



ISSN 1685-8379 (print)
E-ISSN 2773-9627 (online)

PRAWARUN

Vol. 21 No. 1 / JUNE 2024

PRAWARUN

AGRICULTURAL JOURNAL

Faculty of Agricultural Technology, Rajabhat Maha Sarakham University, Thailand

วารสาร เกษตรพระวรุณ

ปีที่ 21 ฉบับที่ 1 มิถุนายน 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) อย่างน้อยบทความละ 3 ท่าน แบบ Double blind
2. กองบรรณาธิการวารสารเกษตรพระวรุณ ไม่สงวนสิทธิ์การคัดลอกแต่ให้อ้างอิง แสดงที่มา

เจ้าของ

คณะเทคโนโลยีการเกษตร มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม

ที่ปรึกษา

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

บรรณาธิการหลัก

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วันทนี พลวิเศษ คณบดีคณะเทคโนโลยีการเกษตร

คณะกรรมการกองบรรณาธิการ

1. กองบรรณาธิการบุคคลภายนอกมหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม ที่อยู่มหาวิทยาลัยต่างประเทศ
 - 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 ที่อยู่มหาวิทยาลัยอื่นในประเทศไทย
 - 2.1 รองศาสตราจารย์ ดร.ฉลอง วชิราภากร คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น
 - 2.2 รองศาสตราจารย์ ดร.สมชาย ชดตระกูล 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 อารีชัยน คณะประมง มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
 - 2.7 รองศาสตราจารย์ น.สพ. ดร. อตถพร รุ่งสิทธิชัย คณะสัตวแพทยศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม
 - 2.8 ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.เฉลิมพล เยื้องกลาง คณะวิทยาศาสตร์และศิลปศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคล วิทยาเขตนครราชสีมา
 - 2.9 ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อนันต์ เชาว์เครือ คณะสัตวศาสตร์และเทคโนโลยีการเกษตร มหาวิทยาลัยศิลปากร วิทยาเขตสารสนเทศเพชรบุรี
 - 2.10 ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วสันต์ เขียรสุวรรณ 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 บรรณาธิการประจำบทความสาขาเทคโนโลยีสารสนเทศ การเกษตร
 - 3.7 อาจารย์ ดร.มนันยา นันทสาร บรรณาธิการประจำบทความสาขาบริหารธุรกิจเกษตร
 - 3.8 ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วิรุณ โมนะตระกูล บรรณาธิการประจำบทความสาขานวัตกรรมเทคโนโลยี เครื่องจักรกล

- | | |
|--|--|
| 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 1 (Number 1) นี้ประกอบด้วยบทความบทความปริทัศน์ (Review Article) จำนวน 3 บทความ บทความวิจัย (Research Articles) จำนวน 27 บทความ จากหลากหลายสาขาที่เกี่ยวข้อง โดยมีกำหนดการเผยแพร่ระหว่างเดือน มกราคม – มิถุนายน พ.ศ. 2567 ผ่านวารสารตีพิมพ์ในรูปแบบวารสาร (ISSN 1685-8379) และเผยแพร่ออนไลน์ผ่านระบบ Thai Journal online (ThaiJO) (ISSN 2773-9627)

ทางกองบรรณาธิการเกษตรพระวรุณหวังเป็นอย่างยิ่งว่าจะเป็นสื่อกลางในการช่วยเผยแพร่องค์ความรู้ใหม่และงานวิจัยทางด้านเทคโนโลยีการเกษตรแก่ คณาจารย์ นักวิจัย นักวิชาการ นักศึกษาและผู้สนใจให้ได้รับข้อมูลที่มีประโยชน์ในการต่อยอดองค์ความรู้และงานวิจัยที่เกี่ยวข้องเพื่อการพัฒนาประเทศให้ก้าวหน้าและยั่งยืนต่อไป

กองบรรณาธิการวารสารเกษตรพระวรุณ
28 มิถุนายน 2567

วารสาร

เกษตรพระวรุณ

PRAWARUN AGRICULTURAL JOURNAL

ปีที่ 21 ฉบับที่ 1 มกราคม – มิถุนายน 2567

VOL. 21 NO. 1 January – June 2024

ISSN 1685-8379

สารบัญ

บทความปริทัศน์ (Review Article)

- บทบาทของวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร: วัสดุทางเลือกสำหรับผลิตแผ่นทำความเย็นแบบระเหย 1
สมพร กงนะ, คมกฤษณ์ ชูเรือง, กัญญา มิขะมา และ เสาวคนธ์ เหมวงษ์
Role of agricultural waste: alternative materials for evaporative cooling pad
Somporn Kongna, Komkrit Chooruang, Kanlaya Mikhama and Saowakon Hemwong
- ความแตกต่างทางพันธุกรรมของปลาโกลทราในแม่น้ำโขง จังหวัดหนองคาย ประเทศไทย 10
อาภากร สกุลสถาพร, เบญจพรรณ เจริญยิ่ง และ รัชนิกรณ์ มาพะเนา
Genetic variation of *Cyclocheilichthys enoplos* Mekong River, Nong Khai Province, Thailand
Arpakorn Sakulsathaporn, Benchaphan Charoenying and Ratchaneegorn Mapanao
- ภาวะการดื้อยาและทางเลือกในการป้องกันเห็บในปัจจุบัน 21
กนกวรรณ บุตรโยธี, ธราดล จิตจักร, หาญชัย อัมภพล และ เสริมวิช บุตรโยธี
An updated review of drug resistance in ticks and the alternative ways for tick prevention
Kanokwan Bootyothee, Tharadol Jitajak, Hanchai Umpapol and Sermwich Bootyothee

บทความวิจัย (Research Article)

- การพัฒนาผลิตภัณฑ์แยมกล้วยหอมทองเสริมสับปะรดศรีราชา 33
สุศรีสา ทวีแสง, ศรัญญา วอขวา, ธนวรรณ เพ็งชัย, ศยามน ปรียาจารย์, เอกชัย จารุเนตรวิลาส, กษมา ชารี
โคตร และ เพลินพิศ แจ้งโพธิ์นาค
Product development of Hom Thong banana (Musa AAA) jam supplemented with
Sriracha pineapple
Sarisa Thaweesang, Saranya Waokha, Tanawan Pengchai, Sayamon Pariyajan,
Ekachai Jarunetwirat, Kasama Chareekhot and Ploenpit Jangponak
- อิทธิพลของปุ๋ยฮอโมนปั่นเม็ดสูตรผสม (HO) เพื่อเพิ่มผลผลิตและสารสำคัญของกะเพรา (*Ocimum
tenuiflorum* L.) 44
รณรงค์ คนชม, ภูมิศักดิ์ อินทนนท์ และ ขวลิศ รักสาริกรณ์
Effect of chemical and granular organic fertilizer with hormone mixed formula (HO)
for productivity and active principle of holy basil (*Ocimum tenuiflorum* L.)
Ronnarong Konchom, Pumisak Intanon and Chawalit Raksarikorn

บทความวิจัย (Research Article)

- การพยากรณ์ปริมาณน้ำฝนรายเดือนเพื่อการเกษตรโดยใช้เทคนิคการพยากรณ์ทางสถิติใน
จังหวัดมหาสารคาม 52

นิวัตร สุวรรณะ

Monthly rainfall amount forecasting for agriculture by statistical forecasting
techniques in Maha Sarakham Province

Niwat Suvanna
- การเข้าสู่การผลิตข้าวอินทรีย์ที่ได้รับรองมาตรฐานเกษตรอินทรีย์ของเกษตรกรในคาบสมุทรสทิงพระ 62

ปริญกร บุญส่ง, พิไลวรรณ ประพฤติ และ ศรัณยู กาญจนสุวรรณ

Accessing certified organic rice production of farmers in the Sathing Phra Peninsula,
Songkhla Province

Priyakorn Bunsong, Pilaiwan Prapruit and Sarunyoo Kanchanasuwan
- ผลผลิตและคุณค่าทางโภชนาการของพันธุ์มะเขือเทศเชอร์รี่การค้า 72

บรรจง อุปแก้ว, อนุชา จันทราบุรณ์ และ วรวิทย์ โล๊ะสุข

Productivity and nutritive value of commercial cherry tomato

Bunjong Oupkaew, Anucha Chantaraboon and Waravut Losuk
- ผลของคุณสมบัติดินต่อสารสกัดมะแขว่นในการเสริมรสเค็ม 81

ปภากร สุทธิภาศิลป์ และ อภิรดา พรปัญญาวิชัย

Effects of soil properties on Ma-Kwaen (*Zanthoxylum limonella* Alston.) extract for
salty flavor enhancement

Paphakorn Suthiphasilp and Aphirada Phonpannawit
- ผลของการเสริมผงสกัดหยาบเบต้าแคโรทีนจากเปลือกมะม่วงต่อสมรรถนะการเจริญเติบโตของไก่ 89

ชัยพฤกษ์ หงษ์สัตตพร, ชมภูนาฏ ชมภูพันธ์ และ ปานฤทัย พุทธทองศรี

Effect of crude beta-carotene extract from mango peel supplementation on growth
performance of broiler chickens

Chaiyapruet Hongladdaporn, Chomphunat Chomphuphan and Panruethai Putthongsri
- การพัฒนาผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวชนิดแท่งเสริมปลาช่อนแห้ง 96

จักรินทร์ ตรีอินทอง, อ้อยทิพย์ สมานรส และ ปิยะฉัตร วิริยะอำไพวงศ์

Product development of snack bar enriched with dried Thai river sprat (*Clupeichthys
aesarnensis*)

Jukkarin Treeinthong, Aoitip Samanros and Piyachat Wiriyaampaiwong
- การวิเคราะห์ประสิทธิภาพทางเทคนิคการผลิตข้าวนาปีของเกษตรกรในจังหวัดเชียงราย 106

ศศิวิมล ภู่วง

The technical efficiency analysis of in-season paddy of farmers in Chiang Rai Province

Sasiwimon Puphoun
- ผลของอุณหภูมิและเวลาในการทอดสำหรับแขนกลทอดอัตโนมัติ 118

คมสัน ต้นติชูเกียรติ, อภิชาติ ศรีชาติ, อิทธิพล สิงห์คำ, ชัยยันต์ จันทศิริ, สหสวรรษ ภูจิระ,
ศักรินทร์ วงค์ฮาด, กวีพงษ์ หงษ์ทอง และ วุฒิพงษ์ ทองแก้ว

Effect of temperature and frying time for automatic frying arm

Komsan Tantichukiad, Aphichat Srichat, Ittipol Singkum, Chaiyan Junsiri, Sahassawas Poojeera,
Sakkarin Wangkahart, Kaweepong Hongtong and Wutti Phong Thonghaeo

บทความวิจัย (Research Article)

- ผลการเสริมกรดอินทรีย์ แก่นตะวัน และการใช้ร่วมกันในอาหารไก่ไข่ต่อสมรรถภาพการผลิตและคุณภาพไข่ 130

เจษฎา รัตนวุฒิ, บดี คำสีเขียว, อุมพร แพทย์ศาสตร์ และ อารีรัตน์ ทศดี

Effect of dietary supplementation of organic acids, Jerusalem artichoke, and their mixture on production performance and egg quality in laying hens

Jessada Rattanawut, Bodee Khamsekhiew, Umaporn Pastsart and Areerat Todsadee
- การพัฒนาผลิตภัณฑ์มาการองจากกากมะพร้าวเหลือใช้ 136

กรวิทย์ สักแกแก้ว และ โชชน ศรีเกตุ

Development of macaron product from used coconut residue

Korawit Sakkaekaew and Chodsana Sriket
- การสังเคราะห์ระดับค่าเซ็นเซอร์ในระบบ IoT เพื่อเฝ้าระวังความผิดปกติของน้ำในกระชังปลานิลผ่านแอปพลิเคชัน 146

สามารถ สิ้นทร, ดาครินทร์พัชร สุธรรมดี, ฉัตรณรงค์ศักดิ์ สุธรรมดี, อุมาวดี เดชธำรงค์ และ ชนัญชิตา ของผสม

Synthesizing sensor values in an IoT system to monitor water abnormalities in tilapia cages through an application

Samart Sinton, Dasarinphat Suthamdee, Chartnarongsak Suthandee, Umawadee Detthamrong and Chanunchida Songphum
- ผลของสารให้ความหวานต่างชนิดต่อคุณภาพของเครื่องดื่มจากปลีกล้วย 153

พรพรรณ พัวไพบูลย์, ธนิษฐ์นันท์ บุญศรีชนะ และ ปาริชาติ ราชมณี

Effects of different sweeteners on the quality of banana flower beverage

Pornpan Phuapaiboon, Thanitnan Boonsrichana and Parichat Ratmanee
- ความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักตัวกับค่าขนาดร่างกายและการประมาณน้ำหนักตัวในกระบือปลักเพศเมีย 163

นิรุจน์ พันธุ์ศรี และ อารีย์ ไกรสุรีย์

The relationship between body weight and body size values, and the estimation of the weight of female swamp buffaloes

Nirut Phansri and Aree Kraison
- การวิเคราะห์ประสิทธิภาพจากการเลี้ยงไก่พื้นเมืองด้วยต้นแบบโรงเรือนอัจฉริยะโดยใช้การวิเคราะห์เชิงโอบล้อมข้อมูล 171

สุธาพร เกตุพันธ์, ณปภัช ช่วยชูหนู, จรีวรรณ จันทรวง, ปิติพัฒน์ บุตรโคตร, พงษ์พันธ์ ราชภักดี, ฐิติกร พรหมบรรจง และ บัณฑิตา ภูทรัพย์มี โปณะทอง

Performance analysis from native chicken farming with smart farm prototypes using data envelopment analysis

Sutaporn Getpun, Napapach Chuaychu-noo, Jareewan Chankong, Pitipat Bootkote, Pongpun Rachapukdee, Thitikorn Prombanchong and Banthita Poosabmee Ponatong
- โครงสร้างทางพันธุกรรมของประชากรไก่เบตงที่รวบรวมมาจากพื้นที่ที่แตกต่างกันโดยใช้เครื่องหมายอินเดล 179

เนาวรัตน์ มณีโชติ, อีรวัด ชันติชนะกุล, ณัฐธิดา บุญถึงจิตร, ศุภนนท์ ตุ่นิม และ พิชญาธิภา พงษ์พานิช

Population genetic structure of Betongchicken breed collected from different locations revealed by InDel markers

Naowarat Maneechot, Teerawat Kantichanakul, Nattatida Boonthungjit, Supanon Tunim and Pitchayanipa Phongphanich
- ผลของการใช้กากผงชูรสในอาหารต่อสมรรถภาพการเจริญเติบโตของสุกรเล็ก 187

กิตติพงษ์ ทิพย์ะ, กฤดา ชูเกียรติศิริ และ ณัฐฐา วิกาศ

Effect of monosodium glutamate residue in diet on growth performance of piglet

Kittiphong Tippaya, Krida Chukiatsiri and Nattha Vigad

บทความวิจัย (Research Article)

- การใช้ข้าวโพดหมอลต์หมักยีสต์ร่วมกับเปลือกข้าวโพดหมักยีสต์และกรดแลคติก โดยใช้เทคนิคผลผลิตแก๊สในห้องปฏิบัติการ 193

รัชณี บัวระภา, สุธาทิพย์ ไชยวงศ์, กฤษณธร ลินตะละ, กัญญ์ฐญา จินต์ตนวรากุล, ณัฐกร ไชยแสน, ปิยมาสฐ์ ตันท์เจริญรัตน์ และ วุฒิกร สระแก้ว

Using malt corn fermented yeast with corn husk fermented with yeast and lactic acid using in vitro gas production technique

Ratchanee Bourapa, Suthathip Chaiwong, Kitsanathon Sintala, Kanthaya Jintanuworakul, Natthakorn Chaiyasaen, Piyamas Tancharoenrat and Wuttikorn Srakaew
- ประสิทธิภาพของเชื้อรา *Trichoderma asperellum* ในการควบคุมเชื้อรา *Colletotrichum gloeosporioides* สาเหตุโรคแอนแทรคโนสของมะม่วงน้ำดอกไม้ 202

ฉัตร ปทุมพร, สำราญ พิมราช และ กัญชลิกา รัตนเชิดฉาย

Efficacy of *Trichoderma asperellum* for controlling *Colletotrichum gloeosporioides* causing anthracnose disease of *Mangifera indica* L. cv Nam Dok Mai

Chatra Pathumporn, Sumran Pimratch and Kanchalika Ratanacherdchai
- การจัดการแปลงปลูกด้วยวัสดุอินทรีย์ที่มีผลต่อคุณภาพและองค์ประกอบทางเคมีของเมล็ดพันธุ์ ถั่วเหลืองเชียงใหม่ 60 210

วิมลนันท์ กันเกตุ, พรทิพย์ ศรีมงคล, เรวัต จินดาเจีย และ สุรัสวดี พรหมอยู่

Farm management with organic materials on quality and chemical composition of soybean seeds cv. Chiang Mai 60

Wimolnan Kanket, Pornpip Srimongkol, Rewat Chindachia and Surassawadee Promyou
- ผลของการใช้ใบมันสำปะหลังอัดเม็ดทดแทนอาหารชั้นต่อกระบวนการหมักในกระเพาะหมัก ผลผลิต น้านม และองค์ประกอบน้านมของโคนม 217

นพรัตน์ ผกาเขต, ทิพย์สุดา บุญมาทัน, จิตติมา นรโภค และ พีรพจน์ นิติจจน์

Effects of cassava leaves pellet replacing concentrate on rumen fermentation, milk yield and milk composition of dairy cows

Noppharat Phakachod, Thipsuda Boonmatan, Thitima Norrapoke and Peerapot Nitipot
- การเสริมผงกานพลูร่วมกับการบรรจุแบบสุญญากาศต่อคุณภาพและอายุการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์ ไส้กรอกไก่ 224

นัทธมน ตั้งจิตวัฒนาชัย และ เด่นพงษ์ สำเือง

Clove powder supplementation with vacuum packaging on quality attributes and shelf life of chicken sausage

Natthamon Tangjitwattanachai and Denpong Sakhong
- ผลของการใช้ไฟโบร-ไบโอติกจากผักตบชวาในสูตรอาหารต่อสมรรถนะการเจริญเติบโต การย่อยได้ของ โภชนะและประชากรจุลินทรีย์ในลำไส้ส่วนท้ายของลูกสุกรหลังหย่านม 230

กัณฑ์ปติภัทร จิตอารี, รัชณี บัวระภา, ศลิษา โคตุพันธุ์, ภวดี บินสุหลง, ศิวพงศ์ เลื่อนราม และ วุฒิกร สระแก้ว

Effects of using fibro-biotics from water hyacinth in diet on growth performance, nutrient digestibility and microbial population in posterior gut of post-weaning pigs

Kanpitiphat Jitaree, Ratchanee Boarapa, Salisa Kotupan, Bhoowadol Binsulong, Siwapong Luenram and Wuttikorn Srakaew

บทความวิจัย (Research Article)

- ผลของไข่แดงผงต่อคุณภาพและลักษณะการเคลื่อนที่ของน้ำเชื้อโคหลังการแช่แข็ง
วิสูตร ไมตรีจิตต์, ประเสริฐศักดิ์ ภักดิ์วงษ์, ทวี เหล่าดีม, ทวีพร เรืองพริ้ม, อาทิตย์ ปัญญาศักดิ์, สุกัญญา รัตนทัตติมทอง และ สุธิชา มาเจริญ
Effect of egg yolk powder on the quality and motility characteristics of post thawed cryopreserved bull semen
Wisut Maitreejet, Prasertsak Pukdeewong, Thawee Laodim, Taweepon Raungprim, Arthit Panyasak, Sukanya Rattanatabtimtong and Sutisa Majarune

238
- การเพิ่มประสิทธิภาพการงอกของเมล็ดพริกหวานด้วยน้ำผ่านสนามแม่เหล็กถาวร
พิราวรรณ วสุนันต์, พีระยศ แข็งขัน, ชัชพงศ์ บางใบ, เอกรินทร์ สารีพัว และ ปริญดา แข็งขัน
The enhancement of sweet pepper seed germination by seed priming with permanent magnetic fields water
Pirawan Wasunan, Phirayot Khaengkhan, Chutpong Bangbai, Eakrin Sarepoua and Parinda Khaengkhan

245
- การพัฒนาคอมบูชาจากการเบลนด์ชาสมุนไพรและชาดอกไม้และประโยชน์ต่อสุขภาพ
นิสา ร่มส่มซ่า, อินทิรา สุตรใหม่, ณัชนิดา อมรภิตติถาวร, ทิพย์วรินทร์ รีมลำควน และ น้ำฝน สามสาลี
Development of blended Kombucha from herbal teas and flower teas and their potential health benefits
Nisa Romsomsa, Inthira Sutmai, Nattanida Amornkittithawor, Thipwarin Rimlumduan and Namfon Samsalee

255



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

บทความวิจัย

บทบาทของวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร: วัสดุทางเลือกสำหรับผลิตแผ่นทำความเย็นแบบประหยัด สมพร กงนะ^{1*} คมกฤษณ์ ชูเรือง² กัญญา มิชะมา³ และ เสาวคนธ์ เหมวงษ์³

¹บัณฑิตศึกษา สาขาวิชาวนวัฒนกรรมและเทคโนโลยีการเกษตร คณะเกษตรและเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยนครพนม จังหวัดนครพนม 48000

²สาขาวิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนครพนม จังหวัดนครพนม 48000

³สาขาวิชาพืชศาสตร์ คณะเกษตรและเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยนครพนม จังหวัดนครพนม 48000

ข้อมูลบทความ

Article history

รับ: 11 ตุลาคม 2566

แก้ไข: 6 ธันวาคม 2566

ตอบรับการตีพิมพ์: 9 มกราคม 2567

ตีพิมพ์ออนไลน์: 18 มีนาคม 2567

คำสำคัญ

แผ่นทำความเย็น

ระบบทำความเย็นแบบประหยัด

วัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร

วัสดุทางเลือก

บทคัดย่อ

การใช้ระบบทำความเย็นแบบประหยัดในโรงเรือนเป็นทางเลือกที่ดีในการจัดการปัญหาการทำการเกษตรในภาวะโลกร้อน อย่างไรก็ตาม ปัญหาที่พบคือราคาแผ่นทำความเย็นที่สูง ทำให้เทคโนโลยีนี้ยังไม่สามารถใช้กับเกษตรกรรายย่อยได้ ดังนั้นบทความปริทัศน์นี้เป็นการรวบรวม วิเคราะห์ และสรุป การพัฒนาการ หลักการและวิธีการผลิต เปรียบเทียบประสิทธิภาพการใช้วัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรเพื่อใช้เป็นแผ่นทำความเย็น รวมถึงแนวทางการนำไปใช้ โดยจากการสังเคราะห์งานวิจัยที่ใช้วัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรที่มีประสิทธิภาพเหมาะสมสำหรับเป็น แผ่นทำความเย็นแบบประหยัดพบว่าสามารถลดอุณหภูมิได้ ระหว่าง 3 ถึง 8 องศาเซลเซียส เมื่อเปรียบเทียบกับกระดาษที่ใช้กันอยู่ทั่วไป ซึ่งลดได้ประมาณ 5 องศาเซลเซียส ดังนั้นประสิทธิภาพของวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร จะขึ้นอยู่กับโครงสร้างภายในของวัสดุ ขนาดรูปทรงและปริมาตร ความสามารถในการดูดซับและการระเหยของน้ำ ความสามารถในการเพิ่มความชื้นสัมพัทธ์ในอากาศ ความสามารถในการลดตะกอนสะสม ความคงทนของวัสดุ และปริมาณของวัสดุในพื้นที่ เป็นต้น นอกจากนี้วัสดุที่ใช้ต้องมีต้นทุนการผลิตที่ต่ำเพื่อให้เกษตรกรรายย่อยสามารถเข้าถึงและใช้งานได้ ซึ่งเป็นการจัดการเศษเหลือทิ้งทางการเกษตรและก่อให้เกิดการทำเกษตรต้นทุนต่ำอย่างยั่งยืนในอนาคต

บทนำ

ปัจจุบันการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ ส่งผลกระทบต่อการผลิตพืชอย่างมาก ประเทศไทยซึ่งการทำการเกษตรแบบพึ่งพาธรรมชาติจึงได้รับผลกระทบจากความไม่แน่นอนของฤดูกาลและภัยธรรมชาติ เกิดการระบาดของโรคและแมลงศัตรูพืช ส่งผลต่อปริมาณผลผลิตที่จะลดลง ส่งผลทำให้ต้นทุนการผลิตเพิ่มขึ้น รวมถึงมีแนวโน้มของพื้นที่ทำการเกษตรที่ลดลง ในขณะที่ความต้องการผลผลิตทางการเกษตรเพิ่มขึ้น ผลกระทบของอุณหภูมิที่สูงมากต่อการเจริญเติบโตและการพัฒนาการของพืช

การที่พืชสัมผัสกับอุณหภูมิที่สูงมากในระยะเริ่มต้นของระยะเจริญพันธุ์ (Reproductive stage) มีผลกระทบอย่างมากต่อการผลิตพืช และระยะการเจริญเติบโตเกิดภาวะช็อกจากอุณหภูมิที่สูง พืชมีอัตราการคายน้ำสูง ทำให้เหี่ยวและเกิดการแห้งตาย (Hatfield & Prueger, 2015) อย่างไรก็ตามมีจำนวนนวัตกรรมและเทคโนโลยีจำนวนมากที่ได้รับการส่งเสริมจากภาครัฐ และเอกชน เพื่อใช้ในการแก้ไขปัญหาดังกล่าวทั้งเพิ่มผลผลิตและลดต้นทุน การผลิตพืชในระบบโรงเรือนซึ่งมีความสามารถในการควบคุมอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ให้เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตและการให้ผลผลิตของพืช เป็นการผลิตพืชอีกแนวทางหนึ่ง (Namhormchan & Muangchan, 2020) ในการควบคุมอุณหภูมิที่พืชต้องการสำหรับ

การเจริญเติบโตในโรงเรือน การปลูกพืชในโรงเรือน แบ่งได้ 2 แบบ คือ 1) โรงเรือนแบบเปิด เป็นโรงเรือนผนังและหลังคาเป็นตาข่ายป้องกันแมลง อากาศถ่ายเทได้สะดวก มีระบบให้น้ำพืชแบบต่าง ๆ และ 2) โรงเรือนแบบปิด เป็นโรงเรือนที่ผนัง หลังคาเหล็กเป็นแบบโปร่งแสงหรือโปร่งใส แบบอ่อน หรือแบบแข็ง มีระบบอื่น ๆ เช่น ระบบพ่นน้ำ ช่วยลดอุณหภูมิและเพิ่มความชื้นภายใน ระบบการให้น้ำพืชที่ช่วยดูดซึมธาตุอาหาร ระบบให้ปุ๋ย ระบบเพิ่มก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ และระบบทำความเย็นแบบประหยัด เป็นต้น (Namhormchan, 2019) โดยการใช้ระบบทำความเย็นแบบประหยัดเป็นวิธีการลดอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ที่ง่ายและประหยัดพลังงานมากที่สุด (Tejero-González & Franco-Salas, 2021) วัสดุส่วนใหญ่ที่ใช้ในการผลิตแผ่นทำความเย็น (Cooling pad) คือ แผ่นเซลลูโลสที่ผลิตมาจากกระดาษซึ่งการผลิตต้องมีการตัดต้นไม้เพื่อนำมาผลิตแผ่นดังกล่าวจำนวนมากอันเป็นสาเหตุสำคัญให้เกิดโลกร้อน นอกจากนี้ยังมีต้นทุนในการผลิตสูงโดยแผ่นทำความเย็นสำหรับใช้งานในโรงเรือนขนาด กว้าง 4 เมตร ยาว 5 เมตร ต้องใช้แผ่นทำความเย็น 6 แผ่น (ขนาดกว้าง 30 เซนติเมตร x ยาว 60 เซนติเมตร) หากมีการบำรุงรักษาที่ดีสามารถใช้งานได้ 3-5 ปี ราคาต่อแผ่น 650-2,500 บาท (Alibaba, 2022) ซึ่งแผ่นทำความเย็นซึ่งเป็นตัวสำคัญในการรับน้ำ การกระจายละอองน้ำ การไหลของ

*Corresponding author

E-mail address: sompornrdi@npu.ac.th (S. Kongna)

Online print: 18 March 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.2024.1>

อากาศและน้ำ ส่งผลโดยตรงต่ออุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ในโรงเรือนให้เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของพืช จึงเริ่มมีศึกษาที่จะนำวัสดุอื่นที่มีคุณสมบัติในการลดอุณหภูมิมาใช้แทนวัสดุกระดาช เพื่อแก้ไขปัญหาดังกล่าวกลับมาใช้ประโยชน์ (Reuse) โดยการศึกษามุ่งเป้าไปยังวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรนำมาใช้ประโยชน์ แทนการเผาทิ้งที่จะทำให้เกิดสภาวะโลกร้อน และมลพิษทางอากาศ โดยในประเทศไทยมีเศษวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตร หรือ ชีวมวล (Biomass) ประมาณปีละ 60 ล้านตัน (Department of Alternative Energy Development and Energy Efficiency Ministry of Energy, 2021) การถูกนำกลับมาใช้ประโยชน์อย่างคุ้มค่าเพื่อให้เกิดการพัฒนาที่ยั่งยืน

จากข้อมูลที่ผ่านมา พบว่าวัสดุที่ใช้ในการผลิตแผ่นทำความเย็นในการปลูกพืชและเลี้ยงสัตว์ในโรงเรือนมีราคาสูงและส่วนใหญ่ใช้วัสดุสังเคราะห์ที่มีต้นทุนสูง มีอายุการใช้งานที่สั้น การบำรุงรักษายาก และเกษตรกรไม่สามารถผลิตใช้เองได้ ในขณะที่การศึกษาเกี่ยวกับการนำวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรมาใช้ในการทำวัสดุที่ใช้ในการลดอุณหภูมิในโรงเรือนยังมีไม่มากนัก ซึ่งเป็นวัสดุที่มีปริมาณมากและต้นทุนต่ำ มีขนาดรูพรุนที่สูง สามารถผลิตได้เองดังนั้น บทความนี้เป็นการรวบรวมงานวิจัยที่ใช้วัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรมาใช้ผลิตแผ่นลดอุณหภูมิในโรงเรือน ซึ่งจะเป็นประโยชน์ต่อเกษตรกรหรือบุคคลที่สนใจในการลดต้นทุนการทำเกษตรในสภาพโรงเรือน และสามารถลดปัจจัยสิ่งแวดล้อมที่ส่งผลต่อการเจริญเติบโตและผลผลิตของพืช โดยบทความนี้นำเสนอถึงวิวัฒนาการใช้แผ่นทำความเย็นในระบบทำความเย็นแบบระเหย หลักการสำคัญของแผ่นทำความเย็นวิธีการผลิตแผ่นทำความเย็น

วัสดุทางการเกษตรและคุณสมบัติแผ่นทำความเย็น ปัจจัยที่มีผลในการปลูกพืชในโรงเรือนโดยการใช้ระบบทำความเย็นแบบระเหย เปรียบเทียบประสิทธิภาพของใช้วัสดุ และแนวทางการนำลดแผ่นทำความเย็นไปใช้ประโยชน์

วิวัฒนาการใช้แผ่นทำความเย็นในระบบทำความเย็นแบบระเหย

ระบบทำความเย็นแบบระเหยถูกใช้ครั้งแรก ในอียิปต์โบราณและเปอร์เซียเมื่อหลายพันปีก่อนในรูปแบบ ของปล่องลมบนหลังคารับลมพัดผ่านน้ำใต้ดินในกาแนทในประเทศกาตาร์ และปล่อยอากาศเย็นเข้าสู่อาคาร ชาวอิหร่านสมัยใหม่ได้นำเครื่องทำความเย็นแบบระเหยที่ใช้พลังงานมาใช้กันอย่างแพร่หลาย เครื่องทำความเย็นแบบระเหยจึงมีการเริ่มสนใจศึกษาเป็นหัวข้อของสิทธิบัตรของสหรัฐอเมริกา จำนวนมากในศตวรรษที่ 20 และมีวิวัฒนาการการใช้งานและการศึกษา (Table 1)

จากวิวัฒนาการใช้และการศึกษาแผ่นทำความเย็นพบว่า การประยุกต์ใช้ระบบทำความเย็น มีวัตถุประสงค์หลักในการลดอุณหภูมิในโรงเรือน หรือระบบห้องซึ่งส่วนใหญ่มุ่งเน้นในด้านการใช้วัสดุธรรมชาติที่มีอยู่ในท้องถิ่นมาสร้างเป็นแผ่นทำความเย็นที่มีประสิทธิภาพในการลดอุณหภูมิมีค่าความอึดตัวของน้ำที่ดี มีความคงทน รวมถึงทำให้ต้นทุนการผลิตต่ำที่สุดโดยยังมีประสิทธิภาพที่ดีเหมาะสมกับการใช้งานของกลุ่มผู้ใช้งานเพื่อให้ได้ผลผลิตที่สูงขึ้นในพื้นที่การทำเกษตรเท่าเดิม จึงมีการใช้งานอย่างแพร่หลายในโรงเรือนเกษตรผลิตพืช การทำฟาร์มปศุสัตว์ โรงงานอุตสาหกรรม และพื้นที่กลางแจ้งในเมือง (Tejero-González & Franco-Salas, 2021)

Table 1 Evolution of use and study of temperature reducing plates in evaporative cooling systems

Year	Evolution uses and education.	Reference
Abroad		
1906	Used padding making from wool to absorbed water for household uses.	Zellweger (1906)
1993	Design basic a passive cooling tower.	Givoni (1993)
2010	Created cooling pad from pine apple leave with different of PAE and CMC ratio.	Khampan et al. (2010)
2013	Fruits and vegetables are preserved using evaporative cooling systems to reduce temperature and increase humidity for reduced deterioration and extend the shelf life of fruits and vegetables.	Liberty et al. (2013)
2018	Testing cooling pad made from activated charcoal and loofahs.	Aziz et al. (2018)
Thailand		
2007	Study mulberry paper physical properties for the evaporative cooling system.	Maneewan (2007)
2008	Design and development cooling pad made from coconut husk use in the greenhouse.	Kanla (2009)
2011	Study efficiency of cooling pad made from coconut husk for chicken house. It reduced the temperature outlet to 5 degrees Celsius.	Premjai & Poolkrajang (2011)

หลักการสำคัญของแผ่นทำความเย็น

ในระบบทำความเย็นแบบระเหย หลักของการใช้งานแผ่นทำความเย็น (Cooling pad) คือ การแปลงความร้อนเป็นความเย็นห้องในหรือโรงเรือน ซึ่งอากาศภายนอกที่แห้งและร้อน (Outdoor air) จะถูกดึงด้วยลม (Fan) เพื่อให้อากาศไหลผ่านรูพรุนของแผ่นทำความเย็นที่เปียกน้ำโดยการสเปย์จากด้านบน (Water spray) ให้กระจาย

และระบายลงไปยังถังเก็บน้ำหรือถังเก็บความเย็น (Water tank) และมีการนำน้ำหมุนเวียนกลับมาใช้ใหม่โดยใช้ปั๊ม (Pump) เมื่ออากาศร้อนและแห้งผ่านแผ่นทำความเย็นที่เปียกก็จะเปลี่ยนจากอากาศร้อนเป็นอากาศเย็น (Outlet cool and humid) เนื่องจากการระเหยซึ่งส่งผลให้ห้องหรือโรงเรือนเย็นลง (Babaremu et al., 2018) (Figure 1)

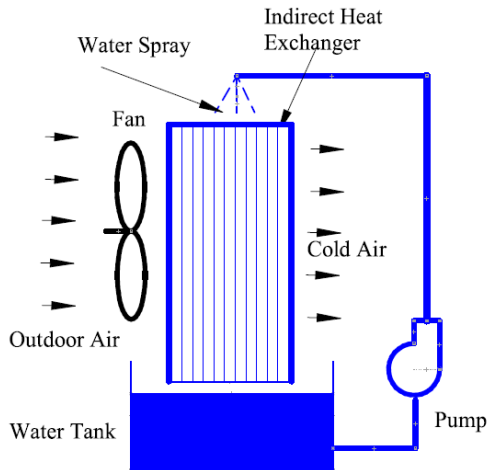


Figure 1 Evaporative cooling process.

Source: Kapilan et al. (2023)

ในกระบวนการทำความเย็นแบบระเหย อุณหภูมิของอากาศขาเข้าจะลดลงโดยไม่มีการเปลี่ยนแปลง อุณหภูมิกระเปาะเปียก (Wet bulb temperature) เป็นกระบวนการ “ขจัดความร้อนของอากาศเข้าโดยการเพิ่มปริมาณไอน้ำเข้าไปในแผ่นทำความเย็นในปริมาณที่เท่ากัน” กระบวนการนี้เรียกว่ากระบวนการอิมิตวอะเดียแบติก (Adiabatic process) อุณหภูมิกระเปาะเปียกของอากาศเป็นค่าคงที่ส่งผลทำให้อุณหภูมิอากาศลดลงจาก T_1 เป็น T_2 เมื่ออากาศขาเข้าผ่านแผ่นทำความเย็นจะเกิดความแตกต่างของอุณหภูมิที่ด้านร้อน (T_1) และด้านเย็น (T_2) ตามลำดับ ทำให้อุณหภูมิสามารถลดลงได้ (Kapilan et al, 2023) จะเห็นได้ว่าแผ่นทำความเย็นเป็นศูนย์กลางสำคัญในการในการดูดซับและการระเหยของน้ำ เพิ่มความชื้นสัมพัทธ์ในอากาศซึ่งจะทำให้อุณหภูมิลดลง จึงได้มีนักวิจัยจำนวนมากศึกษาวัสดุที่มีประสิทธิภาพในการนำมาผลิตแผ่นทำความเย็นที่มีประสิทธิภาพสูง

วิธีการผลิตแผ่นทำความเย็น

Rupani et al. (2017) ได้ทำการศึกษารวบรวมวิธีการผลิตแผ่นทำความเย็นโดยได้แบ่งกระบวนการผลิตแผ่นทำความเย็นออกเป็น 2 วิธี ตามวิธีการขึ้นรูปแผ่นทำความเย็น ประกอบด้วย

1) การดึงขยาย เป็นการนำม้วนวัสดุ (ม้วนพลาสติก หรือม้วนกระดาษ) ตัดเป็นแผ่นแล้วทากาวแต่ละแผ่นเป็นแถบเว้นแถบทั้งด้านหน้าและด้านหลังโดยให้แถบกาวด้านหน้าและด้านหลังเว้นสลับกันแล้วนำแผ่นวัสดุเหล่านี้มาเรียกซ้อนกันให้กาวยึดติดแผ่นต่อแผ่นภายใต้แรงกดก็จะได้วัสดุที่เรียกว่า Expansion block เมื่อกาวแห้งแล้วบล็อกดังกล่าวจะถูกนำมาตัดสไลด์ให้ได้ความหนาของแผ่นทำความเย็นตามที่ต้องการ จากนั้นนำมาจับให้ยึดออกในแนวตั้งส่วนที่ไม่มีกาวก็จะถูกดึงยึดออกเป็นผนังของเซลล์ ซึ่งจะได้เป็นแผ่นทำความเย็นตามความหนาที่ต้องการ (Figure 2)

2) การขึ้นรูปลอนลูกฟูก เป็นวิธีการนำม้วนวัสดุที่ขึ้นรูปได้โดยการกด เช่น ม้วนโลหะมาผ่านลูกกลิ้งมีลักษณะเป็นลอนตามลักษณะของเซลล์ที่ออกแบบไว้ นำลูกฟูกที่ไหลออกมาจากลูกกลิ้งมาตัดเป็นแผ่นตามความยาวของแผ่นทำความเย็นที่ต้องการ แล้วนำไปติดกาวหรือเชื่อมในแต่ละแผ่น

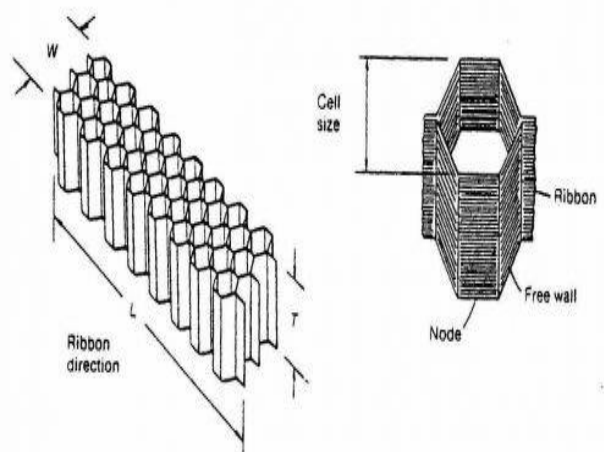


Figure 2 Honeycomb terminology.

Source: Rupani et al. (2017)

จากนั้นวางแผ่นลูกฟูกทับซ้อนกันให้ได้ความสูงตามความกว้างของแผ่นทำความเย็นต้องการ เมื่อกาวหรือรอยเชื่อมแห้งสนิทแล้วจะได้เป็นแม่แบบแผ่นทำความเย็นที่จะถูกสไลด์เป็นแผ่นรังผึ้ง 1 รอบ ในปัจจุบันมีการผลิตเพียงร้อยละ 5.00 ของการผลิตแผ่นทำความเย็นที่ยังใช้วิธีนี้อยู่สาเหตุที่ไม่นิยมเนื่องจากวิธีการขึ้นรูปลอนลูกฟูกมีขั้นตอนการทำงานที่มากกว่าและยาวกว่าทั้งในการทากาวหรือการเชื่อมระหว่างแผ่น รวมไปถึงการนำแผ่นวัสดุนั้น ๆ มาซ้อนกัน นอกจากนี้ยังมีข้อจำกัดในการให้น้ำหนักกดทับในขั้นตอนการติดกาวระหว่างแผ่นที่จะใช้แรงกดสูงไม่ได้ (Figure 3)

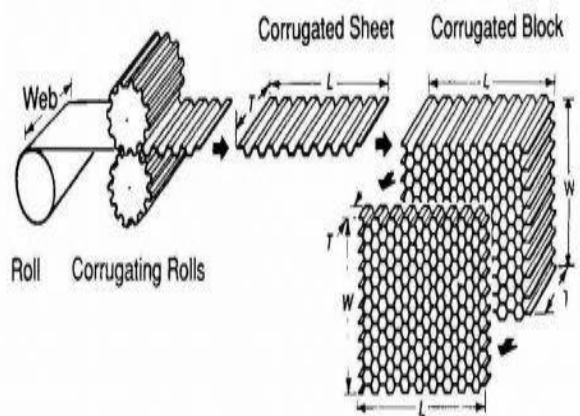


Figure 3 Corrugation method of core manufacturing.

Source: Rupani et al. (2017)

วัสดุทางการเกษตรและคุณสมบัติแผ่นทำความเย็น

ในปัจจุบันแผ่นทำความเย็นแยกชนิดเป็น 2 กลุ่ม Rupani et al. (2017) ได้แก่ กลุ่มโลหะ และกลุ่มอโลหะ โดยในกลุ่มโลหะประกอบไปด้วยวัสดุประเภท อลูมิเนียม เหล็กสแตนเลส หรือไทเทเนียม ที่พบเห็นกันโดยทั่วไปคืออลูมิเนียมตั้งแต่เกรดทั่วไปจนถึงเกรดพิเศษ ซึ่งแผ่นทำความเย็นที่ต้องการจะต้องมี

ประสิทธิภาพทนความร้อนสูง (216 องศาเซลเซียส) ในขณะที่แผ่นทำความเย็นอโลหะจะประกอบด้วยวัสดุประเภทไฟเบอร์กลาสกระดาศ หรือกระดาศกราฟท์ นิยมนำมาผลิตเป็นแผ่นทำความเย็นเนื่องมาจากราคาถูกกว่าแต่ก็ให้ความแข็งแรงที่ต่ำกว่าด้วยเช่นเดียวกัน และยังคงมีปัญหาเรื่องการติดไฟด้วย ส่วนไฟเบอร์กลาสหรือผ้าใยแก้วที่มีขนาดบางทั้งแบบทอลายตรง (Plain weave) หรือลายเฉียง 45 องศา (Biaxial) สามารถทำแผ่นทำความเย็นที่ต้องการความเบาและมีขนาดเซลล์เล็ก โดยแผ่นทำความเย็นไฟเบอร์กลาสที่ทำจากผ้าใยแก้วลายเฉียงจะทนแรงเฉือนได้ดีกว่าแต่จะทนแรงกดได้น้อยกว่าชนิดที่ทำจากผ้าใยแก้วลายตรง ในขณะที่กระดาศกราฟท์ต้องผ่านการเคลือบด้วยสารประกอบเกลือให้ทนไฟจนกระทั่งผ่านมาตรฐานก่อนจึงจะสามารถนำมาใช้ได้ นอกจากนี้ยังมีวัสดุอื่นที่ใช้ทำแผ่นทำความเย็นแต่มีจำนวนน้อย เช่น ทองแดง ตะกั่ว อเบสทอส ไมลาร์ หรือ เคพลาร์ รวมไปถึงวัสดุใหม่อย่างคาร์บอนไฟเบอร์ (Rupani et al., 2017)

ในขณะเดียวกันยังมีการศึกษาการใช้วัสดุทางการเกษตรที่มีอยู่ในท้องถิ่นมาใช้ในการผลิตด้วยการผลิตแผ่นทำความเย็นโดยมักจะนิยมใช้กระดาศ เนื่องจากผลิตง่ายและหาได้ทั่วไปในท้องตลาด จากการศึกษาของ Franco-Salas et al. (2019) พบว่าการทำงานของแผ่นทำความเย็นกระดาศที่ติดตั้งในเรือนกระจกเป็นเวลา 3 ปี เปรียบเทียบกับการทำงานของแผ่นใหม่ในรุ่นเดียวกัน พบว่าการบำรุงรักษาความพรุนของแผ่นรองจะลดลงเนื่องจากการเกาะตัวของเกลือ ซึ่งการสะสมของเกลือทำให้การไหลเวียนของอากาศยากขึ้นในแผ่นรอง ทำให้แรงดันลดลง ร้อยละ 170.04 อย่างไรก็ตาม ประสิทธิภาพความอึดตัวของอากาศของแผ่นรองเพิ่มขึ้น ร้อยละ 6.60 เนื่องจากเวลาในการสัมผัสระหว่างอากาศกับน้ำมากขึ้น แต่ยังมีค่าใช้จ่ายที่สูงในปัจจุบันทำให้เกิดข้อจำกัดสำหรับเกษตรกรรายย่อยทั่วไปที่ใช้ในโรงเรือนทางการเกษตร

การนำวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรที่นำมาใช้ผลิตแผ่นทำความเย็นเพื่อให้มีต้นทุนต่ำและมีประสิทธิภาพเทียบเท่ากับที่มีในท้องตลาดจึงเป็นอีกทางเลือกหนึ่งให้กับเกษตรกร โดย Dhakulkar et al. (2017) ได้วิเคราะห์ประสิทธิภาพของเครื่องทำความเย็นแบบระเหยโดยตรงโดยใช้แผ่นทำความเย็นของวัสดุ 4 ชนิดที่แตกต่างกัน ประกอบด้วย แผ่นกระดาศเซลลูโลส เส้นใยไม้แอสเพน และเส้นใยมะพร้าว จากผลการวิเคราะห์พบว่า แผ่นกระดาศเซลลูโลส และแผ่นใยไม้แอสเพนให้ความเย็นได้ดีแต่เพิ่มความร้อนได้สูงมาก และแผ่นใยมะพร้าวมีความชื้นน้อยที่สุด ในขณะเดียวกัน Khampan et al. (2010) ได้ทำการปรับปรุงความแข็งแรงแบบเปียกของกระดาศใบสับปรดสำหรับแผ่นทำความเย็นแบบระเหยเช่นเดียวกับ Dhamneya et al. (2017) ได้ศึกษาแผ่นทำความเย็นแบบต่าง ๆ ที่ทำจากวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร วัสดุที่ใช้ในการวิเคราะห์นี้มีอยู่ 5 ประเภท ได้แก่ 1) เส้นใยต้นกล้วย 2) เส้นใยอ้อย 3) เส้นใยมะพร้าว 4) เส้นใยคัส และ 5) กระดาศรังผึ้ง ผลศึกษาพบว่า เส้นใยมะพร้าวมีประสิทธิภาพการทำความเย็นร้อยละ 73.44 เส้นใยกล้วย มีประสิทธิภาพการทำความเย็นร้อยละ 67.73 เส้นใยคัสมีประสิทธิภาพการทำความเย็นร้อยละ 67.00 เส้นใยอ้อยมีประสิทธิภาพการทำความเย็นร้อยละ 65.65 และแผ่นรังผึ้งมีประสิทธิภาพการทำความเย็นร้อยละ 40.29 มีประสิทธิภาพอึดตัวที่

ความเร็วลมเข้า 1.30 เมตรต่อวินาที แผ่นทำความเย็นเส้นใยอ้อยให้ประสิทธิภาพความอึดตัวสูงเมื่อเทียบกับแผ่นทำความเย็นแบบรังผึ้ง นอกจากนี้ Kouchakzadeh & Brati (2013) ได้มีการศึกษาประเมินความเหมาะสมของถ่านอัดแท่งเพื่อใช้เป็นวัสดุแผ่นทำความเย็นแบบระเหยทางเลือกที่ใช้ในโรงเรือน โดยมีการติดตั้งการทดสอบแบบพิเศษ ซึ่งออกแบบมาเพื่อประเมินประสิทธิภาพของแผ่นถ่าน และประเมินประสิทธิภาพการทำความเย็นและความแตกต่างของความชื้นสัมพัทธ์ ผลการศึกษาแสดงให้เห็นว่าประสิทธิภาพการระบายความร้อนโดยเฉลี่ยดีที่สุดในความหนาแน่นของถ่านกัมมันต์ 209.58 กิโลกรัม ที่สามารถลดอุณหภูมิร้อยละ 70.00 ด้วยความเร็วลม 1.38 เมตรต่อวินาที และการไหลของน้ำ 0.19 กิโลกรัมต่อวินาทีต่อตารางเมตร ของแผ่น D

จะเห็นได้ว่าประสิทธิภาพของแผ่นทำความเย็นที่ทำมาจากวัสดุทางการเกษตรมีประสิทธิภาพใกล้เคียงหรือมากกว่าแผ่นทำความเย็นที่ทำมาจากกระดาศ นอกจากนี้ยังมีต้นทุนการผลิตต่ำกว่าเนื่องจากเป็นวัสดุที่หาได้จากชุมชน สอดคล้องกับงานวิจัย Salins et al. (2021) พบว่าถ่านมีประสิทธิภาพใกล้เคียงกับแผ่นทำความเย็นในท้องตลาด การบำรุงรักษาต่ำกว่า ค่าใช้จ่ายต่ำกว่า ถ่านมีค่าใช้จ่ายทั้งระบบ 6,713.37 บาท ในขณะที่แผ่นทำความเย็นกระดาศมีค่าใช้จ่าย 913.38 บาทต่อบล็อก 1 ตารางเมตร และมีประสิทธิภาพการระบายอากาศที่ดีขึ้น โดยถ่านสามารถลดอุณหภูมิได้ร้อยละ 77.45 และแผ่นทำความเย็นในท้องตลาดลดอุณหภูมิได้ร้อยละ 57.40 ซึ่งมีเป้าหมายในการใช้เทคโนโลยีที่มีต้นทุนต่ำให้เกษตรกรสามารถเข้าถึงได้ซึ่งถ่านเป็นวัสดุหนึ่งที่ได้รับความสะดวกเนื่องจากมีคุณสมบัติในการดูดซับความชื้นและระบายอากาศเนื่องจากมีรูพรุนสูง (Hemwong, 2013) (Table 2) ดังนั้นการศึกษาพัฒนาแผ่นทำความเย็นให้มีประสิทธิภาพสูง และสามารถนำวัสดุทางการเกษตรของท้องถิ่นมาผลิตจะช่วยให้มีการใช้งานได้ทั้งในโรงเรือน การทำฟาร์มปศุสัตว์ โรงงานอุตสาหกรรม และพื้นที่กลางแจ้งในเมือง ซึ่งจะส่งผลดีต่อการลดปริมาณขยะเหลือใช้ทางการเกษตรให้กับโลกในอนาคตได้

ปัจจัยที่มีผลการใช้ระบบทำความเย็นแบบระเหยในโรงเรือน

Namhormchan & Muangchan (2020) ได้อธิบายว่าอุณหภูมิมีผลกระทบโดยตรงต่อการพัฒนาทางสรีรวิทยาของพืช ซึ่งอุณหภูมิในโรงเรือนเพาะปลูกที่เหมาะสมจะขึ้นอยู่กับชนิดของพืชที่ปลูก พืชแต่ละชนิดมีกระบวนการพัฒนาการตอบสนองต่ออุณหภูมิที่ต่างกัน ความแตกต่างระหว่างอุณหภูมิกลางวันและกลางคืนตลอดจนอุณหภูมิเฉลี่ย 24 ชั่วโมง ส่งผลกระทบต่อการเจริญเติบโตของพืช สภาพภูมิอากาศจึงมีบทบาทอย่างมากในการออกแบบโครงสร้างโรงเรือนเพาะปลูกและระบบควบคุมอุณหภูมิ และความชื้นสัมพัทธ์ (Vapour pressure deficit-VPD) โดยความชื้นสัมพัทธ์ที่เหมาะสมสำหรับการเจริญเติบโตของพืช อยู่ในช่วงร้อยละ 60.00-90.00 ค่าที่ต่ำกว่าร้อยละ 60.00 อาจทำให้พืชเกิดความเครียดจากน้ำ และหากความชื้นสัมพัทธ์สูงกว่าร้อยละ 95.00 เป็นเวลานานโดยเฉพาะอย่างยิ่งในเวลากลางคืนจะส่งผลให้เชื้อราเกิดการพัฒนาอย่างรวดเร็วได้ และยังพบว่าอัตราการไหลของอากาศที่ต่ำจะช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการทำความเย็นยังอัตราการไหลของอากาศสูงขึ้นประสิทธิภาพการทำความเย็นก็จะยิ่งต่ำลง

(Hassan et al., 2021) นอกจากนี้ยังมีรายงานการศึกษาเปรียบเทียบประสิทธิภาพการอิมตัวของอากาศในระบบอุณหภูมิแบบระเหยมีประสิทธิภาพในการลดอุณหภูมิสูงกว่าระบบพ่นหมอก มีมีราคาต่ำกว่า มีการใช้น้ำและพลังงานน้อยกว่า (Franco et al., 2014) จึงมีการศึกษาวัสดุต่างๆ ที่มีราคาต่ำและเหลือทิ้งอันจะก่อให้เกิดขยะต่อโลกอันจะส่งผลทำให้ภาวะโลกร้อนที่ทวีคูณขึ้น ในขณะที่เดียวกันได้มีการศึกษาของ Aziz et al. (2018) เปรียบเทียบการศึกษาของแผ่นทำความเย็นแบบระเหยประกอบด้วย แอสเพน โลหะ ซีเมนต์ วัสดุเซรามิก ขุยมะพร้าว เส้นใยขนแกะ เส้นใยปอกระเจา เส้นใยปาล์มอินทผลัม เส้นใยคัส กระดาษเซลลูโลส พลาสติก และแก้ว พบว่าส่วนใหญ่กระดาษเซลลูโลสมีประสิทธิภาพที่ดี น้ำหนักเบา ต้นทุนต่ำ และประสิทธิภาพความอิมตัวสูง มีประสิทธิภาพการทำความเย็นที่ดีมากถึง ร้อยละ 80.00 และยังมี

ผลต่อการเพิ่มความชื้นอีกด้วย แม้จะมีการใช้แผ่นทำความเย็นที่ทำจากกระดาษเซลลูโลสจะมีการใช้อย่างแพร่หลาย แต่ประสิทธิภาพและอายุการใช้งานของแผ่นทำความเย็นแบบระเหยเหล่านี้จะเสื่อมลงอย่างรวดเร็วเนื่องจากการใช้น้ำกร่อย แร่ธาตุ สารร้าย และฝุ่นที่สะสมตัวอย่างรวดเร็วทำให้เกิดการอุดตันของแผ่นลดอุณหภูมิทำให้อายุการใช้งานสั้นลง กระดาษเซลลูโลสค่อนข้างมีราคาสูงซึ่งทำให้เพิ่มต้นทุนของการใช้ นอกจากนี้การผลิตแผ่นทำความเย็นของแผ่นเซลลูโลสใช้กระดาษในการผลิตทำให้ต้องมีการตัดต้นไม้สำหรับการนำมาทำเยื่อกระดาษจึงสวนทางกันกับการลดปัญหาโลกร้อนและการเปลี่ยนแปลงสภาวะแวดล้อมโดยตรง ดังนั้นการนำวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรที่มีความสามารถในการดูดซับน้ำลดอุณหภูมิในโรงเรือน จึงมีการศึกษาที่สำคัญในการนำมาใช้ในการผลิตแผ่นทำความเย็นสำหรับการใช้ในโรงเรือนในอนาคต

Table 2 Efficiency of cooling pad under different materials

Packing type	Flow type	Operating parameters	Wind speed Range	Performance parameters		
				COP	Humidification efficiency (%)	DP (PA)
Coconut fibers	Cross	Air velocity	1.4 m/s	2.10 ↑	69.39 % ↓	39.19 ↑
Cellulose	Cross	Air velocity	1.8-4.0 m/s	2.50 ↑	85 % ↓	70.00 ↑
Eucalyptus Fiber	Cross	Air velocity	0.1-1.2 m/s	4.05 ↑	65 % ↓	60.00 ↑
Charcoal	Counter	Air velocity	4-6 m/s	1.41	Rise to optimum value then fall 57.40 %	87.00 ↑
Cellulose	Counter	Air velocity	4-6 m/s	3.17 ↑	Rise to optimum value then fall 77.45 %	75.00 ↑

Remarks: 1. Coefficient of performance (COP) 2. Change in pressure (DP).

↑ Performance parameters increase with the rise in air velocity.

↓ Performance parameters decrease with the rise in air velocity.

Source: Salins et al. (2021)

แนวทางการนำแผ่นทำความเย็นจากวัสดุทางการเกษตรไปใช้ประโยชน์

แผ่นลดอุณหภูมิในระบบทำความเย็นแบบระเหย ได้มีการศึกษาเพื่อใช้ในการแก้ปัญหาในการทำการเกษตรทั้งด้านการเลี้ยงสัตว์และด้านการผลิตพืชในโรงเรือน โดยมีการศึกษาของ Premjai & Poolkrajang (2011) ได้ศึกษาประสิทธิภาพแผ่นทำความเย็นจากวัสดุธรรมชาติสำหรับโรงเรือนเลี้ยงไก่ โดยผลิตแผ่นทำความเย็นจากกาบมะพร้าวและแกลบ จากการศึกษาพบว่าแผ่นทำความเย็นที่ทำขึ้นมาจากกาบมะพร้าวเพื่อเป็นวัสดุทดแทนแผ่นทำความเย็นแบบกระดาษมีความสามารถในการลดอุณหภูมิของอากาศที่ผ่านแผ่นทำความเย็นลงได้ประมาณ 5 องศาเซลเซียส ซึ่งสามารถควบคุมอุณหภูมิของอากาศภายในโรงเรือนไม่ให้เกินค่าที่กำหนดไว้ คือ 25-35 องศาเซลเซียส และยังพบว่าแผ่นทำความเย็นจากกาบมะพร้าวมีประสิทธิภาพการในการทำความเย็นอยู่ที่ประมาณร้อยละ 71.00 ใกล้เคียงกับแผ่นทำความเย็นแบบกระดาษที่ใช้กันในโรงเรือนจริง ซึ่งมีประสิทธิภาพการทำความเย็นอยู่ที่ประมาณร้อยละ 75.00 ส่วนแผ่นทำความเย็นแบบแกลบสามารถลดอุณหภูมิได้ประมาณ 3 องศาเซลเซียส ประสิทธิภาพการทำความเย็นอยู่ที่ร้อยละ 26.56 ซึ่งสามารถควบคุมอุณหภูมิของอากาศ

ภายในโรงเรือนไม่ให้เกินค่าที่กำหนดไว้เช่นเดียวกัน ในขณะที่ด้านการปลูกพืช Yamfang et al. (2021) ได้ศึกษาการประยุกต์ใช้ระบบการทำความเย็นแบบระเหยร่วมกับระบบการทำความเย็นแบบอัดไอมาใช้ในการโรงเรือนเลี้ยงไหมพบว่าระบบการทำความเย็นแบบระเหยอุณหภูมิอากาศและความชื้นสัมพัทธ์อากาศเฉลี่ยในโรงเรือนที่ได้จากการศึกษาคือ 27.9 องศาเซลเซียส 27.5 องศาเซลเซียส และ 27.4 องศาเซลเซียส โดยมีค่าความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 83.91 ร้อยละ 85.61 และ ร้อยละ 83.29 ตามลำดับ ในขณะที่ Puttaraksa et al. (2017) ได้ศึกษาศักยภาพการทำความเย็นแบบระเหยในโรงเรือนปลูกสตรอเบอรี่เชตร้อน จากการศึกษาพบว่าระบบทำความเย็นแบบระเหยสามารถลดอุณหภูมิอากาศในโรงเรือนได้ตั้งแต่ 1.1-2.7 องศาเซลเซียส และมีความชื้นสัมพัทธ์อากาศเพิ่มขึ้นร้อยละ 7.50 และเมื่อใช้ร่วมกับตาข่ายพรางแสงสามารถลดอุณหภูมิอากาศในโรงเรือนได้มากที่สุด 3.30 องศาเซลเซียส และความชื้นสัมพัทธ์อากาศเพิ่มขึ้นเฉลี่ยร้อยละ 10.00 ทำให้ผลผลิตของสตรอเบอรี่เพิ่มขึ้นได้มากกว่า 2 เท่า เมื่อเปรียบเทียบการเพาะปลูกในโรงเรือนที่ไม่มีการทำความเย็น

นอกจากนี้ยังมีการศึกษาประสิทธิภาพการนำถ่านมาใช้ในการระบบทำความเย็นแบบระเหย โดย Oliy (2020) ได้เปรียบเทียบ

ประสิทธิภาพของห้องทำความเย็นแบบระเหย (Evaporative cooling chamber) ที่ทำจากอิฐและถ่านเพื่อยืดอายุการเก็บรักษาของมะเขือเทศ พบว่า อุณหภูมิเฉลี่ยรายวันสูงสุดและต่ำสุด เท่ากับ 26.20-17.00 องศาเซลเซียส และ 24.40-17.00 องศาเซลเซียส ตามลำดับ ในขณะที่อุณหภูมิภายนอกห้องในเวลาเที่ยงวันมีสูงสุดและต่ำสุด เท่ากับ 32.50-21.00 องศาเซลเซียส จะเห็นได้ว่าห้องที่ทำจากอิฐสามารถลดอุณหภูมิที่ได้ต่ำสุด 4 องศาเซลเซียส และสูงสุด 5.90 องศาเซลเซียส ส่วนห้องที่ทำจากถ่านสามารถลดอุณหภูมิที่ได้ต่ำสุด 4 องศาเซลเซียส และสูงสุด 8.10 องศาเซลเซียส ทำให้มีระยะเวลาในการเก็บรักษามะเขือเทศได้นานขึ้น รวมถึงลดอัตราการสลายตัวและความสูญเสีย

จากข้อมูลการใช้วัสดุทางการเกษตรเพื่อผลิตแผ่นทำความเย็นที่ผ่านมา พบว่า วัสดุแต่ละชนิดมีประสิทธิภาพการทำความเย็นที่แตกต่างกันขึ้นอยู่กับปัจจัยดังต่อไปนี้ ได้แก่ โครงสร้างและช่องว่างของวัสดุ ปริมาณรูพรุน ความสามารถในการดูดซับและการระเหยของน้ำ การไหลผ่านของน้ำ ความสามารถในการเพิ่มความชื้นสัมพัทธ์ในอากาศ ความสามารถในการลดตะกอนสะสม รวมถึงความคงทนของวัสดุซึ่งส่งผลโดยตรงต่อต้นทุนของระบบทำความเย็นแบบระเหย โดยจากการสังเคราะห์ข้อมูลวัสดุแต่ละชนิด พบว่า วัสดุจาก

การเกษตรที่มีโครงสร้างภายในคล้ายฟองน้ำและไม่ผ่านกระบวนการเผา (ใยกล้วย ขุยมะพร้าว ใยมะพร้าว ใยบวบ เส้นใยขนแกะ เส้นใยปอกระเจา และเส้นใยปาล์มอินทผลาล์ม) ทำให้สามารถกักเก็บน้ำได้ดี แต่มีข้อจำกัดในการทนการกัดกร่อนได้น้อย เกิดเชื้อรา และมีการเน่าเปื่อยได้ง่ายทำให้อายุการใช้งานที่ต่ำหากมีการผลิตใช้งานบ่อยครั้งจะต้องมีการพิจารณาความคุ้มค่าของวัสดุ ในขณะที่วัสดุจากเกษตรที่ผ่านกระบวนการเผา (ถ่าน และถ่านอัดแท่ง) จะมีปริมาณรูพรุนที่สูงกว่าเนื่องจากเกิดกระบวนการย่อยสลายของผนังเซลล์ในระหว่างกระบวนการเผา เพิ่มพื้นที่ผิวสัมผัสส่งผลทำให้ความสามารถในการเก็บกักน้ำได้ดี และมีความคงทนนานกว่า 10 ปี รวมถึงความสามารถในการทนต่อการกัดกร่อนของน้ำและเชื้อรา เนื่องจากมีค่า pH ที่สูง อย่างไรก็ตามปัจจัยที่ต้องคำนึงถึงคือปริมาณของวัสดุซึ่งต้องเพียงพอต่อการนำไปผลิตแผ่นทำความเย็นสำหรับติดตั้งในโรงเรือนขนาดใหญ่ซึ่งต้องใช้วัสดุปริมาณมาก ดังนั้นการใช้วัสดุอยู่ในพื้นที่จะลดปัญหาการเกิดต้นทุนในการขนส่งของเกษตรกรได้ นอกจากนี้หากหมดอายุการใช้งานแล้วสามารถย่อยสลายได้เองตามธรรมชาติ หรือนำมาผลิตเป็นปุ๋ยเพื่อใช้ในการผลิตพืชในพื้นที่ได้อีกด้วย (Figure 4)

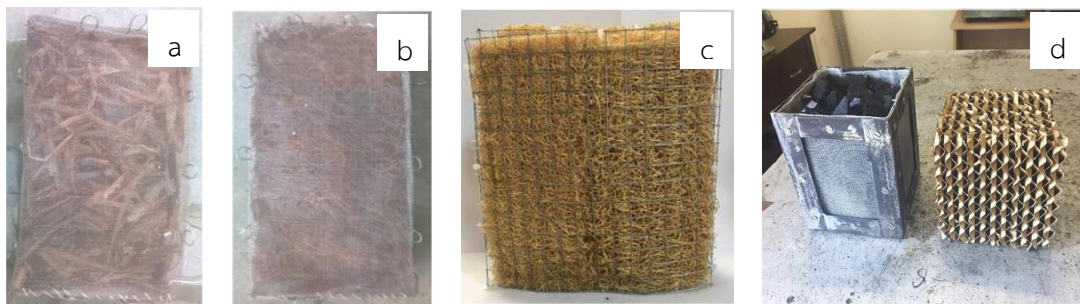


Figure 4 Some example of cooling pads make from a) banana fiber b) coconut fiber c) luffa and d) charcoal.

Source: Aziz et al. (2018); Dhamneya et al. (2017); Salins et al. (2021)

สรุปผลการวิจัย

การทำการเกษตรในปัจจุบันมีต้นทุนสูง โดยเฉพาะต้นทุนด้านพลังงานที่เพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง อันมีปัจจัยมาจากการเกษตรควบคู่ไปกับการใช้เทคโนโลยีเพื่อรักษาผลผลิตให้มีปริมาณและคุณภาพสูง การใช้ระบบการทำความเย็นแบบระเหยนับได้ว่าเป็นระบบที่มีค่าใช้จ่ายที่ต่ำที่สุดเมื่อเทียบกับระบบลดอุณหภูมิแบบอื่น มีการใช้พลังงานน้อยเนื่องจากการหมุนเวียนน้ำในระบบกลับมาใช้ใหม่ทำให้มีการสูญเสียน้ำออกจากระบบต่ำมาก ขณะที่หากมีการประยุกต์ใช้วัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรมาประยุกต์ใช้เป็นวัสดุทางเลือกในการผลิตเป็นแผ่นทำความเย็นจะยิ่งทำให้ต้นทุนในการใช้ระบบต่ำลงไปอีก โดยวัสดุที่จะนำมาผลิตแผ่นทำความเย็นจะต้องมีคุณสมบัติที่เอื้อต่อการลดอุณหภูมิในโรงเรือน และเป็นวัสดุที่มีท้องถิ่นเพื่อให้มีต้นทุนต่ำทำให้เกษตรกรรายย่อยเข้าถึงได้ ซึ่งเกษตรกรจะสามารถบำรุงรักษาเองส่งผลให้เกษตรกรสามารถใช้งานได้ง่ายและปรับใช้ได้ตามเงื่อนไขของพื้นที่นั้น ๆ ได้ การนำเสนอแนวคิดในการใช้เทคโนโลยีและวัสดุท้องถิ่นนี้อาจนำไปสู่การพัฒนาเทคโนโลยีและวัสดุรวมถึงการเพิ่มประสิทธิภาพทางเศรษฐกิจและ

สิ่งแวดล้อมของการเกษตรในโรงเรือน จึงควรให้ความสำคัญในการศึกษาและส่งเสริมการใช้เทคโนโลยีที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อมเพื่อสนับสนุนการเกษตรที่ยั่งยืนและทนทานต่อการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ นอกจากนี้ การให้ความสำคัญในการพัฒนาทรัพยากรธรรมชาติที่มีจำกัดจะช่วยลดการใช้พลังงานและการปล่อยก๊าซเรือนกระจกเรือนกระจกสุทธิเป็นศูนย์ในการเกษตรและช่วยเพิ่มศักยภาพให้ภาคเกษตรให้มีการพัฒนาที่ยั่งยืนมากขึ้น

References

- Alibaba. (2022). *Coolingpad price*. Resources. Accessed February 20, 2022. Retrieved from <https://thai.alibaba.com/p-detail/Evaporative-1600089660153.html> (in Thai)
- Aziz, R. A, Zamrud, N. F., & Rosli, N. (2018). Comparison on cooling efficiency of coolingpad materials for evaporative cooling system. *Journal of Modern Manufacturing Systems and Technology*, 1(1) , 61- 68. doi: 10.15282/jmmst.v1i1.199

- Babaremu, K. O., Omodara, M. A., Fayomi, O. S. I., Okokpujie, I. P., & Oluwafemi J. O. (2018). Design and optimization of an active evaporative cooling system. *International Journal of Mechanical Engineering and Technology*, 9(10), 1051-1061.
- Department of Alternative Energy Development and Energy Efficiency Ministry of Energy. (2021). *Biomass green energy that is friendly to the world. Resources*. Accessed August 15, 2023. Retrieved from <https://www.thebangkokinsight.com/news/environmental-sustainability/558298> (in Thai)
- Dhamneya, A. K., Rajput, S. P. S., & Singh, A. (2017). Experimental performance analysis of alternative cooling pad made by agricultural waste for direct evaporative cooling system. *International Journal of Mechanical Engineering and Technology*, 8(7), 199-212.
- Franco, A., Valera, D. L., & Peña, A. (2014). Energy efficiency in greenhouse evaporative cooling techniques: cooling boxes versus cellulose pads. *Energies*, 7(3), 1427-1447. doi: 10.3390/en7031427
- Franco-Salas, A., Peña-Fernández, A., & Valera-Martinez, D. L. (2019). Refrigeration capacity and effect of ageing on the operation of cellulose evaporative cooling pads, by wind tunnel analysis. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 16(23) , 4690.. doi: org/10.3390/ijerph16234690
- Givoni, B. (1993). Semiempirical model of a building with a passive evaporative cool tower. *Solar Energy*, 50(5), 425-434. doi: 10.1016/0038-092X(93)90064-U
- Hassan, Z., Misaran, M. S., Siambun, N. J., & Adzrie, M. (2022). The effect of air velocity on the performance of the direct evaporative cooling system. *Proceeding of the IOP conference series: materials science and engineering for sustainable advancement (MEESA 2021)* (pp. 1-7). Sabah, Malaysia: IOP Publishing Ltd. doi: 10.1088/1757-899X/1217/1/012016
- Hatfield, J. L., & Prueger, J. H. (2015). Temperature extremes: effect on plant growth and development. *Weather and Climate Extremes*, 10, 4-10. doi: 10.1016/j.wace.2015.08.001
- Hemwong, S. (2013). Biochars: carbon sequestration and soil fertility. *King Mongkut's Agricultural Journal*, 31(1), 104-113. (in Thai)
- Kanla, S. (2009). A comparison of physical properties between evaporative cooling pad prototype from coconut fiber with cellulose pad. *Air- Conditioning Engineering Association of Thailand*. 15, 49-57. (in Thai)
- Kapilan N., Isloor, A. M., & Karinka, S. (2023). A comprehensive review on evaporative cooling systems. *Results in Engineering*, 18, 101059. doi: 10.1016/j.rineng.2023.101059
- Khampan, T., Thavarungkul, N., Tiansuwan, J., & Kamthai, S. (2010). Wet strength improvement of pineapple leaf paper for evaporative cooling pad. *Proceedings of the world academy of science, engineering and technology (2010-376X)* (pp.254-257) Istanbul, Turkey: World Academy of Science, Engineering and Technology.
- Kouchakzadeh, A., & Brati, A. (2013). The evaluation of bulk charcoal as greenhouse evaporative cooling pad. *Agricultural Engineering International: CIGR Journal*, 15(2), 188-193.
- Liberty, J. T., Ugwuishiwu, B. O., Pukuma, S. A., & Odo, C. E. (2013). Principles and application of evaporative cooling systems for fruits and vegetables preservation. *International Journal of Current Engineering and Technology*, 3(3), 1000-1006.
- Maneewan, S. (2007). Investigation of physical properties of mulberry paper for evaporative cooling system. *Naresuan University Journal*, 15(2), 63-72. (in Thai)
- Namhormchan, T. (2019). Plant factory. *EAU Heritage Journal Science and Technology*, 13(2), 46-62. (in Thai)
- Namhormchan, T., & Muangchan, N. (2020). Energy conservation in the closed-system greenhouse. *EAU Heritage Journal Science and Technology*, 14(1), 1-13. (in Thai)
- Oliy, G. B. (2020). Comparative effect of brick and charcoal made evaporative cooling storage on shelf life of tomato. *International Journal of Scientific and Research Publications*, 10(5) , 729-734. doi: 10.29322/ijrsp.10.05.2020.p10184
- Premjai, N., & Poolkrajang, A. (2011). Study on the efficiency of cooling pad made of natural materials for a broiler house. *Proceeding of Academic conference Khon Kaen University* (pp.770-774). Khon Kaen, Thailand: Khon Kaen University. (in Thai)
- Puttaraksa, P., Nathewet, P., & Mongkon, S. (2017). Potential of evaporative cooling system in a tropical strawberry greenhouse. *Proceeding of the 13th conference on energy network of Thailand* (pp.56-64)., Chiang Mai, Thailand: Rajamangala University of Technology Thanyaburi. (in Thai)
- Rupani, S. V., Jani, S. S., & Acharya, G. D., (2017). Design, modelling and manufacturing aspects of honeycomb sandwich structures: a review. *International Journal of Scientific Development and Research*, 2(4) , 526- 532. doi: 10.1712/ijedr.17013
- Salins, S. S., Kota Reddy, S. V. K., Kumar, S., & Stephen, C. (2021). Experimental investigation of humidification parameters using biomass-based charcoal as an alternative packing

- material. *Journal of King Saud University - Engineering Sciences*. 35(7), 495- 505. doi: 10. 1016/j.jksues.2021.04.005
- Tejero-González, A., & Franco-Salas, A. (2021). Optimal operation of evaporative cooling pads: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 151, 111632. doi: 10.1016/j.rser. 2021.111632
- Yamfang, M, Boonwan, C., Laongwan, C., Assanee, N., Pairintra, R., & Guptasa, M. , (2021). The application of combined systems including evaporative cooling and vapor compression air conditioning system for a silkworm rearing house. *Journal of Engineering, RMUTT*, 19(1): 13-23. (in Thai)
- Zellweger, J. (1906). *Air filter and cooler*. U.S. patent 838602. Accessed February 20, 2022. Retrieved from <https://patents.google.com/patent/US838602A/en>.

Research article

Role of agricultural waste: alternative materials for evaporative cooling pad

Somporn Kongna^{1*} Komkrit Chooruang² Kanlaya Mikhama³ and Saowakon Hemwong³¹Graduate School in Agricultural Innovation and Technology, Faculty of Agriculture and Technology, Nakhon Phanom University, Nakhon Phanom Province 48000²Division of Computer Engineering, Faculty of Engineering, Nakhon Phanom University, Nakhon Phanom Province 48000³Division of Plant Science, Faculty of Agriculture and Technology, Nakhon Phanom University, Nakhon Phanom Province 48000

ARTICLE INFO

Article history

Received: 11 October 2023

Revised: 6 December 2023

Accepted: 9 January 2024

Online published: 18 March 2024

Keyword

Cooling pads

Evaporative cooling systems

Agricultural waste material

Alternative materials

ABSTRACT

The use of evaporative cooling systems in greenhouse cultivation is a promising option for addressing agricultural challenges in the face of global warming. However, a notable issue is the high cost of cooling pads, making this technology inaccessible to small-scale farmers. This article aims to compile, analyze, and summarize the evolution, principles, and production methods of utilizing agricultural waste materials as evaporative cooling pads. It also compares the efficiency of using agricultural waste materials as cooling pads, highlighting their potential to reduce temperatures by 3 to 8 degrees Celsius. In comparison, conventional paper-based panels typically achieve a reduction of approximately 5 degrees Celsius. The efficiency of using agricultural waste materials for evaporative cooling depends on various factors, including the internal structure of the material, the pore size and pore volume, water absorption and evaporation capabilities, moisture retention capacity, and resistance to clogging. Additionally, the sustainability of these materials relies on their ability to minimize accumulated debris and their cost-effectiveness, enabling widespread adoption among small-scale farmers. In conclusion, this research synthesizes findings from studies that utilize efficient agricultural waste materials for sustainable evaporative cooling. The development of low-cost materials holds the key to ensuring that small-scale farmers can access and benefit from this technology, ultimately contributing to the establishment of sustainable and cost-effective agricultural practices in the future for small-scale farmers. This article aims to compile, analyze, and summarize the evolution, principles, and production methods of utilizing agricultural waste materials as evaporative cooling pads. It also compares the efficiency of using agricultural waste materials as cooling pads, highlighting their potential to reduce temperatures by 3 to 8 degrees Celsius. In comparison, conventional paper-based panels typically achieve a reduction of approximately 5 degrees Celsius. The efficiency of using agricultural waste materials for evaporative cooling depends on various factors, including the internal structure of the material, the pore size and pore volume, water absorption and evaporation capabilities, moisture retention capacity, and resistance to clogging. Additionally, the sustainability of these materials relies on their ability to minimize accumulated debris and their cost-effectiveness, enabling widespread adoption among small-scale farmers. In conclusion, this research synthesizes findings from studies that utilize efficient agricultural waste materials for sustainable evaporative cooling. The development of low-cost materials holds the key to ensuring that small-scale farmers can access and benefit from this technology, ultimately contributing to the establishment of sustainable and cost-effective agricultural practices in the future.

*Corresponding author

E-mail address: sompornrdi@npu.ac.th (S. Kongna)

Online print: 18 March 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.2024.1>



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

บทความวิจัย

ความแตกต่างทางพันธุกรรมของปลาโกลทรายในแม่น้ำโขง จังหวัดหนองคาย ประเทศไทย

อาภากร สกุลสถาพร* เบลญจพรรณ เจริญยิ่ง และ รัชนิกรณ์ มาพะเนาวั

สาขาวิทยาศาสตร์ประยุกต์ คณะสหวิทยาการ มหาวิทยาลัยขอนแก่น วิทยาเขตหนองคาย อำเภอเมือง จังหวัดหนองคาย 43000

ข้อมูลบทความ	บทคัดย่อ
Article history	
รับ: 17 กรกฎาคม 2566	
แก้ไข: 10 พฤศจิกายน 2566	
ตอบรับการตีพิมพ์: 25 ธันวาคม 2566	
ตีพิมพ์ออนไลน์: 18 มีนาคม 2567	
คำสำคัญ	
ความแตกต่างทางพันธุกรรม	การศึกษานำเสนอการประเมินความหลากหลายทางพันธุกรรมครั้งแรกของ <i>Cyclocheilichthys enoplos</i> ซึ่งเป็นปลาชนิดหนึ่งในภูมิภาคเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ และมีบทบาทสำคัญในเศรษฐกิจท้องถิ่นเป็นแหล่งอาหารสำหรับประชาชนในพื้นที่ ในการศึกษาได้ใช้เครื่องหมายสก็อต (Start Codon Targeted, SCoT, 9 primers) เพื่อประเมินความหลากหลายทางพันธุกรรมของปลาโกลทรายสามกลุ่มประชากรจากธรรมชาติในแม่น้ำโขง จังหวัดหนองคาย ประเทศไทย ตัวอย่างปลาที่เก็บมาทั้งหมด 28 ตัวอย่าง ผลการทดสอบพบว่าให้แถบดีเอ็นเอที่ให้โพลิมอร์ฟิซึมรวม 158 แถบ และมีค่า % of polymorphic loci (% P) อยู่ระหว่าง 48.80-85.54 % ประชากรจาก อำเภอรัตนวาปี (RP) มีความแตกต่างทางพันธุกรรมของประชากรสูงที่สุดในขณะที่ประชากรจาก อำเภอสังขุม (SK) มีระดับการแตกต่างทางพันธุกรรมของประชากรที่ต่ำที่สุด ค่าความหลากหลายทางพันธุกรรม (heterozygosity; He) และค่าดัชนีความหลากหลายทางพันธุกรรม (Shannon's Information index; I) ของทั้งสามประชากรอยู่ระหว่าง 0.195-0.296 และ 0.285-0.444 ตามลำดับ และแผนภาพจัดกลุ่มความสัมพันธ์จากค่า Nei's genetic distance และแผนภาพความสัมพันธ์เชิงวิวัฒนาการจากโปรแกรม NTSYS-PC จัดแบ่งประชากรออกเป็น 2 กลุ่มที่แตกต่างกันอย่างชัดเจน การวิเคราะห์ความแปรปรวนทางพันธุกรรมของประชากรระดับโมเลกุล (AMOVA) ได้แสดงให้เห็นว่าส่วนใหญ่ของความแตกต่างเกิดขึ้นภายในกลุ่มประชากร (87 %) ในขณะที่ความแตกต่างระหว่างกลุ่มประชากรมีค่าน้อย (13 %) โดยการศึกษาจะเป็นข้อมูลเบื้องต้นสำหรับการจัดการประชากรปลาโกลทรายในภูมิภาคนี้
ปลาโกลทราย	
แม่น้ำโขง	
เครื่องหมายสก็อต	

Introduction

The Mekong River is the main river in Southeast Asia and one of the world's longest rivers, flowing approximately 4400 kilometers from the Tibetan plateau in China to Vietnam after crossing Thailand 1520 kilometers and through Nongkhai Province 210.6 kilometers. The Mekong River possesses the world's second-highest inland fish variety with around 1100 species (Baran et al., 2005; Coates et al., 2006; Kang & Huang, 2021). It also provides habitat for one of the most productive inland fisheries (Hortle, 2009). *Cyclocheilichthys enoplos*, a freshwater fish in the Cyprinidae family, has a wide distribution range in Thailand,

Vietnam, Laos, Cambodia, Malaysia, and Indonesia (Luo et al., 2018) with adult fish ranging in length from 35 to 80 centimeters and weight from 0.45 to 8 kilograms. This fish species is economically valued, fetching a high price of 150-200 baht per kilogram in the Northeast region of Thailand, making it a lucrative source of revenue for local fishermen earning 1000-2000 baht per day. *C. enoplos* is a renowned fish species found in the Nan River that serves as the provincial fish of Uttaradit Thailand (Seel-audom et al., 2021).

C. enoplos commonly known as "Ta-Kok" is notable for its huge ovary and great fecundity, allowing it to produce a large

*Corresponding author

E-mail address: arpasa@kku.ac.th (A. Sakulsathaporn)

Online print: 18 March 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.2024.2>

number of eggs during its spawning season, which occurs between July-August (Ratanatrivong et al., 1993). Notability, a considerable decrease in fish quantity has been documented in the Nan River, dropping from 127 tons to 5 tons between 2007-2016 (Seel-audom et al., 2021). Analogous to the situation in the Mekong River, *C. enoplos* is particularly vulnerable to variations in water levels, especially during the start of the rainy season, when the Mekong water recedes swiftly, rendering reproduction more challenging. Additionally, the use of both organic and inorganic chemicals in fish cage farming has intensified in the Mekong River. The application of various fishing tools has enhanced fishing efficiency, affecting the Mekong River's ecosystem and contributing to a reduction in the number and diversity of Mekong fish species (Uawonggul et al., 2019).

The Start Codon Targeted Marker (SCoT) is a dominant marker that employs an ATG specific primer sequence (Collard & Mackill, 2009). SCoT has emerged as a preferred marker for low DNA concentrations since it does not require prior knowledge of DNA sequence genome. SCoT amplified fragment produced distinct and sharp bands that are convenient, rapid, and cost-effective for genetic studies. The genetic diversity of SCoT markers has been studied in a variety of fish species, including *Dicentrarchus punctus*, *Cheilinus trilobatus*, *Cheilinus quinquecinctus*, and *Chlorurus sordidus* (Hassan et al., 2020) *Dicentrarchus labrax* (Almaaty, 2020) *Mugil cephalus*, *Liza ramada*, *Liza grana*, and *Valamugil seheli* (Elian et al., 2021).

The purpose of the study was to evaluate genotypes using SCoT markers in order to investigate the genetic diversity and population structure of *C. enoplos*. The work is pioneering attempt to explore *C. enoplos* wild populations inside the Mekong River in

Thailand's Nong Khai Province from a molecular perspective. Its findings are crucial for the region's conservation and governance of this species.

Materials and methods

Ethics approval and consent to participate

The research procedures outlined in this study, including animal experimentation, were approved by the Ethics Committee for the Institutional Animal Care and Use Committee of Khon Kaen University (Record No. IACUC-KKU-24/66, Reference No. 660201.2.11/168 (28)), in accordance with the National Research Council of Thailand's Ethic of Animal Experimentation guidelines. To safeguard endangered species, only a little amount of fin tissue was obtained for each sample.

Animal and sample collection

The specimens of *C. enoplos* analyzed in this research were obtained from the collections of Mapanao et al. (2023), conducted from June 2021 to May 2022 and subsequently from February 2023 to July 2023. These specimens were sourced by local fishermen from the Mekong River in Nong Kai Province, Thailand, specifically from the locations of SK (Sangkhom, n = 4), M (Muang, n = 9), and RP (Rattanawapee, n = 15) (Figure 1). Additionally, *Cosmochilus harmandi* and *Bagarius bagarius* were included as outgroups for phylogenetic analysis. Rainboth's (1996) classification was used to identify the gathered samples as *C. enoplos* based on their morphological characteristics. Each deceased fish specimen, which was generously supplied by a fisherman, had a tissue segment taken that included the fin and/or muscle. The tissue was then preserved in 95 % ethanol to facilitate future DNA isolation.

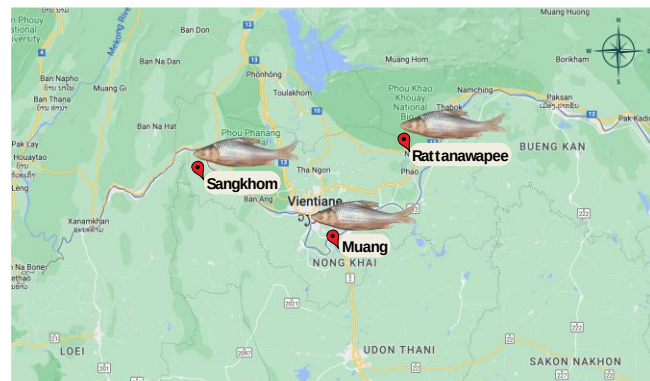


Figure 1 Location of *C. enoplos* populations sampled along the Mekong River in Nong Kai Province of Thailand

Genomic DNA extraction

Genomic DNA was extracted from fin clips or muscle tissues utilizing a modified salt extraction protocol (Lopera-Barrero et al., 2008). The quality of the DNA extracts was assessed by determining the ratio of wavelengths at 260 and 280 nm (Genova nano 737-501, Jenway, United Kingdom). The quality of the DNA samples was also evaluated through agarose gel electrophoresis, which was carried out in 1X TBE buffer at a voltage of 120 V for 30 minutes. The gel was stained with ethidium bromide for visualization.

The Start Codon Targeted Marker (SCoT) analysis

Nine of the thirty-six SCoT markers described in Table 1 were selected for the

genotyping of specimens. The PCR reaction mixture (10 µl) contains 10 ng of DNA template, 2 µl of 5X HOT FIREPol® Blend Master Mix (Solis Biotne, Estonia), 1 µl of 10 pM of each primer, and distilled water added to reach a final volume of 10 µl. The PCR cycling conditions were as follows: a 12-minute initial denaturation at 95°C, followed by 40 cycles of denaturation at 95°C for 20 seconds, annealing at 50-55°C for 30 seconds, and extension at 72°C for 30 seconds, with a 5-minute final extension step at 72°C. The samples were examined on a 2 % agarose gel and stained with ethidium bromide to visualize the PCR amplification results. A 100-base pair (bp) molecular size ladder (Vivantis, Malaysia) was used to estimate fragment sizes.

Table 1 The SCoT primers used for amplification, as well as the best conditions for each primer and the polymorphic DNA band (T = temperature, Pb = Polymorphic bands, PIC, polymorphism information content)

NO.	Primer Name	Primers Sequence	T (°C)	PB	PIC
1.	SCoT-2	CAACAATGGCTACCAACC	55	15	0.38
2.	SCoT -4	CAACAATGGCTACCAACC	50	23	0.38
3.	SCoT -6	CAACAATGGCTACCAACC	55	18	0.37
4.	SCoT -7	CAACAATGGCTACCAACGA	55	18	0.40
5.	SCoT -11	AAGCAATGGCTACCAACCA	50	16	0.37
6.	SCoT -12	ACGACATGGCGACCAACG	55	19	0.34
7.	SCoT -17	ACCATGGCTACCAACCGAG	55	19	0.36
8.	SCoT -31	CCATGGCTACCAACCGCCT	55	17	0.27
9.	SCoT -34	ACCATGGCTACCAACCGCA	55	13	0.32
Total				158	
Average				17.50	0.35

Data analysis

The SCoT bands were encoded using binary characters, with 1 representing

presence and 0 representing absence. These binary characters were utilized subsequent investigation. A UPGMA dendrogram was

calculated and established using the NTSYSpc 2.1 software (Rohlf, 2000) to assess the genetic link between the samples tested. The genetic diversity of both intra-population and inter-cultivar was evaluated by computing several genetic diversity characteristics such as the number of monomorphic bands, polymorphic bands, and % of polymorphism (%). Additionally, expected heterozygosity (H_e) and Shannon's information index (I) were calculated by GenAlEx 6.5 program (Peakall & Smouse, 2012). Moreover, the diversity within the population (H_s), total species diversity (H_t), and gene flow (N_m) were also computed using the POPGENE software (Version 1.31) (Yeh et al, 1999). To describe the distribution of genetic variability among and within populations, the Analysis of Molecular Variance (AMOVA), Principal Coordinate Analysis (PCoA) and Mantel test were performed using the GenAlEx 6.5 program.

Results and Discussion

SCoT primer evaluation

After the preliminary screening of 36 SCoT markers, nine SCoT markers were selected. This selection was based on the demonstration of distinct polymorphic band patterns and the consistency in reproducing

results across various assessments. A total of nine markers generated 158 fragments with an average of 17.5 fragments per primer. SCoT-4 produced the most bands, with a maximum of 23, while SCoT-34 produced the fewest bands, with a minimum of 13. The mean Polymorphism Information Content (PIC) value was 0.35, ranging from 0.27 for SCoT-31 to 0.40 for SCoT-7 (Table 1). According to the current investigation, the selected markers have moderate polymorphisms ($PIC = 0.356$), where $0.25 < PIC < 0.5$ reflect moderate polymorphisms and PIC values < 0.25 indicate a low rate of polymorphism (Zhang et al., 2020).

The phylogenetic relationships among the 28 genotypes were analyzed using the UPGMA method in the NTSYSpc program. The genotypes were found to be separated into two distinct clusters with a similarity range of 0.50-0.80 (Figure 2). The dendrogram clearly distinguished between the two groups. The first group included RP1, RP2, RP4, RP3, RP8, RP12, RP13, RP10, RP11, RP14, RP15, M2, M4, M6, RP6, M8, RP16, M3, M5, RP7, and RP9, while the second group included M7, M9, M10, SK1, SK2, SK3, and SK4. *Cosmochilus harmandi* and *Bagarius bagarius* made comprised the outgroup.

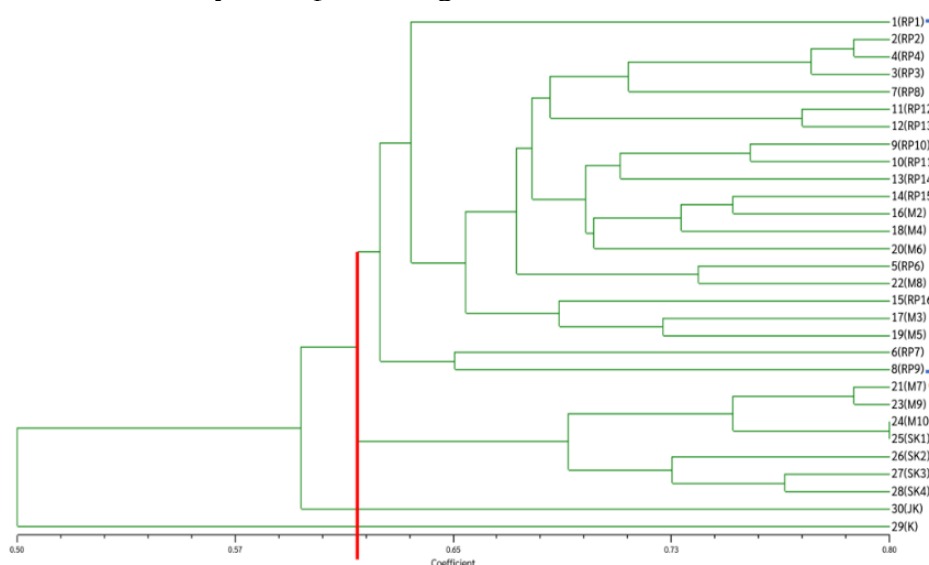


Figure 2 Dendrogram shows the diversity relationship between the study specimens analyzed with NTSYS 2.1 *C. enoplos*; SK=Sangkhom, M=Muang, RP=Rattanaapee and outgroup; JK= *Cosmochilus harmandi*, K= *Bagarius bagarius*

Genetic diversity

The genetic diversity of the population was analyzed using the GenAlEx 6.5 program, which revealed a % of polymorphic loci (% P) range of 48.80-85.54 %, expected heterozygosity (He) range of 0.195-0.296, and Shannon's Information index (I) range of 0.285-0.444. The RP site had the highest

diversity $P = 85.54\%$, $He = 0.296$, $I = 0.444$ followed by the M site $P = 74.10\%$, $He = 0.276$, $I = 0.408$ and the SK site population had the lowest diversity $P = 48.80\%$, $He = 0.195$, $I = 0.285$. The overall genetic diversity of the *C. enoplos* population was $P = 69.48\%$, $He = 0.256$ and $I = 0.379$ (Table 2).

Table 2 Genetic diversity of *C. enoplos* (N = numbers of samples, P (%) = % of polymorphic loci, He = expected heterozygosity and I = Shannon's information index)

Population	N	P (%)	He	I
RP (Rattanaawaree)	15	85.54 %	0.296±0.014	0.444±0.018
M (Muang)	9	74.10 %	0.276±0.015	0.408±0.021
SK (Sangkham)	4	48.80 %	0.195±0.017	0.285±0.024
Total Population	28	69.48 %	0.256±0.009	0.379±0.013

The Popgen 32 program was used for Nei's gene diversity analysis, which revealed that the Nei's gene diversity among populations (H_t) was 0.3315 ± 0.0251 , the Nei's gene diversity within subpopulations (H_s) was 0.2558 ± 0.0192 , and the coefficient of differentiation (G_{st}) was 0.2283. The variance between populations was 13 %, while the intra-population variance was 87 %. Furthermore, the PhiPT value was 0.129 ($p > 0.001$) (Table 3), indicating that the

C. enoplos population had moderate genetic diversity (Mir et al., 2021). The genetic linkages between and within populations were also evaluated using principal coordinates analysis (PCoA), which indicated that the two fish groups were clustered (Figure 3). The first and second coordinates explained 12.67 % and 8.16 % of the total molecular variance, respectively (Figure 4). The Nm value of 1.690 indicated a population gene flow rate.

Table 3 Analysis of molecular variance (AMOVA) in *C. enoplos* (Df = degrees of freedom; SS = sum of squared observations; MS = mean of squared observations; Est. Var. = estimated variance; PhiPT = proportion of total genetic variance between individuals within populations)

Source of variation	Df	SS	MS	Est. Var.	Value %
Among pops	2	118.902	59.451	3.969	13 %
Within Pops	25	667.633	26.705	26.705	87 %
Total	27	786.536		30.675	100 %

PhiPT = 0.129, $p < 0.001$

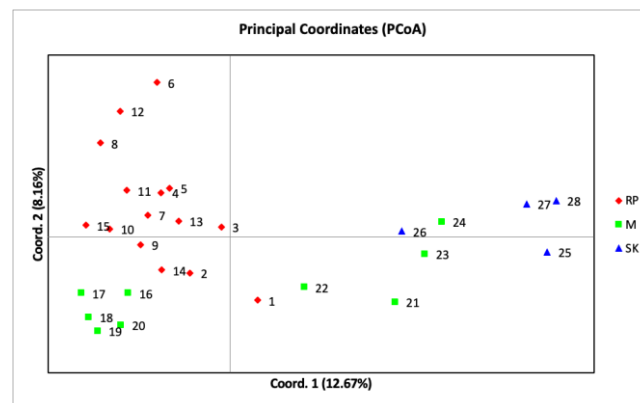


Figure 3 Principal coordinate analysis and structural analyses of three populations of *C. enoplos* RP = Rattanaawaree, M = Muang, SK = Sangkham

The Nei Genetic Distance analysis produced a pairwise population matrix that revealed the genetic distance across populations ranged from 0.067-0.229. The highest genetic distance of 0.229 was observed between the RP and SK populations, while the smallest distance of 0.067 was between the RP and M populations (Table 4). A dendrogram was

constructed using the UPGMA relationship approach, which showed that the RP and M populations were the most closely related. The greatest genetic divergence was discovered between RP and SK (Figure 4). In addition, Mantel tests demonstrated a positive correlation between geographic and genetic distance among populations ($R^2 = 0.6044$, $p\text{-value} = 0.0048$) (Figure 5).

Table 4 Nei's unbiased genetic distance (below diagonal) and identity (above diagonal) among three populations of *C. enoplos* from RP (Rattanawapee), M (Muang) and SK (Sangkhom) estimated from SCoT marker

	Rattanawapee	Muang	Sangkhom
RP (Rattanawapee)	0.000	0.935	0.795
M (Muang)	0.067	0.000	0.820
SK (Sangkhom)	0.229	0.198	0.000

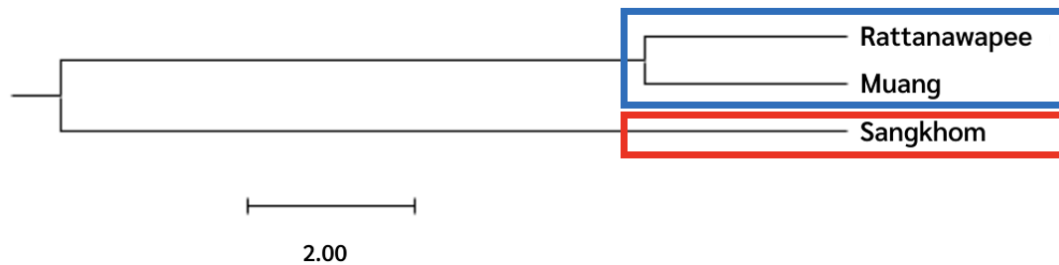


Figure 4 Dendrogram produced following the unweighted pair group method with an arithmetic mean of *C. enoplos* populations based on the genetic distance of Nei (1972)

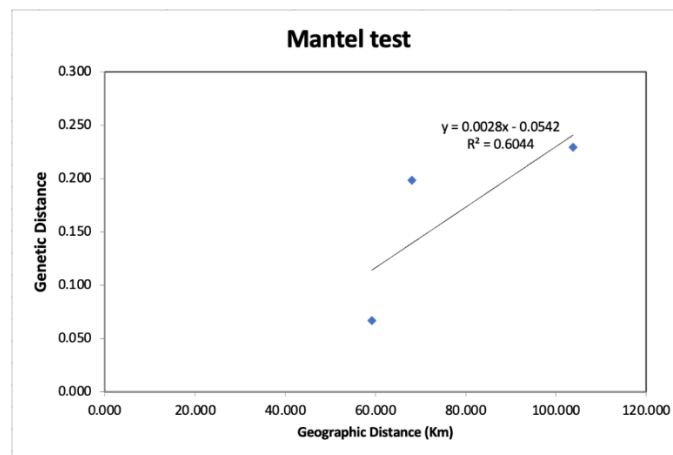


Figure 5 Correlation test of genetic distance (GD) and geographic distance (Km)

SCoT markers are a set of reproducible markers that were developed based on short and conserved regions in plant genomes positioned near translation initiation codons (Collard & Mackill, 2009). These markers have been utilized to assess genetic diversity, population structure, and to distinguish cultivars. However, their application in animal studies remains limited (Hassan et

al., 2020). Nevertheless, recent studies have demonstrated that SCoT markers can be used successfully in DNA fingerprinting, identification of cultivars, and estimation of genetic variation and structure in aquatic animals such as *Neverita josephinia*, *Hexaplex trunculus*, and *Murex altispira*. Ten SCoT primers yielded 115 amplicons spanning from 120 to 1500 bp in one study,

with a polymorphism % of 20-78 % (Almaaty, 2020). Furthermore, the results of utilizing SCoT and ISSR markers did not differ considerably in terms of genetic diversity. For ISSR and SCoT markers, *Cheilinus trilobatus*, *Cheilinus quinquecinctus*, and *Chlorurus sordidus* specimens from Saudi Arabia's Farasan had expected heterozygosity (H_{exp}) of 0.470 and 0.435, respectively, and an average polymorphism information content (PIC) of 0.359 and 0.339, respectively (Hassan *et al.*, 2020). In addition, studies have shown that the use of ISSR and SCoT markers in assessing genetic variation and structure in *Mugil cephalus*, *Liza ramada*, *Liza grana*, and *Valamugil seheli* samples collected from four different locations in Egypt produced amplified amplicons, with 176 and 132 for SCoT and ISSR markers, respectively. 153 and 111 of these amplicons were polymorphic, resulting in polymorphism % of 86.90 % and 84.10 % polymorphic amplicons/primer, respectively. The similarity indices with SCoT and ISSR markers ranged from 0.47 to 0.84 and 0.54 to 0.92, respectively (Elia et al., 2021). Both markers produced comparable findings.

The genetic diversity of *C. enoplos* populations, using 28 samples from the Nong Khai Province along the Mekong River in Thailand. The previous studies within the Cypriniformes order haplotypic diversity in *Cobitis dalmatina* was analyzed with 20 samples (Buj et al., 2015), and *Squalius illyricus* with ten samples, identifying four haplotypes from the Cetina River (Buj et al., 2020). For *C. enoplos* showed high levels of genetic diversity, with an expected heterozygosity (H_e) of 0.256 ± 0.009 and the Shannon index (I) of 0.379 ± 0.013 (Table 2). In comparison, a prior study on *Labeo chrysophekadion* in the Mekong Delta of Laos using similar dominant markers, notably ISSR found mean estimates of H_e and I to be 0.300 and 0.436, respectively

(Mashyaka & Duong, 2021). Another study using ISSR markers discovered that wild populations of bighead catfish (*Clarias macrocephalus*) in Vietnam's the Mekong Delta had H_e of 0.298 ± 0.023 and I of 0.440 ± 0.032 (Nguyen & Duong, 2022), which were relatively higher than those identified in *C. enoplos*.

In addition, the Mantel test revealed that the genetic connections among diverse groups were consistent with their respective geographic proximity. Geographic distance and genetic distance were shown to have a substantial positive correlation ($R^2 = 0.6044$, p -value = 0.0048) among these populations. The presence of geographic barriers has resulted in the emergence of two distinct gene groups within the *C. enoplos* species, which can be linked to genetic differentiation. The present study provides preliminary results indicating that the examined species have a moderate level of genetic diversity. Future research with greater sample numbers and more sampling sites, however, are required to gain thorough insights into the genetic structure of these species. Notably, the findings indicate that *C. enoplos* exhibits moderate genetic diversity. To preserve the current genetic diversity, it is necessary to effectively manage fishing activities and restrict the impact of human construction barriers along the Mekong River. Overfishing is a well-known phenomenon that affects population size and leads to the genetic diversity loss in a variety of fish species, as previously documented (Mashyaka & Duong, 2021).

Conclusions

SCoT markers have been demonstrated to be useful in evaluating genetic diversity in wild populations as well as in examining population structure and genetic differentiation. The genetic diversity of *C. enoplos* population in Nong Khai Province was determined to be moderate. Both

phylogenetic trees and principal coordinate analysis (PCoA) were employed to investigate the relationships between individuals in the three populations, and both proved to be effective techniques. The dendrogram results indicated two comparable grouping patterns. The largest genetic diversity was found in the RP population whereas the lowest was found in the the M and SK populations. These findings can be employed in breeding programs to enhance fish culture and serve as crucial knowledge for the conservation of *C. enoplos*. The population in the RP area, which exhibits high genetic diversity, could be utilized as a hatchery area to encourage genetic variation in the population. Furthermore, it has the potential to serve as a rich genetic resource and a baseline stock for successful selective breeding systems.

Acknowledgments

This project is partially supported by Research and Technology Transfer Affairs of Khon Kaen University. We extend our heartfelt dedication of this research to the local fishing communities within the research location, whose invaluable assistance greatly contributed to the successful completion of this study. Throughout the study period, the fishermen, fishmongers, and almost everyone in the area provided us with valuable support and cooperation.

References

- Almaaty, A. H. A. (2020). Potential of start codon targeted (SCoT) markers and SDS-PAGE to estimate genetic diversity and relationships among three gastropods species from the Mediterranean Sea, Port Said, Egypt. *Egyptian Journal of Aquatic Biology and Fisheries*, 24(Spec. issue 7), 133-143. doi:10.21608/ejabf.2020.118135
- Baran, E., Baird, I. G., & Cans, G. (2005). *Fisheries bioecology at the Khone Falls (Mekong River, Southern Laos)*. Penang, Malaysia: WorldFish Center.
- Buj, I., Marčić, Z., Čavlović, K., Čaleta, M., Tutman, P., Zanella, D., Duplić, A., Raguž, L., Ivić, L., Horvatić, S. & Mustafić, P. (2020). Multilocus phylogenetic analysis helps to untangle the taxonomic puzzle of chubs (genus *Squalius*: Cypriniformes: Actinopteri) in the Adriatic basin of Croatia and Bosnia and Herzegovina. *Zoological Journal of the Linnean Society*, 189(3), 953-974. doi: 10.1093/zoolinnean/zlz133
- Buj, I., Miočić-Stošić, J., Marčić, Z., Mustafić, P., Zanella, D., Mrakovčić, M., Mihinjač, T., & Čaleta, M. (2015). Population genetic structure and demographic history of *Aphanius fasciatus* (Cyprinodontidae: Cyprinodontiformes) from hypersaline habitats in the eastern Adriatic. *Scientia Marina*, 79(4), 399-408. doi:10.3989/scimar.04198.06A
- Coates, D., Pongsri, C., Poeu, O., Suntornratnana, U., Tung, N. T., & Viravong, S. (2006). Southeast Asian water environment 1.. In S. Ohgaki, K. Fukushi, H. Katayama, S. Takizawa, C. Polprasert (Eds.), *Biodiversity and fisheries in the Mekong River Basin* (pp. 3-10). London, UK: IWA Publishing.
- Collard, B. C. Y., & Mackill, D. J. (2009). Start codon targeted (SCoT) polymorphism: a simple, novel DNA marker technique for generating gene-targeted markers in plants. *Plant Molecular Bbiology Reporter*, 27(1), 86-93. doi.org/10.1007/s11105-008-0060-5
- Elian, S. M. A. M., Hussein, B. A., Abdelghany, M. F., Farag, M. E., & Soliman, M. H. (2021). Molecular characterization of four Mullet species based on SCoT and ISSR markers. *Egyptian Journal of Aquatic Biology and Fisheries*, 25(1), 1-23. doi:10.21608/ejabf.2021.146162

- Hassan, M. M., Sabry, A., & Ismai, M. (2020). Molecular identification and characterization of Parrotfish species from the Farasan Islands, Red Sea-Saudi Arabia. *Jordan Journal of Biological Sciences*, 13(4), 535-541.
- Hortle, K. G. (2009). Chapter 9 - Fisheries of the Mekong River Basin. In . I. C. Campbell (Ed.), *The Mekong: Biophysical Environment of an International River Basin*. (pp. 197-249). Amsterdam, the Netherlands: Elsevier Publishers. doi: 10.1016/B978-0-12-374026-7.00009-7
- Kang, B., & Huang, X. (2021). Mekong fishes: biogeography, migration, resources, threats, and conservation. *Reviews in Fisheries Science & Aquaculture*, 30(2), 170-194. doi: 10.1080/23308249.2021.1906843
- Lopera-Barrero, N. M., Povh, J., Ribeiro, R. P., Gomes, P. C., Jacometo, C., & Lopes, T. da S. (2008). Comparison of DNA extraction protocols of fish fin and larvae samples: modified salt (NaCl) extraction. *Ciencia e Investigación Agraria*, 35(1), 65-74.
- Luo, D., Wang, J., & Peng, Z. (2018). The complete mitochondrial genome of *Cyclocheilichthys enoplos* (Teleostei, Cyprinidae). *Mitochondrial DNA Part B Resources*, 3(1), 220-221. doi: 10.1080/23802359.2018.1437825
- Mapanao, R., Sakulsathapom, A., Rattanaichai, W., & Chantabut, L. (2023). A study on feeds and feeding behaviour of soldier river barb (*Cyclocheilichthys enoplos*) in the Mekong Basin, Nong Khai Province. *Prawarun Agricultural Journal*, 20(2): 58–66. (in Thai)
- Mashyaka, A., & Duong, T. Y. (2021). Genetic diversity analysis revealed possible long migration of Black sharkminnow (*Labeo chrysophekadion*) along the Mekong River. *Songklanakarin Journal of Science & Technology*, 43(4), 955-960.
- Mir, M. A., Mansoor, S., Sugapriya, M., Alyemeni, M. N., Wijaya, L., & Ahmad, P. (2021). Deciphering genetic diversity analysis of saffron (*Crocus sativus* L.) using RAPD and ISSR markers. *Saudi Journal of Biological Sciences*, 28(2), 1308-1317. doi: 10.1016/j.sjbs.2020.11.063
- Nguyen, N. T. T., & Duong, T. Y. (2022). High genetic diversity and gene flow among cultured and wild populations of bighead catfish (*Clarias macrocephalus*) in the Mekong Delta of Viet Nam inferred from ISSR markers. *Journal of Fisheries and Environment*, 46(2), 67-76.
- Peakall, R., & Smouse, P. E. (2012). GenAlEx 6.5: genetic analysis in excel. Population genetic software for teaching and research-an update. *Bioinformatics*, 28(19), 2537-2539. doi: 10.1093/bioinformatics/bts460
- Rainboth, W. J. (1996). *Fish of the Cambodian Mekong. FAO species identification field guide for fishery purpose*. Rome, Italy: Food and Agriculture Organization.
- Ratanatrivong, W., Jantasut, M., & Kaewla-iat, S. (1993). *Culture of Cyclocheilichthys enoplos (Bleeker) for brood stock*. Bangkok, Thailand: Department of Fisheries, Ministry of Agriculture and Co-operatives. (In Thai)
- Rohlf, F. J. (2000). *NTSYSpc: numerical taxonomy and multivariate analysis system version 2.1*. New York, United States: Exeter Publishing Setauket.
- Seel-audom, M., Sommit, N., & Karaket, T. (2021). Stomach contents of soldier river barb *Cyclocheilichthys enoplos* (Bleeker, 1850) in the Sirikit Dam reservoir, Uttaradit Province. *Khon Kaen Agriculture Journal*, 49(Suppl. 2), 767-772. (in Thai)
- 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)

- Yeh, F. C., Yang, R. C. & Boyle, T. (1999). *POPGENE. Microsoft windows based freeware for population genetic analysis. Release 1.31.* Edmonton, Canada: University of Alberta.
- Zhang, J., Yan, J., Huang, S., Pan, G., Chang, L., Li, J., Zhang, C., Tang, H., Chen, A., Peng, D., Biswas, A., Zhang, C., Zhao, L., & Li, D. (2020). Genetic diversity and population structure of cannabis based on the genome-wide development of simple sequence repeat markers. *Frontiers in Genetics, 11*, 958. doi: 10.3389/fgene.2020.00958

Research article

Genetic variation of *Cyclocheilichthys enoplos* Mekong River, Nong Khai Province, Thailand

Arpakorn Sakulsathaporn* Benchaphan Charoenying and Ratchaneegorn Mapanao

Applied Sciences Program, Faculty of Interdisciplinary Studies, Nong Khai campus, Muang district, Nong Khai, Province 43000

ARTICLE INFO**Article history**

Received: 17 July 2023

Revised: 10 November 2023

Accepted: 25 December 2023

Online published: 18 March 2024

Keyword

Cyclocheilichthys enoplos

Genetic variation

Mekong River

SCoT marker

ABSTRACT

This study presents the initial genetic diversity evolution of *Cyclocheilichthys enoplos*, a fish species native to the Southeast Asia region that plays a vital role in the local economy as a food source. Start Codon Targeted (SCoT) markers (9 primers) were used to assess the genetic diversity of three wild populations located on the Mekong River in Thailand's Nong Khai province. A total of 28 specimens were analyzed, utilizing nine markers to examine genetic structure and diversity. The findings revealed 158 amplified and polymorphic loci, with polymorphic loci ratios ranging from 48.80 % to 85.54 % across the three groups. The Rattanawapee (RP) population had the highest amount of polymorphism, whereas the Sangkhom (SK) population had the lowest level. The values for Nei's gene diversity (H_e) and Shannon's Information index (I) were 0.195 to 0.296 and 0.285 to 0.444, respectively. The phylogenetic tree constructed using NTSYS-PC software and the dendrogram based on Nei's (1978) genetic distance indicated two different groups. The analysis of molecular variance (AMOVA) indicated that the majority of the variation occurred within populations (87 %), with relatively few differences between groups (13 %). This study provides preliminary information for the management of *Cyclocheilichthys enoplos* in this location.

*Corresponding author

E-mail address: arpasa@kku.ac.th (A. Sakulsathaporn)

Online print: 18 March 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.2024.2>



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

บทความวิจัย

ภาวะการดื้อยาและทางเลือกในการป้องกันเห็บในปัจจุบัน

กนกวรรณ บุตรโยธี^{1*} ธราดล จิตจักร¹ หาญชัย อัมภพผล¹ และ เสริมวิช บุตรโยธี²

¹สาขาวิชาสัตวศาสตร์ คณะเทคโนโลยีการเกษตร มหาวิทยาลัยราชภัฏสกลนคร จังหวัดสกลนคร 47000

²สาขาวิชาสัตวศาสตร์และคอมพิวเตอร์ศึกษา คณะครุศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏสกลนคร จังหวัดสกลนคร 47000

ข้อมูลบทความ

Article history

รับ: 11 ธันวาคม 2566

แก้ไข: 13 กุมภาพันธ์ 2567

ตอบรับการตีพิมพ์: 21 กุมภาพันธ์ 2567

ตีพิมพ์ออนไลน์: 18 มีนาคม 2567

คำสำคัญ

การดื้อยา

เห็บ

การป้องกันเห็บ

บทคัดย่อ

เห็บเป็นปัญหาสำคัญในสัตว์เลี้ยงและปศุสัตว์ เนื่องจากมีบทบาทสำคัญในการถ่ายทอดโรคและส่งผลกระทบต่อสุขภาพทั้งในมนุษย์และสัตว์ การศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลกระทบของการดื้อยาสำหรับเห็บ การศึกษาคุณสมบัติของยาต้านเห็บชนิดใหม่สำหรับการป้องกันและควบคุมจำนวนเห็บ ที่เป็นประโยชน์ต่อสุขภาพของมนุษย์และสัตว์ และสำรวจแนวโน้มที่เกิดขึ้นใหม่ของผลิตภัณฑ์ที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมในการกำจัดเห็บ ในปัจจุบันมีการพัฒนาผลิตภัณฑ์และคิดค้นวิธีการใหม่เพื่อควบคุมประชากรเห็บที่มีประสิทธิภาพในการจัดการปัญหานี้ อย่างไรก็ตาม ได้พบว่าประสิทธิภาพเหล่านี้ลดลงในช่วงไม่กี่ปีที่ผ่านมา ซึ่งเป็นผลมาจากการกลายพันธุ์หรือส่งต่อของยีนดื้อยาของเห็บ ปัญหาการดื้อยาในเห็บส่งผลกระทบต่อทั้งทางการแพทย์และสัตวแพทย์ และทวีความรุนแรงขึ้นอย่างต่อเนื่อง โดยมีสาเหตุมาจากการใช้ยามากเกินความจำเป็น การใช้ยาในกลุ่มสารเคมีต่างๆ ที่มีการใช้มาเป็นเวลานาน นอกจากจะมีประสิทธิภาพที่ต่ำลง สิ่งหนึ่งที่ไม่ควรมองข้ามคือการปนเปื้อนของกุ่มยาและสารเคมีในสิ่งแวดล้อม ในปัจจุบันจึงได้มีการให้ความสำคัญในการใช้วิธีการกำจัดเห็บที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม เช่น สารสกัดจากสมุนไพร ไปจนถึงวิธีการทางภูมิคุ้มกันและการป้องกันด้วยวิธีชีวภาพต่างๆ การศึกษาและวิจัยแนวทางในการกำจัดเห็บทางเลือกใหม่จึงน่าสนใจเป็นอย่างมาก การดื้อยาของเห็บนี้อาจมีสาเหตุมาจากการใช้ยาที่มากเกินไปหรือใช้ยาไม่ถูกต้อง จึงควรมีการทำความเข้าใจกลไกการเกิดการดื้อยาดังกล่าว

Introduction

The problem of drug resistance is significant for the veterinary and medical fields and can be the cause of the barrier to effective tick prevention. One reason is the misuse and lack of knowledge in appropriate procedure for chemical application (Eisen & Stafford, 2021). Discriminatory drug use contributes to the worsening of this issue. Elevate the dosage or switch to a different medication if greater efficacy was required. Both the patient and the surroundings suffer as a result of this. Nowadays, people are concerned about resistance, negative side effects, and persistent effects.

