสถิติ ($p < 0.05$) ยกเว้นคุณลักษณะด้านความหวานที่มีการยอมรับ
ไม่ต่างกัน โดยมีคะแนนความชอบอยู่ในระดับชอบปานกลาง
(6.60 ± 0.90 - 7.40 ± 0.80) นอกจากนี้ยังพบว่าผู้บริโภคให้การยอมรับ
ผลิตภัณฑ์ของน้ำก๋วยเตี๋ยวหมูเลียแบบผงสูตร M2 ไม่แตกต่างจาก
ผลิตภัณฑ์น้ำก๋วยเตี๋ยวหมูเลียแบบน้ำก่อนทำแห้งซึ่งเป็นตัวอย่าง
ควบคุม (Control) ในการประเมินคุณลักษณะทางด้านลักษณะปรากฏ

กลิ่น ความรู้สึกในปาก ความรู้สึกหลังกลืน รสหวาน รสชาติโดยรวม
และความชอบโดยรวม ในขณะที่มีคะแนนความชอบคุณลักษณะ
ทางด้านสีมากกว่าตัวอย่างควบคุม ซึ่งแสดงถึงพฤติกรรมของผู้บริโภค
ที่ได้ศึกษาในครั้งนี้มีการยอมรับในผลิตภัณฑ์ผงน้ำก๋วยเตี๋ยวหมูเลียแบบ
ผงสูตร M2 ที่มีการผสมสาหร่ายผักกาดทะเลอบแห้งร้อยละ 1 จะช่วย
ทำให้น้ำก๋วยเตี๋ยวมีสีสนที่เพี้ยนที่ยอมรับแก่ผู้บริโภคมากขึ้น อย่างไรก็ตาม
ตามจากผลการศึกษาพบว่าการผสมสาหร่ายผักกาดทะเลอบแห้งที่มาก
ขึ้นส่งผลให้การยอมรับของผู้บริโภคโดยรวมลดลงอย่างมีนัยสำคัญทาง
สถิติ ทั้งนี้จากการสอบถามผู้บริโภคพบว่าผลิตภัณฑ์ที่มีการเติม
สาหร่ายผักกาดทะเลอบแห้งที่มากเกินไปส่งผลต่อกลิ่นรสและรสชาติ
โดยรวมต่อตัวอย่าง เนื่องจากปริมาณสาหร่ายผักกาดทะเลอบแห้งที่
เพิ่มขึ้นจะไปรบกวนกลิ่นรสและรสชาติของน้ำก๋วยเตี๋ยวหมูเลีย
ตลอดจนทำให้น้ำก๋วยเตี๋ยวมีความข้นหนืดมากเกินไป จึงส่งผลต่อ
คะแนนการยอมรับของผู้บริโภคที่ลดลง

Table 5 Sensory evaluation of Moo-Liang noodle soup powder product mixed with dried sea lettuce

Formulas	Sensory evaluation							
	Appearance	Color	Odor	Mouthfeel	Aftertaste	Sweetness	Flavor	Overall linking
Control	7 ± 1.10^{abc}	6.90 ± 1.10^b	7.20 ± 1.10^a	7 ± 1.10^a	6.80 ± 1.10^a	6.90 ± 1^a	7 ± 1^a	6.90 ± 1.10^a
M1	6.60 ± 1^c	6.80 ± 1.10^b	6.60 ± 1^{bc}	6.20 ± 1^b	6.20 ± 1.10^b	6.40 ± 1.10^a	6.30 ± 0.90^b	6 ± 1^c
M2	7.40 ± 0.80^a	7.40 ± 0.90^a	6.90 ± 0.80^{ab}	6.60 ± 0.90^{ab}	6.60 ± 1^{ab}	6.60 ± 0.90^a	6.70 ± 0.90^{ab}	6.70 ± 0.90^{ab}
M3	7.10 ± 0.90^{ab}	7 ± 1^b	6.50 ± 0.90^c	6.40 ± 1.10^b	6.30 ± 1.10^b	6.60 ± 1^a	6.30 ± 1^b	6.30 ± 1^{bc}
M4	6.80 ± 1^{bc}	6.80 ± 1^b	6.60 ± 0.90^{bc}	6.30 ± 1^b	6.30 ± 1.10^b	6.60 ± 1.10^a	6.50 ± 1.20^b	6.30 ± 1.20^{bc}

Control means Moo-Liang noodle soup; M1 means Moo-Liang noodle soup powder mixed with 0 % dried sea lettuce; M2 means Moo-Liang noodle soup powder mixed with 1 % dried sea lettuce; M3 means Moo-Liang noodle soup powder mixed with 2 % dried sea lettuce and M4 means Moo-Liang noodle soup powder mixed with 4 % dried sea lettuce. Within a column, the average values with different letters are significantly different ($p < 0.05$). The values are expressed as mean $\pm$ standard deviation (n=50).

ผลการวิเคราะห์ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกและฟลาโวนอยด์และ
กิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระของผลิตภัณฑ์ผงน้ำก๋วยเตี๋ยวหมูเลียและ
สาหร่ายผักกาดทะเลอบแห้ง

ผลการศึกษาปริมาณสารประกอบฟีนอลิกและฟลาโวนอยด์ที่
สกัดได้ทั้งหมด และฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ ซึ่งวิเคราะห์ด้วยวิธี DPPH
ABTS และ FRAP ของผงน้ำก๋วยเตี๋ยวหมูเลียที่ผ่านการคัดเลือกและ
สาหร่ายผักกาดทะเลอบแห้งดังแสดงใน Table 6 ซึ่งพบว่าปริมาณ
สารประกอบฟีนอลิกและฟลาโวนอยด์ทั้งหมดรวมถึงสมบัติการต้าน
ออกซิเดชันของผงน้ำก๋วยเตี๋ยวหมูเลียมีค่ามากกว่าสาหร่ายผักกาด
ทะเลอบแห้งอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) โดยปริมาณ
สารประกอบฟีนอลิกและฟลาโวนอยด์ทั้งหมดของผงน้ำก๋วยเตี๋ยวหมู
เลียคือ $5,457.99 \pm 231.37$ ไมโครโมลสมมูลของกรดแกลลิกต่อ 100
กรัมของตัวอย่างแห้ง และ 114.65 ± 20.18 ไมโครโมลสมมูลของคาเท
ชินต่อ 100 กรัมของตัวอย่างแห้งตามลำดับ ในขณะที่สาหร่ายผักกาด
ทะเลอบแห้ง พบปริมาณสารประกอบฟีนอลิกและฟลาโวนอยด์
ทั้งหมด 60.39 ± 3.47 ไมโครโมลสมมูลของกรดแกลลิกต่อ 100 กรัม
ของตัวอย่างแห้งและ 11.85 ± 0.87 ไมโครโมลสมมูลของคาเทชินต่อ

100 กรัมของตัวอย่างแห้งตามลำดับ และจากการวิเคราะห์คุณสมบัติ
การต้านอนุมูลอิสระซึ่งใช้วิธี DPPH, ABTS และ FRAP พบว่าผงน้ำ
ก๋วยเตี๋ยวหมูเลียมีฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระ เท่ากับ 598.39 ± 33.42 ,
 75.36 ± 1.11 $5,854.84 \pm 106.42$ ไมโครโมลสมมูลของกรดแกลลิกต่อ
100 กรัมของตัวอย่างแห้ง ทั้งนี้อาจเกิดจากการผลิตน้ำก๋วยเตี๋ยวหมู
เลียมีส่วนผสมที่เป็นเครื่องเทศและสมุนไพรอันเป็นแหล่งของสารต้าน
อนุมูลอิสระโดยธรรมชาติ โดยมีรายงานพบว่า กระเทียม หอมแดง ข่า
ตะไคร้ ผงเร่วหอม อบเชย ลูกกระวานขาว ลูกผักชี พริกไทยดำ มี
สมบัติการต้านอนุมูลอิสระโดยมีวิธีการทดสอบที่แตกต่างกันไป
(Chinnasarn et al., 2019; Adeyemo et al., 2023; Scandar et
al., 2023) นอกจากนี้ยังพบกิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระของผง
ตัวอย่างน้ำก๋วยเตี๋ยวหมูเลียตอบสนองต่อการตรวจสอบการหาค่าฤทธิ์
ต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี FRAP ดีที่สุด รองลงมาคือวิธี DPPH และ
ABTS เนื่องจากในกระบวนการเตรียมน้ำก๋วยเตี๋ยวหมูเลียมีการต้ม
ด้วยน้ำเป็นเวลานานจึงอาจส่งผลให้องค์ประกอบของสารประกอบทาง
ชีวภาพที่มีความเป็นขั้วสูงถูกสกัดออกมาได้มากและสามารถ
ตอบสนองต่อการวิเคราะห์ด้วยวิธี FRAP ดีที่สุด ในขณะเดียวกันจาก

กระบวนการต้มดังกล่าวยังทำให้องค์ประกอบของน้ำมันที่มีอยู่ในกระตุมออกมาด้วยเช่นกัน จึงส่งผลทำให้สารประกอบทางชีวภาพที่มีความเป็นขี้ดสามารถละลายออกมาในระบบได้เช่นกัน จึงส่งผลให้ตอบสนองต่อการวิเคราะห์ด้วยวิธี DPPH ตีรอลงมา เนื่องจากการวิเคราะห์ด้วยวิธี FRAP สามารถตอบสนองต่อระบบที่เหมาะสมกับตัวอย่างที่สกัดด้วยน้ำ ในขณะที่การวิเคราะห์ด้วยวิธี DPPH จะตอบสนองดีต่อระบบที่มีความเป็นขี้ดต่ำกว่าน้ำ (Martysiak-Zurowska & Wenta, 2012; Berker et al., 2013) นอกจากนี้จากผลการวิจัยยังพบว่าสาหร่ายผักกาดทะเลอบแห้งมีสารประกอบฟีนอลิกและฟลาโวนอยด์ที่สกัดได้ทั้งหมดรวมถึงมีฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระ (Table 6) จากรายงานโดยทั่วไปพบว่าสาหร่ายทะเลกลุ่มนี้มีสารประกอบทางชีวภาพที่มีฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระและยังมีองค์ประกอบของพอลิแซ็กคาไรด์ รงควัตถุ กรดไขมัน วิตามินและเกลือแร่ โดยเฉพาะโปรตีนที่มีในปริมาณที่สูง (Bourguiba et al., 2017; Sundari & Wijaya, 2021; Pan-utai et al., 2022) ซึ่งส่งผลดีต่อผลิตภัณฑ์เนื่องจากฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระที่พบในผลิตภัณฑ์อาหารสามารถกำจัดอนุมูลอิสระที่เป็นอันตราย ส่งผลในการป้องกันการเกิดออกซิเดชันและรักษาคุณค่าทางโภชนาการ รวมถึงป้องกันการ

เน่าเสียของอาหารได้ (Poljsak et al., 2021) ดังนั้นจากผลการวิจัยนี้เป็นการยืนยันได้ว่าผลิตภัณฑ์ผงน้ำก้วยเตี่ยวหมูเสี่ยงพมรวมถึงสาหร่ายผักกาดทะเลอบแห้ง สามารถเป็นแหล่งของสารต้านอนุมูลอิสระอันเป็นผลดีต่อผู้บริโภค

ผลการวิเคราะห์คุณภาพทางจุลินทรีย์ของผลิตภัณฑ์ผงน้ำก้วยเตี่ยวหมูเสี่ยง

ผลการวิเคราะห์คุณภาพทางจุลินทรีย์ของผงน้ำก้วยเตี่ยวหมูเสี่ยงแสดงดัง Table 7 พบว่าผลิตภัณฑ์มีปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมด (TVC) น้อยกว่า 10 CFU/g ไม่พบปริมาณยีสต์และรารวมถึงโคลิฟอร์มซึ่งอยู่ในเกณฑ์ตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชนพมปรุงรสอาหาร (Thai Community Product Standards, 2014) ที่กำหนดปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมดต้องน้อยกว่า 1×10^4 CFU/g ปริมาณยีสต์และราต้องน้อยกว่า 100 CFU/g และปริมาณโคลิฟอร์มแบคทีเรียต้องน้อยกว่า 3 MPN/g ซึ่งเป็นการยืนยันถึงผลิตภัณฑ์และกระบวนการผลิตที่ใช้ในการศึกษานี้มีความปลอดภัยต่อผู้บริโภค นอกจากนี้ปริมาณของจุลินทรีย์เริ่มต้นจะส่งผลต่ออายุการเก็บรักษาของผลิตภัณฑ์โดยตรง หากผลิตภัณฑ์มีปริมาณจุลินทรีย์เริ่มต้นที่สูงจะส่งผลให้อายุการเก็บรักษาของผลิตภัณฑ์ลดลง

Table 6 TPC, TFC, and antioxidant activities of Moo-Liang noodle soup powder product and sea lettuce extracts

Activities	Sample extracts	
	Moo-Liang noodle soup powder	sea lettuce
TPC ($\mu\text{mol GAE}/100\text{g dry sample}$)	5,457.99 $\pm$ 231.37 ^a	60.39 $\pm$ 3.47 ^b
TFC ($\mu\text{mol CE}/100\text{g dry sample}$)	114.65 $\pm$ 20.18 ^a	11.85 $\pm$ 0.87 ^b
DPPH ($\mu\text{mol GAE}/100\text{g dry sample}$)	598.39 $\pm$ 33.42 ^a	12.67 $\pm$ 0.99 ^b
ABTS ($\mu\text{mol GAE}/100\text{g dry sample}$)	75.36 $\pm$ 1.11 ^a	5.70 $\pm$ 0.15 ^b
FRAP ($\mu\text{mol GAE}/100\text{g dry sample}$)	5,854.84 $\pm$ 106.42 ^a	222.64 $\pm$ 3.48 ^b

TPC stands for total extractable phenolic content, TFC stands for total extractable flavonoid content, GAE represents gallic acid equivalent, and CE represents catechin equivalent. Within a row, the average values with different letters are significantly different ($p < 0.05$). The values are expressed as mean $\pm$ standard deviation (n=3).

Table 7 Microbiological qualities of Moo-Liang noodle soup powder product

Parameters	Moo-Liang noodle soup powder
Total viable count (CFU/g)	<25
Yeast and Mold count (CFU/g)	Not found
Coliform bacteria (MPN/g)	Not found

สรุปผลการวิจัย

น้ำก้วยเตี่ยวหมูเสี่ยงสูตรพื้นฐานที่มีส่วนผสมของน้ำตาลทรายมากที่สุด SF3 มีคะแนนความชอบโดยรวมอยู่ในระดับสูงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) จากการประเมินความชอบทางด้านลักษณะปรากฏ กลิ่น สี ความรู้สึกในปาก ความรู้สึกหลังกลืน รสหวาน รสชาติโดยรวม และความชอบโดยรวม จึงถูกคัดเลือกนำไปศึกษาการทำแห้งแบบโม่เมท โดยการใช้ไข่ขาวเป็นสารที่ทำให้เกิดโม่ปริมาณร้อยละ 6 และใช้คาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลสร้อยละ 1 โดยน้ำหนัก

เป็นสารเพิ่มความคงตัวของโม่เป็นสภาวะที่เหมาะสมที่สุดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) สำหรับการทำให้แห้งแบบโม่เมทที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 480 นาที และผลิตภัณฑ์ผงน้ำก้วยเตี่ยวหมูเสี่ยงเสริมสาหร่ายผักกาดทะเลอบแห้งร้อยละ 1 (M2) โดยน้ำหนัก ได้คะแนนจากการทดสอบทางประสาทสัมผัสจากผู้บริโภคมากที่สุด อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) ผลิตภัณฑ์ผงน้ำก้วยเตี่ยวหมูเสี่ยงและสาหร่ายผักกาดทะเลแห้งมีปริมาณสารฟีนอลิกและฟลาโวนอยด์ที่สกัดได้ทั้งหมดเท่ากับ 5,457.99 $\pm$ 231.37 ไมโครโม

ลสมมูลของกรดแกลลิกต่อ 100 กรัมของตัวอย่างแห้ง และ 114.65 ± 20.18 ไมโครโมลสมมูลของคาเทชินต่อ 100 กรัมของตัวอย่างแห้ง รวมถึงมีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระในด้วยวิธีการทดสอบ DPPH ABTS และ FRAP เท่ากับ 598.39 ± 33.42 75.36 ± 1.11 และ $5,824.84 \pm 106.42$ ไมโครโมลสมมูลของกรดแกลลิกต่อ 100 กรัมของตัวอย่างแห้งตามลำดับ ผลผลิตที่มีคุณภาพด้านจุลินทรีย์อยู่ในเกณฑ์ตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชนผงปรุงรสอาหาร ดังนั้นผลิตภัณฑ์ผงน้ำกล้วยเดี่ยวหมูเลี้ยงที่มีการทำแห้งแบบโฟมแมทและเสริมสาหร่ายผักกาดทะเลอบแห้งสามารถนำไปเป็นต้นแบบในการประยุกต์ใช้ในเชิงอุตสาหกรรมและเชิงพาณิชย์ต่อไปได้ อย่างไรก็ตามควรมีการศึกษาถึงอายุการเก็บรักษาของผลิตภัณฑ์เพิ่มเติมเพื่อให้ผลิตภัณฑ์มีข้อมูลเพิ่มขึ้นในอนาคต

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับการสนับสนุนจากทุนอุดหนุนการวิจัยวิทยาลัยดุสิตธานี ประจำปีการศึกษา 2566 และการสนับสนุนวัตถุดิบสาหร่ายผักกาดทะเลอบแห้งจากศูนย์ศึกษาการพัฒนาอ่าวคุ้งกระเบน อันเนื่องมาจากพระราชดำริ อำเภอกาบัง จังหวัดจันทบุรี

References

- Adeyemo, A. E., Omoba, O. S., Olagunju, A. I., & Josiah, S. S. (2023). Assessment of nutritional values, phytochemical content, and antioxidant properties of Shallot (*Allium ascalonicum* L.) leaf and bulb. *Measurement: Food*, 10, 100091. doi: 10.1016/j.meafoo.2023.100091
- Affandi, N., Zzaman, W., Yang, T. A., & Easa, A. M. (2017). Production of Nigella sativa beverage powder under foam mat drying using egg albumen as a foaming agent. *Beverages*, 3(1), 9. doi: 10.3390/beverages3010009
- Association Official Analytical Chemists (AOAC). (2005). *Official Methods of Analysis of AOAC International*. (18th ed.). Gaithersburg, Maryland, United States: Association Official Analytical Chemists International.
- Berker, K. I., Olgun, F. A. O., Ozyurt, D., Demirata, B., & Apak, R. (2013). Modified folin-ciocalteu antioxidant capacity assay for measuring lipophilic antioxidants. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 61(20), 4783-4791. doi: 10.1021/jf400249k
- Bourguiba, I., Zahlila, A., Bouaïcha, N., Amri, M., & Mezghani, S. (2017). Antioxidant effect of the marine green alga *Ulva rigida* ethanolic precipitate in yeast cells and zebrafish embryos. *South African Journal of Botany*, 113, 253-260. doi: 10.1016/j.sajb.2017.09.001
- Buljat, A. M., Jurina, T., Tušek, A. J., Valinger, D., Kljusurić, J. G., & Benković, M. (2019). Applicability of foam mat drying process for production of instant cocoa powder enriched with lavender extract. *Food Technology and Biotechnology*, 57(2), 159-170. doi: 10.17113/ftb.57.02.19.6064
- Chinnasarn, S., Yuenyongputtakal, W., Krasaechol, N., Khaenman, M., & Chalongsan, A. (2019). Effect of processing on antioxidant activity of bustard cardamom powder. *Huachiew Chalemparakiet Science and Technology Journal*, 5(1), 41-51. (in Thai)
- Hinsui, J., Makchouy, U., & Woysin, W. (2011). Production of fried crispy sea lettuce (*Ulva rigida*). *Proceedings of the 49th Kasetsart university annual conference fisheries* (pp.517-526). Bangkok, Thailand: Kasetsart University. (in Thai)
- Limroongreungrat, K., Jaritkhuan, S., Suksomboon, A., & Vardhanaputi, B. (2016). *Development of healthy non-fried instant noodle supplemented with algae*. Chonburi, Thailand: Burapha University. (in Thai)
- Li, X., Murray, B. S., Yang, Y., & Sarkar, A. (2020). Egg white protein microgels as aqueous pickering foam stabilizers: bubble stability and interfacial properties. *Food Hydrocolloids*, 98, 105292. doi: 10.1016/j.foodhyd.2019.105292
- Martysiak-Zurowska, D., & Wenta, W. (2012). A comparison of ABTS and DPPH methods for assessing the total antioxidant capacity of human milk. *Acta Scientiarum Polonorum, Technologia Alimentaria*, 11(1), 83-89.
- Meilgaard, M. C., Carr, B. T., & Civille, G. V. (2007). *Sensory evaluation techniques* (4th ed.). Florida, United States: CRC Press.
- Mezghani, S., Csupor, D., Bourguiba, I., Hohmann, J., Amri, M., & Bouaziz, M. (2016). Characterization of phenolic compounds of *Ulva rigida* (Chlorophyceae) and its antioxidant activity. *European Journal of Medicinal Plants*, 12(1), 1-9. doi: 10.9734/EJMP/2016/22935

- Munlum, S., & Junsi, M. (2024). Production of Kaeng Liang soup (Thai style spicy mixed vegetable soup) powder using foam-mat drying. *Journal of Current Science and Technology*, 14(1), 1-12. doi: 10.59796/jcst.V14N1.2024.13
- Ouppama, C. (2022). *Influence of foam-mat drying on quality, bioactive compounds and sensory evaluation of melon powder*. (Master's thesis). Nakhon Pathom, Thailand: Silpakorn University. (in Thai)
- De Padua, M. A., Fontoura, P. S. G., & Mathias, A. L. (2004). Chemical composition of *Ulvaria oxysperma* (Kützinger) bliding, *Ulva lactuca* (Linnaeus) and *Ulva fascita* (Delile). *Brazilian Archives of Biology and Technology*, 47(1), 49-55. doi: 10.1590/S1516-89132004000100007
- Pan-utai, W., Pantoa, T., Roytrakul, S., Praiboon, J., Kosawatpat, P., Tamtin, M., & Thongdang, B. (2022). Ultrasonic-assisted extraction and antioxidant potential of valuable protein from *Ulva rigida* macroalgae. *Life (Basel)*, 13(1), 86. doi: 10.3390/life13010086
- Poljsak, B., Kovač, V., & Milisav, I. (2021). Antioxidants, food processing and health. *Antioxidants (Basel)*, 10(3), 433. doi: 10.3390/antiox10030433
- Poonnakasem, N., Laohasongkram, K., & Chaiwanichsiri, S. (2015). Influence of hydrocolloids on batter properties and textural kinetics of sponge cake during storage. *Journal of Food Quality*, 38(6), 441-449. doi: 10.1111/jfq.12167
- Re, R., Pellegrini, N., Proteggente, A., Pannala, A., Yang, M., & Rice-Evans, C. (1999). Antioxidant activity applying an improved ABTS radical cation decolorization assay. *Free Radical Biology and Medicine*, 26(9-10), 1231-1237. doi: 10.1016/s0891-5849(98)00315-3
- Salamatullah, A. M., Ahmed, M. A., Hayat, K., Husain, F. M., Arzoo, S., Alzahrani, A., Alotaibi, A., Alyahya, H. K., & Ahmad, S. R. (2024). Different drying techniques effect on the bioactive properties of rose petals. *Journal of King Saud University-Science*, 36(1), 103025. doi: 10.1016/j.jksus.2023.103025
- Sangamithra, A., Sivakumar, V., Kannan, K., & John, S. G. (2015). Foam-mat drying of Muskmelon. *International Journal of Food Engineering*, 11(1), 127-137. doi: 10.1515/ijfe-2014-0139.
- Scandar, S., Zadra, C., & Marcotullio, M. C. (2023). Coriander (*Coriandrum sativum*) polyphenols and their nutraceutical value against obesity and metabolic syndrome. *Molecules*, 28(10), 4187. doi: 10.3390/molecules28104187
- Sundari, L. P. R., & Wijaya, P. A. W. (2021). Sea lettuce (*Ulva lactuca*) as a source of dietary antioxidant. *Tropical Journal of Natural Product Research*, 5(4), 603-608. doi: 10.26538/tjnpr/v5i4.1
- Supanpayak, J., Chalermchaiwat, P., & Limsuwan, T. (2020). Effect of microwave puffing times on the physical and sensory properties of sea lettuce crackers. *Proceedings of the 58th Kasetsart university annual conference plants, animals, veterinary medicine, fisheries, agricultural extension and home economics* (pp. 643-652). Bangkok, Thailand: Kasetsart University. (in Thai) doi :10.14457/KU.res.2020.224
- Tan, Y. P., & Chan, E. W. C. (2014). Antioxidant, antityrosinase and antibacterial properties of fresh and processed leaves of *Anacardium occidentale* and *Piper betle*. *Food Bioscience*, 6, 17-23. doi: 10.1016/j.fbio.2014.03.001
- Teoh, L. S., Lasekan, O., & Azeez, S. (2016). Quality characteristics and volatile compounds of foam mat dried corn flour. *Journal of Food Quality*, 39(5), 456-464. doi: 10.1111/jfq.12219
- Thai Community Product Standards. (2014). *Food seasoning powder*. Accessed August 31, 2023. Retrieved from https://fic.nfi.or.th/law/upload/file1/TH_1274.pdf. (in Thai)
- Thai Synchrotron National lab. (2019). *Application of "Reu Hom" essential oil, a new herbal alternative to natural antimicrobial substances*. Accessed August 31, 2023. Retrieved from <https://www.sri.or.th/th/slriresearch>. (in Thai)
- Thuwapanichayanan, R., Prachayawarakorn, S., & Soponronnarit, S. (2008). Drying characteristics and quality of banana foam mat. *Journal of Food Engineering*, 86(4), 573-583. doi: 10.1016/j.jfoodeng.2007.11.008

- U. S. Food and Drug Administration (FDA). (2001a). *US FDA: bacteriological analytical manual (Chap. 3)*. Silver Spring: FDA. Aerobic plate count. Accessed May 1, 2024. Retrieved from <https://www.fda.gov/media/178943/download?attachment>.
- U. S. Food and Drug Administration (FDA). (2001b). *US FDA: bacteriological analytical manual (Chap. 18)*. Silver Spring: FDA. Yeasts, molds and mycotoxins. Accessed May 1, 2024. Retrieved from <https://www.fda.gov/food/laboratory-methods-food/bam-chapter-18-yeasts-molds-and-mycotoxins>.
- U. S. Food and Drug Administration (FDA). (2020). *US FDA: bacteriological analytical manual (Chap. 4)*. silver spring: FDA. enumeration of *Escherichia coli* and the coliform bacteria. Accessed May 1, 2024. Retrieved from <https://www.fda.gov/media/182572/download?attachment>.
- Waterhouse, A. L. (2002). Determination of total phenolics. In R. E. Wrolstad (Ed.), *Current protocols in food analytical chemistry* (pp. 11.11-11.18). New York, United States: John Wiley & Sons, Inc.
- Xie, Z., Haung, J., Xu, X., & Jin, Z. (2008). Antioxidant activity of peptides isolated from alfalfa leaf protein hydrolysate. *Food Chemistry*, 111(2), 370-376. doi: 10.1016/j.foodchem.2008.03.078
- Yildiz, G., Celikler, S., Vatan, O., & Dere, S. (2012). Determination of the anti-oxidative capacity and bioactive compounds in green seaweed *Ulva rigida* C. agardh. *International Journal of Food Properties*, 15(6), 1182-1189. doi: 10.1080/10942912.2010.517341
- Yu, J., Yang, J., Zeng, Q., & Huang, Y. (2013). Effect of carboxymethyl cellulose addition on the properties of Si₃N₄ ceramic foams. *Ceramics International*, 39(3), 2775-2779. doi: 10.1016/j.ceramint.2012.09.044

Research article

Product development of Moo-Liang noodle soup powder supplemented with dried sea lettuce (*Ulva rigida*)

Marasri Jungsi Sommarut Klamklomjit Korawit Sakkaekaew and Nantida Dangkhaw*

Culinary Arts Program, Faculty of Culinary Arts, Dusit Thani College, Prawet District, Bangkok Province, Thailand. 10250

ARTICLE INFO**Article history**

Received: 27 June 2024

Revised: 16 September 2024

Accepted: 13 November 2024

Online published: 4 December 2024

Keyword

Moo-Liang noodle soup powder
sea lettuce

foam-mat drying

antioxidant activity

ABSTRACT

Moo-Liang noodle soup, a blend of spices and herbs, offers various health benefits to consumers. This research aimed to (1) develop a Moo-Liang noodle soup powder using the foam-mat drying method and (2) evaluate the effects of dried sea lettuce supplementation on the product's properties. Sensory evaluation of the basic noodle soup formula, conducted using a 9-point Hedonic scale, revealed that the SF3 formula achieved the highest scores across all attributes ($p < 0.05$). Consequently, the SF3 formula was selected for development into a powdered form using the foam-mat drying method. The optimal drying conditions were identified as using egg white as a foaming agent at 6 % weight by weight (w/w), carboxymethyl cellulose (CMC) as a foam stabilizer at 1 % w/w and drying at 80 °C for 480 minutes ($p < 0.05$), based on physicochemical analysis results. The sensory evaluation of the mixture ratio of dried sea lettuce and noodle soup powder indicated that supplementation with 1 % w/w dried sea lettuce was the most preferred by consumers ($p < 0.05$). The product, including the dried sea lettuce, was analyzed for total extractable phenolic content (TPC), total extractable flavonoid content (TFC), and antioxidant activity using the DPPH, ABTS, and FRAP assays. Additionally, the product's microbial quality complied with the standards for Thai community products. In conclusion, the developed Moo-Liang noodle soup powder supplemented with dried sea lettuce demonstrated excellent sensory properties, strong antioxidant activity, and microbiological safety, highlighting its potential for further commercial development.

*Corresponding author

E-mail address: Nantida.da@dtc.ac.th (N. Dangkhaw)

Online print: 4 December 2024 Copyright © 2024. This is an open access article, production, and hosting by Faculty of Agricultural Technology, Rajabhat Maha Sarakham University. <https://doi.org/10.14456/paj.2024.53>



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

บทความวิจัย

การพัฒนาผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวชนิดแท่งจากกล้วยเล็บมือนางอบแห้ง

อรุณรัตน์ เรืองวัชรินทร์^{1*} พรวตา จันทโร¹ และ จิรัชชาติ เรืองวัชรินทร์²

¹สาขานวัตกรรมอาหารและโภชนาการ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏสุราษฎร์ธานี อำเภอเมือง จังหวัดสุราษฎร์ธานี ประเทศไทย 84100

²สำนักงานสาธารณสุขจังหวัดสุราษฎร์ธานี อำเภอเมือง จังหวัดสุราษฎร์ธานี ประเทศไทย 84000

ข้อมูลบทความ	บทคัดย่อ
Article history รับ: 5 กันยายน 2567 แก้ไข: 18 ตุลาคม 2567 ตอบรับการตีพิมพ์: 29 พฤศจิกายน 2567 ตีพิมพ์ออนไลน์: 9 ธันวาคม 2567	วัตถุประสงค์ของงานวิจัยเพื่อพัฒนาผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวจากกล้วยเล็บมือนางอบแห้ง ศึกษาคุณภาพและคุณค่าทางโภชนาการ สูตรที่เหมาะสมของขนมขบเคี้ยวชนิดแท่งจากกล้วยเล็บมือนาง ได้แก่ กล้วยเล็บมือนางอบแห้งร้อยละ 35 ข้าวพองร้อยละ 23 เนยถั่วร้อยละ 20.50 เมล็ดฟักทองร้อยละ 7 เม็ดมะม่วงหิมพานต์ร้อยละ 7 น้ำผึ้งร้อยละ 3.40 กลิ่นวนิลา ร้อยละ 3 งาดำร้อยละ 0.50 งาขาวร้อยละ 0.50 และแซนแทนร้อยละ 0.10 จากการทดลอง พบว่า ปริมาณกล้วยเล็บมือนางอบแห้งมีผลต่อคุณลักษณะของผลิตภัณฑ์ ด้านสีและความแข็งอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) คุณลักษณะทางด้านประสาทสัมผัส ด้านลักษณะปรากฏ กลิ่นรส รสชาติ เนื้อสัมผัส และความชอบโดยรวมของผลิตภัณฑ์ การทดสอบความชอบด้วยการให้คะแนนความชอบ 9 ระดับ (9-point hedonic scale) จากผู้ทดสอบชิมจำนวน 50 คน พบว่า ทุกคุณลักษณะมีคะแนนชอบปานกลางถึงชอบมาก (7-8) การหาปริมาณจุลินทรีย์ในการเก็บรักษาเป็นเวลา 8 สัปดาห์ ที่อุณหภูมิ 30°C โดยใช้บรรจุภัณฑ์สองชนิด ได้แก่ ถุงพลาสติกใสชนิด (OPP) และถุงอลูมิเนียมฟอยล์ ไม่พบ ยีสต์และรา จุลินทรีย์ทั้งหมด < 25 CFU/กรัม จากการศึกษาคุณค่าทางโภชนาการ พบว่าผลิตภัณฑ์ที่ได้มีวิตามินบี 1 สูง (ร้อยละ 44 ของ Thai RDI) และใยอาหารสูง (ร้อยละ 36 ของ Thai RDI)

บทนำ

ปัจจุบันผู้บริโภคมีพฤติกรรมการบริโภคอาหารเปลี่ยนแปลงไป ไม่สะดวกในการจัดเตรียมอาหาร ความเร่งรีบในการทำงาน ส่งผลให้อาหารประเภทขนมขบเคี้ยวชนิดแท่ง (Snack bar) ซึ่งเป็นอาหารพร้อมรับประทาน ให้พลังงานและมีสารอาหารเพียงพอ สามารถพกพาและบริโภคได้สะดวก เป็นกลุ่มอาหารที่เติบโตเร็วที่สุด เป็นที่นิยมของผู้บริโภคในทุกช่วงวัยและเป็นที่ยอมรับอย่างกว้างขวางทั่วโลก (Mattes, 2018; Zulaikha et al., 2021) ขนมขบเคี้ยวมีหลายรูปแบบส่วนใหญ่ให้พลังงานสูงเพราะประกอบด้วยแป้ง น้ำตาล และไขมันเป็นหลัก มีสารอาหารที่จำเป็น เช่น โปรตีน เกลือแร่ และวิตามินค่อนข้างน้อย และยังมีผงชูรสและเกลือในปริมาณมาก มีปริมาณใยอาหารต่ำ รับประทานแล้วจะอึดท้องแต่จะทำให้รับประทานอาหารมื้อหลักได้น้อยลง หากรับประทานบ่อยอาจทำให้เกิดภาวะน้ำหนักเกิน ส่งผลเสียต่อสุขภาพ การบริโภคของขบเคี้ยวที่ให้พลังงานสูงซึ่งไม่ดีต่อสุขภาพถือเป็นปัจจัยเสี่ยงที่จะเกิดโรคอ้วนและโรคหัวใจและหลอดเลือด (Amrein et al., 2021; Pothidee et al., 2021)

ปัจจุบันกระแสการบริโภคอาหารเพื่อสุขภาพเพิ่มมากขึ้น การบริโภคผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวที่ไม่ส่งผลเสียต่อสุขภาพ เช่น สีนํ้าตาลที่ไม่มีน้ำตาล และไขมันต่ำ หรือผลิตภัณฑ์ที่ไม่มีส่วนประกอบของน้ำมัน เป็นสิ่งที่ผู้บริโภคให้ความสนใจอย่างต่อเนื่อง (Saowaphruek, 2018) ขนมขบเคี้ยวเพื่อสุขภาพมีแนวโน้มการเติบโตสูงขึ้นทั้งในไทยและต่างประเทศ กรมส่งเสริมการค้าระหว่างประเทศ (DITP) เผยแนวโน้มการบริโภคขนมขบเคี้ยวไขมันต่ำกำลังมาแรงในตลาดจีน หลังผู้บริโภคหันมาใส่ใจสุขภาพ และเน้นการผลิตสินค้าโดยลดไขมัน ลดน้ำตาล ให้ความสนใจในการปรับปรุงพัฒนาสินค้าโดยใช้เทคโนโลยีใหม่และใช้การสื่อสารเพื่อทำความเข้าใจกับผู้บริโภค (Manager Online, 2023)

กล้วยเล็บมือนางปลูกมากในพื้นที่ภาคใต้ของประเทศไทย เป็นพืชท้องถิ่นที่มีความสำคัญทางเศรษฐกิจของภาคใต้ เช่น จังหวัดชุมพร สุราษฎร์ธานี นครศรีธรรมราช เป็นต้น ในช่วงที่มีผลผลิตจำนวนมาก ได้มีการนำมาแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์ต่าง ๆ โดยส่วนใหญ่นิยมแปรรูปกล้วยเล็บมือนางอบแห้ง นอกจากนั้นแปรรูปเป็นกล้วยเล็บมือนางทอดกรอบ กล้วยเล็บมือนางแผ่น กล้วยเล็บมือนาง

*Corresponding author

E-mail address: uraporn09@gmail.com (U. Rueangwatcharin)

Online print: 9 December 2024 Copyright © 2024. This is an open access article, production, and hosting by Faculty of Agricultural Technology, Rajabhat Maha Sarakham University. <https://doi.org/10.14456/paj.2024.54>

ฉาบรสต่าง ๆ กลัวยเลืบนองนางเคลือบช็อคโกแลต เป็นต้น กลัวยเลืบนองนางเป็นผลไม้ที่มีปริมาณวิตามินบี และมีใยอาหารสูง ให้พลังงานสำหรับการออกกำลังกาย ลดการเกิดโรคโลหิตจาง เพราะมีธาตุเหล็กสูง การใช้ประโยชน์จากกลัวย สามารถนำมาแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์อื่น ๆ เพื่อเพิ่มมูลค่าผลผลิต (Naksuwan et al., 2020) ในกระบวนการผลิตกลัวยเลืบนองนางอบแห้งจะมีส่วนเหลือทิ้งจากการตัดแต่ง เช่น ขนาดไม่ได้มาตรฐาน เศษทิ้งจากการตัดแต่ง เป็นวัสดุเศษเหลือประมาณร้อยละ 10 ซึ่งสามารถนำส่วนเหล่านี้นามาแปรรูปเพื่อสร้างมูลค่าเพิ่มให้แก่ผู้ประกอบการได้ มีรายงานวิจัยการพัฒนาผลไม้แห้งจากผลไม้หลายชนิด เช่น แอปเปิ้ลและพ룬 มะเดื่อฝรั่ง หรือ Fig (*Ficus carica* L.) (Piatan et al., 2023; Sharma et al., 2024) ผลไม้ชนิดแห้งจากอินทผลัมเพื่อเป็นแหล่งของโปรตีน ไขมัน และคาร์โบไฮเดรต ให้พลังงานสูง (Pam et al., 2015) ถึงแม้จะมีการศึกษาผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวจากผลไม้บางชนิด ส่วนใหญ่เป็นผลไม้จากต่างประเทศ ยังไม่มีการใช้กลัวยเลืบนองนางอบแห้งเป็นวัตถุดิบหลัก ซึ่งกลัวยเลืบนองนางอบแห้งมีลักษณะเนื้อสัมผัสนุ่ม ไม่แข็งกระด้างสามารถนำมาเป็นวัตถุดิบทดแทนอินทผลัมได้ งานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์ของการวิจัยเพื่อศึกษาสูตรที่เหมาะสม ศึกษาคุณภาพและคุณค่าทางโภชนาการของขนมขบเคี้ยวจากกลัวยเลืบนองนางอบแห้ง เพื่อเป็นแนวทางการพัฒนาผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวโดยใช้วัตถุดิบหลักจากกลัวยเลืบนองนางอบแห้ง เป็นการใช้ประโยชน์จากวัสดุเศษเหลือในท้องถิ่นจากกระบวนการผลิตกลัวยเลืบนองนางอบแห้ง นอกจากนั้นนำข้าวพองมาเป็นวัตถุดิบทดแทนข้าวโอ๊ตซึ่งเป็นวัตถุดิบนำเข้าจากต่างประเทศ สามารถสร้างมูลค่าเพิ่มให้แก่เกษตรกรสร้างรายได้ให้แก่ชุมชน ได้ผลิตภัณฑ์อาหารสุขภาพที่มีสารอาหารครบถ้วนและเหมาะสมแก่ผู้บริโภคที่รักสุขภาพและผู้บริโภคทุกเพศทุกวัย ปัจจุบันยังไม่มีขนมขบเคี้ยวจากกลัวยจำหน่าย งานวิจัยนี้จึงเป็นแนวทางการผลิตอาหารเพื่อสุขภาพเพื่อต่อยอดเป็นผลิตภัณฑ์อาหารเชิงพาณิชย์ให้แก่ผู้ประกอบการต่อไป

อุปกรณ์และวิธีการวิจัย

กระบวนการเตรียมวัตถุดิบ

มีวิธีการเตรียมวัตถุดิบต่าง ๆ ดังนี้ งาดำ งาขาว นำไปคั่วในกระทะใช้ไฟอ่อน คั่วจนเมล็ดพองตัวและมีกลิ่นหอม เม็ดมะม่วงหิมพานต์ซีก และเมล็ดฟักทอง นำไปอบที่อุณหภูมิ 150°C นาน 10 นาที นำไปบดหยาบ ข้าวพอง เตรียมโดยนำข้าวที่หุงสุกแช่เย็น 24 ชั่วโมง อบที่อุณหภูมิ 80°C นาน 2 ชั่วโมง ทอดในน้ำมันที่มีอุณหภูมิ 175°C นาน 5 วินาที อินทผลัมอบแห้ง นำมาแกะเมล็ดหั่นเป็นชิ้นขนาดเล็ก ปั่นให้ละเอียด และกลัวยเลืบนองนางอบแห้ง นำมาหั่นเป็นชิ้นขนาดเล็ก บดให้ละเอียดหรืออินทผลัมอบแห้งบดละเอียด

การศึกษาสูตรที่เหมาะสมในการผลิตขนมขบเคี้ยวชนิดแห้งจากกลัวยเลืบนองนางอบแห้ง

นำกลัวยเลืบนองนางอบแห้งบดละเอียด เติมน้ำมัน ข้าวพอง เติมน้ำผึ้ง ได้แก่ เมล็ดฟักทอง เม็ดมะม่วงหิมพานต์ งาดำและงาขาว ผสมให้เข้ากัน เติมน้ำผึ้ง กลิ่นวนิลา น้ำเปล่า (ละลายแซนแทนกัมลงในน้ำผึ้ง กลิ่นวนิลาและน้ำเปล่า) ผสมจนเข้ากันดี ใส่ถาด นำไปแช่แข็งเป็นเวลา 1 ชั่วโมง นำออกจากตู้แช่แข็ง ตัดเป็นชิ้น ขนาด $2 \times 3.50 \times 1.20$ เซนติเมตร และนำไปแช่แข็งต่อเป็นเวลา 1 ชั่วโมง นำไปอบด้วยเตาอบไฟฟ้าที่อุณหภูมิ 160°C นาน 15 นาที นำไปอบลมร้อนด้วยตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิ 70°C นาน 1 ชั่วโมง 30 นาที ปลอ่ยให้เย็น บรรจุถุงพลาสติกใส (OPP) ที่อุณหภูมิห้อง 30°C นำมาวิเคราะห์คุณภาพและคุณค่าทางโภชนาการ สูตรขนมขบเคี้ยวชนิดแห้งจากกลัวยเลืบนองนางอบแห้งโดยมีสูตรที่ใช้วัตถุดิบจากอินทผลัมเป็นสูตรควบคุมแสดงดัง Table 1

การวิเคราะห์คุณภาพด้านกายภาพ

1. ค่าสี นำตัวอย่างมาบดใส่ในอุปกรณ์ใส่ตัวอย่างและวิเคราะห์โดยใช้เครื่องวัดสี Minolta รุ่น CR-400 แสดงผลเป็นค่า L^* , a^* และ b^* โดยที่ ค่า L^* เป็นค่าความสว่าง (L^* เป็นบวก) และสีดำ (L^* เป็นลบ) a^* เป็นค่าสีแดง (a^* เป็นบวก) และสีเขียว (a^* เป็นลบ) b^* เป็นค่าสีเหลือง (b^* เป็นบวก) และสีน้ำเงิน (b^* เป็นลบ)

2. ลักษณะเนื้อสัมผัส วิเคราะห์โดยใช้เครื่องวัดลักษณะเนื้อสัมผัสอาหาร (Texture analyzer) ยี่ห้อ Brookfield รุ่น CT 3 ใช้ตัวอย่างขนมขบเคี้ยวชนิดแห้งขนาด $2 \times 5 \times 1.20$ เซนติเมตร 3 วัดค่าความแข็ง (hardness, N) การวัดค่าแรงกดแตกโดยใช้หัววัด (probe) หัววัดทรงกระบอก TA7 ความเร็วหัววัด (test speed) 0.5 มิลลิเมตรต่อวินาที ทำการทดลอง 10 ซ้ำ

การวิเคราะห์คุณภาพด้านเคมี

1. ปริมาณความชื้น นำตัวอย่างมาบดและวิเคราะห์ตามวิธีของ AOAC (2012)

2. ปริมาณน้ำอิสระ (aw) นำตัวอย่างมาบดใส่ในอุปกรณ์ใส่ตัวอย่างและวิเคราะห์โดยใช้เครื่องวัดค่า aw รุ่น Aqua Lab 3PE ทำการทดลอง 3 ซ้ำ

การวิเคราะห์คุณภาพด้านจุลินทรีย์

ปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมด วิเคราะห์ตามวิธีของ BAM (2001) และปริมาณยีสต์ และรา วิเคราะห์ตามวิธีของ BAM (2001) วิเคราะห์ขนมขบเคี้ยวชนิดแห้งจากกลัวยเลืบนองนางอบแห้ง โดยเก็บรักษาในบรรจุภัณฑ์สองชนิดได้แก่ พลาสติกใส (OPP) และถุงอูมิเนียมฟอยล์ที่อุณหภูมิห้อง 30°C เป็นระยะเวลา 8 สัปดาห์

การวิเคราะห์คุณภาพทางประสาทสัมผัส

ทดสอบด้านความชอบ (affective test) ด้วยการให้คะแนนความชอบ 9 ระดับ (9-point hedonic scale) ทำการประเมินด้านคุณลักษณะปรากฏ กลิ่นรส เนื้อสัมผัส รสชาติ และความชอบชิมโดยรวมจากผู้ทดสอบชิมทั่วไปที่ไม่ผ่านการฝึกฝนจำนวน 50 คน

การวิเคราะห์คุณค่าทางโภชนาการต่อหนึ่งหน่วยบริโภค

วิเคราะห์พลังงานทั้งหมด พลังงานจากไขมันและคาร์โบไฮเดรตด้วยวิธีคำนวณ ไขมันทั้งหมดตามวิธีของ AOAC (2019) ไขมันอิ่มตัวด้วยเครื่อง Gas Chromatography (GC) โคเลสเตอรอล โปรตีน โยอาหาร น้ำตาล โซเดียม แคลเซียม เหล็ก และความชื้นด้วยวิธี AOAC (2019)

วิตามินเอ วิตามินบี 1 วิตามินบี 2 ด้วยเครื่อง High Performance Liquid Chromatography (HPLC)

การวิเคราะห์ผลการทดลองทางสถิติ

แผนการทดลองและการวิเคราะห์ข้อมูล ตามแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ (CRD) ทำการทดลองอย่างน้อย 3 ซ้ำ รายงานผลในรูปของค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน วิเคราะห์ค่าความแปรปรวนทางสถิติโดย One-way ANOVA ที่ระดับนัยสำคัญทางสถิติ 0.05 และเปรียบเทียบความแตกต่างโดยใช้วิธี Duncan's Multiple Range Test (DMRT) โดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูป SPSS (version 26)

Table 1 The formula of snack bar from dried Lady Finger banana

Ingredients (g)	Formula 1	Formula 2	Formula 3	Formula 4
Black sesame	2	2	2	2
White sesame	2	2	2	2
Water	12	12	12	12
Vanilla flavor	15	15	15	15
Honey	16	16	16	16
Xanthan gum	0.3	0.3	0.3	0.3
Pumpkin seeds	30	30	30	30
Cashew nuts	30	30	30	30
Peanut butter	90	90	90	90
Puffed rice	100	100	100	100
Dried date palm	100	-	-	-
Dried Lady Finger bananas	-	100	150	200

ผลและวิจารณ์ผลการวิจัย

ผลการวิเคราะห์คุณภาพ

1. ค่าสี

ค่าสี (L^* , a^* และ b^*) ของขนมขบเคี้ยวชนิดแท่ง แสดงดัง Table 2 พบว่า มีความแตกต่างด้านค่าความสว่าง (L^*) และค่าสีเหลือง (b^*) ปริมาณกล้วยเล็บมือนางอบแห้งอาจมีผลต่อค่าสีของขนมขบเคี้ยวชนิดแท่ง ถึงแม้ว่าสูตรที่ใส่ กล้วยเล็บมือนางอบแห้งทุกสูตรมีค่าความสว่าง (L^*) และค่าสีเหลือง (b^*) ไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($p>0.05$) กับสูตรที่ใส่อินทผลัม (สูตรควบคุม) แต่สูตรที่ 2 มีความแตกต่างทางสถิติจากสูตรที่ 4 ($p\leq 0.05$) ในขณะที่ค่าสีแดง (a^*) ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($p>0.05$) ทั้งนี้เมื่อปริมาณกล้วยเล็บมือนางอบแห้งเพิ่มขึ้นมีแนวโน้มให้ขนมขบเคี้ยวชนิดแท่งมีสีคล้ำขึ้น อาจเกิดจากปฏิกิริยาเมลลาร์ดขณะอบ

ขนมขบเคี้ยวชนิดแท่งจากกล้วยเล็บมือนางอบแห้งด้วยเตาไฟฟ้า ซึ่งเป็นปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลชนิดที่ไม่เกี่ยวข้องกับเอนไซม์โดยมีความร้อนเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา และอาจมีการเปลี่ยนแปลงสีเนื่องจากการใช้อุณหภูมิสูงในการอบ ทำให้เกิดปฏิกิริยาได้ดี การเปลี่ยนแปลงค่าสีสัมพันธ์กับการเกิดปฏิกิริยาสีน้ำตาล เมื่อค่าความสว่างลดลง บ่งบอกว่าผลิตภัณฑ์มีการเกิดสีน้ำตาลมากขึ้น (Rocha & Morais, 2003; Tabtiang et al., 2012) จากงานวิจัยของ Mulla et al. (2016) รายงานว่าปริมาณน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยวในกล้วยเป็นสารที่ทำให้เปลี่ยนเป็นสีน้ำตาลในกล้วยอบแห้งเมื่อปริมาณน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยวมากขึ้นจะเร่งให้เกิดสีน้ำตาลมากขึ้นตามไปด้วย แต่อย่างไรก็ตามการเปลี่ยนแปลงสีของผลิตภัณฑ์ก็เป็นที่ยอมรับของผู้บริโภคด้านลักษณะปรากฏที่ระดับคะแนนชอบปานกลางถึงชอบมาก (7-8)

Table 2 Color quality of snack bars from dried Lady Finger banana

formula	L^*	a^{*ns}	b^*
1	37.89 ± 0.61^{ab}	5.82 ± 1.01	13.06 ± 0.71^{ab}
2	40.81 ± 0.64^a	5.31 ± 0.23	14.07 ± 0.59^a
3	39.21 ± 1.90^{ab}	5.66 ± 0.51	13.65 ± 0.19^a
4	36.64 ± 0.69^b	4.65 ± 0.20	11.91 ± 0.25^b

Values with different superscripts with in the same column are significantly difference ($p\leq 0.05$).

^{ns} Values in the same column are not significantly different ($p>0.05$).

2. ลักษณะเนื้อสัมผัส

ลักษณะเนื้อสัมผัสของขนมขบเคี้ยวชนิดแท่ง จากการวัดค่าความแข็ง แสดงดัง Table 3 พบว่า ปริมาณกล้วยเล็บมือนางอบแห้งเพิ่มขึ้นส่งผลให้ค่าความแข็งของขนมขบเคี้ยวชนิดแท่งมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) แสดงให้เห็นว่าการผสมกล้วยเล็บมือนางในปริมาณที่มากขึ้นจะทำให้ผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวชนิดแท่งนั้นมีความแข็งมากขึ้น เนื่องจากกล้วยเล็บมือนางอบแห้งมีค่าความแข็งมากกว่าการใช้ธัญพาล์ม นอกจากนี้ความร้อนในการ

อบแห้งทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงความชื้นและส่งผลให้เกิดความเครียดในวัสดุ จึงส่งผลให้กล้วยเล็บมือนางเหี่ยวแห้งและมีปริมาตรลดลง ส่งผลให้มีค่าเนื้อสัมผัสแข็งขึ้น (Musikachai, 2018) เนื่องจากอาหารอาจมีน้ำที่ระเหยไป มีการเปลี่ยนแปลงที่เห็นได้อย่างชัดเจนระหว่างการอบแห้ง ได้แก่ การหดตัวของชิ้นอาหารซึ่งเกิดจากการระเหยน้ำออกไป การใช้กล้วยเล็บมือนางอบแห้งเป็นวัตถุดิบส่งผลให้ขนมขบเคี้ยวชนิดแท่งมีค่าความแข็งมากขึ้น (Hatamipour & Mowla, 2003; Kunwisawa et al., 2007)

Table 3 Textural properties of snack bars from dried Lady Finger banana

Formula	Hardness (N)
1	336.38 ± 14.46 ^c
2	406.26 ± 24.65 ^b
3	503.25 ± 56.88 ^a
4	554.29 ± 47.56 ^a

Values with different superscripts with in the same column are significantly difference ($p \leq 0.05$).

^{ns} Values in the same column are not significantly different ($p > 0.05$).

3. ปริมาณความชื้นและปริมาณน้ำอิสระ

ขนมขบเคี้ยวจากกล้วยเล็บมือนางอบแห้ง มีค่าความชื้นอยู่ในช่วง 9.15-10.43 สูตรที่ 4 มีความแตกต่างกับสูตรที่ 2 และสูตรที่ 1 หรือสูตรควบคุมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) ค่า a_w ของผลิตภัณฑ์อยู่ในช่วง 0.54-0.57 มีค่า a_w สูงกว่าขนมขบเคี้ยวชนิดแท่งจากแอปเปิ้ลเล็กน้อย (0.44-0.48) (Sun-Waterhouse et al., 2010) ในขณะที่ปริมาณกล้วยเล็บมือนางอบแห้งเพิ่มขึ้น ไม่ส่งผลต่อค่า a_w อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) แสดงดัง Table 4

ค่า a_w หมายถึงปริมาณน้ำอิสระในอาหารที่สัมพันธ์กับการเปลี่ยนแปลงทางด้านเคมีและจุลินทรีย์ และการเปลี่ยนแปลงด้านกายภาพ เช่น ความกรอบของอาหาร และสามารถทำนายอายุการเก็บรักษาของผลิตภัณฑ์ได้ (Panyoyai & Suwannalert., 2023) ผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวจากกล้วยเล็บมือนางอบแห้งจัดอยู่ในกลุ่มอาหารแห้ง เพราะมีค่า a_w ของผลิตภัณฑ์มีค่าต่ำกว่า 0.6 มีความชื้นต่ำกว่าร้อยละ 15 เป็นอาหารที่เก็บรักษาได้นานแต่อาจพบการเสื่อมเสียจากยีสต์และราบางชนิดได้ (Pornchaloempong, 2024)

Table 4 Moisture content and a_w of snack bars from dried Lady Finger banana

Formula	Moisture	a_w ^{ns}
1	9.15 ± 0.71 ^b	0.55 ± 0.02
2	9.20 ± 0.58 ^b	0.54 ± 0.02
3	9.79 ± 0.29 ^{ab}	0.56 ± 0.02
4	10.43 ± 0.45 ^a	0.57 ± 0.02

Values with different superscripts with in the same column are significantly difference ($p \leq 0.05$).