Drug resistance arises due to genetic mutations, a capability inherent in all organisms, including parasites. Especially ticks, the important parasites in livestock and

pets, which have different species. The common species are *Rhipicephalus (Boophilus) microplus* (*R. microplus*) in cattle and *Rhipicephalus sanguineus* (*R. sanguineus*) in dogs. There are many reports about the insecticides and acaricides resistance in ticks from all over the world as Asia, America, Africa and also in Australia were reported (Abbas et al., 2014). Due to this cause, the situation of tick prevention has grown worse. The new insecticides and acaricide products were developed to solve this problem. Whereas chemical products leave the residue in the

environment and their toxicity can affect both humans and animals. The alternative ways are environmental control, biological control, immunological control, and herb products, which are recommended for use. The aim of

*Corresponding author

E-mail address: kanokwan.b@snru.ac.th (K. Bootyothee)

Online print: 18 March 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.2024.3>

this study is to clearly understand the mechanism of drug resistance in ticks and review new insecticides and acaricides product for tick prevention and kill which affect to human and animal health and probably a new trend to be an environmentally friendly product.

The importance of drug resistance in ticks

The drug resistance was reported from all areas of the world. The resistance of the cattle tick to ivermectin was first detected more than 20 years ago in Brazil; moreover, fipronil (phenylpyrazolic insecticide) was also first reported in Brazil, using in vitro larval bioassays to diagnose (Martins & Furlong, 2001; Castro-Janer et al., 2011).

It was discovered that amitraz, BHC/cyclodienes, and organophosphates caused resistance in *R. sanguineus*. Ticks that infest dogs and cats have not had their acaricide resistance as thoroughly examined as cow ticks, particularly *R. microplus*, which has been intensively studied due to its economic significance to the cattle industry and its resistance to numerous compounds.

Multi-acaricide resistant ticks have resulted in an unprecedented incidence of acaricide failure in central and western Uganda, according to research conducted in 2018 by Vudriko and colleagues. Additionally, a different in vitro study conducted in 2016 was the first to document the establishment of multi-acaricide- and super synthetic pyrethroid-resistant *Rhipicephalus* ticks in Uganda. (Vudriko et al., 2016; Vudriko et al., 2018).

Rodríguez-Vivas et al. (2014) reported *R. microplus* resistance to ivermectin and acaricides in Mexican cattle farms. In the Mexican veterinary market, macrocyclic lactones are the most often used antiparasitic medication. There have been reports of *R. microplus* populations resistant to ivermectin in Brazil, Uruguay, and particularly Mexico. While the majority of *R. microplus* from Mexico had modest levels of ivermectin resistance, certain field populations of the species showed significant levels of ivermectin resistance. Many *R. microplus* field populations

are resistant to many antiparasitic medication classes, such as phenylpyrazole pyrethroids, amitraz, ivermectin, and organophosphates (Rodríguez-Vivas et al., 2014; Shakya et al., 2020; Torrents et al., 2020).

On the other hand, Coles and Drydens were reviewed and found that the use of insecticide/acaricide not effective in fleas and ticks infesting dogs and cats most likely cause of lack of the efficacy in these drugs rather than the resistance (Coles & Dryden, 2014). The research conducted by Lavan and colleagues investigated the behavior of pet owners regarding tick and flea control in the United States. Their findings revealed a decrease in the recommended period for flea and tick protection as indicated by veterinary guidance. (10.6 months per year). Veterinarians adhere to the guidance of the Companion Animal Parasite Council (CAPC) by endorsing a 12-month regimen for flea and tick prevention (Lavan et al., 2017).

What is resistance?

Although the official definition of resistance is a change in the target species of susceptibility to a treatment, resistance is typically first identified as a drug's inability to suppress parasitism. "The ability of a parasite strain to survive and/or to multiply despite the administration and absorption of a drug given in doses equal to or higher than those usually recommended but within the limits of tolerance of the subject" is the broad definition of resistance developed in 1965 by the Scientific Group of the World Health Organization. Discussions on acaricide resistance could be started with such a general term.

Type of resistance

Three categories of resistance were added to the definition of pesticide resistance by the WHO in 2012, as noted by Coles and Dryden (Coles & Dryden, 2014). It is notable that the WHO formerly used to categorize the different types of resistance. Gene and molecular-level methodologies are employed for identification purposes. Furthermore, the analysis encompasses the assessment of

outcomes influenced by drug resistance.

Molecular genotyping of resistance

The identification of the genes causing an inherited resistance trait provides proof of the evolutionary process by molecular genotyping of resistance.

Phenotypic resistance

This approach assesses susceptibility to a standard dose by using the 1957 definition of resistance, which is "the development of an ability, in a strain of insects, to tolerate doses of toxicants that would prove lethal to the majority of individuals in a normal

population of the same species."

Resistance resulting in control failure

The WHO was mainly concerned with malaria, which is defined as an insecticide's inability to prevent the spread of illness via an insect vector. This "control failure" could be interpreted as an inability to manage flea-induced dermatitis or any of the other illnesses spread by fleas and ticks.

Whereas, Abbas and co-workers divided the type of resistance into three types: identity by inheritance result in Table 1 (Abbas et al., 2014).

Table 1 Inheritance patterns of resistance into three types

Inheritance Pattern	Characteristics
Acquired resistance	Resistance that results from heredity, which leads to decreases in sensitivity to drugs with the passage of time. The drug's concentration and the level of resistance are directly correlated. When a medication is given at a reduced concentration, a strain that was under control with a single dose of the treatment may develop resistance.
Cross-resistance	The sharing of resistance across several acaricides that function in a comparable way.
Multiple resistance	Tolerance to many medications, notwithstanding their distinct mechanisms of action.

The mechanisms of resistance

Genetic alterations, commonly manifesting within the population, are the primary contributors to resistance against antiparasitic drugs. When a class of drugs is first developed to treat parasites, resistant alleles are rare; but, as treatments become more popular, selection pressure on the resistant alleles increases, and the number of resistant individuals increases (Wolstenholme & Martin, 2014). It has been noted that all of the parasites mentioned above are resistant to many medication classes (Table 1). The mechanisms of resistance to all medications in a class are often the same. Acetylcholine (ACh) is an organic compound released by arthropod nerves into the intracellular space (synapse) where the nerve cell contacts a muscle cell or another nerve cell. Acetylcholine stimulates the muscle cell to contract, and contraction is stopped by acetylcholinesterase (AChE) that destroys the

released ACh signal molecules. Acetylcholinesterase is blocked by organophosphates like malathion and diazinon, which causes paralysis in the target arthropod species. In summary, the acute toxicity of organophosphates arises from their chemical binding to the acetylcholinesterase (AChE) enzyme, thereby inhibiting its ability to break down acetylcholine (ACh). As a result, the arthropod dies with its nervous system and muscles in a prolonged state of excitation and contraction (Horsak et al., 1964). In parasites, resistance to organophosphates can arise from two different mechanisms. Firstly, resistance to malathion is linked to an upregulation of esterase and cytochrome P450 enzyme expression, which can metabolize the drug before it affects the intended target species. The other method of resistance to organophosphates involves upregulating AChE transcription to offset its (McNair, 2015).

Table 2 Mechanism of action and Resistance in ticks

Acaricides	Target	Mechanism of action and resistance	References
Organophosphates	Acetylcholinesterase	Resistance to organophosphates in tick can	Kumar (2019)

		be attributed to modifications in the Acetylcholinesterase gene, carboxylesterase gene, and metabolic detoxification.	
		Overexpression of esterases in larvae and adult tick can lead to resistance.	Villarino et al. (2001)
		Changes in metabolic activities, conformational changes in acetylcholinesterase.	Pruett (2002)
Formamidines (Amitraz)	Octopamine tyramine	Amitraz resistance is a complex multigenic trait with recessive alleles.	Li et al. (2004)
		Nucleotide mutations in the octopamine tyramine receptor gene in Rhipicephalus ticks are linked to resistance, causing target insensitivity.	Baron et al. (2015)
Synthetic Pyrethroids	Voltage-gated sodium channel	Synthetic pyrethroids resistance is linked to mutations in voltage-gated sodium channel genes.	Morgan et al. (2009)
Macrocyclic lactones	Glu-Cl channel	Ticks are resistant to MLs, and mutations were observed in the Glu-Cl gene of R. microplus ticks	Aguilar-Tipacamú et al. (2016)
Fipronil	GABA-gated chloride channel	Tick resistant to fipronil showed mutations in the second and third transmembrane domains of the GABA-gated chloride channel gene.	Janer et al. (2019); Janer et al.. (2021)

The alternative ways to control ticks

One of the alternative medical choice and regimen for ectoparasite management is the resistance of tick control treatments. Other significant factors include the existence of medication residues and related negative effects. According to Turner's 2011 survey, between April 2007 and May 2009, 708 companion animal incident reports involving spot-on flea and tick control chemical products were received by Health Canada's Pest Management Regulatory Agency (PMRA), which oversees pesticide use in the country. There were 42 cats and 1 dog reported dead. These elements drive the quest for an innovative tick management strategy that is safer and more effective for customers, owners, animals, and the environment (Turner et al., 2011).

1. Environmental management control

This is a highly effective method for preventing tick infestations, particularly within pastures where cows graze and consume vegetation. For this reason, ticks prefer to live in pastures where they can lay their eggs and wait for their next meal. The

standard environmental management strategy that Abbas recommended in 2014 (Abbas et al., 2014) such as:

1.1 Pasture Burning

In various countries, such as South Africa, Australia, Zambia, and the United States of America, the practice of burning pasture during the dry season (winter) induces a "green flush," contributing to the effective control of tick populations. The crack areas can be the egg laying sites for ticks. Since ticks have a tendency to recolonize burned areas, burning pastures is a technique used to control all tick stages (Rahman et al., 2022). However, because of worries about air pollution, frequent pasture burning may be difficult for cattle farmers in poorer nations.

1.2 Pasture alternation and/or rotation

Keeping grazing areas free of cattle until the larvae die is another method of managing pastures. This method, when paired with chemical acaricide sprays, has been shown to be an efficient means of controlling cow ticks. The most practically priced way to lower tick populations was to

rotate pastures and use acaricides or convert existing habitats.

1.3 House management

Due to the larvae's enhanced capacity to locate hosts, there are increased opportunities for tick infection rates in tropical and semitropical regions. Creating an environment that is inhospitable to the free-living stages of the tick may help lower the likelihood of tick infestations in feedlot cattle. The management of cattle in feedlots involves several key variables, including optimal animal density, minimal stress, regular and thorough cleaning, good ventilation, and effective management of feed and water.

2. Chemical control

Despite several challenges, such as the emergence of resistance, public apprehension regarding food residues, and environmental degradation, this method remains the most extensively employed worldwide. Of all these synthetic pyrethroids, macrocyclic lactones particularly ivermectin, which is widely used in Thailand even as an extra-label drug have been shown to have superior residual activity against a wide range of insect species and efficiency at lower dose rates. However, ivermectin's ability to eradicate ticks is no longer reliable. Previously used to effectively control ticks, macrocyclic lactones impede the transmission of electrical activity in nerves and muscle cells by increasing the release and binding of gamma-aminobutyric acid (GABA) at nerve endings. Although *R. microplus* has shown partial resistance as a result of heavy use, the precise mechanism of resistance in ticks and parasitic mites is yet unknown (Lovis et al., 2013; Martins & Furlong, 2001; Perez-Cogollo et al., 2010). The current study offered a comprehensive evaluation and enhancement of the most widely used techniques for identifying acaricide resistance in order to identify ivermectin resistance. Additionally, this study presents a straightforward, precise, and dependable in vitro method for identifying ivermectin resistance in *R. microplus*. These tests were put into practice and used to track

resistance in the Brazilian state of São Paulo, and the results showed that resistance is common. Moreover, it causes an intolerable amount of chemical residue in food supplies like meat and meat products, which are harmful to humans.

Fluralaner is one of the isoxazoline classes of antiparasitic drugs that represent safe and effective new acaricidal and insecticidal products for dogs to control ectoparasitic infestations. Extensive evidence supports its robust efficacy against ectoparasites, coupled with its demonstrated safety when administered orally (Chiummo et al., 2023). This new chemical product for tick prevention in dogs is really interesting these days in Thailand. Fluralaner is a very strong arthropod-specific GABA-gated chloride channel inhibitor, according to in vitro testing. It also has a less strong but still noticeable inhibitory effect on arthropod glutamate-gated chloride channels, and its receptor binding on arthropod GABA-gated chloride channels is 5–236 times better than fipronil. Because of this difference in receptor potency, fluralaner may be more effective than fipronil in controlling ectoparasites in the field (Rohdich et al., 2014).

3. Biological control

Biological control emerges as an environmentally sustainable alternative to the utilization of pesticides and acaricides. Arthropod control has been studied using a variety of biological control methods, such as the application of fungi and essential oils. Utilizing peptides derived from spider venom represents a recently developed biological control strategy for arthropod parasites. Arachnids possess a diverse repertoire of venom peptides, many of which exhibit neurotoxic properties in other arthropods. These peptides specifically target sodium and calcium channels in arthropod neurons, inducing paralysis. The topic is still in its early phases of research, and considerable work has to be done to determine which peptides should target which spectrum of

arthropods. In addition, the peptides must not be harmful to humans or any other host species. The mode of delivery must also be taken into account, since the majority of in vitro experiments entail injecting venom peptides directly into the arthropod. To determine the most efficient method of administering these bio-insecticides, more research in this area is necessary (Windley et al., 2012). Entomopathogenic fungi are fungal species which can harm arthropods (Rajula et al., 2020). The most studied entomopathogenic fungus for against *Rhipicephalus microplus* ticks in the laboratory and the field are *Metarhizium anisopliae* sensu lato (s.l.) and *Beauveria bassiana* s.l. (Alonso-Díaz & Fernández-Salas, 2021). Moreover, under field conditions, the effectiveness of the entomopathogenic fungus *Metarhizium brunneum* in suppressing the tick *Rhipicephalus annulatus* was investigated. The amount of tick eggs was affected by this fungus, which decreased the percentage of female ticks laying full-size egg masses and decreased the hatchability of the eggs (Samish et al., 2014). Additionally, Fischhoff and colleagues investigated the effectiveness of *M. brunneum* (*M. anisopliae*) strain F52, an entomopathogenic fungus, as a tick biocontrol agent in lowering the number of *Ixodes scapularis*. The goal of the research is to verify that this fungus has no effect on other non-target arthropods (Fischhoff et al., 2017).

4. Immunological control

While not universally applicable to all tick species, the development of a protective vaccine emerges as a prospective alternative control strategy for specific arthropod infections in various areas and also considered as one of the best alternative approaches to control ticks and tick-borne diseases (Abbas et al., 2023; Rahman et al., 2022). The only tick species that has been researched in Thailand is *R. microplus*. It would not be strategically feasible to vaccinate every individual at risk of infestation for every disease. It is a viable

substitute for many veterinary parasites, nevertheless.

The vaccination is founded upon the *R. microplus* rBm95 gut antigen. This immunization approach aims to disrupt the cell wall of the tick's gastrointestinal tract. Consequently, as these ticks are rendered incapable of converting blood into eggs, there is potential for a reduction in tick populations. Additionally, vaccination prevents the toxicity of the tick's mouth portion (Jittapalapong et al., 2010). The vaccination makes tick management practical, economical, and most importantly, environmentally friendly, significantly lowering the demand for acaricides. Field research conducted in Brazil on the multi-antigenic vaccine targeting the cow tick *R. microplus* showcased its superior efficacy in comparison to the control group (Parizi et al., 2012). Further research on the humoral immune response of dairy calves inoculated with rBm95 (KU-VAC1), a protein produced from Thai *R. microplus*, is available. The study's findings showed that KU-VAC1 and Gavac are equally immunogenic, and that more research is necessary to examine the effectiveness of ticks fed to cattle who have received vaccinations (Jittapalapong et al., 2010).

5. Herbal extract control

An emerging trend in the veterinary sector involves the utilization of botanicals on livestock for tick control. More than 100 plant species were studied for their acaricidal and repellent effect on ticks. Most are plants in Lamiaceae family (Nwanade et al., 2020). The following analysis of reports makes it evident that a variety of botanical products are effective at killing ticks or preventing their oviposition (Abbas et al., 2014).

The herb that Thai people are familiar with that has acaricidal properties, such as *Stemona collinsae* (Jansawan et al., 1993), *Ocimum suave* (Mwangi et al., 1995), peel oil of *Citrus* spp. (Chungsamarnyart & Jansawan, 1996), *Gynandropsis gynandra* (Lwande et al., 1999), *Tamarindus indicus*

(Chungsamarnyart & Jansawan, 2001) , *Eucalyptus* spp. (Chagas et al., 2002), *Senna italica* subsp. *arachoides* (Magano et al. , 2008) *Annona squamosa* leaves (Madhumitha et al., 2012) and neem (Giglioti et al., 2011). A natural substance called Azadirachtin is obtained from the neem tree (*Azadirachta indica*). The maximum concentration of azadirachtin, which can reach 40 % in the extracted oil, is found in the fruits of this plant. It has been demonstrated that azadirachtin inhibits vitellogenin during arthropod oogenesis. Since then, it has been observed to inhibit growth and discourage feeding in a variety of arthropod species. It has demonstrated efficacy as an insecticide against a range of agricultural pests. Although azadirachtin has been studied as an acaricide against ticks and poultry mites, where it was able to kill 90 % of mites in vitro, research on it as a control agent for medical and veterinary arthropods has been more restricted. Since azadirachtin is present in many commercial preparations of neem oil and is safe to people, it presents a viable substitute for the pesticides currently used to control arthropod infestations (Giglioti et al., 2011).

Conclusion

Drug resistance in ticks is a prominent issue highlighted in the veterinary field, exerting potential implications on human health. The main cause due to discriminating drug use leads to accelerating this problem getting worse. Although the drug resistance developing is an ability of all organism to survive and transfer to next generation more tolerate doses of acaricide/insecticide products. Nevertheless, responsive drug use can slow down this problem.

Moreover, the contemporary shift towards eco-friendly approaches is noteworthy. Biological and immunological controls, along with herbal extracts, represent alternative methodologies for mitigating the impact of ticks, significant vectors in this context. Research on methods for eliminating and

preventing ticks is in its early stages, and further study is considered necessary.

References

- Abbas, M. N., Jmel, M. A., Mekki, I., Dijkgraaf, I., & Kotsyfakis, M. (2023). Recent advances in tick antigen discovery and anti-tick vaccine development. *International Journal of Molecular Sciences*, 24(5), 4969. doi: 10.3390/ijms24054969
- Abbas, R. Z., Zaman, M. A., Colwell, D. D., Gilleard, J., & Iqbal, Z. (2014). Acaricide resistance in cattle ticks and approaches to its management: the state of play. *Veterinary Parasitology*, 203(1-2), 6-20. doi: 10.1016/j.vetpar.2014.03.006
- Aguilar-Tipacamú, G., Mosqueda-Gualito, J., Cantó-Alarcón, G. J., Klafke, G. M., Arellano-Carvajal, F., Alonso-Díaz, M. M., & Rodríguez-Vivas, Y. R. I. (2016). Identification of mutations in the glutamate-dependent chlorine channel in *Rhipicephalus microplus* resistant and susceptible to ivermectins. *Quehacer Científico en Chiapas*, 11(2), 20-26.
- Alonso-Díaz, M. A., & Fernández-Salas, A. (2021). Entomopathogenic fungi for tick control in cattle livestock from Mexico. *Frontiers in Fungal Biology*, 2, 657694. doi: 10.3389/ffunb.2021.657694
- Baron, S., van der Merwe N. A., Madder, M., & Maritz-Olivier, C. (2015). SNP analysis infers that recombination is involved in the evolution of amitraz resistance in *Rhipicephalus microplus*. *PLoS One*, 10(7), e0131341. doi: 10.1371/journal.pone.0131341
- Castro-Janer, E., Rifran, L., González, P., Niell, C., Piaggio, J., Gil, A., & Schumaker, T. T. S. (2011). Determination of the susceptibility of *Rhipicephalus (Boophilus) microplus* (Acari: Ixodidae) to ivermectin and fipronil by Larval Immersion Test (LIT) in Uruguay. *Veterinary Parasitology*, 178, 148-155.

- Chagas, A. C. D. S., Passos, W. M., Prates, H. T., Leite, R. C., Furlong, J., & Fortes, I. C. P. (2002). Acaricide effect of *Eucalyptus* spp. essential oils and concentrated emulsion on *Boophilus microplus*. *Brazilian Journal of Veterinary Research and Animal Science*, 39, 247-253.
- Chiummo, R., Zschiesche, E., Capári, B., Farkas, R., Chiquet, M., Rapti, D., & Leschnik, M. (2023). Field efficacy of fluralaner (Bravecto® chewable tablets) for preventing *Babesia canis* infection transmitted by *Dermacentor reticulatus* ticks to dogs. *Parasites & Vectors*, 16(1), 252. doi: 10.1186/s13071-023-05820-2
- Chungsamarnyart, N., & Jansawan, W. (2001). Effect of *Tamarindus indicus* L. against the *Boophilus microplus*. *Agriculture and Natural Resources*, 35(1), 34-39.
- Chungsamarnyart, N., & Jansawan, W. (1996). Acaricidal activity of peel oil of *Citrus* spp. on *Boophilus microplus*. *Agriculture and Natural Resources*, 30(1), 112-117.
- Coles, T. B., & Dryden, M. W. (2014). Insecticide/acaricide resistance in fleas and ticks infesting dogs and cats. *Parasites & vectors*, 7(1), 1-10.
- Eisen, L., & Stafford III, K. C. (2021). Barriers to effective tick management and tick-bite prevention in the United States (Acari: Ixodidae). *Journal of medical entomology*, 58(4), 1588-1600.
- Fischhoff, I. R., Keesing, F., & Ostfeld, R. S. (2017). The tick biocontrol agent *Metarhizium brunneum* (= *M. anisopliae*) (strain F52) does not reduce non-target arthropods. *PLoS One*, 12(11), e0187675.
- Giglioti, R., Forim, M. R., Oliveira, H. N., Chagas, A. C. S., Ferrezini, J., Brito, L. G., Falcowski, T. O. R. S., Albuquerque, L. G., & Oliveira, M. C. S. (2011). *In vitro* acaricidal activity of neem (*Azadirachta indica*) seed extracts with known azadirachtin concentrations against *Rhipicephalus microplus*. *Veterinary Parasitology*, 181(2-4), 309-315. doi: 10.1016/j.vetpar.2011.03.053
- Horsak, R. D., Bedient, P. B., Hamilton, M. C., & Thomas, F. B. (1964). 8 – Pesticides. In: Morrison, RD, Murphy, BL, eds Environmental forensics. Amsterdam, The Netherlands: Elsevier Inc. doi.: 10.1016/B978-012507751-4/50030-6
- Janer E. C., Díaz A., Fontes F., Baraibar F., Saporiti T., & Olhagaray M. E. (2021). Molecular survey of pyrethroid and fipronil resistance in isolates of *Rhipicephalus microplus* in the north of Uruguay. *Ticks and Tick-borne Diseases*, 12(5), 101747. doi: 10.1016/j.ttbdis.2021.101747
- Janer, E. C., Klafke, G. M., Fontes, F., Capurro, M. L., & Schumaker, T. S. S. (2019). Mutations in *Rhipicephalus microplus* GABA gated chloride channel gene associated with fipronil resistance. *Ticks and Tick-borne Diseases*, 10(4), 761–765. doi: 10.1016/j.ttbdis.2019.03.009
- Jansawan, W., Jittapalapong, S., & Jantaraj, N. (1993). Effect of *Stemona Collinsae* extract against cattle ticks (*Boophilus microplus*). *Agriculture and Natural Resources*, 27(3), 336-340. (in Thai)
- Jittapalapong, S., Kaewhom, P., Kengradomkij, C., Saratapan, N., Canales, M., De La Fuente, J., & Stich, R. W. (2010). Humoral immune response of dairy cattle immunized with rBm95 (KU-VAC1) derived from Thai *Rhipicephalus microplus*. *Transboundary and Emerging Diseases*, 57(1-2), 91-95. doi: 10.1111/j.1865-1682.2010.01106.x
- Kumar, R., Nagar, G., Sharma, A. K., Kumar, S., Ray, D. D., Chaudhuri, P., & Ghosh, S. (2013). Survey of pyrethroids resistance in Indian isolates of *Rhipicephalus (Boophilus) microplus*: identification of C190A mutation in the domain II of the para-sodium channel gene. *Acta Tropica*, 125(2), 237–245. doi: 10.1016/j.actatropica.2012.10.006
- Lavan, R. P., Tunceli, K., Zhang, D., Normile, D., & Armstrong, R. (2017). Assessment of dog owner adherence to veterinarians'

- flea and tick prevention recommendations in the United States using a cross-sectional survey. *Parasites & Vectors*, 10, 284. doi: 10.1186/s13071-017-2217-2
- Li, A. Y., Davey R. B., Miller R. J., & George J. E. (2004). Detection and characterization of amitraz resistance in the southern cattle tick, *Boophilus microplus* (Acari: Ixodidae). *Journal of Medical Entomology*, 41(2), 193–200. doi: 10.1603/0022-2585-41.2.193
- Lovis, L., Reggi, J., Berggoetz, M., Betschart, B., & Sager, H. (2013). Determination of acaricide resistance in *Rhipicephalus (Boophilus) microplus* (Acari: Ixodidae) field populations of Argentina, south Africa, and Australia with the larval tarsal test. *Journal of Medical Entomology*, 50(2), 326-335. doi: 10.1603/me12127
- Lwande, W., Ndakala, A. J., Hassanali, A., Moreka, L., Nyandat, E., Ndungu, M., Amiani, H., Gitu, P. M., Malonza, M. M., & Punyua, D. K. (1999). *Gynandropsis gynandra* essential oil and its constituents as tick (*Rhipicephalus appendiculatus*) repellents. *Phytochemistry*, 50(3), 401-405. doi: 10.1016/S0031-9422(98)00507-X
- Madhumitha, G., Rajakumar, G., Roopan, S. M., Rahuman, A. A., Priya, K. M., Saral, A. M., Khan, F. R. N., Khanna, V. G., Velayutham, K., Jayaseelan, C., Kamaraj, C., & Elango, G. (2012). Acaricidal, insecticidal, and larvicidal efficacy of fruit peel aqueous extract of *Annona squamosa* and its compounds against blood-feeding parasites. *Parasitology Research*, 111(5), 2189-2199. doi: 10.1007/s00436-011-2671-2
- Magano, S. R., Thembo, K. M., Ndlovu, S. M., & Makhubela, N. F. H. (2008). The anti-tick properties of the root extracts of *Senna italica* subsp. *arachoides*. *African Journal of Biotechnology*, 7(4), 476-481.
- Martins, J. R., & Furlong, J. (2001). Avermectin resistance of the cattle tick *Boophilus microplus* in Brazil. *The Veterinary Record*, 149(2), 64.
- McNair, C. M. (2015). Ectoparasites of medical and veterinary importance: drug resistance and the need for alternative control methods. *Journal of Pharmacy and Pharmacology*, 67(3), 351-363. doi: 10.1111/jphp.12368
- Morgan, J. A. T., Corley, S. W., Jackson, L. A., Lew-Tabor, A. E., Moolhuijzen, P. M., & Jonsson, N. N. (2009). Identification of a mutation in the para-sodium channel gene of the cattle tick *Rhipicephalus (Boophilus) microplus* associated with resistance to synthetic pyrethroid acaricides. *International Journal for Parasitology*, 39(7), 775-779. doi: 10.1016/j.ijpara.2008.12.006
- Mwangi, E. N., Hassanali, A., Essuman, S., Myandat, E., Moreka, L., & Kimondo, M. (1995). Repellent and acaricidal properties of *Ocimum suave* against *Rhipicephalus appendiculatus* ticks. *Experimental and Applied Acarology*, 19(1), 11-18. doi: 10.1007/BF00051933
- Nwanade, C. F., Wang, M., Wang, T., Yu, Z., & Liu, J. (2020). Botanical acaricides and repellents in tick control: current status and future directions. *Experimental and Applied Acarology*, 81(1), 1-35. doi: 10.1007/s10493-020-00489-z
- Parizi, L. F., Reck Jr, J., Oldiges, D. P., Guizzo, M. G., Seixas, A., Logullo, C., de Oliveira, P. L., Termignoni, C., Martins, J. R., & da Silva Vaz Jr, I. (2012). Multi-antigenic vaccine against the cattle tick *Rhipicephalus (Boophilus) microplus*: a field evaluation. *Vaccine*, 30(48), 6912-6917. doi: 10.1016/j.vaccine.2012.08.078
- Perez-Cogollo, L. C., Rodriguez-Vivas, R. I., Ramirez-Cruz, G. T., & Miller, R. J. (2010). First report of the cattle tick *Rhipicephalus microplus* resistant to ivermectin in Mexico. *Veterinary Parasitology*, 168(1-2), 165-169. doi: 10.1016/j.vetpar.2009.10.021
- Pruett, J. H. (2002). Comparative inhibition kinetics for acetylcholinesterases

- extracted from organophosphate resistant and susceptible strains of *Boophilus microplus* (Acari: Ixodidae). *Journal of Economic Entomology*, 95(6), 1239–1244. doi: 10.1603/0022-0493-95.6.1239
- Rahman, A., Kashif, M., Nasir, A., Idrees, A., Jamil, M., Qadir, A., Qasim, M., Khan, I., Aziz, H., Qazi, I., Farooq, M. U., & Sana, M. A. (2022). A review of tick and tick control strategies in Pakistan. *Pakistan Journal of Medical & Health Sciences*, 16(1), 652–655. doi:10.53350/pjmhs22161652
- Rajula, J., Rahman, A., & Krutmuang, P. (2020). Entomopathogenic fungi in Southeast Asia and Africa and their possible adoption in biological control. *Biological Control*, 151, 104399. doi: 10.1016/j.biocontrol.2020.104399
- Rodríguez-Vivas, R. I., Pérez-Cogollo, L. C., Rosado-Aguilar, J. A., Ojeda-Chi, M. M., Trinidad-Martinez, I., Miller, R. J., Li, A. Y., Pérez de León, A., Guerrero, F., & Klafke, G. (2014). *Rhipicephalus (Boophilus) microplus* resistant to acaricides and ivermectin in cattle farms of Mexico. *Revista Brasileira de Parasitologia Veterinária*, 23(2), 113–122. doi: 10.1590/s1984-29612014044
- Rohdich, N., Roepke, R. K., & Zschiesche, E. (2014). A randomized, blinded, controlled and multi-centered field study comparing the efficacy and safety of Bravecto™ (fluralaner) against Frontline™ (fipronil) in flea-and tick-infested dogs. *Parasites & Vectors*, 7(1), 83. doi:10.1186/1756-3305-7-83
- Samish, M., Rot, A., Ment, D., Barel, S., Glazer, I., & Gindin, G. (2014). Efficacy of the entomopathogenic fungus *Metarhizium brunneum* in controlling the tick *Rhipicephalus annulatus* under field conditions. *Veterinary Parasitology*, 206(3-4), 258–266. doi: 10.1016/j.vetpar.2014.10.019
- Shakya, M., Kumar, S., Fular, A., Upadhaya, D., Sharma, A. K., Bisht, N., & Ghosh, S. (2020). Emergence of fipronil resistant *Rhipicephalus microplus* populations in Indian states. *Experimental and Applied Acarology*, 80(4), 591–602. doi: 10.1007/s10493-020-00481-7
- Turner, V., Chaffey, C., & Ferrao, P. (2011). A survey for small animal veterinarians regarding flea and tick control pesticide products. *The Canadian Veterinary Journal*, 52(10), 1080–1082.
- Torrents, J., Sarli, M., Rossner, M. V., Toffaletti, J. R., Morel, N., Martínez, N. C., Webster, A., Mangold, A. J., Guglielmone, A. A., & Nava, S. (2020). Resistance of the cattle tick *Rhipicephalus (Boophilus) microplus* to ivermectin in Argentina. *Research in Veterinary Science*, 132, 332–337. doi: 10.1016/j.rvsc.2020.07.012
- Villarino, M. A., Waghela, S. D., & Wagner, G. G. (2001). Histochemical localization of esterases in the integument of the female *Boophilus microplus* (Acari: Ixodidae) tick. *Journal of Medical Entomology*, 38(6), 780–782. doi: 10.1603/0022-2585-38.6.780
- Vudriko, P., Okwee-Acai, J., Byaruhanga, J., Tayebwa, D. S., Omara, R., Muhindo, J. B., Lagu, C., Umemiya-Shirafuji, R., Xuan, X., & Suzuki, H. (2018). Evidence-based tick acaricide resistance intervention strategy in Uganda: concept and feedback of farmers and stakeholders. *Ticks and tick-borne Diseases*, 9(2), 254–265. doi: 10.1016/j.ttbdis.2017.09.011
- Vudriko, P., Okwee-Acai, J., Tayebwa, D. S., Byaruhanga, J., Kakooza, S., Wampande, E., Omara, R., Muhindo, J. B., Twayongyere, R., Owiny, D. O., Hatta, T., Tsuji, N., Umemiya-Shirafuji, R., Xuan, X., Kanameda, M., Fujisaki, K., & Suzuki, H. (2016). Emergence of multi-acaricide resistant *Rhipicephalus* ticks and its implication on chemical tick control in Uganda. *Parasites & Vectors*, 9(1), 4. doi: 10.1186/s13071-015-1278-3
- Windley, M. J., Herzig, V., Dziemborowicz, S.

- A., Hardy, M. C., King, G. F., & Nicholson, G. M. (2012). Spider-venom peptides as bioinsecticides. *Toxins (Basel)*, 4(3), 191-227. doi: 10.3390/toxins4030191
- Wolstenholme, A. J., & Martin, R. J. (2014). Anthelmintics—from discovery to resistance. *International Journal for Parasitology: Drugs and Drug Resistance*, 4(3), 218-219. doi: 10.1016/j.ijpddr.2014.10.001.

Research article

An updated review of drug resistance in ticks and the alternative ways for tick prevention

Kanokwan Bootyothee^{1*} Tharadol Jitrajak¹ Hanchai Umpapol¹ and Sermwich Bootyothee²

¹*Program in Animal Science, Faculty of Agricultural Technology, Sakon Nakhon Rajabhat University, Sakon Nakhon Province, 47000*

²*Innovation and Computer Education, Faculty of Education, Sakon Nakhon Rajabhat University, Sakon Nakhon Province, 47000*

ARTICLE INFO**Article history**

Received: 11 December 2023

Revised: 13 February 2024

Accepted: 21 February 2024

Online published: 18 March 2024

Keyword

Drug resistance

Tick

Tick prevention

ABSTRACT

Ticks, as significant vectors for various diseases in both companion and livestock animals, pose a threat to animal health and can also impact human well-being. This study aims to explore the mechanism of tick drug resistance, examine novel insecticides and acaricides for tick prevention and control, with potential benefits for human and animal health, and explore the emerging trend of environmentally friendly products. Recently, efforts have been made to develop products and procedures to control tick populations, yielding effective results for a considerable period. However, the efficacy of previously successful products has diminished in recent times. This decline in effectiveness is primarily attributed to genetic mutations causing drug resistance. The issue of drug resistance in ticks has significantly impacted both the medical and veterinary sectors and is escalating steadily. The exacerbation of this problem is primarily driven by the indiscriminate use of drugs. It is crucial not to overlook the concern of chemical residues. Currently, there is a growing emphasis on environmentally friendly approaches to tick management, such as herbal extract products, as well as exploring immunological and biological methods. Further research into these alternatives holds considerable interest. This resistance can result from overuse or misuse of these chemicals. Understanding the mechanisms of resistance and developing alternative strategies is crucial.

*Corresponding author

E-mail address: kanokwan.b@snru.ac.th (K. Bootyothee)

Online print: 18 March 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.2024.3>



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

บทความวิจัย

การพัฒนาผลิตภัณฑ์แยมกล้วยหอมทองเสริมสับปะรดศรีราชา

ศรีสา ทวีแสง ศรีธัญญา วอชวา ธนวรรณ เพ็งชัย ศยามน ปริยาจารย์ เอกชัย จารุเนตรวิลาส กษมา ชาริโคตร และ เพลินพิศ แจ้งโพธิ์นาค*

สาขาวิชาเทคโนโลยีอาหารและโภชนาการ คณะเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏอุดรธานี จังหวัดอุดรธานี

ข้อมูลบทความ

บทคัดย่อ

Article history

รับ: 18 กันยายน 2566

แก้ไข: 20 ตุลาคม 2566

ตอบรับการตีพิมพ์: 22 พฤศจิกายน 2566

ตีพิมพ์ออนไลน์: 18 มีนาคม 2567

คำสำคัญ

แยม

กล้วยหอมทอง

สับปะรด

การผลิต

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาผลิตภัณฑ์แยมกล้วยหอมทองเสริมสับปะรดศรีราชา โดยศึกษาปริมาณการเสริมสับปะรดที่เหมาะสมในการผลิตผลิตภัณฑ์แยมกล้วยหอมทอง ร้อยละ 0 26.50 42 และ 59.25 โดยน้ำหนักของกล้วยหอมทอง ผลการวิเคราะห์การยอมรับของผู้บริโภคทางด้านประสาทสัมผัส คุณภาพทางกายภาพ ทางเคมี และอายุการเก็บรักษา พบว่า การเสริมสับปะรดที่เหมาะสมในการผลิตแยมกล้วยหอมทอง คือ การเสริมสับปะรดร้อยละ 26.50 ผู้บริโภคให้การยอมรับมากที่สุด มีคะแนนความชอบโดยรวมเท่ากับ 7.97 หรือระดับความชอบปานกลาง (9-point hedonic scale โดย 9 = ชอบมากที่สุด 1 = ไม่ชอบมากที่สุด) มีค่าความสว่าง (L*) และค่าความเป็นสีเหลือง (b*) ที่มีค่าใกล้เคียงกับสูตรควบคุม การเสริมสับปะรดร้อยละ 26.50 ทำให้ค่าความแข็งของเจล (Hardness) มีค่าต่ำกว่าสูตรควบคุม ขณะที่ค่าการเกาะกันของเจล (Adhesiveness) สูงกว่า และเมื่อนำมาวิเคราะห์ปริมาณกรดในรูปกรดซิตริก มีค่าร้อยละ 1.13 และการเสริมสับปะรดร้อยละ 26.50 ส่งผลให้มีปริมาณความชื้นเพิ่มสูงขึ้น เท่ากับร้อยละ 37.31 โดยมีปริมาณเส้นใยและปริมาณเถ้าไม่แตกต่างกันกับสูตรควบคุม แยมกล้วยหอมทองเสริมสับปะรดร้อยละ 26.50 มีอายุการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 28-30 องศาเซลเซียส ได้มากกว่า 28 วัน จากผลการศึกษานำไปสู่การถ่ายทอดเทคโนโลยีกระบวนการผลิตและแปรรูปให้แก่กลุ่มวิสาหกิจชุมชนผักปลอดภัยไทยคนบาก ตำบลบ้านโคก อำเภอศรีสงคราม จังหวัดอุดรธานี สามารถผลิตแยมจากกล้วยหอมทองเสริมสับปะรด ซึ่งสามารถจำหน่ายเป็นผลิตภัณฑ์ใหม่ของวิสาหกิจชุมชนได้

บทนำ

ปัจจุบันผักและผลไม้ถูกนำมาแปรรูปเพื่อเป็นการถนอมอาหารเป็นการเพิ่มมูลค่าให้กับวัตถุดิบและเพื่อยืดอายุการเก็บรักษาการแปรรูปผักและผลไม้ที่นิยมอีกวิธีหนึ่งคือการแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์แยมจากผักและผลไม้ เนื่องจากมีกระบวนการไม่ยุ่งยาก ซับซ้อน ใช้ส่วนผสมน้อย และยังสามารถใช้ผลไม้ที่ไม่สามารถจำหน่ายในรูปผลผลิตสด มาเป็นวัตถุดิบได้ สิ่งที่ต้องคำนึงถึงในการเลือกชนิดของผักและผลไม้ก็คือมีการปลูกภายในพื้นที่ผลิตที่ทำให้ลดต้นทุนการผลิตได้ (Awulachew, 2021; Chuenban, et al., 2012; Deepu, 2007) สำหรับกล้วยหอม มีชื่อวิทยาศาสตร์คือ *Musa Sapientum* Linn. อยู่ในวงศ์ Musaceae กล้วยหอมเป็นที่นิยมบริโภคกันอย่างแพร่หลาย นอกจากนี้เป็นแหล่งของคาร์โบไฮเดรต วิตามินเอ วิตามินซี วิตามินบี 6 โนอาซิน และเกลือแร่ที่ร่างกายต้องการในปริมาณสูง

โดยเฉพาะแคลเซียม โพตัสเซียม และเหล็ก (Tiyapreechaya, 2010) ส่วนสับปะรดเป็นผลไม้ประเภท non climacteric fruit ซึ่งเป็นผลไม้ที่มีอัตราการหายใจค่อย ๆ ลดลงเมื่อผลไม้มีความแก่มากขึ้น และเมื่อผลไม้สุกอัตราการหายใจจะไม่เพิ่มขึ้น เมื่อเก็บเกี่ยวมาจากต้นแล้วจะไม่สุกต่อและไม่สามารถรับประทานได้ การเก็บเกี่ยวผลประเภทนี้จึงเก็บเมื่อผลสุกเต็มที่ พร้อมบริโภค ดังนั้นจึงทำให้รสชาติของผลมีการเปลี่ยนแปลงน้อยมากภายหลังการเก็บเกี่ยว (Phunpaisan & Chomkitichai, 2021) ซึ่งสับปะรด มีชื่อวิทยาศาสตร์คือ *Ananas comosus* (L.) Merr. อยู่ในวงศ์ Bromelioidea พันธุ์ที่นิยมปลูกในประเทศไทยเพื่อเป็นวัตถุดิบให้กับโรงงานอุตสาหกรรม ได้แก่ สับปะรดศรีราชา เป็นสายพันธุ์ในกลุ่มปัตตาเวีย มีรูปร่างกลมรี มีปลายจุกแหลม น้ำหนักผล 1.5-3.5 กิโลกรัม ก้านผลสั้น มีไส้ใหญ่ตาค่อนข้างสั้น เปลือกผิวผลดิบมีสีเขียวคล้ำ ผลสุกมีสีเขียวอมเหลือง อมส้ม

*Corresponding author

E-mail address: ploenpitjangphonak@gmail.com (P. Jangponak)

Online print: 18 March 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.2024.4>

เนื้อละเอียดสีเหลืองอ่อน แต่จะเป็นสีเข้มในฤดูร้อน รสชาติหวานฉ่ำ มีกลิ่นหอม เก็บเกี่ยวผลผลิตได้เกือบทั้งปี สับปะรดจัดเป็นผลไม้เพื่อสุขภาพอีกชนิดหนึ่ง โดยประโยชน์ของสับปะรดนั้นมีอยู่หลากหลาย เพราะอุดมไปด้วยสารอาหาร แร่ธาตุและวิตามินต่าง ๆ จำนวนมาก ซึ่งได้แก่ คาร์โบไฮเดรต วิตามินซี วิตามินบี 1 วิตามินบี 2 วิตามินบี 3 วิตามินบี 5 วิตามินบี 6 กรดโฟลิก ธาตุแคลเซียม ธาตุโพแทสเซียม ธาตุแมกนีเซียม ธาตุแมงกานีส ธาตุฟอสฟอรัส ธาตุเหล็ก ธาตุสังกะสี เป็นต้น (Nukulthornprakit, 2004) จากประโยชน์และคุณค่าทางโภชนาการที่กล่าวมานั้นจึงมีการนำสับปะรดไปแปรรูปเป็นแยมเพื่อจำหน่ายในท้องตลาดหลากหลายยี่ห้อ สำหรับแยมจัดเป็นผลิตภัณฑ์ในกลุ่ม semi-soft spread ผลิตภัณฑ์ในกลุ่มนี้ที่ได้รับความนิยมในประเทศได้แก่ แยม มาร์มาเลด และเยลลี่ โดยผลิตภัณฑ์ในกลุ่ม semi-soft spread จะมีลักษณะเป็นวุ้นหรือเป็นเจล มีของแข็งที่ละลายน้ำในผลิตภัณฑ์มากกว่าร้อยละ 65 มีค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) ระหว่าง 2.80-3.50 มีรสเปรี้ยวอมหวาน โดยแยมจะทำจากเนื้อของผักหรือผลไม้ เยลลี่จะทำจากน้ำผักหรือน้ำผลไม้ ส่วนมาร์มาเลดจะทำจากส่วนผสมที่เป็นน้ำผักหรือผลไม้ แต่จะมีเนื้อหรือเปลือกของผลไม้ชิ้นเล็ก ๆ กระจายอยู่ในผลิตภัณฑ์ (Awulachew, 2021; Leenanurak, 1999) ซึ่งในปัจจุบันการแปรรูปผลิตภัณฑ์แยมจากผลไม้ท้องถิ่นต่าง ๆ ยังคงได้รับการพัฒนาให้เกิดความหลากหลายอยู่เสมอ เช่น ในงานวิจัยของ Chuenban et al. (2012) ได้พัฒนาสูตรที่เหมาะสมสำหรับแยมผลไม้รวมชนิดแผ่น โดยพบว่าสูตรที่เหมาะสมในการแปรรูปแยมผลไม้รวมชนิดแผ่น คือ ใช้สับปะรดร้อยละ 65 แก้วมังกรเนื้อแดงร้อยละ 13 และกล้วยหอมทองร้อยละ 22 โดยใช้สารไฮโดรคอลลอยด์คือ คาราจีแนนและกลูโคแมนแนนในอัตราส่วน 60:40 เพื่อปรับปรุงลักษณะเนื้อสัมผัสของแยมให้มีลักษณะเป็นแผ่น และลดการเกิดซินเนอริซิสได้ดี และได้คะแนนการยอมรับโดยรวมจากการทดสอบทางด้านประสาทสัมผัสมากที่สุด Patel et al. (2015) ได้ให้ข้อสังเกตว่า ผลิตภัณฑ์แปรรูปจากผลไม้หากมีส่วนผสมของผลไม้ตั้งแต่สองชนิดขึ้นไปนั้นได้รับการตอบรับที่ดีจากผู้บริโภคมากกว่าผลิตภัณฑ์ที่มีส่วนผสมของผลไม้ชนิดเดียว การมีส่วนผสมของผลไม้หลากหลายชนิดถือเป็นแนวทางในการพัฒนาผลิตภัณฑ์ที่ช่วยเพิ่มมูลค่าของผลิตภัณฑ์ รวมถึงเพิ่มคุณค่าทางโภชนาการและคุณค่าทางด้านประสาทสัมผัสให้กับผลิตภัณฑ์ด้วยเช่นกัน ซึ่ง Patel et al. (2015) ได้พัฒนาผลิตภัณฑ์แยมจากส่วนผสมของกล้วยและสับปะรด และศึกษาคุณภาพด้านประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์ในระหว่างการเก็บรักษา พบว่าแยมที่แปรรูปโดยใช้อัตราส่วนของกล้วยหอมและสับปะรดในอัตราส่วน 50:50 และ 25:75 ได้คะแนนการยอมรับโดยรวมสูงที่สุด นอกจากนี้ยังมีการวิจัยของ Wan-Mohtar et al. (2021) ได้วิจัยเพื่อสร้างสูตรทางการค้าที่เหมาะสมเบื้องต้นสำหรับการแปรรูปแยมกล้วยหอม โดยศึกษาผลของการแปรปริมาณน้ำตาล เพคติน กรดซิตริก ต่อคุณสมบัติทางเคมีกายภาพ ลักษณะทางด้านประสาทสัมผัสและ

อายุการเก็บรักษาของแยมกล้วยหอม และใช้สมการในการทำนายสูตรที่เหมาะสม (Fitting the model from the response surface methodology) พบว่าในการแปรรูปแยมกล้วยหอมให้มีคุณภาพสูงนั้นควรใช้ปริมาณน้ำตาล 281.9 กรัม เพคติน 4.13 กรัม และกรดซิตริก 264.66 มิลลิลิตร จากข้อมูลเบื้องต้นดังกล่าว งานวิจัยนี้จึงมีแนวคิดที่จะพัฒนาผลิตภัณฑ์แยมกล้วยหอมทองเสริมสับปะรดศรีราชา โดยจะใช้ผลไม้หลัก 2 ชนิด คือ กล้วยหอมทองและสับปะรด ซึ่งเป็นผลไม้ที่มีคุณค่าทางโภชนาการสูง สามารถเพาะปลูกได้ทุกภูมิภาคของประเทศไทยและถือได้ว่าเป็นผลไม้ท้องถิ่นของไทย การนำสับปะรดมาเสริมในแยมกล้วยหอมทองจึงเป็นการปรับปรุงด้านรสชาติ ลักษณะเนื้อสัมผัส และสีของแยม และยังเป็นการนำวัตถุดิบทางการเกษตรมาแปรรูปเพื่อเพิ่มมูลค่าและยืดอายุการเก็บรักษา งานวิจัยนี้สามารถนำมาพัฒนาสู่การถ่ายทอดเทคโนโลยีการผลิตในเชิงพาณิชย์และสร้างรายได้ให้กับชุมชน ดังนั้นวัตถุประสงค์ของงานวิจัยนี้คือ เพื่อศึกษาปริมาณที่เหมาะสมของสับปะรดศรีราชาในการผลิตแยมกล้วยหอมเสริมสับปะรดศรีราชาและศึกษาผลของการเสริมสับปะรดศรีราชาต่อคุณสมบัติทางกายภาพ เคมี และการทดสอบทางประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์แยมกล้วยหอมเสริมสับปะรดศรีราชา รวมถึงศึกษาองค์ประกอบทางเคมีและประเมินอายุการเก็บรักษาของแยมกล้วยหอมเสริมสับปะรดศรีราชาในสูตรที่เหมาะสม และนำความรู้และเทคโนโลยีด้านกระบวนการผลิตและแปรรูปแยมกล้วยหอมเสริมสับปะรดศรีราชาไปถ่ายทอดเทคโนโลยีให้กับกลุ่มวิสาหกิจชุมชนในพื้นที่เป้าหมายในจังหวัดอุดรธานี

อุปกรณ์และวิธีการวิจัย

การเตรียมวัตถุดิบ

การเตรียมกล้วยหอมทอง นำกล้วยหอมทองจาก อำเภอสร้างคอม จังหวัดอุดรธานี ความสุกระยะ 7 (เปลือกมีสีเหลือง สุกเต็มที่ มีกลิ่นหอม) ตามมาตรฐาน CSIRO (Cantwell, 2022) ซึ่งเป็นระยะที่มีลักษณะทางประสาทสัมผัสที่ดีและเหมาะสมในการนำมาแปรรูป (Thaiphanit & Anprung, 2014) มาล้างทำความสะอาดด้วยน้ำประปา หลังจากปอกเปลือกกล้วยหอมทองแล้วนำไปแช่ด้วยกรดซิตริกความเข้มข้นร้อยละ 0.1 เป็นเวลา 15 นาที เพื่อป้องกันการเกิดสีน้ำตาลในกล้วยหอม จากนั้นนำขึ้นมาสะเด็ดน้ำ แล้วนำไปปั่นให้ละเอียดด้วยเครื่องปั่นผสมอาหาร เก็บไว้ใช้เป็นส่วนผสมในสูตรแยมต่อไป

การเตรียมสับปะรด นำสับปะรดพันธุ์ศรีราชา จากตลาดเมืองทอง จังหวัดอุดรธานี ที่มีความสุกเต็มที่โดยสังเกตได้จากลักษณะภายนอกของผลที่สุกเต็มที่คือ สีของเปลือกจะเป็นสีเหลืองหรือสีส้ม กลีบเลี้ยงจะมีสีส้มหรือน้ำตาลอมแดง ตาของผลย่อยจะแบบราบ สีของตาเหลืองไม่น้อยกว่าร้อยละ 90 ก้านผลเหี่ยวตามแนวยาวและเป็นร่อง ผลมีความแข็งแรงลดลง และมีกลิ่นหอม (Thongtham,

1983) โดยปอกเปลือกและนำตาสับปรดออกให้หมด ล้างทำความสะอาดด้วยน้ำประปา และปอกเปลือกโดยนำตาสับปรดออกให้หมด และนำแกนกลางสับปรดออก ใช้เฉพาะส่วนเนื้อสับปรด นำมาหั่นเป็นชิ้นเล็ก ๆ และปั่นให้ละเอียดด้วยเครื่องผสมอาหาร เก็บไว้ใช้เป็นส่วนผสมในสูตรแยมต่อไป

การผลิตแยมกล้วยหอมทองเสริมสับปรดศรีราชา

ศึกษาปริมาณสับปรดที่เหมาะสมในการทำแยมกล้วยหอมทอง โดยเปรียบเทียบปริมาณของสับปรดต่อเนื้อกล้วยหอมทอง โดยสูตรที่ใช้ศึกษาทั้งหมด 4 สูตร ได้แก่ สูตรที่ 1 สูตรควบคุม (ไม่เสริมสับปรด) สูตรที่ 2 เสริมสับปรดร้อยละ 26.50 สูตรที่ 3 เสริมสับปรดร้อยละ 42 สูตรที่ 4 เสริมสับปรดร้อยละ 59.25 โดยน้ำหนักของกล้วยหอมทอง ซึ่งวิธีการผลิตแยมทำได้โดย นำกล้วยหอมทองที่ปั่นละเอียดและเนื้อสับปรดปั่นละเอียดนำมาผสมตามสูตรแสดงดัง Table 1 ผสมกับน้ำตาลทรายขาว เพคติน (เพคตินชนิดมีเมทอกซิลสูง) และกรดซิตริก นำส่วนผสมทั้งหมดไปทำแยมกล้วยหอมทองเสริมสับปรด ตามขั้นตอนใน Figure 1

การวิเคราะห์คุณสมบัติทางกายภาพ เคมี และการทดสอบทางประสาทสัมผัส

การตรวจสอบทางกายภาพ ได้แก่ ค่าสี L^* , a^* และ b^* โดยใช้เครื่องวัดสี (Colorimeter) (ยี่ห้อ Hunter Lab รุ่น CX1463 ประเทศสหรัฐอเมริกา) และการวัดเนื้อสัมผัส โดยใช้เครื่องวัดเนื้อสัมผัส (Texture analyzer) (ยี่ห้อ Brookfield รุ่น CT3) ใช้หัววัด (Probe)

TA2/1000 (Cone probe 30 mm dia. 60°) โดยสภาวะที่ใช้ในการวัดเนื้อสัมผัส Test type แบบ Compression, Pre-test speed = 2.00 mm/s, Test speed = 1 mm/s, Return speed = 1 mm/s, Trigger load = 10 g และค่าที่ได้จากการวัดเนื้อสัมผัสได้แก่ ความแข็งของเจล (Hardness, N) และค่าการเกาะกันของเจล (Adhesiveness, g sec)

การวิเคราะห์ทางเคมี ได้แก่ วิเคราะห์ค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) โดยใช้เครื่องวัดค่า pH (pH meter) และวิเคราะห์ปริมาณกรดทั้งหมดคิดเป็นร้อยละในรูปของกรดซิตริก โดยการไทเทรต (AOAC, 2004)

การทดสอบทางประสาทสัมผัส เตรียมตัวอย่างแยมทั้ง 4 สูตรในการทดสอบจะถูกนำมาใส่รหัสเลขสุ่ม 3 หลัก และให้ผู้ทดสอบชิมตัวอย่างแยมจำนวน 50 กรัมกับขนมปังแผ่นที่เตรียมไว้ และบันทึกระดับคะแนนความชอบหรือไม่ชอบของตัวอย่างนั้น ๆ จากซ้ายไปขวาของการเสิร์ฟตัวอย่าง โดยใช้ผู้ทดสอบชิมถึงฝึกฝนจำนวน 30 คน ซึ่งเป็นนักศึกษาของคณะเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏอุดรธานี ที่แสดงความสมัครใจในการเข้าร่วมทดสอบทางด้านประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์ ซึ่งผู้ทดสอบชิมจะต้องอธิบายค่าของคะแนนที่กำหนดตามวิธีการประเมินแบบ 9-point hedonic scale (9 = ชอบมากที่สุด, 1 = ไม่ชอบมากที่สุด) ประเมินความชอบของผลิตภัณฑ์แยมในด้านลักษณะปรากฏ สี กลิ่น รสชาติ การกระจายตัวบนขนมปัง และความชอบโดยรวม

Table 1 Ingredients to produce Hom Tong banana jam supplemented with Sriracha pineapple

Ingredients (g)	Amount of Sriracha pineapple (%) [*]			
	0	26.50	42	59.25
Hom Tong banana ²	400	400	400	400
Sriracha pineapple ^{2,3}	0	106	168	237
Sugar ¹	300	300	300	300
Pectin ¹	1	1	1	1
Citric acid ¹	6	6	6	6
Water ¹	240	240	240	240

Sources: Modified from ¹Deepu (2007); ²Patel et al. (2015); ³S Wan-Mohtar et al. (2021).

^{*} The amount of Sriracha pineapple (%) was calculated from weight of banana.

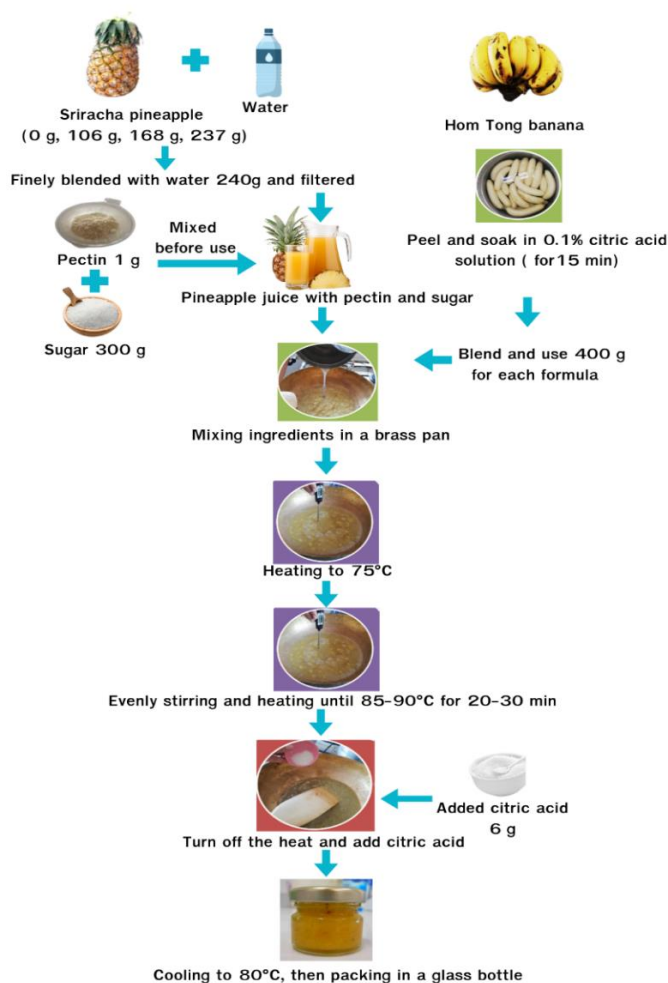


Figure 1 Production process of Hom Tong banana jam supplemented with Sriracha pineapple.

การศึกษารวบรวมองค์ประกอบทางเคมี และประเมินอายุการเก็บรักษาของ
แยมกล้วยหอมเสริมสับปะรดศรีราชาในสูตรที่เหมาะสม

คัดเลือกแยมกล้วยหอมทองเสริมสับปะรดสูตรที่ผู้บริโภค
ยอมรับมากที่สุดและแยมกล้วยหอมทองสูตรควบคุมมาวิเคราะห์
องค์ประกอบทางเคมีในอาหาร ได้แก่ความชื้น เส้นใย และเถ้า (AOAC,
2000) และประเมินอายุการเก็บรักษาของผลิตภัณฑ์ที่อุณหภูมิห้อง
(28-30 องศาเซลเซียส) โดยสุ่มตัวอย่างในวันที่ 0 7 14 21 และ 28
ของการเก็บรักษามาทำการตรวจนับเชื้อจุลินทรีย์ทั้งหมด (Total
plate count) ยีสต์และรา (AOAC, 2000)

แผนการทดลองและการวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ

การวิเคราะห์ทางกายภาพและการวิเคราะห์ทางเคมี
ใช้แผนการทดลองแบบ Completely Randomized Design (CRD)
ทำการทดลอง 3 ซ้ำ ส่วนการทดสอบทางประสาทสัมผัส ใช้แผนการ
ทดลองแบบ Randomized Complete Block Design (RCBD)
วิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ ใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์สำเร็จรูป SPSS for
Windows โดยวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบ Analysis of Variance
(ANOVA) และเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยโดยวิธี

Duncan's New Multiple Range Test (DMRT) ที่ระดับความเชื่อมั่น
ร้อยละ 95 สำหรับการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของสูตรที่
เหมาะสม ทำการทดลอง 3 ซ้ำ วิเคราะห์ข้อมูลด้วยสถิติอิสระ
(independent t-test) ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

ผลและวิจารณ์ผลการวิจัย

ผลการเสริมสับปะรดต่อคุณภาพด้านสี และลักษณะเนื้อสัมผัสของแยม
กล้วยหอมทองเสริมสับปะรดศรีราชา

คุณภาพทางกายภาพด้านสีของผลิตภัณฑ์แยมและผลิตภัณฑ์อาหาร
อื่น ๆ เป็นปัจจัยทางคุณภาพที่สำคัญ เนื่องจากมีผลในการดึงดูดใจและ
การตัดสินใจซื้อผลิตภัณฑ์ของผู้บริโภค จากผลการทดลองใน Table 2
พบว่าค่าสีของแยมกล้วยหอมทองเสริมสับปะรด มีค่าความสว่าง (L*)
และค่าความเป็นสีเหลือง (b*) แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ
($p < 0.05$) โดยค่าความสว่างของแยมกล้วยหอมทองสูตรควบคุม
(ไม่เสริมสับปะรด) มีค่าความสว่างสูงที่สุด เท่ากับ 49.51 รองลงมาคือ
ค่าความสว่างของแยมกล้วยหอมทองเสริมสับปะรด ร้อยละ 26.50
42.00 และ 59.25 มีค่าเท่ากับ 42.08 41.53 และ 44.26 ตามลำดับ

สำหรับค่าความเป็นสีเหลือง พบว่าแยมกล้วยหอมทองสูตรควบคุม มีค่าความเป็นสีเหลืองสูงที่สุด เท่ากับ 26.49 รองลงมาคือค่าความเป็นสีเหลืองของแยมกล้วยหอมทองเสริมสับปะรด ร้อยละ 26.50 42.00 และ 59.25 มีค่าเท่ากับ 22.68 18.58 และ 19.39 ตามลำดับ การเสริมสับปะรดเข้าไปในผลิตภัณฑ์แยมมากขึ้นทำให้ผลิตภัณฑ์มีแนวโน้มสีคล้ำขึ้น เนื่องจากปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลที่ไม่มีเอนไซม์เป็นตัวเร่ง คือการเกิดคาราเมลไลเซชันของน้ำตาลที่มีในสับปะรดและปฏิกิริยาเมลลาร์ดที่เกิดขึ้นในระหว่างกระบวนการทำแยม (Igual et al., 2014) ซึ่งการใช้ความร้อนเป็นการสลายโมเลกุลของน้ำตาลทรายให้แยกออก และเกิดพอลิเมอร์เซชันของสารประกอบคาร์บอนได้เป็นสารสีน้ำตาลได้เช่นกัน (Rattanapanon, 2002) จึงทำให้ค่าความสว่างมีแนวโน้มลดลง สำหรับกล้วยหอมเป็นผลไม้ที่สามารถเกิดสีน้ำตาลได้อย่างรวดเร็วเมื่อปอกเปลือกออกหรือได้รับความร้อน (Aimi Azira et al., 2021) ในงานวิจัยนี้ได้มีกล้วยหอมหลังปอกเปลือกไปแช่ในกรดซิตริก ความเข้มข้นร้อยละ 0.10 นาน 15 นาที ซึ่งสภาวะที่ใช้ในการทดลองอาจจะไม่เพียงพอต่อการยับยั้งการเกิดปฏิกิริยาสีน้ำตาลในผลิตภัณฑ์ โดยมีหลายงานวิจัยพบว่าวิธีป้องกันการเกิดสีน้ำตาลในผลิตภัณฑ์แปรรูปของกล้วยหอมสามารถทำได้โดยการใช้ความร้อนด้วย

ไอน้ำเดือดกับผลกล้วยหอมที่อุณหภูมิ 85 องศาเซลเซียส ร่วมกับการเติมกรดซิตริกหรือกรดแอสคอร์บิกในช่วงร้อยละ 1.50-3.00 โดยน้ำหนัก พบว่าสามารถป้องกันการเกิดสีน้ำตาลของผลิตภัณฑ์เนื้อกล้วยหอมดิบได้ (Thaiphanit & Anprung, 2014) และสำหรับผลิตภัณฑ์แยมกล้วย มีรายงานวิจัยที่นำกล้วยหั่นเป็นชิ้นและแช่ในสารละลายกรดแอสคอร์บิก ความเข้มข้นร้อยละ 1.5 ที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส นาน 10 นาที จะให้ผลดีที่สุดในการลดการเกิดปฏิกิริยาสีน้ำตาลทั้งในระหว่างการแปรรูปและการเก็บรักษา (Aimi Azira et al., 2021) สำหรับค่าความเป็นสีเหลืองพบว่าแยมกล้วยหอมทองสูตรควบคุม (ไม่เสริมสับปะรด) มีค่าความเป็นสีเหลืองสูงที่สุด โดยการเติมสับปะรดที่มีสีเหลืองของรงควัตถุแซนโทฟิลล์ที่อยู่ในกลุ่มของแคโรทีนอยด์ ซึ่งจะไม่ละลายน้ำ แต่ละลายในไขมันและคงตัวในสภาพที่เป็นด่างไม่ทนต่อสภาพที่เป็นกรดและสีจะเสื่อมคุณภาพได้ง่ายโดยปฏิกิริยาออกซิเดชัน (Murray, 1996) จะเห็นได้ว่ากระบวนการการทำแยมนั้นมีการให้ความร้อนเป็นเวลานานต่อผลิตภัณฑ์จึงส่งผลต่อสีของแยม จึงทำให้ค่าความเป็นสีเหลืองลดลง และยังสอดคล้องกับค่าความสว่างที่มีค่าลดลงเช่นเดียวกัน

Table 2 Effects of pineapple supplementation on color quality and textural characteristics of Hom Tong banana jam supplemented with Sriracha pineapple

Amount of pineapple (%)	Color			Texture	
	L*	a* ^{ns}	b*	Hardness (N)	Adhesiveness (g sec)
0	49.51 ^a ±3.53	5.13±0.66	26.49 ^a ±1.51	4.89 ^a ±1.65	-0.0064 ^a ±0.0018
26.50	42.08 ^b ±1.52	5.26±0.17	22.68 ^b ±1.35	1.10 ^b ±0.37	-0.0172 ^b ±0.0019
42	41.53 ^b ±0.72	4.90±0.20	18.58 ^c ±1.10	1.15 ^b ±0.24	-0.0325 ^c ±0.0051
59.25	44.26 ^b ±0.95	4.72±0.36	19.39 ^c ±1.16	1.06 ^b ±0.11	-0.0303 ^c ±0.0024

a, b... Means with the different letters in the same column are significant differences at $p \leq 0.05$.

สำหรับลักษณะเนื้อสัมผัสของแยมกล้วยหอมทองเสริมสับปะรดศรีราชา ผลการทดลองแสดงใน Table 2 พบว่าคุณภาพด้านความแข็งของเจลของผลิตภัณฑ์แยมกล้วยหอมทองเสริมสับปะรดทั้ง 4 สูตร มีความแตกต่างกัน ($p \leq 0.05$) สูตรที่มีความแข็งของเจลมากที่สุดคือสูตรควบคุม มีค่าเท่ากับ 4.89 N รองลงมาคือ แยมกล้วยหอมทองเสริมสับปะรดร้อยละ 26.50 42.00 และ 59.25 มีค่าเท่ากับ 1.01 1.15 และ 1.06 N ตามลำดับ ซึ่งการเพิ่มปริมาณสับปะรดมีผลทำให้ค่าความแข็งของเจลลดลงตามปริมาณสับปะรดที่เพิ่มขึ้น เนื่องจากเป็นการเพิ่มปริมาณน้ำจึงทำให้ปริมาณกรดและปริมาณน้ำตาลเปลี่ยนแปลงไป การเกิดเจลที่แข็งแรงจึงลดลง ซึ่งการเกิดเจลที่ดีในผลิตภัณฑ์นั้นต้องมียอดประกอบที่สำคัญ 3 อย่างคือ ค่าความเป็นกรด-ด่าง ปริมาณเพคติน ปริมาณน้ำตาลทราย โดยความเข้มข้นของน้ำตาลทรายในผลิตภัณฑ์ที่ทำให้การคงตัวของแยมเหมาะสมอยู่ในช่วงร้อยละ 65-70 และค่าความเป็นกรด-ด่างที่เหมาะสมต่อการคงตัวของเจลอยู่ในช่วง 2.90-3.10 ซึ่งความสมดุลนี้จะทำให้ได้เจลที่แข็งแรง

(Huangrak, 1993) และค่าความเป็นกรด-ด่างของผลิตภัณฑ์หากต่ำเกินไปจะได้เจลที่ไม่แข็งแรงแต่หากค่า pH สูงเกินไปก็จะไม่เกิดเจล (Rattanapanon, 2002) ส่วนค่าการเกาะกันของเจลแสดงให้เห็นว่าการเพิ่มปริมาณสับปะรดมีผลทำให้ค่าเกาะกันของเจลในแยมกล้วยหอมทองเสริมสับปะรดมีค่าติดลบมากขึ้น ซึ่งจากผลการทดลองค่าเกาะกันของเจลมีค่าอยู่ในช่วง -0.0064 ถึง -0.0303 g sec สอดคล้องกับรายงานการวิจัยของ Aimi Azira et al. (2021) ได้รายงานค่าเกาะกันของเจลในแยมกล้วยไม่มีค่าติดลบมากถึง -61.75 g sec สำหรับค่าการเกาะกันของเจลนั้นยิ่งค่าติดลบมากหมายถึงต้องใช้แรงในการดึงมาก ซึ่งส่งผลให้เกลี่ยผลิตภัณฑ์บนขนมปังได้ยากขึ้น (Raikos et al., 2007) ดังนั้นในงานวิจัยนี้การเพิ่มปริมาณสับปะรดจะทำให้ผลิตภัณฑ์แยมมีความแข็งของเจลลดลง และมีค่าการเกาะกันของเจลอยู่ในช่วงที่เหมาะสม เมื่อทาผลิตภัณฑ์บนขนมปังจะเกลี่ยได้ง่ายขึ้น การผลิตแยมทั่วไปมีส่วนประกอบที่สำคัญที่มีผลต่อคุณลักษณะของแยม ได้แก่ ชนิดผลไม้ เนื้อผลไม้ น้ำตาล กรด และคุณสมบัติของ

สารก่อให้เกิดเจลที่สามารถเกิดระบบเจลได้แตกต่างกัน และให้คุณลักษณะเนื้อสัมผัสที่แตกต่างกัน (Aimi Azira et al., 2021; Apiratananusorn, 2011)

ผลของการเสริมสับปะรดต่อคุณภาพด้านเคมีของแยมกล้วยหอมทองเสริมสับปะรดศรีราชา

สำหรับผลของการเสริมสับปะรดต่อคุณภาพด้านเคมีของแยมกล้วยหอมทองเสริมสับปะรดศรีราชา แสดงใน Table 3 ซึ่งพบว่าปริมาณกรดทั้งหมดของแยมกล้วยหอมทองเสริมสับปะรดทั้ง 4 สูตร ไม่มีความแตกต่างกัน ($p>0.05$) ซึ่งมีค่าอยู่ในช่วงร้อยละ 1.10-1.24

สอดคล้องกับหลายงานวิจัยที่พบว่าเมื่อเพิ่มปริมาณสับปะรดหรือผลไม้ชนิดอื่น ๆ ที่เป็นส่วนผสมในแยมกล้วยนั้นไม่ส่งผลให้เกิดความแตกต่างของปริมาณกรดซิตริก (Awolu et al., 2018; Patel et al., 2015) ส่วนค่า pH ซึ่งทั้ง 4 สูตร มีค่าอยู่ในช่วง 3.54-3.70 และค่า pH มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่อเสริมสับปะรดในปริมาณที่สูงขึ้น เนื่องจากในน้ำสับปะรดมีกรดจำนวนมาก (Pongjanta et al., 2011) การเสริมน้ำสับปะรดในปริมาณที่มากขึ้นค่า pH ควรลดลง แต่ผลการทดลองพบว่า มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นอาจเกิดจากปัจจัยอื่น ซึ่งสอดคล้องกับปริมาณกรดซิตริก ที่มีแนวโน้มลดลงเช่นเดียวกัน

Table 3 Effects of pineapple supplementation on the chemical quality of Horn Tong banana jam supplemented with Sriracha pineapple

Amount of pineapple (%)	pH	Total citric acid ^{ns} (%)
0	3.56 ^{bc} ± 0.07	1.24 ± 1.29
26.50	3.54 ^c ± 0.02	1.13 ± 0.06
42	3.63 ^{ab} ± 0.01	1.10 ± 0.04
59.25	3.70 ^a ± 0.32	1.10 ± 0.02

^{a, b} Means with the different letters in the same column are significant differences at $p\leq 0.05$.

^{ns} Means in the same column shows that there are no significant differences ($p>0.05$).

ผลของการเสริมสับปะรดต่อคุณภาพด้านประสาทสัมผัสของแยมกล้วยหอมทองเสริมสับปะรดศรีราชา

ผลการประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัส ด้านลักษณะปรากฏ ด้านสี กลิ่น รสชาติ การกระจายตัวบนแผ่นขนมปัง และความชอบโดยรวม แสดงดัง Table 4 พบว่า คะแนนความชอบด้านกลิ่น รสชาติ และการกระจายบนแผ่นขนมปังของผลิตภัณฑ์แยมทั้ง 4 สูตร ไม่มีความแตกต่างกัน โดยทุกคุณลักษณะทางด้านประสาทสัมผัสที่กล่าวมาในเบื้องต้น มีคะแนนความชอบอยู่ในช่วง 6.07-7.53 หรือในระดับชอบเล็กน้อยถึงชอบปานกลาง ส่วนความชอบด้านลักษณะปรากฏ สี และความชอบโดยรวมของแยมกล้วยหอมทองเสริมสับปะรดทั้ง 4 สูตร ผู้ทดสอบชิมให้คะแนนความชอบแตกต่างกัน ($p\leq 0.05$) ซึ่งสอดคล้องกับค่าผลการวิเคราะห์คุณภาพทางกายภาพด้านสีของแยมกล้วยหอมทองเสริมสับปะรด (Table 2) ที่พบว่า การเติมสับปะรดลงไปในการผลิตผลิตภัณฑ์แยมกล้วยหอมทองนั้น มีผลต่อลักษณะปรากฏของผลิตภัณฑ์ โดยสังเกตได้จากค่าความสว่างและค่าความเป็นสีเหลืองที่มีค่าลดลงหรือทำให้มีสีคล้ำมากขึ้น ซึ่งผลการประเมินทางด้านประสาทสัมผัสด้าน

สีของแยมกล้วยหอมทองเสริมสับปะรดนั้น พบว่าเมื่อเสริมสับปะรดในปริมาณสูงขึ้น (ร้อยละ 42 และ 59.25) ผู้ทดสอบชิมมีแนวโน้มให้คะแนนความชอบด้านสีลดลง (5.20 และ 6.20 ตามลำดับ) รวมทั้งคะแนนการยอมรับโดยรวมก็มีแนวโน้มลดลงเช่นกัน (6.90 และ 7.07 ตามลำดับ) ซึ่งเสริมสับปะรดเข้าไปในผลิตภัณฑ์เพียงร้อยละ 26.50 พบว่าผู้ทดสอบชิมมีความชอบด้านต่าง ๆ ในระดับปานกลาง (7.07-7.97) และให้คะแนนด้านการยอมรับโดยรวมสูงกว่าสูตรควบคุม มีงานวิจัยเกี่ยวกับการพัฒนาผลิตภัณฑ์แยมจากกล้วยผสมกับผลไม้ชนิดต่าง ๆ (Muresan et al., 2014; Awolu et al., 2018; Patel et al., 2015) ได้รายงานผลการทดสอบทางด้านประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์แยมจากกล้วย ซึ่งพบว่าผู้ทดสอบชิมมีแนวโน้มการให้การยอมรับโดยรวมค่อนข้างสูงเมื่อผลิตภัณฑ์แยมกล้วยมีส่วนผสมของผลไม้ชนิดอื่น ๆ ด้วย ซึ่งสูตรแยมกล้วยหอมทองเสริมสับปะรดที่ได้รับคะแนนการยอมรับสูงที่สุดคือ สูตรกล้วยหอมทองเสริมสับปะรด ร้อยละ 26.50 มีคะแนนความชอบด้านลักษณะปรากฏ สี และความชอบโดยรวมเท่ากับ 7.07 7.47 และ 7.97 ตามลำดับ

Table 4 Sensory evaluation of Horn Tong banana jam supplemented with Sriracha pineapple

Sensory attribute	Amount of pineapple (%)			
	0	26.50	42	59.25
Appearance	7.03 ^a ± 1.48	7.07 ^a ± 1.31	6.07 ^b ± 1.41	6.60 ^{ab} ± 1.36
Color	7.37 ^a ± 1.13	7.47 ^a ± 1.41	5.20 ^c ± 1.89	6.00 ^b ± 1.58
Odor ^{ns}	6.30 ± 1.60	7.07 ± 1.23	6.07 ± 1.48	6.43 ± 1.76
Taste ^{ns}	7.03 ± 1.19	7.23 ± 1.50	6.60 ± 1.33	6.93 ± 1.28
Spreadable on bread ^{ns}	6.77 ± 1.50	7.53 ± 1.20	6.93 ± 1.36	7.10 ± 1.30
Overall acceptance	7.47 ^{ab} ± 1.37	7.97 ^a ± 1.00	6.90 ^b ± 1.27	7.07 ^b ± 1.44

^{a, b} Means with the different letters in the same column are significant differences at $p\leq 0.05$.

^{ns} Means in the same column shows that there are no significant differences ($p>0.05$).

ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีและการประเมินอายุการเก็บรักษาของแยมกล้วยหอมทองเสริมสับปะรดในสูตรที่เหมาะสม

จากการวิเคราะห์คุณภาพด้านสี ลักษณะเนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์ และคุณภาพด้านประสาทสัมผัสของแยมกล้วยหอมทองเสริมสับปะรดศรีราชาเพื่อหาปริมาณที่เหมาะสมในการเสริมสับปะรดพบว่าแยมกล้วยหอมทองเสริมสับปะรดในสูตรเสริมสับปะรดร้อยละ 26.50 ผู้ทดสอบชิมให้การยอมรับมากที่สุด และมีคุณภาพด้านสีและลักษณะเนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์ใกล้เคียงกับกับสูตรควบคุม (ไม่เสริมสับปะรด) ดังนั้นจึงนำผลิตภัณฑ์ทั้งสองสูตรมาวิเคราะห์ทางเคมีและประเมินอายุการเก็บรักษา

สำหรับผลการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมี ได้แก่ ปริมาณความชื้น ปริมาณเส้นใย และปริมาณเถ้า แสดงใน Table 5 พบว่าปริมาณความชื้นของผลิตภัณฑ์แยมกล้วยหอมทองเสริมสับปะรดสูตรควบคุมและสูตรเสริมสับปะรดในปริมาณร้อยละ 26.50 มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) โดยพบว่าแยมกล้วยหอมทองสูตรเสริมสับปะรดร้อยละ 26.50 มีค่าความชื้นสูงกว่าสูตรควบคุม

โดยมีค่าเท่ากับร้อยละ 37.31 และ 29.87 ตามลำดับ จะเห็นได้ว่าปริมาณสับปะรดที่เติมลงไปนั้นส่งผลต่อปริมาณความชื้นของผลิตภัณฑ์แยมกล้วยหอมทอง เนื่องจากสับปะรดเป็นผลไม้ที่มีน้ำเป็นองค์ประกอบค่อนข้างสูงถึงร้อยละ 81.20-86.20 (Weerawut, 1998) จึงทำให้มีปริมาณความชื้นสูงขึ้น อย่างไรก็ตามปริมาณเส้นใยและเถ้าไม่มีความแตกต่างกัน ($p > 0.05$) โดยพบว่าสูตรควบคุม มีค่าปริมาณเส้นใยร้อยละ 0.24 และสูตรเสริมสับปะรดร้อยละ 26.50 มีปริมาณเส้นใยร้อยละ 0.18 เนื่องจากสับปะรดมีเส้นใย 1.4 กรัมต่อ 100 กรัม น้อยกว่าเส้นใยของกล้วยหอมที่มีเส้นใย 1.9 กรัมต่อ 100 กรัม (Bureau of Nutrition, 2010) ทำให้สับปะรดที่เสริมลงไปแยมกล้วยหอมทองไม่มีผลต่อปริมาณเส้นใยและไม่มีความแตกต่างกัน เช่นเดียวกับปริมาณเถ้าที่ทั้ง 2 สูตรมีค่าไม่แตกต่างกัน ($p > 0.05$) โดยมีค่าอยู่ในช่วงร้อยละ 0.69-0.84 จะเห็นได้ว่าปริมาณสับปะรดที่ผสมในแยมกล้วยหอมทองไม่มีผลต่อปริมาณเถ้าในแยมกล้วยหอมทอง เนื่องจากปริมาณเถ้าในสับปะรดมีเพียงร้อยละ 0.30 (Bureau of Nutrition, 2010)

Table 5 Chemical composition analysis of Hom Tong banana jam supplemented with Sriracha pineapple

Amount of pineapple (%)	Moisture content (%)	Fiber ^{ns} (%)	Ash ^{ns} (%)
0	29.87 ^b ± 1.14	0.24 ± 0.45	0.69 ± 0.19
26.50	37.31 ^a ± 1.40	0.18 ± 0.09	0.84 ± 0.02

^{a, b} Means with the different letters in the same column are significant differences at $p \leq 0.05$.

^{ns} Means in the same column shows that there are no significant differences ($p > 0.05$).

การประเมินอายุการเก็บรักษาของแยมกล้วยหอมทองเสริมสับปะรดทั้งสองสูตรเป็นเวลา 28 วัน ในสภาวะบรรจุในภาชนะแก้วมีฝาปิดสนิท ขนาด 30 มิลลิลิตร (Figure 2) เก็บไว้ที่อุณหภูมิห้อง (28-30 องศาเซลเซียส) และสุ่มตัวอย่างทุก 7 วันมาทำการตรวจนับเชื้อจุลินทรีย์ทั้งหมด ยีสต์และรา พบว่าในระยะเวลาการเก็บรักษาที่ 28 วัน แยมกล้วยหอมทองสูตรควบคุมตรวจไม่พบเชื้อจุลินทรีย์ทั้งจุลินทรีย์ทั้งหมด รวมทั้งยีสต์และรา แต่แยมกล้วยหอมทองเสริมสับปะรดร้อยละ 26.50 พบเชื้อยีสต์และราในวันที่ 28 เท่ากับ 1.2×10^2 โคโลนีต่อกรัม (Table 6) ผลการวิเคราะห์เชื้อจุลินทรีย์พบการเจริญของเชื้อยีสต์และราเพียงวันที่ 28 ตามข้อมูลข้างต้น ซึ่งตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชนแยม (มผช. 342/2561) กำหนดให้แยมมีจำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมด ต้องไม่เกิน 1×10^4 โคโลนีต่อกรัม เชื้อยีสต์และราได้ไม่เกิน 100 โคโลนีต่ออาหาร 1 กรัม (Thai Industrial Standards Institute, 2018) ซึ่ง

จากการประเมินอายุการเก็บรักษาของแยมกล้วยหอมทองเสริมสับปะรดทั้งสองสูตรเป็นเวลา 28 วัน โดยเก็บไว้ที่อุณหภูมิห้อง (28-30 องศาเซลเซียส) พบว่าแยมกล้วยหอมทองสูตรควบคุมและเสริมสับปะรดร้อยละ 26.50 สามารถเก็บไว้ที่อุณหภูมิห้องได้นานพอ 28 วัน เนื่องจากการที่ระดับน้ำตาลในแยมมีปริมาณสูงเพียงพอส่งผลต่อการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ ซึ่งแยมกล้วยหอมทองเสริมสับปะรดทั้งสองสูตรมีปริมาณของแข็งที่ละลายได้อยู่ในช่วง 66-68 องศาบริกซ์ โดยผลิตภัณฑ์ที่มีความเข้มข้นของน้ำตาลสูง เช่น แยมเยลลี่ ผลไม้แช่อิ่ม อาหารประเภทนี้จะมีความเข้มข้นของน้ำตาลร้อยละ 60-65 จึงสามารถเก็บไว้ได้นานโดยไม่เน่าเสีย โดยน้ำตาลจะทำหน้าที่ดึงน้ำออกจากเซลล์ของจุลินทรีย์จึงไม่สามารถเจริญเติบโตได้ และรวมถึงกรรมวิธีการทำแยมที่ถูกวิธีที่มีการฆ่าเชื้อภาชนะบรรจุก่อนการบรรจุแยม จึงสามารถเก็บรักษาไว้ได้นาน (Rattanapanon, 2002)



Figure 2 Hom Tong banana jam is complemented with 26.50% Sriracha pineapple in a glass jar container

Table 6 Microbiological evaluation of Hom Tong banana jam supplemented with 26.50% Sriracha pineapple and control formula for 28 days of storage at room temperature (28-30 °C)

Storage time (day)	Total plate count (CFU/g)		Yeast and mold (CFU/g)	
	Control	26.50% Pineapple	Control	26.50% Pineapple
0	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
7	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
14	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
21	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
28	N.D.	N.D.	N.D.	1.2x10 ²

N.D. means not detected.

สรุปผลการวิจัย

การผลิตแยมกล้วยหอมทองเสริมสับปะรดศรีราชาที่ร้อยละ 26.50 ได้แยมที่มีลักษณะทางกายภาพด้านสีที่มีความสว่างเท่ากับ 42.05 และมีค่าความเป็นสีเหลืองเท่ากับ 22.68 ค่าความเป็นสีแดงเท่ากับ 5.26 และผู้ทดสอบชิมให้การยอมรับโดยรวมสูงเท่ากับ 7.97 หรืออยู่ในระดับความชอบปานกลาง และมีคุณสมบัติที่เหมาะสมต่อการผลิตแยมซึ่งมีองค์ประกอบครบถ้วนเหมาะสมได้แก่ มีปริมาณของแข็งที่ละลายได้ 68 องศาบริกซ์ ปริมาณกรดซิตริกทั้งหมดที่ร้อยละ 1.13 มีค่า pH เท่ากับ 3.54 คุณสมบัติด้านเนื้อสัมผัสของแยม มีค่าความแข็งของเจลเท่ากับ 1.10 N และค่าการเกาะกันของเจลเท่ากับ -0.1172 g sec ที่แสดงถึงการทลายแยมบนแผ่นขนมปังได้ดี ซึ่งสอดคล้องกับค่าการทดสอบทางประสาทสัมผัสในด้านความสามารถในการกระจายตัวบนขนมปังที่ได้คะแนนความชอบสูงสุดเท่ากับ 7.35 แยมกล้วยหอมทองเสริมสับปะรดร้อยละ 26.50 มีอายุการเก็บรักษาอย่างน้อย 28 วัน ที่อุณหภูมิห้อง (28-30 องศาเซลเซียส) โดยมีปริมาณเชื้อจุลินทรีย์ เชื้อยีสต์และรา ไม่เกินเกณฑ์มาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชนแยม (มพข.342/2561) ซึ่งผลการวิจัยนี้สามารถนำไปประยุกต์ใช้ในการถ่ายทอดเทคโนโลยีกระบวนการผลิตและแปรรูปให้แก่กลุ่มวิสาหกิจชุมชนผักปลอดภัยไทดอนบาก ตำบลบ้านโคก อำเภอสร้างคอม จังหวัดอุดรธานี เพื่อให้สามารถผลิตแยมจากกล้วยหอมทองเสริมสับปะรดได้ ซึ่งสามารถจำหน่ายเป็นผลิตภัณฑ์ของวิสาหกิจชุมชนในเชิงพาณิชย์ต่อไป

กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้วิจัยขอขอบคุณทุนอุดหนุนวิจัยจากโครงการยกระดับและสร้างขีดความสามารถในการแข่งขันสำหรับกลุ่มเกษตรกรผลิต

และแปรรูปด้านการเกษตรแบบครบวงจร ภายใต้การใช้นวัตกรรมและเทคโนโลยีที่เหมาะสมกับพื้นที่ (โครงการสำคัญ) ประจำปีงบประมาณ 2566 มหาวิทยาลัยราชภัฏอุดรธานี และขอขอบคุณการสนับสนุนเครื่องมือการผลิตและเครื่องมือวิทยาศาสตร์ของสาขาวิชาเทคโนโลยีอาหารและโภชนาการ คณะเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏอุดรธานี

References

- Aimi Azira, S., Wan Zunairah, W. I., Nor Afizah, M., Nor-Khaizura, M. A. R., Radhiah, S., Ismail Fitry, M. R., & Nur Hanani, Z. A. (2021). Prevention of browning reaction in banana jam during storage by physical and chemical treatments. *Food Research*, 5(5), 55-62.
- Apiratananusorn, S. (2011). Development of low calorie mangosteen jam supplemented with rind of mangosteen. *KKU Research Journal*, 16(7), 825-834. (in Thai)
- Association of Official Analytical Chemists (AOAC). (2004). *Official methods of analysis of AOAC international* (17th ed.). Gaithersburg, Maryland: The Association of Official Analytical Chemists.
- Association of Official Analytical Chemists (AOAC). (2000). *Official methods of analysis of AOAC international* (17th ed.). Gaithersburg, Maryland: The Association of Official Analytical Chemists.

- Awolu, O. O., Okedele, G. O., Elizabeth, O. M., & Oseyemi, G. F. (2018). Functional jam production from blends of banana, pineapple, and watermelon pulp. *International Journal of Food Science and Biotechnology*, 3(1) , 7-14. DOI:10.11648/j.ijfsb.20180301.12
- Awulachew, M. T. (2021). Fruit jam production. *International Journal of Food Science, Nutrition and Dietetics*. 10(4), 532-537. doi:10.19070/2326-3350-2100092
- Bureau of Nutrition, Department of Health. (2010). *Nutritional value in fruits*. Bangkok: Agricultural Cooperative Assembly Press, Ministry of Public Health. (in Thai)
- Cantwell, M. (2022). *Banana ripeness chart*. Accessed February 5, 2023. Retrieved from http://ucanr.edu/sites/Postharvest_Technology_Center_/files/222603
- Chuenban, K., Jangchud, A., & Jangchud, K. (2012). Optimization of formulation for mixed tropical fruits jam sheet. *Proceedings of 50th Kasetsart university annual conference: Agro-Industry*. (pp. 284-292). Bangkok: Kasetsart University. (in Thai)
- Deepu, S. (2007). *Study of fruit jam production* (Report research). Phetchabun: Faculty of Science and Technology, Phetchabun Rajabhat University. (in Thai)
- Huangrak, K. (1993). *Vegetables and fruits* (Teaching publications). Bangkok: Faculty of Agroindustry King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang. (in Thai)
- Igual, M., Contreras, C., & Martinez-Navarrete, N. (2014). Color and rheological properties of non-conventional grapefruit jam: instrumental and sensory measurement. *LWT-Food Science and Technology*, 56(1), 200-206. doi: 10.1016/j.lwt.2013.10.038
- Leenanurak, S. (1999). *Fruit and vegetable processing*. Chiang Mai: Food Science and Technology major, Faculty of Engineering and Agricultural Industry, Maejo University. (in Thai)
- Muresan, C., Pop, A., Muste, S., Scrob, S., & Rat, A. (2014). Study concerning the quality of jam products based on banana and ginger. *Journal of Agroalimentary Processes and Technologies*, 20(4), 408-411.
- Murray, M. T. (1996). *The Encyclopedia of nutritional supplements*. New York, United State: Prima Publishing.
- Nukulthornprakit, O. (2004). *Free radicals and antioxidants and brown gut symptoms in pineapples* (Master's thesis). Bangkok: Kasetsart University. (in Thai)
- Patel, N. V., Naik, A. G., & Senapati, A. (2015). Quality evaluation and storage study of banana-pineapple blended jam. *International Journal of Food Quality and Safety*, 1, 45-51.
- Phunpaisan, U., & Chomkitichai, W. (2021). Logo and packaging design for enhancement of Huai Mun pineapple fruits by using the data of correlation between peel color and taste. *Academic Journal Uttaradit Rajabhat University Science and Technology (for Local Development)*, 16(2), 57-76. (in Thai)
- Pongjanta, J., Nualbunruang A., Panchai, L., & Buaphan, T. (2011). Organic acids and sugar changes in pineapple juice (*Ananas comosus* cv. Smooth Cayenne) from different location planted and ripen degree. *Proceedings of the 49th Kasetsart university annual conference: agro-industry* (pp. 267-274). Bangkok: Kasetsart University. (in Thai)
- Raikos, V., Campbell, L., & Euston, S. R. (2007). Rheology and texture of hen's egg protein heat-set gels as affected by pH and the addition of sugar and/or salt. *Food Hydrocolloids*, 21(2), 237-244. doi: 10.1016/j.foodhyd.2006.03.015
- Rattanapanon, N. (2002). *Food Chemistry*. Bangkok: Odean Store Publishing. (in Thai) Thai Industrial Standards Institute. (2018). *Community product standards, Jam, TCPs, 342/2018*. Accessed April 15, 2023. Retrieved from [https://tcps.tisi.go.th/pub/tcps0342_61\(jam\).pdf](https://tcps.tisi.go.th/pub/tcps0342_61(jam).pdf) (in Thai)
- Thaiphanit, S., & Anprung, P. (2014). Inhibition of browning reaction in pasteurized fragrant banana purée. *Journal of Food Technology, Siam University*, 9(1), 39-51. (in Thai)
- Thongtham, J. (1983). *Pineapple and the pineapple industry*

- in Thailand. N.P. (in Thai)
- Tiyapreechaya, P. (2010). *Development of banana and papaya jam products by reducing sugar*. (Research report). Chiang Mai: Faculty of Science Payap University. (in Thai)
- Wan-Mohtar W. A. A. Q. I., Lim, S., Balamurugan, J. P., Saad, M. Z. M., Azizan, N. A. Z., Jamaludin, A. A., & Ilham, Z. (2021). Effect of sugar-pectin-citric acid pre-commercialization formulation on the physicochemical, sensory, and shelf-life properties of Musa cavendish banana jam. *Sains Malaysiana*, 50(5), 1329-1342. doi:10.17576/jsm-2021-5005-13
- Weerawut, J. (1998). *Pineapple and its growth physiology*. Bangkok: Kasetsart University Press. (in Thai)

Research article

Product development of Hom Thong banana (Musa AAA) jam supplemented with Sriracha pineapple

Sarisa Thaweasang Saranya Waokha Tanawan Pengchai Sayamon Pariyajan Ekachai Jarunetwirat Kasama Chareekhot and Ploenpit Jangphonak*

Department of Food Technology and Nutrition, Faculty of Technology, Udon Thani Rajabhat University, Udon Thani Province, 41000

ARTICLE INFO**Article history**

Received: 18 September 2023

Revised: 20 October 2023

Accepted: 22 November 2023

Online published: 18 March 2024

Keyword

Jam

Hom thong banana

Pineapple

Production

ABSTRACT

The objective of this research was to develop Hom Thong banana jam supplemented with Sriracha pineapple. Various proportions of pineapple supplementation (0 %, 26.50 %, 42 %, and 59.25 % by weight of banana) were studied alongside the control formula without pineapple. For sensory evaluation, it was found that the most suitable addition for banana jam production was 26.50 % pineapple, which was most accepted by consumers. The overall acceptance of 26.50 % pineapple was 7.97, or moderately liked (on a 9-point hedonic scale, where 9 = like extremely and 1 = dislike extremely), and it had lightness (L*) and yellowness (b*) values close to the control formula. When 26.50 % pineapple was added, the gel hardness was lower than that of the control formula, while the adhesiveness value was higher. The citric acid content was 1.13 %. Supplementation with 26.50 % pineapple resulted in an increased moisture content of 37.31 %. The fiber and ash content of the supplemented 26.50 % pineapple were not different from the control formula. Hom Thong banana jam with 26.50 % pineapple could be stored at room temperature (28-30°C) for more than 28 days. These findings facilitated the successful transfer of processing and production technology to the Thai Don Bak Vegetables Safety Community Enterprise in Ban Khok Subdistrict, Sang Khom district, Udon Thani Province. This has enabled the production of banana jam supplemented with pineapple as a new offering from community enterprises.

*Corresponding author

E-mail address: ploenpitjangphonak@gmail.com (P. Jangphonak)

Online print: 18 March 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.2024.4>



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

บทความวิจัย

อิทธิพลของปุ๋ยฮอร์โมนปั้นเม็ดสูตรผสม (HO) เพื่อเพิ่มผลผลิตและสารสำคัญของกะเพรา (*Ocimum tenuiflorum* L.)

รณรงค์ คนชม ภูมิศักดิ์ อินทนนท์* และ ขวลิต รักษาภิรมณ์

ภาควิชาวิทยาศาสตร์การเกษตร คณะเกษตรศาสตร์ทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยนเรศวร 65000

ข้อมูลบทความ

Article history

รับ: 14 พฤศจิกายน 2566

แก้ไข: 8 ธันวาคม 2566

ตอบรับการตีพิมพ์: 25 ธันวาคม 2566

ตีพิมพ์ออนไลน์: 20 มีนาคม 2567

คำสำคัญ

ปุ๋ยฮอร์โมนปั้นเม็ดสูตรผสม (HO)

กะเพรา

ยูจินอล

เมทิลยูจินอล

บทคัดย่อ

การวิจัยมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาอิทธิพลของปุ๋ยฮอร์โมนปั้นเม็ดสูตรผสม (HO) มีผลต่อคุณสมบัติของดิน การเจริญเติบโต ผลผลิต องค์ประกอบผลผลิต และสารสำคัญของกะเพรา (*Ocimum tenuiflorum* L.) วางแผนการทดลองแบบ RCBD ประกอบด้วย 6 กรรมวิธี จำนวน 4 บล็อก ใส่ปุ๋ยตามกรรมวิธีดังนี้ T1) ไม่ใส่ปุ๋ย (control) T2) ปุ๋ยเคมี 15-15-15 T3) ปุ๋ยอินทรีย์ T4) ปุ๋ยฮอร์โมนปั้นเม็ดสูตรผสม-1 (HO-1) T5) ปุ๋ยฮอร์โมนปั้นเม็ดสูตรผสม-2 (HO-2) และ T6) ปุ๋ยฮอร์โมนปั้นเม็ดสูตรผสม-3 (HO-3) อัตรา 50 กิโลกรัมต่อไร่ โดยนำต้นกล้ากะเพราปลูกในแปลง และใส่ปุ๋ยตามกรรมวิธี พบว่าดินหลังการทดลองในกลุ่มปุ๋ยฮอร์โมนปั้นเม็ดสูตรผสมหรือกลุ่มปุ๋ย HO (T4 T5 และ T6) ช่วยเพิ่มอินทรีย์วัตถุ และปรับสภาพความเป็นกรด-ด่าง (pH) เพิ่มความพรุน เพิ่มความสามารถในการอุ้มน้ำ และกลุ่มปุ๋ย HO มีธาตุอาหารรองและธาตุอาหารเสริมเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ อิทธิพลของปุ๋ยต่อการเจริญเติบโต ผลผลิตและองค์ประกอบของกะเพรา พบว่ากลุ่มปุ๋ยฮอร์โมนปั้นเม็ดสูตรผสม HO ทำให้กะเพรามีขนาดลำต้นใหญ่ขึ้นแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับกรรมวิธีอื่น ๆ และมีขนาดทรงพุ่มไม่แตกต่างกับปุ๋ยเคมี ด้านผลผลิตกลุ่มปุ๋ยฮอร์โมนปั้นเม็ดสูตรผสม HO ส่วนใหญ่ทำให้ผลผลิตเพิ่มขึ้น ใน T5 (HO-2) 1,736.30 กิโลกรัมต่อไร่ และ T2 (ปุ๋ยเคมี15-15-15) 1,735.80 กิโลกรัมต่อไร่ ให้ผลผลิตสูงสุดแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญกับกรรมวิธีอื่น ๆ ปริมาณสารสำคัญยูจินอล และเมทิลยูจินอล ใน T5 (HO-2) แสดงผลสูงสุดเหนือกรรมวิธีอื่น ๆ จึงสรุปได้ว่าปุ๋ย HO โดยเฉพาะ T5 (HO-2) สามารถปรับปรุงโครงสร้างดิน และช่วยเพิ่มธาตุอาหารให้แก่อินทรีย์วัตถุอื่น ๆ กับการใส่ปุ๋ย

บทนำ

กะเพรา เป็นพืชเครื่องเทศที่มีความสำคัญทางเศรษฐกิจ สังคม และวัฒนธรรม มาอย่างช้านาน จัดเป็นราชินีแห่งสมุนไพร ในปี 2559 พบว่ามีพื้นที่ปลูกเพื่อการค้า 42 จังหวัด พื้นที่รวม 7,100 ไร่ มีผลผลิต 12,816 ตัน คิดเป็นมูลค่า 186 ล้านบาทต่อปี (Wongpraneekul & Chaipet, 2019) ผลผลิตยังมีการปนเปื้อนสารเคมีทางการเกษตร และมีการใช้ปุ๋ยเกินความต้องการของพืชทำให้ต้นทุนการผลิตสูง ซึ่งอย่างไรก็ตามเป้าหมายของทางรัฐบาลต้องการให้กะเพราเป็นพืชผักสวนครัวและพืชสมุนไพรที่มีคุณภาพ มีความปลอดภัยสูง ซึ่งสอดคล้องกับแผนแม่บทยุทธศาสตร์ชาติ (พ.ศ.2561-2580) (Office of the Nation Economic and Social Development Board, 2018) ว่าด้วยการส่งเสริมสนับสนุนการผลิตสินค้าเกษตรที่มีความปลอดภัย โดยมีการวางแผนการพัฒนาสมุนไพรตลอดห่วงโซ่คุณค่า สมุนไพรควรมีคุณภาพ ตั้งแต่การผลิตในระดับฟาร์มเพื่อให้ได้ผลผลิตที่มีคุณภาพปลอดภัย การใช้ปุ๋ยเป็นปัจจัยหนึ่งที่มีผลต่อคุณภาพผลผลิต ดังนั้นซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาวิจัยครั้งนี้ที่มีเป้าหมายที่จะศึกษาอิทธิพลของปุ๋ยฮอร์โมนปั้นเม็ดสูตรผสมหรือปุ๋ย HO เป็นปุ๋ยที่มีคุณสมบัติแบบองค์รวมที่มีธาตุอาหารที่จำเป็นครบ อีกทั้งมีสารปรับปรุงดิน สารสร้างภูมิ

ต้านทานจากสมุนไพร และฮอร์โมนพืชหลายชนิดภายในเม็ดเดียวกัน โดยพบว่าปุ๋ย HO สามารถทำให้พืชมีการเจริญเติบโตและได้ผลผลิตสูงกว่าปุ๋ยเคมี และยังช่วยลดต้นทุนการผลิต (Jubkaew & Intanon, 2012; Raksarikorn et al., 2012; Intanon, 2013a; Intanon, 2013b) แต่ยังไม่มีการทดสอบปุ๋ยฮอร์โมนปั้นเม็ดสูตรผสมชนิดนี้ในกะเพรา ดังนั้นการศึกษานี้จึงมีเป้าหมายสำคัญเพื่อเป็นแนวทางในการจัดการปุ๋ยที่เหมาะสมต่อการเพิ่มผลผลิต และปริมาณสารสำคัญของกะเพรา เป็นแนวทางการจัดการปุ๋ยอย่างมีประสิทธิภาพและลดความสูญเสียทางด้านเศรษฐกิจให้กับกลุ่มเกษตรกรต่อไป

อุปกรณ์และวิธีการวิจัย

วิธีการผลิตปุ๋ยฮอร์โมนปั้นเม็ดสูตรผสม หรือปุ๋ย HO

ปุ๋ยฮอร์โมนปั้นเม็ดสูตรผสม ดัดแปลงมาจาก Intanon (2009) และ Intharaphu (2013) เป็นนวัตกรรมให้ต้นปุ๋ยที่มีธาตุอาหารที่จำเป็นทั้ง 16 ชนิด ผสมกับจุลินทรีย์ที่เป็นประโยชน์ (EM) ฮอร์โมนพืช สารสกัดสมุนไพร สารปรับสภาพดิน สารเสริมภูมิคุ้มกันโรคพืช แล้วนำมาปั้นเป็นเม็ดและควบคุมการปลดปล่อยธาตุอาหาร จึงเป็นปุ๋ยละลายช้า ผลิตเป็นสูตรเฉพาะพืชมีวิธีการผลิตดังนี้

*Corresponding author

E-mail address: pumisak_2182566@hotmail.com (P. Intanon)

Online print: 20 March 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.2024.5>

1. นำน้ำสกัดสมุนไพร ฮอร์โมนน้ำ และปุ๋ยน้ำชีวภาพมาผสมกันในสัดส่วนโดยปริมาตร ตาม Table 1 ในสัดส่วน 3:2:1 เรียกว่า “น้ำประสาน”

2. ชั่งปุ๋ยเคมีตามสัดส่วนโดยน้ำหนัก (Table 1) แล้วนำปุ๋ยเคมีมาขึ้นจานปั่นพ่นเคลือบด้วยน้ำชีวภาพและฮอร์โมนอินทรีย์น้ำที่เตรียมไว้เสร็จแล้วจึงนำไปฝังลมให้แห้ง เรียกว่า “เม็ดปุ๋ยฮอร์โมนตั้งต้น”

3. นำเม็ดปุ๋ยฮอร์โมนตั้งต้น มาพรมด้วยฮอร์โมนอินทรีย์น้ำอีกครั้งแล้วปั่นขึ้นเม็ดโดยการเสริมธาตุอาหารรอง ธาตุอาหารเสริมบางชนิดบนจานปั่นเสร็จแล้วนำไปฝังลมให้แห้ง

4. นำเม็ดปุ๋ยฮอร์โมนตั้งต้น ในข้อ 2 มาพรมด้วยฮอร์โมนอินทรีย์น้ำอีกครั้งแล้วปั่นเม็ดโดยเพิ่มวัสดุพริกสารปรับปรุงดินแล้วนำไปฝังให้แห้ง

5. นำเม็ดปุ๋ยฮอร์โมนในข้อ 3 มาเคลือบด้วยสารควบคุมการปลดปล่อยธาตุอาหารบนจานปั่นแล้วปล่อยให้เม็ดปุ๋ยกลิ้งไประยะหนึ่งเพื่อให้เม็ดแน่นและคงรูปแล้วนำไปฝังลมให้แห้ง 24 ชั่วโมง เหลือความชื้นประมาณ 17 % เรียกว่า ปุ๋ยฮอร์โมนปั้นเม็ดสูตรผสม

6. นำปุ๋ยฮอร์โมนปั้นเม็ดสูตรผสมที่แห้งแล้วเข้าเครื่องคัดแยกขนาดแล้วบรรจุถุงเพื่อการใช้งานต่อไป

Table1 Materials and the components of chemical and granular organic fertilizer with hormone mixed formula (HO)

Formula	Components of HO fertilizer (by weight kg)						Total (kg)
	A	B	C	D	E	F	
HO-1	30	20	30	5	5	10	100
HO-2	35	15	25	5	10	10	100
HO-3	40	10	20	5	10	15	100

Remark A = chemical fertilizer (25-7-7), B = effective microorganism (EM), C = soil conditioners, D = Herbal extracted liquid, E = organic plant growth regulator, F = liquid organic fertilizer.

ดำเนินการทดลองที่ศูนย์วิจัยและพัฒนาการเกษตรแพร่ วางแผนการทดลองแบบ RCBD จำนวน 4 บล็อก ๆ ละ 6 กรรมวิธี คือ T1) ไม่ใส่ปุ๋ย (control) T2) ใส่ปุ๋ยเคมี 15-15-15 T3) ปุ๋ยอินทรีย์ T4) ปุ๋ยฮอร์โมนปั้นเม็ดสูตรผสม-1 (HO-1), T5) ปุ๋ยฮอร์โมนปั้นเม็ดสูตรผสม-2 (HO-2) และ T6) ปุ๋ยฮอร์โมนปั้นเม็ดสูตรผสม-3 (HO-3) โดยเพาะกล้ากะเพราในถาดหลุม (17 กันยายน 2563) ซึ่งมีส่วนผสมของดินร่วน: ถ่านกลบ : ขุยมะพร้าว สัดส่วนโดยปริมาตร 1: 1: 1 หลังจากต้นกล้าอายุ 30 วัน (8 ตุลาคม 2563) ย้ายต้นกล้าลงแปลงปลูกขนาด 2 x 4 เมตร หรือ 8 ตารางเมตรจำนวน 24 แปลง ระยะปลูก 40 x 50 เซนติเมตร พื้นที่เก็บเกี่ยว 2.40 ตารางเมตร ใส่ปุ๋ยครั้งที่ 1 (28 ตุลาคม 2563) ตามกรรมวิธีในอัตรา 50 กิโลกรัมต่อไร่ โดยใส่ 70 % เก็บเกี่ยวผลผลิตครั้งที่ 1 เมื่อกะเพราอายุได้ 85 วันหลังย้ายปลูก (26 มกราคม 2564) หลังจากเก็บเกี่ยวผลผลิตเสร็จ ทำการตัดแต่งกิ่งกะเพรา และใส่ปุ๋ยครั้งที่ 2 ทันทีโดยใส่ 30 % ที่เหลือหลังจากนั้นเก็บเกี่ยวผลผลิตครั้งที่ 2 เมื่อกะเพราอายุได้ 120 วัน หลังย้ายปลูก (4 มีนาคม 2564) การบันทึกข้อมูลการทดลอง 1) บันทึกข้อมูลสภาพอากาศ จากศูนย์วิจัยข้าวแพร่ 2) วิเคราะห์ดินก่อนและหลังการทดลอง ได้แก่ ปริมาณน้ำในดิน (WC) (%), ความหนาแน่นของดิน (BD) (g/cm³), ความพรุนของดิน (E) (%) pH อินทรีย์วัตถุในดิน (OM) (%) ธาตุอาหารหลัก-รอง-เสริม เป็นต้น 3) วิเคราะห์ปุ๋ย HO และปุ๋ยเคมี 4) บันทึกข้อมูลการเจริญเติบโต ผลผลิต องค์ประกอบผลผลิต และปริมาณสารสำคัญ 5) วิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติโดยวิธี Analysis of variance (ANOVA) เปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยโดยวิธี Duncan's new multiple range test (DMRT) ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 %

ผลและวิจารณ์ผลการวิจัย

สภาพอากาศระหว่างเดือน กันยายน 2563 - กันยายน 2564 ในช่วงทำการทดลองมีอุณหภูมิสูงสุดเฉลี่ย 22.46 องศาเซลเซียส และอุณหภูมิต่ำสุดเฉลี่ย 33.06 องศาเซลเซียส ปริมาณน้ำฝนเฉลี่ย 9.98 มิลลิเมตร ความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ย 52.02 % ซึ่งเป็นสภาพที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของกะเพรา โดยในบางช่วงเวลาเพิ่มระบบน้ำเพื่อชดเชยสภาพการขาดน้ำ (ข้อมูลจากสถานีตรวจอากาศ ศูนย์วิจัยข้าวแพร่)

การวิเคราะห์ข้อมูลดินก่อนการทดลอง พบว่าเป็นดินชุดแมร์ม (Loamy-skeletal mixed isohyperthermic Typic (Kandic) Paleustults) ดินชั้นบนมีหน้าดินชั้น มีความอุดมสมบูรณ์ปานกลางซึ่งธาตุอาหารหลัก ได้แก่ N P K อยู่ในปริมาณที่ต่ำ ดินมีความเป็นกรดเล็กน้อย มีอินทรีย์วัตถุต่ำ ความจุแลกเปลี่ยนแคตไอออนต่ำ ภายหลังการทดลองการใส่ปุ๋ย T5 (HO-2) ทำให้ปริมาณธาตุอาหารหลัก (N P K) ธาตุอาหารรอง (Ca Mg S) และจุลธาตุเพิ่มขึ้นสูงสุดและลดลงเมื่อใช้ปุ๋ยกรรมวิธีอื่น ๆ ค่า pH หลังการทดลองได้รับการปรับปรุงให้ดีขึ้นจาก 6.10 เป็น pH 6.80 ปริมาณ OM พบว่าสูงขึ้นจาก 1.07 % เป็น 1.11-1.13 % ตามลำดับ และค่าการนำไฟฟ้าของดิน (EC) ก่อนการทดลอง 0.11 ms/cm หลังการทดลองเพิ่มขึ้นใน T5 (HO-2) และ T6 (HO-3) เป็น 0.45-0.48 ms/cm พบว่าความหนาแน่นดินลดลง ทำให้ WC เพิ่มขึ้นใน T5 (HO-2) และ T6 (HO-3) จากดินก่อนการทดลอง 36.18 % เป็น 62.38 % และ 62.03 % ตามลำดับ (Table 2)

Table 2 Soil properties as affected by different soil amendments at the beginning and holy basil harvested

Treatment			Initial soil properties	Soil properties at the harvest					
				T1	T2	T3	T4	T5	T6
Primary nutrients	N	(%)	0.05	0.04 ^d	0.06 ^{bc}	0.05 ^{cd}	0.07 ^a	0.07 ^a	0.07 ^a
	P	(%)	64.00	59.00 ^e	71.00 ^c	66.00 ^d	73.00 ^c	80.00 ^a	76.00 ^b
	K	(%)	151.00	132.00 ^f	145.00 ^d	141.0 ^e	155.00 ^c	194.00 ^a	164.00 ^b
Secondary nutrients	Ca	(mg/kg)	650.00	523.00 ^d	723.00 ^c	864.00 ^b	865.00 ^{ab}	870.00 ^a	863.00 ^b
	Mg	(mg/kg)	121.00	112.00 ^f	126.00 ^e	139.00 ^d	142.00 ^c	150.00 ^a	147.00 ^b
	S	(mg/kg)	10.15	4.03 ^d	4.05 ^d	4.83 ^d	5.44 ^c	7.46 ^a	6.33 ^b
Micro nutrients	Fe	(mg/kg)	72.59	51.37 ^e	70.93 ^d	78.57 ^c	80.96 ^{bc}	85.53 ^a	84.44 ^{ab}
	Mn	(mg/kg)	33.33	15.05 ^e	20.61 ^d	28.74 ^c	35.62 ^a	35.44 ^a	33.54 ^b
	Zn	(mg/kg)	1.55	1.10 ^c	1.12 ^c	1.97 ^b	2.38 ^a	2.59 ^a	2.43 ^a
	Cu	(mg/kg)	1.15	0.97 ^f	1.09 ^e	1.26 ^d	1.37 ^c	1.85 ^a	1.72 ^b
	B	(mg/kg)	0.14	0.07 ^d	0.12 ^c	0.53 ^b	0.61 ^a	0.64 ^a	0.59 ^a
Organic matter (%)			1.07	0.96 ^{bc}	0.94 ^c	1.05 ^{abc}	1.06 ^{ab}	1.13 ^a	1.11 ^a
pH (soil:water = 1:2)			6.1	6.3 ^b	5.6 ^c	6.6 ^a	6.7 ^a	6.8 ^a	6.8 ^a
EC (ms/cm)			0.11	0.08 ^e	0.07 ^e	0.12 ^d	0.35 ^c	0.48 ^a	0.45 ^b
Water content (%)			11.84	15.23	15.12	14.90	15.94	16.33	16.09
Bulk density (g/cm ³)			2.05	1.65 ^b	1.68 ^a	1.69 ^a	1.69 ^a	1.67 ^{ab}	1.69 ^a
Porosity (%)			36.18	60.41 ^{ab}	59.60 ^b	60.91 ^{ab}	60.91 ^{ab}	62.38 ^a	62.03 ^a

* T1) no fertilizer (control) T2) chemical fertilizer 15-15-15 T3) organic fertilizer T4) Hormone pelletizing fertilizer, mixed formula-1 (HO-1) T5) Hormone pelletizing fertilizer, mixed formula-2 (HO-2) and T6) Hormone pelletizing fertilizer, mixed formula-3 (HO-3).