^{ns} Values in the same column are not significantly different ($p > 0.05$).

4. การทดสอบทางประสาทสัมผัส

การประเมินคุณภาพด้านลักษณะปรากฏ กลิ่นรส เนื้อสัมผัส รสชาติ และความชอบโดยรวม ของ ผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวชนิดแท่ง แสดงดัง Table 5 โดยใช้วิธีทดสอบด้วยการให้คะแนนความชอบ 9 ระดับ จากผู้ทดสอบชิมจำนวน 50 คน พบว่า ด้านลักษณะปรากฏ กลิ่นรส เนื้อสัมผัส รสชาติและความชอบโดยรวมมีความแตกต่างกันทางสถิติ ($p \leq 0.05$) โดยลักษณะปรากฏมีคะแนนความชอบ 6.29-7.40 ที่ระดับคะแนนชอบเล็กน้อยถึงชอบปานกลาง กลิ่นรส มีคะแนนความชอบ 6.98-7.60 ที่ระดับคะแนนชอบเล็กน้อยถึงชอบปานกลาง รสชาติ มีคะแนนความชอบ 6.82-7.38 ที่ระดับคะแนนชอบเล็กน้อย

ถึงชอบปานกลาง เนื้อสัมผัส มีคะแนน 6.80-7.32 ที่ระดับคะแนนชอบเล็กน้อยถึงชอบปานกลาง ความชอบโดยรวม มีคะแนน 7.12-7.72 ที่ระดับคะแนนชอบปานกลาง แสดงดัง Table 5 คะแนนความชอบด้านลักษณะปรากฏและด้านรสชาติของขนมขบเคี้ยวชนิดแท่งสูตรที่ใส่กล้วยเล็บมือนาง สูตรที่ 2 และ 3 มีคะแนนสูงกว่าสูตรที่ใส่ธัญพาล์มหรือสูตรควบคุม ($p \leq 0.05$) นอกจากนั้นคะแนนความชอบด้านเนื้อสัมผัสและความชอบโดยรวมของขนมขบเคี้ยวชนิดแท่งสูตรที่ใส่กล้วยเล็บมือนาง สูตรที่ 3 มีคะแนนสูงกว่าสูตรที่ใส่ธัญพาล์มหรือสูตรควบคุม ($p \leq 0.05$) สอดคล้องกับ Panekwong et al. (2014) ได้พัฒนาธัญพาล์มจากข้าวกล้องงอกและเมล็ดงาดำจากผู้บริโภค

ให้คะแนนความชอบโดยรวมเฉลี่ยอยู่ในระดับชอบเล็กน้อยถึงชอบปานกลาง (6-7) นอกจากนั้นยังมีรายงานวิจัยของ Lertnimitmongkol & Mongkontanawat (2020) ได้ทดสอบผลิตภัณฑ์ข้าวหอมแม่พญาทองคำอัดแท่งผสมกล้วยไข่ทอด พบว่า ผู้บริโภคให้คะแนนความชอบ

ที่ระดับชอบปานกลาง (7.11) คัดเลือกสูตรที่ 3 เป็นสูตรที่ได้รับการยอมรับจากผู้บริโภคและมีคะแนนความชอบสูงสุดในทุกคุณลักษณะ เพื่อนำไปวิเคราะห์คุณภาพด้านจุลินทรีย์ในระหว่างการเก็บรักษาต่อไป

Table 5 Sensory evaluation of snack bar from dried Lady Finger banana

	Formula			
	1	2	3	4
Appearance	6.29 ± 0.90 ^b	7.40 ± 0.97 ^a	7.36 ± 0.75 ^a	7.10 ± 0.95 ^{ab}
Flavor	7.60 ± 0.78 ^a	7.34 ± 0.96 ^{ab}	7.52 ± 1.23 ^a	6.98 ± 1.25 ^b
Texture	6.80 ± 1.32 ^b	7.28 ± 0.97 ^{ab}	7.32 ± 1.24 ^a	6.88 ± 1.17 ^{ab}
Taste	6.82 ± 1.27 ^b	7.36 ± 1.18 ^a	7.38 ± 0.98 ^a	7.04 ± 1.35 ^{ab}
Overall liking	7.12 ± 0.91 ^b	7.60 ± 0.93 ^{ab}	7.72 ± 0.81 ^a	7.22 ± 1.22 ^b

Values with different superscripts with in the same row are significantly difference (p<0.05).

^{ns} Values in the same row are not significantly different (p>0.05).

5. ปริมาณจุลินทรีย์ในระหว่างการเก็บรักษา

จากหาปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมด ยีสต์และราของขนมขบเคี้ยวชนิดแท่งจากกล้วยเล็บมือนางอบแห้ง โดยเก็บที่อุณหภูมิห้อง 30°C เป็นระยะเวลา 8 สัปดาห์ (Table 6) พบว่า ในบรรจุภัณฑ์ทั้งสองชนิด ได้แก่ พลาสติกใส (OPP) และถุงอลูมิเนียมฟอยล์ ไม่พบยีสต์และรา ตลอดการเก็บรักษา 8 สัปดาห์ ขณะที่ปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมดหลังการเก็บรักษา 2 สัปดาห์ พบน้อยกว่า 25 โคโลนี/กรัม แต่ถึงอย่างไรปริมาณจุลินทรีย์ไม่เกินเกณฑ์มาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชน 902/2016 ผลิตภัณฑ์ชุมชนเรื่องผัก ผลไม้ และธัญพืชอัดแท่ง ที่กำหนดให้ยีสต์และราต้องไม่

เกิน 100 โคโลนีต่อ ตัวอย่าง 1 กรัม การเพิ่มขึ้นของเชื้อจุลินทรีย์ทั้งหมดและเชื้อรามีความสัมพันธ์ กับค่า aw และปริมาณความชื้น โดยทั่วไปเชื้อจุลินทรีย์ จะเจริญเติบโตเมื่ออาหารมีค่า aw อยู่ในช่วง 0.60-0.90 เชื้อจุลินทรีย์ประเภทราจะไม่เจริญเติบโตเมื่ออาหารมีค่า aw 0.62 หรือต่ำกว่า (Rawat & Darappa, 2014; Pratiwi et al., 2019) ขนมขบเคี้ยวชนิดแท่งจากกล้วยเล็บมือนางอบแห้ง มีค่าความชื้นอยู่ในช่วง 9.15-10.43 และมีค่า aw อยู่ในช่วง 0.54-0.57 จัดอยู่ในกลุ่มอาหารแห้งสามารถเก็บรักษาผลิตภัณฑ์ในสภาวะที่เหมาะสมได้นานอย่างน้อย 8 สัปดาห์ ผลิตภัณฑ์มีคุณภาพและปลอดภัยสำหรับการบริโภค

Table 6 Microbiological properties of snack bar from dried Lady Finger banana at 30°C

	Weeks	Total bacteria count	Total yeast and mold count
		CFU/g	CFU/g
OPP bags	0	ND	ND
	2	<25	ND
	4	<25	ND
	6	<25	ND
	8	<25	ND
Aluminium foil bags	0	ND	ND
	2	<25	ND
	4	<25	ND
	6	<25	ND
	8	<25	ND

*ND = Not detected.

คุณค่าทางโภชนาการ

การหาปริมาณสารอาหารของผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวจากกล้วยเล็บมือนาง แสดงคุณค่าทางโภชนาการต่อหนึ่งหน่วยบริโภค (40 กรัม) (Figure 1) โดยให้พลังงานทั้งหมด 190 กิโลแคลอรี ไขมัน 10 กรัม ไขมันอิ่มตัว 2 กรัม ไม่พบโคเลสเตอรอล โปรตีน 4 กรัม คาร์โบไฮเดรต 21 กรัม โซเดียม 40 มิลลิกรัม ไม่พบวิตามินเอ และวิตามินบี 2 วิตามินบี 1 1.66 มิลลิกรัม (ร้อยละ 44 Thai RDI)

แคลเซียม 40.51 มิลลิกรัม (ร้อยละ 2 Thai RDI) และเหล็ก 1.65 มิลลิกรัม (ร้อยละ 4 Thai RDI) เมื่อนำมาคำนวณปริมาณต่อหนึ่งหน่วยบริโภค (40 กรัม) ตามเกณฑ์ประกาศกระทรวงสาธารณสุข (ฉบับที่ 182) พ.ศ. 2541 พบว่า ผลิตภัณฑ์ที่ได้มีวิตามินบี 1 ในปริมาณร้อยละ 44 และใยอาหารในปริมาณร้อยละ 36 ของปริมาณที่แนะนำต่อวัน ผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวชนิดแท่งจากกล้วยเล็บมือนางอบแห้งเป็นผลิตภัณฑ์ที่มีวิตามินบี 1 สูงและมีใยอาหารสูง

และสามารถกล่าวอ้างหน้าที่ของสารอาหาร (nutrient function claims) ตามเกณฑ์ประกาศกระทรวงสาธารณสุข (ฉบับที่ 447) พ.ศ. 2566 โยอาหารเพิ่มกากใยในระบบทางเดินอาหารช่วยกระตุ้นการขับถ่าย วิตามินบี 1 มีส่วนช่วยในการทำงานตามปกติของระบบประสาทและกล้ามเนื้อ จากผลงานวิจัยของ Kunna et al. (2021) ได้พัฒนาผลิตภัณฑ์ธัญพืชอัดแท่งที่มีใยอาหารสูงจาก

ข้าวกล้องสีนเหล็ก พบว่า ผลิตภัณฑ์ธัญพืชอัดแท่งที่พัฒนาได้ (40 กรัม ต่อหนึ่งหน่วยบริโภค) จัดเป็นผลิตภัณฑ์ที่มีเส้นใยอาหาร (ร้อยละ 4.88) ผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวจากผลไม้หรือธัญพืชในท้องท้องตลาดที่มีจำหน่ายมีในรูปแบบธัญพืชผสมผลไม้ ธัญพืชแบบตัด ส่วนใหญ่มีข้อกล่าวอ้าง เช่น โยอาหารสูง น้ำตาลน้อย เป็นต้น

(Nutrition information)			
Serving size : 7 pieces (40 g)			
2 Serving(s) per box : about 2			
Amount per serving			
Total energy 190 kcal (Energy from fat 90 kcal)			
(% Thai RDI)			
Total fat	10 g		15 %
Saturated fat	2 g		10 %
Cholesterol	0 g		0 %
Protein	4 g		
Total carbohydrate	21 g		7 %
Dietary fiber	9 g		36 %
Sugars	7 g		
Sodium	40 mg		2 %
% Daily Value *(Percent Thai RDI)			
Vitamin A	0 %	Vitamin B1	44 %
Vitamin B2	0 %	Calcium	2 %
Iron	4 %		
*Percent Thai Recommended Daily intakes for population over 6 years age are based on a 2,000 kcal diet)			

Figure 1 Nutrition facts of snack bar from dried Lady Finger banana per 1 serving size.



Figure 2 Snack bar from dried Lady Finger banana per 1 serving size.

สรุปผลการวิจัย

สูตรที่เหมาะสมในการผลิตขนมขบเคี้ยวชนิดแท่งจากกล้วยเล็บมือนาง คือสูตร 3 เป็นสูตรที่ได้รับการยอมรับจากผู้บริโภคในระดับชอบปานกลางถึงชอบมาก มีส่วนประกอบ คือ กล้วยเล็บมือนางอบแห้งร้อยละ 35 ข้าวพองร้อยละ 23 เนยถั่วร้อยละ 20.50 เมล็ดฟักทองร้อยละ 7 เม็ดมะม่วงหิมพานต์ร้อยละ 7 น้ำผึ้งร้อยละ

3.40 กลี้นวนิลาร้อยละ 3 งาดำร้อยละ 0.50 งาขาว ร้อยละ 0.50 และแซนแทนกัมร้อยละ 0.10 ปริมาณจุลินทรีย์ในระหว่างการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์ 8 สัปดาห์ ในถุงพลาสติกใส OPP และถุงอูมิเนียมพอยล์ลามิเนต อุณหภูมิการเก็บรักษาที่ 30°C ไม่พบยีสต์และรา จุลินทรีย์ทั้งหมดไม่เกินเกณฑ์มาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชนผักผลไม้ และธัญพืชอัดแท่ง 902/2016 ผลจากการพัฒนาได้ผลิตภัณฑ์

ที่มีคุณภาพ มีความปลอดภัยต่อผู้บริโภคอย่างน้อย 8 สัปดาห์ และเป็นผลิตภัณฑ์อาหารที่มีคุณค่าทางโภชนาการ โดยเฉพาะมีวิตามินบี 1 และใยอาหารสูง ซึ่งผลการวิจัยนี้สามารถถ่ายทอดเทคโนโลยีการแปรรูปให้แก่ผู้ประกอบการกล้วยเล็บมือนางอบแห้งหรือผู้สนใจผลิตเป็นผลิตภัณฑ์เพื่อจำหน่ายในเชิงพาณิชย์ต่อไป

กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้วิจัยขอขอบคุณสำนักงานพัฒนาการวิจัยการเกษตร (องค์การมหาชน) ที่ให้ทุนสนับสนุนการวิจัยได้รับทุนอุดหนุนการพัฒนาการวิจัยการเกษตร ปีงบประมาณ 2565

References

Amrein, M. A., Scholz, U., & Inauen, J. (2021). Compensatory health beliefs and unhealthy snack consumption in daily life. *Appetite*, 157, 104996. doi:10.1016/j.appet.2020.104996

Association Official Analytical Chemists (AOAC). (2012). *Official methods of analysis* (19th ed.). Gaithersburg, Maryland, United States: Association Official Analytical Chemists International.

Association Official Analytical Chemists (AOAC). (2019). *Official methods of analysis* (21st ed.). Gaithersburg, Maryland, United States: Association Official Analytical Chemists International.

Hatamipour, M. S., & Mowla, D. (2003). Correlations for shrinkage, density and diffusivity for drying of maize and green peas in a fluidized bed with energy carrier. *Journal of Food Engineering*, 59(2- 3) , 221- 227. doi:10.1016/S0260-8774(02)00461-2

Kunna, N., Thongkorn, S., Nonprasat, P., & Phugsin, P. (2021). Development of high fiber cereal bar product from Sinlek brown rice. *Dusit Thani College Journal*, 15(1), 268-285. (in Thai)

Kunwisawa, J., Prachayawarakorn, S., & Soponronnarith, S. (2007). Effect of drying temperature on volatile compounds and physical qualities of banana slices. *KMUTT Research & Development Journal*, 30(Spec. 4), 611-621. (in Thai)

Lernimitmongkol, W., & Mongkontanawat, N. (2020). The development of “Khao Hawm Mae Paya Tong Dam black rice” (*Oryza sativa* L.) bar mixed with fried Pisang Mas (*Musa sapientum*) . *Rajamangala*

University of Technology Srivijaya Research Journal, 12(2), 362-373. (in Thai)

Mattes, R. D. (2018). Snacking: a cause for concern. *Physiology & Behavior*, 193(Pt B) , 279- 283. doi:10.1016/j.physbeh.2018.02.010

Manager Online. (2023). *Snack*. Accessed January 10, 2023. Retrieved from <https://mgronline.com/business/detail/9660000003384> (in Thai)

Mulla, M. Z., Annapure, U. S., Bharadwaj, V. R., & Singhal, R. S. (2016). A study on the kinetics of acrylamide formation in banana chips. *Journal of Food Processing and Preservation*, 41(1) , e12739. doi:10.1111/jfpp.12739

Musikachai, T. (2018). *Drying strategy of kluai leb mu nang and kluai khai with energy heat source : LPG* (Master’ s Thesis). Songkhla, Thailand: Songkhla: Prince of Songkla University. (in Thai)

Naksuwan, W. , Damrongwattana, J. , Dechochai, U. , & Khaenamkaew, D. (2020) . The promoting for processed products the honey-baked Leb Mue Nang bananas a case study Suan Jan Sri farmer house wife groups, village no.2, Ban Kauh Sub - District, Promkhiri District, Nakhon Si Thammarat Province, Thailand, *Journal of Social Science and Cultural*, 4(1) , 11-22. (in Thai)

Panekwong, J. , Suriwan. , A. , & Vatthanukul, S. (2014) . Development of cereal bar from germinated brown rice and germinated black sesame. *Proceedings of the 52th Kasetsart university annual conference: agro- industry* (pp. 178- 185) . Bangkok, Thailand: Kasetsart University. (in Thai)

Panyoyai, N., & Suwannalert, P. (2023) . Changes in relative humidity on crispness of dried sheet food produced by Thai community. *Burapha Science Journal*, 28(2), 1323-1340. (in Thai)

Parn, O. J., Bhat, R., Yeoh, T. K., & Al-Hassan, A. A. (2015). Development of novel fruit bars by utilizing date paste. *Food Bioscience*, 9(1) , 20- 27. doi:10.1016/j.fbio.2014.11.002

Piatan, S. , Potamoon, C. , & Wongchompoo, W. (2023) . Product development of FIG (*Ficus carica* L.) cereal

- bar. *UMT Poly Journal*, 20(2), 92-100. (in Thai)
- Pomchaloempong, P. (2024). *Water activity. Food network solution*. Accessed September 23, 2024. Retrieved from <https://www.foodnetworksolution.com/wiki/word/0551/water-activity> (in Thai)
- Pothidee, T., Prayoonwong, T., Tubpho, P., Eiamsen, P., Bumrunphanichthaworn, M., & Ruangdee, S. (2021). Ready-to-eat savouries consumption behavior of sixth grade students in Muang District, Phitsanulok Province. *Thai Dental Public Health Journal*, 26, 62-76. (in Thai)
- Pratiwi, I. A., Kemsawasd, V., & Winuprasith, T. (2019). Storage stability of high fiber snack bar. *Global Health Management Journal*, 3(3) , 124- 137. doi:10.35898/ghmj-33585
- Rawat, N., & Darappa, I. (2014). Effect of ingredients on rheological, nutritional and quality characteristics of fibre and protein enriched baked energy bars. *Journal of Food Science and Technology*, 52(5) , 3006-3013. doi:10.1007/s13197-014-1367-x
- Rocha, A. M. C. N., & Morais, A. M. M. B. (2003). Shelf life of minimally processed apple (cv. Jonagored) determined by colour change. *Food Control*, 14(1), 13-20. doi: 10.1016/S0956-7135(02)00046-4
- Saowaphruek, Y. (2018). *Trends in 'food and beverages' for health*. Accessed December 1, 2024. Retrieved from <https://www.prachachat.net/columns/news-268743> (in Thai)
- Sharma, N., Bajwa, J. S., & Gautam, N. (2024). Evaluation of improved functional characteristics of Lactobacillus enriched fruit bar prepared from stone fruits of Mid Himalayan belt. *Natural Product Research*, 1-7. doi: 10.1080/14786419.2024.2344185
- Sun-Waterhouse, D., Teoh, A., Massarotto, C., Wibisono, R., & Wadhwa, S. (2010). Comparative analysis of fruit-based functional snack bars. *Food Chemistry*, 119(4), 1369-1379. doi:10.1016/j.foodchem.2009.09.016
- Tabtiang, S., Prachayawarakorn, S., & Soponronnarit, S. (2012). Effects of osmotic treatment and superheated steam puffing temperature on drying characteristics and texture properties of banana slices. *Drying Technology*, 30(1) , 20- 28. doi:10.1080/07373937.2011.613554
- Zulaikha, Y., Yao, S. H., & Chang, Y. W. (2021). Physicochemical and functional properties of snack bars enriched with tilapia (*Oreochromis niloticus*) by-product powders. *Foods*, 10(8) , 1908. doi:10.3390/foods10081908

Research article

Product development of snack bar from dried lady finger bananaUraporn Rueangwatcharin^{1*} Prawta Juntaro¹ and Jirachart Rueangwatcharin²¹*Food Innovation and Nutrition Program, Faculty of Science and Technology, Suratthani Rajabhat University, Muang District, Suratthani Province, Thailand 84100*²*Suratthani Provincial Health Office Muang District, Suratthani Province, Thailand 84000*

ARTICLE INFO**Article history**

Received: 5 September 2024

Revised: 18 October 2024

Accepted: 29 November 2024

Online published: 9 December 2024

Keyword*Snack bar**Dried Lady Finger banana**Nutritional value***ABSTRACT**

The objective of this research was to develop a snack product from dried Lady Finger bananas. The qualities and nutritional value were studied. The suitable formula for producing snacks from dried Lady Finger banana contains dried Lady Finger banana 35 %, puffed rice 23 %, peanut butter 20.50 %, pumpkin seeds 7 %, cashew nuts 7 %, honey 3.40 %, vanilla flavor 3 %, black sesame 0.50 %, white sesame 0.50 % and xanthan gum 0.10 %. The results showed that the amount of dried Lady Finger banana had a significant effect on the color and hardness ($p \leq 0.05$) of the product. The sensory qualities of appearance, flavor, taste, texture and overall liking of the product were evaluated using a 9-point hedonic scale with 50 panelists. The liking scores of all attributes were in moderate to very liking ratings (7 - 8 points). Enumeration of microorganisms during storage at 30°C for 8 weeks was studied by packing the product in a transparent plastic bag (OPP) and aluminum foil bag. The results showed that the growth of total plate count was not observed, yeast and mold < 25 CFU/g. The evaluation of nutritional value found that the snack product from dried Lady Finger banana was high in vitamin B1 (44 % Thai RDI) and high dietary fiber (36 % Thai RDI).

^{*}Corresponding author

E-mail address: uraporn09@gmail.com (U. Rueangwatcharin)

Online print: 9 December 2024 Copyright © 2024. This is an open access article, production, and hosting by Faculty of Agricultural Technology, Rajabhat Maha Sarakham University. <https://doi.org/10.14456/paj.2024.54>



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

บทความวิจัย

การพัฒนาผลิตภัณฑ์เม็ดไข่มุกจากผลไม้โดยวิธีการพ่นที่ตอบสนอง

นันทา เป็งเนตร์ และ วิชา ประพินอักษร*

สาขาเทคโนโลยีการอาหาร คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏอุดรดิตถ์ อำเภอเมือง จังหวัดอุดรดิตถ์ ประเทศไทย 53000

ข้อมูลบทความ	บทคัดย่อ
Article history	งานวิจัยนี้มีจุดประสงค์เพื่อพัฒนาเม็ดไข่มุกจากผลไม้โดยการแปรผันปริมาณแป้งเท้ายายม่อมแทนการใช้แป้งมันสำปะหลังในอัตราส่วนร้อยละ 0-20 เพื่อศึกษาอัตราส่วนที่เหมาะสมของผลไม้ในการพัฒนาสูตรเม็ดไข่มุกโดยใช้การทดลองแบบผสมที่กำหนดปัจจัยแบบไม่กำหนดช่วง ปัจจัยที่ศึกษา ได้แก่ สับปะรด (ร้อยละ 0-100) กล้วยน้ำว่า (ร้อยละ 0-100) และฝรั่ง (ร้อยละ 0-100) รวมน้ำหนักทั้ง 3 ส่วน คิดเป็นร้อยละ 10 ของสูตรที่เติมลงในส่วนผสมของเม็ดไข่มุกและศึกษาคุณภาพผลิตภัณฑ์สุดท้าย ผลการศึกษาพบว่า การแปรผันปริมาณแป้งมันสำปะหลังและแป้งเท้ายายม่อมมีผลต่อคุณลักษณะค่าความแข็งและความยืดหยุ่นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) การใช้แป้งเท้ายายม่อมอัตราร้อยละ 15 เพื่อทดแทนแป้งมันสำปะหลังในสูตรส่งผลทำให้ค่าความแข็ง ความยืดหยุ่น ค่าสี L^* a^* และ b^* สูงสุดเท่ากับ 22.22 23.0 2.08 และ 7.63 ตามลำดับ ผลการวิเคราะห์พื้นที่ตอบสนองแสดงให้เห็นว่าค่าสัมประสิทธิ์ของการตัดสินใจของค่าความแข็ง ค่าความยืดหยุ่น ค่าสี L^* a^* และ b^* เท่ากับ 0.9859 0.9991 0.9980 0.7226 และ 0.9749 ตามลำดับ สูตรที่เหมาะสมที่สุดสำหรับการพัฒนาเม็ดไข่มุกจากผลไม้ คือ สับปะรดร้อยละ 19.50 กล้วยน้ำว่าร้อยละ 29.57 และฝรั่งร้อยละ 50.93 ในด้านคุณค่าทางโภชนาการของเม็ดไข่มุกผลไม้ 100 กรัม พบว่ามีพลังงานทั้งหมด 149.76 กิโลแคลอรี โปรตีนร้อยละ 3.27 ไขมันร้อยละ 1.11 เส้นใยร้อยละ 3.60 และคาร์โบไฮเดรตร้อยละ 30.99 คุณภาพทางจุลินทรีย์พบว่าปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมด ปริมาณยีสต์ และรา น้อยกว่า 10^3 CFU/g และ 10 CFU/g ตามลำดับ อย่างไรก็ตามตรวจไม่พบ <i>E.coli</i> ในผลิตภัณฑ์
รับ: 25 กันยายน 2567	
แก้ไข: 18 ตุลาคม 2567	
ตอบรับการตีพิมพ์: 20 พฤศจิกายน 2567	
ตีพิมพ์ออนไลน์: 12 ธันวาคม 2567	
คำสำคัญ	
การทดลองแบบผสม	
เม็ดไข่มุก	
แป้งเท้ายายม่อม	
พื้นที่ผิวตอบสนอง	
โยอาหาร	

บทนำ

เม็ดไข่มุก (tapioca pearl) เป็นผลิตภัณฑ์ที่ทำมาจากแป้งมันสำปะหลัง ซึ่งมักจะถูกใช้เป็นส่วนประกอบในเครื่องดื่มชา โดยทั่วไปจะใช้ปริมาณประมาณ 1 ใน 4 ของเครื่องดื่ม หรือประมาณ 33 กรัม เม็ดไข่มุกที่ผลิตจากแป้งมันสำปะหลังมีความใส มีเนื้อสัมผัสค่อนข้างเหนียวนุ่มแต่ไม่เหนียว ทำให้การเคี้ยวไม่ให้ความรู้สึกเต็มอ้อม คุณค่าทางโภชนาการของเม็ดไข่มุก 100 กรัม ประกอบด้วยคาร์โบไฮเดรต 88.7 กรัม โปรตีน 0.19 กรัม ไขมันทั้งหมด 0.02 กรัม เถ้า 0.11 กรัม โยอาหาร 0.90 กรัม น้ำตาล 3.35 กรัม โซเดียม 1 มิลลิกรัม และพลังงาน 358 กิโลแคลอรี (USDA, 2019) การบริโภคไข่มุกในปริมาณมากและต่อเนื่องอาจทำให้เกิดปัญหาสุขภาพหลายประการ เช่น เกิดภาวะท้องอืดหรือท้องผูก เกิดภาวะน้ำตาลในเลือดสูงเนื่องจากไข่มุกประกอบด้วยคาร์โบไฮเดรตสูงและโยอาหารต่ำซึ่งอาจส่งผลกระทบต่อระบบย่อยอาหารและน้ำตาลในเลือดได้มันสำปะหลังเป็นอาหารในกลุ่มคาร์โบไฮเดรต ซึ่งเมื่อถูกย่อยและดูดซึมเข้าสู่ร่างกาย

จะส่งผลให้ระดับน้ำตาลในเลือดสูงขึ้น จึงอาจเป็นอันตรายต่อผู้บริโภคที่มีปัญหาในการควบคุมระดับน้ำตาล (Rattanajarusroj & Srijesdaruk, 2015) การใช้ประโยชน์จากแป้งมันสำปะหลังมีอยู่ในรูปแบบของแป้งดิบ (native starch) และแป้งดัดแปร (modified starch) โดยการดัดแปรแป้งมันสำปะหลังโดยใช้วิธีทางเคมี ทางกายภาพและทางชีวภาพ เพื่อให้มีความเหมาะสมต่อการใช้งาน ปัจจุบันมีการดัดแปรแป้งเป็นแป้งเพื่อสุขภาพ เช่น แป้งต้านทานต่อเอนไซม์และเด็กซ์ทรินต้านทานต่อเอนไซม์ ซึ่งแสดงถึงคุณสมบัติเหมือนโยอาหารจากธรรมชาติ ปัจจุบันแป้งมันสำปะหลังที่จำหน่ายทางการค้ามีปริมาณอะไมโลส 19.54 กรัม/100 กรัม (Ketthongkam, 2023)

แป้งเท้ายายม่อมสกัดมาจากหัวมันเท้ายายม่อมซึ่งมีความชื้นร้อยละ 65.79 ไขมันร้อยละ 0.63 โปรตีนร้อยละ 4.23 เส้นใยร้อยละ 6.59 เถ้าร้อยละ 7.13 และคาร์โบไฮเดรตที่ร่างกายย่อยได้ร้อยละ 17.34 ในส่วนของแป้งเท้ายายม่อมมีโปรตีนร้อยละ 0.81 ไขมันร้อยละ

*Corresponding author

E-mail address: wipa.pra@uru.ac.th (W. Prapinaksorn)

Online print: 12 December 2024 Copyright © 2024. This is an open access article, production, and hosting by Faculty of Agricultural Technology, Rajabhat Maha Sarakham University. <https://doi.org/10.14456/paj.2024.55>

0.55 คาร์โบไฮเดรตร้อยละ 82.39 เถ้าร้อยละ 0.61 เส้นใยร้อยละ 2.79 ความชื้นร้อยละ 12.85 และมีปริมาณอะไมโลสร้อยละ 18.69 (Sangyojarn et al., 2022) แป้งเท้ายายม่อมที่จำหน่ายทางการค้ามีปริมาณอะไมโลส 19.24/100 กรัม (Ketthongkam, 2023) จากข้อมูลการศึกษาปริมาณอะไมโลสของแป้งเท้ายายม่อมพบว่ามีความอยู่ระหว่างร้อยละ 16-27 (Malki et al., 2023) ซึ่งในการจัดกลุ่มแป้งตามปริมาณอะไมโลสแบ่งออกเป็นแป้งที่มีปริมาณอะไมโลสดำ (ร้อยละ 12-20) แป้งที่มีปริมาณอะไมโลสปานกลาง (ร้อยละ 20-24) และแป้งที่มีปริมาณอะไมโลสสูง (มากกว่าร้อยละ 24) ความหนืดของแป้งเท้ายายม่อมมีลักษณะคล้ายกับแป้งมันสำปะหลังและมีความคงตัวของเจลดีกว่าแป้งมันสำปะหลัง อุณหภูมิเริ่มต้นในการเกิดเจลาติไนซ์ของแป้งเท้ายายม่อมเท่ากับ 68 องศาเซลเซียส โดยเจลแป้งเท้ายายม่อมและเจลแป้งมันสำปะหลังมีลักษณะคล้ายกันแต่เจลแป้งเท้ายายม่อมมีค่า Young's modulus ที่ 3.94 kPa ในช่วงค่าความเครียดน้อยกว่า 0.20 และมีความสามารถในการคืนตัวสู่สภาพเดิมร้อยละ 67.36 (Rittiruengdej, 2003) นิยมนำมาใช้เป็นส่วนผสมกับแป้งชนิดอื่น ๆ เพื่อให้อาหารมีสภาพความคงตัวที่ดีและมีความมันวาว

ใยอาหาร (dietary fibre) เป็นคาร์โบไฮเดรตชนิดโพลีแซคคาไรด์เชิงซ้อนและเป็นองค์ประกอบของผนังเซลล์ของพืช แบ่งออกเป็นใยอาหารที่ละลายน้ำ (soluble dietary fibre) และใยอาหารที่ไม่ละลายน้ำ (insoluble dietary fibre) (Jiménez-Escrig & Sánchez-Muniz, 2000) โดยรวมของใยอาหารทั้งสองชนิดเรียกว่าใยอาหารทั้งหมด ใยอาหารเป็นสารอาหารที่ไม่ให้พลังงานแต่มีประโยชน์ต่อสุขภาพจัดเป็นอาหารเชิงฟังก์ชัน (functional food) ซึ่งมีบทบาทเป็นสารพรีไบโอติก (prebiotic) ซึ่งเป็นอาหารสำหรับแบคทีเรียกลุ่มพรีไบโอติก (probiotic) ในลำไส้ใหญ่ เช่น *Lactobacillus* ช่วยป้องกันการเกิดมะเร็งในลำไส้ ลดไขมันในเลือด ลดน้ำตาลในเลือดและช่วยควบคุมน้ำหนัก ในแต่ละวันควรบริโภคใยอาหารประมาณ 25-30 กรัม โดยทั่วไปผลไม้มีใยอาหารสูงและมีคุณภาพดีกว่าใยอาหารจากธัญพืช ใยอาหารจากผลไม้มีสารต้านอนุมูลอิสระที่เป็นประโยชน์ต่อร่างกายในปริมาณสูง ใยอาหารทั้งหมดที่พบในกล้วยน้ำว้าร้อยละ 3.16 พบในสับปะรดร้อยละ 1.26 และในฝรั่งร้อยละ 3.84 (Chantachoti, 2009) ซึ่งสามารถนำไปแทนในผลิตภัณฑ์อาหารในกลุ่มเบเกอรี่ได้สูงถึงร้อยละ 40

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาสูตรการผลิตเม็ดไข่มุกโดยใช้แป้งเท้ายายม่อมทดแทนการใช้แป้งมันสำปะหลังรวมถึงการพัฒนาสูตรที่เหมาะสมสำหรับการผลิตเม็ดไข่มุกผสมผลไม้ ซึ่งเป็นการนำจุดเด่นของแป้งเท้ายายม่อมมาปรับปรุงในด้านเนื้อสัมผัสและเพิ่มคุณค่าทางโภชนาการโดยการนำผลไม้ที่มีใยอาหารสูงมาพัฒนาเป็นผลิตภัณฑ์ใหม่ที่มีคุณค่าทางอาหารเพื่อสร้างทางเลือกใหม่ให้กับผู้บริโภค นอกจากนี้ยังเป็นการพัฒนาต่อยอดสู่การผลิตเชิงพาณิชย์และเพิ่มมูลค่าสินค้าการเกษตรอย่างยั่งยืน

อุปกรณ์และวิธีการวิจัย

1. วัตถุดิบ

วัตถุดิบที่ใช้ในการผลิตไข่มุกผลไม้ประกอบด้วย แป้งมันสำปะหลัง (ตราปลามังกร) แป้งเท้ายายม่อม (ตราปลามังกร) น้ำตาลทรายแดง (ตรามิตรผล) สับปะรดพันธุ์ห้วยมุ่น กล้วยน้ำว้าพันธุ์มะลิอ่องและฝรั่งพันธุ์กิมจู ซึ่งมาจากตลาดในอำเภอเมือง จังหวัดอุดรดิตถ์

2. การเตรียมผลไม้

ผลไม้ที่นำมาใช้ในการศึกษาประกอบด้วยสับปะรด กล้วยน้ำว้าและฝรั่ง นำผลไม้ทั้ง 3 ชนิดมาล้างทำความสะอาดทำการปอกเปลือก (สับปะรดและกล้วยน้ำว้า) หั่นเป็นชิ้นและนำไปบดให้ละเอียด โดยทำการแยกชนิดประเภทของผลไม้ นำไปบรรจุใส่ถุงพลาสติกสุญญากาศ เก็บไว้ในตู้เย็นที่อุณหภูมิ 4-5 องศาเซลเซียส ก่อนนำไปใช้ในขั้นตอนต่อไป

3. วิธีการผลิตเม็ดไข่มุก

นำส่วนผสมของน้ำและแป้งมาผสมให้เข้ากัน จากนั้นเติมน้ำตาลทรายที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส และทำการกวนผสมจนเนื้อแป้งเป็นเนื้อเดียวกัน จากนั้นใช้ที่กดเม็ดไข่มุกในการปั้นแป้งให้เป็นก้อนกลม ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 0.8 เซนติเมตร นำไปต้มในน้ำเดือดเป็นเวลา 30 นาที ทำการปิดฝามือและทิ้งไว้ประมาณ 20 นาที จากนั้นนำไปกรองเม็ดไข่มุกและนำไปแช่น้ำเชื่อมที่มีความเข้มข้นร้อยละ 50 เพื่อป้องกันไม่ให้เม็ดไข่มุกจับตัวเป็นก้อนก่อนการตรวจวิเคราะห์คุณภาพทางกายภาพต่อไป

4. การศึกษาอัตราส่วนที่เหมาะสมระหว่างแป้งมันสำปะหลังและแป้งเท้ายายม่อมต่อการปรับปรุงเนื้อสัมผัสของเม็ดไข่มุก

การศึกษ้อัตราส่วนที่เหมาะสมระหว่างแป้งมันสำปะหลังและแป้งเท้ายายม่อมโดยการวางแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ (completely randomized design) ทำการแปรอัตราส่วนระหว่างแป้งมันสำปะหลังกับแป้งเท้ายายม่อม 5 ระดับ คือ 100:0 95:5 90:10 85:15 และ 80:20 โดยน้ำหนัก ทำการผลิตตามวิธีการผลิตเม็ดไข่มุก (ข้อ 3) และบรรจุใส่ถุงสุญญากาศ นำไปตรวจวิเคราะห์คุณภาพทางกายภาพ

5. การศึกษาปริมาณผลไม้ที่เหมาะสมต่อการผลิตเม็ดไข่มุก

การศึกษปริมาณผลไม้ที่เหมาะสมต่อการผลิตเม็ดไข่มุกวางแผนการทดลองแบบผสม (mixture design) กำหนดปัจจัยที่ทำการศึกษาแบบไม่กำหนดช่วง (simplex centroid design) ตามวิธีการของ Montgomery (2013) ช่วงการกำหนดปัจจัยการผลิตไข่มุกจากผลไม้โดยการนำผลไม้ ได้แก่ สับปะรด (X_1) ร้อยละ 0-100 กล้วยน้ำว้า (X_2) ร้อยละ 0-100 และฝรั่ง (X_3) ร้อยละ 0-100 โดยที่ $X_1 + X_2 + X_3$ เท่ากับ 100 และคิดเป็นร้อยละ 10 ของสูตรที่เติมลงในส่วนผสมของเม็ดไข่มุก สิ่งทดลองที่ได้จากการออกแบบด้วย

โปรแกรม Design Expert 7.0 Software trail version (StatEase, Inc. Minne-apolis, MN, USA) จำนวน 8 สิ่งทดลองแสดงดัง Table 1 นำผลไม้ผสมที่เตรียมไว้มากผสมกับแป้งมันสำปะหลัง แป้งเท้ายายม่อม และน้ำตาลทรายที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส ทำการ

กวนผสมจนเนื้อแป้งเป็นเนื้อเดียวกันพร้อมทั้งขึ้นรูปและผลิตเม็ดไข่มุกตามวิธีการ (ข้อ 3) ทำการบรรจุใส่ถุงสุญญากาศ นำไปตรวจวิเคราะห์คุณภาพทางกายภาพ

Table 1 Experimental of fruit tapioca pearl by using constrained simplex lattice mixture design

Treatment	Pineapple (%)	Banana (%)	Guava (%)
1	100.00	0.00	0.00
2	0.00	100.00	0.00
3	50.00	50.00	0.00
4	0.00	0.00	100.00
5	100.00	0.00	0.00
6	50.00	0.00	50.00
7	33.33	33.33	33.33
8	0.00	50.00	50.00

6. การตรวจสอบคุณภาพผลิตภัณฑ์ไข่มุกผลไม้

6.1 คุณภาพทางกายภาพ

ผลิตภัณฑ์เม็ดไข่มุกนำมาวิเคราะห์ค่าสี $L^* a^* b^*$ โดยเครื่องวัดค่าสี Hunter Lab ยี่ห้อ Colour flex รุ่น miniscan Xp plus และวิเคราะห์ค่าเนื้อสัมผัส Texture profile analysis (TPA) ด้วยเครื่อง Texture analyzer ใช้หัววัดอะลูมิเนียมรูปทรงกระบอก (Cylindrical probe, P/35) เส้นผ่านศูนย์กลาง 35 มิลลิเมตร ยี่ห้อ Stable Micro System รุ่น TA.XT Plus ประเทศอังกฤษ ตั้งค่าดังนี้ Pre-test speed 1 mm/sec ค่า Test speed 5 mm/sec ค่า Post-test speed 5 mm/sec ค่า Strain ร้อยละ 50 ค่า Time 5 sec และค่า Trigger force 5 g รายงานผลค่าความแข็ง (hardness) และค่าความยืดหยุ่น (springiness) โดยใช้ตัวอย่างไข่มุกผลไม้จำนวน 15 เม็ด ทำการวิเคราะห์ทั้งหมด 5 ซ้ำ

6.2 คุณภาพทางเคมี

การวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของไข่มุกผลไม้ประกอบด้วย โปรตีน คาร์โบไฮเดรต ไขมัน เถ้า ปริมาณความชื้น เส้นใย และค่าพลังงานทั้งหมดของผลิตภัณฑ์ โดยวิธีตาม AOAC (2000)

6.3 คุณภาพทางจุลินทรีย์

การตรวจปริมาณจำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมด (Total plate count) ปริมาณยีสต์และรา และ *Escherichia coli* โดยใช้แผ่นตรวจวิเคราะห์ปริมาณเชื้อจุลินทรีย์สำเร็จรูป 3M Petrifilm

7. การวิเคราะห์ทางสถิติ

วิเคราะห์ความแปรปรวนด้วยโปรแกรมสำเร็จรูป SPSS for Window ทดสอบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) ด้วย Duncan's new multiple range test (DMRT) และวิเคราะห์ความแปรปรวนโดยใช้การวิเคราะห์ข้อมูลเชิงปริมาณในรูปของพื้นที่ตอบสนองด้วยโปรแกรม Design Expert 7.0 Software trail version (StatEase, Inc. Minne-apolis, MN, USA) เพื่อหาความสัมพันธ์

สมการถดถอยเชิงเส้นพหุคูณ (multiple linear regression) เพื่อทดสอบความเหมาะสม (lack of fit) และค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (coefficient of determinate; R^2) ของสมการที่ตอบสนองที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ของตัวแปรตอบสนองที่ใช้เป็นค่าสหสัมพันธ์ในการเลือกค่าตอบสนอง (Y)

ผลและวิจารณ์ผลการวิจัย

1. การศึกษาอัตราส่วนของแป้งเท้ายายม่อมที่เหมาะสมต่อการปรับปรุงเนื้อสัมผัสของเม็ดไข่มุก

ผลการศึกษานี้แสดงให้เห็นว่าการเพิ่มปริมาณแป้งเท้ายายม่อมในผลิตภัณฑ์เม็ดไข่มุกมีผลต่อค่าความแข็ง (hardness) และความยืดหยุ่น (springiness) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) โดยค่าเฉลี่ยของค่าความแข็งและความยืดหยุ่นมีแนวโน้มสูงขึ้นเมื่อเพิ่มอัตราส่วนแป้งเท้ายายม่อมสูงขึ้น (Table 2) การทดแทนอัตราส่วนระหว่างแป้งมันสำปะหลังกับแป้งเท้ายายม่อมที่ระดับ 80:15 (โดยน้ำหนัก) มีค่าความแข็งสูงสุดเท่ากับ 22.22 g และค่าความยืดหยุ่นสูงสุดเท่ากับร้อยละ 64.85 ตามลำดับ ทั้งนี้เป็นผลมาจากการเกิดเจลแป้งเท้ายายม่อมและเจลแป้งมันสำปะหลังมีลักษณะคล้ายกัน โดยที่เจลของแป้งเท้ายายม่อมมีค่า young's modulus ที่ช่วงค่าความเครียดน้อยกว่า 0.20 เท่ากับ 3.94 kPa และมีระดับความสามารถในการคืนตัวสู่สภาพเดิมร้อยละ 67.36 (Rittiruengdej, 2003) ในขณะเดียวกันแป้งมันสำปะหลังและแป้งเท้ายายม่อมมีค่าเบรกดาวน์ (breakdown) ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) แต่ค่าความคงตัวของแป้งเท้ายายม่อมมีค่าสูงกว่าแป้งมันสำปะหลังหลังผ่านการให้ความร้อน โดยมีค่าร้อยละความหย่อนโค้งเท่ากับร้อยละ 25.11 และ 55.94 (Sangyojam et al., 2022) อุณหภูมิที่เกิดการเปลี่ยนแปลงค่าความหนืด (pasting temperature) ของแป้งเท้ายายม่อมอยู่ที่ระหว่าง 73-74 องศาเซลเซียส ค่าความหนืด

สูงจะสัมพันธ์กับคุณภาพของผลิตภัณฑ์สุดท้าย และในการพิจารณาค่าการคืนตัว (setback viscosity) พบว่าค่าการคืนตัวมากหรือน้อยมีผลต่อการเกิดรีโทรเกรเดชัน (retrogradation) ซึ่งทำให้เจลแข็งมีค่าความแข็งมากขึ้น ซึ่งแบ่งทำยายม่อมมีคุณสมบัติเด่น ได้แก่ การเกิดเจล (least gelation concentration) ต่ำ ซึ่งแสดงถึงความสามารถในการเกิดเจลที่ดี และมีค่าความหนืดสูงถึง 7660 cP ซึ่งส่งผลทำให้ผลิตภัณฑ์มีเนื้อสัมผัสที่ดี มีความคงตัว มีความสามารถในการพองตัวสูงและเกิดการละลายที่ดีที่อุณหภูมิ 78 องศาเซลเซียส (Malki et al., 2023) ในขณะที่คุณสมบัติของแป้งมันสำปะหลังมีความสามารถในการดูดซับความชื้นได้สูง มีคุณสมบัติการเกิดเจลสูง มีความหนืดต่ำ ความสามารถในการพองตัวและการละลายต่ำ ซึ่งจะเกิดการคืนตัวและเสื่อมสภาพเมื่อเก็บรักษาเป็นเวลานาน ทำให้เม็ดไข่มุกแข็งกระด้าง ความยืดหยุ่นลดลงเมื่อเก็บรักษาไว้ในที่เย็น ปัจจัยสำคัญที่ทำให้เม็ด

ไข่มุกที่ต้มสุกพร้อมใช้เกิดการเปลี่ยนสภาพเมื่อเก็บทิ้งไว้นานข้ามวัน และเกิดการเสื่อมสภาพอย่างรวดเร็วเมื่อถูกนำมาแช่อยู่ในน้ำแข็งหรือตู้เย็น เพราะความเย็นจะเร่งกระบวนการการคืนตัวของแป้ง (retrogradation) ส่งผลทำให้เนื้อสัมผัสของเม็ดไข่มุกแข็งขึ้น ความยืดหยุ่นลดลง เม็ดไข่มุกแข็งกระด้างและเป็นไตเนื้อแน่นร่วน ในการเพิ่มปริมาณแป้งทำยายม่อมในสูตรของเม็ดไข่มุกในปริมาณที่เหมาะสมสามารถช่วยปรับปรุงเนื้อสัมผัสที่ดีของเม็ดไข่มุก การวิจัยนี้สอดคล้องกับการศึกษาอื่น ๆ ที่แสดงให้เห็นว่าแป้งทำยายม่อมและแป้งมันสำปะหลังมีคุณสมบัติทางกายภาพและทางเคมีที่แตกต่างกัน ซึ่งส่งผลต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์สุดท้าย โดยเฉพาะในด้านความแข็งและความยืดหยุ่น การปรับสูตรแป้งในผลิตภัณฑ์เม็ดไข่มุกสามารถใช้ประโยชน์จากคุณสมบัติของแป้งแต่ละชนิดเพื่อพัฒนาคุณภาพของผลิตภัณฑ์ได้ดีขึ้น (Sangyojarn et al., 2022)

Table 2 Hardness and Springiness of tapioca pearl product from varies of tapioca starch and arrowroot starch

Tapioca : Arrowroot (%)	Hardness (g)	Springiness (%)
100:0	11.43 ^c ±3.31	56.78 ^{ab} ±5.18
95:50	14.00 ^{bc} ±1.05	49.56 ^b ±6.15
90:10	16.43 ^{bc} ±2.52	59.79 ^{ab} ±2.48
85:15	22.22 ^a ±6.40	64.85 ^a ±11.80
80:20	19.85 ^{ab} ±2.04	53.53 ^{ab} ±7.91

Values are mean ± SD of replicate sample (n=5).

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

ผลการศึกษาอัตราส่วนของแป้งทำยายม่อมในผลิตภัณฑ์เม็ดไข่มุกแสดงให้เห็นว่าการเพิ่มปริมาณแป้งทำยายม่อมมีผลต่อค่าสี L* a* และ b* ของผลิตภัณฑ์เม็ดไข่มุกอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p<0.05) เมื่อเทียบกับการใช้แป้งมันสำปะหลังเพียงอย่างเดียว โดยค่าสี L* a* และ b* มีแนวโน้มสูงขึ้นตามปริมาณแป้งทำยายม่อมที่เพิ่มขึ้น การใช้แป้งมันสำปะหลังกับแป้งทำยายม่อมที่ระดับ 80:15 (โดยน้ำหนัก) มีผลทำให้ค่าสี L* a* และ b* เท่ากับ 24.62 4.08 และ 9.82 ตามลำดับ (Table 3) ซึ่งลักษณะการเกิดเจลใสของแป้งมัน

สำปะหลังและแป้งทำยายม่อมในขณะได้รับความร้อนมีความขุ่นหนืดและความใสไม่แตกต่างกัน แต่ลักษณะความใสของแป้งมีความสัมพันธ์กับการคืนตัวของแป้งและปริมาณอะไมโลส เมื่อเกิดการจัดเรียงตัวที่แน่นหนาจะทำให้แสงผ่านได้น้อยส่งผลให้เจลมีลักษณะทึบแสงและเหนียวนุ่ม ลักษณะของน้ำแป้งสุกของแป้งทำยายม่อมหลังจากเย็นลงมีความเหนียวใสมากกว่าแป้งมันสำปะหลังที่มีสีขาวขุ่น (Rittiruengdej, 2003)

Table 3 L* a* b* value of tapioca pearl product from varies of tapioca starch and arrowroot starch

Tapioca: Arrowroot (%)	L*	a*	b*
100:0	23.24 ^c ±0.18	3.36 ^b ±0.08	7.46 ^d ±0.19
95:50	23.00 ^d ±0.11	3.80 ^b ±0.08	8.93 ^c ±0.26
90:10	24.40 ^b ±0.11	3.90 ^b ±0.17	7.63 ^d ±0.09
85:15	24.62 ^a ±0.12	4.08 ^a ±0.04	9.82 ^a ±0.16
80:20	22.84 ^d ±0.13	3.53 ^b ±0.19	9.38 ^b ±0.25

Values are mean ± SD of replicate sample (n=5).

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

2. การศึกษาปริมาณผลไม้ที่เหมาะสมต่อการผลิตเม็ดไข่มุก

จากแผนการทดลองแบบผสม (mixture design) แบบไม่กำหนดช่วง (simplex centroid design) กำหนดปัจจัยการผลิตไข่มุกจากผลไม้โดยการนำผลไม้ ได้แก่ สับปะรด (X_1) ร้อยละ 0-100 กล้วยน้ำว้า (X_2) ร้อยละ 0-100 และฝรั่ง (X_3) ร้อยละ 0-100 โดยที่ $X_1+X_2+X_3$ เท่ากับ 100 คิดเป็นร้อยละ 10 ของสูตรที่เติมลงในส่วนผสมของเม็ดไข่มุก ผลการศึกษาพบว่าเม็ดไข่มุกผลไม้

มีค่าความแข็ง ระหว่าง 37.87-377.17 g ค่าความยืดหยุ่น ระหว่าง 7.46-10.95 ค่าสี L^* ระหว่าง 20.46-24.70 ค่าสี a^* ระหว่าง 0.91-1.93 และค่าสี b^* ระหว่าง 5.06-8.71 ในการเพิ่มปริมาณของสับปะรดและกล้วยน้ำว้า ส่งผลให้ค่าความแข็งและความยืดหยุ่นของเม็ดไข่มุกมีค่าเพิ่มมากขึ้น แต่ฝรั่งเพียงอย่างเดียวส่งผลให้ค่าความแข็งและความยืดหยุ่นของเม็ดไข่มุกมีค่าลดลง (Table 4)

Table 4 Mixture design and response variables of fruit-based tapioca pearl product

Run	Pineapple (X_1)	Banana (X_2)	Guava (X_3)	Hardness (g) (Y_1)	Springiness (%) (Y_2)	L^* (Y_3)	a^* (Y_4)	b^* (Y_5)
1	100.00	0.00	0.00	377.17±14.80	9.66±0.84	23.25±0.18	1.93±0.08	8.71±0.33
2	0.00	100.00	0.00	341.23±14.25	8.93±0.95	24.31±0.18	0.96±0.14	8.19±0.12
3	50.00	50.00	0.00	294.55±13.21	8.96±1.59	20.54±0.11	1.01±0.36	5.98±0.47
4	0.00	0.00	100.00	37.87±13.16	7.46±1.65	24.70±0.15	1.05±0.18	7.28±0.79
5	100.00	0.00	0.00	377.17±5.87	9.66±0.10	23.25±0.11	1.93±0.32	8.71±0.36
6	50.00	0.00	50.00	331.16±1.89	9.08±0.67	22.31±0.08	1.38±0.24	5.94±0.27
7	33.33	33.33	33.33	38.28±13.75	10.95±2.97	21.90±0.14	1.12±0.29	5.06±0.70
8	0.00	50.00	50.00	41.21±14.47	8.42±0.78	20.46±0.11	0.91±0.32	5.46±0.29

ผลการศึกษาพบว่าการใช้วิธี Response surface methodology (RSM) และสมการเชิงเส้น (linear model) สามารถอธิบายความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยที่ศึกษา (X_1 - X_3) และค่าการตอบสนอง (Y_1 - Y_5) ได้อย่างมีประสิทธิภาพ โดยในการพิจารณาความสัมพันธ์ของการตัดสินใจ (R^2) ซึ่งเป็นค่าที่บอกร้อยละการเปลี่ยนแปลงของตัวแปรที่สามารถอธิบายได้ด้วยตัวแปรอิสระในสมการถดถอย พบว่าค่าสัมประสิทธิ์ของการตัดสินใจของค่าความแข็ง ค่าความยืดหยุ่น ค่าสี L^* a^* และ b^* เท่ากับ 0.9859 0.9991 0.9980 0.7226 และ 0.9813 ตามลำดับ ค่าสัมประสิทธิ์ของการตัดสินใจ (R^2) ที่เข้าใกล้ 1.0 แสดงว่าสมการมีความน่าเชื่อถือและเหมาะสมที่จะนำมาใช้ทำนายค่าได้อย่างแม่นยำ นอกจากนี้ค่า Model significance มีค่าน้อยกว่า 0.05 ($p \leq 0.05$) แสดงถึงอิทธิพลรวมของปัจจัยที่มีผลต่อค่าความแข็ง ค่าความยืดหยุ่น ค่าสี L^* และ b^* ของเม็ดไข่มุกจากผลไม้ โดยมีอิทธิพลรวมระหว่างสับปะรด (X_1) กับกล้วยน้ำว้า (X_2) อิทธิพลรวมระหว่างสับปะรด (X_1) กับฝรั่ง (X_3) และอิทธิพลรวมระหว่างกล้วยน้ำว้า (X_2) กับฝรั่ง (X_3) โดยไข่มุกผสมผลไม้ไม่มีค่า Model significance ของค่าความแข็ง ค่าความยืดหยุ่น ค่าสี L^* และ b^* เท่ากับ 0.0348 0.023 0.0050 และ 0.0461 ตามลำดับ สมการที่ได้มีค่าความแม่นยำเพียงพอต่อการพยากรณ์คุณภาพทางกายภาพของไข่มุกผสมผลไม้ ในขณะที่ค่าสี a^* พบว่ารูปแบบจำลองที่เหมาะสมคือแบบจำลองเชิงเส้น (linear model) มีค่า Model significance เท่ากับ 0.0405 ซึ่งค่าความใกล้เคียงระหว่างผลจากการทดลองกับแบบจำลองถดถอยด้วยการประเมินจากค่าสัมประสิทธิ์ของการ

ตัดสินใจ (R^2) ระหว่าง 0 ถึง 1 โดยหากค่าจากการคำนวณด้วยสมการถดถอยมีค่าเท่ากับค่าที่ได้จากการทดลองทุกจุด R^2 จะมีค่าเท่ากับ 1 และค่าความถูกต้องของค่า R^2 (adjusted coefficient of determination; Adj- R^2) ในกรณีที่มีจำนวนปัจจัยมากกว่า 1 ปัจจัย พบว่าค่าความแข็ง ค่าความยืดหยุ่น ค่าสี L^* a^* และ b^* มีค่า Adj- R^2 เท่ากับ 0.9508 0.9968 0.9930 0.6116 และ 0.9345 ตามลำดับ (Table 5)

การวิจัยนี้แสดงให้เห็นถึงความสามารถของ RSM และสมการเชิงเส้นในการอธิบายและทำนายค่าการตอบสนองที่เกี่ยวข้องกับคุณภาพทางกายภาพของไข่มุกผสมผลไม้ โดยค่าความแข็ง ค่าความยืดหยุ่น และค่าสี L^* และ b^* มีค่า R^2 สูง ซึ่งบ่งบอกถึงความสามารถในการทำนายได้ดี ส่วนค่าสี a^* มีค่า R^2 ที่ต่ำกว่าปัจจัยอื่น ๆ อาจเป็นเพราะอิทธิพลของปัจจัยที่ศึกษา (X_1 - X_3) มีผลต่อค่าสี a^* น้อยกว่าปัจจัยอื่น ๆ การใช้ RSM และสมการเชิงเส้นในการทำนายค่าคุณภาพทางกายภาพของไข่มุกผสมผลไม้ได้รับการยืนยันจากค่า Model Significance ที่น้อยกว่า 0.05 ซึ่งแสดงถึงอิทธิพลรวมของปัจจัยที่มีผลต่อการตอบสนองและค่า lack of fit ที่ไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) ซึ่งแสดงว่าสมการมีความเหมาะสมในการใช้ทำนายผลการวิจัยนี้ยังแสดงให้เห็นว่าค่าสี a^* มีค่า Model Significance ที่ต่ำกว่า 0.05 เช่นเดียวกับปัจจัยอื่น ๆ แต่มีค่า R^2 และ Adj- R^2 ที่ต่ำกว่าปัจจัยอื่น ๆ ซึ่งอาจแสดงถึงความซับซ้อนของความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยที่ศึกษาและค่าสี a^* ที่ต้องการการศึกษาเพิ่มเติม

Table 5 Regression model of fruit-based tapioca product

Regress coefficient	Hardness (g) (Y ₁)	Springiness (%) (Y ₂)	L* value (Y ₃)	a* value (Y ₄)	b* value (Y ₅)
β_1 – Pineapple (%)	373.34	9.56	23.76	2.23	8.36
β_2 – Banana (%)	345.75	8.64	5.58	0.71	8.19
β_3 – Guava (%)	42.39	9.19	24.72	0.93	7.28
β_{11}					
β_{22}					
β_{33}					
β_{12}	-1311.35	215.32	23.23		-9.19
β_{13}	420.93	156.18	-7.97		-7.53
β_{23}	-683.68	-3.94	21.00		-9.12
Model significance	0.0348	0.0023	0.0050	0.0405	0.0461
Lack of fit	0.1048	0.2134	0.8365	0.8986	0.9829
R-Squared (R ²)	0.9859	0.9991	0.9980	0.7226	0.9813
Adj R- Squared	0.9508	0.9968	0.9930	0.6116	0.9345

ในการทดสอบความเหมาะสม (lack of fit) พบว่าค่าการตอบสนอง (Y₁-Y₅) ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p>0.05) ซึ่งแสดงให้เห็นว่าสมการถดถอยมีความเหมาะสมที่จะใช้ในการทำนายค่าความแข็ง ค่าความยืดหยุ่น ค่าสี L* a* และ b* ของเม็ดไข่มุกผสมผลไม้ มีค่าเท่ากับ 0.1048 0.2134 0.8365 0.8986 และ 0.9829 ตามลำดับ ซึ่งค่า ANOVA เป็นเกณฑ์สำหรับการวัดความเหมาะสมของแบบจำลอง หากค่าการทดสอบความเหมาะสม (lack of fit) มีนัยสำคัญทางสถิติ (p<0.05) แสดงว่าแบบจำลองนั้นไม่เหมาะสมเนื่องจากความคลาดเคลื่อนของการเลือกใช้ตัวแปรไม่เหมาะสม (Kutner et al., 2004; Derringer & Suich, 1980) ผลการตรวจสอบคุณภาพข้อมูลเบื้องต้นพบว่า กราฟที่ได้มีลักษณะเป็นเส้นตรงซึ่งแสดง

ให้เห็นถึงความเป็นปกติของข้อมูลที่ดำเนินการทดลอง การตรวจสอบการกระจายแบบแจกแจงปกติซึ่งเป็นการตรวจสอบกราฟการกระจายส่วนตกค้างของข้อมูลค่าความแข็ง (Figure 1 (a)) โดยพบว่าจุดบนกราฟที่เรียงตัวกันเป็นลักษณะเส้นตรงและมีการกระจายตัวบริเวณใกล้ ๆ ค่าศูนย์ (Figure 1 (b)) แสดงให้เห็นถึงความเป็นปกติของข้อมูลที่ได้จากการทดลอง ดังนั้นกราฟค่าส่วนตกค้างต่อค่าที่ถูกทำนายของค่าความแข็งของเม็ดไข่มุกมีการกระจายตัวอย่างสม่ำเสมอทั้งค่าทางบวกและค่าทางลบ แสดงว่าข้อมูลมีความเป็นอิสระโดยค่าส่วนตกค้างมีการแจกแจงปกติ ค่าความแปรปรวนมีเสถียรภาพ ค่าส่วนตกค้างมีความเป็นอิสระต่อกัน เพื่อนำไปสู่การใช้แบบจำลองให้มีความถูกต้อง (Mahe et al., 2015)

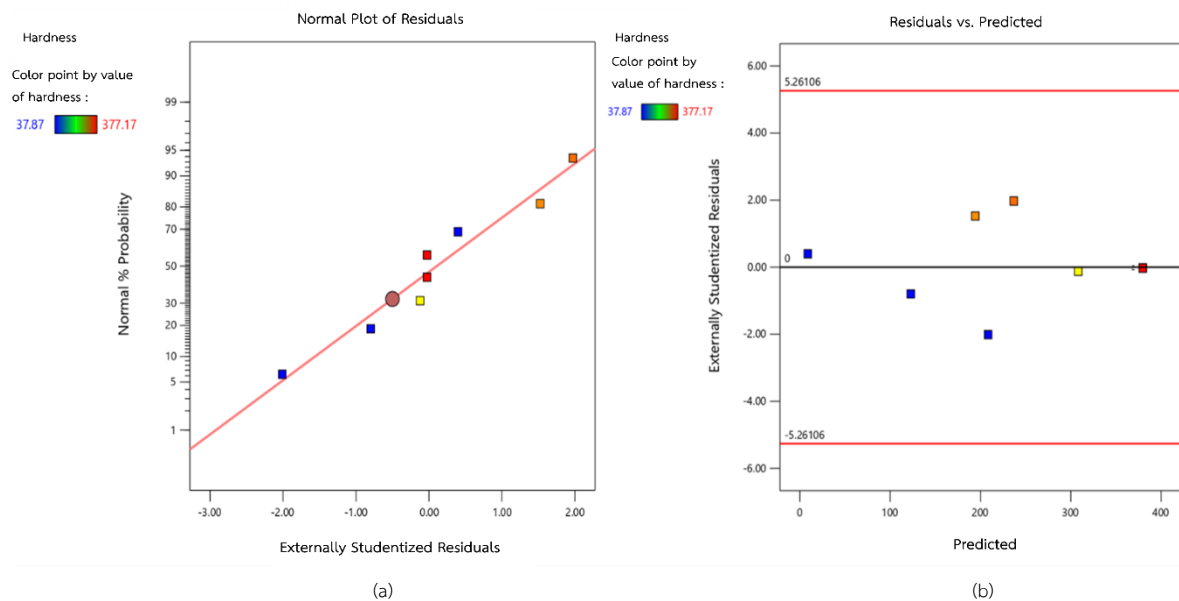


Figure 1 Normal probability of the externally studentized residuals (a) and distribution of the externally studentized residuals at each level of the factor (b) of the hardness value from the development of fruit-based tapioca pearl product.

ผลจากการนำสมการพหุคูณของค่าความแข็ง ค่าความยืดหยุ่น ค่าสี L^* และ b^* จาก Table 5 มาสร้างกราฟคอนทัวร์ (contour plot) และนำกราฟมาซ้อนทับกันเพื่อหาพื้นที่ในการคัดเลือกสูตรที่เหมาะสมต่อการพัฒนาสูตรเม็ดไข่มุกผสมผลไม้พบว่า

พื้นที่ที่มีความเหมาะสมของปริมาณผลไม้ทั้ง 3 ชนิด คือ สับปะรดกล้วยน้ำว้าและฝรั่งที่ใช้ในการพัฒนาสูตรผลิตภัณฑ์ไข่มุกผลไม้ ได้แก่ การใช้สับปะรดร้อยละ 19.50 กล้วยน้ำว้าร้อยละ 29.57 และฝรั่งร้อยละ 50.93 (Figure 2 (f))

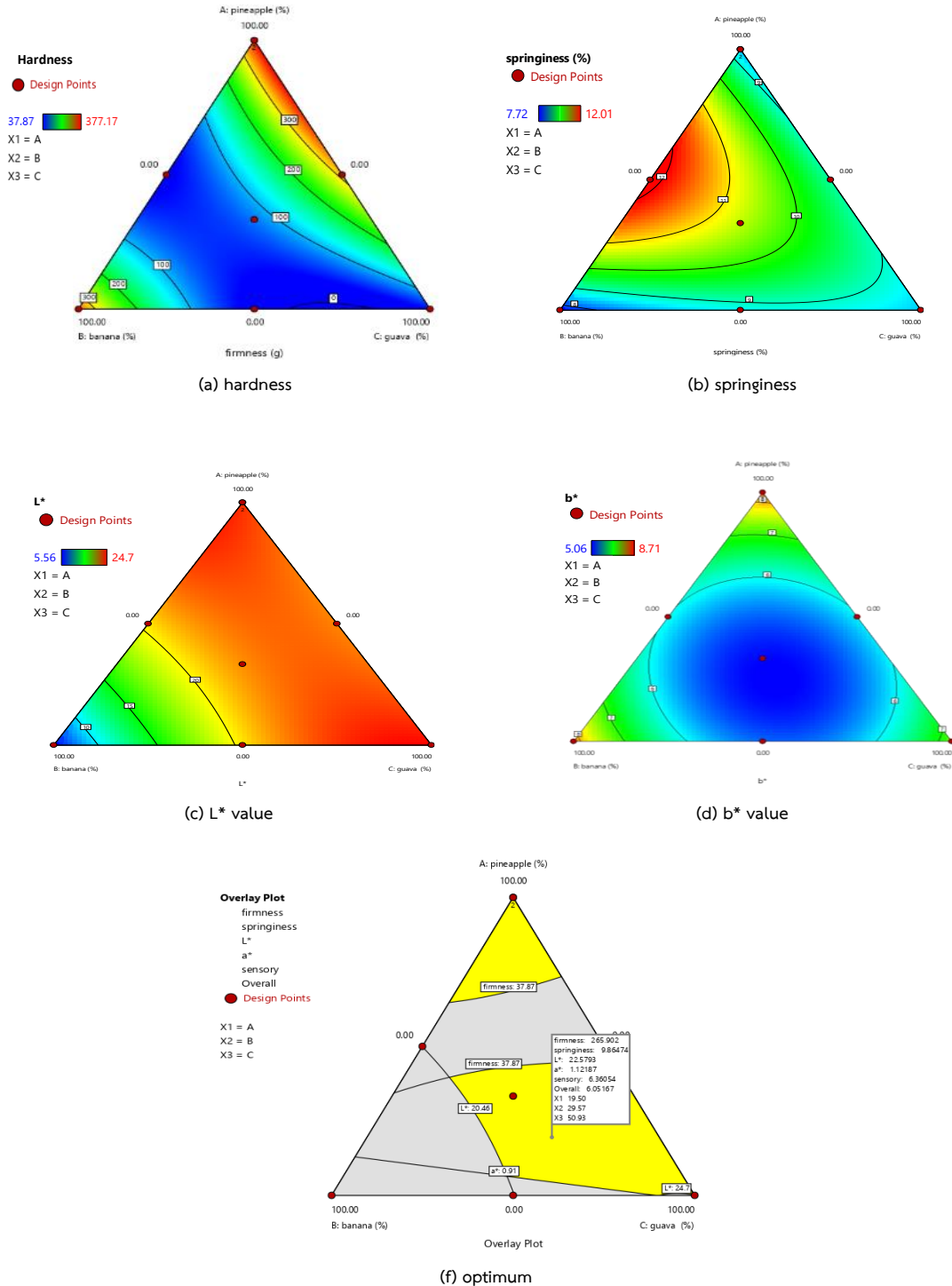


Figure 2 Contour plot of (a) hardness; (b) springiness; (c) L^* value; (d) b^* value; and (e) optimum overlapping of fruit boba from fruit product (A: pineapple, B: banana, C: guava).

Table 6 Nutritional value of fruit-based tapioca pear compare with tapioca pear (100 g)

Nutrition	fruit-based tapioca pear	tapioca pear*
Protein (%)	3.27±1.28	0.19
Fat (%)	1.11±0.08	0.02
Crude fiber (%)	3.60±0.21	0.90
Carbohydrate (%)	30.99±1.83	88.69
Total energy (Kcal/100g)	149.76±1.11	358

* Source: USDA (2019).

ผลการวิเคราะห์คุณค่าทางโภชนาการของไข่มุกผสมผลไม้พบว่า มีโปรตีนร้อยละ 3.27 ไขมันร้อยละ 1.11 คาร์โบไฮเดรตร้อยละ 30.99 เส้นใยร้อยละ 0.15 ปริมาณความชื้นร้อยละ 64.48 ปริมาณกากใยร้อยละ 3.60 และพลังงานทั้งหมดเท่ากับ 147.03 กิโลแคลอรี ตามลำดับ เมื่อนำมาเทียบกับ USDA (2019) พบว่าคุณค่าโภชนาการของเม็ดไข่มุก 100 กรัม ประกอบด้วย คาร์โบไฮเดรต 88.70 กรัม โปรตีน 0.19 กรัม ไขมัน 0.02 กรัม เส้นใย 0.90 กรัม และพลังงานทั้งหมด 358 กิโลแคลอรี (Table 6) คุณภาพทางด้านจุลินทรีย์ของผลิตภัณฑ์เม็ดไข่มุกผสมผลไม้พบว่า ปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมด น้อยกว่า 10^3 CFU/g ปริมาณยีสต์และรา น้อยกว่า 10 CFU/g และตรวจไม่พบ *E.coli* ในผลิตภัณฑ์

สรุปผลการวิจัย

การทดแทนแป้งมันสำปะหลังด้วยแป้งเท้ายายม่อมในผลิตภัณฑ์เม็ดไข่มุกมีผลทำให้ค่าความแข็งและความยืดหยุ่นของผลิตภัณฑ์เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) การใช้แป้งมันสำปะหลังกับแป้งเท้ายายม่อมที่ระดับ 80:15 (โดยน้ำหนัก) เป็นอัตราส่วนที่เหมาะสมที่สุดในด้านของค่าความแข็งและความยืดหยุ่น นอกจากนี้ยังพบว่าเจลที่เกิดจากแป้งเท้ายายม่อมมีคุณสมบัติที่คล้ายคลึงกับแป้งมันสำปะหลัง แต่มีความคงตัวเจลสูงกว่าเมื่อนำมาใช้ในผลิตภัณฑ์ที่ต้องการความแข็งและความคงตัวสูง การใช้สมการมาสร้างพื้นที่ผิวตอบสนองทำให้ทราบว่า การเพิ่มปริมาณของสับปะรดและกล้วยน้ำว้า ส่งผลทำให้ค่าความแข็งและความยืดหยุ่นของเม็ดไข่มุกมีค่าเพิ่มมากขึ้น แต่ฝรั่งเพียงอย่างเดียวส่งผลให้ค่าความแข็งและความยืดหยุ่นของเม็ดไข่มุกมีค่าลดลง ซึ่งสูตรที่เหมาะสมที่สุดในการผลิตเม็ดไข่มุกจากผลไม้ด้วยวิธีพื้นที่ตอบสนองโดยให้ค่าเนื้อสัมผัสและความยืดหยุ่นมากที่สุด คือ การผลิตโดยใช้สับปะรดร้อยละ 19.50 กล้วยน้ำว้าร้อยละ 29.57 และฝรั่งร้อยละ 50.93 มีค่าความแข็งเท่ากับ 265.90 g และค่าความยืดหยุ่นเท่ากับร้อยละ 9.86 คุณค่าทางโภชนาการของเม็ดไข่มุกผลไม้ 100 กรัม พบว่ามีพลังงานทั้งหมด 149.76 กิโลแคลอรี โปรตีนร้อยละ 3.27 ไขมันร้อยละ 1.11 เส้นใยร้อยละ 3.60 และคาร์โบไฮเดรตร้อยละ 30.99 คุณภาพทางจุลินทรีย์พบว่าปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมดน้อยกว่า 10^3 CFU/g ปริมาณยีสต์และราน้อยกว่า 10 CFU/g และตรวจไม่พบ *E.coli* ในผลิตภัณฑ์

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณคณะกรรมการศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏอุดรดิตถ์ ที่สนับสนุนงบประมาณและห้องปฏิบัติการ สาขาเทคโนโลยีการอาหาร ที่เอื้ออำนวยต่อการดำเนินงานวิจัยเพื่อเพิ่มขีดศักยภาพให้กับนักวิจัย ต่อด้านการพัฒนาผลิตภัณฑ์อาหาร

References

- Association of Official Analytical Chemists AOAC. (2000). *Official methods of analysis* (17th ed.). Maryland, United States: Association Official Analytical Chemists.
- Chantachoti, T. (2009). *Dietary fiber of selected Thai fruits: chemical compositions, and associated antioxidant capacity. Thailand Science Research and Innovation*. Accessed October 23, 2024. Retrieved from https://elibrary.tsri.or.th/project_content.asp?PJID=RDG5120067 (in Thai)
- Derringer, G., & Suich, R. (1980). Simultaneous optimization of several response variables. *Journal of Quality Technology*, 12(4), 214-219. doi: 10.1080/00224065.1980.11980968
- Jiménez-Escrig, A., & Sánchez-Muniz, F. J. (2000). Dietary fibre from edible seaweeds: chemical structure, physicochemical properties and effects on cholesterol metabolism. *Nutrition Research*, 20(4), 585-598. doi: 10.1016/S0271-5317(00)00149-4
- Ketthongkam, P. (2023). The adhesion of starch to water chestnut in Tup Tim Grob (coated water chestnut pieces in coconut milk). *Journal of Roi Kaensarn Academi*, 8(6), 95-110. (in Thai)
- Kutner, M., Nachtsheim, C., Neter, J., & Li, W. (2004). *Applied linear statistical models* (5th ed.). New York , United States: McGraw-Hill/Irwin.
- Mahe, N., Awapak, D., & Pichairat, D. (2015). Optimization of high protein content protein hydrolysate extraction from hard clam (*Meretrix casta*) using response

- surface methodology. *KKU Science Journal*, 43(3), 425–438. (in Thai)
- Malki, M. S. K., Wijesinghe, J. A. A. C., Ratnayake, R. H. M. K., & Thilakarathna, G. C. (2023). Characterization of arrowroot (*Maranta arundinacea*) starch as a potential starch source for the food industry. *Helion*, 9(9), e20033. doi: 10.1016/j.helion.2023.e20033
- Montgomery, D. C. (2013). *Design and analysis of experiments* (8th ed.). New Jersey: United States: John Wiley & Sons, Inc.
- Rattanasarusroj, T., & Srijesdaruk, V. (2015). *Effect of processing conditions on resistance starch content from tapioca starch*. Accessed October 23, 2024. Retrieved from <https://rsucon.rsu.ac.th/files/proceedings/nation2015/G2-20.pdf>
- Rittiruengdej, P. (2003). *Physical and chemical properties of arrowroot flour and its use in layer snacks* (Master's thesis). Bangkok, Thailand: Kasetsart University. (in Thai)
- Sangyojarn, P., Sangketkit, C., Kiatsakared, P., Namasthisong, T., Sarthiyakul, N., & Sanuksan, J. (2022). *Physio-chemical properties of Tao Yai Mom flour and sensory properties of product*. Accessed October 23, 2024. Retrieved from <https://ird.rmuti.ac.th/2015/files/2562/File/>
- United States Department of Agriculture (USDA). (2019). *Tapioca, pearl, dry*. *Food data central*. Accessed December 1, 2024. Retrieved from <https://fdc.nal.usda.gov/fdc-app.html#/food-details/169717/nutrients>

Research article

Development of fruit tapioca pearl using response surface methodology

Nantha Pengnet and Wipa Prapinaksorn*

Food Technology, Faculty of Agriculture, Uttaradit Rajabhat University, Mueang District, Uttaradit Province, Thailand 53000

ARTICLE INFO**Article history**

Received: 25 September 2024

Revised: 18 October 2024

Accepted: 20 November 2024

Online published: 12 December 2024

Keyword*Mixture design**Tapioca pearl**Arrowroot starch**Response surface methodology**Dietary fiber*

ABSTRACT

This research aimed to develop a fruit-based tapioca pearl product by varying the amount of arrowroot starch instead of using tapioca starch in the quantity range of 0-20 %. The factors studied included pineapple (0-100 %), banana (0-100 %), and guava (0-100 %), accounting for 10 % of the formula added to the tapioca pearls mixture, and the finished product quality was studied. The results showed that the variation of tapioca starch and arrowroot starch had a statistically significant ($p \leq 0.05$) effect on the hardness and springiness characteristics of the tapioca pearls product. The use of arrowroot starch (15 %) instead of tapioca starch in the formula resulted in the highest hardness, springiness, L* value, a* value, and b* value, being 22.22 g, 64.85 %, 23.0, 2.08, and 7.63, respectively. The response surface methodology showed that the coefficient of determination (R^2) of the hardness, springiness, L* value, a* value, and b* value were 0.9859, 0.9991, 0.9980, 0.7226, and 0.9749, respectively. The most suitable formula for developing fruit-based tapioca pearls was 19.50 % pineapple, 29.57 % banana, and 50.93 % guava. The nutritional value of 100 grams of the fruit-based tapioca pearl product showed a total energy of 149.76 kcal, 3.27 % protein, 1.11 % fat, 3.60 % fiber, and 30.99 % carbohydrates. The microbial qualities found that the total plate count and the yeast and mold were less than 10^3 CFU/g, and 10 CFU/g, respectively. However, the *E. coli* was not detected in the product.

*Corresponding author

E-mail address: wipa.pra@uru.ac.th (W. Prapinaksorn)

Online print: 12 December 2024 Copyright © 2024. This is an open access article, production, and hosting by Faculty of Agricultural Technology, Rajabhat Maha Sarakham University. <https://doi.org/10.14456/paj.2024.55>



บทความวิจัย

การวิเคราะห์คุณลักษณะของบัตรเซนเซอร์ตรวจวัดสารเคมีกำจัดศัตรูพืชตกค้างในผักผลไม้ที่มีผลต่อความพึงพอใจของผู้ใช้งานในกรุงเทพมหานคร

ณรงค์ชัย ใจอารีย์¹ สุภาภรณ์ เลิศศิริ^{1*} ชัญชนา ธนยานนท์² และ ชลธร จูเจริญ¹

¹สาขาส่งเสริมและการจัดการนวัตกรรมการเกษตร คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ อำเภอดุสิต กรุงเทพมหานคร ประเทศไทย 10900

²ศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ อำเภอลองหลวง จังหวัดปทุมธานี 12120

ข้อมูลบทความ	บทคัดย่อ
Article history รับ: 24 กันยายน 2567 แก้ไข: 4 พฤศจิกายน 2567 ตอบรับการตีพิมพ์: 28 พฤศจิกายน 2567 ตีพิมพ์ออนไลน์: 16 ธันวาคม 2567	
คำสำคัญ วิเคราะห์คุณลักษณะ บัตรเซนเซอร์ สารเคมีกำจัดศัตรูพืชตกค้าง โมเดลคานา	การวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาข้อมูลพื้นฐานส่วนบุคคลและศึกษาวิเคราะห์คุณลักษณะของบัตรเซนเซอร์ตรวจวัดสารเคมีกำจัดศัตรูพืชตกค้างในผักผลไม้ของผู้ใช้งานในกรุงเทพมหานคร โดยเก็บข้อมูลจากผู้บริโภคผักผลไม้ในกรุงเทพมหานคร จำนวน 400 คน ใช้แบบสอบถามเป็นเครื่องมือ ผลการศึกษาพบว่า ส่วนมากเป็นเพศหญิง ร้อยละ 59.50 มีอายุเฉลี่ย 27.45 ระดับการศึกษาปริญญาตรี ร้อยละ 84.30 ส่วนใหญ่ซื้อผักและผลไม้จากตลาดสด/ตลาดนัด ร้อยละ 88.90 มีค่าใช้จ่ายในการซื้อผักและผลไม้ ต่ำกว่าหรือเท่ากับ 1,000 บาทต่อเดือน ร้อยละ 82.80 และต้องการให้ชุดตรวจฯ ราคาต่ำกว่า 800 บาท ร้อยละ 77.80 เป็นแบบพกพา ร้อยละ 89 สามารถใช้ซ้ำได้ ร้อยละ 69 อีกทั้งส่วนใหญ่ต้องการให้ชุดตรวจฯ สามารถตรวจผักคะน้า ร้อยละ 82.90 และตรวจส้ม ร้อยละ 70.10 ในส่วนของด้านการวิเคราะห์คุณลักษณะของบัตรเซนเซอร์ตรวจวัดสารเคมีกำจัดศัตรูพืชตกค้างโดยใช้แบบจำลองของคานา 27 คุณลักษณะ พบว่า กลุ่ม I (Indifferent) คือ กลุ่มที่ไม่แตกต่างในความรู้สึกของผู้ใช้ มีทั้งหมด 18 คุณลักษณะ และกลุ่ม A (attractive) คือ หน้าที่ดึงดูดผู้ใช้งาน มีทั้งหมด 9 คุณลักษณะ แสดงว่า ผู้ใช้งานให้ความสำคัญกับภาพลักษณ์ของบัตรเซนเซอร์ ซึ่งบัตรเซนเซอร์ควรมีเพื่อดึงดูดผู้ใช้งาน คือ เรื่องการใช้สี รูปภาพ สัญลักษณ์ต่าง ๆ ประกอบในแต่ละขั้นตอน สามารถการปรับขนาดเพิ่มลดตัวอักษรให้ชัดเจนขึ้น การแยกสีน้ำยาทดสอบและหลอดดูดน้ำยาทดสอบให้มีสีที่แตกต่างกันในแต่ละชนิดให้ชัดเจน และสำหรับแอปพลิเคชันที่ใช้ร่วมกับบัตรเซนเซอร์จะต้องติดตั้งง่าย มีขั้นตอนในการเข้าแอปพลิเคชันน้อย และมีการแสดงค่าความเข้มข้นของสารเคมีกำจัดศัตรูพืชที่ตรวจพบอย่างชัดเจน

บทนำ

ประเทศไทยอยู่ในเขตสภาพภูมิอากาศร้อนชื้นเหมาะแก่การเพาะปลูกผักผลไม้หลากหลายชนิด ในแต่ละปีสามารถผลิตสินค้าพืชผักผลไม้ได้ในปริมาณมาก อีกทั้งผู้บริโภคมีแนวโน้มบริโภคผักผลไม้เพิ่มขึ้น เนื่องจากมีคุณประโยชน์เป็นแหล่งสารอาหารหลักและสารอาหารรองที่จำเป็นของมนุษย์ เช่น แคลเซียม โพแทสเซียม และวิตามินบางชนิด สารต้านอนุมูลอิสระ และช่วยลดการเกิดโรคไม่ติดต่อเรื้อรัง (Non-communicable diseases; NCDs) เป็นต้น (Thamwiriyasati et al., 2019) จากความต้องการบริโภคที่เพิ่มสูงขึ้น ส่งผลให้มีการเพาะปลูกเพื่อการบริโภคและการจำหน่ายเพิ่มขึ้น แต่ก็มีประสบกับปัญหาจากแมลงศัตรูพืชที่พบได้บ่อย โดยจากข้อมูลสถิติการนำเข้าปริมาณสารเคมีกำจัดศัตรูพืช มีปริมาณเพิ่มมากขึ้น

โดยในปี 2565 มีปริมาณการนำเข้าสารเคมีกำจัดศัตรูพืชจำนวน 80,115.49 ตัน และในปี 2566 เป็นจำนวน 105,595.40 ตัน เพิ่มขึ้นคิดเป็นร้อยละ 31.80 (Office of Agricultural Economics, 2024) ส่งผลให้มีการใช้สารเคมีกำจัดศัตรูพืชในปริมาณที่แตกต่างกันไปขึ้นอยู่กับพื้นที่ ประเภทของผักและผลไม้ สภาพภูมิอากาศ และการระบาดของโรคและแมลงในแต่ละพื้นที่ สารเคมีกำจัดศัตรูพืชที่ใช้ในประเทศไทย ส่วนใหญ่เป็นกลุ่มของออร์กาโนฟอสเฟต (Organophosphates) และ กลุ่มของคาร์บาเมต (Carbamate) โดยจากรายงานผู้ป่วยได้รับพิษจากสารป้องกันกำจัดศัตรูพืช เฉลี่ยปีละ 3,067 ราย จากสารเคมีกำจัดศัตรูพืชที่เป็นพิษต่อสุขภาพ เช่น สารเคมีกำจัดแมลงกลุ่มออร์กาโนคลอรีน ออร์กาโนฟอสเฟต คาร์บาเมต และไพรีทรอยด์ ส่วนสารป้องกันกำจัดวัชพืช เช่น พาราควอต, ไกลโฟเสท สารกำจัด

*Corresponding author

E-mail address: narongchai.j@ku.th (S. Lertsiri)

Online print: 16 December 2024 Copyright © 2024. This is an open access article, production, and hosting by Faculty of Agricultural Technology, Rajabhat Maha Sarakham University. <https://doi.org/10.14456/paj.2024.56>

เชื้อราและสารกำจัดหนู (National Health Security Office, 2019) หากขาดความรู้การใช้สารเคมีกำจัดศัตรูพืช หรือมีการตกค้างของสารเคมีกำจัดศัตรูพืชในดินที่เพาะปลูกหรือในแหล่งน้ำและเกษตรกรตลอดจนผู้บริโภคได้บริโภคผักและผลไม้ที่มีสารเคมีป้องกันกำจัดศัตรูพืชตกค้าง เมื่อเกิดการสะสมในร่างกายปริมาณสูง เป็นเวลานาน อาจก่อให้เกิดความเสี่ยงต่อสุขภาพ เช่น เกิดภาวะไขมันในเลือดผิดปกติ โรคเบาหวาน โรคตับไต และโรคหลอดเลือดหัวใจ เป็นต้น (Anusasane et al., 2021) จากรายงานผลการสุ่มตรวจสารเคมีกำจัดศัตรูพืชในตัวอย่างผักผลไม้ที่จำหน่ายในท้องตลาดภายในประเทศ จำนวน 286 ตัวอย่าง มีสารพิษตกค้างเกินมาตรฐานสูงถึง ร้อยละ 41 (Pesticide Warning Network, 2019) และจากการตรวจของเครือข่ายเตือนภัยสารเคมีกำจัดศัตรูพืชในปี พ.ศ. 2565 ได้มีการสุ่มตรวจผักผลไม้ยอดนิยมประมาณ 13 ชนิด เช่น คื่นช่าย พริกแดง มะระ ถั่วฝักยาว รวมไปถึงพวกผักไฮโดรโปนิคส์ จากตัวอย่างผักผลไม้ที่จำหน่ายในท้องตลาดภายในประเทศ 268 ตัวอย่าง พบสารเคมีป้องกันกำจัดศัตรูพืชตกค้าง ร้อยละ 67 โดยตัวอย่างที่ตรวจพบสารตกค้างทั้งหมดพบเกินค่ามาตรฐานที่กฎหมายกำหนด (Maximum residue levels : MRLs) หรือค่าที่สำนักงานคณะกรรมการอาหารและยาประกาศอนุญาตให้มีการตกค้างได้ (Greennews Agency, 2023) และในปีถัดมา กรมวิชาการเกษตร ได้ตรวจติดตามเผื่อระวังสารเคมีป้องกันกำจัดศัตรูพืชตกค้างในผักและผลไม้ จากแปลงเพาะปลูกและแหล่งจำหน่ายที่ได้รับการรับรองตามมาตรฐาน GAP จำนวน 543 ตัวอย่าง โดยเป็นตัวอย่างจากแปลงเพาะปลูก 200 ตัวอย่าง และ ตัวอย่างจากแหล่งจำหน่าย 343 ตัวอย่าง ผลการศึกษาตรวจพบสารเคมีป้องกันกำจัดศัตรูพืชตกค้างเกินค่า MRLs ในตัวอย่างจากแปลงเพาะปลูกและตัวอย่างจากแหล่งจำหน่าย ร้อยละ 7.50 และ 13.80 ตามลำดับ (Department of Agriculture, 2021)

ผู้บริโภคผักผลไม้ในกรุงเทพมหานคร มีจำนวนมากและมีความใส่ใจสุขภาพ ส่วนใหญ่ซื้อผักรับประทาน ร้อยละ 42.90 และซื้อผลไม้รับประทาน ร้อยละ 43.80 โดยส่วนใหญ่จะซื้อผักผลไม้จากตลาดนัดและตลาดสด (Institute for Population and Social Research, 2018) ซึ่งแสดงให้เห็นว่าผู้บริโภคผักผลไม้ไม่สามารถรับรู้ได้ว่าผักผลไม้มีการปนเปื้อนจากสารเคมีกำจัดศัตรูพืชตกค้างหรือไม่ และทางภาครัฐเองก็ได้ออกกฎระเบียบเกี่ยวกับความปลอดภัยทางอาหารที่เข้มงวดยิ่งขึ้น ทำให้ผู้บริโภคมีความสนใจเรื่องสารเคมีกำจัดศัตรูพืชตกค้างในผักผลไม้ การปนเปื้อนของสารเคมีกำจัดศัตรูพืชซึ่งเป็นสาเหตุสำคัญของโรคร้ายแรงหลายชนิด ส่งผลให้การตรวจหาสารเคมีกำจัดศัตรูพืชกลายเป็นสิ่งจำเป็นและได้รับความสนใจมากยิ่งขึ้น ทำให้มีการพัฒนา

นวัตกรรมและเทคโนโลยีการทดสอบสารเคมีกำจัดศัตรูพืชใหม่ ๆ ที่มีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น ซึ่งเทคโนโลยีในการตรวจวัดสารเคมีกำจัดศัตรูพืชตกค้างที่ใช้กันทั่วไปจะเป็นชุดตรวจสอบสารเคมีกำจัดศัตรูพืชที่นำเข้าจากต่างประเทศที่มีราคาแพง ทำให้ราคาการทดสอบสารเคมีกำจัดศัตรูพืชตกค้างต่อครั้งมีราคาสูง สำหรับชุดตรวจสอบสารเคมีกำจัดศัตรูพืชตกค้างที่ผลิตในประเทศไทยยังมีจำนวนค่อนข้างจำกัด เช่น ชุดทดสอบ TM Kits MJPK และ GT Kits เป็นต้น ชุดทดสอบเหล่านี้ไม่เหมาะกับการใช้งานในครัวเรือน เนื่องจากชุดตรวจสอบสารเคมีกำจัดศัตรูพืชตกค้างที่มีขายในท้องตลาดมีวิธีการตรวจสอบที่ค่อนข้างยุ่งยาก และสารที่ใช้ในการตรวจสอบยังไม่ปลอดภัยต่อผู้ใช้งาน

ดังนั้นศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติจึงได้ผลิตต้นแบบ บัตรเซนเซอร์ตรวจวัดสารเคมีกำจัดศัตรูพืชตกค้างในผักผลไม้ ซึ่งประกอบด้วย 1. บัตรเซนเซอร์ที่ทำด้วยวัสดุคอมโพสิต clay/gold nanoparticles/acetyl cholinesterase enzyme เพื่อตรวจวัดสารเคมีกำจัดศัตรูพืช กลุ่ม organophosphate และ carbamate 2. น้ำยาทดสอบ 3.หลอดน้ำยาทดสอบ 4. ขวดพลาสติก 5. ตัวดูดน้ำยาทดสอบ 6. กระบอกฉีดยา 7. แผ่นซับซับไฟฟ้า 8. คู่มือในการใช้งาน บัตรเซนเซอร์ฯ พกพาง่าย ใช้คู่กับโทรศัพท์มือถือเพื่ออ่านข้อมูลและแสดงผล ส่วนน้ำยาทดสอบมีความปลอดภัยต่อผู้ใช้งานอีกทั้งยังเป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม นำมาใช้เป็นทางเลือกในการตรวจสอบสารเคมีกำจัดศัตรูพืชตกค้าง จากความสำคัญที่กล่าวมาแล้ว ผู้วิจัยจึงทำการศึกษาวิเคราะห์คุณลักษณะการใช้บัตรเซนเซอร์ตรวจสอบสารเคมีกำจัดศัตรูพืชในผักผลไม้ในกรุงเทพมหานคร เพื่อนำผลไปพัฒนาบัตรเซนเซอร์ตรวจวัดสารเคมีตกค้างให้ตรงกับความต้องการของผู้ใช้งานต่อไป วัตถุประสงค์การวิจัยในครั้งนี้เพื่อศึกษาข้อมูลพื้นฐานส่วนบุคคลของผู้ใช้งานบัตรเซนเซอร์ตรวจวัดสารเคมีกำจัดศัตรูพืชตกค้างในผักผลไม้ในพื้นที่กรุงเทพมหานคร และเพื่อศึกษาวิเคราะห์คุณลักษณะของบัตรเซนเซอร์ตรวจสอบสารเคมีกำจัดศัตรูพืชตกค้างในผักผลไม้ของคนในพื้นที่กรุงเทพมหานคร

อุปกรณ์และวิธีการวิจัย

ประชากร คือ ประชาชนผู้สนใจ ทั้งผู้ผลิต ผู้ค้าขาย และผู้บริโภคผักผลไม้ ภายในเขตกรุงเทพมหานคร โดยไม่ทราบจำนวนประชากรที่แน่นอน

ขนาดของกลุ่มตัวอย่าง ใช้การเปิดตารางสำเร็จรูปของ Yamane (1967) ดัง Table 1 ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 % และความคลาดเคลื่อน 5 % ดังนั้น จากการวิจัยครั้งนี้ เนื่องจากจำนวนประชากรอนันต์จึงใช้กลุ่มตัวอย่าง 400 คน

Table 1 Sample size for $\pm 1\%$, $\pm 2\%$, $\pm 3\%$, $\pm 4\%$, $\pm 5\%$ and $\pm 10\%$ Precision Levels Where Confidence Level is 95 %

Size of Population	Sample Size (n) for Precision (e) of:					
	$\pm 1\%$	$\pm 2\%$	$\pm 3\%$	$\pm 4\%$	$\pm 5\%$	$\pm 10\%$
500	*	*	*	*	222	83
1,000	*	*	*	385	286	91
⋮						
100,000	9,091	2,439	1,099	621	398	100
∞	10,000	2,500	1,111	625	400	100

Source: Yamane (1967).

เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย คือ แบบสอบถามโดยแบ่ง ออกเป็น 2 ส่วน ส่วนที่ 1 ข้อมูลส่วนบุคคลด้านเศรษฐกิจ สังคม และข้อมูลเกี่ยวกับการตรวจสอบพืชตกค้างในผักผลไม้ ส่วนที่ 2 แบบสอบถามเกี่ยวกับคุณลักษณะของบัตรเซนเซอร์ตรวจสอบการกำจัดศัตรูพืชตกค้าง

วิธีการเก็บรวบรวมข้อมูล โดยใช้การสุ่มแบบเฉพาะเจาะจง (Purposive Sampling) โดยกลุ่มตัวอย่างเป็นผู้ที่อาศัยอยู่ในพื้นที่กรุงเทพมหานครที่มีการซื้อผักผลไม้และได้ชมคลิปวิดีโอสาธิตการใช้บัตรเซนเซอร์ตรวจสอบการกำจัดศัตรูพืชตกค้างในผักผลไม้ โดยผู้วิจัยขอเข้าไปเปิดวิดีโอสาธิตให้กับกลุ่มที่สะดวกในการเข้าร่วมจนครบจำนวน 400 คน

การวิเคราะห์ข้อมูล

ส่วนที่ 1 ใช้การวิเคราะห์ข้อมูลจะใช้การวิเคราะห์สถิติเชิงพรรณนา (Descriptive Statistics Analysis) เป็นสถิติพื้นฐานที่ใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูลประกอบด้วยค่าความถี่ (Frequency) ค่าร้อยละ (%) เพื่ออธิบายข้อมูลของแบบสอบถาม

ส่วนที่ 2 ใช้วิธีการวิเคราะห์คุณลักษณะของบัตรเซนเซอร์ตรวจสอบการกำจัดศัตรูพืชตกค้างโดยใช้ แบบจำลองของคาโน (Kano's model) โดยเป็นการอธิบายความสัมพันธ์ระหว่างระดับความพึงพอใจของผู้ใช้กับคุณลักษณะต่าง ๆ ว่าตอบสนองความ

ต้องการของผู้ใช้ชุดตรวจฯ โดยความพึงพอใจมีรูปแบบที่แตกต่างกันได้ 3 ประเภทดังนี้ Must-be หรือ ความต้องมีคุณลักษณะนี้ ถ้าไม่มีจะทำให้ผู้ใช้เกิดความรู้สึกไม่พึงพอใจ One-dimensional หรือ คุณลักษณะที่ทำให้พอใจแบบทิศทางเดียว ถ้าเพิ่มคุณลักษณะนี้จะทำให้ระดับความพึงพอใจของผู้ใช้เพิ่มมากขึ้นด้วย Attractive หรือ คุณลักษณะที่ดึงดูดใจ ถ้ามีจะทำให้ผู้ใช้สนใจมากขึ้นหรือรู้สึกดึงดูดใจในผลิตภัณฑ์ และ Indifferent เป็นคุณลักษณะที่ไม่มีความแตกต่างทางความรู้สึก ถ้าคุณลักษณะนี้มีอยู่หรือไม่ ก็ไม่ได้ทำให้ผู้ใช้รู้สึกพึงพอใจหรือไม่พึงพอใจแต่อย่างใด โดยมีกฎของการประเมินดังนี้ $M > O > A > I$ เพื่อให้ทราบว่าคุณลักษณะทำให้เกิดความพึงพอใจในรูปแบบใด มีวิธีขั้นตอนในการวิเคราะห์และแปลผลตามขั้นตอนดังนี้

ขั้นตอนที่ 1 นำคุณลักษณะของบัตรเซนเซอร์ตรวจสอบการกำจัดศัตรูพืชตกค้างที่ได้จากผู้พัฒนาบัตรเซนเซอร์ประกอบด้วยคุณลักษณะด้านภาพลักษณ์ จำนวน 7 คุณลักษณะ และคุณลักษณะด้านการใช้งาน จำนวน 20 คุณลักษณะ รวมทั้งสิ้น 27 คุณลักษณะ มาทำแบบสอบถาม ซึ่งหนึ่งคำถามจะประกอบไปด้วยคำถามเชิงลบและเชิงบวก โดยคำถามเชิงบวก หรือ Functional Question คือคำถามที่ถามความรู้สึกเมื่อพบคุณลักษณะ และ คำถามเชิงลบ หรือ Dysfunctional Question คือคำถามที่ถามความรู้สึกเมื่อไม่พบคุณลักษณะ (Berger, 1993) ดัง Table 2

Table 2 The sample of Kano Questionnaire in research

Functional Question	
Positive Question	Negative Question
1.Colors, pictures, and various symbols are used.	1.Colors, pictures, and various symbols are not used.
1) Like	1) Like
2) Must be	2) Must be
3) Neutral	3) Neutral
4) Live With	4) Live With
5) Dislike	5) Dislike

ขั้นตอนที่ 2 นำคำตอบแต่ละคำตอบจากผู้ตอบแบบสอบถามแต่ละคนมาเทียบความหมายโดยเทียบกับตารางการประเมินผลของคาโน ซึ่งในขั้นตอนนี้ ผู้วิจัยจะทราบว่า คำตอบของแต่ละ คุณลักษณะจากผู้ตอบแบบสอบถามทั้งหมด 400 คน ว่าเป็นสัญลักษณ์ A O M Q R หรือ I โดย A (Attractive) คือ คุณลักษณะที่ดึงดูดผู้ใช้งาน O (One-dimensional) คือ คุณลักษณะที่ทำให้ผู้ใช้งานพึงพอใจ M (Must-be)

คือ คุณลักษณะที่เป็นต้องมีในตัวผลิตภัณฑ์ I (Indifferent) คือ คุณลักษณะที่ไม่สร้างความแตกต่างให้ผู้ใช้งานในความรู้สึกของผู้ใช้งาน Questionable หมายถึง ผู้ใช้งานเกิดข้อสงสัยในคำถามของแบบสอบถามนั้น Reverse หมายถึง หากคำตอบตกที่ ช่อง R แสดงว่าคำถามทั้งในแบบ Functional และ Dysfunctional เป็นคำถามที่ตรงกันข้ามกับความรู้สึกของผู้ตอบ ดัง Table 3

Table 3 The Kano categories result from asking paired questions.

Functional		Dysfunctional (negative) question				
Questions		1.like	2.must be	3.neutral	4.live with	5.dislike
Functional (positive) question	1.like	Q	A	A	A	O
	2.must be	R	I	I	I	M
	3.neutral	R	I	I	I	M
	4.live with	R	I	I	I	M
	5.dislike	R	R	R	R	Q

Q=Questionable, R=Reverse, A=Attractive, M=Must be, O=One dimensional, I=Indifferent.

Source: Matzler & Hinterhuber (1998).

ขั้นตอนที่ 3 นำคำตอบของขั้นตอนที่ 2 มาหาค่าอัตราส่วนร้อยละของแต่ละคุณลักษณะ

ขั้นตอนที่ 4 นำความถี่ของแต่ละคุณลักษณะ เฉพาะ M O A และ I ที่ได้มาคำนวณหาค่าสัมประสิทธิ์ค่าความพึงพอใจและค่าความไม่พึงพอใจด้วยสูตรดังต่อไปนี้

ค่าความพึงพอใจ Satisfaction = $(A+O)/(A+O+M+I)$

ค่าความไม่พึงพอใจ Dissatisfaction = $(O+M)/((-1)(A+O+M+I))$

ค่าของความพึงพอใจนั้นจะมีค่าอยู่ระหว่าง 0 ถึง 1 ถ้าค่าเข้าใกล้ 1 แสดงว่ามีความพึงพอใจมาก

ค่าของความไม่พึงพอใจนั้นจะมีค่าอยู่ระหว่าง -1 ถึง 0 ถ้าค่าความไม่พึงพอใจมีค่าเข้าใกล้ -1 แสดงว่ามีความไม่พึงพอใจอย่างมาก

ขั้นตอนที่ 5 นำค่าสัมประสิทธิ์ที่ได้จากการคำนวณแสดงความพึงพอใจ (Satisfaction) และไม่พึงพอใจ (Dissatisfaction) ของแต่ละคุณลักษณะที่ได้จากการคำนวณมาสร้างกราฟ โดยให้แกน y เป็น Satisfaction และแกน x เป็น Dissatisfaction ซึ่งสามารถช่วยในการจัดกลุ่มประเภทของคุณลักษณะต่าง ๆ ว่าเป็น กลุ่ม A (Attractive) คือ คุณลักษณะที่ดึงดูดผู้ใช้งาน O (One-dimensional) คือ

คุณลักษณะที่ทำให้ผู้ใช้งานพึงพอใจ M (Must-be) คือ คุณลักษณะที่ต้องมีในตัวผลิตภัณฑ์ I (Indifferent) คือ คุณลักษณะที่ไม่สร้างความแตกต่างให้ผู้ใช้งานในความรู้สึกของผู้ใช้งานเป็น ในกราฟหลังจากนั้นลากเส้นแบ่งช่วงความพึงพอใจของคุณลักษณะต่าง ๆ ในกราฟโดยวิธี A-Kano classification ตามวิธีของ Xu et al. (2009) จากการกำหนดสเกลของกราฟให้ 1 มีค่ามากที่สุดและ 0 มีค่าน้อยที่สุด กำหนดจุดต่าง ๆ บนแผนภาพโดยให้จุด (0,1) เป็น A, จุด (0.5,1) เป็น B, จุด (1,1) เป็น C, จุด (1,0.5) เป็น D, จุด (1,0) เป็น E, จุด (0.5,0) เป็น F, (0,0) เป็น O และ จุด (0,0.5) เป็น I จากนั้นลากเส้นจากจุด I ไปยัง จุด F เป็นวงกลมตามรูป โดยมีรัศมีเป็น 0.5 หลังจากนั้น ลากเส้นจากจุด O ไปยังจุด B และ D จึงได้ขอบเขตการประเมินดังนี้ Must-be zone ประกอบด้วยเส้น DEFG One-dimensional zone ประกอบด้วยเส้น BCDGH Attractive zone ประกอบด้วยเส้น ABHI และ Indifference zone ประกอบด้วยเส้น OFI เพื่อทำการจำแนกคุณลักษณะทั้ง 27 คุณลักษณะว่าจัดอยู่ในกลุ่ม A O M หรือ I จะทำให้ทราบถึงคุณลักษณะต่าง ๆ ที่มีคุณสมบัติแบบใด ดัง Figure 1

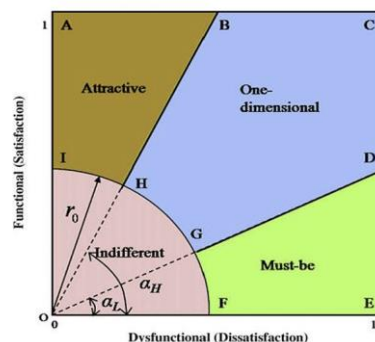


Figure 1 A-Kano classify and Kano categories.

Source: Xu et al. (2009).

การทดสอบเครื่องมือ

ความเที่ยงตรงตามเนื้อหา (Validity) ผู้วิจัยได้สร้างแบบสอบถามจากแนวคิดทฤษฎี ผลงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง และกรอบแนวคิดในการวิจัยเพื่อรวบรวมข้อมูลต่าง ๆ ตามวัตถุประสงค์ จากนั้นได้นำเสนอเครื่องมือต่อผู้เชี่ยวชาญ 3 ท่าน ประกอบด้วย นักวิชาการ

จำนวน 2 ท่าน และนักวิจัยที่ผลิตบัตรเซนเซอร์ จำนวน 1 ท่าน เพื่อพิจารณาความตรงของเนื้อหาและแก้ไขปรับปรุงตามคำแนะนำ

Tabel 4 % of kano results and consumer satisfy coefficient (Continue)

n= 400

Attributes	%						Total	Classify	Sat	Dissat
	A	O	M	I	R	Q				
8. Ease of application installation	34.25	37.25	5.25	15.25	3.50	4.50	100	A	0.78	-0.46
9. There are not many steps to enter the application.	27.50	21.50	4.00	24.50	17.50	5.00	100	A	0.63	-0.33
Procedure for preparing test samples										
10. There is no need to wash vegetables before measuring chemicals.	25.00	4.75	1.25	33.25	31.00	4.75	100	I	0.46	-0.09
11. Vegetables are not weighed before measurement.	17.50	6.75	1.75	47.75	21.75	4.50	100	I	0.33	-0.12
12. Vegetables are not weighed before measurement.	24.25	9.25	1.25	35.00	24.25	6.00	100	I	0.48	-0.15
Steps for use										
13. Add test solution 3 Any amount can be put into the vegetable container.	12.75	4.75	2.25	44.75	30.00	5.50	100	I	0.27	-0.11
14. Shake enough to mix the solution together.	16.00	8.25	0.50	38.00	31.75	5.50	100	I	0.39	-0.14
15. Do not leave it at room temperature for 10 minutes. to extract chemicals.	16.50	5.75	1.25	40.00	30.75	5.75	100	I	0.35	-0.11
16. There is no need to separate the vegetable juice solution into a container prepared for measurement in the next step.	11.25	3.75	1.00	40.75	38.75	4.50	100	I	0.26	-0.08
17. Do not select the enzymatic inhibition method.	12.50	3.25	0.75	44.25	36.50	2.75	100	I	0.26	-0.07
18. Do not press to select the type of vegetables you want to inspect.	12.75	3.75	0.50	31.25	47.25	4.50	100	I	0.34	-0.09
19. Do not select the pesticide you want to measure.	14.00	4.75	2.00	30.50	44.25	4.50	100	I	0.37	-0.13
20. Do not place your phone on the sensor card. (1 st time)	16.00	5.25	2.00	40.25	31.50	5.00	100	I	0.33	-0.11
21. Do not drip 5 drops of test solution 1 onto the electrodes and process for 100 seconds.	11.50	3.50	0.75	45.25	32.50	6.50	100	I	0.25	-0.07
22. Do not drop 1 drop of test solution 2 onto the electrodes and process for 300 seconds.	10.00	4.00	1.00	46.75	32.50	5.75	100	I	0.23	-0.08
23. Do not rinse the electrodes with 2 ml of test solution1 and then gently pat the area of the electrodes to dry.	11.75	3.50	1.25	46.00	32.75	4.75	100	I	0.24	-0.08
24. Do not drip 5 drops of the extracted vegetable juice onto	7.00	3.75	2.25	47.00	34.25	5.75	100	I	0.18	-0.10

Tabel 4 % of kano results and consumer satisfy coefficient (Continue)

n= 400

Attributes	% Total						Classify	Sat	Dissat
	A	O	M	I	R	Q			
the electrodes. Leave it for 600 seconds. Rinse the electrodes with 2 mL of test solution1 and then gently pat the area of the electrodes dry.									
25. Do not place your phone on the sensor card. (2 nd time)	14.75	4.75	2.00	45.50	27.50	5.50	100	I	0.29 -0.10
26. Do not repeat the same steps.	9.50	6.25	2.00	46.75	29.00	6.50	100	I	0.24 -0.13
27. The application shows the concentration values of detected pesticides.	25.00	29.00	6.75	22.25	9.75	7.25	100	A	0.65 -0.43

จากการนำค่าสัมประสิทธิ์ ความพึงพอใจ (Customer Satisfaction Coefficient) ที่ได้จากการคำนวณค่าความถี่ของแต่ละคุณลักษณะ (A O M และ I) ทั้งหมด 27 คุณลักษณะ โดยแบ่งตามกลุ่มคุณลักษณะ M O A และ I ดังนี้

คุณลักษณะกลุ่ม I (Indifferent) คือ กลุ่มคุณลักษณะที่ไม่แตกต่างในความรู้สึกของผู้ใช้ มีทั้งหมด 18 คุณลักษณะ ดังนี้

T3: ตัวอ่านเซนเซอร์กับตัวเซนเซอร์เป็นแผ่นเดียวกัน T10: ไม่ต้องล้างผักผลไม้ก่อนทำการตรวจวัด T11: ไม่ต้องซังน้ำหนัผักก่อนตรวจวัด T12: หั่นผักที่นำมาทดสอบขนาดเท่าไรก็ได้ T13: ใส่สารละลายทดสอบ 3 ปริมาณเท่าไรก็ได้ลงในภาชนะที่ใส่ผักผลไม้ T14: เขย่าพอให้สารละลายมันเข้ากัน T15: วางทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 10 นาทีเพื่อทำการสกัดสารเคมี T16: ทำการแยกสารละลายน้ำผักที่ได้ใส่ภาชนะเตรียมไว้สำหรับการตรวจวัดในขั้นตอนต่อไป T17: ไม่กดยเลือก วิธีการยับยั้งด้วยเอนไซม์ T18: ไม่กดยเลือก ชนิดของผักที่ต้องการตรวจ T19: ไม่กดยเลือก สารเคมีกำจัดศัตรูพืชที่ต้องการตรวจวัด T20: ไม่นำโทรศัพท์ทาบบนบัตรเซ็นเซอร์ T21: ไม่หยดสารละลายทดสอบ 1 จำนวน 5 หยด ลงบนขั้วไฟฟ้าแล้วประมวลผล 100 วินาที T22: ไม่หยดสารละลายทดสอบ 2 จำนวน 1 หยด ลงบนขั้วไฟฟ้า แล้วประมวลผล 300 วินาที T23: ไม่ล้างขั้วไฟฟ้าด้วยสารละลายทดสอบ1 ปริมาณ 2 มิลลิลิตร แล้วซับออกเบา ๆ บริเวณขั้วไฟฟ้าให้แห้ง T24: ไม่หยดน้ำผักที่สกัดแล้วจำนวน 5 หยดลงบน

ขั้วไฟฟ้า ทิ้งไว้ 600 วินาที ล้างขั้วไฟฟ้าด้วยสารละลายทดสอบ1 ปริมาณ 2 มิลลิลิตร แล้วซับออกเบา ๆ บริเวณขั้วไฟฟ้าให้แห้ง 25: ไม่นำโทรศัพท์ทาบบนบัตรเซ็นเซอร์ T26: ไม่ทำซ้ำตามขั้นตอนเดิมอีกครั้ง

คุณลักษณะกลุ่ม A (attractive) คือ หน้าที่ดึงดูดผู้ใช้งาน มีทั้งหมด 9 คุณลักษณะ ดังนี้ T1: มีการใช้สี รูปภาพ สัญลักษณ์ต่าง ๆ ประกอบ T2: มีการปรับขนาดเพิ่มลดตัวอักษรให้ชัดเจนขึ้น T4: น้ำยาทดสอบมีสีแยกแยะชัดเจน T5: หลอดดูดน้ำยาทดสอบมีสีแยกแยะชัดเจน T6: น้ำยาทดสอบ และหลอดดูดน้ำยาทดสอบ มีสีแตกต่างกันชัดเจน T7: มีการใช้สี รูปภาพประกอบแต่ละขั้นตอน ของคู่มือ T8: ความง่ายในการติดตั้งแอปพลิเคชัน T9: ขั้นตอนในการเข้าแอปพลิเคชันน้อย และ T27: แอปพลิเคชันแสดงค่าความเข้มข้นของสารเคมีกำจัดศัตรูพืชที่ตรวจพบ

นำค่าสัมประสิทธิ์ที่ได้จากการคำนวณแสดงความพึงพอใจ (Satisfaction) และไม่พึงพอใจ (Dissatisfaction) ของแต่ละคุณลักษณะที่ได้จากการคำนวณมาสร้างกราฟ โดยให้แกน y เป็น Satisfaction และแกน x เป็น Dissatisfaction ตาม Figure 2

จากผลการศึกษาข้างต้นสามารถสรุปคุณลักษณะต่าง ๆ ของบัตรเซนเซอร์ตรวจวัดสารเคมีกำจัดศัตรูพืชตกค้างในผักผลไม้ ได้ดัง Table 5

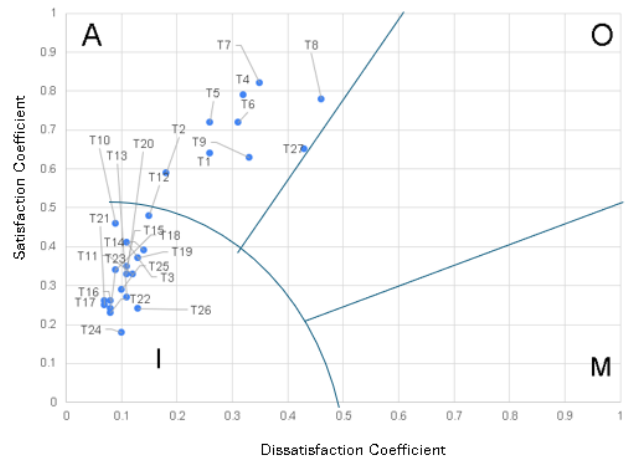


Figure 2 Classification with the A-Kano model for all 27 characteristics.