คุณสมบัติของปุ๋ยพบว่า ธาตุอาหารหลักสูงสุด ได้แก่ T2 (ปุ๋ยเคมี 15-15-15) รองลงมาได้แก่ T6 (HO-3) (13.50-0.20-0.40 %), T5 (HO-2) (7.90-0.20-0.30 %) และ T4 (HO-1) (7.40-0.20-0.30 %) ตามลำดับ ปริมาณธาตุอาหารรองและธาตุอาหารเสริมพบว่า T6 (HO-3) มีค่าสูงสุดในทุกรายการ (Table 3) ส่วนผลการเจริญเติบโตของกะเพรา พบว่า ความสูงต้น และจำนวนกิ่ง จากการใส่ปุ๋ยทุกกรรมวิธีไม่แตกต่างกันทางสถิติ ส่วนขนาดลำต้น และขนาดทรงพุ่มของการใส่ปุ๋ย T2 (ปุ๋ยเคมี 15-15-15) มากที่สุด โดยมีขนาดลำต้น 8.31 มิลลิเมตร แต่ไม่แตกต่างทางสถิติกับการใส่ปุ๋ย T4 (HO-1) T5 (HO-2) T6 (HO-3) และการใส่ปุ๋ยดังกล่าวส่งผลให้ขนาดทรงพุ่มมีค่าลักษณะเดียวกันกับขนาดลำต้น (Table 4)

การวิเคราะห์ผลผลิตและองค์ประกอบผลผลิต พบว่าน้ำหนักลำต้นสด น้ำหนักลำต้นแห้ง และน้ำหนักรากสดต่อต้น จากการใส่ปุ๋ยทุกกรรมวิธีไม่แตกต่างกันทางสถิติ น้ำหนักใบสด และน้ำหนักใบแห้งของการใส่ปุ๋ย T2 (ปุ๋ยเคมี 15-15-15) มากที่สุด โดยมีน้ำหนักใบสด 124.92 กรัมต่อต้น และน้ำหนักใบแห้ง 21.61 กรัมต่อต้น ไม่มีความแตกต่างทางสถิติกับ T5 (HO-2) ส่วนน้ำหนักรากแห้งของการใส่ปุ๋ย T5 (HO-2) มีค่ามากที่สุดโดยมีน้ำหนัก 17.18 กรัมต่อต้น แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับ T1 (control) ที่มีน้ำหนัก 10.09 กรัมต่อต้น น้ำหนักใบสด และน้ำหนักใบแห้งต่อพื้นที่เก็บเกี่ยว พบว่ากรรมวิธีที่แสดงค่าสูงสุด ได้แก่ T2 (ปุ๋ยเคมี 15-15-15) มีน้ำหนัก 710.80 กรัมต่อพื้นที่เก็บเกี่ยว และ T5 (HO-2) มีน้ำหนัก 664.55 กรัมต่อพื้นที่เก็บเกี่ยว ไม่แตกต่างทางสถิติ ส่วนน้ำหนักผลผลิตต่อไร่ ครั้งที่ 1 พบว่า

กรรมวิธีที่แสดงค่าสูงสุด ได้แก่ T2 (ปุ๋ยเคมี 15-15-15) มีน้ำหนัก 854.43 กิโลกรัมต่อไร่ และ T5 (HO-2) มีน้ำหนัก 738.38 กิโลกรัมต่อไร่ ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ (Table 5) ส่วนในการเก็บเกี่ยวครั้งที่ 2 พบว่ากรรมวิธีที่แสดงค่าสูงสุด ได้แก่การใส่ปุ๋ย T4 (HO-1) T5 (HO-2) T6 (HO-3) และ T2 (ปุ๋ยเคมี 15-15-15) โดยมีน้ำหนัก 1,061.00 997.90 886.50 และ 881.40 กิโลกรัมต่อไร่ ตามลำดับ ซึ่งไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ และน้ำหนักผลผลิตรวมพบว่าแสดงค่าสูงสุด ได้แก่การใส่ปุ๋ย T5 (HO-2) T2 (ปุ๋ยเคมี 15-15-15) T4 (HO-1) และ T6 (HO-3) มีน้ำหนักรวม 1,736.30 1,735.80 1,642.90 และ 1,594.40 กิโลกรัมต่อไร่ ตามลำดับ ซึ่งไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ (Table 6)

ผลการวิเคราะห์ปริมาณสารสำคัญในใบกะเพราพบว่าสารยูจินอลมีปริมาณสูงสุดได้แก่ T5 (HO-2) T2 (ปุ๋ยเคมี 15-15-15) T6 (HO-3) T4 (HO-1) T3 (ปุ๋ยอินทรีย์) และ T1 (control) ตามลำดับ ซึ่งมีค่าเท่ากับ 28.14 17.27 16.35 14.03 6.60 และ 0.36 ไมโครกรัมต่อมิลลิกรัม ตามลำดับ โดยพบว่าปริมาณสารยูจินอล ใน T5 (HO-2) แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับกรรมวิธีอื่น ๆ ส่วนสารเมทิลยูจินอล พบว่ามีปริมาณสูงสุดได้แก่ T5 (HO-2) T2 (ปุ๋ยเคมี 15-15-15) T6 (HO-3) T4 (HO-1) T3 (ปุ๋ยอินทรีย์) และ T1 (control) ตามลำดับ ซึ่งมีค่าเท่ากับ 3,293.14 1,440.03 1,368.77 1,277.71 1,139.18 และ 1,039.04 ไมโครกรัมต่อมิลลิกรัม ตามลำดับ โดยพบว่าปริมาณสารเมทิลยูจินอล ใน T5 (HO-2) แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับกรรมวิธีอื่น ๆ (Table 7)

Table 3 Characteristics of fertilizers used in the current study

Fertilizer/Treatment		HO-1	HO-2	HO-3
Primary nutrients	Total N (%)	7.4	7.9	13.5
	Total P (%)	0.2	0.2	0.2
	Total K (%)	0.3	0.3	0.4
Secondary nutrients	Ca (%)	8.0	8.5	10.3
	Mg (%)	2.1	2.4	2.9
	S (%)	8.7	10.1	10.4
Micronutrients	Fe (mg/kg)	2.14	2.35	2.48
	Mn (mg/kg)	197.00	211.00	211.00
	Zn (mg/kg)	91.00	157.00	171.00
	Cu (mg/kg)	19.00	21.00	25.00
	Cl (mg/kg)	1.95	2.11	2.54
OM (%)		0.87	1.13	1.27
pH (1:1)		6.82	6.74	6.65
EC (1:10 ds/cm)		30.25	32.12	36.17
C/N ratio		0.22	0.21	0.21

Table 4 Vegetative growth of holy basil as affected by different fertilizer during 2020-2021

Treatment	Height (cm)	Stem diameter (mm)	No. of branch (cm)	Canopies diameter (cm)
T1	55.12	6.95 ^b	12.68	23.99 ^b
T2	57.14	8.31 ^a	13.13	26.31 ^a
T3	55.21	7.25 ^b	13.20	24.57 ^{ab}
T4	55.23	7.36 ^{ab}	13.20	25.50 ^{ab}
T5	56.21	7.70 ^{ab}	13.69	25.88 ^{ab}
T6	56.12	7.61 ^{ab}	13.58	25.36 ^{ab}
F-test	6.12 ^{ns}	0.97*	2.14 ^{ns}	2.23*
CV (%)	7.27	8.81	10.74	5.86

*Significant at 95% confident interval in each column of the same period, the different in small indicated significant at 95 % (p<0.05) by DMRT.

Table 5 Yields and yields component of holy basil as affected by different fertilizer during 2020-2021

Treatment	Weight/tree						Weigh/1.2 m ²	
	Fresh weight			Dry weight			leaves	
	Stem	Leaves	Root	Stem	Leaves	Root	Fresh	Dry
	(g/plant)						(g/1.2 m ²)	
T1	77.30	74.30 ^c	21.00	14.10	15.50 ^b	10.10 ^b	471.60 ^c	83.40 ^c
T2	108.40	124.90 ^a	34.20	18.90	21.60 ^a	11.80 ^{ab}	710.80 ^a	121.80 ^a
T3	86.30	81.40 ^{bc}	24.70	17.70	15.60 ^{ab}	11.00 ^{ab}	491.90 ^{bc}	89.60 ^{bc}
T4	91.70	107.30 ^{ab}	21.60	16.70	20.30 ^{ab}	14.20 ^{ab}	617.10 ^{ab}	110.00 ^{abc}
T5	98.60	117.30 ^a	31.20	18.50	20.60 ^{ab}	17.20 ^a	664.50 ^a	114.50 ^{ab}
T6	105.20	102.50 ^{abc}	28.80	19.60	18.70 ^{ab}	14.20 ^{ab}	637.00 ^a	108.00 ^{abc}
F-test	32.50 ^{ns}	30.00*	14.90 ^{ns}	6.40 ^{ns}	6.10*	6.40*	132.30*	27.20*
CV (%)	22.80	19.70	36.70	24.10	21.50	32.50	14.70	17.70

*Significant at 95 % confident interval in each column of the same period, the different in small indicated significant at 95 % (p<0.05) by DMRT.

Table 6 Effect of chemical and granular organic fertilizer with hormone mixed formula (HO), chemical and organic fertilizer on yields and total yields of holy basil plant during the growing seasons, first and second harvest (2020-2021)

Treatment	Yield/rai (1 st harvest) (kg)	Yield/rai (2 nd harvest) (kg)	Total yield/rai (kg)
T1	523.98 ^c	396.30 ^c	920.00 ^b
T2	854.43 ^a	881.40 ^a	1,736.00 ^a
T3	546.88 ^{bc}	587.10 ^b	1,134.00 ^b
T4	581.85 ^{bc}	1,061.00 ^a	1,643.00 ^a
T5	738.38 ^{ab}	997.90 ^a	1,736.00 ^a
T6	707.85 ^{abc}	886.50 ^a	1,594.00 ^a
F-test	200.99*	186.14*	320.71*
CV (%)	20.24	15.41	14.57

Table 7 Eugenol and methyl eugenol of holy basil as affected by different fertilizer during 2020-2021

Treatment	Eugenol (µg/ml)	Methyl eugenol (µg/ml)
T1	0.36 ^f	1,039.04 ^f
T2	17.27 ^b	1,440.03 ^b
T3	6.60 ^e	1,139.18 ^e
T4	14.03 ^d	1,277.71 ^d
T5	28.14 ^a	3,293.14 ^a
T6	16.35 ^c	1,368.77 ^c
F-test	0.44*	2.32*
CV (%)	0.21	0.10

*Significant at 95 % confident interval in each column of the same period, the different in small indicated significant at 95 % (p<0.05) by DMRT.

จากผลการวิเคราะห์ข้อมูลดินก่อนทดลองพบว่าดินเป็นดินชุดแมร์ริม ดินชั้นบนหน้าดินมีความเป็นกรดเล็กน้อย มีอินทรีย์วัตถุต่ำ ซึ่งแสดงว่าดินมีระดับความอุดมสมบูรณ์ปานกลาง มีธาตุไนโตรเจนปริมาณที่ต่ำ เมื่อเทียบกับดินก่อนการทดลอง แต่ภายหลังการทดลองดินมีความสมบูรณ์เพิ่มขึ้น พบว่าในกลุ่มปุ๋ยฮอร์โมนปั้นเม็ดสูตรผสมมีปริมาณธาตุอาหารรอง และธาตุอาหารเสริม อยู่ในระดับเหมาะสมและครบถ้วนกว่าปุ๋ยเคมี อีกทั้งยังมีปริมาณอินทรีย์วัตถุในดินเพิ่มขึ้นในกลุ่มของปุ๋ย HO-2 HO-3 และ HO-1 คุณสมบัติทางด้านเคมี เช่น ค่า pH และ ค่า EC อยู่ในระดับที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของกะเพรา การเปลี่ยนแปลง pH พบว่าในปุ๋ย HO (Intanon, 2013b) มีสารปรับปรุงดิน พวก Ca เป็นองค์ประกอบ จึงแสดงปฏิกิริยาออกมาปรับ pH ของดินให้เหมาะสม ส่วนระดับ OM ในดินพบว่ามีความเพิ่มขึ้นเป็นผลมาจากการใส่ปุ๋ย HO ที่มีอินทรีย์วัตถุเป็นองค์ประกอบด้วยเช่นกัน ทำให้มีระดับ OM ที่สูงขึ้นจึงทำให้ค่า EC แสดงผลทำนองเดียวกัน ส่วนสมบัติทางกายภาพได้รับการปรับปรุงให้ดีขึ้น เช่น ความหนาแน่นของดินลดลงอยู่ระหว่าง 1.67-1.69 g/cm³ ความพรุนของดินเพิ่มขึ้นอยู่ระหว่าง 60.91-62.38 % สอดคล้องกับ Zhang et al. (2012) ที่ระบุว่าการใช้ปุ๋ยอินทรีย์ สามารถปรับปรุงสภาพโครงสร้างดินให้ดีขึ้นทำให้สมบัติทางกายภาพของดินดีขึ้น มีความเหมาะสมต่อการดูดธาตุอาหารของพืช ดังนั้นปุ๋ย HO สามารถปรับปรุงสมบัติทางกายภาพของดินได้อีกด้วย

อิทธิพลของปุ๋ยแต่ละชนิดที่มีต่อการเจริญเติบโตด้านความสูง ต้น จำนวนกิ่ง พบว่าทุกกรรมวิธีไม่แตกต่างกันทางสถิติ ส่วนขนาดลำต้น ขนาดทรงพุ่มพบว่า T2 (ปุ๋ยเคมี 15-15-15) และ T5 (HO-2) ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ โดยปุ๋ย HO มีระดับธาตุอาหารหลักและธาตุอาหารรอง ที่มีอยู่ในดินปริมาณมากเป็นประโยชน์ต่อพืช ไอออนในสารละลายดิน ซึ่งมีปริมาณน้อยและไอออนที่แลกเปลี่ยนได้ ซึ่งมีปริมาณมากกว่า ซึ่งทั้งสองส่วนนี้อยู่ในสภาพสมดุลกันอีกทั้งยังเป็นปุ๋ยละลายช้า ซึ่งเหมาะสำหรับกะเพรา จึงมีประสิทธิภาพสูง (Sharma et al., 2017) พบว่าธาตุไนโตรเจนเกี่ยวข้องกับการยืด ขยายของเซลล์ และการแบ่งเซลล์ของพืช ทำให้พืชเจริญเติบโตทางด้านความสูง ซึ่งสอดคล้องกับ Rao et al. (1998) ที่พบว่าธาตุไนโตรเจนมีส่วนสัมพันธ์โดยตรงกับการแบ่งเซลล์ การยืดขยายตัวของเซลล์ ซึ่งพบในปุ๋ยเคมี และปุ๋ยฮอร์โมนปั้นเม็ดสูตรผสม HO นอกจากธาตุอาหารหลักแล้วยังมีธาตุอาหารรอง-เสริม เช่น Fe Cu และ Zn ที่จำเป็นสำหรับการสังเคราะห์แสง ทำให้การเจริญเติบโตสูงเกือบทุกรายการใน T5 (HO-2) การใส่ปุ๋ย HO ทำให้ความสูงต้น และขนาดทรงพุ่มขยายเพิ่มขึ้น (Hussein et al., 2011) มีส่วนสำคัญโดยตรงกับการเพิ่มพื้นที่

ปกคลุม จำนวนกิ่ง และจำนวนใบของพืช

ผลผลิตและองค์ประกอบผลผลิต พบว่าสูงสุดในกลุ่มปุ๋ยฮอร์โมนปั้นเม็ดสูตรผสม T5 (HO-2) ให้ผลผลิตสูงกว่ากลุ่มปุ๋ยเคมี และปุ๋ยอินทรีย์ เป็นผลมาจากองค์ประกอบต่าง ๆ ของปุ๋ย HO ที่มีอยู่อย่างครบถ้วนส่งผลต่อการสะสมธาตุอาหารและวัตถุแห้งภายในต้นพืช สอดคล้องกับรายงานของ Ahmad et al. (2011) โดยการใช้ปุ๋ยที่เป็นสารสกัดอินทรีย์ช่วยกระตุ้น PGR อย่างมีนัยสำคัญ โดยถ่ายทอดสารอาหารไปยังส่วนต่าง ๆ ของต้นและสะสมน้ำหนักได้ดีขึ้น ซึ่งปริมาณ EC และ C/N ratios ที่มีในปุ๋ยช่วยเพิ่มเมตาโบลิซึมในการดูดซึมธาตุอาหารและการสังเคราะห์แสงของพืชอีกด้วย (Chuaynon & Intanon, 2011; Shadanpouret al., 2011) ซึ่งพบว่า T5 (HO-2) มีน้ำหนักรากแห้งสูงสุด สอดคล้องกับการทดลองของ Canellas et al. (2002) ที่ใช้สารสกัด humic acids จาก OM ช่วยกระตุ้นการแลกเปลี่ยนประจุบวก-ลบ ในกระบวนการสังเคราะห์ ATP ในพลาสมาเมมเบรน กระตุ้นออกซิเจนในรากทำให้รากข้าวโพดยาวขึ้น ให้ผลผลิตรวมเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติส่วนปริมาณสารสำคัญในกะเพราคือสารยูจินอล และเมทิลยูจินอล จากผลดังกล่าวข้างต้นเนื่องจากสารสกัดหยาบใบกะเพรา และสารสำคัญนั้นเป็นผลิตภัณฑ์จากการสังเคราะห์แสงของพืช เมื่อ T5 (HO-2) มีการเจริญเติบโตด้านความสูง จำนวนกิ่งก้านจากการบันทึกการเจริญเติบโต มีการสะสมน้ำหนักสดและน้ำหนักแห้ง ในผลผลิต และองค์ประกอบผลผลิตดังกล่าวมาข้างต้น ซึ่งเป็นอิทธิพลจากระดับธาตุอาหารที่มีอยู่ในสูตรปุ๋ยมีผลต่อการเจริญเติบโตของพืชทำให้การสังเคราะห์แสงสูงขึ้นมีผลต่อการสร้างอินทรีย์สาร หรือวัตถุแห้งในต้นพืชสูงขึ้น อินทรีย์สารหรือวัตถุแห้งเหล่านี้ มีการสะสมในหลายลักษณะ เช่น การสะสมแบ่งในข้าวโพด และมันสำปะหลัง การสะสมน้ำมันในพริกปาล์ม ละหุ่ง หรือสบู่ดำ การสะสมสารสำคัญ และน้ำมันหอมระเหยในพืชสมุนไพรทั้งหลายเป็นต้น ด้วยเหตุนี้จึงทำให้ T5 (HO-2) มีปริมาณสารสำคัญ (ยูจินอล และเมทิลยูจินอล) แสดงผลสูงสุด สอดคล้องกับ Mady & Youssef (2014) ที่พบว่าปุ๋ยอินทรีย์สามารถเพิ่มการเจริญเติบโตและเพิ่มผลผลิตน้ำมันหอมระเหยของ dragonhead plants ให้กับพืชได้ ประโยชน์ของปุ๋ยอินทรีย์ ปุ๋ยชีวภาพ และปุ๋ยเคมี มีผลต่อการเจริญเติบโตของพืชโดยตรง และมีผลต่อการสะสมน้ำมันหอมระเหยภายในต้นพืชอีกด้วย สอดคล้องกับ Nurzyńska-Wierdak et al. (2012) ที่พบว่าผลการวิเคราะห์น้ำมันหอมระเหยของสมุนไพรวงศ์กะเพรา มีธาตุฟอสฟอรัส แคลเซียม คลอรีน และกำมะถันเป็นส่วนประกอบที่สำคัญ อย่างไรก็ตามปริมาณน้ำมันหอมระเหยมีปัจจัยมาจากพันธุ์ และลักษณะประจำพันธุ์ของพืชสมุนไพร

ประกอบด้วย นอกจากนั้นยังขึ้นอยู่กับสัดส่วนของธาตุโพแทสเซียมต่อสัดส่วนของไนโตรเจนในผลผลิตอีกด้วย โดยพบว่าถ้าสัดส่วนของโพแทสเซียมเพิ่มขึ้นจะทำให้ความเข้มข้นของสารสำคัญในกะเพราเพิ่มขึ้นตามไปด้วย ดังนั้นการจัดการให้ธาตุไนโตรเจน และโพแทสเซียมในปริมาณที่เพียงพอในพืชสกุลกะเพรา ขณะเดียวกันธาตุฟอสฟอรัส แคลเซียม แมกนีเซียมคลอรีน และกำมะถัน ในปริมาณที่เพียงพอจะมีผลทำให้สามารถเพิ่มปริมาณสารสำคัญ ให้สูงขึ้นได้ ซึ่งธาตุอาหารเหล่านี้มีอยู่อย่างครบถ้วนในระดับสูงใน T5 (HO-2) ดังนั้นปริมาณสารสำคัญ หรือน้ำมันหอมระเหยจึงเป็นผลมาจากปริมาณธาตุอาหารในปุ๋ยแต่ละชนิด และปริมาณธาตุอาหารที่พืชสามารถดูดไปใช้ประโยชน์ได้นั่นเอง

สรุปผลการวิจัย

1. กลุ่มปุ๋ยฮอร์โมนปั้นเม็ดสูตรผสม (HO-1 HO-2 และ HO-3) ทำให้ปริมาณธาตุอาหารหลัก ธาตุอาหารรอง และธาตุอาหารเสริมในดินหลังการทดลองมีปริมาณสูงอย่างเด่นชัด

2. อิทธิพลของปุ๋ยฮอร์โมนปั้นเม็ดสูตรผสม (HO-1 HO-2 และ HO-3) ช่วยปรับสมบัติด้านเคมีอื่น ๆ ของดินให้ดีขึ้นด้วย ช่วยเพิ่มอินทรีย์วัตถุ ค่าการนำไฟฟ้า สามารถปรับความเป็นกรด-ด่างของดินให้ดีขึ้นตามลำดับ และส่งผลทางอ้อมในการปรับปรุงเปลี่ยนแปลงสมบัติทางกายภาพของดิน ทำให้ดินมีความอุดมสมบูรณ์และความพรุนของดินมากยิ่งขึ้น จึงมีความสามารถในการอุ้มน้ำได้เพิ่มขึ้น ทำให้ดินมีความอุดมสมบูรณ์มากขึ้นตามลำดับ

อิทธิพลของปุ๋ยฮอร์โมนปั้นเม็ดสูตรผสม ใน T5 (HO-2) ที่อัตรา 50 กิโลกรัมต่อไร่ ส่งผลต่อองค์ประกอบผลผลิต และน้ำหนักผลผลิตต่อไร่ ปริมาณสารยูจินอล และเมทิลยูจินอล สูงกว่ากรรมวิธีอื่น ๆ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

References

Ahmad, I., Asif, M., Amjad, A., & Ahmad, S. (2011). Fertilization enhances growth, yield, and xanthophyll contents of marigold. *Turkish Journal of Agriculture and Forestry*, 35(6), 641-648. doi: 10.3906/tar-1005-995

Canellas, L. P., Olivares, F. L., Okorokova-Façanha, A. L., & Façanha, A. R. (2002). Humic acids isolated from earthworm compost enhance root elongation, lateral root emergence, and plasma membrane H⁺-ATPase activity in maize roots. *Plant physiology*, 130(4), 1951-1957. doi: 10.1104/pp.007088

Chuaynon, C., & Intanon, P. (2011). Development of high-quality bio-fertilizer for rice production. *Naresuan University Journal*, 19(2), 8-18. (in Thai)

Hussein, M. M., Sakr, R. A., Badr, L. A., & Mashat, K. M. A. L. (2011). Effect of some fertilizers on botanical and chemical characteristics of pot marigold plant (*Calendula officinalis* L.). *Journal of Horticultural Science & Ornamental Plants*, 3(3), 220-231.

Intanon, P. (2009). *Fertilizer Technology*. Phitsanulok, Thailand:

Naresuan University. (in Thai)

Intanon, P. (2013a). Comparison of fertilizer management to increase yield and quality of rice. *International Journal of Environmental and Rural Development*, 4(2), 9-14. doi: 10.32115/ijerd.4.2_9

Intanon, P. (2013b). The influence of different types of fertilizers on productivity and quality of maize in the area of Kwaew Noi Bamrungdan Dam, Phitsanulok Province, Thailand. *International Journal of Environmental and Rural Development*, 4(2), 15-20. doi: 10.32115/ijerd.4.2_15

Intharaphu, S. (2013). *Development of high-quality biological fermentation for increasing rice production* (Master's thesis). Khon Kaen, Thailand: Faculty of Agriculture Khon Kaen University. (in Thai)

Jubkaew, S., & Intanon, P. (2012). Effect of hormones compound granular fertilizer on growth and yield of rice. *Khon Kaen Agriculture Journal*, 40(Suppl. 4), 105-109.

Mady, M. A., & Youssef, A. S. M. (2014). Influence of some fertilizers and boron foliar spray on improving growth and oil productivity of dragonhead (*Dracocephalum moldavica* L.) plant. *Journal of Plant Production*, 5(4), 587-613. doi: 10.21608/JPP.2014.53727

Nurzyńska-Wierdak, R., Bogucka-Kocka, A., Kowalski, R., & Borowski, B. (2012). Changes in the chemical composition of the essential oil of sweet basil (*Ocimum basilicum* L.) depending on the plant growth stage. *Chemija*, 23(3), 216-222.

Office of the Nation Economic and Social Development Board. (2018). *Nation Strategy 2018-2037*. Accessed October 13, 2018. Retrieved from https://www.ratchakitcha.soc.go.th/DATA/PDF/2561/A/082/T_0001.PDF (in Thai)

Raksarikorn, C., Phasee, P., & Intanon, P. (2012). Effect of chemical fertilizer and chemical and granular organic fertilizer with hormones mixed formula on growth of rubber tree. *Naresuan University Journal*, 20(3), 18-28. (in Thai)

Rao, P. S., Saraswathyamma, C. K., & Sethuraj, M. R. (1998). Studies on the relationship between yield and meteorological parameters of para rubber tree (*Hevea brasiliensis*. *Agricultural and Forest Meteorology*, 90(3), 235-245. doi: 10.1016/S0168-1923(98)00051-3

Shadanpour, F., Mohammadi Torkashvand, A., & Hashemi Majid, K. (2011). The effect of cow manure vermicompost as the planting medium on the growth of Marigold. *Annals of Biological Research*, 2(6), 109-115.

Sharma, G., Sahu, N. P., & Shukla, N. (2017). Effect of bio-organic and inorganic nutrient sources on growth and flower

- production of African marigold. *Horticulturae*, 3(1), 11. doi: 10.3390/horticulturae 3010011
- Wongpraneekul, A., & Chaipet, T. (2019). Holy basil, a new economic crop of hope for the food and drug industry. In W. Juthathep (Ed.), *AG-BIO* (pp. 7-10). Nakhon Pathom, Thailand: Kamphaeng Saen. (in Thai)
- Zhang, F., Cui, Z., Chen, X., Ju, X., Shen, J., Chen, Q., Lui, X., Zhang, W., Mi, G., Fan, M., & Jiang, R. (2012). Chapter one - Integrated nutrient management for food security and environmental quality in China. *Advances in Agronomy*, 116, 1-40. doi: 10.1016/B978-0-12-394277-7.00001-4

Research article

Effect of chemical and granular organic fertilizer with hormone mixed formula (HO) for productivity and active principle of holy basil (*Ocimum tenuiflorum* L.)

Ronnarong Konchom Pumisak Intanon* and Chawalit Raksarikorn

Department Agriculture, Faculty of Agriculture Natural Resource and Environment, Naresuan University, Phitsanulok, 65000

ARTICLE INFO**Article history**

Received: 14 November 2023

Revised: 8 December 2023

Accepted: 25 December 2023

Online published: 20 March 2024

Keyword

*Chemical and granular organic fertilizer
with hormone mixed formula (HO)*

Holy basil

Eugenol

Methyl eugenol

ABSTRACT

The objective of the research was to study the influence of mixed formula pelletized hormone fertilizer (HO) on soil properties. Growth, productivity, production components, and important substances of holy basil (*Ocimum tenuiflorum* L.). The RCBD experiment was carried out, consisting of 6 methods, 4 blocks, adding fertilizer according to the following methods: T1) no fertilizer (control), T2) chemical fertilizer 15-15-15, T3) organic fertilizer., T4) Hormone pelletizing fertilizer, mixed formula-1 (HO-1), T5) Hormone pelletizing fertilizer, mixed formula-2 (HO-2) and T6) Hormone pelletizing fertilizer, mixed formula-3 (HO-3), rate 50 kilograms per rai by planting basil seedlings in the plot, and planting basil seedlings in the plot and fertilizing according to the recommended method. It was found that the soil after the experiment in the mixed formula pellet hormone fertilizer group or the HO fertilizer group (T4, T5, and T6) increased organic matter, adjusted the acidity-alkaline condition (pH), increased porosity, increased the ability to hold water, and the HO fertilizer group has secondary nutrients and micronutrients increased significantly. According to the influence of fertilizer on the growth product and composition of holy basil, it was found that the hormone pellet fertilizer group mixed with HO made the basil stem size larger, which was significantly different from the other treatments and has a canopy size No different from chemical fertilizers. In terms of yield, the hormone pellet fertilizer group mixed with HO mostly increased yield in T5(HO-2) 1,736.30 kilograms per rai and T2 (chemical fertilizer 15-15-15) 1,735.80 kilograms per rai. The highest yield is significantly different from other methods. The amount of important substance eugenol and methyl eugenol in T5(HO-2) showed the highest results above other methods. Therefore, it can be concluded that HO fertilizer, especially T5 (HO-2) can improve soil structure and add nutrients to the soil at the same time as adding fertilizer.

*Corresponding author

E-mail address: pumisak_2182566@hotmail.com (P. Intanon)

Online print: 20 March 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.2024.5>



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

บทความวิจัย

การพยากรณ์ปริมาณน้ำฝนรายเดือนเพื่อการเกษตรโดยใช้เทคนิคการพยากรณ์ทางสถิติในจังหวัดมหาสารคาม

นิวัตร สุวรรณะ

สาขาวิชาสถิติประยุกต์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม จังหวัดมหาสารคาม 44000

ข้อมูลบทความ

บทคัดย่อ

Article history

รับ: 6 กันยายน 2566

แก้ไข: 11 ธันวาคม 2566

ตอบรับการพิมพ์: 4 มกราคม 2567

ตีพิมพ์ออนไลน์: 20 มีนาคม 2567

คำสำคัญ

การพยากรณ์ปริมาณน้ำฝน

วิธีของโฮลท์-วินเทอร์

วิธีของบ็อกซ์-เจนกินส์

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาปริมาณน้ำฝนรายเดือนเพื่อการเกษตรในจังหวัดมหาสารคาม ข้อมูลจากกรมอุตุนิยมวิทยาภาคตะวันออกเฉียงเหนือตอนบน โดยใช้เทคนิคการพยากรณ์ทางสถิติ และเปรียบเทียบตัวแบบการพยากรณ์ทั้ง 2 ตัวแบบ ได้แก่ วิธีของโฮลท์-วินเทอร์ และวิธีของบ็อกซ์-เจนกินส์ ซึ่งพิจารณาจากค่าเฉลี่ยเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนสัมบูรณ์ (Mean absolute percentage error, MAPE) โดยศึกษาตัวแบบจากข้อมูลตั้งแต่เดือนมกราคม 2555 ถึงเดือนธันวาคม 2564 จำนวน 120 เดือน เพื่อใช้ในการพยากรณ์ปริมาณน้ำฝนในเดือนมกราคม 2565 ถึงเดือนตุลาคม 2565 จากการศึกษาตัวแบบทั้ง 2 ตัวแบบ พบว่าตัวแบบที่เหมาะสมที่สุดสำหรับพยากรณ์ปริมาณน้ำฝนรายเดือนในจังหวัดมหาสารคาม คือตัวแบบวิธีของบ็อกซ์-เจนกินส์ เพราะให้ค่าร้อยละของค่าคลาดเคลื่อนสัมบูรณ์เฉลี่ยต่ำที่สุดเท่ากับ 288.68

บทนำ

น้ำเป็นทรัพยากรธรรมชาติที่มีความสำคัญและจำเป็นต่อการดำรงชีวิตของมนุษย์ สัตว์ และพืช น้ำมีความสำคัญต่อการเริ่มต้นการดำรงอยู่ และการสิ้นสุดของสรรพสิ่ง นอกจากนี้ยังเป็นแหล่งที่ก่อให้เกิดชุมชน มนุษย์และอารยธรรมอันเก่าแก่ในโลกล้วนสัมพันธ์ใกล้ชิดกับน้ำทั้งสิ้น ฝนเป็นปัจจัยสำคัญในวัฏจักรของน้ำ เพราะช่วยรักษาสสมดุลของสภาวะบรรยากาศ ภัยที่เกิดจากการขาดแคลนน้ำในพื้นที่ใดพื้นที่หนึ่งเป็นเวลานานจนก่อให้เกิดความแห้งแล้ง และส่งผลกระทบต่อชุมชนพื้นที่แห้งแล้งเป็นสภาพอากาศที่แห้งและไม่มีน้ำเกิดขึ้นเมื่อพื้นที่ที่ได้รับฝนตกน้อย ต่ำกว่าค่าเฉลี่ย สิ่งที่ได้รับผลกระทบมากที่สุดคือภาคการเกษตรและอุตสาหกรรม เนื่องจากภาวะฝนแล้ง ความไม่แน่นอนของสภาพอากาศ อุทกภัยเป็นภัยจากน้ำซึ่งสามารถพบได้ทั่วไปในธรรมชาติ อุทกภัยสามารถก่อให้เกิดความเสียหายต่อที่อยู่อาศัยของมนุษย์รวมถึงสร้างผลกระทบต่อระบบเศรษฐกิจ อย่างไรก็ตามอุทกภัยในระดับที่ไม่รุนแรงก็ส่งผลดีให้แก่พื้นที่ที่ริมฝั่งแม่น้ำ อาทิ เช่น สร้างความอุดมสมบูรณ์ให้แก่ดินมากขึ้น ช่วยให้ปริมาณน้ำใต้ดินเพิ่มมากขึ้น และช่วยเพิ่มแร่ธาตุที่จำเป็นต่อการรักษาความหลากหลายทางชีววิทยาของพื้นที่นั้น ภาคตะวันออกเฉียงเหนือหรือภาคอีสานครอบคลุมพื้นที่ 170,226 ตารางกิโลเมตร หรือคิดเป็นพื้นที่หนึ่งในสามของประเทศ ซึ่งถือเป็นภูมิภาคที่มีขนาดใหญ่ที่สุด ภาคอีสานตั้งอยู่บนที่ราบสูงโคราชที่ยกตัวขึ้นสูงอย่างเห็นได้ชัดจากภาคกลาง ที่ราบสูงแห่งนี้ลาดเอียงจากเทือกเขาเพชรบูรณ์ซึ่งอยู่ทางด้านตะวันตกของภาค

ลงไปทางใต้ไปบรรจบกับแม่น้ำโขง มีกลุ่มเทือกเขาที่สูงประมาณ 500-1,000 เมตร เหนือระดับน้ำทะเลในทางทิศตะวันตกและทางตอนใต้ของภาค และยังเป็นแหล่งต้นน้ำของแม่น้ำถึง 5 สาย เทือกเขาสันกำแพงและเทือกเขาพนมดงรักวางตัวกั้นเขตชายแดนประเทศไทยกับราชอาณาจักรกัมพูชาและสาธารณรัฐประชาธิปไตยประชาชนลาว ยอดเขาที่สูงที่สุดคือภูหลวง ซึ่งมีความสูงถึง 1,571 เมตร และรองมาเป็นภูกระดึง ซึ่งมีความสูงอยู่ที่ 1,325 เมตร โดยภูทั้งสองแห่งนี้เป็นสถานที่ท่องเที่ยวที่ได้รับความนิยมอย่างมาก ทิศเหนือและทิศตะวันออกของภูมิภาคตะวันออกเฉียงเหนือมีพื้นที่ติดกับสาธารณรัฐประชาธิปไตยประชาชนลาว โดยมีลำน้ำโขงเป็นพรมแดนธรรมชาติ ตั้งแต่ตรงพื้นที่จังหวัดเลยไปจนถึงจังหวัดอุบลราชธานี ส่วนทางทิศใต้ของภาคมีพื้นที่ติดกับราชอาณาจักรกัมพูชา มีแม่น้ำมูล ซึ่งมีความยาว 641 กิโลเมตร เป็นแม่น้ำสายสำคัญของอีสานตอนล่าง มีต้นน้ำอยู่ที่ทิวเขาสันกำแพงในจังหวัดนครราชสีมา ไหลผ่านจังหวัดบุรีรัมย์ สุรินทร์ ร้อยเอ็ด และศรีสะเกษ และมาบรรจบรวมกับแม่น้ำชีและแม่น้ำโขงที่จังหวัดอุบลราชธานี ส่วนแม่น้ำชี ซึ่งเป็นแม่น้ำสายที่ยาวที่สุดในประเทศไทย มีความยาว 765 กิโลเมตร มีต้นกำเนิดที่ทิวเขาเพชรบูรณ์ ในจังหวัดชัยภูมิ โดยแม่น้ำไหลผ่านจังหวัดขอนแก่น มหาสารคาม กาฬสินธุ์ ร้อยเอ็ด ยโสธร และมาบรรจบรวมกับแม่น้ำมูลที่จังหวัดอุบลราชธานี สำหรับแม่น้ำสงครามซึ่งมีความยาว 420 กิโลเมตรนั้นมีต้นกำเนิดจากเทือกเขาภูพานในเขตจังหวัดสกลนคร และไหลผ่านจังหวัดอุดรธานี สกลนคร หนองคาย และมาบรรจบกับแม่น้ำโขงที่

*Corresponding author

E-mail address: niwat_su@yahoo.com (N. Suvanna)

Online print: 1 March 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.2024.6>

จังหวัดนครพนม ซึ่งจากลักษณะภูมิประเทศที่มีพื้นที่เป็นที่ราบสูง มีอากาศร้อนจัด และหนาวจัด พื้นดินไม่เก็บน้ำจึงมีสภาพแห้งแล้ง พื้นที่อันกว้างขวางจึงเป็นป่าดงและทุ่งหญ้า อย่างไรก็ตามในระยะต่อมาเมื่อได้มีโครงการชลประทานเพิ่มมากขึ้น ทำให้ภาคนี้กลับกลายเป็นอยู่ช้ำน้ำแหล่งที่สองรองจากภาคกลางเหตุนี้เองจึงทำให้ภาคตะวันออกเฉียงเหนือประสบกับภัยพิบัติทางธรรมชาติค่อนข้างบ่อยไม่ว่าจะเป็นภัยแล้งหรือปัญหาน้ำท่วมซ้ำซาก (Department of Water Resources, 2023)

สภาพภูมิอากาศของจังหวัดมหาสารคาม ภูมิประเทศโดยทั่วไปของจังหวัดมหาสารคามส่วนใหญ่เป็นที่ราบสูง แต่ไม่มีภูเขา โดยทางตอนเหนือและตอนใต้ ของจังหวัดมีลักษณะเป็นที่ลุ่ม ๆ ดอน ๆ สลับกันไป และค่อย ๆ ลาดเทลงสู่พื้นที่ราบด้านตะวันออก ลักษณะภูมิอากาศขึ้นอยู่กับอิทธิพลของมรสุมที่พัดประจำฤดูกาล 2 ชนิด คือ มรสุมตะวันออกเฉียงเหนือ ซึ่งพัดพามวลอากาศเย็นและแห้งจากประเทศจีนเข้าปกคลุมประเทศไทยตั้งแต่ประมาณกลางเดือนตุลาคมถึงประมาณเดือนกุมภาพันธ์ ซึ่งอยู่ในช่วงฤดูหนาวของประเทศไทย ทำให้จังหวัดมหาสารคามมีอากาศหนาวเย็นและแห้งทั่วไป ส่วนมรสุมตะวันตกเฉียงใต้ที่พัดพามวลอากาศชื้นจากทะเลและมหาสมุทรเข้าปกคลุมประเทศไทยในช่วงฤดูฝน (ประมาณกลางเดือนพฤษภาคมถึงประมาณกลางเดือนตุลาคม) ทำให้มีฝนตกชุก ทั่วไป ตั้งแต่กลางเดือนพฤษภาคมเป็นต้นไป และเนื่องจากภาคตะวันออกเฉียงเหนือล้อมรอบไปด้วยเทือกเขา โดยมีเทือกเขาเพชรบูรณ์อยู่ทางทิศตะวันตก และเทือกเขาตองพญาเย็นอยู่ทางทิศใต้ของจังหวัดมหาสารคาม ซึ่งเป็นแนวกั้นไม่ให้มรสุมตะวันตกเฉียงใต้พัดเข้าปกคลุมบริเวณจังหวัดมหาสารคามได้เต็มที่ในช่วงฤดูฝนทำให้กลุ่มฝนส่วนใหญ่จะพัดไปตกทางด้านตะวันตกและด้านใต้ของเทือกเขา ทำให้ปริมาณฝนเฉลี่ยตลอดปีของจังหวัดมหาสารคามอยู่ระหว่าง 1,000-1,200 มิลลิเมตร โดยที่สถานีตรวจอากาศมหาสารคาม อำเภอโกสุมพิสัย มีปริมาณฝนเฉลี่ย 1,315.5 มิลลิเมตร และจำนวนวันที่ฝนตก 107 วัน โดยเดือนกันยายนเป็นเดือนที่มีฝนตกชุกมากที่สุดในรอบปี ปริมาณฝนมากที่สุดใน 1 วัน เคยวัดได้ 183.7 มิลลิเมตร เมื่อวันที่ 30 สิงหาคม 2562 (Upper Northeastern Meteorological Center, 2023)

การพยากรณ์ปริมาณน้ำฝนเป็นการดำเนินการเพื่อพัฒนาการเฝ้าระวัง และการเตือนภัยจากน้ำท่วมฉับพลัน โดยทำการศึกษาปริมาณน้ำฝน และเพื่อพยากรณ์ปริมาณน้ำฝนในเขตพื้นที่จังหวัดมหาสารคาม โดยข้อมูลปริมาณน้ำฝนได้จากการติดตั้งสถานีวัดน้ำฝนอัตโนมัติในพื้นที่ และกรมอุตุนิยมวิทยาภาคตะวันออกเฉียงเหนือตอนบน ทำอากาศยานขอนแก่น ตำบลบ้านเป็ด อำเภอเมือง จังหวัดขอนแก่น งานวิจัยครั้งนี้ ผู้วิจัยมุ่งศึกษาเพื่อหาตัวแบบการพยากรณ์ที่เหมาะสมกับลักษณะข้อมูลปริมาณน้ำฝนรายเดือน โดยใช้เทคนิคการพยากรณ์ทางสถิติ 2 วิธี คือ วิธีการพยากรณ์ของโฮลท์-วินเทอร์ และวิธีการพยากรณ์ของบ็อกซ์-เจนกินส์ จากการทบทวนวรรณกรรม พบว่า มีผลงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการพยากรณ์ปริมาณน้ำฝน ได้แก่

Panichkitkosolkul (2009) ศึกษาการพยากรณ์ ปริมาณน้ำฝนเฉลี่ยต่อเดือนของสถานีอุตุนิยมวิทยา และสถานีอากาศเกษตรในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ โดยเปรียบเทียบการเคลื่อนไหวและความ

คลาดเคลื่อนของวิธีการพยากรณ์ต่าง ๆ 3 วิธี ได้แก่ วิธีแยกส่วนประกอบ วิธีการพยากรณ์ของวินเทอร์ และวิธีการพยากรณ์ของบ็อกซ์-เจนกินส์ พิจารณาค่าเฉลี่ยเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนสัมบูรณ์ (MAPE) ที่ต่ำที่สุด ผลการศึกษาพบว่า วิธีการพยากรณ์ของบ็อกซ์-เจนกินส์เป็นวิธีการที่เหมาะสมกับข้อมูลปริมาณน้ำฝนรายเดือนมากที่สุด รองลงมาคือวิธีแยกส่วนประกอบ และวิธีการพยากรณ์ของวินเทอร์ ตามลำดับ

Keetativiboot (2015) ศึกษาการพยากรณ์ปริมาณน้ำฝนอำเภอเมือง จังหวัดน่าน โดยใช้วิธีการพยากรณ์ 3 วิธี คือ วิธีของบ็อกซ์-เจนกินส์ วิธีการปรับเรียบด้วยเส้นโค้งเลขชี้กำลังที่มีฤดูกาลอย่างง่าย และวิธีการพยากรณ์รวม ตรวจสอบความแม่นยำของตัวแบบพยากรณ์ด้วยเกณฑ์รากที่สองของความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ยที่ต่ำที่สุด จากการศึกษาพบว่าวิธีการพยากรณ์รวมเป็นวิธีการที่มีความเหมาะสมกับอนุกรมเวลาชุดนี้มากที่สุด

Panta & Sumlanrit (2017) ศึกษาการพยากรณ์ปริมาณน้ำฝนรายเดือนในจังหวัดนครสวรรค์ โดยใช้เทคนิคการพยากรณ์ทางสถิติ ใช้เทคนิคการพยากรณ์ทางสถิติ 3 วิธี คือ วิธีแยกส่วนประกอบ วิธีทำให้เรียบของเอ็กซ์โปเนนเชียลแบบวินเทอร์แบบคูณ และวิธีของบ็อกซ์-เจนกินส์ พิจารณาค่าความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ย (Mean square error, MSE) ผลการศึกษาพบว่าวิธีทำให้เรียบของเอ็กซ์โปเนนเชียลแบบวินเทอร์แบบคูณ เป็นวิธีที่เหมาะสมกับข้อมูลปริมาณน้ำฝนรายเดือนมากที่สุด ให้ค่า MSE ต่ำที่สุด

Papukdee et al (2019) ศึกษาเปรียบเทียบรูปแบบการพยากรณ์ 5 วิธี ได้แก่ วิธีอัตราส่วนต่อแนวโน้ม วิธีปรับให้เรียบเอ็กซ์โปเนนเชียลแบบไฮลท์-วินเทอร์ วิธีตัวแปรหุ่นแบบถดถอย วิธีที่ตา และวิธีการพยากรณ์รวม เพื่อพยากรณ์ปริมาณน้ำฝนสูงสุดรายเดือน และปริมาณน้ำฝนสะสมรายเดือน ของ 3 จังหวัดในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ได้แก่ จังหวัดสกลนคร จังหวัดนครพนม และจังหวัดมุกดาหาร ตรวจสอบความถูกต้อง ของรูปแบบการพยากรณ์ด้วยค่าความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ย ผลการศึกษาพบว่า ข้อมูลปริมาณน้ำฝนที่นำมาศึกษาเป็นข้อมูลอนุกรมเวลาที่มีแนวโน้มและฤดูกาล และรูปแบบการพยากรณ์ที่ดีที่สุดคือ วิธีการพยากรณ์รวม รองลงมาคือวิธีอัตราส่วนต่อแนวโน้ม วิธีที่ตา วิธีปรับเรียบเอ็กซ์โปเนนเชียลแบบไฮลท์-วินเทอร์ และวิธีตัวแปรหุ่นแบบถดถอย ตามลำดับ

วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

1. เพื่อเปรียบเทียบเทคนิคการพยากรณ์ทางสถิติ 2 วิธี คือวิธีของโฮลท์-วินเทอร์ (Holt-Winters method) และวิธีของบ็อกซ์-เจนกินส์ (Box-Jenkins method) เพื่อหาวิธีการพยากรณ์ที่เหมาะสม
2. เพื่อพยากรณ์ปริมาณน้ำฝนรายเดือนในเขตพื้นที่จังหวัดมหาสารคาม

อุปกรณ์และวิธีการวิจัย

การวิจัยครั้งนี้ดำเนินการสร้างตัวแบบพยากรณ์ปริมาณน้ำฝนด้วยโปรแกรมสำเร็จรูปทางสถิติ SPSS (Statistical Package for Social Sciences) รุ่น 11.5 โดยใช้อนุกรมเวลาปริมาณน้ำฝนรายเดือนที่เก็บจากการติดตั้งสถานีวัดน้ำฝนอัตโนมัติในพื้นที่ และกรมอุตุนิยมวิทยาภาคตะวันออกเฉียงเหนือตอนบน ทำอากาศยานขอนแก่น ตำบลบ้านเป็ด อำเภอเมือง จังหวัดขอนแก่น ผู้วิจัยได้แบ่ง

ข้อมูลออกเป็น 2 ชุด ชุดที่ 1 คือ ข้อมูลตั้งแต่เดือนมกราคม 2555 ถึงเดือนธันวาคม 2564 จำนวน 120 เดือน สำหรับใช้ในการสร้างตัวแบบการพยากรณ์ด้วยวิธีการทางสถิติทั้ง 2 ตัวแบบ ได้แก่ วิธีของโฮลท์-วินเทอร์ และวิธีของบ็อกซ์-เจนกินส์ โดยเกณฑ์ที่ใช้ในการเปรียบเทียบพิจารณาจากร้อยละของค่าคลาดเคลื่อนสัมบูรณ์เฉลี่ย (Mean absolute percentage error, MAPE) ข้อมูลชุดที่ 2 คือ ข้อมูลตั้งแต่เดือนมกราคม 2565 ถึงเดือนตุลาคม 2565 จำนวน 10 เดือน สำหรับการเปรียบเทียบความแม่นยำของค่าพยากรณ์โดยใช้เกณฑ์ร้อยละของค่าคลาดเคลื่อนสัมบูรณ์เฉลี่ย (MAPE) ที่ต่ำที่สุด

1. วิธีของโฮลท์-วินเทอร์

วิธีของโฮลท์-วินเทอร์ เป็นตัวแบบที่สร้างขึ้นมาเพื่อใช้อธิบายข้อมูลที่มีฤดูกาล วิธีการพยากรณ์ที่สอดคล้องกับตัวแบบของโฮลท์-วินเทอร์เป็นวิธีการทำให้เรียบขั้นเดียว โดยใช้ค่าคงตัวการทำให้เรียบ 3 ค่า ค่าที่หนึ่งใช้ในการพยากรณ์ระดับข้อมูล ค่าที่สองใช้ในการพยากรณ์ความชันของข้อมูล และค่าที่สามใช้ในการพยากรณ์ดัชนีฤดูกาล (Seasonal index) และเนื่องจากอาจมีการเคลื่อนไหวภายในฤดูกาลที่มีอยู่ในข้อมูล ซึ่งการเคลื่อนไหวดังกล่าวอาจแปรตามแนวโน้มของข้อมูล ดังนั้นโฮลท์จึงได้แบ่งตัวแบบฤดูกาลออกเป็น 2 ตัวแบบ คือ ตัวแบบฤดูกาลเชิงคูณ (Multiplicative seasonal model) และตัวแบบฤดูกาลเชิงบวก (Additive seasonal model) ดังนี้

1.1 ตัวแบบฤดูกาลเชิงคูณ

เป็นตัวแบบที่ใช้อธิบายข้อมูลที่มีรูปแบบฤดูกาล โดยที่การเคลื่อนไหวภายในฤดูกาลแปรตามแนวโน้มของข้อมูล ซึ่งโฮลท์ได้นำเสนอตัวแบบฤดูกาลเชิงคูณ ดังสมการที่ (1) (Lorchirachoolnkul & Jitthavech, 2005)

$$X_t = (b_0 + b_1 t) C_t + \varepsilon_t \quad (1)$$

โดยที่ b_0 แทน องค์ประกอบที่มีค่าคงตัว

b_1 แทน องค์ประกอบของแนวโน้มเชิงเส้น

C_t แทน องค์ประกอบของดัชนีหรือปัจจัยฤดูกาลเชิงคูณ

ε_t แทน ค่าคลาดเคลื่อนและ $\varepsilon_t \sim \text{NID}(0, \sigma^2)$

และเทอมของ $b_0 + b_1 t$ เป็นส่วนที่อธิบายแนวโน้มของข้อมูล ให้ความยาวของฤดูกาลมีค่าเท่ากับ L หน่วยเวลา ผลบวกของดัชนีฤดูกาลทั้ง L มีค่าเท่ากับ $\sum_{j=1}^L C_j = L$

โฮลท์ได้แบ่งการพยากรณ์ออกเป็น 3 ส่วนตามองค์ประกอบที่มีในตัวแบบ คือ ส่วนที่ 1 เป็นระดับของข้อมูลแทนด้วย a_t (ไม่มีอิทธิพลของฤดูกาลเข้ามาเกี่ยวข้อง) ส่วนที่ 2 เป็นความชันของข้อมูลแทนด้วย b_{1t} และส่วนที่ 3 เป็นดัชนีฤดูกาลของข้อมูลแทนด้วย C_t ให้ $\hat{a}_t, \hat{b}_{1t}$ และ $\hat{C}_t$ แทนค่าพยากรณ์ของ a_t, b_{1t} และ C_t ตามลำดับ ซึ่งค่าพยากรณ์ $\hat{a}_t$ สามารถหาได้จากวิธีการทำให้เรียบแบบเอ็กซ์โปเนนเชียล ดังสมการที่ (2)

$$\hat{a}_t = \alpha \frac{X_t}{C_{t-L}} + (1-\alpha) [\hat{a}_{t-1} + \hat{b}_{1(t-1)}] \quad (2)$$

โดยที่ α คือ ค่าคงตัวการทำให้เรียบ ($0 < \alpha < 1$)

ค่าพยากรณ์ $\hat{b}_{1t}$ สามารถหาได้จากค่าพยากรณ์ความชันโดยวิธีของโฮลท์ ดังสมการที่ (3)

$$\hat{b}_{1t} = \beta (\hat{a}_t - \hat{a}_{t-1}) + (1-\beta) \hat{b}_{1(t-1)} \quad (3)$$

โดยที่ β คือ ค่าคงตัวการทำให้เรียบ ($0 < \beta < 1$) และ β ไม่ควรมีค่ามากนัก

ค่าพยากรณ์ $\hat{C}_t$ สามารถหาได้จากวิธีการทำให้เรียบแบบเอ็กซ์โปเนนเชียล ดังสมการที่ (4)

$$\hat{C}_t = \gamma \frac{X_t}{\hat{a}_t} + (1-\gamma) \hat{C}_{t-L} \quad (4)$$

โดยที่ γ คือ ค่าคงตัวการทำให้เรียบ ($0 < \gamma < 1$) และค่า γ ควรมีค่าน้อยกว่า β

ค่าพยากรณ์ของข้อมูลที่เป็นฤดูกาล k หน่วยเวลาล่วงหน้า ณ เวลา t ดังสมการที่ (5)

$$\hat{X}_t(k) = (\hat{a}_1 + \hat{b}_{1t} k) \hat{C}_{t-L+k} \quad (5)$$

1.2 ตัวแบบฤดูกาลเชิงบวก

เป็นตัวแบบที่ใช้อธิบายข้อมูลที่มีรูปแบบฤดูกาล โดยที่การเคลื่อนไหวภายในฤดูกาลคงตัวไม่แปรตามแนวโน้มของข้อมูล ซึ่งโฮลท์ได้นำเสนอตัวแบบฤดูกาลเชิงบวก ดังสมการที่ (6)

$$X_t = b_0 + b_1 t + C_t + \varepsilon_t \quad (6)$$

เนื่องจากการเปลี่ยนแปลงภายในของฤดูกาลของตัวแบบนี้ เป็นอิสระจากแนวโน้ม ผลรวมของดัชนีฤดูกาลทั้ง L ค่าจึงให้มีค่า

เท่ากับ 0 นั่นคือ $\sum_{t=1}^L C_t = 0$

ในการพยากรณ์ข้อมูลจะแบ่งออกเป็น 3 ส่วน เช่นเดียวกับตัวแบบฤดูกาลเชิงคูณ การพยากรณ์ระดับของข้อมูล ณ เวลา t หาได้ดังสมการที่ (7)

$$\hat{a}_t = \alpha (X_t - \hat{C}_{t-L}) + (1-\alpha) [\hat{a}_{t-1} + \hat{b}_{1(t-1)}] \quad (7)$$

ค่าพยากรณ์ $\hat{b}_{1t}$ สามารถหาได้จากค่าพยากรณ์ความชันโดยวิธีของโฮลท์ ดังสมการที่ (8)

$$\hat{b}_{1t} = \beta (\hat{a}_t - \hat{a}_{t-1}) + (1-\beta) \hat{b}_{1(t-1)} \quad (8)$$

ค่าพยากรณ์ $\hat{C}_t$ สามารถหาได้จากวิธีการทำให้เรียบแบบเอ็กซ์โปเนนเชียล ดังสมการที่ (9)

$$\hat{C}_t = \gamma (X_t - \hat{a}_t) + (1-\gamma) \hat{C}_{t-L} \quad (9)$$

ค่าพยากรณ์ของข้อมูลที่เป็นฤดูกาล k หน่วยเวลาล่วงหน้า ณ เวลา t ดังสมการที่ (10)

$$\hat{X}_t(k) = \hat{a}_1 + \hat{b}_{1t} k + \hat{C}_{t-L+k} \quad (10)$$

2. วิธีของบ็อกซ์-เจนกินส์

กำหนดตัวแบบโดยเริ่มจากตรวจสอบคุณสมบัติฟังก์ชันสหสัมพันธ์ในตัวเอง (Autocorrelation function, ACF) และฟังก์ชันสหสัมพันธ์ในตัวเองบางส่วน (Partial autocorrelation function, PACF) ของอนุกรมเวลาที่คงที่ (Stationary) หรืออนุกรมเวลาที่มีค่าเฉลี่ยและความแปรปรวนคงที่ ซึ่งเป็นวิธีการวิเคราะห์อนุกรมเวลาที่มีความถูกต้องสูง เนื่องจากการพิจารณาลักษณะของอนุกรมเวลาว่ามีสหสัมพันธ์กันอย่างไร เพื่อสร้างตัวแบบพยากรณ์ที่เหมาะสมและมีการคำนึงถึงความแปรผันของฤดูกาล ซึ่งเป็นส่วนประกอบที่สำคัญ โดยมีตัวแบบทั่วไป คือ Seasonal Autoregressive Integrated Moving

Average : SARIMA (p,d,q) (P,D,Q)_s แสดงดังสมการที่ (11) (Bowerman & O'Connell, 1993; Box et al., 1994)

อนุกรมเวลา (X_t) ในการศึกษาครั้งนี้อนุกรมเวลาตัวแบบเชิงคูณของอนุกรมเวลาที่มีฤดูกาล SARIMA (p,d,q) (P,D,Q)_s มีตัวแบบดังสมการที่ (11)

$$\phi_p(B)\Phi_p(B^s)(1-B)^d(1-B^s)^D X_t = \delta + \theta_q(B)\Theta_q(B^s)\varepsilon_t \quad (11)$$

เมื่อ X_t แทนอนุกรมเวลา ณ เวลา t

ε_t แทนอนุกรมเวลาของความคลาดเคลื่อนที่มีการแจกแจงปกติและเป็นอิสระกัน ด้วยค่าเฉลี่ยเท่ากับศูนย์ และความแปรปรวนคงที่ทุกช่วงเวลา

$\delta = \mu\phi_p(B)\Phi_p(B^s)$ แทนค่าคงที่ โดยที่ μ แทนค่าเฉลี่ยของอนุกรมเวลาที่มีภาวะคงที่ (Stationary Time Series)

$\phi_p(B) = 1 - \phi_1 B - \phi_2 B^2 - \dots - \phi_p B^p$ แทนตัวดำเนินการสหสัมพันธ์ในตัวแบบไม่มีฤดูกาลอันดับ p (Non-Seasonal Autoregressive Operator of Order p: AR(p))

$\Phi_p(B^s) = 1 - \Phi_1 B^s - \Phi_2 B^{2s} - \dots - \Phi_p B^{ps}$ แทนตัวดำเนินการสหสัมพันธ์ในตัวแบบมีฤดูกาลอันดับที่ P (Seasonal Autoregressive Operator of Order P: SAR(P))

$\theta_q(B) = 1 - \theta_1 B - \theta_2 B^2 - \dots - \theta_q B^q$ แทนตัวดำเนินการเฉลี่ยเคลื่อนที่แบบไม่มีฤดูกาลอันดับที่ q (Non-Seasonal Moving Average of Order q: MA(q))

$\Theta_q(B^s) = 1 - \Theta_1 B^s - \Theta_2 B^{2s} - \dots - \Theta_q B^{qs}$ แทนตัวดำเนินการเฉลี่ยเคลื่อนที่แบบมีฤดูกาลอันดับที่ Q (Seasonal Moving Average of Order Q: SMA(Q))

t แทนเวลา ซึ่งมีค่าตั้งแต่ 1 ถึง n โดยที่ n แทนข้อมูลอนุกรมเวลาในชุดที่ 1

s แทนจำนวนฤดูกาล

d และ D แทนลำดับที่ของการหาผลต่างและผลต่างฤดูกาลตามลำดับ

B แทนตัวดำเนินการถอยหลัง (Backward Operator) โดยที่ $B^s X_t = X_{t-s}$

ขั้นตอนในการสร้างตัวแบบพยากรณ์ของบ็อกซ์-เจนกินส์ แสดงรายละเอียดดังต่อไปนี้

1) พิจารณาอนุกรมเวลาว่าคงที่หรือไม่โดยพิจารณาจากกราฟของอนุกรมเวลาเทียบกับเวลา (t, X_t) กราฟ ACF และ PACF หากพบว่าอนุกรมเวลาไม่คงที่ (non-Stationary) ต้องแปลงอนุกรมเวลาให้คงที่ก่อนที่จะทำขั้นตอนต่อไป เช่น การแปลงข้อมูลด้วยการหาผลต่างหรือผลต่างฤดูกาล (Difference or Seasonal Difference) การแปลงข้อมูลด้วยลอการิทึมสามัญหรือธรรมชาติ (Common Logarithm or Natural Logarithm) การแปลงด้วยเลขยกกำลังสอง เป็นต้น (Bowerman & O'Connell, 1993)

2) กำหนดตัวแบบที่เป็นไปได้จากกราฟ ACF และ PACF ของอนุกรมเวลาที่คงที่ นั่นคือ กำหนดค่า p, q, P และ Q พร้อมทั้งประมาณค่าพารามิเตอร์ของตัวแบบด้วยวิธีภาวะน่าจะเป็นสูงสุด

(Maximum Likelihood Method)

3) ตัดพารามิเตอร์ที่ไม่มีนัยสำคัญออกจากตัวแบบพยากรณ์ จากนั้นจึงกำหนดตัวแบบพยากรณ์และประมาณค่าพารามิเตอร์ใหม่จนกว่าจะได้ตัวแบบพยากรณ์ที่ประกอบด้วยพารามิเตอร์ที่มีนัยสำคัญทั้งหมด

4) การตรวจสอบความเหมาะสมของตัวแบบว่ามีค่าสถิติ Ljung-Box Q ที่ไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ และอนุกรมเวลาของความคลาดเคลื่อนจากการพยากรณ์มีการแจกแจงปกติ ตรวจสอบโดยใช้การทดสอบคอลโมโกรอฟ-สมิธโนฟ มีการเคลื่อนไหวเป็นอิสระต่อกัน ตรวจสอบโดยพิจารณาจากกราฟ ACF และ PACF ของความคลาดเคลื่อน มีค่าเฉลี่ยเท่ากับศูนย์ ตรวจสอบโดยใช้ Student's T-test และมีความแปรปรวนคงที่ทุกช่วงเวลา ตรวจสอบโดยใช้ F-test ของเลวีนาภายใต้การใช้ค่ามัธยฐาน (Levene's Test based on Median)

5) พยากรณ์อนุกรมเวลา โดยใช้ตัวแบบพยากรณ์ที่เหมาะสมจากขั้นตอนที่ 4

3. การเปรียบเทียบความแม่นยำของค่าพยากรณ์

การเปรียบเทียบตัวแบบการพยากรณ์ทั้ง 2 ตัวแบบ จากข้อมูลชุดที่ 1 จะพิจารณาจากร้อยละของความคลาดเคลื่อนสัมบูรณ์เฉลี่ย (MAPE) ที่มีค่าต่ำสุด ดัง สมการที่ (12)

$$MAPE = \frac{100}{n} \sum_{t=1}^n \left| \frac{e_t}{X_t} \right| \quad (12)$$

โดยที่ $e_t = X_t - \hat{X}_t$ แทนค่าความคลาดเคลื่อนจากการพยากรณ์ ณ เวลา t

X_t แทนอนุกรมเวลา ณ เวลา t

$\hat{X}_t$ แทนค่าพยากรณ์ ณ เวลา t

n แทนจำนวนเทอมของ e_t

ผลและวิจารณ์ผลการวิจัย

ผลการวิจัยในแต่ละขั้นตอนเป็นดังนี้

1. ผลการศึกษาการเคลื่อนไหวของอนุกรมเวลา

จากการพิจารณาลักษณะการเคลื่อนไหวของอนุกรมเวลาปริมาณน้ำฝนรายเดือน ตั้งแต่เดือนมกราคม 2555 ถึงเดือนธันวาคม 2564 จำนวน 120 เดือน โดยพิจารณาจากกราฟ (t, X_t) พบว่าปริมาณน้ำฝนจะเพิ่มขึ้นในช่วงกลางปีและในช่วงปลายปีและต้นปีถัดไปจะลดลงเป็น 0 โดยเกิดในลักษณะวนซ้ำ ๆ กันในทุก ๆ ปี ปริมาณน้ำฝนจะมีลักษณะแตกต่างกันในแต่ละช่วงเวลา การเคลื่อนไหวของอนุกรมเวลามีส่วนประกอบของความแปรผันตามฤดูกาล แสดงดัง Figure 1

2. ผลการวิเคราะห์ข้อมูล

2.1 วิธีของโฮลท์-วินเทอร์

การสร้างตัวแบบพยากรณ์สำหรับอนุกรมเวลาปริมาณน้ำฝนในจังหวัดมหาสารคามโดยวิธีของโฮลท์-วินเทอร์เมื่อพิจารณาจากกราฟ Figure 1 พบว่า การเคลื่อนไหวของอนุกรมเวลาปริมาณน้ำฝนเคลื่อนไหวภายในฤดูกาลคงตัวไม่แปรตามแนวโน้ม ดังนั้นตัวแบบที่เหมาะสมคือตัวแบบฤดูกาลเชิงคูณ พบว่าคงตัวการทำให้เรียบ 3 ค่าเป็นตัวถ่วงน้ำหนักระดับข้อมูล ความชันของข้อมูล และดัชนีฤดูกาลข้อมูล

แยกกัน ซึ่งให้ค่า $\alpha = 0.972$, $\beta = 0.026$ และ $\gamma = 0.150$ เป็นค่าที่เหมาะสมที่สุด และมีค่าสถิติ Ljung-Box Q ไม่มีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 (Ljung-Box Q ณ lag 18 = 20.365, p-value = 0.204) แสดงใน Table 1 เมื่อตรวจสอบคุณลักษณะของความ

คลาดเคลื่อนของการพยากรณ์พบว่า ความคลาดเคลื่อนมีการแจกแจงแบบปกติ (Kolmogorov-Smirnov = 0.176, p-value = 0.145) มีการเคลื่อนไหวเป็นอิสระต่อกัน แสดงดัง Figure 2 มีค่าเฉลี่ยเท่ากับศูนย์ ($t = 2.06$, p-value = 0.62) และมีความแปรปรวนคงที่ทุกช่วงเวลา (Levene Statistic = 0.33, p-value = 0.889)

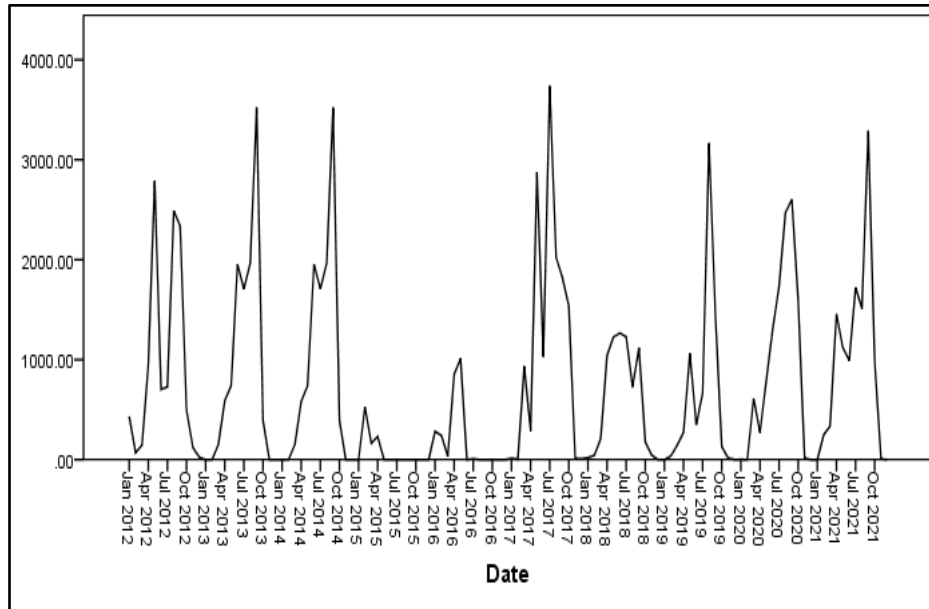


Figure 1 Movement of time series monthly rainfall data from January 2012 to December 2021.

Table 1 Statistics and p-value test independent of error in Holt-Winter model by autocorrelation Ljung-Box Q method

Lag	df	Statistical value	p-value
18	16	20.365	0.204

*Significant difference at $p < 0.05$.

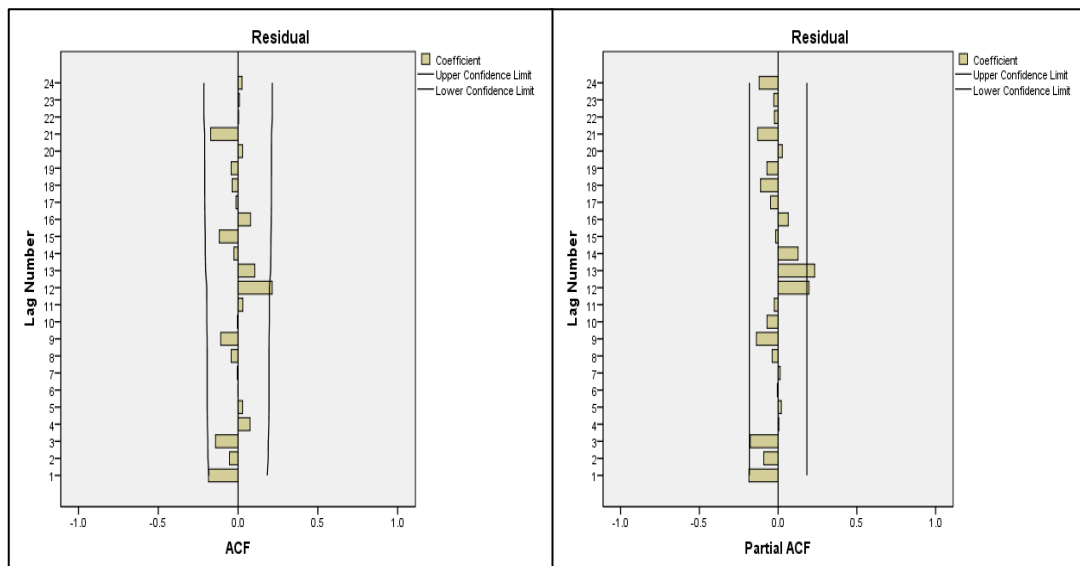


Figure 2 Histogram ACF and PACF of forecasting error by Holt-Winter method.

2.2 วิธีของบ็อกซ์-เจนกินส์

การตรวจสอบข้อมูล จากการพิจารณากราฟ (t, X_t)

กราฟ ACF และ PACF พบว่าอนุกรมเวลาอย่างไม่คงที่ เนื่องจากมีส่วนประกอบของความแปรผันตามฤดูกาลใน Figure 3 ดังนั้นผู้วิจัยจึงได้

ทำการแปลงข้อมูลโดยการหาผลต่างฤดูกาลอันดับที่ 1 ($d = 1$) ได้กราฟ ACF และ PACF ของอนุกรมเวลาที่แปลงข้อมูลแล้ว แสดงดัง Figure 4 ซึ่งพบว่าอนุกรมเวลามีลักษณะคงที่ ดังนั้นจึงกำหนดตัวแบบพยากรณ์โดยพิจารณาจากกราฟ ACF และ PACF จาก Figure 4 พบว่าตัวแบบที่

เหมาะสมในการวิจัยนี้คือตัวแบบ SARIMA(0,0,1)(0,1,2)₁₂ และประมาณค่าพารามิเตอร์ แสดงใน Table 2 ค่าสถิติ Ljung-Box Q ไม่มีระดับนัยสำคัญที่ระดับ 0.05 ดัง Table 3 เมื่อตรวจสอบคุณลักษณะของความคลาดเคลื่อนจากการพยากรณ์พบว่า ความคลาดเคลื่อนมีการแจกแจงแบบปกติ (Kolmogorov-Smimov Statistic = 0.210, p-value = 0.235) มี

การเคลื่อนไหวเป็นอิสระต่อกัน ดัง Figure 5 มีค่าเฉลี่ยเท่ากับศูนย์ ($t = 0.09$, p-value = 0.923) และมีความแปรปรวนคงที่ทุกช่วงเวลา (Levene Statistic = 0.24, p-value = 0.943) ดังนั้นตัวแบบ SARIMA(0,0,1)(0,1,2)₁₂ จึงเป็นแบบที่เหมาะสมสำหรับการพยากรณ์ปริมาณน้ำฝน โดยวิธีของบ็อกซ์-เจนกินส์

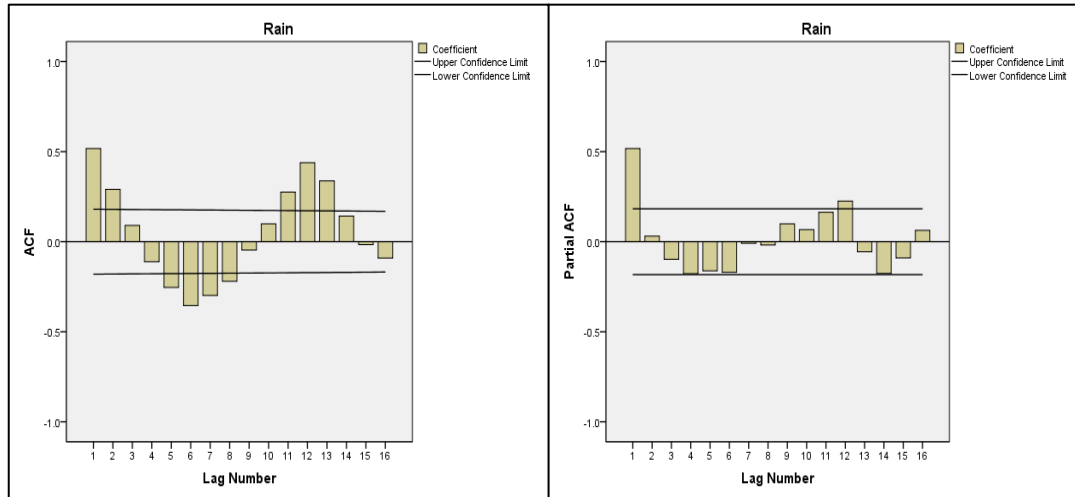


Figure 3 Histogram ACF and PACF of monthly rainfall by Box-Jenkins method.

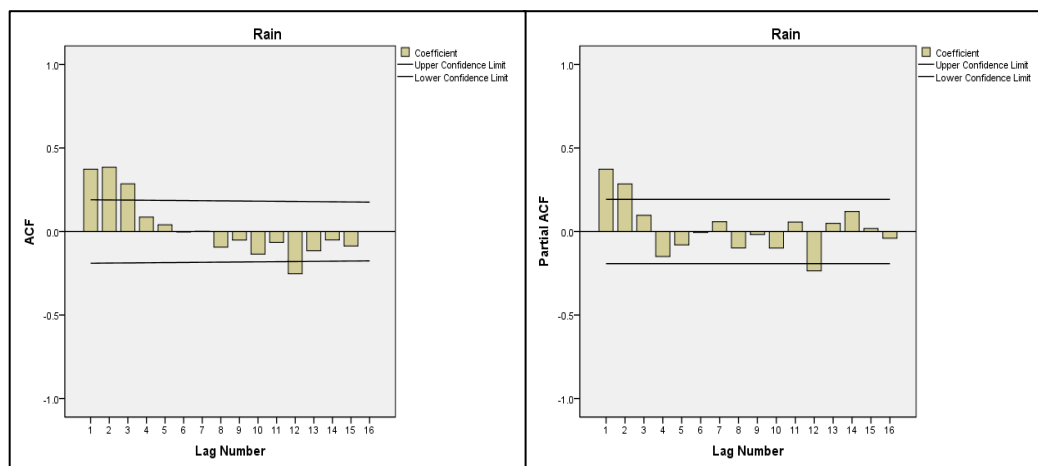


Figure 4 Histogram ACF and PACF of time series monthly rainfall data transform rank seasonal difference 1 by Box-Jenkins method.

Table 2 Estimate parameter by SARIMA(0,0,1)(0,1,2)₁₂ model

Parameter	Estimate	Statistical value	p-value
MA 1(θ_1)	-0.2459	-2.54	0.013
SMA 12(θ_{12})	0.6277	6.09	0.000
SMA 24(θ_{24})	0.2320	2.14	0.035

*Significant difference at $p < 0.05$.

ตัวแบบ SARIMA(0,0,1)(0,1,2)₁₂ ดังสมการที่ (13)

$$X_t - X_{t-1} = 0.2459u_{t-1} - 0.6277u_{t-12} - 0.6277u_{t-24} \quad (13)$$

เมื่อ X_{t-1} แทนอนุกรมเวลา ณ เวลา $t-1$

u_t แทนอนุกรมเวลาของความคลาดเคลื่อนที่มีการแจกแจง

ปกติและเป็นอิสระต่อกัน ด้วยค่าเฉลี่ยเท่ากับศูนย์ และความแปรปรวนคงที่ทุกช่วงเวลา

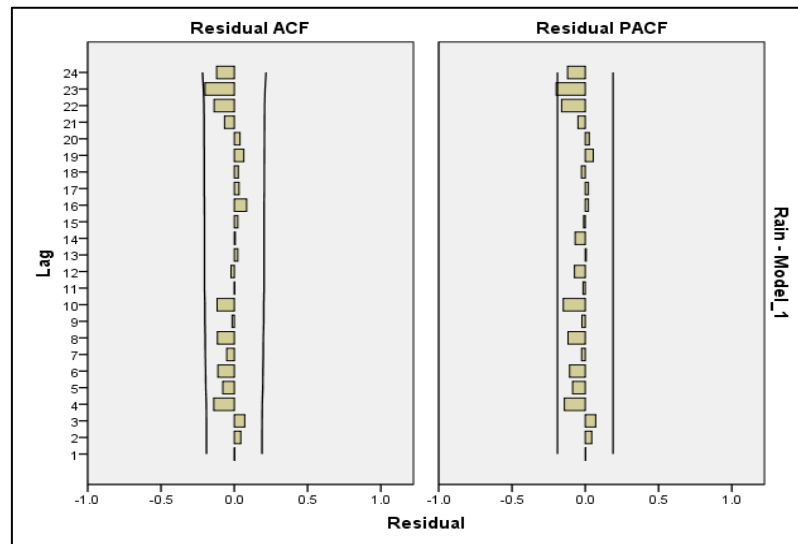
3. ผลการเปรียบเทียบความแม่นยำของค่าพยากรณ์

จากการใช้ตัวแบบพยากรณ์ทั้ง 2 ตัวแบบ ได้ค่า MAPE สำหรับอนุกรมเวลาชุดที่ 1 คือปริมาณน้ำฝนรายเดือนตั้งแต่เดือนมกราคม 2555 ถึงเดือนธันวาคม 2564 ดังแสดงใน Table 4 ผลการเปรียบเทียบความแม่นยำของค่า MAPE พบว่า ตัวแบบพยากรณ์วิธีของบ็อกซ์-เจนกินส์ เป็นวิธีที่มีความแม่นยำมากที่สุด เนื่องจากให้ค่า MAPE ที่มีค่าต่ำสุด

Table 3 Statistics and p-value test independent of error in Box-Jenkins model by autocorrelation Ljung-Box Q method

Lag	df	Statistical value	p-value
18	15	16.287	0.363

*Significant difference at $p < 0.05$.

**Figure 5** Histogram ACF and PACF of forecasting error by Box-Jenkins method.**Table 4** Compare MAPE of forecasting 2 models

Value	Monthly Rainfall (mm.) forecasting	
	Holt-Winter method	Box-Jenkins method
MAPE	355	288.68

Table 5 Compare monthly rainfall and forecasting value Box-Jenkins method

Month	Monthly Rainfall (mm)	Monthly Rainfall (mm) forecasting by Box-Jenkins method
Jan 2022	22	63.81
Feb 2022	156.4	176.99
Mar 2022	443.6	292.29
Apr 2022	533.6	904.95
May 2022	2367.5	1258.85
Jun 2022	1494.4	880.04
Jul 2022	2888	1371.71
Aug 2022	3006.4	1757.83
Sep 2022	3841.4	2274.21
Oct 2022	1171.9	610.20

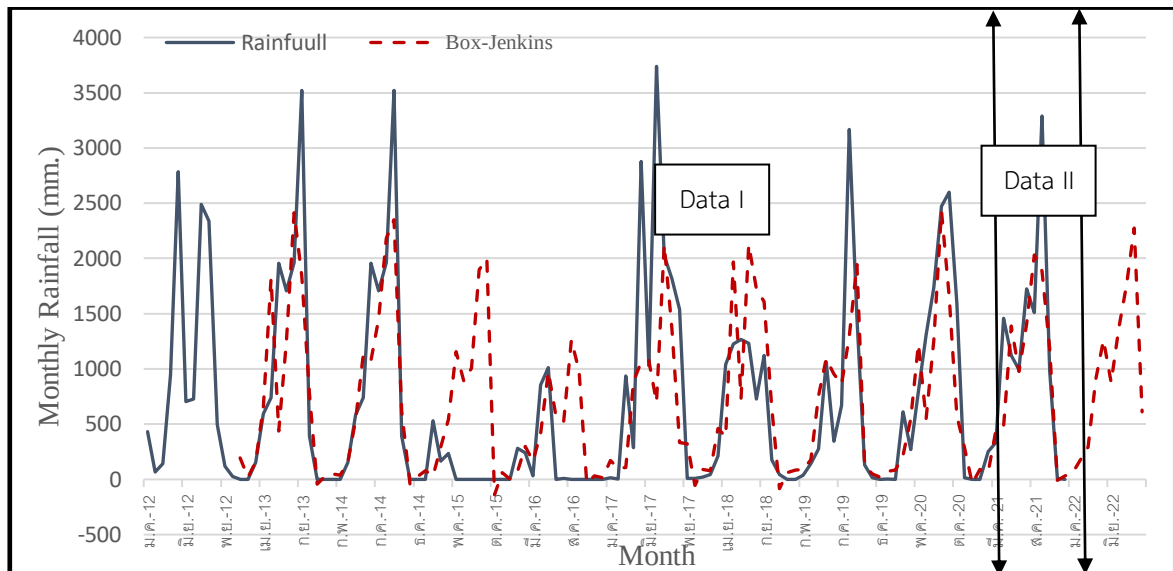


Figure 6 Time series plot of monthly rainfall and forecasting value Box-Jenkins method.

การวิจัยครั้งนี้ได้นำเสนอตัวแบบที่เหมาะสมสำหรับอนุกรมเวลาปริมาณน้ำฝนรายเดือนที่เก็บจากการติดตั้งสถานีวัดน้ำฝนอัตโนมัติในพื้นที่ และกรมอุตุนิยมวิทยาภาคตะวันออกเฉียงเหนือตอนบน ทำอากาศยานขอนแก่น ตำบลบ้านเป็ด อำเภอเมือง จังหวัดขอนแก่น ผู้วิจัยได้แบ่งข้อมูลออกเป็น 2 ชุด ชุดที่ 1 คือ ข้อมูลตั้งแต่เดือนมกราคม 2555 ถึงเดือนธันวาคม 2564 จำนวน 120 เดือน สำหรับใช้ในการสร้างตัวแบบการพยากรณ์ด้วยวิธีการทางสถิติทั้ง 2 คือ วิธีของโฮลท์-วินเทอร์ และวิธีของบ็อกซ์-เจนกินส์ ใช้เปรียบเทียบความแม่นยำของการพยากรณ์ด้วยเกณฑ์ร้อยละของความคลาดเคลื่อนสัมบูรณ์เฉลี่ย (MAPE) ที่ต่ำที่สุด พบว่า วิธีของบ็อกซ์-เจนกินส์ เป็นวิธีที่มีความแม่นยำมากที่สุด ให้ค่าร้อยละของความคลาดเคลื่อนสัมบูรณ์เฉลี่ยต่ำที่สุดเท่ากับ 288.68 รองลงมาคือตัวแบบวิธีของโฮลท์-วินเทอร์ ให้ค่าร้อยละของความคลาดเคลื่อนสัมบูรณ์เฉลี่ยต่ำที่สุดเท่ากับ 355 ตามลำดับ ข้อมูลชุดที่ 2 ตั้งแต่เดือนมกราคม 2565 ถึงเดือนตุลาคม 2565 จำนวน 10 เดือน ใช้ในการพยากรณ์ปริมาณน้ำฝนรายเดือนด้วยวิธีของบ็อกซ์-เจนกินส์ เมื่อเปรียบเทียบค่าพยากรณ์ที่ได้จากวิธีของบ็อกซ์-เจนกินส์ และปริมาณน้ำฝนรายเดือน ดังแสดงใน Table 5 มีปริมาณน้ำฝนรวมเฉลี่ยตั้งแต่เดือนมกราคม 2565 ถึงเดือนตุลาคม 2565 จำนวน 10 เดือนปี 2565 ประมาณ 1,767.022 มิลลิเมตร ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Panichkitkosolkul (2009) ที่กล่าวว่าในช่วงต้น จะเห็นได้ว่าตัวแบบที่สามารถนำไปประยุกต์ใช้ในทางเกษตรช่วยในการวางแผน บริหารจัดการน้ำ เพื่อรับมือกับปัญหาภัยแล้งและปัญหาน้ำท่วมที่เกิดขึ้นในจังหวัดมหาสารคามต่อไปในอนาคตได้

สรุปผลการวิจัย

การวิจัยครั้งนี้ได้นำเสนอตัวแบบที่เหมาะสมสำหรับอนุกรมเวลาปริมาณน้ำฝนรายเดือน โดยเปรียบเทียบความแม่นยำของการพยากรณ์ด้วยเกณฑ์ร้อยละของความคลาดเคลื่อนสัมบูรณ์เฉลี่ย (MAPE) ที่ต่ำที่สุด ของ 2 ตัวแบบ คือ วิธีของโฮลท์-วินเทอร์ และวิธีของบ็อกซ์-เจนกินส์ พบว่าวิธีของบ็อกซ์-เจนกินส์ เป็นวิธีที่มีความแม่นยำมากที่สุด ให้ค่าร้อยละของความคลาดเคลื่อนสัมบูรณ์เฉลี่ยต่ำที่สุดเท่ากับ 288.68 รองลงมาคือตัวแบบวิธีของโฮลท์-วินเทอร์ ให้ค่าร้อยละของค่า

คลาดเคลื่อนสัมบูรณ์เฉลี่ยต่ำที่สุดเท่ากับ 355 ตามลำดับ อย่างไรก็ตามจะเห็นได้ว่าจาก Table 5 จะพบปริมาณน้ำฝนค่าจริงและปริมาณน้ำฝนที่ได้จากการพยากรณ์ด้วยวิธีของบ็อกซ์-เจนกินส์ มีความคลาดเคลื่อนค่อนข้างมาก การนำไปใช้ควรพิจารณาตามความเหมาะสมและปริมาณน้ำฝนอาจไม่ได้ขึ้นอยู่กับปัจจัยเวลาเพียงปัจจัยเดียว ดังนั้นการศึกษาครั้งต่อไป ผู้วิจัยควรพิจารณาปัญหาอื่น ๆ ในการสร้างตัวแบบพยากรณ์ด้วย เช่น ปริมาณอุณหภูมิ ความชื้น และความเร็วลม เป็นต้น ผู้วิจัยควรมานำมาปรับปรุงตัวแบบเพื่อให้ได้ตัวแบบพยากรณ์ที่มีความเหมาะสมสำหรับการพยากรณ์ในอนาคตต่อไป

กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบพระคุณสถาบันวิจัยและพัฒนา มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม ที่ได้อนุมัติทุนอุดหนุนการวิจัย อีกทั้งผู้ที่เกี่ยวข้องภายในมหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคามที่สนับสนุน ส่งเสริมในการดำเนินงานวิจัยฉบับนี้ด้วยดี ผู้วิจัยใคร่ขอขอบพระคุณไว้ ณ ที่นี้

References

- Box, G. E. P., Jenkins, G. M., & Reinsel, G. C., (1994). *Time series analysis: forecasting and control* (3rd ed.). Englewood Cliff, New Jersey, United States: Prentice Hall Inc.
- Bowerman, B. L., & O'Cannell R. T., (1993). *Forecasting and time series: an applied approach* (3rd ed.). Belmont, California, United States: Duxbury Press.
- Department of water Resources. (2023). *Rainfall*. Accessed August 20, 2023. Retrieved from <http://system.dwr.go.th/knowledge/index.php/th/>. (in Thai)
- Keerativibool, W., (2015). Foeceasting the rainfall in Mung, Nan Province. *KMUTT Journal Research and Development*, 38(3), 211-223. (in Thai)
- Lorchirachoonlukul, V., & Jitthavech, J., (2005). *Forecast techniques* (3rd ed.). Bangkok, Thailand: National Institute of

- Development Administration. (in Thai)
- Panichkitkosolkul, W., (2009). Monthly rainfall amount forecasting of meteorological stations and agrometeorological stations in Northeastern Thailand. *Thai Science and Technology Journal*. 17(2), 1-12. (in Thai)
- Panta, C., & Sumlanrit, Y., (2017). Monthly rainfall amount forecasting in Nakhon Sawan by statistical forecasting techniques. *Science and Technology Nakhon Sawan Rajabhat University Journal*, 9(10), 127-142. (in Thai)
- Papukdee, N., Senawong, N., & Busababodhin, P., (2019). A comparative forecasting model of monthly rainfall in the Northeast of Thailand. *The Journal of King Mongkut's University of Technology North Bangkok*, 29(2), 302-313. (in Thai)
- Upper Northeastern Meteorological Center. (2023). *Weather atmosphere in Maha Sarakham Province, Thailand*. Accessed August 20, 2023. Retrieved from [http://climate.tmd.go.th/data/province/northeastern/Maha sarakham.pdf](http://climate.tmd.go.th/data/province/northeastern/Maha%20sarakham.pdf). (in Thai)

Research article

Monthly rainfall amount forecasting for agriculture by statistical forecasting techniques in Maha Sarakham Province

Niwat Suvanna

Applied Statistics Faculty of Science and Technology, Rajabhat Maha Sarakham University, Maha Sarakham Province, 44000

ARTICLE INFO**Article history**

Received: 6 September 2023

Revised: 11 December 2023

Accepted: 4 January 2024

Online published: 20 March 2024

Keyword

Rainfall amount forecasting

Holt-winter method

Box-Jenkins method

ABSTRACT

The objectives of this research are to study the monthly rainfall amount for agriculture in Maha Sarakham Province using the data obtained from Upper Northeastern Meteorological Center employing the use of statistical forecasting techniques and comparing the appropriate model of monthly rainfall by two (2) models, namely the Holt - Winter method and the Box-Jenkins method. The comparison was considered by mean absolute percentage error (MAPE). In this study, we use monthly rainfall data in Maha sarakham Province collected from January 2012 to December 2021, totaling 120 for constructing two (2) models. The second set had 10 months from January 2022 to October 2022 from studying the model of monthly rainfall by 2 models for forecasts monthly rainfall data in Maha sarakham Province. The appropriate model for monthly rainfall for agricultural activities in Maha sarakham Province is the Box -Jenkins method with the lowest MAPE of 288.68.

*Corresponding author

E-mail address: niwat_su@yahoo.com (N. Suvanna)

Online print: 20 March 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.2024.6>



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

บทความวิจัย

การเข้าสู่การผลิตข้าวอินทรีย์ที่ได้รับรองมาตรฐานเกษตรอินทรีย์ของเกษตรกรในคาบสมุทรสหิงพระจังหวัดสงขลา

ปริยากร บุญส่ง^{1*} พิไลวรรณ ประพฤติ² และ ศรีณยู กาญจนสุวรรณ³

¹หลักสูตรการจัดการทรัพยากรเกษตรเขตร้อน สาขาวิชานวัตกรรมกรรมการเกษตรและการจัดการ คณะทรัพยากรธรรมชาติ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขตหาดใหญ่ อำเภอหาดใหญ่ จังหวัดสงขลา 90110 ประเทศไทย

²สาขาวิชานวัตกรรมกรรมการเกษตรและการจัดการ คณะทรัพยากรธรรมชาติ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์วิทยาเขตหาดใหญ่ อำเภอหาดใหญ่ จังหวัดสงขลา 90110 ประเทศไทย

³สาขาวิชาบริหารธุรกิจ คณะวิทยาการจัดการ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขตหาดใหญ่ อำเภอหาดใหญ่ จังหวัดสงขลา 90110 ประเทศไทย

ข้อมูลบทความ	บทคัดย่อ
Article history รับ: 27 พฤศจิกายน 2566 แก้ไข: 9 มกราคม 2567 ตอบรับการตีพิมพ์: 26 มกราคม 2567 ตีพิมพ์ออนไลน์: 4 เมษายน 2567 คำสำคัญ ข้าวอินทรีย์ การรับรอง มาตรฐานเกษตรอินทรีย์ คาบสมุทรสหิงพระ	การศึกษาในครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษา (1) บริบทและสถานการณ์ปัจจุบันในการผลิตข้าว (2) แรงจูงใจในการเข้าสู่การผลิตข้าวอินทรีย์ (3) ปัจจัยเชิงสาเหตุในการเข้าสู่การผลิตข้าวอินทรีย์ที่ได้รับการรับรองมาตรฐานเกษตรอินทรีย์ของเกษตรกรในคาบสมุทรสหิงพระ จังหวัดสงขลา เป็นการศึกษาเชิงคุณภาพ ใช้ทั้งข้อมูลทุติยภูมิที่เกี่ยวข้องซึ่งรวบรวมได้โดยหน่วยงานของภาครัฐและภาคเอกชน และใช้ข้อมูลปฐมภูมิกลุ่มเกษตรกรที่ทำนาอินทรีย์ จำนวน 37 ราย และเจ้าหน้าที่และนักวิชาการ จำนวน 3 ราย รวมทั้งสิ้น 40 ราย ใช้การสัมภาษณ์เชิงลึกร่วมกับการสังเกตการณ์ ใช้สถิติอย่างง่าย และวิเคราะห์ข้อมูลที่ได้ ผลการศึกษาพบว่า มีการผลิตข้าวอินทรีย์ที่ได้รับการรับรองมาตรฐานเกษตรอินทรีย์ (Organic Thailand) เฉลี่ยประมาณร้อยละ 1 ของพื้นที่นาทั้งหมด โดยได้รับการรับรองในระหว่างการรับรองมาตรฐานเกษตรอินทรีย์ หรือ (T3) แรงจูงใจในการเข้าสู่การผลิตข้าวอินทรีย์ประกอบด้วย (1) นโยบายในการส่งเสริมของภาครัฐและภาคเอกชน (2) สภาพแวดล้อม (3) ราคาพืชทดแทน และ (4) ราคาปัจจัยการผลิต ปัจจัยเชิงสาเหตุในการเข้าสู่การผลิตที่ได้รับการรับรองมาตรฐาน ประกอบด้วย (1) ความมุ่งมั่นและตั้งใจของเกษตรกร (2) การส่งเสริมของภาครัฐ (3) ผู้นำชุมชน และ (4) การสนับสนุนจากโครงการของภาครัฐ ปัจจัยเชิงสาเหตุในการไม่เข้าสู่การรับรองมาตรฐาน ประกอบด้วย (1) ความยุ่งยากในระบบการตรวจรับรองการประเมิน (2) ความล่าช้าของเงินอุดหนุน (3) การเปลี่ยนแปลงกรรมสิทธิ์ (4) การขาดแคลนแรงงาน (5) การจัดจำหน่ายผลผลิต การแก้ปัญหาข้างต้นและการทำให้เกษตรกรเล็งเห็นคุณค่าและความสำคัญของการขอรับรองมาตรฐานเกษตรอินทรีย์จะส่งผลให้แนวโน้มการผลิตข้าวอินทรีย์ในคาบสมุทรสหิงพระ จังหวัดสงขลา เพิ่มขึ้น

บทนำ

เกษตรอินทรีย์ (Organic agriculture) เป็นการทำการเกษตรกรรมที่ยืนรูปแบบหนึ่ง เป็นแนวทางการทำเกษตรที่สอดคล้องกับวิถีธรรมชาติ เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม ทำให้ระบบนิเวศมีความสมดุล สร้างความมั่นคงทางด้านอาหาร และมีความปลอดภัยต่อสุขภาพทั้งผู้ผลิตและผู้บริโภค (Badgley et al., 2007; Chouichom & Yamao 2010) ประเทศไทยให้ความสำคัญกับการพัฒนาเกษตรอินทรีย์ของประเทศ และผลักดันให้เกษตรอินทรีย์เป็นวาระแห่งชาติอย่างจริงจังในปี พ.ศ. 2560 – พ.ศ. 2565 โดยได้กำหนดเป้าหมายเพิ่มพื้นที่เกษตรอินทรีย์เป็น 2.00 ล้านไร่ ในปี พ.ศ. 2570 (Office of the Permanent Secretary for Interior, 2022) ปี พ.ศ. 2566 ประเทศไทยมีพื้นที่เกษตรอินทรีย์ จำนวน 1,403,441.00 ไร่ เพิ่มขึ้นจากปีก่อนหน้าซึ่งมีจำนวน 1,348,155.00 ไร่ (เพิ่มขึ้นร้อยละ 4) มีมูลค่าสินค้าเกษตรอินทรีย์รวม 9,169.29 ล้านบาท เพิ่มขึ้นจากปีที่ผ่านมาที่มี

มูลค่า 7,127.63 ล้านบาท (เพิ่มขึ้นร้อยละ 27) (National Organic Agriculture Development Board, 2022) ทั้งนี้ นอกจากกระแสความนิยมของผู้บริโภคในการดูแลสุขภาพแล้ว ปัจจุบันการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างประชากรเข้าสู่สังคมผู้สูงอายุ รวมไปถึงสภาพภูมิอากาศที่มีแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงมากขึ้น ทุกภาคส่วนจึงให้ความสำคัญกับการทำการเกษตรแบบยั่งยืนและเกษตรอินทรีย์ เพื่อรักษาระบบนิเวศของทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม (Shea et al., 2002) และเป็นโอกาสและช่องทางการขยายตลาดสินค้าเกษตรอินทรีย์ในประเทศ (Office of Agricultural Economics, 2023) การผลิตข้าวอินทรีย์ แบ่งออกเป็น 2 ประเภท ได้แก่ (1) ข้าวอินทรีย์วิถีพื้นบ้าน และ (2) ข้าวอินทรีย์ตามมาตรฐานสากล ซึ่งเกษตรกรและผู้ประกอบการต้องปฏิบัติตามเพื่อให้ผ่านการรับรอง (Rice Family Thailand, n.d.)

*Corresponding author

E-mail address: priyakorn_bs@hotmail.com (P. Bunsong)

Online print: 4 April 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.2024.7>

คาบสมุทรสทิงพระ เป็นพื้นที่ฝั่งตะวันออกของทะเลสาบสงขลา อยู่ระหว่างทะเลสาบสงขลา กับทะเลอ่าวไทย ครอบคลุมพื้นที่ 4 อำเภอ ของจังหวัดสงขลา ประกอบด้วย อำเภอสิงหนคร อำเภอสทิงพระ อำเภอระโนด และอำเภอกระแสสินธุ์ นับเป็นแผ่นดินทองของการผลิตสินค้าเกษตร เป็นพื้นที่ที่เหมาะสมในการปลูกข้าว (Songkhla Provincial Agricultural Extension Office, 2020) มีศักยภาพในการผลิตข้าวทั้งในระบบเคมีและระบบอินทรีย์ หน่วยงานต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องต่างมุ่งยกระดับการผลิตให้มีศักยภาพมากยิ่งขึ้น (Integrated Provincial Administration Committee, Songkhla Province, 2019) เป็นพื้นที่ที่มีเกษตรกรผู้ผลิตข้าวอินทรีย์ที่ได้รับรองมาตรฐานเกษตรอินทรีย์ (Organic Thailand) ในภาคใต้ จากการจำแนกตามชั้นความเหมาะสมของที่ดินคาบสมุทรสทิงพระนับเป็นพื้นที่เหมาะสมสูง (S1) เนื้อที่ 262,706.00 ไร่ คิดเป็นร้อยละ 51.64 ของพื้นที่ศักยภาพสูง มีพื้นที่เป้าหมายส่งเสริมการปลูกข้าวภายใต้แผนการผลิตและการตลาดข้าวครบวงจรตามประกาศกระทรวงเกษตรและสหกรณ์ ข้าวนาปีในปีการผลิต พ.ศ. 2564/65 รวม 130,503.00 ไร่ เป็นข้าว 129,500.00 ไร่ และข้าวตลาดเฉพาะ 1,030.00 ไร่ และมีพื้นที่ปลูกที่ได้รับการรับรองมาตรฐานเกษตรอินทรีย์ชนิดพืชข้าว 370.00 ไร่ (Office of The Permanent Secretary for Ministry of Agricultural and Cooperatives, 2022)

การผลิตข้าวอินทรีย์ที่มีมาตรฐานรับรองของเกษตรกร ในคาบสมุทรสทิงพระมีแนวโน้มลดลงอย่างต่อเนื่อง ในขณะที่การผลิตข้าวอินทรีย์และจำหน่ายในรูปแบบที่ไม่ต้องมีมาตรฐานรองรับมีเพิ่มขึ้น ซึ่งพื้นที่ในคาบสมุทรสทิงพระมีศักยภาพในการเพิ่มกำลังการผลิตข้าวอินทรีย์เพื่อให้ได้รับการรับรองมาตรฐานได้ อีกทั้งปริมาณความต้องการข้าวอินทรีย์ในตลาดท้องถิ่น พื้นที่ใกล้เคียง และความต้องการของผู้บริโภคในตลาดเฉพาะกลุ่ม (Niche market) ได้แก่ ตลาดข้าวสุขภาพยังมีความต้องการอีกมาก ซึ่งการแข่งขันในตลาดดังกล่าวยังไม่สูงเท่ากับตลาดข้าวทั่วไป หากข้าวอินทรีย์ในคาบสมุทรสทิงพระมีมาตรฐานเกษตรอินทรีย์รับรองจะส่งผลให้เกษตรกรจำหน่ายผลผลิตได้ในราคาที่สูงขึ้น ความเชื่อมั่นของผู้บริโภคมีเพิ่มขึ้น และสามารถขยายตลาดในการจำหน่ายได้มากขึ้น ดังนั้นจึงเป็นที่มาในการศึกษา (1) บริบทและสถานการณ์ปัจจุบันในการผลิตข้าวของเกษตรกร (2) แรงจูงใจในการเข้าสู่การผลิตข้าวอินทรีย์ของเกษตรกร (3) ปัจจัยเชิงสาเหตุในการเข้าสู่การผลิตข้าวอินทรีย์ที่ได้รับการรับรองมาตรฐานเกษตรอินทรีย์ของเกษตรกร เพื่อเป็นแนวทางในการส่งเสริมการปลูกข้าวอินทรีย์ในคาบสมุทรสทิงพระที่มีมาตรฐานเกษตรอินทรีย์และยกระดับการผลิตข้าวอินทรีย์ต่อไป

อุปกรณ์และวิธีการวิจัย

การศึกษาในครั้งนี้เป็นการศึกษาเชิงคุณภาพ โดยใช้ข้อมูลแบ่งออกเป็น 2 ส่วน (1) ข้อมูลทุติยภูมิกลุ่มเกษตรกรผู้ปลูกข้าวอินทรีย์จังหวัดสงขลา ปี พ.ศ. 2565 จากศูนย์เมล็ดพันธุ์ข้าวปัตตานี และข้อมูลทะเบียนเกษตรกรผู้ปลูกข้าวอินทรีย์ จากกองตรวจสอบรับรองมาตรฐานข้าวและผลิตภัณฑ์ กรมการข้าว และ ข้อมูลทะเบียนเกษตรกรผู้ปลูกข้าวนาปี พ.ศ. 2565/66 จากกรมส่งเสริมการเกษตร รวมทั้งข้อมูลอื่น ๆ ที่เกี่ยวข้องกับการศึกษาที่รวบรวมไว้ทั้งจากภาครัฐและภาคเอกชน (2) ข้อมูลปฐมภูมิจากเกษตรกรผู้ผลิตข้าวอินทรีย์และ

ผู้ที่มีส่วนเกี่ยวข้อง และดำเนินการเก็บข้อมูลจนกระทั่งข้อมูลมีความอิ่มตัว โดยเก็บข้อมูลจากจากตัวแทนกลุ่มเกษตรกรที่ผลิตข้าวอินทรีย์ในคาบสมุทรสทิงพระจำนวน 37 ราย ซึ่งเป็นผู้ที่ยังคงได้รับรองมาตรฐานเกษตรอินทรีย์อยู่และผู้ที่ไม่ได้รับรองมาตรฐานดังกล่าวแล้ว และเจ้าหน้าที่และนักวิชาการผู้ดูแลเกษตรกรผู้ผลิตข้าวอินทรีย์ จำนวน 3 ราย รวมผู้ให้ข้อมูลทั้งสิ้น 40 ราย ในการเก็บรวบรวมข้อมูล ใช้แบบสัมภาษณ์ ใช้เทคนิคการสัมภาษณ์เชิงลึก (In-depth interview) ร่วมกับการสังเกตการณ์ทั้งแบบมีส่วนร่วมและไม่มีส่วนร่วม ใช้การตรวจสอบข้อมูลแบบสามเส้า (Triangulation) ซึ่งพบว่าข้อมูลที่ได้มีความสอดคล้องและเป็นไปในทิศทางเดียวกัน การวิเคราะห์ข้อมูลใช้สถิติอย่างง่าย เช่น ค่าร้อยละ ค่าเฉลี่ย เป็นต้น และการวิเคราะห์เชิงเนื้อหา (Content analysis)

ผลและวิจารณ์ผลการวิจัย

1. บริบทและสถานการณ์ปัจจุบันในการผลิตข้าวของเกษตรกรในคาบสมุทรสทิงพระ

การศึกษาในครั้งนี้แบ่งเป็น (1) การผลิตข้าวรวม และ (2) การผลิตข้าวอินทรีย์ที่ได้รับการรับรองมาตรฐานเกษตรอินทรีย์ของเกษตรกร ผลการศึกษาเป็นดังนี้

1.1 การผลิตการผลิตข้าวรวมของเกษตรกรในคาบสมุทรสทิงพระ

ในการผลิตการผลิตข้าวรวม พบว่า ในปีการเพาะปลูก พ.ศ. 2565/2566 พื้นที่คาบสมุทรสทิงพระ มีเกษตรกรที่ขึ้นทะเบียนเกษตรกรทั้งหมด 7,072.00 ครัวเรือน แบ่งเป็น (1) เกษตรกรในอำเภอกระแสสินธุ์ 756.00 ครัวเรือน (2) อำเภอสิงหนคร 1,970.00 ครัวเรือน (3) อำเภอระโนด 2,490.00 ครัวเรือน และ (4) อำเภอสทิงพระ 1,856.00 ครัวเรือน มีพื้นที่ปลูกข้าวนาปีทั้งหมด 15,531.00 แปลง 75,329.48 ไร่ แบ่งเป็น (1) ที่นาในอำเภอกระแสสินธุ์ 1,569.00 แปลง 6,920.12 ไร่ (2) อำเภอสิงหนคร 4,677.00 แปลง 16,251.71 ไร่ (3) อำเภอระโนด 5,477.00 แปลง 39,990.38 ไร่ และ (4) อำเภอสทิงพระ 3,808.00 แปลง 12,167.27 ไร่ (Table 1)

1.2 การผลิตข้าวอินทรีย์ที่ได้รับการรับรองมาตรฐานเกษตรอินทรีย์ของเกษตรกรในคาบสมุทรสทิงพระ

ในการผลิตข้าวอินทรีย์ที่ได้รับการรับรองมาตรฐาน พบว่า ในปี พ.ศ. 2565 กลุ่มเกษตรกรที่ได้รับการรับรองมาตรฐานเกษตรอินทรีย์ในคาบสมุทรสทิงพระ มีทั้งสิ้น 37 ราย แบ่งเป็น (1) เกษตรกรในอำเภอกระแสสินธุ์ 14 ราย (2) อำเภอสิงหนคร 21 ราย (3) อำเภอระโนด 2 ราย และ (4) อำเภอสทิงพระไม่มีเกษตรกรที่ได้รับการรับรองมาตรฐานดังกล่าว ทั้งหมดได้รับการรับรองมาตรฐานในระยะให้การรับรอง หรือ (T3) พื้นที่นาผลิตข้าวอินทรีย์ที่รับรองมาตรฐานเกษตรอินทรีย์ ทั้งหมด 55.00 แปลง คิดเป็นร้อยละ 0.35 ของจำนวนแปลงทั้งหมด มีจำนวน 232.00 ไร่ คิดเป็นร้อยละ 0.31 ของพื้นที่ทั้งหมด แบ่งเป็น (1) เกษตรกรในอำเภอกระแสสินธุ์ 15.00 แปลง คิดเป็นร้อยละ 0.96 ของจำนวนแปลงทั้งหมด มีจำนวน 15.00 ไร่ คิดเป็นร้อยละ 1.42 ของพื้นที่ทั้งหมด (2) อำเภอสิงหนคร 31 แปลง คิดเป็นร้อยละ 0.66 ของจำนวนแปลงทั้งหมด มีจำนวน 94.00 ไร่ คิดเป็นร้อยละ 0.58 ของพื้นที่ทั้งหมด (3) อำเภอระโนด 9.00 แปลง คิดเป็นร้อยละ 0.16 ของจำนวนแปลงทั้งหมด มีจำนวน 40 ไร่ คิดเป็นร้อยละ 0.10 ของพื้นที่ทั้งหมด และ (4) อำเภอสทิงพระไม่มีที่นาของเกษตรกรที่ได้รับการรับรอง

มาตรฐานดังกล่าว จะเห็นได้ว่านาข้าวอินทรีย์ในคาบสมุทรสหิงพระที่ได้รับรองมาตรฐานมีสัดส่วนที่น้อยเมื่อเปรียบเทียบกับพื้นที่นาทั้งหมดส่วนใหญ่ในแต่ละอำเภอมีย่านพื้นที่นาอินทรีย์น้อยกว่าร้อยละ 1.00 มีเพียงอำเภอกระแสน์บุรีเท่านั้นที่มีพื้นที่นาอินทรีย์มากกว่าร้อยละ 1.00 (Table 1) ทั้งนี้ อาจเป็นเพราะการทำนาในภาคใต้ไม่มีการทำนาอินทรีย์ในรูปแบบที่มีสัญญาฉบับบริษัทหรือหน่วยงานอิสระ เหมือนในภูมิภาคอื่น ๆ ของประเทศ โดยเฉพาะภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ส่วนใหญ่เป็นการร่วมในโครงการของภาครัฐ (Thailand Development Research Institute, 2010) ส่งผลให้มีปริมาณการทำนาอินทรีย์น้อย เมื่อพิจารณาปริมาณการผลิตข้าวอินทรีย์ที่ได้รับรองมาตรฐานรายอำเภอ สามารถจำแนกได้ดังนี้ (1) อำเภอกระแสน์บุรี มีเกษตรกร คิดเป็นร้อยละ 37.84 ของเกษตรกรที่ทำนาอินทรีย์ทั้งหมด มีจำนวนแปลง คิดเป็นร้อยละ 27.27 ของจำนวนแปลงทั้งหมด มีพื้นที่ปลูก คิดเป็นร้อยละ 42.24 ของพื้นที่ปลูกข้าวอินทรีย์ทั้งหมด (2) อำเภอลองนคร มีเกษตรกร คิดเป็นร้อยละ 56.76 ของเกษตรกรที่ทำนาอินทรีย์ทั้งหมด มีจำนวนแปลง คิดเป็นร้อยละ 56.36 ของจำนวนแปลงทั้งหมด มีพื้นที่ปลูก คิดเป็นร้อยละ 40.52 ของพื้นที่ปลูกข้าวอินทรีย์ทั้งหมด และ (3) อำเภอรอนดง มีเกษตรกร คิดเป็นร้อยละ 5.41 ของเกษตรกรที่ทำนาอินทรีย์ทั้งหมด มีจำนวนแปลง คิดเป็นร้อยละ 16.36 ของจำนวนแปลงทั้งหมด มีพื้นที่ปลูก คิดเป็นร้อยละ 17.24 ของพื้นที่ปลูกข้าวอินทรีย์ทั้งหมดตามลำดับ

จากการศึกษาพบว่า ในอำเภอกระแสน์บุรี และอำเภอลองนคร เป็นการรับรองในรูปแบบกลุ่ม ส่วนในอำเภอรอนดงเป็นการรับรองรายบุคคล เกษตรกรมีพื้นที่นาอินทรีย์เฉลี่ยต่อราย ดังนี้ (1) อำเภอกระแสน์บุรีเกษตรกรมีพื้นที่เฉลี่ยต่อราย 7.00 ไร่ (2) อำเภอลองนคร เกษตรกรมีพื้นที่เฉลี่ยต่อราย 4.50 ไร่ และ (3) อำเภอรอนดงเกษตรกรมีพื้นที่เฉลี่ยต่อราย 20.00 ไร่ (Table 2) จะเห็นได้ว่าเกษตรกรในคาบสมุทรสหิงพระมีขนาดพื้นที่เฉลี่ย 6.30 ไร่ ซึ่งน้อยกว่าค่าเฉลี่ยของประเทศไทย ซึ่งเท่ากับ 22.56 ไร่ มีเพียงในอำเภอรอนดงเท่านั้นที่มีพื้นที่ใกล้เคียงกับค่าเฉลี่ยของประเทศไทย (Office of Agricultural Economics, 2008)

การผลิตข้าวอินทรีย์ของเกษตรกรในคาบสมุทรสหิงพระ มีทั้งการผลิตข้าวพันธุ์พื้นเมือง และข้าวพันธุ์ส่งเสริม ดังนี้ (1) อำเภอกระแสน์บุรีมีการผลิตข้าวพันธุ์ต่าง ๆ ดังนี้ ข้าวพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 ข้าวพันธุ์ไรซ์เบอร์รี่ ข้าวพันธุ์ขมิ้น 79 ข้าวพันธุ์ปทุมธานี 1 และข้าวพันธุ์ขมิ้น 43 (2) อำเภอลองนครมีการผลิตข้าวดังนี้ ข้าวพันธุ์เสียดพันธุ์ข้าวพันธุ์เสียดพันธุ์ข้าวพันธุ์ไรซ์เบอร์รี่ ข้าวพันธุ์ขมิ้น 79 ข้าวพันธุ์ขมิ้น 1 ข้าวพันธุ์ปทุมธานี 1 ข้าวพันธุ์ขมิ้น 49 ข้าวพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 ข้าวพันธุ์ขมิ้น 47 และข้าวพันธุ์ขมิ้น 43 และ (3) อำเภอรอนดงมีการผลิตข้าวดังนี้ ข้าวหอมธรรมศาสตร์ ข้าวพันธุ์ไรซ์เบอร์รี่ ข้าวพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 ข้าวหอมมะลิแดง และข้าวพันธุ์ขมิ้น 15 ทั้งนี้ ในการกระบวนการตรวจรับรองมาตรฐานเกษตรกรอินทรีย์เกษตรกรจะต้องแจ้งข้อมูลพันธุ์ข้าวที่ปลูกตั้งแต่เริ่มยื่นขอประเมินเพื่อตรวจรับรองในปีการผลิตนั้น ๆ ไม่สามารถเปลี่ยนแปลงพันธุ์ข้าวระหว่างรอบการประเมินได้ (Rice Department, 2017)

ทั้งนี้ ในปี พ.ศ. 2565 นับเป็นปีที่เกิดการเปลี่ยนแปลงของกลุ่มเกษตรกรที่ทำนาอินทรีย์ในคาบสมุทรสหิงพระ ในการเข้าสู่การผลิตข้าวอินทรีย์ที่ได้รับรองมาตรฐานของเกษตรกร จากเดิมเกษตรกร

ที่ทำนาข้าวอินทรีย์ที่ขอรับรองมาตรฐานภายใต้โครงการส่งเสริมการผลิตข้าวอินทรีย์จะต้องเกิดจากการรวมกลุ่มของเกษตรกรอย่างน้อยจำนวน 5 ราย และมีพื้นที่รวมกันไม่น้อยกว่า 100 ไร่ ตามข้อกำหนดในการรวมกลุ่มของสมาชิก โดยโครงการดังกล่าวมีการสนับสนุนการผลิตของเกษตรกรเป็นระยะเวลา 3 ปี (Rice Department, 2017) ซึ่งมีกลุ่มเกษตรกรที่ผ่านข้อกำหนดตามเกณฑ์ดังกล่าวเพียง 2 อำเภอ คือ (1) กลุ่มเกษตรกรทำนาอินทรีย์ในอำเภอกระแสน์บุรี และ (2) กลุ่มเกษตรกรทำนาอินทรีย์ในอำเภอลองนคร ส่วนกลุ่มเกษตรกรในอำเภอรอนดงนั้น เนื่องจากมีสมาชิกถอนตัวและไม่เป็นไปตามกำหนดตั้งแต่ปีที่ 2 ของการเข้าร่วมโครงการส่งผลให้มีสมาชิกของเกษตรกรไม่เป็นไปตามข้อกำหนด แต่เกษตรกรผู้ทำนาอินทรีย์ในอำเภอรอนดงยังคงมีความประสงค์ต้องการยื่นขอรับรองมาตรฐานการผลิตข้าวอินทรีย์อย่างต่อเนื่อง ทั้งนี้ เพราะมีการผลิต แปรรูป และจำหน่ายทั้งข้าวอินทรีย์และผลิตภัณฑ์ข้าวอินทรีย์อย่างต่อเนื่อง อีกทั้งยังเป็นสมาชิกรายเดิมของกลุ่มการผลิตอินทรีย์ในอำเภอรอนดงจังหวัดสงขลา ที่ได้รับการรับรองมาตรฐานการผลิตข้าวอินทรีย์ ในระยะให้การรับรองมาตรฐานเกษตรอินทรีย์ (T3) อยู่แล้ว อีกทั้งยังเป็นผู้ผลิตรายใหญ่และเป็นแกนนำของกลุ่ม เกษตรกรผู้ทำนาอินทรีย์ทั้ง 2 ราย ในอำเภอรอนดง จึงได้มีการดำเนินการยื่นขอรับรองรายเดียว ภายหลังกรมการค้าข้าวได้อนุมัติให้มีการปรับเปลี่ยนและรับรองมาตรฐานการผลิตข้าวอินทรีย์ให้แก่เกษตรกรรายเดียวได้เนื่องจากการดำเนินการในปีที่ 4 ไม่ได้มีการสนับสนุนจากโครงการของภาครัฐ เกษตรกรผู้ผลิตข้าวอินทรีย์ในอำเภอรอนดง จึงดำเนินการยื่นขอรับรองการประเมินการผลิตข้าวอินทรีย์แบบรายเดียวและได้รับการรับรองในระยะให้การรับรอง (T3) ได้รับการรับรองมาตรฐานการผลิตข้าวอินทรีย์เช่นเดิมในปี พ.ศ. 2565

กลุ่มเกษตรกรผู้ผลิตข้าวอินทรีย์ในคาบสมุทรสหิงพระ ถือเป็นกลุ่มเกษตรกรกลุ่มหลักของจังหวัดสงขลาที่ผ่านการตรวจประเมินรับรองมาตรฐานเกษตรอินทรีย์ โดยการผลิตข้าวอินทรีย์ของพื้นที่คาบสมุทรสหิงพระ ได้รับการรับรองในระยะที่ 3 ในปี พ.ศ. 2565 นั้น ได้ระยะการให้การรับรองตั้งแต่วันที่ 18 พฤษภาคม พ.ศ. 2564 ถึง 17 พฤษภาคม พ.ศ. 2567 จากนั้นจะต้องดำเนินการรับการตรวจประเมินเพื่อให้การรับรองมาตรฐานข้าวอินทรีย์อีกครั้ง ปัจจุบันผลผลิตข้าวอินทรีย์ของพื้นที่คาบสมุทรสหิงพระมีการผลิตเพื่อการค้าหรือผลิตเชิงการค้า มีการจำหน่ายทั้งในลักษณะของข้าวเปลือกอินทรีย์และการจัดจำหน่ายข้าวสารอินทรีย์ ส่วนพื้นที่อื่น ๆ ส่วนใหญ่เป็นการผลิตเพื่อการยังชีพและการบริโภคในครัวเรือน

2. แรงจูงใจในการเข้าสู่การผลิตข้าวอินทรีย์ของเกษตรกรในคาบสมุทรสหิงพระ

จากการศึกษาแรงจูงใจในการเข้าสู่การผลิตข้าวอินทรีย์ของเกษตรกรในคาบสมุทรสหิงพระ พบว่า การทำเกษตรอินทรีย์มีแนวคิดเริ่มต้นขึ้นเมื่อประมาณ ปี พ.ศ. 2556 และมีการเริ่มต้นผลิตอย่างจริงจังเมื่ออย่างจริงจังในปี พ.ศ. 2557 โดยปัจจัยที่เป็นแรงจูงใจในการผลิตข้าวอินทรีย์ ประกอบด้วย (1) นโยบายการส่งเสริมของภาครัฐและภาคเอกชน (2) สภาพแวดล้อม (3) ราคาพืชทดแทน และ (4) ราคาปัจจัยการผลิต ดังนี้

2.1 นโยบายการส่งเสริมของภาครัฐและภาคเอกชน: นโยบายที่เกี่ยวข้องกับการส่งเสริมการผลิตข้าวอินทรีย์เป็นปัจจัย