Table 5 Summary of classification results of 27 characteristics

Types of characteristics	Number of characteristics
1. One –dimensional	0
2. Must be attribute	0
3. Indifferent attribute	18
3.1 Image characteristics	1
3.2 usability characteristics	17
3.2.1 Application installation steps	0
3.2.2 Procedure for preparing test samples	3
3.2.3 Steps for use	14
4. Attractive attribute	9
4.1 Image characteristics	6
4.2 usability characteristics	3
4.2.1 Application installation steps	2
4.2.2 Procedure for preparing test samples	0
4.2.3 Steps for use	1

จาก Table 5 พบว่า คุณลักษณะของบัตรเซ็นเซอร์ทั้ง 27 คุณลักษณะ พบว่า มีคุณลักษณะที่อยู่ในกลุ่ม I (Indifferent) มีจำนวน 18 คุณลักษณะ คุณลักษณะในกลุ่มนี้ไม่ทำให้ผู้ใช้งานไม่รู้สึกถึงความแตกต่าง โดยมีคุณลักษณะที่อยู่ในด้านภาพลักษณ์จำนวน 1 คุณลักษณะ คือจะเป็นรูปแบบใดก็ได้ ส่วนคุณลักษณะอีก 17 คุณลักษณะ อยู่ด้านการการใช้งาน คือ ขั้นตอนการเตรียมผักผลไม้ ก่อนการตรวจวัดสารเคมีกำจัดศัตรูพืชตกค้างในผักผลไม้ และขั้นตอนการตรวจวัดสารเคมีกำจัดศัตรูพืชจากผักและผลไม้ด้วยสารละลาย ซึ่งไม่มีผลต่อผู้ใช้งานเนื่องจากมีความเข้าใจว่าจะต้องปฏิบัติตาม ขั้นตอนดังกล่าวจึงจะสามารถตรวจวัดสารเคมีกำจัดศัตรูพืชตกค้างได้ และคุณลักษณะที่อยู่ในกลุ่ม A (attractive) มีจำนวนทั้งหมด 9 คุณลักษณะ คุณลักษณะในกลุ่มนี้จะทำหน้าที่ดึงดูดผู้ใช้งาน โดยมีคุณลักษณะอยู่ในด้านภาพลักษณ์จำนวน 6 คุณลักษณะ ซึ่งจะเห็นว่าผู้ใช้งานต้องการให้มีการใช้สี รูปภาพ สัญลักษณ์ต่าง ๆ ประกอบใน

ชุดบัตรตรวจเพื่ออำนวยความสะดวก เข้าใจ สามารถปรับขนาดเพิ่มหรือลดตัวอักษรเพื่อให้เห็นชัดเจนขึ้น ในส่วนของอุปกรณ์ที่ใช้และน้ำยาทดสอบต้องการให้มีการแยกสีอย่างชัดเจน หลอดดูดน้ำยาทดสอบมีสีแยกแยะชัดเจน และน้ำยาทดสอบและอุปกรณ์ที่ใช้ร่วมกันควรมีสีเดียวกัน เพื่อป้องกันความสับสนในการใช้งาน ควรมีการใช้สี รูปภาพ ประกอบแต่ละขั้นตอนของคู่มือ และด้านการใช้งาน ขั้นตอนการติดตั้งแอปพลิเคชัน จำนวน 2 คุณลักษณะ คือ ติดตั้งแอปพลิเคชัน ประกอบการตรวจวัดง่าย และไม่มีขั้นตอนยุ่งยาก เพื่อความสะดวกในการใช้งาน และขั้นตอนการตรวจวัดสารเคมีกำจัดศัตรูพืชจากผักและผลไม้ด้วยสารละลาย จำนวน 1 คุณลักษณะที่เกี่ยวกับการแสดงผลปริมาณสารพิษตกค้างให้เห็นชัดเจน

เมื่อพิจารณาในส่วนของคุณลักษณะ Must be (M) พบว่า ผู้ใช้งานบัตรเซ็นเซอร์ฯ ไม่ยึดติดกับคุณลักษณะใดของบัตรเซ็นเซอร์ฯ ทั้งในด้านภาพลักษณ์และด้านการใช้งาน อาจเนื่องมาจากผู้ใช้งานส่วนใหญ่

ไม่ได้ตรวจวัดสารพิษตกค้างเป็นประจำและมีชุดตรวจวัดสารเคมีกำจัดศัตรูพืชในท้องตลาดหลายชนิด ซึ่งสอดคล้องกับ Jantest et al. (2013) เรื่องการประยุกต์แบบจำลองคาโนค้นหาความต้องการของผู้บริโภคในผลิตภัณฑ์มะม่วงอัดเม็ด ในเรื่องของผลิตภัณฑ์อัดเม็ดมีรูปแบบและรสชาติที่หลากหลายทำให้ผู้บริโภคไม่ยึดติดกับคุณลักษณะใดที่จำเป็นต้องมีในผลิตภัณฑ์จึงไม่มีคุณลักษณะใดอยู่ในกลุ่ม M

เมื่อพิจารณาในส่วนของกลุ่ม Attractive (A) พบว่าบัตรเซ็นเซอร์มีคุณลักษณะที่ผู้ใช้ให้ความสนใจจึงควรต้องมีการ คือ การแยกสีหลอดทดสอบที่แยกแยะชัดเจนตลอดจนการใช้งานที่ง่ายซึ่งสอดคล้องกับ Rawangwong et al. (2022) เรื่องการประยุกต์ใช้เทคนิควิศวกรรมค้นหามาร่วมกับแบบจำลองคาโนเพื่อการออกแบบและพัฒนาผลิตภัณฑ์โคมไฟจากกระจุจก้าน ในเรื่องของการใช้งาน ดังนั้นจึงแสดงให้เห็นว่าการใช้งานที่ง่ายนั้นมีผลต่อการดึงดูดผู้ใช้งานเพิ่มมากขึ้น

เมื่อพิจารณาในส่วนของกลุ่ม Indifferent (I) พบว่า บัตรเซ็นเซอร์มีคุณลักษณะขั้นตอนการใช้งานที่ไม่แตกต่างในความรู้สึกของผู้ใช้ถึงแม้จะมีการทำการทดลองซ้ำซึ่งสอดคล้องกับ Nakasupa et al. (2022) ได้ศึกษาเรื่องการวิเคราะห์คุณลักษณะของแอปพลิเคชันในการจัดการดินที่มีผลต่อความพึงพอใจของผู้ใช้ ในจังหวัดระยอง ในเรื่องของมีขั้นตอนในการเข้าใช้งานแอปพลิเคชันหลายขั้นตอนซึ่งมีความยุ่งยากมากกว่าการส่งผลไปตรวจยังห้องปฏิบัติการพร้อมทั้งประหยัดค่าใช้จ่าย

เมื่อพิจารณาในส่วนของผู้ที่มีความต้องการในการตรวจสอบด้วยบัตรเซ็นเซอร์มากที่สุด คือ ผักคะน้า ซึ่งมีความสอดคล้องกับ Prathumpo & Sinloya (2021) เรื่อง การตรวจหาสารเคมีกำจัดศัตรูพืชตกค้างในกลุ่มออร์แกนอโฟสเฟตและกลุ่มคาร์บาเมต จากผักที่ขึ้นทะเบียนเกษตรกรของสำนักงานเกษตรจังหวัดนนทบุรี ในเรื่องของผักที่พบสารเคมีกำจัดศัตรูพืชตกค้าง อยู่ในระดับไม่ปลอดภัยมากที่สุดคือ ผักคะน้า

สรุปผลการวิจัย

ผู้ใช้งานบัตรเซ็นเซอร์ตรวจวัดสารเคมีกำจัดศัตรูพืชจากผักและผลไม้ มีรายได้น้อยกว่า 15,000 บาท และมีการซื้อผักผลไม้ในการบริโภคค่อนข้างน้อย โดยมีค่าใช้จ่ายในการซื้อผักผลไม้ไม่น้อยกว่า 1,000 บาทต่อเดือน ดังนั้น บัตรเซ็นเซอร์ฯ ควรมีราคาน้อยกว่า 800 บาทสามารถใช้ตรวจซ้ำได้เพื่อเป็นการประหยัด อีกทั้งบัตรเซ็นเซอร์ควรเป็นแบบพกพาได้สะดวก และสามารถใช้ร่วมกับโทรศัพท์มือถือได้ทุกรุ่น เนื่องจากผู้ใช้งานส่วนใหญ่ใช้โทรศัพท์มือถือหลากหลายยี่ห้อ การวิเคราะห์คุณลักษณะของบัตรเซ็นเซอร์ตรวจวัดสารเคมีกำจัดศัตรูพืชตกค้างโดยใช้แบบจำลองของคาโน พบว่า คุณลักษณะกลุ่ม A (attractive) คือ หน้าทีดึงดูดผู้ใช้งาน มีทั้งหมด 9 คุณลักษณะ อยู่ในด้านภาพลักษณ์ แสดงว่า ผู้ใช้งานให้ความสำคัญกับภาพลักษณ์ของ

บัตรเซ็นเซอร์ ซึ่งบัตรเซ็นเซอร์ควรมีเพื่อดึงดูดผู้ใช้งาน คือ เรื่องการใช้สี รูปภาพ สัญลักษณ์ต่าง ๆ ประกอบในแต่ละขั้นตอน สามารถการปรับขนาดเพิ่มลดตัวอักษรให้ชัดเจนขึ้น การมีแยกสีน้ำยาทดสอบและหลอดดูตุน้ำยาทดสอบให้มีสีที่แตกต่างกันในแต่ละชนิดให้ชัดเจน และสำหรับแอปพลิเคชันที่เข้าร่วมกับบัตรเซ็นเซอร์จะต้องติดตั้งง่าย มีขั้นตอนในการเข้าแอปพลิเคชันน้อย และมีการแสดงค่าความเข้มข้นของสารเคมีกำจัดศัตรูพืชที่ตรวจพบอย่างชัดเจน

กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบพระคุณ ศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ และผู้ร่วมตอบแบบสอบถามในกรุงเทพมหานคร

References

- Anusasanee, P., Butryee, C. Tanaviyutpakdee, P., & Kampanit, W. (2021). Risk assessment of carbamate pesticides through vegetable and fruit consumption in Thai population. *Thai Journal of Toxicology*, 36(1), 91-112. (in Thai)
- Berger, C. (1993). Kano's method for understanding customer-defined quality. *Center for Quality Management Journal*, 2, 3-36.
- Department of Agriculture. (2021). *Mancharya offers a high-grade sampling of pesticide residues, vegetables, fruits and durian, GAP plant*. Accessed March 15, 2024. Retrieved from <https://www.doa.go.th/th/%E0%B8%A1%E0%B8%99%E0%B8%B1%E0%B8%8D%E0%B8%8D%E0%B8%B2%E0%B8%AA%E0%B8%B1%E0%B9%88%E0%B8%87%E0%B8%AA%E0%B8%B8%E0%B9%88%E0%B8%A1%E0%B8%95%E0%B8%A3%E0%B8%A7%E0%B8%88%E0%B8%AA%E0%B8%B2%E0%B8%A3%E0%B8%95/>. (in Thai)
- Greennews Agency. (2023). *Special report the agricultural chemistry crisis - food safety in 2023*. Accessed March 15, 2024. Retrieved from <https://greennews.agency/?p=32457>. (in Thai)
- Institute for Population and Social Research. (2018). *Monitoring survey on fruit and vegetable consumption among Thai people, wave 1*. Accessed March 15, 2024. Retrieved from https://ipsr.mahidol.ac.th/en/post_research/monitoring-survey-on-fruit-and-vegetable-consumption-among-thai-people-wave-1-2018/. (in Thai)

- Jantest, S., Suwonsichon, T., & Suwonsichon, S. (2013). Application of Kano model for customer need in mongo tablets. *Proceedings the of 51st Kasetsart university annual conference: agricultural extension and home economics, agro-industry* (pp. 346-353). Bangkok, Thailand: Kasetsart University. (in Thai)
- Matzler, K., & Hinterhuber, H. H. (1998). How to make product development projects more successful by integrating Kano's model of customer satisfaction into quality function deployment. *Technovation*, 18(1), 25-38. doi: 10.1016/S0166-4972(97)00072-2
- Nakasupa, S., Lertsiri, S., & Sinphurmsukskul, N. (2022). Analysis of the characteristics of soil resource management applications that affect user satisfaction in Rayong. national academic. *Proceedings of the 4th conference and exhibition develop engineering and technological innovation to become a leader in sufficiency for sustainability. According to the sufficiency economy philosophy* (pp. 92-97) . Bangkok, Thailand: Kasem Bundit University. (in Thai)
- National Health Security Office. (2019). *Impact of chemical pesticides*. Accessed March 15, 2024. Retrieved from <https://www.hfocus.org/content/2019/08/17468> (in Thai)
- Office of Agricultural Economics. (2024). *Agricultural economic data*. Accessed August 6, 2024. Retrieved from <https://www.oae.go.th/view/1/%E0%B8%9B%E0%B8%B1%E0%B8%88%E0%B8%88%E0%B8%B1%E0%B8%A2%E0%B8%81%E0%B8%B2%E0%B8%A3%E0%B8%9C%E0%B8%A5%E0%B8%B4%E0%B8%95/TH-TH> (in Thai)
- Pesticide Warning Network. (2019) *Results of testing for pesticide residues in fruits and vegetables, 2019*. Accessed March 15, 2024. Retrieved from <https://thaipan.org/action/1107> (in Thai)
- Prathumpo, W., & Sinloyma, P. (2021). Determination of organophosphate and carbamate pesticide residue in registered vegetables of Nonthaburi Provincial Agricultural Extension Office. *Suan Dusit Graduate School Academic Journal*, 17(2), 151-168. (in Thai)
- Rawangwong, S., Homkhiew, C., Srivabut, C., & Phanthasri, P. (2022). Application of Kansei engineering technique and Kano model for design and development of lamp products from Krajoood Basketry. *The Journal of Industrial Technology*, 18(3), 161-178. (in Thai) doi: 10.14416/j.ind.tech.2022.12.010
- Thamwiriyasati, N., Malaiket, W., Wisutti, R., & Kanokleardwong, K. (2019). Behavior for vegetable consumer to the risk of pesticide toxicity effects on health impacts in adult people. *Journal of Health Science*, 28(5), 772-781. (in Thai)
- Xu, Q., Jiao, R. J., Yang, X., Helander, M., Khalid, H. M., & Opperud, A. (2009). An analytical Kano model for customer need analysis. *Design Studies*, 30(1), 87-110. doi: 10.1016/j.destud.2008.07.001
- Yamane, T. (1967). *Statistics, an introductory analysis* (2nd ed.). New York, United States: Harper and Row.

Research article

Analysis of characteristic of pesticide residue sensor cards for fruits and vegetables affecting user satisfaction in Bangkok

Narongchai Jai-a-ree¹ Supaporn Lertsiri^{1*} Chanchana Thanachayanont²
and Chalathon Choocharoen¹

¹Agricultural Extension and Communication, Faculty of Agriculture, Kasetsart University Chatuchak District, Bangkok Province Thailand 10900

²National Metal and Materials Technology Center Klong Luang, Pathumtani 12120

ARTICLE INFO**Article history**

Received: 24 September 2024

Revised: 4 November 2024

Accepted: 28 November 2024

Online published: 16 December 2024

Keyword

Characteristic analysis

Sensor card

Pesticide residues

Kano's Model

ABSTRACT

This study aims to explore personal background information and analyze the characteristics of a pesticide residue sensor card for detecting chemical residues in fruits and vegetables among users in Bangkok. Data was collected from 400 consumers of fruits and vegetables in Bangkok using a questionnaire. The results revealed that the majority of respondents were female (59.50 %), with an average age of 27.45 years. Most respondents held a bachelor's degree (84.30 %). The majority purchased fruits and vegetables from fresh markets or street markets (88.90 %) and spent no more than 1,000 baht per month on produce (82.8%). Furthermore, 77.80 % of participants preferred a test kit priced below 800 baht, 89 % preferred a portable version, and 69 % wanted the test kit to be reusable. Additionally, most respondents wanted the test kit to be able to detect pesticide residues in Chinese kale (82.90 %) and oranges (70.10 %). Regarding the analysis of the sensor card's features using Kano's model with 27 attributes, the results revealed two categories: Group I (Indifferent), which consisted of 18 attributes that did not significantly influence user satisfaction, and Group A (Attractive), which consisted of 9 attributes that were highly appealing to users. This suggests that users valued the visual appeal of the sensor card, and the key features that would attract users included: the use of colors, images, and symbols at each step of the process; the ability to adjust font size for clarity; clear color differentiation between the test solution and the test tube for each type; and for the accompanying application, ease of installation, a minimal number of steps to access the app, and the clear display of the pesticide residue concentration detected.

*Corresponding author

E-mail address: narongchai.j@ku.th (S. Lertsiri)

Online print: 16 December 2024 Copyright © 2024. This is an open access article, production, and hosting by Faculty of Agricultural Technology, Rajabhat Maha Sarakham University. <https://doi.org/10.14456/paj.2024.56>



อิทธิพลของปุ๋ยฟอสฟอรัสต่อผลผลิตและปริมาณสารต้านอนุมูลอิสระในเมล็ดข้าวพันธุ์ไรซ์เบอร์รี่และทับทิมชุมแพ (กข 69)

เมษนฤทธิ โยธสิงห์^{1*} คณางค์ รัตนานิคม² ชนาگانต์ เทโบลต์ พรหมอุทัย³ และ อยุธย์ คงปิ่น¹

¹สาขาวิชาเทคโนโลยีการผลิตพืช คณะเทคโนโลยีการเกษตร มหาวิทยาลัยกาฬสินธุ์ อำเภอเมืองกาฬสินธุ์ จังหวัดกาฬสินธุ์ ประเทศไทย 46000

²สาขาวิชาสาธารณสุขศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีสุขภาพ มหาวิทยาลัยกาฬสินธุ์ อำเภอเมืองกาฬสินธุ์ จังหวัดกาฬสินธุ์ ประเทศไทย 46230

³ภาควิชาพืชศาสตร์และปฐพีศาสตร์ คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ อำเภอเมืองเชียงใหม่ จังหวัดเชียงใหม่ ประเทศไทย 50200

ข้อมูลบทความ	บทคัดย่อ
Article history รับ: 25 กันยายน 2567 แก้ไข: 30 ตุลาคม 2567 ตอบรับการตีพิมพ์: 7 ธันวาคม 2567 ตีพิมพ์ออนไลน์: 26 ธันวาคม 2567	การวิจัยครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อประเมินอัตราปุ๋ยฟอสฟอรัสต่อผลผลิตและปริมาณสารต้านอนุมูลอิสระ ในเมล็ดข้าวสองพันธุ์คือพันธุ์ไรซ์เบอร์รี่และพันธุ์ทับทิมชุมแพ (กข 69) ปุ๋ยข้าวทั้งสองพันธุ์ในกระถางบรรจุหน้าดินจากกลุ่มชุดดินที่ 22 ให้ปุ๋ยฟอสฟอรัสในรูปซูเปอร์ฟอสเฟตในอัตราที่แตกต่างกัน 5 ระดับคือ 0, 0.50, 1, 1.50 และ 2 กรัม/กระถาง ประเมินผลผลิตและปริมาณฟีนอลรวมและฤทธิ์ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระในเมล็ดข้าวกลึงด้วยการวัดค่า DPPH activity เปรียบเทียบในข้าวแต่ละพันธุ์และอัตราปุ๋ยฟอสฟอรัส พบว่าการเพิ่มอัตราปุ๋ยฟอสฟอรัสจาก 0 ถึง 2 กรัม/กระถาง ทำให้ผลผลิตข้าวทั้งสองพันธุ์เพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องตามอัตราปุ๋ยที่เพิ่มขึ้น แต่พบว่ามีอัตราการเพิ่มขึ้นที่แตกต่างกันระหว่างข้าวทั้งสองพันธุ์ ขณะที่ปริมาณสารฟีนอลรวมและฤทธิ์ในการต้านอนุมูลอิสระในเมล็ดข้าวกลึงทั้งสองพันธุ์มีค่าสูงที่สุดเมื่อใส่ปุ๋ยฟอสฟอรัสในอัตรา 0.50 กรัม/กระถาง การเพิ่มอัตราปุ๋ยฟอสฟอรัสให้สูงขึ้นส่งผลให้ปริมาณฟีนอลรวม และฤทธิ์ในการต้านอนุมูลอิสระในเมล็ดลดลงตามลำดับ การทดลองนี้แสดงให้เห็นว่าอัตราปุ๋ยฟอสฟอรัสในการปลูกข้าวเป็นปัจจัยสำคัญที่ส่งผลต่อปริมาณสารฟีนอลรวมและฤทธิ์ในการต้านอนุมูลอิสระในเมล็ดข้าว โดยการใส่ปุ๋ยฟอสฟอรัสในอัตรา 0.50 กรัม/กระถาง หรือเทียบเท่ากับอัตราการใส่ปุ๋ยที่ 9.75 กิโลกรัมต่อไร่ ในกลุ่มชุดดินที่ 22 ทำให้เมล็ดข้าวพันธุ์ไรซ์เบอร์รี่และพันธุ์ทับทิมชุมแพ (กข 69) มีปริมาณสารฟีนอลรวมและฤทธิ์ในการต้านอนุมูลอิสระสูงที่สุด

บทนำ

ข้าวเป็นแหล่งพลังงานที่สำคัญ ประกอบด้วยคุณค่าทางโภชนาการที่สำคัญหลายชนิด นอกจากนี้ ยังประกอบด้วยสารฟลักซ์เคมี (phytochemicals) ซึ่งมีการรายงานที่สามารถลดความเสี่ยงในการเกิดโรคต่างๆ เช่น โรคหลอดเลือดหัวใจ และมะเร็ง พร้อมช่วยส่งเสริม สุขภาพ (Li et al., 2005) ปัจจุบันผู้บริโภคให้ความสำคัญกับการบริโภคอาหารเพื่อสุขภาพกันมากขึ้นแทนการบริโภคเพื่อเป็นพลังงานเพียงอย่างเดียว โดยพบว่าตลาดข้าวโภชนาการสูงมีการขยายตัวขึ้นอย่างมาก โดยเฉพาะอย่างยิ่งข้าวที่มีสี พบว่าเป็นข้าวที่มีคุณค่าทางอาหารสูงกว่าข้าวที่นิยมบริโภคกันอยู่ทั่วไปมีสารอาหารที่เป็นประโยชน์ต่อร่างกาย เช่น สารประกอบฟีนอลิก ทั้งแอนโทไซยานิน และฟลาโวนอยด์ ช่วยชะลอการเสื่อมของเซลล์ ลดความเสี่ยงของการเกิดมะเร็ง ข้าวโภชนาการสูง ส่วนใหญ่เป็นกลุ่มข้าวสีประเภท

ข้าวกล้องที่มีสีแดง ม่วงเข้มและสีดำ (Daengchot et al., 2019) เช่น ข้าวพันธุ์ทับทิมชุมแพ (กข 69) พัฒนาพันธุ์โดยการผสมเป็นข้าวเจ้าเยื่อหุ้มเมล็ดสีแดง มีปริมาณสารต้านอนุมูลอิสระ ฟีนอลิก ฟลาโวนอยด์ และฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระสูง (Division of Rice Research and Development, 2016) ในขณะที่ข้าวพันธุ์ไรซ์เบอร์รี่เป็นข้าวเจ้าสีม่วงเข้มเมล็ดมีปริมาณสารต้านอนุมูลอิสระ เช่น แอนโทไซยานินสูง พัฒนาพันธุ์โดยมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ (Special Market Rice Information Center, 2022) อย่างไรก็ตามปริมาณสารต้านอนุมูลอิสระในเมล็ดข้าวไม่ได้ขึ้นอยู่กับพันธุกรรมของข้าวเพียงอย่างเดียว แต่สภาพแวดล้อมโดยเฉพาะอย่างยิ่งปัจจัยด้านความอุดมสมบูรณ์ของดินที่ส่งผลต่อสารสำคัญในการต้านอนุมูลอิสระเป็นอย่างมาก (Sulandjari & Yunindanova, 2018; Fongfon et al., 2021; Prajuntasan et al., 2022) สารต้านอนุมูลอิสระที่พบในพืชเหล่านี้

*Corresponding author

E-mail address: mesnarid@gmail.com (M. Yotasing)

Online print: 26 December 2024 Copyright © 2024. This is an open access article, production, and hosting by Faculty of Agricultural Technology, Rajabhat Maha Sarakham University. <https://doi.org/10.14456/paj.2024.57>

จัดเป็นสารกลุ่มสารทุติยภูมิ (secondary metabolite) พืชสร้างขึ้นเมื่อประสบภาวะเครียดไม่ที่เกิดจากปัจจัยทางดิน เช่น ขาดธาตุอาหารภาวะแห้งแล้ง หรือเกิดจากการเข้าทำลายของศัตรูพืช โดย secondary metabolite ที่พืชสร้างขึ้นสามารถช่วยให้พืชปรับตัวและอยู่รอดในภาวะเครียดได้ (Tiwari & Rana, 2015) ภาวะเครียดจากการขาดธาตุอาหารเป็นอีกภาวะหนึ่งที่พืชสร้างสารดังกล่าวออกมา เช่น การที่พืชประสบภาวะเครียดเนื่องจากปริมาณธาตุฟอสฟอรัสในดินต่ำจะส่งผลให้พืชแสดงอาการใบสีแดงจนถึงม่วงอันเป็นผลมาจากที่พืชสร้างสาร secondary metabolite กลุ่มเบต้าไซยานิน และแอนโทไซยานิน ขึ้นมาเพื่อปรับตัวให้อยู่รอด ซึ่งสารเบต้าไซยานิน และแอนโทไซยานินที่พืชสร้างขึ้นมาเพื่อป้องกันภาวะเครียดเหล่านี้กลับเป็นสารต้านอนุมูลอิสระที่มีคุณค่าทางโภชนาการต่อมนุษย์ (Henry et al., 2019) และหากมีการจัดการปริมาณธาตุฟอสฟอรัสในดินให้เหมาะสมไม่เพียงแต่สามารถลดการสูญเสียผลผลิตของข้าวได้เท่านั้น แต่ยังสามารถช่วยเพิ่มปริมาณสารต้านอนุมูลในเมล็ดข้าวได้อีกด้วย ดังนั้น การวิจัยนี้จึงมุ่งเน้นเพื่อหาอัตราปุ๋ยฟอสฟอรัสที่เหมาะสมในการปลูกข้าวแต่ละสายพันธุ์ เพื่อให้ได้ปริมาณผลผลิตและสารต้านอนุมูลอิสระสูง ช่วยให้เกษตรกรสามารถจัดการปุ๋ยได้อย่างเหมาะสมกับความต้องการของข้าว ในการสร้างผลผลิตและสารต้านอนุมูลอิสระซึ่งเป็นที่สามารถเป็นประโยชน์ต่อผู้บริโภคข้าวได้ต่อไป

อุปกรณ์และวิธีการวิจัย

1. การเตรียมวัสดุปลูก และเตรียมกล้าข้าว

ตักหน้าดินของกลุ่มชุดดินที่ 22 ลึก 15 เซนติเมตร นำมาคลุกเคล้าให้เข้ากัน ผึ่งให้แห้งในที่ร่ม บรรจุลงในกระถางพลาสติกไม่เจาะรูขนาด 15 ลิตร กระถางละ 16 กิโลกรัม สุ่มตัวอย่างดินไปวิเคราะห์ก่อนทำการทดลอง เพาะกล้าข้าวในถาดหลุม ขนาด กว้าง 36.50 เซนติเมตร ยาว 58.70 เซนติเมตร แต่ละหลุม 3 เซนติเมตร ฐานหลุม 2.50 เซนติเมตร สูง 4 เซนติเมตร บรรจุดินที่ใช้ในการทดลองเป็นวัสดุในการเพาะกล้า จนกล้าข้าวอายุได้ 7 วันหลังงอก โดยต้นกล้ามีความสูงประมาณ 10-15 เซนติเมตร จึงย้ายลงปลูกในกระถางบรรจุดินที่เตรียมไว้โดยปลูกกระถางละ 4 ต้น จนเมื่อข้าวมีอายุได้ 14 วันหลังย้ายปลูก ถอนแยกกล้าให้เหลือ 2 ต้นต่อกระถาง โดยเลือกต้นที่มีการเจริญเติบโตสม่ำเสมอทั้งหมด ชั่งน้ำในกระถางและรักษาระดับน้ำให้ไม่ต่ำกว่า 2 เซนติเมตร เหนือผิวดินตลอดฤดูปลูก

2. การวางแผนการทดลอง

ทดลองในสภาพกระถางในโรงเรือน วางแผนการทดลองแบบ Split-plot มีปัจจัยการศึกษา 2 ปัจจัย คือ พันธุ์ข้าวและอัตราปุ๋ยฟอสฟอรัส ให้ main-plot เป็นพันธุ์ข้าว ที่จัดแบบ completely randomized design 2 พันธุ์ได้แก่ ไรซ์เบอร์รี่ และทับทิมชุมแพ (กข 69) และ sub-plot คือระดับการใส่ปุ๋ยฟอสฟอรัสในรูปซูเปอร์

ฟอสเฟต 5 ระดับ ได้แก่ 0, 0.50, 1, 1.50 และ 2 กรัม/กระถาง เทียบเท่ากับการใส่ปุ๋ยซูเปอร์ฟอสเฟตในอัตรา 0, 9.75, 19.50, 29.25, 39 กิโลกรัม/ไร่ โดยทำการทดลอง 4 ซ้ำ มีจำนวนทั้งหมด 40 หน่วยการทดลอง กำหนดให้ 1 กระถางเป็นหนึ่งหน่วยการทดลอง

3. การใส่ปุ๋ยและดูแลรักษา

ทุกกระถางใส่ปุ๋ยไนโตรเจนในรูปยูเรีย (46-0-0) ในอัตรา 4 กรัม/กระถาง (78 กิโลกรัม/ไร่) และ โพแทสเซียมในรูปโพแทสเซียมคลอไรด์ (KCl, 0-0-60) ในอัตรา 3 กรัม/กระถาง (58.50 กิโลกรัม/ไร่) โดยแบ่งใส่ 4 ครั้งในปริมาณที่เท่าๆ กันเมื่อข้าวอายุได้ 16, 48, 77 และ 104 วันหลังย้ายปลูก สำหรับปุ๋ยฟอสฟอรัสในรูปซูเปอร์ฟอสเฟต (0-46-0) ในอัตราที่แตกต่างกัน 5 ระดับคือ 0, 0.50, 1, 1.50 และ 2 กรัม/กระถาง (0, 9.75, 19.50, 29.25, 39 กิโลกรัม/ไร่) โดยแบ่งใส่ 4 ครั้งในปริมาณที่เท่าๆ กันเมื่อข้าวอายุได้ 16, 48, 77 และ 104 วันหลังย้ายปลูก การแปลงหน่วยอัตราปุ๋ยจาก กรัมต่อกระถาง เป็นกิโลกรัมต่อไร่ คิดจากน้ำหนักดิน หนึ่งกระถางบรรจุหน้าดิน 16 กิโลกรัม ส่วนหน้าดินลึก 15 เซนติเมตร ในพื้นที่ 1 ไร่ มีน้ำหนัก 312 ตัน คำนวณจากหน้าดินมีความหนาแน่น 1.30 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร ถ้าจัดวัชพืชโดยใช้แรงงานคน ไม่พบแมลงศัตรูพืชและโรคพืช เข้าทำลายในการทดลองนี้

4. การบันทึกข้อมูล และการวิเคราะห์ข้อมูล

บันทึกผลการทดลองเมื่อ ข้าวอยู่ในระยะที่สุกแก่และพร้อมในการเก็บเกี่ยว โดยบันทึกผลผลิตเมล็ดต่อกระถาง(ความชื้นร้อยละ 14) และองค์ประกอบผลผลิตประกอบด้วย ความสูงต้น จำนวนหน่อต่อต้น จำนวนรวงต่อต้น จำนวนเมล็ดต่อรวง และ น้ำหนัก 1,000 เมล็ด การวัดปริมาณฟีนอลรวมและฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระในเมล็ดข้าว นำข้าวเปลือกมาสีเป็นข้าวกล้องโดยไม่มีการขัดขาว จากนั้นจึงนำข้าวกล้องมาวิเคราะห์ดังนี้

4.1 วิเคราะห์ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกรวม

4.1.1 สกัดสารสกัดข้าวโดยการชั่งตัวอย่าง มาตัวอย่างละ 0.25 กรัม ลงในหลอดทดลอง เติมน้ำทำละลายเอทานอลร้อยละ 50 ลงในตัวอย่าง 5 มิลลิลิตร นำไปสกัดด้วยวิธีการแช่เปื่อยยุ่ย (maceration) ที่อุณหภูมิห้อง นาน 1 คืน

4.1.2 การวิเคราะห์ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกโดยวิธี Folin-Ciocalteu ดัดแปลงจากวิธีของ Singleton et al. (1999) ด้วยวิธี colorimetric method โดยการ ผสมตัวอย่างสารสกัดและสารละลาย Folin-Ciocalteu ความเข้มข้นร้อยละ 10 ในหลอดทดลอง และบ่มเพื่อให้เกิดปฏิกิริยารีดอกซ์ 10 นาที จากนั้น เติมน้ำละลาย sodium carbonate ความเข้มข้นร้อยละ 7.50 ปริมาตร 1 มิลลิลิตร ลงในหลอดทดลอง บ่มที่อุณหภูมิห้องนาน 1 ชั่วโมง ทำการวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 765 นาโนเมตร คำนวณหาปริมาณสารประกอบฟีนอลิกโดยการเปรียบเทียบกับกราฟมาตรฐานของปฏิกิริยาโดยมีการดกลักเป็นตัวแทนเปรียบเทียบ

4.2 ทดสอบฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี DPPH activity

การวิเคราะห์คุณสมบัติในการต้านอนุมูลอิสระ DPPH ดัดแปลงจากวิธีของ Brand-Williams et al. (1995) ด้วยวิธี colorimetric method ซึ่งสามารถติดตามการเกิดปฏิกิริยาดำเนินการวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 517 นาโนเมตร ผสมตัวอย่างสารสกัดและสารละลาย 2,2 diphenyl-1-picrylhydrazyl radical ความเข้มข้น 0.10 มิลลิโมลาร์ ในหลอดทดลองและบ่มเพื่อให้เกิดปฏิกิริยาการต้านอนุมูลอิสระที่อุณหภูมิห้องนาน 30 นาทีในที่มีด จากนั้นวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 517 นาโนเมตร คำนวณหาร้อยละการต้านอนุมูลอิสระ

4.3 นำข้อมูลพื้นฐานที่เก็บไว้มาวิเคราะห์ความแปรปรวน (Analysis of Variance) และเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยระหว่างกรรมวิธีการทดลองด้วยวิธี Least Significant Difference (LSD) โดยใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์สำเร็จรูป Statistix 8

ผลและวิจารณ์ผลการวิจัย

ความอุดมสมบูรณ์ของดิน

ดินที่ใช้ในการทดลองมีคุณสมบัติดังแสดงใน Table 1 ซึ่งมีปริมาณไนโตรเจน 0.64 กรัมต่อ 100 กรัม จัดว่ามีไนโตรเจนสูง เพราะอยู่ในช่วง 0.50-1 กรัมต่อ 100 กรัม (Landon, 1991) มีปริมาณ

ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ 3.16 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม จัดว่ามีฟอสฟอรัสต่ำ เพราะอยู่ในช่วง 3-6 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม (Duangpattra, 1995) โพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ในดินนี้ มีค่าเท่ากับ 55.54 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม จัดว่ามีโพแทสเซียมต่ำ เพราะอยู่ในช่วง 30 - 60 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม (Imeab, 1999) มีปริมาณอินทรีย์วัตถุ 0.10 กรัมต่อ 100 กรัม จัดอยู่ในเกณฑ์ต่ำมาก เพราะมีค่าต่ำกว่า 0.5 กรัมต่อ 100 กรัม (Duangpattra, 1995) มีค่าการนำไฟฟ้าของสารละลายดิน 0.02 เดซิซีเมนต่อเมตร แสดงว่าดินที่ใช้ในการทดลองนี้ไม่ใช่ดินเค็ม เพราะมีค่าต่ำกว่า 0.25 เดซิซีเมนต่อเมตร (Wolf, 1999) มีค่าความเป็นกรดเป็นด่าง 6.20 จัดว่าเป็นกรดอ่อน เพราะมีค่าอยู่ในช่วง 6.10 – 6.90 (Hall, 2008) ประเภทเนื้อดินคือดินร่วนทรายจัดว่าเป็นดินเนื้อหยาบ (Faculty Members of the Department of Soil Science, 2005)

ผลผลิตและองค์ประกอบผลผลิต

การวิเคราะห์ความแปรปรวนเพื่อประเมินอิทธิพลของ พันธุ์ข้าวและอัตราปุ๋ยฟอสฟอรัสต่อ ผลผลิต องค์ประกอบผลผลิตและสารออกฤทธิ์ในการต้านอนุมูลอิสระ พบอิทธิพลร่วมระหว่างพันธุ์ข้าวและอัตราการใช้ปุ๋ยฟอสฟอรัส ต่อผลผลิต น้ำหนัก 1,000 เมล็ด ปริมาณสารฟีนอลรวมและความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ จากการวิเคราะห์ค่า DPPH activity และพันธุ์ข้าวมีอิทธิพลต่อความสูง น้ำหนัก 1,000 เมล็ด ปริมาณฟีนอลรวมและสารต้านอนุมูลอิสระ ในขณะที่อัตราปุ๋ยฟอสฟอรัสมีอิทธิพลต่อทุกลักษณะ (Table 2)

Table 1 The initial properties of soil used in the experiment

Soil property	Value
Total N	0.64 g/100g
Available P	3.16 mg/kg
Exchangeable K	55.54 mg/kg
Organic Matter	0.10 g/100g
Electrical Conductivity	0.02 ds/m
pH	6.20
Soil Texture	Loamy sand
Sand	82.42 g/100g
Silt	13.85 g/100g
Clay	3.73 g/100g

Table 2 Analysis of variance (ANOVA) pertaining to the effects of rice varieties, phosphorus application rates, and their interaction on grain yield, plant height, number of tillers per plant, number of panicles per plant, number of filled grains per panicle, 1,000 seed weight, total phenolic compound and antioxidant activity (DPPH)

	Grain yield	Plant height	Number of tillers per plant	Number of panicles per plant	Number of filled grains per panicle	1,000-grain weight	Total phenolic compound	DPPH activity
Variety (V)	NS	**	NS	NS	NS	**	**	**
Fertilizer (F)	**	**	**	**	**	**	**	**
Interaction (VxF)	*	NS	NS	NS	NS	**	*	*

NS= Not significantly different; *, ** significantly different at $p < 0.05$ and $p < 0.01$, respectively.

การเพิ่มอัตราปุ๋ยฟอสฟอรัสมีผลทำให้ผลผลิตข้าวเพิ่มขึ้นทั้งสองพันธุ์ (Figure 1) แต่พบว่าเมื่ออัตราการเพิ่มขึ้นที่แตกต่างกันในข้าวแต่ละพันธุ์ โดยในข้าวพันธุ์ไรซ์เบอร์รี่ที่อัตราปุ๋ยฟอสฟอรัส 0 กรัม/กระถาง ได้ผลผลิต 38 กรัม/กระถาง ซึ่งไม่แตกต่างจากการเพิ่มอัตราปุ๋ยฟอสฟอรัสที่ 0.50 และ 1 กรัม/กระถาง ได้ผลผลิต 40.25 และ 40.77 กรัม/กระถาง ตามลำดับ ในขณะที่การใส่ปุ๋ยฟอสฟอรัสเพิ่มที่อัตรา 1.50 กรัม/กระถาง ทำให้ผลผลิตเพิ่มขึ้นเป็น 47.11 กรัม/กระถาง และผลผลิตมากที่สุดที่การใส่ปุ๋ยฟอสฟอรัสอัตรา 2 กรัม/กระถาง ให้ผลผลิต 50.43 กรัม/กระถาง แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ส่วนในข้าวพันธุ์ทับทิมชุมแพ (กข 69) พบว่าการไม่ใส่ปุ๋ยฟอสฟอรัสให้ผลผลิต 37.75 กรัม/กระถาง และผลผลิตเพิ่มขึ้นเมื่อเพิ่มอัตราการใส่ปุ๋ยฟอสฟอรัสที่ 0.50, 1, 1.50 และ 2 กรัม/กระถาง โดยมีผลผลิตที่ 40.71, 43.70, 45.83, และ 47.12 กรัม/กระถาง ตามลำดับ และที่อัตราปุ๋ยฟอสฟอรัสสูงสุด 2 กรัม/กระถาง ซึ่งอัตรานี้ข้าวพันธุ์ไรซ์เบอร์รี่ให้ผลผลิตสูงกว่าพันธุ์ทับทิมชุมแพ (กข 69) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ แสดงให้เห็นว่าฟอสฟอรัสเป็นปัจจัยจำกัดของการสร้างผลผลิตข้าวในการทดลองนี้ เพราะผลผลิตข้าวทั้งสองพันธุ์ตอบสนองต่อปุ๋ยฟอสฟอรัสอย่างชัดเจนเมื่อเพิ่มอัตราการใส่ปุ๋ย ซึ่งฟอสฟอรัสมีหน้าที่ช่วยเร่งการเจริญเติบโตและการแพร่กระจายของราก ควบคุมการออก

ดอก ออกผล และการสร้างเมล็ด เมื่อพืชได้รับฟอสฟอรัสในปริมาณที่เพียงพอ ก็ทำให้ผลผลิตเพิ่มขึ้น (Department of Land Development, 2024) และข้าวพันธุ์ไรซ์เบอร์รี่ตอบสนองต่อปุ๋ยฟอสฟอรัสสูงกว่าข้าวพันธุ์ทับทิมชุมแพ (กข 69)

พันธุ์ข้าวและอัตราปุ๋ยฟอสฟอรัสมีผลต่อความสูงต้นข้าวอย่างมีนัยสำคัญ แต่ไม่พบปฏิสัมพันธ์ร่วมระหว่างพันธุ์ข้าวและอัตราปุ๋ยในลักษณะความสูง (Table 2) โดยข้าวพันธุ์ไรซ์เบอร์รี่ มีความสูงเฉลี่ย 99.20 เซนติเมตร ซึ่งสูงกว่าข้าวพันธุ์ทับทิมชุมแพ (กข 69) ที่มีความสูงเฉลี่ย 96.25 เซนติเมตร การเพิ่มอัตราปุ๋ยฟอสฟอรัสทำให้ข้าวมีความสูงเพิ่มขึ้น โดยในสภาพที่ไม่ใส่ปุ๋ยฟอสฟอรัสข้าวมีต้นเตี้ยที่สุดที่ 93.38 เซนติเมตร และมีความสูงเพิ่มขึ้นเมื่อเพิ่มอัตราปุ๋ยฟอสฟอรัสโดยอัตราปุ๋ยที่มีความสูงที่สุดคือ 2 กรัม/กระถาง (102.31 เซนติเมตร)

พบอิทธิพลของอัตราปุ๋ยฟอสฟอรัสต่อการแตกกอของพันธุ์ข้าวทั้งสองพันธุ์ โดยพบว่าเมื่อเพิ่มอัตราปุ๋ยฟอสฟอรัสข้าวทั้งสองพันธุ์มีการแตกกอเพิ่มมากขึ้น โดยพบว่ามีการแตกกอสูงสุดที่ 13.10 หน่อ/ต้น (Figure 3) ฟอสฟอรัสเป็นธาตุอาหารที่จำเป็นสำหรับการเจริญเติบโตของข้าว เมื่อขาดฟอสฟอรัสจะมีการพัฒนาของระบบรากช้า มีการแตกกอน้อย ลำต้นแคระแกร็น (Faculty of the Department of Soil Science, 2005)

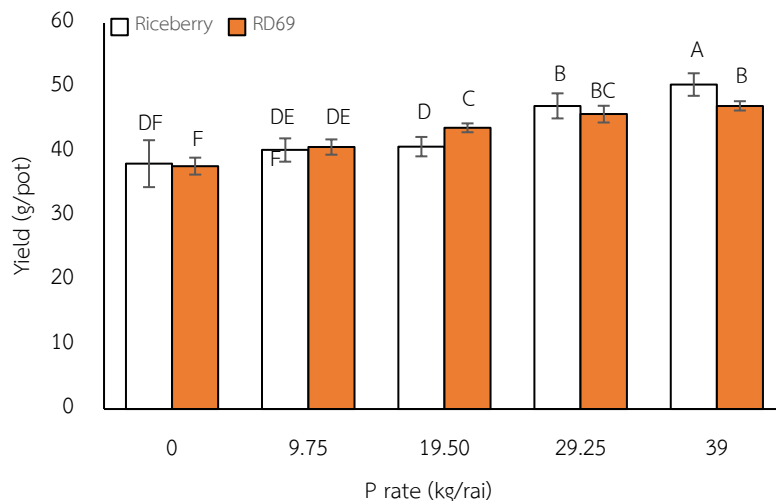


Figure 1 Effects of phosphorus application rate on grain yield of two rice varieties, riceberry and RD 69.

The different lowercase letters indicate significant differences by LSD_{0.05}.

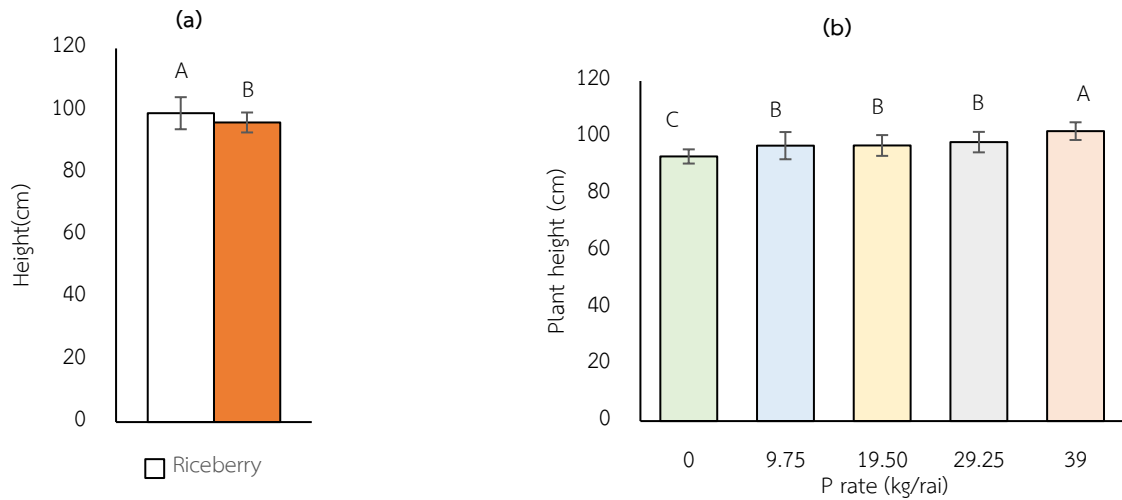


Figure 2 Effects of rice variety (a) and phosphorus application rates (b) on plant height of riceberry and RD69 rice varieties.

The different lowercase letters indicate a significant difference by $LSD_{0.05}$.

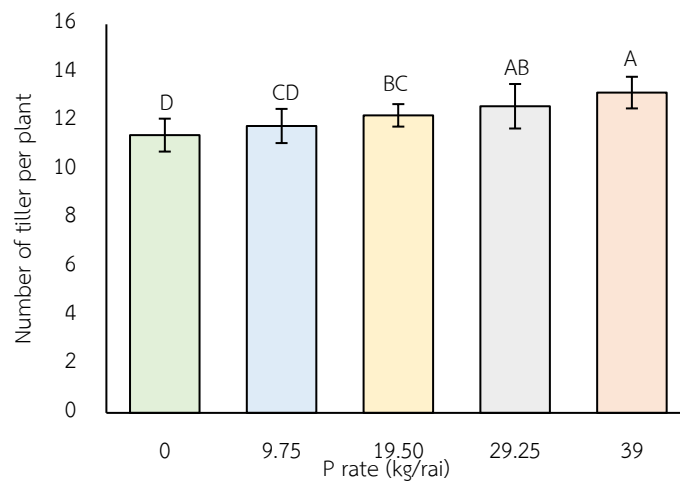


Figure 3 Effects of phosphorus application on number of tillers per plant.

The different lowercase letters indicate significant differences by $LSD_{0.05}$.

พันธุ์ข้าวไม่มีผลต่อจำนวนรวงต่อต้นและจำนวนเมล็ดต่อรวง และไม่พบปฏิสัมพันธ์ร่วมของพันธุ์ข้าวและอัตราปุ๋ยฟอสฟอรัสต่อจำนวนรวงต่อต้นและจำนวนเมล็ดต่อรวง ทั้งจำนวนรวงต่อต้นและจำนวนเมล็ดต่อรวงขึ้นอยู่กับอัตราปุ๋ยฟอสฟอรัส โดยการไม่ใส่ปุ๋ย มีจำนวนรวงต่อต้นน้อยที่สุดที่คือ 9.60 รวง/ต้น และมีจำนวนเมล็ดต่อรวงที่ 109.31 เมล็ด/รวง เมื่อเพิ่มปริมาณปุ๋ยต่อกระถาง จำนวนรวงต่อต้นและจำนวนเมล็ดต่อรวงเพิ่มขึ้นตามลำดับ โดยอัตราปุ๋ยที่ 2 กรัม/กระถาง มีจำนวนรวงต่อต้นสูงสุดที่ 12.25 รวง/ต้น และจำนวนเมล็ดต่อรวงที่ 128.31 เมล็ด/รวง (Figure 4 and Figure 5)

สอดคล้องกับ Division of Rice Research and Development (2016) ที่รายงานไว้ว่าฟอสฟอรัส เป็นองค์ประกอบที่สำคัญของ Adenosine triphosphate (ATP) ข้าวที่ขาดฟอสฟอรัสจะชะงักการเจริญเติบโต จำนวนใบ จำนวนรวง และจำนวนเมล็ดต่อรวงลดลง ฟอสฟอรัสเป็นองค์ประกอบสำคัญของสารประกอบหลายชนิดที่เกี่ยวข้องกับการสังเคราะห์แป้ง เช่น Adenosine triphosphate (ATP) และสารอินทรีย์ฟอสเฟตต่างๆ ซึ่งมีบทบาทในการถ่ายโอนพลังงานและควบคุมกระบวนการทางชีวเคมีที่จำเป็นต่อการสร้างและสะสมแป้งในเมล็ด (Malhotra et al., 2018)

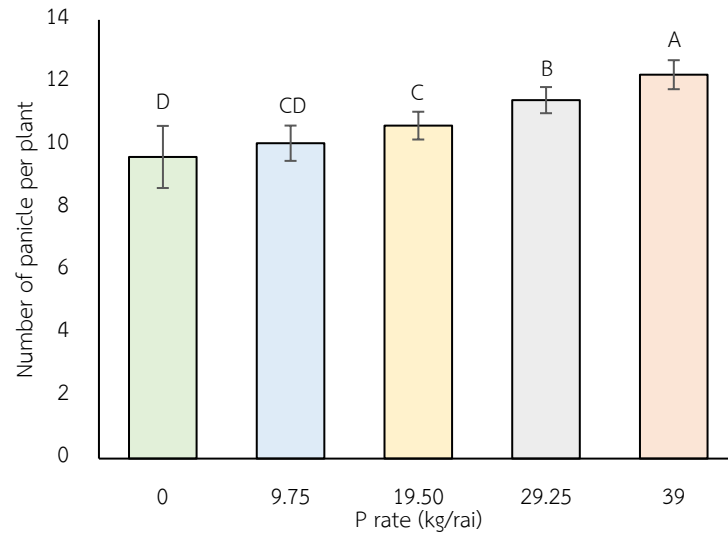


Figure 5 Effects of phosphorus application on number of panicles per plant. The values are means of two varieties and four replications. The different lowercase letters indicate significant differences by $LSD_{0.05}$.

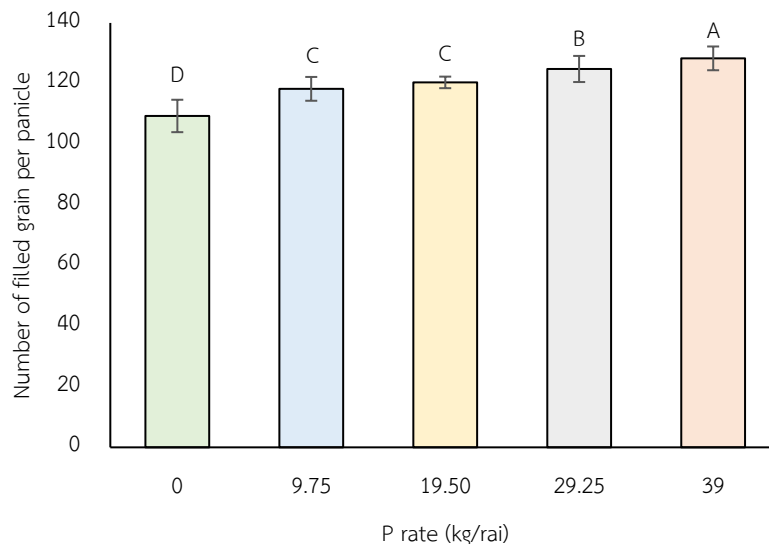


Figure 6 Effects of phosphorus application on number of filled grain. The values are means of two varieties and four replications. The different lowercase letters indicate significant differences by $LSD_{0.05}$.

พบอิทธิพลของปฏิสัมพันธ์ร่วมระหว่างพันธุ์ข้าวและอัตราปุ๋ยฟอสฟอรัสมีอิทธิพลต่อ น้ำหนัก 1,000 เมล็ด ในข้าวพันธุ์ไรซ์เบอร์รี่ การเพิ่มอัตราปุ๋ยฟอสฟอรัสจาก 0 เป็น 0.50 กรัม/กระถาง ไม่ทำให้น้ำหนักเมล็ดเพิ่มขึ้น แต่น้ำหนัก 1,000 เมล็ดเพิ่มขึ้นเมื่อให้ปุ๋ยในอัตรา 1 กรัม/กระถางขึ้นไปและมีน้ำหนักเมล็ดสูงสุดเมื่อใส่ปุ๋ยฟอสฟอรัส 2 กรัมต่อกระถาง แต่ในข้าวพันธุ์ทับทิมชุมแพ (กข 69) การเพิ่มอัตราปุ๋ยจาก 0 เป็น 0.50, 1 และ 1.50 กรัมต่อกระถางไม่มีผลต่อน้ำหนัก 1,000 เมล็ด แต่หากเพิ่มอัตราปุ๋ยเป็น 2 กรัมต่อกระถาง พบว่าน้ำหนักเมล็ดลดลง (Figure 7) สอดคล้องกับรายงานของ Saengruen & Insalud (2019) การใส่ปุ๋ยฟอสฟอรัสในปริมาณที่เหมาะสมสำหรับความต้องการของข้าวสามารถช่วยส่งเสริมให้ข้าวมีการเจริญเติบโตทางด้านลำต้นและรากที่ดีส่งผลให้ผลผลิตของข้าวสูงตามไปด้วย

ฟอสฟอรัสเป็นองค์ประกอบของ ATP ซึ่งเป็นแหล่งพลังงานสำคัญที่ใช้ในกระบวนการสังเคราะห์แสงในเมล็ดข้าว การขาดฟอสฟอรัสทำให้การสังเคราะห์แสงลดลง ส่งผลให้น้ำหนักเมล็ดลดลง (Raghothama, 1999) การจัดการในระดับที่แตกต่างกัน เช่น สายพันธุ์ข้าวที่มีประสิทธิภาพสูงในการดูดใช้ฟอสฟอรัสจะมีการเจริญเติบโตที่ดีขึ้นและมีน้ำหนักเมล็ดมากขึ้น (Fageria et al., 2010) จะเห็นได้ว่าการขาดฟอสฟอรัสส่งผลต่อกระบวนการสร้างผลผลิตแตกต่างกันในข้าวสองพันธุ์ โดยในข้าวพันธุ์ไรซ์เบอร์รี่ระดับฟอสฟอรัสที่ต่ำในการทดลองนี้ไปจำกัดการสร้างรวง การติดเมล็ด และการสะสมน้ำหนักเมล็ด แต่ในข้าวพันธุ์ทับทิมชุมแพ (กข69) ระดับฟอสฟอรัสที่ต่ำไปจำกัดการสร้างรวง การติดเมล็ด แต่ไม่ส่งผลกระทบต่อกระบวนการสะสมน้ำหนักเมล็ด (Figure 5, Figure 6 and Figure 7)

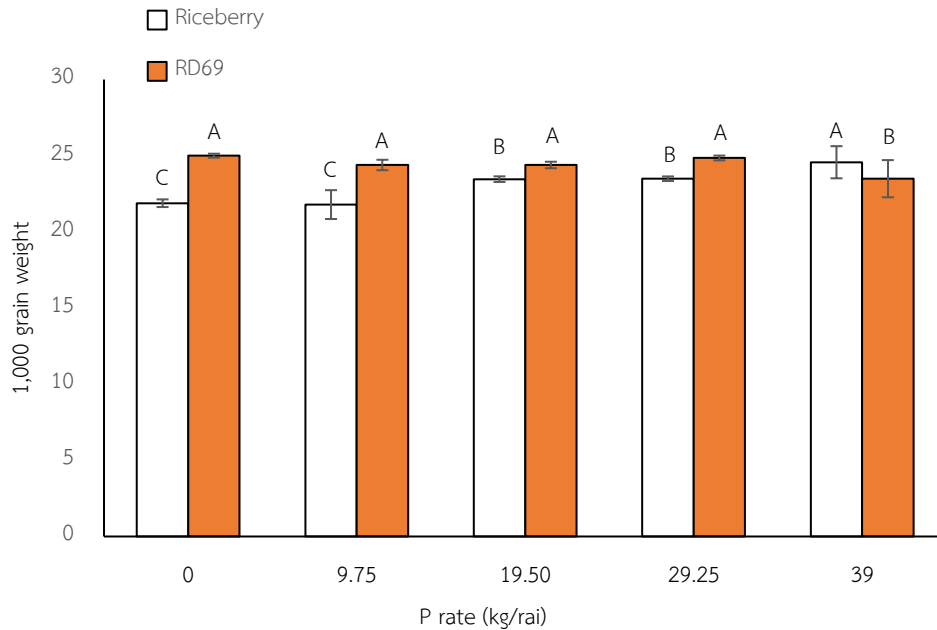


Figure 7 Effects of phosphorus application rate on 1,000 seed weight of Riceberry and RD69 rice varieties. The values are means of four replications. The different lowercase letters indicate significant differences by $LSD_{0.05}$.

เมื่อพิจารณาปริมาณสารฟอสฟอรัสที่เพิ่มหรือลดลง พบปฏิสัมพันธ์ร่วมระหว่างพันธุ์ข้าวกับอัตราปุ๋ยฟอสฟอรัสที่มีอิทธิพลต่อปริมาณสารฟอสฟอรัสในเมล็ด โดยปริมาณสารฟอสฟอรัสในเมล็ดของข้าวทั้งสองพันธุ์ต่ำสุดเมื่อให้ปุ๋ยฟอสฟอรัสในอัตราสูงสุดคือ 2.0 กรัมต่อกระถาง เมื่อลดอัตราการให้ปุ๋ยฟอสฟอรัสลง จาก 2 กรัมต่อกระถาง เป็น 1.50, 1 และ 0.50 กรัมต่อกระถาง พบว่า ปริมาณสารฟอสฟอรัสในเมล็ดเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องผกผันกับอัตราปุ๋ยที่ลดลง และมีปริมาณสารฟอสฟอรัสสูงที่สุดที่อัตราปุ๋ย 0.50 กรัมต่อกระถาง แต่การที่ปลูกในสภาพฟอสฟอรัสต่ำมากโดยไม่ให้ปุ๋ยฟอสฟอรัสเลย ทำให้ปริมาณฟอสฟอรัสต่ำลง (Figure 8) เมื่อเปรียบเทียบปริมาณสารฟอสฟอรัสในเมล็ดข้าวทั้งสองพันธุ์พบว่า ในอัตราปุ๋ยฟอสฟอรัสที่สูงตั้งแต่ 1 กรัมต่อกระถางขึ้นไป ปริมาณสารฟอสฟอรัสในเมล็ดข้าวทั้งสองพันธุ์ไม่แตกต่างกัน แต่ในอัตราปุ๋ยที่ต่ำตั้งแต่ 0.50 และ 0 กรัมต่อกระถาง ปริมาณสารฟอสฟอรัสในเมล็ดข้าวพันธุ์หับทิมชุมแพ (กข 69) สูงกว่าพันธุ์ไรส์เบอร์รี่ (Figure 8)

พบปฏิสัมพันธ์ร่วมระหว่างพันธุ์ข้าวกับอัตราปุ๋ยฟอสฟอรัสที่มีอิทธิพลต่อฤทธิ์ในการต้านอนุมูลอิสระ เมล็ดข้าวพันธุ์หับทิมชุมแพ (กข 69) มีฤทธิ์ในการต้านอนุมูลอิสระสูงกว่าเมล็ดข้าวพันธุ์ไรส์เบอร์รี่ในทุกอัตราปุ๋ย ข้าวทั้งสองพันธุ์ตอบสนองต่ออัตราปุ๋ยคล้ายกันคือที่อัตราปุ๋ยสูงสุดคือ 2 กรัมต่อกระถางมีฤทธิ์ในการต้านอนุมูลอิสระต่ำที่สุดเมื่อลดอัตราปุ๋ยลงเป็น 1.50, 1 และ 0.50 กรัมต่อกระถางทำให้เมล็ดมีฤทธิ์ในการต้านอนุมูลอิสระสูงขึ้นผกผันกับอัตราปุ๋ยที่ลดลง แต่การไม่ใส่ปุ๋ยฟอสฟอรัสเลยได้ฤทธิ์ในการต้านอนุมูลอิสระต่ำกว่าที่อัตราปุ๋ย 0.50 กรัมต่อกระถาง

แสดงให้เห็นว่าในสภาพที่ขาดฟอสฟอรัสทำให้ผลผลิตเมล็ดลดลง แต่กลับส่งผลให้ปริมาณสารต้านอนุมูลอิสระ และฤทธิ์ในการต้านอนุมูลอิสระในเมล็ดเพิ่มขึ้น เหตุที่เป็นเช่นนี้เพราะเป็นการปรับตัวต่อภาวะเครียดของพืช เมื่อพืชประสบปัญหาภาวะเครียดเช่น การขาดฟอสฟอรัสเกิดการชักนำให้สร้างสารอนุมูลอิสระเช่น hydrogen peroxide (H_2O_2) และ hydroxyl radicals (OH) อนุมูลอิสระเหล่านี้จะไปทำลายส่วนต่างๆ ของเซลล์พืช พืชจึงปรับตัวด้วยการสร้างสารต้านอนุมูลอิสระเช่นสารประกอบกลุ่มฟีนอลิกขึ้นมาเพื่อจะเปลี่ยนอนุมูลอิสระเหล่านี้ให้อยู่ในรูปที่ไม่เป็นอันตรายต่อพืช (Karuppanapandian et al., 2011) แต่สารต้านอนุมูลอิสระเหล่านี้ กลับเป็นที่ต้องการในเชิงสุขภาพของผู้บริโภคข้าว (Lichanpom et al., 2019) การผลิตข้าวให้ได้สารต้านอนุมูลอิสระที่สูงต้องแลกมากับผลผลิตที่ลดลงจึงควรมีการศึกษาความคุ้มค่าอย่างละเอียดรอบคอบ ว่าการทำให้ข้าวขาดฟอสฟอรัสเพื่อให้มีสารต้านอนุมูลอิสระในเมล็ดสูงเพื่อเพิ่มมูลค่าเป็นข้าวเพื่อสุขภาพคุ้มค่างบมูลค่าของผลผลิตเมล็ดที่ลดลงจากการขาดฟอสฟอรัสหรือไม่ และในการทดลองนี้พบว่าที่ระดับฟอสฟอรัสในดินต่ำมาก (ไม่ใส่ปุ๋ย) ปริมาณสารต้านอนุมูลอิสระกลับลดลง (Figure 8 and (Figure 9) เหตุที่เป็นเช่นนี้อาจเป็นเพราะในกระบวนการสังเคราะห์สารต้านอนุมูลอิสระจำเป็นต้องใช้พลังงาน (Kasote et al., 2015) และสารตัวกลางพลังงานที่สำคัญในสิ่งมีชีวิตคือ ATP (Adenosine triphosphate) ซึ่งฟอสฟอรัสเป็นองค์ประกอบหลักของ ATP (Learning Innovation Institute Mahidol University, 2018) การขาดฟอสฟอรัสที่รุนแรงจนเกินไปทำให้ขาดสารตัวกลางพลังงานย่อมส่งผลไปจำกัดการสังเคราะห์สารอินทรีย์ในพืชเช่นสารต้านอนุมูลอิสระในที่สุด

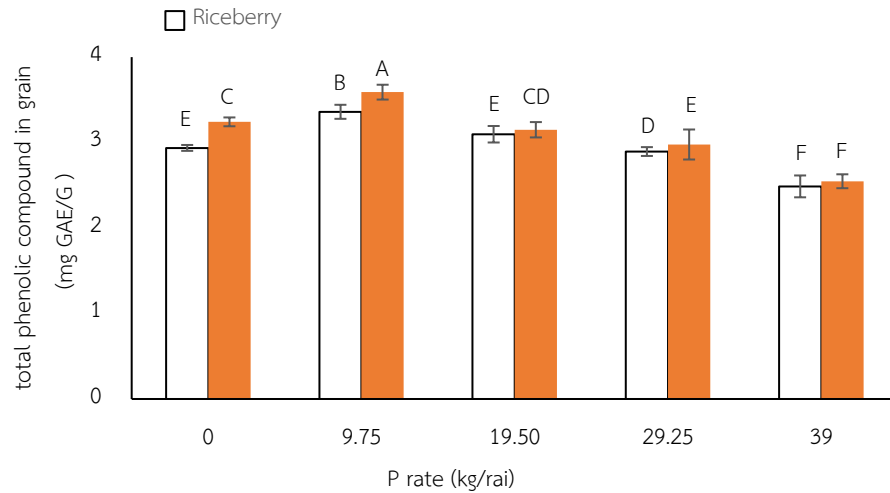


Figure 8 Effects of phosphorus application on grain total phenolic compound of Riceberry and RD69 rice varieties. The values are means of four replications. The different lowercase letters indicate significant differences by LSD_{0.05}.

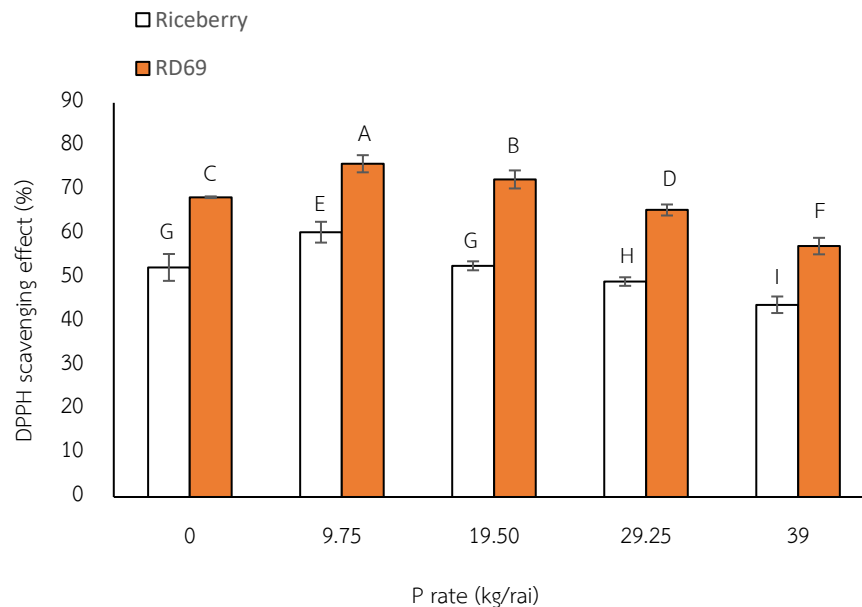


Figure 9 Effect of phosphorus application on grain antioxidant activity of Riceberry and RD69 rice varieties. The values are means of four replications. The different lowercase letters indicate significant differences by LSD_{0.05}.

สรุปผลการวิจัย

จากการศึกษาอัตราของปุ๋ยฟอสฟอรัสที่มีต่อการเจริญเติบโตและสารต้านอนุมูลอิสระของในเมล็ดข้าวพันธุ์ไรซ์เบอร์รี่และพันธุ์ทับทิมชุมแพ (กข 69) แสดงให้เห็นว่าอัตราปุ๋ยฟอสฟอรัสเป็นปัจจัยสำคัญที่ส่งผลต่อปริมาณสารฟีนอลิกและฤทธิ์ในการต้านอนุมูลอิสระในเมล็ดข้าว โดยการใส่ปุ๋ยซูเปอร์ฟอสเฟตในอัตรา 0.50 กรัม/กระถาง หรือ 9.75 กิโลกรัมต่อไร่ ในกลุ่มชุดดินที่ 22 ทำให้เมล็ดข้าวพันธุ์ไรซ์เบอร์รี่และพันธุ์ทับทิมชุมแพ (กข 69) มีปริมาณสารฟีนอลิกและฤทธิ์ในการต้านอนุมูลอิสระสูงที่สุด แต่ทั้งนี้ผลที่ตามมาคือการสูญเสียผลผลิตจากการขาดฟอสฟอรัสโดยที่ระดับฟอสฟอรัสทำให้ผลผลิตข้าว พันธุ์ไรซ์เบอร์รี่ และ พันธุ์ทับทิมชุมแพ (กข 69) ลดลงร้อยละ 20.18 และ

15.72 ตามลำดับ จึงจำเป็นต้องอย่างยิ่งที่จะต้องศึกษาความคุ้มค่าให้รอบคอบ

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณศูนย์วิจัยข้าวชุมแพ กรมการข้าว และ ศูนย์วิจัยข้าวล้านนา มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ ที่ให้ความอนุเคราะห์เมล็ดพันธุ์ข้าวในการทำวิจัยครั้งนี้ และขอขอบคุณ คณะเทคโนโลยีการเกษตร และ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีสุขภาพ มหาวิทยาลัยกาฬสินธุ์ ที่ให้การสนับสนุนอุปกรณ์ เครื่องมือ และสถานที่ในการทำวิจัย

References

- Brand-Williams, W., Cuvelier, M., & Berset, C. (1995). *Use of a free radical method to evaluate antioxidant activity*. *LWT-Food Science and Technology*, 28(1), 25-30. doi: 10.1016/S0023-6438(95)80008-5.
- Daengchot, S., Seesang, S., & Seubsman, S. A. (2019). High nutritious consumption by different age consumers in Bangkok Metropolis. *Proceeding of the 9th STOU National research conference* (pp. 1633-1651). Nonthaburi, Thailand: Sukhothai Thammathirat Open University. (in Thai)
- Department of Land Development. (2024). *Nutrients necessary for plant growth*. Accessed March 15, 2024. Retrieved from http://oss101.ldd.go.th/web_soils_for_youth/s_prop_nutri02.htm. (in Thai)
- Division of Rice Research and Development. (2016). *Rice knowledge bank*. Accessed October 8, 2023. Retrieved from <https://newwebs2.ricethailand.go.th/webmain/rkb3> (in Thai)
- Duangpattra, P. (1995). *Principles and methods of using chemical fertilizers*. Bangkok, Thailand: Department of Soil Science, Faculty of Agriculture, Kasetsart University. (in Thai)
- Faculty Members of the Department of Soil Science. (2005). *Introduction to soil science*. Bangkok, Thailand: Kasetsart University Press. (in Thai)
- Fageria, N. K., Baligar, V. C., & Jones, C. A. (2010). *Growth and mineral nutrition of field crops* (3rd ed.). Boca Raton, Florida, United States: CRC Press. doi: 10.1201/b10160
- Fongfon S., Prom-u-thai C., Pusadee T., & Jamjod, S. (2021). Responses of purple rice genotypes to nitrogen and zinc fertilizer application on grain yield, nitrogen, zinc, and anthocyanin concentration. *Plants*, 10(8), 1717. doi: 10.3390/plants10081717
- Hall, R. (2008). *Soil essentials: Managing your farm's primary asset*. Braeside, Victoria Australia: CSIRO Publishing.
- Henry, J. B., Perkins-Veazie, P., McCall, I., & Whipker, B. E. (2019). Restricted phosphorus fertilization increases the betacyanin concentration and red foliage coloration of alternanthera. *Journal of the American Society for Horticultural Science*, 144(4), 264-273. doi: 10.21273/JASHS04702-19
- Imeab, A. (1999). Guidelines for improving the chemical quality of soil in Thailand. *Journal of Land Development*, 36(372), 24-36. (in Thai)
- Karuppanapandian, T., Moon, J. C., Kim, C., Manoharan, K., & Kim, W. (2011). Reactive oxygen species in plants: their generation, signal transduction, and scavenging mechanisms. *Australian Journal of Crop Science*, 5(6), 709-725.
- Kasote, D. M., Katyare, S. S., Hegde, M. V., & Bae, H. (2015). Significance of antioxidant potential of plants and its relevance to therapeutic applications. *International Journal of Bioogical Sciences*. 11(8), 982-991. doi: 10.7150/ijbs.12096
- Landon, J R. (1991). *Booker tropical soil manual: a handbook for soil survey and agricultural land evaluation in the tropics and sub tropics*. (1st ed.). Oxfordshire, England: Routledge. doi: 10.4324/9781315846842
- Learning Innovation Institute Mahidol University. (2018). *Metabolic processes*. Accessed August 5, 2024. Retrieved from https://il.mahidol.ac.th/e-media/electrochemistry/web/redox_metabolism2.htm. (in Thai)
- Li, W., Shan, F., Sun, S., Corke, H., & Beta, T. (2005). Free radical scavenging properties and phenolic content of Chinese black- grained wheat. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 53(22), 8533- 8536. doi: 10.1021/jf051634y
- Lichanporn, I., Nanthachai, N., Tanganurat, P., & Akrakunthorn, P. (2019). The study of phenolic compound and antioxidant of native varieties of rice in Pathum Thani Province. *Khon Kaen Agriculture Journal*, 47 (Suppl. 1), 637-642. (in Thai)
- Malhotra, H., Vandana., Sharma, S., & Pandey, R. (2018). *Phosphorus nutrition: plant growth in response to deficiency and excess*. Accessed September 29, 2024. https://www.researchgate.net/publication/325488444_Phosphorus_Nutrition_Plant_Growth_in_Response_to_Deficiency_and_Excess
- Prajuntasana R., Ratananikon K., & Payoungkiattikun W. (2022). Anthocyanin content, phenolic content, antioxidant activity and yield in indigenous rice as affected by

- different fertilizers, *Biodiversitas Journal of Biological Diversity*, 23(8), 4195-4201. doi: 10.13057/biodiv/d230842
- Raghothama, K. G. (1999). Phosphate acquisition. *Annual Review of Physiology and Plant Molecular Biology*, 50, 665-693. doi: 10.1007/s11104-004-2005-6
- Saengruen, P., & Insalud, N. (2019). Different levels of phosphorus fertilizer on the growth of *Oryza sativa* var. Sew Mae Jun. *Burapha Science Journal*, 24(2), 725-730. (in Thai)
- Singleton V. L., Orthofer, R., & Lamuela-Raventos, R. M. (1999). Analysis of total phenols and other oxidation substrates and antioxidants by means of folin-ciocalteu reagent. *Methods in Enzymology*, 299, 152-178. doi: 10.1016/S0076-6879(99)99017-1
- Special Market Rice Information Center. (2022). *High nutritional rice*. Accessed September 24, 2023. Retrieved from <https://www.thairicedb.com/rice.php?cid=6>
- Sulandjari, & Yunindanova. M. B. (2018). *Application of Azolla and intermittent irrigation to improve the productivity and nutrient contents of local black rice variety*. Accessed August 5, 2024. Retrieved from <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1755-1315/142/1/012032/pdf>
- Tiwari, R., & Rana, C. S. (2015). Plant secondary metabolites: a review. *International Journal of Engineering Research and General Science*, 3(5), 661–670.
- Wolf, B. (1999). *The fertile triangle: the interrelationship of air, water, and nutrients in maximizing soil productivity*. New York, United States: The Haworth Press.

Research article

Effects of phosphorus fertilizer on yield and grain antioxidant in rice cv. Riceberry and Tubtim Chumphae (RD69)

Mesnarid Yotasing^{1*} Khakhanang Ratananikom² Chanakan Prom-u-thai³ and Ayut Kongpun¹

¹*Department of Plants Production Technology, Faculty of Agricultural Technology, Kalasin University, Mueang Kalasin District, Kalasin Province, Thailand 46000*

²*Department of Public Health, Faculty of Science and Health Technology, Kalasin University, Mueang Kalasin District, Kalasin Province, Thailand 46230*

³*Department of Plant and Soil Science, Faculty of Agriculture, Chiang Mai University, Mueang Chiang Mai District, Chiang Mai Province, Thailand 50200*

ARTICLE INFO**Article history**

Received: 25 September 2024

Revised: 30 October 2024

Accepted: 7 December 2024

Online published: 26 December 2024

Keyword

Fertilizer management

Rice crop cultivation

Grain nutritional in rice

Rice grain quality compound

ABSTRACT

The objective of this study was to evaluate the appropriate rate of phosphorus fertilizer application on the yield and grain antioxidant capacity of two rice varieties, Riceberry and Tubtim Chum Phae (RD69). These rice varieties were grown in pots containing topsoil from the 22nd soil series in Thailand. Phosphorus fertilizer, in the form of superphosphate, was applied to each rice variety at five different rates: 0, 0.50, 1, 1.50, and 2 g/pot. Increasing the phosphorus application rate from 0 to 2 g/pot consistently increased the seed yield of both rice varieties, though the degree of increase varied between the two. The highest total phenolic compound content and antioxidant activity in both rice varieties were observed when phosphorus was applied at 0.50 g/pot. However, further increases in phosphorus application resulted in a decline in total phenolic compound content and antioxidant activity. These results indicate that phosphorus application is a key factor affecting the total phenolic compound content and antioxidant activity in rice grains. Applying phosphorus fertilizer at 0.5 g/pot, equivalent to 9.75 kg/rai, produced the highest antioxidant capacity in both Riceberry and Tubtim Chum Phae (RD69) rice varieties.

*Corresponding author

E-mail address: mesnarid@gmail.com (M. Yotasing)

Online print: 26 December 2024 Copyright © 2024. This is an open access article, production, and hosting by Faculty of Agricultural Technology, Rajabhat Maha Sarakham University. <https://doi.org/10.14456/paj.2024.57>



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

บทความวิจัย

การศึกษาคุณลักษณะของเกษตรกรต้นแบบในจังหวัดนราธิวาส

ประจักษ์ เทพคุณ¹ และ อภิญญา รัตนไชย^{2*}

¹หลักสูตรการจัดการทรัพยากรเกษตรเขตร้อน สาขาวิชาวนวัฒนกรรมการเกษตรและการจัดการ คณะทรัพยากรธรรมชาติ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขตหาดใหญ่ อำเภอหาดใหญ่ จังหวัดสงขลา ประเทศไทย 90110

²สาขาวิชาวนวัฒนกรรมการเกษตรและการจัดการ คณะทรัพยากรธรรมชาติ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขตหาดใหญ่ อำเภอหาดใหญ่ จังหวัดสงขลา ประเทศไทย 90110

ข้อมูลบทความ	บทคัดย่อ
Article history รับ: 11 กันยายน 2567 แก้ไข: 1 พฤศจิกายน 2567 ตอบรับการตีพิมพ์: 7 ธันวาคม 2567 ตีพิมพ์ออนไลน์: 26 ธันวาคม 2567 คำสำคัญ คุณลักษณะ เกษตรกรต้นแบบ เกษตรกรผสมผสาน ความสำเร็จของเกษตรกร	การศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อ (1) ศึกษาข้อมูลพื้นฐานส่วนบุคคลและกิจกรรมการผลิตทางการเกษตรของเกษตรกรต้นแบบ (2) วิเคราะห์คุณลักษณะที่สำคัญของเกษตรกรต้นแบบจังหวัดนราธิวาส เป็นการวิจัยเชิงคุณภาพ ใช้การเลือกกลุ่มตัวอย่างแบบเจาะจงจากเกษตรกรต้นแบบที่มีอายุระหว่าง 25-60 ปี มีประสบการณ์ทำการเกษตรมากกว่า 5 ปี และเคยได้รับรางวัลเกษตรกรดีเด่น จำนวน 20 ราย ใช้แบบสัมภาษณ์กึ่งโครงสร้างเป็นเครื่องมือร่วมกับการสังเกต วิเคราะห์ข้อมูลโดยการวิเคราะห์เนื้อหา ผลการศึกษาพบว่า เกษตรกรต้นแบบส่วนใหญ่เป็นเพศชาย อายุเฉลี่ย 50.60 ปี จบการศึกษามากกว่าภาคบังคับ มีพื้นที่ถือครองเพื่อการเกษตรเฉลี่ย 23.90 ไร่ มีประสบการณ์ทำการเกษตรมากกว่า 20 ปี ส่วนใหญ่เป็นสมาชิกศูนย์เรียนรู้การเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตสินค้าเกษตร มีรายได้จากภาคการเกษตรเฉลี่ย 540,792 บาทต่อปี ทุกคนทำการเกษตรในรูปแบบเกษตรผสมผสาน ใช้ปุ๋ยอินทรีย์ร่วมกับปุ๋ยเคมี และเกือบทั้งหมดมีใบรับรองมาตรฐานสินค้าเกษตร GAP ปัญหาสำคัญในการทำเกษตรคือโรคและแมลงศัตรูพืช คุณลักษณะสำคัญที่ส่งผลต่อความสำเร็จของเกษตรกรต้นแบบ ประกอบด้วย (1) การรู้จักตัวเอง (2) การบริหารจัดการ (3) ความคิดสร้างสรรค์และการมีนวัตกรรม (4) ทักษะด้านเทคโนโลยีสารสนเทศ (5) ทักษะการประสานงานและการสร้างเครือข่าย (6) ทักษะการถ่ายทอดความรู้ (7) ความกล้าเสี่ยง (8) ความอดทน (9) การมีจิตสาธารณะ (10) ความใฝ่รู้ตลอดเวลา และ (11) ความภาคภูมิใจในอาชีพ โดยสามารถนำคุณลักษณะเหล่านี้ไปใช้เป็นแนวทางในการพัฒนาเกษตรกรรายอื่น ๆ การปรับปรุงนโยบายส่งเสริมการเกษตร และการออกแบบหลักสูตรฝึกอบรมที่ตรงกับความต้องการของเกษตรกร

บทนำ

การพัฒนาภาคการเกษตรของประเทศไทยในปัจจุบัน มุ่งเน้นการพัฒนาที่สอดคล้องกับเป้าหมายการพัฒนาที่ยั่งยืน (Sustainable Development Goals: SDGs) โดยเฉพาะอย่างยิ่งในประเด็นการจัดความยากจน การสร้างความมั่นคงทางอาหาร การผลิตและการบริโภคที่ยั่งยืน รวมถึงการรับมือกับการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ (Office of the National Economic and Social Development Council, 2022) ภายใต้กรอบยุทธศาสตร์ชาติ 20 ปี (พ.ศ. 2561-2580) และแผนพัฒนาเศรษฐกิจและสังคมแห่งชาติ ฉบับที่ 13 (พ.ศ. 2566-2570) ได้กำหนดทิศทางการพัฒนาภาคการเกษตรที่มุ่งสู่การเป็นประเทศชั้นนำด้านสินค้าเกษตร และเกษตรแปรรูปมูลค่าสูง โดยให้ความสำคัญกับการพัฒนาเกษตรกรให้มีสมรรถนะด้านการเกษตรที่เพิ่มขึ้น และ

สามารถปรับตัวกับบริบทที่เปลี่ยนแปลง (Office of the National Economic and Social Development Council, 2021) ซึ่งสมรรถนะเป็นคุณลักษณะเชิงพฤติกรรมที่ช่วยพัฒนาศักยภาพบุคคลในการปฏิบัติงานที่รับผิดชอบจนสามารถสำเร็จบรรลุตามเป้าหมาย หรืออาจจะมากกว่าเป้าหมายที่กำหนด โดยมีองค์ประกอบของความรู้ ทักษะ ความคิดเห็นเกี่ยวกับตนเอง บุคลิกลักษณะประจำตัวของบุคคล และเจตคติ (Prasertsin et al., 2021) โดยคุณลักษณะสำคัญของเกษตรกรที่สอดคล้องกับทิศทางการพัฒนา ประกอบด้วย การมีความรู้และทักษะในการผลิต การจัดการและการตลาด มีความสามารถในการใช้เทคโนโลยีและนวัตกรรม มีทัศนคติที่ดีต่ออาชีพเกษตรกรรม และมีความมุ่งมั่นในการพัฒนาตนเอง นอกจากนี้ยังต้องมีความรับผิดชอบต่อสังคมและสิ่งแวดล้อม

*Corresponding author

E-mail address: apinya.r@psu.ac.th (A. Ratanachai)

Online print: 26 December 2024 Copyright © 2024. This is an open access article, production, and hosting by Faculty of Agricultural Technology, Rajabhat Maha Sarakham University. <https://doi.org/10.14456/paj.2024.58>

(Department of Agricultural Extension, 2021b) ซึ่งสอดคล้องกับแนวคิดเกษตรยั่งยืนที่ให้ความสำคัญกับการอนุรักษ์ทรัพยากรธรรมชาติ การผลิตที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม และการสร้างความมั่นคงทางอาหาร (Office of Agricultural Economics, 2019)

กรมส่งเสริมการเกษตรได้ดำเนินการคัดเลือกและยกย่องเกษตรกรต้นแบบที่มีผลงานโดดเด่น ตามแนวทางการพัฒนาการเกษตรของประเทศ โดยพิจารณาจากคุณลักษณะและผลงานที่เป็นที่ประจักษ์ในหลายสาขา ได้แก่ สาขาทำสวน สาขาไร่นาสวนผสม สาขาทำไร่ สาขาอาชีพทำนา และสาขาเกษตรกรปราดเปรื่อง (Smart Farmer) มีการคัดเลือกตามลำดับขั้นตั้งแต่ระดับจังหวัด ระดับเขต จนถึงระดับประเทศ เพื่อเป็นต้นแบบและแหล่งเรียนรู้ให้แก่เกษตรกรรายอื่นในการพัฒนา และยกระดับการประกอบอาชีพเกษตรกรรมให้มีประสิทธิภาพและยั่งยืน (Department of Agricultural Extension, 2021a) ในช่วงระยะเวลา 10 ปีที่ผ่านมา (พ.ศ. 2557 – 2567) จังหวัดนราธิวาสมีเกษตรกรที่ได้รับการคัดเลือกเป็นเกษตรกรดีเด่นในระดับต่าง ๆ ทั้งระดับจังหวัด ระดับเขต และระดับประเทศ รวมจำนวน 60 ราย ซึ่งเป็นเกษตรกรที่ประสบความสำเร็จในอาชีพ พร้อมเป็นแหล่งเรียนรู้และถ่ายทอดประสบการณ์ให้กับเกษตรกรรายอื่น อย่างไรก็ตามจากรายงานแผนพัฒนาจังหวัดนราธิวาส พบว่าเกษตรกรในพื้นที่ประสบปัญหาสำคัญหลายประการ โดยเฉพาะการขาดความรู้ด้านเทคโนโลยีการผลิต การบริหารจัดการ การตลาด การพัฒนาบรรจุภัณฑ์ และทักษะการเป็นผู้ประกอบการ อีกทั้งการผลิตยังคงพึ่งพิงธรรมชาติเป็นหลัก ส่งผลให้ผลผลิตเฉลี่ยต่อไร่ต่ำกว่ามาตรฐาน และมีปัญหาด้านคุณภาพของผลผลิต (Narathiwat Province, 2022)

ดังนั้นการศึกษาวิจัยครั้งนี้จึงมีความสำคัญในการสนับสนุนการบรรลุเป้าหมายการพัฒนาที่ยั่งยืน โดยเฉพาะเป้าหมายที่ 1 การขจัดความยากจน เป้าหมายที่ 2 การขจัดความหิวโหย และเป้าหมายที่ 12 การผลิตและการบริโภคที่ยั่งยืน ผ่านการพัฒนาศักยภาพเกษตรกรให้มีความสามารถในการผลิตที่มีประสิทธิภาพและเป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม นอกจากนี้ ยังสอดคล้องกับยุทธศาสตร์ชาติด้านการสร้างความสามารถในการแข่งขัน และแผนพัฒนาเศรษฐกิจและสังคมแห่งชาติ ฉบับที่ 13 ในหมวดหมู่ที่ 1 ที่มุ่งพัฒนาให้ประเทศไทยเป็นประเทศชั้นนำด้านสินค้าเกษตรและเกษตรแปรรูปมูลค่าสูง โดยผลการวิจัยจะเป็นประโยชน์ในการกำหนดแนวทางการพัฒนาสมรรถนะเกษตรกร การปรับปรุงนโยบายส่งเสริมการเกษตร และการออกแบบหลักสูตรฝึกอบรมที่ตอบสนองความต้องการของเกษตรกร อันจะนำไปสู่การยกระดับภาคการเกษตรของประเทศอย่างยั่งยืน

อุปกรณ์และวิธีการวิจัย

การศึกษานี้เป็นการวิจัยเชิงคุณภาพ (Qualitative Research) ประชากรที่ใช้ในการศึกษา คือ เกษตรกรต้นแบบของจังหวัดนราธิวาสที่ได้รับการคัดเลือกเป็นเกษตรกรดีเด่นในระดับจังหวัด/ระดับเขต/

ระดับประเทศ ในช่วงระยะเวลา 10 ปี (ระหว่าง ปี พ.ศ. 2557-พ.ศ. 2567) จำนวน 60 คน คัดเลือกกลุ่มตัวอย่างด้วยวิธีการแบบเจาะจง (Purposive sampling) โดยมีเกณฑ์ในการคัดเลือก คือ เป็นเกษตรกรที่มีอายุอยู่ระหว่าง 25 - 60 ปี เคยได้รับการคัดเลือกให้เป็นเกษตรกรดีเด่นในสาขาใดสาขาหนึ่ง มีประสบการณ์ในการทำเกษตรไม่น้อยกว่า 5 ปี จำนวน 20 คน ซึ่งประกอบด้วยเกษตรกรที่ได้รับรางวัลในสาขาอาชีพทำสวน จำนวน 4 คน สาขาอาชีพไร่นาสวนผสม 9 คน สาขาอาชีพทำไร่ 2 คน สาขาอาชีพทำนา 2 คน และสาขาเกษตรกรปราดเปรื่อง (Smart Farmer) 3 คน ซึ่งคัดเลือกมาจากทุกอำเภอในจังหวัดนราธิวาส เก็บข้อมูลโดยการสัมภาษณ์ร่วมกับการสังเกต ใช้แบบสัมภาษณ์กึ่งโครงสร้าง (Semi-structure interview) ซึ่งประกอบด้วย 2 ส่วน ได้แก่ (1) ข้อมูลทั่วไปของผู้ให้สัมภาษณ์ (2) ข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับกิจกรรมทางการเกษตร มุมมองเกี่ยวกับอาชีพ ปัจจัยแห่งความสำเร็จ ความรู้ ทักษะ ทศนคติ คุณลักษณะที่สำคัญของเกษตรกร ปัญหาอุปสรรคในการทำเกษตร และข้อเสนอแนะจากเกษตรกร ตรวจสอบความเที่ยงตรง (Validity) ของเครื่องมือโดยผู้เชี่ยวชาญ จำนวน 3 ท่าน มีค่าดัชนีความสอดคล้อง (Index of Item Objective Consistency: IOC) เท่ากับ 0.96 เก็บข้อมูลระหว่างเดือนมีนาคม ถึงเดือนเมษายน 2567 ใช้การวิเคราะห์เนื้อหา (Content Analysis) ในการวิเคราะห์ข้อมูล

ผลและวิจารณ์ผลการวิจัย

1. ข้อมูลพื้นฐานส่วนบุคคลและกิจกรรมการผลิตทางการเกษตรของเกษตรกรต้นแบบ

1.1 ข้อมูลพื้นฐานส่วนบุคคลของเกษตรกรต้นแบบ พบว่าเกษตรกรต้นแบบเกือบทั้งหมดเป็นเพศชาย คิดเป็นร้อยละ 90 อายุเฉลี่ย 50.60 ปี นับถือศาสนาพุทธ และอิสลามจำนวนใกล้เคียงกัน คือ ร้อยละ 55 และ 45 ตามลำดับ ส่วนมากสมรสแล้ว จบการศึกษาในระดับมัธยมศึกษาหรือเทียบเท่า ร้อยละ 65 รองลงมาคือ ระดับปริญญาตรีหรือสูงกว่า ร้อยละ 30 เป็นสมาชิกศูนย์เรียนรู้การเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตสินค้าเกษตร (ศพก.) มากที่สุด คิดเป็นร้อยละ 95 รองลงมาคือ สมาชิกกลุ่มแปลงใหญ่ ร้อยละ 85 จำนวนสมาชิกในครัวเรือนเฉลี่ย 3.95 คน ส่วนใหญ่มีที่ดินเป็นของตนเองโดยได้รับมรดกที่ดินเพื่อทำเกษตรมาจากครอบครัว พื้นที่ทำการเกษตรเฉลี่ย 23.90 ไร่ เกษตรกรที่มีพื้นที่การเกษตรน้อยกว่า 25 ไร่ คิดเป็นร้อยละ 65 ส่วนมากมีประสบการณ์ในการทำเกษตรมากกว่า 20 ปี ร้อยละ 80 เกือบทั้งหมดมีแรงงานในครัวเรือนที่ทำงานในภาคการเกษตรเฉลี่ย 3.20 คนต่อครัวเรือน รายได้จากภาคการเกษตรเฉลี่ย 540,792 บาท ต่อปีต่อครัวเรือน เกษตรกรที่มีรายได้จากภาคการเกษตรน้อยกว่าค่าเฉลี่ย คิดเป็นร้อยละ 60 ส่วนมากใช้เงินของตนเองในการลงทุนทำการเกษตรเพียงแหล่งเดียว คิดเป็นร้อยละ 75 และเมื่อพิจารณาจากข้อมูลพื้นฐานส่วนบุคคลที่ได้ทำการสัมภาษณ์จะเห็นได้ว่า

ประสบการณ์ในการทำเกษตรที่ยาวนาน การมีที่ดินและเงินทุนเป็นของตนเอง ระดับการศึกษาที่เอื้อต่อการเรียนรู้และพัฒนาตนเอง รวมถึงการเข้าถึงองค์ความรู้และเทคโนโลยีผ่านการเป็นสมาชิกองค์กรทางการเกษตร เป็นสิ่งช่วยให้เกษตรกรสามารถพัฒนาศักยภาพ และประสบความสำเร็จในการประกอบอาชีพเกษตรกรรม สอดคล้องกับ Sapbamrer & Thammachai (2020) ซึ่งระบุว่าปัจจัยสำคัญในการทำเกษตร คือ การมีประสบการณ์ในการทำเกษตร ความเป็นเจ้าของฟาร์ม ระดับการศึกษา และการเป็นสมาชิกกลุ่มหรือสมาคมเกษตรกร ซึ่งจะช่วยให้เกษตรกรสามารถปรับเปลี่ยนประสบการณ์ให้กับเกษตรกรได้

1.2 กิจกรรมการผลิตทางการเกษตรของเกษตรกรต้นแบบ

1) รูปแบบการทำการเกษตรของเกษตรกรต้นแบบ พบว่าทุกรายทำการเกษตรในรูปแบบเกษตรผสมผสาน คือ มีกิจกรรมมากกว่าสองชนิดในพื้นที่ทั้งการปลูกไม้ที่มีค่าทางเศรษฐกิจเพื่อเป็นรายได้ในอนาคต เช่น สัก กันเกรา สะเดา กระถินเทพา ทั้ง ตะเคียน ร้อยละ 90 ปลูกไม้ผลเศรษฐกิจ เช่น ทุเรียน ลองกอง มะพร้าว น้ำหอม เงาะ มังคุด ส้ม ฝรั่ง ร้อยละ 80 ปลูกพืชผัก ร้อยละ 70 ปลูกปาล์ม น้ำมัน ยางพารา เลี้ยงสัตว์ปีก และเลี้ยงปลา ร้อยละ 50 กิจกรรมด้านการแปรรูปผลผลิตทางการเกษตร ร้อยละ 45 สัตว์เลี้ยงขนาดใหญ่ ร้อยละ 40 ทำนาข้าว ร้อยละ 30 เลี้ยงชันโรง ร้อยละ 20 ข้าวโพด และอ้อย ร้อยละ 15 เลี้ยงไส้เดือน และ เพาะเห็ด ร้อยละ 5 ซึ่งกิจกรรมต่าง ๆ ในฟาร์มจะมีความเกี่ยวเนื่องกันของกิจกรรม ทำให้มีความหลากหลายทางชีวภาพภายในฟาร์ม ซึ่งช่วยลดต้นทุนการผลิต นอกจากนี้ เกษตรกรยังสร้างมูลค่าเพิ่มจากการหมุนเวียนใช้ประโยชน์ทรัพยากรภายในฟาร์ม เช่น การนำมูลสัตว์ และเศษพืชมาทำปุ๋ยหมักเพื่อใช้ในการบำรุงดิน นำเศษพืชผักในแปลงมาเป็นอาหารเลี้ยงเป็ด และปลาจำพวกกินพืช ใช้ทางปาล์มน้ำมันมาเป็นอาหารให้วัวและแพะ การไถกลบตอซังเพื่อเพิ่มอินทรีย์วัตถุในดิน ซึ่งเป็นการจัดการของเสียได้อย่างคุ้มค่า สอดคล้องกับการรายงานของ Malapane et al. (2024) ซึ่งพบว่า เกษตรกรรายย่อยจำนวนมากในพื้นที่ชุมชนวาเร็นดา ประเทศแอฟริกาใต้ มีการปลูกพืชแบบผสมผสาน โดยการปลูกพืชสองชนิดหรือมากกว่าร่วมกันในบริเวณใกล้เคียง จะสร้างความหลากหลายทางชีวภาพ ช่วยควบคุมศัตรูพืช ยับยั้งการเติบโตของวัชพืช และเพิ่มปริมาณอินทรีย์วัตถุในดินด้วยการหมุนเวียนทรัพยากรภายในฟาร์ม เช่น มูลสัตว์ เศษอาหารสัตว์ เป็นการเพิ่มความอุดมสมบูรณ์ให้กับดิน จะช่วยปรับปรุงปริมาณพืชผลโดยรวมได้ การใช้ปุ๋ยของเกษตรกรต้นแบบทั้งหมดจะใช้ปุ๋ยเคมีร่วมกับปุ๋ยอินทรีย์ที่ได้จากในพื้นที่ เช่น มูลสัตว์ ปุ๋ยหมักจากวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร น้ำหมักชีวภาพ จุลินทรีย์สังเคราะห์แสง ฮอโมนไข่ ส่วนใหญ่จะไม่ใช้สารเคมีในการกำจัดแมลงศัตรูพืช แต่จะใช้วิธีที่หลากหลายในการควบคุม เช่น การจับทำลาย การตัดแต่งกิ่งให้ต้นพืชมีความโปร่งเพื่อป้องกันโรค การใช้สารล่อศัตรูพืช การใช้ศัตรูธรรมชาติ การใช้สารชีวภัณฑ์ เช่น เชื้อราไตรโคเดอร์มา เชื้อราบีเวอร์เรีย เชื้อบีที รวมไปถึงการใช้

สารสกัดจากสมุนไพร สำหรับเทคโนโลยีสมัยใหม่และเครื่องจักรกลทางการเกษตรที่เกษตรกรต้นแบบนำเข้ามาใช้ภายในฟาร์มเพื่อลดแรงงานและต้นทุน รวมทั้งเพิ่มประสิทธิภาพในการผลิต ได้แก่ ระบบให้น้ำอัตโนมัติ รถเกี่ยวข้าว รถดำนา การจำหน่ายผลผลิตหรือผลิตภัณฑ์ทางการเกษตรของเกษตรกรต้นแบบจะจำหน่ายในหลายช่องทาง ได้แก่ จำหน่ายโดยตรงหน้าฟาร์ม จำหน่ายผ่านร้านค้าในชุมชนหรือหน่วยงานราชการในพื้นที่ จำหน่ายผ่านพ่อค้าคนกลาง และจำหน่ายผ่านช่องทางออนไลน์ ในด้านมาตรฐานการผลิตของเกษตรกรต้นแบบพบว่า เกือบทั้งหมดมีใบรับรองมาตรฐานสินค้าเกษตรจากหน่วยงานราชการ เช่น มาตรฐาน GAP และมาตรฐานอินทรีย์ ส่งผลให้ผู้บริโภคมีความเชื่อมั่นในคุณภาพและมาตรฐานของผลผลิต ส่งผลให้สินค้าเป็นที่ต้องการของผู้บริโภค สำหรับเหตุผลสำคัญในการทำเกษตรในรูปแบบผสมผสานของเกษตรกรต้นแบบในจังหวัดนราธิวาส ได้แก่

(1) เกษตรกรได้รับความรู้และแรงบันดาลใจในการทำเกษตรผสมผสาน เกษตรทฤษฎีใหม่ และแนวทางการดำเนินชีวิตตามหลักปรัชญาของเศรษฐกิจพอเพียง ผ่านการฝึกอบรม การศึกษาดูงาน และสื่อต่าง ๆ ซึ่งมุ่งเน้นการผลิตเพื่อการดำรงชีพและใช้ทรัพยากรอย่างคุ้มค่า โดย Mingsamorn et al. (2022) พบว่าการเข้าถึงความรู้ผ่านการฝึกอบรมและการศึกษาดูงานเป็นปัจจัยสำคัญที่ส่งผลต่อการปฏิบัติตามรูปแบบเกษตรผสมผสาน

(2) เกษตรกรมีแนวคิดในการควบคุมคุณภาพและความปลอดภัยของผลผลิต โดยเริ่มจากการผลิตเพื่อบริโภคในครัวเรือน และเลือกปลูกพืชที่บริโภคประจำเพื่อลดรายจ่าย สอดคล้องกับ Phetchit (2014) ที่พบว่าเกษตรกรให้ความสำคัญกับการผลิตอาหารปลอดภัยเพื่อบริโภคในครัวเรือนเป็นหลัก

(3) การทำเกษตรผสมผสานช่วยลดความเสี่ยงในการประกอบอาชีพ ทั้งด้านความผันผวนของราคา การระบาดของศัตรูพืช และภัยธรรมชาติ โดยเฉพาะปัญหาน้ำท่วมขังที่มักเกิดขึ้นในพื้นที่ลุ่มของจังหวัดนราธิวาส และ (4) เกษตรกรมีรายได้ต่อเนื่องตลอดทั้งปีจากความหลากหลายของกิจกรรมการผลิต ซึ่ง Chankoom (2022) รายงานว่าการทำเกษตรผสมผสานตามหลักทฤษฎีใหม่ช่วยสร้างรายได้ทั้งรายวันและรายเดือน โดยเกษตรกรจะกำหนดกิจกรรมตามสภาพพื้นที่ ความต้องการของตลาด และปัจจัยที่เกี่ยวข้อง ทั้งนี้ Lekbangpong et al. (2022) ยังได้นำเสนอว่า รูปแบบการทำเกษตรผสมผสานสามารถปรับประยุกต์ได้ตามบริบทและประสบการณ์การเรียนรู้ของแต่ละบุคคล ซึ่งอาจได้รับอิทธิพลจากการเรียนรู้จากความสำเร็จ และการสืบทอดภูมิปัญญาจากบรรพบุรุษ

2) ปัญหาในการทำการเกษตรของเกษตรกรต้นแบบในจังหวัดนราธิวาส พบว่า ปัญหาที่เกษตรกรประสบมากที่สุดคือ โรคและแมลงศัตรูพืช/สัตว์ คิดเป็นร้อยละ 50 ได้แก่ โรคราแดงจากเชื้อไฟทอปธอร่าในทุเรียน โรคใบร่วงในยางพารา แมลงสิ่งในนา

ข้าว ถั่วแดง ถั่วเขียว ถั่วเหลือง และหนุในสวนปาล์ม ซึ่งเกษตรกรได้มีการแก้ไขปัญหาดังกล่าวด้วยวิธีการต่าง ๆ เช่น การใช้สารชีวภัณฑ์ การใช้ปุ๋ยหมักสมุนไพร การใช้ไตรโคเดอร์มา และการใช้สารเคมีอย่างถูกวิธี รวมถึงการศึกษาหาความรู้จากสื่อออนไลน์ และการปรึกษาเจ้าหน้าที่รองลงมาคือปัญหาระยะธรรมชาติและสภาพอากาศ ร้อยละ 20 โดยเฉพาะปัญหาน้ำท่วมในพื้นที่ลุ่ม ซึ่งเกษตรกรได้ปรับตัวโดยการวางแผนการเพาะปลูกให้เหมาะสมกับฤดูกาล การปลูกพืชยกแคร่ และการเตรียมการป้องกันผลผลิตล้นหน้า เช่น การฉีดฮอร์โมน และเคลือบผิวใบเพื่อป้องกันผลร่วง ปัญหาระบบน้ำในการทำเกษตร ร้อยละ 15 เกษตรกรได้แก้ไขโดยการวางแผนการใช้น้ำ การสำรองน้ำไว้ใช้ในหน้าแล้ง และการนำนวัตกรรมมาใช้ เช่น ระบบแอร์แวร์เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการสูบน้ำ ส่วนปัญหาด้านดินเปรี้ยวดินขาดความอุดมสมบูรณ์ และปัญหาด้านราคาผลผลิต พบในสัดส่วนที่เท่ากัน คือ ร้อยละ 10 โดยเกษตรกรได้แก้ไขปัญหาดินด้วยการปรับปรุงดินตามคำแนะนำของศูนย์ศึกษาการพัฒนาพิภพทออันเนื่องมาจากพระราชดำริ การใช้ปุ๋ยอินทรีย์ และปุ๋ยอินทรีย์ ส่วนปัญหาด้านราคาผลผลิต เกษตรกรได้แก้ไขโดยการผลิตสินค้าให้มีคุณภาพและได้มาตรฐาน รวมถึงการใช้ช่องทางการตลาดออนไลน์ ปัญหาที่พบน้อยที่สุด คือ การขาดแรงงานจ้างในพื้นที่ คิดเป็นร้อยละ 5 ทั้งนี้ยังพบว่าเกษตรกรบางรายประสบปัญหามากกว่าหนึ่งด้าน ซึ่งสะท้อนให้เห็นถึงความซับซ้อนของปัญหาในการทำการเกษตรที่เกษตรกรต้องเผชิญ