สำคัญที่ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงในทิศทางเดียวกัน จากการทำนาในระบบเคมีสู่การทำนาในระบบอินทรีย์อย่างต่อเนื่อง ซึ่งปี พ.ศ. 2557 นับเป็นปีเริ่มต้นที่มีการตื่นตัวในการพื้นที่ปลูกข้าวอินทรีย์ในคาบสมุทรสีทิงพระ มีการส่งเสริมให้ชาวนาในพื้นที่เพิ่มปริมาณผลผลิตข้าวให้สูงขึ้น ควบคู่ไปกับการลดต้นทุนการผลิตให้น้อยลง มีการทำนาตามหลักเศรษฐกิจพอเพียง ในรูปแบบโครงการ 1 ไร่ 1 แสน โดยลดต้นทุนในเรื่องของการใช้ปุ๋ยเคมี สนับสนุนให้เกษตรกรใช้วิธีการทำนาแบบโยนกกล้าแทนการหว่าน เพื่อลดอัตราการใช้เมล็ดพันธุ์ และลดปัญหาการระบาดของโรคเพลี้ยกระโดดสีน้ำตาล (MGR online, 2014) ซึ่งนโยบายนี้ยังคงดำเนินการต่อเนื่องจนถึงปี พ.ศ. 2558 คณะรักษาความสงบแห่งชาติ (คสช.) มีนโยบายการลดต้นทุนการผลิตข้าว มีกิจกรรมการขยายผลหลักปรัชญาเศรษฐกิจพอเพียงทำให้เกิดประสิทธิภาพในการผลิตได้อย่างดี (Saraban Songkhla, 2015) และดำเนินการจัดทำแนวทางการบริหารจัดการเขตเกษตรเศรษฐกิจสินค้าเกษตรที่สำคัญในเขตความเหมาะสม ระดับที่ 1 เป็นพื้นที่ความเหมาะสมสูง (S1) และ ระดับที่ 2 เป็นพื้นที่ความเหมาะสมปานกลาง (S2) เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการผลิต (Naewna, 2015) ปี พ.ศ. 2559 ได้มีการขับเคลื่อนโครงการระบบส่งเสริมการเกษตรแบบแปลงใหญ่ รวมทั้งสร้างต้นแบบการปลูกข้าวอินทรีย์แบบครบวงจร และขยายผลเพิ่มพื้นที่รวม 5 อำเภอในจังหวัดสงขลา ได้แก่ อำเภอรือโนด อำเภอกะสสินธุ์ อำเภอสีทิงพระ อำเภอรัตนภูมิ และอำเภอจะนะ (Sae-ui, 2017) ปี พ.ศ. 2560 นับเป็นจุดเริ่มต้นการทำนาอินทรีย์อย่างแท้จริงของพื้นที่คาบสมุทรสีทิงพระ เนื่องจากมีการดำเนินงานด้านนโยบายเกษตรอินทรีย์ โดยใช้หลัก “ตลาดนำการผลิต” เป็นแนวทาง และเชื่อมโยงทั้งผู้ผลิตและการตลาดเข้าด้วยกัน ภายใต้โครงการส่งเสริมการผลิตข้าวอินทรีย์ 1 ล้านไร่ (Office of Agricultural Economics, 2019) นอกจากนี้ยังเกิดเครือข่ายชาวนาวิถีชีวิตจังหวัดสงขลา (Prince of Songkla University, 2018) ร่วมกับการบริหารจัดการเขตเกษตรเศรษฐกิจสินค้าเกษตรที่สำคัญ (Sae-ui, 2017) ส่งผลให้การทำนาอินทรีย์เพิ่มขึ้นอย่างก้าวกระโดด และยังคงเพิ่มต่อเนื่องใน ปี พ.ศ. 2561 เนื่องจากสมาพันธ์เกษตรอินทรีย์ไทย ลงนามในบันทึกข้อตกลงความร่วมมือ (MOU) กับกระทรวงเกษตรและสหกรณ์ เพื่อขับเคลื่อนเกษตรอินทรีย์ด้วยระบบการรับรองแบบมีส่วนร่วม (Participatory Guarantee Systems, PGS) บันทึกข้อตกลงร่วมกันถือเป็นนวัตกรรมใหม่ของการพัฒนาเกษตรอินทรีย์ไทย ในลักษณะของการทำร่วมกันระหว่างเอกชนและภาครัฐ โดยที่ภาคเอกชนจะเป็นผู้ดำเนินงาน ในขณะที่ภาครัฐจะเป็นผู้สนับสนุน ซึ่งในข้อตกลงนี้ ได้กำหนดเป้าหมายการเพิ่มพื้นที่การผลิตเกษตรอินทรีย์-เกษตรยั่งยืนสูงถึง 5 ล้านไร่ ภายในปี พ.ศ. 2564 (Greenet, 2018) ต่อมาในปี พ.ศ. 2562 ได้มีการยกระดับการผลิตข้าวในจังหวัดสงขลา ผ่านการดำเนินโครงการ “การเพิ่มศักยภาพกลุ่มผู้ผลิตข้าวแบบครบวงจรด้วยกระบวนการวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีในพื้นที่จังหวัดสงขลา” (Nstda, 2020) ปี พ.ศ. 2563 และ ปี พ.ศ. 2564 ยังคงดำเนินการต่อเนื่องในเรื่อง SDGsPGS (Sustainable Development Goals Participatory Guarantee System) เป็นการพัฒนามาตรฐานเกษตรอินทรีย์แบบมีส่วนร่วม PGS ซึ่งเป็นแนวคิดโดย IFOAM มีการนำไปใช้ทั่วโลก ผสมผสานแนวทางการพัฒนาแปลงเกษตรอินทรีย์ตามมาตรฐานเกษตรอินทรีย์ มกษ. 9000 โดยรัฐบาลไทย รวมทั้งมีการ

ขับเคลื่อนจังหวัดสงขลาให้เป็น “มหานครอินทรีย์” และเป็น “ศูนย์กลางการค้าเกษตรอินทรีย์ของอาเซียนในภาคใต้” (Organic Hub of ASEAN) (National News Bureau of Thailand, 2021a) และยังคงดำเนินการต่อเนื่องจนถึงปัจจุบัน เพื่อสร้างชุมชนเข้มแข็งและยั่งยืน โดยการขับเคลื่อนแนวทางเศรษฐกิจพอเพียงในการดำรงชีวิต สร้างรายได้และการลดรายจ่าย ส่งเสริมการออม ใช้ทรัพยากรอย่างมีคุณค่า รวมทั้งฟื้นฟูอนุรักษ์ทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม

2.2 สภาพแวดล้อม: แม้ว่าคาบสมุทรสีทิงพระจะมีสภาพแวดล้อมที่เหมาะสมในการทำนา มีแหล่งน้ำเพียงพอในการผลิต แต่อย่างไรก็ตามสภาพแวดล้อมยังคงเป็นสิ่งสำคัญที่มีผลต่อการผลิตของเกษตรกรในทิศทางเดียวกัน โดยสภาพอากาศและปริมาณน้ำฝนเป็นสิ่งสำคัญในการตัดสินใจผลิตของเกษตรกร หากสภาพแวดล้อมเอื้ออำนวยจะส่งผลให้เกษตรกรตัดสินใจทำนามากขึ้น หากปีใดสภาพแวดล้อมไม่เอื้ออำนวยเกษตรกรจะทำนาน้อยลง ทั้งนี้ส่วนใหญ่เกษตรกรได้มีการวางแผนการผลิตเพื่อรองรับการเปลี่ยนแปลงของสภาพอากาศ ยกเว้นในปีที่เกิดภัยธรรมชาติที่ไม่สามารถควบคุมได้ เช่น ปี พ.ศ. 2559 ที่เกษตรกรต้องเผชิญกับปัญหาน้ำท่วมหนักในหลายพื้นที่ เป็นเหตุให้พื้นที่ปลูกข้าวของคาบสมุทรสีทิงพระได้รับความเสียหายมาก (Office of Agricultural Economics, 2017) และในปี พ.ศ. 2563 ต้องเผชิญกับสถานการณ์ภัยแล้งในพื้นที่คาบสมุทรสีทิงพระซึ่งรุนแรงกว่าทุกปี (National News Bureau of Thailand, 2020) ภาวะภัยแล้งที่รุนแรงได้ส่งผลกระทบต่อการทำนาและโรงสีข้าว โดยเฉพาะชาวนาปีได้รับความเสียหายประมาณร้อยละ 70.00 จากภาพรวม 500,000.00 ไร่ (Prachachat, 2020)

2.3 ราคาพืชทดแทน: ราคาของพืชทดแทนส่งผลต่อการผลิตของเกษตรกรในทิศทางตรงกันข้ามหรือผกผันกัน หากพืชทดแทนมีราคาสูงในฤดูกาลปัจจุบัน ฤดูกาลถัดไปจะส่งผลให้เกษตรกรตัดสินใจทำนาลดลง โดยเฉพาะราคา “ปาล์มน้ำมัน” จากนโยบายของรัฐบาลและผลผลิตปาล์มน้ำมันที่ออกมามากกว่าความต้องการ เป็นแรงจูงใจให้มีการลงทุนปลูกปาล์มน้ำมันเพิ่มขึ้น โดยพื้นที่ลุ่มน้ำและพื้นที่ทำนาเป็นพื้นที่ที่มักขยายการปลูกกันมากในช่วง 5-6 ปีที่ผ่านมา มีการปรับเปลี่ยนจากการทำนามาลงทุนปลูกปาล์มน้ำมัน ปัจจัยในการเปลี่ยนแปลงจากนาข้าวมาเป็นสวนปาล์ม เนื่องจากการเปลี่ยนมือซื้อขายที่ดินกันเป็นส่วนใหญ่ ในปี พ.ศ. 2563 ส่งผลกระทบต่อพื้นที่ทำนาข้าวแหล่งใหญ่ทางภาคใต้ลดลงอย่างต่อเนื่อง โดยลดลงไปประมาณร้อยละ 80.00 และหันไปปลูกปาล์มน้ำมัน (Department of Internal Trad, 2021)

2.4 ราคาปัจจัยการผลิต: ราคาของปัจจัยการผลิตโดยเฉพาะราคาปุ๋ยเคมีซึ่งจะส่งผลต่อต้นทุนการผลิตที่เพิ่มขึ้นตามมา การเพิ่มขึ้นของราคาปุ๋ยเคมี จึงส่งผลให้เกษตรกรหันมาทำนาในระบบอินทรีย์มากขึ้นเพื่อลดต้นทุนการผลิตจากสถานการณ์ของราคาปุ๋ยที่มีการปรับราคาสูงขึ้น โดยเฉพาะในปี พ.ศ. 2565 ที่ราคาปุ๋ยยูเรีย สูตร 46-0-0 เพิ่มขึ้นกว่าเท่าตัวจากปีก่อนหน้า โดยปุ๋ยยูเรียสูตร 46-0-0 ราคา 1,550.00 – 1,600.00 บาทต่อกระสอบ ในขณะที่ช่วงเดียวกันเมื่อปีที่แล้วราคาเพียง 700.00 บาทต่อกระสอบเท่านั้น ซึ่งจากราคาปุ๋ยที่สูงขึ้นส่งผลกระทบต่ออย่างมากในภาคเกษตรกรรม (One31, 2022) สอดคล้องกับ Mendoza (2004) ที่พบว่า ต้นทุนการผลิตข้าวที่ใช้สารเคมีในประเทศฟิลิปปินส์สูงขึ้นจากปัจจัยการผลิตเคมีเกษตรซึ่งคิด

เป็นร้อยละ 83.20 โดยเป็นค่าปุ๋ยร้อยละ 65.00 และเป็นยาฆ่าแมลงร้อยละ 18.20 ส่งผลให้รายได้สุทธิในการทำนาอินทรีย์สูงกว่าการทำนาทั่วไปในระบบเคมี แม้ว่าผลผลิตข้าวอินทรีย์จะต่ำกว่าเล็กน้อยก็ตาม ในขณะที่ Natteechao et al. (2018) พบว่า เกษตรกรในจังหวัดพัทลุงตัดสินใจทำนาอินทรีย์เนื่องจากมีต้นทุนการผลิตที่ต่ำกว่าการทำนาเคมี โดยสามารถลดต้นทุนการผลิตได้โดยเฉพาะค่าปุ๋ยเคมีได้

จากการเปลี่ยนแปลงต่าง ๆ ข้างต้น ส่งผลให้แนวโน้มการทำนาอินทรีย์เพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง ซึ่งส่วนใหญ่จะอยู่ในรูปแบบการทำนาอินทรีย์ข้าวอินทรีย์ตามวิถีพื้นบ้าน ส่วนการการผลิตที่มีมาตรฐานรับรองยังคงมีค่อนข้างน้อย สถานการณ์ที่สำคัญในการเข้าสู่การผลิตข้าวอินทรีย์ของเกษตรกรในคาบสมุทรมหานคร ดังแสดงใน Figure 1

3. ปัจจัยเชิงสาเหตุในการเข้าสู่การผลิตข้าวอินทรีย์ที่ได้รับการรับรองมาตรฐานเกษตรอินทรีย์ของเกษตรกร

จากการสัมภาษณ์กลุ่มเกษตรกรที่ทำนาอินทรีย์ในคาบสมุทรมหานครซึ่งเป็นผู้ให้ข้อมูลหลัก ประกอบด้วย กลุ่มเกษตรกรที่ทำนาอินทรีย์ใน (1) อำเภอกระแสดิน (2) อำเภอสิงหนคร และ (3) อำเภอรโนด พบว่า ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการดำเนินโครงการของเกษตรกร มีดังนี้

3.1 ปัจจัยเชิงสาเหตุในการผลิตข้าวอินทรีย์ที่เข้าสู่การรับรองมาตรฐานเกษตรอินทรีย์

(1) ความมุ่งมั่นและตั้งใจอย่างแน่วแน่ของเกษตรกรในการทำนาอินทรีย์: โดยเกษตรกรมีจุดประสงค์ต้องการอนุรักษ์ทรัพยากรธรรมชาติ ต้องการลดการใช้สารเคมี และลดต้นทุนการผลิตข้าวอินทรีย์

(2) เกษตรกรต้องการยกระดับคุณภาพผลผลิต: เกษตรกรมีผลผลิตเกษตรอินทรีย์และจำหน่ายผลผลิตรวมทั้งผลิตภัณฑ์ข้าวอินทรีย์ ที่ยังไม่ได้รับการรับรองมาตรฐาน เมื่อมีนโยบายที่มุ่งเน้นการส่งเสริมการผลิตสินค้าเกษตรอินทรีย์ ส่งเสริมการผลิตข้าวที่ได้มาตรฐานเกษตรอินทรีย์ Organic Thailand ของกระทรวงเกษตรและสหกรณ์ เพื่อส่งเสริมการผลิตข้าวที่มีคุณภาพ มีความปลอดภัย และยังรักษาสภาพแวดล้อมอีกด้วย เกษตรกรจึงตัดสินใจเข้าร่วมโครงการดังกล่าว

(3) การส่งเสริมของภาครัฐ: ภาครัฐมีการมีการส่งเสริมการผลิตข้าวอินทรีย์โดยหน่วยงานที่เกี่ยวข้อง เช่น กรมการข้าว กรมส่งเสริมการเกษตร เป็นต้น

(4) การส่งเสริมและสนับสนุนของผู้นำในชุมชน: ผู้นำชุมชนนับว่ามีบทบาทเป็นอย่างมากในการรวบรวมสมาชิกที่ทำนาอินทรีย์ให้รวมกลุ่มเข้าร่วมการประเมินเพื่อขอรับรองมาตรฐานเกษตรอินทรีย์ Organic Thailand

(5) การสนับสนุนจากโครงการของภาครัฐ: ในการเข้าร่วมโครงการส่งเสริมผลิตข้าวอินทรีย์ของภาครัฐ เกษตรกรจะได้รับการเงินอุดหนุนจากการเข้าร่วมโครงการ โดยเกษตรกรได้รับการสนับสนุนภายใต้โครงการส่งเสริมการผลิตข้าวอินทรีย์ มีดังนี้ (1) เกษตรกรได้เงินอุดหนุนเพื่อชดเชยรายได้จากการผลิตข้าวระบบอินทรีย์ที่ทำให้ผลผลิตลดลงในระยะเริ่มต้นของการผลิตระบบอินทรีย์โดยสนับสนุนเงินอุดหนุนต่อเนื่อง 3 ปี ไม่เกินรายละ 15 ไร่ แบ่งออกเป็นแบ่งเป็น (1.1) เกษตรกรที่ผ่านการประเมินเตรียมความพร้อม (T1) ไร่ละ 2,000 บาท (1.2) เกษตรกรที่ผ่านการประเมินและปรับเปลี่ยน (T2) ไร่ละ 3,000 บาท และ (1.3) เกษตรกรที่ได้รับการรับรองมาตรฐานการผลิตข้าวอินทรีย์

Organic Thailand (T3) ไร่ละ 4,000 บาท (2) สนับสนุนเมล็ดพันธุ์ข้าวอินทรีย์ไม่เกิน 15 ไร่ ต่อราย ซึ่งเมล็ดพันธุ์ข้าวอินทรีย์ผลิตโดยกรมการข้าวและให้การสนับสนุนเกษตรกรที่เข้าร่วมโครงการเพื่อผลิตข้าวคุณภาพและผลิตเมล็ดพันธุ์ข้าวอินทรีย์เพื่อใช้ในต่อไป (3) ถ่ายทอดองค์ความรู้ด้านการผลิตการแปรรูปและการตลาดข้าวอินทรีย์ รวมทั้งการผลิตเมล็ดพันธุ์ดีโดยการจัดอบรมเชิงปฏิบัติการหลักสูตรระบบควบคุมภายใน (Internal Control System, ICS) เพื่อการผลิตข้าวอินทรีย์ตามมาตรฐานข้าวอินทรีย์กระทรวงเกษตรและสหกรณ์ การผลิตเมล็ดพันธุ์ข้าวอินทรีย์ระบบการบริหารจัดการผลผลิตการวางแผนธุรกิจการแปรรูปบรรจุในระบบและการบริหารจัดการตลาดข้าวอินทรีย์ปีละ 2 ครั้งต่อเนื่องเป็นระยะเวลา 3 ปี (4) ตรวจรับรองมาตรฐานข้าวอินทรีย์แบบกลุ่มตามมาตรฐานข้าวอินทรีย์กระทรวงเกษตรและสหกรณ์ 9,000 เล่มที่ 4 ปี 2563 ในปี 2 และปีที่ 3 ต่อเนื่อง 2 ปี (Rice Department, 2017)

3.2 ปัจจัยเชิงสาเหตุในการผลิตข้าวอินทรีย์ที่ไม่เข้าสู่การรับรองมาตรฐานเกษตรอินทรีย์

(1) ปัญหาความยุ่งยากในระบบการตรวจรับรองประเมิน: ทั้งนี้เนื่องจากความหลากหลายในการผลิตข้าวอินทรีย์ในคาบสมุทรมหานคร ซึ่งมีความแตกต่างกันในแต่ละอำเภอ โดยกลุ่มเกษตรกรในอำเภอสิงหนคร และอำเภอกระแสดินส่วนใหญ่จะเป็นการทำนาปีเพียงปีละ 1 ครั้ง อาศัยน้ำจากแหล่งธรรมชาติ ส่วนการทำนาในอำเภอรโนด จะมีการทำทั้งนาปีและนาปรัง เนื่องจากอยู่ใกล้แหล่งชลประทาน ประกอบกับปฏิทินการเพาะปลูกในอำเภอรโนด จะมีความล่าช้ากว่าเกษตรกรที่ทำนาในอำเภอสิงหนคร และอำเภอกระแสดิน โดยการทำนาอินทรีย์ในอำเภอสิงหนคร และอำเภอกระแสดินจะเริ่มฤดูการทำนาตั้งแต่เดือนกันยายน ในขณะที่การทำนาปีในอำเภอรโนดจะเริ่มฤดูการทำนาในเดือนมกราคมของปีถัดไป ส่งผลให้ระยะเวลาในการตรวจประเมินของเจ้าหน้าที่ไม่สอดคล้องกับผลผลิตในแปลง ปัญหาหรือข้อจำกัดดังกล่าวทำให้เกษตรกรตัดสินใจผลิตและจำหน่ายข้าวอินทรีย์โดยไม่ได้รับการรับรองมาตรฐานการผลิตข้าวอินทรีย์ Organic Thailand รวมทั้งเกษตรกรได้มีการปรับเปลี่ยนการรับรองมาตรฐานจากหน่วยงานภายนอกโดยเฉพาะการรับรองในระบบ PGS มากขึ้น เนื่องจากการรับรองในระบบดังกล่าว เกษตรกรสามารถได้รับการรับรองโดยใช้คณะกรรมการผู้ตรวจแปลง และมีการรับรองโดยสมาชิกเกษตรอินทรีย์ซึ่งอยู่ในพื้นที่ อีกทั้งเกษตรกรสามารถรับรองรายเดียวเป็นรายบุคคลได้แตกต่างจากการรับรองในระบบมาตรฐานการผลิตข้าวอินทรีย์ Organic Thailand ที่จะต้องผ่านเกณฑ์การประเมินโดยมุ่งเน้นการรับรองในระบบ กลุ่มเป็นหลักตลอดการดำเนินการของโครงการตั้งแต่ปี พ.ศ. 2560 ถึง ปี พ.ศ. 2564 โดยมีการรับรองเกษตรกรรายเดียวได้ในปี พ.ศ. 2565 สอดคล้องกับ Borngern et al. (2019) ที่พบว่า ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการขอรับรองมาตรฐานเกษตรอินทรีย์ของเกษตรกรที่อยู่ในระดับมาก ได้แก่ การอำนวยความสะดวกจากเจ้าหน้าที่และความรู้ความสามารถของผู้ตรวจประเมินแปลงนา

(2) ปัญหาการได้รับเงินอุดหนุนเพื่อชดเชยรายได้ที่ทำให้ผลผลิตลดลงความล่าช้า: การปรับเปลี่ยนการทำนาของเกษตรกรจากการผลิตข้าวระบบเคมีมาเป็นระบบอินทรีย์ ในระยะเริ่มต้นของการผลิตระบบอินทรีย์จะส่งผลให้เกษตรกรได้ผลผลิตข้าวลดลง ภาครัฐ

จึงมีการชดเชยรายได้ให้กับเกษตรกรที่เข้าร่วมโครงการ โดยสนับสนุนเงินอุดหนุนต่อเนื่อง 3 ปี ไม่เกินรายละ 15 ไร่ แต่ปัญหาความล่าช้าในการได้รับเงินอุดหนุนส่งผลให้เกษตรกรเกิดความขัดแย้งและเกิดปัญหายาภายในกลุ่ม รวมทั้งมีเกษตรกรบางรายตัดสินใจออกจากการรับรองในกลุ่มดังกล่าว เป็นไปในทิศทางเดียวกับกลุ่มชาวนาอื่น ๆ ที่เข้าร่วมโครงการ มีการทวงถามเงินชดเชยดังกล่าว (National News Bureau of Thailand, 2021b; Thansettakij, 2020) อย่างไรก็ตามผู้รับผิดชอบได้มีการเร่งดำเนินการแก้ปัญหาดังกล่าวอย่างต่อเนื่อง (Rice Department, 2017)

(3) การเปลี่ยนแปลงกรรมสิทธิ์ที่นา: การจำหน่ายหรือการเปลี่ยนแปลงกรรมสิทธิ์ที่นาให้กับเจ้าของรายอื่น ส่งผลให้เกษตรกรจะต้องมีการลาออกหรือยกเลิกแปลงดังกล่าวที่เข้าร่วมโครงการ

(4) ปัญหาการขาดแคลนแรงงาน: เนื่องจากการทำนาระบบเกษตรอินทรีย์ต้องใช้ความประณีตประกอบกับแรงงานเกษตรกรส่วนใหญ่ที่ทำเกษตรอินทรีย์มีอายุค่อนข้างมากทำให้เกิดข้อจำกัดในการผลิตสอดคล้องกับ Tatitalapa et al. (2023) ที่รายงานว่าชาวนาขาดแคลนแรงงาน ทั้งด้านเวลาและจำนวนแรงงาน หากเน้นอินทรีย์ทำให้ได้ผลผลิตที่ต่ำ ประกอบกับการขาดแคลนเงินทุนทำให้ชาวนาตัดสินใจใช้สารเคมี ในขณะที่ Chaiubon et al. (2020) ที่พบว่า ปัญหาด้านแรงงานเป็นปัจจัยที่มีผลต่อการตัดสินใจในการปลูกแบบข้าวอินทรีย์ในระดับมาก

(5) ปัญหาการตลาด: การตลาดยังคงเป็นปัญหาที่สำคัญของเกษตรกรในคาบสมุทรสทิงพระ โดยเฉพาะการจัดจำหน่ายผลผลิต ขาดแหล่งรวบรวมหรือซื้อผลผลิตข้าวอินทรีย์ เนื่องจากเกษตรกรส่วนใหญ่จำหน่ายข้าวเปลือกให้กับโรงสีข้าวทั่วไป ไม่ใช่โรงสีที่เฉพาะหรือกลุ่มผู้แปรรูปข้าวอินทรีย์จึงได้รับราคาเท่ากับข้าวทั่วไป ทำให้เกษตรกรมีความรู้สึกในการจำหน่ายข้าวอินทรีย์ไม่แตกต่างกับการจำหน่ายข้าวโดยทั่วไป มีเพียงส่วนน้อยเท่านั้นที่จะจำหน่ายผลผลิตข้าวอินทรีย์ให้กับกลุ่มผู้แปรรูปข้าวอินทรีย์หรือจำหน่ายข้าวสารอินทรีย์ ซึ่งจะได้ราคาสูงกว่าการจำหน่ายให้กับโรงสีโดยทั่วไปตามที่ตกลงกันเฉลี่ยประมาณ 2 - 3 บาทต่อกิโลกรัม แต่หากจำหน่ายข้าวสารอินทรีย์จะได้ราคาสูงกว่าข้าวปกติประมาณ 20 บาทต่อกิโลกรัม สอดคล้องกับ Phitthayaphinant & Tongkaemkaew (2018) พบว่า ราคาจำหน่ายข้าวอินทรีย์สูงกว่าข้าวเคมี ทั้งนี้ข้าวอินทรีย์ที่ปลูกในคาบสมุทรสทิงพระส่วนใหญ่เป็นการจำหน่ายให้กับผู้บริโภคชั้นสุดท้าย เน้นบริโภคในครัวเรือน ตัวเกษตรกรเองนับเป็นเครื่องหมายในการการันตีหรือการรับรองการผลิตแบบอินทรีย์ได้ เนื่องจากมีการผลิตและซื้อขายกันมาอย่างยาวนาน เกษตรกรจึงยังไม่เล็งเห็นความจำเป็นในการขอรับรองมาตรฐานเกษตรอินทรีย์นั่นเอง

สรุปผลการวิจัย

การทำนาอินทรีย์ที่ได้รับการรับรองมาตรฐานเกษตรอินทรีย์ (Organic Thailand) ในคาบสมุทรสทิงพระ มีปริมาณน้อยมากเมื่อเปรียบเทียบกับพื้นที่การผลิตข้าวทั้งหมด แม้ว่าการทำเกษตรอินทรีย์ในพื้นที่ที่มีการเริ่มต้นผลิตอย่างจริงจังมายาวนาน ตั้งแต่ ปี พ.ศ.2557 โดยปี พ.ศ. 2560 นับเป็นปีแห่งการยกระดับการผลิตข้าวอินทรีย์ที่ได้รับการรับรองมาตรฐานเกษตรอินทรีย์มีจำนวนเกษตรกรและพื้นที่ในการผลิตเพิ่มขึ้นจำนวนมากเนื่องจากมีโครงการของภาครัฐสนับสนุน แต่เมื่อสิ้นสุดโครงการซึ่งมีระยะเวลา 3 ปี ในปีการเพาะปลูก พ.ศ. 2563/2564 การทำนาอินทรีย์ที่ได้รับการรับรองมาตรฐาน Organic Thailand มีแนวโน้มลดลง เกษตรกร

มีการปรับเปลี่ยนรูปแบบการรับรองมาตรฐานการผลิตเกษตรอินทรีย์รูปแบบอื่นที่มีความสะดวกมากกว่า เช่น การรับรองในระบบ PGS และมุ่งเน้นการผลิตที่ไม่ต้องการเข้าสู่การรับรองมาตรฐานมากขึ้น โดยแรงจูงใจในการปลูกข้าวอินทรีย์ประกอบด้วย นโยบายการส่งเสริมของภาครัฐและภาคเอกชน สภาพแวดล้อม ราคาพืชทดแทน และ ราคาปัจจัยการผลิต ปัจจัยเชิงสาเหตุในการเข้าสู่การผลิตข้าวอินทรีย์ที่ได้รับการรับรองมาตรฐานเกษตรอินทรีย์ของเกษตรกร ได้แก่ ปัจจัยด้านความมุ่งมั่นและตั้งใจของเกษตรกร การส่งเสริมของภาครัฐ ผู้นำชุมชน และการสนับสนุนจากโครงการของภาครัฐ ในขณะที่ปัจจัยเชิงสาเหตุในการผลิตข้าวอินทรีย์ที่ไม่เข้าสู่การรับรองมาตรฐานเกษตรอินทรีย์ของเกษตรกร ได้แก่ ปัจจัยด้านความยุ่งยากในระบบการตรวจรับการประเมิน ความล่าช้าในการได้รับเงินอุดหนุน การเปลี่ยนแปลงกรรมสิทธิ์ที่นา การขาดแคลนแรงงาน และการจัดจำหน่ายผลผลิต ซึ่งในการจัดจำหน่ายผลผลิตนั้นส่วนใหญ่เป็นการจำหน่ายให้กับผู้บริโภคชั้นสุดท้าย เน้นบริโภคในครัวเรือน ตัวเกษตรกรเองนับเป็นเครื่องหมายในการการันตีหรือการรับรองการผลิตแบบอินทรีย์ได้เนื่องจากมีการผลิตและซื้อขายกันมาอย่างยาวนาน เกษตรกรจึงยังไม่เล็งเห็นความจำเป็นในการขอรับรองมาตรฐานเกษตรอินทรีย์นั่นเอง ดังนั้นหน่วยงานที่เกี่ยวข้อง เช่น กรมการข้าว สำนักงานพาณิชย์จังหวัด หรือผู้ดูแลแหล่งจำหน่ายในตลาดท้องถิ่น ต้องร่วมมือกันและสร้างความแตกต่างด้านราคาระหว่างข้าวอินทรีย์ที่ได้รับการรับรองมาตรฐานอินทรีย์กับข้าวอินทรีย์ที่ไม่ได้รับการรับรองมาตรฐาน และข้าวเคมี เพื่อจูงใจเกษตรกร รวมทั้งต้องให้ความสะดวกในการขอรับรองมาตรฐานเกษตรอินทรีย์ รวมทั้งการพัฒนาช่องทางการจัดจำหน่าย การยกระดับคุณภาพของผลผลิตในการแปรรูปเพื่อให้ได้ผลิตภัณฑ์ข้าวสารอินทรีย์คุณภาพดี เพื่อรองรับผลผลิตจากเกษตรกรทำนาอินทรีย์ในคาบสมุทรสทิงพระ หากมีการทำให้เกษตรกรเล็งเห็นคุณค่าและความสำคัญของการขอรับรองมาตรฐานเกษตรอินทรีย์จะส่งผลให้แนวโน้มการผลิตข้าวอินทรีย์ในคาบสมุทรสทิงพระเพิ่มมากขึ้น

กิตติกรรมประกาศ

การวิจัยครั้งนี้ขอขอบคุณข้อมูลข้อมูลวิทยุภูมิกลุ่มเกษตรกรผู้ปลูกข้าวอินทรีย์จังหวัดสงขลา ปี พ.ศ. 2565 จากศูนย์เมล็ดพันธุ์ข้าวปัตตานี กรมการข้าว กระทรวงเกษตรและสหกรณ์ และข้อมูลทะเบียนเกษตรกรผู้ปลูกข้าวอินทรีย์ ปีการเพาะปลูก พ.ศ. 2562/2563 - ปีการเพาะปลูก พ.ศ. 2564/2565 จากกองตรวจสอบรับรองมาตรฐานข้าวและผลิตภัณฑ์ ขอบคุณตัวแทนกลุ่มเกษตรกรที่ทำนาอินทรีย์ในคาบสมุทรสทิงพระ และเจ้าหน้าที่และนักวิชาการที่มีส่วนเกี่ยวข้องที่ให้ข้อมูลและอำนวยความสะดวกเป็นอย่างดี ขอขอบคุณการสนับสนุนที่ดีจากคณะทรัพยากรธรรมชาติ และขอบคุณทุนรัฐบาลทางด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีที่จัดสรรให้กระทรวงการอุดมศึกษา วิทยาศาสตร์ วิจัยและนวัตกรรม ตามความต้องการของกระทรวง กรม หรือหน่วยงานของรัฐ เพื่อศึกษาวิจัยภายในประเทศประจำปี 2565 (ทุนพัฒนานุเคราะห์ภาครัฐ) ที่สนับสนุนงบประมาณการศึกษาในครั้งนี้

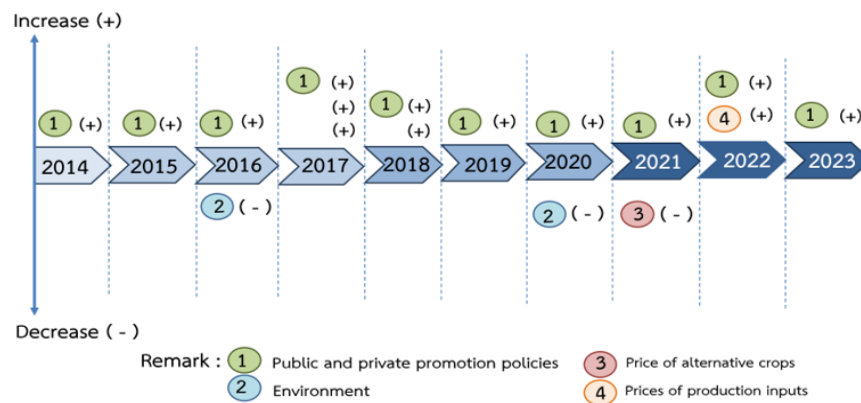
Table 1 Situation of rice production in the Sathing Phra Peninsula, Songkhla Province

Area	Major rice (Year 2022/23)			Organic rice (Year 2022/23)		
	Farmer's household	Plots	Rai	Farmers	Plots	Rai
Sathing Phra Peninsula (Percentage)	7,072.00	15,531.00	75,329.48	37.00	55.00 (0.35)	232.00 (0.31)
Krasaesin district (Percentage)	756.00	1,569.00	6,920.12	14.00	15.00 (0.96)	98.00 (1.42)
Singhanakhon district (Percentage)	1,970.00	4,677.00	16,251.71	21.00	31.00 (0.66)	94.00 (0.58)
Ranot district (Percentage)	2,490.00	5,477.00	39,990.38	2.00	9.00 (0.16)	40.00 (0.10)
Sathing Phra District (Percentage)	1,856.00	3,808.00	12,167.27	0.00 (0.00)	0.00 (0.00)	0.00 (0.00)

Table 2 Organic rice production in Songkhla Province under the sustainable agriculture development program 2022

No.	District	Certification period	Certification	Farmers	Plots	Rai	Average rice field per person (Rai)
1	Krasaesin (Percentage)	T3	Group	14.00 (37.84)	15.00 (27.27)	98.00 (42.24)	7.00
2	Singhanakhon (Percentage)	T3	Group	21.00 (56.76)	31.00 (56.36)	94.00 (40.52)	4.50
3	Ranot (Percentage)	T3	Individual	2.00 (5.41)	9.00 (16.36)	40.00 (17.24)	20.00
Total (Percentage)				37.00 (100.00)	55.00 (100.00)	232.00 (100.00)	6.30 (S.D. = 8.33)

T3 is the organic certification period.

Timeline of the history of organic rice production in the Sathing Phra Peninsula, Songkhla Province**Figure 1** Timeline of the history of organic rice production in the Sathing Phra Peninsula, Songkhla Province.

References

- Badgley, C., Moghtader, J., Quintero, E., Zakem, E., Chappell, M. J., Avilés-Vázquez, K., Samulon, A., & Perfecto, I. (2007). Organic agriculture and the global food supply. *Renewable Agriculture and Food Systems*, 22(2), 86-108. doi: 10.1017/S1742170507001640.
- Borngern, D., Chaipiboon, S., Satienperakul, K., & Chulaphan, W. (2019). Accessing certified organic rice production of farmers in Chiang Mai Province. *Journal of Modern Management Science*, 12(2), 185-200. doi: 10.14456/jmms.2019.20 (in Thai)
- Chaiubon, A., Wiseansat, A., & Pensuk, V. (2020). Factors influencing on decision making of organic, good agricultural practice or chemical rice cultivation for farmers in Ban Nong-Sok-Dao subdistrict, Nunsung district, Udon Thani Province. *Udon Thani Rajabhat University Journal of Sciences and Technology*, 8(2), 201-215. (in Thai)
- Chouichom, S., & Yamao, M., (2010). Comparing opinions and attitudes of organic and non-organic farmers towards organic rice farming system in North-eastern Thailand. *Journal of Organic Systems*, 5(1), 25-35.
- Department of Internal Trad (2021). *The price of palm seedlings is skyrocketing. There is a shortage. Millions of rai of rice fields are being sold and people are flocking to plant them.* Accessed August 20, 2023. Retrieved from <https://palm.dit.go.th/NewsDetail.aspx?id=154>. (in Thai)
- Greenet. (2018). *Thai organic farmers confederation PGS joins hands with the ministry of agriculture to move PGS.* Accessed August 13, 2023. Retrieved from <https://shorturl.asia/iVpm0>. (in Thai)
- Integrated Provincial Administration Committee, Songkhla Province. (2019). *Songkhla provincial development plan 2018-2022, revised edition 2021.* Accessed June 19, 2023. Retrieved from https://www.songkhla.go.th/files/com_news_develop_plan/2020-07_1a959e630a5165d.pdf. (in Thai)
- Mendoza, T. C. (2004). Evaluating the benefits of organic farming in rice agroecosystems in the Philippines. *Journal of Sustainable Agriculture*, 24(2), 93-115. doi: 10.1300/J064v24n02_09
- MGR online. (2014). "Agriculture Songkhla" mobilizes officers to learn fertilizer technology to reduce rice production costs. Accessed August 20, 2023. Retrieved from <https://mgronline.com/south/detail/9570000019744?fbclid=IwAR3PZbimvuVHXEsIbs1zIgv6UkRKZuDSZpMt-la4t4YJtZI56VPJzjPnwU>. (in Thai)
- Naewna. (2015). *Opening the results of the study of 'Ranot' rice zoning, ONESQA 9 found suitable area of 170,000 rai.* Accessed August 20, 2023. Retrieved from <https://www.naewna.com/local/182557>. (in Thai)
- National News Bureau of Thailand. (2020). *Songkhla Province is ready to deal with the drought situation in the Sathing Phra Peninsula area from the shortage of water for consumption and water for agriculture.* Accessed August 13, 2023. Retrieved from <https://thainews.prd.go.th/th/news/detail/TCATG200114194008844?fbclid=IwAR1nNf3Pm6-5W-Nz6gAqHbVuCPYHwZTnXprd7OtV3BbLIgVH5oMAHbp0yJk>. (in Thai)
- National News Bureau of Thailand. (2021a). *Certifying organic agricultural plots with participatory standards SDGs PGS.* Accessed August 13, 2023. Retrieved from <https://thainews.prd.go.th/th/news/detail/TCATG211020181803058>. (in Thai)
- National News Bureau of Thailand. (2021b). *The ministry of agriculture and cooperatives is accelerating the payment of subsidies to farmers who produce organic rice who have not yet received the money by September.* Accessed May 20, 2023. Retrieved from <https://thainews.prd.go.th/th/news/detail/TCATG210917153937281>. (in Thai)
- National Organic Agriculture Development Board. (2022). *Organic agriculture action plan 2023-2027.* (pp. 1-9). Bangkok: Ministry of Agriculture and Cooperatives Office of Agricultural Economics. (in Thai)
- Natteechoo, T., Sriboonruang, P., & Rangsihaht, S. (2018). Decision on Sang Yod organic rice production of farmers in Phatthalung Province. *Agricultural Science Journal*, 49(2), 168-178. (in Thai)
- Nstda. (2020). *NSTDA/NSTDA supports 'strengthening Songkhla farmers' with 'science'.* Accessed August 20, 2023. Retrieved from <https://www.nstda.or.th/agritec/rice-south/> (in Thai)
- Office of Agricultural Economics. (2023). *NESDB reveals that Thailand currently has 1.403 million rai of organic farming areas, worth 9 billion baht, ready to enter the organic farming center area at the end of the island, the first organic farming center in Thailand.* Accessed August 9, 2023. Retrieved from <https://shorturl.asia/U9zLx>. (in Thai)

- Office of Agricultural Economics. (2019). *OAE responded to the organic farming policy. speed up the plan increase area to 1.3 million rai as target in 2022*. Accessed August 15, 2023. Retrieved from <https://shorturl.asia/HD3Se>. (in Thai)
- Office of Agricultural Economics. (2017). *Office of agricultural economics 9 sticking to the flooded areas of Sathing Phra Peninsula, affected 23 percent of the rice area was damaged*. Accessed August 13, 2023. Retrieved from <https://shorturl.asia/AZlBI> (in Thai)
- Office of Agricultural Economics. (2008). *Agricultural statistics of Thailand 2007*. Accessed May 1, 2023. Retrieved from <https://www.oae.go.th/assets/portals/1/files/ebook/yearbook50.pdf> (in Thai)
- Office of the Permanent Secretary for Interior. (2022). *Organic agriculture action plan 2023-2027*. Accessed August 9, 2023. Retrieved from <https://www.mhesi.go.th/index.php/all-media/book/8857-2566-2570.html>. (in Thai)
- Office of The Permanent Secretary for Ministry of Agricultural and Cooperatives. (2022). *Basic information on important agricultural products of Songkhla Province: rice under the driving force of the BCG model in agriculture, Songkhla Province, year 2022*. Accessed October 5, 2023. from <https://www.opsmoac.go.th/songkhla-dwl-files-441291791960>. (in Thai)
- One31. (2022). *Farmers lament the high cost of fertilizer in opposition to the falling rice prices, ask the government to help solve the problem*. Accessed August 15, 2023. Retrieved from <https://shorturl.asia/WcOoL>. (in Thai)
- Phitthayaphinant, P., & Tongkaemkaew, U. (2018). From chemical paddy fields to organic paddy fields on a self-sufficient path: lessons learned from the traditional crowing area for Sangyod rice in Phatthalung Province. *Journal of Community Development Research (Humanities and Social Sciences)*, 11(4), 64-74 (in Thai)
- Prachachat. (2020). *Drought caused 70% of rice fields to collapse, pushing up rice prices every day*. Accessed August 15, 2023. Retrieved from <https://www.prachachat.net/local-economy/news-440688>. (in Thai)
- Prince of Songkla University. (2018). *President's report Prince of Songkla University June 2012 – May 2018*. Accessed August 9, 2023. Retrieved from <https://shorturl.asia/vEh9w>. (in Thai)
- Rice Department. (2017). *Guidelines for the implementation of the organic rice production promotion project in 2017*. Accessed August 15, 2023. Retrieved from http://123.242.173.131/pathumthani_news/attach_file/img229.pdf (in Thai)
- Rice Family Thailand. (n.d.). *Organic rice*. Accessed August 9, 2023. Retrieved from <https://www.thairicedb.com/rice.php?cid=3&fbclid=IwAR0JV07roeJCqguNuHa1LRFvtpwWopK98Q5fHmtrKopyddDtYPeKt42Ss> (in Thai)
- Sae-ui, S. (2017). *Guidelines for the management of agricultural zones for important agricultural products, zoning: rice, Ranot district, Songkhla Province*. Bangkok, Thailand: Office of Agricultural Economics. (in Thai)
- Saraban Songkhla. (2015). *Songkhla governor opens knowledge transfer day event to start the production season of 2015 on reducing the cost of rice production*. Accessed August 9, 2023. Retrieved from <https://www.songkhla.go.th/news/detail/3004>. (in Thai)
- Shea, K., Possingham, H. P., Murdoch, W. W., & Roush, R. (2002). Active adaptive management in insect pest and weed control: intervention with a plan for learning. *Ecological Applications*, 12 (3), 927-936. doi: 10.1890/1051-0761(2002)012[0927:AAMIIP]2.0.CO;2
- Songkhla Provincial Agricultural Extension Office. (2020). *Land use information*. Accessed June 19, 2023. Retrieved from <http://www.songkhla.doae.go.th/?p=8032>. (in Thai)
- Tatitalapa, D., Kaewtaphan, P., & Rattanasermpong, M. (2023). Creating a prototype of the organic farmer leadership council with the participation of farmers in Bueng Ka Sam sub-district, Nong Suea district, Pathum Thani Province. *The Journal of Research and Academics*, 6(6), 283-300. (in Thai)
- Thailand Development Research Institute. (2010). *Project to study guidelines for supply chain and logistics management of agricultural products*. Accessed May 20, 2023. Retrieved from <https://tdri.or.th/wpcontent/uploads/2012/09/a148.pdf>. (in Thai)
- Thansettakij. (2020). *Ask for a million rai of organic rice subsidies*. Accessed May 20, 2023. Retrieved from <https://www.thansettakij.com/business/422410>. (in Thai)

Research article

Accessing certified organic rice production of farmers in the Sathing Phra Peninsula, Songkhla Province

Priyakorn Bunsong^{1*} Pilaiwan Prapruit² and Sarunyoo Kanchanasuwan³

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, 90110 Thailand

² Agricultural Innovation and Management Division, Faculty of Natural Resources, Prince of Songkla University, Hat Yai Campus, Hat Yai District, Songkhla Province, 90110 Thailand

³ Business Administration Department, Faculty of Management Sciences, Prince of Songkla University Hat Yai District, Songkhla Province, 90112 Thailand

ARTICLE INFO**Article history**

Received: 27 November 2023

Revised: 9 January 2024

Accepted: 26 January 2024

Online published: 4 April 2024

Keyword

Organic rice

Accreditation

Organic Agriculture Standards

Sathing Phra Peninsula

ABSTRACT

This study aims to: (1) explore the context and current situation in rice production, (2) investigate motivations for entering organic rice production, and (3) identify causal factors for entering organic rice production, specifically the certification of organic farming standards for farmers in the Sathing Phra Peninsula, Songkhla Province. This research adopts a qualitative approach, utilizing relevant secondary data collected by government and private agencies, as well as primary data obtained from a group of 37 organic farming farmers and 3 officials and academics, totaling 40 participants. The data collection methods include in-depth interviews combined with observation. Simple statistics are used to analyze the information obtained. The study's findings reveal that there is certified organic rice production, meeting the Organic Thailand standards, accounting for approximately 1 percent of the total rice field area. This certification is typically in the organic certification phase (T3). Incentives for entering organic rice production include (1) government and private sector promotion policies, (2) environmental concerns, (3) replacement of plant prices, and (4) prices of production factors. Causal factors for entry into certified production include (1) farmers' determination and commitment, (2) government promotion, (3) community leaders' influence, and (4) support from government projects. Factors causing non-accreditation include (1) difficulties in the assessment system, (2) delays in subsidies, (3) changes in ownership, (4) labor shortages, and (5) product distribution issues. Addressing these problems and emphasizing the value and importance of obtaining organic agricultural certification will likely lead to an increase in the trend of organic rice production in the Sathing Phra Peninsula, Songkhla Province.

*Corresponding author

E-mail address: priyakorn_bs@hotmail.com (P. Bunsong)

Online print: 4 April 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.2024.7>



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

บทความวิจัย

ผลผลิตและคุณค่าทางโภชนาการของพันธุ์มะเขือเทศเชอร์รี่การค้า

บรรจง อุปแก้ว* อนุชา จันทบูรณ์ และ วรารุณี โล๊ะสุข

หลักสูตรสาขาพืชศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการเกษตร มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา น่าน

อำเภอภูเพียง จังหวัดน่าน 55000 ประเทศไทย

ข้อมูลบทความ

Article history

รับ: 20 พฤศจิกายน 2566

แก้ไข: 3 มกราคม 2567

ตอบรับการตีพิมพ์: 29 มกราคม 2567

ตีพิมพ์ออนไลน์: 5 เมษายน 2567

คำสำคัญ

การเจริญเติบโตและผลผลิต

มะเขือเทศเชอร์รี่

ไลโคปีน

เบต้าแคโรทีน

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาการให้ผลผลิตและคุณค่าทางโภชนาการของมะเขือเทศเชอร์รี่การค้า ในช่วงฤดูฝน ระหว่างเดือนพฤษภาคม-กันยายน พ.ศ. 2566 ดำเนินการทดลอง ในพื้นที่มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา น่าน โดยศึกษามะเขือเทศเชอร์รี่การค้าที่เหมาะสมในการผลิตเชิงปริมาณและคุณภาพสำหรับปลูกในพื้นที่จังหวัดน่านและภาคเหนือของประเทศไทย โดยใช้แผนการทดลองแบบสุ่มภายในบล็อกสมบูรณ์ จำนวน 3 ซ้ำ ประกอบด้วยพันธุ์มะเขือเทศเชอร์รี่การค้า ลูกผสมเดี่ยว จำนวน 6 พันธุ์ ได้แก่ พันธุ์โซลาริโน พันธุ์คิงพีชเชอร์รี่ พันธุ์โนว่า พันธุ์ฟาร์วีโอ พันธุ์ส้อมฮอลแลนด์และพันธุ์ชันเชอร์รี่ โดยใช้พันธุ์โซลาริโน ซึ่งเป็นพันธุ์การค้าที่เกษตรกรนิยมปลูกเป็นพันธุ์เปรียบเทียบ (พันธุ์ควบคุม) ภายใต้สภาพโรงเรือนพลาสติกตาข่าย ผลการทดลองพบว่า พันธุ์มะเขือเทศเชอร์รี่ทั้ง 6 พันธุ์ ให้ผลผลิตต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.01$) โดยพันธุ์คิงพีชเชอร์รี่และพันธุ์โซลาริโน เป็นพันธุ์ที่ให้ผลผลิตสูงที่สุด โดยให้ผลผลิต 4,327.50 และ 4,092.30 กิโลกรัมต่อไร่ และการวิเคราะห์คุณค่าทางโภชนาการพบว่า พันธุ์คิงพีชเชอร์รี่เป็นพันธุ์ที่มีปริมาณสารไลโคปีนและปริมาณสารเบต้าแคโรทีนสูง และแตกต่างทางสถิติกับพันธุ์อื่น ๆ โดยมีปริมาณสารไลโคปีน 234 ± 0.08 มิลลิกรัมต่อ 100 กรัมน้ำหนักสด และมีปริมาณสารเบต้าแคโรทีน 9.35 ± 0.80 มิลลิกรัมต่อ 100 กรัมน้ำหนักสด จากการศึกษาในครั้งนี้พันธุ์คิงพีชเชอร์รี่และพันธุ์โซลาริโน เป็นพันธุ์ที่เหมาะสมในฤดูกาลนี้ และสามารถนำผลการวิจัยไปใช้ในการเพิ่มประสิทธิภาพผลผลิตและเพิ่มความก้าวหน้าในการคัดเลือกพันธุ์ที่มีศักยภาพที่ส่งเสริมให้เกษตรกรในการปลูก รวมถึงใช้เป็นข้อมูลพื้นฐานในการศึกษาเปรียบเทียบกับฤดูกาลอื่น เพื่อพัฒนาพันธุ์มะเขือเทศเชอร์รี่ให้มีสารไลโคปีนและเบต้าแคโรทีนที่สูงต่อไป

บทนำ

มะเขือเทศเชอร์รี่ (*Solanum lycopersicum*) เป็นมะเขือเทศผลขนาดเล็กนิยมในการบริโภคสดทั้งในรูปแบบผลไม้ หรือนำไปประกอบอาหารและมีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้นในหลายภูมิภาครวมทั้งประเทศไทย เนื่องจากมีรสชาติค่อนข้างหวาน เนื้อหนา แน่น กรอบ เมล็ดน้อยกว่ามะเขือเทศชนิดอื่น ๆ และมีคุณค่าทางโภชนาการสูง กลิ่นมะเขือเทศน้อย (Gill & Kaur, 2019) อุดมไปด้วยสารต้านอนุมูลอิสระ โพลีฟีนอล เฮลิก แคลเซียม ฟอสฟอรัส วิตามินเอ วิตามินอี วิตามินบี กรดมาลิก กรดซิตริก วิตามินซีและไลโคปีน ซึ่งเป็นสารต้านอนุมูลอิสระและต้านมะเร็ง (Kumar et al., 2020) อีกทั้งสารอัลฟาโทโคฟีรอล เบตาแคโรทีน กรดอะมิโน แคโรทีนอยด์ และโฟเลต ที่เป็นประโยชน์ต่อร่างกาย (Thamwiriyasati et al., 2022) ซึ่งไลโคปีนจะพบมากในมะเขือเทศผลสีแดง จึงทำให้มะเขือเทศเป็นแหล่งสำคัญของสารต้านการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน โดยปริมาณของไลโคปีนนั้นมีความแตกต่างกันระหว่างพันธุ์มะเขือเทศ และปริมาณเบตาแคโรทีนจะพบในมากในมะเขือเทศเชอร์รี่ผลสีส้ม ซึ่งเบตาแคโรทีนเป็นแหล่งของวิตามินเอ ซึ่งมีสารสำคัญที่ช่วยในการมองเห็น (Jeeatid et al., 2021; Ketsakul, 2015) โดยในการเลือกซื้อมะเขือเทศเชอร์รี่นั้นผู้บริโภค

ส่วนใหญ่จะให้ความสำคัญกับคุณภาพผลผลิต (Sinesio et al., 2021) ซึ่งจะพิจารณาจากขนาด ผล สีผล ความแน่นเนื้อและรสชาติ ดังนั้นการพัฒนาพันธุ์มะเขือเทศเชอร์รี่ที่มีคุณภาพผลผลิตที่ดี และคุณค่าทางโภชนาการสูงเพื่อตอบสนองต่อความต้องการของผู้บริโภคจึงเป็นวัตถุประสงค์สำคัญต่อการปรับปรุงพันธุ์มะเขือเทศเชอร์รี่ ที่จะช่วยเพิ่มผลผลิตและคุณภาพการบริโภคของมะเขือเทศเชอร์รี่ และด้วยในปัจจุบันความหลากหลายของพันธุ์กรรมมะเขือเทศเชอร์รี่ที่เกษตรกรใช้ในการผลิตนั้น ส่วนใหญ่เป็นพันธุ์ผสมเปิด (open pollinated variety) ซึ่งให้ผลผลิตต่ำกว่ามะเขือเทศลูกผสมประมาณ 20–25 เปอร์เซ็นต์ (Islam et al., 2012) และพันธุ์ลูกผสมเดี่ยว (F1 hybrid) จะมีความสม่ำเสมอและให้ผลผลิตสูง (Avdikos et al., 2021) และยังพบว่ามะเขือเทศเป็นพืชที่มีความอ่อนไหวต่อโรคและแมลง ดังนั้นจึงจำเป็นต้องมีการใช้สารเคมีในการป้องกันกำจัดในปริมาณที่สูง ซึ่งส่งผลเสียต่อสุขภาพของเกษตรกร รวมไปถึงปัญหาที่มาจากพันธุ์พืชที่เกษตรกรเพาะปลูกไม่เหมาะสมกับสภาพแวดล้อม ทำให้ผลผลิตน้อยและไม่ได้คุณภาพ เนื่องจากพันธุ์นั้นไม่สามารถปรับตัวให้เหมาะสมและตอบสนองต่อทุกลักษณะของสภาพแวดล้อมได้ โดยเฉพาะในมะเขือเทศที่ต้องเก็บเกี่ยวในช่วงฤดูฝนที่มักจะพบปัญหาผลแตก จึง

*Corresponding author

E-mail address: landscape@rmul.ac.th (B. Oupkaew)

Online print: 5 April 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.2024.8>

ทำให้เกษตรกรต้องคัดเลือกพันธุ์มะเขือเทศที่มีลักษณะพันธุ์ต้านทานต่อโรค ทั้งที่เกิดจาก แมลง เชื้อราและไวรัส มีผลไม่ใหญ่มาก ผลผลิตต่อไร่สูง และสามารถเก็บเกี่ยวได้นานขึ้น เพื่อลดต้นทุนในการปลูก และพันธุ์ที่มีน้ำหนักดี เนื้อหนา แน่น แข็ง ไม่แตกง่าย เปลือกผิวค่อนข้างหนา เพื่อที่จะสามารถเก็บรักษาได้นานหลังจากการเก็บเกี่ยว และสะดวกต่อการขนส่ง รวมถึงลดการเสียหายจากการขนส่งได้ (Lapjit, 2014) ซึ่งจากการศึกษาที่ผ่านมาพบว่า ผลผลิตและคุณภาพของมะเขือเทศเชอร์รี่ขึ้นอยู่กับพันธุ์และสภาพแวดล้อม รวมถึงปฏิสัมพันธ์ระหว่างพันธุ์กับสภาพแวดล้อมในการปลูก (Panthee et al., 2012; Tinyane et al., 2013) โดยปัจจัยสภาพแวดล้อมที่นอกเหนือจากพันธุกรรม เช่น อุณหภูมิสูง ความชื้น ปริมาณน้ำและธาตุอาหาร เป็นส่วนสำคัญที่ส่งผลต่อปริมาณและคุณภาพของผลผลิตมะเขือเทศเชอร์รี่แต่ละพันธุ์ ทำให้การติดผล สี ขนาดและรูปร่างผลไม่ตรงตามพันธุกรรม ค่าปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ลดลง (Kamnnoo et al., 2019) โดยอุณหภูมิในช่วง 25–30 องศาเซลเซียสส่งผลให้มะเขือเทศมีคุณภาพและสารสำคัญสูง (Camejo et al., 2005; Dumas et al., 2003) และอุณหภูมิสูงกว่า 30 องศาเซลเซียสจะส่งผลให้คุณภาพและสารสำคัญในผลลดลง (Riga et al., 2008; Tinyane et al., 2013) ดังนั้น การทดสอบพันธุ์ตามกระบวนการปรับปรุงพันธุ์มะเขือเทศเชอร์รี่การค้าลูกผสมเดี่ยว (F1 hybrid) ณ สถานีปฏิบัติการพืชสวน สาขาพืชศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการเกษตร มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา น่าน มีวัตถุประสงค์เพื่อคัดเลือกพันธุ์ที่มีลักษณะผลผลิตและการเจริญเติบโตของลำต้นที่ดี รวมถึงมีคุณภาพผลผลิตและคุณค่าทางโภชนาการสูงในฤดูฝน เพื่อนำมาใช้เป็นข้อมูลสนับสนุนการเพิ่มมูลค่าของผลผลิตมะเขือเทศเชอร์รี่การค้า ในการส่งเสริมให้เกษตรกรในพื้นที่ปลูกจังหวัดน่านและภาคเหนือของประเทศไทยในการผลิต และเพื่อใช้เป็นแหล่งข้อมูลสนับสนุนการวิจัยในระดับที่สูงขึ้นไป

อุปกรณ์และวิธีการวิจัย

การวางแผนการทดลอง

วางแผนการทดลองแบบสุ่มภายในบล็อกสมบูรณ์ (Randomized Complete Block Design) ทำ 3 ซ้ำ ซ้ำละ 10 ต้น ประกอบด้วยพันธุ์มะเขือเทศเชอร์รี่ลูกผสมเดี่ยว (F1 hybrid) มีการเจริญเติบโตแบบเลื้อย (indeterminate) และมีผลขนาดเล็ก จำนวน 6 พันธุ์ ได้แก่ พันธุ์เซลาริโน พันธุ์คิงพีชเชอร์รี่ พันธุ์โนว่า พันธุ์ฟาร์วี่ไอ พันธุ์ซัมฮอลแลนด์ และพันธุ์ซันเชอร์รี่ โดยใช้พันธุ์เซลาริโน ซึ่งเป็นพันธุ์การค้าที่เกษตรกรนิยมปลูกเป็นพันธุ์เปรียบเทียบ (พันธุ์ควบคุม) ทำการทดลองในฤดูฝน ระหว่างเดือน พฤษภาคม–กันยายน 2566 โดยปลูกทดสอบปลูกในสภาพโรงเรือนพลาสติกตาข่าย ซึ่งมีความกว้าง 6 เมตร ยาว 24 เมตร และสูง 3.50 เมตร หลังคามุงด้วยพลาสติกโปร่งใสความหนา 150 ไมครอน ด้านข้างรอบโรงเรือนล้อมด้วยตาข่ายความถี่ 20 ตา

การปลูกและการดูแลรักษา

ทำการเพาะเมล็ดพันธุ์มะเขือเทศเชอร์รี่ในถาดเพาะ 104 หลุม ขนาดหลุม (ปากหลุม×ก้นหลุม×ลึก) 4.00×2.50×4.50 เซนติเมตร ซึ่งใช้วัสดุเพาะคือพีทมอสและเวอร์มิคูไลท์ ในอัตราส่วน 1.00:0.50 หลังจากนั้นให้น้ำด้วยระบบพ่นฝอย (mist/jet spray) วันละ 2 ครั้ง

ในช่วงเช้าและกลางวัน ครึ่งละ 3 นาที และฉีดพ่นฝอยด้วยปุ๋ยเกร็ดสูตร 30-20-10 อัตรา 10 กรัมต่อน้ำ 20 ลิตร ทุก ๆ 2 วัน เมื่อดันกล้ามีใบจริงจำนวน 3-4 ใบ (ประมาณ 21 วัน หลังเพาะเมล็ด) คัดเลือกต้นมะเขือเทศเชอร์รี่ที่มีขนาดใกล้เคียงกัน ย้ายต้นกล้าลงปลูกในถุงปลูกสีขาวขนาด 8×13 นิ้ว โดยวัสดุปลูกมีส่วนผสมของกาบมะพร้าวสับหยาบและกาบมะพร้าวสับละเอียดในอัตราส่วน 0.5:1 โดยใช้ระยะห่างระหว่างต้น และระหว่างแถวเท่ากับ 70×70 เซนติเมตร และระยะห่างระหว่างบล็อก 1 เมตร การให้น้ำและธาตุอาหารโดยใช้สารละลายธาตุอาหารผ่านทางระบบน้ำหยด โดยใช้สูตรของ Resh Tropical Dry Summer (Resh, 2022) ซึ่งจะให้ระดับความเข้มข้นของสารละลายธาตุอาหารตามระยะการเจริญเติบโตมะเขือเทศเชอร์รี่ ระยะต้นกล้าใช้ความเข้มข้นที่ 0.25 เท่า ระยะการเจริญเติบโตหลังย้ายต้นกล้าที่ 0.50 เท่า ระยะการออกดอก 0.75 เท่า และระยะการติดผล 1.0 เท่า ซึ่งมีอุณหภูมิตลอดระยะเวลาการปลูกเฉลี่ย 26–31 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ตลอดระยะเวลาการปลูกเฉลี่ย 75–85 เปอร์เซ็นต์ และความเข้มแสงตลอดระยะเวลาการปลูก เฉลี่ย 22,000–24,000 ลักซ์ เมื่อมะเขือเทศเชอร์รี่มีอายุ 10 วันหลังจากย้ายปลูก จะจัดเถาขึ้นค้างให้กับมะเขือเทศเชอร์รี่ เมื่อดันมะเขือเทศเชอร์รี่เริ่มออกดอกจะแตกกิ่งหลักออกเป็น 2 กิ่ง โดยตัดแต่งกิ่งแขนงย่อยที่ไม่ใช่กิ่งที่ให้ผลผลิตออก การดูแลรักษาโรคทางดินในระยะต้นกล้า หลังจากการย้ายปลูกจะรดสารกำจัดเชื้อราที่บริเวณโคนต้นเพื่อป้องกันโรคเน่าจากเชื้อรา ด้วยเมทาแลกซิล อัตรา 1 กรัมต่อน้ำ 1 ลิตร รดโคนต้นมะเขือเทศเชอร์รี่ ปริมาณ 100 มิลลิลิตรต่อต้น สำหรับหนอนเพลี้ยไฟ แมลงหวี่ขาว เพลี้ยอ่อน หนอนกระทู้ผัก หนอนเจาะสมอฝ้าย เพลี้ยหอย เพลี้ยไก่แจ้ เพลี้ยจักจั่นฝ้าย ตัวเต่าแดง และหนอนเจาะผล จะฉีดพ่นด้วย อิมิดาโคลพริด (imidacloprid) 70 เปอร์เซ็นต์ WG อัตราส่วน 40 มิลลิลิตรต่อน้ำ 20 ลิตร ทุกวันสัปดาห์และช่วงที่มีแมลงระบาด และสำหรับโรคแอนแทรกโนส โรคใบจุดตาบ โรคใบจุดสีม่วง โรคราแป้ง โรคราสนิม โรคใบไหม้ โรครากรเน่าโคนเน่า โรคสแคป ฉีดพ่นด้วยอะซอกซิสโตรบิน (azoxystrobin) 25 เปอร์เซ็นต์ W/V SC อัตราการใช้ 5–15 มิลลิลิตรต่อน้ำ 20 ลิตร เริ่มพ่นเมื่อพบการระบาดของโรค และหยุดการฉีดพ่นก่อนเก็บเกี่ยว 14 วัน

การเก็บข้อมูล

1) การเจริญเติบโตและองค์ประกอบผลผลิต ได้แก่

1.1) จำนวนผลสดต่อต้น สุ่มเก็บผลมะเขือเทศเชอร์รี่เฉพาะระยะสุกแก่ตามลักษณะประจำพันธุ์ในข้อผลโดยเด็ดที่ผลตั้งแต่ข้อที่ 1 ถึงข้อที่ 6 ต่อต้น และเก็บผลผลิตทุกสัปดาห์แล้วคำนวณเป็นค่าเฉลี่ยจำนวนผลต่อต้น

1.2) น้ำหนักผลสดต่อผล สุ่มเก็บผลมะเขือเทศเชอร์รี่เฉพาะระยะสุกแก่ตามลักษณะประจำพันธุ์ พันธุ์ละ 5 ผลต่อซ้ำ มาชั่งน้ำหนักที่ผลด้วยเครื่องชั่งดิจิตอลทศนิยม 2 ตำแหน่ง แล้วคำนวณเป็นค่าเฉลี่ยน้ำหนักต่อผล

1.3) น้ำหนักผลสดต่อต้น สุ่มเก็บผลมะเขือเทศเชอร์รี่เฉพาะระยะสุกแก่ ในข้อที่ 1.1 มาชั่งน้ำหนักด้วยเครื่องชั่งดิจิตอลทศนิยม 2 ตำแหน่ง นำมาคำนวณเป็นค่าเฉลี่ยน้ำหนักผลสดต่อต้น

1.4) จำนวนช่อดอกต่อต้น สุ่มนับจำนวนช่อดอกทั้งหมดของต้น พันธุ์ละ 5 ต้นต่อซ้ำ แล้วคำนวณเป็นค่าเฉลี่ยจำนวนช่อดอกต่อต้น

1.5) ดัชนีพื้นที่ใบ วัดพื้นที่ใบทั้งหมดของต้นมะเขือเทศ เซอร์รี่พันธุ์ละ 5 ต้นต่อซ้ำโดยการตัดออกจากแปลงมาวัด จากนั้นใช้เครื่องสแกนภาพและซอฟต์แวร์วิเคราะห์ภาพและแอปพลิเคชันมือถือ (leafscan, petiole, easy leaf area) จากนั้นพื้นที่ใบที่วัดสามารถแบ่งตามพื้นที่เพื่อให้ได้ LAI อีกทางหนึ่งโดยใช้สูตร ดัชนีพื้นที่ใบ = พื้นที่ใบ/พื้นที่ปลูก แล้วคำนวณเป็นค่าเฉลี่ยต่อต้น

1.6) เปอร์เซ็นต์การติดผล เก็บตัวอย่างมะเขือเทศเซอร์รี่ 10 ช่อต่อต้น แล้วนับจำนวนดอกในแต่ละช่อดอก จำนวน 5 ต้นต่อ treatment ทำ 3 ซ้ำ เมื่อมีการติดผลจึงนับจำนวนผลในแต่ละช่อดอกนั้น คำนวณเปอร์เซ็นต์การติดผลจาก

$$\text{เปอร์เซ็นต์การติดผล} = \frac{\text{จำนวนดอกที่ติดเป็นผล} \times 100}{\text{จำนวนดอกทั้งหมด}}$$

1.7) ผลผลิตต่อสดต่อไร่ เก็บเกี่ยวผลผลิตสดเมื่อผลสุก (35–45 วันหลังดอกบาน) และมีลักษณะสีสุกแก่ตามลักษณะประจำพันธุ์แต่ละพันธุ์ทุกวัน โดยเก็บเกี่ยวผลผลิตสดจากทุกต้นในแปลงปลูกตั้งแต่ช่อที่ 1 ถึงช่อที่ 6 ต่อต้น ยกเว้นต้นที่อยู่หัวแถวและท้ายแถวของแปลง นำผลผลิตสดที่เก็บเกี่ยวแต่ละครั้งมาชั่งน้ำหนักและรวมน้ำหนักผลผลิตทุกครั้งที่เก็บเกี่ยวแล้วคำนวณเป็นผลผลิตสดต่อไร่

2) คุณภาพของผลและคุณค่าทางโภชนาการ

2.1) เส้นผ่านศูนย์กลางของผล สุ่มวัดเส้นผ่านศูนย์กลางของผลมะเขือเทศเซอร์รี่วัดจากส่วนกลางผล พันธุ์ละ 15 ผลต่อซ้ำ แล้วคำนวณเป็นค่าเฉลี่ยเส้นผ่านศูนย์กลางต่อผล

2.2) ความยาวผล สุ่มวัดความยาวของผลมะเขือเทศเซอร์รี่วัดจากหัวผลจนถึงท้ายผล พันธุ์ละ 15 ผลต่อซ้ำ แล้วคำนวณเป็นค่าเฉลี่ยความยาวต่อผล

2.3) ความแน่นเนื้อ สุ่มเก็บผลผลิตแล้ววัดความแน่นเนื้อโดยใช้เครื่องวัดความแน่นเนื้อผลไม้ (fruit firmness tester) ซึ่งใช้หัวรับแรงกดทรงกระบอกมีเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.20 เซนติเมตร กดลงไปบริเวณผลของมะเขือเทศสีประมาณ 0.5 มิลลิเมตร พันธุ์ละ 15 ผลต่อซ้ำ แล้วคำนวณเป็นค่าเฉลี่ยต่อผลและบันทึกผลโดยมีหน่วยเป็นนิวตัน

2.4) ปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายน้ำได้ (total soluble solid, TSS) สุ่มเก็บผลผลิตแล้วนำน้ำคั้นจากผลมะเขือเทศเซอร์รี่มาวัดด้วยเครื่องวัดความหวาน brix refractometer (ยี่ห้อ Hanna รุ่น HI96801) พันธุ์ละ 15 ผลต่อซ้ำ แล้วคำนวณเป็นค่าเฉลี่ยต่อผล อ่านค่าที่ได้แล้วบันทึกค่าซึ่งมีหน่วยเป็น องศาบริกซ์

2.5) สีผลมะเขือเทศ การศึกษาครั้งนี้รายงานที่วัดได้ทุกค่าสีโดยสุ่มผลมะเขือเทศที่ระยะเก็บเกี่ยวพันธุ์ละ 15 ผลต่อซ้ำ มาวัดค่า L^* , a^* , b^* และ hue angle วัดผลละ 2 ตำแหน่ง โดยใช้เครื่องวัดสี Hunter lab รุ่น Colorflex EZ รายงานผลเป็นค่า L^* , a^* , b^* , chroma และ hue angle

ค่า L^* หมายถึง ค่าความสว่าง โดยมีค่าตั้งแต่ 0 (สีดำ) ไปจนถึง 100 (สีขาว)

ค่า a^* ค่าบวก หมายถึง ความเป็นสีแดง ค่าเป็นลบ หมายถึง ความเป็นสีเขียว

ค่า b^* ค่าบวก หมายถึง ความเป็นสีเหลือง ค่าเป็นลบ หมายถึง ความเป็นสีน้ำเงิน

2.6) การวิเคราะห์ปริมาณสารไลโคปีน วิเคราะห์ปริมาณสารไลโคปีนของสารสกัดทั้งหมดด้วย uv-visible spectrophotometer ดัดแปลงจากวิธีของ Wihong et al (2014) โดยมีขั้นตอนการวิเคราะห์ดังนี้ นำมะเขือเทศผลสุกมาล้างทำความสะอาดและปั่นให้ละเอียด แล้วชั่งมะเขือเทศปั่นละเอียดมาพันธุ์ละ 3 กรัม ใส่ในหลอดเซนตริฟิวจ์ จากนั้นเติมสารสกัด (hexane : ethanol : distill water, 5 : 3 : 1 v/v/v) ปริมาตร 12 มิลลิลิตร และนำมาเข้าเครื่องเขย่าสารเป็นเวลา 10 นาที จากนั้นปั่นเหวี่ยงด้วยเครื่องหมุนเหวี่ยงตกตะกอนที่ความเร็ว 5000 rpm เป็นเวลา 10 นาที แล้วดูดสารละลายใสส่วนบนปริมาตร 100 ไมโครลิตร ลงในหลอดทดลองฝาเกลียว จากนั้นเติม hexane ปริมาตร 2.7 มิลลิลิตร ผสมให้เข้ากันปิดฝาให้สนิท นำมาวัดค่าการดูดกลืนแสงเครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ที่ความยาวคลื่น 471 นาโนเมตร จากนั้นนำไปวิเคราะห์ปริมาณไลโคปีนจากมะเขือเทศพันธุ์ต่าง ๆ โดยเปรียบเทียบกับกราฟมาตรฐานไลโคปีน

2.7) การวิเคราะห์ปริมาณสารเบต้าแคโรทีน วิเคราะห์ปริมาณสารเบต้าแคโรทีนของสารสกัดทั้งหมดด้วย uv-visible spectrophotometer ดัดแปลงจากวิธีของ Wihong et al (2014) โดยมีขั้นตอนการวิเคราะห์ดังนี้ ชั่งเนื้อมะเขือเทศปั่นละเอียด จำนวน 3 กรัม นำมาใส่ในหลอดเซนตริฟิวจ์ จากนั้นเติมสารสกัด (hexane : ethanol : acetone) (5 : 3 : 1) ปริมาตร 18 มิลลิลิตร ปั่นด้วยเครื่อง vortex เป็นเวลา 10 นาที จากนั้นนำเข้าเครื่องปั่นเหวี่ยงตกตะกอนที่ความเร็ว 5000 rpm อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 10 นาที ปิเปตส่วนใส (supernatant) ปริมาตร 300 ไมโครลิตร ลงในหลอดทดลอง จากนั้นเติม hexane ปริมาตร 2.7 มิลลิลิตรลงไป ปิดหลอดทดลองด้วยจุกยาง นำสารละลายสารสกัดที่ได้มาวัดค่าการดูดกลืนแสงด้วยเครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ที่ความยาวคลื่น 449 นาโนเมตร คำนวณความเข้มข้นของเบต้าแคโรทีน โดยเปรียบเทียบกับสารมาตรฐานเบต้าแคโรทีน

การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ

นำข้อมูลที่ได้มาวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติ (analysis of variance) ตามแผนการทดลองแบบสุ่มภายในบล็อกสมบูรณ์ แล้วเปรียบเทียบค่าความแตกต่างระหว่างค่าเฉลี่ยด้วยวิธี Duncan's New Multiple Range Test และวิเคราะห์สหสัมพันธ์ระหว่างผลผลิตและองค์ประกอบของผลผลิต คุณค่าทางโภชนาการ เพื่อใช้ในการประเมินความแตกต่างของพันธุ์ตามวิธีของ Gomez & Gomez (1984) และเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยด้วยวิธี least significant difference (LSD) ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซนต์ โดยใช้โปรแกรมวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ STAR 2.0.1

ผลและวิจารณ์ผลการวิจัย

การเจริญเติบโตและองค์ประกอบผลผลิตของมะเขือเทศเซอร์รี่ 6 พันธุ์ มะเขือเทศเซอร์รี่ 6 พันธุ์ มีจำนวนผลสดต่อต้นอยู่ระหว่าง 63–178 ผลต่อต้น (Table 1) โดยเฉลี่ยมีจำนวนผลสดต่อต้น 107 ผลต่อต้น ซึ่งพันธุ์โซลาริโนเป็นพันธุ์ที่มีจำนวนผลสดต่อต้นสูงและแตกต่างทางสถิติกับพันธุ์อื่น ๆ โดยมีจำนวนผลสดต่อต้น 178 ผลต่อต้น น้ำหนักผลสดต่อผล มะเขือเทศเซอร์รี่ 6 พันธุ์ มีน้ำหนักผลสดต่อผลอยู่ระหว่าง 7.20 – 16.70 กรัมต่อผล โดยเฉลี่ยมีน้ำหนักผลสดต่อผล 10.60 กรัมต่อผล ซึ่งพันธุ์ฟลาวีโอ เป็นพันธุ์ที่ให้น้ำหนักผลสดต่อผลสูงและ

แตกต่างทางสถิติกับพันธุ์อื่น ๆ โดยให้น้ำหนักผลสดต่อผล 16.70 กรัมต่อผล ในขณะที่พันธุ์โซลาริโน (พันธุ์ควบคุม) มีน้ำหนักผลสดต่อผล 7.20 กรัมต่อผล น้ำหนักผลสดต่อต้น มะเขือเทศเชอร์รี่ 6 พันธุ์ มีน้ำหนักผลสดต่อต้นอยู่ระหว่าง 695.80 – 1,352.30 กรัมต่อต้น โดยเฉลี่ยมีน้ำหนักผลสดต่อต้น 1,030.40 กรัมต่อต้น ซึ่งพันธุ์โซลาริโน และพันธุ์คิงพิชเชอร์ เป็นพันธุ์ที่ให้น้ำหนักผลสดต่อต้นสูงและแตกต่างทางสถิติกับพันธุ์อื่น ๆ โดยให้น้ำหนักผลสดต่อต้น 1,278.80 และ 1,352.30 กรัมต่อต้น ตามลำดับ จำนวนช่อดอกต่อต้น มะเขือเทศเชอร์รี่ 6 พันธุ์ มีจำนวนช่อดอกต่อต้นอยู่ระหว่าง 15–23 ช่อดอก โดยเฉลี่ยมีจำนวนช่อดอกต่อต้น 20 ช่อดอก ซึ่งพันธุ์คิงพิชเชอร์ พันธุ์ซันเซอร์รี่ และพันธุ์โซลาริโน เป็นพันธุ์ที่มีจำนวนช่อดอกต่อต้นมากและแตกต่างทางสถิติกับพันธุ์อื่น ๆ โดยมีจำนวนช่อดอกต่อต้น 21 23 และ 23 ช่อดอก ตามลำดับ และมะเขือเทศเชอร์รี่ 6 พันธุ์ มีดัชนีพื้นที่ใบอยู่ระหว่าง 2.39–2.65 ตารางเซนติเมตร โดยเฉลี่ยมีดัชนีพื้นที่ใบ 2.5 ตารางเซนติเมตร ซึ่งพันธุ์โซลาริโน และพันธุ์คิงพิชเชอร์ เป็นพันธุ์ที่มีดัชนีพื้นที่ใบมากและแตกต่างทางสถิติกับพันธุ์อื่น ๆ โดยมีดัชนีพื้นที่ใบ 2.65 และ 2.64 ตารางเซนติเมตร ตามลำดับ เปอร์เซ็นต์การติดผล มะเขือเทศเชอร์รี่ 6 พันธุ์ มีเปอร์เซ็นต์การติดผลอยู่ระหว่าง 68.34–71.21 เปอร์เซ็นต์ โดยเฉลี่ยมีเปอร์เซ็นต์การติดผล 70.30 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งพันธุ์คิงพิชเชอร์เป็นพันธุ์ที่มีเปอร์เซ็นต์การติดผลมากและแตกต่างทางสถิติกับพันธุ์อื่น ๆ โดยมีเปอร์เซ็นต์การติดผล 71.21 เปอร์เซ็นต์ ในขณะที่พันธุ์โซลาริโน (พันธุ์ควบคุม) มีเปอร์เซ็นต์การติดผล 71.10 เปอร์เซ็นต์ ผลผลิตต่อไร่ มะเขือเทศเชอร์รี่ 6 พันธุ์ ให้ผลผลิตอยู่ระหว่าง 2,226.72–4,327.50 กิโลกรัมต่อไร่ โดยเฉลี่ยให้ผลผลิต 3,297.37 กิโลกรัมต่อไร่ โดยพันธุ์โซลาริโนและพันธุ์คิงพิชเชอร์ เป็นพันธุ์ที่ให้ผลผลิตต่อไร่สูงและแตกต่างทางสถิติกับพันธุ์อื่น ๆ โดยให้ผลผลิตต่อไร่ 4,092.31 และ 4,327.50 กิโลกรัมต่อไร่ ตามลำดับ

เมื่อพิจารณาการเจริญเติบโตและองค์ประกอบผลผลิตของมะเขือเทศเชอร์รี่ 6 พันธุ์ พบว่า พันธุ์คิงพิชเชอร์และพันธุ์โซลาริโน เป็นพันธุ์ที่ให้ผลผลิตสูงและแตกต่างทางสถิติกับพันธุ์อื่น ๆ และเมื่อพิจารณาผลผลิตและองค์ประกอบของผลผลิตของมะเขือเทศเชอร์รี่ คือ จำนวนผลสดต่อต้น และน้ำหนักผลสดต่อต้น โดยมะเขือเทศเชอร์รี่ ทั้ง 6 พันธุ์ มีความสามารถในการปรับตัวและให้ผลผลิตต่างกันเมื่อปลูกในพื้นที่จังหวัดน่าน จากผลการวิเคราะห์สหสัมพันธ์ระหว่างผลผลิตและองค์ประกอบของผลผลิตของมะเขือเทศเชอร์รี่ 6 พันธุ์ (Table 2) พบว่า ผลผลิตต่อไร่มีสหสัมพันธ์กับจำนวนผลสดต่อต้นและน้ำหนักผลสดต่อต้น โดยมีค่าสหสัมพันธ์เท่ากับ 0.80 และ 1.00 ตามลำดับ ($P < 0.01$) ดังนั้นจึงกล่าวได้ว่าพันธุ์คิงพิชเชอร์และพันธุ์โซลาริโน ที่ให้ผลผลิตสูงกว่าพันธุ์อื่น ๆ ก็เนื่องจากเป็นพันธุ์ที่มีสหสัมพันธ์ทางบวกระดับสูงระหว่างผลผลิตกับจำนวนผลสดต่อต้นและน้ำหนักผลสดต่อต้นที่สูงกว่าพันธุ์อื่น ๆ โดยจำนวนผลสดต่อต้นและน้ำหนักผลสดต่อต้นมาก ซึ่งเป็นลักษณะที่สัมพันธ์โดยตรงต่อผลผลิตต่อไร่ (Anwarzai et al., 2020) และสอดคล้องกับรายงานวิจัยของ Milutinovic & Djukic (1997) ที่พบว่า น้ำหนักผลสดต่อไร่ที่สูงมีสหสัมพันธ์ทางบวกกับจำนวนผลสดต่อต้นและน้ำหนักผลสดต่อต้น ในทางเดียวกันกับ Omprasad et al (2018) ที่รายงานวิจัยการประเมินมะเขือเทศเชอร์รี่ จากคุณสมบัติการเจริญเติบโตและผลผลิตโดยผลผลิตต่อแปลงและต่อไร่ที่สูงสุดเป็นผลมาจากการเจริญเติบโต

ของพืชที่ดี การออกดอกเร็ว จำนวนผลสดต่อต้นที่มาก เปอร์เซ็นต์การติดผลที่สูง น้ำหนักผลสดต่อต้นสูงสุด (Muttappanavar et al., 2015; Prema et al, 2011; Singh et al., 2021) และเมื่อพิจารณาลักษณะการเจริญเติบโตของลำต้นของมะเขือเทศเชอร์รี่ 6 พันธุ์ ยังพบว่า ดัชนีพื้นที่ใบ และจำนวนช่อดอกต่อต้น มีสหสัมพันธ์ระหว่างผลผลิตกับลักษณะการเจริญเติบโตของลำต้นทางบวกระดับสูง (Table 2) โดยมีค่าสหสัมพันธ์เท่ากับ 0.80 และ 0.92 ตามลำดับ ($P < 0.01$) สอดคล้องกับรายงานวิจัยของ Kamnool (2019) และ Wongchayanun & Saeng-ngoen (2020) ซึ่งรายงานว่าการเจริญเติบโตของลำต้น ลักษณะความสูงต้นที่มาก ขนาดทรงพุ่มแผ่กว้าง จำนวนช่อดอกต่อต้นสูง มีเปอร์เซ็นต์การติดผลที่ดีและจำนวนผลสดต่อช่อดอกมาก จะส่งผลโดยตรงต่อจำนวนผลสดต่อต้นและผลผลิตต่อไร่ที่สูง ในทางเดียวกันกับ (Anwarzai et al., 2020; Kumar et al., 2014; Renuka et al., 2014) ที่รายงานว่า ความสูงต้นมะเขือเทศเชอร์รี่ เป็นตัวบ่งชี้ถึงความสมบูรณ์ของพืช ความทนทาน การแต่งกิ่งแขนงและใบจะช่วยให้ความสูงของพืชดีขึ้น การสะสมและการเคลื่อนย้ายธาตุอาหารในพืชที่ดีขึ้น ซึ่งลักษณะความสูงต้นที่มากจะนิยมใช้ปลูกเนื่องจากจะทำให้ระยะเวลาเก็บเกี่ยวนานขึ้น (Omprasad et al., 2018; Prema et al., 2011) ซึ่งมะเขือเทศเชอร์รี่ทั้ง 6 พันธุ์ ที่มีจำนวนผลต่อต้น น้ำหนักผลสดต่อต้น จำนวนช่อดอกต่อต้น และดัชนีพื้นที่ใบ ที่แตกต่างกันอาจเนื่องมาจากศักยภาพทางพันธุกรรมของพันธุ์เหล่านี้ สมองต่อสภาพอากาศของแต่ละพื้นที่ที่ต่างกัน โดยปัจจัยจากสภาพแวดล้อมอาจส่งผลต่อพัฒนาการเจริญเติบโตและการออกดอกติดผลของมะเขือเทศเชอร์รี่จึงทำให้ปริมาณและคุณภาพผลผลิตแปรผันได้ ซึ่งปัจจัยสภาพแวดล้อม เช่น อุณหภูมิ ความชื้น ปริมาณน้ำและธาตุอาหารเป็นส่วนสำคัญที่ส่งผลต่อปริมาณและคุณภาพของผลผลิตมะเขือเทศเชอร์รี่ ทำให้มีการติดผลลดลง ขนาดและรูปร่างผลไม่ตรงตามพันธุกรรม ค่าปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ลดลง (Kamnool et al., 2019) ดังนั้นการที่พันธุ์คิงพิชเชอร์ และพันธุ์โซลาริโน เป็นพันธุ์ที่ให้ผลผลิตสูงนั้น ด้วยมีการเจริญเติบโตและองค์ประกอบผลผลิตที่ดี มีความสามารถในการปรับตัวร่วมกับสภาพแวดล้อมเมื่อปลูกในพื้นที่จังหวัดน่าน

ลักษณะคุณภาพและคุณค่าทางโภชนาการของมะเขือเทศเชอร์รี่ 6 พันธุ์

มะเขือเทศเชอร์รี่ 6 พันธุ์ มีเส้นผ่านศูนย์กลางผล อยู่ระหว่าง 18.70 – 26.20 มิลลิเมตร (Table 3) โดยเฉลี่ยมีเส้นผ่านศูนย์กลางผล 22.70 มิลลิเมตร ซึ่งพันธุ์ซันเซอร์รี่ พันธุ์สัสมอลแลนด์ และพันธุ์ฟลาวีโอ เป็นพันธุ์ที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางผลมากและแตกต่างทางสถิติกับพันธุ์อื่น ๆ โดยมีเส้นผ่านศูนย์กลางผล 25.40 25.90 และ 26.20 มิลลิเมตร ตามลำดับ ในขณะที่พันธุ์โซลาริโน (พันธุ์ควบคุม) มีเส้นผ่านศูนย์กลางผล 19.80 มิลลิเมตร ความยาวผล มะเขือเทศเชอร์รี่ 6 พันธุ์ มีความยาวผลอยู่ระหว่าง 26.40–39.70 มิลลิเมตร และโดยเฉลี่ยมีความยาวผล 32.50 มิลลิเมตร โดยพันธุ์ฟลาวีโอ เป็นพันธุ์ที่มีความยาวผลมากและแตกต่างทางสถิติกับพันธุ์อื่น ๆ โดยมีความยาวผล 39.7 มิลลิเมตร ในขณะที่พันธุ์โซลาริโน (พันธุ์ควบคุม) มีความยาวผล 29.80 มิลลิเมตร ความแน่นเนื้อ มะเขือเทศเชอร์รี่ 6 พันธุ์ มีความแน่นเนื้ออยู่ระหว่าง 1.00–1.40 นิวตัน โดยเฉลี่ยมีความแน่นเนื้อ 1.30 นิวตัน โดยพันธุ์คิงพิชเชอร์ พันธุ์โซลาริโน พันธุ์โนว่า พันธุ์ฟลาวีโอ และพันธุ์สัสมอลแลนด์ เป็นพันธุ์ที่มีความแน่นเนื้อมากและแตกต่างทางสถิติกับพันธุ์อื่น ๆ โดยมีความแน่นเนื้อ 1.20 1.30 1.30 1.40 และ 1.40 นิวตัน ตามลำดับ

ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ มะเขือเทศเชอร์รี่ 6 พันธุ์ มีปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้อยู่ระหว่าง 5.60–8.60 องศาบริกซ์ โดยเฉลี่ยมีปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ 7.10 องศาบริกซ์ โดยพันธุ์โซลาริโน และพันธุ์คิงฟิชเชอร์ เป็นพันธุ์ที่มีปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้สูงและแตกต่างทางสถิติกับพันธุ์อื่น ๆ โดยมีปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ 8.00 และ 8.60 องศาบริกซ์ ตามลำดับ

การเปลี่ยนแปลงค่าสี พันธุ์มะเขือเทศเชอร์รี่ 6 พันธุ์ มีความสว่างที่เปลือกและเนื้อติดเมล็ดของมะเขือเทศโดย มีการเปลี่ยนแปลงค่าสีต่างกันอย่งมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.01$) โดยค่า L^* ของมะเขือเทศเชอร์รี่ 6 พันธุ์ อยู่ระหว่าง 24.20–41.90 และโดยเฉลี่ยมีค่า L^* เท่ากับ 33.50 โดยพันธุ์โนว่า เป็นพันธุ์ที่มีค่า L^* สูงและแตกต่างทางสถิติกับพันธุ์อื่น ๆ โดยมีค่า 41.90 ในขณะที่พันธุ์โซลาริโน (พันธุ์ควบคุม) มีค่า L^* เท่ากับ 24.20 ค่า a^* ของมะเขือเทศเชอร์รี่ 6 พันธุ์ อยู่ระหว่าง 7.50–31.80 และโดยเฉลี่ยมีค่า a^* โดยพันธุ์พันธุ์โซลาริโน เป็นพันธุ์ที่มีค่า a^* สูงและแตกต่างทางสถิติกับพันธุ์อื่น ๆ โดยมีค่า 31.80 ค่า b^* ของมะเขือเทศเชอร์รี่ 6 พันธุ์ อยู่ระหว่าง 28.10–56.10 โดยพันธุ์โนว่า เป็นพันธุ์ที่มีค่า b^* สูงและแตกต่างทางสถิติกับพันธุ์อื่น ๆ โดยมีค่า b^* เท่ากับ 56.10 ในขณะที่พันธุ์โซลาริโน (พันธุ์ควบคุม) มีค่า b^* เท่ากับ 28.60 ปริมาณไลโคปีน มะเขือเทศเชอร์รี่ 6 พันธุ์ มีปริมาณไลโคปีน อยู่ระหว่าง 2 ± 0.03 – 234 ± 0.08 มิลลิกรัมต่อ 100 กรัม น้ำหนักสด และโดยเฉลี่ยมีปริมาณไลโคปีน 83.34 มิลลิกรัมต่อ 100 กรัม น้ำหนักสด โดยพันธุ์คิงฟิชเชอร์ เป็นพันธุ์ที่มีปริมาณไลโคปีนสูงและแตกต่างทางสถิติกับพันธุ์อื่น ๆ โดยมีปริมาณไลโคปีน 234 ± 0.08 มิลลิกรัมต่อ 100 กรัม น้ำหนักสด ในขณะที่พันธุ์โซลาริโน (พันธุ์ควบคุม) มีปริมาณไลโคปีน 218 ± 0.07 มิลลิกรัมต่อ 100 กรัม น้ำหนักสด ปริมาณเบต้าแคโรทีน มะเขือเทศเชอร์รี่ 6 พันธุ์ มีปริมาณเบต้าแคโรทีนอยู่ระหว่าง 1.14 ± 0.04 – 9.35 ± 0.80 มิลลิกรัมต่อ 100 กรัม น้ำหนักสด และโดยเฉลี่ยมีปริมาณเบต้าแคโรทีน 3.96 มิลลิกรัมต่อ 100 กรัม น้ำหนักสด โดยพันธุ์คิงฟิชเชอร์ เป็นพันธุ์ที่มีปริมาณเบต้าแคโรทีนสูงและแตกต่างทางสถิติกับพันธุ์อื่น ๆ โดยมีปริมาณเบต้าแคโรทีน 9.35 ± 0.80 มิลลิกรัมต่อ 100 กรัม น้ำหนักสด ในขณะที่พันธุ์โซลาริโน (พันธุ์ควบคุม) มีปริมาณเบต้าแคโรทีน 8.05 ± 0.50 มิลลิกรัมต่อ 100 กรัม น้ำหนักสด จากผลการทดลอง เมื่อพิจารณาลักษณะคุณภาพและคุณค่าทางโภชนาการของมะเขือเทศเชอร์รี่ 6 พันธุ์ แตกต่างทางสถิติกับพันธุ์อื่น ในทุกลักษณะที่ศึกษาพบว่า เส้นผ่านศูนย์กลางผล ความยาวผล และความแน่นเนื้อที่มากมีเมล็ดน้อยนั้นมีความสัมพันธ์กับน้ำในผนังเซลล์และในผลมะเขือเทศเป็นส่วนประกอบทางเคมีในผลมะเขือเทศ ที่ส่งผลให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของผนังเซลล์ซึ่งส่งผลต่อการอ่อนตัวของผลมะเขือเทศ (Kumar et al., 2014; Panpitak et al., 2018; Sirisom, 2017) และปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ที่แตกต่างกัน ซึ่งโดยปกติแล้วหลังการเก็บเกี่ยวเมื่อผลผลิตสุกจะมีการเปลี่ยนแปลงแปงเป็นน้ำตาล ซึ่งเมื่อปริมาณน้ำตาลเพิ่มขึ้นทำให้ผลมีความหวานเพิ่มขึ้น แต่ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับพันธุ์และสภาพแวดล้อม (Petchhong, 2018) ในขณะที่อิทธิพลของพันธุ์และสภาพแวดล้อม มีผลต่อการสะสมปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายน้ำได้มากที่สุด เท่ากับ 8.60 องศาบริกซ์ สอดคล้องกับ Tinyane et al. (2013) ที่รายงานว่า พันธุ์และสภาพแวดล้อม (ความเข้มแสง และอุณหภูมิ) ส่งผลต่อการสะสมปริมาณของแข็งทั้งหมดที่

ละลายน้ำได้ในผลของมะเขือเทศ และความเข้มของสีผลมะเขือเทศเชอร์รี่ 6 พันธุ์ แปรเปลี่ยนตามขนาดของผลเนื่องจากมีส่วนประกอบของไลโคปีนซึ่งสารให้สีหลักของมะเขือเทศเชอร์รี่ คือ all-trans-lycopene และรองลงมาคือ cis-isomers และ แคโรทีนอยด์ อื่น ๆ รวมทั้ง เบตา-แคโรทีน (B-carotene) (Rath et al., 2009) โดยผลมะเขือเทศเชอร์รี่ที่มีผลขนาดใหญ่จะส่งผลให้มีการกระจายตัวของสีแดงในผลได้ดีกว่าผลที่มีขนาดเล็กกว่า และสีผลของมะเขือเทศเชอร์รี่มีความสัมพันธ์กับปริมาณไลโคปีน โดยปริมาณไลโคปีนในผลมีความสัมพันธ์กับสีแดง (Table 4) ผลสุกที่มีสีแดงจึงมีปริมาณไลโคปีนที่สูงกว่าผลสุกสีเหลือง ดังนั้น มะเขือเทศเชอร์รี่มีค่าความเป็นสีแดงสูงจะมีปริมาณไลโคปีนสูงตาม (Arias et al., 2000; Kongumpai et al., 2021; Nochai & Pongjanta, 2013) และยังพบว่าปริมาณไลโคปีนและเบต้าแคโรทีนที่มีความแปรผันไปตามพันธุ์และสภาพแวดล้อมในการปลูกตลอดจนฤดูกาลที่ปลูกที่ส่งผลต่อปริมาณสารสำคัญ (Laleye et al., 2010) และมะเขือเทศเชอร์รี่ที่ปลูกในช่วงฤดูฝนมีปริมาณไลโคปีนสูงกว่ามะเขือเทศเชอร์รี่ที่ปลูกในช่วงฤดูหนาว ประมาณ 1.5 เท่า นอกจากนี้ มะเขือเทศเชอร์รี่ที่ปลูกในช่วงฤดูฝนยังมีปริมาณเบต้าแคโรทีน วิตามินซี วิตามินอี และโพแทสเซียมสูงกว่ามะเขือเทศเชอร์รี่ที่ปลูกในช่วงฤดูหนาว ประมาณ 10–20 เปอร์เซ็นต์ (Rosales et al., 2011) โดยปริมาณไลโคปีนนับเป็นองค์ประกอบหลัก 80–90 เปอร์เซ็นต์ ของปริมาณแคโรทีนอยด์รวม และในมะเขือเทศเชอร์รี่นั้นพบสารเบต้าแคโรทีน ประมาณ 4.30–12.20 เปอร์เซ็นต์ ของปริมาณแคโรทีนอยด์รวม ซึ่งปริมาณไลโคปีนและเบต้าแคโรทีนในมะเขือเทศเชอร์รี่มีความสัมพันธ์กันในทางบวกในระดับสูง ฉะนั้นมะเขือเทศเชอร์รี่ที่มีปริมาณไลโคปีนสูงก็จะมีปริมาณเบต้าแคโรทีนสูงด้วย (Ilahy et al., 2011) จึงกล่าวได้ว่าการที่พันธุ์คิงฟิชเชอร์และพันธุ์โซลาริโน มีไลโคปีนสูงนั้น จึงมีสารเบต้าแคโรทีนสูงเช่นกัน ดังนั้นในการผลิตมะเขือเทศเชอร์รี่ในจังหวัดน่านและภาคเหนือของประเทศไทย เพื่อให้ได้ผลผลิตและมีคุณภาพสูงจำเป็นต้องเลือกพันธุ์ให้เหมาะสมกับสภาพแวดล้อมมากที่สุด

สรุปผลการวิจัย

จากผลศึกษาผลผลิตและคุณค่าทางโภชนาการของพันธุ์มะเขือเทศเชอร์รี่การค้าในจังหวัดน่าน พบว่ามะเขือเทศเชอร์รี่ทั้ง 6 พันธุ์ มีความแตกต่างกันระหว่างพันธุ์ในทุกลักษณะที่ได้อธิบาย โดยพันธุ์คิงฟิชเชอร์ และพันธุ์โซลาริโน เป็นพันธุ์ที่มีแนวโน้มให้ผลผลิตต่อไร่สูงที่สุดและมีปริมาณคุณค่าทางโภชนาการอยู่ในเกณฑ์ที่ดี โดยมีปริมาณสารไลโคปีนและปริมาณสารเบต้าแคโรทีนสูงที่สุด แสดงถึงความเหมาะสมเป็นแหล่งสะสมสารไลโคปีนและปริมาณสารเบต้าแคโรทีนซึ่งเป็นลักษณะพิเศษของมะเขือเทศ และจากการวิเคราะห์ผลผลิตและองค์ประกอบของผลผลิต จำนวนผลสดต่อต้น น้ำหนักผลสดต่อต้น และจำนวนผลสดต่อช่อดอกนั้นมีสหสัมพันธ์ทางบวกในระดับสูงกับผลผลิตต่อไร่ และลักษณะทางการเกษตรและการเจริญเติบโตของลำต้นพันธุ์คิงฟิชเชอร์และพันธุ์โซลาริโน มีความสูงต้นมากกว่าทรงพุ่มแผ่กว้าง จึงทำให้มีดัชนีพื้นที่ใบมาก อีกทั้งเป็นพันธุ์ที่มีจำนวนช่อดอกต่อต้นที่สูงกว่าพันธุ์อื่น ๆ รวมถึงมีปฏิกริยาร่วมระหว่างพันธุ์กับสิ่งแวดล้อมที่ดีจึงส่งผลต่อผลผลิตที่สูง พันธุ์คิงฟิชเชอร์และพันธุ์โซลาริโนจึงเป็นพันธุ์ที่มีความสามารถในการปรับตัวกับสภาพแวดล้อมในฤดูฝน

ได้ดี และมีศักยภาพที่เหมาะสมสำหรับการปลูกเชิงพาณิชย์ในพื้นที่จังหวัดน่านและพื้นที่ภาคเหนือของประเทศไทย โดยการต่อยอดการวิจัยสามารถนำลักษณะจำนวนผลสดต่อต้น น้ำหนักผลสดต่อต้นและจำนวนผลสดต่อช่อดอก เป็นลักษณะใช้ในการเลือกมะเขือเทศเชอร์รี่การค้าเพื่อเพิ่มผลผลิต เนื่องจากลักษณะดังกล่าวมีค่าสหสัมพันธ์กับผลผลิตสูง และการวิจัยผลผลิตและคุณภาพการบริโภคของพันธุ์ต่อสภาพการปลูกในรูปแบบต่าง ๆ และการตรวจสอบปริมาณสารสำคัญ ซึ่งจะช่วยให้ได้พันธุ์กรรมที่เหมาะสมและพันธุ์กรรมประชากรที่แม่นยำยิ่งขึ้น รวมถึงการแปรรูปผลิตภัณฑ์จากมันมะเขือเทศเชอร์รี่เป็นอาหารเพื่อสุขภาพ ข้อเสนอแนะจากงานวิจัยนี้ด้วยมะเขือเทศเชอร์รี่เป็นพืชที่สามารถปลูกได้ในฤดูฝนพื้นที่จังหวัดน่าน และเป็นพืชอาหารที่มีคุณค่า

ทางโภชนาการที่สูง มีอายุการเก็บรักษาได้นาน ดังนั้นจึงควรประชาสัมพันธ์แก่เกษตรกรเพื่อเป็นพืชอาหารอีกชนิดหนึ่งที่มีคุณค่าทางโภชนาการกรณีพืชอาหารต่อไป

กิตติกรรมประกาศ

ผู้เขียนขอขอบคุณมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา และบริษัท Catalis Seed ที่สนับสนุนทุนวิจัย และขอขอบคุณสถานที่ปฏิบัติการพืชสวน สาขาพืชศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการเกษตร มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา น่าน ที่ให้ความอนุเคราะห์ห้องปฏิบัติการในการวิจัยครั้งนี้

Table 1 Fruit yield per plant, average fruit, fruit weight, number of flowers, leaf area index and yield of commercial cherry tomato productivity of 6 varieties

Varieties	Fruit yield per plant (fruits)	Average fruit weight (g/plant)	Fruit weight (g/plant)	Number of flowers (inflorescence)	leaf area index (sq.cm.)	Fruition rate (%)	Yield/ plant (kg/rai)
Solarino	178.00 ^a	7.20 ^d	1,278.80 ^a	23.00 ^a	2.64 ^a	71.10 ^b	4,092.31 ^a
Kingfisher	166.00 ^b	8.20 ^d	1,352.30 ^a	21.00 ^{ab}	2.65 ^a	71.21 ^a	4,327.50 ^a
Nova	80.00 ^{cd}	8.80 ^{cd}	695.80 ^d	17.00 ^{cd}	2.39 ^c	69.41 ^e	2,226.72 ^d
Flavio	63.00 ^e	16.70 ^a	1,043.30 ^b	15.00 ^d	2.55 ^b	68.34 ^f	3,338.71 ^b
Holland orange	72.00 ^{de}	11.80 ^b	852.30 ^{cd}	19.00 ^{bc}	2.44 ^c	70.41 ^c	2,727.50 ^{cd}
Sun Cherry	86.00 ^c	11.20 ^{bc}	959.80 ^{bc}	23.00 ^a	2.57 ^b	71.35 ^d	3,071.52 ^{bc}
Mean	107	10.6	1,030.4	20	2.54	70.30	3,297.37
F-test	**	**	**	**	**	**	**
CV (%)	4.19	3.50	4.95	3.52	1.95	2.32	4.30

** = Statistically highly significant difference ($P < 0.01$); Different letters labeled in the same column showed statistically highly significant differences ($P < 0.01$) using Duncan's New Multiple Range Test.

Table 2 Correlation between the productivity, composition of the productivity of commercial cherry tomato productivity of 6 varieties

Characteristics	Fruit yield per plant	Fruit weight	leaf area index	fruition rate (%)	Number of flowers
Yield	0.80**	1.00**	0.92**	0.52**	0.80**

** = There was a statistically highly significant correlation ($P < 0.01$).

Table 3 Fruit width, fruit length, fruit firmness, total soluble solids (TSS), color value, lycopene and the beta-carotene of commercial cherry tomato productivity of 6 varieties

Varieties	Fruit width (mm)	Fruit length (mm)	Fruit firmness (N)	TSS (°Brix)	Color value			Lycopene (µg/g fresh weight)	beta-carotene (µg/g fresh weight)
					L*	a*	b*		
Solarino	19.80 ^b	29.80 ^c	1.30 ^a	8.00 ^{ab}	24.20 ^f	31.80 ^a	28.60 ^e	218±0.07 ^b	8.05±0.50 ^b
Kingfisher	18.70 ^b	36.30 ^b	1.20 ^a	8.60 ^a	27.30 ^e	30.50 ^b	28.10 ^f	234±0.08 ^a	9.35±0.80 ^a
Nova	19.90 ^b	34.20 ^b	1.30 ^a	5.60 ^c	41.90 ^a	23.90 ^c	56.10 ^{6a}	46±0.08 ^c	2.37±0.70 ^c
Flavio	26.20 ^a	39.70 ^a	1.40 ^a	5.80 ^c	35.40 ^c	19.10 ^e	43.40 ^c	ND	1.16±0.03 ^e
Holland orange	25.90 ^a	28.90 ^{cd}	1.40 ^a	7.40 ^b	38.50 ^b	21.10 ^d	48.10 ^b	ND	1.14±0.04 ^f
Sun Cherry	25.40 ^a	26.40 ^d	1.00 ^b	7.20 ^b	33.30 ^d	7.50 ^f	38.30 ^d	2±0.03 ^d	1.65±0.03 ^d
Mean	22.70	32.50	1.30	7.10	33.50	22.30	40.40	83.34	3.96
F-test	**	**	**	**	**	**	**	**	**
CV (%)	3.84	3.70	5.20	4.96	3.30	4.21	4.05	1.65	2.10

** = statistically highly significant difference ($P < 0.01$); Different letters labeled in the same column showed statistically highly significant differences ($P < 0.01$) using Duncan's New Multiple Range Test.

ND = [not detected](#).

Table 4 Correlation between the productivity, quality characteristics and nutritional value of commercial cherry tomato productivity of 6 varieties

Nutritional value	Color value		
	L*	a*	b*
Lycopene	-0.82**	0.81**	-0.76**
beta-carotene	-0.83**	0.77**	-0.80**

** = There was a statistically highly significant correlation ($P < 0.01$).

References

- Anwarzai, N., Kattagoudar, J., Anjanappa, M., Sood, M., Reddy, B. A., & Kumar, M. S. (2020). Evaluation of cherry tomato (*Solanum Lycopersicum* L. var. *cerasiforme*) genotypes for growth and yield parameters. *International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences*, 9(3), 459-466. doi: 10.20546/ijcmas.2020.903.053
- Arias, R., Lee, T. C., Logendra, L., & Janrs, H. (2000). Correlation of lycopene measure by HPLC with the L^* , a^* , b^* color readings of a hydroponic tomato and the relationship of maturity with color and lycopene content. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 48(5), 1697-1702. doi: 10.1021/jf990974e
- Avdikos, I. D., Tagiakas, R., Tsouvaltzis, P., Mylonas, I., Xynias, I. N., & Mavromatis, A. G. (2021). Comparative evaluation of tomato hybrids and inbred lines for fruit quality traits. *Agronomy*, 11(3), 609. doi: 10.3390/agronomy11030609
- Camejo, D., Rodríguez, P., Morales, M. A., Dell'Amico, J. M., Torrecillas, A., & Alarcón, J. J. (2005). High temperature effects on photosynthetic activity of two tomato cultivars with different heat susceptibility. *Journal of Plant Physiology*, 162(3), 281-289. doi: 10.1016/j.jplph.2004.07.014
- Dumas, Y., Dado, M., Lucca, G. D., & Grolier, P. (2003). Effects of environmental factors and agricultural techniques on antioxidant content of tomatoes. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 83(5), 369-382. doi: 10.1002/jsfa.1370
- Gill, N. S., & Kaur, L. (2019). Economics of cherry tomato (*Solanum lycopersicum* var. *cerasiforme*) cultivation. *Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry*, 8(6), 880-881.
- Gomez, K. A., & Gomez, A. A. (1984). *Statistical Procedures for Agricultural Research* (2nd ed.). Toronto, Canada: John Wiley and Sons, Inc.
- Ilahy, R., Hdider, C., Lenucci, M. S., Tlili, I., & Dalessandro, G. (2011). Phytochemical composition and antioxidant activity of high-lycopene tomato (*Solanum lycopersicum* L.) cultivars grown in Southern Italy. *Scientia Horticulturae*, 127(3), 255-261. doi: 10.1016/j.scienta.2010.10.001
- Islam, M. R., Ahmad, S., & Rahman, M. M. (2012). Heterosis and qualitative attributes in winter tomato (*Solanum lycopersicum* L.) hybrids. *Bangladesh Journal of Agricultural Research*, 37(1), 39-48. doi:10.3329/bjar.v37i1.11175
- Jeeatid, N., Modnok, J., Techawongstien, S., Lapjit, C., & Techawongstien, S. (2021). Fruit quality and carotenoids in fruits of cherry tomato (*Solanum lycopersicum*) grown under plant factory. *Khon Kaen Agriculture Journal*, 49(3), 634-642. doi:10.14456/kaj.2021.56 (in Thai)
- Kamnoo, N., Chomphupong, A., Duangphot, W., Kankaew, W., Suklert, N., & Patanodom, S. (2019). *Selection of small fruit tomato varietie* (Report No. 1, 1-34). Chiang Mai, Thailand: Royal Project Foundation. (in Thai)
- Ketsakul, S. (2015). *Tomato Production Technology*. Accessed September 20, 2023. Retrieved from <http://www.doa.go.th/research/attachment.php?aid=2158>. (in Thai)
- Kongampai, S., Srisuwo, N., & Phongchanta, J. (2021). Effects of tomato lycopene on physicochemical and sensory properties of mayonnaise. *Proceeding of the 5th Rajamangala university of technology national conference* (pp.292-300). Nakhon Si Thammarat, Thailand: Rajamangala University of Technology Srivijaya. (in Thai)
- Kumar, S., Singh, V., Dubey, R. K., & Kumar, M. (2020). Screening of tomato hybrids for bacterial wilt (*Ralstonia solanacearum*) resistance under field condition. *Electronic Journal of Plant Breeding*, 11(3), 945-949. doi: 10.37992/2020.1103.153
- Kumar, K., Trvedi, J., Shirma, D., & Nair, S. K. (2014). Evaluation for fruit production and quality of cherry tomato (*Solanum lycopersicum* L. var. *cerasiforme*). *Trends in Biosciences*, 7(24), 4304-4307.
- Laleye L. C., Al Hammadi, S. I., Jube, B., & Rao M. V., (2010). Assessment of lycopene content of fresh tomatoes (*Lycopersicon esculentum* Mill.) and tomato products in the United Arab Emirates. *Journal of Food Agriculture & Environment*, 8(3), 142-147. doi: 10.1234/4.2010.2985
- Lapjit, P. F. (2014). Problems and needs of Sida tomato production of growers in Nakhonratchasima province. *Khon Kaen Agriculture Journal*, 42(Suppl.3), 894-898. (in Thai)
- Milutinovic, S., & Djukic, Z. (1997). Yield components and total yield of tomato sorts and hybrids. *Acta Horticulturae*, 462, 633-636. doi: 10.17660/ActaHortic.1997.462.95
- Muttappanavar, R., Sadashiva, A. T., Singh, T. H., & Indires, K. M. (2015). Evaluation of F1 hybrids and their parents for growth, yield and quality in cherry tomato (*Solanum lycopersicum* var. *cerasiforme*).

- Journal of Horticulture Sciences*, 10(1), 79-82. doi: 10.24154/jhs.v10i1.159
- Nochai, K., & Pongjanta, J. (2013). Effects of tomato variety and lycopene extraction methods on physicochemical properties of tomato powder. *Journal KMUTT Research & Development*, 36(4), 409-421. (in Thai)
- Omprasad, J., Reddy, P. S. S., Madhumathi, C., & Balakrishna, M. (2018). Evaluation of cherry tomatoes under shade net for growth and yield attributes. *International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences*, (Spec. 7), 700-707.
- Panpitak, S., Suthidang, P., & Thammapat, P. (2018). Effect of ozone on the qualities changes of Sida tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill.) during storage under refrigeration. *Prawarun Agricultural Journal*, 15(2), 325-334. (in Thai)
- Panthee, D. R., Cao, C., Debenport, S. J., Rodríguez, G. R., Labate, J. A., Robertson, L. D., Breksa III, A. P., van der Knaap, E., & Gardener, B. B. M. (2012). Magnitude of genotype x environment interactions affecting tomato fruit quality. *HortScience*, 47(6), 721-726. doi: 10.21273/HORTSCI.47.6.721
- Petchhong, D. (2018). *Effect of pre-and post-harvest calaium application on growth and fruit qualities of cherry tomato cv. Red Lady* (Master's thesis). Bangkok, Thailand: King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang. (in Thai)
- Prema, G., Indires, K. M., & Santhosha, H. M. (2011). Evaluation of cherry tomato (*Solanum lycopersicum* var. *Cerasiforme*) genotypes for growth, yield and quality traits. *The Asian Journal of Horticulture*, 6(1), 181-184.
- Rath, S., Olempska-Beer, Z., & Kuznesof, P. M. (2009). *Lycopene extract from tomato: chemical and technical assessment (CTA)*. Accessed September 27, 2023. Retrieved from <https://www.fao.org/3/at954e/at954e.pdf>
- Renuka, D. M., Sadashiva, A. T., Kavita, B. T., Vijendrakumar, R. C., & Hanumanthiah, M. R. (2014). Evaluation of cherry tomato lines (*Solanum lycopersicum* var. *Cerasiforme*) for growth, yield and quality traits. *Plant Archives*, 14(1), 151- 154.
- Resh, H. M., (2022). *Hydroponic food production: a definitive guidebook for the advanced home gardener and the commercial hydroponic grower* (8th ed.). Oxfordshire, United Kingdom: Taylor & Francis Group.
- Riga, P., Anza, M., & Garbisu, C. (2008). Tomato quality is more dependent on temperature than on photosynthetically active radiation. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 88(1), 158-166. doi: 10.1002/jsfa.3065
- Rosales, M. A., Cervilla, L. M., Sanchez-Rodriguez, E., Rubio-Wilhelmi, M. M., Blasco, B., Rios, J. J., Soriano, T., Castilla, N., Romero, L., & Ruiz, J. M. (2011). The effect of environmental conditions on nutritional quality of cherry tomato fruits: evaluation of two experimental Mediterranean greenhouses. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 91(1), 152–162. doi: 10.1002/jsfa.4166.
- Sinesio, F., Cammareri, M., Cammareri, Cottet, V., Fontanet, L., Jost, M., Moneta, E., Palombieri, S., Peparaio, M., del Castillo, R. R., Civitelli, E. S., Spigno, P., Vitiello, A., Navez, B., Casals, J., Causse, M., Granel, A., & Grandillo, S. (2021). Sensory traits and consumer's perceived quality of traditional and modern fresh market tomato varieties: a study in three european countries. *Foods*, 10(11), 2521. doi: 10.3390/foods10112521
- Singh, H., Dunn, B., Maness, N., Brandenberger, L., Carrier, L., & Hu, B. (2021). Evaluating performance of cherry and slicer tomato cultivars in greenhouse and open field conditions: yield and fruit quality. *HortScience*, 56(8), 946-953. doi: 10.21273/HORTSCI16003-21
- Sirisom, S. (2017). *Influences of water volume and irrigation frequency on yield and quality of cherry tomato grown in greenhouse* (Master's thesis). Bangkok, Thailand: Kasetsart University. (in Thai)
- Thamwiriyasati, N., Chancharoen, P., & Klarod, K. (2022). Enzyme and non-enzyme antioxidant activities of cherry tomato, Sida pink tomato and big red tomato fruit extracts. *Thai Science and Technology Journal*, 30(1), 163-173. (in Thai)
- Tinyane, P. P., Sivakumar, D., & Soundy, P. (2013). Influence of photo-selective netting on fruit quality parameters and bioactive compounds in selected tomato cultivars. *Scientia Horticulturae*, 161, 340-349. doi: 10.1016/j.scienta.2013.06.024
- Wihong, P., Songsri, P., Suriarn, B., Lomthaisong, K., & Lertrat, K. (2014). Lycopene and beta-carotene contents in different spiny bitter gourd (*Momordica cochinchinensis* (Lour.) Spreng) clones. *Khon Kaen Agriculture Journal*, 42 (Suppl. 1.) 166-171. (in Thai)
- Wongchayanun, K., & Saeng-ngoen, K. (2020). Effect of vermicompost on growth and yield of *Lycopersicon esculentum*. *VRU Research and Development Journal Science and Technology*, 15(1), 115-123. (in Thai)

Research article

Productivity and nutritive value of commercial cherry tomato

Bunjong Oupkaew* Anucha Chantaraboon and Waravut Losuk

Department of Plant Science, Faculty of Science and Agricultural Technology, Rajamangala University of Technology Lanna Nan, Phu Phiang district, Nan Province, 55000 Thailand

ARTICLE INFO**Article history**

Received: 20 November 2023

Revised: 3 January 2024

Accepted: 29 January 2024

Online published: 5 April 2024

Keyword

growth and productivity

cherry tomatoes

lycopene

beta-carotene

ABSTRACT

This research aimed to study the productivity and nutritive value of commercial cherry tomatoes during the rainy season between May and September 2023. It was conducted in the area of Rajamangala University of Technology Lanna–Nan. Moreover, the research studied the appropriate commercial cherry tomatoes in quantitative and qualitative production for cultivation in Nan province and northern Thailand. Using the randomized complete block three times. They included six F1 hybrid varieties of cherry tomatoes: the Solarino, the Kingfisher, the Farvio, the Holland orange, and the Sunserie. The Solarino is the most popular type of cherry tomato that farmers grow as one of the comparative (controlled) types under the conditions of a plastic mesh farm. The research found that all six types of cherry tomatoes yielded statistically highly significant differences ($P < 0.01$). The Kingfisher and the Solarino yielded the highest, yielding 4,327.50 and 4,092.30 kilograms per rai (1,600 square meters). The analysis of nutritive value shows that the Kingfisher has high lycopene and beta-carotene levels and differs statistically from other types. It contains 234 ± 0.08 mg of lycopene per 100 g of fresh weight and 9.35 ± 0.80 mg of beta-carotene per 100 g of fresh weight. According to this study, the Kingfisher and Solarino types are appropriate for this season. The research results can be used to improve production efficiency and advance the selection of potential varieties that farmers can cultivate. The outcomes can also serve as a foundation for research comparing this season to others in order to create cherry tomatoes varieties with higher beta-carotene and lycopene content.