3) ข้อเสนอแนะของเกษตรกรต้นแบบต่อหน่วยงานที่เกี่ยวข้อง โดยพบว่าประเด็นที่มีการเสนอแนะมากที่สุด คือ การบูรณาการการทำงานระหว่างหน่วยงาน คิดเป็นร้อยละ 40 เกษตรกรต้องการให้หน่วยงานต่าง ๆ มีการประสานงาน และทำงานร่วมกัน เพื่อให้การส่งเสริมและสนับสนุนเป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพ รองลงมาคือการสนับสนุนปัจจัยการผลิตที่ตรงตามความต้องการ ร้อยละ 35 โดยเกษตรกรเสนอให้หน่วยงานภาครัฐพิจารณาการสนับสนุนที่สอดคล้องกับความต้องการและบริบทของเกษตรกร รวมถึงการปรับปรุงระเบียบราชการที่เป็นอุปสรรคต่อการสนับสนุนปัจจัยการผลิต ในสัดส่วนที่เท่ากัน คือ ร้อยละ 25. เกษตรกรเสนอให้มีการติดตามและประเมินผลอย่างต่อเนื่อง และการส่งเสริมองค์ความรู้และเทคโนโลยีสมัยใหม่เพื่อกระตุ้นการพัฒนาและยกระดับการผลิต ตามด้วยการส่งเสริมด้านการตลาดและราคาผลผลิต ร้อยละ 20 โดยเฉพาะการช่วยเหลือด้านการประกันราคา และการเปิดศูนย์รับซื้อผลผลิต ส่วนประเด็นที่มีการเสนอแนะในสัดส่วนที่น้อย ได้แก่ การพัฒนาศักยภาพเจ้าหน้าที่ ร้อยละ 15 เน้นให้เจ้าหน้าที่ต้องมีการพัฒนาความรู้อย่างต่อเนื่องและทันต่อสถานการณ์ และการสนับสนุนเกษตรกรรุ่นใหม่ ร้อยละ 10 โดยเสนอให้มีการสนับสนุนทั้งด้านเงินทุนและการสร้างแรงบันดาลใจผ่านเกษตรกรต้นแบบที่ประสบความสำเร็จ ทั้งนี้ พบว่าเกษตรกรบางรายได้ให้ข้อเสนอแนะมากกว่าหนึ่งประเด็น สะท้อนให้เห็นถึงความต้องการการสนับสนุนที่หลากหลายและครอบคลุมในหลายมิติ

2. คุณลักษณะที่สำคัญของเกษตรกรต้นแบบ

จากการวิเคราะห์ข้อมูลที่ได้จากการสัมภาษณ์เกษตรกรต้นแบบของจังหวัดนราธิวาส ผ่านการนำเสนอข้อมูลในภาพรวมจากความคิดเห็นที่มีความสอดคล้องกันของเกษตรกรต้นแบบแต่ละท่านพบว่า เกษตรกรต้นแบบของจังหวัดนราธิวาสมีคุณลักษณะที่สำคัญ 11 ประการ ประกอบด้วย (1) การรู้จักตัวเอง (2) การบริหารจัดการ (3) ความคิดสร้างสรรค์และการมีนวัตกรรม (4) ทักษะด้านเทคโนโลยีสารสนเทศ (5) ทักษะการประสานงานและการสร้างเครือข่าย (6) ทักษะการถ่ายทอดความรู้ (7) ความกล้าเสี่ยง (8) ความอดทน (9) การมีจิตสาธารณะ (10) ความใฝ่รู้ตลอดเวลา และ (11) ความภาคภูมิใจในอาชีพ ดังนี้

2.1 การรู้จักตัวเอง (Self-awareness) เกษตรกรต้นแบบมีพฤติกรรมที่แสดงออกถึงความมุ่งมั่นในการประกอบอาชีพ เชื่อมั่นในความสามารถของตนเอง รู้จุดแข็ง ความต้องการ ความชอบ ความถนัด และศักยภาพของตนเอง มีเป้าหมายที่ชัดเจน จากการสัมภาษณ์เกษตรกรต้นแบบได้ให้ความคิดเห็นที่สอดคล้องกันถึงการให้ความสำคัญกับการวิเคราะห์และรู้จักตนเอง ทั้งในด้านความชอบ ความถนัด และศักยภาพ มีการตั้งเป้าหมายที่ชัดเจน วางแผนการทำงาน และพัฒนาตนเองอย่างต่อเนื่อง โดยเน้นการทำงานบนพื้นฐานของความพอเพียง และการปรับทัศนคติที่เหมาะสม การรู้จักตนเองทำให้เกษตรกรสามารถวางแผนการทำงาน และตัดสินใจได้อย่างรอบคอบ สอดคล้องกับการรายงานของ Chokpigunthong & Chantaranamchoo (2019) ที่รายงานว่าการวิเคราะห์ความต้องการและสิ่งที่ตนเองมีอยู่เป็นสิ่งสำคัญในการเริ่มต้นการทำเกษตรกรรม เนื่องจากทำให้ทราบถึงสภาพของตนเอง และความต้องการที่แท้จริง เช่น สำรวจตนเองว่าต้องการเป็นอะไร ต้องการทำการเกษตรในทิศทางไหน ความรู้อะไรที่จำเป็นต้องใช้ และยังมีความสอดคล้องกับการงานวิจัยของ Pacharadit et al. (2022) ที่ระบุว่า การแสวงหาโอกาสทางธุรกิจจากฐานความสามารถของตนเอง คือ ต้องรู้จักตัวเองเพื่อพัฒนาให้เป็นอาชีพในอนาคต ถ้าจะสร้างธุรกิจขึ้นมาต้องเป็นสิ่งที่ตรงกับความถนัด และความชอบที่แท้จริงของตนเอง ตั้งเป้าหมายให้ชัดเจน กระตือรือร้นหาความรู้ เพื่อพัฒนาทักษะทางอาชีพ รวมถึงยังเป็นไปในทิศทางเดียวกับ Saelee & Jadesadalug (2015) ที่รายงานว่าปัจจัยที่มีอิทธิพลเชิงบวกต่อความสำเร็จในการประกอบธุรกิจเกษตร ได้แก่ ความมุ่งมั่นที่จะประสบความสำเร็จ และการประกอบธุรกิจเกษตร

2.2 การบริหารจัดการ (Management) เกษตรกรต้นแบบมีพฤติกรรมที่แสดงออกถึงการมีความรู้ และทักษะในการวางแผนและบริหารจัดการทรัพยากรเกษตรภายในฟาร์ม เช่น แรงงาน เงินทุน ที่ดิน แหล่งน้ำ ปัจจัยการผลิตทางการเกษตร การจัดการเทคโนโลยี และการตลาด สามารถควบคุมกระบวนการผลิตให้บรรลุตามเป้าหมาย มีความรับผิดชอบต่อสังคมและสิ่งแวดล้อม โดยมีรายละเอียดดังนี้

1) มีความสามารถในการวางแผนและบริหารจัดการเกษตรกรรมแบบให้ความสำคัญกับการศึกษาตลาด และวางแผนการผลิตให้สอดคล้องกับความต้องการของผู้บริโภค มีการวิเคราะห์ทรัพยากรที่มีอยู่เพื่อให้เกิดประโยชน์สูงสุด เลือกกิจกรรมการเกษตรที่เหมาะสมกับสภาพพื้นที่และสภาพแวดล้อม มีการจัดการพื้นที่อย่างเป็นระบบ และวางแผนการผลิตให้มีรายได้ต่อเนื่องตลอดทั้งปี นอกจากนี้ยังมีการจัดบันทึกข้อมูลการผลิตอย่างสม่ำเสมอเพื่อใช้ในการวางแผนและพัฒนาการผลิต สอดคล้องกับ Pacharadit et al. (2022) ที่รายงานว่า คุณลักษณะด้านการเป็นนักบริหารจัดการเกษตรกรรมประกอบด้วย การวางแผนกระบวนการทำงานอย่างเป็นระบบ บริหารจัดการทรัพยากรที่มีอยู่ได้อย่างมีประสิทธิภาพ และสามารถเขียนแผนการตลาดให้สอดคล้องกับความต้องการของผู้บริโภค

2) มีความสามารถในการควบคุมการผลิตให้ได้คุณภาพและมาตรฐาน เกษตรกรต้นแบบให้ความสำคัญกับการผลิตที่ได้มาตรฐานและมีความปลอดภัย โดยยึดหลักการปฏิบัติทางการเกษตรที่ดีและเหมาะสม (GAP) มาตรฐานการผลิตปาล์มน้ำมันอย่างยั่งยืน (RSOP) และมาตรฐานเกษตรอินทรีย์ เพื่อตอบสนองความต้องการของผู้บริโภคที่ใส่ใจสุขภาพ และสามารถต่อรองราคาผลผลิตได้ สอดคล้องกับ Sawatsuk et al. (2023) ที่รายงานว่า ระดับความต้องการในการบริโภคผลผลิตทางการเกษตรที่ปลอดภัยในปัจจุบันอยู่ในระดับมาก สะท้อนถึงความต้องการของผู้บริโภคในการรับประทานผลผลิตทางการเกษตรที่ปลอดภัยเพื่อสุขภาพและความปลอดภัย

3) การหมุนเวียนการใช้ทรัพยากรอย่างคุ้มค่า เกษตรกรต้นแบบมีการใช้ทรัพยากรในฟาร์มอย่างคุ้มค่า โดยการนำวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรมาทำปุ๋ยหมัก ผลิตแก๊สชีวภาพจากมูลสัตว์ ทำน้ำหมักชีวภาพและฮอร์โมนไข่ใช้เอง รวมถึงการใช้วิธีการควบคุมศัตรูพืชโดยชีววิธี เพื่อลดต้นทุนการผลิตและรักษาสภาพแวดล้อม สอดคล้องกับ Nantasarn et al. (2021) ที่รายงานว่า เกษตรกรรุ่นใหม่ควรมีการบริหารจัดการปัจจัยการผลิตให้เกิดประสิทธิภาพอย่างสูงสุด ลดค่าใช้จ่ายปัจจัยการผลิตบางชนิดลง และตัดสินใจเลือกใช้เทคโนโลยีที่เหมาะสมต่อขนาดและลักษณะการผลิตภายในฟาร์ม

4) การบริหารจัดการด้านการเงินและบัญชี เกษตรกรต้นแบบมีการจัดทำบัญชีรายรับ-รายจ่าย เพื่อติดตามสถานะทางการเงิน วิเคราะห์ต้นทุนและผลตอบแทน ช่วยในการตัดสินใจและวางแผนการลงทุน ทำให้สามารถบริหารจัดการการเงินได้อย่างมีประสิทธิภาพ สอดคล้องกับ Chokpigunthong & Chantararnamchoo (2019) ที่รายงานว่า การทำบัญชีสามารถช่วยให้เกษตรกรทำการเกษตรได้อย่างมีระบบระเบียบ ทำให้ทราบถึงที่มาของรายได้ ต้นทุน และผลกำไร อีกทั้งยังสามารถบริหารจัดการหนี้สินและค่าใช้จ่ายในครัวเรือนได้อย่างมีประสิทธิภาพ รวมถึงสอดคล้องกับ Saelee & Jadesadalug (2015) ที่พบว่า ศักยภาพการจัดการด้านการเงินและการตลาดมีอิทธิพลทางบวกต่อความสำเร็จในการประกอบธุรกิจเกษตร

2.3 ความคิดสร้างสรรค์และนวัตกรรม (Creative thinking and innovations) เกษตรกรต้นแบบมีการนำทักษะด้านความคิดสร้างสรรค์มาประยุกต์ใช้ในการดำเนินงานฟาร์ม การวางแผนผังฟาร์มให้สวยงาม และสะดวกต่อการทำกิจกรรม การนำนวัตกรรมและแนวคิดสิ่งใหม่ ๆ มาช่วยในกระบวนการผลิต และการใช้ความคิดสร้างสรรค์ร่วมกับภูมิปัญญาท้องถิ่นในการแปรรูปผลผลิตทางการเกษตรเพื่อเพิ่มมูลค่า โดยพบว่าเกษตรกรต้นแบบมีการประยุกต์ใช้ความคิดสร้างสรรค์และนวัตกรรมใน 3 ด้านหลัก ได้แก่

1) การนำเทคโนโลยีและนวัตกรรมมาใช้ในการผลิต เช่น การติดตั้งระบบน้ำอัตโนมัติ การใช้โซลาเซลล์ผลิตกระแสไฟฟ้า การใช้ระบบแอร์แวนซ์เพิ่มแรงดันน้ำ และการใช้เครื่องจักรกลการเกษตรต่าง ๆ เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการผลิต

2) การพัฒนาผลิตภัณฑ์และบรรจุภัณฑ์ โดยเกษตรกรให้ความสำคัญกับการแปรรูปผลผลิตเพื่อเพิ่มมูลค่า การออกแบบบรรจุภัณฑ์ให้สวยงามและมีเอกลักษณ์ มีการพัฒนาผลิตภัณฑ์ที่แตกต่างและมีเรื่องราวของตนเอง

3) การปรับเปลี่ยนรูปแบบการผลิตให้เหมาะสมกับสภาพแวดล้อม เช่น การปลูกผักบนแคร่เพื่อหลีกเลี่ยงปัญหาน้ำท่วมและศัตรูพืช การปลูกผักในภาชนะที่เคลื่อนย้ายได้ และการดัดแปลงวัสดุเหลือใช้มาเป็นภาชนะปลูก ซึ่งมีความสอดคล้องกับการศึกษาของ Pacharadit et al. (2022) ที่พบว่า พฤติกรรมที่บ่งชี้ถึงการนำความคิดสร้างสรรค์และนวัตกรรมสมัยใหม่มาประยุกต์ใช้พัฒนาเกษตรกรรมประกอบด้วย การนำเทคโนโลยีมาใช้ประโยชน์ การคิดค้นวิธีการใหม่ในการแก้ปัญหา และการพัฒนาต่อยอดภูมิปัญญาท้องถิ่น นอกจากนี้ยังสอดคล้องกับ Chiamjinnawat & Wongwaiwiriya (2024) ที่ระบุว่าผู้ประกอบการเกษตรต้องใช้ความคิดสร้างสรรค์ในการสร้างรูปแบบการดำเนินธุรกิจและการสร้างคุณค่าใหม่ ๆ เช่น การแปรรูปผลผลิตและการพัฒนาช่องทางการจำหน่าย

2.4 ทักษะด้านเทคโนโลยีสารสนเทศ (Information communication technology skill) การใช้เทคโนโลยีสารสนเทศมีความสำคัญในหลายด้าน เช่น การเข้าถึงข้อมูลข่าวสาร และองค์ความรู้ผ่านช่องทางการสื่อสารทางอิเล็กทรอนิกส์ การควบคุมระบบให้น้ำและปุ๋ยภายในฟาร์ม การนำแอปพลิเคชันมาช่วยประเมินสภาพภูมิอากาศ ข้อมูลเชิงพื้นที่ และการคำนวณสูตรปุ๋ย การนำเทคโนโลยีสารสนเทศเข้ามาช่วยในเรื่องของการตลาดโดยการสื่อสารและประชาสัมพันธ์ผ่านแพลตฟอร์มออนไลน์ต่าง ๆ จากการศึกษาพบว่าเกษตรกรต้นแบบมีการใช้เทคโนโลยีสารสนเทศใน 3 ด้านหลัก ได้แก่

1) การแสวงหาความรู้และพัฒนาตนเอง โดยเกษตรกรใช้อินเทอร์เน็ต และสื่อออนไลน์ในการค้นหาข้อมูลความรู้เพิ่มเติมเพื่อพัฒนาการผลิตและปิดจุดอ่อนของตนเอง มีการผสมผสานระหว่างความรู้ดั้งเดิมกับความรู้ใหม่

2) การใช้แอปพลิเคชันเพื่อการจัดการฟาร์ม เช่น แอปพลิเคชัน smart me สำหรับทำบัญชีครัวเรือน แอปพลิเคชัน N-P-K สำหรับคำนวณการผสมปุ๋ย และแอปพลิเคชัน Windy สำหรับตรวจสอบสภาพอากาศและความชื้น

3) การใช้สื่อสังคมออนไลน์เพื่อการตลาดและประชาสัมพันธ์ โดยใช้แพลตฟอร์มต่าง ๆ เช่น Facebook และ TikTok ในการนำเสนอกระบวนการผลิตและสร้างความเชื่อมั่นให้กับผู้บริโภค รวมถึงใช้ Line ในการสื่อสารและจำหน่ายผลผลิตโดยตรงถึงผู้บริโภค สอดคล้องกับการศึกษาของ Nantasarn et al. (2021) ที่พบว่าเกษตรกรรุ่นใหม่มีการนำเทคโนโลยีสื่อสังคมออนไลน์มาใช้ในการจำหน่ายผลผลิตทางการเกษตร ทำให้สามารถจำหน่ายได้ในราคาที่สูงขึ้น และสอดคล้องกับ Chiamjinnawat & Wongwaiwiriya (2024) ที่รายงานว่าเทคโนโลยีดิจิทัลช่วยให้ผู้ประกอบการเกษตรสามารถเข้าถึงข้อมูลความรู้ ใช้ในการติดต่อทางธุรกิจและการสื่อสาร ช่วยให้การบริหารจัดการภายในกิจการมีความสะดวกและรวดเร็วยิ่งขึ้น

2.5 ทักษะการประสานงาน และการสร้างเครือข่าย (Coordination and networking) เกษตรกรต้นแบบให้ความสำคัญกับการประสานงานและการสร้างเครือข่ายทั้งกับหน่วยงาน และเกษตรกรด้วยกันเอง โดยทำหน้าที่เป็นตัวกลางในการเชื่อมโยงระหว่างเจ้าหน้าที่/หน่วยงานกับเกษตรกรในพื้นที่ เพื่อการประชาสัมพันธ์ข่าวสารและถ่ายทอดเทคโนโลยีด้านการเกษตร นอกจากนี้ยังมีการสร้างเครือข่ายระหว่างเกษตรกรเพื่อแลกเปลี่ยนความรู้ และประสบการณ์ซึ่งกันและกัน ช่วยลดระยะเวลาในการเรียนรู้และการลองผิดลองถูก โดยทักษะการประสานงานที่ดีได้นำไปสู่การรวมกลุ่มของเกษตรกร เช่น การรวมกลุ่มเกษตรกรแปลงใหญ่ ซึ่งเป็นการรวมกลุ่มเกษตรกรที่มีกิจกรรมทางการเกษตรเหมือนกัน เพื่อแลกเปลี่ยนเรียนรู้ จัดหาปัจจัยการผลิตที่มีคุณภาพดีราคาถูก และการจัดการด้านการตลาด (Department of Agricultural Extension, 2024) ผลของการรวมกลุ่มและสร้างเครือข่ายได้สร้างประโยชน์หลายประการ สอดคล้องกับการศึกษาของ Sujarittum et al. (2018) ที่พบว่า การรวมกลุ่มทำให้เกษตรกรมีอำนาจในการต่อรองทางการตลาด นำไปสู่การสร้างความสะดวกสบายให้กับชุมชน และความมั่นคงทางสังคม นอกจากนี้ Thirapong (2017) ยังพบว่าเกษตรกรที่เข้าร่วมโครงการเกษตรแปลงใหญ่สามารถลดต้นทุนการผลิต และเพิ่มผลผลิตได้ประมาณร้อยละ 20 สอดคล้องกับ Bunrod & Prapru (2024) ที่รายงานว่าเกษตรกรที่เข้าร่วมโครงการเกษตรแปลงใหญ่มีผลผลิตปาล์มน้ำมันเพิ่มขึ้น ต้นทุนการผลิตลดลง รายได้เพิ่มขึ้น และได้รับการรับรองมาตรฐาน GAP เพิ่มขึ้น

2.6 ทักษะการถ่ายทอดความรู้หรือเทคโนโลยี (Knowledge transfer) เกษตรกรต้นแบบมีความสามารถในการสื่อสารและถ่ายทอดความรู้ ทักษะ และประสบการณ์ให้กับผู้ที่สนใจด้วยภาษาที่เข้าใจง่าย โดยใช้ประสบการณ์จริงในการประกอบอาชีพเป็นตัวอย่างในการ

ถ่ายทอด ผ่านฟาร์มของตนเองที่เปิดเป็นศูนย์เรียนรู้ให้ผู้สนใจทั้งเกษตรกร นักเรียน นักศึกษา และประชาชนทั่วไปเข้ามาศึกษาดูงาน เพื่อสร้างแรงบันดาลใจและเป็นต้นแบบในการประกอบอาชีพ เกษตรกรรม การถ่ายทอดความรู้ของเกษตรกรต้นแบบมีความสำคัญ เนื่องจากการเรียนรู้จากประสบการณ์จริง ผ่านการปฏิบัติ การสาธิต และการแลกเปลี่ยนเรียนรู้ ทำให้ผู้ที่มาเรียนรู้สามารถเข้าใจและนำไปประยุกต์ใช้ได้จริง นอกจากนี้การที่เกษตรกรต้นแบบเป็นผู้ที่ประสบความสำเร็จในอาชีพ ยังช่วยสร้างความน่าเชื่อถือและแรงบันดาลใจให้กับผู้ที่มาเรียนรู้อีกด้วย

2.7 ความกล้าเสี่ยง (Risk taking) เกษตรกรต้นแบบมีความกล้าในการตัดสินใจทำสิ่งใหม่ ๆ แสวงหาโอกาส และความท้าทายใหม่ ๆ เพื่อให้เกิดการเปลี่ยนแปลงที่ดีขึ้น โดยจะมีการศึกษาข้อมูลจากแหล่งต่าง ๆ เพื่อประเมินเปรียบเทียบข้อดี ข้อเสีย งบประมาณ และผลประโยชน์ที่จะได้รับ เมื่อประเมินแล้วอยู่ในระดับความเสี่ยงที่ยอมรับได้ก็จะนำเทคโนโลยีนั้นมาปรับใช้เพื่อให้การผลิตมีประสิทธิภาพขึ้น จากการสัมภาษณ์พบว่า เกษตรกรต้นแบบมีความแตกต่างจากเกษตรกรทั่วไปที่มักจะยึดติดกับวิธีการผลิตแบบเดิม ๆ โดยเกษตรกรต้นแบบมีความกล้าที่จะทดลองทำสิ่งใหม่ เช่น การปรับเปลี่ยนมาทำเกษตรธรรมชาติ แม้จะมีความเสี่ยงแต่ก็มีการวิเคราะห์ปัญหา ศึกษาข้อมูล และหาแนวทางแก้ไขจากแหล่งเรียนรู้ต่าง ๆ ส่งผลให้สามารถพัฒนาระบบการผลิตให้มีประสิทธิภาพมากขึ้น ลดการระบาดของโรคพืชโดยที่ยังคงรักษาระดับผลผลิตไว้ได้

2.8 ความอดทน (Tolerance) เกษตรกรต้นแบบมีความสามารถในการรับมือกับความเครียด ความท้าทาย และความยากลำบาก โดยไม่ท้อถอย ซึ่งกว่าที่จะประสบความสำเร็จในอาชีพ ย่อมต้องเผชิญกับปัญหาอุปสรรคต่าง ๆ เช่น สภาพอากาศที่แปรปรวน ปัญหาโรคและแมลงศัตรูพืช ความผันผวนของราคาผลผลิต ความล้มเหลวจากการลองผิดลองถูก รวมถึงค่าสับประมาณหรือคูปองในอาชีพ ซึ่งเกษตรกรจำนวนไม่น้อยที่ต้องล้มเลิกความตั้งใจ จากการสัมภาษณ์พบว่า เกษตรกรต้นแบบให้ความสำคัญกับความอดทนว่าเป็นคุณสมบัติพื้นฐานที่จำเป็นสำหรับผู้ที่ต้องการประสบความสำเร็จในอาชีพเกษตรกร โดยเฉพาะผู้ที่เริ่มต้นทำการเกษตร หรือต้องการเป็นเกษตรกรมืออาชีพ นอกจากความอดทนแล้วยังต้องมีความตั้งใจ ความพยายาม ความขยัน และความรักในอาชีพอย่างแท้จริง เนื่องจากการประสบความสำเร็จในอาชีพเกษตรกรรมต้องใช้เวลา และความทุ่มเทอย่างต่อเนื่อง ซึ่งเป็นสิ่งที่ทำให้เกษตรกรต้นแบบแตกต่างจากเกษตรกรทั่วไปในพื้นที่

2.9 การมีจิตสาธารณะ (Public consciousness) เกษตรกรต้นแบบให้ความสำคัญกับการทำประโยชน์เพื่อส่วนรวม โดยไม่คาดหวังผลตอบแทนส่วนตัว มีความเสียสละทั้งเวลา แรงงาน และทรัพยากรต่าง ๆ เพื่อส่วนรวม พร้อมให้ความร่วมมือกับทุกภาคส่วนเพื่อประโยชน์ด้านการเกษตรของชุมชน เห็นได้จากการเป็น

อาสาสมัครของหน่วยงานต่าง ๆ เช่น อาสาสมัครเกษตรหมู่บ้าน ประมงอาสา ปศุสัตว์อาสา ทำหน้าที่ประสานงานเชื่อมโยงระหว่าง หน่วยงานกับเกษตรกร ถ่ายทอดความรู้และแก้ไขปัญหาเบื้องต้นให้กับ เกษตรกร รวมถึงเป็นที่ปรึกษาและประชาสัมพันธ์ข้อมูลข่าวสารให้ เกษตรกรได้รับทราบ จากการสัมภาษณ์ พบว่า เกษตรกรต้นแบบไม่ เพียงแต่ประสบความสำเร็จในการประกอบอาชีพเท่านั้น แต่ยังต้องมี จิตอาสา มีความเอื้อเฟื้อเผื่อแผ่ และมีความเสียสละที่จะถ่ายทอดองค์ ความรู้ให้กับผู้อื่น นอกจากนี้ต้องมีบทบาทสำคัญในการขับเคลื่อนการ พัฒนาการเกษตรในชุมชน สะท้อนให้เห็นว่าเกษตรกรต้นแบบไม่ได้ มุ่งเน้นเพียงความสำเร็จส่วนบุคคล แต่คำนึงถึงการพัฒนากา การเกษตรในภาพรวมด้วย

2.10 ความใฝ่รู้ตลอดเวลา (Lifelong learning) การมีความ ตั้ใจและมุ่งมั่นที่จะพัฒนาตนเองให้มีความรู้ และทักษะที่เพิ่มขึ้นอย่าง ต่อเนื่อง เป็นคุณลักษณะสำคัญของเกษตรกรยุคใหม่ที่ต้องเผชิญกับ การเปลี่ยนแปลงทางเทคโนโลยี สังคม และเศรษฐกิจที่เป็นไปอย่าง รวดเร็ว จากการสัมภาษณ์เกษตรกรต้นแบบพบว่า การทำการเกษตร ในปัจจุบันจำเป็นต้องมีความรู้ที่หลากหลายและรอบด้าน ตั้งแต่การ เข้าใจเรื่องดิน น้ำ สภาพอากาศ ไปจนถึงเทคโนโลยีสมัยใหม่ เกษตรกร จึงต้องหมั่นแสวงหาความรู้จากแหล่งต่าง ๆ อย่างสม่ำเสมอ ทั้งจากผู้ ปรชาชนชาวบ้าน การศึกษาดูงาน สื่อดิจิทัลอย่างอินเทอร์เน็ต และยูทูบ รวมถึงการแลกเปลี่ยนเรียนรู้กับชุมชน และการปรึกษาเจ้าหน้าที่จาก หน่วยงานภาครัฐ ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Chiamjinnawat & Wongwaiwiriya (2024) ที่พบว่าคุณลักษณะสำคัญของผู้ประกอบการ ธุรกิจการเกษตรในยุคดิจิทัลคือการเป็นผู้ใฝ่รู้ที่สามารถเรียนรู้สิ่งต่าง ๆ ได้อย่างรวดเร็วและรอบด้าน เช่นเดียวกับการศึกษาของ Siri Wong et al. (2017) ที่ชี้ให้เห็นว่าปัจจัยสำคัญสู่ความสำเร็จของเกษตรกรคือการ นำความรู้จากแหล่งต่าง ๆ และประสบการณ์จากการลงมือปฏิบัติมา ประยุกต์ใช้ในการพัฒนาตนเองสู่การเป็นเกษตรกรปราตเปรี๊อง (Smart Farmer) นอกจากการแสวงหาความรู้แล้ว ทักษะคิดต่อการ เรียนรู้ก็มีความสำคัญไม่น้อย เกษตรกรต้นแบบหลายรายเน้นย้ำถึงการ ทำตัวเป็นน้ำไม่เต็มแก้ว คือ การเปิดใจรับความรู้ใหม่อยู่เสมอ และเข้าใจว่าการเรียนรู้เป็นกระบวนการที่ต้องทำอย่างต่อเนื่องตลอด ชีวิต ดังที่ Pumisak (2017) ได้ศึกษาพบว่า ปรชาชนชาวบ้านทุกราย เห็นตรงกันว่าผู้นำเกษตรกรต้องเป็นผู้ใฝ่รู้เรียนรู้ตลอดเวลา และ สามารถนำความรู้และเทคโนโลยีมาประยุกต์ใช้ร่วมกับภูมิปัญญา ท้องถิ่นได้อย่างเหมาะสม นอกจากนี้ การเป็นศูนย์เรียนรู้หรือต้นแบบ ให้แก่เกษตรกรรายอื่น ยังเป็นแรงผลักดันสำคัญที่ทำให้เกษตรกรต้อง พัฒนาตนเองอย่างต่อเนื่อง มีการติดตามความรู้และเทคโนโลยีใหม่ ๆ อยู่เสมอ ไม่ว่าจะเป็นการเข้าร่วมงานแสดงนวัตกรรมการเกษตร การศึกษาดูงาน หรือการแลกเปลี่ยนเรียนรู้กับเครือข่ายเกษตรกร โดยนำความรู้ที่ได้มาปรับประยุกต์ใช้ให้เหมาะสมกับบริบทของตนเอง การเป็นผู้ใฝ่รู้ตลอดเวลาจึงเป็นคุณลักษณะสำคัญที่ช่วยให้เกษตรกร

สามารถพัฒนาตนเอง และประสบความสำเร็จในการประกอบอาชีพ เกษตรกรรม

2.11 ความภาคภูมิใจในอาชีพ (Self-esteem in a career) ความภาคภูมิใจในอาชีพเป็นคุณลักษณะสำคัญที่พบในเกษตรกร ต้นแบบ จากการสัมภาษณ์พบว่าเกษตรกรส่วนใหญ่มีทัศนคติที่ดีและมี ความรักในอาชีพเกษตรกรรมอย่างลึกซึ้ง โดยมองว่าเป็นอาชีพที่ให้ อิสระในการดำเนินชีวิต สามารถสร้างรายได้เพียงพอสำหรับเลี้ยงดู ครอบครัว แม้อาจไม่ได้รวยมาก แต่มีความมั่นคงทางอาหาร การได้รับ การยอมรับให้เป็นต้นแบบหรือแบบอย่างให้กับคนในชุมชน ยิ่งเพิ่ม ความภาคภูมิใจและความรักในอาชีพมากขึ้น เกษตรกรต้นแบบมี ความสุข และเต็มใจที่จะแบ่งปันประสบการณ์ความรู้ให้แก่ผู้อื่น สอดคล้องกับงานวิจัยของ Phonsukkarn & Jintanasirinurak (2021) ที่พบว่า ความภูมิใจในอาชีพเกษตรกรรมเป็นปัจจัยสำคัญที่ส่งผลต่อ ความสำเร็จและความยั่งยืนในการประกอบอาชีพ โดยความผูกพันกับ อาชีพเกษตรกรรมของเกษตรกรต้นแบบมักเริ่มต้นตั้งแต่วัยเยาว์ และสืบทอดมาจากรุ่นพ่อแม่ ดังกรณีของเกษตรกรต้นแบบรายหนึ่งที่มี ความผูกพันกับการทำนามาตั้งแต่เด็ก จนนำไปสู่การริเริ่มโครงการ ฟันฟุนไร่ร้างในหมู่บ้านตามคำแนะนำของผู้อาวุโสในชุมชน และพัฒนา ต่อยอดเป็นโรงเรียนชาวนาเพื่อถ่ายทอดความรู้และวิถีชีวิตการทำนา ให้แก่เยาวชน และผู้สนใจ สะท้อนให้เห็นถึงความภาคภูมิใจที่ไม่ เพียงแต่การประกอบอาชีพเพื่อเลี้ยงชีพ แต่ยังรวมถึงการอนุรักษ์และ สืบสานวิถีชีวิตเกษตรกรรมให้คงอยู่ ด้วยความรักและความภาคภูมิใจ ในอาชีพนี้ เกษตรกรหลายรายจึงมีความปรารถนาที่จะส่งต่ออาชีพ เกษตรกรรมไปยังรุ่นลูก เพราะเห็นว่าเป็นอาชีพที่มีคุณค่าและยังคง เป็นอาชีพที่น่าทำในปัจจุบัน ความรู้สึกผูกพันและภาคภูมิใจนี้เป็น แรงผลักดันสำคัญที่ทำให้เกษตรกรยึดมั่นในอาชีพ ดังที่เกษตรกร ต้นแบบหลายรายกล่าวว่า "ยังไม่เคยคิดที่จะทิ้งอาชีพนี้เลย" แสดงให้ เห็นถึงความมุ่งมั่นที่จะสืบสานและพัฒนาอาชีพเกษตรกรรมให้ยั่งยืน ต่อไป

จากผลการศึกษาคุณลักษณะของเกษตรกรต้นแบบในจังหวัด นราธิวาส พบว่ามีความสอดคล้องกับงานวิจัยในต่างประเทศและใน ประเทศไทยหลายงานวิจัย โดย McElwee (2006) ได้ศึกษาทักษะที่ จำเป็นสำหรับเกษตรกรในหกประเทศของยุโรป ได้แก่ อังกฤษ ฟินแลนด์ โปแลนด์ อิตาลี สวิสเซอร์แลนด์ และเนเธอร์แลนด์ พบว่าเกษตรกรทั้งรายใหญ่และรายย่อยจำเป็นต้องได้รับการพัฒนา ทักษะสำคัญ 3 ด้าน ได้แก่ 1) ทักษะการทำธุรกิจทั่วไปและการจัดการ 2) ทักษะทางการตลาด การเงิน และการวางแผนธุรกิจ และ 3) ทักษะ การสื่อสารและการทำงานร่วมกัน สอดคล้องกับการศึกษาในประเทศไทย โดย Pacharadit (2021) ได้สรุปคุณลักษณะของผู้ประกอบการ เกษตรกรรุ่นใหม่ที่เป็นพื้นฐานในการประกอบอาชีพเกษตรกรรมไว้ 8 ข้อ ได้แก่ 1) การรู้ความถนัดของตนเอง 2) การเชื่อมั่นในความสามารถ ตนเอง มีความมุ่งมั่นตั้งใจนำตนเองไปสู่โอกาสและความสำเร็จ

3) ความภาคภูมิใจในการเป็นเกษตรกร รู้คุณค่าของอาชีพเกษตรกร
 4) ความรับผิดชอบต่อสังคมและสิ่งแวดล้อม 5) ความสามารถคิดริเริ่ม
 สร้างสรรค์หาแนวทางใหม่ ๆ 6) ความกล้าแข่งขันเพื่อหาโอกาสใหม่ ๆ
 7) ความเป็นผู้เรียนรู้ตลอดชีวิต 8) ความสามารถในการบริหารจัดการ
 และ Singkhum et al. (2020) ได้จำแนกคุณลักษณะของเกษตรกรมือ
 อาชีพออกเป็น 3 ด้านหลัก ได้แก่ 1) ด้านความรู้ ครอบคลุมเรื่อง
 การตลาด การแปรรูป การผลิต และการใช้เทคโนโลยีการจัดการ
 2) ด้านทัศนคติ ประกอบด้วยความอดทน ความเชื่อมั่นในตนเอง การ
 มีเครือข่าย และการมีจิตสาธารณะ และ 3) ด้านทักษะ โดยเฉพาะ
 ทักษะด้านการตลาดและการใช้เทคโนโลยีสารสนเทศ สอดคล้องกับ
 Kamphaengphet et al. (2019) ที่พบว่าผู้ประกอบการที่ประสบ
 ความสำเร็จในธุรกิจเกษตรต้องมีความเชื่อมั่นในความสามารถของ
 ตนเอง สามารถควบคุมสถานการณ์และแก้ปัญหาด้วยความคิดริเริ่ม
 สร้างสรรค์ มีความสม่ำเสมอและใส่ใจในการเรียนรู้ รู้จักแสวงหาโอกาส
 สร้างเครือข่าย และมีทักษะการจัดการเชิงกลยุทธ์ นอกจากนี้การศึกษา
 ของ Phithuk (2020) เกี่ยวกับการพัฒนาเกษตรกรสู่การเป็น

ผู้ประกอบการธุรกิจเกษตร ได้ชี้ให้เห็นถึงปัจจัยสำคัญที่ส่งผลต่อการ
 พัฒนาการของผู้ประกอบการ โดยแบ่งเป็นปัจจัยภายใน และปัจจัย
 ภายนอก ในส่วนของปัจจัยภายในประกอบด้วย การมีทัศนคติที่ดีต่อ
 อาชีพ การรู้จักตนเอง ความมุ่งมั่นอดทน ความกล้าในการปรับเปลี่ยน
 การมีความคิดริเริ่มสร้างสรรค์ การมีมนุษยสัมพันธ์ที่ดี ทักษะการคิด
 เป็นระบบ การวางแผนก่อนลงมือปฏิบัติ ความสามารถในการจัดการ
 ฟาร์ม การใช้เทคโนโลยีสมัยใหม่ และการมีแรงบันดาลใจ ส่วนปัจจัย
 ภายนอกที่สำคัญได้แก่ การได้รับการสนับสนุนจากครอบครัว
 หน่วยงานที่เกี่ยวข้อง การมีเครือข่ายและชุมชนที่เข้มแข็ง รวมถึงการมี
 ต้นแบบที่ดีให้ศึกษาเรียนรู้ แสดงให้เห็นว่าคุณลักษณะของเกษตรกร
 ต้นแบบที่พบในจังหวัดนราธิวาสมีความสอดคล้องกับผลการศึกษาทั้ง
 ในและต่างประเทศ โดยเฉพาะในด้านการพัฒนาทักษะการจัดการ
 การตลาด การใช้เทคโนโลยี รวมถึงการมีทัศนคติที่ดี ความมุ่งมั่น
 และการสร้างเครือข่าย ซึ่งล้วนเป็นปัจจัยสำคัญที่ส่งผลต่อความสำเร็จ
 ในการประกอบอาชีพเกษตรกรมอย่างยั่งยืน โดยมีรายละเอียดตาม
 Table 1

Table 1 Frequency distribution of various characteristics of model farmers

Characteristics	Model Farmers																				Total	%
	01	02	03	04	05	06	07	08	09	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20		
1) Self- awareness	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	20.00	100.00
2) Management	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	20.00	100.00
2.1) Planning and management	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓		✓	✓			✓	17.00	85.00
2.2) Quality control and standardization	✓	✓	✓	✓	✓		✓		✓		✓	✓	✓			✓	✓	✓		✓	14.00	70.00
2.3) Efficient resource utilization	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓			✓			✓	✓	✓	✓	✓	✓	16.00	80.00
2.4) Financial and accounting management	✓	✓	✓			✓	✓		✓	✓		✓				✓	✓				10.00	50.00
3) Creative thinking and innovations	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	20.00	100.00
3.1) Technology and innovation adoption	✓	✓	✓				✓		✓		✓	✓				✓	✓	✓	✓	✓	12.00	60.00
3.2) Product and packaging development	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓		✓	✓		✓	✓	✓				15.00	75.00
3.3) Production model adaptation	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓		✓	✓		✓	✓	✓		✓	✓	✓			15.00	75.00
4) Information communication technology skill	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	20.00	100.00
4.1) Access to knowledge and information	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	20.00	100.00
4.2) Farm management applications usage	✓	✓		✓	✓	✓	✓		✓		✓		✓	✓	✓	✓	✓	✓			14.00	70.00
4.3) Social media usage for marketing	✓	✓		✓	✓			✓	✓	✓		✓	✓	✓	✓	✓	✓		✓	✓	15.00	75.00

Table 1 Frequency distribution of various characteristics of model farmers (Continue)

Characteristics	Model Farmers																				Total	%
	01	02	03	04	05	06	07	08	09	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20		
5) Coordination and networking	✓	✓	✓		✓	✓	✓	✓	✓	✓		✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	18.00	90.00
6) Knowledge transfer	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	20.00	100.00
7) Risk taking	✓	✓		✓			✓		✓	✓		✓	✓		✓	✓		✓			11.00	55.00
8) Tolerance	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓		✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓		✓	✓		17.00	85.00
9) Public consciousness	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	20.00	100.00
10) Lifelong learning	✓	✓			✓	✓				✓		✓	✓		✓	✓	✓			✓	11.00	55.00
11) Self-esteem in a career	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	20.00	100.00

Data collected from in-depth interviews with model farmers in Narathiwat province. Multiple characteristics could be exhibited by each farmer. % calculated based on total number of model farmers (n=20)

สรุปผลการวิจัย

การศึกษาในครั้งนี้แสดงให้เห็นถึงข้อมูลพื้นฐานส่วนบุคคล กิจกรรมการผลิตทางการเกษตร และคุณลักษณะที่สำคัญของเกษตรกรที่ต้นแบบจังหวัดนราธิวาส พบว่าเกษตรกรส่วนใหญ่มีประสบการณ์ในการทำเกษตรมากกว่า 20 ปี มีเงินทุนเพียงพอสำหรับการลงทุนทางการเกษตร และมีการศึกษาในระดับสูงกว่าภาคบังคับ ซึ่งเป็นปัจจัยสำคัญที่ส่งเสริมความพร้อมในการเปิดรับเทคโนโลยีใหม่ๆ นอกจากนี้ การเป็นสมาชิกศูนย์เรียนรู้การเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตสินค้าเกษตร (ศพก.) ยังเอื้อให้เกษตรกรมีโอกาสเข้าถึงเทคโนโลยีด้านการเกษตรผ่านการฝึกอบรม โดยเกษตรกรต้นแบบมีคุณลักษณะสำคัญ 11 ประการที่ส่งผลกระทบต่อความสำเร็จของเกษตรกรต้นแบบ ได้แก่ (1) การรู้จักตัวเอง มีความเข้าใจในจุดแข็ง ความต้องการ และศักยภาพของตนเอง ทำให้สามารถกำหนดเป้าหมายที่ชัดเจน และวางแผนการดำเนินงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ ช่วยให้สามารถเลือกกิจกรรมทางการเกษตรที่เหมาะสมกับความถนัดและทรัพยากรที่มีอยู่ (2) การบริหารจัดการที่มีประสิทธิภาพ การวางแผนการผลิตที่สอดคล้องกับความต้องการของตลาดและสภาพแวดล้อมของพื้นที่ การจัดการทรัพยากรอย่างมีประสิทธิภาพ (3) การมีความคิดสร้างสรรค์ และการใช้นวัตกรรม สามารถนำเทคโนโลยีใหม่ ๆ มาใช้ และผสมผสานนวัตกรรมเข้ากับภูมิปัญญาท้องถิ่นได้อย่างลงตัว (4) การมีทักษะด้านเทคโนโลยีสารสนเทศซึ่งเป็นคุณลักษณะที่สำคัญในการทำเกษตรยุคใหม่ การใช้เทคโนโลยีในการเข้าถึงข้อมูล ความรู้ และการตลาด รวมถึงการใช้แพลตฟอร์มออนไลน์ในการประชาสัมพันธ์และจำหน่ายผลผลิต เข้าถึงผู้บริโภคได้กว้างขวางขึ้น ลดต้นทุนด้านการตลาด และเพิ่มโอกาสในการสร้างรายได้ (5) การประสานงานและการสร้างเครือข่ายช่วยเสริมสร้างความเข้มแข็งให้กับเกษตรกร เพิ่มอำนาจในการต่อรอง ลดต้นทุนการผลิต และเพิ่มประสิทธิภาพในการผลิต (6) ทักษะการถ่ายทอดความรู้และเทคโนโลยี เกษตรกรต้นแบบสามารถสื่อสารและถ่ายทอดความรู้ ประสบการณ์ให้กับผู้อื่นได้อย่างมีประสิทธิภาพ ทักษะนี้ไม่เพียงแต่ช่วยในการเผยแพร่ความรู้ แต่ยังเสริมสร้างบทบาทของเกษตรกรต้นแบบในฐานะผู้นำชุมชน และแหล่งความรู้สำหรับเกษตรกรรายอื่น (7) ความกล้าเสี่ยง

กล้าที่จะทดลองสิ่งใหม่ ๆ ทำให้เกษตรกรต้นแบบสามารถคว้าโอกาสใหม่ ๆ และปรับตัวให้เข้ากับการเปลี่ยนแปลงของตลาด และสภาพแวดล้อมได้อย่างรวดเร็ว (8) ความอดทน เป็นคุณลักษณะที่จำเป็นอย่างยิ่งในอาชีพเกษตรกร ความสามารถในการรับมือกับความท้าทายและอุปสรรคต่าง ๆ ไม่ว่าจะเป็นภัยธรรมชาติ โรคระบาด หรือความผันผวนของตลาด โดยไม่ย่อท้อ ความอดทนนี้ช่วยให้เกษตรกรต้นแบบสามารถฝ่าฟันช่วงเวลาที่ยากลำบาก และส่งผลต่อความสำเร็จในระยะยาว (9) การมีจิตสาธารณะ เป็นคุณลักษณะที่โดดเด่นในเกษตรกรต้นแบบ เกษตรกรต้นแบบไม่เพียงแต่มุ่งเน้นความสำเร็จส่วนตัว แต่ยังให้ความสำคัญกับการทำประโยชน์เพื่อส่วนรวม การเป็นอาสาสมัครในโครงการต่าง ๆ แสดงให้เห็นถึงความรับผิดชอบต่อสังคม (10) ความใฝ่รู้ตลอดเวลา มีความกระตือรือร้นในการเรียนรู้สิ่งใหม่ ๆ อยู่เสมอ เข้าร่วมการอบรม ศึกษาดูงาน และค้นคว้าหาความรู้ด้วยตนเอง ความใฝ่รู้นี้ช่วยให้สามารถปรับตัวกับเทคโนโลยีใหม่ ๆ ซึ่งเป็นกุญแจสำคัญในการรักษาความสามารถในการแข่งขัน และความยั่งยืนของอาชีพ และ (11) ความภาคภูมิใจในอาชีพ มีทัศนคติที่ดีต่ออาชีพเกษตรกร มองว่าเป็นอาชีพที่มีเกียรติ มั่นคง และสามารถสร้างรายได้ที่ดี ความภาคภูมิใจนี้ไม่เพียงแต่ส่งผลต่อความมุ่งมั่นในการทำงาน แต่ยังช่วยสร้างภาพลักษณ์ที่ดีให้กับอาชีพเกษตรกรอีกด้วย

ซึ่งผลการศึกษานี้มีประโยชน์อย่างยิ่งต่อการพัฒนาภาคการเกษตรในจังหวัดนราธิวาสและพื้นที่อื่น ๆ โดยสามารถนำไปใช้เป็นแนวทางในการพัฒนาเกษตรกรรายอื่น ๆ การปรับปรุงนโยบายส่งเสริมการเกษตร และการออกแบบหลักสูตรฝึกอบรมที่ตรงกับความต้องการของเกษตรกร ซึ่งการพัฒนาคุณลักษณะเหล่านี้ในเกษตรกรจะช่วยเร่งการบรรลุเป้าหมายการพัฒนาที่ยั่งยืน และสนับสนุนการพัฒนาประเทศตามยุทธศาสตร์ชาติ โดยเฉพาะในด้านการพัฒนาการเกษตร การสร้างความเข้มแข็งของชุมชน และการพัฒนาที่ยั่งยืน จึงควรมีการพัฒนากระบวนการสนับสนุนการเรียนรู้ การเข้าถึงเทคโนโลยี การสร้างเครือข่าย และการพัฒนาธุรกิจเกษตรที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม เพื่อส่งเสริมการพัฒนาคุณลักษณะดังกล่าวในเกษตรกรรายอื่นต่อไป

กิตติกรรมประกาศ

การศึกษาในครั้งนี้ขอขอบคุณเกษตรกรต้นแบบของจังหวัดนราธิวาส สำนักงานเกษตรจังหวัดนราธิวาส สำนักงานเกษตรอำเภอและนักวิชาการส่งเสริมการเกษตร ที่ให้การสนับสนุนข้อมูล และอำนวยความสะดวกในการลงพื้นที่เก็บข้อมูลเป็นอย่างดี ขอขอบคุณคณะทรัพยากรธรรมชาติ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ที่ให้การสนับสนุนที่ดี และขอบคุณสำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ กระทรวงการอุดมศึกษา วิทยาศาสตร์ วิจัยและนวัตกรรม ผู้สนับสนุนทุนรัฐบาลทางด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี (ทุนพัฒนาบุคลากรภาครัฐ) ประจำปี 2564

References

- Bunrod, S., & Prapruai, P. (2024). Expectations in deciding to participate in the Large Collaborative Farming Project (LCFP) of oil palm farmers in Narathiwat Province. *Khon Kaen Agriculture Journal*, 52(2), 406-417. doi: 10.14456/kaj.2024.28 (in Thai)
- Chankoom, N. (2022). The potential building of farmers in the new era with integrated farming in Ban Lamdaeng, Hantapao Subdistrict, Wongnoi District, Phranakhonsiyuttha Province. *Journal of MCU Social Development*, 7(2), 1-11. (in Thai)
- Chiamjinnawat, B., & Wongwaiwiriya, J. (2024). Learners' needs and components of agribusiness entrepreneurship in the digital age. *Khon Kaen Agriculture Journal*, 52(1), 142-165. doi:10.14456/kaj.2024.11 (in Thai)
- Chokpignonthong, P., & Chantaranamchoo, N. (2019). The processes and conditions for success of farmers development toward smart farmers in Nakhon Pathom Province. *Proceedings of the 16th KU-KPS national conference* (pp.2489-2501). Nakhon Pathom Thailand: Kasetsart University. (in Thai)
- Department of Agricultural Extension. (2021a). *Criteria and guidelines for outstanding farmer selection program*. Accessed November 3, 2024. Retrieved from <https://ssnet.doae.go.th/wpcontent/uploads/2020/01.pdf> (in Thai)
- Department of Agricultural Extension. (2021b). *Guidelines for smart farmer development program*. Accessed November 3, 2024. Retrieved from <https://www.doae.go.th> (in Thai)
- Department of Agricultural Extension. (2024). *The Large Collaborative Farming Project (LCFP)*. Accessed June 15, 2024. Retrieved from <https://www.doae.go.th> (in Thai)
- Kamphaengphet, M., Thammaapipon, S., & Sangraksa, N. (2019). Agripreneurship characteristics in green agribusiness. *Business Review*, 11(1), 262-275. (in Thai)
- Lekbangpong, S., Monkaew, T., Pulnual, N., & Sriplod, S. (2022). The model of the career development in the integrated farming system for lifestyle of new model farmers in Nakhon Si Thammarat Province. *Rajabhat Rambhai Barni Research Journal*, 16(3), 133-142. (in Thai)
- Malapane, O. L., Musakwa, W., & Chanza, N. (2024). Indigenous agricultural practices employed by the Vhavenda community in the Musina Local municipality to promote sustainable environmental management. *Heliyon*, 10(13), e33713. doi: 10.1016/j.heliyon.2024.e33713
- McElwee, G. (2006). The enterprising farmer: a review of entrepreneurship in agriculture. *Journal of the Royal Agricultural Society of England*, 167, 66-75.
- Mingsamorn, C., Rungkaeat, N., Kruekum, P., & Pounngamchuen, J. (2022). Farmer's practices of integrated farming system patterns in Chaeson Sub-District, Muangpan District, Lampang Province. *Journal of Agricultural Research & Extension*, 40(1), 161-171. (in Thai)
- Nantasarn, M., Sittbisutikul, K., & Nunthasen, W. (2021). The efficiency measurement of farm productive of young farmers Maha Sarakham Province. *Prawarun Agricultural Journal*, 18(1), 95-103. doi: 10.14456/paj.2021.12. (in Thai)
- Narathiwat Province. (2022). *Narathiwat Province development plan*. Accessed June 15, 2024. Retrieved from https://www2.narathiwat.go.th/nara2016/files/com_news_develop_plan/2023-01_09cea4479f3f3b8.pdf. (in Thai)
- Office of Agricultural Economics. (2019). *Evaluation report of smart farmer development project in 2014*. Accessed November 3, 2024. Retrieved from https://www.oae.go.th/assets/portals/1/fileups/evaoaed_ata/files/27102565re08.pdf (in Thai)

- Office of the National Economic and Social Development Council. (2021). *National strategy 2018-2037*. Accessed November 3, 2024. Retrieved from <https://www.nesdc.go.th/main.php?filename=index> (in Thai)
- Office of the National Economic and Social Development Council. (2022). *The thirteenth national economic and social development plan (2023-2027)*. Accessed November 3, 2024. Retrieved from https://www.nesdc.go.th/article_attach/article_file_2023_0307173518.pdf (in Thai)
- Pacharadit, S. (2021). *Development of a training curriculum to enhance youth agricultural entrepreneurship characteristics for agricultural science students*. (Doctoral dissertation). Bangkok, Thailand: Srinakharinwirot University. (in Thai)
- Pacharadit, S., Patphol, M., & Jamjuree, D. (2022). A study of youth agriculture entrepreneurship characteristics according to the philosophy of sufficiency economy. *RMUTT Global Business and Economics Review*, 17(1), 14-30. (in Thai)
- Phetchit, J. (2014). *Factors affecting integrated agriculture of farmers in Ban Na San District, Surat Thani Province*. (Master's thesis). Nonthaburi, Thailand: Sukhothai Thammathirat Open University. (in Thai)
- Phithuk, A. (2020). *The development of farmers to be smart entrepreneur farmers*. (Doctoral dissertation). Bangkok, Thailand: Silpakorn University. (in Thai)
- Phonsukkarn, S., & Jintanasirinurak, S. (2021). Factors for success in promoting and developing young farmers. *Proceedings of the 14th National and international conference* (pp. 588-596). Bangkok, Thailand: Suan Sunandha Rajabhat University. (in Thai)
- Prasertsin, U., Srihaset, K., & Laonoi, A. (2021). Guidelines for competency-based assessment in 21st century. *Journal of Educational Measurement Mahasarakham University*, 27(2), 16-31. (in Thai)
- Pumirak, N. (2017). The characteristics of ideal farmer leaders by local scholar: a case study of Nakhon Si Thammarat Province, Trang Province, and Phatthalung Province. *Proceedings of the 14th KU-KPS conference*. (pp. 3919-3926). Nakhon Pathom, Thailand: Kasetsart University. (in Thai)
- Saelee, A., & Jadesadalug, V. (2015). Effect of business management potential and entrepreneur's personality on cassava entrepreneur's success in Bo Phloi District, Kanchanaburi Province. *Lampang Rajabhat University Journal*, 4(2), 1-12. (in Thai)
- Sapbamrer, R., & Thammachai, A. (2020). Factors affecting use of personal protective equipment and pesticide safety practices: a systematic review. *Environmental Research*, 109444.doi: 10.1016/j.envres.2020.109444
- Sawatsuk, B., Passom, S., Ratanasanguanvongs, K., & Phrueksawatnon, P. (2023). Factors Influencing consumer decision-making behavior in purchasing organic agricultural products in Phayao Province. *Journal of Management Science Changrai Rajabhat University*, 18(2), 203-235. (in Thai)
- Singkhum, A., Keowan, B., Yooprasert, B., & Yotakhong, S. (2020). Development model of professional farmer in Northeastern Vocational Institute of Agriculture. *Electronic Journal of Open and Distance Innovative Learning*, 12(1), 163-177. (in Thai)
- Siriwong, P., Boonsang, S., & Klinthongthip, P. (2017). Life history and narrative of the success of farmer to entrepreneur's case study Lung Sa-ArdSriphan Business Ngam Wong Wan Bangkok. *Proceedings of the 2nd Rajabhat Maha Sarakham university graduate conference*. (pp.272-279). Maha Sarakham, Thailand: Maha Sarakham: Rajabhat Maha Sarakham University. (in Thai)
- Sujarittum, C., Kulabutr, C., & Sripoona, S. (2018). Social stability creation for rubber plant group by full cycle rubber plantation development in Loei Province. *Dhammathas Academic Journal*, 18(2), 11-22. (in Thai)
- Thirapong, K. (2017). The large agricultural land plot program and the context of Thailand's agriculture. *Proceedings of the national conference in economics*. (pp. 49-64). Bangkok, Thailand: Ramkhamhaeng University. (in Thai)

Research article

A study of the characteristics of the model farmers in Narathiwat Province

Prajak Thepkun¹ and Apinya Ratanachai^{2*}

¹*Tropical Agricultural Resource Management Program, Resource Management Agricultural Innovation and Management Division, Faculty of Natural Resources, Prince of Songkla University, Hat Yai Campus, Hat Yai District, Songkhla Province, Thailand 90110*

²*Agricultural Innovation and Management Division, Faculty of Natural Resources, Prince of Songkla University, Hat Yai Campus, Hat Yai District, Songkhla Province, Thailand 90110*

ARTICLE INFO**Article history**

Received: 11 September 2024

Revised: 1 November 2024

Accepted: 7 December 2024

Online published: 26 December 2024

Keyword

Characteristics

Model farmer

Integrated farming

Successful farmers

ABSTRACT

The objectives of this study were to: (1) examine the basic personal information and agricultural production activities of model farmers, and (2) analyze the characteristics of model farmers in Narathiwat Province. This qualitative research employed purposive sampling to select 20 model farmers aged 25–60 years with over 5 years of farming experience and recipients of outstanding farmer awards. Data were collected through semi-structured interviews and observations and analyzed using content analysis. The results showed that most model farmers were male, with an average age of 50.60 years, and had education levels above the compulsory requirement. They owned an average of 23.90 rai of agricultural land and had over 20 years of farming experience. Most were members of Agricultural Knowledge Management Centers and earned an average annual agricultural income of 540,792 baht. All practiced integrated farming used a combination of organic and chemical fertilizers, and nearly all held GAP certification. The major agricultural challenges reported were plant diseases and pests. The key characteristics contributing to the success of model farmers included: (1) self-awareness; (2) management skills; (3) creative thinking and innovation; (4) information technology skills; (5) coordination and networking skills; (6) knowledge transfer skills; (7) risk-taking; (8) tolerance; (9) public consciousness; (10) lifelong learning; and (11) self-esteem in their profession. These characteristics can serve as guidelines for developing other farmers, enhancing agricultural promotion policies, and designing training programs tailored to farmers' needs.