*Corresponding author

E-mail address: landscape@rmutl.ac.th (B. Oupkaew)

Online print: 5 April 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.2024.8>



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

บทความวิจัย

ผลของคุณสมบัติดินต่อสารสกัดมะแขว่นในการเสริมรสเค็ม

ปภากร สุทธิภาศิลป์^{1*} และ อภिरดา พรปิ่นณวิชัย²

¹สาขาครุศาสตร์ (เกษตรศาสตร์) คณะเทคโนโลยีการเกษตร มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงใหม่ อำเภอเมือง จังหวัดเชียงใหม่ 50300

²สาขาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร คณะเทคโนโลยีการเกษตร มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงใหม่ อำเภอเมือง จังหวัดเชียงใหม่ 50300

ข้อมูลบทความ

Article history

รับ: 24 กันยายน 2566

แก้ไข: 10 พฤศจิกายน 2566

ตอบรับการตีพิมพ์: 20 มีนาคม 2567

ตีพิมพ์ออนไลน์: 9 เมษายน 2567

คำสำคัญ

การเสริมรสเค็ม

คุณสมบัติดิน

ความอุดมสมบูรณ์ของดิน

มะแขว่น

สมุนไพร

บทคัดย่อ

การวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อวิเคราะห์คุณสมบัติดินที่มีผลต่อสารสกัดมะแขว่นในการเสริมรสเค็มใน 2 พื้นที่ คือ ตำบลป่าแป๋ อำเภอแม่แตง และตำบลสะลวง อำเภอแมริม จังหวัดเชียงใหม่ โดยทำการเก็บตัวอย่างวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพและเคมี พร้อมทั้งประเมินความอุดมสมบูรณ์ของดินและประเมินทางประสาทสัมผัสเพื่อทดสอบความเค็ม พบว่าดินตำบลป่าแป๋มีลักษณะเป็นดินเหนียวและดินตำบลสะลวงเป็นดินร่วนเหนียวปนทราย มีความหนาแน่นรวม 0.97 g cm^{-3} และ 1.10 g cm^{-3} ความจุความชื้นภาคสนาม 2.21% และ 2.28% และการนำน้ำของดินในสภาพที่อิ่มตัวด้วยน้ำ 57.75 cm h^{-1} และ 52.80 cm h^{-1} ค่า pH ของดินคือ 5.27 เป็นกรดจัด และ 4.30 เป็นกรดรุนแรงมาก มีอินทรีย์วัตถุ $4,530 \text{ g kg}^{-1}$ และ $4,560 \text{ g kg}^{-1}$ ไนโตรเจนทั้งหมด 0.23% และ 0.23% ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ 12.23 mg kg^{-1} และ 8.97 mg kg^{-1} โพแทสเซียมที่เป็นประโยชน์ 320 mg kg^{-1} และ $140.04 \text{ mg kg}^{-1}$ แคลเซียมและแมกนีเซียมที่สกัดได้ $466.94 \text{ mg kg}^{-1}$ และ 48.56 mg kg^{-1} และ $156.32 \text{ mg kg}^{-1}$ และ 25.54 mg kg^{-1} ความสามารถในการแลกเปลี่ยนประจุบวก $6.22 \text{ cmol kg}^{-1}$ และ $2.49 \text{ cmol kg}^{-1}$ ค่าการนำไฟฟ้า 0.08 dS m^{-1} และ 0.04 dS m^{-1} และอัตรา % ความอิ่มตัวเบส 56.80% และ 54.81% ตามลำดับ เมื่อประเมินความอุดมสมบูรณ์พบว่าดินตำบลป่าแป๋เป็นดินที่มีความอุดมสมบูรณ์ค่อนข้างสูง และดินตำบลสะลวงเป็นดินที่มีความอุดมสมบูรณ์ปานกลาง การประเมินทางประสาทสัมผัสเพื่อทดสอบความเค็มพบว่าสารสกัดมะแขว่นจากตำบลป่าแป๋อัตรา 3 % ให้ความรู้สึกเค็มมากที่สุด ($p < 0.05$) และขนาดอนุภาคดินตำบลสะลวงมีความสัมพันธ์กับการประเมินทางประสาทสัมผัสอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง ($p < 0.01$)

บทนำ

มะแขว่น เป็นพืชสมุนไพรที่มีชื่อวิทยาศาสตร์ว่า *Zanthoxylum limonella* Alston. จัดอยู่ในวงศ์ Rutaceae เป็นวงศ์เดียวกับพวกตระกูลมะกรูดและมะนาว ชื่อเรียกภาคกลางว่า พริกหอมและถือว่า เป็นพืชเศรษฐกิจชนิดหนึ่งที่พบมากในภาคเหนือสามารถพบเห็นและเติบโตได้ ขึ้นดินบนดอยที่มีความสูงประมาณ 1,000 เมตร (Department of Agricultural Extension, 2018) ถิ่นกำเนิดและการกระจายพันธุ์พบมากทางภาคเหนือของประเทศไทยโดยเฉพาะในจังหวัดแม่ฮ่องสอน เชียงราย พะเยา น่าน และเชียงใหม่ ในจังหวัดเชียงใหม่สามารถพบมะแขว่นขึ้นตามธรรมชาติและปลูกเสริมในตำบลป่าแป๋ ตำบลสะลวง และตำบลโป่งแยง เป็นต้น โดยธรรมชาติจะพบมะแขว่นในป่าดิบแล้งหรือป่าดิบเขา แต่ถ้ามีการปลูก เกษตรกรจะปลูกมะแขว่นสลับกับพืชสวนป่า คือปลูกร่วมกับพืชชนิดอื่นเพื่อเพิ่มรายได้ มะแขว่นมีลักษณะทางพฤกษศาสตร์เป็นไม้ขนาดกลางมีความสูง 5-10 เมตร มีหนามตามลำต้นและกิ่ง ต้นอ่อนมีสีแดงแกมเขียว ใบเป็นใบประกอบ แต่ละใบจะมีใบย่อย 10-25 ใบ ช่อดอกเป็นช่อแบบกลุ่มย่อยมีสีขาวอมเทา ยาว 10-20 เซนติเมตร มีดอกตัวผู้และดอกตัวเมียอยู่คนละต้น เส้นผ่าศูนย์กลางของผลประมาณ 0.3-0.5 เซนติเมตร (Department

of Agricultural Extension, 2018) มะแขว่นต้องการอากาศเย็นปานกลาง มีความชื้นในอากาศสูง ไม่ต้องการน้ำมากและชอบดินที่ระบายน้ำดี โตเร็ว โรคและแมลงศัตรูมีน้อย ไม่ต้องดูแลรักษามาก สามารถปลูกในสภาพป่าธรรมชาติและปลูกร่วมกับพืชเศรษฐกิจชนิดอื่นในภาคเหนือได้ดีหลายชนิด อาทิ ชา กาแฟ และไม้ผลเมืองหนาว หรือแม้แต่พืชผัก เนื่องจากเป็นพืชที่ผลัดใบและมีทรงพุ่มสูงโปร่ง แสงทะลุผ่านทรงพุ่มได้ดีสามารถเป็นพืชบังร่มให้กับพืชที่ไม่ชอบแสงแดดจัด (Yuyen et al., 2019) ส่วนผลมีกลิ่นฉุนและรสเผ็ด ผลค่อนข้างกลม ผิวขรุขระ (Srisamattthakarn et al., 2016) ผลของมะแขว่นมีสารพฤกษเคมีที่สำคัญอยู่หลายชนิด อาทิ สารสกัดบีโตรีเลียมอีเทอร์ และคลอโรฟอร์มจากผลมะแขว่นแห้ง (*Zanthoxylum limonella* Alston.) พบสารสเตียรอยด์ น้ำมันระเหยยาก และน้ำมันหอมระเหย สารสกัดด้วย เอทานอลพบสารกลุ่มอัลคาลอยด์ แทนนิน ฟลาโวนอยด์ สเตียรอยด์ น้ำมันระเหยยาก น้ำมันหอมระเหย ฟิโนลิกและไกลโคไซด์ แต่น้ำมันหอมระเหยเหล่านั้นไม่เกี่ยวข้องกับความรู้สึกที่รับรู้ได้เมื่อรับประทานอาหารที่ปรุงด้วยเครื่องเทศ (Wongkrajang, 2019) เมื่อสกัดด้วยน้ำพบสารกลุ่มคาร์โบไฮเดรต โปรตีน ซาโปนิน น้ำมันระเหยยาก น้ำมันหอมระเหย ไกลโคไซด์และแป้ง (Arun &

*Corresponding author

E-mail address: ratchaneeporn_sut@cmru.ac.th (P. Suthiphasilp)

Online print: 9 April 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.2024.9>

Paridhavi, 2011) การสกัดสารสกัดหยาบจากผลมะแขว่นมีคุณสมบัติหรือฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระและต้านการเจริญของเชื้อจุลินทรีย์ก่อเกิดโรคและยับยั้งการเจริญเติบโตของเซลล์พิเศษบางชนิดได้ (Nanasombat & Wuttigot, 2011) ส่วนในด้านของรสชาตินั้นมะแขว่นเป็นพืชสมุนไพรที่มีรสเผ็ดร้อนซึ่งสารสำคัญโดยเฉพาะสารกลุ่มอัลคาลอยด์นี้จะสามารถกระตุ้นการทำงานของตัว transient receptor potential vanilloid 1 (TRPV1) ซึ่งเป็นตัวรับรสที่พบบนลิ้น เมื่อตัวนี้ถูกกระตุ้นจะเปิด ส่งผลให้แคลเซียมและโซเดียมไอออนผ่านเข้าไปภายในและลดตัวของเส้นใยประสาททำให้ความรู้สึกทำให้กระตุ้นความรู้สึกในการได้รับรส (Szallasi & Blumberg, 1993) สำหรับการใช้ประโยชน์ของมะแขว่น ในภาคเหนือมีการนำมาใส่ในอาหาร โดยจะใช้ผลแก่แห้งซึ่งมีรสเผ็ดร้อน การปรุงอาหารโดยบดผลแห้งใส่ในแกงปริมาณเล็กน้อย นิยมปรุงในแกงผักกาดจะทำให้มีกลิ่นหอม อร่อยกลมกล่อมหรือปรุงผสมในเครื่องลาบเมืองเหนือเพิ่มรสอร่อย ส่วนของผลอ่อนสามารถนำไปดองน้ำปลาแล้วกินเป็นเครื่องเคียงกับลาบได้ (Matichonweekly, 2022) แต่เนื่องจากผลผลิตมะแขว่นมีความแปรปรวนและแตกต่างกันไปขึ้นอยู่กับพื้นที่ปลูกโดยงานวิจัยของ Srisamattakarn et al. (2016) ได้ศึกษาคุณภาพทางกายภาพองค์ประกอบทางเคมีและสารต้านอนุมูลอิสระของผลมะแขว่น ได้แก่ เปลือกหุ้มเมล็ด เมล็ดและผลรวม (เปลือกหุ้มเมล็ดและเมล็ด) จากแหล่งปลูกใน 4 จังหวัด ได้แก่ ลำปาง เชียงใหม่ แพร่ และน่าน พบมีความแปรปรวนและแตกต่างกันไปขึ้นอยู่กับแหล่งผลิตที่แตกต่างกัน อาทิ ความชื้น ผล มะแขว่นจากจังหวัดลำปางมีความชื้นต่ำสุด ส่วนผลมะแขว่นจากบ้านนาตอง จังหวัดแพร่มีปริมาณความชื้นสูงสุด และไขมันสูงสุด ผลมะแขว่นจากจังหวัดน่าน จังหวัดลำปาง และจังหวัดเชียงใหม่มีปริมาณคาร์โบไฮเดรตสูงสุด เปลือกหุ้มเมล็ดมะแขว่นจากบ้านนาตอง อำเภอเมือง จังหวัดแพร่ มีสารประกอบที่สามารถยับยั้งอนุมูลอิสระเข้มข้นต่ำกว่า มะแขว่นจากแหล่งผลิตอื่น ๆ เมล็ดมะแขว่นจาก 5 แหล่งผลิตสามารถสกัดน้ำมันได้มากกว่าส่วนเปลือกหุ้มเมล็ดและผลรวมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) ยกเว้นเมล็ดมะแขว่นจากแหล่งผลิตจังหวัดน่าน และเมื่อเปรียบเทียบปริมาณไขมันจากแหล่งผลิตและชิ้นส่วนเนื้อเยื่อมะแขว่นที่ต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) โดยเมล็ดมะแขว่นจากตำบลป่าแป๋ จังหวัดเชียงใหม่มีปริมาณไขมันสูงสุด รองลงมาได้แก่ เมล็ดมะแขว่นจากบ้านป่าแดงและบ้านนาตอง อำเภอเมือง จังหวัดแพร่ และงานวิจัยของ Szallasi & Blumberg (1993) พบว่าพืชสมุนไพรที่มีรสเผ็ดร้อนสามารถกระตุ้นการทำงานของตัวรับรสได้ ซึ่งมะแขว่นเป็นพืชที่มีความเผ็ดร้อนเช่นกัน การใช้สารสกัดมะแขว่นเพื่อเป็นตัวกระตุ้นต่อมรับรสร่วมกับความเค็มจะทำให้ผู้บริโภครู้สึกเค็มมากกว่าปกติทำให้ลดการบริโภคความเค็มลงได้ ทำนองเดียวกับ Mekhora (2022) ได้ศึกษาการใช้กลิ่นรสของผักและสมุนไพรไทยร่วมกับการปรับลดขนาดอนุภาคของเกลือ พบว่ากลิ่นรสของสมุนไพรไทยต่อการรับรสเค็มในน้ำซุปรวม 14 ชนิด โดยเฉพาะกลิ่นของรสกระเทียมและมะนาวช่วยเพิ่มการรับรสเค็มในน้ำซุปรสได้ดีขึ้น ส่วนกลิ่นของพริก ผักชีฝรั่ง โหระพา ใบมะกรูด และหอมแดง สามารถเพิ่มการรับรสเค็มได้เล็กน้อย ผลที่ได้มานี้จะเกิดจากกลิ่นและรสชาติเฉพาะตัวของสมุนไพรที่ช่วยเสริมการรับรสเค็มให้เด่นชัดขึ้น ซึ่งการเพิ่มรสเค็มจากสมุนไพรยังความแปรปรวนโดยเฉพาะผลผลิตมะแขว่นนั้น มีความแตกต่างกันไป

ตามพื้นที่ปลูกและยังไม่มีมีการวิจัยว่าเกิดเนื่องจากสาเหตุใด ดังนั้นผู้วิจัยจึงตั้งสมมุติฐานว่าคุณสมบัติดินเป็นส่วนหนึ่งที่ทำให้ผลผลิตมะแขว่นมีความแตกต่างกัน จึงได้ทำการศึกษาผลของคุณสมบัติดินต่อสารสกัดมะแขว่นในการเสริมรสเค็ม โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อวิเคราะห์คุณสมบัติดินที่มีผลต่อสกัดสารมะแขว่นในการเสริมรสเค็ม

อุปกรณ์และวิธีการวิจัย

การทดลองแบ่งออกเป็น 2 ส่วนคือ 1) การวิเคราะห์คุณสมบัติดิน 2) การสกัดสารจากมะแขว่นเพื่อใช้เสริมรสเค็ม

1. การเก็บดินจากสถานที่ปลูกมะแขว่นในจังหวัดเชียงใหม่ ใน 2 พื้นที่คือตำบลป่าแป๋ อำเภอแม่แตง พิกัด $19^{\circ}06'54.3''N$ $98^{\circ}42'11.2''E$ และตำบลสะเล้ง อำเภอแม่ออน จังหวัดเชียงใหม่ พิกัด $19^{\circ}01'07.9''N$ $98^{\circ}45'54.9''E$ โดยทำเก็บดินในแปลงมะแขว่นตามพิกัดจำนวน 10 จุดตามวิธีการเก็บตัวอย่างดินของ Land Development Department (2020) ทำการวิเคราะห์คุณสมบัติด้านกายภาพ ได้แก่ ขนาดอนุภาคดิน (particle size analysis) (Gee & Bauder, 1986) เนื้อดิน (soil texture) (Gee & Bauder, 1986) ความหนาแน่นรวม (bulk density) (Blake & Hartge, 1986) ความจุความชื้นภาคสนาม (field capacity) (Sheldrick & Wang, 1993) การนำน้ำของดินในสภาพที่อิ่มตัวด้วยน้ำ (saturated hydraulic conductivity) (Culley, 1993) และศึกษาสมบัติทางเคมี ได้แก่ pH ดิน (National Soil Survey Center, 1996) อินทรีย์วัตถุ (Nelson & Sommers, 1996) ไนโตรเจนทั้งหมด (Bremner & Mulvaney, 1982) ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ (Bray & Kurtz, 1945) โพแทสเซียมที่เป็นประโยชน์ (Pratt, 1965) ความเข้มข้นของแคลเซียมและแมกนีเซียมที่สกัดได้ (Lanyon & Heald, 1983) ค่าความจุแลกเปลี่ยนแคตไอออน (Summer & Miller, 1996) และค่าอัตรา % ความอิ่มตัวเบส (National Soil Survey Center, 1996) แล้วนำค่าดินที่วิเคราะห์ได้ไปประเมินระดับความอุดมสมบูรณ์ (Soil Survey and Soil Classification Division, 2000)

2. การสกัดมะแขว่นเพื่อใช้เสริมรสเค็ม นำตัวอย่างมะแขว่นจาก 2 พื้นที่ มาคัดทำการแยกเปลือกหุ้มเมล็ดและเมล็ดออกจากก้างแล้วทำการบดเมล็ดด้วยเครื่องบดสมุนไพร ร่อนผ่านตะแกรงร่อนขนาด 60 mesh และสกัดสารจาก มะแขว่นด้วยวิธีการแช่มะแขว่นใส่ลงในขวดรูปชมพู่ ผสมกับเอทานอลความเข้มข้น 70 % โดยปริมาตรที่อัตราส่วนมวลสารตัวอย่างต่อเอทานอล 10 กรัม : 50 มิลลิลิตร ปิดปากขวดด้วยพาราฟิล์มและหุ้มด้วยอลูมิเนียมฟอยล์อีกชั้นนำไปเขย่าด้วยเครื่อง eyela multi shaker รุ่น mms-320 เป็นเวลา 12 ชั่วโมง ที่ความเร็วรอบ 120 rpm กรองด้วยชุดอุปกรณ์ Suction และเครื่อง Vacuum pump Sparmax ใช้กระดาษกรอง whatman เบอร์ 1 ระเหยด้วยเครื่องกลั่นระเหยสารแบบหมุนยี่ห้อ Buchi รุ่น R-210 ตั้งค่าอุณหภูมิของอ่างให้ความร้อนที่ 55 องศาเซลเซียส จะได้ออกมาเป็นสารสกัดจากมะแขว่น (ดัดแปลงวิธีจาก Nanasombat et al., 2019) ทำการประเมินทางประสาทสัมผัสโดยผู้ทดสอบชิม (Kramer, 1960) และวิเคราะห์ค่าสหสัมพันธ์ correlation coefficient โดยโปรแกรม SPSS V.29

ผลและวิจารณ์ผลการวิจัย

การวิเคราะห์ด้านการกายภาพของดิน

ดินในตำบลป่าแป๋ อำเภอแม่แตง จังหวัดเชียงใหม่ พบว่า หนาต่อนุภาคดินมีอนุภาคของทราย (sand) 41.20 % อนุภาคทรายแป้ง (silt) 15.90 % และอนุภาคดินเหนียว (clay) 42.90 % โดยมีเนื้อดินเป็นดินเหนียวซึ่งเป็นกลุ่มดินเนื้อละเอียดจะจับกันเป็นก้อนเมื่อแห้งจะมีความแข็ง มีความสามารถในการอุ้มน้ำได้มากเป็นดินที่มีความอุดมสมบูรณ์ (Lecturer in Soil Science Department, 2005) ความหนาแน่นรวม ดินมีความหนาแน่นรวมอยู่ในช่วงที่น้อยกว่า 1 คือ 0.97 g cm^{-3} ซึ่งจัดเป็นดินที่มีความหนาแน่นรวมต่ำมาก (Hazelton & Murphy, 2007) ดินจะเกิดการแน่นทึบบางส่วนจนถึงแน่นทึบมากซึ่งเป็นอุปสรรคต่อการซึมน้ำของรากพืช (Hunt & Gilkes, 1992) ความจุความชื้นภาคสนาม มีค่าเท่ากับ 2.21 % การนำน้ำของดินในสภาพที่อิ่มตัวด้วยน้ำมีค่าเท่ากับ 57.75 cm h^{-1} (Table 1)

ดินในตำบลสะลงง อำเภอแม่ริม จังหวัดเชียงใหม่ พบว่า หนาต่อนุภาคดินมีอนุภาคของทราย (sand) 52.80 % อนุภาคทรายแป้ง (silt) 17.10 % และอนุภาคดินเหนียว (clay) 30.10 % โดยมีเนื้อดิน

เป็นดินร่วนเหนียวปนทรายแป้ง (sandy clay loam) ซึ่งเป็นกลุ่มดินเนื้อปานกลาง เป็นดินที่มีเนื้อดินค่อนข้างละเอียดนุ่มมือ ในสภาพดินแห้งจะจับกันเป็นก้อนแข็งพอประมาณ ในสภาพดินชื้นดินจะยืดหยุ่นได้บ้าง ดินเนื้อปานกลางมีความอุดมสมบูรณ์น้อยกว่าดินเนื้อละเอียด แต่มีความอุดมสมบูรณ์มากกว่าดินเนื้อหยาบ (Lecturer in Soil Science Department, 2005) ความหนาแน่นรวมอยู่ในช่วงที่มากกว่า 1 คือ 1.10 g cm^{-3} ซึ่งจัดเป็นดินที่มีความหนาแน่นรวมต่ำมาก (Hazelton & Murphy, 2007) ดินจะเกิดการแน่นทึบบางส่วนจนถึงแน่นทึบมากซึ่งเป็นอุปสรรคต่อการซึมน้ำของรากพืช (Hunt & Gilkes, 1992) และค่าความหนาแน่นรวมที่ระดับความลึก 0 - 15 เซนติเมตร มีอิทธิพลให้ดินดังกล่าวบางส่วนมีลักษณะทางกายภาพที่ปนกับดินบางส่วนที่มีความแน่นทึบ เช่นเดียวกับดินตำบล ป่าแป๋ ค่าความจุความชื้นภาคสนาม เท่ากับ 2.28 % การนำน้ำของดินในสภาพที่อิ่มตัวด้วยน้ำ มีค่าเท่ากับ 52.80 cm h^{-1} แสดงให้เห็นว่ากลุ่มดินเนื้อปานกลางเมื่ออิ่มตัวด้วยน้ำการระบายน้ำจากดินชั้นบนสู่ดินชั้นล่างจะระบายได้ดีและจัดอยู่ในชั้น VR (very rapid) ซึ่ง Office of Science for Land Development (2005) ได้แปลระดับชั้นสภาพนำน้ำขณะอิ่มตัวด้วยน้ำของดินที่มีอัตรามากกว่า 25 cm h^{-1} (Table 1)

Table 1 Soil physical properties

Area	Particle size analysis			Texture	bulk density g cm^{-3}	Field capacity %	Saturated hydraulic conductivity	
	Sand %	Silt %	Clay %				cm h^{-1}	class
Phapae	41.20	15.90	42.90	C ¹	0.97	2.21	57.75	VR ²
Saluang	52.80	17.10	30.10	SCL ¹	1.10	2.28	52.80	VR ²

¹/SCL = sandy clay loam, C = clay.

²/VR = very rapid.

การวิเคราะห์ทางเคมีของดินที่ปลูกมะเขวน

ดินตำบลป่าแป๋ มีค่า pH เท่ากับ 5.27 ซึ่งเป็นกรดจัด อินทรีย์วัตถุมีค่า $4,530 \text{ g kg}^{-1}$ อยู่ในระดับสูง ไนโตรเจนทั้งหมดมีค่า 0.23% ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์มีค่า 12.22 mg kg^{-1} จัดอยู่ในระดับปานกลาง โพแทสเซียมที่เป็นประโยชน์มีค่า 320 mg kg^{-1} จัดอยู่ในระดับสูง แคลเซียมและแมกนีเซียมที่สกัดได้มีค่า 466.94 และ 48.64 mg kg^{-1} ตามลำดับ ความสามารถในการแลกเปลี่ยนประจุบวกมีค่า $6.22 \text{ cmol kg}^{-1}$ จัดอยู่ในระดับค่อนข้างต่ำ ค่าการนำไฟฟ้ามีค่า 0.08 dS m^{-1} และอัตรา % ความอิ่มตัวเบสมีค่า 56.80 % จัดอยู่ในระดับค่อนข้างสูงจากเกณฑ์ระดับความอุดมสมบูรณ์ของดิน Soil Survey and Soil Classification Division (2000) (Table 2)

ดินตำบลสะลงง มีค่า pH เท่ากับ 4.30 เป็นกรดรุนแรง (Kheoruenromne, 2005) อินทรีย์วัตถุมีค่า $4,560 \text{ g kg}^{-1}$ ไนโตรเจนทั้งหมดมีค่า 0.23 % ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์มีค่า 8.97 mg kg^{-1} จัดอยู่ในระดับค่อนข้างต่ำ โพแทสเซียมที่เป็นประโยชน์มีค่า $140.40 \text{ mg kg}^{-1}$ จัดอยู่ในระดับสูง แคลเซียมและแมกนีเซียมที่สกัดได้มีค่า 156.32 และ 25.54 mg kg^{-1} ตามลำดับ ความสามารถในการแลกเปลี่ยนประจุบวก (CEC) มีค่า $2.49 \text{ cmol kg}^{-1}$ จัดอยู่ในระดับต่ำ ซึ่งค่า CEC สามารถใช้เป็นหลักเกณฑ์ในการบ่งบอกลักษณะของเนื้อดินได้ โดยที่องค์ประกอบของแร่ดินเหนียวสูงจะมีค่า CEC สูง มักจะเป็นเนื้อดินที่ละเอียด นอกจากนี้ดินที่มีฮิวมัสเป็นองค์ประกอบมากจะให้ค่า CEC ที่ค่อนข้างสูงด้วย (Lecturer in Soil Science Department,

2005) ซึ่งดินที่ตำบลป่าแป๋มีสัดส่วนของอนุภาคดินเหนียวมากกว่าดินตำบลสะลงงจึงทำให้ค่า CEC ของดินตำบลป่าแป๋สูงกว่าดินตำบลสะลงงไปด้วย (Table 1) ค่าการนำไฟฟ้ามีค่า 0.04 dS m^{-1} และอัตรา % ความอิ่มตัวเบสมีค่า 54.81 % จัดอยู่ในระดับค่อนข้างสูง เมื่อประเมินโดยเกณฑ์ระดับความอุดมสมบูรณ์ของดิน Soil Survey and Soil Classification Division (2000) (Table 2)

การประเมินระดับความอุดมสมบูรณ์

การประเมินระดับความอุดมสมบูรณ์ของดินในพื้นที่ตำบลป่าแป๋ อำเภอแม่แตง และตำบลสะลงง อำเภอแม่ริม จังหวัดเชียงใหม่ ตามเกณฑ์ ของ Soil Survey and Soil Classification Division (2000) ใช้ผลวิเคราะห์ทางเคมี ได้แก่ ปริมาณอินทรีย์วัตถุ ปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ โพแทสเซียมที่สกัดได้ ค่าความจุในการแลกเปลี่ยนไอออนบวกและค่าอัตรา % ความอิ่มตัวเบส (Table 2) พบว่าความอุดมสมบูรณ์ของดินตำบลป่าแป๋มีค่าคะแนนความอุดมสมบูรณ์ของดินเท่ากับ 19 คะแนนถือว่าดินมีความอุดมสมบูรณ์ค่อนข้างสูง และดินตำบลสะลงงมีค่าคะแนนความอุดมสมบูรณ์ของดินเท่ากับ 17 คะแนนถือว่าเป็นดินมีความอุดมสมบูรณ์ปานกลาง ซึ่งค่าดังกล่าวแสดงถึงความอุดมสมบูรณ์ของดินและความเป็นประโยชน์ของธาตุอาหารพืชที่พืชสามารถนำไปใช้ได้ (Weil & Brady, 2017)

การสกัดมะเขวนในการเสริมรสเค็ม

สารสกัดมะเขวนของตำบลป่าแป๋และตำบลสะลงง พบว่า มะเขวนจากทั้งสองพื้นที่ด้านเปอร์เซ็นต์ผลผลิตหลังสกัดเมื่อสกัดด้วย

เอทานอลมากกว่าเมื่อสกัดด้วยน้ำ และมีเปอร์เซ็นต์ผลผลิตหลังระเหยใกล้เคียงกันอยู่ในช่วง 24.3-26.2 มีค่าสี L* a* และ b* ใกล้เคียงกันได้แก่ค่า L* หรือค่าความสว่างอยู่ในช่วง 33.29-35.60 ค่า a* หรือค่าสีแดงอยู่ในช่วง 0.77-1.90 และค่า b* หรือค่าสีน้ำเงินอยู่ในช่วง

(-1.68) - (-1.10) และค่า pH หรือค่าความเป็นกรด-เบส อยู่ในช่วง 4.63-4.97 กล่าวคือมะแขว่นเมื่อสกัดและระเหยแล้วมีค่าเป็นกรด (Table 3)

Table 2 Soil chemical properties and soil fertility assessment

Area	Depth (cm)	pH ¹ (1:1 H ₂ O)	N %	Avai. P ² mg kg ⁻¹	Avai. K ³ mg kg ⁻¹	Ca mg kg ⁻¹	Mg mg kg ⁻¹	OM ⁴ g kg ⁻¹	CEC ⁵ cmol kg ⁻¹	EC dS m ⁻¹	BS ⁶ %	Total score ⁷	Fertility level ⁸
Phapae	0-15	5.27	0.23	12.22 (3)	320.00 (5)	466.94	48.64	4,530 (5)	6.22 (2)	0.08	56.80 (4)	19	MH
Saluang	0-15	4.30	0.23	8.97 (2)	140.40 (5)	156.32	25.54	4,560 (5)	2.49 (1)	0.04	54.81 (4)	17	M

¹/pH 1:1 (H₂O): 3.50-4.50 = extremely acid, 4.60-5.00 = very strongly acid, 5.10-5.50 = strongly acid.

²/Avai. P = available phosphorus (mg kg⁻¹): < 6 = (1), 6-10 = (2), 10-15 = (3), 15-25 = (4), >25 = (5).

³/Avai. K = available potassium (mg kg⁻¹): < 30 = (1), 30-60 = (2), 60-75 = (3), 75-90 = (4), >90 = (5).

⁴/OM = organic matter (g kg⁻¹): 5-10 = (1), 10-15 = (2), 15-25 = (3), 25-35 = (4), > 45 = (5).

⁵/CEC = cation exchange capacity (cmol kg⁻¹): < 5 = (1), 5-10 = (2), 10-25 = (3), 15-20 = (4), > 20 = (5).

⁶/BS = base saturation (%): < 20 = (1), 20-35 = (2), 35-50 = (3), 50-75 = (4) > 75 = (5).

(1) = low, (2) = moderately low, (3) = medium, (4) = moderately high, (5) = high.

⁷/Scoring is used for the assessment of fertility level (the score is presented in blanket within the table) where score

< 7 = low (L), 8-12 = moderately Low (ML), 13-17 = medium (M), 18-22 = moderately high (MH), 23 = high (H)

ที่มา: Soil Survey and Soil Classification Division (2000)

Table 3 Mean ± SD of color, pH and % of yield

Area	Phapae		Saluang	
Variable	Water	Ethanal	Water	Ethanal
% of yield after extraction	59.2±1.20	63.9±2.00	56.3±0.60	59.9±2.20
% of yield after evaporation	25.8±0.80	26.2±0.50	24.3±0.40	25.4±0.20
Lightness (L*)	33.29±0.41	33.47±0.08	34.07±0.31	35.60±0.17
Redness (a*)	0.77±0.01	1.23±0.02	0.77±0.05	1.90±0.08
Blueness (b*)	-1.59±0.10	-1.17±0.06	-1.68±0.05	-1.10±0.15
pH	4.97±0.01	4.82±0.01	4.94±0.00	4.63±0.01

เมื่อได้สารสกัดมะแขว่นแล้วดำเนินการประเมินทางประสาทสัมผัสโดยผู้ทดสอบชิมจำนวน 15 คน ตัวอย่างหมายเลข 357 168 และ 639 คือตัวอย่างทดลองที่ประกอบน้ำ 1000 มิลลิลิตร เกลือ 10% สารสกัดมะแขว่นตำบปลาแป 1 % 2 % และ 3 % ตามลำดับ ส่วนตัวอย่างหมายเลข 583 824, และ 498 คือตัวอย่างที่ประกอบด้วยน้ำ 1000 มิลลิลิตร เกลือ 10 % สารสกัดมะแขว่นตำบสละลง 1 % 2 % และ 3 % ตามลำดับ ให้ผู้ทดสอบชิมเรียงลำดับตัวอย่างตามความเค็มจากมากที่สุด (ลำดับที่ 1) ไปน้อยที่สุด (ลำดับที่ 6) พบว่าผู้ทดสอบชิมจำนวน 15 คน ยอมรับน้ำสารสกัดมะแขว่นตำบปลาแป 3 % ให้ความเค็มมากที่สุด รองลงมาได้แก่น้ำสารสกัดมะแขว่นตำบสละลง 3 % น้ำสารสกัดมะแขว่นตำบปลาแป 2 % น้ำสารสกัดมะแขว่นตำบสละลง 2 % น้ำสารสกัดมะแขว่นตำบปลาแป 1 % น้ำสารสกัดมะแขว่นตำบสละลง 1 % ตามลำดับ (Table 4) ซึ่ง Szallasi & Blumberg (1993) กล่าวว่าพืชสมุนไพรที่มีรสเผ็ดร้อนจะมีสารสำคัญ

โดยเฉพาะสารกลุ่มอัลคาลอยด์จะสามารถกระตุ้นการทำงานของต่อมรับรสที่พบบนลิ้นทำให้ลดความเป็นขี้ของเส้นใยประสาทรับความรู้สึกทำให้เกิดสัญญาณผ่านเข้าไปยังสมองเพื่อกระตุ้นความรู้สึกในการรับรสได้ นอกจากนั้น Mekhora (2022) พบว่าการใช้เครื่องเทศและสมุนไพรบางชนิดช่วยเพิ่มกลิ่นรสและรสเค็มให้อาหารได้ โดยการเพิ่มสัดส่วนสมุนไพรจากสูตรมาตรฐานร้อยละ 25-50 ในอาหารจะช่วยลดการใช้เครื่องปรุงโซเดียมลงได้ 25 % ซึ่งมีรสชาติอาหารใกล้เคียงสูตรมาตรฐาน และเป็นที่ยอมรับของผู้บริโภคเมื่อเปรียบเทียบกับ การลดการใช้เครื่องปรุงเพียงอย่างเดียว สอดคล้องกับการศึกษาของ Ghawi et al. (2014) พบว่าการใช้เครื่องเทศและสมุนไพร ได้แก่ ออริกาโน เบย์ลิฟเซเลอรี และพริกไทยดำในผลิตภัณฑ์ซุสมะเขือเทศ สามารถลดปริมาณการใช้เกลือลงได้ โดยสูตรที่เพิ่มสมุนไพรจะช่วยให้เสริมรสเค็มและกลิ่นรสของซุสได้ เมื่อเปรียบเทียบกับสูตรลดโซเดียมที่ไม่ได้ใส่สมุนไพร

Table 4 Sensory analysis of *Zanthoxylum limonella* Alston. extract for salty flavor enhancement

Number of samples	498	168	639	824	583	357
Rank Total	68	53	61	57	45	31

ลำดับทั้งหมด (rank total) ที่ต้องการสำหรับความมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 5 % ที่จำนวนของการลำดับคือ 15 คน จำนวนของสิ่งทดลองคือ 6 ตัวอย่าง ดังนั้นค่าที่ได้จะต้องต่ำกว่าช่วงคะแนน 37-68 จึงถือว่ามีความนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 5 % (Kramer, 1960) ซึ่ง

สารสกัดลำดับ 6 ต่ำกว่าเกณฑ์ ทำให้สารสกัดทั้ง 6 ตัวอย่างมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) โดยผู้ทดสอบชิมให้คะแนนลำดับสิ่งทดลองที่ 6 คือสารสกัดมะแขว่นของตำบปลาแป 3 % เค็มที่สุด (Table 4)

ทำการทดสอบความเค็มของสารสกัดมะเขวนอัตรา 1 % 2 % และ 3 % ร่วมกับเกลือ 5 % หรือ 10 % และไม่เติมสารสกัดมะเขวนโดยใช้เครื่องวัดความเค็มแบบส่องในน้ำเกลือพบว่ามีความเปอร์เซ็นต์เกลือใกล้เคียงกัน (Table 5)

Table 5 Mean $\pm$ SD of % of salt from handheld salinity refractometer

Salt (%)	Extraction (%)	Mean $\pm$ SD
5	1	4.5 $\pm$ 0.00
5	2	4.5 $\pm$ 0.06
5	3	4.6 $\pm$ 0.06
10	1	8.6 $\pm$ 0.10
10	2	8.7 $\pm$ 0.12
10	3	8.8 $\pm$ 0.00
5	0	4.5 $\pm$ 0.00
10	0	8.5 $\pm$ 0.00

Table 6 Correlation between soil properties and sensory evaluation

Sensory evaluation	Correlation Coefficient	
	Phapae	Saluang
Particle size	.500 ^{ns}	1.000**
Soil pH	0.894 ^{ns}	0.894 ^{ns}
Nitrogen	-.211 ^{ns}	-.211 ^{ns}
Phosphorus	0.894 ^{ns}	0.894 ^{ns}
Potassium	.600 ^{ns}	.600 ^{ns}
Calcium	.738 ^{ns}	.738 ^{ns}
Magnesium	0.894 ^{ns}	0.894 ^{ns}
Organic matter	-.800 ^{ns}	-.800 ^{ns}
Cation exchange capacity	0.894 ^{ns}	0.894 ^{ns}
Electrical conductivity	.800 ^{ns}	.800 ^{ns}
Base saturation	1.000 ^{ns}	1.000 ^{ns}

^{ns} = non significant, ** Significant Difference, α = 0.01.

ความสัมพันธ์ระหว่างการประเมินทางประสาทสัมผัสกับคุณสมบัติทางเคมีและกายภาพของดินที่ศึกษาพบว่าคุณสมบัติทางกายภาพได้แก่ ขนาดอนุภาคดินต่ำบดละเอียดมีความสัมพันธ์ในทางบวกกับการประเมินทางประสาทสัมผัสอย่างมีนัยสำคัญ (p<0.01) ส่วนคุณสมบัติทางกายภาพและเคมีอื่น ๆ ไม่มีความสัมพันธ์กัน (Table 6) ซึ่งเนื้อดินเป็นคุณสมบัติทางกายภาพของดินที่บ่งถึงขนาดของชิ้นส่วนที่ประกอบกันขึ้นเป็นดิน จะมีเนื้อดินเป็นประเภทใดขึ้นอยู่กับปริมาณของกลุ่มขนาดทราย (sand) ขนาดทรายแป้ง (silt) และกลุ่มขนาดดินเหนียว (clay) ของดินนั้น ๆ และเป็นสมบัติที่เสถียร ไม่แสดงการเปลี่ยนแปลงภายใต้สภาพธรรมชาติของการใช้ดินเพื่อวัตถุประสงค์ทางการเกษตร และเป็นสมบัติที่ไม่มีผลกระทบโดยตรงต่อการเจริญเติบโตและการให้ผลผลิตของพืช แต่เป็นสิ่งที่ควบคุมคุณสมบัติอื่น ๆ หลายประการ เช่นการดูดซับน้ำ การดูดซับไอออนและการแลกเปลี่ยนแก๊ส เป็นต้น คุณสมบัติเหล่านี้เป็นคุณสมบัติที่มีผลกระทบโดยตรงต่อการเจริญเติบโตและการให้ผลผลิตของพืช (Lecturer in Soil Science Department, 2005) และจากรายงานของ Bryant & Mezine (1999) พบว่าสารประกอบระเหยไม่ได้ alkylamide hydroxy- α -sanshool และ hydroxy- β -sanshool เป็นตัวที่ทำให้เกิดความรู้สึกที่ปลายประสาทและเป็นตัวกระตุ้นผ่านระบบรับสัมผัสทางกาย (somatosensory system) ดังนั้นควรมีการศึกษาอิทธิพลของคุณสมบัติดินกับปริมาณสาร alkylamide hydroxy- α -sanshool และ hydroxy- β -sanshool ในผลมะเขวนเพิ่มเติม

สรุปผลการวิจัย

การวิเคราะห์คุณสมบัติดินทางกายภาพและเคมีของดินตำบลป่าแป๋ อำเภอมะนัง และดินตำบลสะลวง อำเภอมะนัง จังหวัดเชียงใหม่ ซึ่งทั้ง 2 พื้นที่มีมะเขวนที่ขึ้นโดยธรรมชาติอยู่ร่วมกับพืชชนิดอื่น ๆ คุณสมบัติดินของดินตำบลป่าแป๋เป็นเนื้อดินเหนียว มีปริมาณธาตุอาหารในดินมากกว่าดินตำบลสะลวงที่เป็นดินร่วนเหนียวปนทรายแป้ง และดินทั้งสองแห่งมีความอุดมสมบูรณ์แตกต่างกันเมื่อทำการประเมินความอุดมสมบูรณ์ ส่วนการประเมินทางประสาทสัมผัสของสารสกัดมะเขวนเพื่อใช้เสริมรสเค็มจากตำบลป่าแป๋ให้ความรู้สึกรสเค็มมากกว่าสารสกัดมะเขวนตำบลสะลวงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ คุณสมบัติทางกายภาพของดินตำบลสะลวง ได้แก่ ขนาดอนุภาคมีความสัมพันธ์กับการประเมินทางประสาทสัมผัสอย่างมีนัยสำคัญ ซึ่งถ้าผู้บริโภคปรุงอาหารที่มีส่วนผสมของมะเขวนสามารถลดการใช้โซเดียมลงได้ เนื่องจากมะเขวนจะเพิ่มการรับรสเค็มให้เด่นชัดขึ้น

References

- Arun, K. V., & Paridhavi, M. (2011). Evaluation of physiochemical parameters on the fruit of *Zanthoxylum limonella* Alston (Family-Rutaceae). *International Journal of Comprehensive and Advanced Pharmacology*, 2, 1.
- Blake, G. R., & Hartge, K. H. (1986). Bulk density. In: Klute A, ed *Methods of soil analysis: part 1 physical and*

- mineralogical methods* (2nd ed.). Wisconsin, United States: Soil Science Society of America, Inc. doi: 10.2136/sssabookser5.1.2ed.c13
- Bray, R. H., & Kurtz, L. T. (1945). Determination of total, organic and available form of phosphorous in soil. *Soil Science*, 59(1), 39-45. doi: 10.1097/00010694-194501000-00006
- Bremner, J. M., & Mulvaney, C. S. (1982). Nitrogen-total. In A. L. Page, R. H. Miller, D. R. Keeney (Eds.), *Methods of soil analysis. part 2 chemical and microbiological properties* (pp. 595-624). Wisconsin, United States: American Society of Agronomy, Soil Science Society of America.
- Bryant, B. P., & Mezine, I. (1999). Alkylamides that produce tingling paresthesia activate tactile and thermal trigeminal neurons. *Brain Research*, 842(2), 452-460. doi:10.1016/s0006-8993(99)01878-8
- Culley, J. L. B. (1993) *Density and compressibility*. In: Carter MR, ed. *Soil sampling and methods of analysis*. Florida, United States.: Lewis Publishers, Boca Raton. Department of Agricultural Extension. (2018). *Ma-Kwaen, herbal in Northern*. Accessed July 1, 2023. Retrieved from https://www.technologychaoban.com/thai-local-wisdom/article_81462 (in Thai)
- Gee, G. W., & Bauder, J. W. (1986). Particle-size analysis In A. Klute (Ed.), *Methods of soil analysis: part 1 physical and mineralogical methods* (pp. 383-411). Wisconsin, United States: American Society of Agronomy/Soil Science Society of America.
- Ghawi, S. K, Rowland, I., & Methven, L. (2014). Enhancing consumer liking of low salt tomato soup over repeated exposure by herb and spice seasonings. *Appetite*. 81, 20-29. doi: 10.1016/j.appet.2014.05.029
- Hazelton, P. A., & Murphy, B. W. (2007). *What do all the numbers mean? - a guide to the interpretation of soil test results* (2nd ed.). Melbourne, Australia: CSIRO Publishing.
- Hunt, N., & Gilkes, R. (1992). *Farm monitoring handbook: a practical down to earth manual for farmers and other land users*. Como, Western Australia: University of Western Australia, lands management society and national dryland salinity program.
- Kheoruenromne, I. (2005). *Soil survey: concepts, principles and techniques*. Bangkok, Thailand: Kasetsart University. (In Thai)
- Kramer, A. (1960). A rapid method for determining significance of differences from rank sums. *Food Technology*, 14(11), 576-581.
- Land Development Department. (2020). *Method of soil chemical analysis for fertility evaluation*. Accessed December 5, 2023. Retrieved from <https://e-library.ldd.go.th/library/flip/bib10134f/bib10134f.html>. (in Thai)
- Lanyon, L. E., & Heald, W. R. (1983). Magnesium, calcium, strontium, and barium. In A. L. Page (Ed.), *Methods of soil analysis: part 2 chemical and microbiological properties* (pp. 247-262). Wisconsin, United States: The American Society of Agronomy, Inc.
- Lecturer in Soil Science Department. (2005). *Introduction of soil science*. Bangkok, Thailand: Soil Science Department, Faculty of Agriculture, Kasetsart University. (in Thai)
- Matichonweekly. (2022). *Ma-kwaen*. Accessed July 14, 2023. Retrieved from http://www.matichonweekly.com/column/article_509219 (in Thai)
- Mekhora, C. (2022). Sodium, salt taste perception and reducing sodium in food products. *Journal of Food Research and Product Development*, 52(1), 16-23. (in Thai)
- National Soil Survey Center. (1996). *Soil survey laboratory methods manual, Soil survey investigations report No. 42 Version 3.0*. Washington, D.C., United States: Department of Agriculture, United States Government Printing Office.
- Nanasombat, S., & Wimuttigisol, P. (2011). Antimicrobial and antioxidant activity of spice essential oils. *Food Science and Biotechnology*, 20(1), 45-53. doi:10.1007/s10068-011-0007-8
- Nanasombat, S., Yansodthee, K., & Jongjaited, I. (2019). Evaluation of antidiabetic, antioxidant and other phytochemical properties of Thai fruits, vegetables and some local food plants. *Walailak Journal of Science & Technology*, 16(11), 851- 866. doi: 10.48048/wjst.2019.3731 (in Thai)
- Nelson, D. W., & Sommers, L. E. (1996). Total carbon, organic carbon, and organic matter. In D. L. Sparks, A. L. Page, P. A. Helmke, R. H. Loeppert, P. N. Soltanpour, M. A. Tabatabai, C. T. Johnston, M. E. Sumner (Eds.). *Methods of soil analysis: part 3 chemical methods, SSSA Book series 5* (pp. 961-1010). Wisconsin, United States: Soil Science Society of America.
- Office of Science for Land Development. (2005). *A guide to analyzing samples of soil, water, fertilizer, plants, soil amendments and analysis to certify product standards, 1st*. Bangkok: Land Development Department. (in Thai)

- Pratt, P. F. (1965). Potassium. In A. G. Norman (Ed.). *Methods of soil analysis: Part 2 chemical and microbiological properties* (pp. 1022-1030). Wisconsin, United States: The American Society of Agronomy, Inc.
- Sheldrick, B. H., & Wang, C. (1993). Particle size analysis. In M. R. Carter (Ed.), *Soil sampling and methods of analysis* (pp. 499-517). Wisconsin, United States: Lewis Publishers.
- Srisamatthakarn, P., Wattanawikkit, P., & Ammawat, S. (2016). Effect of explant and extraction conditions on the physical-chemical and antioxidant peroperties of Mah-khwuaen (*Zanthoxylum limonella* Alston.) extract. *Songklanakarin Journal of Plant Science*, 3 (Suppl. III), 31-38. (in Thai)
- Sumner, M. E., & Miller, W. P. (1996). Cation exchange capacity and exchange coefficients. *Methods of soil analysis*: In D. L. Sparks, A. L. Page, P. A. Helmke, R. H. Loeppert, P. N. Soltanpour, M. A. Tabatabai, C. T. Johnston, M. E. Sumner (Eds). *Methods of soil analysis: part 3 chemical methods, SSSA Book series* 5 (pp. 1201-1229). Wisconsin, United States: Soil Science Society of America.
- Soil Survey Division and Soil Classification Division. (2000). *Manual of soil suitability classification for economic crops*. Bangkok: Department of Land Development, Ministry of Agriculture and Cooperatives. (in Thai)
- Szallasi, A., & Blumberg, P. M. (1993). Mechanisms and therapeutic potential of vanilloids (capsaicin-like molecules), *Advances in Pharmacology*, 24, 123-155. doi: 10.1016/s1054-3589(08)60936-9
- Weil, R. R., & Brady, N. C. (2017). *Soil phosphorus and potassium*. Accessed July 31, 2023. Retrieved from file:///C:/Users/acer/Downloads/WeilBradyTheNatPropSoils14e_Chap14_wcitation.pdf
- Wongkrajang, K. (2019). Mechanism of spicy sensation. *Food Journal*, 49(3), 25-32. (in Thai)
- Yuyen, Y., Utakud, N., Boonklum, T., & Mengam, N. (2019). “Ma-kwean” Mala of Thailand, similar but different. *Journal of Thai Food Culture*, 1(2), 63-72. (in Thai)

Research article

Effects of soil properties on Ma-Kwaen (*Zanthoxylum limonella* Alston.) extract for salty flavor enhancement

Paphakorn Suthiphasilp^{1*} and Aphirada Phonpannawit²

¹Program of Education (Agriculture), Faculty of Agricultural Technology, Chiang Mai Rajabhat University, Muang, Chiang Mai Province, 50300

²Program of Food Science and Technology, Faculty of Agricultural Technology, Chiang Mai Rajabhat University, Muang, Chiang Mai Province, 50300

ARTICLE INFO

Article history

Received: 24 September 2023

Revised: 10 November 2023

Accepted: 20 March 2024

Online published: 9 April 2024

Keyword

Salty Flavor Enhancement

Soil Properties

Soil Fertile Assessment

Ma-kwaen

Herb

ABSTRACT

This research aims to study soil properties that affect *Zanthoxylum limonella* Alston. extract in enhancing salty taste in two areas: Pha Pae Subdistrict, Mae Taeng District, and Saluang Subdistrict, Mae Rim District, Chiang Mai Province. Samples were collected and analyzed for their physical and chemical soil properties, and soil fertility was assessed. Sensory evaluation was conducted through tasting. It was found that the soil texture of Pha Pae Subdistrict is clay, while the soil of Saluang Subdistrict is sandy clay loam. The bulk density was 0.97 g cm⁻³ and 1.10 g cm⁻³, the field capacity was 2.21% and 2.28%, and the saturated hydraulic conductivity was 57.75 cm h⁻¹ and 52.80 cm h⁻¹, respectively. The soil pH was 5.27, indicating strong acidity in Pha Pae Subdistrict and 4.30, indicating extreme acidity in Saluang Subdistrict. Organic matter content was 4,530 g kg⁻¹ and 4,560 g kg⁻¹, total nitrogen was 0.23% and 0.23%, available phosphorus was 12.23 mg kg⁻¹ and 8.97 mg kg⁻¹, available potassium was 320 mg kg⁻¹ and 140.40 mg kg⁻¹, and extractable calcium and magnesium were 466.49 mg kg⁻¹, 48.64 mg kg⁻¹ and 156.32 mg kg⁻¹, 25.54 mg kg⁻¹, respectively. Soil abundance evaluation revealed a moderately high level in Pha Pae Subdistrict and a moderate level in Saluang Subdistrict. In Pha Pae Subdistrict, *Z. limonella* extract at a rate of 3% provided the saltiest feeling ($p < 0.05$). The extraction of *Z. limonella* for enhancing salty taste correlated with soil particle size in Saluang Subdistrict ($p < 0.01$).

*Corresponding author

E-mail address: ratchaneeporn_sut@cmru.ac.th (P. Suthiphasilp)

Online print: 9 April 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.2024.9>



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

บทความวิจัย

ผลของการเสริมผงสกัดหยาบเบต้าแคโรทีนจากเปลือกมะม่วงต่อสมรรถนะการเจริญเติบโตของไก่ชัยพฤกษ์ หงษ์ลัดดาพร^{1*} ชมภูนาฏ ชมภูพันธ์² และ ปานฤทัย พุทธทองศรี³

¹ สาขาวิชาสัตวศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏเลย อำเภอเมือง จังหวัดเลย 42000

² กลุ่มวิชาเทคโนโลยีและนวัตกรรมการศึกษา คณะครุศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏเลย อำเภอเมือง จังหวัดเลย 42000

³ สาขาวิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏเลย อำเภอเมือง จังหวัดเลย 42000

ข้อมูลบทความ

Article history

รับ: 2 ธันวาคม 2566

แก้ไข: 28 กุมภาพันธ์ 2567

ตอบรับการตีพิมพ์: 18 มีนาคม 2567

ตีพิมพ์ออนไลน์: 10 เมษายน 2567

คำสำคัญ

ไก่เนื้อ

ผงสกัดหยาบ

เบต้าแคโรทีน

เปลือกมะม่วง

สมรรถนะการเจริญเติบโต

บทคัดย่อ

การศึกษาครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลของการเสริมผงสกัดหยาบเบต้าแคโรทีนจากเปลือกมะม่วงในอาหารต่อสมรรถนะการเจริญเติบโตของไก่เนื้อ ใช้ไก่เนื้อสายพันธุ์อาร์เบอร์ เอเคอร์ส อายุ 1 วัน จำนวน 200 ตัว สุ่มไปออกเป็น 5 กลุ่มตามปัจจัยที่ใช้ในการศึกษา (ระดับการเสริมผงสกัดหยาบเบต้าแคโรทีนจากเปลือกมะม่วงในอาหาร ร้อยละ 0.00 0.25 0.50 0.75 และ 1.00) ตามแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ ปัจจัยละ 4 ซ้ำ ซ้ำละ 10 ตัว ให้ไก่เนื้อได้รับอาหารและน้ำอย่างเต็มที่จนกระทั่งอายุ 42 วัน ผลการศึกษาพบว่าไก่เนื้อที่ได้รับอาหารเสริมผงสกัดหยาบเบต้าแคโรทีนจากเปลือกมะม่วงร้อยละ 0.25 0.50 0.75 และ 1.00 มีอัตราการเจริญเติบโตสูงกว่าไก่เนื้อที่ได้รับอาหารไม่เสริมผงสกัดหยาบเบต้าแคโรทีนจากเปลือกมะม่วง มีค่าเป็น 62.40 62.72 63.17 62.51 และ 60.39 กรัมต่อตัวต่อวัน ตามลำดับ เช่นเดียวกับอัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นน้ำหนักตัว (2.15 2.17 2.16 2.18 และ 2.22 ตามลำดับ) ประสิทธิภาพการใช้โปรตีน (2.25 2.23 2.24 2.22 และ 2.19 ตามลำดับ) และดัชนีประสิทธิภาพการผลิตเพิ่มขึ้น (283.17 282.44 284.73 281.79 และ 260.87 ตามลำดับ) แต่ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($p > 0.05$) ผลการศึกษาชี้ให้เห็นว่าการเสริมผงสกัดหยาบเบต้าแคโรทีนจากเปลือกมะม่วงมีแนวโน้มทำให้สมรรถนะการเจริญเติบโตของไก่เนื้อดีขึ้น

บทนำ

จังหวัดเลยเป็นพื้นที่ที่มีการปลูกมะม่วงสูงเป็นอันดับสามของประเทศ โดยในปีการผลิต 2565 จังหวัดเลย มีพื้นที่เพาะปลูกมะม่วงรวม 49,569 ไร่ ปริมาณผลผลิตประมาณ 31,294 ตัน ราคาผลผลิตมะม่วงที่เกษตรกรขายได้ในปี 2565 เฉลี่ย 7.85 บาทต่อกิโลกรัม (Ministry of Agriculture and Cooperatives, 2022) โดยมีแหล่งปลูกมะม่วงที่สำคัญ ได้แก่ อำเภอเชียงคาน อำเภอปากชม และอำเภอเมืองเลย พันธุ์ที่นิยมปลูก คือ พันธุ์โชคอนันต์ เชียวสวย เชียวใหญ่ น้ำดอกไม้ สีทอง ทองดำ และมหาชนก เป็นต้น การจัดทำหน่ายมะม่วงในจังหวัดเลย แบ่งเป็น 2 ลักษณะ คือ การส่งขายในประเทศ โดยพ่อค้าคนกลางในท้องถิ่นจะส่งมะม่วงให้กับตลาดค้าส่งผลไม้ในกรุงเทพมหานคร โดยรับซื้อมะม่วงจากเกษตรกรในราคาเหมาตกร้าคัดเกรดมะม่วงด้วยมือ แยกขนาดเป็น 4 เบอร์ คือ เบอร์ลาย (ผิวมะม่วงไม่สวย) เบอร์เล็ก เบอร์กลาง และเบอร์ใหญ่ ส่วนอีกลักษณะคือการส่งขายต่างประเทศ โดยพ่อค้าคนกลางจากกรุงเทพมหานคร รับซื้อคัดส่งไปยังต่างประเทศ ได้แก่ มาเลเซีย เวียดนาม จีน ญี่ปุ่น และสปป.ลาว ซึ่งมีเครื่องคัดเกรดขนาดมะม่วง แยกขนาดเป็น 3 ขนาดตามน้ำหนัก คือ เบอร์เล็ก เบอร์กลาง และเบอร์ใหญ่ (Loei Provincial Agriculture and Cooperatives Office, 2019) ทำให้เกิดปัญหาสำคัญ คือ มะม่วงที่ส่งขายในประเทศมีราคาค่อนข้างต่ำ หากต้องการ

ราคาสูงต้องส่งขายต่างประเทศ แต่ยังมีมะม่วงส่วนหนึ่งที่ไม่ผ่านการคัดเกรดส่งออก และถูกคัดทิ้งไว้ที่สถานที่รับซื้อมะม่วงจากเกษตรกร ทั้งที่มะม่วงดังกล่าวยังมีลักษณะทางกายภาพ และคุณภาพดี โดยจะถูกนำไปทิ้งแล้วเน่าเสีย เกิดกลิ่นไม่พึงประสงค์ และเป็นที่ขยายพันธุ์ของแมลงวัน ซึ่งผู้ประกอบการรับซื้อมะม่วง กล่าวว่ามะม่วงที่ไม่ผ่านการคัดเกรดเหล่านี้ สามารถนำไปรับประทานหรือแปรรูปได้โดยไม่คิดค่าใช้จ่าย

มะม่วง (*Mangifera indica* Linn.) เป็นไม้ผลเขตร้อนที่นิยมบริโภคกันทั่วโลก เนื่องจากมีรสชาติหวานหอม สีสีนสวยงาม ผลมะม่วงสุกมีสารเบตาแคโรทีน (beta carotene) จัดอยู่ในกลุ่มแคโรทีนอยด์ (carotenoid) ซึ่งเป็นรงควัตถุที่ให้สีเหลืองส้มในผักและผลไม้ มะม่วงที่ผลแก่จัดสีผิวจะมีสีเหลืองสดใส เนื่องมาจากการสลายตัวของคลอโรฟิลล์และปรากฏสีเหลืองของแคโรทีนอยด์ให้เห็น เบตาแคโรทีนเป็นสารอาหารที่กำจัดอนุมูลอิสระ ทำหน้าที่จับอนุมูลอิสระของ กรดไขมันไม่อิ่มตัว และช่วยยับยั้งปฏิกิริยาออกซิเดชันของการรวมตัวระหว่างอนุมูลคาร์บอนกับโมเลกุลของออกซิเจน อีกทั้งเป็นสารตั้งต้นในการสร้างวิตามินเอ (pro-vitamin A) (Buanong & Kanlayanarat, 2010) โดยร่างกายสามารถเปลี่ยน 9-cis-beta-carotene ไปเป็นวิตามินเอที่ตับและลำไส้ด้วยเอนไซม์ 15, 15-beta-carotenoid dioxygenase วิตามินเอ เป็นสารที่มีความสำคัญต่อการมองเห็น การสร้างสเปิร์ม การสร้างกระดูกและฟัน การซ่อมแซม

*Corresponding author

E-mail address: chaiyapruerk.hon@lru.ac.th (C. Hongladdaporn)

Online print: 10 April 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.2024.10>

เนื้อเยื่อ และสุขภาพของผิวพรรณ เบตาแคโรทีนตามธรรมชาติ มี 2 ไอโซเมอร์ คือ all trans isomers และ cis-isomers แต่เฉพาะ 9-cis betacarotene ที่สามารถเปลี่ยนแปลงเป็นเรตินอลหรือวิตามินเอได้ (Khamnoi, 2023) ส่วนเบตาแคโรทีนที่ไม่ถูกเปลี่ยนเป็นวิตามินเอจะทำหน้าที่เป็นสารต้านอนุมูลอิสระ (Suttajit et al., 2012) ผลไม้ที่มีสีเหลือง เช่น มะม่วงและมะละกอ เป็นแหล่งของสารแคโรทีนอยด์ที่สามารถเปลี่ยนเป็นวิตามินเอได้ดีที่สุด (Bhasharachary et al., 1995)

แคโรทีนอยด์มีบทบาทสำคัญหลายอย่าง เช่น ป้องกันการทำลายเซลล์จากอนุมูลอิสระ (free radical) ป้องกันการติดเชื้อ และเพิ่มความชุ่มชื้นของไข่แดง (Magels et al., 1993) เพื่อให้ตรงตามความต้องการของผู้บริโภคที่นิยมไข่ไก่ที่มีสีแดงเข้ม แคโรทีนอยด์ที่มีการสังเคราะห์และสกัดจากธรรมชาติ คือ เบตาแคโรทีนมีการนำมาใช้เป็นสารเสริม (feed additives) ในอาหารสัตว์เพื่อเพิ่มสมรรถนะการเจริญเติบโตของสัตว์ และเพิ่มสีของเนื้อและไข่ (Suwanaruang, 2017) เมื่อศึกษาเฉพาะเปลือกผลมะม่วง พบว่าในเปลือกมะม่วงมีสารประกอบที่มีคุณค่าทางโภชนาการสูง เช่น ไฟโตเคมีคอล โพลีฟีนอล แคโรทีนอยด์ เอนไซม์ โยอาอาหาร เซลลูโลส เฮมิเซลลูโลส ไขมัน โปรตีน และเพคติน มีเยื่อใยร้อยละ 45.00 ถึง 78.00 (เยื่อใยละลายน้ำได้ร้อยละ 16.00 ถึง 28.00 และเยื่อใยที่ไม่ละลายน้ำร้อยละ 29.00 ถึง 50.00) (Ajila et al., 2007) ซึ่งเพคตินเป็นโยอาอาหาร (dietary fiber) คุณภาพสูง มีรายงานว่าเปลือกมะม่วงมีสารประกอบฟีนอลิกสูง (flavonol o-glycosides และ xanthone C-glycosides) (Arbos et al., 2013; Berardini et al., 2005) มีความชื้น เถ้า ไขมัน และโปรตีนร้อยละ 31.71 97.69 1.65 และ 2.03 ตามลำดับ (Pakpot, 2019) เปลือกมะม่วงมีฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระโดยวิธี DPPH; IC50 เท่ากับ 2.31 กรัมต่อมิลลิลิตร และเมื่อเทียบสมบัติการต้านอนุมูลอิสระและการต้านจุลินทรีย์ของสารสกัดจากเปลือกผลไม้ชนิดต่าง ๆ พบว่าเปลือกมะม่วงมีปริมาณสารประกอบฟีนอลทั้งหมด และสมบัติการต้านอนุมูลอิสระ 2, 2-diphenyl-1-picrylhydrazyl (DPPH) และอนุมูลอิสระ 2, 2'-Azobis (3-ethylbenzthiazoline-6-sulfonic acid) diammonium salt (ABTS) สูงกว่าเปลือกผลไม้ชนิดอื่น (Loypimai et al., 2011) เปลือกมะม่วงเป็นแหล่งที่ดีของสารต้านอนุมูลอิสระ (Ribeiro et al., 2007; Rodríguez et al., 2006) ทำให้ลดการเกิดโรคต่าง ๆ ในไก่เนื้อ มีการศึกษาพบว่าสามารถนำเศษเหลือจากมะม่วงมาใช้เป็นอาหารไก่เนื้อ (Orayaga et al., 2015) และนกกระทา (Orayaga & Sheidi, 2018) ซึ่งการนำผลผลิตเปลือกมะม่วงซึ่งไม่ผ่านการคัดเกรดส่งออกมาพัฒนาเป็นสูตรอาหารในการเลี้ยงสัตว์จะช่วยให้เพิ่มคุณประโยชน์จากผลพลอยได้ทางการเกษตร นอกจากนี้ในประเทศไทยยังไม่มีงานวิจัยการใช้สารสกัดจากเปลือกมะม่วงเป็นสารเสริมในอาหารไก่เนื้อ ดังนั้นการวิจัยครั้งนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลของผลผลิตจากเปลือกมะม่วงที่ไม่ผ่านการคัดเกรดส่งออกมาของจังหวัดเลย สู่กระบวนการใช้เป็นวัตถุดิบอาหารสัตว์ เพื่อเพิ่มสมรรถนะการเจริญเติบโตของไก่เนื้อในจังหวัดเลย

อุปกรณ์และวิธีการวิจัย

สัตว์ทดลอง

ใช้ไก่เนื้อพันธุ์การดำ อาร์เบอร์ เอเคอร์ส (Arbor Acres) คละ เพศ อายุ 1 วัน จำนวน 200 ตัว เลี้ยงไก่ในคอก ซึ่งรวมในโรงเรือนระบบเปิด คอกที่ใช้เลี้ยงเป็นพื้นคอนกรีตปูรองด้วยวัสดุรองพื้น พื้นที่คอกมีขนาด 2.4 ตารางเมตรต่อคอก สุ่มไก่ออกเป็น 5 กลุ่ม ตามปัจจัยที่ใช้ใน

การศึกษา (ระดับการเสริมผงสกัดหยาบเบต้าแคโรทีนจากเปลือกมะม่วงในอาหาร) ตามแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ (completely randomized design) 5 ปัจจัย ปัจจัยละ 4 ซ้ำ ซ้ำละ 10 ตัว

การเตรียมผงสกัดหยาบเบต้าแคโรทีนจากเปลือกมะม่วง

นำเปลือกมะม่วงมาสกัดเพื่อกำจัดส่วนของน้ำตาลออกจากเปลือก โดยดัดแปลงจากวิธีของ Kumar et al. (2012) โดยแช่เปลือกมะม่วงในเอทานอลเข้มข้นร้อยละ เป็นเวลา 1 ชั่วโมง นำส่วนเปลือกมะม่วงที่ผ่านการสกัดตากแดดให้แห้ง และบดให้ละเอียด จากการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมี โดยห้องปฏิบัติการกลาง (ประเทศไทย) จำกัด พบว่าผงสกัดหยาบเบต้าแคโรทีนจากเปลือกมะม่วงมีปริมาณสิ่งแห้ง เถ้า เยื่อใย โปรตีน และพลังงาน มีค่าเป็นร้อยละ 89.44 4.11 11.30 6.38 และ 3,407 กิโลแคลอรีต่อกิโลกรัม ตามลำดับ และจากการวิเคราะห์ปริมาณเบต้าแคโรทีนโดยห้องปฏิบัติการเคมี สาขาวิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏเลย พบว่าผงสกัดหยาบเบต้า แคโรทีนจากเปลือกมะม่วงมีปริมาณเบต้าแคโรทีนเท่ากับ 5.36 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม

อาหารสัตว์ทดลอง

ประกอบสูตรอาหารโดยใช้กากถั่วเหลือง ถั่วเหลืองไขมันเต็ม ปลายข้าว รำหยาบ น้ำมันถั่วเหลือง ไตแคลเซียมฟอสเฟต แคลเซียม คาโบเนต เกลือ แอล-ไลซีน ดีแอล-เมไทโอนีน และสารผสมล่วงหน้า ประกอบสูตรอาหาร 5 สูตร ตามปัจจัยในการศึกษา ระดับการเสริมผงสกัดหยาบเบต้าแคโรทีนจากเปลือกมะม่วงในอาหาร ร้อยละ 0.00 0.25 0.50 0.75 และ 1.00 แบ่งระยะการเลี้ยงออกเป็น 2 ระยะ คือ ระยะ 1 ถึง 3 สัปดาห์ และระยะ 4 ถึง 6 สัปดาห์ ประกอบสูตรอาหารให้มีปริมาณโภชนะ ตามคำแนะนำของ National Research Council (1994) ดังแสดงใน Table 1 และ Table 2

การเก็บข้อมูล

บันทึกน้ำหนักไก่เมื่อเริ่มต้น และวันสุดท้ายของการทดลองในแต่ละสัปดาห์ บันทึกปริมาณอาหารที่กินในแต่ละสัปดาห์ เพื่อใช้ในการคำนวณหาค่าสมรรถนะการเจริญเติบโตของไก่เนื้อ

ลักษณะที่ต้องการศึกษา

ศึกษาสมรรถนะการเจริญเติบโตของไก่เนื้อ ได้แก่ อัตราการเจริญเติบโต (average daily gain, ADG) ปริมาณอาหารที่กิน (average daily feed intake, ADFI) อัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นน้ำหนักตัว (feed conversion ratio, FCR) ประสิทธิภาพการใช้โปรตีน (protein efficiency ratio, PER) และดัชนีประสิทธิภาพการผลิต (production index, PI)

การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ

ใช้แผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ จำนวน 5 ปัจจัย ระดับการเสริมผงสกัดหยาบเบต้าแคโรทีนจากเปลือกมะม่วงในอาหารร้อยละ 0.00 0.25 0.50 0.75 และ 1.00 ปัจจัยละ 4 ซ้ำ วิเคราะห์ความแปรปรวนของข้อมูลโดย analysis of variance (ANOVA) และเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยโดย The Duncan's new multiple range tests (Steel & Torrie, 1980) ด้วยโปรแกรมสำเร็จรูป SAS (1998)

สถานที่ทำการทดลอง

ฟาร์มทดลองสาขาวิชาสัตวศาสตร์ ภาควิชาวิทยาศาสตร์ประยุกต์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏเลย การศึกษาค้นคว้าอยู่ภายใต้การกำกับดูแลของคณะกรรมการใช้

สัตว์ทดลอง เพื่องานวิจัยทางวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏเลย
เลขที่ A 003/2566

ผลและวิจารณ์ผลการวิจัย

ผลการศึกษา พบว่าไก่เนื้อที่ได้รับอาหารที่เสริมผงสกัดหยาบเบต้าแคโรทีนจากเปลือกมะม่วง มีสมรรถนะการเจริญเติบโตใกล้เคียงกันทั้งในช่วงอายุ 1 ถึง 3 สัปดาห์ และ ช่วงอายุ 4 ถึง 6 สัปดาห์ ($p > 0.05$) โดยในช่วงอายุ 1 ถึง 6 สัปดาห์ ไก่เนื้อที่ได้รับอาหารที่เสริมผงสกัดหยาบเบต้าแคโรทีนจากเปลือกมะม่วง ในระดับร้อยละ 0.00 0.25 0.50 0.75 และ 1.00 มีอัตราการเลี้ยงรอดเป็นร้อยละ 95.00 95.00 97.50 97.50 และ 97.50 ตามลำดับ ($p > 0.05$) มีอัตราการเจริญเติบโต เป็น 60.39 62.40 62.72 63.17 และ 62.51 กรัมต่อตัวต่อวัน ตามลำดับ ปริมาณอาหารที่กิน มีค่าเป็น 133.59 134.25 135.84 136.73 และ 135.72 กรัมต่อตัวต่อวัน ตามลำดับ อัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นน้ำหนักตัว มีค่าเป็น 2.22 2.15 2.17 2.16 และ 2.18 ตามลำดับ ประสิทธิภาพการใช้โปรตีน มีค่าเป็น 2.19 2.25 2.23 2.24 และ 2.22 ตามลำดับ และค่าดัชนีการผลิต มีค่าเป็น 260.87 283.17 282.44 284.73 และ 281.79 ตามลำดับ ($p > 0.05$) ดังแสดงใน Table 3

จากผลการศึกษา พบว่าไก่เนื้อที่ได้รับอาหารเสริมผงสกัดหยาบเบต้าแคโรทีนจากเปลือกมะม่วง มีแนวโน้มทำให้อัตราการเลี้ยงรอดเพิ่มขึ้น สอดคล้องกับการศึกษาของ Emshaw et al. (2012) ที่รายงานว่าการเสริมเปลือกมะม่วงทำให้อัตราการตายของไก่เนื้อ (Cobb-500) ลดลง ($p < 0.01$) เนื่องจากเปลือกมะม่วงมีสารต้านอนุมูลอิสระสูง (polyphenols และ xanthone) ทำให้ลดการเกิดโรคในไก่เนื้อ และจากผลการศึกษา พบว่าไก่เนื้อที่ได้รับอาหารเสริมผงสกัดหยาบเบต้าแคโรทีนจากเปลือกมะม่วงมีแนวโน้มทำให้สมรรถนะการเจริญเติบโตดีขึ้น ซึ่งเป็นผลเนื่องมาจากเปลือกมะม่วงมีสารประกอบฟีนอลิกสูง (Arbos et al., 2013; Berardini et al., 2005) เป็นแหล่งที่ดีของสารต้านอนุมูลอิสระ (Ribeiro et al., 2007; Rodríguez et al., 2006) และมีสารยับยั้งเชื้อจุลินทรีย์ (Loypimai et al., 2011) ทำให้ลดการเกิดโรคต่าง ๆ ในไก่เนื้อ สอดคล้องกับการศึกษาของ Diarra et al. (2010) ที่รายงานว่าการเสริมเนื้อในเมล็ดมะม่วงในอาหารไก่เนื้อทำให้ปริมาณอาหารที่กินและอัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นน้ำหนัก

ตัวดีขึ้น แต่ไม่ส่งผลต่อน้ำหนักตัวที่เพิ่มขึ้นและน้ำหนักสุดท้ายของไก่เนื้อ ซึ่งสอดคล้องกับผลการศึกษาในครั้งนี้ที่พบว่าไก่เนื้อที่ได้รับ

อาหารเสริมผงสกัดหยาบเบต้าแคโรทีนจากเปลือกมะม่วง มีแนวโน้มทำให้ประสิทธิภาพการใช้โปรตีนและดัชนีการผลิตเพิ่มขึ้นเนื่องจากปริมาณโปรตีนในอาหารแต่ละสูตรเท่ากัน แต่เมื่อไก่เนื้อกินอาหารที่เสริมผงสกัดหยาบเบต้าแคโรทีนจากเปลือกมะม่วง มีอัตราการเจริญเติบโตและอัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นน้ำหนักตัวดีกว่าไก่เนื้อที่ได้รับอาหารไม่เสริมผงสกัดหยาบเบต้าแคโรทีนจากเปลือกมะม่วง จึงส่งผลทำให้ค่าประสิทธิภาพการใช้โปรตีนและดัชนีการผลิตของไก่เนื้อ ที่ได้รับอาหารเสริมผงสกัดหยาบเบต้าแคโรทีนจากเปลือกมะม่วงดีกว่าไก่ที่ได้รับอาหารไม่เสริมผงสกัดหยาบเบต้าแคโรทีนจากเปลือกมะม่วง และมีรายงานว่าสามารถใช้เนื้อในเมล็ดมะม่วงทดแทนข้าวโพดได้ถึงร้อยละ 75 (Diarra et al., 2011) และสามารถใช้สารสกัดจากเมล็ดมะม่วง 1000 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม (Farias et al., 2021) ในสูตรอาหารไก่เนื้อ โดยไม่ส่งผลกระทบต่อสมรรถนะการเจริญเติบโตของไก่เนื้อ เช่นเดียวกับผลการศึกษาที่รายงานว่าการใช้มะม่วงปนในปริมาณร้อยละ 10 (Orayaga et al., 2015) ถึงร้อยละ 20 (Orayaga et al., 2019) ในสูตรอาหารโดยไม่กระทบต่อสมรรถนะการเจริญเติบโตของไก่เนื้อ

สรุปผลการวิจัย

จากผลการศึกษา สรุปได้ว่าการเสริมผงสกัดหยาบเบต้าแคโรทีนจากเปลือกมะม่วงในอาหาร มีแนวโน้มทำให้สมรรถนะการเจริญเติบโตของไก่เนื้อดีขึ้น

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับทุนสนับสนุนจากสำนักงานคณะกรรมการส่งเสริมวิทยาศาสตร์ วิจัยและนวัตกรรม (สกสว.) ประเภท Fundamental Fund ประจำปีงบประมาณ พ.ศ. 2565 (รหัสข้อเสนอการวิจัย 65A152000005 รหัสโครงการ 172527) โดยสถาบันวิจัยและพัฒนา มหาวิทยาลัยราชภัฏเลย ผู้เขียนขอขอบคุณสาขาวิชาสัตวศาสตร์ ภาควิชาวิทยาศาสตร์ประยุกต์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏเลย สำหรับอุปกรณ์และสถานที่สำหรับใช้ในการทำงานวิจัยในครั้งนี้

Table 1 Experimental diets for chicken age of 1–3 weeks

Experimental diets	Crude beta-carotene extract from mango peel level (%)				
	0.00	0.25	0.50	0.75	1.00
Ingredients (%)					
Soybean meal	12.29	12.29	12.29	12.29	12.29
Full fat soybean	40.00	40.00	40.00	40.00	40.00
Broken rice	38.96	38.96	38.96	38.96	38.96
Rice hulls	1.00	0.75	0.50	0.25	0.00
Crude beta-carotene extract	0.00	0.25	0.50	0.75	1.00
Soybean oil	2.88	2.88	2.88	2.88	2.88
Dicalcium phosphate ¹	2.15	2.15	2.15	2.15	2.15
Calcium carbonate ²	1.45	1.45	1.45	1.45	1.45
Common salt	0.54	0.54	0.54	0.54	0.54
DL-Methionine	0.23	0.23	0.23	0.23	0.23

Table 1 Experimental diets for chicken age of 1–3 weeks (Cont.)

Experimental diets	Crude beta-carotene extract from mango peel level (%)				
	0.00	0.25	0.50	0.75	1.00
Premix ³	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50
Total	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00
Nutrients calculated (%)					
Dry matter	90.17	90.17	90.17	90.17	90.17
Crude protein (N x 6.25)	23.00	23.01	23.03	23.04	23.06
Calculated ME, kcal/kg	3,000	3,009	3,017	3,026	3,034
Ether extract	10.45	10.45	10.45	10.46	10.46
Crude fiber	7.28	7.21	7.13	7.06	6.99
Calcium	1.20	1.20	1.20	1.20	1.20
Available phosphorous	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50
Lysine	1.40	1.40	1.40	1.40	1.40
Methionine	0.60	0.60	0.60	0.60	0.60
Methionine + Cystine	0.97	0.97	0.97	0.97	0.97
Beta-carotene ⁴ , milligram	0.00	13.41	26.82	40.23	53.64

¹Contained 23.31 % calcium and 17.48 % phosphorous; ²Calcium content 38.00 %; ³Mineral and vitamins premix provided according to National Research Council (1994) ⁴Betacarotene from crude beta-carotene extract from mango peel

Table 2 Experimental diets for chicken age of 4–6 weeks

Experimental diets	Crude beta-carotene extract from mango peel level (%)				
	0.00	0.25	0.50	0.75	1.00
Ingredients (%)					
Soybean meal	10.80	10.80	10.80	10.80	10.80
Full fat soybean	30.50	30.50	30.50	30.50	30.50
Broken rice	50.79	50.79	50.79	50.79	50.79
Rice hulls	1.00	0.75	0.50	0.25	0.00
Crude beta-carotene extract	0.00	0.25	0.50	0.75	1.00
Soybean oil	2.80	2.80	2.80	2.80	2.80
Dicalcium phosphate ¹	1.94	1.94	1.94	1.94	1.94
Calcium carbonate ²	1.10	1.10	1.10	1.10	1.10
Common salt	0.40	0.40	0.40	0.40	0.40
L-Lysine	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06
DL-Methionine	0.11	0.11	0.11	0.11	0.11
Premix ³	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50
Total	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00
Nutrients calculated (%)					
Dry matter	90.00	89.99	89.99	89.99	89.99
Crude protein (N x 6.25)	20.00	20.01	20.03	20.05	20.06
Calculated ME, kcal/kg	3,000	3,009	3,017	3,026	3,034
Ether extract	8.73	8.73	8.74	8.74	8.74
Crude fiber	7.81	7.74	7.67	7.60	7.52
Calcium	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
Available phosphorous	0.45	0.45	0.45	0.45	0.45
Lysine	1.25	1.25	1.25	1.25	1.25
Methionine	0.45	0.45	0.45	0.45	0.45
Methionine + Cystine	0.79	0.79	0.79	0.79	0.79
Beta-carotene ⁴ , milligram	0.00	13.41	26.82	40.23	53.64

¹Contained 23.31 % calcium and 17.48 % phosphorous; ²Calcium content 38.00 %; ³Mineral and vitamins premix provided according to National Research Council (1994) ⁴Betacarotene from crude beta-carotene extract from mango peel.

Table 3 Effect of crude beta-carotene extract from mango peel supplementation

Items	Crude beta-carotene extract from mango peel level (%)					SEM	P-Value
	0.00	0.25	0.50	0.75	1.00		
Growth performance							
Initial weight (g/b)	45.25	45.00	44.75	45.25	45.75	0.79	0.921
Final weight (g/b)	2581.65	2665.68	2678.94	2698.53	2671.09	47.17	0.481
Body weight gain (g/b)	2536.40	2620.68	2634.19	2653.28	2625.34	47.39	0.485
Survival rate	95.00	95.00	97.50	97.50	97.50	2.66	0.896
Starter period (1-3 weeks)							
Average daily gain ¹	38.21	39.56	39.65	40.15	40.05	1.29	0.832

Table 3 Effect of crude beta-carotene extract from mango peel supplementation (Cont.)

Items	Crude beta-carotene extract from mango peel level (%)					SEM	P-Value
	0.00	0.25	0.50	0.75	1.00		
Average daily feed intake ¹	60.96	61.45	61.63	61.26	62.13	1.43	0.983
Feed conversion ratio	1.60	1.56	1.55	1.53	1.55	0.03	0.622
Protein efficiency ration	2.72	2.80	2.81	2.85	2.79	0.06	0.630
Grower period (4-6 weeks)							
Average daily gain ¹	82.57	85.23	85.79	86.19	84.97	1.52	0.508
Average daily feed intake ¹	206.21	207.05	210.05	212.19	209.31	4.56	0.889
Feed conversion ratio	2.50	2.43	2.45	2.46	2.47	0.07	0.952
Protein efficiency ration	2.00	2.06	2.04	2.03	2.02	0.05	0.961
Overall (1-6 weeks)							
Average daily gain ¹	60.39	62.40	62.72	63.17	62.51	1.13	0.485
Average daily feed intake ¹	133.59	134.25	135.84	136.73	135.72	2.18	0.845
Feed conversion ratio	2.22	2.15	2.17	2.16	2.18	0.05	0.918
Protein efficiency ration	2.19	2.25	2.23	2.24	2.22	0.05	0.925
Production index	260.87	283.17	282.44	284.73	281.79	14.07	0.735

¹ g/b/d.

References

- Ajila, C. M., Bhat, S. G., & Prasada Rao, U. J. S. (2007). Valuable components of raw and ripe peels from two Indian mango varieties. *Food Chemistry*, 102(4), 1006-1011. doi: 10.1016/j.foodchem.2006.06.036
- Arbos, K., Stevani, P. C., & de Fátima Castanha R. (2013). Antimicrobial and antioxidant activity and total phenolic content in mango peel and kernel. *Revista Ceres*, 60(2), 161-165. doi:10.1590/S0034-737X2013000200003
- Bhasharachary, K., Sankar Rao, D. S., Deosthale, Y. G., & Redely, V. (1995). Carotene content of some common and less familiar foods of plant origin. *Food Chemistry*, 54(2), 189-193. doi: 10.1016/0308-8146(95)00029-I
- Buanong, M., & Kanlayanarat, S. (2010). Role of methyl jasmonate on changes in carotenoid and beta-carotene contents of mango fruits (*Mangifera indica* Linn.) “Nam Dok Mai” after harvest. *Postharvest Technology Innovation Center*, 9(4), 1-3.
- Diarra, S. S., Usman, B. A., & Igwebulke, J. U. (2010). Replacement value of boiled mango kernel meal for maize in broiler finisher diets. *ARPN Journal of Agricultural and Biological Science*, 5(1), 47-52.
- Diarra, S. S., Saleh, B., Kwari, I. D., & Igwebuik, J. U. (2011). Evaluation of boiled mango kernel meal as energy source by broiler chickens in the semi-arid zone of Nigeria. *International Journal of Science and Nature*, 2(2), 270-274.
- Emshaw, Y., Melesse, A., & Assefa, G. (2012). The effect of dietary inclusion of mango fruit (*Mangifera indica* L.) waste on feed intake, growth and feed efficiency of Cobb-500 broiler chickens. *Ethiopian Journal of Agricultural Sciences*, 22(1), 73-83.
- Farias, N. N. P., Freitas, E. R., Nepomuceno, R. C., Gomes, H. M., Souza, D. H., de Oliveira Costa, M. K., da Costa, H. S., Fernandes, D. R., Araújo, L. R. S., do Nascimento, G. A. J., de Melo, M. C. A., & Watanabe, P. H. (2021). Ethanolic extract of mango seed in broiler feed: effect on productive performance, segments of the digestive tract and blood parameters. *Animal Feed Science and Technology*, 279, 114999. doi: 10.1016/j.anifeedsci.2021.114999
- Khamnoi, K. (2023). *Effects of dietary vitamin a and taurine supplementation on growth performances carcass characteristic and beef quality of brahman x charolais crossbred fattening cattle*. (Master's thesis). Chiang Mai. Maejo University.
- Kumar, C. C. S., Mythily, R., & Changraju, S. (2012). Utilization of mango peels (*Mangifera indica*) for the extraction of sugars. *Der Pharma Chemica*, 4(6), 2422-2426.
- Loei Provincial Agriculture and Cooperatives Office. (2019). *Agricultural information on mango products in Loei Province : 2019*. Loei: Loei Provincial Agriculture and Cooperatives Office. (in Thai)
- Loypimai, P., Pasakul, T., & Mongkolthai, R. (2011). Comparisons of antioxidant activities and total phenolic content of fruit peels. *The Agricultural Science Journal*, 42(Suppl. 2), 385-388.
- Magels, A. R., Holden, J. M., Beecher, G. R., Forman, M. R., & Lanza, E. (1993). Carotenoids content of fruits and vegetables: an evaluation of analytic data. *Journal of the American Dietetic Association*, 93(3), 284-296. doi: 10.1016/0002-8223(93)91553-3

- Ministry of Agriculture and Cooperatives. (2022). *Agricultural production information system Department of agricultural extension*. Accessed November 6, 2023. Retrieved from <https://production.doae.go.th/service/site/index>. (in Thai)
- National Research Council. (1994). *Nutrient requirements of Poultry* (9th ed.). Washington, D.C., United States: National Academy Press.
- Berardini, N., B., Knödler, M., Schieber, A., & Carle, R. (2005). Utilization of mango peels as a source of pectin and polyphenolics. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 6(4), 442-452. doi: 10.1016/j.ifset.2005.06.004
- Orayaga, K. T., Oluremi, O. A., Tuleun, C. D., & Carew, S. N. (2015). The feed value of composite mango (*Mangifera indica*) fruit reject meal in the finisher broiler chickens nutrition. *African Journal of Food Science and Technology*, 6(6), 177-184. doi: 10.14303/ajfst.2015.054
- Orayaga, K. T., & Sheidi, S. S. (2018). Laying performance and egg characteristics of Japanese quail (*Coturnix coturnix japonica*) fed diets containing mango fruit reject meal. *Asian Journal of Advances in Agricultural Research*, 7(1), 1-10. doi: 10.9734/AJAR/2018/41488
- Orayaga, K. T., Okolie, A. C., Asanka, N. B., & Idede, S. (2019). Performance of broiler chicken fed diets containing mango (*Mangifera indica*) fruit reject pulp mixed with maize offal. *Nigerian Journal of Animal Production*, 46(4), 89-100.
- Pakpot, W. (2019). *Chemical composition of mango “Nam Dok Mai No. 4” peels and brownie product development*. (Master’s thesis). Pathum Thani, Thailand: Faculty of Agricultural Technology, Rajamangala University of Technology. (in Thai)
- Ribeiro, S. M. R., Queiroz, J. H., de Queiroz, M. E. L. R., Campos, F. M., & Sant’ana, H. M. P. (2007). Antioxidant in mango (*Mangifera indica* L.) pulp. *Plant Foods for Human Nutrition*, 62(1), 13-17. doi: 10.1007/s11130-006-0035-3
- Rodríguez, J., Di Piero, D., Gioia, M., Monaco, S., Delgado, R., Coletta, M., & Marini, S. (2006). Effects of a natural extract from *Mangifera indica* L, and its active compound, mangiferin, on energy state and lipid peroxidation of red blood cells. *Biochimica et Biophysica Acta*, 1760(9), 1333-1342. doi: 10.1016/j.bbagen.2006.04.005
- SAS. (1998). *SAS/STAT user’ guide*. North Carolina, United States: SAS Institute Inc.
- Steel, J. C., & Torrie, J. H. (1980). *Principles and procedures of statistics: A biometrical approach* (2nd ed.). New York, United States: Mc Graw-Hill Book Co.
- Suttajit, M., Banjerdpongchai, R., Kukongviriyapan, V., Siriamompun, S., Chaiyasut, C., Porasuphatana, S., & Engwanich, W. (2012). *Free radicals and antioxidants*. Chiang Mai, Thailand: Health Innovation Publishing. (in Thai)
- Suwanaruang, T. (2017). Total carotenoid content in fresh vegetables. *Rajabhat Agriculture Journal*, 16(2), 40-45. (in Thai)

Research article

Effect of crude beta-carotene extract from mango peel supplementation on growth performance of broiler chickens

Chaiyapruerk Hongladdaporn^{1*} Chomphunat Chomphuphan² and Panruethai Putthongsri³

¹Animal Science Program, Faculty of Science and Technology, Loei Rajabhat University, Mueang district, Loei Province, 42000

²Educational technology and innovation Division, Faculty of Education, Loei Rajabhat University, Mueang district, Loei Province, 42000

³Chemical Program, Faculty of Science and Technology, Loei Rajabhat University, Mueang district, Loei Province, 42000

ARTICLE INFO**Article history**

Received: 2 December 2023

Revised: 28 February 2024

Accepted: 18 March 2024

Online published: 10 April 2024

Keyword

Broiler chickens

Crude extract

Beta-carotene

Mango peel

Growth performance

ABSTRACT

The objective of this study was to determine the effect of crude beta-carotene extract from mango peel supplementation on the growth performance of broiler chickens. A total 200 of 1-day-old Arbor Acres broiler chickens were used as the experimental animals. A completely randomized design was used in this study. The chickens were randomly allocated to 5 groups (levels of crude beta-carotene extract from mango peel in diets: 0.00, 0.25, 0.50, 0.75, and 1.00 %) with 4 replicates of 10 chicks each. Chickens received feed and water freely available at all times (ad libitum) until 42 days of experimental periods. The results showed that broilers fed the diet with supplemented crude beta-carotene extract from mango peel 0.25, 0.50, 0.75 and 1.00 % showed higher average daily gain than broilers fed the diet without crude beta-carotene extract from mango peel were 62.40, 62.72, 63.17, 62.51 and 60.39 g/b/d, respectively. Similarly, feed conversion ratio (2.15, 2.17, 2.16, 2.18, and 2.22, respectively) protein efficiency ratio (2.25, 2.23, 2.24, 2.22, and 2.19, respectively), and productive index (283.17, 282.44, 284.73, 281.79 and 260.87, respectively) but not showed significantly differences ($p > 0.05$). In conclusion, this study indicated that supplemented crude beta-carotene extract from mango peel in broiler diet showed growth performance improvement in broiler chickens.

*Corresponding author

E-mail address: chaiyapruerk.hon@lru.ac.th (C. Hongladdaporn)

Online print: 10 April 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.2024.10>



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

บทความวิจัย

การพัฒนาผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวชนิดแท่งเสริมปลาชีวแก๊วตากแห้ง

จักรินทร์ ตรีอินทอง^{1*} อ้อยทิพย์ สมานรส² และ ปิยะฉัตร วิริยะอำไพวงศ์³

¹สาขาวิชาเทคโนโลยีการประมง คณะเทคโนโลยีการเกษตร มหาวิทยาลัยกาฬสินธุ์ อำเภอมือเมือง 46000

²สำนักวิชาสาธารณสุขศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี อำเภอมือเมือง จังหวัดนครราชสีมา 30000

³สาขาวิชาเทคโนโลยีชีวภาพ คณะเทคโนโลยีการเกษตร มหาวิทยาลัยกาฬสินธุ์ อำเภอมือเมือง จังหวัดกาฬสินธุ์ 46000

ข้อมูลบทความ

Article history

รับ: 10 เมษายน 2567

แก้ไข: 24 เมษายน 2567

ตอบรับการตีพิมพ์: 2 พฤษภาคม 2567

ตีพิมพ์ออนไลน์: 15 พฤษภาคม 2567

คำสำคัญ

ปลาชีวแก๊วตากแห้ง

ขนมขบเคี้ยวชนิดแท่ง

การพัฒนาผลิตภัณฑ์

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวชนิดแท่งเสริมปลาชีวแก๊วตากแห้ง (snack bar enriched with dried Thai river sprat, SB-TRS) โดยการสำรวจทัศนคติของผู้บริโภคต่อผลิตภัณฑ์เพื่อพัฒนาผลิตภัณฑ์ SB-TRS ซึ่งใช้ต้นแบบจากธัญพืชแห้งที่จำหน่ายทางการค้า จากนั้นศึกษาสูตรต้นแบบ การพัฒนาสูตร การทดสอบการยอมรับของผู้บริโภค และการวิเคราะห์คุณภาพของผลิตภัณฑ์ ผลการสำรวจทัศนคติพบว่า ผู้บริโภคร้อยละ 90 สนใจผลิตภัณฑ์ SB-TRS และร้อยละ 51 ต้องการให้เสริมปลาชีวแก๊วตากแห้งแบบตัว สำหรับสูตร SB-TRS ที่พัฒนาได้ประกอบด้วย ปลาชีวแก๊วตากแห้งทอด ข้าวพอง น้ำผึ้ง กลูโคสไซรัป เมล็ดฟักทอง งาขาว และงาดำร้อยละ 20 16 19 10 13 13 และ 9 ตามลำดับ มีคะแนนความชอบโดยรวมอยู่ที่ระดับชอบปานกลาง (7.57 คะแนน) การตัดสินใจซื้อและการยอมรับคิดเป็นร้อยละ 93 และ 94 ตามลำดับ ผลิตภัณฑ์ SB-TRS มีความชื้น โปรตีน ไขมัน เกลือ และคาร์โบไฮเดรตร้อยละ 1.20 21.61 30.49 2.92 และ 41.75 ตามลำดับ มีความแข็ง (hardness) ค่าความสว่าง (L*) ค่าสีแดง (a*) ค่าสีเหลือง (b*) และ water activity เท่ากับ 41.02 นิวตัน 58.38 0.71 13.63 และ 0.39 ตามลำดับ ผลิตภัณฑ์มีปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมดน้อยกว่า 25 CFU/g และไม่พบยีสต์และราในผลิตภัณฑ์ คุณค่าทางโภชนาการต่อหนึ่งหน่วยบริโภค (23 กรัม) พบว่า ให้พลังงาน 110 กิโลแคลอรี ไขมัน 5 กรัม โคเลสเตอรอล 20 มิลลิกรัม โปรตีน 5 กรัม คาร์โบไฮเดรต 11 กรัม โซเดียม 20 มิลลิกรัม วิตามินบี 1 0.04 มิลลิกรัม เหล็ก 0.77 มิลลิกรัม และแคลเซียม 105.91 มิลลิกรัม ดังนั้นผลิตภัณฑ์ SB-TRS จึงเป็นผลิตภัณฑ์ที่เหมาะสมสำหรับกลุ่มคนที่ต้องการความสะดวกในการบริโภคและช่วยเสริมแคลเซียมให้กับร่างกาย

บทนำ

ปัจจุบันการสร้างสรรค์ผลิตภัณฑ์อาหารมีความหลากหลายมากขึ้นเพื่อตอบสนองพฤติกรรมผู้บริโภคและรูปแบบการดำเนินชีวิตไม่ว่าเป็นอาหารพร้อมปรุง อาหารพร้อมทาน อาหารเสริมสุขภาพ หรือแม้แต่อาหารสำหรับผู้แพ้อาหาร สำหรับอาหารเสริมสุขภาพประเภทขนมขบเคี้ยวนี้ในปัจจุบันมีการพัฒนาและสร้างสรรค์ในหลากหลายรูปแบบโดยการเพิ่มสารอาหารที่มีประโยชน์และลดปริมาณของสารที่ไม่มีประโยชน์ต่อร่างกายให้น้อยลงรวมถึงการเลือกใช้วัตถุดิบที่มาจากธรรมชาติและมีผลดีต่อสุขภาพร่างกายมากขึ้น ขนมขบเคี้ยวชนิดแท่ง (snack bar) เป็นผลิตภัณฑ์ประเภทหนึ่งที่มีความนิยมอย่างกว้างขวางเนื่องจากมีความสะดวกในการบริโภคและพกพา ให้พลังงานและคุณค่าทางโภชนาการที่เพียงพอ ปัจจุบันมีการพัฒนาขนมขบเคี้ยวชนิดแท่งโดยการเสริมวัตถุดิบที่มีประโยชน์ต่อสุขภาพลงไป เช่น โยเกิร์ต โปรตีน แร่ธาตุ และวิตามิน เป็นต้น (Zulaikha et al., 2021) งานวิจัยก่อนหน้านี้มีการรายงานการพัฒนาผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวชนิดแท่งในหลากหลายรูปแบบ เช่น ขนมขบ

เคี้ยวชนิดแท่งเสริมผงปลานิลที่เตรียมได้จากเศษเหลือจากการแปรรูป (by product) เพื่อเพิ่มคุณค่าเชิงหน้าที่ (functional value) ให้กับอาหาร (Zulaikha et al., 2021) การพัฒนาผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวชนิดแท่งจากผงปลาช่อนเพื่อเป็นแหล่งของแร่ธาตุสังกะสีและแคลเซียม (Elnovriz et al., 2019) การพัฒนาผลิตภัณฑ์ผัดไทยแท่งที่สามารถรับประทานทดแทนมื้ออาหารหลัก (Chueanopparat et al., 2021) และการพัฒนาผลิตภัณฑ์ธัญพืชแห้งจากข้าวกล้องอินทรีย์หักเพื่อเพิ่มมูลค่า (Chittapalo et al., 2017) เป็นต้น

ปลาชีวแก๊ว เป็นปลาน้ำจืดขนาดเล็กที่อุดมด้วยแคลเซียมสูงและคุณค่าทางโภชนาการ โดยปลาชีวแก๊วอบแห้ง 100 กรัมให้พลังงานทั้งหมด 432.22 กิโลแคลอรี ไขมัน 22.38 กรัม โคเลสเตอรอล 548.29 มิลลิกรัม โปรตีน 57.40 กรัม คาร์โบไฮเดรตทั้งหมด 0.30 กรัม เหล็ก 1.883 มิลลิกรัม โยเกิร์ต 0.21 กรัม เกล็ด 11.69 กรัม โซเดียม 252.139 มิลลิกรัม และแคลเซียม 1,941.17 มิลลิกรัม โดยปริมาณแคลเซียมของปลาชีวแก๊วอบแห้งคิดเป็นร้อยละ 60 ของ Thai RDI ต่ออาหาร 100 กรัม ซึ่งจัดว่ามีปริมาณแคลเซียมสูง

*Corresponding author

E-mail address: jukkarin.tr@ksu.ac.th (J. Treeinthong)

Online print: 15 May 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.2024.11>

(Auyyuenyong et al., 2023) เนื่องจากตามประกาศกระทรวงสาธารณสุข (ฉบับที่ 182) พ.ศ. 2541 เรื่องฉลากโภชนาการ ระบุว่าผลิตภัณฑ์ที่มีปริมาณแคลเซียมไม่น้อยกว่าร้อยละ 30 ของ Thai RDI ต่ออาหาร 100 กรัม สามารถกล่าวอ้างได้ว่าเป็นผลิตภัณฑ์ที่มีปริมาณแคลเซียมสูง (Food Division, Ministry of Public Health, 2023) ปลาชิวแก้วสามารถรับประทานได้ทั้งตัว มีรูปร่างเพรียวยาว ตัวใสเกล็ดบางและหลุดได้ง่าย พบมากในแม่น้ำโขงและลำน้ำสาขานอกจากนี้ยังพบมากที่อ่างเก็บน้ำเขื่อนอุบลรัตน์ เขื่อนลำปาว เขื่อนสิริกิติ์ และเขื่อนสิรินธร (Jutagate et al., 2001) ปลาชิวแก้วเป็นปลาที่จับได้มากเป็นอันดับต้น ๆ จากอ่างเก็บน้ำเขื่อนลำปาว จังหวัดกาฬสินธุ์ โดยชาวประมงพื้นบ้านจะจำหน่ายในรูปแบบปลาสดหรือแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์ปลาแห้ง โดยจำหน่ายอยู่ที่ราคา 250 - 300 บาทต่อกิโลกรัม ซึ่งมีกำไรต่อหน่วยค่อนข้างต่ำ อย่างไรก็ตามปัจจุบันกระแสความสนใจในเรื่องสุขภาพของผู้บริโภคที่มากขึ้นผนวกกับความต้องการบริโภคอาหารที่มีประโยชน์และปลอดภัย ปลาชิวแก้วซึ่งเป็นปลาที่จับได้จากธรรมชาติ เป็นแหล่งโปรตีนและอุดมด้วยแคลเซียม ถูกนำมาต่อยอดสร้างผลิตภัณฑ์มูลค่าเพิ่มในรูปแบบต่าง ๆ เพื่อตอบสนองความต้องการของผู้บริโภคและสร้างโอกาสในการแข่งขันทางการตลาดให้กับกลุ่มผู้ประกอบการ เช่น การพัฒนาผลิตภัณฑ์ปลาชิวแก้วแผ่นอบกรอบ (Auyyuenyong & Kingwatee, 2023) การพัฒนาผลิตภัณฑ์แคลเซียมสแน็กบอลเสริมปลาชิวแก้วผงเพื่อใช้เป็นอาหารว่าง (Mungmai & Wanna, 2019) เป็นต้น อย่างไรก็ตามการพัฒนาผลิตภัณฑ์จากปลาชิวแก้วตากแห้งยังมีค่อนข้างน้อยโดยเฉพาะในกลุ่มขนมขบเคี้ยวชนิดแท่ง ทั้งนี้เนื่องจากข้อจำกัดเรื่องกลิ่นของปลาชิวแก้วตากแห้งซึ่งมีลักษณะเฉพาะตัว แต่ด้วยคุณค่าทางโภชนาการและปริมาณแคลเซียมที่สูง ผู้วิจัยจึงมีความสนใจในการพัฒนาผลิตภัณฑ์จากปลาชิวแก้วตากแห้งให้เป็นผลิตภัณฑ์ที่มีประโยชน์ต่อสุขภาพมีมูลค่าเพิ่ม และเป็นผลิตภัณฑ์ที่สอดคล้องกับพฤติกรรมผู้บริโภคในปัจจุบัน ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์ในการพัฒนาผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวชนิดแท่งเสริมปลาชิวแก้วตากแห้ง (SB-TRS) เพื่อเพิ่มคุณค่าทางโภชนาการและเสริมแคลเซียมให้กับผลิตภัณฑ์ เกิดเป็นผลิตภัณฑ์ที่มีประโยชน์ต่อสุขภาพตอบสนองความต้องการของผู้บริโภคในยุคปัจจุบันที่ต้องการความสะดวกในการบริโภคและพกพา อีกทั้งเป็นการสร้างมูลค่าเพิ่มให้กับวัตถุดิบในท้องถิ่นซึ่งข้อมูลที่ได้จากการศึกษาจะเป็นประโยชน์ในการผลิตเชิงพาณิชย์ต่อไป

อุปกรณ์และวิธีการวิจัย

การสำรวจทัศนคติของผู้บริโภคต่อผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวชนิดแท่งเสริมปลาชิวแก้วตากแห้ง

สำรวจทัศนคติของผู้บริโภคทั่วไปจำนวน 100 คน (แบบไม่เจาะจง) โดยการใช้แบบสอบถามเพื่อหาแนวคิดผลิตภัณฑ์ (product idea) โดยสอบถามถึงข้อมูลทั่วไปของผู้บริโภค ข้อมูลเกี่ยวกับพฤติกรรมและทัศนคติของผู้บริโภคต่อขนมขบเคี้ยวชนิดแท่ง และข้อมูลเกี่ยวกับ SB-TRS ที่ผู้บริโภคต้องการร่วมกับการทดสอบทางประสาทสัมผัสด้วยวิธีทดสอบความชอบ (9-point hedonic scale) และการทดสอบความพอใจด้วยวิธี just about right โดยการใช้ฉันทิพแท่งที่กำหนดสำหรับการค้าซึ่งมีลักษณะคล้ายกับผลิตภัณฑ์ที่ต้องการพัฒนาเป็นตัวอย่างในการทดสอบ นำข้อมูลมาวิเคราะห์ความถี่และค่า

ร้อยละ สำหรับข้อมูลการทดสอบทางประสาทสัมผัสด้วยวิธีทดสอบความชอบนำมาหาค่าเฉลี่ยและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน ส่วนผลการทดสอบความพอใจคำนวณเป็นค่าร้อยละ นำข้อมูลที่ได้มากำหนดแนวทางการวิจัยในข้อต่อไป

วัตถุดิบและการเตรียมวัตถุดิบ

1) ปลาชิวแก้วตากแห้งทอด

ซื้อปลาชิวแก้วตากแห้งจากผู้ขายบ้านท่าเรือภูสิงห์ ตำบลภูสิงห์ อำเภอสหัสขันธ์ จังหวัดกาฬสินธุ์ ขนส่งมายังห้องปฏิบัติการแปรรูปสัตว์น้ำ สาขาวิชาเทคโนโลยีการประมง คณะเทคโนโลยีการเกษตร มหาวิทยาลัยกาฬสินธุ์ นำมาทอดด้วยอุณหภูมิ 170 องศาเซลเซียส นาน 1 นาที ซับน้ำมันและพักให้เย็น จากนั้นนำไปผัดคลุกเคล้ากับเนยจืดเพื่อลดกลิ่นปลา พักไว้ให้เย็นแล้วนำไปใช้ในการศึกษาต่อไป

2) ข้าวพองทอด

นำข้าวเหนียวมาแช่น้ำเป็นระยะเวลา 1 คืน จากนั้นนำข้าวเหนียวหนึ่งถ้วยน้ำเดือดจนสุก พักให้เย็น นำไปล้างน้ำเพื่อขจัดยางข้าวเหนียว ทั้งให้สะเด็ดน้ำ เทใส่ถาด แล้วนำไปตากแดดจนแห้ง นำข้าวเหนียวแห้งมาทอดให้พองด้วยน้ำมันปาล์มที่อุณหภูมิ 170 องศาเซลเซียส นาน 1 นาที ซับน้ำมันและพักให้เย็น แล้วนำไปใช้ในการศึกษาต่อไป

ศึกษาการพัฒนาผลิตภัณฑ์ต้นแบบขนมขบเคี้ยวชนิดแท่งเสริมปลาชิวแก้วตากแห้ง (Prototype)

สร้างผลิตภัณฑ์ SB-TRS ต้นแบบโดยการดัดแปลงสูตรจากฉันทิพแท่งที่กำหนดสำหรับการค้าแสดงดัง Table 1 นำน้ำผึ้งและกลูโคส ไซรัปใส่ในกระทะ เคี่ยวด้วยไฟอ่อนจนมีฟองเดือด จากนั้นเติมส่วนผสมตาม Table 1 ลงไป คลุกเคล้าให้เข้ากัน ตักใส่ถุงพอลิเอทิลีนจำนวน 1,000 กรัม แล้วนำไปอัดให้เป็นแผ่นในถาดขนาด 30x30x3.5 เซนติเมตร³ นำไปอบที่อุณหภูมิ 150 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 10 นาที ทั้งให้เย็น แล้วตัดเป็นแท่งขนาด 3x8x1 เซนติเมตร³ บรรจุใส่ซองพลาสติกพอลิเอทิลีน นำไปประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสด้วยวิธีทดสอบความชอบ (9-point hedonic scale) ในคุณลักษณะด้านลักษณะปรากฏ สี เนื้อสัมผัส กลิ่น รสชาติ และความชอบโดยรวม โดยคะแนน 9 คือชอบมากที่สุด และคะแนน 1 คือไม่ชอบมากที่สุด และการทดสอบความพอใจของคุณลักษณะด้านสี เนื้อสัมผัส กลิ่นปลารสหวาน รสชาติโดยรวม ปริมาณปลาชิวแก้วตากแห้ง และการยึดเกาะของชิ้นขนมด้วยวิธี just about right เพื่อให้ผู้ทดสอบชิมระบุแนวโน้มที่ต้องการให้ปรับปรุงหรือพัฒนาผลิตภัณฑ์ แบ่งออกเป็น 5 ระดับ ได้แก่ ลดลงมาก ลดลงเล็กน้อย พอดี เพิ่มขึ้นเล็กน้อย และเพิ่มขึ้นมาก (Lawless & Heymann, 1998) ใช้ผู้ทดสอบทั่วไปจำนวน 30 คน ผลการทดสอบความชอบนำไปหาค่าเฉลี่ยและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน ส่วนผลการทดสอบความพอใจคำนวณเป็นค่าร้อยละของพอดิ และค่า net effect โดยกำหนดเกณฑ์ความพอใจอยู่ที่ร้อยละ 70 แสดงว่า ไม่ต้องปรับปรุงคุณลักษณะดังกล่าว แต่หากมีค่าร้อยละที่ระดับพอดิน้อยกว่าร้อยละ 70 ให้พิจารณาค่า net effect ร่วมด้วย โดยค่า net effect คำนวณได้จากการนำค่าผลรวมของค่าร้อยละความต้องการปรับปรุงคุณลักษณะให้เพิ่มขึ้นลบด้วยค่าผลรวมของค่าร้อยละความต้องการปรับปรุงคุณลักษณะให้ลดลง หากมีค่าน้อยกว่าร้อยละ 20 แสดงว่าอาจยังไม่ต้องปรับปรุงในคุณลักษณะนั้น ๆ แต่หากมีค่ามากกว่าร้อยละ 20 ให้พิจารณาปรับปรุงคุณลักษณะดังกล่าวตาม

ทิศทางที่มีค่ามากกว่า (Chittapalo et al., 2017; Lawless & Heymann, 1998; Somthawil & Sriwatta, 2012) คะแนนที่ใช้เป็นเกณฑ์ในการยุติการพัฒนาผลิตภัณฑ์คือ คะแนนความชอบเฉลี่ยอย่างน้อย 6 คะแนนจาก 9 คะแนน และมีความพอดีของคุณลักษณะตั้งแต่ร้อยละ 70 ขึ้นไป หรือมีค่า net effect น้อยกว่าร้อยละ 20 (กรณีที่ค่าร้อยละที่ระดับพอดีน้อยกว่าร้อยละ 70) ข้อมูลที่ได้จากการทดลองนำไปใช้ในการศึกษาต่อไป

การศึกษาสัดส่วนปริมาณของปลาชิวแก้วตากแห้งและปริมาณข้าวพองที่เหมาะสมในการผลิต

จากผลการทดลองการพัฒนาสูตรต้นแบบ SB-TRS นำมา

พัฒนาสูตรต้นแบบโดยแปรปริมาณสัดส่วน (ร้อยละ) ของปลาชิวแก้วตากแห้งทอดต่อข้าวพองออกเป็น 4 สูตร ได้แก่ 25:11, 23:13, 20:16 และ 18:18 ตามลำดับ ขณะปริมาณของส่วนผสมอื่น ๆ ใช้ปริมาณเท่าเดิมตาม Table 1 ผลิต SB-TRS ตามวิธีการเช่นเดียวกับสูตรต้นแบบนำไปทดสอบความชอบและทดสอบความพอดี ใช้ผู้ทดสอบทั่วไป 30 คน วางแผนการทดลองแบบสุ่มในบล็อก (Randomized Complete Block Design, RCBD) วิเคราะห์ความแปรปรวนและเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยโดยวิธี Duncan's Multiple Range Test (DMRT) ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 คัดเลือกสูตรที่เหมาะสมเพื่อใช้ในการทดลองต่อไป

Table 1 Ingredients of commercial snack bar (prototype recipe) and snack bar enriched with dried Thai river sprat (modified recipe)

Commercial snack bar (prototype recipe)		Snack bar enriched with dried Thai river sprat (modified recipe)	
Ingredients	Amount (%)	Ingredients	Amount (%)
Peeled pumpkin seeds	45	Fried dried Thai river sprat	27
Honey	15	Peeled pumpkin seeds	13
Roasted white sesame	15	Honey	19
Roasted black sesame	10	Roasted white sesame	13
Crispy rice	10	Roasted black sesame	9
Sugar	5	Puffed sticky rice	9
		Glucose syrup	10

ศึกษาการยอมรับของผู้บริโภคต่อขนมขบเคี้ยวชนิดแท่งเสริมปลาชิวแก้วตากแห้งที่พัฒนาได้

ศึกษาการยอมรับผลิตภัณฑ์ SB-TRS ของผู้บริโภคทั่วไปจำนวน 200 คน (แบบไม่เจาะจง) โดยการใช้แบบสอบถามซึ่งสอบถามเกี่ยวกับข้อมูลทั่วไป ระดับความชอบที่มีต่อผลิตภัณฑ์ซึ่งใช้ระดับ 1-9 คะแนน การยอมรับผลิตภัณฑ์ และการตัดสินใจซื้อพร้อมเหตุผล ศึกษาคุณภาพและคุณค่าทางโภชนาการของผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวชนิดแท่งเสริมปลาชิวแก้วตากแห้งที่พัฒนาได้

1) วัดค่าสีในระบบ $L^* a^* b^*$ เมื่อ L^* คือค่าความสว่าง a^* (+) คือ ค่าสีแดง a^* (-) คือ ค่าสีเขียว b^* (+) คือ ค่าสีเหลือง และ b^* (-) คือ ค่าสีน้ำเงิน ด้วยเครื่องวัดสี Hunter Lab รุ่น Ultra Scan PRO ทำการทดลอง 6 ซ้ำ

2) วิเคราะห์ลักษณะเนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์ด้วยเครื่อง Texture Analyzer รุ่น TA.XT. plus โดยใช้ตัวอย่างขนมขบเคี้ยวชนิดแท่งขนาด $3 \times 8 \times 1$ เซนติเมตร³ ใช้หัววัดแบบ 6 mm Cylinder Probe (P6) กดลงไปในตัวอย่างเป็นระยะทาง 6 มิลลิเมตร ในรูปแบบการกดแบบ Return to start ใช้ pre-test speed 2.0 mm/s, test speed 1.0 mm/s และ post-test speed 10.0 mm/s วัดค่าความแข็ง (hardness) (g force) ทำการทดลอง 6 ซ้ำ

3) วัดค่าปริมาณน้ำอิสระในผลิตภัณฑ์ (water activity, a_w) โดยนำขนมขบเคี้ยวชนิดแท่งที่ผ่านการบดให้ละเอียดจำนวน 2 กรัม วัดค่า a_w ด้วยเครื่องวัดค่า a_w รุ่น Aqua Lab ทำการทดลองจำนวน 3 ซ้ำ

4) วิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมี ได้แก่ ปริมาณความชื้นตามวิธี AOAC (2012) ปริมาณโปรตีนและไขมันตามวิธี AOAC (2019) ปริมาณเถ้าตามวิธี In-house method TE-CH-026 based on AOAC (2012), 920.100 (A) และปริมาณคาร์โบไฮเดรตตามวิธี

Department of Medical Sciences and National Bureau of Agriculture Commodity and Food Standards (2003)

5) วิเคราะห์คุณค่าทางโภชนาการต่อหนึ่งหน่วยบริโภค ได้แก่ พลังงานทั้งหมด พลังงานจากไขมัน และคาร์โบไฮเดรตตามวิธี Method of Analysis for Nutrition Labeling AOAC International (Sullivan & Carpenter, 1993) ไขมันทั้งหมดตามวิธี In-house method TE-CH-014 based on AOAC (2019) 948.15 ไขมันอิ่มตัวตามวิธี In-house method TE-CH-177 based on AOAC (2007) Celb-89 โคเลสเตอรอลตามวิธี In-house method TE-CH-143 based on AOAC (2019) 994.10 โปรตีนตามวิธี In-house method TE-CH-179 based on AOAC (2019) 981.10 โยอาอาหารตามวิธี In-house method TE-CH-076 based on AOAC (2019) 985.29 น้ำตาลตามวิธี In-house method TE-CH-164 based on AOAC (2019) 925.35(B) โซเดียมและแคลเซียมตามวิธี In-house method TE-CH-170 based on AOAC (2019) 984.27 วิตามินเอ ตามวิธี In-house method TE-CH-024 based on AOAC (2019) 992.06 วิตามินบี 1 ตามวิธี In-house method TE-CH-057 based on AOAC (2019) 942.23 วิตามินบี 2 ตามวิธีของ Journal Agriculture Food Chemistry (Simwemba et al., 1984) เหล็กตามวิธี In-house method TE-CH-170 based on AOAC (2016) 999.10

6) วิเคราะห์คุณภาพทางจุลชีววิทยา ได้แก่ ปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมด (Andrew, 1992) และปริมาณยีสต์และรา (BAM, 2001)

ผลและวิจารณ์ผลการวิจัย

ผลการสำรวจทัศนคติของผู้บริโภคในการบริโภคขนมขบเคี้ยวชนิดแท่งจากปลาชิวแก้วตากแห้ง

ผลการสำรวจทัศนคติเพื่อหาแนวคิดในการพัฒนาผลิตภัณฑ์

SB-TRS พบว่า ส่วนใหญ่เคยรับประทานปลาชีวแก้วนากแห้งร้อยละ 60 โดยร้อยละ 66 เคยรับประทานปลาชีวแก้วนากกรอบ รองลงมาคือ ปลาชีวแก้วนากปรุงรส (ร้อยละ 25) สำหรับความสนใจต่อแนวคิดการพัฒนาผลิตภัณฑ์ SB-TRS พบว่า ส่วนใหญ่มีความสนใจ (ร้อยละ 90) ซึ่งต้องการให้ใช้ปลาชีวแก้วนากแห้งในรูปแบบตัวผสมในขนมขบเคี้ยวชนิดแท่ง (ร้อยละ 51) ขณะที่ส่วนผสมอื่น ๆ ที่ต้องการผสมลงไปเรียงลำดับจากมากไปน้อย ได้แก่ ข้าวพอง น้ำผึ้ง งาขาว งาดำ เมล็ดฟักทอง เมล็ดทานตะวัน และกลูโคสไซรัป ทั้งนี้ผู้ทดสอบร้อยละ 98 ต้องการซื้อผลิตภัณฑ์หากจะมีการพัฒนาขึ้น โดยเหตุผลที่ต้องการซื้อเรียงลำดับจากมากไปหาน้อยคือ อร่อย ทอดลอง มีความแปลกใหม่ มีคุณค่าทางโภชนาการ และรสชาติอร่อย ตามลำดับ สำหรับผลการสำรวจความต้องการของผู้บริโภคเกี่ยวกับลักษณะผลิตภัณฑ์โดยการใช้ ธีญพิชแห่งทางการค้าเป็นต้นแบบในการทดสอบ (Table 2) พบว่าคะแนนความชอบทุกคุณลักษณะของธีญพิชแห่งต้นแบบมีคะแนนอยู่ในช่วงชอบเล็กน้อยถึงชอบปานกลาง (6.52 – 7.18 คะแนน) ขณะที่ผลการทดสอบความพอใจ (Table 2) ซึ่งพิจารณาจากค่าร้อยละของความพอใจและค่า net effect โดยกำหนดเกณฑ์ความพอใจอยู่ที่ร้อยละ 70 แสดงว่าไม่ต้องปรับปรุงคุณลักษณะดังกล่าว แต่หากมีค่าร้อยละที่ระดับพอใจไม่ถึงให้พิจารณาค่า net effect พบว่า ธีญพิชแห่งต้นแบบมีค่าร้อยละของทุกคุณลักษณะที่ระดับพอใจน้อยกว่าร้อยละ 70 จึงต้องพิจารณาค่า net effect ประกอบผล โดยผลการพิจารณาพบว่า ค่า net effect ของทุกคุณลักษณะมีค่าน้อยกว่าร้อยละ 20 ซึ่งแสดงว่าผู้ทดสอบรู้สึกว่ามีค่าพอใจแล้ว (Lawless & Heymann, 1998; Somthawil & Sriwatta, 2012) ดังนั้นปริมาณของส่วนผสมต่าง ๆ ที่เติมลงในธีญพิชแห่งทางการค้าต้นแบบมีความเหมาะสมแล้วจึงไม่ต้องพัฒนาโดยการปรับสัดส่วนใด ๆ อย่างไรก็ตามเนื่องจากการศึกษานี้ต้องการเพิ่มคุณค่าทางโภชนาการและมูลค่าของปลาชีวแก้วนากแห้งโดยการพิจารณาจากผลการสำรวจทัศนคติและจากผลการทดลองเบื้องต้น (preliminary method) ตามสูตรของต้นแบบทางการค้าเพื่อ

ดูความเป็นไปได้ จึงได้ทำการดัดแปลงสูตรโดยการใช้ปลาชีวแก้วนากแห้งทอดร้อยละ 27 ทดแทนในส่วนผสมหลักเดิมที่มีปริมาณมากที่สุดได้แก่ เมล็ดฟักทอง (ร้อยละ 45) ทั้งนี้เนื่องจากปลาชีวแก้วนากแห้งมีน้ำหนักเบาเมื่อเทียบกับปริมาตร และมีกลิ่นเฉพาะของปลาดังนั้นจึงใช้ในปริมาณที่น้อยกว่า ส่วนเมล็ดฟักทองปรับลดลงเหลือร้อยละ 13 ซึ่งเป็นส่วนผสมที่ช่วยเพิ่มสีส้มของผลิตภัณฑ์ให้น่ารับประทาน มีคุณค่าทางโภชนาการ และสอดคล้องกับความต้องการของผู้บริโภคที่ต้องการให้เติมลงในผลิตภัณฑ์ ในส่วนของข้าวอบกรอบผู้วิจัยเลือกใช้ข้าวพองจากข้าวเหนียวตากแห้ง (ร้อยละ 9) ทดแทนเนื่องจากจัดเตรียมได้ง่ายและข้าวเหนียวเป็นอาหารหลักของคนส่วนใหญ่ในพื้นที่ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ สำหรับสารให้ความหวานในสูตรต้นแบบทางการค้าได้แก่ น้ำผึ้งและน้ำตาล ผู้วิจัยได้ปรับสูตรโดยการใช้กลูโคสไซรัปหรือแอสแซ (ร้อยละ 10) ทดแทนน้ำตาลเพื่อให้ความหนืดกับผลิตภัณฑ์และช่วยทำให้ค่า a_w ของผลิตภัณฑ์ลดลงซึ่งส่งผลต่อความปลอดภัยของอาหารจากจุลินทรีย์และสามารถเก็บรักษาได้นานขึ้น ทั้งนี้เนื่องจากกลูโคสไซรัปที่ผลิตจากแป้งมันสำปะหลังเป็นน้ำเชื่อมกลูโคสที่มีค่า dextrose equivalent ต่ำกว่าน้ำตาลซูโครส (น้ำตาลทราย) จึงมีโมเลกุลขนาดเล็กทำให้มีโอกาสเกิดพันธะไฮโดรเจนกับน้ำได้มากกว่าน้ำตาลซูโครส ส่งผลให้ค่า a_w ของผลิตภัณฑ์มีค่าลดลง (Nimitkeatkai & Potaros, 2016) สอดคล้องกับงานวิจัยของ Nimitkeatkai & Potaros (2016) ที่รายงานว่าการใช้สัดส่วนน้ำตาลต่อกลูโคสไซรัปในขนมขบเคี้ยวชนิดแท่งจากเศษกล้วยกรอบและข้าวแต่น เมื่อใช้สัดส่วนของน้ำตาลต่อกลูโคสไซรัปเพิ่มสูงขึ้น (1:2) มีผลให้ค่า a_w และความกรอบลดลง แต่ผลิตภัณฑ์มีความเหนียวมากขึ้น จึงควรใช้ในอัตราส่วนที่เหมาะสม ขณะที่น้ำผึ้งยังคงใช้เป็นสารให้ความหวานคงเดิม สำหรับส่วนผสมอื่น ๆ มีการปรับปริมาณเพิ่มขึ้นและลดลงเล็กน้อยเมื่อเทียบกับสูตรต้นแบบทางการค้า ได้แก่ น้ำผึ้ง งาขาว และงาดำ (ร้อยละ 19 13 และ 9 ตามลำดับ) นำสูตรขนมขบเคี้ยวชนิดแท่งที่ดัดแปลงสูตรแล้วไปใช้ในการศึกษาต่อไป

Table 2 Hedonic score and just about right scale of commercial snack bar (prototype)

Attributes	Hedonic score	Just about right scale (%)					net effect
		Much decrease	Slightly decrease	Just about right	Slightly increase	Much increase	
Color	7.18±1.22	5	11	65	14	5	3
Texture	7.08±1.32	7	20	61	11	1	-15
Odor	6.95±1.68	5	9	53	27	6	19
Taste	6.52±1.93	5	10	55	24	6	15
Overall liking	7.08±1.14	-	-	-	-	-	-

ผลการพัฒนาผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวชนิดแท่งจากปลาชีวแก้วนากแห้งต้นแบบ (prototype)

ผลการทดสอบ (Table 3) พบว่า SB-TRS ต้นแบบมีคะแนนความชอบในทุกคุณลักษณะอยู่ในช่วงคะแนนชอบเล็กน้อยถึงชอบปานกลาง (6.00 - 7.13 คะแนน) ขณะที่ผลการทดสอบความพอใจ (Figure 1) พบว่า คุณลักษณะด้านสี เนื้อสัมผัส และรสชาติโดยรวมมีค่าร้อยละที่ระดับพอใจมากกว่าร้อยละ 70 ซึ่งแสดงว่าไม่ต้องปรับปรุงคุณลักษณะดังกล่าว ขณะที่คุณลักษณะอื่น ๆ มีค่าร้อยละที่ระดับพอใจน้อยกว่าร้อยละ 70 จึงต้องพิจารณาค่า net effect ในส่วนของคุณลักษณะด้านรสหวานและปริมาณปลาชีวแก้วนากพบว่า มีค่าน้อยกว่าร้อยละ

20 ซึ่งแสดงว่าผู้ทดสอบรู้สึกว่ามีค่าพอใจแล้วไม่ต้องปรับปรุง ขณะที่คุณลักษณะด้านกลิ่นปลาและการยึดเกาะของชิ้นขนมพบว่า มีค่า net effect มากกว่าร้อยละ 20 ซึ่งแสดงว่าคุณลักษณะดังกล่าวผู้ทดสอบรู้สึกว่ายังไม่พอใจ โดยผู้ทดสอบร้อยละ 56.67 มีความรู้สึกว่าการยึดเกาะของชิ้นขนมควรเพิ่มขึ้นเล็กน้อย ทั้งนี้อาจเกิดจากปลาชีวแก้วนากแห้งที่ใช้มีลักษณะเป็นปลาทั้งตัวจึงอาจเกิดการขัดขวางในการยึดเกาะของผลิตภัณฑ์ ขณะที่กลิ่นปลาพบว่า ผู้ทดสอบต้องการให้ลดลงเนื่องจากกลิ่นปลาที่มีลักษณะเฉพาะตัวและความไม่คุ้นเคยในการนำปลาชีวแก้วนากแห้งซึ่งเป็นอาหารความเหมาะสมกับขนมซึ่งมีรสชาติหวานส่งผลให้ผู้ทดสอบที่ไม่คุ้นเคยรู้สึกไม่ชอบและต้องการให้ปรับลด

ปริมาณลง ดังนั้นเพื่อเพิ่มการยึดเกาะขึ้นขนมและลดปริมาณของกลิ่นปลาผงผู้วิจัยจึงได้ปรับลดปริมาณปลาชีวแก๊วตากแห้งและเพิ่มปริมาณของข้าวพองซึ่งอาจเป็นแนวทางในการลดกลิ่นปลาผงและเพิ่มการยึดเกาะในการศึกษาต่อไป

ผลการศึกษาลักษณะที่เหมาะสมของปริมาณปลาชีวแก๊วตากแห้งและปริมาณข้าวพองที่เหมาะสมในการผลิต

ผลการทดลองแสดงดัง Table 4 พบว่า SB-TRS สูตรที่มีสัดส่วนของปลาชีวแก๊วตากแห้งทอดต่อข้าวพองเท่ากับร้อยละ 20:16 มีคะแนนความชอบด้านเนื้อสัมผัสและความชอบโดยรวมสูงสุด ($p < 0.05$) ขณะที่คะแนนความชอบด้านลักษณะปรากฏ สี กลิ่น รสหวาน และรสชาติโดยรวมของทั้ง 4 สูตรไม่แตกต่างกัน ($p > 0.05$) แต่มีแนวโน้มค่าสูงสุดเมื่อใช้สัดส่วนที่ร้อยละ 20:16 เมื่อพิจารณาผลการ

ทดสอบความพอดีของสูตรที่ใช้สัดส่วนร้อยละ 20:16 (Figure 2) พบว่า มีค่าร้อยละที่ระดับพอดีน้อยกว่าร้อยละ 70 จึงต้องพิจารณาค่า net effect ประกอบผล ซึ่งพบว่า ค่า net effect ของทุกคุณลักษณะมีค่าไม่เกินร้อยละ 20 แสดงว่ายังไม่ต้องปรับปรุง ทั้งนี้เนื่องจากคะแนนความชอบในทุกคุณลักษณะของ SB-TRS ของสูตรที่ใช้สัดส่วนร้อยละ 20:16 มีคะแนนความชอบเฉลี่ยมากกว่า 6 คะแนน และผู้ทดสอบรู้สึกพอใจในทุกลักษณะแล้ว จึงยุติการพัฒนาสูตรต้นแบบ โดยสูตร SB-TRS ที่พัฒนาได้ประกอบด้วยปลาชีวแก๊วตากแห้งทอด ข้าวพอง น้ำผึ้ง กลูโคสไซรัป เมล็ดฟักทอง งาขาว และงาดำร้อยละ 20 16 19 10 13 13 และ 9 ตามลำดับ นำสูตรที่พัฒนาได้ไปทดสอบผู้บริโภคต่อไป

Table 3 Hedonic scores of snack bar enriched with dried Thai river sprat (prototype)

Attributes	Mean $\pm$ SD
Appearance	6.83 $\pm$ 1.39
Color	7.13 $\pm$ 1.38
Odor	6.00 $\pm$ 1.88
Texture	7.03 $\pm$ 1.03
Sweet taste	6.50 $\pm$ 1.80
Overall taste	7.10 $\pm$ 1.16
Overall liking	7.00 $\pm$ 1.26

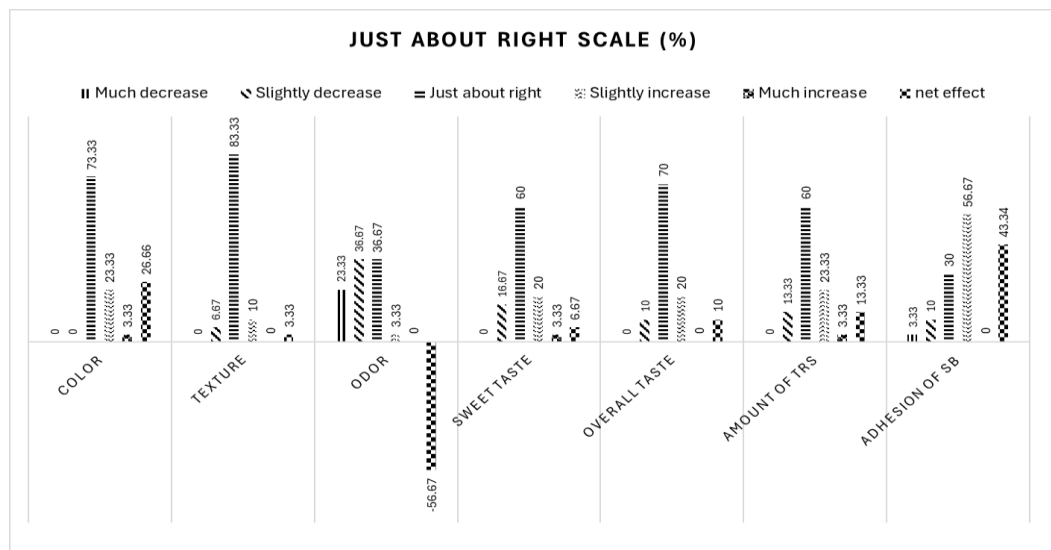


Figure 1 Just about right scale of snack bar enriched with dried Thai river sprat.

TRS: Thai river sprat; SB: snack bar.

Table 4 Hedonic scores of snack bar enriched with dried Thai river sprat as affected by various ratio of fried dried-Thai river sprat to puffed sticky rice

Attributes	Fried dried-Thai river sprat: puffed sticky rice ratio (%)			
	25:11	23:13	20:16	18:18
Appearance ^{ns}	6.37 $\pm$ 1.79	6.33 $\pm$ 1.99	6.90 $\pm$ 1.35	6.27 $\pm$ 1.72
Color ^{ns}	6.27 $\pm$ 1.26	6.47 $\pm$ 1.61	6.63 $\pm$ 1.54	6.23 $\pm$ 1.61
Odor ^{ns}	5.43 $\pm$ 2.10	5.57 $\pm$ 1.98	6.37 $\pm$ 1.79	6.13 $\pm$ 1.83
Sweet taste ^{ns}	6.03 $\pm$ 1.99	5.77 $\pm$ 2.11	6.27 $\pm$ 1.68	5.83 $\pm$ 2.28
Overall Taste ^{ns}	6.07 $\pm$ 2.07	6.27 $\pm$ 1.76	6.83 $\pm$ 1.62	6.47 $\pm$ 1.76
Texture	5.80 $\pm$ 2.04 ^b	5.67 $\pm$ 2.01 ^b	6.73 $\pm$ 1.86 ^a	6.23 $\pm$ 2.10 ^{ab}
Overall linking	5.87 $\pm$ 2.01 ^b	5.93 $\pm$ 1.80 ^b	6.87 $\pm$ 1.68 ^a	6.37 $\pm$ 2.01 ^{ab}

^{ns} Mean in the same row is not significantly different ($p > 0.05$).

^{a, b} Mean in the same row is significantly different ($p < 0.05$).

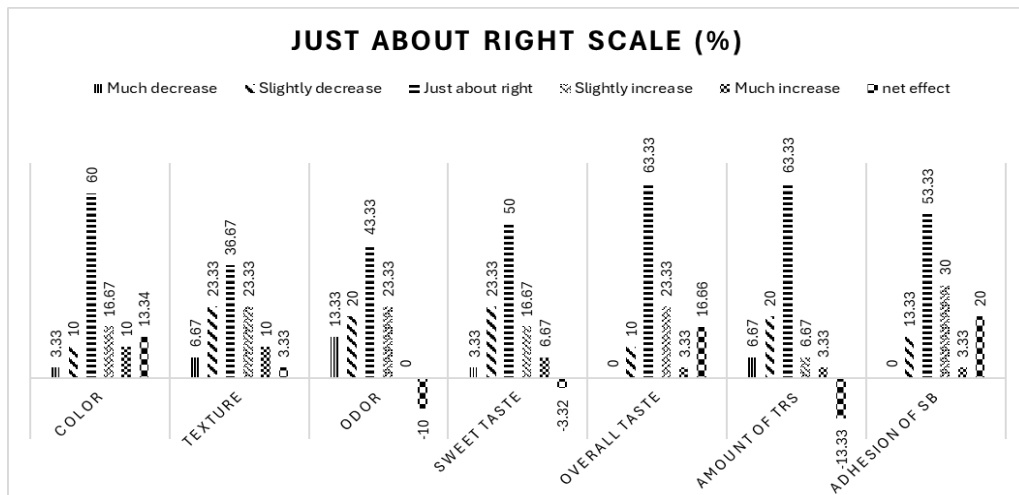


Figure 2 Just about right scale of snack bar enriched with dried Thai river sprat as affected by 20:16 ratio of fried dried Thai river sprat to puffed sticky rice (%); TRS: Thai river sprat; SB: snack bar.

ผลการศึกษารายการยอมรับของผู้บริโภคทั่วไปต่อขนมขบเคี้ยวชนิดแท่งจากปลาช่อนแก้วตากแห้งที่พัฒนาได้

ผลทดสอบการยอมรับของผู้บริโภคจำนวน 200 คน พบว่า ผู้ทดสอบเป็นเพศหญิงและเพศชายคิดเป็นร้อยละ 42.50 และ 57.50 ตามลำดับ ส่วนใหญ่อยู่ในกลุ่มอายุ 20 - 30 ปี (ร้อยละ 28.50) รองลงมาคือกลุ่มผู้บริโภครายมากกว่า 51 ปี (ร้อยละ 23) กลุ่มอายุ 41 - 50 ปี (ร้อยละ 17) กลุ่มอายุต่ำกว่า 20 ปี (ร้อยละ 15.50) และกลุ่มอายุ 31 - 40 ปี (ร้อยละ 14.50) ตามลำดับ โดยร้อยละ 39 มีการศึกษาระดับประถมศึกษาและมัธยมศึกษา รองลงมาคือปริญญาตรีร้อยละ 28.50 ส่วนใหญ่เป็นนักเรียน/นักศึกษาร้อยละ 30 รองลงมาได้แก่ อาชีพค้าขาย/ธุรกิจส่วนตัว (ร้อยละ 24.50) สำหรับผลการทดสอบความชอบต่อผลิตภัณฑ์ SB-TRS พบว่า ผู้บริโภคให้คะแนนความชอบในคุณลักษณะด้านลักษณะปรากฏ สี กลิ่น รสชาติ เนื้อสัมผัส และความชอบรวมอยู่ที่ระดับชอบเล็กน้อยถึงชอบปานกลาง (6.99 - 7.77 คะแนน) โดยผู้บริโภคให้การยอมรับผลิตภัณฑ์ร้อยละ 94 และตัดสินใจซื้อร้อยละ 93 สำหรับเหตุผลในการตัดสินใจซื้อเรียงลำดับจากมากไปหาน้อยคือ มีความแปลกใหม่ อร่อย มีคุณค่าทางโภชนาการอยากทดลองบริโภค และสะดวกต่อการบริโภค คิดเป็นร้อยละ 27 23 19 17 และ 14 ตามลำดับ

ผลการศึกษาคุณภาพและคุณค่าทางโภชนาการของผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวชนิดแท่งเสริมปลาช่อนแก้วตากแห้งที่พัฒนาได้

ผลการศึกษาแสดงดัง Table 5 พบว่า ผลิตภัณฑ์ SB-TRS มีค่า L^* a^* และ b^* เท่ากับ 58.38 0.71 และ 13.63 ตามลำดับ โดยคุณลักษณะด้านสีของผลิตภัณฑ์นับว่าเป็นคุณภาพของอาหารที่มีผลต่อความสนใจของผู้บริโภค จากผลการทดลองจะเห็นได้ว่า ค่าสีที่วัดได้ของ SB-TRS สอดคล้องกับลักษณะสีของขนมขบเคี้ยวชนิดแท่งซึ่งมีสีออกไปทางโทนสีเหลืองน้ำตาลอ่อนเป็นส่วนใหญ่ (Figure 3) ทั้งนี้เกิดจากลักษณะด้านสีของส่วนผสมส่วนใหญ่ในสูตรมีสีโทนเหลืองน้ำตาลและสีขาวเหลืองได้แก่ ปลาช่อนแก้วตากแห้งทอด ข้าวพอง งาขาว และน้ำผึ้ง โดยลักษณะสีที่เข้มข้นของส่วนผสมเมื่อเทียบกับสีเริ่มต้นโดยธรรมชาติก่อนผ่านการแปรรูปและการอบเกิดจากปฏิกิริยา maillard reaction ซึ่งเป็นปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลที่ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงสีและกลิ่นเมื่ออาหารได้รับความร้อนจากการปรุงอาหาร เช่น การอบ การทอด เป็นต้น (Zulaikha et al., 2021) สำหรับคุณภาพด้านเนื้อ

สัมผัสพบว่า มีค่าความแข็ง (hardness) เท่ากับ 41.02 นิวตัน เมื่อเปรียบเทียบกับขนมขบเคี้ยวชนิดแท่งอื่น ๆ พบว่า มีค่ามากกว่าขนมขบเคี้ยวชนิดแท่งเสริมผงปลาป่น (ค่า hardness เท่ากับ 24.14 - 27.39 นิวตัน) (Zulaikha et al., 2021) และมีค่าใกล้เคียงกับผัดไทยกรอบชนิดแท่ง (hardness เท่ากับ 41.92 - 54.57 นิวตัน) (Chueanopparat et al., 2021) ทั้งนี้อาจเกิดจากวิธีการผลิตและอุณหภูมิที่ใช้ระหว่างการแปรรูปต่างกัน โดยระดับอุณหภูมิและระยะเวลาในการอบขนมจะส่งผลโดยตรงต่อการระเหยของน้ำของอาหารและการเกิดเปลือกแข็ง (crust formation) ที่ผิวของผลิตภัณฑ์ ส่งผลให้ผลิตภัณฑ์มีความแข็งที่ต่างกัน (Zulaikha et al., 2021) สำหรับค่า a_w พบว่ามีค่าเท่ากับ 0.39 ซึ่งอยู่ระดับที่ต่ำ จัดอยู่ในกลุ่มอาหารประเภทแห้ง มีปริมาณน้ำที่เป็นประโยชน์ต่อการเจริญของจุลินทรีย์ในระดับต่ำ โดยแบคทีเรียส่วนใหญ่ไม่สามารถเจริญเติบโตได้ดีหากผลิตภัณฑ์มีค่า a_w ต่ำกว่า 0.90 ขณะที่ยีสต์และราจะไม่สามารถเจริญเติบโตได้ดีหากมีค่า a_w ต่ำกว่า 0.70 (Maepakdee et al., 2014) จึงทำให้อาหารปลอดภัยจากการเจริญของเชื้อจุลินทรีย์ส่งผลให้เก็บรักษาได้เป็นระยะเวลานาน สำหรับปริมาณความชื้น โปรตีน ไขมัน เถ้า และคาร์โบไฮเดรตของ SB-TRS มีค่าเท่ากับร้อยละ 1.20 21.61 30.49 2.92 และ 41.75 ตามลำดับ โดยความชื้นมีปริมาณต่ำ สอดคล้องกับค่า a_w ขณะที่ปริมาณโปรตีนมีค่าค่อนข้างสูงซึ่งเกิดจากส่วนผสมในผลิตภัณฑ์เป็นแหล่งของโปรตีน ได้แก่ ปลาช่อนแก้วตากแห้ง เมล็ดฟักทอง สำหรับไขมันและคาร์โบไฮเดรตซึ่งเป็นองค์ประกอบทางเคมีที่มีปริมาณมากเกิดจากส่วนผสมส่วนใหญ่ผ่านการทอดและมีน้ำมันเป็นองค์ประกอบ (ปลาช่อนแก้วตากแห้ง ข้าวพอง งาขาว และงาคั่ว) และเป็นองค์ประกอบของคาร์โบไฮเดรต (ข้าวพอง เมล็ดฟักทอง น้ำผึ้ง และกลูโคสไซรัป) ขณะที่ปริมาณเถ้าซึ่งเป็นองค์ประกอบทางเคมีที่บ่งบอกถึงปริมาณสารอนินทรีย์ที่มีอยู่ในอาหารมาจากแร่ธาตุที่อยู่ในส่วนผสมของ SB-TRS โดยเฉพาะปลาช่อนแก้วตากแห้งซึ่งเป็นแหล่งของแคลเซียมสูง (Auyyuenyong et al., 2023) คุณภาพด้านจุลชีววิทยาพบว่า SB-TRS ที่พัฒนาได้มีปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมดน้อยกว่า 25 CFU/g และไม่พบยีสต์และรา

สำหรับคุณค่าทางโภชนาการของ SB-TRS ต่อหนึ่งหน่วยบริโภค (23 กรัม) (Figure 4) พบว่า ให้พลังงานทั้งหมด 110 กิโลแคลอรี ไขมัน 5 กรัม โคเลสเตอรอล 20 มิลลิกรัม โปรตีน 5 กรัม

คาร์โบไฮเดรต 11 กรัม โซเดียม 20 มิลลิกรัม วิตามินบี 1 0.04 มิลลิกรัม (ร้อยละ 2 Thai RDI) แคลเซียม 105.91 มิลลิกรัม (ร้อยละ 15 Thai RDI) และเหล็ก 0.77 มิลลิกรัม (ร้อยละ 6 Thai RDI) เมื่อเปรียบเทียบกับธัญพืชแห่งทางการค้า (เมล็ดฟักทองแผ่นผสมน้ำผึ้ง) ซึ่งใช้เป็นต้นแบบในขั้นตอนการสำรวจทัศนคติของผู้บริโภคเพื่อหาแนวคิดผลิตภัณฑ์ พบว่า ธัญพืชแห่งทางการค้ามีคุณค่าทางโภชนาการต่อหนึ่งหน่วยบริโภค (30 กรัม) ให้พลังงาน 160 กิโลแคลอรี ไขมัน 10 กรัม โคเลสเตอรอล 0 มิลลิกรัม โปรตีน 6 กรัม คาร์โบไฮเดรต 13 กรัม โยอาหาร 2 กรัม น้ำตาล 4 กรัม โซเดียม 0 มิลลิกรัม วิตามินบี 1 ร้อยละ 6 Thai RDI แคลเซียมร้อยละ 4 Thai RDI และเหล็กร้อยละ 10 Thai RDI จากการเปรียบเทียบในปริมาณต่อหนึ่งหน่วยบริโภคที่เท่ากัน (30 กรัม) พบว่า SB-TRS ให้พลังงานต่อหนึ่งหน่วยบริโภคและมีไขมันที่น้อยกว่า มีปริมาณโปรตีนเท่ากันและมีปริมาณแคลเซียม (ร้อยละ 16 Thai RDI) ที่สูงกว่าผลิตภัณฑ์ทางการค้า (ร้อยละ 4 Thai RDI) ประมาณ 4 เท่า ทั้งนี้เกิดจากปลาชิวแก้วตากแห้งที่เติมลงไปใน SB-TRS ซึ่งเป็นแหล่งของแคลเซียมจึงส่งผลให้ขนมขบเคี้ยวชนิดแห้งที่พัฒนาได้มีแคลเซียมเป็นองค์ประกอบที่สูงกว่า อย่างไรก็ตามความ

แตกต่างของคุณค่าทางโภชนาการขึ้นอยู่กับส่วนผสมที่ใช้และกรรมวิธีการผลิต ดังนั้นผลิตภัณฑ์ SB-TRS ที่พัฒนาได้จึงเป็นผลิตภัณฑ์ที่เหมาะสมสำหรับกลุ่มผู้บริโภคที่ต้องการพลังงานและเสริมแคลเซียมให้กับร่างกาย ปัจจุบันคนไทยจะได้รับปริมาณแคลเซียมโดยเฉลี่ยประมาณ 400 มิลลิกรัมต่อวันจากการรับประทานอาหารซึ่งยังขาดแคลเซียมอยู่ ดังนั้นจึงควรได้รับแคลเซียมเสริมเข้าไปให้เพียงพอกับปริมาณที่ร่างกายต้องการและควรเหมาะสมกับแต่ละช่วงอายุ โดยเพศชายและเพศหญิงช่วงอายุ 9 - 18 ปี ต้องการแคลเซียม 1,300 มิลลิกรัมต่อวัน ขณะที่เพศชายและเพศหญิงอายุ 19 - 50 ปี ต้องการ 1,200 มิลลิกรัมต่อวัน (Leerapun, 2020) ดังนั้น SB-TRS จึงเป็นผลิตภัณฑ์ที่สามารถใช้เป็นทางเลือกหนึ่งสำหรับคนยุคปัจจุบันที่เร่งรีบและต้องการความสะดวกในการบริโภค สามารถพกพาและรับประทานเพื่อให้พลังงานและช่วยเสริมแคลเซียมให้กับร่างกายได้ อย่างไรก็ตามควรรับประทานในปริมาณที่เหมาะสมเนื่องจากหากรับประทานมากเกินไปอาจส่งผลให้เกิดโรคอ้วนหรือโรคเรื้อรังที่ไม่ติดต่อได้ (Auyyeeenyong & Kingwatee, 2023)

Table 5 Product quality of snack bar enriched with dried Thai river sprat (SB-TRS)

Product quality	Mean±SD
Lightness (L*)	58.38±2.55
Redness (a*)	0.71±0.87
Yellowness (b*)	13.63±2.90
Hardness (N)	41.02±6.83
Water activity (a _w)	0.39±0.04
Moisture (%)	1.20±0.10
Protein (%)	21.61±1.24
Fat (%)	30.49±0.81
Ash (%)	2.92±0.62
Carbohydrate (%)	41.75±1.42
Total plate count (CFU/g)	<25
Yeast and mold (CFU/g)	Not detected



Figure 3 Snack bar enriched with dried Thai river sprat (SB-TRS).

Nutrition Facts			
Serving size: 1 Bag (23 g)			
Serving size per bag : 1			
Nutrition Facts Per Serving			
Total Energy 110 Kcal (Energy from Fat 45 Kcal)			
Total Fat	5 g		% Thai RDI
Saturated Fat	1 g		8%
Cholesterol	20 mg		5%
Protein	5 g		7%
Total Carbohydrate	11 g		
Dietary Fiber	<1 g		4%
Sugars	5 g		4%
Sodium	20 mg		1%
Percent Thai RDI*			
Vitamin A	0%	Vitamin B1	2%
Vitamin B2	0%	Calcium	15%
Iron	6%		
* Percent Thai Recommended Daily Intakes (Thai RDI) for population over 6 years of age are based on a 2,000 Kcal diet.			

Figure 4 Nutrition facts of snack bar enriched with dried Thai river sprat per 1 serving size.

สรุปผลการวิจัย

จากการสำรวจทัศนคติของผู้บริโภคเพื่อพัฒนาผลิตภัณฑ์ SB-TRS ซึ่งใช้ต้นแบบจากธัญพืชแห้งที่จำหน่ายทางการค้าพบว่า ผู้บริโภคส่วนใหญ่สนใจผลิตภัณฑ์ SB-TRS คิดเป็นร้อยละ 90 และต้องการให้ใช้ปลาชีวก้าวตากแห้งทอดแบบทั้งตัว (ร้อยละ 51) เป็นส่วนผสมสำหรับสูตร SB-TRS ที่พัฒนาได้ประกอบด้วย ปลาชีวก้าวตากแห้งทอด ข้าวพอง น้ำผึ้ง กลูโคสไซรัป เมล็ดฟักทอง งาขาว และงาดำ เท่ากับร้อยละ 20 16 19 10 13 13 และ 9 ตามลำดับ มีคะแนนความชอบโดยรวมอยู่ในระดับชอบปานกลาง การตัดสินใจซื้อและการยอมรับในผลิตภัณฑ์คิดเป็นร้อยละ 93 และ 94 ตามลำดับ ผลิตภัณฑ์มีปริมาณความชื้น โปรตีน ไขมัน เถ้า และคาร์โบไฮเดรตเท่ากับร้อยละ 1.20 21.61 30.49 2.92 และ 41.75 ตามลำดับ มีค่าความแข็ง, L^* a^* b^* และ a_w เท่ากับ 41.02 นิวตัน 58.38 0.71 13.63 และ 0.39 ตามลำดับ ผลิตภัณฑ์มีปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมดน้อยกว่า 25 CFU/g และไม่พบยีสต์และรา คุณค่าทางโภชนาการของ SB-TRS จำนวน 1 หน่วยบริโภค (23 กรัม) ให้พลังงาน 110 กิโลแคลอรี ไขมันทั้งหมด 5 กรัม โคเลสเตอรอล 20 มิลลิกรัม โปรตีน 5 กรัม คาร์โบไฮเดรตทั้งหมด 11 กรัม โซเดียม 20 มิลลิกรัม วิตามินบี 1 0.04 มิลลิกรัม (ร้อยละ 2 Thai RDI) แคลเซียม 105.91 มิลลิกรัม (ร้อยละ 15 Thai RDI) และเหล็ก 0.77 มิลลิกรัม (ร้อยละ 6 Thai RDI) ดังนั้นผลิตภัณฑ์ SB-TRS ที่พัฒนาได้สามารถใช้บริโภคเพื่อให้พลังงานและเสริมแคลเซียมให้กับร่างกายเหมาะสำหรับกลุ่มผู้บริโภคที่ต้องการความสะดวกในการบริโภคและวัยทำงานที่เร่งรีบในยุคปัจจุบัน

กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้วิจัยขอขอบคุณมหาวิทยาลัยกาฬสินธุ์ที่ให้การสนับสนุนทุนและวัสดุอุปกรณ์ในการทำงานวิจัยในครั้งนี้ โดยการวิจัยครั้งนี้ได้รับทุนสนับสนุนการวิจัยจากกองทุนส่งเสริมวิทยาศาสตร์ วิจัย และนวัตกรรม ประเภท Basic Research Fund มหาวิทยาลัยกาฬสินธุ์ ปีงบประมาณ 2564

References

- Andrews, W. (1992). *Manual of food quality control, 4. rev. 1: microbiological analysis*. Rome, Italy: FAO Food and Nutrition Paper (FAO).
- Auyyuenyong, R., & Kingwatee, N. (2023). Effect of the addition of cassava starch on physicochemical properties, nutritional values, and sensory attributes of Thai river sprat *Clupeichthys aesamensis* Wongratana crisps. *Rajabhat Agriculture Journal*, 22(1), 70-83. (in Thai)
- Auyyuenyong, R., Boonthawee, K., & Wangdee, K. (2023). Shelf-life evaluation of dehydrate Thai river sprat (*Clupeichthys aesamensis*) product in packaging with nitrogen gas using accelerated testing method. *Journal of Food Technology, Siam University*, 18(1), 10-20. (in Thai)
- Association of Official Analytical Chemists (AOAC). (2019). *Official methods of analysis* (21th ed.). Washington D.C., United States: Association of Analytical Chemists.
- Association of Official Analytical Chemists (AOAC). (2016). *Official method of analysis* (20th ed.). Washington D.C., United States: Association of Analytical Chemists.
- Association of Official Analytical Chemists (AOAC). (2012). *Official method of analysis* (19th ed.). Washington D.C., United States: Association of Analytical Chemists.
- Association of Official Analytical Chemists (AOAC). (2007). *Official methods of analysis* (18th ed.). Gaithersburg, United States.: Association of Official Analytical chemists.

- Bacteriological Analytical Manual (BAM). (2001). *Yeast, molds and mycotoxins*. Accessed June 17, 2021. Retrieved from <https://www.fda.gov/food/laboratory-methods-food/bam-chapter-18-yeasts-molds-and-mycotoxins>.
- Chittapalo, T., Vittayaporn, V., & Wirunthanakrit, W. (2017). Development of a cereal bar product from broken organic brown rice. *SDU Research Journal Science and Technology*, 10(3), 47-68. (in Thai)
- Chueanopparat, J., Charoenying, V., Sangteerakij, D., Chalermchaiwat, P., & Chantaro, P. (2021). Development of Pad Thai crispy bar. *RMUTP Research Journal*, 15(1), 156-166. doi: 10.14456/jrmutp.2021.13 (in Thai)
- Department of Medical Sciences and National Bureau of Agriculture Commodity and Food Standards. (2003). *Compendium of methods for food analysis*. Bangkok, Thailand: Department of Medical Sciences, Ministry of Public Health. (in Thai)
- Elnovriza, D., Riyadi, H., Rimbawan, Damayanthi, E., & Winarto, A. (2019). Development of fish bars as a high zinc and calcium snack made from bilih fish (*Mystacoleuseus padangensis* Blkr) flour. *Indonesian Journal of Nutrition and Food*, 14(2), 83-90. doi: 10.25182/jgp.2019.14.2.83-90
- Food Division, Ministry of Public Health. (2023). *Ministry of Public Health Notification (No. 182) B.E. 2541 regarding nutrition labels*. Accessed April 8, 2024. Retrieved from <https://food.fda.moph.go.th/food-law/nutrition-label>. (in Thai)
- Jutagate, T., De Silva, S. S., & Mattson, N. S. (2001). Socio-economic status of river sprat (*Clupeichthys aesarnensis*, Wongratana 1983) lift-net fishers in Sirinthorn reservoir, Thailand. In S. S. De Silva (Ed.), *Reservoir & cultured based fisheries: biology and management* (pp. 309-313). Brisbane, Australia: Watson Ferguson & Co.
- Lawless, H. T., & Heymann, H. (1998). *Sensory evaluation of food: principles and practices* (2nd ed.). New York, United States: Chapman & Hall.
- Leerapun, T. (2020). *The importance of calcium*. Accessed April 8, 2024. Retrieved from <https://sriphat.med.cmu.ac.th/th/knowledge-153#>.
- Maepakdee, S., Rattanasuwan, P., Krasaechon, N., & Yuenyongputtakul, W. (2014). Enrichment of protein and iron in snack products using tuna blood power. *The Journal of King Mongkut's University of Technology North Bangkok*, 24(1), 168-177. (in Thai)
- Mungmai, S., & Wanna, A. (2019). Development of calcium supplement snacks from Thai river sprat. *Rajabhat Agriculture Journal*, 18(1), 27-37. (in Thai)
- Nimitkeatkai, H., & Potaros, T. (2016). Effect of ingredients on qualities of snack bar from broken banana chip and rice crackers. *Prawarun Agricultural Journal*, 13(2), 199-205. (in Thai)
- Simwemba, C. G., Hosene, R. C., Varriano-Marston, E., & Zeleznak, K. (1984). Certain B vitamin and phytic acid contents of pearl millet (*Pennisetum americanum* (L.) Leeke.) *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 32(1), 31-34. doi: 10.1021/jf00121a008
- Somthawil, S., & Sriwatta, S. (2012). The use of just about right scales in reformulation of Thai Northern style sausage., *Proceedings of the 50th Kasetsart university annual conference: agro-industry, Kasetsart university*, (pp. 167-174). Bangkok, Thailand: Kasetsart University. (in Thai)
- Sullivan, D., & Carpenter, D. (1993). *Method of analysis for nutrition labeling*. Arlington, United States: AOAC International.
- 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: 0.3390/foods10081908

Research article

Product development of snack bar enriched with dried Thai river sprat (*Clupeichthys aesarnensis*)

Jukkarin Treeinthong^{1*} Aoitip Samanros² and Piyachat Wiriyaampaiwong³

¹Department of Fisheries Technology, Faculty of Agricultural Technology, Kalasin University, Muang district, Kalasin Province, 46000

²Institute of Public Health, Suranaree University of Technology, Muang district, Nakhon Ratchasima, 30000

³Department of Biotechnology, Faculty of Agricultural Technology, Kalasin University, Muang district, Kalasin Province, 46000

ARTICLE INFO**Article history**

Received: 10 April 2024

Revised: 24 April 2024

Accepted: 2 May 2024

Online published: 15 May 2024

Keyword

Dried Thai river sprat

Snack bar

Product development

ABSTRACT

This research aimed to develop a snack bar enriched with dried Thai river sprat (SB-TRS). Surveying the consumers' attitudes toward the product to develop the SB-TRS using a commercial cereal bar as a prototype was conducted. Then, the prototype product recipe, formulation development, consumer testing, and assessment of the product's quality were studied. The results of the attitude survey found that 90 % of consumers were interested in SB-TRS products, and 51 % wanted to supplement with dried Thai river sprat. The recipe for producing SB-TRS comprises the following ingredients by weight: fried dried Thai river sprat (20 %), puffed sticky rice (16 %), honey (19 %), glucose syrup (10 %), peeled pumpkin seeds (13 %), white sesame (13 %), and black sesame (9 %). The overall liking score was moderate (7.57 points). A remarkable 93% of consumers decided to purchase it, and 94 % accepted the product. The SB-TRS includes 1.20 % moisture, 21.61 % proteins, 30.49 % total lipids, 2.92 % ash, and 41.75 % carbs. Hardness, lightness (L*), redness (a*), yellowness (b*), and water activity of SB-TRS were 41.02 N, 58.38, 0.71, 13.63, and 0.39, respectively. The SB-TRS showed a total plate count of less than 25 CFU/g and no detection of yeast and mold in the product. The nutritional value per serving (23 grams) was found to provide 110 kcal of energy, 5 g of fat, 20 mg of cholesterol, 5 g of protein, 11 g of carbohydrates, 20 mg of sodium, 0.04 mg of vitamin B1, 0.77 mg of iron, and 105.91 mg of calcium. Therefore, the SB-TRS product is suitable for people who want convenience in consumption and help in adding calcium to the body.

*Corresponding author

E-mail address: jukkarin.tr@ksu.ac.th (J. Treeinthong)

Online print: 15 May 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.2024.11>



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

บทความวิจัย

การวิเคราะห์ประสิทธิภาพทางเทคนิคการผลิตข้าวนาปีของเกษตรกรในจังหวัดเชียงราย

ศศิวิมล ภูพวง*

สาขาวิชาเศรษฐศาสตร์ธุรกิจ คณะวิทยาการจัดการ มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงราย อำเภอเมือง จังหวัดเชียงราย 57100

ข้อมูลบทความ

Article history

รับ: 14 กุมภาพันธ์ 2567

แก้ไข: 5 พฤษภาคม 2567

ตอบรับการตีพิมพ์: 6 พฤษภาคม 2567

ตีพิมพ์ออนไลน์: 20 พฤษภาคม 2567

คำสำคัญ

ประสิทธิภาพทางเทคนิค

ความไม่มีประสิทธิภาพทางเทคนิค

ผลผลิตข้าว

ข้าวนาปี

บทคัดย่อ

การวิเคราะห์ประสิทธิภาพทางเทคนิคการผลิตข้าวนาปีของเกษตรกรในครั้งนี้ มีวัตถุประสงค์เพื่อวิเคราะห์ประสิทธิภาพทางเทคนิคการผลิตข้าวนาปี ปัจจัยที่ส่งผลต่อความมีประสิทธิภาพทางเทคนิคและปัจจัยที่ส่งผลต่อความไม่มีประสิทธิภาพทางเทคนิคในการผลิตข้าวนาปีของเกษตรกรในจังหวัดเชียงราย ทำการสำรวจและเก็บรวบรวมข้อมูลโดยใช้แบบสอบถามกับตัวแทนครัวเรือนเกษตรกรผู้ปลูกข้าวนาปี จำนวน 300 คน ใน 3 อำเภอ ได้แก่ 1) อำเภอพาน 2) อำเภอเมืองเชียงราย และ 3) อำเภอเทิง ข้อมูลที่ได้ถูกนำมาวิเคราะห์ประสิทธิภาพด้วยตัวแบบวิเคราะห์ขอบเขตเชิงพื้นที่ Stochastic Frontier Approach (SFA) พบว่า ปัจจัยที่ส่งผลต่อความมีประสิทธิภาพทางเทคนิคการผลิตข้าวนาปีอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ได้แก่ ค่าเมล็ดพันธุ์ข้าว ค่าการดูแลรักษา ค่าปัจจัยการผลิต และค่าใช้จ่ายในการเตรียมดิน ส่วนการประมาณค่าประสิทธิภาพทางเทคนิค (Technical Efficiency, TE) พบว่า เกษตรกรผู้ปลูกข้าวมีประสิทธิภาพในการผลิตอยู่ในระดับปานกลางถึงระดับสูงสุด มีค่าประสิทธิภาพการผลิตเชิงเทคนิคเฉลี่ย 0.9169 หรือได้ผลผลิตข้าวต่ำกว่าระดับประสิทธิภาพสูงสุดที่ควรจะได้รับประมาณร้อยละ 8.31 และปัจจัยพื้นที่ปลูกข้าว ภาระหนี้สิน ระดับการศึกษา ประสบการณ์ในการปลูกข้าว และการเป็นสมาชิกกลุ่มเกษตรกร ส่งผลต่อความไม่มีประสิทธิภาพทางเทคนิคการผลิตข้าวนาปีในทิศทางลบอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ซึ่งหากเพิ่มปัจจัยเหล่านี้มากขึ้นจะส่งผลให้ความไม่มีประสิทธิภาพทางเทคนิคในการผลิตข้าวนาปีลดลง

บทนำ

ประเทศไทยนั้นเป็นสังคมเกษตรกรรม มีอาชีพที่เกี่ยวข้องกับเกษตรกรรมมาเนิ่นนาน หากพิจารณาถึงพื้นที่การเกษตรนั้น ในปี 2562 ประเทศไทยมีเนื้อที่ทั้งหมดประมาณ 320,696,888 ไร่ เป็นที่ดินที่ใช้ประโยชน์ในภาคการเกษตร 149,252,451 ไร่ หรือประมาณร้อยละ 46.54 ของพื้นที่ทั้งหมด และเป็นพื้นที่สำหรับการปลูกข้าวมากถึง 68,722,388 ไร่ หรือคิดเป็นร้อยละ 46 ของพื้นที่ทำการเกษตรรวมทั้งหมด (Office of Agricultural Economics, 2019) โดยใน 8 จังหวัดภาคเหนือตอนบนจังหวัดเชียงรายเป็นจังหวัดที่มีการปลูกข้าวมากที่สุดเป็นอันดับที่ 1 คือมีพื้นที่กว่า 1,380,902 ไร่ ภาพรวมเศรษฐกิจจังหวัดเชียงราย ผลิตภัณฑ์มวลรวมจังหวัด ณ ราคาประจำปีของจังหวัดเชียงราย ปี 2563 มีมูลค่าประมาณ 101,221 ล้านบาท ประกอบด้วยภาคเกษตรมูลค่า 25,046 ล้านบาท และภาคนอกเกษตรมูลค่า 76,174 ล้านบาท โครงสร้างการผลิตทางการเกษตรที่สำคัญของจังหวัดเชียงราย ปี 2563 ได้แก่ สาขาพืช ซึ่งมีสัดส่วนมากที่สุดคือ ร้อยละ 78.80 ของผลิตภัณฑ์มวลรวมภาคเกษตร (Office of Agricultural Economics, 2022)

การวิเคราะห์ข้อมูลข้าวด้านการเพิ่มผลผลิต พัฒนาคุณภาพและลดต้นทุนของจังหวัดเชียงราย พบว่า ในปี 2563 จังหวัดเชียงรายมีเนื้อที่เพาะปลูกข้าว 1,309,930 ไร่ คิดเป็นลำดับที่ 18 ของประเทศ

เมื่อเปรียบเทียบกับจังหวัดเชียงใหม่และจังหวัดลำพูนซึ่งเป็นจังหวัดใกล้เคียงมีอาณาเขตติดกัน ลักษณะภูมิประเทศและพื้นที่ไม่แตกต่างกันมากนัก จังหวัดเชียงใหม่มีเนื้อที่ปลูกข้าว 562,843 ไร่ และจังหวัดลำพูนมีเนื้อที่ปลูกข้าวเพียง 103,166 ไร่ แต่กลับพบว่า จังหวัดเชียงรายมีผลผลิตข้าวนาปีเฉลี่ยต่อไร่เท่ากับ 556 กิโลกรัม ส่วนผลผลิตข้าวของจังหวัดเชียงใหม่เท่ากับ 593 กิโลกรัม และจังหวัดลำพูน 607 กิโลกรัม ซึ่งเป็นที่น่าสังเกตว่า ทั้งจังหวัดเชียงใหม่และจังหวัดลำพูนมีเนื้อที่เพาะปลูกน้อยกว่าแต่ผลผลิตข้าวนาปีเฉลี่ยต่อไร่สูงกว่าจังหวัดเชียงราย อีกทั้งผลผลิตข้าวปีการผลิต 2560/61 2561/62 2562/63 และ 2563/64 พบว่า ผลผลิตข้าวนาปีเฉลี่ยต่อไร่ของจังหวัดเชียงรายมีแนวโน้มลดลงอยู่ที่ 580 580 549 และ 556 กิโลกรัม (DGA, 2020) สอดคล้องกับรายงานข้อมูลสถานการณ์ทางสังคมจังหวัดเชียงราย ส่วนงานกลุ่มนโยบายและวิชาการสำนักงานพัฒนาสังคมและความมั่นคงของมนุษย์จังหวัดเชียงราย รายงานว่า ผลผลิตข้าวนาปีเฉลี่ยต่อไร่ของจังหวัดเชียงรายในปี 2561 2562 และ 2563 มีแนวโน้มลดลงจากภาพรวมเศรษฐกิจของจังหวัด (Chiang Rai Provincial Social Development and Human Security Office, 2021)

ผู้วิจัยจึงได้ทำการทบทวนวรรณกรรมเกี่ยวกับประสิทธิภาพการผลิตข้าวของเกษตรกร เพื่อจะได้ทราบถึงแนวทางการเพิ่ม

*Corresponding author

E-mail address: sasiwimom.pup@ccru.ac.th (S. Puphoun)

Online print: 20 May 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.2024.12>

ประสิทธิภาพการผลิตข้าว เพิ่มผลผลิตข้าว ลดปัจจัยที่ไม่เกิดประโยชน์ ในการผลิตข้าวของเกษตรกร จากการทบทวนวรรณกรรม พบว่า ปัจจัยที่ส่งผลถึงควมมีประสิทธิภาพทางเทคนิคในการผลิตข้าว ดังเช่น งานวิจัยของ Hakim et al. (2020) และ Aboaba (2020) ได้ทำการ วิเคราะห์ขอบเขตเชิงพื้นที่ (SFA) และแบบจำลองการถดถอยของโท บิตผลลัพ์ของ SFA พบว่า ตัวแปรนำเข้า เช่น เมล็ดพันธุ์ข้าว สาร กำจัดวัชพืชและยาฆ่าแมลง ให้ผลบวกและส่งผลกระทบบอย่างมี นัยสำคัญต่อผลผลิตข้าว เช่นเดียวกับ Sansri et al. (2014) มีปัจจัย ปริมาณเมล็ดพันธุ์ ปริมาณปุ๋ยเคมี Somkham & Wana (2020) มีปัจจัยเมล็ดพันธุ์ ปุ๋ย สารเคมีป้องกันศัตรูพืช แรงงานคน และ เครื่องจักร Subedi et al. (2020) อธิบายแบบจำลองขอบเขตเชิงพื้นที่ พบว่า เมล็ดข้าว ปุ๋ยเคมี แรงงานคน และ Rayasawath (2018) มีปัจจัยปริมาณเมล็ดพันธุ์ จำนวนแรงงานที่ใช้ในการผลิต เป็นต้น และ นอกจากนี้ งานวิจัยยังมีผลของตัวแปรที่ส่งผลต่อความไม่มี ประสิทธิภาพทางเทคนิคในการผลิตข้าวของเกษตรกรได้ เช่น Kaka et al. (2016) ใช้แบบจำลองการถดถอยพหุคูณที่อิงตามฟังก์ชันกำไรของ Stochastic Frontier ในรูปแบบข้อกำหนดของ Cobb-Dougllass พบข้อเท็จจริงที่ว่า พื้นที่เพาะปลูกที่ใหญ่กว่าสามารถมีอรรถิพลเชิงบวก ต่อผลกำไร งานวิจัยของ Uttarapong (2015) และ Somkham & Wana (2020) มีตัวแปรด้านประสิทธิภาพในการผลิตข้าว Hakim et al. (2020) และ Aboaba, K. (2020) มีตัวแปรเกี่ยวกับระดับการศึกษา ของเกษตรกร และ Somkham & Wana (2020) มีตัวแปรการเข้าร่วม เป็นสมาชิกองค์กรด้านการเกษตร เป็นต้น

ดังนั้น งานวิจัยครั้งนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อวิเคราะห์ ประสิทธิภาพทางเทคนิคในการผลิตข้าวในปี ทำให้ได้มาซึ่งปัจจัยที่ ส่งผลต่อควมมีประสิทธิภาพทางเทคนิคและปัจจัยที่ส่งผลต่อความไม่มี ประสิทธิภาพทางเทคนิคในการผลิตข้าวของเกษตรกรในจังหวัด เชียงราย โดยมุ่งหวังที่จะพิจารณาหาสาเหตุและปัจจัยที่ส่งผลต่อ ผลผลิตข้าวในฤดูกาล โดยเลือกใช้การวัดประสิทธิภาพทางเทคนิคด้วย ตัวแบบวิเคราะห์ขอบเขตเชิงพื้นที่ Stochastic Frontiers Analysis (SFA) ทำให้ได้ทราบทั้งในส่วนของปัจจัยที่ส่งผลต่อประสิทธิภาพการ ผลิตและปัจจัยที่ส่งผลต่อความไม่มีประสิทธิภาพในการผลิตข้าวในปี เพื่อเป็นแนวทางในการจัดสรรทรัพยากรในการผลิตปีต่อไป และ พัฒนาประสิทธิภาพการผลิตและคุณภาพในการผลิตข้าวให้สูงขึ้น ยังประโยชน์แก่เกษตรกรที่จะได้มีการใช้ทรัพยากรที่มีอยู่อย่างคุ้มค่า ลดการใช้จ่ายที่ไม่ก่อให้เกิดประโยชน์หรือไม่มีประสิทธิภาพลง ลดต้นทุนการผลิตและเพิ่มรายได้ให้แก่เกษตรกรที่ประกอบอาชีพนี้ ต่อไป

อุปกรณ์และวิธีการวิจัย

การศึกษาการวิเคราะห์ประสิทธิภาพทางเทคนิคการผลิตข้าว นาปีของเกษตรกรในจังหวัดเชียงราย มีแนวคิดทฤษฎีที่สามารถสรุปมา ได้ดังนี้

การผลิตในทางเศรษฐศาสตร์ Jaima (2016) ได้อธิบายการ ผลิตในส่วนของผลผลิตรวม (total product: TP) หมายถึง จำนวน ผลผลิตทั้งหมดที่ได้รับจากการใช้ปัจจัยคงที่กับปัจจัยแปรผันในจำนวน หนึ่ง ซึ่งพบว่า เมื่อมีการเพิ่มปัจจัยแปรผันทีละหน่วยเข้าไปจะทำให้ ผลผลิตรวมเปลี่ยนแปลงไป การเปลี่ยนแปลงนั้นในช่วงแรกที่มีการเพิ่ม

ปัจจัยแปรผันเข้าไปทีละหน่วย ผลผลิตรวมจะเพิ่มขึ้นในอัตราที่เพิ่มขึ้น ต่อมาเมื่อเพิ่มปัจจัยแปรผันเข้าไปอีกทีละหน่วย ผลผลิตรวมจะเพิ่มขึ้น ในอัตราที่ลดลงเรื่อย ๆ จนถึงระดับที่ผลผลิตรวมสูงสุด และต่อมาถ้า หากเรายังเพิ่มปัจจัยแปรผันเข้าไปอีกจะส่งผลทำให้ผลผลิตรวมเริ่ม ลดลง ซึ่งทั้งหมดนี้เป็นไปตามกฎที่ว่าด้วยการใช้ปัจจัยการผลิตที่มี สัดส่วนไม่คงที่

ทฤษฎีแนวคิดเกี่ยวกับประสิทธิภาพการผลิต สามารถสรุปได้ ดังนี้คือ ความสามารถในการผลิตที่จะสามารถเพิ่มผลผลิตภายใต้ ทรัพยากรที่มีเท่าเดิม หรือความสามารถที่ประหยัดทรัพยากรลงได้โดย ผลผลิตยังคงผลิตได้จำนวนเท่าเดิม การวัดประสิทธิภาพการผลิตของ หน่วยผลิต มีจุดเริ่มต้นจากงานของ Farrell (1957) ที่กล่าวว่า ประสิทธิภาพของหน่วยผลิตจะประกอบด้วยประสิทธิภาพอยู่ 2 ด้าน คือ ประสิทธิภาพด้านเทคนิค (Technical Efficiency) และประสิทธิภาพ ด้านการจัดสรร (Allocative Efficiency) ประสิทธิภาพด้านเทคนิค เป็นความสามารถของหน่วยผลิตที่สามารถผลิตผลผลิตให้ได้มากที่สุด ภายใต้ทรัพยากรที่มีอยู่อย่างจำกัดนั้น ส่วนประสิทธิภาพด้านการ จัดสรร จะเป็นความสามารถของหน่วยผลิตที่สามารถใช้ปัจจัยการผลิต ในสัดส่วนที่เหมาะสมกับเงื่อนไขของระดับราคาปัจจัยการผลิตที่ เกิดขึ้น (Hanhiran, 2005)

Thipbharos (2016) ได้อธิบายเพิ่มเติมว่า จากแนวคิดของ Farrell มีผลงานวิจัยมากมายเกือบทั่วโลก ศึกษาการวัดประสิทธิภาพทาง เทคนิคและความไม่มีประสิทธิภาพทางเทคนิคการผลิต ผลผลิตทาง การเกษตรโดยเฉพาะการผลิตข้าว อาจเป็นเพราะผู้วิจัยกำหนดนโยบาย ของแต่ละประเทศตระหนักถึงประโยชน์ ของตัวแบบ SFA ในด้านเครื่องมือที่มีความน่าเชื่อถือมากที่สุด และเพื่อให้บรรลุจุดประสงค์ ที่ต้องการ คือ ให้ผู้ผลิตหรือเกษตรกรในประเทศของตนสามารถลดต้นทุน การผลิต (สามารถจัดสรรปัจจัยการผลิตอย่างมีประสิทธิภาพ) และเพิ่ม ผลผลิตที่เป็นไปได้ภายใต้การใช้ปัจจัยการผลิตที่มีให้น้อยที่สุด ในงานวิจัย นี้จึงได้เลือกใช้การวัดประสิทธิภาพทางเทคนิคด้วยตัวแบบวิเคราะห์ ขอบเขตเชิงพื้นที่ Stochastic Frontiers Analysis (SFA) ซึ่งเป็นวิธีการ คำนวณทางเศรษฐมิติโดยการประมาณค่าพารามิเตอร์ด้วยวิธีการ Maximum Likelihood วิธีการนี้ถูกนำเสนอในปี ค.ศ.1977 โดย Aigner et al. (1977); Meeusen & Van den Broeck (1977) โดยที่ตัวแบบจำลอง SFA สามารถกำหนดให้ควมไม่มีประสิทธิภาพเชิงเทคนิค (Technical Efficiency, TE) เป็นส่วนประกอบตัวหนึ่งของค่าความคลาดเคลื่อนหรือ Error Term หรือ Residual ของสมการ งานวิจัยที่ใช้ตัวแบบ SFA เช่น การศึกษาประสิทธิภาพการผลิตข้าวในเขตจังหวัดหวัดตะวันออกในปี 2561 ของ Melati & Mayninda (2020) การศึกษาประสิทธิภาพทาง เศรษฐกิจของการผลิตข้าว ในรัฐโอฮู ประเทศไนจีเรียของ Aboaba (2020) รวมถึงเรื่องการประเมินประสิทธิภาพทางเทคนิคของการผลิตข้าว และปัจจัยที่ส่งผลต่อประสิทธิภาพทางเทคนิคการผลิตข้าวในเมือง Jhapa เขต Terai ซึ่งเป็นพื้นที่การผลิตข้าวสูงที่สุดในประเทศเนปาลของ Subedi et al. (2020) ส่วนงานวิจัยของไทย เช่น Uttarapong (2015) ทำการ วิเคราะห์ประสิทธิภาพทางเทคนิคของการผลิตข้าวในอำเภอพร้าว จังหวัด เชียงใหม่ Rayasawath (2018) ทำการวิเคราะห์ประสิทธิภาพเชิงเทคนิค ของการผลิตข้าวในจังหวัดนครราชสีมา และ Somkham & Wana (2020) การวิเคราะห์ประสิทธิภาพเชิงเทคนิคของการผลิตข้าวของเกษตรกรใน พื้นที่จังหวัดชัยนาท เป็นต้น

กรอบแนวคิดในการวิจัย

แสดงดัง Figure 1

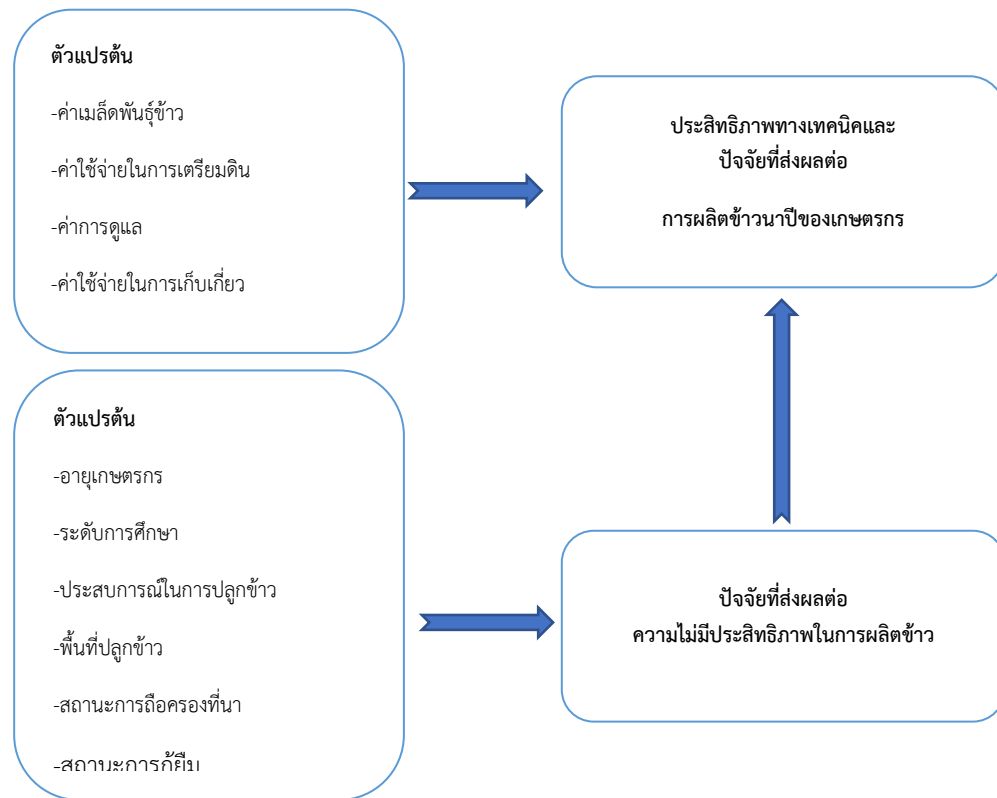


Figure 1 Research Conceptual Framework.

วิธีการวิจัย

1) การเก็บรวบรวมข้อมูล ใช้ข้อมูลปฐมภูมิ (Primary Data) เป็นการรวบรวมข้อมูลจากการเก็บแบบสอบถามจากตัวแทนครัวเรือนเกษตรกรผู้ปลูกข้าวนาปี ปีการผลิต 2562/63 จังหวัดเชียงรายมีครัวเรือนเกษตรกรที่ปลูกข้าวนาปีทั้งสิ้น 124,225 ครัวเรือนจากทั้งหมด 18 อำเภอ เป็นข้อมูลจากศูนย์เทคโนโลยีสารสนเทศและการสื่อสาร กรมวิชาการเกษตร (The Information and Communication Technology Center Department of Agriculture, 2019) ทำการเก็บรวบรวมข้อมูลโดยใช้แบบสอบถามที่สร้างขึ้นมาครอบคลุมเนื้อหาตามวัตถุประสงค์ที่กำหนดไว้

2) ประชากรและกลุ่มตัวอย่าง ประชากรที่ศึกษาครั้งนี้คือครัวเรือนเกษตรกรที่ปลูกข้าวนาปีทั้งสิ้น 124,225 ครัวเรือน ผู้วิจัยทำ

การคัดเลือกกลุ่มตัวอย่างจากประชากรโดยทำการสุ่มตัวอย่างแบบหลายขั้นตอน (Multi-stage Cluster Sampling) เริ่มจากการสุ่มตัวอย่างแบบแบ่งกลุ่ม (Cluster Random Sampling) แยกตามรายอำเภอ โดยเรียงลำดับจำนวนครัวเรือนเกษตรกรที่ปลูกข้าวนาปีมากที่สุด 3 ลำดับแรกจาก 18 อำเภอ ได้แก่ 1) อำเภอพาน 2) อำเภอเมืองเชียงราย และ 3) อำเภอเทิง ทำการกำหนดขนาดตัวอย่างโดยใช้ตารางสำเร็จรูปของเครจซี่และมอร์แกน (Krejcie & Morgan, 1970) แล้วกำหนดสัดส่วนแยกรายอำเภอ ใช้ระดับความคลาดเคลื่อนที่ยอมรับได้ที่ร้อยละ 10 หรือระดับความเชื่อมั่นที่ร้อยละ 90 จึงได้ครัวเรือนเกษตรกรใน 3 อำเภอ ๆ ละ 100 ครัวเรือน รวมทั้งสิ้น 300 ครัวเรือน ดัง Table 1

Table 1 Number of farming households and cultivated area, classified by in-season paddy production, distributed across districts *

No.	District	Field area (rai)	Households	Sample size (Confidence level at 90 %)
	Chiang Rai Province	1,327,864.97	124,225	
1	Phan	164,994.15	14,786	100
2	Muang Chiang Rai	153,554.00	14,272	100
3	Thoeng	138,588.06	12,554	100

* Modified data tables from the Information and Communication Technology Center Department of Agriculture (2019).

3) การวิเคราะห์ข้อมูล ข้อมูลทั่วไปของเกษตรกรใช้การวิเคราะห์โดยสถิติเชิงพรรณนาในรูปของความถี่ (Frequency) ค่าเฉลี่ย

(Mean) ร้อยละ (%) และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard Deviation) ส่วนค่าใช้จ่ายและต้นทุนเป็นการวิเคราะห์ต้นทุนการผลิต

ข้าวคำนวณเฉพาะรายการต้นทุนที่เป็นเงินสดเท่านั้น ด้านการวิเคราะห์ประสิทธิภาพทางเทคนิคในการผลิตข้าวนาปีของเกษตรกร ใช้วิธีการศึกษาเส้นพรมแดนการผลิต (Production Frontier) ประมาณค่าสมการพรมแดนด้วยตัวแบบวิเคราะห์ขอบเขตเชิงพื้นที่ Stochastic Frontiers Analysis (SFA) ด้วยการประมาณค่าแบบ Maximum Likelihood พร้อมทั้งประเมินปัจจัยที่คาดว่าจะส่งผลต่อความมีประสิทธิภาพทางเทคนิคในการผลิตข้าวนาปีของเกษตรกร โดยแปลงค่าให้อยู่ในรูป Natural Logarithm และประเมินความไม่มี

ประสิทธิภาพทางเทคนิคในการผลิตข้าวนาปีของเกษตรกร จากสมการการผลิตที่ประมาณค่าได้จากค่า Residual ของสมการ

ดังนั้น การวิเคราะห์ประสิทธิภาพทางเทคนิคการผลิตข้าวนาปีของเกษตรกรจึงสามารถเขียนแบบจำลองเส้นขอบเขตเชิงพื้นที่เพื่อหาเส้นพรมแดนการผลิตข้าวของเกษตรกร โดยแบบจำลองได้ใช้ตัวแปรต้นที่มีหน่วยประเมินเป็นมูลค่าเฉลี่ยต่อไร่ และตัวแปรตามเป็นผลผลิตข้าวนาปีเฉลี่ยต่อไร่ ดังเช่นงานวิจัยของ Billah (2022) Hakim et al. (2020) และ Uttarapong (2015) เขียนสมการได้ดังนี้

$$\ln Y = \beta_0 + \beta_1 \ln ZPAYR + \beta_2 \ln PDINR + \beta_3 \ln CARER + \beta_4 \ln HVESR + \beta_5 \ln FACTOR + \nu_1 \ln INOUT + (\nu - u)$$

กำหนดให้

$\ln Y$	= natural logarithm ของปริมาณผลผลิตข้าว (กิโลกรัม/ไร่)
$\ln ZPAYR$	= natural logarithm ของค่าเมล็ดพันธุ์ข้าว (บาท/ไร่)
$\ln PDINR$	= natural logarithm ของค่าใช้จ่ายในเตรียมดินแปลงนาข้าว (บาท/ไร่)
$\ln CARER$	= natural logarithm ของค่าใช้จ่ายในการดูแลแปลงนาข้าว (บาท/ไร่)
$\ln HVESR$	= natural logarithm ของค่าใช้จ่ายในการเก็บเกี่ยวผลผลิตข้าว (บาท/ไร่)
$\ln FACTOR$	= natural logarithm ของค่าใช้จ่ายปัจจัยการผลิตข้าว (บาท/ไร่)
$\ln INOUT$	= ตัวแปรหุ่นที่แสดงถึงพื้นที่เขตชลประทาน โดยที่ 1 = พื้นที่ในเขตชลประทาน และ 0 = พื้นที่นอกเขตชลประทาน
β และ ν	= ค่าพารามิเตอร์ β
ν	= ค่าความคลาดเคลื่อนที่ไม่สามารถควบคุมได้ เช่น สภาพอากาศ อุณหภูมิ ปริมาณน้ำฝน เป็นต้น
u	= ค่าความคลาดเคลื่อนที่สามารถควบคุมได้ เช่น การใช้อุปกรณ์ เทคโนโลยี ปริมาณน้ำ ปุ๋ย เป็นต้น

4) การวิเคราะห์ความไม่มีประสิทธิภาพเชิงเทคนิค (Technical Inefficiency, TI) กำหนดแบบจำลองที่ใช้ในการประมาณค่าเป็นแบบจำลองเชิงเส้นตรง แล้วใช้การวิเคราะห์ถดถอยพหุคูณ (Multiple Regression Analysis) ด้วยวิธีกำลังสองน้อยที่สุด (Ordinary Least

Square: OLS) ซึ่งกำหนดให้ความไม่มีประสิทธิภาพทางเทคนิคในการผลิตข้าวของเกษตรกรแต่ละรายเป็นตัวแปรตาม ประกอบด้วยตัวแปรอิสระ 7 ตัวแปร แสดงในแบบจำลอง ดังนี้

$$TI = \mu + \delta_1 \ln AGE + \delta_2 \ln EDU + \delta_3 \ln YEAR + \delta_4 \ln LAND + \delta_5 \ln OWN + \delta_6 \ln LOAN + \delta_7 \ln PART + \delta_8 \ln GROUP + e$$

กำหนดให้

AGE	= อายุของเกษตรกร (ปี)
EDU	= ระดับการศึกษา (ประถมศึกษา มัธยมศึกษาตอนต้น มัธยมศึกษาตอนปลาย/ปวช. อนุปริญญา/ปวส. และ ปริญญาตรี)
YEAR	= ประสบการณ์ในการปลูกข้าว (ปี)
LAND	= พื้นที่ปลูกข้าว (ไร่)
OWN	= สถานะการถือครองที่ดิน
LOAN	= ตัวแปรหุ่นที่แสดงถึงการหนี้สิน โดยที่ 1 = มีหนี้สิน และ 0 = ไม่มีหนี้สิน
PART	= ตัวแปรหุ่นที่แสดงถึงการทำอาชีพเสริม โดยที่ 1 = มีอาชีพเสริม และ 0 = ไม่มีอาชีพเสริม
GROUP	= ตัวแปรหุ่นที่แสดงถึงการเป็นสมาชิกกลุ่มเกษตรกร โดยที่ 1 = เป็นสมาชิกกลุ่ม และ 0 = ไม่ได้เป็นสมาชิกกลุ่ม
μ และ δ	= ค่าพารามิเตอร์
e	= ค่าความคลาดเคลื่อน

ผลและวิจารณ์ผลการวิจัย

ข้อมูลทั่วไปของเกษตรกรผู้ปลูกข้าว

จากกลุ่มตัวอย่างผู้ตอบแบบสอบถาม 300 คน เป็นเพศชาย 244 คนและเพศหญิง 76 คน อายุเฉลี่ยของเกษตรกรส่วนใหญ่ประมาณ 51.87 ปี ระดับการศึกษาส่วนใหญ่อยู่ในระดับประถมศึกษามากที่สุด เกษตรกรส่วนใหญ่มีการทำอาชีพเสริม อาชีพเสริมส่วนใหญ่จะเป็นการรับจ้าง เกษตรกรมีสถานะการเป็นสมาชิกกลุ่มอย่างน้อย 1 กลุ่ม และส่วนใหญ่มีภาระหนี้สินในการปลูกข้าวคิดเป็นร้อยละ 70.00 ส่วนใหญ่มีประสบการณ์ในการปลูกข้าวในช่วง 21 – 30 ปี หรือจากเกษตรกรทั้งหมดมีประสบการณ์ในการปลูกข้าวเฉลี่ยประมาณ 26.18

ปี เกษตรกรมีพื้นที่ทำนาส่วนใหญ่อยู่ระหว่าง 3.1 – 6 ไร่ หรือจากเกษตรกรทั้งหมดจะมีพื้นที่เฉลี่ยประมาณ 10.42 ไร่ การถือครองที่ดินส่วนใหญ่เกษตรกรเป็นเจ้าของเองมากถึงร้อยละ 69.00 และอยู่ในบริเวณพื้นที่ชลประทานคิดเป็นร้อยละ 61.33 พันธุ์ข้าวที่ปลูกของเกษตรกรส่วนใหญ่คือพันธุ์ กข 6 คิดเป็นร้อยละ 78.33 รองลงมาคือข้าวดอกมะลิ 105 และเป็นการปลูกผสมผสานระหว่างพันธุ์ต่าง ๆ

เมื่อศึกษาข้อมูลเกี่ยวกับต้นทุนการปลูกข้าวและผลตอบแทนที่ได้รับของเกษตรกรผู้ปลูกข้าวในจังหวัดเชียงราย พบว่า เมล็ดพันธุ์ข้าวที่เกษตรกรใช้ปลูกเฉลี่ยอยู่ที่ 16.84 กิโลกรัมต่อไร่ มีต้นทุนรวมในการปลูกข้าวเฉลี่ยประมาณ 2,665.35 บาทต่อไร่ ส่วนใหญ่จะเป็นค่าปัจจัย

ที่ใช้ในการผลิต ผลผลิตข้าวที่เกษตรกรได้รับนั้นอยู่ในช่วง 501 – 650 กิโลกรัมต่อไร่ หรือเฉลี่ยประมาณ 640.24 กิโลกรัมต่อไร่ และราคาในปีการผลิต 2562/2563 ที่ได้รับเฉลี่ยที่ 9.09 บาทต่อกิโลกรัม ทำให้มีรายได้เฉลี่ยที่ 5,787.40 บาทต่อไร่ และหากคิดกำไรเฉลี่ยจากเกษตรกรทั้งหมดเท่ากับ 3,122.05 บาทต่อไร่

การวิเคราะห์ประสิทธิภาพทางเทคนิคการผลิตข้าวนาปีของเกษตรกร

จากแบบจำลองเส้นขอบเขตเชิงเส้นสุ่มเพื่อหาเส้นพรมแดนการผลิตข้าวของเกษตรกร ด้วยวิธี Stochastic Production Frontier ทั้งหมด 300 คน มาหาประสิทธิภาพทางเทคนิค โดยเบื้องต้นได้ค่าเฉลี่ย ค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน ค่าต่ำสุด และค่าสูงสุด ได้ผลดัง Table 1 ซึ่งจากตารางอธิบายได้ว่า ปริมาณผลผลิตข้าวเป็นตัวแปร

ตามซึ่งมีผลผลิตเฉลี่ยเท่ากับ 640.24 กิโลกรัมต่อไร่ ส่วนปัจจัยการผลิตต่าง ๆ ถูกกำหนดเป็นตัวแปรอิสระซึ่งเป็นส่วนของค่าใช้จ่ายในการผลิตข้าวของเกษตรกร ประกอบด้วย ค่าเมล็ดพันธุ์ข้าวมีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 289.33 บาท/ไร่ ค่าใช้จ่ายในการเตรียมดินมีค่าเฉลี่ย 923.42 บาท/ไร่ ค่าใช้จ่ายในการดูแลรักษา มีค่าเฉลี่ย 27.94 บาท/ไร่ ค่าใช้จ่ายในการเก็บเกี่ยวผลผลิต มีค่าเฉลี่ย 433.03 บาท/ไร่ ค่าใช้จ่ายปัจจัยการผลิต เช่น ปุ๋ยคอก ปุ๋ยเคมี ฮอร์โมน สารเคมีต่าง ๆ มีค่าเฉลี่ย 977.27 บาท/ไร่ ส่วนพื้นที่เขตชลประทานเป็นตัวแปรหุ่น ส่วนใหญ่เกษตรกรจะอยู่ในเขตชลประทาน 184 คน และนอกเขตชลประทาน 116 คน ข้อมูลดัง Table 2

Table 2 Statistical values of variables and estimation of the stochastic production frontier model of rice

Factors	Mean	Standard Deviation	Minimum	Maximum
Rice yield (kg/rai)	640.24	113.27	356.25	1,021.67
Rice seed cost (baht/rai)	289.33	152.57	59.38	960.00
Expenses for preparing soil (baht/rai)	923.42	383.21	100.00	3,500.00
Field maintenance cost (baht/rai)	27.94	58.97	0.00	500.00
Harvesting cost (baht/rai)	433.03	267.34	0.00	1,000.00
Cost of production factors (baht/rai)	977.27	562.55	35.09	3,351.00
Irrigation area (in the area - outside the area)	Explanatory Variable		-	-

Calculated with the Limdep version 8.0 program.

เมื่อทำการวิเคราะห์ประสิทธิภาพทางเทคนิคการผลิตข้าวนาปีของเกษตรกรจากแบบจำลองเส้นขอบเขตเชิงเส้นสุ่มจากสมการ จะได้ผลของค่าสัมประสิทธิ์ของตัวแปรที่ใช้ในการประมาณค่าแบบจำลองเส้นพรมแดนการผลิตข้าว ดัง Table 3 การพิจารณาผลการประมาณค่าสัมประสิทธิ์ เมื่อพิจารณาผลลัพธ์จากค่า Lambda และ Sigma แสดงให้เห็นว่าตัวแปร Lambda และ Sigma นั้นค่า t-ratio มีระดับนัยสำคัญทางสถิติที่ 0.00 และมีค่าสัมประสิทธิ์ที่ไม่เท่ากับศูนย์ แสดงว่า แบบจำลองนี้มีพรมแดนการผลิตเหมาะสมที่จะ

ใช้การวิเคราะห์โดยเส้นพรมแดนได้ และค่า Wald Test ซึ่งเป็นการทดสอบสมมติฐานที่กำหนดไว้คือ $H_0 = \beta_1 + \beta_2 + \beta_3 + \beta_4 + \beta_5 = 1$ ซึ่งในตารางนี้แสดงให้เห็นว่าค่า Chi-squared ที่คำนวณได้มีค่าสูงกว่าค่าวิกฤติ แสดงว่า สมการการผลิตนี้ไม่มีลักษณะเป็น constant returns to scale หรือไม่ได้อยู่ในช่วงของผลได้ต่อขนาดคงที่

Table 3 Maximum-likelihood estimates of the stochastic production frontier model for rice farmers

Factors	Coefficient	t-ratio
Constant	5.90770	42.593***
lnZPAYR	0.03649	2.291***
lnPDINR	-0.01947	-2.588***
lnCARER	0.02163	5.389***
lnHVESR	-0.00053	-0.110
lnFACTOR	0.07952	5.191***
INOUT	-0.02051	-1.146
Lambda	0.87136	2.936***
Sigma	0.14588	12.661***

Wald test of 1 linear restriction

Chi-squared = 581.88 Sig. level = 0.00000

Note: Calculated with the Limdep version 8.0 program., ** significance level is 0.05 or confidence level is 95 % and *** significance level is 0.01 or confidence level is 99 %.

การประมาณค่าแบบจำลองความมีประสิทธิภาพทางเทคนิคการผลิตข้าวของเกษตรกรสามารถอธิบายผลกระทบของปัจจัยต่าง ๆ ที่มีต่อปริมาณผลผลิตข้าวของเกษตรกร โดยพบว่าจากปัจจัยทั้งหมด 6 ปัจจัย มีปัจจัยที่ส่งผลต่อความมีประสิทธิภาพทางเทคนิคการผลิตข้าว คือ ค่าเมล็ด

พันธุ์ข้าว ค่าใช้จ่ายในการเตรียมดิน ค่าการดูแลรักษาและค่าปัจจัยการผลิต ทั้ง 4 ปัจจัยส่งผลต่อความมีประสิทธิภาพทางเทคนิคที่ระดับนัยสำคัญทางสถิติ 0.00 ซึ่งสามารถอธิบายผลจากตารางโดยอธิบายจากค่าสัมประสิทธิ์ที่มีค่าเป็นบวกได้ดังนี้ ค่าเมล็ดพันธุ์ข้าวมีค่าสัมประสิทธิ์

เท่ากับ 0.03649 หมายถึง ถ้ากำหนดให้ตัวแปรอื่น ๆ คงที่ หากค่าเมล็ดพันธุ์ข้าวเพิ่มขึ้นร้อยละ 1 จะทำให้ปริมาณผลผลิตข้าวเพิ่มขึ้นร้อยละ 0.03649 ค่าการดูแลรักษามีค่าสัมประสิทธิ์เท่ากับ 0.02163 หมายถึง ถ้ากำหนดให้ตัวแปรอื่น ๆ คงที่ หากค่าการดูแลรักษาข้าวเพิ่มขึ้นร้อยละ 1 จะทำให้ปริมาณผลผลิตข้าวเพิ่มขึ้นร้อยละ 0.02163 และค่าปัจจัยการผลิตมีค่าสัมประสิทธิ์เท่ากับ 0.07952 หมายถึง ถ้ากำหนดให้ตัวแปรอื่น ๆ คงที่ หากจ่ายค่าปัจจัยการผลิตเพิ่มขึ้นร้อยละ 1 จะทำให้ปริมาณผลผลิตข้าวเพิ่มขึ้นร้อยละ 0.07952 ส่วนปัจจัยที่มีค่าสัมประสิทธิ์เป็นลบ ได้แก่ ค่าใช้จ่ายในการเตรียมดิน ซึ่งอธิบายได้ว่า ค่าใช้จ่ายในการเตรียมดินมีค่าสัมประสิทธิ์เท่ากับ -0.01947 หมายถึง ถ้ากำหนดให้ตัวแปรอื่น ๆ คงที่ หากค่าใช้จ่ายในการเตรียมดินเพิ่มขึ้นร้อยละ 1 จะทำให้ปริมาณผลผลิตข้าวลดลงร้อยละ 0.01947 ส่วนค่าเก็บเกี่ยวผลผลิตและพื้นที่เขตชลประทานเป็นปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่อความมีประสิทธิภาพทางเทคนิคอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ

จาก Table 3 จะเห็นว่า ค่าสัมประสิทธิ์มีค่าทั้งบวกและลบ เมื่อรวมค่าสัมประสิทธิ์หรือค่าความยืดหยุ่นของปัจจัยการผลิตของสมการการผลิตในรูปแบบ Natural Logarithm มารวมกันจะได้ค่าผลตอบแทนต่อขนาดการผลิต (Returns to Scale) ซึ่งรวมกันแล้วได้เท่ากับ 0.09713 แสดงถึงการผลิตรัฐของเกษตรกรในจังหวัดเชียงรายอยู่ในระยะผลตอบแทนต่อขนาดลดลง (Decreasing Return to Scale) นั่นคือเมื่อเพิ่มค่าใช้จ่ายปัจจัยการผลิตต่าง ๆ ร้อยละ 1 จะทำให้ผลผลิตข้าว

เพิ่มขึ้นน้อยกว่าร้อยละ 1 หรืออาจกล่าวได้ว่า หากเพิ่มค่าใช้จ่ายปัจจัยการผลิตต่าง ๆ ในอัตราหนึ่ง ผลผลิตข้าวที่ได้จะเพิ่มขึ้นในอัตราที่ต่ำกว่าอัตรา การเพิ่มของค่าใช้จ่ายปัจจัยการผลิตนั้น

การประมาณค่าประสิทธิภาพทางเทคนิค (Technical Efficiency, TE)

จากการประมาณค่าประสิทธิภาพทางเทคนิคของเกษตรกรผู้ปลูกข้าวในจังหวัดเชียงรายครั้งนี้ ใช้เกณฑ์ในการประมาณค่าประสิทธิภาพทางเทคนิค 5 ระดับ ซึ่งจากการศึกษาพบว่า เกษตรกรผู้ปลูกข้าวอยู่ในระดับที่ 3 ถึง 5 โดยส่วนใหญ่เป็นเกษตรกรผู้ปลูกข้าวที่มีประสิทธิภาพการผลิตสูง (ระดับ 5 เมื่อ $0.9001 \leq TE \leq 1.000$) มีจำนวนทั้งสิ้น 235 คน หรือคิดเป็นร้อยละ 78.33 โดยมีค่าความมีประสิทธิภาพเฉลี่ยเท่ากับ 0.9320 รองลงมาเป็นเกษตรกรผู้ปลูกข้าวที่มีประสิทธิภาพการผลิตสูง (ระดับ 4 เมื่อ $0.8001 \leq TE \leq 0.9000$) มีจำนวน 58 คน หรือคิดเป็นร้อยละ 19.33 โดยมีค่าความมีประสิทธิภาพเฉลี่ยเท่ากับ 0.8734 ส่วนเกษตรกรผู้ปลูกข้าวที่มีประสิทธิภาพการผลิตปานกลาง (ระดับ 3 $0.6001 \leq TE \leq 0.8000$) มีเพียง 7 คน หรือคิดเป็นร้อยละ 2.34 เท่านั้น ดังนั้นจากจำนวนเกษตรกร 300 คน มีค่าความมีประสิทธิภาพเฉลี่ยเท่ากับ 0.9169 ต่ำสุดคือ 0.7235 และสูงสุดคือ 0.9752 ค่าความมีประสิทธิภาพเฉลี่ยเท่ากับ 0.9169 นี้ แสดงว่า เกษตรกรที่ทำการผลิตในปีการผลิต 2562/2563 ได้ผลผลิตข้าวต่ำกว่าระดับประสิทธิภาพสูงสุดที่ควรจะได้รับประมาณร้อยละ 8.31 ภายใต้เทคโนโลยีหรือปัจจัยการผลิตเดิมสามารถเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตขึ้นได้อีกร้อยละ 8.31 ดัง Table 4

Table 4 Technical efficiency level of rice farmers in Chiang Rai Province

Production Efficiency Level	Number of Farmers	%	Average	Standard Deviation	Minimum	Maximum
Maximum	235	78.33	0.9320	0.0175	0.9008	0.9752
High	58	19.33	0.8734	0.0235	0.8055	0.8991
Moderate	7	2.34	0.7726	0.0241	0.7235	0.7942
Total	300	100.0	0.9169	0.0373	0.7235	0.9752

Calculated with the Limdep version 8.0 program.

การวิเคราะห์ความไม่มีประสิทธิภาพทางเทคนิค (Technical Inefficiency, TI)

โดยใช้แบบจำลองเชิงเส้นตรงแล้วใช้การวิเคราะห์ถดถอยพหุคูณ (Multiple Regression Analysis) ด้วยวิธีการกำลังสองน้อยที่สุด (Ordinary Least Square: OLS) ประกอบด้วยตัวแปรอิสระ 8 ตัวแปร ดัง Table 5 จึงเป็นผลของปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่อความไม่มีประสิทธิภาพทางเทคนิคในการผลิตข้าวของเกษตรกร การพิจารณาว่า

Model test: F หรือสถิติ F เป็นค่าสถิติที่ใช้ทดสอบค่าสัมประสิทธิ์ในการอธิบายตัวแปรตาม จะเห็นว่า $F [8, 290] = 4.21$ และมีค่า Prob value = 0.00004 แสดงว่า ค่า F ที่คำนวณได้มีค่าสูงกว่าค่าวิกฤตหมายความว่า ตัวแปรอิสระที่อยู่ในแบบจำลองสามารถอธิบายตัวแปรตามได้อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

Table 5 Estimated coefficients of technical inefficiency in rice production among sampled farmers

Factors	Coefficient	t-ratio
Constant	0.13750	2.259**
lnAGE	-0.02213	-1.291
lnEDU	-0.01990	-1.523**
lnYEAR	-0.01282	-1.142**
lnLAND	-0.00836	-2.890***
lnOWN	-0.00297	-0.637
LOAN	-14.13463	-2.893***
PART	5.37886	0.951
GROUP	-18.38935	-2.380**

Model test: F [8, 290] = 4.21 Prob value = 0.00004

Calculated with the Limdep version 8.0 program., ** significance level is 0.05 or confidence level is 95 % and *** significance level is 0.01 or confidence level is 99 %

ผลการศึกษาใน Table 5 พบว่า ตัวแปรที่ส่งผลต่อความไม่มีประสิทธิภาพทางเทคนิคในการผลิตข้าวของเกษตรกรอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น ร้อยละ 99 ได้แก่ พื้นที่ปลูกข้าวและภาระหนี้สิน ส่วนตัวแปรที่ส่งผลต่อความไม่มีประสิทธิภาพทางเทคนิคในการผลิตข้าวของเกษตรกรอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ความเชื่อมั่น ร้อยละ 95 ได้แก่ ระดับการศึกษา ประสบการณ์ในการปลูกข้าวและการเป็นสมาชิกกลุ่มเกษตรกร ซึ่งสามารถอธิบายผลได้ดังนี้ พื้นที่ปลูกข้าวส่งผลต่อความไม่มีประสิทธิภาพทางเทคนิคในการผลิตข้าว โดยมีค่าสัมประสิทธิ์เท่ากับ -0.00836 หมายความว่า หากเกษตรกรมีพื้นที่ปลูกข้าวเพิ่มขึ้นร้อยละ 1 จะส่งผลให้ความไม่มีประสิทธิภาพทางเทคนิคในการผลิตข้าวลดลงร้อยละ 0.00836 ส่วนภาระหนี้สินส่งผลต่อความไม่มีประสิทธิภาพทางเทคนิคในการผลิตข้าว โดยมีค่าสัมประสิทธิ์เท่ากับ -14.13463 และมีเครื่องหมายเป็นลบ หมายความว่า หากเกษตรกรมีภาระหนี้สินเพิ่มขึ้นร้อยละ 1 จะส่งผลให้ความไม่มีประสิทธิภาพทางเทคนิคในการผลิตข้าวลดลงร้อยละ 14.13463 ต่อมาคือ ระดับการศึกษา ระดับการศึกษาส่งผลต่อความไม่มีประสิทธิภาพทางเทคนิคในการผลิตข้าว โดยมีค่าสัมประสิทธิ์เท่ากับ -0.01990 โดยมีเครื่องหมายเป็นลบ หมายความว่า หากเกษตรกรมีการศึกษาเพิ่มขึ้นร้อยละ 1 จะส่งผลให้ความไม่มีประสิทธิภาพทางเทคนิคในการผลิตข้าวลดลงร้อยละ 0.01990 ประสบการณ์ในการปลูกข้าวส่งผลต่อความไม่มีประสิทธิภาพทางเทคนิคในการผลิตข้าว โดยมีค่าสัมประสิทธิ์เท่ากับ -0.01282 หมายความว่า หากเกษตรกรมีประสบการณ์ในการปลูกข้าวเพิ่มขึ้นร้อยละ 1 จะส่งผลให้ความไม่มีประสิทธิภาพทางเทคนิคในการผลิตข้าวลดลงร้อยละ 0.01282 และการเป็นสมาชิกกลุ่มเกษตรกรส่งผลต่อความไม่มีประสิทธิภาพทางเทคนิคในการผลิตข้าว โดยมีค่าสัมประสิทธิ์เท่ากับ -18.38935 หมายความว่า หากเกษตรกรมีประสบการณ์ในการปลูกข้าวเพิ่มขึ้นร้อยละ 1 จะส่งผลให้ความไม่มีประสิทธิภาพทางเทคนิคในการผลิตข้าวลดลงมากถึงร้อยละ 18.38935 ส่วนอายุเกษตรกร สถานะการถือครองที่ดิน และการประกอบอาชีพเสริม เป็นตัวแปรที่ไม่มีนัยสำคัญทางสถิติต่อความไม่มีประสิทธิภาพทางเทคนิคในการผลิตข้าวของเกษตรกร

การประมาณค่าแบบจำลองสามารถอธิบายผลกระทบของปัจจัยต่าง ๆ ที่มีต่อปริมาณผลผลิตข้าวของเกษตรกร โดยมี ค่าเมล็ดพันธุ์ข้าว ค่าการดูแลรักษาและค่าปัจจัยการผลิตมีค่าสัมประสิทธิ์ที่ส่งผลต่อความมีประสิทธิภาพทางเทคนิคในทิศทางบวก นั่นหมายถึงเมื่อกำหนดให้ปัจจัยอื่น ๆ คงที่ หากเพิ่มปัจจัยดังกล่าวร้อยละ 1 จะทำให้ผลผลิตเพิ่มขึ้นตามไปด้วย ซึ่งปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่อปริมาณผลผลิตข้าวนี้ มีความสอดคล้องกับงานวิจัยของ Rayasawath (2018) ที่มีปัจจัยปริมาณเมล็ดพันธุ์ จำนวนแรงงานที่ใช้ในการผลิต Sansri et al. (2014) ที่มีปัจจัยปริมาณเมล็ดพันธุ์ ปริมาณปุ๋ยเคมีและงานวิจัยของ Somkham & Wana (2020) ที่มีปัจจัยเมล็ดพันธุ์ ปุ๋ย สารเคมี ปุ๋ยอินทรีย์ / กำจัดศัตรูพืช แรงงานคนและเครื่องจักรเป็นปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่อปริมาณผลผลิตข้าว นอกจากนี้ Subedi et al. (2020) ได้อธิบายแบบจำลองขอบเขตเชิงพื้นที่ พบว่า เมล็ดพันธุ์ ปุ๋ยเคมี แรงงานคนและกำลังรถไถเพิ่มขึ้นร้อยละ 1 ผลผลิตข้าวจะเพิ่มขึ้นร้อยละ 0.25 0.15 0.13 และ 0.21 ตามลำดับ และงานวิจัยของ Hakim et al. (2020) และ Aboaba (2020) ได้ทำการวิเคราะห์ขอบเขตเชิง

พื้นที่ (SFA) และแบบจำลองการถดถอยของโทบิตผลลัพธ์ของ SFA พบว่า ปัจจัยด้านเมล็ดพันธุ์ สารกำจัดวัชพืชและยาฆ่าแมลง ส่งผลกระทบอย่างมีนัยสำคัญต่อผลผลิตข้าว ชาวนาสามารถเพิ่มผลผลิตได้สูงสุด ด้วยต้นทุนขั้นต่ำที่ต่ำที่สุดเท่าที่จะเป็นไปได้ ซึ่งทั้งหมดนี้จะเห็นได้ว่า หากเพิ่มการใช้เมล็ดพันธุ์ให้มากขึ้น มีการดูแลรักษาดันข้าวตลอดกระบวนการผลิต เพิ่มปัจจัยการผลิตต่าง ๆ เช่น ปุ๋ยอินทรีย์ ปุ๋ยเคมี ฮอร์โมน หรือสารกำจัดศัตรูพืชต่าง ๆ เข้าไปจะส่งผลให้ปริมาณผลผลิตข้าวเพิ่มขึ้น ส่งผลต่อผลผลิตต่อไร่และรายได้ของเกษตรกรที่มากขึ้นตามไปด้วย แต่ทั้งนี้เกษตรกรควรหาแนวทางในการลดต้นทุนการผลิตในการใช้ปัจจัยให้คุ้มค่าและระมัดระวังให้มากที่สุด โดยคำแนะนำจากงานของ Phoungklang (2016) แนะนำให้ตรวจสอบแปลงนาก่อนการใช้ปุ๋ยเคมีและควรใช้อย่างถูกต้องเหมาะสม ไม่ใส่เกินความต้องการของพืชและดินเพื่อไม่ให้สิ้นเปลืองโดยเปล่าประโยชน์ ตรวจสอบแปลงนาก่อนฉีดพ่นสารป้องกันกำจัดศัตรูพืชและฉีดพ่นให้ถูกวิธีและในปริมาณที่เหมาะสม ควรใช้ร่วมกับสารชีวภาพเพื่อรักษาสมดุลธรรมชาติและประหยัดค่าใช้จ่าย ดังนั้นชาวนาควรให้ความสำคัญต่อแนวทางการบริหารจัดการที่เหมาะสมรวมทั้งคำนึงถึงปัจจัยด้านการผลิตเกี่ยวกับที่ดิน ทุน แรงงาน และผู้ประกอบการด้านการจัดการและดำเนินงานด้านการเงินและงบประมาณ ส่วนค่าใช้จ่ายในการเตรียมดินเป็นปัจจัยที่มีค่าสัมประสิทธิ์เป็นลบ หากมีค่าใช้จ่ายในการเตรียมดินเพิ่มขึ้นจะทำให้ปริมาณผลผลิตข้าวลดลงทั้งนี้อาจเป็นเพราะพื้นที่ทำนาของเกษตรกรส่วนใหญ่มีพื้นที่ไม่มากอยู่ระหว่าง 3 – 6 ไร่ ซึ่งการเตรียมดินก่อนปลูกสมาชิกในครัวเรือนสามารถทำกันเองได้ จึงมักจะไม่เสียค่าใช้จ่ายส่วนนี้ เพราะหากเพิ่มค่าใช้จ่ายในการเตรียมดินก็ทำให้เกิดต้นทุนเพิ่มขึ้นด้วย ซึ่งไม่เหมือนนาแปลงใหญ่ที่จะต้องจ้างรถหรือแรงงานในการเตรียมดินเตรียมแปลงปลูก

เมื่อพิจารณาการรวมค่าสัมประสิทธิ์หรือค่าความยืดหยุ่นของปัจจัยการผลิตของสมการการผลิตในรูปแบบ Natural Logarithm แสดงถึงการผลิตข้าวของเกษตรกรในจังหวัดเชียงรายอยู่ในระยะผลตอบแทนต่อขนาดลดลง (Decreasing Return to Scale) เมื่อเปรียบเทียบกับงานวิจัยอื่นทำให้ทราบว่า การปลูกข้าวในแต่ละปีการผลิตก็มีผลตอบแทนต่อขนาดลดลง ดังเช่นงานวิจัยของ Leksakon (2010) ที่ทำการวิเคราะห์ประสิทธิภาพเชิงเทคนิคการผลิตข้าวเจ้านาปรังของเกษตรกรในจังหวัดสุพรรณบุรี และ Sansri et al. (2014) ทำการศึกษาประสิทธิภาพการผลิตเชิงเทคนิคของการผลิตข้าวขาวดอกมะลิ 105 ในจังหวัดร้อยเอ็ด ซึ่งงานวิจัยที่กล่าวมาดังกล่าว เมื่อวิเคราะห์ค่าสัมประสิทธิ์รวมหรือค่าความยืดหยุ่นของปัจจัยการผลิตผลตอบแทนต่อขนาดลดลง เกษตรกรสามารถใช้เทคโนโลยีที่มีอยู่หรือปัจจัยการผลิตเดิมให้มีประสิทธิภาพได้ดีขึ้นได้ เช่น ดูแลการเพาะเมล็ดพันธุ์ข้าว การดูแลรักษาแปลงนา ดูแลน้ำ วัชพืช แมลงให้ดีกว่าเดิมได้ รวมถึงปัจจัยการผลิตที่ใช้ในแปลงนา ใช้ให้มีประสิทธิภาพถูกวิธี เหมาะสมกับช่วงเวลา เป็นต้น

ในการประมาณค่าประสิทธิภาพทางเทคนิค (Technical Efficiency, TE) ของเกษตรกรผู้ปลูกข้าวในจังหวัดเชียงรายครั้งนี้ ใช้เกณฑ์ในการประมาณค่าประสิทธิภาพทางเทคนิค 5 ระดับ จากการศึกษาพบว่า เกษตรกรผู้ปลูกข้าวมีประสิทธิภาพในการผลิตอยู่ในระดับปานกลางถึงระดับสูงสุด เมื่อหาค่าความมีประสิทธิภาพเฉลี่ยทั้ง

300 คน จะเท่ากับ 0.9169 แสดงว่า เกษตรกรที่ทำการผลิตในปีการผลิต 2562/2563 นี้ ได้ผลผลิตข้าวต่ำกว่าระดับประสิทธิภาพสูงสุดที่ควรจะได้รับประมาณร้อยละ 8.31 สอดคล้องกับ Rayasawath (2018) วิเคราะห์ประสิทธิภาพเชิงเทคนิคของการผลิตข้าวในจังหวัดนครราชสีมา พบว่า มีประสิทธิภาพเชิงเทคนิคการผลิตเฉลี่ยร้อยละ 91.67 และ Chayakool (2023) ศึกษาประสิทธิภาพเชิงเทคนิคและการเปลี่ยนแปลงผลผลิตภาพการผลิตในการปลูกข้าวของเกษตรกรรุ่นใหม่จังหวัดชัยนาท พบว่า เกษตรกรรุ่นใหม่มีค่าประสิทธิภาพการผลิตเชิงเทคนิคเฉลี่ย 0.8931 แสดงว่า เกษตรกรรุ่นใหม่ยังมีประสิทธิภาพการผลิตไม่เต็มที่ ซึ่งจากงานวิจัยของ Rayasawath (2018) Sansri et al. (2014) Srisompun et al. (2013) และ Uttarapong (2015) พบว่า ระดับค่าประสิทธิภาพทางเทคนิคจะอยู่ในช่วงปานกลางถึงระดับสูงสุด และการผลิตข้าวนี้ได้อาจได้ผลผลิตข้าวต่ำกว่าระดับประสิทธิภาพสูงสุดเช่นกัน ทั้งนี้ อาจเป็นเพราะเกษตรกรมีประสบการณ์ในการทำนานานทำให้ทำตามความเคยชินหรือปฏิบัติตามกันมา ทำตามคำแนะนำของเพื่อนบ้านที่บอกต่อ ๆ กันมา ซึ่งทำให้เกิดความมีประสิทธิภาพที่สูง แต่ก็ยังสามารถที่จะเพิ่มระดับประสิทธิภาพให้สูงสุดได้ เช่น การผลิตได้โดยการปรับปรุงปัจจัยการผลิตสำคัญ ๆ การปรับเปลี่ยนรูปแบบการใช้ปัจจัยการผลิตต่าง ๆ แรงงาน และการจัดการดูแลรักษาต้นข้าวตลอดกระบวนการ ดังที่กล่าวไว้ก่อนหน้านี้ รวมถึงเข้าร่วมกลุ่มเกษตรกร การอบรมพัฒนาทักษะจากแหล่งต่าง ๆ

สำหรับตัวแปรที่ส่งผลต่อความไม่มีประสิทธิภาพทางเทคนิคในการผลิตข้าวของเกษตรกรอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่สำคัญคือ พื้นที่ปลูกข้าว ภาระหนี้สิน ระดับการศึกษา ประสบการณ์ในการปลูกข้าว และการเป็นสมาชิกกลุ่มเกษตรกร เริ่มจากตัวแปรประสบการณ์ในการปลูกข้าว หากเพิ่มประสบการณ์ในการปลูกข้าวและพื้นที่ปลูกข้าวมากขึ้น จะส่งผลให้ความไม่มีประสิทธิภาพทางเทคนิคในการผลิตข้าวลดลง ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของดั่งเช่นงานวิจัยของ Somkham & Wana (2020) ที่ระบุว่า หากเกษตรกรมีประสบการณ์ในการผลิตข้าวเพิ่มขึ้น 1 ปี จะลดความไม่มีประสิทธิภาพลงได้ร้อยละ 0.649 สอดคล้องกับงานวิจัยของ Uttarapong (2015) ที่ระบุว่า ประสบการณ์ในการทำนาของหัวหน้าครัวเรือนเกษตรกร ตัวแปรประสบการณ์การเป็นสมาชิกองค์กรการเกษตร และตัวแปรประสบการณ์ของเกษตรกรผู้มีอำนาจในการตัดสินใจในครัวเรือน ส่งผลจะส่งผลให้ความไม่มีประสิทธิภาพทางเทคนิคลดลง เมื่อมีประสบการณ์เพิ่มขึ้น และมีความสัมพันธ์ในทิศทางเดียวกันกับความมีประสิทธิภาพเชิงกำไร ทั้งนี้การมีประสบการณ์ย่อมใช้เวลาลองผิดลองถูก การผ่านการอบรม การสั่งสมความรู้ให้เกิดความชำนาญในการประกอบอาชีพทำนามากขึ้นในทุก ๆ ฤดูการผลิต ส่วนพื้นที่ในการปลูกข้าวที่เพิ่มขึ้นจากงานวิจัยนี้จะส่งผลให้ความไม่มีประสิทธิภาพทางเทคนิคในการผลิตข้าวลดลง อาจจะเป็นเพราะเกษตรกรทั้ง 3 อำเภอมีพื้นที่ปลูกข้าวเป็นแปลงเล็กพื้นที่ไม่มากนัก เมื่อเพิ่มพื้นที่ขึ้นอาจจะทำให้เกิดการประหยัดจากขนาดจากการใช้ปัจจัยการผลิต เช่น ปุ๋ย สารเคมีต่าง ๆ รวมถึงสามารถใช้อุปกรณ์หรือนำเทคโนโลยีต่าง ๆ ทำให้เกิดประสิทธิภาพในการผลิตมากขึ้น และการมีประสบการณ์ที่สั่งสมมาก็ทำให้มีเทคนิควิธีการในการใช้ปัจจัยการผลิตเพื่อลดต้นทุนได้มากขึ้นด้วย เช่นเดียวกับ Kaka et al. (2016) ใช้แบบจำลองการถดถอยพหุคูณที่อิงตามฟังก์ชันกำไรของ

Stochastic Frontier ในรูปแบบข้อกำหนดของ Cobb-Douglas พบข้อเท็จจริงที่ว่า พื้นที่เพาะปลูกที่ใหญ่กว่าสามารถมีอรรถประโยชน์เชิงบวกต่อผลกำไร ชาวนาทำนาในพื้นที่ขนาดเล็กหากเพิ่มพื้นที่เพาะปลูกของพวกเขาจะช่วยเพิ่มกำไรในด้านอื่น ๆ หรืออีกทางหนึ่งการเพิ่มพื้นที่เพาะปลูกร้อยละ 10 จะทำให้กำไรที่ได้รับจากการผลิตข้าวเพิ่มขึ้นร้อยละ 1.346

ส่วนระดับการศึกษาหากเกษตรกรได้รับการศึกษาเพิ่มขึ้นจะส่งผลให้ความไม่มีประสิทธิภาพทางเทคนิคในการผลิตข้าวลดลง เช่นเดียวกับ Hakim et al. (2020) และ Aboaba (2020) พบว่า ยิ่งระดับการศึกษาสูงประสิทธิภาพทางเศรษฐกิจของชาวนาก็จะยิ่งสูงขึ้น ซึ่งหมายความว่าเกษตรกรที่ได้รับการศึกษาดีขึ้นจะมีประสิทธิภาพทางเศรษฐกิจ และที่เป็นเช่นนั้นเพราะว่า การศึกษาช่วยให้เกษตรกรสามารถนำแนวทางปฏิบัติที่เป็นนวัตกรรมมาใช้ได้ ในการผลิตข้าวซึ่งจะทำให้ผลผลิตเพิ่มขึ้นด้วยต้นทุนที่ลดลง และ Billah (2022) พบว่า ระดับการศึกษาช่วยลดความขาดประสิทธิภาพในการผลิตในการทำฟาร์มอย่างมีนัยสำคัญ การเข้าถึงทรัพยากรการศึกษาและการฝึกอบรมเป็นสิ่งสำคัญสำหรับการปรับปรุงประสิทธิภาพทางเทคนิคในการผลิตข้าว ซึ่งทั้งหมดนี้ การศึกษาการอบรมเพิ่มพูนความรู้จึงเป็นสิ่งที่ทำให้เกิดทักษะและเกิดประสบการณ์ในการแก้ปัญหาต่าง ๆ ที่เกิดขึ้นได้อย่างดี รวมถึงการรวมกลุ่มของเกษตรกรส่งผลให้ความไม่มีประสิทธิภาพทางเทคนิคในการผลิตข้าวลดลง ดังเช่นงานวิจัยของ Somkham & Wana (2020) ที่ระบุว่า หากเกษตรกรมีการเข้าร่วมเป็นสมาชิกองค์กรด้านการเกษตร จะลดความไม่มีประสิทธิภาพลงได้ร้อยละ 0.19 และหากเกษตรกรมีการเข้ารับการอบรมด้านการเพาะปลูก จะลดความไม่มีประสิทธิภาพลงได้ร้อยละ 0.32 และ Aboaba (2020) ระบุว่า การศึกษามุ่งเน้นไปที่ปัจจัยต่าง ๆ เช่น การเป็นสมาชิกในสมาคมเกษตรกร การเข้าถึงตลาดสาธารณะมีอิทธิพลในเชิงบวกต่อประสิทธิภาพทางเศรษฐกิจ เป็นต้น

ส่วนภาวะหนี้สินของเกษตรกร พบว่า หากเกษตรกรมีการกู้ยืมเงินนำมาใช้ในการทำนาปลูกข้าวส่งผลให้ความไม่มีประสิทธิภาพทางเทคนิคในการผลิตข้าวลดลง ดังเช่นผลการวิจัยของ Billah (2022) ได้อธิบายว่า ความพร้อมของสิ่งอำนวยความสะดวกด้านสินเชื่อมีความสำคัญทางสถิติในการอธิบายความไม่มีประสิทธิภาพของเกษตรกร และมีความสัมพันธ์ในทางลบกับความไร้ประสิทธิภาพทางเทคนิค การเพิ่มขึ้นของความพร้อมของเครดิตอาจลดความไร้ประสิทธิภาพในการผลิตข้าว การเข้าถึงเงินทุนผ่านสิ่งอำนวยความสะดวกในการกู้ยืมสามารถปรับปรุงประสิทธิภาพทางเทคนิคในการทำฟาร์มข้าวในบังกลาเทศได้ดีขึ้น และ Prayukvong (2018) อธิบายเกี่ยวกับสินเชื่อว่า เกษตรกรกลุ่มตัวอย่างทุกคนเคยได้รับการช่วยเหลือจากภาครัฐและโดยส่วนใหญ่มีหนี้สินกับ ธกส. สหกรณ์และ/หรือกองทุนหมู่บ้าน โดยมีสาเหตุที่ต้องกู้ยืมเพื่อเงินหมุนเวียนในการทำนาและค่าใช้จ่ายในการครองชีพ และงานวิจัยของ Srinuan & Nillbai (2021) อธิบายว่า ในปัจจุบันเกษตรกรต้องแบกรับภาระต้นทุนการผลิตสินค้าเกษตรที่เพิ่มขึ้น ทำให้ผลตอบแทนที่ได้รับไม่เพียงพอกับค่าจ่ายในครัวเรือน การเกิดภาระหนี้สิน หรือการวางแผนทางการเงินนั้น ทำให้ทราบถึงภาระค่าใช้จ่ายที่เกิดขึ้นว่า ในแต่ละช่วงครัวเรือนมีค่าใช้จ่ายที่จำเป็นจำนวนเท่าไร และรายจ่ายที่ไม่จำเป็นมากนักน้อยเพียงใด และนำมาสู่การวางแผนที่จะจัดการรายจ่ายส่วนนั้นให้ลดลงหรือหมดไป ดังนั้น

จะเห็นได้ว่าการที่ภาระหนี้สินเพิ่มขึ้นส่งผลให้ความไม่มีประสิทธิภาพทางเทคนิคในการผลิตข้าวเพิ่มขึ้นด้วยเพราะเกษตรกรต้องมีการจัดการวางแผนทางการเงินที่ขาดสภาพคล่องจากรายได้หรือรายจ่ายที่เกิดขึ้น

สรุปผลการวิจัย

ผลการวิเคราะห์ข้อมูลเบื้องต้นของเกษตรกร พบว่า ส่วนใหญ่เป็นเพศชาย อายุประมาณ 51.87 ปี จบการศึกษาระดับประถมศึกษา ส่วนใหญ่มีประสบการณ์ในการปลูกข้าวเฉลี่ยประมาณ 26.18 ปี และมีพื้นที่เพาะปลูกเฉลี่ยประมาณ 10.42 ไร่ต่อครัวเรือน ต้นทุนในการปลูกข้าวเฉลี่ยประมาณ 2,665.35 บาทต่อไร่ ส่วนใหญ่จะเป็นต้นทุนค่าปัจจัยที่ใช้ในการผลิต ผลผลิตข้าวที่เกษตรกรได้รับนั้นเฉลี่ยประมาณ 640.24 กิโลกรัมต่อไร่ และราคาผลผลิตเฉลี่ย 9.09 บาทต่อกิโลกรัม ทำให้มีรายได้เฉลี่ยที่ 5,787.40 บาทต่อไร่ และหากคิดกำไรเฉลี่ยจากเกษตรกรทั้งหมดเท่ากับ 3,122.05 บาทต่อไร่

เมื่อทำการวิเคราะห์ประสิทธิภาพทางเทคนิคการผลิตข้าวรายปีของเกษตรกรจากแบบจำลองเส้นขอบเขตเชิงเส้น การประมาณค่าแบบจำลองความมีประสิทธิภาพทางเทคนิคการผลิตข้าวของเกษตรกรพบว่า ปัจจัยการผลิต ทั้ง 4 ปัจจัยส่งผลต่อความมีประสิทธิภาพทางเทคนิค ปัจจัยที่ส่งผลต่อความมีประสิทธิภาพทางเทคนิคการผลิตข้าวทางบวก คือ ค่าเมล็ดพันธุ์ข้าว ค่าการดูแลรักษา และค่าปัจจัยการผลิต ส่วนปัจจัยที่มีค่าสัมประสิทธิ์เป็นลบ ได้แก่ ค่าใช้จ่ายในการเตรียมดิน และผลการวิจัยทำให้ทราบว่า การผลิตข้าวของเกษตรกรในจังหวัดเชียงรายอยู่ในระยะผลตอบแทนต่อขนาดลดลง (Decreasing Return to Scale) นั่นคือ เมื่อเพิ่มค่าใช้จ่ายปัจจัยการผลิตต่าง ๆ ไปร้อยละ 1 จะทำให้ผลผลิตข้าวเพิ่มขึ้นน้อยกว่าร้อยละ 1 หรืออาจกล่าวได้ว่า หากเพิ่มค่าใช้จ่ายปัจจัยการผลิตต่าง ๆ ในอัตราหนึ่ง ผลผลิตข้าวที่ได้จะเพิ่มขึ้นในอัตราที่ต่ำกว่าอัตราการเพิ่มของค่าใช้จ่ายปัจจัยการผลิตนั้น

การประมาณค่าประสิทธิภาพทางเทคนิค (Technical Efficiency, TE) จากการประมาณค่าประสิทธิภาพทางเทคนิคของเกษตรกรผู้ปลูกข้าวในจังหวัดเชียงรายครั้งนี้ ใช้เกณฑ์ในการประมาณค่าประสิทธิภาพทางเทคนิค 5 ระดับ ซึ่งจากการศึกษาพบว่า เกษตรกรผู้ปลูกข้าวอยู่ในระดับที่ 3 ถึง 5 โดยส่วนใหญ่มีประสิทธิภาพการผลิตสูงสุด มีจำนวนทั้งสิ้น 235 คน หรือคิดเป็นร้อยละ 78.33 ดังนั้น จากจำนวนเกษตรกร 300 คน ค่าความมีประสิทธิภาพเฉลี่ยเท่ากับ 0.9169 ค่าความมีประสิทธิภาพเฉลี่ยนี้ แสดงว่า เกษตรกรที่ทำการผลิตในปีการผลิต 2562/2563 นี้ ได้ผลผลิตข้าวต่ำกว่าระดับประสิทธิภาพสูงสุดที่ควรจะได้รับประมาณร้อยละ 8.31 หรือภายใต้เทคโนโลยีหรือปัจจัยการผลิตเดิมสามารถเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตขึ้นได้อีกร้อยละ 8.31

การวิเคราะห์ความไม่มีประสิทธิภาพทางเทคนิค (Technical Inefficiency, TI) พบว่า ตัวแปรที่ส่งผลต่อความไม่มีประสิทธิภาพทางเทคนิคในการผลิตข้าวของเกษตรกรอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ได้แก่ พื้นที่ปลูกข้าว ภาระหนี้สิน ระดับการศึกษา ประสบการณ์ในการปลูกข้าว และการเป็นสมาชิกกลุ่มเกษตรกร ทั้งห้าตัวแปรนี้ส่งผลต่อความไม่มีประสิทธิภาพทางเทคนิคในการผลิตข้าว โดยมีค่าสัมประสิทธิ์มีเครื่องหมายเป็นลบ ส่วนอายุ สถานะการถือครองที่นา และการ

ประกอบอาชีพเสริม เป็นตัวแปรที่ส่งผลต่อความไม่มีประสิทธิภาพทางเทคนิคในการผลิตข้าวของเกษตรกรอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ

จากผลการศึกษา ผู้วิจัยจึงมีข้อเสนอแนะสำหรับผลการวิจัยที่ได้ดังนี้

1. ค่าเมล็ดพันธุ์ข้าว ค่าการดูแลรักษา และค่าปัจจัยการผลิต มีค่าสัมประสิทธิ์ที่ส่งผลต่อความมีประสิทธิภาพทางเทคนิคในทิศทางบวก หากเกษตรกรมีการใช้พันธุ์ข้าวที่ดี มีการดูแลรักษาต้นข้าวตลอดกระบวนการผลิตที่ดี การใช้ปัจจัยการผลิตต่าง ๆ เช่น ปุ๋ยอินทรีย์ ปุ๋ยเคมี ฮอร์โมน และสารกำจัดศัตรูข้าวต่าง ๆ ที่ถูกต้องตามกระบวนการ ร่วมกับการใช้เทคโนโลยีที่ดีที่เหมาะสม อาจช่วยลดปัญหาผลตอบแทนต่อขนาดลดลงได้ การเพิ่มปัจจัยเหล่านี้เข้าไปจะส่งผลให้ปริมาณผลผลิตข้าวเพิ่มขึ้น และศัตรูข้าวลดลง ส่งผลต่อผลผลิตต่อไร่และรายได้ของเกษตรกรที่มากขึ้น

2. ประสบการณ์ในการปลูกข้าว การศึกษา และการเป็นสมาชิกของกลุ่มเกษตรกร ปัจจัยเหล่านี้เป็นตัวแปรสำคัญที่ส่งผลต่อการลดความไม่มีประสิทธิภาพทางเทคนิคในการผลิตข้าวของเกษตรกร ดังนั้นควรมีการส่งเสริมให้เกษตรกรได้ศึกษาองค์ความรู้เพิ่มเติม ในแง่ของการดูแลรักษาข้าว การใช้ปัจจัยการผลิตให้คุ้มค่ามากขึ้น รวมถึงกระบวนการเก็บเกี่ยวที่ไม่ก่อให้เกิดการสูญเสีย และการรวมกลุ่มแลกเปลี่ยนประสบการณ์ระหว่างเกษตรกรที่ประสบความสำเร็จ เป็นต้น

3. การเงินหรือภาระหนี้สิน ยังคงเป็นปัจจัยที่มีส่วนในการพัฒนาประสิทธิภาพทางเทคนิคในการผลิตข้าว ซึ่งหน่วยงานของรัฐควรพิจารณาในเรื่องการกู้ยืม การช่วยเหลือหรือการแบ่งเบาภาระของเกษตรกร เงื่อนไขที่เอื้ออำนวยและสอดคล้องกับฤดูกาลผลิตข้าวและหากมีการวิจัยต่อไปที่อาจจะเป็นประโยชน์ต่อการพัฒนาการผลิตข้าว สามารถเน้นการวิเคราะห์ประสิทธิภาพทางเทคนิคที่จะใช้วัดประสิทธิภาพเปรียบเทียบระหว่างจังหวัด หรือในระดับภาค หรืออาจเน้นการระบุพันธุ์ข้าวแต่ละชนิด และในการวิเคราะห์อาจจะเน้นตัวแปรเชิงลึกเกี่ยวกับอุณหภูมิ ปริมาณน้ำฝน หรือชนิดของดิน เพื่อให้ได้ประโยชน์ในการศึกษามากขึ้น

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณ คณะวิทยาการจัดการ มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงราย ที่ให้การส่งเสริมและสนับสนุนทุนวิจัยในครั้งนี้ และขอขอบพระคุณเกษตรกรผู้ปลูกข้าวทั้ง 3 อำเภอ ที่ได้ให้การต้อนรับและให้ความร่วมมือในการตอบแบบสอบถาม ตลอดจนขอขอบพระคุณผู้ทรงคุณวุฒิที่ให้คำแนะนำและตรวจคุณภาพแบบสอบถามเพื่อความสมบูรณ์ของข้อมูล จนทำให้การวิจัยครั้งนี้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

References

- Aboaba, K. (2020). Economic Efficiency of rice farming: a stochastic frontier analysis approach. *Journal of Agribusiness and Rural Development*, 58(4), 423-435. doi: 10.17306/J.JARD.2020.01377
- Aigner, D., Lovell, C. A. K., & Schmidt, P. (1977). Formulation and estimation of stochastic frontier production function models. *Journal of Economics*, 6(1), 21-37.