*Corresponding author

E-mail address: apinya.r@psu.ac.th (A. Ratanachai)

Online print: 26 December 2024 Copyright © 2024. This is an open access article, production, and hosting by Faculty of Agricultural Technology, Rajabhat Maha Sarakham University. <https://doi.org/10.14456/paj.2024.58>



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

บทความวิจัย

ความหลากหลายชนิดของปลาและความชุกชุมของปลาที่จับได้ด้วยวิธีประมงพื้นบ้านในลุ่มน้ำสงครามตอนล่าง จังหวัดนครพนม

ชนาพร รัตนมาลี¹ นิภาวรรณ ดู ชูชัย² และ วิวรรณ แก่นสา^{2*}

¹สาขาวิชาชีววิทยา คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยนครพนม อำเภอเมือง จังหวัดนครพนม ประเทศไทย 48000

²สาขาวิชาชีววิทยา คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏอุดรธานี อำเภอเมือง จังหวัดอุดรธานี ประเทศไทย 41000

ข้อมูลบทความ

Article history

รับ: 29 กรกฎาคม 2567

แก้ไข: 13 พฤศจิกายน 2567

ตอบรับการตีพิมพ์: 14 ธันวาคม 2567

ตีพิมพ์ออนไลน์: 27 ธันวาคม 2567

คำสำคัญ

ปลา

ลุ่มน้ำสงครามตอนล่าง

ความหลากหลายชนิด

ประมงพื้นบ้าน

บทคัดย่อ

ลุ่มน้ำสงครามตอนล่างเป็นแหล่งรวบรวมปลาหลากหลายชนิดและสภาพพื้นที่เป็นระบบนิเวศป่าทุ่งตามถือเป็นแหล่งอนุบาลสัตว์น้ำที่สำคัญจากแม่น้ำโขงและแม่น้ำสาขา งานวิจัยนี้ได้สำรวจความหลากหลายชนิดปลาและความชุกชุมของปลาในลุ่มน้ำสงครามตอนล่างจังหวัดนครพนมในรอบปี พ.ศ.2561 ครอบคลุมทุกฤดูกาล โดยใช้เครื่องมือประมงพื้นบ้านได้แก่ ลอบ ขา ยอ โซ แห สวิง และมอง พบปลาทั้งหมด 6,258 ตัวอย่าง จัดจำแนกปลาได้เป็น 6 อันดับ 11 วงศ์ 24 สกุล 27 ชนิด อันดับปลาที่สำรวจพบมากที่สุดคือ อันดับปลาตะเพียน (Cypriniformes) และอันดับปลาเนื้ออ่อน (Siluriformes) ผลการวิเคราะห์ค่าความชุกชุมสัมพัทธ์พบว่า ปลาแป้นแก้ว (*Parambassis siamensis*) และปลาแดง (*Phalacronotus bleekeri*) มีค่าสูงสุดในทุกฤดูกาล สถานีสำรวจบ้านตาลปากน้ำมีค่าดัชนีความหลากหลายชนิด และค่าดัชนีความมากมายชนิดมากที่สุดคือ เท่ากับ 3.100 และ 3.561 ตามลำดับ ปลาที่มีค่าองค์ประกอบชนิดมากที่สุด ได้แก่ ปลาแป้นแก้ว (*P. siamensis*) ปลาแดง (*P. bleekeri*) และปลาตะเพียนขาว (*Barbonymus gonionotus*) การศึกษานี้พบปลาชนิดที่จัดในบัญชีรายชื่อปลาที่ใกล้สูญพันธุ์ของสหภาพระหว่างประเทศเพื่อการอนุรักษ์ธรรมชาติ (IUCN) คือ ปลาเทพา (*Pangasius sanitwongsei*) มีสถานภาพใกล้สูญพันธุ์อย่างยิ่ง ปลาเคี้ยวขาว (*Wallago attu*) มีสถานภาพมีแนวโน้มใกล้สูญพันธุ์ (Vulnerable) และปลาแกง (*Cirrhinus molitorella*) มีสถานภาพใกล้ถูกคุกคาม (Near Threaten) ข้อมูลสถานภาพปลาจึงมีความสำคัญอย่างยิ่งต่อการจัดทำแนวทางและมาตรการที่เหมาะสมสำหรับการฟื้นฟู คุ้มครอง อนุรักษ์ และใช้ประโยชน์จากทรัพยากรปลาลุ่มน้ำสงครามตอนล่างอย่างยั่งยืน

บทนำ

แม่น้ำสงครามเป็นแม่น้ำสาขาของแม่น้ำโขงถือเป็นแม่น้ำสายสำคัญของภาคตะวันออกเฉียงเหนือตอนบนไหลผ่านจังหวัดสกลนคร อุดรธานี หนองคาย และไหลลงสู่แม่น้ำโขงบริเวณปากแม่น้ำที่บ้านตาลปากน้ำ ตำบลไชยบุรี อำเภอท่าอุเทน จังหวัดนครพนม ลุ่มน้ำสงครามตอนล่างจะมีความยาวประมาณ 200 กิโลเมตร พื้นที่มีลักษณะเฉพาะคือระดับท้องน้ำมีลักษณะค่อนข้างแบนราบ มีความลาดชันต่างกันโดยเฉลี่ยประมาณ 3-4 เซนติเมตร ต่อแม่น้ำ 1 กิโลเมตร ทำให้มีระดับความสูงที่ต่างกันเพียง 2 เมตร เท่านั้น ในฤดูฝนน้ำจะท่วมพื้นที่ราบลุ่มกลายเป็นทะเลสาบขนาดใหญ่มีพื้นที่ 500,000-600,000 ไร่ (Songkham, 2013; Tai Baan Research, 2005) ซึ่งมีอิทธิพลมาจากน้ำเหนือและน้ำโขงที่ไหลย้อนเข้ามาตามลำน้ำมีน้ำท่วมถึงห้วยและแม่น้ำสาขาลักษณะของพื้นที่เป็นป่าทุ่งตามพื้นที่หนองน้ำท่วมเป็นระยะเวลา 3-4 เดือน ด้วยสภาพพื้นที่ดังกล่าวส่งผลให้เกิดความหลากหลายทางชีวภาพสูง นอกจากนี้ผลจากการเปลี่ยนแปลงของกระแสน้ำในแม่น้ำตามฤดูกาลนั้นก็มีความสัมพันธ์อย่างมากต่อการอพยพและการวางไข่ของปลาที่มาจากแม่น้ำโขง มีทั้งกลุ่มปลาไม่ค้ำวัง และค้ำวัง เกิดการเคลื่อนย้ายของปลา

ในลุ่มน้ำสงคราม ป่าทุ่งตาม และแม่น้ำโขงตลอดทั้งปี เกิดความหลากหลายของชนิดพันธุ์ปลาในรอบปีสูง สำหรับวัฒนธรรมการจับปลาและวิถีชีวิตของชุมชนส่วนมากในพื้นที่ลุ่มน้ำสงครามตอนล่างยังดำรงวิถีชีวิตแบบดั้งเดิมคือพึ่งพาแม่น้ำสงครามเป็นหลัก แม้จะมีบางแห่งที่พึ่งพาทรัพยากรน้อยลงเนื่องจากเกิดชุมชนเมืองขยายตัวมากขึ้น (Hortle et al., 2004) ผลผลิตจากการประมงพื้นบ้านในลุ่มน้ำสงครามเบื้องต้นขึ้นอยู่กับเครื่องมือจับปลา ฤดูกาล และลักษณะระบบนิเวศป่าในพื้นที่ ปัจจุบันชาวบ้านในพื้นที่จับปลาที่มีขนาดใหญ่มากกว่า 1 กิโลกรัมได้ยากขึ้นและลดน้อยลงมาก ส่วนปลาน้ำขนาดเล็กมีคุณค่าในด้านการแปรรูปหรือถนอมอาหาร (Songkham, 2013) ปลาที่สำคัญหายากขึ้นและปริมาณที่จับได้น้อยลงชาวประมงพื้นบ้านไม่สามารถคาดการณ์หรือคาดคะเนความชุกชุมของปลาว่าปลาชนิดใดพบในช่วงเวลาใดได้เช่นเดิมทำให้ประสิทธิภาพในการจับปลาลดลงและได้ผลผลิตน้อยลง ส่งผลกระทบต่อเศรษฐกิจครัวเรือนอย่างมาก (Mekong River Commission, 2010) ในปัจจุบันมีหลายสาเหตุที่ส่งผลให้ความหลากหลายของชนิดปลาที่ลดลงเกิดจากสภาพแม่น้ำสงครามในปัจจุบันมีการเปลี่ยนแปลงไปจากเดิมมาก การเปลี่ยนแปลงของสภาพภูมิอากาศ มลพิษและการขยายตัวของชุมชน

*Corresponding author

E-mail address: wiwat.ka@udru.ac.th (W. Kaensa)

Online print: 27 December 2024 Copyright © 2024. This is an open access article, production, and hosting by Faculty of Agricultural Technology, Rajabhat Maha Sarakham University. <https://doi.org/10.14456/paj.2024.59>

เมืองที่เป็นไปอย่างต่อเนื่อง เกิดการเปลี่ยนแปลงระบบนิเวศของป่าทุ่งป่าทาม พบการบุกรุกป่าทุ่งป่าทามในกลุ่มทุนอุตสาหกรรมเกษตร การเปลี่ยนแปลงป่าทุ่งป่าทามธรรมชาติเป็นการเกษตรแผนใหม่ การสร้างเขื่อนขนาดใหญ่ในลุ่มน้ำสงครามตอนบน และการสร้างเขื่อนกั้นน้ำสาขา (Tai Baan Research, 2005) นอกจากนี้ยังมีการสร้างเขื่อนขนาดใหญ่กั้นแม่น้ำโขงในประเทศจีนและลาว การระเบิดเกาะแก่งทำให้ทางน้ำไหลเปลี่ยนไป ในฤดูน้ำหลากปริมาณน้ำเพิ่มมากขึ้นและเปลี่ยนแปลงระดับอย่างรวดเร็ว และในช่วงฤดูแล้งระดับน้ำก็จะลดลงมากและเร็วอย่างผิดปกติ ซึ่งปัญหาเหล่านี้ส่งผลกระทบต่อประชากรของปลาแม่น้ำโขงและแม่น้ำสาขาโดยตรง (Barlow, 2008) งานวิจัยนี้จึงมีจุดประสงค์เพื่อสำรวจความหลากหลายของปลาในลุ่มน้ำสงครามตอนล่างจากการจับปลาโดยใช้เครื่องมือและวิธีการของชาวประมงพื้นบ้าน และประเมินความชุกชุม ความถี่ที่ปรากฏของปลาที่สำรวจพบ นำข้อมูลมาสรุปแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงความชุกชุม และความถี่ที่ปรากฏของปลาแต่ละชนิดในรอบปี เพื่อเป็นข้อมูลพื้นฐานการติดตามตรวจสอบการเปลี่ยนแปลงความหลากหลาย ความชุกชุมของปลาในลุ่มน้ำสงครามตอนล่างได้ในอนาคต

อุปกรณ์และวิธีการวิจัย

1. พื้นที่ศึกษาและระยะเวลา

สำรวจความหลากหลายชนิดปลาในลุ่มน้ำสงครามตอนล่าง เขตพื้นที่อำเภอศรีสงคราม จังหวัดนครพนม ดำเนินการเก็บตัวอย่างปลาระหว่างเดือนกุมภาพันธ์ถึงเดือนธันวาคม พ.ศ. 2561 ครอบคลุมทั้ง 3 ฤดูกาล คือ ฤดูร้อน (เดือนกุมภาพันธ์ถึงเดือนพฤษภาคม) ฤดูฝน (เดือน มิถุนายนถึงเดือนกันยายน) และฤดูหนาว (เดือนตุลาคมถึงเดือนธันวาคม) ทำการเก็บตัวอย่างจำนวน 6 ครั้ง จากสถานีสำรวจจำนวน 4 สถานี ได้แก่ 1) สถานีสำรวจบ้านตาลปากน้ำ ตำบลไชยบุรี อำเภอ ท่าอุเทน จังหวัดนครพนม 2) สถานีสำรวจบ้านหาดกวน ตำบลไชยบุรี อำเภอท่าอุเทน จังหวัดนครพนม 3) สถานีสำรวจบ้านปากอูน ตำบลศรีสงคราม อำเภอศรีสงคราม จังหวัดนครพนม และ 4) สถานีสำรวจ บ้านท่าบ่อ ตำบลท่าบ่อสงคราม อำเภอ ศรีสงคราม จังหวัดนครพนม (Figure 1) สถานีสำรวจสามารถเข้าถึงพื้นที่ได้ง่าย และเป็นบริเวณที่มีการทำประมงพื้นบ้าน

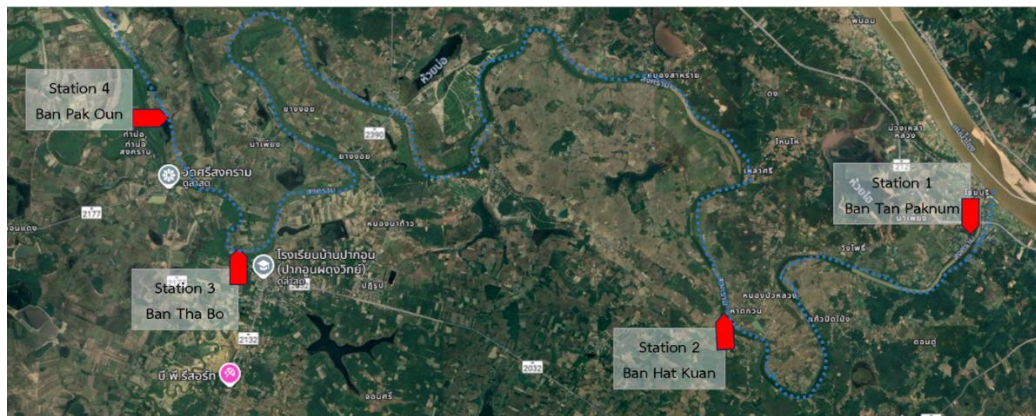


Figure 1 Sampling locality map of fish in Lower Songkhram river basin.

2. การสำรวจและการเก็บตัวอย่างปลา

การสำรวจและเก็บตัวอย่าง ดัดแปลงจากวิธีการของกลุ่มวิจัยความหลากหลายทางชีวภาพสัตว์น้ำจืด Inland Fisheries Research and Development Division (2012) และ Rainboth (1996) ดังนี้

2.1 เก็บตัวอย่างปลาจากชาวประมงพื้นบ้าน เครื่องมือที่ใช้ในการจับปลาเป็นประจำและพบในพื้นที่สำรวจ ได้แก่ ลอบ ขา ยอ กระช้อน โซ แห สวิง และมอ

2.2 เก็บตัวอย่างโดยใช้เครื่องมือที่มีขนาดต่ามากกว่าเครื่องมือที่ชาวประมงพื้นบ้านใช้เพื่อให้ได้ชนิดพันธุ์ปลาขนาดเล็กและใช้เครื่องมือประมงที่มีตาข่ายห่างกว่าเพื่อจับปลาขนาดใหญ่

2.3 การคัดแยกชนิดปลาในภาคสนาม บันทึกข้อมูลเบื้องต้นจากตัวอย่างปลาที่เก็บรวบรวมได้ในภาคสนาม ตรวจสอบลักษณะทางสัณฐานวิทยา (morphology) และบันทึกภาพตัวอย่างปลาแต่ละชนิด

2.4 นำตัวอย่างที่เก็บรวบรวมได้มาบันทึกข้อมูลปลาแต่ละชนิด วัดความยาวเหี้ยย (total length) ความยาวมาตรฐาน (standard length) ความกว้างของลำตัว (body width) และนับจำนวนตัวปลาแต่ละชนิด เก็บรักษาตัวอย่างปลาเพื่ออ้างอิงทุกชนิดที่พบ สำหรับชนิดปลา

ที่ยังไม่สามารถจัดจำแนกผู้วิจัยจะเก็บรักษาตัวอย่างในน้ำยาฟอร์มาลิน ร้อยละ 10 Kovitvadh & Kovitvadh, 2007) และเก็บรักษาไว้ที่ห้องปฏิบัติการ สาขาวิชาชีววิทยา คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยนครพนม

3. การจำแนกชนิดปลา

การจัดจำแนกอันดับ (order) วงศ์ (family) และชนิด (species) โดยใช้ระเบียบวิธีการอนุกรมวิธานปลาการจัดจำแนกชนิดพันธุ์ปลาน้ำจืดไทย และเปรียบเทียบรูปภาพตามคู่มือจำแนกชนิดปลา (Sontirat, 1984; Rainboth, 1996; Vidthayanon, 2001; Tai Baan research, 2005; Vidthayanon, 2005; Vidthayanon, 2008; Nonn, 2022)

4. การวิเคราะห์ข้อมูลปลา

ข้อมูลที่เก็บรวบรวมมาได้จะถูกนำมาวิเคราะห์ดังนี้

4.1 โครงสร้างประชาคมปลาจากองค์ประกอบชนิดปลา (% of species composition) เป็นค่าที่แสดงถึงประสิทธิภาพการอยู่รอดของพันธุ์ปลาชนิดต่าง ๆ ในแหล่งน้ำนั้น ๆ ค่าองค์ประกอบชนิดปลา โดยความชุกชุม หรือโดยจำนวน (% N) มีค่าเป็นร้อยละ Kolding (1989) โดยคำนวณจากสูตร

$$\text{องค์ประกอบชนิดปลาโดยจำนวน} = \frac{\text{จำนวนตัวของชนิดปลาที่พบ}}{\text{จำนวนตัวของปลาทั้งหมด}} \times 100$$

4.2 ร้อยละความถี่ที่พบปลาแต่ละชนิด โดยคำนวณจากสูตร

$$\text{ร้อยละความถี่ที่พบปลาแต่ละชนิด} = \frac{\text{จำนวนครั้งที่พบปลาชนิดหนึ่ง}}{\text{จำนวนครั้งที่เก็บตัวอย่าง}} \times 100$$

4.3 ความหลากหลายชนิด (diversity index)

วิเคราะห์ค่าความหลากหลายชนิดตามวิธีของ Shannon-Weiner Diversity Index (Clarke & Warwick, 1994) เป็นวิธีที่นิยมใช้ทางนิเวศวิทยาและชีววิทยา เพื่อวิเคราะห์ความหลากหลายของสัตว์น้ำและสิ่งมีชีวิตในน้ำในแต่ละสถานีสํารวจ โดยคำนวณจากสูตร

$$\text{ดัชนีความหลากหลายชนิด (H')} = - \sum_{i=1}^N p_i \ln p_i$$

เมื่อ H' = ดัชนีความหลากหลาย
 p_i = สัดส่วนของจำนวนสิ่งมีชีวิตชนิดที่ i คำนวณได้จากสูตร
 $p_i = n_i/N$
 n_i = จำนวนสิ่งมีชีวิตชนิดที่ i
 N = ผลรวมจำนวนทั้งหมดที่พบ

4.4 ความชุกชุมสัมพัทธ์ของปลาในแต่ละสถานี และหาค่าเฉลี่ยรวมจากทุกสถานี โดยคำนวณจากสูตร

$$\text{ความชุกชุมสัมพัทธ์} = \frac{\text{จำนวนตัวของชนิดปลาชนิดหนึ่ง}}{\text{จำนวนตัวของปลาทุกชนิดที่พบทั้งหมด}}$$

4.5 ดัชนีความมากชนิด (Richness Index)

วิเคราะห์ค่าดัชนีความมากชนิดตามวิธีของ Margalef's index โดยคำนวณจากสูตร

$$R = (S-1) / \ln N$$

เมื่อ R = ค่าดัชนีความมากชนิด
 S = จำนวนชนิดทั้งหมดที่พบ
 N = จำนวนตัวทั้งหมดที่พบ
 $\ln$ = natural logarithm

ผลและวิจารณ์ผลการวิจัย

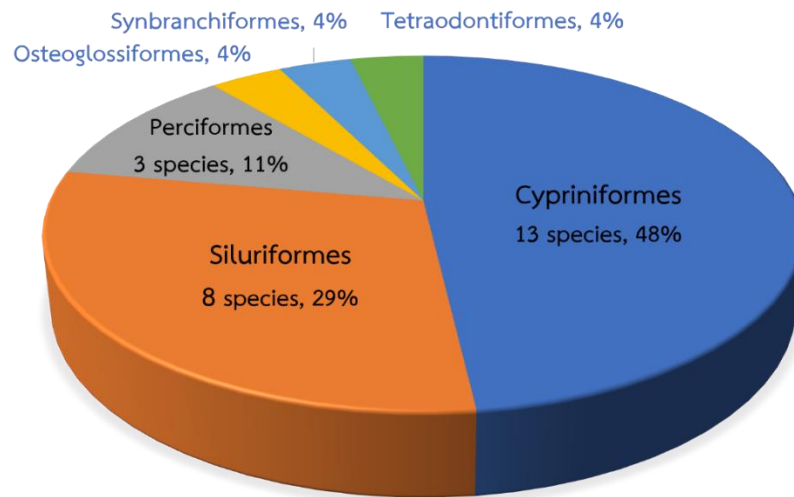
ผลการสำรวจความหลากหลายชนิดและความชุกชุมของปลาในลุ่มน้ำสงครามตอนล่าง จังหวัดนครพนม เก็บตัวอย่างปลาทั้งหมด 6,258 ตัวอย่าง สํารวจพบในฤดูฝนจำนวน 2,279 ตัว ฤดูร้อนจำนวน 2,183 ตัว และฤดูหนาวจำนวน 1,796 ตัว จำแนกได้เป็น 6 อันดับ 11 วงศ์ 24 สกุล 27 ชนิด โดยอันดับปลาที่สํารวจพบมากที่สุด คือ อันดับ Cypriniformes คิดเป็นร้อยละ 48.15 พบปลาทั้งหมด 2 วงศ์ ได้แก่ วงศ์ Cyprinidae พบปลาจำนวน 10 สกุล 11 ชนิด และ วงศ์ Cobitidae พบปลาจำนวน 2 สกุล 2 ชนิด รองลงมาคือ อันดับ Siluriformes คิดเป็นร้อยละ 29.63 พบปลาทั้งหมด 3 วงศ์ คือ วงศ์ Siluridae พบปลาจำนวน 1 สกุล 1 ชนิด วงศ์ Pangasiidae พบปลาจำนวน 1 สกุล 3 ชนิด และ วงศ์ Bagridae พบปลาจำนวน 4 สกุล 4 ชนิด อันดับที่พบมากเป็นลำดับที่สาม คือ Perciformes คิดเป็นร้อยละ 11.11 พบปลาทั้งหมด 3 วงศ์ คือ วงศ์ Channidae, Ambassidae และ วงศ์ Pristolepididae ทั้งสามวงศ์พบปลาจำนวน 1 สกุล 1 ชนิด ส่วนอันดับที่พบปลาน้อยที่สุด มีทั้งหมด 3 อันดับ คือ อันดับ Osteoglossiformes, Synbranchiformes และ Tetraodontiformes คิดเป็นร้อยละ 3.70 ทุกอันดับ แต่ละอันดับพบปลาอันดับละ 1 วงศ์ 1 สกุล 1 ชนิด ได้แก่ วงศ์ Notopteridae, Mastacembelidae และ Tetraodontidae ตามลำดับ (Table 1 และ Figure 2)

Table 1 Fish species in Lower Songkhram River Basin, Nakhon Phanom Province in 2018

No.	Order	Family	Genera	Species	Common name	Local name
1	Cypriniformes	Cyprinidae	<i>Luciosoma</i>	<i>L. bleekeri</i>	Apollo shark	Pla-siw-aw
2			<i>Cyprinus</i>	<i>C. carpio</i>	Carp	Pla-nai
3			<i>Cirrhinus</i>	<i>C. molitorella</i>	Mud carp	Pla-kang
4			<i>Henicorhynchus</i>	<i>H. siamensis</i>	Jullien's mud carp	Pla-xy-khaw
5			<i>Hampala</i>	<i>H. dispar</i>	Eye-spot barb	Pla-kra-sub-cud
6			<i>Puntioplites</i>	<i>P. falcifer</i>	Smith's barb	Pla-sakang
7			<i>Barbonymus</i>	<i>B. gonionotus</i>	Java barb, Silver barb	Pla-tapheyn-khaw
8			<i>Barbonymus</i>	<i>B. altus</i>	Red tinfoil barb	Pla-tapheyn-thxng
9			<i>Hypsibarbus</i>	<i>H. wetmorei</i>	Golden belly barb	Pla-thaphak
10			<i>Labeo</i>	<i>L. dyocheilus</i>	-	Pla-bua, Pla-zhuang
11			<i>Osteochilus</i>	<i>O. vittatus</i>	Bonylip barb, Bitter dregs fish	Pla-xy-nok-kheaw
12	Siluriformes	Cobitidae	<i>Yasuhikotakia</i>	<i>Y. modesta</i>	Redtail botia	Pla-moo-hang-daeng
13			<i>Acanthopsis</i>	<i>A. choirorhynchus</i>	Horse-face loach	Pla-rak-kiwy
14		Siluridae	<i>Wallago</i>	<i>W. attu</i>	white sheatfish	Pla-khaw-kharw
15		Pangasiidae	<i>Pangasius</i>	<i>P. conchophilus</i>	Basa fish	Pla-phea
16			<i>Pangasius</i>	<i>P. bocourti</i>	Basa fish	Pla-mong, Pla-yang
17			<i>Pangasius</i>	<i>P. sanitwongsei</i>	Giant pangasius	Pla-taepa

Table 1 Fish species in Lower Songkhram River Basin, Nakhon Phanom Province in 2018 (Continue)

No.	Order	Family	Genera	Species	Common name	Local name
18	Perciformes	Bagridae	<i>Belodontichthys</i>	<i>B. truncates</i>	Twisted-jaw catfish	Pla-kob
19			<i>Phalacronotus</i>	<i>P. bleekeri</i>	Whisker sheatfish	Pla-daeng, Pla-nang
20			<i>Mystus</i>	<i>M. multiradiatus</i>	Blue-stripped catfish, Striped dwarf catfish	Pla-khayeng-khang-lai
21			<i>Hemibagrus</i>	<i>H. wyckioides</i>	Red tail mystus	Pla-kod-keaw,
23		Channidae Ambassidae	<i>Channa</i>	<i>C. striata</i>	Striped snakehead fish	Pla-chon
22	Osteoglossiformes	Pristolepididae				
		Notopteridae	<i>Chitala</i>	<i>C. ornata</i>	Clown knifefish, Clown featherback	Pla-kry, Pla-tong
24	Synbranchiformes		<i>Parambassis</i>	<i>P. siamensis</i>	Humpheaded glassfish, Humphead perchlet	Pla-pan-keaw
25			<i>Pristolepis</i>	<i>P. fasciata</i>	Striped tiger leaffish	Pla-mor-chang-yeab
26		Mastacembelidae	<i>Macrognathus</i>	<i>M. siamensis</i>	Peacock Eel, Spotted Spiny Eel	Pla-lod
27	Tetraodontiformes	Tetraodontidae	<i>Pao</i>	<i>P. brevirostris</i>	-	Pla-pak-pao-dom-mekhong

**Figure 2** Composition of fish orders collected from 4 sampling sites in Lower Songkhram river basin.

เมื่อพิจารณาผลความชุกชุมสัมพัทธ์ในภาพรวมทั้ง 4 สถานีพบว่าค่าเฉลี่ยความชุกชุมสัมพัทธ์ฤดูร้อน มีค่า 3.79 ฤดูฝนและฤดูหนาว มีค่าความชุกชุมสัมพัทธ์เท่ากัน คือ 3.70 ซึ่งมีความชุกชุมสัมพัทธ์อยู่ในระดับปานกลาง ปลาที่มีค่าเฉลี่ยความชุกชุมสัมพัทธ์มาก

สุดคือ ปลาแบนแก้ว (*Parambassis siamensis*) รองลงมาคือ ปลาแดง (*Phalacronotus bleekeri*) และ ปลาตะเพียนขาว (*Barbonymus gonionotus*) ตามลำดับ ดังแสดงใน Table 2

Table 2 Relative abundance of fishes in the Lower Songkhram River Basin Nakhon Phanom Province in hot, rainy and cold season, 2018

No.	Scientific name	Mean of Relative abundance			
		Hot season	Rainy season	Cold season	Mean
1	<i>Luciosoma bleekeri</i>	6.06	6.93	4.13	5.71
2	<i>Cyprinus carpio</i>	1.36	1.25	1.16	1.25
3	<i>Cirrhinus molitorella</i>	3.61	3.94	3.85	3.80
4	<i>Henicorhynchus siamensis</i>	4.45	4.48	4.56	4.50
5	<i>Hampala dispar</i>	0.79	0.66	0.70	0.72
6	<i>Puntioplites falacifer</i>	3.44	3.32	4.19	3.65
7	<i>Barbonymus gonionotus</i>	7.09	5.39	5.28	5.92
8	<i>Barbonymus altus</i>	5.03	5.06	5.04	5.04
9	<i>Hypsibarbus wetmorei</i>	1.32	1.58	0.83	1.24
10	<i>Labeo dyocheilus</i>	1.22	1.15	0.78	1.05
11	<i>Osteochilus vittatus</i>	1.68	1.45	1.18	1.43
12	<i>Yasuhikotakia modesta</i>	2.63	1.38	3.17	2.39
13	<i>Acantopsis choirorhynchus</i>	4.11	3.11	4.60	3.94
14	<i>Wallago attu</i>	3.53	4.62	3.77	3.97
15	<i>Pangasius conchophilus</i>	6.32	4.83	5.45	5.53
16	<i>Pangasius bocourti</i>	3.22	4.21	4.67	4.03
17	<i>Pangasius sanitwongsei</i>	5.59	4.96	6.24	5.60
18	<i>Belodontichthys truncates</i>	5.24	8.75	6.15	6.71
19	<i>Phalacrotonotus bleekeri</i>	3.31	2.53	1.87	2.57
20	<i>Mystus multiradiatus</i>	3.39	3.41	4.42	3.74
21	<i>Hemibagrus wyckioides</i>	1.92	1.00	0.86	1.26
22	<i>Chitala ornata</i>	4.19	5.40	6.38	5.32
23	<i>Channa striata</i>	6.74	4.06	6.41	5.74
24	<i>Parambassis siamensis</i>	7.51	10.24	9.16	8.97
25	<i>Pristolepis fasciata</i>	4.54	2.07	1.95	2.85
26	<i>Macrognathus siamensis</i>	3.08	4.21	3.00	3.43
27	<i>Pao brevirostris</i>	1.06	0.04	0.24	0.45
Mean		3.79	3.70	3.70	3.73

เมื่อพิจารณาค่าองค์ประกอบชนิดปลา พบว่า ปลาที่มีค่าองค์ประกอบชนิดมากที่สุดสามลำดับแรก ได้แก่ ปลาแบนแก้ว (*Parambassis siamensis*) ปลาแดง (*Phalacrotonotus bleekeri*) และปลาทอง (*Chitala ornata*) ส่วนปลาที่มีค่าองค์ประกอบชนิดน้อยที่สุดคือ ปลาปักเป้าดำแม่น้ำโขง (*Pao brevirostris*) ดังแสดงใน Table 3 สำหรับค่าดัชนีความหลากหลายชนิด พบว่าสถานีที่มีค่าดัชนีความหลากหลายชนิดและมีค่าดัชนีความมากมายชนิดมากที่สุดคือ สถานี

สำรวจบ้านตาลปากน้ำ เท่ากับ 3.100 และ 3.561 ตามลำดับ ส่วนสถานีที่มีค่าดัชนีความหลากหลายชนิดน้อยที่สุดคือ สถานีสำรวจบ้านท่าบ่อ เท่ากับ 3.012 และสถานีที่มีค่าดัชนีความมากมายชนิดน้อยที่สุดคือ สถานีบ้านปากอูน เท่ากับ 3.245 ค่าดัชนีความหลากหลายชนิดรวมทุกสถานีเฉลี่ย เท่ากับ 3.060 และค่าดัชนีความมากมายชนิดรวมทุกสถานี เท่ากับ 3.332 ดังแสดงใน Table 3

Table 3 % species composition, Diversity Index and Species Richness in the Lower Songkhram River Basin Nakhon Phanom Province in 2018

No.	Scientific name	Number of individuals per stations				Total	% species composition
		1	2	3	4		
1	<i>Luciosoma bleekeri</i>	87	77	128	51	343	5.481
2	<i>Cyprinus carpio</i>	15	20	32	11	78	1.246
3	<i>Cirrhinus molitorella</i>	58	61	46	76	241	3.851
4	<i>Henicorhynchus siamensis</i>	78	74	46	81	279	4.458
5	<i>Hampala dispar</i>	0	12	22	20	54	0.863
6	<i>Puntioplites falacifer</i>	46	52	72	51	221	3.531
7	<i>Barbonymus gonionotus</i>	88	101	87	93	369	5.896
8	<i>Barbonymus altus</i>	77	77	82	76	312	4.986
9	<i>Hypsibarbus wetmorei</i>	19	24	19	20	82	1.310
10	<i>Labeo dyocheilus</i>	12	12	17	25	66	1.055
11	<i>Osteochilus vittatus</i>	17	13	20	35	85	1.358
12	<i>Yasuhikotakia eos</i>	84	0	0	0	84	1.342
13	<i>Acantopsis choirorhynchus</i>	59	45	36	48	188	3.004
14	<i>Wallago attu</i>	61	61	65	73	260	4.155
15	<i>Pangasius conchophilus</i>	102	44	56	85	287	4.586
16	<i>Pangasius bocourti</i>	65	62	64	81	272	4.346
17	<i>Pangasius sanitwongsei</i>	23	19	22	15	79	1.262
18	<i>Phalacronotus bleekeri</i>	79	118	132	135	464	7.415
19	<i>Mystus multiradiatus</i>	28	48	24	23	123	1.965
20	<i>Hemibagrus wyckioides</i>	61	65	44	65	235	3.755
21	<i>Belodontichthys truncates</i>	83	77	91	94	345	5.513
22	<i>Chitala ornata</i>	66	89	124	112	391	6.248
23	<i>Channa striata</i>	72	101	102	101	376	6.008
24	<i>Parambassis siamensis</i>	115	170	198	177	660	10.547
25	<i>Pristolepis fasciata</i>	20	44	44	36	144	2.301
26	<i>Macrogathus siamensis</i>	58	55	52	47	212	3.388
27	<i>Pao brevirostris</i>	8	0	0	0	8	0.128
Total of species		27	25	25	25	27	Mean 25.500
Total of individuals		1,481	1,521	1,625	1,631	6,258	Mean 1,564.500
Diversity Index		3.101	3.093	3.012	3.035	0.023	Mean 3.060
Species Richness		3.561	3.276	3.246	3.245	2.756	Mean 3.332

จากผลการศึกษาความหลากหลายชนิดของปลาและความชุกชุมของปลาที่จับได้ด้วยวิธีประมงพื้นบ้านในลุ่มน้ำสงครามตอนล่างในรอบปี พ.ศ. 2561 จำนวน 4 สถานี 3 ฤดูกาล จำนวนรวมทั้งสิ้น 6,258 ตัวอย่าง พบว่า จำแนกได้เป็น 6 อันดับ 11 วงศ์ 24 สกุล 27 ชนิด พบว่า ปลาที่สำรวจพบมากที่สุดอยู่ในอันดับ Cypriniformes คิดเป็นร้อยละ 48.15 เมื่อเปรียบเทียบการรายงานการศึกษาในอดีตพบว่าปลาดตะเพียนพบมากที่สุดในแหล่งน้ำจืด และมีการแพร่กระจายกว้างมากที่สุดในปลา น้ำจืดทั้งหมด (Suvarnaksha et al., 2010; Saini & Dube, 2017; Tuncharoen et al., 2020) จากการสำรวจปลาในพื้นที่ลุ่มน้ำสงครามตอนล่างครั้งนี้มีค่าความชุกชุมสัมพัทธ์ในรอบปีอยู่ในระดับปานกลาง โดยค่าเฉลี่ยความชุกชุมสัมพัทธ์มากที่สุดในฤดูร้อนมีค่า 3.79 รองลงมาคือฤดูฝนและฤดูหนาวมีค่าความชุกชุมสัมพัทธ์เท่ากันคือ 3.7 เนื่องจากในฤดูฝนปลามีการแพร่กระจายในพื้นที่กว้างซึ่งทำให้จับปลาได้ยากและได้จำนวนน้อยต้องอาศัยเครื่องมือที่เหมาะสม (Offem et al., 2011) รวมทั้งพฤติกรรมการอพยพของปลาไปมาในมีระยะทางหลายร้อยกิโลเมตร (Rainboth, 1996) ปลาชนิดเด่นที่สำรวจพบ ได้แก่ ปลาแป้นแก้ว (*Parambassis siamensis*) รองลงมาคือ ปลาแดง (*Phalacronotus bleekeri*) และปลาดตะเพียนขาว (*Barbonymus gonionotus*) ตามลำดับ กลุ่มชนิดปลาดังกล่าวนี้ชาวบ้านเรียกว่า ปลาค้างว้าง คือปลาที่อพยพมาจากแม่น้ำโขงเข้ามาหา กินและวางไข่ในพื้นที่ป่าทุ่งปทุมมาช่วงฤดูฝนระหว่างเดือนพฤษภาคม

ถึงเดือนกรกฎาคม และไม่ได้อพยพกลับสู่แม่น้ำโขงในช่วงน้ำลดระหว่างเดือนตุลาคมถึงเดือนพฤศจิกายนแต่ยังคงอาศัยหากินและเติบโตในป่าทุ่งปทุมมาต่อไป (Tai Baan Research, 2005) ในช่วงเวลานี้กระแสน้ำเริ่มลดลงและไหลไม่แรง ชาวประมงพื้นบ้านใช้ข่ายเพื่อจับปลาโดยการนำกิ่งไม้เศษไม้ทำเป็นกองเพื่อเลียนแบบที่อยู่ของปลา (Chantabut et al., 2015) มีรายงานพบว่าเครื่องมือประมงพื้นบ้านในลุ่มแม่น้ำสงครามตอนล่างมีจำนวน 63 ชนิด เช่น กะช่อ กะบัง ขา ข้องทุกประเภท ขวง ไซประเภทต่าง ๆ โคน สวิง สุ่ม ส้อม แหประเภทต่าง ๆ เป็นต้น เครื่องมือที่ใช้จับปลาที่มีความเฉพาะกับชนิดของปลา เช่น ปลาแป้นแก้ว ปลาแดงใช้เครื่องมือ เช่น ข้อง มอ ง สะดุ้ง โต่ง และกัก (Tai Baan Research, 2005) ชนิดปลาที่มีความชุกชุมสัมพัทธ์ในระดับสูงและพบได้ในรอบปี ได้แก่ ปลาขบ (*Belodontichthys truncates*) ปลาทราย (*Chitala ornata*) ปลาดตะเพียนทอง (*Barbonymus altus*) และปลาชีวอำว (*Luciosoma bleekeri*) ปลากลุ่มนี้จัดเป็นกลุ่มปลาอพยพระหว่างแม่น้ำโขงกับแม่น้ำสงคราม (Tai Baan Research, 2005) โดยในช่วงเดือนเมษายนเป็นช่วงอพยพของปลาเกล็ด สำหรับปลาหนังจะอพยพในช่วงเดือนพฤษภาคม (Uawonggul et al., 2019) เมื่อพิจารณาการแพร่กระจายของปลาในแต่ละสถานีสำรวจ พบว่าค่าดัชนีความหลากหลายชนิดและค่าดัชนีความมากชนิดรวมทุกสถานีสำรวจมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 3.060

และ 3.332 ตามลำดับ สถานที่ที่มีค่าดัชนีความหลากหลายชนิด และมีความดัชนีความหลากหลายมากที่สุดคือ สถานีสำรวจบ้านตาลปากน้ำ อำเภอยะบุรี สะท้อนถึงความอุดมสมบูรณ์ของสภาพแวดล้อมในลุ่มน้ำสงครามตอนล่าง เนื่องจากเป็นพื้นที่บริเวณปากแม่น้ำสงครามออกสู่แม่น้ำโขง สอดคล้องกับรายงานวิจัยการศึกษาความหลากหลายชนิดของปลาในแม่น้ำโขงในปี พ.ศ. 2562 พบว่าสถานีสำรวจบ้านตาลปากน้ำ อำเภอยะบุรี มีความหลากหลายของชนิดและค่าองค์ประกอบชนิดปลามากที่สุด (Uawonggul et al., 2019) มีรายงานการพบความหลากหลายของชนิดปลาแม่น้ำสงครามในจังหวัดนครพนมเมื่อปี พ.ศ. 2545 พบชนิดปลา 149 ชนิด 33 วงศ์ โดยใช้เครื่องมือประมง โต้ อวน ทับตลิ่ง ลอบยื่น ยอขันช่อ และกีดต้อน การศึกษาในเวทีวิทยาสังเคราะห์ปลาและสภาวะการประมงในพื้นที่ของลุ่มน้ำสงครามตอนล่าง พบว่าปริมาณผลผลิตปลาบางส่วนที่ประเมินได้จากผลจับปลาของเครื่องมือประมงชนิดที่มีประสิทธิภาพมาก มีปริมาณ 1,400 ตันต่อปี ผลผลิตปลาจากการจับปลาด้วยเครื่องมือโต้ 149.10 ตัน อวนทับตลิ่ง 245.30 ตัน ลอบยื่น 181.40 ตัน ยอขันช่อ 278.80 ตัน ข้อนสนั่น 24 ตัน และการทำประมงกีดต้อน 522.50 ตัน (Boonyaratphalin et al., 2002) รายงานการศึกษานิตปลาบริเวณปากแม่น้ำสงคราม พบปลาแดง (*Phalacrodon bleekeri*) มีค่าองค์ประกอบชนิดปลามากที่สุด โดยใช้เครื่องมือคือ ลอบ ชนิดปลาส่วนใหญ่ที่สำรวจพบในอดีตยังพบได้ในงานวิจัยในครั้งนี้ ได้แก่ ปลาทราย (*Chitala ornata*) ปลาหมอช้างเหยียบ (*Pristolepis fasciata*) ปลาแขยงข้างลาย (*Mystus multiradiatus*) โดยปลากลุ่มนี้จัดเป็นปลาประจำถิ่นในลุ่มน้ำสงครามตอนล่าง (Tai Baan Research, 2005) นอกจากนี้ได้สำรวจพบปลาหมูหางแดง (*Yasuhikotakia eos*) และปลาปักเป้าดำแม่น้ำโขง (*Pao brevirostris*) ที่พบเฉพาะสถานีสำรวจบ้านตาลปากน้ำ อำเภอยะบุรีเท่านั้น เนื่องจากปลาทั้งสองชนิดนี้เป็นปลาอพยพระหว่างแม่น้ำโขงและแม่น้ำสงคราม (Tai Baan Research, 2005) สถานที่ที่มีค่าดัชนีความหลากหลายชนิดน้อยที่สุดคือสถานีสำรวจบ้านท่าบ่อซึ่งอาจเกิดจากการพัฒนาพื้นที่ทำนบกั้นดินบริเวณริมฝั่งลำน้ำสงครามทำให้ลำน้ำมีความขุ่นมากขึ้น นอกจากนี้ยังมีองค์ประกอบด้านอื่นๆ เช่น การเปลี่ยนแปลงเชิงนิเวศวิทยาในพื้นที่รูปแบบวิถีชีวิตชาวประมงริมฝั่งที่เปลี่ยนแปลงไป ตลอดจนความแปรปรวนของสภาพภูมิอากาศ และฤดูกาลล้วนส่งผลกระทบต่อคุณภาพน้ำซึ่งมีผลโดยตรงกับสัตว์น้ำ แพลงก์ตอน และความชุกชุมของปลา ความหลากหลายชนิดของปลา และความอุดมสมบูรณ์ด้านความหลากหลายทางชีวภาพของลุ่มน้ำสงคราม (Offem et al., 2011; Uawonggul et al., 2019) สำหรับกลุ่มปลาที่มีองค์ประกอบชนิดปลามีค่าน้อยและสำรวจไม่พบในบางสถานีสำรวจ ได้แก่ ปลาบัว (*Labeo dyocheilus*) ปลาปักเป้าแม่น้ำโขง (*Pao brevirostris*) ปลากระสับจุด (*Hampala dispar*) ปลาตะพาบ (*Hypsibarbus wetmorei*) ปลาสร้อยนกเขา (*Osteochilus vittatus*) และปลาเทพา (*Pangasius sanitwongsei*) เป็นต้น ปลาในลุ่มน้ำสงครามบางชนิดถูกจัดกลุ่มใกล้สูญพันธุ์อย่างยิ่งยวดในลุ่มน้ำสงคราม เช่น ปลาแกง (*Cirrhinus molitorella*) และปลาเค้าขาว (*Wallago attu*) เป็นต้น (Tai Baan Research, 2005) ทั้งนี้มีรายงานสำรวจพบปลาแกง (*Cirrhinus molitorella*) ในแม่น้ำโขงปี พ.ศ. 2556 (Rattanamalee et al., 2013) และพบในลุ่มน้ำสงครามตอนล่างในปี พ.ศ. 2558 (Chantabut

et al., 2015) เมื่อตรวจสอบสถานภาพชนิดพันธุ์ที่ถูกคุกคามโดยใช้หลักเกณฑ์ตามสหภาพระหว่างประเทศเพื่อการอนุรักษ์ธรรมชาติ (IUCN) ในการสำรวจครั้งนี้พบปลาที่มีสถานภาพถูกคุกคามในระดับใกล้สูญพันธุ์อย่างยิ่ง (Critically Endangered) จำนวน 1 ชนิด คือ ปลาเทพา (*Pangasius sanitwongsei*) ปลาที่มีสถานภาพถูกคุกคามในระดับมีแนวโน้มใกล้สูญพันธุ์ (Vulnerable) จำนวน 1 ชนิด คือ ปลาเค้าขาว (*Wallago attu*) และปลาที่มีสถานภาพใกล้ถูกคุกคาม (Near Threatened) จำนวน 1 ชนิด คือ ปลาแกง (*Cirrhinus molitorella*) จากผลการวิจัยนี้แสดงให้เห็นถึงสถานภาพปลาที่มีแนวโน้มใกล้สูญพันธุ์และถูกคุกคาม ส่งผลให้มีการลดลงของประชากรปลาและมีโอกาสทำให้ปลาบางชนิดสูญพันธุ์ได้ในอนาคต ข้อมูลเมื่อปี พ.ศ. 2457 ชุมชนลุ่มน้ำสงครามตอนล่างมีการร่วมกันทำแนวอนุรักษ์วังปลา เขตอนุรักษ์พันธุ์สัตว์น้ำ ได้แก่ เขตอนุรักษ์วังแม่มาน เขตอนุรักษ์หอยทราย บ้านดอนมงคล ห้วยอาประซาน้อมเกล้า และเขตอนุรักษ์วัดพระเนาว์ (Rattanamalee et al., 2014) สำหรับในปัจจุบันพบว่าชาวประมงพื้นบ้านในลุ่มน้ำสงครามตอนล่างยังคงใช้ภูมิปัญญาและองค์ความรู้ของชุมชนในการใช้ประโยชน์และสร้างมูลค่าจากความหลากหลายทางชีวภาพ การจับปลาและนำมาแปรรูปปลาอันเป็นเอกลักษณ์ทางวัฒนธรรมของพื้นที่ลุ่มน้ำสงคราม หากแต่ในปัจจุบันการทำประมงเป็นการหาปลาเชิงการค้ามากขึ้น มีจำนวนความถี่ในการออกหาปลามากขึ้น (Chantabut et al., 2015) มีการใช้เครื่องมือที่ทันสมัยรวมถึงการลักลอบใช้เครื่องมือประมงต้องห้าม (Khruetakham et al., 2023) ส่งผลกระทบต่อความหลากหลายชนิดของปลาโดยตรง ดังนั้นงานวิจัยครั้งนี้จึงสามารถนำข้อมูลมาใช้ประโยชน์ในการจัดการทรัพยากร สร้างแนวทางอนุรักษ์พันธุ์ปลาในลุ่มน้ำสงครามตอนล่าง และการใช้ประโยชน์พึงพาจากทรัพยากรธรรมชาติอย่างยั่งยืน เพื่อคงความอุดมสมบูรณ์ของพื้นที่ทั้งทรัพยากรปลา แหล่งน้ำ และป่าไม้ในอนาคต

สรุปผลการวิจัย

การศึกษาความหลากหลายชนิดของปลาและความชุกชุมของปลาที่จับได้ด้วยวิธีประมงพื้นบ้านในลุ่มน้ำสงครามตอนล่าง จังหวัดนครพนม พบว่าวงศ์ปลาที่สำรวจพบมากที่สุดคือ อันดับ Cypriniformes รองลงมาคืออันดับ Siluriformes และอันดับ Perciformes ตามลำดับ ค่าดัชนีความหลากหลายชนิดและค่าดัชนีความมากชนิดรวมทุกสถานีเฉลี่ย เท่ากับ 3.060 และ 3.332 ตามลำดับ สถานที่ที่มีค่าดัชนีความหลากหลายชนิดและมีความดัชนีความมากชนิดมากที่สุดคือ สถานีสำรวจบ้านตาลปากน้ำ อำเภอยะบุรี เท่ากับ 3.100 และ 3.561 ตามลำดับ สำรวจพบปลาที่มีความชุกชุมสัมพัทธ์ในระดับสูงและพบตลอดทั้งปี ได้แก่ ปลาแป้นแก้ว (*Parambassis siamensis*) ปลาแดง (*Phalacrodon bleekeri*) และปลาตะเพียนขาว (*Barbonymus gonionotus*) ปลาส่วนใหญ่จัดอยู่ในกลุ่มปลาค้างวังที่อพยพมาจากแม่น้ำโขง การตรวจสอบสถานภาพชนิดพันธุ์ที่ถูกคุกคามตามหลักเกณฑ์สหภาพระหว่างประเทศเพื่อการอนุรักษ์ธรรมชาติ (IUCN) พบปลาที่มีสถานภาพถูกคุกคามในระดับใกล้สูญพันธุ์อย่างยิ่งคือปลาเทพา (*Pangasius sanitwongsei*) ปลาที่มีสถานภาพถูกคุกคามในระดับมีแนวโน้มใกล้สูญพันธุ์คือปลาเค้าขาว (*Wallago attu*) และปลาที่มีสถานภาพใกล้

ถูกคุกคาม คือ ปลาแกง (*Cirrhinus molitorella*) สะท้อนถึงความอุดมสมบูรณ์ของกลุ่มน้ำสงครามตอนล่างที่มีป่าป้างป่าทามและป่าชุมชน ดังนั้นการอนุรักษ์ ป่าป้าง และการมีส่วนร่วมของชุมชนในการจัดการทรัพยากรอย่างยั่งยืน จึงมีความสำคัญมากต่อการคงความอุดมสมบูรณ์ของชนิดพันธุ์ปลาและชนิดพันธุ์สัตว์น้ำในพื้นที่กลุ่มน้ำสงครามตอนล่าง ในอดีตจนถึงปัจจุบันมีการเสริมสร้างความเข้มแข็งในการอนุรักษ์โดยการจัดกิจกรรมเชิงอนุรักษ์ด้านทรัพยากรกลุ่มน้ำสงครามร่วมกันในชุมชนประจำปี คือ ประเพณีกินปลาน้ำสงคราม สะท้อนถึงการให้ความสำคัญกับกลุ่มน้ำสงครามอันเป็นแหล่งผลิตปลา คักยภาพชุมชนในเรื่องการจับปลา และแปรรูปปลาอันเป็นเอกลักษณ์ทางวัฒนธรรมของกลุ่มน้ำสงครามตอนล่าง ดังนั้นคนในชุมชนและภาครัฐหรือภาคที่เกี่ยวข้องควรมีการส่งเสริมความเข้าใจความรู้เสริมสร้างการอนุรักษ์ทรัพยากรปลาและสิ่งแวดล้อม เพื่อให้ทรัพยากรปลายังคงอยู่และฟื้นฟูให้ปลาบางชนิดเพิ่มขึ้นและกลับมาสู่แม่น้ำสงครามอีกครั้ง อย่างไรก็ตามในการวิจัยครั้งนี้ยังมีข้อจำกัดในเรื่องจำนวนและความหลากหลายของสถานี่สำรวจ รวมถึงข้อมูลจากปัจจัยด้านอื่น เช่น ข้อมูลด้านคุณภาพน้ำ เป็นต้น สำหรับข้อเสนอแนะในการวิจัยในอนาคตคือ การเพิ่มจำนวนสถานี่สำรวจ เพิ่มจำนวนครั้งในการออกเก็บตัวอย่างเพื่อให้ครอบคลุมพื้นที่ตลอดกลุ่มน้ำสงครามตอนล่าง ครอบคลุมทุกฤดูกาล การวิเคราะห์คุณภาพน้ำ และการหาความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยด้านนิเวศวิทยากับความหลากหลายชนิดของปลา เพื่อเป็นข้อมูลที่สำคัญต่อการวางแผนมาตรการและการจัดการทรัพยากรกลุ่มน้ำสงครามในอนาคตต่อไป

References

- Barlow, C. (2008). *Dams, fish and fisheries in the Mekong river basin*. Accessed December 1, 2024. Retrieved from https://archive.iwlearn.net/mrcmekong.org/Catch-Culture/vol14_2Sep08/dams-fish-fisheries.htm
- Boonyaratphalin, M., Kohanantakul, K., Sricharoenndham, B., Chittapalpong, T., Termvitchagorn, A., Thongpun, W., & Kakkaew, M. (2002). Ecology, fish biology and fisheries in the Lower Songkhram River Basin. *Thai fisheries gazette*, 55(6), 491-515. (in Thai)
- Chantabut, L., Borisutdhi, Y., & Mikhama, K. (2015). Fish in lower Songkhram river: catching, disappear and compensate. *Khon Kaen Agriculture Journal*, 43(Suppl 1), 1032-1038.
- Clarke, K. R., & Warwick, R. M. (1994). *Change in marine community: an approach to statistical analysis and interpretation* (1st ed.). Plymouth, England: Primer-E Ltd.
- Hortle, K., Lieng, S., & Valbo-Jorgensen, J. (2004). *An introduction to Cambodia's inland fisheries*. Mekong development Series no 4. Phnom Penh, Cambodia: Mekong River Commission.
- Inland Fisheries Research and Development Division. (2012). *Freshwater fish taxonomy and a manual for identification of fishes*. Retrieved from https://www4.fisheries.go.th/local/file_document/20180205154233_1_file.pdf (in Thai)
- Khruetakham, A., Pongtong, R., Doydee, P., Upha, B., & Ananpreechakorn, W. (2023). Sustainable utilization and creation of added value from the ecological diversity of the Songkhram river basin with the wisdom and knowledge of agricultural communities in Akat Amnuai District Sakon Nakhon Province. *Journal of Agricultural Production*, 5(1), 1-12. (in Thai)
- Kolding, J. (1989). *The fish resources of lake Turkana and their environment*. (Master's thesis). Bergen, Norway: Department of Fisheries Biology, University of Bergen.
- Kovitvadh, U., & Kovitvadh, S. (2007). *Preserving plant and animal specimens* (2nd ed.). Bangkok, Thailand: Kasetsart University Press. (in Thai)
- Mekong River Commission. (2010). *State of the basin report 2010*. Vientiane, Lao PDR: Mekong River Commission.
- Nonn, P. (2022). *Freshwater fishes of Thailand* (2nd ed.). Bangkok, Thailand: Siamensis press. (in Thai)
- Offem, B. O., Ayotunde, E. O., Ikpi, G. U., Ochang, S. N., & Ada, F. B. (2011). Influence of seasons on water quality, abundance of fish and plankton species of Ikwori lake, south-eastern Nigeria. *Fisheries and Aquaculture Journal*, 2(1), 1-18.
- Rainboth, W. J. (1996). *Fishes of the Cambodian Mekong*. FAO species Identification field guide for fishery purposes. Rome, Italy: Food and Agriculture Organization (FAO).
- Rattanamalee, C., Thippool, K., Sathorn, P., & Duangsong, T. (2014). Species diversity of fishes in Mekong river on Nai Mueang Sub-District, Mueang District and Chaiburee Sub-District, Tha-Uthen District, Nakhon Phanom Province area. *Proceedings of the 6th National/International academic and research conference* (pp. 595-605). Nakhon Phanom, Thailand: Nakhon Phanom University. (in Thai)
- Rattanamalee, C., Wongsriya, N., & Thamnanong, O. (2013). Species diversity of fishes in Mekong river on Mueang District, Nakhon Phanom Province area. *Proceedings of the 5th National research conference* (pp. 481-491). Nakhon Phanom, Thailand: Nakhon Phanom University. (in Thai)
- Saini, D., & Dube, K. K. (2017). Fish diversity studies of river Narmada, Jabalpur region (M.P). *International Journal of Fisheries and Aquatic Studies*, 5(5), 13-16.
- Sogkham, P. (2013). *An introduction to the fisheries of Lao PDR: Mekong development series no. 6*. Phnom Penh, Cambodia: Mekong River Commission (MRC).
- Sontirat, S. (1984). *Biology of fishes*. Bangkok, Thailand: Faculty of Fisheries, Kasetsart University. (in Thai)

- Suvarnaksha, A., Promya, J., & Chareonsiriwongthana, A. (2010). *Fish diversity in Salween watershed in Thai water*. Chiangmai, Thailand: Maejo University. (in Thai)
- Tai Baan Research. (2005). *Fish species in the “Paa Bung Paa Thaam”- local knowledge of fishers in the lower Songkhram river basin*. Chiangmai, Thailand: Wanida Kampim. (in Thai)
- Tuncharoen, S., Uppapong, S., & Soontornprasit, K. (2020). Diversity of fishes in Nong Leng Sai Wetland, Phayao Province. *Khon Kaen Agriculture Journal*, 48(2), 283-292. (in Thai). doi:10.14456/kaj.2020.25
- Uawonggul, N., Rattanamalee, C., & Daduang, S. (2019). Diversity of fish in Mekong river, Nakhon Phanom Province. *KKU Science Journal*, 47(3), 402-412. (in Thai)
- Vidthayanon, C. (2001). *Thai freshwater fish*. Bangkok, Thailand: Nanmeebooks. (in Thai)
- Vidthayanon, C. (2005). *Thailand red data: fishes*. Bangkok, Thailand: Office of Natural Resources and Environmental Policy and Planning. (in Thai)
- Vidthayanon, C. (2008). *Field guide to fishes of the Mekong Delta*. Vientiane, Laos: Mekong River Commission.