- doi: 10.1016/0304-4076(77)90052-5
- Billah, A. (2022). Measurement of technical efficiency of paddy farms at Jhenaidah district in Bangladesh: a case study by using Cobb Douglas production function. *Journal of Pharmaceutical Negative Results*, 13(4), 652-658. doi: 10.47750/pnr.2022.13.04.087
- Chayakool, J. (2023). A study of technical efficiency and productivity changes in rice cultivation of young smart farmers in Chainat Province. Accessed April 1, 2024. Retrieved from <https://research.nabc.go.th/home/research-view/187>. (in Thai)
- Chiang Rai Provincial Social Development and Human Security Office. (2021). *Report on the social situation in Chiang Rai Province 2021*. Accessed July 20, 2023. Retrieved from https://www.msociety.go.th/ewtadmin/ewt/mso_web/download/article/article_20211110150503.pdf. (in Thai)
- Digital Government Development Agency Public Organization (DGA). (2020). *Resource information: Rice production information*. Accessed July 20, 2023. Retrieved from <https://data.go.th/th/dataset/datasetoe-1104>. (in Thai)
- Farrell, M. J. (1957). The Measurement of productive efficiency. *Journal of the Royal Statistical Society, Series A (General)*, 120(3), 253-290. doi: 10.2307/2343100
- Hakim, R., Haryanto, T., & Sari, D. W. (2020). Analysis of factors affecting the technical efficiency of rice farming in East Java Province. *Jurnal Ekonomi Pembangunan*, 18(2), 123-135. doi: 10.22219/jep.v18i2.12808
- Hanhiran, S. (2005). *Concepts and measurement of production efficiency in economics*. Bangkok, Thailand: Office of Industrial Economics. (in Thai)
- Jaima, W. (2016). *Producer behavior*. In: K. Kittikhun (Ed.). *Microeconomics 1* (pp.147-173). Bangkok: Chulalongkorn University Press. (in Thai)
- Kaka, Y., Shamsudin, M. N., Radam, A., & Latif, I. A. (2016). Profit efficiency among paddy farmers: a Cobb-Douglas stochastic frontier production function analysis. *Journal of Asian Scientific Research*, 6(4), 66-75. doi: 10.18488/journal.2/2016.6.4/2.4.66.75
- Krejcie, R. V., & Morgan, D. W. (1970). Determining sample size for research activities. *Educational and Psychological Measurement*, 30(3), 607-610. doi: 10.1177/001316447003000308
- Leksakon, A. (2010). *An analysis of technical efficiency for the off- season paddy field production of farmers in Suphan Buri Province by stochastic production frontier* (Master's thesis). Bangkok, Thailand: Srinakharinwirot University. (in Thai)
- Meeusen, W., & Van Den Broeck, J. (1977). Efficiency estimation from Cobb-Douglas production functions with composed error. *International Economic Review*, 18(2), 435-444. doi: 10.2307/2525757
- Melati, F. C., & Mayninda, Y. P. (2020). Technical efficiency of rice production using the stochastic frontier analysis approach: case in East Java Province. *Ekulilibrium : Jurnal Ilmiah Bidang Ilmu Ekonomi*, 15(2), 170-179. doi: 10.24269/ekulilibrium.v15i2.2774
- Office of Agricultural Economics. (2022). *Report on agricultural economic conditions Chiang Rai Province: Agricultural economic situation in 2022 and trends in 2023, Chiang Rai Province*. Accessed October 22, 2023. Retrieved from https://www.opsmoac.go.th/chiangrai-article_prov-files-451891791798. (in Thai)
- Office of Agricultural Economics. (2019). *Table: Area used for agriculture by province, year 2019*. Accessed May 18, 2019. Retrieved from <https://www.oae.go.th/assets/portals/1/files/socio/LandUtilization2562.pdf>. (in Thai)
- Phoungklang, K. (2016). Guidelines for management of production costs for rice planting. *Kasetsart Applied Business Journal*, 10(13), 17-26. (in Thai)
- Prayukvong, W. (2018). Factor affecting rice yield of Suburb farmer: case study of Klong Hok Wah Region. *Srinakharinwirot Research and Development, Journal of Humanities and Social Sciences*, 10(19), 156-170. (in Thai)
- Rayasawath, C. (2018). Technical efficiency analysis of rice production in Nakhon Ratchasima. *NRRU Community Research Journal*, 12(2), 63-70. (in Thai)
- Sansri, B. O., Srisompun, O., Chitchamnong, S., & Siritrakulsak, P. (2014). Technical efficiency of Khao Dawk Mali 105 rice production in Roi-Et Province. *Khon Kaen Agriculture Journal*, 42(Suppl. 1), 136-141. (in Thai)
- Somkham, S., & Wana, C. (2020). Technical efficiency analysis of rice production of farmers in Chai-Nat. *Journal of Chandrakasemsarn*, 26(2), 279-296. (in Thai)
- Srinuan, S., & Nillbai, T. (2021). Factors affecting farmers debt: a case study of factors in Roi Et Province. *Ramkhamhaeng University Journal: Graduate School*, 4(3), 63-74. (in Thai)
- Srisompun, O., Chitchamnong, S., Simla, S., Sinsiri, N., & Sinsiri, W. (2013). Effect of management factors on glutinous rice

- production efficiency in Maha Sarakham. *Khon Kaen Agriculture Journal*, 41(Suppl. 1), 699 - 705. (in Thai)
- Subedi, S., Ghimire, Y. N., Kharel, M., Adhikari, S. P., Shrestha, J., & Sapkota, B. K. (2020). Technical efficiency of rice production in terai district of Nepal. *Journal of Agriculture and Natural Resources*, 3(2), 32-44. doi: 10.3126/janr.v3i2.32301
- The Information and Communication Technology Center Department of Agriculture. (2019). *Number of households in 2019*. Accessed May 18, 2019. Retrieved from <https://online.anyflip.com/oosfg/uidu/mobile/index.html>. (in Thai)
- Thipbharos, P. (2016). Technical efficiency approach of agricultural producers by stochastic frontier analysis. *Chiang Mai University Journal of Economics*, 20(2). 93-124. (in Thai)
- Uttarapong, S. (2015). Technical efficiency analysis of rice production in Phrao district, Chiang Mai. *Proceedings of the 6th graduate school, Suan Sunandha Rajabhat university* (pp. 464-472). Bangkok, Thailand: Suan Sunandha Rajabhat University. (in Thai)

Research article

The technical efficiency analysis of in-season paddy of farmers in Chiang Rai Province

Sasiwimon Puphoung*

Program in Business Economics, Faculty of Management Science, Chiang Rai Rajabhat University, Mueang District, Chiang Rai Province, 57100

ARTICLE INFO**Article history**

Received: 14 February 2024

Revised: 5 May 2024

Accepted: 6 May 2024

Online published: 20 May 2024

Keyword

Technical Efficiency

Technical Inefficiency

Rice Production

In-Season Paddy

ABSTRACT

The objective of this study is to analyze the technical efficiency of in-season paddy production by farmers in Chiang Rai Province, focusing on factors affecting both efficiency and inefficiency. A survey was conducted, and data were collected using questionnaires from representatives of 300 rice farmer households in three districts: 1) Phan district, 2) Mueang Chiang Rai district, and 3) Theing district. Efficiency was analyzed using the Stochastic Frontier Approach model (SFA). The study found that factors significantly affecting the technical efficiency of rice production include the cost of rice seeds, maintenance costs, production factors, and expenses for preparing the soil. Regarding the estimation of farmers' technical efficiency (TE), it was found that rice farmers exhibited production efficiency ranging from moderate to high levels, with an average technical production efficiency value of 0.9169. This indicates a rice yield lower than the maximum efficiency level by approximately 8.31 percent. Factors such as rice field size, debt, level of education, experience in growing rice, and membership in a farmer group were found to affect technical inefficiency of rice production negatively and significantly. Increasing these factors could lead to a reduction in technical inefficiency in in-season paddy production.

*Corresponding author

E-mail address: sasiwimom.pup@crju.ac.th (S. Puphoung)

Online print: 20 May 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.2024.12>



บทความวิจัย

ผลของอุณหภูมิและเวลาในการทอดสำหรับแซนกลทอดอัตโนมัติ

คมสัน ตันติชูเกียรติ¹ อภิชาติ ศรีชาติ¹ อิทธิพล สิงห์คำ² ชัยยันต์ จันทรศิริ³ สหสวรรษ ภูจิระ⁴ ศักรินทร์ วังคะฮาด⁵
 กวิพงษ์ หงษ์ทอง¹ และวุฒิพงษ์ ทองแห้ว^{6*}

¹สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะเทคโนโลยีและวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏอุดรธานี อำเภอเมือง จังหวัดอุดรธานี 41000

²สาขาวิชาโยธาและสถาปัตยกรรม คณะเทคโนโลยีและวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏอุดรธานี อำเภอเมือง จังหวัดอุดรธานี 41000

³ศูนย์วิจัยเครื่องจักรกลเกษตรและวิทยาการหลังการเก็บเกี่ยว มหาวิทยาลัยขอนแก่น อำเภอเมือง จังหวัดขอนแก่น 40002

⁴สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน วิทยาเขตขอนแก่น อำเภอเมือง จังหวัดขอนแก่น 40000

⁵คณะวิทยาการจัดการ มหาวิทยาลัยราชภัฏอุดรธานี อำเภอเมือง จังหวัดอุดรธานี 41000

⁶สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น อำเภอเมือง จังหวัดขอนแก่น 40002

ข้อมูลบทความ	บทคัดย่อ
Article history รับ: 31 ตุลาคม 2566 แก้ไข: 1 เมษายน 2567 ตอบรับการตีพิมพ์: 7 พฤษภาคม 2567 ตีพิมพ์ออนไลน์: 23 พฤษภาคม 2567 คำสำคัญ เครื่องทอดอัตโนมัติ แซนกล เฟรนช์ฟรายส์ ปิกบนไก่ การแปรรูปอาหาร	การพัฒนาแซนกลสำหรับทอดอาหารต้นแบบที่ควบคุมด้วยบอร์ด Arduino เพื่อทำการทอดอาหารแทนการใช้คนทอด ในการทดลองใช้อาหารจำนวน 2 ชนิดที่มีลักษณะทางกายภาพแตกต่างกัน คือ เฟรนช์ฟรายส์ และ ปิกบนไก่ ที่อุณหภูมิเท่ากันและน้ำหนักของวัตถุดิบเท่ากัน การทอดที่เหมาะสมโดยกำหนดน้ำหนักวัตถุดิบเริ่มต้น 100 กรัม เท่ากัน กำหนดอุณหภูมิทอด 3 ระดับ 120 140 และ 160 องศาเซลเซียส ตามลำดับ โดยจากการทดลองใช้แซนกลต้นแบบสำหรับทอดอาหาร ในการทอดอาหารโดยการทอดเฟรนช์ฟรายส์ น้ำหนัก 100 กรัม ให้มีความสุกพอดี กรอบ มีสีเหลืองทอง และไม่ไหม้ น้ำมัน พบว่าเวลาที่เหมาะสมที่สุดจะเท่ากับ 300 วินาทีหรืออาจจะบวกลบไม่เกิน 30 วินาที ที่อุณหภูมิ 160 องศาเซลเซียส ระยะเวลาคืนทุนใช้เวลาในการขายเฟรนช์ฟรายส์ทั้งสิ้น 8 วัน จึงจะได้ทุนคืนในส่วนของค่าอุปกรณ์และค่าใช้จ่ายอื่น ๆ และยังคงเหลือกำไรสุทธิอยู่ที่ 688.48 บาท ในกรณีการทอดปิกบนไก่ น้ำหนัก 100 กรัม พบว่าเวลาที่เหมาะสมที่สุดจะเท่ากับ 1200 วินาทีหรืออาจจะบวกลบไม่เกิน 30 วินาที ที่อุณหภูมิ 140 องศาเซลเซียส ระยะเวลาคืนทุนใช้เวลาในการขายไก่ทอดโดยประมาณ 24 วัน จึงจะได้ทุนคืนในส่วนของค่าอุปกรณ์และค่าใช้จ่ายอื่น ๆ และยังคงเหลือกำไรสุทธิอยู่ที่ 144.64 บาท ซึ่งมีระยะเวลาคืนทุนที่ค่อนข้างสั้นและสามารถลดค่าใช้จ่ายในส่วนของการแรงงานคนประกอบอาหารอีกด้วย

บทนำ

ระบบอัตโนมัติกำลังเข้าครอบครองทุกพื้นที่ของชีวิต ชีวิตที่เร่งรีบนี้ได้ขับเคลื่อนทุกสิ่งในพื้นที่ยังคงกล่าว เช่น ห้องครัวและการทำอาหาร โดยเฉพาะการใช้ระบบอัตโนมัติในการปรุงอาหารจะช่วยลดความซับซ้อนมากมายและนำมาซึ่งความเรียบง่าย เนื่องจากอาหารเป็นหนึ่งในปัจจัยพื้นฐานของมนุษย์ การทำอาหารจึงกลายเป็นสิ่งจำเป็นสำหรับมนุษย์ เครื่องครัวถูกใช้งานหลากหลาย จึงพัฒนาไปสู่ความสะดวกสบายสมัยใหม่อย่างต่อเนื่อง ในสังคมยุคใหม่ พนักงานออฟฟิศและผู้หญิงที่ไม่มีเวลาทำอาหารเพิ่มมากขึ้น (Khillare & Ambudkar, 2023) ถึงตอนนี้ใคร ๆ ก็ยุ่งกับงาน แม้จะกลับบ้านแล้วก็ต้องหาอาหารอีก ซึ่งอาจทำให้เหนื่อยล้าได้ บางคนอาจจ้างคนรับใช้เพื่อทำอาหารซึ่งอาจเพิ่มค่าใช้จ่าย นอกจากนี้พวกเราส่วนใหญ่ยังเชื่อเพลิงฟอสซิล น้ำมันก๊าด แอลพีจี เพื่อผลิตความร้อนในการปรุงอาหารซึ่งอาจก่อให้เกิดมลพิษในอากาศ (Arjun & Meera, 2020) ในขณะที่การรับประทานอาหารนอกบ้านจะสะดวกและรวดเร็ว แต่ก็มี

ปัญหาเรื่องเกลือสูง น้ำมันสูง น้ำตาลสูง และวัตถุเจือปนในอาหารต่าง ๆ ทำให้เกิดภาวะต่อระบบหัวใจและหลอดเลือด ไต และลำไส้มากขึ้น ปัจจุบัน ผู้คนมากกว่า 50 % รับประทานอาหารนอกบ้านสามมื้อตั้งแต่วันจันทร์ถึงวันศุกร์ เพื่อแก้ปัญหาไม่มีเวลาหรือทำอาหารไม่เป็นอุตสาหกรรมได้เปิดตัวชุดหม้อและกระทะ และอุปกรณ์ครัวขนาดเล็กเพื่อช่วยให้ผู้คนปรุงอาหารได้อย่างง่ายดายที่บ้าน เช่น เครื่องทำอาหารมัลติฟังก์ชัน มีฟังก์ชันการชั่งน้ำหนัก สับ ปรุงอาหาร บด กวน และเครื่องครัวอื่น ๆ (Lin et al., 2021) ปัจจุบันมีเครื่องใช้ไฟฟ้าในครัวมากมายในตลาด เช่น หม้อหุงข้าว หม้อหุงข้าว เตารีดแม่เหล็กไฟฟ้า เตารีดแม่เหล็กไฟฟ้า เครื่องทำถั่วพวย เป็นต้น (Zhu, 2014)

ระบบห้องครัวอัจฉริยะได้รับการศึกษามากมาย แต่อุปกรณ์ทำอาหารในครัวเรือนที่สามารถปรุงอาหารเองได้ก็เป็นสิ่งที่ขาดไม่ได้ (Yan et al., 2006) ปัจจุบันอุปกรณ์ทำอาหารเป็นอุปกรณ์ที่ทันสมัยและเกือบทุกคนต้องการนำกระบวนการอัตโนมัติมาสู่สังคม

*Corresponding author

E-mail address: saphichat@udru.ac.th (W. Thonghaeo)

Online print: 23 May 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.2024.13>

เพื่อสวัสดิภาพของมนุษย์ ระบบอัตโนมัติด้านอาหารเป็นกลไกที่เติบโตเร็วที่สุด (Livins et al., 2020) เป้าหมายสูงสุดของการวิจัยด้านหุ่นยนต์คือการแทนที่มนุษย์ด้วยหุ่นยนต์ในการทำงานบ้านในแต่ละวัน ถ้าหุ่นยนต์จะทำอาหารก็ต้องเข้าใจสูตรการทำอาหารด้วย ที่เขียนขึ้นด้วยมนุษย์และต้องแปรูปส่วนผสมอย่างเหมาะสมตามสูตรเหล่านั้น (Takata et al., 2022) ในช่วงไม่กี่ปีที่ผ่านมา ความต้องการหุ่นยนต์ทำอาหารได้เพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วเพื่อจัดการกับปัญหาการขาดแคลนแรงงานอันเป็นผลมาจากอัตราการเกิดและจำนวนประชากรสูงวัยที่ลดลง ตลอดจนเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการปฏิบัติงาน หุ่นยนต์ทำอาหารได้รับการพัฒนาและจำหน่ายในประเทศต่าง ๆ แล้ว (Moley, 2023) โดยทั่วไป หุ่นยนต์ดังกล่าวสามารถปรุงอาหารตามสูตรที่ตั้งโปรแกรมไว้ได้ แต่การเขียนโปรแกรมสูตรอาหารในบริบทของแขนกลอาจเป็นเรื่องที่ท้าทายสำหรับผู้ที่ไม่มีความรู้ด้านหุ่นยนต์หรือการเขียนโค้ดมากนัก (Inagawa, 2021)

ในปัจจุบันพบว่ามีการทำการศึกษาเกี่ยวกับระบบอัตโนมัติผลิตอาหารหรือเครื่องผลิตอาหารอัตโนมัติ เช่น Kumar et al. (2019) เสนอการนำเครื่องทำอาหารอัตโนมัติแบบ PLC มาใช้ โดยมีจุดมุ่งหมายหลักคือทำให้การทำอาหารง่ายขึ้น ง่ายดาย และใช้เวลา น้อยลง เครื่องนี้สามารถเตรียมอาหารได้ใกล้เคียงกับอาหารที่มนุษย์สามารถเตรียมได้ Reema et al. (2016) เสนอเครื่องทำอาหารอัตโนมัติโดยใช้ตัวควบคุมลอจิกแบบโปรแกรมได้ (plc) และเครื่องทำอาหารอัตโนมัติแบบ HMI ซึ่งใช้ในระดับอุตสาหกรรมในอุตสาหกรรมอาหาร โดยพื้นฐานแล้ว เครื่องนี้ขึ้นอยู่กับชิ้นส่วนเครื่องกลและไฟฟ้าด้วยการเขียนโปรแกรมของ PLC เครื่องนี้จะรักษา ระยะห่างเชิงกลยุทธ์จากการสัมผัสของวัสดุและต้นทุนงานจะลดลงเช่นกันโดยใช้เครื่องทำอาหารอัตโนมัติ Syamsudduha et al. (2013) เสนอการออกแบบระบบเครื่องทำอาหารอัจฉริยะในอนาคตซึ่งมีพื้นฐานมาจากกลไกปัญญาประดิษฐ์ มีการวางแผนเครื่องทำอาหารอัจฉริยะแห่งอนาคตที่สามารถจำกัดเวลาในการปรุงอาหารและทำให้ผู้คนทำอาหารได้ง่ายขึ้น เครื่องมือนี้นี้มีขนาดเป็นสี่เหลี่ยมจัตุรัสขนาดใหญ่ และมีช่องมากมายสำหรับใส่อาหาร ในอุปกรณ์นั้นจะมีแขนหุ่นยนต์ซึ่งมีประโยชน์ในการเตรียมอาหารในช่องที่เข้าถึงได้สำหรับอาหารที่ต้องการ หากต้องการแสดงผลต้องใช้หน้าจอสัมผัส Rakshitha et al. (2019) เสนอการออกแบบและพัฒนาเครื่องผลิตอาหารอัตโนมัติซึ่งสร้างอาหารชนิดใหม่ที่สามารถถนอมและนำไปใช้ได้ ข้อกำหนดของผู้ผลิตอาหารอัตโนมัติคือการรวมอุปกรณ์พื้นฐานเข้าด้วยกัน แล้วเลือกเมนูที่ตั้งไว้ล่วงหน้าของอาหารต่าง ๆ พวกเขาใช้ภาษาแบบระบุส่วนผสมที่เป็นของแข็งและของเหลว ในการใช้งาน อุปกรณ์ไมโครอิเล็กทรอนิกส์ เช่น ไมโครคอนโทรลเลอร์ที่ใช้ Arduino Mega ยังใช้เพื่อควบคุมกิจกรรมทั้งหมดของเครื่องทำอาหารอัตโนมัติ

อย่างไรก็ตาม เครื่องทอดส่วนใหญ่ในห้องทดลองยังมีข้อบกพร่อง เช่น ระดับของระบบอัตโนมัติต่ำ มาตรฐาน ฟังก์ชันที่ไม่สมบูรณ์ หรือโครงสร้างที่ไม่เหมาะสม ผล ข้อบกพร่องเหล่านี้ทำให้ยากต่อการนำไปใช้กับสถานการณ์การใช้งานเฉพาะ Liu (2019) โดยเฉพาะตอนนี้เครื่องทำอาหารอัตโนมัติในห้องทดลองมีฟังก์ชันการควบคุมอุณหภูมิอัตโนมัติและการทอดขั้นพื้นฐานแล้ว แต่เครื่องทำอาหารยังคงต้องอาศัยการทำงานแบบใช้มนุษย์ในการเติมเครื่องปรุงและขนส่งวัตถุดิบในการปรุงอาหาร Wu (2017) ในขณะที่เกี่ยวกับการ

ใช้งานก็ยุ่งยากและระดับความรู้ก็ไม่สูง ตัวอย่างเช่น เมื่อทำอาหารผู้ใช้จำเป็นต้องเลือกโปรแกรมสูตรอาหาร กำลังไฟ และเวลาทำความร้อน ซึ่งส่งผลต่อประสบการณ์ของผู้คน Zhang et al. (2021) อย่างไรก็ตามในการประกอบอาหารประเภททอดแม้จะมีขั้นตอนเพียงเล็กน้อยไม่ยุ่งยากสามารถทำได้แทบทุกช่วงวัยและสามารถประกอบอาหารได้ แม้ไม่อยู่ในพื้นที่ห้องห้องครัว ใช้อุปกรณ์แค้มก็ได้อย่าง แต่การประกอบอาหารโดยใช้น้ำมันที่มีอุณหภูมิสูงประมาณหนึ่งอย่างการทอดก็มีข้อเสียและอันตรายต่อผู้ประกอบอาหาร ไม่ว่าจะเป็นการกระเด็นของน้ำมันขณะทำการทอด การสูดดมไอน้ำมันถึงของอาหาร น้ำมันมีอุณหภูมิสูงเกินไปสำหรับการประกอบอาหารประเภทนั้น ๆ ทำให้อาหารเกิดการไหม้แทนที่จะสุกพอดี ด้วยปัญหาเหล่านี้จึงมีแนวความคิดในการสร้างแขนกลขึ้นมาเพื่อทำการทอดแทนคน โดยเลือกใช้หม้อทอดสำเร็จรูปและนำมาต่อตรงเข้ากับบอร์ดควบคุม ติดตั้งตัววัดอุณหภูมิจากบอร์ดควบคุมมายังหม้อทอดเพื่อวัดอุณหภูมิของน้ำมัน ซึ่งจะใช้การควบคุมจากบอร์ดและมอเตอร์เป็นหลัก มีกระบวนการการทำงานตั้งแต่ นำอาหารลงหม้อทอด รออาหารสุกและนำอาหารกลับไปเทใส่ภาชนะที่เตรียมไว้

ระบบอัตโนมัติเริ่มเข้ามามีบทบาทในชีวิตประจำวันในปัจจุบันมากขึ้นไม่ว่าจะเป็นตู้กดน้ำอัตโนมัติ ด้วยขายสินค้าอัตโนมัติ ซึ่งที่กล่าวมาล้วนเป็นระบบอัตโนมัติ รวมไปถึงในโรงงานอุตสาหกรรมที่นำระบบอัตโนมัติเข้ามาใช้งาน ดังนั้น การศึกษาหรือการสร้างองค์ความรู้เกี่ยวกับระบบอัตโนมัติ กลายเป็นสิ่งที่จำเป็นในการต่อยอดทักษะที่จะนำไปใช้ในอนาคต จึงเป็นที่มาของงานวิจัยในครั้งนี้ เพื่อศึกษาการทำงานของแขนกลทอดอาหารต้นแบบด้วยระบบ บอร์ด Arduino ออกแบบและสร้างแขนกลทอดอาหารต้นแบบด้วยระบบบอร์ด Arduino และศึกษาความสามารถของแขนกลทอดต้นแบบกับอาหาร โดยการศึกษาการทอดเฟรนช์ฟรายส์ เพื่อเป็นแนวทางในการต่อยอดสู่อุตสาหกรรมในอนาคต

อุปกรณ์และวิธีการวิจัย

การออกแบบ

แขนกลทอดอัตโนมัติที่นำมาใช้ในการทดสอบเป็นการสร้างแขนกลให้เป็นแบบ Cylindrical Robot ซึ่งเป็นหุ่นยนต์อุตสาหกรรมทรงกระบอก (Cylindrical) มีลักษณะการเคลื่อนไหวแบบหมุนรอบแกนมีแท่งใช้ในการยกจับ เพื่อให้ง่ายต่อการควบคุมและใช้งาน หม้อทอดที่นำมาใช้ในการทดสอบเป็นหม้อทอดสำเร็จรูปที่นำมาใช้ในการทอดอาหารทั่วไป นำแขนกลมาต่อเข้าโดยตรงบอร์ดควบคุมที่มีอุปกรณ์ควบคุมการทำงานโดยใช้มอเตอร์ไฟฟ้าและกระแสสลับไฟฟ้าทำการติดตั้งเซนเซอร์วัดอุณหภูมิที่มีการส่งค่าการวัดไปยังบอร์ดควบคุมเพื่อทำการควบคุมอุณหภูมิของน้ำมันในหม้อทอดตามที่ต้องการ โดยแขนกลสามารถหมุนรอบตัวเองได้ 180 องศา สามารถยกแขนกลขึ้น-ลงได้ 70 องศา และหมุนเกลียวทอดได้ 360 องศา

มอเตอร์เกียร์ (Gear Motor) เป็นอุปกรณ์ไฟฟ้าชนิดหนึ่งโดยอาศัยหลักการทำงานจากมอเตอร์ในการแปลงพลังงานไฟฟ้าเป็นพลังงานกลเพื่อทำให้วัตถุเคลื่อนที่ และมีฟันเฟืองหรือเกียร์ทำหน้าที่ลดรอบความเร็วหรือตรอบ และเพิ่มแรงบิดเพื่อให้สามารถใช้งานได้ตามต้องการ การคำนวณหากระแสและกำลังไฟฟ้าของมอเตอร์ ดังสมการ (1) และ (2)

ผู้ศึกษาได้ศึกษาทฤษฎีและงานวิจัยต่าง ๆ ที่มีความเกี่ยวข้อง เพื่อนำมาใช้เป็นกรอบแนวคิดการจัดสร้างเพื่อหาประสิทธิภาพการใช้ แขนกลในการประกอบอาหาร ที่มีการควบคุมด้วยโปรแกรมอาร์ดูโน โดยอุปกรณ์ต่าง ๆ ดังนี้ 1) โครงฐานเป็นโต๊ะสำหรับติดตั้งอุปกรณ์ของ หม้อทอดอัตโนมัติทั้งหมด 2) หม้อทอดอาหารวางบนโต๊ะโครงฐานอีก ที่ เช่นเดียวกับ 3) แขนกลซึ่งทำจากสแตนเลสท่งวางบนโต๊ะโครง

ฐานเช่นเดียวกัน 4) มอเตอร์เกียร์ DC 12V 5RPM 2 ตัวและลิเนียร์ แอคชูเอเตอร์ 1 ตัว ติดตั้งอยู่ที่ตำแหน่งระหว่างแขนกลขึ้นบนและขึ้น ล่าง ปลายของแขนกลขึ้นบนติดตั้ง 5) ตะแกรงสำหรับใส่อาหาร ใน เวลาที่ทำการทอด โดยอุปกรณ์ไฟฟ้าต่าง ๆ ควบคุมด้วย 6) บอร์ด ควบคุมการทำงานและสั่งการ ที่วางไว้บนโต๊ะโครงฐานและข้างฐาน ของแขนกล

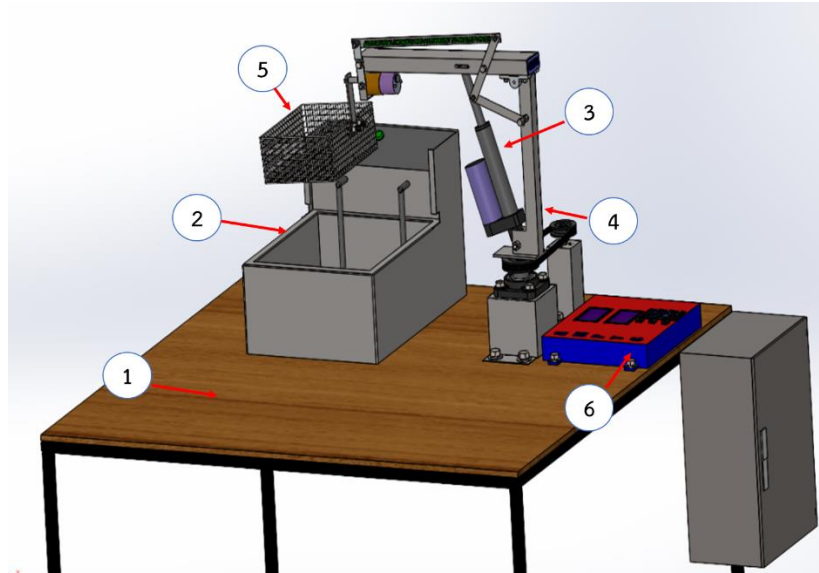


Figure 2 Experimental equipment.

การทำงานของเครื่องทอดอาหารอัตโนมัติ

อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง Figure 2 ขั้นตอนแรก นำวัตถุดิบที่ต้องการทอดใส่ตะแกรง ต่อมากำหนดอุณหภูมิและเวลาในการทอดด้วยการกดปุ่มที่ติดตั้งตามความต้องการ จากนั้นหม้อทอดจะเริ่มทำงาน หม้อทอดจะอุณหภูมิสูงขึ้นเรื่อย ๆ จนถึงค่าที่กำหนด ต่อมาแขนกลจะเริ่มทำงานอีกครั้ง โดยการนำวัตถุดิบในตะแกรงไปทอดตามเวลาที่กำหนดไว้ หลังจากทอดตามเวลาที่กำหนดแล้วนั้น แขนกลจะยกและหมุนตะแกรง มาที่จุดวางภาชนะ โดยต้องเตรียมภาชนะสำหรับใส่อาหารวางในจุดที่กำหนด แขนกลจะเทอาหารใส่ภาชนะ เมื่อเสร็จแขนกลจะหมุนไปยังตำแหน่งเริ่มต้นการทำงาน เป็นอันจบขั้นตอนการทำงาน

วัตถุดิบ

แบ่งประเภทของอาหารในการทดสอบออกเป็น 2 ประเภท ของทานเล่น และเนื้อสัตว์ โดยของทานเล่น คือ เฟรนช์ฟรายส์ (มันฝรั่ง) ลักษณะเป็นเส้นตรงเล็ก แซ่แซ้ง "ทาลลีย์" นิยมนำมาทอดโดยวิธีการทอดกรอบและปรุงรสด้วยเกลือเพียงเล็กน้อยพร้อมทาน และเนื้อสัตว์ คือ เนื้อไก่ในส่วน ปีกบน (Drumette) หลายคนเรียกว่าส่วนน่องเล็ก เพราะมีลักษณะคล้ายกับส่วนของน่อง แต่ที่จริงคือส่วนปีกนะทุกคน นิยมนำมาทอดเป็นเมนูกินเล่น เพราะมีขนาดกะทัดรัดพอดีคำ จึงกลายเป็นส่วนที่นิยม เหมาะกับเมนูที่รสชาติเข้มข้น

ขั้นตอนการทดลอง

- 1) เตรียมวัตถุดิบที่ต้องการทดลอง คือ เฟรนช์ฟรายส์และชิ้นส่วนไก่
- 2) ชั่งน้ำหนักวัตถุดิบ 100 กรัม
- 3) นำวัตถุดิบใส่ตะแกรง

4) กำหนดอุณหภูมิและเวลา กดสวิทช์เครื่องหมายดอกจันเพื่อเริ่มการทำงาน

5) ทอดเฟรนช์ฟรายส์โดยกำหนดอุณหภูมิ 120 องศาเซลเซียส ทอดเป็นเวลา 180, 300, 420 วินาที

6) ทอดเฟรนช์ฟรายส์โดยกำหนดอุณหภูมิ 140 องศาเซลเซียส ทอดเป็นเวลา 180, 300, 420 วินาที

7) ทอดเฟรนช์ฟรายส์โดยกำหนดอุณหภูมิ 160 องศาเซลเซียส ทอดเป็นเวลา 180, 300, 420 วินาที

8) ทอดไก่โดยกำหนดอุณหภูมิ 120 องศาเซลเซียส ทอดเป็นเวลา 600, 900, 1200 วินาที

9) ทอดไก่โดยกำหนดอุณหภูมิ 140 องศาเซลเซียส ทอดเป็นเวลา 600, 900, 1200 วินาที

10) ทอดไก่โดยกำหนดอุณหภูมิ 160 องศาเซลเซียส ทอดเป็นเวลา 600, 900, 1200 วินาที

11) สังเกตสี ผิวสัมผัส พร้อมบันทึกลักษณะวัตถุดิบที่นำมาทดลอง

12) สรุปผล

การวิเคราะห์เศรษฐศาสตร์

ระยะเวลาคืนทุนจะเป็นผลที่นำมาใช้ในการพิจารณาถึงระยะเวลาที่ผลประโยชน์สุทธิจากการดำเนินงาน หรือผลกำไรที่ได้รับแต่ละปีต่อต้นทุนทั้งหมด มีความเหมาะสมที่ต้องการจะลงทุนหรือไม่ โดยเป็นการสุทธิหลังหักภาษี ดอกเบี้ย และค่าเสื่อมราคาของทรัพย์สิน เมื่อพิจารณาค่าใช้จ่ายในการลงทุนเริ่มแรก จะทำให้สามารถทราบจำนวนปีที่ได้รับผลประโยชน์คุ้มกับค่าใช้จ่ายในการลงทุน หากการดำเนินงานแล้วทำให้

เกิดผลประโยชน์ที่คุ้มค้ำกับปริมาณงบประมาณที่ลงทุนมีระยะเวลาคืนทุนที่รวดเร็วก็จะเป็นผลดี ทำให้เกิดความเสียน้อยและผู้ลงทุนได้รับเงินลงทุนคืนที่จะสามารถนำไปลงทุนในกิจการอื่น ๆ ได้ต่อไป

ระยะเวลาคืนทุนเป็นสัดส่วนการคำนวณของจำนวนเงินของการลงทุนเริ่มต้นต่อผลตอบแทนสุทธิในแต่ละปี สามารถคำนวณได้จากสมการที่ 5 (Udcharchon, 2021)

$$RC = \frac{IIC}{NRY} \quad (5)$$

โดยที่ RC = ระยะเวลาคืนทุน (ปี)
IIC = เงินลงทุนเริ่มแรก (บาท)
NRY = ผลตอบแทนสุทธิต่อปี (บาท/ปี)

ผลและวิจารณ์ผลการวิจัย

หม้อทอดอัตโนมัติที่ใช้ในการทดลอง เป็นระบบการทำงานแบบอัตโนมัติที่ควบคุมด้วย Arduino Program มีการใช้คำสั่งจากโค้ดที่เขียนขึ้นในโปรแกรม ในงานของเราจะใช้มอเตอร์จำนวน 2 ตัวและลิเนียร์แอกชูเอเตอร์ 1 ตัว ในการขับเคลื่อนแขนกลและลำเลียงวัตถุดิบเมื่อใช้โค้ดควบคุมแขนกลทำการทดลองเพื่อหาระยะเวลาและอุณหภูมิที่เหมาะสมสำหรับวัตถุดิบชนิด ทำให้การทอดอาหารแต่ละชนิดที่นำมาทดลองมีประสิทธิภาพที่ดีที่สุด ดังแสดงใน Figure 3

ผลการทดสอบอุณหภูมิและเวลา

ผลการทดลองการทอดเฟรนช์ฟรายส์ ด้วยอุณหภูมิและเวลาที่แตกต่างกัน สามารถแสดงผลการดังใน Table 1- 3

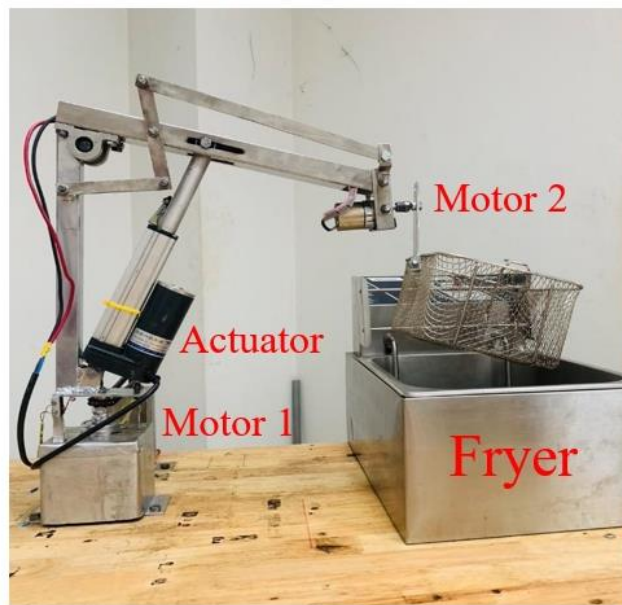


Figure 3 Automatic frying machine in the experiment.

Table 1 Experiment with French fries at 120 degrees Celsius

Weight (gram)	temperature (C)	time (second)	Results (Compare with sight and touch)	
100	120	180	Not ripe, the touch is still soft, it is white color and very oily.	
100	120	300	Not ripe, starting to crisp, some parts are starting to have a yellowish white color and oily.	
100	120	420	Not ripe, the crispiness increases, some parts it started to have a yellowish color, but it oily in some parts.	

Table 2 Experiment with French fries at 140 degrees Celsius

Weight (gram)	temperature (C)	time (second)	Results (Compare with sight and touch)
100	140	180	Nearly ripe, texture is crisper, white in the middle, the edges are starting to turn yellow and white, but oily.
100	140	300	Nearly ripe, texture is crisper, in some parts it started to yellow, the center edge is white and yellowish, Not oily.
100	140	420	Ripe, crispy but not hard, it is golden yellow and does not oily.

Table 3 Experiment with French fries at 160 degrees Celsius

Weight (gram)	temperature (C)	time (second)	Results (Compare with sight and touch)
100	160	180	Nearly ripe, some pieces begin to crisp up, yellowish white and does not oily.
100	160	300	Ripe, crisp, it is golden yellow and does not oily.
100	160	420	Ripe, crisp, some pieces are hard, dark yellow and does not oily.

Table 1 – 3 แสดงให้เห็นว่าเมื่ออุณหภูมิที่ใช้ในการทอดเฟรนช์ฟรายส์ แม้วัตถุดิบจะต่างชนิดกันแต่แนวโน้มที่เวลาจะมากหรือน้อยจะขึ้นอยู่กับน้ำหนักหรือปริมาณของวัตถุดิบที่ใช้ทดลองในแต่ละครั้ง โดยจากการทดลองการหาช่วงเวลาและอุณหภูมิที่เหมาะสมในการทอดเฟรนช์ฟรายส์ให้มีความสุขพอดี กรอบ มีสีเหลืองทองและไม่อมน้ำมัน (วิธีการทดสอบโดยการเทียบด้วยสายตากับลักษณะกับสินค้ามาตรฐานเฟรนช์ฟราย KFC) พบว่าทั้งอุณหภูมิ ขนาด และระยะเวลาเป็นปัจจัยที่ส่งผลต่อคุณภาพในการทอด ซึ่งทั้งสองอย่างจะต้องมีค่าที่แปรผกผันกัน เช่น หากใช้อุณหภูมิสูง เวลาที่ใช้ในการทอดจะต้องลดลง และหากใช้อุณหภูมิต่ำเวลาที่ใช้ก็ต้องมากขึ้น จากตารางดังกล่าวจะเห็นได้ว่า ในวัตถุดิบและอุณหภูมิที่ใช้ทอดเฟรนช์ฟรายส์ปริมาณเท่านี้ เวลาที่เหมาะสมที่สุดจะเท่ากับ 300 วินาทีหรืออาจจะ

บวกไม่เกิน 30 วินาที ที่อุณหภูมิ 160 องศาเซลเซียส ทำได้จากการสังเกตการเปลี่ยนแปลงของวัตถุดิบว่ามีความสุขหรือมีสีส้มตามความต้องการ นอกจากนี้ผลการทดลองการทอดไก่ ด้วยอุณหภูมิและเวลาที่แตกต่างกัน สามารถแสดงผลการดังใน Table 4-6

Table 4 Experiment with fried chicken at 120 degrees Celsius

Weight (gram)	temperature (C)	time (second)	Results (Compare with sight and touch)
100	120	600	Not ripe, the chicken meat is white color, inside isn't yet ripe.
100	120	900	Not ripe, There is still water in the chicken meat, inside is not ripe and has a light brown color.
100	120	1200	Not ripe, chicken meat is light brown, inside isn't yet ripe.

Table 5 Experiment with fried chicken at 140 degrees Celsius

Weight (gram)	temperature (C)	time (second)	Results (Compare with sight and touch)
100	140	600	Not ripe, crispiness increases, in some parts, the flesh inside is not yet ripe and has a light brown color.
100	140	900	Nearly ripe, some of the meat is crispy, chicken meat inside Starting to ripen and have a brown color.
100	140	1200	Ripe, It's crispy on the outside and soft on the inside.

Table 6 Experiment with fried chicken at 160 degrees Celsius.

Weight (gram)	temperature (C)	time (second)	Results (Compare with sight and touch)
100	160	600	Ripe, some of the meat is crispy, outside of the chicken meat is starting to turn brown.
100	160	900	Ripe, crispiness increases. Some of the chicken meat is beginning to dry out, starting to have a dark brown color.
100	160	1200	Ripe, crispy chicken meat, completely dry inside, it is dark brown.

Table 4 – 6 แสดงให้เห็นว่าเมื่ออุณหภูมิที่ใช้ในการทอดไก่ แม้วัตถุดิบจะต่างชนิดกันแต่แนวโน้มที่เวลาจะมากหรือน้อยจะขึ้นอยู่กับน้ำหนักหรือปริมาณของวัตถุดิบที่ใช้ทอดลงในแต่ละครั้ง โดยจากการทดลองการหาช่วงเวลาและอุณหภูมิที่เหมาะสมในการทอดไก่ให้มีความสุกพอดี ไม่ดิบและไม่ไหม้เกรียมจนเกินไป พบว่าทั้งอุณหภูมิ ขนาด และระยะเวลาที่มีผลต่อประสิทธิภาพของการทอด ซึ่งทั้งสองอย่างจะต้องมีค่าที่แปรผกผันกัน เช่น หากใช้อุณหภูมิสูง เวลาที่ใช้ในการทอดจะต้องน้อย และหากใช้อุณหภูมิต่ำเวลาที่ใช้ก็ต้องมากขึ้น จากตารางดังกล่าวจะเห็นว่าในวัตถุดิบและอุณหภูมิที่ใช้ทอดไก่ ปริมาณเท่านี้ เวลาที่เหมาะสมที่สุดจะเท่ากับ 1200 วินาทีหรืออาจจะ

บวกลบไม่เกิน 30 วินาที ที่อุณหภูมิ 140 องศาเซลเซียส ทำได้จากการสังเกตการเปลี่ยนแปลงของวัตถุดิบว่ามีความสุกหรือมีสีส้มตามความต้องการ

การคำนวณหาระยะเวลาต้นทุนของอุปกรณ์และค่าใช้จ่ายอื่น ๆ จากการขายวัตถุดิบที่ทดสอบ

คำนวณหาต้นทุนเฟรนช์ฟรายส์ การทอด 1 รอบจะใช้เวลาในการเตรียมอุปกรณ์ วัตถุดิบ และรออุณหภูมิของหม้อทอดให้ถึงตามที่กำหนด รวมถึงเวลาในการทอดประมาณ 20 นาที โดยการทอด 1 รอบ จะใช้วัตถุดิบ 500 กรัม จะแบ่งได้เป็น 5 ถ้วย (ถ้วยละ 100 กรัม) ใน 1 ชั่วโมงจะสามารถทอดได้ 3 รอบ ซึ่งเท่ากับเฟรนช์ฟรายส์ 15 ถ้วย

Table 7 Equipment list/other costs

Equipment list/other costs	Price (baht)
Food fryer	600
Motor DC 12V 5RPM 2 piece	760
Linear actuators 1	1,450
stainless steel	300
Steel and wood for making tables	650
Electronic equipment for control boards	1,660
Labor cost	2,500
Other expenses (Electricity cost, additional equipment cost for damaged parts, expenses during operation)	800
Total	8,720

Table 8 Cost of French fries (baht)

Quantity (unit)	Cost of French fries (baht)
1 bowl	8.75
1 round	43.75
1 day	1,050

การคำนวณหาต้นทุนของเฟรนช์ฟรายส์ จาก Table 8 ใน 1 วัน หม้อทอดสามารถทอดได้ 8 ชั่วโมง เท่ากับว่าจะสามารถทอดได้ 24 รอบ แบ่งเป็น 120 ถ้วย หากขาย เฟรนช์ฟรายส์ แซ่แข็ง เส้นตรง ขนาด 7 มม. แพ็ค 2 กิโลกรัม 175 บาท (13 มิถุนายน 2566) สามารถแบ่งขายเป็นถ้วยถ้วยละ 100 กรัม ได้ 20 ถ้วย (ราคาถ้วยละ 20 บาท) โดยหากคำนวณหาต้นทุนของเฟรนช์ฟรายส์ต่อถ้วย จะได้ว่าเฟรนช์ฟรายส์ ราคา 175 บาท หารด้วยจำนวนถ้วย 20 ถ้วย เท่ากับ $175 \div 20 = 8.75$ บาทต่อถ้วย (ต้นทุนค่าเฟรนช์ฟรายส์ 1 ถ้วย เท่ากับ 8.75 บาท) ซึ่งคำนวณหาต้นทุนของเฟรนช์ฟรายส์ ต่อวัน จะได้ว่าราคาต่อ 1 ถ้วย คูณด้วย 120 ถ้วย เท่ากับ $8.75 \times 120 = 1,050$ บาทต่อวัน ดังนั้น ต้นทุนของเฟรนช์ฟรายส์ ต่อ 1 วันเท่ากับ 1,050 บาท คำนวณหาค่าไฟฟ้า ดังตารางที่ 9 ค่าไฟฟ้าในการทอด 1 รอบ จะใช้ไฟฟ้า 0.5 kWh คิดเป็นเงินจะได้ $0.5 \times 4.2218 = 2.1109$ บาทต่อรอบ (ค่าไฟฟ้าต่อ 1 ถ้วย เท่ากับ 1.055 บาท) ใน 1 ชั่วโมงจะสามารถทอดได้ 3 รอบ จะใช้ไฟฟ้า 1.5 kWh คิดเป็นเงินจะได้ $1.5 \times 4.2218 = 6.3327$ บาทต่อชั่วโมง หากใน 1 วันใช้งานในการทอด 8 ชั่วโมง จะสามารถทอดได้ 24 รอบ ซึ่งจะใช้ไฟฟ้า 12 kWh คิดเป็นเงินจะได้ $12 \times 4.2218 = 50.6616$ บาทต่อวัน

การคำนวณหาต้นทุนของเฟรนช์ฟรายส์ ดัง Table 9 ต้นทุนของเฟรนช์ฟรายส์ต่อ 1 ถ้วย + ค่าไฟฟ้าต่อ 1 ถ้วย จะได้เท่ากับ $8.75 + 1.055 = 9.805$ บาทต่อถ้วย ดังนั้นต้นทุนของเฟรนช์ฟรายส์และค่าไฟฟ้าต่อ 1 ถ้วยเท่ากับ 9.805 บาท ใน 1 วันสามารถทอดได้ 120 ถ้วย $= 120 \times 9.805 = 1,176.06$ บาทต่อวัน ดังนั้นต้นทุนของเฟรนช์ฟรายส์และค่าไฟฟ้าต่อ 1 วันจะได้เท่ากับ 1,176.06 บาท คำนวณหากำไร ดัง Table 9 โดยใน 1 วันสามารถขายได้ 120 ถ้วยจะได้เท่ากับ $120 \times 20 = 2,400$ บาท หากกำไรต่อถ้วยจะได้ว่า ราคาขายต่อ 1 ถ้วย - ต้นทุนต่อ 1 ถ้วย เท่ากับ $20 - 9.805 = 10.195$ บาทต่อถ้วย ดังนั้น กำไรจากการขายเฟรนช์ฟรายส์ 1 ถ้วยเท่ากับ 10.195 บาท กำไรต่อ 1 วัน จะได้ว่าจำนวนเงินที่ขายได้ต่อวัน - ต้นทุนเฟรนช์ฟรายส์และค่าไฟฟ้าต่อวัน ได้เท่ากับ $2,400 - 1,176.06 = 1,223.94$ บาท ในกรณีใช้แรงงานคน 1 คนในการขายเฟรนช์ฟรายส์ 1 วันคิดค่าแรงตาม อัตราค่าแรงขั้นต่ำ ของกรมแรงงาน (ฉบับที่ 12 ตั้งแต่วันที่ 1 มกราคม พ.ศ. 2567) เท่ากับ 350 ต่อวัน จะได้เท่ากับ $1,223.94 - 350 = 873.94$ บาท สรุปได้ว่า กำไรจากการขายเฟรนช์ฟรายส์ใน 1 วัน จะได้เท่ากับ 873.94 บาท

Table 9 Profit from French fries sales

Quantity (unit)	Cost and electricity cost (Baht)	Sale price (baht)	Profits (baht)
1 bowl	9.805	20	13.995
1 round (5 bowl)	49.025	100	27.99
1 day (8 Hour)	1,176.06	2,400	1,223.94
1 month	35,281.8	72,000	36,718.2
1 year	423,381.6	864,000	440,618.4

The above calculation does not include the cost of rental fees. Cost of various sauces or toppings. The price will vary in each area.

คำนวณหาระยะเวลาคืนทุน Table 9 คำนวณจากต้นทุนของการทำหม้อทอดอาหารอัตโนมัติจากค่าอุปกรณ์ ค่าแรงงาน ค่าไฟฟ้า และค่าใช้จ่ายอื่น ๆ ระหว่างดำเนินการเท่ากับ 8,720 บาท จะได้ว่า ต้นทุนอุปกรณ์ ÷ กำไรจากการขายเฟรนช์ฟรายส์ 1 วัน เท่ากับ 8,720 ÷ 873.94 = 9.97 สรุปได้ว่า จะใช้เวลาในการขายเฟรนช์ฟรายส์อยู่ที่ 10 วัน จึงจะได้ทุนคืนในส่วนของคุณค่าอุปกรณ์และค่าใช้จ่ายอื่น ๆ

และยังคงเหลือกำไรสุทธิอยู่ที่ 19.4 บาท

คำนวณหาต้นทุนของชิ้นส่วนไก่ ในการทอด 1 รอบจะใช้เวลาในการเตรียมอุปกรณ์ วัตถุดิบ และรออุณหภูมิของหม้อทอดให้ถึงตามที่กำหนด รวมถึงเวลาในการทอดประมาณ 20 นาที โดยการทอด 1 รอบจะใช้วัตถุดิบ 500 กรัม จะแบ่งได้เป็น 2 ถ้วย (ถ้วยละ 250 กรัม)

Table 10 Cost of fried chicken

Quantity (unit)	Cost of fried chicken (baht)
1 bowl	21.25
1 round	42.5
1 day	1,020

คำนวณหาต้นทุนของไก่ทอด จากTable 10 โดยใน 1 ชั่วโมงจะสามารถทอดได้ 3 รอบ เท่ากับ 6 จาน และใน 1 วันหม้อทอดสามารถทอดได้ 8 ชั่วโมง เท่ากับจะสามารถทอดได้ 24 รอบ แบ่งเป็น 48 จาน ปีกไก่ขนาด 1 กิโลกรัม ราคา 85 บาท (13 มิถุนายน 2566) สามารถแบ่งขายเป็นจานจานละ 250 กรัม ได้ 4 ถ้วย ขายที่ราคาจานละ 30 บาท หากคำนวณหาต้นทุนของปีกไก่ต่อจานจะได้ว่า ปีกไก่ราคา 85 บาท หารด้วยจำนวนจาน 4 จาน เท่ากับ 85 ÷ 4 = 21.25 บาทต่อจาน (ต้นทุนค่าปีกไก่ 1 จานเท่ากับ 21.25 บาท) ซึ่งคำนวณหาต้นทุนของปีกไก่ต่อวัน จะได้ว่า ราคาต่อ 1 ถ้วยคูณด้วย 48 จาน เท่ากับ 21.25 X 48 = 1,020 บาทต่อวัน ดังนั้นต้นทุนของเนื้อหมูต่อ 1 วันเท่ากับ 1,020 บาท คำนวณหาค่าไฟฟ้า ดังตารางที่ 11 ค่าไฟฟ้าในการทอด 1 รอบ จะใช้ไฟฟ้า 0.5 kWh คิดเป็นเงินจะได้ 0.5 X 4.2218 = 2.1109 บาทต่อรอบ (ค่าไฟฟ้าต่อ 1 จาน เท่ากับ 1.055 บาท) ใน 1 ชั่วโมงจะสามารถทอดได้ 3 รอบ จะใช้ไฟฟ้า 1.5 kWh คิดเป็นเงินจะได้ 1.5 X 4.2218 = 6.3327 บาทต่อชั่วโมง หากใน 1 วันใช้งานในการทอด 8 ชั่วโมง จะสามารถทอดได้ 24 รอบ ซึ่งจะใช้ไฟฟ้า 12 kWh คิดเป็นเงินจะได้ 12 X 4.2218 = 50.6616 บาทต่อวัน

คำนวณหาต้นทุนของไก่ทอด ดังตารางที่ 11 ต้นทุนของไก่ทอดต่อ 1 จาน + ค่าไฟฟ้าต่อ 1 จาน เท่ากับ 21.25 + 1.055 = 22.305 บาทต่อจาน โดยต้นทุนของไก่ทอดและค่าไฟฟ้าต่อ 1 จาน เท่ากับ 22.305 บาท ซึ่งใน 1 วันสามารถทอดได้ 48 จาน = 48 X 22.305 = 1,070.64 บาทต่อวัน ดังนั้นต้นทุนของเนื้อหมูและค่าไฟฟ้าต่อ 1 วันเท่ากับ 1,070.64 บาท คำนวณหากำไร Table 11 (กำหนดราคาขายที่ 30 บาทต่อ 1 จาน) โดยใน 1 วันสามารถขายได้ 48 จาน เท่ากับ 48 X 30 = 1,440 บาท หากหากกำไรต่อจาน จะได้ว่า ราคาขายต่อ 1 จาน - ต้นทุนต่อ 1 จาน เท่ากับ 30 - 22.305 = 7.055 บาทต่อจาน ดังนั้นกำไรจากการขายไก่ทอด 1 จานเท่ากับ 7.055 บาท ซึ่งหากหากกำไรต่อ 1 วัน จะได้ว่า จำนวนเงินที่ขายได้ต่อวัน - ต้นทุนไก่ทอดและค่าไฟต่อวัน เท่ากับ 1,440 - 1,070.64 = 369.36 บาท ในกรณีใช้แรงงานคน 1 คนในการขายเฟรนช์ฟรายส์ 1 วันคิดค่าแรงตามอัตราค่าแรงขั้นต่ำ ของกรมแรงงาน (ฉบับที่12 ตั้งแต่วันที่ 1 มกราคม พ.ศ.2567) เท่ากับ 350 ต่อวัน จะได้เท่ากับ 369.36 - 350 = 19.36 บาท สรุปได้ว่า กำไรจากการขายไก่ทอดใน 1 วัน เท่ากับ 19.36 บาท

Table 11 Profit from fried chicken sales

Quantity (unit)	Cost and electricity cost (baht)	Sale price (baht)	Profits (baht)
1 dish	22.305	30	7.055
1 round (2 dish)	44.61	60	14.1122
1 day (8 Hour)	1,070.64	1,440	369.36
1 month	32,119.2	43,200	11,080.8
1 year	385,430.4	518,400	132,969.6

Note: The above calculation does not include the cost of rental fees and there may be daily fluctuations in chicken prices.

คำนวณหาระยะเวลาคืนทุน Table 11 คำนวณจากต้นทุนของการทำหม้อทอดอาหารอัตโนมัติจากค่าอุปกรณ์ ค่าแรงงาน ค่าไฟฟ้าและค่าใช้จ่ายอื่น ๆ ระหว่างดำเนินการ อยู่ที่ 8,720 บาท โดยจะได้ว่า ต้นทุนอุปกรณ์ ÷ กำไรจากการขายไก่ทอด 1 วัน เท่ากับ 8,720 ÷ 19.36 = 450.41 สรุปได้ว่า จะใช้เวลาในการขายไก่ทอด

โดยประมาณ 451วัน จึงจะได้ทุนคืนในส่วนของคุณค่าอุปกรณ์ และค่าใช้จ่ายอื่น ๆ และยังคงเหลือกำไรสุทธิอยู่ที่ 11.36 บาท

วิจารณ์ผลการวิจัย

ปัญหาของการทอดทั่วไปโดยใช้เครื่องทอดคือ ผู้ทอดสามารถ

กำหนดอุณหภูมิไว้ได้ตามค่าที่ต้องการแต่ไม่สามารถกำหนดเวลาที่เหมาะสมในการทอดทิ้งได้ ทำให้เมื่อผู้ทอดอาหารทำหน้าที่หลายอย่างจะทำให้ในห้องอาหารอาจจะทำให้ไหม้ได้ การทอดอาหารด้วยแขนกลทอดอาหารจะช่วยให้ผู้ทอดสามารถกำหนดอุณหภูมิและเวลาในการทอดได้ ดังนั้นการทอดด้วยระบบอัตโนมัติจะทำให้ได้ผลผลิตจากการทอดที่มีความเทียบเท่ากันตลอดทั้งทุกการทอดและได้วัตถุดิบที่ไม่มีความแตกต่างกัน แตกต่างจากการทอดด้วยผู้ทอด ดังนั้นการทอดด้วยระบบนี้จะช่วยให้สามารถกำหนดคุณภาพของการทอดได้ดีกว่าการทอดด้วยคน และยังสามารถลดอันตรายที่จะเกิดขึ้นกับผู้ทอดได้อีกด้วย

สรุปผลการวิจัย

การสร้างและทดลองใช้เครื่องทอดอัตโนมัติที่ควบคุมโดย Arduino เพื่อทำการประกอบอาหารแทนการใช้คน โดยใช้อาหารจำนวน 2 ประเภท ซึ่งมีลักษณะทางกายภาพแตกต่างกันในการทดลองได้ผลทดลองดังต่อไปนี้ การทดลองการหาช่วงเวลาและอุณหภูมิที่เหมาะสมในการทอดเฟรนช์ฟรายส์ให้มีความสุกพอดี สุกสัมผัสรอบมีสีเหลืองทองไม่อมน้ำมัน พบว่าเวลาที่เหมาะสมที่สุดจะเท่ากับ 300 วินาทีหรืออาจจะบวกลบไม่เกิน 30 วินาที ที่อุณหภูมิ 160 องศาเซลเซียส ระยะเวลาคืนทุนใช้เวลาในการขายเฟรนช์ฟรายส์ทั้งสิ้น 10 วัน จึงจะได้ทุนคืนในส่วนของค่าอุปกรณ์และค่าใช้จ่ายอื่น ๆ และยังคงเหลือกำไรสุทธิอยู่ที่ 19.36 บาท การทดลองการหาช่วงเวลาและอุณหภูมิที่เหมาะสมในการทอดไก่ให้มีความสุกพอดี ไม่ดิบและไม่ไหม้เกรียมจนเกินไป พบว่าทั้งอุณหภูมิ ขนาด และระยะเวลามีผลต่อคุณภาพในการทอด พบว่าเวลาที่เหมาะสมที่สุดจะเท่ากับ 1,200 วินาที หรืออาจจะบวกลบไม่เกิน 30 วินาที ที่อุณหภูมิ 140 องศาเซลเซียส ระยะเวลาคืนทุน คำนวณจะใช้เวลาในการขายไก่ทอดโดยประมาณ 451 วัน จึงจะได้ทุนคืนในส่วนของค่าอุปกรณ์และค่าใช้จ่ายอื่น ๆ และยังคงเหลือกำไรสุทธิอยู่ที่ 11.36 บาท การคำนวณด้านเศรษฐศาสตร์ พบว่า การลงทุนนำหม้อทอดอัตโนมัติมาใช้ในการทอดอาหารเพื่อจำหน่าย ถือเป็นทางเลือกที่ดีเนื่องจากทำงานได้ตามเป้าหมายในทุก ๆ วันและผู้ประกอบการมีเวลาว่างไปทำอย่างอื่นในบางวัตถุดิบที่ใช้ในการทอดอาจจะมีเวลาในการคืนทุนที่ยาวนานแต่ถ้าเมื่อเทียบกับคุณภาพอาหารที่ได้และการลดในส่วนองแรงงานคนในการทำงานก็ถือว่าคุ้มค่าในส่วนที่ลงทุนไป

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณสาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะเทคโนโลยีมหาวิทยาลัยราชภัฏอุดรธานี ที่อนุเคราะห์สถานที่และอุปกรณ์และศูนย์วิจัยเครื่องจักรกลเกษตรและวิทยาการเก็บเกี่ยว สาขาวิชาวิศวกรรมเกษตร คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น ที่สนับสนุนเงินทุนวิจัย

References

Arjun V. A., & Khalid, M. (2020). Futuristic model of automatic electric cooking machine. *Proceeding of the international conference on power, instrumentation,*

control and computing (PICC) (pp. 1-6). Thrissur, India, IEEE. doi: 10.1109/PICC51425.2020.9362400

Inagawa, M., Takei, T., & Imanishi, E. (2021). Analysis of cooking recipes written in Japanese and motion planning for cooking robot. *ROBOMECH Journal*, 8(1), 17. doi: 10.1186/s40648-021-00204-6

Khillare, R., & Ambudkar, B. (2023) Survey of various automated cooking System, *Journal of Data Acquisition and Processing*, 38(2) , 513-519. doi: 10.5281/zenodo.7766374

Kumar, A., Prakash, A., Datta, P., Kumar, R., & Sharma, G. (2019). Automatic cooking machine using Arduino. *International Journal of Recent Technology and Engineering*, 8(2), 2277-3878.

Lin, C., Pan, Y., Kuo, Y., Chen, C., & Tien, C. (2021). A Study of automatic judgment of food color and cooking conditions with artificial intelligence technology. Accessed September 9, 2023. Retrieved from <https://doi.org/10.3390/pr9071128>

Liu, H. C. (2019). *Design and research of intelligent cooking robot*. Beijing, China: Beijing Forestry University.

Livinsa, Z. M., Valantina, G. M., Premi, M. S. G., & Sheeba, G. M. (2021). A modern automatic cooking machine using Arduino Mega and IOT. *Journal of Physics: Conference Series*. 1770(1), 012027. doi:10.1088/1742-6596/1770/1/012027

Rakshitha, M. J., Madan, G., Prakash, K. R., & Shivaraj, C. S. (2019). Design and development automated food maker. *International Research Journal of Engineering and Technology*, 6(6), 599-603.

Reema, P., Shewale, A. N., & Patil, C. S. (2016). Automated cooking machine using Programmable Logic Controller (PLC). *International journal of Computer Science Trends and Technology*, 4(4), 16-18.

Syamsudduha, A. A., Pratiwi, D., Yudistari, A. R., Hindharta, J., & Dewi, A. R. (2013). Future smart cooking machine system design. *TELKOMNIKA (Telecommunication Computing Electronics and Control)*, 11(4), 827. doi:10.12928/telkomnika.v11i4.1207

Takata, K., Kiyokawa, T., Yamanobe, N., Ramirez-Alpizar, I. G., Wan W., & Harada, K. (2022). Graph-based framework on bimanual manipulation planning from cooking recipe. *Robotics*, 11(6), 123. doi: 10.3390/robotics11060123

Udcharchon, S., (2021). *Economic feasibility analysis and risk analysis for waste to energy power plant project investment in Phichit Province* (Master's thesis). Phitsanulok, Thailand: Naresuan University. (in Thai)

- Wu, Y. Q., (2017). *Study on the key technology of intelligent cooking machine*. Xii An, China: Xi'an Polytechnic University. doi: 10.1109/COASE.2006.326938
- Yan, W. X., Fu, Z., Liu, Y. H., Liu, R. Q., Zhao, Y. Z., Zhou, X. Y., Tang, J. H., & Yan, P. (2006). A new automatic cooking machine for Chinese dishes. *Proceeding of the international conference on automation science and engineering* (pp. 534-539). Shanghai, China: IEEE.
- Zhang, J., Bao, S., & Luo, B. (2021). Design of a fully automatic intelligent cooking robot. *Journal of Physics: Conference Series*, 1986, 012101. doi:10.1088/1742-6596/1986/1/012101
- Zhu, J. (2014). *Intelligent cooking machine and the key technology study*. Wuhan, China: Wuhan Institute of Technology.

Research article

Effect of temperature and frying time for automatic frying arm

Komsan Tantichukiad¹ Aphichat Srichat¹ Ittipol Singkum² Chaiyan Junsiri³
Sahassawas Poojeera⁴ Sakkarin Wangkahart⁵ Kaweepong Hongtong⁶ and
Wuttiiphong Thonghaeo^{6*}

¹Department of Mechanical Engineering, Faculty of Technology, Udon Thani Rajabhat University, Mueang district, Udon thani, 41000

²Department of Civil and Architecture, Faculty of Technology, Udon Thani Rajabhat University, Mueang district, Udon thani, 41000

³Agricultural Machinery and Postharvest Technology Center, Khon Kaen University, Mueang district, Khon Kaen, 40002

⁴Department of Mechanical Engineering, Faculty of Engineering, Rajamangala University of Technology Isan, Khon Kaen Campus, Mueang district, Khon Kaen, 40000

⁵Faculty of Management Science, Udon Thani Rajabhat University, Mueang district, Udon thani, 41000

^{6*}Department of Mechanical Engineering, Faculty of Engineering, Khon Kaen University, Mueang district, Khon Kaen, 40002

ARTICLE INFO

Article history

Received: 31 October 2023

Revised: 1 April 2024

Accepted: 7 May 2024

Online published: 23 May 2024

Keyword

Automatic fryer

Robot arm

French fries

Drumette

Food processing

ABSTRACT

The research involved developing a prototype mechanical arm for frying food, controlled by an Arduino board, to fry food instead of using a fryer. In the experiment, two types of food with different physical characteristics, namely French fries and chicken wings, were used at the same temperature and with the same weight of ingredients, ensuring proper frying with an initial weight of 100 grams for each. Three levels of frying temperatures were set: 120, 140, and 160 degrees Celsius, respectively, using the prototype mechanical arm for frying food. French fries, weighing 100 grams each, were fried to achieve a cooked, crispy, golden-yellow appearance without being soaked in oil. It was found that the most appropriate frying time was 300 seconds, with a tolerance of plus or minus 30 seconds, at a temperature of 160 degrees Celsius. The payback period for selling French fries to recover the investment in part was 8 days, considering the cost of equipment and other expenses, with a net profit of 688.48 baht. For chicken wings weighing 100 grams each, the most suitable frying time was found to be 1200 seconds, with a tolerance of plus or minus 30 seconds, at a temperature of 140 degrees Celsius. The payback period for selling fried chicken to recover the capital for equipment and other expenses was approximately 24 days, with a net profit of 144.64 baht. This approach offers a relatively short payback period and can reduce labor costs for cooking staff as well.

*Corresponding author

E-mail address: saphichat@udru.ac.th (W. Thonghaeo)

Online print: 23 May 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.2024.13>



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

บทความวิจัย

ผลการเสริมกรดอินทรีย์ แก่นตะวัน และการใช้ร่วมกันในอาหารไก่ไข่ต่อสมรรถภาพการผลิตและคุณภาพไข่

เจษฎา รัตนวุฒิ^{1*} บติ คำสีเขียว¹ อุมพร แพทย์ศาสตร์¹ และ อาริรัตน์ ทศดี²

¹โครงการจัดตั้งคณะนวัตกรรมการเกษตรและประมง มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ อำเภอเมือง จังหวัดสุราษฎร์ธานี 84000

²คณะศิลปศาสตร์และวิทยาการจัดการ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ อำเภอเมือง จังหวัดสุราษฎร์ธานี 84000

ข้อมูลบทความ

บทคัดย่อ

Article history

รับ: 30 เมษายน 2567

แก้ไข: 13 พฤษภาคม 2567

ตอบรับการตีพิมพ์: 21 พฤษภาคม 2567

ตีพิมพ์ออนไลน์: 27 พฤษภาคม 2567

คำสำคัญ

ไก่ไข่

กรดอินทรีย์

แก่นตะวัน

คุณภาพเปลือกไข่

จากการประกาศห้ามใช้ยาปฏิชีวนะในอาหารสัตว์ จึงจำเป็นต้องหาสารเสริมที่มีประสิทธิภาพเพื่อลดหรือทดแทนการใช้ยาปฏิชีวนะ การศึกษาครั้งนี้เป็นการทดสอบผลของการเสริมกรดอินทรีย์รวม แก่นตะวัน และการใช้ร่วมกันในอาหารไก่ไข่ต่อสมรรถภาพการผลิตและคุณภาพไข่ การทดลองใช้แผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ และใช้ไก่ไข่พันธุ์ไฮเซก-บราวน์ อายุ 70 สัปดาห์ จำนวน 32 ตัว แบ่งออกเป็น 4 กลุ่ม แต่ละกลุ่มมี 4 ซ้ำ ๆ ละ 2 ตัว โดยใช้อาหารในการทดลอง ดังนี้ 1) อาหารควบคุม 2) อาหารควบคุม + กรดอินทรีย์รวม 0.3 % 3) อาหารควบคุม + แก่นตะวัน 1 % 4) อาหารควบคุม + กรดอินทรีย์รวม 0.3 % + แก่นตะวัน 1 % ทดลองเป็นระยะเวลา 8 สัปดาห์ ทำการบันทึกน้ำหนักตัว ผลผลิตไข่น้ำหนักไข่ มวลไข่ ปริมาณอาหารที่กิน อัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นผลผลิตไข่ และตรวจสอบคุณภาพไข่ในวันสุดท้ายของการทดลอง ผลการทดลองพบว่า การเสริมกรดอินทรีย์ และการเสริมกรดอินทรีย์ร่วมกับแก่นตะวันมีแนวโน้มทำให้ผลผลิตไข่เพิ่มขึ้นมากกว่ากลุ่มควบคุม ($p = 0.059$) การเสริมกรดอินทรีย์ร่วมกับแก่นตะวันมีผลทำให้มวลไข่เพิ่มขึ้นมากที่สุด ($p < 0.05$) ในด้านคุณภาพไข่ พบว่า การใช้สารเสริมทุกกลุ่มมีแนวโน้มทำให้ความหนาเปลือกไข่เพิ่มขึ้นมากกว่ากลุ่มควบคุม ($p = 0.075$) การเสริมกรดอินทรีย์ และการเสริมกรดอินทรีย์ร่วมกับแก่นตะวันมีผลทำให้ความแข็งแรงของเปลือกไข่เพิ่มขึ้น ($p < 0.01$) ผลจากการทดลองแสดงให้เห็นว่าการเสริมกรดอินทรีย์ร่วมกับแก่นตะวันในอาหารไก่ไข่มีผลช่วยเพิ่มสมรรถภาพการผลิตไข่ การเสริมกรดอินทรีย์เพียงอย่างเดียวและการใช้ร่วมกับแก่นตะวันมีผลทำให้คุณภาพของเปลือกไข่เพิ่มขึ้น

บทนำ

ในการผลิตสัตว์ปีกได้มีการใช้ยาปฏิชีวนะในอาหารเพื่อส่งเสริมสุขภาพสัตว์และปรับปรุงสมรรถภาพการผลิต อย่างไรก็ตาม การใช้ยาปฏิชีวนะในระดับต่ำ (sub-therapeutic dose) อย่างต่อเนื่องได้ก่อให้เกิดปัญหาต่าง ๆ ตามมา เช่น เกิดการดื้อยาของยาปฏิชีวนะในผลผลิตจากสัตว์ เกิดความไม่สมดุลของจุลินทรีย์ในลำไส้ รวมทั้งเกิดการดื้อยาของแบคทีเรียที่ก่อโรคในสัตว์และมนุษย์ ด้วยเหตุนี้จึงมีความจำเป็นในการค้นหาสารเสริมที่มีประสิทธิภาพเพื่อทดแทนการใช้ยาปฏิชีวนะ สารเสริมอาหารสัตว์ที่ได้มีการนำมาใช้ทดแทนได้แก่ สมุนไพร สารสกัดจากพืช กรดอินทรีย์ โปรไบโอติก พรีไบโอติก เป็นต้น

แก่นตะวัน (Jerusalem artichoke) มีชื่อวิทยาศาสตร์คือ *Helianthus tuberosus* L. จัดอยู่ในวงศ์ทานตะวัน เป็นพืชที่ปลูกไว้รับประทานหัว ในหัวแก่นตะวันจะมีสารสำคัญชนิดหนึ่ง คือ อินูลิน (inulin) ซึ่งเป็นน้ำตาลเชิงซ้อน โดยหัวแก่นตะวันประกอบด้วยอินูลิน 14-15 % (Yildiz et al., 2006) และมีคุณสมบัติเป็นพรีไบโอติก ซึ่งไม่สามารถย่อยและไม่ถูกดูดซึมได้ทั้งในกระเพาะอาหารและลำไส้เล็ก

แต่จะถูกย่อยด้วยแบคทีเรียบริเวณลำไส้ใหญ่ โดยจะกระตุ้นการทำงานของและส่งเสริมการเจริญของแบคทีเรียที่มีประโยชน์ (bifidobacteria, lactobacilli) รวมทั้งลดแบคทีเรียที่เป็นอันตรายต่อร่างกายให้ลดน้อยลง (*Clostridium perfringens*, *Streptococcus*, *E. coli*) Sritiawthai et al. (2013) รายงานว่า การเสริมแก่นตะวันในอาหารไก่ไข่ที่ระดับ 0.01 % ไม่ส่งผลกระทบต่อปริมาณอาหารที่กินและผลผลิตไข่ แต่การเสริมมีผลช่วยเพิ่มจำนวนแบคทีเรียที่ผลิตกรดแล็กติก (lactic acid bacteria) ในไส้ติ่งของไก่ไข่ Srikijkasemwat et al. (2021) รายงานการเสริมแก่นตะวันผงในอาหารไก่เนื้อโดยพบว่าการเสริมที่ระดับ 0.25 % ช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการใช้อาหารของไก่เนื้อในช่วงอายุ 22-35 วัน นอกจากนี้ Nabizadeh (2012) รายงานการเสริมอินูลินที่สกัดจากรากชิโครี (chicory root) ในอาหารไก่เนื้อ โดยพบว่าการเสริมอินูลินที่ระดับ 1 % ช่วยเพิ่มน้ำหนักตัวของไก่เนื้อ และยังมีผลทำให้ bifidobacteria ในไส้ติ่งมีจำนวนเพิ่มมากขึ้น กรดอินทรีย์เป็นสารเพิ่มความข้นหนืดที่มีการนำมาใช้ในอาหารและน้ำดื่มของสัตว์เพื่อเพิ่มความเป็นกรดในทางเดินอาหาร เพิ่มการใช้ประโยชน์ได้ของสารอาหาร เพิ่มจำนวนแบคทีเรียที่มี

*Corresponding author

E-mail address: jassada.r@psu.ac.th (J. Rattanawut)

Online print: 27 May 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.2024.14>

ประโยชน์ และยับยั้งการเจริญของแบคทีเรียที่ก่อโรค นอกจากนั้น สภาวะความเป็นกรดในกระเพาะอาหารมีผลช่วยเพิ่มการเปลี่ยนแปลงซินโนเจน (pepsinogen) เป็นเปปซิน (pepsin) ซึ่งช่วยเพิ่มการย่อยของโปรตีนและแร่ธาตุต่าง ๆ การเสริมกรดอินทรีย์รวม (calcium butyrate, calcium propionate, calcium lactate, fumaric acid) ในอาหารไก่ไข่พบว่า ช่วยเพิ่มผลผลิตไข่และคุณภาพเปลือกไข่ (Soltan, 2008) รวมทั้งทำให้น้ำหนักไข่เพิ่มขึ้น (Shalaei et al., 2014) ซึ่งทั้งกรดอินทรีย์และฟอสฟอโรอิกเป็นสารเสริมที่มีศักยภาพในการนำมาใช้ทดแทนยาปฏิชีวนะในการผลิตสัตว์ปีก และได้มีการนำมาใช้กันอย่างกว้างขวาง อย่างไรก็ตามการนำมาใช้ร่วมกันยังมีข้อมูลที่จำกัด ในการศึกษาครั้งนี้ได้นำแก๊สแทนตะวันซึ่งมีคุณสมบัติเป็นฟอสฟอโรอิกและกรดอินทรีย์มาใช้เสริมในอาหารไก่ไข่โดยมีการใช้ทั้งแบบเดี่ยวและผสมรวมกันเพื่อทดสอบสมรรถภาพการผลิต และคุณภาพไข่เพื่อเป็นข้อมูลเบื้องต้นสำหรับการใช้ในอาหารสัตว์ต่อไป

อุปกรณ์และวิธีการวิจัย

การศึกษาผลของการเสริมกรดอินทรีย์รวม แก๊สแทนตะวัน และการใช้ร่วมกันในอาหารไก่ไข่ต่อสมรรถภาพการผลิตและคุณภาพไข่ได้ปฏิบัติตามกฎระเบียบของคณะกรรมการกำกับดูแลการเลี้ยงและใช้สัตว์ทดลองของมหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ (เลขที่ใบอนุญาตใช้สัตว์: U1-04206-2559) ใช้แผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ โดยใช้ไก่ไข่สายพันธุ์ไฮเชก-บราวน์ อายุ 70 สัปดาห์ จำนวน 32 ตัว โดยแบ่งออกเป็น 4 กลุ่ม แต่ละกลุ่มมี 4 ซ้ำ ๆ ละ 2 ตัว เลี้ยงในกรงไก่ไข่ขนาด 40 ซม. × 45 ซม. × 35 ซม. (ขังกรงละ 2 ตัว) ไก่ไข่จะได้รับอาหารทดลองซึ่งประกอบสูตรตามความต้องการโภชนาการของสายพันธุ์ไฮเชก-บราวน์ (Table 1) กลุ่มการทดลองประกอบด้วย 1) อาหารควบคุม 2) อาหารควบคุม + กรดอินทรีย์รวม 0.3 % 3) อาหารควบคุม + แก๊สแทนตะวัน 1 % 4) อาหารควบคุม + กรดอินทรีย์รวม 0.3 % + แก๊สแทนตะวัน 1 % เลี้ยงไก่ไข่ทดลองในโรงเรือนระบบเปิด ให้ได้รับอาหารแบบเต็มๆ ที่ให้น้ำด้วยระบบนิปเปิ้ล และได้รับแสงสว่าง 16 ชั่วโมงต่อวัน ทำการทดลองเป็นระยะเวลา 8 สัปดาห์ โดยกรดอินทรีย์รวมที่ใช้ในการทดลองเป็นผลิตภัณฑ์ทางการค้าอยู่ในรูปแบบผงประกอบด้วย กรดฟูมาริก กรดแล็กติก กรดฟอรั่มิก กรดโพธิ์โอนิก และ

กรดซิตริก โดยใช้ที่ระดับ 0.3 % ตามคำแนะนำของผู้ผลิต สำหรับแก๊สแทนตะวันที่ใช้ในการทดลองเตรียมจากหัวแก๊สแทนตะวันสดอายุ 4 เดือน กระบวนการเตรียมแก๊สแทนตะวันเริ่มจากการล้างหัวแก๊สแทนตะวันให้สะอาด ปอกเปลือก หั่นเนื้อให้เป็นชิ้นบาง จากนั้นนำไปอบแห้งที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 48 ชั่วโมง และบดให้ละเอียด สารเสริมที่ใช้ทั้ง 2 ชนิดจะผสมลงไปเป็นอาหารไก่ไข่โดยใช้เครื่องผสมอาหารขนาดเล็ก

การวัดสมรรถภาพการผลิตและคุณภาพไข่

ทำการชั่งน้ำหนักไก่ไข่เมื่อเริ่มต้นการทดลอง (อายุไก่ 70 สัปดาห์) และเมื่อสิ้นสุดการทดลอง (อายุไก่ 78 สัปดาห์) เพื่อนำไปคำนวณหาน้ำหนักตัวที่เปลี่ยนแปลง การวัดสมรรถภาพการผลิตจะใช้ข้อมูลเฉลี่ยของทั้ง 8 สัปดาห์ โดยมีการบันทึกผลผลิตไข่ น้ำหนักไข่ มวลไข่ ปริมาณอาหารที่กิน และอัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นผลผลิตไข่ สำหรับการตรวจสอบคุณภาพไข่ จะทำในวันสุดท้ายของการทดลอง โดยสุ่มไข่จำนวน 4 ฟอง/กลุ่ม (เข้าละ 1 ฟอง) นำมาตรวจสอบน้ำหนักฟองไข่ น้ำหนักเปลือกไข่ น้ำหนักไข่แดง น้ำหนักไข่ขาว ความหนาเปลือกไข่ ความแข็งแรงของเปลือกไข่ สีไข่แดง และค่า Haugh unit น้ำหนักของไข่ทำการชั่งด้วยเครื่องชั่งดิจิตอล ความแข็งแรงของเปลือกไข่ทำการวัดด้วยเครื่องทดสอบความแข็งแรงของเปลือกไข่ น้ำหนักของเปลือกไข่ น้ำหนักไข่แดง และน้ำหนักไข่ขาวทำการชั่งด้วยเครื่องชั่งดิจิตอล ความหนาของเปลือกไข่ทำการวัดด้วยเวอร์เนียร์ไมโครมิเตอร์ โดยทำการวัด 3 จุด คือ ด้านป้าน ตรงกลาง ด้านแหลม และนำมาหาค่าเฉลี่ยสำหรับสีของไข่แดง และค่า Haugh unit ทำการวัดด้วยเครื่องวัดคุณภาพไข่อัตโนมัติ (Digital Egg Tester DET 6000, NABEL Co., Ltd, Kyoto, Japan)

ขั้นตอนและวิธีการในการวิเคราะห์ข้อมูล

ข้อมูลที่ได้จากการทดลอง ได้แก่ น้ำหนักตัว ผลผลิตไข่ น้ำหนักไข่ มวลไข่ ปริมาณอาหารที่กิน อัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นผลผลิตไข่ และคุณภาพไข่ จะนำมาวิเคราะห์ผลทางสถิติ โดยการวิเคราะห์ความแปรปรวนและเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยโดยวิธี Duncan's multiple range test (DMRT) โดยใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์ SPSS 16.0 (SPSS Inc., Chicago, IL, USA) ผลการทดลองแสดงในรูปค่าเฉลี่ยและค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐานจากค่าเฉลี่ย ค่า $p < 0.05$ จะพิจารณาว่าแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ และค่า $p < 0.1$ จะถูกพิจารณาว่ามีแนวโน้ม (Thiese et al., 2016)

Table 1 Feed formulation and chemical composition of the basal diet

Item	Amount (%)
Ingredient	
Corn	56.94
Soybean meal (44 % CP)	22.48
Rice bran	4.00
Fish meal (55 % CP)	3.00
Oyster shell	8.30
Dicalcium phosphate (18 % P)	2.00
Plant oil	2.55
DL-Methionine	0.13
Salt	0.30
Vitamin and mineral premixes ¹	0.30
Calculated analysis	
Crude protein	16.5
Metabolizable energy (kcal/kg)	2800
Crude fiber	3.43
Crude fat	5.69
Calcium	4.08

Table 1 Feed formulation and chemical composition of the basal diet

Item	Amount (%)
Available phosphorus	0.45
Lysine	0.88
Methionine	0.42

¹Premixes: 2.0 MIU vitamin A, 0.32 MIU vitamin D₃, 2,000 mg vitamin E, 330 mg vitamin K₃, 220 mg vit B₁, 450 mg vitamin B₂, 4.5 mg vitamin B₁₂, 600 mg niacin, 100 mg copper, 150 mg iodine, 130 mg cobalt, 10 g iron, 8.8 g manganese, 8.8 g zinc, 25 g preservative, up to 1 kg filter.

ผลและวิจารณ์ผลการวิจัย

ผลของการเสริมกรดอินทรีย์รวมและแก๊นตะวันผงในอาหารต่อสมรรถภาพการผลิตของไก่ไข่ แสดงใน Table 2 ซึ่งพบว่า น้ำหนักตัว น้ำหนักไข่ ปริมาณอาหารที่กิน และอัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นผลผลิตไข่ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($p > 0.05$) แต่การเสริมกรดอินทรีย์เพียงอย่างเดียวและการเสริมกรดอินทรีย์ร่วมกับแก๊นตะวันในอาหารไก่ไข่มีแนวโน้มทำให้ผลผลิตไข่เพิ่มขึ้นมากกว่ากลุ่มควบคุมและกลุ่มที่เสริมแก๊นตะวันเพียงอย่างเดียว ($p = 0.059$) และการเสริมร่วมกันของกรดอินทรีย์และแก๊นตะวันมีผลทำให้มวลไข่เพิ่มขึ้นมากที่สุด ($p < 0.05$) ซึ่งสภาพความเป็นกรดที่เพิ่มขึ้นในทางเดินอาหารในกลุ่มที่มีการใช้กรดอินทรีย์อาจจะมีอิทธิพลต่อการเพิ่มสมรรถภาพการผลิตไข่ โดย Marinho et al. (2007) ได้รายงานว่าการเพิ่มความเป็นกรดในทางเดินอาหารช่วยส่งเสริมทำให้เอนไซม์เปปซินทำงานได้ดีขึ้น ส่งผลให้การย่อยโปรตีนในกระเพาะอาหารดีขึ้นและยังทำให้สัตว์ใช้ประโยชน์จากแร่ธาตุได้เพิ่มมากขึ้น การเสริมกรดอินทรีย์ลงไปในอาหารยังทำให้สภาวะแวดล้อมในทางเดินอาหารไม่เหมาะสมกับการเจริญของเชื้อแบคทีเรียก่อโรค ทั้งนี้เพราะแบคทีเรียก่อโรคต้องการสภาวะแวดล้อมที่เป็นกลางหรือเป็นด่างสำหรับการเจริญ นอกจากกรดอินทรีย์จะช่วยลดจำนวนเชื้อก่อโรค (*Enterobacteriaceae*, *Escherichia coli*, *Salmonella* sp.) ลงได้แล้ว ยังทำให้แบคทีเรียที่ผลิตกรดกรดแล็กติก (*lactic acid bacteria*) ซึ่งเป็นแบคทีเรียที่มี

ประโยชน์ในทางเดินอาหารมีจำนวนเพิ่มมากขึ้น ส่งผลให้สัตว์ใช้ประโยชน์จากอาหารได้มากขึ้น (Ogunwole et al., 2011) โดยในการทดลองครั้งนี้พบว่ากรดอินทรีย์รวมกับแก๊นตะวันมีปริมาณมวลไข่สูงสุด ซึ่งอาจจะเกิดจากอิทธิพลร่วมของกรดอินทรีย์และฟรีไบโอติกในการช่วยปรับปรุงสภาวะในทางเดินอาหารของไก่ไข่ให้เหมาะสมต่อการย่อยและการดูดซึมสารอาหาร ทำให้ใช้ประโยชน์จากอาหารได้มากขึ้น ซึ่งโดยทั่วไปแล้วฟรีไบโอติกจะเป็นอาหารสำหรับแบคทีเรียที่มีประโยชน์ในทางเดินอาหาร ช่วยกระตุ้นการทำงานของโปรไบโอติก ทำให้มีการผลิตกรดไขมันระเหยได้และกรดแล็กติกในทางเดินอาหารของสัตว์เพิ่มขึ้นด้วย ดังนั้นเมื่อนำกรดอินทรีย์มาใช้ร่วมกับแก๊นตะวันจึงมีผลช่วยเสริมฤทธิ์ร่วมกันทำให้สมรรถภาพการผลิตไข่เพิ่มขึ้น สำหรับในกลุ่มที่เสริมแก๊นตะวันเพียงอย่างเดียวมีผลผลิตไข่และมวลไข่ใกล้เคียงกับกลุ่มควบคุม ซึ่งอาจเป็นไปได้ว่าปริมาณการเสริมแก๊นตะวันที่ระดับ 1 % อาจจะไม่เพียงพอสำหรับไก่ไข่ โดยมีรายงานการใช้แก๊นตะวันในระดับสูงถึง 5 % ในสูตรอาหารไก่ไข่ (Yildiz et al., 2006) อย่างไรก็ตามผลตอบสนองของการใช้แก๊นตะวันในอาหารสัตว์ปีกยังขึ้นอยู่กับปัจจัยต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้อง เช่น ระดับของอินูลินหรือฟรักโทโอลิโกแซ็กคาไรด์ในแก๊นตะวัน ชนิดของสัตว์ปีก ชนิดของอาหารที่ใช้ ความเครียดจากสภาพแวดล้อม และสุขภาพของฟาร์ม (Cornescu et al., 2023)

Table 2 Production performance of laying hens fed diet supplemented with organic acids (OA), Jerusalem artichoke (JA) and their mixture during 70-78 weeks of age

Parameter	Treatment				SEM	P-value
	Control	OA 0.3 %	JA 1.0 %	OA 0.3 % + JA 1.0 %		
Initial body weight (g)	1738.80	1737.50	1732.50	1728.80	2.91	0.643
Final body weight (g)	1763.20	1759.20	1755.50	1747.50	2.57	0.157
Body weight change (g)	24.40	21.70	23.00	18.70	2.13	0.848
Egg production (%)	82.87	84.25	81.50	86.50	0.71	0.059
Egg weight (g)	58.20	58.10	57.92	58.22	0.11	0.834
Egg mass (g)	48.23 ^b	48.94 ^{ab}	47.20 ^b	50.37 ^a	0.41	0.029
Feed intake (g/hen/day)	95.12	94.25	93.50	94.50	0.51	0.773
Feed conversion ratio (g of feed consumed/g of egg mass)	1.97	1.92	1.98	1.87	0.01	0.124

^{a,b} Means with different superscripts in the same row are significantly different at $p < 0.05$.

ผลของการเสริมกรดอินทรีย์และแก๊นตะวันในอาหารต่อคุณภาพไข่ไก่แสดงใน Table 3 จากการตรวจคุณภาพไข่ พบว่าการเสริมกรดอินทรีย์และแก๊นตะวันในอาหารไม่มีผลต่อน้ำหนักไข่ทั้งฟอง น้ำหนักเปลือกไข่ น้ำหนักไข่แดง น้ำหนักไข่ขาว สีไข่แดง และค่า Haugh unit ($p > 0.05$) แต่พบว่าการใช้สารเสริมทุกกลุ่มมีแนวโน้มทำให้ความหนาเปลือกไข่เพิ่มขึ้นมากกว่ากลุ่มควบคุม ($p = 0.075$) การเสริมกรดอินทรีย์เพียงอย่างเดียวและการเสริมกรดอินทรีย์ร่วมกับแก๊นตะวันมีผลทำให้ความแข็งแรงของเปลือกไข่เพิ่มขึ้นอย่างชัดเจน

($p < 0.01$) ซึ่งคุณภาพเปลือกไข่ที่เพิ่มขึ้นจะทำให้ลดการแตกเสียหายของไข่ในระหว่างการเก็บรักษาและการขนส่งได้ Khan & Iqbal (2016) ได้รายงานว่าการเสริมกรดอินทรีย์มีผลทำให้เกิดสภาพความเป็นกรดในทางเดินอาหารเพิ่มขึ้นซึ่งทำให้การดูดซึมของแร่ธาตุหลักเพิ่มขึ้น และมีผลทำให้คุณภาพของเปลือกไข่เพิ่มขึ้น (ความแข็งแรงของเปลือก ความหนาเปลือก) ในขณะที่ Soltan (2008) รายงานว่าการเสริมกรดอินทรีย์รวม (calcium butyrate, calcium propionate, calcium lactate, fumaric acid) ในอาหารที่ระดับ 0.078 % ในไก่ไข่ที่

อายุมากมีผลทำให้ความหนาเปลือกไข่เพิ่มขึ้น โดยความหนาเปลือกไข่ที่เพิ่มขึ้นนั้นเป็นผลเนื่องมาจากการเพิ่มขึ้นของระดับแคลเซียมในเลือด ซึ่งเป็นผลมาจากคุณสมบัติของกรดอินทรีย์ในการเพิ่มการละลายและการดูดซึมของแคลเซียมในทางเดินอาหาร Świątkiewicz et al. (2010) รายงานว่า การเสริมกรดอินทรีย์รวมในอาหารไก่ไข่มีผลช่วยปรับปรุงคุณภาพเปลือกไข่เนื่องจากความเป็นกรดในทางเดินอาหารที่เพิ่มขึ้นช่วยเพิ่มการใช้ประโยชน์ได้ของแคลเซียมและฟอสฟอรัสในลำไส้ อย่างไรก็ตามผลสำเร็จของการใช้กรดอินทรีย์ยังขึ้นอยู่กับปัจจัยต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้อง เช่น ส่วนประกอบของกรดที่ใช้ ระดับที่ใช้ ชนิดของ

สัตว์ สภาพแวดล้อม ส่วนประกอบของสูตรอาหาร ฯลฯ ในการทดลองครั้งนี้กลุ่มที่เสริมแกลนตะวันเพียงอย่างเดียวมีความแข็งแรงของเปลือกไข่ใกล้เคียงกับกลุ่มควบคุม ซึ่งอาจเป็นไปได้ว่าการเสริมแกลนตะวันในระดับ 1 % อาจจะไม่เพียงพอสำหรับไก่ไข่ ซึ่งโดยทั่วไปแล้ว ปริมาณกรดอินทรีย์ต่าง ๆ เช่น อินูลิน โอลิโกแซ็กคาไรด์ พอลิแซ็กคาไรด์ที่ไม่ใช่แป้ง ฯลฯ จะมีอิทธิพลต่อการปรับเปลี่ยนของจุลินทรีย์ในลำไส้ ลดจำนวนของแบคทีเรียที่เป็นอันตราย และช่วยกระตุ้นการดูดซึมแร่ธาตุ โดยเฉพาะแคลเซียมและแมกนีเซียมด้วยเช่นกัน แต่ต้องใช้ในระดับที่เหมาะสม

Table 3 Egg quality traits of laying hens fed diet supplemented with organic acids (OA), Jerusalem artichoke (JA) and their mixture at 78 weeks of age

Parameters	Treatment				SEM	P-value
	Control	OA 0.3 %	JA 1.0 %	OA 0.3 % + JA 1.0 %		
Whole egg weight (g)	59.12	58.95	59.20	59.30	0.21	0.960
Shell weight (g)	6.65	6.62	6.57	6.67	0.05	0.938
Yolk weight (g)	15.82	15.85	15.77	15.87	0.06	0.957
Albumen weight (g)	36.65	36.48	36.86	36.76	0.23	0.963
Shell thickness (mm)	0.377	0.395	0.380	0.392	0.003	0.075
Eggshell strength (kg/cm ²)	3.50 ^b	3.80 ^a	3.42 ^b	3.90 ^a	0.06	0.005
Yolk color score	8.62	8.57	8.52	8.45	0.04	0.515
Haugh unit	85.12	84.75	87.25	86.12	0.58	0.475

^{a,b} Means with different superscripts in the same row are significantly different at $p < 0.05$.

สรุปผลการวิจัย

การเสริมกรดอินทรีย์ร่วมกับแกลนตะวันในอาหารไก่ไข่มีผลช่วยเพิ่มสมรรถภาพการผลิตไข่ ในด้านคุณภาพไข่ พบว่า การเสริมกรดอินทรีย์เพียงอย่างเดียวและการใช้ร่วมกับแกลนตะวันมีผลทำให้คุณภาพของเปลือกไข่เพิ่มขึ้น

References

- Cornescu, G. M., Panaite, T. D., Soica, C., Cismileanu, A., & Matache, C. C. (2023). Jerusalem artichoke (*Helianthus tuberosus* L.) as a promising dietary feed ingredient for monogastric farm animals. *Applied Sciences*, 13(23), 12748. doi: 10.3390/app132312748
- Khan, S. H., & Iqbal, J. (2016). Recent advances in the role of organic acids in poultry nutrition. *Journal Applied Animal Research*, 44(1), 359–369. doi: 10.1080/09712119.2015.1079527
- Marinho, M. C., Lordelo, M. M., Cunha, L. F., & Freire, J. P. B. (2007). Microbial activity in the gut of piglets: I. effect of prebiotic and probiotic supplementation. *Livestock Science*, 108(1-3), 236-239. doi: 10.1016/j.livsci.2007.01.081
- 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
- Ogunwole, O. A., Abu, O. A., & Adepoju, I. A. (2011). Performance and carcass characteristics of broiler finishers fed acidifier

based diets. *Pakistan Journal of Nutrition*, 10(7), 631-636. doi: 10.3923/pjn.2011.631.636

- Shalaei, M., Hosseini, S. M., & Zergani, E. (2014). Effect of different supplements on eggshell quality, some characteristics of gastrointestinal tract and performance of laying hens. *Veterinary Research Forum*, 5(4), 277-286. doi: PMID25610579
- Soltan, M. A. (2008). Effect of dietary organic acid supplementation on egg production, egg quality, and some blood serum parameters in laying hens. *International Journal of Poultry Science*, 7(6), 613–621. doi: 10.3923/ijps.2008.613.621
- Srikijkasemwat, K., Klompanya, A., Sitthigripong, R., & Thammakarn, C. (2021). Effects of Jerusalem artichoke powder supplementation in diet on production performance and carcass quality of broiler. *Journal of Mahanakorn Veterinary Medicine*, 16(2), 247-255. (in Thai)
- Sritiawthai, E., Kaewtapee, C., Bunchasak, C., & Poeikhampha, T. (2013). Effect of Jerusalem artichoke (*Helianthus tuberosus* L.) supplementation on production performances, egg quality characteristics and intestinal microflora of laying hens. *Journal of Applied Sciences*, 13(1), 183-187. doi: 10.3923/jas.2013.183.187
- Świątkiewicz, S., Koreleski, J., & Arczewska, A. (2010). Laying performance and eggshell quality in laying hens fed

- diets supplemented with prebiotics and organic acids. *Czech Journal of Animal Science*, 55(7), 294-306. doi: 10.17221/207/2009-CJAS
- Thiese, M. S., Ronna, B., & Ott, U. (2016). P value interpretations and considerations. *Journal of Thoracic Disease*, 8(9), 928-931. doi: 10.21037/jtd.2016.08.16
- Yildiz, G., Sacakli, P., & Gungor, T. (2006). The effect of dietary Jerusalem artichoke (*Helianthus tuberosus* L.) on performance, egg quality characteristics and egg cholesterol content in laying hens. *Czech Journal of Animal Science*, 51(8), 349-354. doi: 10.17221/3950-CJAS.

Research article

Effect of dietary supplementation of organic acids, Jerusalem artichoke, and their mixture on production performance and egg quality in laying hens

Jessada Rattanawut^{1*} Bodee Khamseekhiew¹ Umaporn Pastsart¹ and Areerat Todsadee²

¹*Faculty of Innovative Agriculture and Fishery Establishment Project, Prince of Songkla University, Mueang district, Surat Thani Province 84000*

²*Faculty of Liberal Arts and Management Sciences, Prince of Songkla University, Mueang district, Surat Thani Province 84000*

ARTICLE INFO**Article history**

Received: 30 April 2024

Revised: 13 May 2024

Accepted: 21 May 2024

Online published: 27 May 2024

Keyword

laying hen

organic acids

Jerusalem artichoke

eggshell quality

ABSTRACT

With the ban on the use of antibiotics in animal feed, it is necessary to find effective supplements to reduce or replace the use of antibiotics. This study investigated the effects of supplementing organic acids, Jerusalem artichoke, and their mixture in the diet of layers on production performance and egg quality. Thirty-two Hisex brown hens, 70 weeks of age, were reared in layer cages using a completely randomized design. The hens were randomly divided into 4 treatment groups, with 4 replicates per treatment and 2 hens per replicate. The following dietary treatments were applied for 8 weeks: 1) control, 2) control diet + 0.3 % organic acids, 3) control diet + 1 % Jerusalem artichoke, and 4) control diet + 0.3 % organic acids + 1 % Jerusalem artichoke. Body weight, egg production, egg weight, egg mass, feed intake, feed conversion ratio, and egg quality were examined. The results showed that supplementation with organic acids and the combination of organic acids plus Jerusalem artichoke in the diet tended to increase egg production compared to the control group ($p = 0.059$). The combination of organic acids plus Jerusalem artichoke resulted in the greatest increase in egg mass ($p < 0.05$). For egg quality, the use of supplements in all groups tended to increase eggshell thickness more than the control group ($p = 0.075$). The combination of organic acids plus Jerusalem artichoke resulted in an increase in eggshell strength ($p < 0.01$). The present results indicate that the supplementation of organic acids plus Jerusalem artichoke improved egg production performance. Dietary supplementation with organic acids alone or in combination with Jerusalem artichoke resulted in an increase in eggshell quality.

*Corresponding author

E-mail address: jassada.r@psu.ac.th (J. Rattanawut)

Online print: 27 May 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.2024.14>

2สาขาวิชานวัตกรรมอาหารและการจัดการ ภาควิชาพื้นฐานทั่วไป สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง วิทยาเขตชุมพร เขตอุดมศักดิ์
อำเภอปะทิว จังหวัดชุมพร 86160

อุตสาหกรรมเบเกอร์รี่ของประเทศไทยมีแนวโน้มเติบโตอย่างต่อเนื่อง ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2559-2560 ตลาดเบเกอร์รี่มีการเติบโตเฉลี่ย

Online print: 30 May 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.2024.15>

ร้อยละ 7 ต่อปี มูลค่าประมาณ 22.3 พันล้านบาท และมีแนวโน้มที่จะเติบโตอย่างต่อเนื่อง (Raiva, 2016) สาเหตุของมาการองที่มีราคาค่อนข้างสูง เนื่องจากมีต้นทุนด้านวัตถุดิบโดยเฉพาะอัลมอนต์มีราคาที่สูง รวมถึงกระบวนการผลิตมาการองมีขั้นตอนและเทคนิคการผสมที่เฉพาะตัว ซึ่งในกระบวนการผลิตในแต่ละวิธีการผสมจะมีลักษณะที่คล้ายกัน คือ การตีไข่ขาวกับน้ำตาลจนตั้งยอด (เมอแรงก์) และนำไปผสมกับของแห้ง ต่อมารวมส่วนผสมจนได้ความเหลวที่ต้องการและนำมาบีบเป็นฝา ทิ้งไว้ในอุณหภูมิที่เย็นจนฝาของมาการองแห้งสนิท จากนั้นนำไปอบ การผลิตมาการองให้มีลักษณะที่ดีตรงตามความต้องการของผู้บริโภคจะต้องควบคุมคุณภาพ และลดปัจจัยเสี่ยงที่จะส่งผลต่อลักษณะกายภาพและเคมีของผลิตภัณฑ์ เช่น รูปทรง ความสูงของขา ความกรอบ ปริมาณความชื้น ฯลฯ จากการศึกษาที่ผ่านมาได้มีการพัฒนาผลิตภัณฑ์มาการองจากวัตถุดิบทางเลือก เพื่อเพิ่มความแปลกใหม่ รวมไปถึงลดต้นทุนในการผลิต เช่น การใช้เม็ดมะม่วงหิมพานต์ และถั่วลิสงทดแทนผงอัลมอนต์ (Boonsiriwit & Sriwarom, 2018; Panyayong & Khantasen, 2018) การใช้กากเมล็ดอัลมอนต์ที่เหลือจากการผลิตเครื่องดื่มนมอัลมอนต์ (Siyunglek et al., 2020) จากการศึกษาที่ผ่านมาผู้วิจัยเล็งเห็นว่า กากมะพร้าวเหลือใช้เหล่านี้มีประโยชน์ต่อการนำมาพัฒนาผลิตภัณฑ์อาหารและสนใจที่จะศึกษาการนำกากมะพร้าวมาประยุกต์ใช้กับผลิตภัณฑ์มาการอง เพื่อลดต้นทุนในการผลิต เพิ่มคุณค่าทางโภชนาการ เพิ่มปริมาณใยอาหาร และเพิ่มความแปลกใหม่ให้กับผลิตภัณฑ์มาการอง โดยเฉพาะอย่างยิ่งเพิ่มทางเลือกให้กับกลุ่มผู้บริโภคที่มีการแพ้ถั่วเปลือกแข็ง ช่วยให้ผู้บริโภคสามารถเข้าถึงผลิตภัณฑ์มาการองได้มากยิ่งขึ้น นอกจากนี้ยังเป็นแนวทางในการนำวัตถุดิบเหลือใช้ (Food waste) มาประยุกต์ใช้ในอุตสาหกรรมอาหารอย่างเกิดประโยชน์สูงสุดอีกด้วย

อุปกรณ์และวิธีการวิจัย

การเตรียมอัลมอนต์ป่น

วิธีการเตรียมอัลมอนต์ป่น ใช้อัลมอนต์ทางการค้าสำเร็จรูปชนิดบดละเอียด โดยนำมาร่อนผ่านตะแกรงละเอียด 40 เมช แล้วนำอัลมอนต์เข้าเตาอบที่อุณหภูมิ 50 ± 2 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที แล้วนำออกมาคนให้เข้ากัน อดต่ออีก 30 นาที นำออกจากเตาอบพักไว้ให้เย็นสนิท เก็บตัวอย่างอัลมอนต์ป่นใส่ถุงพลาสติกโพลิโพรพิลีนปิดปากถุงด้วยระบบสุญญากาศ เก็บในตู้เย็นอุณหภูมิ 2 องศาเซลเซียส จากนั้นนำไปวิเคราะห์สมบัติทางเคมีและกายภาพ ได้แก่ ค่าสี ค่าวอเตอร์แอกติวิตี (a_w) และองค์ประกอบหลักในอาหาร

การเตรียมกากมะพร้าว

วิธีการเตรียมกากมะพร้าว ดัดแปลงจาก Thinkarn (2019) เริ่มจากใช้มะพร้าวชุดขาวน้ำหนัก 500 กรัม ต่อน้ำร้อนอุณหภูมิ 80 ± 3 องศาเซลเซียส ปริมาตร 500 มิลลิลิตร มาปั่นด้วยเครื่องผสมที่ความเร็วรอบ 25,000 รอบ/นาที กำลัง 1,200 วัตต์ เป็นเวลา 1 นาที กรองผ่านผ้าขาวบาง บีบน้ำกะทิออก นำกากมะพร้าวคั้นรอบที่ 2 ด้วยน้ำร้อนอุณหภูมิ 80 ± 3 องศาเซลเซียส ปริมาตร 500 มิลลิลิตร ปั่นด้วยเครื่องผสมที่ความเร็วรอบ 25,000 รอบ/นาที กำลัง 1,200 วัตต์ เป็นเวลา 1 นาที จากนั้นกรองผ่านผ้าขาวบาง 2 ชั้น บีบน้ำกะทิออกจนกระทั่งน้ำหนักกากมะพร้าวคงเหลือประมาณ 300 ± 5 กรัม นำกากมะพร้าวเข้าเตาอบที่อุณหภูมิ 100 ± 3 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30

นาที แล้วนำออกมาคนให้เข้ากัน อดต่ออีก 30 นาที นำออกจากเตาอบพักไว้ให้เย็นสนิท ซึ่งน้ำหนักหลังอบเท่ากับ 200 ± 5 กรัม เก็บตัวอย่างกากมะพร้าวใส่ถุงพลาสติกโพลิโพรพิลีนปิดปากถุงด้วยระบบสุญญากาศ เก็บในตู้เย็นอุณหภูมิ 2 องศาเซลเซียส จากนั้นนำไปวิเคราะห์สมบัติทางเคมีและกายภาพ ได้แก่ ค่าสี ค่าวอเตอร์แอกติวิตี (a_w) และองค์ประกอบหลักในอาหาร

การคัดเลือกสูตรพื้นฐานของมาการอง

ทำการคัดเลือกสูตรพื้นฐานของมาการองจากการศึกษาที่ผ่านมา ได้แก่ สูตร 1 (Boonsiriwit & Sriwarom, 2018) สูตร 2 (Panyayong & Khantasen, 2018) และสูตร 3 (Siyunglek et al., 2020) ส่วนผสมดัง Table 1 โดยวางแผนการทดลองแบบสุ่มในบล็อกสมบูรณ์ (Randomized complete block design, RCBD) จากนั้นนำมาทำการทดลองที่ผลิตได้ มาทดสอบทางประสาทสัมผัสในด้านลักษณะปรากฏ สี กลิ่นรส รสชาติ เนื้อสัมผัส (ความกรอบ) และความชอบโดยรวม ด้วยวิธีการชิมแบบให้คะแนนความชอบ 9 ระดับ (9-Point hedonic scale) ใช้ผู้ทดสอบทั่วไปจำนวน 50 คน เพื่อคัดเลือกสูตรพื้นฐานที่มีคะแนนความชอบสูงที่สุดมาใช้ในการศึกษาต่อไป ในการทดสอบทางประสาทสัมผัสของมาการอง ผู้วิจัยจะแจ้งข้อมูลที่อาจส่งผลต่อสุขภาพให้ผู้ทดสอบรับทราบก่อนการทดสอบ เพื่อลดความเสี่ยงต่อการแพ้อาหารจากวัตถุดิบที่ใช้ในกระบวนการผลิต และผู้วิจัยจะยุติการทดสอบทันที เมื่อผู้ทดสอบมีอาการแพ้จากอาหารดังกล่าว

การศึกษาประเภทของเมอแรงก์

ทำการศึกษาประเภทของเมอแรงก์ที่เหมาะสมต่อสมบัติทางเคมีและกายภาพ การยอมรับของผู้บริโภค โดยนำมาการองสูตรพื้นฐานที่ผู้บริโภคให้คะแนนชอบสูงที่สุดมาศึกษาโดยเปรียบเทียบประเภทของเมอแรงก์ระหว่างเฟรนช์เมอแรงก์ (French meringue) สวิสเมอแรงก์ (Swiss meringue) และอิตาลีเมอแรงก์ (Italian meringue) จากนั้นวิเคราะห์สมบัติทางเคมีและกายภาพของมาการองทั้ง 3 ประเภท ได้แก่ ค่าสี ลักษณะเนื้อสัมผัส ปริมาณความชื้น ค่า pH และค่า a_w จากนั้นนำมาการองที่ผลิตได้มาทดสอบคุณภาพทางประสาทสัมผัสด้วยวิธีการชิมแบบให้คะแนนความชอบ 9 ระดับ (9-Point hedonic scale) ใช้ผู้ทดสอบทั่วไปจำนวน 50 คน จากนั้นนำประเภทเมอแรงก์ที่มีคะแนนความชอบสูงที่สุดมาใช้ในการศึกษาต่อไป

วิธีการผลิตมาการอง

เริ่มจากการเตรียมเมอแรงก์ ดังนี้

1) เฟรนช์เมอแรงก์ (French Meringue) ตีไข่ขาวด้วยเครื่องผสมอาหาร (Kitchen Aid, รุ่น Heavy Duty, USA) ความเร็วปานกลาง 30 วินาที แล้วใส่น้ำตาลทรายครั้งละ 10 กรัม ทุก 1 นาที เมื่อไข่ขึ้นฟูเป็นฟองละเอียด ด้วยความเร็วสูงสุดของเครื่องนาน 4-5 นาที จนมีลักษณะตั้งยอด (Stiff peak)

2) สวิสเมอแรงก์ (Swiss Meringue) ผสมไข่ขาวและน้ำตาลทราย นำไปตั้งบนอ่างน้ำร้อนโดยไม่ให้น้ำร้อนสัมผัสกับภาชนะ (Bain-marie) อุณหภูมิ 55 ± 5 องศาเซลเซียส คนให้น้ำตาลทรายละลาย จากนั้นตีด้วยเครื่องผสมอาหารด้วยความเร็วสูงสุดของเครื่องนาน 4-5 นาที จนมีลักษณะตั้งยอด (Stiff peak)

3) อิตาลีเมอแรงก์ (Italian Meringue) ต้มน้ำตาลทรายและน้ำไฟปานกลาง จนเดือดที่อุณหภูมิ 118 องศาเซลเซียส ทำการตีไข่ขาวด้วยเครื่องผสมอาหาร ความเร็วปานกลาง 30 วินาที จนมี

ลักษณะขึ้นฟูเป็นฟองละเอียด รินน้ำเชื่อมเป็นสายยาวในไข่ขาวตีด้วยความเร็วสูงสุดของเครื่องนาน 4-5 นาที จนมีลักษณะตั้งยอด (Stiff peak) จากนั้นนำอัลมอนต์ป่นและน้ำตาลไอซิ่งร่อนรวมกันด้วยตะแกรงขนาด 40 เมช 1 ครั้ง นำไปผสมกับเมือแรงก์ที่ตีไว้ ตระลอมด้วยพายยางให้เป็นเนื้อเดียวกัน จากนั้นตักใส่ถุงบีบใช้หัวบีบเบอร์ 8 แล้วบีบเป็นวงกลม ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 2-3 เซนติเมตร บนถาดอบที่รองด้วยกระดาษไข จากนั้นพักไว้ 10 นาที แล้วนำเข้าอบด้วยเตาอบ (Franke, รุ่น FO40012 96MXS ประเทศไทย) ที่อุณหภูมิ 150 องศาเซลเซียส ไฟบนล่าง ใช้เวลา 15 นาที พักให้เย็น

การศึกษาอัตราส่วนกากมะพร้าวเหลือใช้ในการผลิตมาการอง

ทำการศึกษาร้อยละที่เหมาะสมของกากมะพร้าวเหลือใช้ทดแทนในส่วนของผงอัลมอนต์ วางแผนการทดลองแบบสุ่มไม่บล็อกสมบูรณ์ (Randomized complete block design, RCBD) ซึ่งกำหนดให้อัตราส่วนระหว่างอัลมอนต์ป่นต่อกากมะพร้าว เป็นดังนี้ 4:0 3:0.5 2:1 1:1.5 และ 0:2 จากนั้นทำการผลิตมาการองและนำมาการองที่ผลิตได้มาทดสอบคุณภาพทางประสาทสัมผัสด้วยวิธีการชิมแบบให้คะแนนความชอบ 9 ระดับ (9-Point hedonic scale) ใช้ผู้ทดสอบทั่วไปจำนวน 50 คน

การวิเคราะห์สมบัติทางเคมีและกายภาพของมาการอง

นำตัวอย่างมาการองมาวิเคราะห์สมบัติทางเคมีและกายภาพดังนี้ การวิเคราะห์ค่าสี ด้วยเครื่องวัดค่าสี Hunter Lab รุ่น Color Flex, USA รายงานค่าสีตามระบบ Hunter ค่าที่ปรากฏมีทั้งหมด 3 ค่า คือ ค่าสี L^* (ค่าความสว่างมีค่า 0-100 โดยค่า 0 คือ ค่าความสว่างสีดำ และ 100 คือ ค่าความสว่างสีขาว) ค่าสี a^* (ค่า + คือวัตถุที่มีออกแดง และ ค่า - คือวัตถุที่มีออกเขียว) และ b^* (ค่า + คือวัตถุที่มีออกเหลือง และ ค่า - คือวัตถุที่มีออกน้ำเงิน) วิเคราะห์จำนวน 3 ซ้ำ และจดบันทึกค่า L^* a^* และ b^*

การวิเคราะห์เนื้อสัมผัส ดัดแปลงจาก Reitz (2016) ทำการทดลองวัดเนื้อสัมผัสด้วยวิธี Texture Profile Analysis (TPA) ด้วยเครื่องวัดเนื้อสัมผัส TA-XT Plus texture analyzer (Stable Micro Systems Ltd, Godalming, Surrey, UK) โดยใช้หัววัดขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 100 มิลลิเมตร (P/100 probe) ระยะทางการกดเท่ากับ 10 มิลลิเมตร ความเร็วของหัววัด (test speed) เท่ากับ 2 มิลลิเมตรต่อวินาที ทั้งขณะกดและกลับสู่ตำแหน่งเดิม (pre-post test) เท่ากับ 1 มิลลิเมตรต่อวินาที ใช้เวลา 5 วินาทีระหว่างกด ตัวอย่างที่วัดค่าเนื้อสัมผัสจะไม่มีการประกบเพื่อบรรจุใส่ มีเฉพาะส่วนที่เป็นตัวมาการองเท่านั้น น้ำหนักประมาณ 6-7 กรัม โดยวัดตัวอย่างภายใน 24 ชั่วโมง จากนั้นรายงานเป็นค่าความแข็ง (Hardness) อ่านค่าจากแรงสูงสุดที่เกิดขึ้นระหว่างการกดครั้งแรกและทำให้วัตถุแตก และค่าความกรอบ (Crispness) อ่านค่าจากจุดแรกที่ทำให้โครงสร้างภายในชิ้นอาหารเสียหายแต่ไม่แตกออกจากกัน หรือความสามารถในการแตกหัก รายงานผลเป็นหน่วยนิวตัน (N) และมิลลิเมตร (mm.) ตามลำดับทำการวิเคราะห์ตัวอย่างละ 10 ซ้ำ

การวิเคราะห์ปริมาณความชื้น โดยใช้วิธีของ AOAC (2016) ซึ่งนำหนักตัวอย่าง 3 กรัม ใส่ในภาชนะที่อบแห้งแล้ว (น้ำหนักคงที่) นำไปอบในตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส จนน้ำหนักคงที่ นำไปใส่ในโถดูดความชื้น ชั่งน้ำหนักที่เหลือ ทำการทดลองตัวอย่างละ 3 ซ้ำ นำค่าที่ได้ไปคำนวณปริมาณความชื้นของตัวอย่าง

การวิเคราะห์ค่าวอเตอร์แอกติวิตี ด้วยเครื่อง a_w meter (RS-232, AQUA Lab, USA) จำนวน 3 ซ้ำ จดบันทึกแล้วคำนวณค่าเฉลี่ยของค่าวอเตอร์แอกติวิตี

การวิเคราะห์ค่า pH ด้วยการชั่งตัวอย่างมาการองปริมาณ 10 กรัม เติมน้ำกลั่น 90 มิลลิลิตร ทำการโฮมจีไนซ์ด้วยเครื่องโฮมจีไนเซอร์ความเร็วระดับ 1 นาน 1 นาที และวัดค่าด้วยเครื่อง pH meter ทำการวิเคราะห์ 5 ซ้ำ

การวิเคราะห์องค์ประกอบหลักในอาหาร วิเคราะห์องค์ประกอบหลักของตัวอย่างกากมะพร้าวและผลิตภัณฑ์มาการอง ได้แก่ ปริมาณความชื้น โปรตีน ไขมัน เส้นใยหยาบ เถ้า ตามวิธี AOAC (2016) และคาร์โบไฮเดรต (คำนวณ)

วิเคราะห์ข้อมูลและเปรียบเทียบสมบัติทางเคมีกายภาพของมาการองตามแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ (Completely randomized design, CRD) โดยใช้โปรแกรมวิเคราะห์ทางสถิติสำเร็จรูป SPSS (SPSS 26.0, SPSS Inc., Chicago, IL, USA) เพื่อวิเคราะห์ ความแปรปรวน (Analysis of variance) และหาความแตกต่างของค่าเฉลี่ยด้วยวิธี Duncan's new multiple range test (DMRT) ที่ระดับความเชื่อมั่นทางสถิติร้อยละ 95

ผลและวิจารณ์ผลการวิจัย

ผลของการวิเคราะห์สมบัติทางเคมีและกายภาพของอัลมอนต์ป่นและกากมะพร้าว

ลักษณะปรากฏของกากมะพร้าวเป็นผงละเอียดสีขาวนวลแห้งและเบา ส่วนอัลมอนต์ป่น มีสีเหลืองปนน้ำตาล (Figure 1) และมีสมบัติทางกายภาพเคมีแสดงดัง Table 2



Figure 1 Almond powder (A) and Coconut powder (B).