Research article

Species diversity and abundance fluctuation of fish by local fishery in the lower Songkhram River Basin, Nakhon Phanom Province

Chanaporn Rattanamalee¹ Nipawan Du Souich² and Wiwat Kaensa^{2*}

¹Department of Biology, Faculty of Science, Nakhon Phanom University, Mueang District, Nakhon Phanom Province, Thailand 48000

²Department of Biology, Faculty of Science, Udon Thani Rajabhat University, Mueang District, Udon Thani Province, Thailand 41000

ARTICLE INFO**Article history**

Received: 29 July 2024

Revised: 13 November 2024

Accepted: 14 December 2024

Online published: 27 December 2024

Keyword

Fish

Lower Songkhram river basin

Species diversity

Local fishery

ABSTRACT

The Lower Songkhram River Basin represents a critical reservoir of ichthyological diversity, with its forest ecosystem, particularly the “Bung-Tam” wetlands, serving as one of the most significant aquatic nurseries within the Mekong River and its tributaries. This study aimed to evaluate fish species diversity and abundance across four sampling stations in the lower Songkhram river basin, Nakhon Phanom Province, Thailand. Fish samples were collected seasonally throughout 2018 using traditional fishing techniques, including crab traps, fish traps, gill nets, seine nets, casting nets, and lifting nets. A total of 6,258 specimens were identified, encompassing 6 orders, 11 families, 24 genera, and 27 species. The orders Cypriniformes and Siluriformes were predominant. *Parambassis siamensis* and *Phalacrodon bleekeri* exhibited the highest relative abundances across all seasons. The Ban Tan Paknam station recorded the highest species diversity index (3.100) and richness index (3.561), with *Phalacrodon bleekeri*, *Barbonymus gonionotus*, and *Parambassis siamensis* dominating the species composition. Notably, the critically endangered species *Pangasius sanitwongsei*, as classified by the International Union for Conservation of Nature (IUCN), was identified, alongside one vulnerable species, *Wallago attu* and one near-threatened species, *Cirrhinus molitorella*. These findings underscore the importance of detailed species status assessments to inform strategies for the restoration, protection, conservation, and sustainable management of fish resources in the lower Songkhram river basin.

*Corresponding author

E-mail address: wiwat.ka@udru.ac.th (W. Kaensa)

Online print: 27 December 2024 Copyright © 2024. This is an open access article, production, and hosting by Faculty of Agricultural Technology, Rajabhat Maha Sarakham University. <https://doi.org/10.14456/paj.2024.59>



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

บทความวิจัย

คุณสมบัติของดินและคุณภาพน้ำต่อการผลิตกุ้งก้ามกรามในบ่อดินในจังหวัดกาฬสินธุ์

สาวิภา รัตนกร^{1*} เกษม เชตะวัน¹ บุญถม ทับสมบัติ¹ อุไร กุลบุญ¹ และ ทิฆัมพร กรรเจียก²

¹สาขาวิชาเทคโนโลยีการประมง คณะเทคโนโลยีการเกษตร มหาวิทยาลัยกาฬสินธุ์ อำเภอเมือง จังหวัดกาฬสินธุ์ ประเทศไทย 46000

²สถาบันวิทยาศาสตร์ทางทะเล มหาวิทยาลัยบูรพา อำเภอเมืองชลบุรี จังหวัดชลบุรี ประเทศไทย 20131

ข้อมูลบทความ

บทคัดย่อ

Article history

รับ: 27 มีนาคม 2567

แก้ไข: 26 พฤษภาคม 2567

ตอบรับการตีพิมพ์: 6 กันยายน 2567

ตีพิมพ์ออนไลน์: 27 ธันวาคม 2567

คำสำคัญ

กุ้งก้ามกราม

แหล่งกักตุนพืช

ผลผลิตกุ้งก้ามกราม

คุณภาพดิน

คุณภาพน้ำ

องค์ประกอบของดิน ปริมาณสารอาหารอนินทรีย์ที่ละลายน้ำมีบทบาทสำคัญในการจัดการคุณภาพน้ำและการผลิตกุ้งก้ามกรามเป็นอย่างยิ่ง การวิจัยครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อ 1) เพื่อศึกษาคุณภาพดิน คุณภาพน้ำ ปริมาณธาตุอาหาร และแหล่งกักตุนพืชในบ่อเลี้ยงกุ้งก้ามกราม และ 2) เพื่อศึกษาปัจจัยอื่นที่มีผลต่อการผลิตกุ้งก้ามกรามในจังหวัดกาฬสินธุ์ การศึกษาครั้งนี้เป็นการรวบรวมข้อมูลจากฟาร์มกุ้งก้ามกรามในอำเภอเมือง และอำเภอยางตลาด จังหวัดกาฬสินธุ์ โดยการสุ่มตัวอย่างบ่อเลี้ยงกุ้งก้ามกราม จำนวน 7 สถานี เพื่อทำการวิเคราะห์คุณภาพน้ำ คุณภาพดิน ปริมาณแหล่งกักตุน และผลผลิตกุ้งก้ามกราม พบว่า คุณภาพน้ำเฉลี่ยทุกตัวชี้วัดของบ่อเลี้ยงกุ้งก้ามกรามจากทุกสถานีมีการเปลี่ยนแปลงใกล้เคียงกับแหล่งน้ำธรรมชาติและมีคุณภาพอยู่ในเกณฑ์คุณภาพน้ำที่เหมาะสมในการดำรงชีวิตและการเจริญเติบโตของสัตว์น้ำ ขณะที่คุณภาพดินของบ่อเลี้ยงทุกสถานีมีความแตกต่างกัน ($p < 0.05$) ผันแปรตามลักษณะของดิน ยกเว้นค่า pH และปริมาณความชื้น ด้านผลผลิตกุ้งก้ามกรามจากทุกสถานี พบว่า เกษตรกรใช้ระยะเวลาในการเลี้ยง 4 เดือนและมีปริมาณผลผลิตไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($p > 0.05$) โดยผลผลิตกุ้งก้ามกรามที่สถานีที่ 2 และ 4 มีปริมาณผลผลิตเฉลี่ยมากกว่า 200 กก./ไร่ สำหรับการวิเคราะห์สหสัมพันธ์ พบว่า ผลผลิตกุ้งก้ามกรามได้รับอิทธิพลจากค่าความเป็นด่าง ดังนั้นเพื่อเป็นการส่งเสริมการผลิตกุ้งก้ามกรามควรมีการจัดการบ่อที่เหมาะสมเพื่อเป็นการกระตุ้นการเจริญเติบโตของกุ้งก้ามกราม รวมถึงการสร้างแหล่งอาหารธรรมชาติให้กับสัตว์น้ำ

Introduction

Aquaculture of shrimp and prawns in Thailand has proven to be a profitable and dynamic industry, with an increasing market demand for reliable and long-lasting professions. The giant freshwater prawn, *Macrobrachium rosenbergii*, is an economically important aquatic animal commonly farmed in freshwater areas. However, prawn farmers still face problems such as post-larvae management, food supply, farm management, water quality management, and diseases leading to unstable yields and insufficient supply to meet market demand. Modern technology is being employed to assist in feeding shrimp, and a management plan should include semi-intensive, intense, monoculture, and polyculture cultivation methods. The most

popular management technique involves a 30 – 60 days nursery period for post-larvae. After this, a combination approach is used for harvesting until the largest market size individuals are reached, starting at five months, and then harvesting occurs every 30 – 45 days (Schwantes et al., 2009; Tucker & Robinson, 1990). The average captured yield is 2,338 kg/ha-2/year (Schwantes et al., 2009). A probiotic additive has been shown to have a positive impact on the growth and production of giant freshwater prawns after eight months, with an average gross production of 639.49-933 kg/ha (Ghosh et al., 2016). The ecosystem of the prawn pond depends on the quality of water (Boyd, 1982), soil (Hasibuan et al., 2023), fertilizer (Adhikari et al., 2014), and phytoplankton (Kamilia et al., 2021) for optimal prawn

*Corresponding author

E-mail address: Sawipa.ru@ksu.ac.th (S. Ruttanakorn)

Online print: 27 December 2024 Copyright © 2024. This is an open access article, production, and hosting by Faculty of Agricultural Technology, Rajabhat Maha Sarakham University. <https://doi.org/10.14456/paj.2024.60>

production (Adhikari et al., 2014; Mredul et al., 2022). Soil quality aspects, such as pH, alkalinity, hardness, and dissolved oxygen, are linked to the characteristics of water quality. Changes in water quality are related to changes in soil quality (Hasibuan et al., 2023).

The concentration of oxygen in the pond increases due to the presence of phytoplankton, which modifies the water quality over the course of the agricultural season, among other factors. The production of aquatic creatures, such as prawns, is highly dependent on the water quality of the aquaculture pond. Studies have demonstrated a link between water quality and phytoplankton concentration and the development of yellow catfish (*Pelteobagrus fulvidraco*) in both mono- and polyculture systems (Wang et al., 2022). The dynamics of the phytoplankton population under intensive agriculture can be used to assess shrimp farming health indicators (Lyu et al., 2021). However, long-term shrimp farming may also lead to environmental issues such as ecological imbalance, environmental pollution, land degradation, sedimentation, and disease outbreaks (Zafar et al., 2016).

The quality of soil is a crucial factor in the success of aquaculture, as it has an immediate impact on water quality (Kumar et al., 2012). Benthic species, such as prawns, rely on sediment for food and shelter, and the sediment serves as a nutrient repository, supporting the growth of benthic algae, which in turn provide sustenance for other organisms. However, various farming aspects have been studied, including nutrient content, plankton abundance, soil quality, and water quality, in different locations. A comprehensive study of farmers in the

Kalasin Province region would be beneficial for gaining a better understanding of the facts and issues.

The purpose of this study is to investigate the impact of water quality and other factors on prawn production in Kalasin Province and provide guidelines for water quality management in prawn ponds. The study aims to address the issues caused by poor water quality in prawn farming and provide farmers with information and insights about the importance of soil quality and other pond-related concerns. By regulating water quality effectively, farmers can improve their profession's stability and sustainability, and increase their profitability while reducing the problems associated with poor water quality.

Materials and methods

The data for this study were collected through continuous monitoring of water quality in prawn farms located in Mueang District and Yang Talat District, Kalasin Province, Thailand. The dataset was compiled using a random intensive prawn culture pond method, and data was obtained from the Kalasin Provincial Fisheries Office 2019 database (Department of Fisheries, 2020). The study examined water quality, soil quality, plankton, and prawn production in prawn ponds at seven different stations across Kalasin Province, including Ban Tum, Ban Khok Kong, Ban Prong Khae, and Ban Pho Si (Bua Ban Subdistrict, Yang Talat District), Ban Non Phakdi, Ban Non Hua Chang (Na Chueak Subdistrict, Yang Talat District), and Ban Nong Muang (Lamphan Subdistrict, Mueang District) during March to August 2021 (Table 1 and Figure 1).

Table 1 Sampling stations to collect water quality, soil properties, and plankton

Station	No.	Site sample
Station 1 (St1)	KS1	103.425020 E 16.495345 N
	KS2	103.423222 E 16.501954 N
Station 2 (St2)	KS3	103.443746 E 16.520991 N
	KS4	103.452816 E 16.521940 N
Station 3 (St3)	KS5	103.455350 E 16.525744 N
	KS6	103.446498 E 16.535862 N
Station 4 (St4)	KS7	103.446391 E 16.536407 N
	KS8	103.434253 E 16.538146 N
Station 5 (St5)	KS9	103.387005 E 16.582799 N
	KS10	103.382936 E 16.580889 N
Station 6 (St6)	KS11	103.394984 E 16.576208 N
	KS12	103.393557 E 16.576642 N
Station 7 (St7)	KS13	103.467629 E 16.574925 N
	KS14	103.443425 E 16.575480 N

**Figure 1** Sampling stations to collected water quality, soil properties, and plankton.**Source:** Google Earth (2021)

Water quality determination

Water quality parameters were weekly measured, including transparency using a Secchi disc, temperature and pH using a portable pH meter (Hanna HI 98128), and dissolved oxygen using a portable dissolved oxygen meter (Hanna HI 9147). All measurements were taken between 9:00 a.m. and 12:00 p.m. from March to August 2021. Total dissolved solid (TDS), total alkalinity, total hardness, free carbon dioxide (Free CO_3), ammonia-nitrogen ($\text{NH}_3\text{-N}$),

orthophosphate (PO_4^{3-}), and chlorophyll a were analyzed in the laboratory using methods (Boyd & Tucker (1992): AOAC (2005): APHA (1981)).

Soil properties

At each station, soil samples were collected using a PVC tube soil sampler to a depth of 0-10 cm, with three cores taken from each pond to obtain a total of 15 individual samples at the beginning of the study. The samples were air dried and sieved to a positive size of 2 mm, then analyzed using the

sieve-pipette method to evaluate coarse particle distribution and quantify clay and silt. The soil texture was determined by combining the distribution of sand, clay, and silt with the textural triangle. The samples were also analyzed for total nitrogen (N) using the Kjeldahl method, available phosphorus (P) using the Bray no. 2 extraction method with spectrophotometry (molybdenum blue), and extractable potassium (K) using the ammonium acetate extraction and atomic absorption spectrophotometry. Moisture content (MC) was determined using the oven dried method, cation exchange capacity (CEC) was measured by the ammonium acetate saturation and distillation method, and organic matter mass fraction was calculated based on soil bulk density. Ammonia nitrogen (NH_4^+ -N) was determined using the 2 M KCl extraction and distillation with MgO, and pH and electric conductivity (EC) were measured using a pH meter and conductivity meter, respectively.

Phytoplankton analysis

Phytoplankton samples were collected from each pond on the sample day by sub-surface water collection (0.5 m below the water surface) using a 5-liter water sample via a plankton net with a 35 μm mesh size, as described above. The collected samples were immediately fixed with 4 % formaldehyde using the method of Wongrat & Boonyapiwat (2003). The identification and abundance of phytoplankton were determined by microscopic examination (Wongrat, 1999) and calculated using the counting chamber method (Wongrat & Boonyapiwat, 2003; Charubhun et al., 2003).

Statistical analysis

For the statistical analyses, analysis of variance (ANOVA) was performed. The aim was to explore the relationship among stations, water quality, soil parameters, phytoplankton, and prawn production.

Pearson's linear correlation coefficients were calculated to assess the relationships between these variables.

Results and Discussion

Water quality parameter

The water quality at all 7 stations showed that water temperature was high at station 6 (34.28°C) and low at station 3 (31.38°C) (Figure 2A). This high temperature was observed in April to May corresponding to the summer season of Thailand. Total dissolved solids were found to be related to transparency and were low at station 6 (0.003 ml/L) and high at station 7 (Figure 2C and B). Electric conductivity (EC) was observed to be high at station 2 (290.283 μSm^{-1}) and low at station 7 (Figure 2D). In general, EC of natural water is expressed by the presence of ions such as Ca_2^+ , Na^+ , K^+ , Mg_2^+ , Fe_2^+ , Fe_3^+ , or another form such as SO_4^{2-} , Cl^- , PO_4^- , NO_3^- . Thus, the high EC values at station 2 and station 4 indicate a high degree of mineralization in the ponds. The typical freshwater conductivity ranges from 20 to 1,500 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (Boyd, 1979). The average pH ranged as follows: station 4 (9.02 ± 0.49) exhibited a higher value than station 6 (8.97 ± 0.32), station 5 (8.82 ± 0.43), station 1 (8.82 ± 0.87), station 2 (8.81 ± 0.21), station 3 (8.57 ± 0.54), and station 7 (8.47 ± 0.53), respectively. There were no significant differences in pH among the stations ($p > 0.05$) (Figure 3A). The factors that contributed to the statistical difference in yield data were the result of a relatively high profile of prawn farming. Prawn production correlates with water quality factors such as hardness, alkalinity, and pH. These values suggest that the water quality is optimal, containing the appropriate mineral elements for the growth of phytoplankton, which is an important factor in the food chain.

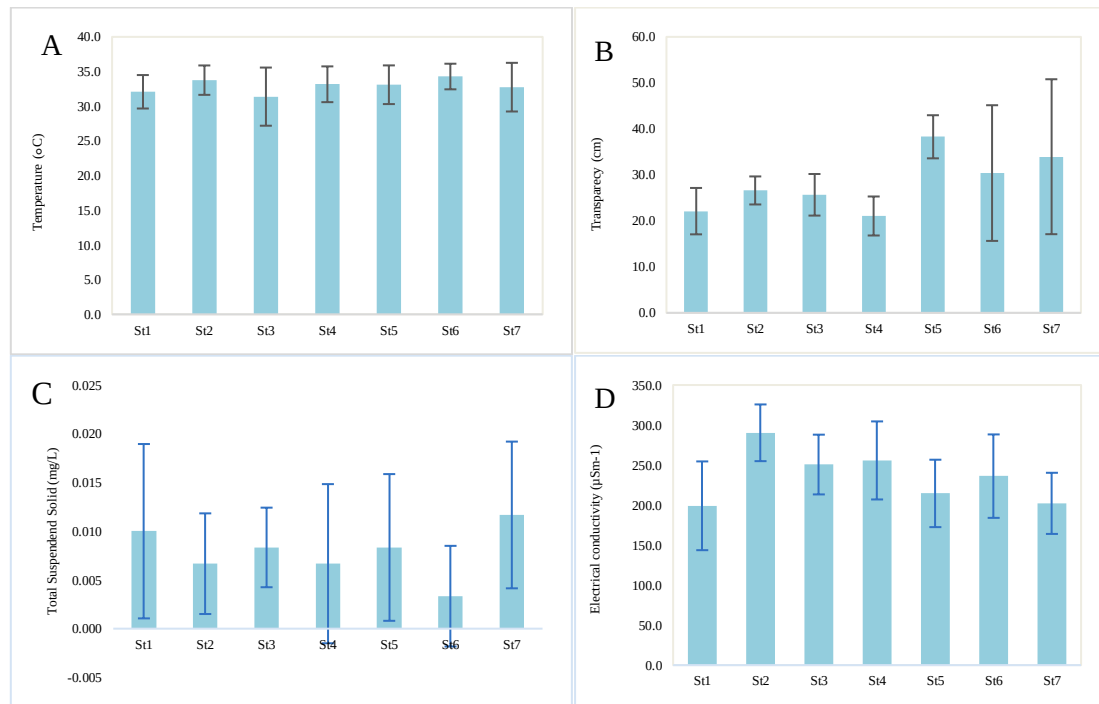


Figure 2 Physical characteristic of water quality; A: Temperature, B: Transparency, C: Total Suspended Solid, and D: Electrical conductivity.

The average of total alkalinity for 7 stations was between 38.50- 51.167 mg/L. The average of hardness ranged from 45.33 to 65.00 mg/L (Figure 3 B). The free carbon dioxide for the station 3 was highest (3.917 mg/L) and that at station 6 was lowest (1.063 mg/L) (Figure 3 G). The average of measured dissolved oxygen concentrations for the 7 stations were highest at station 1, 2, 4, 3, 7, 5, and 7, respectively (Figure 3 D). Ammonia nitrogen level depended on the station with the highest value found at station 4 (1.753 mg/L), and lowest value found at station 5 (0.923 mg/L) (Figure 3 E). The average of orthophosphate values is highest at the station 1 (0.164 mg/L) and data shown low values at all other stations (~ 0.01-0.02 mg/L) (Figure 3 F). The average chlorophyll values were

highest at the station 1 (318.50 mg/L), and lowest at station 6 (6.20 mg/L) (Figure 3 H). Chlorophyll a content was found to be highest at station 1 and in the range of 100-150 mg/L at station 2 and station 4, while station 3, 5, 6, and 7 showed low chlorophyll a content. Chlorophyll concentration indicates an excess of nutrients in the environment, and a strong phytoplankton effect can cause the pond's oxygen levels, which are essential for cultivation, to drop. Station 1, 3, 5, 6, and 7 had low yields compared to equivalent yield. Usually, farmers can regulate the phytoplankton concentration in the ponds. However, if the farmers are unable to do so, manipulating the nutrient content in the ponds would also have an influence on prawn output.

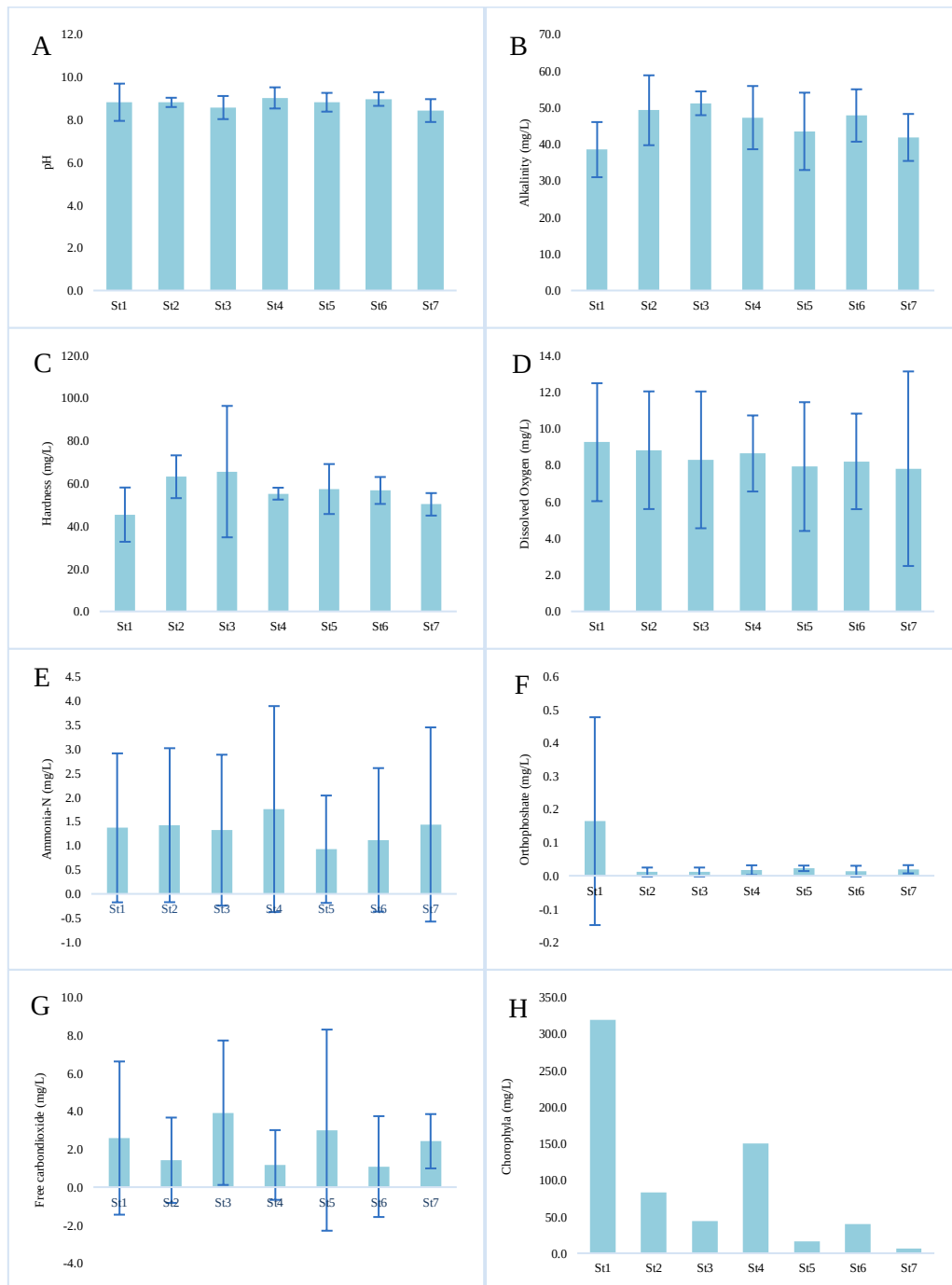


Figure 3 Chemical characteristic of water quality; A: pH, B: Alkalinity, C: Hardness, D: Dissolved oxygen, E: Ammonia-N, F: Orthophosphate, G: Free carbon dioxide, and H: Chlorophyll *a*

Soil organic content

The soil texture for all stations was determined and categorized into four types: sand, loamy sand, sandy loam, and loam (Table 2). The soil pH of all pond stations was recorded, ranging from 5.8 to 6.7 (Figure 4A). No significant variation in soil pH was found. The chemical properties of the stations were measured at the beginning and end of

the survey to observe any changes. The application of pelleted feed resulted in an increase in nutrient concentrations in the pond water, which was reflected in the higher levels of EC, ECE, MC, organic matter, ammonia nitrogen, nitrogen, phosphorus, and potassium data shown in figure 4 B, C, D, E, and F.

Table 2 Percentage of composition and texture class of soil collected from different station

Station	No.	Sand (%)	Silt (%)	Clay (%)	Soil Texture	Particle density (g/ml)
Station 1 (St1)	KS1	79.84	17.34	2.82	Loamy sand	2.64
	KS2	55.4	33.48	11.12	Sandy loam	2.6
Station 2 (St2)	KS3	73.97	22.81	3.22	Loamy sand	2.59
	KS4	83.77	12.46	3.77	Loamy sand	2.62
Station 3 (St3)	KS5	82.59	15.52	1.89	Loamy sand	2.64
	KS6	70.51	18	11.49	Sandy loam	2.64
Station 4 (St4)	KS7	88.08	8.81	3.11	Sand	2.64
	KS8	54.77	36.16	9.07	Sandy loam	2.65
Station 5 (St5)	KS9	85.21	12.39	2.4	Loamy sand	2.72
	KS10	46.85	41.11	12.04	Loam	2.63
Station 6 (St6)	KS11	53.65	44.46	1.89	Sandy loam	2.65
	KS12	51.89	36.79	11.32	Loam	2.64
Station 7 (St7)	KS13	73	23.63	3.37	Sandy loam	2.64
	KS14	85.63	9.39	4.98	Loamy sand	2.58

Effect of the earthen pond soil quality on water quality and productivity

Although the concentration of water quality variables does not vary by pond stations, the relationship between water quality concentration and bottom soil quality was more apparent. Pearson's linear correlation coefficients were calculated between soil nutrient parameters, water quality, and production for all stations (Table 3). Most of the concentrations of water quality variables were positively correlated with soil pH, $\text{NH}_3\text{-N}$, MC, N, P, OM, and productivity.

The quality of earthen pond differentiation affected the quality of the pond water nutrient concentrations which were directly corrected with soil N, P, OC (Hasibuan et al., 2023), including the increase in suspended solids and nutrients in the water (Wang et al., 2022). Soil quality is a crucial factor in determining prawn productivity as it influences pond bottom stability, pH of overlaying water, and concentrations of phytoplankton nutrients required for growth. Sandy, clay, and loam is considered to be the most suitable soil type for aquaculture (Siddique et al., 2012). For semi-intensive and intensive culture systems that rely on artificial food as the primary source of nutrition, a soil type ranging from sandy, clay, and loam to sandy loam is preferred. Soil pH is an

important factor for prawn farmers who use lime to maintain water quality in the ponds. Banerjee (1967) notes that soil pH can depend on various factors. Poor aeration of the sediment layer can lead to reduced decomposition rates and partial oxidation of products, resulting in the undesirable production of H_2S , CH_4 , and short-chain fatty acids. These compounds can make the soil acidic and reduce bacterial activity, ultimately leading to lower productivity. Soils with high organic content are prone to rapid decomposition by bacteria and other microorganisms. These soils typically have between 30 % and 40 % organic matter, which makes them unsuitable for pond aquaculture and should be avoided. In the present study, the highest amount of organic matter recorded was 0.28 % to 0.77 %.

Calcium and phosphorus levels in natural water must be associated as this is a sign of water abundance. Particularly crucial components for the construction of an organism's body are calcium and phosphorus, which are linked to vitamin D. Another advantage of smaller calcium stores is that they will be less likely to be utilized (Boyd, 1982). Typically, soils have low levels of phosphorus and potassium. These levels can vary depending on water quality factors such as pH, O_2 , and CO_2 (Table 3). Siddique et al.

(2012) conducted a study on the comparative physiology and chemical properties of soil based on the age of aquaculture ponds in Bangladesh. They found that the age of the pond did not affect soil pH, but had a

significant impact on the accumulation of organic matter, organic carbon, silt, and clay, which increased rapidly with prolonged use. This can lead to pond deterioration.

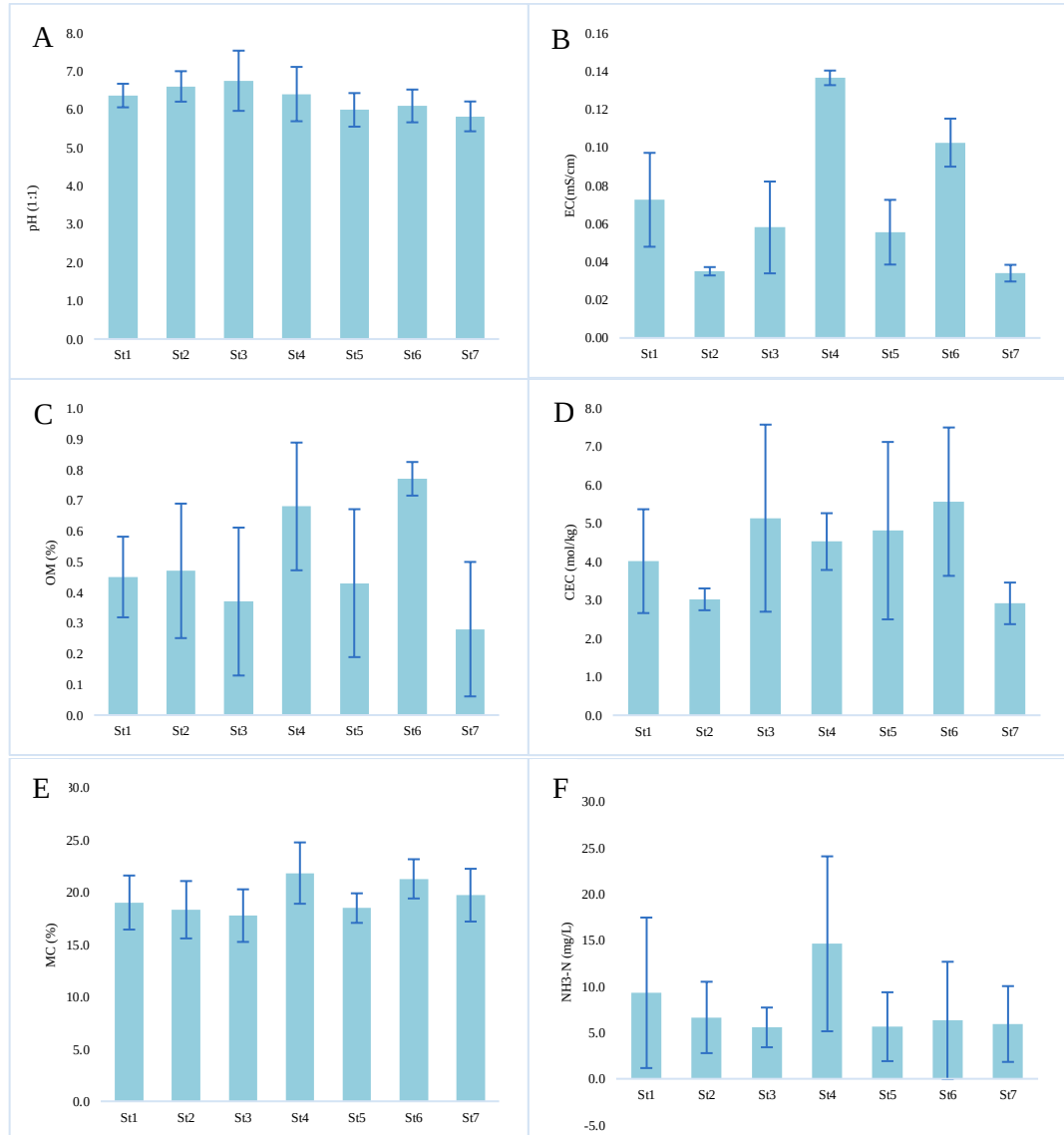


Figure 4 Chemical characteristic of soil quality; A: pH, B: EC (Electric conductivity), C: OM (Organic matter), D: CEC (Cation exchange capacity), E: MC (Moisture content), F: NH₃-N (Ammonia-nitrogen).

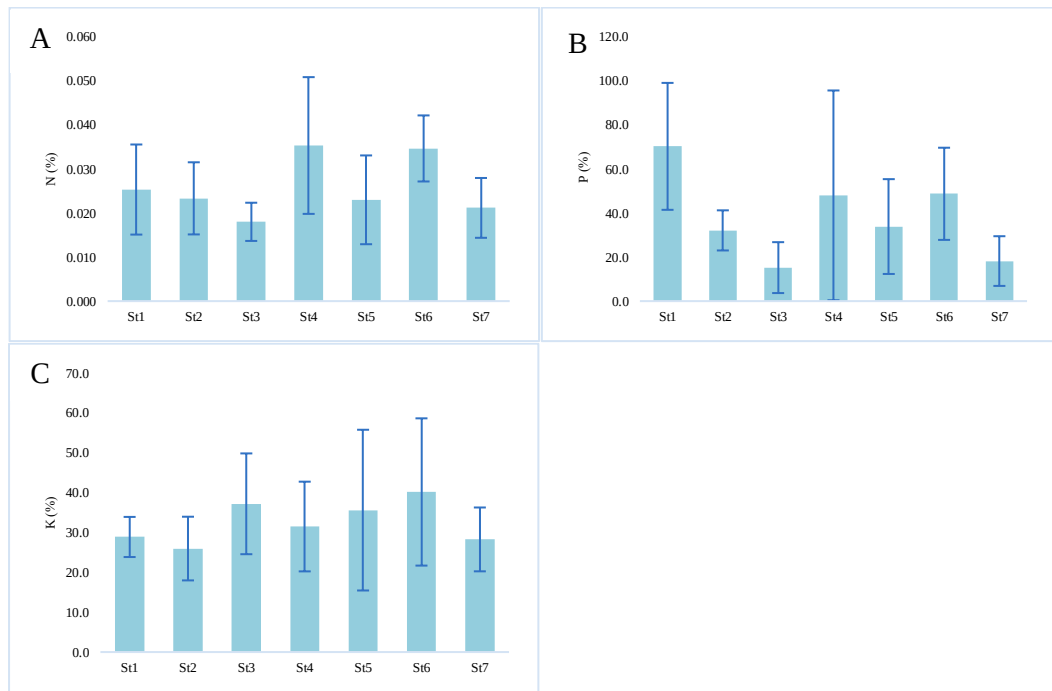


Figure 5 Primary nutrients in ponds; A: N (Nitrogen), B: P (Phosphorus), C: K (Potassium).

Biological quality parameter (Phytoplankton)

Greater station enhanced soil organic matter and nutrition content, which influenced water nutrient content (N, P, and K) but did not change phytoplankton richness. The phytoplankton population in all station were composed of seven major groups: Cyanochloronta (3.13 %), Cyanophyta (18.75 %), Chlorophyta (37.50 %), Chromophyta (12.50 %), Chrysophyta (12.50 %), Pyrrophyta (6.25 %), and Euglenophyta (9.37 %). This resulted in greater phytoplankton growth in response to greater nutrient concentrations.

Production of giant freshwater prawns

Harvesting was carried out at the end of 4 months cultivation period. At stations 2 and 4 production is 207 and 215 kg/rai, respectively, which is higher than the other stations (1, 3, 5, 6, and 7; Figure 6) with no significant different ($p > 0.05$). A rai of land can yield up to 215 kg of prawns, offering financial benefits to farmers and providing them with a sustainable career in prawn farming. However, the water quality in all agricultural pond stations has not significantly deviated from that of natural water sources.

When examining the correlation between prawn production at station 2 and station 4 (207.50 ± 130.81 and 215.00 ± 0.00 kg/rai) (Figure 5), it was found that prawn production statistics were associated with the EC of the water. EC is a widely used parameter in aquaculture systems and is used as an indicator of the total dissolved solids or the degree of ionization of water (Boyd, 1979).

Table 3 Correlations among the water and soil parameters at the seven stations

	Correlations																								
	TEM	LIGHT	CON	PHW	DO	CO ₂	ALK	HARD	NH	PO ₄	TSH	pH	EC	OM	CEC	MC	NH ₃	N	P	K	Y	% Sand	% SILT	% CLAY	
TEM	1																								
LIGHT	0.175	1																							
CON	0.090	-0.162	1																						
PHW	0.513	-0.097	0.302	1																					
DO	0.015	-0.035	0.210	0.148	1																				
CO ₂	-0.685	0.030	-0.272	-.806**	-0.281	1																			
ALK	-0.059	-0.084	.615*	0.009	0.285	0.033	1																		
HARD	-0.241	0.129	.699**	-0.053	0.172	0.151	.784**	1																	
NH	0.042	-0.408	0.191	0.047	0.281	-0.089	0.013	-0.117	1																
PO ₄	-0.162	-0.176	-0.175	0.525	0.148	-0.305	-0.461	-0.332	0.073	1															
TSH	-0.382	0.164	-0.286	-0.406	0.208	0.226	-0.455	-0.170	0.398	0.188	1														
pH	-0.531	-0.273	.616*	-0.158	0.443	0.204	0.485	.628*	-0.035	-0.074	-0.034	1													
EC	0.133	-0.343	0.107	0.262	0.288	-0.171	0.170	0.039	0.222	-0.145	-0.312	0.228	1												
OM	0.036	-0.117	0.327	0.101	0.485	-0.131	0.322	0.334	0.093	-0.191	-0.164	0.431	.704**	1											
CEC	-0.223	-0.078	0.096	-0.105	0.141	0.115	0.230	0.458	-0.272	-0.228	-0.043	0.401	0.500	.704**	1										
MC	0.414	-0.168	0.064	.591*	-0.227	-.607*	-0.265	-0.311	0.202	0.217	-0.258	-0.316	0.498	0.268	0.048	1									
NH ₃	0.145	-.689**	0.076	0.455	-0.067	-0.365	-0.146	-0.232	0.425	0.228	-0.114	-0.075	.567*	0.151	0.081	.613*	1								
N	0.490	-0.228	0.154	.604*	0.342	-.604*	0.133	-0.032	0.306	0.094	-0.294	-0.130	.723**	.696**	0.343	.678**	.558*	1							
P	0.170	-0.213	-0.055	.600*	.533*	-.536*	-0.275	-0.390	0.015	.634*	-0.119	0.091	0.388	0.386	0.024	0.378	0.310	.538*	1						
K	0.139	-0.008	0.029	0.214	-0.020	-0.296	0.060	0.245	-0.267	-0.073	-0.042	-0.003	0.278	0.399	.795**	0.271	0.151	0.404	0.029	1					
Productivity	0.178	-0.217	0.373	0.167	0.242	-0.055	.541*	0.327	0.507	-0.198	-0.148	0.000	0.160	0.195	-0.152	-0.069	0.316	0.373	-0.110	-0.267	1				
% Sand	-0.051	-0.103	0.059	0.006	-0.447	0.127	-0.080	-0.087	0.334	0.153	0.122	-0.272	-0.517	-.814**	-.738**	-0.112	0.102	-0.481	-0.462	-.538*	0.232	1			
% SILT	0.172	0.168	-0.054	0.077	0.506	-0.211	0.082	0.006	-0.269	-0.124	-0.165	0.186	0.498	.796**	.586*	0.151	-0.163	0.530	.539*	0.427	-0.191	-.971**	1		
% CLAY	-0.335	-0.135	-0.052	-0.254	0.092	0.177	0.043	0.297	-0.397	-0.180	0.059	0.423	0.372	.546*	.907**	-0.050	0.121	0.144	0.048	.661*	-0.266	-.692**	0.499	1	

*Significance for statistics test: $p < 0.05$, **Significance for statistics test: $p < 0.01$ TEM=Temperature, LIGHT=Light, CON=Conductivity, PHW= pH of water, DO= Dissolved oxygen, CO₂=Carbon dioxide, ALK=Alkalinity, HARD= Hardness, NH=Ammonia PO₄=ortho-Phosphate, TSH=Total solid, pH= pH of soil, EC= soil electric conductivity, OM=soil organic matter, CEC=soil cation exchange capacity, MC=Moisture content, NH₃=Ammonia, N=Nitrogen, P=Phosphorus, K=Potassium, Y=Yield

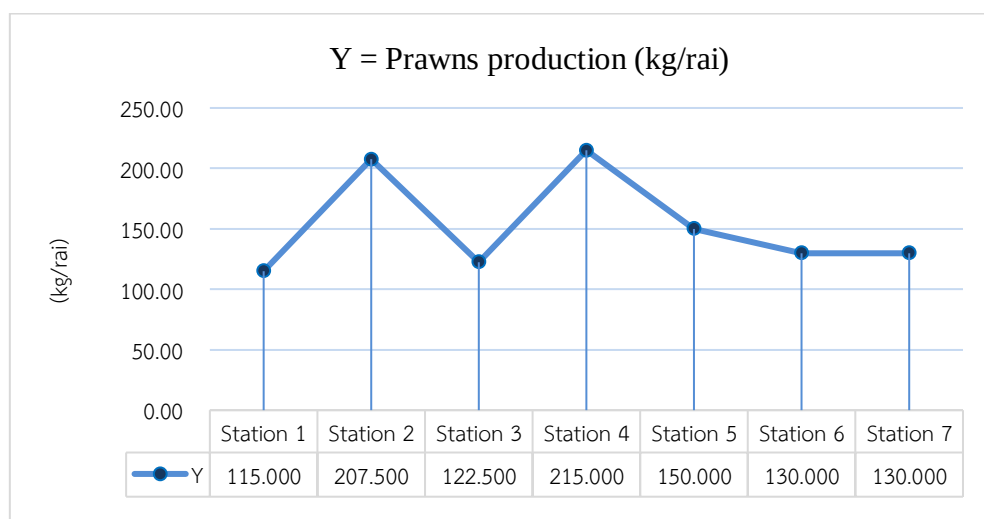


Figure 6 Prawns production in Kalasin Province separate from station.

Conclusion

The average water quality in giant freshwater prawn ponds was within the appropriate standard for the growth of aquatic animals. However, there are some qualities that exceed the benchmark for aquaculture at certain times and some below the benchmark, which may affect the growth of the prawn. In addition, improving the water quality can be very beneficial to giant freshwater prawn production.

Acknowledgements

This Research was supported by Thailand Science Research and Innovation (TSRI), Basic Research Fund, project grant number 1520773 and Kalasin University, Thailand.

References

- Adhikari, S., Sahu, B. C., Mahapatra, A. S., & Dey, L. (2014). Nutrient budgets and effluent characteristics in giant freshwater prawn (*Macrobrachium rosenbergii*) culture ponds. *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology*, 92(5), 509–513. doi: 10.1007/s00128-014-1227-4
- Association of Analytical Chemists (AOAC). (2005). *Official methods of analysis* (18th ed.). Washington D. C., United States: Association of Official Analytical Chemists.
- American Public Health Association (APHA). (1981). *Standard methods for the examination of water and wastewater*. Washington D. C., United States: American Public Health Association.
- Banerjee, S. M. (1967). Water quality and soil condition of fish ponds in some states of India in relation to fish production. *Indian Journal of Fisheries*, 14(1 & 2): 115-144.
- Boyd, C. E. (1982). *Water quality management for pond fish culture*. Amsterdam, the Netherlands: Elsevier Scientific Publishing Company.
- Boyd, C. E. (1979). *Water quality in warmwater fish ponds*. Alabama, United States: Printers Inc.
- Boyd, C. E., & Tucker, C.S. (1992). *Water quality and pond soil analyses for aquaculture*. Alabama, United States: Agricultural Experiment Station, Auburn University.
- Charubhun, N., Charubhun, B., & Thongpan, A. (2003). Water quality and Identification of organisms found at the intake water area of south Bangkok thermal plant. *Kasetsart Journal (Natural Science)*, 37(3), 307–320.
- Department of Fisheries. (2020). *Statistics of freshwater aquaculture production*. Accessed March 8, 2022, Retrieved from https://www4.fisheries.go.th/local/file_document/20220324135109_new.pdf
- Ghosh, A. K., Bir, J., Azad, M. A. K., Hasanuzzaman, A. F. M., Islam, M. S., &

- Huq, K. A. (2016). Impact of commercial probiotics application on growth and production of giant fresh water prawn (*Macrobrachium rosenbergii* De Man, 1879). *Aquaculture Reports*, 4, 112-117. doi: 10.1016/j.aqrep.2016.08.001
- Google Earth (2021). [Sampling stations to collected water quality, soil properties, and plankton]. Accessed August 30, 2021, Retrieved from <https://earth.google.com>
- Hasibuan, S., Syafriadiman, S., Aryani, N., Fadhl, M., & Hasibuan, M. (2023). The age and quality of pond bottom soil affect water quality and production of *Pangasius hypophthalmus* in the tropical environment. *Aquaculture and Fisheries*, 8(3), 296-304. doi: 10.1016/j.aaf.2021.11.006
- Kamilia, H., Sasmito, B. B., & Masithah, E. D. (2021). Phytoplankton and its relationship to white leg shrimp (*Litopenaeus vannamei*) culture productivity in Alasbulu, Banyuwangi. *The Journal of Experimental Life Sciences*, 11(2), 43-48. doi: 10.21776/ub.jels.2021.011.02.03
- Kumar, P., Jetani, K. L., Yusuzai, S. I., Sayani, A. N., Dar, S. A., & Rather, M. A. (2012). Effect of sediment and water quality parameters on the productivity of coastal shrimp farm. *Advances in Applied Science Research*, 3(4), 2033-2041.
- Lyu, T., Yang, W., Cai, H., Wang, J., Zheng, Z., & Zhu, J. (2021). Phytoplankton community dynamics as a metrics of shrimp healthy farming under intensive cultivation. *Aquaculture Reports*, 21, 100965. doi:10.1016/j.aqrep.2021.100965
- Mredul, M. M. H., Akkas, A. B., Elsaidy, N., Ali, M. L., Mondal, M. A. H., & Alam, M. R. (2022). Using of mustard oil cake in safe organic aquaculture through increasing pond primary productivity. *Aquaculture Reports*, 23, 101073. doi: 10.1016/j.aqrep.2022.101073
- Schwantes, V. S., Diana, J. S., & Yi, Y. (2009). Social, economic, and production characteristics of giant river prawn *Macrobrachium rosenbergii* culture in Thailand. *Aquaculture*, 287(1-2), 120-127. doi: 10.1016/j.aquaculture.2008.10.017
- Siddique, M. A. M., Barua, P., & Ghani, M. H. (2012). Comparative study of physico-chemical properties of soil according to the age of aquaculture pond of Bangladesh. *Mesopotamian Journal of Marine Sciences*, 27(1), 29-38. doi:10.58629/mjms.v27i1.169
- Tucker, C. S., & Robinson, E. H. (1990). *Channel catfish farming handbook*. New York, United States: Springer New York. doi: 10.1007/978-1-4757-1376-3
- Wang, M., Feng, W., Wang, Y., Li, B., Wang, J., Zhu, X., & Zhang, L. (2022). Water quality, plankton composition, and growth performance of juvenile yellow catfish (*Pelteobagrus fulvidraco*) in mono- and polyculture systems. *Aquaculture*, 552, 738017. doi: 10.1016/j.aquaculture.2022.738017
- Wongrat, L. (1999). *Phytoplankton*. Bangkok, Thailand: Kasetsart University Press. (in Thai)
- Wongrat, L., & Boonyapiwat, S. (2003). *Manual of sampling and analytical methods of plankton*. Bangkok, Thailand: Kasetsart University Press. (in Thai)
- Zafar, M. A., Haque, M. M., Aziz, M. S. B., & Alam, M. M. (2016). Study on water and soil quality parameters of shrimp and prawn farming in the southwest region of Bangladesh. *Journal of the Bangladesh Agricultural University*, 13(1), 153-160. doi: 10.3329/jbau.v13i1.28732

Research article

Effect of soil properties and water quality on production in giant freshwater prawn ponds in Kalasin Province

Sawipa Ruttanakorn^{1*} Kasame Chetawan¹ Boonthom Tubsombat¹ Urai Koolboon¹
and Tikumporn Kunjiek²

¹*Department of Fisheries Technology, Faculty of Agricultural Technology, Kalasin University, Muang District, Kalasin Province, Thailand 46000*

²*Institute of Marine Science, Burapha University, Muang Chonburi District, Chonburi Province, Thailand 20131*

ARTICLE INFO

Article history

Received: 27 March 2024

Revised: 26 May 2024

Accepted: 6 September 2024

Online published: 27 December 2024

Keyword

Macrobrachium rosenbergii

Phytoplankton

Productivity

Soil quality

Water quality

ABSTRACT

Soil properties and dissolved inorganic nutrients play a critical role in the effective management of water quality and prawn production. This research had two aims: 1) to study soil quality, water quality, nutrient content, and phytoplankton in prawn ponds; and 2) to study other factors affecting prawn production in Kalasin Province. The data of this study was collected by randomly sampling from 7 stations in prawn farms located in Mueang District and Yang Talat District, Kalasin Province, Thailand. Water quality, soil quality, and the amounts of phytoplankton and prawn production from 7 stations were analyzed. The result showed that the average water quality of all parameters of prawn ponds at all stations was similar to natural water sources and the water quality remained well suitable criteria for the livelihood and growth of aquatic animals. Soil quality of prawn ponds from all stations had different values ($p < 0.05$) according to soil characteristics except pH and moisture content. Prawn production from all stations showed that farmers in Kalasin Province used 4 months cultivation period and the yield was not different ($p > 0.05$). The yield of prawn production at stations 2 and 4 was more than 200 kg/rai. Analysis of the correlation revealed that the production of prawns is influenced by alkalinity. Thus, enhancement of freshwater giant prawns production should be proper pond management to encourage the growth of prawn and produce natural food sources.

*Corresponding author

E-mail address: Sawipa.ru@ksu.ac.th (S. Ruttanakorn)

Online print: 27 December 2024 Copyright © 2024. This is an open access article, production, and hosting by Faculty of Agricultural Technology, Rajabhat Maha Sarakham University. <https://doi.org/10.14456/paj.2024.60>



PRAWARUN

AGRICULTURAL JOURNAL

VOL. 21 NO. 2 July – December 2024