จากการวิเคราะห์สมบัติทางเคมีและกายภาพของอัลมอนต์และกากมะพร้าว พบว่า กากมะพร้าวมีความชื้นสูงกว่าอัลมอนต์ป่น โดยความชื้นของวัตถุดิบทางการเกษตรอย่างกากมะพร้าวส่วนใหญ่จะมีค่าไม่เกินร้อยละ 10 สอดคล้องกับงานวิจัยของ Yalegama et al. (2013) ที่ได้ศึกษากากมะพร้าวที่เหลือจากการคั่นกะทิและสกัดน้ำมันมะพร้าว โดยมีช่วงปริมาณความชื้นอยู่ที่ร้อยละ 2.50 และ 4.20 ตามลำดับ ส่วนปริมาณเถ้า ไขมัน และโปรตีน ที่พบในกากมะพร้าวมีค่าน้อยกว่าอัลมอนต์ป่น เนื่องจากในกระบวนการคั่นกะทิ (ปั่นรวมกับน้ำร้อน กรอง และบีบน้ำกะทิ) อาจจะมีวิตามินและแร่ธาตุละลายรวมไปกับน้ำ จึงทำให้ค่าเถ้าลดลง ขณะเดียวกันปริมาณไขมัน และโปรตีนก็ลดลง ในงานวิจัยของ Yalegama et al. (2013) กล่าวว่า ในกระบวนการคั่นกะทิด้วยน้ำเปล่า น้ำร้อน น้ำเดือด ร่วมกับออกแรงคั้น จะสามารถลดปริมาณไขมันของกากมะพร้าวลงจากร้อยละ 62 เหลือร้อยละ 42 ส่วนปริมาณคาร์โบไฮเดรตและเส้นใยหยาบของกากมะพร้าวมีค่าสูงขึ้น เนื่องจากกากมะพร้าวที่ผ่านการคั่นกะทิหรือสกัดน้ำมันมะพร้าวแล้ว จะมีปริมาณคาร์โบไฮเดรตสูงถึงร้อยละ 57.35 (Marikkar & Madurapperuma, 2012) ทั้งนี้กากมะพร้าว

ที่ผ่านการกำจัดไขมันยังเป็นแหล่งของใยอาหารประเภทไม่ละลายน้ำ (Insoluble fiber) มากถึงร้อยละ 56 (Trinidad et al., 2006)

ผลของการคัดเลือกสูตรพื้นฐานของมาการอง

ลักษณะปรากฏของมาการองทั้ง 3 สูตร พบว่ามาการองสูตร 2 มีสีเข้มที่สุด ขณะที่สูตร 3 มีสีอ่อนและมีความสว่างมากที่สุด ในด้านผิวสัมผัสของสูตร 1 ยังมีความประปรายกว่าสูตรอื่น ๆ สังเกตได้จากบริเวณผิวหน้าของมาการองที่มีการยุบตัว เกิดจากความชื้นสะสมของขึ้นตัวอย่างดัง Figure 2 ปริมาณน้ำตาลและส่วนผสมที่แตกต่างกันทำให้ความแข็งแรงของมาการองมีความแตกต่างกัน สอดคล้องกับ Boonna et al. (2022) ที่ได้ศึกษาการเพิ่มอัตราส่วนของน้ำตาลในขนมปัง โดยน้ำตาลเกิดพันธะที่แข็งแรงกับโปรตีน เมื่อน้ำตาลหลังการอบและเย็นตัวลงจะอยู่ในรูปของผลึก

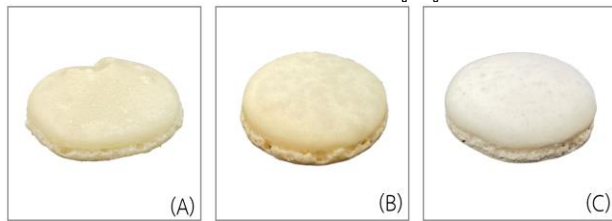


Figure 2 Characteristics of basic macarons. Formula 1 (A) Formula 2 (B) and Formula 3 (C).

จากการทดสอบทางประสาทสัมผัสของมาการองทั้ง 3 สูตร (Table 3) พบว่า คะแนนความชอบทุกด้านมีระดับความชอบอยู่ในช่วงค่าเฉลี่ยระหว่าง 4.70 ถึง 8.17 อยู่ในเกณฑ์ระดับรู้สึกเฉย ๆ ถึงชอบมากที่สุด โดยมาการองสูตร 3 มีคะแนนความชอบสูงที่สุดทุกคุณลักษณะทั้งลักษณะปรากฏ สี กลิ่นรส รสชาติ เนื้อสัมผัสและความชอบรวม โดยมีค่าแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) กับสูตร 1 และ 2 ดังนั้นจึงเลือกมาการองสูตร 3 เป็นสูตรมาตรฐานในการศึกษาต่อไป

ผลของการศึกษาประเภทของเมอแรงก์

ลักษณะปรากฏของเมอแรงก์ทั้ง 3 ประเภท พบว่า เมื่อผสมส่วนผสมตามสูตรมาตรฐานด้วยกระบวนการตีไข่ขาวชนิดเฟรนช์ เมอแรงก์ และสวิสเมอแรงก์ทำให้ส่วนผสมมีลักษณะที่เหลวกว่าอิตาเลียนเมอแรงก์ ทำให้ระหว่างการอบใช้ระยะเวลาสั้นกว่าที่ผิวหน้าจะแห้งก่อนนำเข้าอบ เนื่องจากน้ำเชื่อมที่อุณหภูมิสูง (116-125 องศาเซลเซียส) ไข่ขาวสุกและแข็งตัว เมื่อถูกตีด้วยความเร็วส่วนผสมจึงคลายความร้อน ให้น้ำระเหยได้ดี เมอแรงก์จึงตั้งยอดและอยู่ตัวได้ดีที่สุด เนื้อสัมผัสละเอียด แน่น สีขาวและเงามากกว่าชนิดเฟรนช์เมอแรงก์ และสวิสเมอแรงก์ เมื่อตัวอย่างทั้ง 3 ประเภทสุกแล้ว ขึ้นมาการองมีความสูงของขาใกล้เคียงกัน (Foot หรือ Skirt) ส่วนเฟรนช์เมอแรงก์ และสวิสเมอแรงก์จะมีฟองอากาศค่อนข้างมาก จะเห็นได้ว่ามาการองหลังอบจะมีขนาดฟองอากาศค่อนข้างมากทำให้ตัวอย่างมีความประปราย (Figure 3)

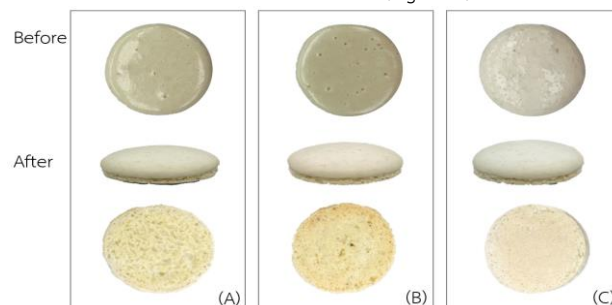


Figure 3 Appearance of macarons. French meringue (A), Swiss meringue (B) and Italian meringue (C).

จากการวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพ ได้แก่ ค่าสีของมาการองที่เติมเมอแรงก์ทั้ง 3 ประเภท เมื่อเปรียบเทียบค่าความสว่าง (ค่า L^*) ค่าความเป็นสีแดง (ค่า a^*) และค่าความเป็นสีเหลือง (ค่า b^*) พบว่า อิตาเลียนเมอแรงก์ มีค่า L^* สูงกว่า เฟรนช์เมอแรงก์ และสวิสเมอแรงก์ ตามลำดับ ในขณะที่เดียวกัน ค่า a^* และ ค่า b^* ของอิตาเลียนเมอแรงก์ มีค่าต่ำกว่าเฟรนช์เมอแรงก์ และสวิสเมอแรงก์ ส่วนปริมาณความชื้นและค่า a_w มีผลการทดลองไปในทิศทางเดียวกัน โดยปริมาณความชื้นและค่า a_w ของอิตาเลียนเมอแรงก์มีค่าต่ำกว่าเฟรนช์เมอแรงก์ และสวิสเมอแรงก์ สำหรับค่า pH ของเมอแรงก์ทั้ง 3 ประเภท มีค่าแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญ ($p > 0.05$) ในส่วนค่าความแข็ง (Hardness) อิตาเลียนเมอแรงก์มีค่าสูงที่สุด ตามด้วยสวิสเมอแรงก์ และเฟรนช์เมอแรงก์ตามลำดับ ส่วนค่าความกรอบ (Crispness) มีค่าสวนทางกับค่าความแข็ง (Table 4)

การทดสอบทางประสาทสัมผัสของมาการองทั้ง 3 ประเภทของเมอแรงก์ (Table 5) พบว่า คะแนนความชอบทุกด้านมีระดับความชอบอยู่ในช่วงค่าเฉลี่ยระหว่าง 6.10 ถึง 8.00 จัดอยู่ในเกณฑ์ระดับชอบเล็กน้อยถึงชอบมาก เมื่อพิจารณาค่าเฉลี่ยในแต่ละคุณลักษณะของประเภทของเมอแรงก์ทั้ง 3 ประเภท พบว่า อิตาเลียนเมอแรงก์มีค่าเฉลี่ยคะแนนความชอบทุกด้านสูงกว่าเฟรนช์เมอแรงก์ และสวิสเมอแรงก์ ($p < 0.05$) ยกเว้นคะแนนความชอบด้านสีของอิตาเลียนเมอแรงก์แตกต่างกับสวิสเมอแรงก์อย่างไม่มีนัยสำคัญ ($p > 0.05$)

จากการศึกษาประเภทของเมอแรงก์ทำให้ทราบว่าเทคนิคการตีเมอแรงก์ส่งผลต่อความแข็งแรงของโครงสร้างของไข่ขาว เนื่องจากเทคนิคการตีไข่แบบเฟรนช์เมอแรงก์ (ตีไข่กับน้ำตาล) และสวิสเมอแรงก์ (ตีไข่กับน้ำตาลบนอ่างน้ำร้อน) ทำให้ไข่ขาวสุกไม่เต็มที่ ส่วนผสมจึงมีความเหลวเกินไป ส่งผลทำให้ส่วนผสมฟองอากาศมาก รูปทรงและขึ้นมาการองมีโพรงอากาศที่ไม่สม่ำเสมอ เมื่อเทียบกับเทคนิคการตีเมอแรงก์ชนิดอิตาเลียนเมอแรงก์ที่ใช้น้ำเชื่อมในอุณหภูมิ 116-121 องศาเซลเซียสตีผสมกับไข่ขาว จึงทำให้ไข่ขาวมีการตั้งยอด และแข็งแรงมากขึ้น โดยน้ำตาลและอุณหภูมิจะช่วยลดกำลังการเกิดฟองของโปรตีน และช่วยยับยั้งการเสียสภาพของโปรตีนด้วยความร้อน ทำให้โครงสร้างไข่ขาวแข็งแรง สอดคล้องกับงานวิจัยของ Yang & Foegeding (2010) กล่าวว่า เมื่อเพิ่มปริมาณน้ำตาลหรือน้ำเชื่อมช่วงร้อยละ 44.30-88.60 โดยน้ำหนักต่อปริมาณ สามารถเพิ่มความหนืดในไข่ขาวและลดฟองอากาศในผลิตภัณฑ์เค้กได้ โดยปริมาณน้ำตาลที่ใช้ในสูตรมาตรฐานอยู่ที่ระดับร้อยละ 47.62 โดยน้ำหนัก จึงทำให้โปรตีนมีค่ากำลังการเกิดฟองลดลง น้ำตาลจะไปยับยั้งการรวมตัว (Incorporation) ของฟองอากาศในสารละลาย นอกจากนั้นน้ำตาลยังส่งผลในการเพิ่มความคงตัวของฟอง เนื่องจากเป็นการเพิ่ม Bulk viscosity และ Surface tension (Chiralaksanakul, 2018)

ค่าสีของมาการองเกิดจากไข่ขาวและน้ำตาลทรายเป็นปฏิกิริยาสีน้ำตาล (Maillard reaction) ระหว่างการอบแห้ง (Quan & Benjakul, 2019) จึงทำให้มาการองมีค่า L^* ค่า a^* และค่า b^* ใกล้เคียงกัน เทคนิคชนิดอิตาเลียนเมอแรงก์ที่ใช้น้ำเชื่อมอุณหภูมิส่งผลทำให้ความชื้น และค่า a_w มีค่าต่ำที่สุดเมื่อเทียบกับอีก 2 ประเภท อาจเกิดการระเหยน้ำในไข่ขาวระหว่างตีเมอแรงก์ ในส่วนค่าความแข็งและค่าความกรอบมีผลการทดลองไปในทิศทางเดียวกับค่าความชื้น และค่า a_w สอดคล้องกับผลการทดลองของ Siyunglek et al. (2020) ซึ่งจากการทดลองนี้ค่า a_w กับค่า

ความแข็งและค่าความกรอบที่เปลี่ยนแปลงไป ส่วนค่า pH ของตัวอย่างทั้ง 3 ตัวอย่างมีค่าแตกต่างกันอย่างไม่นัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$)

ผลของการศึกษาอัตราส่วนอัลมอนต์ต่อกากมะพร้าวในการผลิตมาการอง

ลักษณะของมาการองในแต่ละอัตราส่วนของอัลมอนต์ป่นต่อกากมะพร้าวทั้ง 5 สูตร จะเห็นได้ว่ามาการองที่เพิ่มสัดส่วนของกากมะพร้าวมากขึ้น ตัวอย่างมาการองจะมีสีที่เข้ม (สีเหลือง) ขึ้นตามลำดับ โดยผิวหน้าของขึ้นมาการองมีผิวขรุขระ ไม่เรียบกระจายทั่วทั้งชิ้น โดยเฉพาะอย่างยิ่ง สูตร 5 ซึ่งมีลักษณะผิวหน้าก่อนอบขรุขระมากที่สุด เมื่อนำตัวอย่างไปอบให้สุก ตัวอย่างมาการองมีขาหูกตัวอย่าง โดยความสูงของขาสูตร 4 และ 5 มีความสูงอย่างเห็นได้ชัด ในขณะที่เดียวกันลักษณะกันของฝากายในของขึ้นตัวอย่างมีสีที่เข้มตามลำดับ ดัง Figure 4 ลักษณะของมาการองในแต่ละอัตราส่วนของอัลมอนต์ป่นต่อกากมะพร้าวทั้ง 5 สูตร มาการองที่เพิ่มสัดส่วนของกากมะพร้าวมากขึ้นจะมีสีที่เข้ม (สีเหลือง) ขึ้นตามลำดับ เนื่องจากกากมะพร้าวมีคุณสมบัติเป็นใยอาหาร ทำให้มีการดูดความชื้นในส่วนผสมทำให้ตัวอย่างมีลักษณะหยาบ เนื้อไม่เนียน

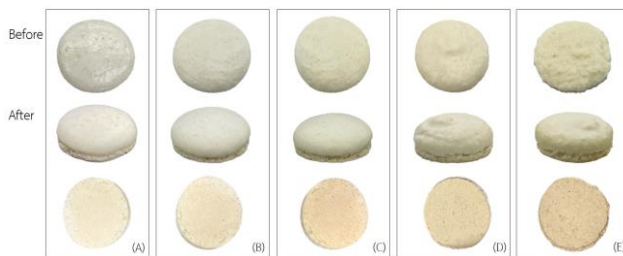


Figure 4 Macaron appearance from different ratios of almond powder to coconut powder: Formula 1 (A), Formula 2 (B), Formula 3 (C), Formula 4 (D) and Formula 5 (E).

จากการศึกษาอัตราส่วนอัลมอนต์ป่นต่อกากมะพร้าวในการผลิตมาการองด้วยการทดสอบทางประสาทสัมผัสของมาการองทั้ง 5 สูตร (Table 6) พบว่า คะแนนความชอบของมาการองสูตร 1 ถึง 3 มีค่าแตกต่างกันอย่างไม่นัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) ในด้านลักษณะปรากฏ เนื้อสัมผัสและความชอบโดยรวม การเพิ่มสัดส่วนกากมะพร้าวที่มากขึ้น ส่งผลทำให้คะแนนความชอบมีแนวโน้มลดลงทุก ๆ คุณลักษณะ โดยกากมะพร้าวส่งผลกระทบต่อการเปลี่ยนแปลงคะแนนความชอบในคุณลักษณะต่าง ๆ เช่น สี กลิ่น และรสชาติ โดยความเห็นของผู้ทดสอบได้ให้ความคิดเห็นในเรื่องกลิ่นและเนื้อสัมผัสของมาการองสูตร 4 และ 5 เช่น กลิ่นมะพร้าวแรงเกินไป เนื้อสัมผัสแข็งกระด้างเล็กน้อย เนื้อสัมผัสหยาบ เป็นต้น เนื่องจากมาการองสูตร 4 และ 5 มีสัดส่วนของกากมะพร้าวที่อัตราส่วน 1:1.5 และ 0:2 อัลมอนต์ป่นต่อกากมะพร้าว)ผู้บริโภคส่วนใหญ่ไม่เห็นด้วยกับการใส่กากมะพร้าวที่มากเกินไป

ผลของการวิเคราะห์สมบัติทางเคมีและกายภาพของมาการอง

การวิเคราะห์ค่าสีของมาการองที่มีอัตราส่วนอัลมอนต์ป่นต่อกากมะพร้าวที่แตกต่างกันทั้ง 5 สูตร (Table 7) พบว่า เมื่อเพิ่มอัตราส่วนของกากมะพร้าวในตัวอย่างมาการองสูงขึ้น ทำให้ค่า L^* มีแนวโน้มลดลง ขณะที่ค่า a^* และค่า b^* มีแนวโน้มเพิ่มขึ้น สอดคล้องกับการศึกษาของ Wirkijowska et al. (2021) การเพิ่มกากมะพร้าวที่เหลือจากการคั้นกะทิและที่เหลือจากการสกัดน้ำมันในขนมปัง และการศึกษาของ Sykut-Domańska et al. (2020) ที่เพิ่มกากมะพร้าวที่เหลือจากโรงงานในเส้นพาสต้าทำให้ค่า a^* และค่า b^* สูงขึ้น ขณะเดียวกัน Eadmusik, et al.

(2022) รายงานว่าการเสริมกากมะพร้าวในผลิตภัณฑ์โดนัททำให้แนวโน้มของค่าของสีเพิ่มขึ้น ส่วนใหญ่มาจากปฏิกิริยาสีน้ำตาล (Maillard reaction) และปฏิกิริยาการเกิดคาราเมล (Caramelization) เพราะในมะพร้าวมีทั้งน้ำตาลรีดิซ (กลูโคสและฟรุคโตส) และน้ำตาลซูโครส รวมไปถึงยังเหลือโปรตีนบางส่วนที่อาจทำให้เกิดปฏิกิริยาดังกล่าวได้

ปริมาณความชื้นทั้ง 5 สูตรมีค่าแตกต่างกันอย่างไม่นัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) ขณะที่ปริมาณวอเตอร์แอคทีวิตี (a_w) ของตัวอย่างมาการองสูตร 1 ถึง 3 แตกต่างอย่างไม่นัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) ส่วนค่า pH ของมาการองสูตร 1 ถึง 5 แตกต่างอย่างไม่นัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) ด้านสมบัติทางด้านเนื้อสัมผัสของมาการองจากวิธี TPA จะเห็นได้ว่า เมื่อกากมะพร้าวในตัวอย่างมาการองสูงขึ้น ตัวอย่างมาการองจะมีค่าความแข็งสูงขึ้น และค่าความกรอบลดลงตามลำดับ

การเพิ่มปริมาณกากมะพร้าวสูงขึ้นอัตราส่วน 1:1.5 (อัลมอนต์ป่นต่อกากมะพร้าว) หรือสูตร 4 ส่งผลให้ค่า a_w ไม่เปลี่ยนแปลงจากสูตรควบคุม แต่เมื่อเพิ่มขึ้นเป็นอัตราส่วน 0:2 หรือสูตร 5 ทำให้ค่า a_w มีค่าลดลง ซึ่งค่า a_w ของตัวอย่างทั้ง 5 สูตรถือว่ามีความค่อนข้างต่ำ ผลิตภัณฑ์ขนมอบที่มีค่า a_w ต่ำกว่า 0.60 และความชื้นต่ำกว่าร้อยละ 5 จะสามารถยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อจุลินทรีย์ที่ก่อโรค และช่วยลดการเสื่อมเสียของผลิตภัณฑ์อาหารได้ (Thai Industrial Standards Institute, 2005) ค่า a_w และความชื้นขึ้นขึ้นกับกระบวนการผลิต อาจเกิดจากปัจจัยเรื่องอุณหภูมิ ระยะเวลาในการอบแห้ง รวมถึงวิธีการเก็บรักษาของผลิตภัณฑ์ที่ส่งผลต่อการเพิ่มหรือลดของค่า a_w และปริมาณความชื้น ในส่วนของค่า pH ของตัวอย่างทั้ง 5 สูตร พบว่ามีค่าแตกต่างกันอย่างไม่นัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) ส่วนของขา (Foot หรือ Skirt) มีความสูงขึ้น เนื่องจากกากมะพร้าวมีคุณสมบัติเป็นใยอาหาร ช่วยดูดความชื้นในส่วนผสมไว้ได้ เมื่ออบในระยะเวลาและอุณหภูมิที่เท่ากัน จึงส่งผลให้มีสีเข้มขึ้น สอดคล้องกับงานวิจัยของ Adeloje et al. (2020) ที่รายงานว่า การเพิ่มปริมาณกากมะพร้าว (Defatted coconut flour) ในอาหารจะลดความหนาแน่นรวม (Bulk density) และลดความสามารถในการเกิดฟอง (Foaming capacity) และเพิ่มความสามารถในการดูดซับน้ำ (Water absorption capacity) ได้

ค่าความแข็งที่สูงขึ้น และค่าความกรอบที่ลดลง ขึ้นกับสัดส่วนของการเพิ่มกากมะพร้าว กากมะพร้าวที่มีคุณสมบัติเป็นใยอาหารเข้าปอดฟองอากาศ เพิ่มความสามารถในการดูดซับน้ำ และลดความสามารถในการเกิดฟอง (Adeloje et al., 2020) โดยปริมาณใยอาหารชนิดที่ไม่ละลายในน้ำ จะส่งผลให้มาการองมีค่าความแข็งมากขึ้น เช่น เซลลูโลสที่มีกลูโคสจำนวนมากเกาะกันอยู่ มีการจัดเรียงตัว ด้วยพันธะไกลโคไซด์ (Glycosidic bond) ที่ตำแหน่งปีต้า-1,4 (β -1,4) จึงทำให้เส้นใยมีความแข็งแรงไม่แตกหักง่าย ทำให้โครงสร้างโมเลกุลของเซลลูโลสเป็นแบบพอลิคิสตัลไลน์ (Polycrystalline) ซึ่งมีความแข็งแรงและยึดเกาะเป็นเส้นใยอาหาร (Siyunglek et al., 2020) ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Wirkijowska et al. (2021) ที่กล่าวว่าเมื่อเพิ่มกากมะพร้าวที่เหลือจากการคั้นกะทิและที่เหลือจากการสกัดน้ำมันในขนมปังทำให้ค่าความแข็งเพิ่มสูงขึ้น

ผลของการวิเคราะห์องค์ประกอบหลักของมาการองที่มีการทดแทนอัลมอนต์ป่นด้วยกากมะพร้าวระดับต่าง ๆ

จากการวิเคราะห์องค์ประกอบหลักในมาการองที่มีอัตราส่วนอัลมอนต์ป่นต่อกากมะพร้าวที่แตกต่างกันทั้ง 5 สูตร (Table 8) พบว่า ปริมาณคาร์โบไฮเดรตและเส้นใยหยาบมีแนวโน้มสูงขึ้น ขณะที่ปริมาณ

โปรตีน ไขมัน เถ้า และความชื้น มีค่าลดลงตามลำดับเมื่อมีการทดแทนอัลมอนต์ป่นด้วยกากมะพร้าวเพิ่มขึ้น

การเพิ่มกากมะพร้าวสูงขึ้นส่งผลต่อแนวโน้มของการเพิ่มใยอาหารในตัวอย่างมาการอง Portugal et al. (2013) กล่าวว่าใยอาหารจัดว่าเป็นตัวช่วยสำคัญของโภชนาการที่ดี ใยอาหารเป็นโพลีแซคคาไรด์ที่ไม่สามารถย่อยหรือดูดซึมในลำไส้เล็กได้ ใยอาหารที่ละลายน้ำได้ จะช่วยลดการดูดซับกลูโคสและคอเลสเตอรอลเข้าสู่กระแสเลือดระหว่างการย่อยอาหาร และในส่วนของใยอาหารที่ไม่ละลายน้ำจะจับกับน้ำเมื่อผ่านทางเดินอาหาร ทำให้อุจจาระนุ่ม เช่น เซลลูโลส และเฮมิเซลลูโลส อีกทั้งยังช่วยป้องกันการเกิดโรคริดสีดวงทวาร อาการท้องผูก และช่วยลดความเสี่ยงของมะเร็งบางชนิด โดยเฉพาะมะเร็งลำไส้ จากการวิจัยของ Trinidad et al. (2006) แป้งมะพร้าวมีใยอาหารทั้งหมดร้อยละ 60.90 ซึ่งประกอบด้วย ชนิดที่ไม่ละลายน้ำร้อยละ 56.8 และชนิดละลายน้ำได้ร้อยละ 3.80 ทำให้เห็นว่ากากมะพร้าวที่เหลือจากการกำจัดไขมันมีปริมาณใยอาหารที่สูง

สรุปผลการวิจัย

กากมะพร้าวเหลือใช้มีค่าสี L^* a^* และ b^* เท่ากับ 89.77

0.41 และ 9.51 ตามลำดับ ค่า a_w เท่ากับ 0.6 และมีปริมาณความชื้นเท่ากับร้อยละ 4.10 เถ้าเท่ากับร้อยละ 1.21 ไขมันเท่ากับร้อยละ 42.41 โปรตีนเท่ากับร้อยละ 4.27 คาร์โบไฮเดรตเท่ากับร้อยละ 48.01 และเส้นใยเท่ากับร้อยละ 36.27 ซึ่งเทคนิคการตีเมอแรงก์ชนิดอิตาเลียนส่งผลต่อความแข็งแรงของโครงสร้างของไข่ขาว การเพิ่มสัดส่วนกากมะพร้าวสูงขึ้นในมาการองทำให้ค่า L^* ลดลง ขณะที่ค่า a^* และค่า b^* เพิ่มขึ้น ค่า a_w ที่อัตราส่วน 1:1.5 (อัลมอนต์ป่นต่อกากมะพร้าว) มีค่าไม่แตกต่างกับสูตรควบคุม โดยค่าความชื้นและค่า a_w มีค่าไม่เกินค่ากำหนดของมาตรฐานอุตสาหกรรมที่กำหนดไว้ ส่วนค่าความแข็ง (Hardness) มีค่าสูงขึ้น และค่าความกรอบ (Crispness) ลดลงตามสัดส่วนของกากมะพร้าวที่เพิ่มขึ้น ปริมาณกากมะพร้าวสูงขึ้นส่งผลต่อการเพิ่มใยอาหารในตัวอย่างมาการอง ซึ่งส่งผลดีต่อคุณค่าทางโภชนาการ โดยอัตราส่วน 2:1 (อัลมอนต์ป่นต่อกากมะพร้าว) เป็นสัดส่วนที่เหมาะสมที่สุดในการผลิตมาการองจากกากมะพร้าว

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับทุนสนับสนุนการวิจัยจากทุนวิจัยภายในวิทยาลัยดุสิตธานี ประจำปีการศึกษา 3/2563

Table 1 Basic macaron recipe ingredients

Ingredients	Basic Macaron (g)		
	Formula 1	Formula 2	Formula 3
Almond powder	100	140	250
Icing sugar	168	196	250
Castor sugar	23	30	250
Water	-	-	120
Egg white	83	100	180

Table 2 Physicochemical properties of almond powder and coconut powder

Physicochemical property	Almond powder	Coconut powder
Color		
L^*	77.93 ± 0.17 ^b	89.77 ± 0.14 ^a
a^*	0.99 ± 0.09 ^a	0.41 ± 0.10 ^b
b^*	22.53 ± 0.07 ^a	9.51 ± 0.20 ^b
a_w	0.60 ± 0.01 ^a	0.51 ± 0.03 ^b
Proximate (% Dried)		
Moisture	3.81 ± 0.15 ^b	4.10 ± 0.07 ^a
Fat	54.53 ± 0.16 ^a	42.41 ± 0.09 ^b
Protein	18.29 ± 0.11 ^a	4.27 ± 0.11 ^b
Ash	3.51 ± 0.08 ^a	1.21 ± 0.05 ^b
Carbohydrate	19.86 ± 0.21 ^b	48.01 ± 0.04 ^a
Crude fiber	17.49 ± 0.43 ^b	36.27 ± 0.08 ^a

Note: Mean values ± standard deviation of determinations for triplicate samples. Values with the different superscripts in each row are significantly different ($p \leq 0.05$).

Table 3 Sensory test of basic macaron recipe

Characteristics	Basic Macaron		
	Formula 1	Formula 2	Formula 3
Appearance	5.87 ± 1.11 ^c	6.60 ± 1.13 ^b	7.53 ± 0.94 ^a
Color	5.50 ± 1.07 ^c	6.97 ± 1.03 ^b	7.83 ± 0.99 ^a
Flavor	5.77 ± 0.82 ^c	6.53 ± 1.20 ^b	8.03 ± 0.93 ^a
Taste	5.67 ± 0.71 ^c	6.67 ± 0.96 ^b	8.07 ± 0.98 ^a
Texture	4.70 ± 0.92 ^c	6.40 ± 1.38 ^b	8.07 ± 0.87 ^a
Overall Liking	5.67 ± 0.96 ^c	6.53 ± 1.04 ^b	8.17 ± 0.83 ^a

Note: Mean values ± standard deviation of determinations for triplicate samples. Values with the different superscripts in each row are significantly different ($p \leq 0.05$).

Table 4 Physicochemical properties of meringue types

Physicochemical property	French meringue	Swiss meringue	Italian meringue
Color			
L^*	79.74 ± 2.12 ^c	83.53 ± 1.55 ^b	88.12 ± 1.05 ^a
a^*	3.68 ± 0.27 ^a	3.22 ± 0.44 ^a	2.69 ± 0.32 ^b
b^*	16.96 ± 0.46 ^a	15.07 ± 0.41 ^a	14.18 ± 0.49 ^c
Moisture (%)	3.60 ± 0.10 ^a	3.41 ± 0.12 ^b	3.21 ± 0.06 ^c
a_w	0.58 ± 0.01 ^a	0.52 ± 0.01 ^b	0.48 ± 0.01 ^c
pH	6.26 ± 0.01 ^a	6.28 ± 0.01 ^a	6.27 ± 0.01 ^a
Hardness (N)	228.69 ± 13.96 ^c	266.34 ± 14.78 ^b	371.94 ± 11.18 ^a
Crispness (mm)	0.76 ± 0.09 ^a	0.69 ± 0.08 ^b	0.63 ± 0.07 ^b

Mean values ± standard deviation of determinations for triplicate samples. Values with the different superscripts in each row are significantly different ($p \leq 0.05$).

Table 5 Sensory test of meringue type

Characteristics	French meringue	Swiss meringue	Italian meringue
Appearance	6.37 ± 1.07 ^b	6.70 ± 1.44 ^b	7.37 ± 1.06 ^a
Color	6.40 ± 1.13 ^b	7.03 ± 1.40 ^a	7.30 ± 1.05 ^a
Flavor	6.10 ± 1.12 ^b	6.70 ± 1.62 ^b	7.53 ± 1.22 ^a
Taste	6.33 ± 1.06 ^b	6.27 ± 1.36 ^b	7.53 ± 1.20 ^a
Texture	6.60 ± 1.19 ^b	6.90 ± 1.45 ^b	8.00 ± 1.08 ^a
Overall Liking	6.43 ± 1.07 ^b	6.76 ± 1.28 ^b	7.73 ± 1.05 ^a

Mean values ± standard deviation of determinations for triplicate samples. Values with the different superscripts in each row are significantly different ($p \leq 0.05$).

Table 6 Sensory test of macaron from different ratios of almond powder to coconut powder

Characteristics	Macaron (Almond powder: Coconut powder)				
	Formula 1 (4: 0)	Formula 2 (3: 0.5)	Formula 3 (2: 1)	Formula 4 (1: 1.5)	Formula 5 (0: 2)
Appearance	7.64 ± 0.75 ^a	7.42 ± 0.84 ^a	7.42 ± 0.67 ^a	6.82 ± 0.59 ^b	6.56 ± 0.70 ^b
Color	7.82 ± 0.80 ^a	7.46 ± 0.99 ^b	7.62 ± 0.73 ^{ab}	6.78 ± 0.74 ^c	6.04 ± 0.90 ^d
Flavor	7.82 ± 0.90 ^a	7.46 ± 0.73 ^b	7.58 ± 0.64 ^{ab}	7.16 ± 0.65 ^c	6.72 ± 0.76 ^d
Taste	8.00 ± 0.86 ^a	7.66 ± 0.85 ^b	7.56 ± 0.79 ^b	6.94 ± 0.71 ^c	6.54 ± 0.68 ^d
Texture	7.88 ± 0.85 ^a	7.76 ± 0.82 ^a	7.70 ± 0.79 ^a	6.98 ± 0.68 ^b	6.30 ± 0.58 ^c
Overall Liking	7.92 ± 0.83 ^a	7.70 ± 0.95 ^a	7.60 ± 0.81 ^a	7.04 ± 0.83 ^b	6.68 ± 0.77 ^c

Note: Mean values ± standard deviation of determinations for triplicate samples. Values with the different superscripts in each row are significantly different ($p \leq 0.05$).

Table 7 Physicochemical properties of macaron from different ratios of almond powder to coconut powder

Physicochemical property	Macaron (Almond powder: Coconut powder)				
	Formula 1 (4:0)	Formula 2 (3:0.5)	Formula 3 (2:1)	Formula 4 (1:1.5)	Formula 5 (0:2)
Color					
L^*	87.92 ± 0.08 ^a	85.34 ± 0.26 ^b	84.91 ± 0.10 ^b	81.95 ± 0.45 ^c	77.63 ± 0.92 ^d
a^*	1.99 ± 0.02 ^b	2.02 ± 0.05 ^b	2.40 ± 0.32 ^{ab}	2.38 ± 0.59 ^{ab}	2.78 ± 0.43 ^{ab}
b^*	13.78 ± 0.12 ^d	14.87 ± 0.07 ^c	14.90 ± 0.28 ^c	17.17 ± 0.50 ^b	18.57 ± 0.69 ^a
Moisture (%)	4.15 ± 0.03 ^a	3.96 ± 0.08 ^b	3.78 ± 0.09 ^c	3.53 ± 0.09 ^d	3.16 ± 0.08 ^e
a_w	0.48 ± 0.02 ^a	0.49 ± 0.02 ^a	0.48 ± 0.01 ^a	0.45 ± 0.04 ^{ab}	0.41 ± 0.05 ^b
pH	6.58 ± 0.02 ^a	6.61 ± 0.01 ^a	6.59 ± 0.02 ^a	6.62 ± 0.02 ^a	6.62 ± 0.01 ^a
Hardness (N)	370.94 ± 8.50 ^d	375.93 ± 12.32 ^{cd}	384.34 ± 10.03 ^c	424.56 ± 9.90 ^b	466.34 ± 14.78 ^a
Crispness (mm)	0.79 ± 0.05 ^a	0.68 ± 0.08 ^b	0.66 ± 0.08 ^b	0.61 ± 0.09 ^c	0.59 ± 0.09 ^c

Note: Mean values ± standard deviation of determinations for triplicate samples. Values with the different superscripts in each row are significantly different ($p \leq 0.05$).

Table 8 Proximate of macaron from different ratios of almond powder to coconut powder

Proximate	Macaron (Almond powder: Coconut powder)				
	Formula 1 (4:0)	Formula 2 (3:0.5)	Formula 3 (2:1)	Formula 4 (1:1.5)	Formula 5 (0:2)
Carbohydrate	56.21 ± 0.11 ^c	57.32 ± 0.28 ^b	58.94 ± 0.19 ^b	59.81 ± 0.07 ^a	61.29 ± 0.15 ^a
Protein	21.53 ± 0.16 ^a	21.37 ± 0.09 ^a	20.88 ± 0.07 ^b	20.95 ± 0.11 ^{ab}	20.02 ± 0.05 ^c
Fat	16.21 ± 0.26 ^a	15.76 ± 0.13 ^{ab}	15.24 ± 0.15 ^b	14.82 ± 0.24 ^c	14.54 ± 0.19 ^c
Ash	1.92 ± 0.03 ^a	1.64 ± 0.01 ^b	1.12 ± 0.02 ^c	0.81 ± 0.01 ^d	0.66 ± 0.01 ^e
Crude fiber	2.47 ± 0.14 ^e	3.27 ± 0.11 ^d	4.02 ± 0.09 ^c	5.49 ± 0.15 ^b	6.48 ± 0.12 ^a
Moisture	4.13 ± 0.03 ^a	3.91 ± 0.04 ^b	3.82 ± 0.02 ^c	3.61 ± 0.02 ^d	3.49 ± 0.03 ^e

Note: Mean values ± standard deviation of determinations for triplicate samples. Values with the different superscripts in each row are significantly different ($p \leq 0.05$).

References

- Adeloye, J. B., Osho, H., & Idris, L. O. (2020). Defatted coconut flour improved the bioactive components, dietary fibre, antioxidant and sensory properties of nixtamalized maize flour. *Journal of Agriculture and Food Research*, 2(4), 100042. doi: 10.1016/j.jafr.2020.100042
- Association of Official Analytical Chemists (AOAC). (2016). *Official methods of analysis*. (20thed.). Washington D.C., United States: Association of Analytical Chemists.
- Boonna, P., Manarote, A., Panyathitipong, W., & Masavang, S. (2022). Effect of sugar content on physical and sensory properties of tapioca-based cookies. *Journal of Applied Research on Science and Technology (JARST)*, 21(2), 14-25. (in Thai) doi: 10.14456/jarst.2022.14
- Boonsiriwit, A., & Sriwarom, N. (2018). Processing of egg white pastries (macaroon) by using peanut and cashew nut powder as almond powder replacement. *Dusit Thani College Journal*, 12(2), 182-192. (in Thai)
- Chinnasarn, S., & Chinnasarn, K. (2015). *Extraction and utilization of dietary fiber and cellulose from coconut residue for value creation of agricultural by-products and mass transfer prediction models during frying process* (Research report). Chonburi, Thailand: Burapha University. (in Thai)
- Chiralaksanakul, N. (2018). *Effects of mixing time before baking, egg white aging, reduction of sugar and icing sugar content on the quality of macaron shells* (Master's thesis). Bangkok, Thailand: King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang. (in Thai)
- Chomchom, N., Uppathak, C. & Sakunyuenyongsuk, N. (2013). *Development of Thai dessert product from used coconut residue* (Research report). Bangkok, Thailand: Rajamangala University of Technology Phra Nakhon. (in Thai)
- Department of Agriculture. (2020). *Coconut production situation*. Accessed May 6, 2022. Retrieved from <https://www.doa.go.th>. (in Thai)
- Eadmusik, S., Phungamngoen, C., Panphut, W., & Budsabun, T. (2022). Partially substitution of wheat flour by coconut residues in bakery products and their physical and sensorial properties. *Food Research*, 6(1), 99-105. doi: 10.26656/fr.2017.6(1).140
- Marikkar, J. M. N., & Madurapperuma, W. S. (2012). Coconut. In M. Siddiq (Ed.) *Tropical and subtropical fruits: Postharvest physiology, processing and packaging* (pp. 159-177). Iowa, USA: John Wiley & Sons. doi: 10.1002/9781118324097.ch9
- Panyayong, C., & Khantasen, V. (2018). Development of almond powder substitute macaron form cashew nut powder. *Srinakharinwirot University (Journal of Science and Technology)*, 10(19), 14-30. (in Thai)
- Pedcharat, K., Sae-Tang, D., & Tungsatitporn, D. (2014). *Development of food products from used coconut residue*. (Research Report). Bangkok, Thailand: Rajamangala University of Technology Phra Nakhon. (in Thai)
- Portugal, T. R., Parcon, M. R. V., & Udarbe, M. A. (2013). Proficiency test on total dietary fiber in wheat flour. *International Journal of Chemical Engineering and Applications*, 4(2), 82-87.
- Quan, T. H., & Benjakul, S. (2019). Duck egg albumen: physicochemical and functional properties as affected by storage and processing. *Journal of Food Science and Technology*, 56(3), 1104-1115. doi: 10.1007/s13197-019-03669-x
- Raiva, P. (2016). *Thai bakery industry*. Accessed July 20, 2022. Retrieved from http://fic.nfi.or.th/foodindustry_ceo_view.php?smid=1126. (in Thai)
- Reitz, N. F. (2016). *Investigating the chemical basis of functionality differences between beet and cane sugar sources in model egg white foams and other products* (Master's thesis). Illinois, United States: University of Illinois at Urbana-Champaign.
- Siyunglek, M., Techakriengkrai, T., & Siriwong, N. (2020). Preparation and application of dried almond residue for substitution of almond flour in macaron. *Thai Science and Technology Journal*, 28(9), 1572-1584. (in Thai) doi: 10.14456/tstj.2020.125
- Sykut-Domańska, E., Zarzycki, P., Sobota, A., Teterycz, D., Wirkijowska, A., Blicharz-Kania, A., Andrejko, D., & Mazurkiewicz, J. (2020). The potential use of by-products from coconut industry for production of pasta. *Journal of Food Processing and Preservation*, 44(7), e14490. doi: 10.1111/jfpp.14490
- Thai Industrial Standards Institute. (2005). *Thai community product standard of Khanom Ping*. TCPS no. 745/2548. Bangkok, Thailand: Thai Industrial Standards Institute. (in Thai)
- Thinkarn, K. (2019). *Coconut meal clay development for craft products* (Master's thesis). Pathum Thani, Thailand: Rajamangala University of Technology Thanyaburi. (in Thai)
- Trinidad, T. P., Mallillin, A. C., Valdez, D. H., Loyola, A. S., Askali-Mercado, F. C., Castillo, J. C., Encabo,

- R. R., Masa, D. B., Maglaya, A. S., & Chua, M. T. (2006). Dietary fiber from coconut flour: a functional food. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 7(4), 309-317. doi: 10.1016/j.ifset.2004.04.003
- Wirkijowska, A., Sobota, A., Zarzycki, P., Nawrocka, A., Blicharz-Kania, A., & Andrejko, D. (2021). Chemical, technological, and sensory evaluation of the suitability of coconut by-products in white rolls. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 102(8), 3370-3378. doi: 10.1002/jsfa.11684
- Yalegama, L. L. W. C., Karunaratne, D. N., Sivakanesan, R., & Jayasekara, C. (2013). Chemical and functional properties of fibre concentrates obtained from by-products of coconut kernel. *Food Chemistry*, 141(1), 124-130. doi: 10.1016/j.foodchem.2013.02.118
- Yang, X., & Foegeding, E. A. (2010). Effects of sucrose on egg white protein and whey protein isolate foams: factors determining properties of wet and dry foams (cakes). *Food Hydrocolloids*, 24(2-3), 227-238. doi: 10.1016/j.foodhyd.2009.09.011

Research article

Development of macaron product from used coconut residue

Korawit Sakkaekaew¹ and Chodsana Sriket²

¹Department of Culinary Arts and Kitchen Management, Faculty of Hospitality Industry, Dusit Thani College, Prawet district Bangkok, 10250

²Food Innovation and Management Program, Department of General Science and Liberal Arts, King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang, Prince of Chumphon Campus, Pathio, district, Chumphon Province, 86160

ARTICLE INFO**Article history**

Received: 13 March 2024

Revised: 9 May 2024

Accepted: 10 May 2024

Online published: 30 May 2024

Keyword

Macaron

Meringue

Used Coconut Residue

ABSTRACT

This research examines the development of macarons using coconut residue. Physicochemical properties, types of meringues, effects on quality, nutritional value, and consumer acceptance of macarons were analyzed. Coconut residue showed L^* a^* b^* values of 89.77, 0.41, and 9.51, respectively, with moisture, ash, fat, protein, carbohydrate, and dietary fiber percentages being 4.10, 1.21, 42.41, 4.27, 48.01, and 36.27, respectively. It was found that the Italian meringue technique shows the structural strength of egg whites. Sensory evaluation indicated that Italian meringue was more preferred than French or Swiss types. Increasing coconut residue in the macaron recipe reduced the L^* value while increasing a^* and b^* values without significantly affecting moisture and water activity (a_w) compared to the control recipe. Hardness increased, but crispness decreased as the proportion of coconut residue rose. Furthermore, dietary fiber in macarons increased with higher coconut residue content. Consumer acceptance tests showed that macarons with a ratio of 2:1 (almond powder: coconut powder) were accepted similarly to the control recipe, but acceptance tended to decrease with higher coconut residue ratios. Thus, using a ratio of 2:1 (almond powder: coconut powder) in macaron production is deemed optimal, enhancing nutritional value while maintaining high consumer acceptance, and presenting a new approach to utilizing leftover materials effectively.

*Corresponding author

E-mail address: chodsana.sr@kmitl.ac.th (C. Sriket)

Online print: 30 May 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.2024.15>



การสังเคราะห์ระดับค่าเซ็นเซอร์ในระบบ IoT เพื่อเฝ้าระวังความผิดปกติของน้ำในกระชังปลาไนล์ผ่านแอปพลิเคชัน

สามารถ ลินทร^{1*} ดาครินทร์พัชร สุธรรมดี² ฉัตรณรงค์ศักดิ์ สุธรรมดี² อุมวดี เดชธำรงค์³ และ ชัญญชิตา ของผม⁴

¹สาขาวิทยาการคอมพิวเตอร์ คณะศิลปศาสตร์และวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏชัยภูมิ อำเภอเมือง จังหวัดชัยภูมิ 36000

²สาขารัฐประศาสนศาสตร์ คณะศิลปศาสตร์และวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏชัยภูมิ อำเภอเมือง จังหวัดชัยภูมิ 36000

³สาขาวิชาการจัดการธุรกิจและนวัตกรรม คณะศิลปศาสตร์และวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏชัยภูมิ อำเภอเมืองจังหวัดชัยภูมิ 36000

ข้อมูลบทความ

Article history

รับ: 11 มกราคม 2567

แก้ไข: 28 มีนาคม 2567

ตอบรับการตีพิมพ์: 12 พฤษภาคม 2567

ตีพิมพ์ออนไลน์: 4 มิถุนายน 2567

คำสำคัญ

ระบบแจ้งเตือน

อินเทอร์เน็ตในทุกสิ่ง

เซ็นเซอร์

กระชังปลา

ระบบสนับสนุนการตัดสินใจ

บทคัดย่อ

ผลวิจัยครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อสังเคราะห์ระดับค่าเซ็นเซอร์เฝ้าระวังความผิดปกติของน้ำในกระชังปลาไนล์ผ่าน Application ซึ่งเป็นส่วนหนึ่งของงานวิจัย เรื่อง การพัฒนาระบบเฝ้าระวังและควบคุมการเลี้ยงปลาแบบแม่นยำด้วย Internet of Things เพื่อเพิ่มผลผลิตปลาไนล์กระชังเขื่อนลำปะทาว จังหวัดชัยภูมิ ดำเนินการโดยสังเคราะห์ค่าเซ็นเซอร์วัดออกซิเจน อุดหนุมิ กรด-เบสของน้ำที่เปลี่ยนแปลงบ่งชี้ไปสนับสนุนการตัดสินใจกลุ่มผู้เลี้ยงปลาไนล์ ผลการวิจัย พบว่า 1. ผลการสังเคราะห์ระดับค่าเซ็นเซอร์ 3 ชุดในการเฝ้าระวังความผิดปกติของน้ำ ดังนี้ 1.1 ชุดเซ็นเซอร์วัดกรด-ด่าง (pH) ช่วงค่าที่เหมาะสมที่สุด 6.0 ถึง 9.0 pH มีความเหมาะสมมาก ($\bar{x} = 4.20$) 1.2 ชุดเซ็นเซอร์วัดอุณหภูมิ ($^{\circ}\text{C}$) ช่วงค่าที่เหมาะสมที่สุด 23°C ถึง 30°C มีความเหมาะสมมากที่สุด ($\bar{x} = 4.80$) 1.3 ชุดเซ็นเซอร์วัดออกซิเจนในน้ำ (DO) ค่าที่เหมาะสมคือมากกว่าหรือเท่ากับ 2.5 mg/L มีความเหมาะสมมาก ($\bar{x} = 4.40$) 2. ผลการพัฒนา Application แจ้งเตือนเข้ามือถือเกษตรกรหากพบน้ำมีค่าผิดปกติ ดังนี้ 2.1 ตั้งค่าเซ็นเซอร์วัดกรด-ด่าง(pH) ไว้ในระบบ IoT เมื่อพบค่าต่ำกว่า 6.0 หรือค่าสูงกว่า 9.0 pH มีความเหมาะสมมาก ($\bar{x} = 4.40$) 2.2 ตั้งค่าเซ็นเซอร์วัดอุณหภูมิ ไว้ในระบบ IoT เมื่อพบค่าต่ำกว่า 23°C หรือค่าสูงกว่า 30°C มีความเหมาะสมมากที่สุด ($\bar{x} = 4.60$) 2.3 ตั้งค่าเซ็นเซอร์วัดออกซิเจนในน้ำ (DO) ไว้ในระบบ IoT เมื่อพบค่าน้อยกว่า 2.5 mg/L มีความเหมาะสมมาก ($\bar{x} = 4.20$) สรุปได้ว่า องค์ความรู้ที่ได้เป็นค่าเซ็นเซอร์ที่สามารถนำไปใช้ในเทคโนโลยี IoT ในการเฝ้าระวังความผิดปกติของน้ำผ่าน App บนมือถือไปสนับสนุนการตัดสินใจการป้องกันก่อนที่ปลาน็อกน้ำ ซึ่งจะส่งผลให้ผลผลิตปลามากขึ้นเกิดรายได้เพิ่มขึ้นของเกษตรกร

บทนำ

ปลาน็อกน้ำหรือปลาช็อกน้ำตายของกลุ่มเกษตรกรเลี้ยงปลาในกระชัง เขื่อนลำปะทาว บ้านหัวเขื่อน ต.ชัยสิทธิ์ อ.เมือง จ.ชัยภูมิ จำนวน 30 ครัวเรือน ประเด็นเรื่องปลาช็อกน้ำตายเป็นปัญหาหลักลำดับต้น ๆ ที่สร้างความเสียหายในกระชังปลาของชุมชน เนื่องจากออกซิเจนละลายในน้ำต่ำกว่า 3 มิลลิกรัม/ลิตร และอุณหภูมิมีการเปลี่ยนแปลงโดยฉับพลันระหว่าง 2-5 องศาเซลเซียส ทำให้ปลาตายสร้างความเดือดร้อนตลอดให้เกษตรกร ซึ่งหากชุมชนได้มีการนำเอาระบบเทคโนโลยีเซ็นเซอร์มาช่วยแจ้งเตือนเพื่อแก้ปัญหาปลาน็อกน้ำได้และสามารถเพิ่มผลผลิตปลาและเกิดรายได้เพิ่มขึ้น สอดคล้องกับ Ardarsa & Apinantanon (2021) พัฒนาระบบ IoT ควบคุมสภาวะแวดล้อมฟาร์มปลาไนล์สามารถเพิ่มผลผลิตและลดระยะเวลาการกู้สภาพน้ำเสียให้น้ำกลับสู่สภาวะปกติอย่างรวดเร็ว ดังนั้น กลุ่มเป้าหมายดังกล่าว มีความเหมาะสมที่จะพัฒนาเทคโนโลยีเกษตรแม่นยำสำหรับกระชังเลี้ยงปลาไนล์โดยใช้อินเทอร์เน็ตทุกสรรพสิ่ง (IoT) และเป็นการสนองต่อยุทธศาสตร์การพัฒนาจังหวัดชัยภูมิ

ในประเด็นยุทธศาสตร์ที่ 1 การสร้างความเข้มแข็งทางเศรษฐกิจฐานรากและแข่งขันได้อย่างยั่งยืน ในหัวข้อการดำเนินการด้านส่งเสริมการวิจัยและพัฒนาการใช้เทคโนโลยีด้านการเกษตรที่เหมาะสมและเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม เพื่อลดต้นทุนการผลิตพัฒนาคุณภาพผลผลิต และรองรับการเปลี่ยนแปลงของสภาพภูมิอากาศ ซึ่งสอดคล้องกับประเด็นยุทธศาสตร์ส่งเสริมการเกษตร ระยะ 20 ปี ภายใต้ยุทธศาสตร์ที่ 2 การส่งเสริมประสิทธิภาพการผลิตสินค้าเกษตรและยกระดับสู่มาตรฐานสากลด้วยงานวิจัย เทคโนโลยีและนวัตกรรม เพื่อพัฒนาศักยภาพการผลิตสินค้าเกษตรสู่ระบบ Smart farming รายงานผลทางมือถือได้อย่างรวดเร็ว สอดคล้องกับ Piakkhunthod et al. (2019) พัฒนาแอปพลิเคชันจัดการน้ำให้เกษตรกรผู้เลี้ยงปลากระชัง ซึ่งระบบดังกล่าวสามารถแก้ไขปัญหาความเดือดร้อนดังกล่าวได้เป็นอย่างดี ซึ่งส่งเสริมคุณภาพชีวิตและสินค้าเกษตรให้ได้มาตรฐานมีความปลอดภัยและมีมูลค่าสูงสามารถตอบสนองต่อความต้องการของตลาดและเป็นการแก้ไขปัญหาของการเลี้ยงปลาในกระชังของกลุ่มเกษตรกรในด้านการลดอัตราการตายของปลาที่เลี้ยงด้าน

*Corresponding author

E-mail address: sinton@cpru.ac.th (S. Sinton)

Online print: 4 June 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.2024.16>

การเปลี่ยนแปลงของสภาพแวดล้อมที่มีผลต่อการเจริญเติบโต สอดคล้องกับ Wattanapailoon & Suwanbon (2019) ที่ขับเคลื่อนนโยบายสาธารณะ เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการบริหารจัดการปลานิลตลอดห่วงโซ่อุปทาน รวมถึงการบริหารจัดการภายในกระชังปลานิลโดยใช้เทคโนโลยีเกษตรแบบแม่นยำ เข้ามาช่วยเกษตรกร จากเหตุผลดังกล่าวผู้วิจัยจึงนำปัญหาพัฒนาเทคโนโลยีใช้อินเทอร์เน็ตทุกสรรพสิ่งสำหรับกระชังเพาะเลี้ยงปลานิลให้เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตกับสภาวะแวดล้อมเปลี่ยนแปลงตลอดเวลา สอดคล้องกับ Sinton & Songphum (2023) สังเคราะห์ค่าเซ็นเซอร์จัดการสภาพแวดล้อมในฟาร์มให้เพิ่มผลผลิตเพิ่มขึ้น คณะผู้วิจัยระดมทีมงานในการพัฒนาระบบประกอบด้วย ทีมด้านวิทยาการคอมพิวเตอร์ ด้านเทคโนโลยีสารสนเทศและด้านการประมงน้ำจืด ที่จะร่วมมือกันพัฒนา โครงการนี้ให้แล้วเสร็จและบรรลุวัตถุประสงค์ เพื่อเป็นการสร้างรายได้ให้กับกลุ่มเกษตรกร และเป็นแรงผลักดันให้เกษตรกรไทยหันมาใช้เทคโนโลยีและนวัตกรรมในการทำ การเกษตรมากขึ้น ที่จะส่งผลให้ได้ผลผลิตตามที่คาดหวัง ผลผลิตเพิ่มขึ้น สร้างความน่าเชื่อถือให้กับกลุ่มเกษตรกรและสร้างภาพรวมเศรษฐกิจของ จังหวัดและประเทศให้ดีขึ้นต่อไป

ดังนั้น การแก้ปัญหาดังกล่าวคณะผู้วิจัยจึงบูรณาการแบบมีส่วนร่วมกับเกษตรกรช่วยกันสังเคราะห์หาค่าปริมาณออกซิเจนในน้ำ (Dissolved oxygen) ค่าอุณหภูมิของน้ำ (Temperature) ค่าความเป็นกรด-เบสของน้ำ (pH) และสภาพแวดล้อมรอบ ๆ กระชังปลานิล โดยจะนำเทคโนโลยี Internet of thing (IoT) มาพัฒนาร่วมกับเซ็นเซอร์ในการรายงานผ่าน Application บน Smart phone สามารถดูรายงาน ติดตามผลได้ตลอดเวลา ซึ่งจะช่วยในการตัดสินใจบริหารจัดการกระชังปลาได้อย่าง สะดวกรวดเร็วแม่นยำลดการตายของปลาส่งผลให้เพิ่มผลผลิตและรายได้ของเกษตรกรได้เป็นอย่างดี การวิจัยครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อสังเคราะห์ระดับค่าเซ็นเซอร์ในระบบ IoT สำหรับเฝ้าระวังความผิดปกติในกระชัง ปลานิลผ่าน Application

อุปกรณ์และวิธีการวิจัย

ประชากรและกลุ่มตัวอย่าง

1) กลุ่มผู้เชี่ยวชาญ ให้ข้อมูลในการสังเคราะห์ค่าเซ็นเซอร์เฝ้า ระวังค่าปริมาณออกซิเจนในน้ำ (Dissolved oxygen) ค่าอุณหภูมิของน้ำ (Temperature) กระชังปลานิล และสภาพแวดล้อมรอบ ๆ ฟาร์ม กลุ่มเป้าหมายมาจากนักวิชาการ ผู้นำชุมชนหรือมีประสบการณ์สอนหรือ วิจัยในสาขาที่เกี่ยวข้อง คัดเลือกกลุ่มเป้าหมายโดยวิธีเจาะจง (Purposive sampling) จำนวน 11 คน

2) กลุ่มผู้ทรงคุณวุฒิ เพื่อประเมินผลการสังเคราะห์ค่าเซ็นเซอร์ เฝ้าระวังค่าปริมาณออกซิเจนในน้ำ (Dissolved oxygen) ค่าอุณหภูมิของ น้ำ (Temperature) ค่าความเป็นกรด-เบสของน้ำ (pH) กระชังปลานิล ใน กรณีมีความผิดปกติในน้ำ กลุ่มเป้าหมายมาจากนักวิชาการ หรือมี ประสบการณ์สอนหรือวิจัยในสาขาที่เกี่ยวข้อง คัดเลือกกลุ่มเป้าหมายโดย วิธีเจาะจง (Purposive sampling) จำนวน 5 คน

วิธีดำเนินการวิจัย

สังเคราะห์ค่าเซ็นเซอร์เฝ้าระวังค่าปริมาณออกซิเจนในน้ำ (Dissolved oxygen) ค่าอุณหภูมิของน้ำ (Temperature) ค่าความเป็น กรด-เบสของน้ำ (pH) และสภาพแวดล้อมรอบ ๆ กระชังปลานิล โดยผู้วิจัย ศึกษาเอกสารแนวคิด ทฤษฎี บทความงานวิจัย สอดคล้องกับ Somchaiwong (2017) ที่มีการออกแบบและสร้างระบบควบคุมกรด-ด่าง และออกซิเจนในบ่อปลาคราฟ มาเป็นพื้นฐานการพัฒนาเครื่องมือดูแล จัดการด้วยเทคโนโลยีค่าเซ็นเซอร์จากเทคโนโลยี Internet Of Things (IoT) จากนั้นก็ประชุมกลุ่ม (Focus group) ผู้เชี่ยวชาญและประเมินโมเดล โดยผู้ทรงคุณวุฒิ แสดงดัง Figure 1

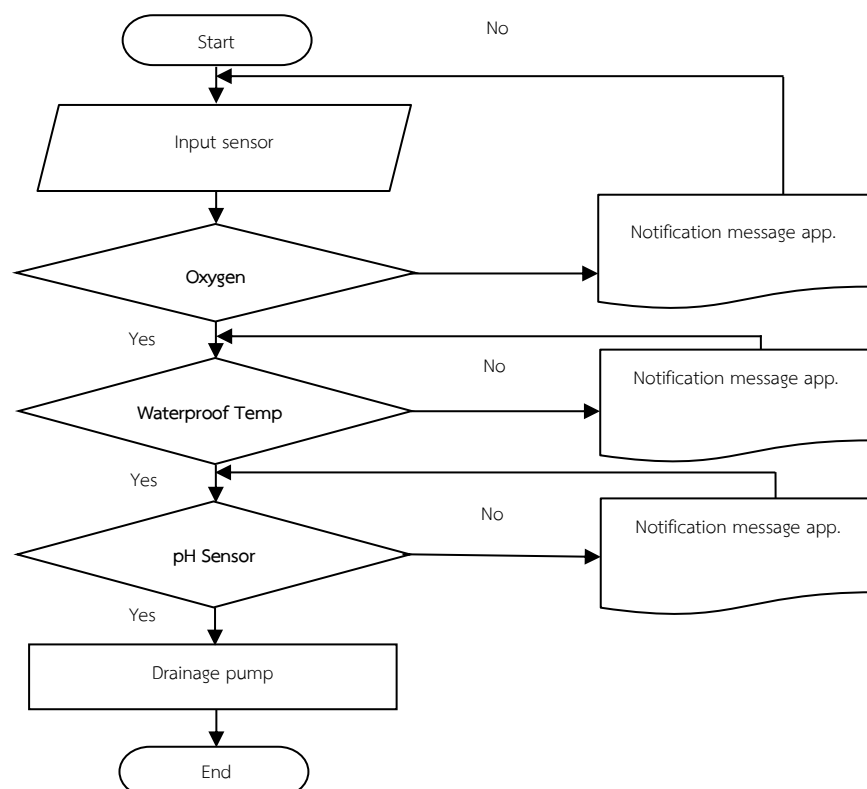


Figure 1 IoT system elements.

การประเมินจากผู้ทรงคุณวุฒิรับรองค่าอุปกรณ์เซ็นเซอร์ที่สังเคราะห์ขึ้น จำนวน 5 คน ดังนี้

- 1) สร้างแบบสอบถามแบบมาตราส่วนประมาณค่า 5 ระดับ เพื่อให้ผู้ทรงคุณวุฒิประเมินความเหมาะสม
- 2) นำเสนอพิจารณาประเมินความเหมาะสมต่อผู้ทรงคุณวุฒิ

จำนวน 5 คน

- 3) ปรับปรุงแก้ไขต้นแบบตามข้อเสนอแนะของผู้ทรงคุณวุฒิ
- 4) สรุปผลวิเคราะห์การประเมินความเหมาะสมจากผู้ทรงคุณวุฒิ แสดงดัง Figure 2

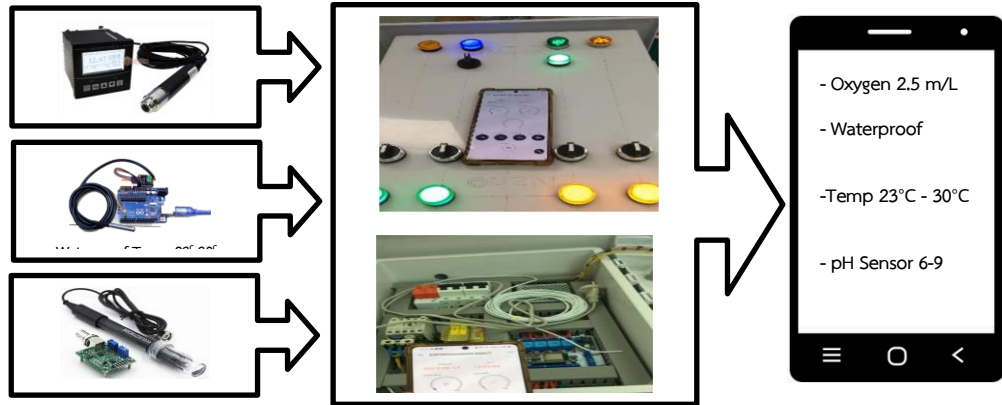


Figure 2 Oxygen, waterproof, temp., pH levels.

เครื่องมือในการวิจัย

แบ่งออกเป็น 3 ส่วน ดังนี้

- 1) แบบบันทึกการเชิงสังเคราะห์ เป็นเครื่องมือที่ใช้บันทึกข้อมูลสภาพปัญหา ผู้วิจัยได้ศึกษา ค้นคว้า รวบรวม วิเคราะห์ สังเคราะห์ และสรุปประเด็นสาระสำคัญพร้อมศึกษาแนวทางในการหาต้นแบบจากเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง
- 2) ประเด็นข้อสนทนากลุ่ม (Focus group) เป็นเครื่องมือสนทนากับผู้เชี่ยวชาญ เพื่อเก็บรวบรวมความคิดเห็นและข้อเสนอแนะ ด้วยประเด็นข้อคำถามแบบปลายเปิดให้ครอบคลุมทุกด้าน
- 3) แบบประเมินความเหมาะสม เป็นเครื่องมือประเมินความเหมาะสมของเซ็นเซอร์ที่สังเคราะห์ขึ้นจากผู้ทรงคุณวุฒิเพื่อเก็บรวบรวมความคิดเห็น และข้อเสนอแนะตามมาตราส่วนประมาณค่า 5 ระดับ

การเก็บข้อมูล

แบ่งออกเป็น 3 ส่วน ดังนี้

- 1) บันทึกการเชิงสังเคราะห์ ผู้วิจัยดำเนินการศึกษาเก็บรวบรวมข้อมูลในหลักการ ทฤษฎี เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับสภาพปัญหาปัจจุบัน
- 2) จัดประชุมสนทนากลุ่มผู้เชี่ยวชาญ (Focus group) ผู้วิจัยได้ดำเนินการติดต่อ ประสานงาน นัดหมายวัน เวลา สถานที่หรือตามเครื่องมืออำนวยความสะดวกอื่น ขึ้นอยู่กับผู้เชี่ยวชาญ โดยใช้ข้อคำถามแบบมีโครงสร้าง ส่วนข้อคำตอบจะเป็นแบบปลายเปิดในประเด็นเกี่ยวกับการหาค่าที่เหมาะสม
- 3) ผู้ทรงคุณวุฒิ ประเมินความเหมาะสมของค่าเซ็นเซอร์ที่ตรวจความผิดปกตินี้ โดยผู้วิจัยดำเนินการลงพื้นที่เก็บรวบรวมข้อมูลด้วยตนเองเป็นหลัก โดยการติดต่อ ประสานงาน นัดหมาย วัน เวลา สถานที่ และส่งแบบประเมินไปให้ผู้ทรงคุณวุฒิ ประเมินค่าความขึ้นต้นแบบตามช่องทางอื่นที่ผู้ทรงคุณวุฒิสะดวก ได้แก่ ส่งทางไปรษณีย์ จดหมายอิเล็กทรอนิกส์ หรือนำส่งด้วยตัวผู้วิจัยเอง

การวิเคราะห์ข้อมูล

แบ่งออกเป็น 3 ส่วน ดังนี้

- 1) วิเคราะห์ข้อมูลจากแบบบันทึกการเชิงสังเคราะห์ โดยวิธีวิเคราะห์และสังเคราะห์เนื้อหา การจำแนกค่า กลุ่มค่า ความถี่และข้อความตามหมวดหมู่ แล้วบันทึกข้อมูลลงแบบบันทึกการเชิงสังเคราะห์ จากนั้นสรุปข้อค้นพบที่ได้จากการสังเคราะห์ พร้อมทั้งแปลความหมาย
- 2) วิเคราะห์ข้อมูลจากการสนทนากลุ่ม (Focus group) จากผู้เชี่ยวชาญ โดยวิธีวิเคราะห์เนื้อหา รายละเอียดจากคำสัมภาษณ์ของผู้ให้ข้อมูลสำคัญ เพื่อหาความสอดคล้องของข้อมูลและเนื้อหาหลักที่ตรงกัน
- 3) วิเคราะห์ข้อมูลจากการตอบแบบประเมินความเหมาะสมของค่าเซ็นเซอร์ วิเคราะห์ข้อมูลโดยหาค่าเฉลี่ย ($\bar{X}$) และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (S.D.)

ผลและวิจารณ์ผลการวิจัย

1. สรุปเป็นตารางบันทึกเชิงสังเคราะห์จากเอกสารตำรา งานวิจัย และแนวคิดทฤษฎีเกี่ยวข้อง โดยวิธีวิเคราะห์และสังเคราะห์เนื้อหา การจำแนกค่า กลุ่มค่า ความถี่และข้อความตามหมวดหมู่ แล้วบันทึกข้อมูลลงแบบบันทึกการเชิงสังเคราะห์ สรุปข้อค้นพบ แสดงดัง Table 1
2. ผลการสนทนากลุ่ม (Focus group) จากผู้เชี่ยวชาญ สังเคราะห์หาแนวทางแก้ไขปัญหานักวิชาการ ชุมชน เอกสาร หนังสือ ตำรา งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง ได้ข้อคิดเห็นและข้อเสนอแนะจากผู้เชี่ยวชาญที่มีประสบการณ์พัฒนาระบบ IoT เกษตรฟาร์มปลา นักวิชาการ หรือคณาจารย์ มีประสบการณ์สอนหรือวิจัยในสาขาที่เกี่ยวข้อง ไม่น้อยกว่า 5 ปี จำนวน 11 คน สรุปว่า ผลการวิเคราะห์เอกสารงานวิจัยมีอุปกรณ์เซ็นเซอร์อยู่ 3 ชนิด แสดงดัง Table 2
3. สรุปผลการรับรองค่าเซ็นเซอร์ จากผู้ทรงคุณวุฒิจำนวน 5 คน ในการยืนยันผล พบว่า ผลประเมินรับรองค่าอุปกรณ์ทั้ง 3 ชนิด ในระบบ IoT ผลประเมินภาพรวม มีความเหมาะสมในระดับมาก ($\bar{X} = 4.47$, S.D. = 0.48) แสดงดัง Table 3

Table 1 Concept academic and research team

Components of an IoT system to measure water quality	Concept Academic/Researcher								
	Ardasa & Apinantanakon (2021)	Arreard & Arreard (2020)	Plakkhunthod et al. (2019)	Cherdchu & Chuenta (2019)	Vengsungnle et al. (2018)	Sinton & Songphum (2023)	Afifah & Haryatmi (2020)	Huan et al. (2020)	This Research
1. Sensor to measure acidity-alkalinity (pH)	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
2. Temperature sensor in degrees Celsius (°C)	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
3. Dissolved oxygen (DO) sensor	✓	✓	✓	✓	X	✓	✓	✓	✓
4. Turbidity-clearness sensor	X	X	✓	X	✓	X	✓	✓	X
5. Air pump	✓	x	x	✓	x	✓	x	✓	X
6. Relay equipment	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
7. Notification report via application	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓

Table 2 Sensor devices IoT

Sensor	Measuring tools	Appropriate value	Notification conditions
1. Dissolved oxygen sensor		The optimum value is greater than or equal to 2.5 mg/L	Notify when the value is less than 2.5 mg/L in the application
Dissolved Oxygen Sensor. (2024)			
2. Waterproof temperature sensor		The optimal value range is between 23°C and 30°C	Notify when values are found to be lower than 23°C and higher than 30°C in the application
Waterproof Temperature Sensor. (2024)			
3. pH sensor analog pH meter		The optimum pH range is between 6.0 and 9.0	Notify when pH values are found to be lower than 6.0 and values higher than 9.0 in the application
pH Sensor Analog pH Meter. (2024)			

Table 3 Sensor certification results

Evaluation	Results		Level
	$\bar{X}$	S.D.	
1) The pH sensor analog pH meter optimum range is between 6.0 and 9.0.	4.20	0.45	a lot
2) The waterproof temperature sensor optimal value range is between 23°C and 30°C	4.80	0.45	the most
3) The dissolved oxygen sensor optimum value is greater than or equal to 2.5 mg/L	4.40	0.55	a lot
Sum	4.47	0.48	a lot

Table 4 Evaluation results of application to notify of water abnormalities

Evaluation	Results		Level
	$\bar{X}$	S.D.	
1) The pH Sensor analog pH meter notify when values are found to be lower than 6.0 and values higher than 9.0 in the application	4.40	0.55	a lot
2) The waterproof temperature sensor notified when values are found to be lower than 23°C and higher than 30°C in the application	4.60	0.55	the most
3) The dissolved oxygen sensor notified when the value is less than 2.5 mg/L in the application	4.20	0.84	a lot
Total	4.40	0.64	a lot

4. ผลประเมินรับรอง Application การแจ้งเตือนความผิดปกติของน้ำ มีความเหมาะสมในระดับมาก ($\bar{X} = 4.40$, S.D. = 0.64) แสดงดัง Table 4

จากการวิจัย พบว่า การควบคุมคุณภาพน้ำให้คงที่ที่เหมาะสมกับการเลี้ยงปลานิลในกระชังไม่ให้น้ำน้อยตาย ซึ่งเป็นผลจากการสังเคราะห์และประเมินค่าเซ็นเซอร์ 3 ชนิด ได้แก่ เซ็นเซอร์วัดค่าความเป็นกรด-เบสของน้ำ (pH) วัดค่าอุณหภูมิของน้ำ (Temperature) วัดค่าออกซิเจนในน้ำ (Dissolved oxygen) ให้เหมาะสมและคงที่ ซึ่งผลประเมินรวมเฉลี่ยทั้ง 3 ชนิดมีความเหมาะสมมาก สอดคล้องกับ Cherdchu & Chuenta (2019) พัฒนาระบบวัดค่าคุณภาพน้ำในฟาร์มมี 3 ตัวแปร คือค่าออกซิเจน (DO) pH และอุณหภูมิ น้ำ เมื่อผู้พิจารณาผลรายด้านมีรายละเอียด ดังนี้ 1) ชุดเซ็นเซอร์วัด pH ช่วงค่าที่เหมาะสมที่สุดระหว่าง 6.0 ถึง 9.0 มีความเหมาะสมมาก 2) ชุดเซ็นเซอร์วัดอุณหภูมิองศาเซลเซียส ช่วงค่า pH ที่เหมาะสมที่สุดระหว่าง 23°C ถึง 30°C มีความเหมาะสมมากที่สุด และ 3) ชุดเซ็นเซอร์วัดออกซิเจนในน้ำ (DO) ค่าที่เหมาะสมจะมากกว่าหรือเท่ากับ 2.5 mg/L มีความเหมาะสมมากที่สุดที่สามารถเพิ่มผลผลิตได้เป็นอย่างดี สอดคล้องกับ Ardarsa & Apinantanakon (2021) พัฒนาระบบ IoT ควบคุมสภาวะแวดล้อมฟาร์มปลานิลสามารถเพิ่มผลผลิตและลดระยะเวลาการกักสภาพน้ำเสียให้น้ำกลับสู่สภาวะปกติอย่างรวดเร็ว จึงสรุปได้ว่า ผลการสังเคราะห์และรับรองผลอุปกรณ์ทั้ง 3 ชนิด สามารถนำไปใช้งานจริงได้เหมาะสมมาก ซึ่งเป็นการบูรณาการองค์ความรู้ภูมิปัญญาการเลี้ยงปลาร่วมกับการนำเทคโนโลยีมาปรับใช้สามารถแก้ปัญหาเกษตรกรได้เป็นอย่างดี

สรุปผลการวิจัย

สรุปผลการวิจัย พบว่า ผลการพัฒนาระบบ IoT แจ้งเตือนผ่าน Application บนมือถือเกษตรกรช่วยเตือนภัยก่อนที่น้ำจะเสีย จึงทำให้เกษตรกรมีเทคโนโลยีสนับสนุนการตัดสินใจการจัดการน้ำกลับสู่สภาวะปกติอย่างรวดเร็วโดยเป็นการลดความเสี่ยงปลานิลค่น้ำ ซึ่งจะส่งผลให้เพิ่มผลผลิตปลานิลออกสู่ตลาด โดยคณะวิจัยได้เขียนโปรแกรมตรวจจับสิ่งผิดปกติของน้ำจากเงื่อนไขเซ็นเซอร์ทั้ง 3 ชนิด โดยกำหนดช่วงค่าที่เหมาะสมที่สุดไว้ ดังนี้ 1) ชุดเซ็นเซอร์วัดความเป็นกรด-ด่าง (pH) ช่วงค่าที่เหมาะสมที่สุดระหว่าง 6.0 ถึง 9.0 แต่เมื่อระบบพบว่าค่า pH ต่ำกว่า 6.0 หรือค่าสูงกว่า 9.0 ระบบจะแจ้งเตือนเข้า Application บนมือถือเกษตรกร มีความเหมาะสมในระดับมาก 2) ชุดเซ็นเซอร์วัดอุณหภูมิองศาเซลเซียส (°C) ช่วงค่าที่เหมาะสมที่สุดระหว่าง 23°C ถึง 30°C แต่เมื่อระบบพบค่าต่ำกว่า 23°C หรือค่าสูงกว่า 30°C โดยระบบจะแจ้งเตือนเข้า Application บนมือถือ

เกษตรกร มีความเหมาะสมในระดับมากที่สุด 3) ชุดเซ็นเซอร์วัดออกซิเจนในน้ำ (DO) ค่าที่เหมาะสมจะมากกว่าหรือเท่ากับ 2.5 mg/L แต่เมื่อระบบพบค่าน้อยกว่า 2.5 mg/L โดยระบบจะแจ้งเตือนเข้า Application บนมือถือเกษตรกร มีความเหมาะสมในระดับมาก ซึ่งระบบดังกล่าวสามารถแก้ไขปัญหาความเดือดร้อนดังกล่าวได้เป็นอย่างดี เนื่องจากผู้วิจัยมีการวิเคราะห์ ออกแบบและพัฒนาตามวงจรการพัฒนาระบบ (SDLC) ซึ่งระบบงานประกอบไปด้วยฟังก์ชัน สำหรับการปฏิบัติงาน ฟังก์ชันเก็บรักษาข้อมูลการประมวลผลกับฐานข้อมูล ในครั้งนี้คณะผู้วิจัย ได้นำแนวคิดการบริหารจัดการน้ำมาใช้โดยนำเอาเทคโนโลยี IoT มาบูรณาการแบบมีส่วนร่วมกับเซ็นเซอร์วัดออกซิเจนในน้ำ (Dissolved Oxygen) ค่าอุณหภูมิ (Temperature) ค่าความเป็นกรด-เบสของน้ำ (pH) ในการเฝ้าระวังแจ้งเตือนหากพบข้อผิดพลาดในกระชังปลานิล จึงสรุปได้ว่า องค์ความรู้ที่ได้จากการสังเคราะห์ค่าเซ็นเซอร์น้ำแล้วนำไปประยุกต์ใช้กับเทคโนโลยี IoT ไปเฝ้าระวังแจ้งเตือนน้ำผ่าน Application มือถือเกษตรกรผู้เลี้ยงปลานิล ระบบสามารถทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพช่วยในการตัดสินใจแก้ปัญหาพื้นที่ก่อนที่จะเกิดปัญหาการสูญเสียปลาได้ทันเวลาที่ ซึ่งจะส่งผลให้ผลผลิตเพิ่มขึ้นได้มากขึ้นเกิดมีรายได้ที่สูงขึ้นในระยะถัดไป

กิตติกรรมประกาศ

การวิจัยนี้ได้รับการสนับสนุนจากผู้เชี่ยวชาญ ผู้ทรงคุณวุฒิ และคนในชุมชนทุกท่านที่ได้กรุณาใช้เวลาอันมีค่าในการให้สัมภาษณ์ ตรวจสอบเครื่องมือวิจัย ตรวจสอบรูปแบบ ตลอดจนให้ข้อเสนอแนะให้ข้อคิดเห็นที่ดีในการพัฒนาเครื่องมือทุก ๆ ชิ้นให้มีประสิทธิภาพ

References

- Atifah, F. N., & Haryatmi, E. (2020). Design and control system monitoring of water quality on Tilapia cultivation farm based Internet of Things (IoT) with NodeMCU. *InfoTekJar: Jurnal Nasional Informatika dan Teknologi Jaringan*, 4(2), 325-329. doi: 10.30743/infotekjar.v4i2.2398
- Ardarsa, P., & Apinantanakon, W. (2021). Development of smart agricultural technology for Tilapia farming by using the internet of things. *Journal of MCU Ubon*, 6(3), 531-543. (in Thai)
- Arreerard, T., & Arreerard, W. (2020). IoT system for humidity and temperature monitoring to promote cultivation of mushrooms in greenhouses to have a complete

- product. *Journal of Applied Information Technology*, 6(1), 7-17. (in Thai)
- Cherdchu, N., & Chuenta, W. (2019). Increasing the efficiency of shrimp farm management by reducing unnecessary electricity use. Bring benefits and control farming with precision aquatic animal farming technology. *Journal of Industrial Technology Ubon Ratchathani Rajabhat University*, 9(2), 85-96. (in Thai)
- Dissolved Oxygen Sensor. (2024). *Cyber Tice*. Accessed March 26, 2024. Retrieved from <https://www.cybertice.com/product/5073/do-sensor>
- Huan, J., Li, H., Wu, F., & Cao, W. (2020). Design of water quality monitoring system for aquaculture ponds based on NB-IoT. *Aquacultural Engineering*, 90, 102088. doi: 10.1016/j.aquaeng.2020.102088
- pH Sensor Analog pH Meter. (2024). *Arduino Step*. Accessed March 26, 2024. Retrieved from <http://www.arduino-step.com/product/425/ph-sensor-module>
- Piakkhunthod, T., Khongphol, W., Chayanugara, S., & Satayavibul., A. (2019). The information system of water management in fish cage farmer, Trang Province by community based participation for water quality monitoring and warning on mobile application. *Journal of Multidisciplinary Academic Research and Development (JMARD)*, 1(4) 51-66. (in Thai)
- Sinton, S., & Songphum, C. (2023). Synthesize moisture and develop a highly accurate Reishi mushroom quantity control system with IoT sensor technology to increase mushroom product export entire of Kanchana community enterprise mushroom farm, Chaiyaphum Province. *PrawarunAgricultural Journal*, 20(1), 98-105. doi: 10.14456/paj.2023.12 (in Thai)
- Somchaiwong, N. (2017). Design and construction of an acid-alkaline control system. and dissolved oxygen in Koi pond. *Kasalongkham Research Journal Chiang Rai Rajabhat University*, 11(3), 327-341. (in Thai)
- Vengsungnle, P., Nuboon, T., & Jongpluempiti, J., (2018). Controlling of ultrasonic air humidifier system on the Lingzhi Greenhouse. *Proceedings of The 19th national academic conference of the agricultural engineering society* (pp. 26-27). Bangkok, Thailand: Thai Society of Agricultural Engineering. (In Thai)
- Waterproof Temperature Sensor. (2024). *My Arduino*. Accessed March 26, 2024. Retrieved from https://cu.lnwfile.com/_/cu/_raw/eu/by/eq.jpg
- Wattanapaiboon, P., & Suwanbon, I. (2019). Driving public policy to increase management effectivenessTilapia business chain. *Journal of MCU Peace Studies*, 7(1), 224-241. (in Thai)

Research article

Synthesizing sensor values in an IoT system to monitor water abnormalities in tilapia cages through an application

Samart Sinton^{1*} Dasarinphat Suthamdee² Chartnarongsak Suthandee²

Umawadee Detthamrong³ and Chanunchida Songphum⁴

¹Computer Science Faculty of Liberal Arts and Science Chaiyaphum Rajabhat University, Mueang district, Chaiyaphum Province, 36000

²Public Administration Faculty of Liberal Arts and Science Chaiyaphum Rajabhat University, Mueang district, Chaiyaphum Province, 36000

³Business Management and Innovation Faculty of Liberal Arts and Science Chaiyaphum Rajabhat University, Mueang district, Chaiyaphum Province, 36000

⁴Policy and Planning Division Office of the President Chaiyaphum Rajabhat University, Mueang district, Chaiyaphum Province, 36000

ARTICLE INFO

Article history

Received: 11 January 2024

Revised: 28 March 2024

Accepted: 12 May 2024

Online published: 4 June 2024

Keyword

Notification systems

Internet of Things

sensors, fish cages

decision support systems

ABSTRACT

The objective of this research is to synthesize the levels of sensors to monitor water abnormalities in Tilapia cages through an application, which is part of the research on developing a precise fish farming monitoring and control system using the Internet of Things to increase production. Nile tilapia cages at Lam Prathao Dam, Chaiyaphum Province, were monitored by synthesizing the frequently changing values of oxygen, temperature, and pH sensors of the water to support the decision-making of the tilapia farmers. The research results found that: 1. The results of the synthesis of three sets of sensor values for monitoring water abnormalities are as follows: 1.1. pH sensor set: The most appropriate value range of 6.0 to 9.0 pH is very suitable ($\bar{x} = 4.20$). 1.2. Temperature sensor set: The most suitable range of values, 23°C to 30°C, is highly appropriate ($\bar{x} = 4.80$). 1.3. Dissolved Oxygen (DO) sensor set: The optimum value is greater than or equal to 2.5 mg/L, which is very suitable ($\bar{x} = 4.40$). 2. The results of developing the application will notify farmers' mobile phones if water parameters have abnormal values as follows: 2.1. Set up a sensor to measure pH in the IoT system; a value lower than 6.0 or higher than 9.0 pH is very appropriate ($\bar{x} = 4.40$). 2.2. Set the temperature sensor in the IoT system; values lower than 23°C or higher than 30°C are highly appropriate ($\bar{x} = 4.60$). 2.3. Set the sensor to measure dissolved oxygen (DO) in the water in the IoT system; values less than 2.5 mg/L are very appropriate ($\bar{x} = 4.20$). In conclusion, the knowledge gained includes sensor values that can be used in IoT technology to monitor water abnormalities through a mobile app to support decision-making to prevent fish from falling out of the water. This will result in higher fish production and increased income for farmers.

*Corresponding author

E-mail address: sinton@cpru.ac.th (S. Sinton)

Online print: 4 June 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.2024.16>



บทความวิจัย

ผลของสารให้ความหวานต่างชนิดต่อคุณภาพของเครื่องดื่มจากปลีกล้วย

พรพรรณ พัวไพบูลย์* ธนิชฐนันท์ บุญศรีชนะ และ ปาริชาติ ราชณีย์

สาขาวิชาเทคโนโลยีการอาหาร คณะเทคโนโลยีการเกษตร มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม อำเภอเมือง จังหวัดมหาสารคาม 44000

ข้อมูลบทความ

Article history

รับ: 30 เมษายน 2567

แก้ไข: 20 พฤษภาคม 2567

ตอบรับการตีพิมพ์: 29 พฤษภาคม 2567

ตีพิมพ์ออนไลน์: 5 มิถุนายน 2567

คำสำคัญ

สารให้ความหวาน

เครื่องดื่ม

ปลีกล้วย

กระบวนการสร้างนมแม่

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลของสารให้ความหวานต่างชนิดต่อคุณภาพของเครื่องดื่มจากปลีกล้วย ผลิตน้ำปลีกล้วยด้วยการสกัดด้วยน้ำจากการต้มและปั่นละเอียด ปรับปรุงรสชาติหวานโดยผันแปรสารให้ความหวานจากธรรมชาติ จำนวน 5 สิ่งทดลอง คือ สูตรไม่ใส่สารให้ความหวาน (สูตรควบคุม) สูตรผสมน้ำตาลทรายแดงร้อยละ 5 สูตรผสมน้ำอ้อยร้อยละ 12 สูตรผสมน้ำตาลหล่อฮังก้วยร้อยละ 4 และสูตรผสมน้ำเชื่อมหญ้าหวานร้อยละ 2 (w/w) ผลการศึกษา พบว่าสูตรผสมสารให้ความหวานมีของแข็งทั้งหมดที่ละลายได้และปริมาณของแข็งทั้งหมดสูงกว่าสูตรควบคุม ทุกสูตรของเครื่องดื่มมีความเป็นกรด มีค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) และปริมาณกรดทั้งหมด (กรดซิตริก) อยู่ระหว่าง 4.55 – 4.78 และร้อยละ 0.20 – 0.24 ตามลำดับ โดยสูตรผสมสารให้ความหวานมีค่า pH ต่ำกว่าสูตรควบคุม และทุกสูตรของเครื่องดื่มมีสีเหลืองอ่อน คล้ำเล็กน้อย มีค่าความสว่าง (L*) ค่าความเป็นสีแดง (a*) และค่าความเป็นสีเหลือง (b*) อยู่ระหว่าง 38.99 – 44.60, 10.22 – 14.49 และ 15.47 – 16.66 ตามลำดับ โดยสูตรผสมน้ำอ้อยมีค่าความสว่างต่ำกว่าสูตรอื่น ๆ ขณะที่ปริมาณสารประกอบ ฟีนอลทั้งหมด ร้อยละการยับยั้งอนุมูลอิสระ DPPH และฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระของสูตรผสมสารให้ความหวานไม่แตกต่างทางสถิติกับสูตรควบคุม ($p>0.05$) โดยมีค่าอยู่ระหว่าง 1,260.71 – 1,385.71 mg GAE/L 20.11 – 22.30 และ 1,981.54 – 2,197 mg TEAC/L ตามลำดับ ปริมาณสารแทนนินของทุกสูตรอยู่ระหว่าง 608.84 – 1,221.99 g/L สูตรผสมน้ำเชื่อมหญ้าหวานมีปริมาณแทนนินสูงกว่าสูตรอื่น ๆ ($p<0.05$) ผลการประเมินทางประสาทสัมผัส พบว่า สูตรผสมน้ำเชื่อมหญ้าหวาน และสูตรผสมน้ำตาลหล่อฮังก้วย ได้รับการยอมรับจากผู้บริโภคในระดับชอบเล็กน้อย ซึ่งทั้ง 2 สูตรเป็นสูตรที่ให้พลังงานต่ำเหมาะกับคนที่ห่วงใยในสุขภาพและเหมาะสมในการพัฒนาเป็นผลิตภัณฑ์ทางการค้าต่อไป

บทนำ

แม้ว่านํ้านมแม่เป็นอาหารที่ดีที่สุดสำหรับทารกแรกเกิด แต่มารดาหลังคลอดจำนวนมากมักประสบปัญหาในการเริ่มให้นมแม่แก่ลูก ปัญหาสำคัญที่มารดาระบุว่าเป็นสาเหตุในการให้นมผสมในระยะแรกและ/หรือเลิกให้นมแม่ คือ นํ้านมแม่ไม่เพียงพอ มารดาส่วนหนึ่งจึงพยายามแก้ไขปัญหาดังกล่าวด้วยการใช้สารกระตุ้นให้นํ้านมเพิ่มขึ้น สมุนไพรที่เป็นผลิตภัณฑ์ธรรมชาติจึงได้รับการนิยมนำมาใช้เพื่อเสริมสร้างสุขภาพ และมีการใช้อย่างแพร่หลายในสตรีขณะให้นมแม่ ทั้งนี้การใช้สมุนไพรเป็นการปฏิบัติดั้งเดิมที่ได้รับการบอกต่อจากญาติผู้ใหญ่และเชื่อว่ามีความปลอดภัยไม่มีความเสี่ยงต่อสุขภาพของมารดาและทารก

ปลีกล้วย (banana flower, banana blossom) เป็นส่วนดอกของกล้วย จัดเป็นพืชสมุนไพรชนิดหนึ่งซึ่งนิยมนำมาใช้ประกอบเป็นอาหาร มีมากในประเทศในแถบเอเชียรวมทั้งประเทศไทย โดยมีสารอาหารที่มีประโยชน์และมีผลดีต่อสุขภาพ ซึ่งประกอบด้วยโปรตีนที่มีกรดอะมิโนจำเป็นอย่างสมดุลและมีใยอาหารสูง (Sheng et al., 2010) รวมทั้งยังเป็นแหล่งของแร่ธาตุหลัก เช่น แคลเซียม โพแทสเซียม

คลอรีน กำมะถัน และเป็นแหล่งของแร่ธาตุรอง เช่น แมงกานีส สังกะสี ทองแดง (Swe, 2012) สตรีส่วนใหญ่ได้รับการบอกต่อกันมาจากรุ่นตั่วแต่อดีตและเป็นที่รับรู้กันทั่วไปว่าปลีกล้วยช่วยบำรุงนํ้านมของมารดาหลังคลอด ซึ่งองค์ประกอบที่สำคัญในปลีกล้วยที่เป็นสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพ ได้แก่ อัลคาลอยด์ ซาโปนิน โกลโคไซด์ แทนนิน ฟลาโวนอยด์ สเตียรอยด์ และเทอร์ปีนอยด์ (Mahmood et al., 2010; Swe, 2012) ซึ่งส่วนประกอบของซาโปนินและแทนนินในปลีกล้วยที่สกัดในนํ้าอาจจะมีผลต่อการเพิ่มระดับฮอร์โมนโปรแลคตินในเลือด จึงส่งผลให้มีการเพิ่มนํ้านม สอดคล้องกับการศึกษาของ Yimyam et al. (2023) ที่ได้รายงานว่าการคลออดบุตรที่ดื่มนํ้าปลีกล้วย หลังจากผ่านไป 24 ชั่วโมง และ 72 ชั่วโมง มีการผลิตนํ้านมมากกว่ากลุ่มควบคุมที่ไม่ได้ดื่มนํ้าปลีกล้วยและการดื่มนํ้าปลีกล้วยไม่มีรายงานผลข้างเคียง

อินทผลัม (date plum) เป็นผลไม้ที่ได้รับความนิยมมากที่สุด ในตะวันออกกลางและแอฟริกาเหนือ มีการบริโภคกันอย่างแพร่หลาย และมีการใช้ในการแพทย์แผนโบราณมาเป็นเวลานาน ผลไม้อุดมไปด้วยสารอาหาร ประกอบด้วยเส้นใยอาหาร น้ำตาล โปรตีน วิตามิน

*Corresponding author

E-mail address: phuapaiboon@yahoo.com (P. Phuapaiboon)

Online print: 5 June 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.2024.17>

แร่ธาตุ ฟลาโวนอยด์ และสารประกอบฟีนอลิก เนื่องจากมีสารประกอบฟีนอลิก อินทผลัมจึงเป็นแหล่งของสารต้านอนุมูลอิสระตามธรรมชาติที่ดี ซึ่งสามารถนำไปใช้ในการจัดการโรคที่เกี่ยวข้องกับความเครียดจากปฏิกิริยาออกซิเดชันและโรคติดเชื้อได้ (Al-Shwyeh, 2019) รวมทั้งมีประโยชน์ต่อมารดาที่กำลังให้นมบุตร ซึ่งช่วยเพิ่มสารอาหารให้น้ำนม เพราะอุดมไปด้วยธาตุเหล็ก แคลเซียม วิตามินและแร่ธาตุหลากหลายชนิด ทั้งยังให้กลูโคสช่วยเพิ่มพลังงานให้กับมารดาตอนให้นมอีกด้วย (Saryono & Rahmawati, 2016)

เครื่องดื่ม (beverage) เป็นผลิตภัณฑ์อาหารประเภทหนึ่งที่เป็นของเหลว ช่วยลดความกระหาย ให้ความรู้สึสดชื่น และขจัดความอ่อนเพลียชดเชยปริมาณน้ำที่ร่างกายสูญเสียไป ตลอดจนมีคุณค่าทางโภชนาการต่าง ๆ ที่มีประโยชน์ การแปรรูปผักและผลไม้ให้อยู่ในรูปเครื่องดื่ม เป็นการตอบโจทย์ให้ผู้บริโภคทานง่ายขึ้น เน้นความสะดวก ลดเวลาและขั้นตอนในการจัดเตรียม เหมาะกับยุคในปัจจุบันที่ต้องการความรวดเร็วและได้ประโยชน์ สอดคล้องกับรายงานของ Thansettakij (2023) ที่รายงานว่าปัจจุบันตลาดของเครื่องดื่มเพื่อสุขภาพมีการขยายตัวราวร้อยละ 6 จากปีที่ผ่านมา ส่วนประกอบหลักของเครื่องดื่ม คือ น้ำ กรดอินทรีย์ สี สารให้กลิ่นรส และสารให้ความหวาน สารให้ความหวานหลักในเครื่องดื่มเป็นซูโครสหรือกลูโคส เป็นสารที่ให้พลังงาน ในปัจจุบันผู้บริโภคที่ใส่ใจสุขภาพจึงเลือกทานเครื่องดื่มที่ใช้สารให้ความหวานจากธรรมชาติที่ให้พลังงานต่ำ เช่น หลอฮังก้วยและหญ้าหวาน ซึ่งหลอฮังก้วย (Luo Han Guo, Monk Fruit) มีชื่อวิทยาศาสตร์ว่า *Siraitia grosvenorii* สารให้ความหวานจากหลอฮังก้วยให้พลังงานที่ต่ำเพียง 0 แคลอรี โดยให้ความหวานอยู่ระหว่าง 100 – 250 เท่าของซูโครส มีสารโมโนไซด์ (mogrosides) เป็นสารหลักที่ให้หวาน (Baotang, 2018) ขณะที่หญ้าหวาน มีชื่อวิทยาศาสตร์ว่า *Stevia rebaudiana* Bertoni มีสารให้ความหวานมาจากสารกลุ่มสตีวียออลไกลโคไซด์ (steviol glycosides) ซึ่งให้ความหวานแต่ไม่ให้พลังงาน โดยสารสตีวียออลที่เป็นสารประกอบหลักในหญ้าหวาน มีความหวานมากกว่าซูโครสถึง 450 เท่า (Raspe et al., 2022) หลอฮังก้วยและหญ้าหวาน จึงเหมาะที่จะนำมาใช้เป็นสารให้ความหวานจากธรรมชาติเพื่อลดการบริโภคน้ำตาล สำหรับผู้ที่รักสุขภาพ และผู้ป่วย อาทิ ผู้ป่วยโรคเบาหวาน ความดันโลหิตสูง

ดังนั้น ในงานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์ในการศึกษาหาวิธีการผลิตเครื่องดื่มจากปลีกล้วย โดยเลือกใช้สารให้ความหวานจากอินทผลัม สารให้ความหวานที่ให้พลังงานต่ำจากหลอฮังก้วยและหญ้า

หวาน เปรียบเทียบกับสารให้ความหวานจากน้ำตาลทรายและไม่ใช่สารให้ความหวาน เป็นส่วนประกอบในสูตรการผลิต เพื่อพัฒนาเป็นผลิตภัณฑ์เครื่องดื่มช่วยกระตุ้นการสร้างน้ำนมแม่ ให้ได้รับการยอมรับจากผู้บริโภค

อุปกรณ์และวิธีการวิจัย

การเตรียมน้ำอินทผลัม

นำอินทผลัมแบบแห้ง พันธุ์เตตเลทเนอร์ (ยี่ห้อเนเจอร์ส ดีไลท์) มาแกะเอาเมล็ดออก หั่นเป็นชิ้นขนาดเล็ก ๆ นำไปต้มกับน้ำอัตราส่วน อินทผลัมต่อน้ำ เป็น 1 ต่อ 2 (w/w) ต้มเดือดที่อุณหภูมิ 85 – 90 °C เป็นเวลา 10 นาที ปล่ยให้คลายร้อน นำไปปั่นให้ละเอียดด้วยเครื่องปั่นน้ำผลไม้ (ยี่ห้อ PHILIPS รุ่น Cucina HR-1799) ความแรงเบอร์ 3 ปั่นเป็นเวลา 2 นาที บรรจุใส่ภาชนะ (Figure 1) รอนำไปใช้เป็นสารให้ความหวานจากธรรมชาติในการผลิตเครื่องดื่มจากปลีกล้วย



Figure 1 Date palm juice.

การผลิตเครื่องดื่มจากปลีกล้วย

ผลิตเครื่องดื่มจากปลีกล้วยแบบสูตรพื้นฐานหรือสูตรควบคุม ซึ่งดัดแปลงมาจาก Amornlerdpison et al. (2020) โดยปลีกล้วยที่ใช้ในงานวิจัย เป็นปลีกล้วยน้ำว้า (*Musa sapientum* L.) จากตลาดสดเทศบาลเมืองมหาสารคาม อำเภอเมือง จังหวัดมหาสารคาม เตรียมส่วนผสมของเครื่องดื่มจากปลีกล้วยสูตรควบคุมที่ประกอบด้วย น้ำปลีกล้วยร้อยละ 99.9 และกลั่นนมร้อยละ 0.1 (w/w) ปรับปรุงรสชาติหวานจากการผันแปรสารให้ความหวานจากธรรมชาติอีกจำนวน 4 สิ่งทดลอง (สูตร) คือ น้ำตาลทรายแดง (น้ำตาลดีเมอเร้า) (ยี่ห้อวังขนาย) น้ำอินทผลัม น้ำตาลหลอฮังก้วย (ยี่ห้อฟิงดาว สเตชั่น) น้ำเชื่อมหญ้าหวาน (ยี่ห้อกรีนสวีทไซรัป) ให้มีรสชาติหวานเล็กน้อยใกล้เคียงกัน โดยใช้ผู้ทดสอบชิมประเมินให้มีรสหวานเท่ากับตัวอย่างอ้างอิง รายละเอียดแสดงดัง Table 1

Table 1 Formulations of banana flower beverage samples

Item	Sweetener				
	Control	Added brown sugar	Added date palm juice	Added Luo Hang Guo sugar	Added stevia syrup
Banana flower juice (g)	99.9	94.9	87.9	95.4	97.9
Brown sugar (g)	-	5	-	-	-
Date palm juice (g)	-	-	12	-	-
Luo Hang Guo sugar (g)	-	-	-	4	-
Stevia syrup (g)	-	-	-	-	2
Milk flavor (g)	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1

กรรมวิธีการผลิต มีขั้นตอนดังนี้

1. เตรียมสารละลายแช่ปลีกล้วย โดยนำกรดซิตริกละลายในน้ำกรอง เตรียมที่ความเข้มข้นร้อยละ 1 (w/w) ละลายให้เข้ากัน หลังจากนั้นผสมกับน้ำส้มสายชูกลั่นเข้มข้นร้อยละ 5 (ยี่ห้ออร.) เตรียมที่ความเข้มข้นร้อยละ 10 (w/w) ผสมให้เข้ากัน เตรียมไปแช่ปลีกล้วย

2. เตรียมน้ำปลีกล้วย โดยนำปลีกล้วยสดที่ตัดจากต้น มาปอกทั้งไว้ 1 วัน ปอกส่วนกาบปลีกล้วยสีแดงออก ใช้เฉพาะตั้งแต่กาบปลีกล้วยส่วนสีขาว นำมาล้างน้ำให้สะอาด แบ่งออกเป็น 4 ส่วน ตามยาว และนำไปแช่ในสารละลายแช่ปลีกล้วย ที่อัตราส่วนปลีกล้วยต่อสารละลายแช่ปลีกล้วย 1 ต่อ 3 (w/w) แช่เป็นเวลา 5 นาที นำขึ้นมาหั่นเป็นชิ้นเล็ก ๆ ขนาด 2 – 3 เซนติเมตร นำไปแช่ในสารละลายแช่ปลีกล้วยอีกครั้ง แช่เป็นเวลา 10 นาที เพื่อป้องกันปลีกล้วยเกิดสีดำ และลดรสฝาด เมื่อครบเวลา นำมาล้างด้วยน้ำสะอาด ปั่นให้ละเอียดน้ำ

3. นำปลีกล้วยมาต้มกับน้ำ อัตราส่วนปลีกล้วยต่อน้ำ 1 ต่อ 2.5 (w/w) โดยต้มน้ำกรองให้เดือดที่อุณหภูมิ 80 – 90 °C ใส่ปลีกล้วย ต้มให้จมน้ำเดือด เพื่อป้องกันปลีกล้วยเกิดสีดำ ต้มเป็น

เวลา 30 นาที ปั่นทิ้งให้คลายร้อน

4. นำปลีกล้วยและน้ำต้ม มาปั่นให้ละเอียด เพื่อสกัดสารสำคัญออก โดยใช้เครื่องปั่นน้ำผลไม้ ความแรงเบอร์ 3 ปั่นเป็นเวลา 1 นาที กรองเอากากออกผ่านผ้าขาวบางหนา 1 ชั้น และนำมากรองเอากากออกอีกครั้งผ่านผ้าขาวบางหนา 4 ชั้น ได้เป็นน้ำปลีกล้วย

5. นำน้ำปลีกล้วย มาปรุงแต่งรสชาติหวานจากสารให้ความหวานจากธรรมชาติ คือ สูตรผสมน้ำตาลทรายแดง หรือผสมน้ำอินทผลัม หรือผสมน้ำตาลหล่อฮังก้วย หรือผสมน้ำเชื่อมหญ้าหวาน หรือไม้ไผ่สารให้ความหวาน (สูตรควบคุม) กวนผสมให้เข้ากัน นำมาปรับปรุงกลิ่น โดยผสมกลิ่นนม (ยี่ห้อเบสท์ไอเดออร์) กวนผสมให้เข้ากัน รายละเอียดส่วนประกอบดัง Table 1

6. บรรจุน้ำปลีกล้วยปริมาตร 60 มิลลิลิตร ใส่ขวดแก้วฝาเกลียวล็อก ปิดฝาให้แน่น นำไปผ่านการให้ความร้อนฆ่าเชื้อจุลินทรีย์แบบสเตอริไลซ์ ด้วยหม้อนึ่งความดันไอน้ำ (ยี่ห้อ REXMED รุ่น RAU-530D) ที่อุณหภูมิ 121 °C แรงดันไอน้ำ 15 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว เป็นเวลา 15 นาที ครบเวลา ปั่นให้ความดันไอน้ำลดต่ำจนเป็น 0 และอุณหภูมิในหม้อนึ่งลดต่ำกว่า 70 °C นำขวดแก้วออก ปั่นให้คลายร้อน ได้เป็นเครื่องดื่มจากปลีกล้วย (Figure 2) นำไปวิเคราะห์คุณภาพ



Figure 2 Procedure flowchart to produce banana flower beverage samples.

การวิเคราะห์คุณภาพเครื่องดื่มจากปลีกล้วย

นำตัวอย่างเครื่องดื่มจากปลีกล้วยสุตอร์ไม่ใส่สารให้ความหวาน (สูตรควบคุม) สูตรผสมน้ำตาลทรายแดง สูตรผสมน้ำอิมัลชัน สูตรผสมน้ำตาลหล่ออังก๊วย และสูตรผสมน้ำเชื่อมหญ้าหวาน มาวิเคราะห์คุณภาพทางกายภาพ ทางเคมี สารออกฤทธิ์ทางชีวภาพ และการประเมินทางประสาทสัมผัส ดังนี้

1. ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ในน้ำทั้งหมด

วิเคราะห์ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ในน้ำทั้งหมด (total soluble solids) โดยใช้เครื่องวัดปริมาณของแข็งที่ละลายได้ในน้ำทั้งหมดแบบดิจิตอล (brix refractometer) หรือเครื่องวัดความหวานแบบดิจิตอล (รุ่น PEN-PRO ยี่ห้อ ATAGO) ค่าที่อ่านได้มีหน่วยเป็น องศาบริกซ์

2. ปริมาณของแข็งทั้งหมด

วิเคราะห์ร้อยละปริมาณของแข็งทั้งหมด จากสัดส่วนกลับกับปริมาณความชื้น ด้วยวิธีอบในตู้อบลมร้อน ตามวิธีของ AOAC (2000)

3. ค่าสี

วัดค่าสีโดยใช้เครื่องวัดสี (ยี่ห้อ HunterLab รุ่น ColorFlex Model 45/0°) ที่มีการวัดค่าสีในระบบ C.I.E lab ($L^* a^* b^*$) โดยค่า L^* คือ ความสว่างของสี a^* คือ ค่าที่บ่งบอกความเป็นสีเขียวและสีแดง และ b^* คือ ค่าที่บ่งบอกความเป็นสีเหลืองและสีน้ำเงิน วัดค่าสีของตัวอย่าง โดยกวนผสมตัวอย่างให้เข้ากันและนำมาใส่ glass sample cup ปริมาตร ¾ ของถ้วย และปิดด้วย sample cup cover นำไปวางบน port วางตัวอย่างขนาด 1 นิ้ว ของเครื่องวัดสี

4. ค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH)

วัดค่า pH โดยใช้เครื่องวัดค่า pH (ยี่ห้อ Sartorius รุ่น Docu-pH+ Meter) วัดที่อุณหภูมิห้อง ตามวิธีของ AOAC (2000)

5. ปริมาณกรดจากการไตเตรท

วิเคราะห์ร้อยละปริมาณกรดทั้งหมด โดยดัดแปลงจากวิธีของ AOAC (2000) ปิเปตส่วนใสของเครื่องดื่มจากปลีกล้วยที่ผ่านการปั่น เหยี่ยงให้ตกตะกอน 10 มิลลิลิตร ใส่ขวดรูปชมพู่ขนาด 250 มิลลิลิตร เติมน้ำกลั่น 40 มิลลิลิตร หยดสารละลาย ฟีนอล์ฟทาลีน 2 – 3 หยด ไตเตรตด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 0.1 นอร์มอล จนได้จุดยุติเป็นสีชมพูใส บันทึกปริมาตรสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ใช้ คำนวณหาปริมาณกรดทั้งหมดในรูปของกรดซิตริก ดังสมการด้านล่าง

$$\text{ปริมาณกรดทั้งหมด} = \frac{\text{ปริมาตร NaOH ที่ใช้} \times \text{ความเข้มข้น NaOH} \times 0.15 \times 100}{\text{ร้อยละต่อน้ำหนัก}} \quad \text{ปริมาตรตัวอย่างที่ใช้}$$

6. ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด

วิเคราะห์ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด โดยดัดแปลงจากวิธีของ Kanlayavattanukul et al. (2012) ปิเปตส่วนใสของเครื่องดื่มจากปลีกล้วยที่ผ่านการปั่น เหยี่ยงให้ตกตะกอน 20 ไมโครลิตร มาผสมกับสาร Folin-Ciocalteu 100 ไมโครลิตร ในไมโครเพลท 96 หลุม หลังจากนั้นเติมโซเดียมคาร์บอเนต เข้มข้นร้อยละ 7.5 (w/v) 80 ไมโครลิตร ปรับปริมาตรส่วนผสมเป็น 200 ไมโครลิตร ด้วยน้ำกลั่น บ่มสารละลายไว้ที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 1 ชั่วโมง วัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 765 นาโนเมตร ด้วยเครื่องวัดค่าการดูดกลืนแสงของสารละลายในไมโครเพลท และใช้กรดแกลลิก ความเข้มข้น 0.001

– 0.01 มิลลิกรัมต่อมิลลิตร เป็นสารมาตรฐาน ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดในตัวอย่างนำมาเปรียบเทียบกับเส้นโค้งของสารมาตรฐาน และรายงานผลในหน่วยมิลลิกรัมสมมูลของกรดแกลลิกต่อลิตรของตัวอย่าง (mg GAE/L)

7. ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ

วิเคราะห์ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระโดยวิธี DPPH โดยดัดแปลงจากวิธีของ Kanlayavattanukul et al. (2012) ใช้โทรลอกซ์เป็นสารมาตรฐาน เตรียมในเอทานอลเข้มข้นร้อยละ 95 เตรียมสารที่ความเข้มข้น 1.25 – 12.50 ไมโครกรัมต่อมิลลิตร และปิเปตส่วนใสของเครื่องดื่มจากปลีกล้วยที่ผ่านการปั่น เหยี่ยงให้ตกตะกอนมา 50 ไมโครลิตร ผสมกับ DPPH• เข้มข้น 0.3 มิลลิโมลาร์ 150 ไมโครลิตร บ่มในที่มืดเป็นเวลา 30 นาที วัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 517 นาโนเมตร ด้วยเครื่องวัดค่าการดูดกลืนแสงของสารละลายในไมโครเพลท ปริมาณของสารต้านอนุมูลอิสระในตัวอย่างหาได้จากร้อยละการลดลงของความเข้มของสี (% inhibition) คำนวณหาค่าร้อยละการยับยั้งอนุมูลอิสระ DPPH ดังสมการด้านล่าง

$$\% \text{ inhibition} = \frac{[A_{\text{control}} - A_{\text{sample}}]/A_{\text{control}} \times 100}$$

กำหนดให้ A_{sample} = ค่าการดูดกลืนแสงของ DPPH• ผสมกับตัวอย่าง
 A_{control} = ค่าการดูดกลืนแสงของ DPPH• ปราศจากตัวอย่าง

ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระของตัวอย่างจะแสดงอยู่ในรูปมิลลิกรัมสมมูลของโทรลอกซ์ต่อลิตรของตัวอย่าง (mg TEAC/L)

8. ปริมาณสารแทนนิน

วิเคราะห์ปริมาณสารแทนนิน โดยดัดแปลงจากวิธีของ Neuangkanta & Klinchan (2017) ปิเปตส่วนใสของเครื่องดื่มจากปลีกล้วยที่ผ่านการปั่น เหยี่ยงให้ตกตะกอน 0.1 มิลลิตร เเจจางในเอทานอลเข้มข้นร้อยละ 95 และปรับปริมาตรให้เป็น 5 มิลลิตร ในขวดปรับปริมาตร เหยี่ยงให้เข้ากัน วัดค่าการดูดกลืนแสงด้วยเครื่อง UV/Vis Spectrophotometer (ยี่ห้อ PerkinElmer รุ่น LAMBDA 365) ที่ความยาวคลื่น 440 นาโนเมตร ใช้เอทานอลเข้มข้นร้อยละ 95 เป็น blank หาปริมาณสารแทนนินในตัวอย่างโดยเปรียบเทียบค่าที่วัดได้กับกราฟมาตรฐาน ซึ่งเตรียมจากสารละลายมาตรฐานแทนนิน 6 ความเข้มข้น คือ 5 6 7 8 9 และ 10 กรัมต่อลิตร แสดงผลปริมาณสารแทนนินในรูปกรดแทนนิก (กรัมกรดแทนนิก/ลิตร, g/L)

9. การประเมินทางประสาทสัมผัส

การประเมินการยอมรับทางประสาทสัมผัส โดยใช้ผู้บริโภคเพศหญิงทั่วไปที่ไม่ผ่านการฝึกฝน และไม่ปฏิเสธการทดสอบชิมเครื่องดื่มจากปลีกล้วย ซึ่งเป็นนักศึกษาและบุคลากรของมหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม จำนวน 30 คน ประเมินในลักษณะปรากฏ สี รสชาติหวาน รสฝาด รสชาติโดยรวม และความชอบโดยรวม โดยใช้วิธี 9-Points hedonic scale กำหนดให้คะแนน 1 คือไม่ชอบมากที่สุด คะแนน 9 คือชอบมากที่สุด เสิร์ฟตัวอย่างเครื่องดื่มจากปลีกล้วยโดยใส่ลงในถ้วยพลาสติกใส ขนาด 1 ออนซ์ 20 มิลลิตร ที่มีรหัสตัวอย่างแบบเลขสุ่ม 3 หลัก ให้ผู้ทดสอบชิมประเมินพร้อมแบบทดสอบทางประสาทสัมผัส

สถิติที่ใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูล

การศึกษาคุณภาพทางกายภาพ ทางเคมี และสารออกฤทธิ์

ทางชีวภาพ ตามแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ (Completely randomized design, CRD) ทำการทดลอง 3 ซ้ำ การประเมินทางประสาทสัมผัส ตามแผนการทดลองแบบสุ่มบล็อกสมบูรณ์ (Randomized complete block design, RCBD) ใช้ผู้ทดสอบชิมเป็น block จำนวนผู้ทดสอบชิม 30 คน การวิเคราะห์ดังกล่าว วิเคราะห์ค่าความแปรปรวนทางสถิติโดย Analysis of variance (ANOVA) และเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยระหว่างกลุ่มทดลองโดยใช้ค่าสถิติ Duncan's multiple range test (DMRT) ที่ระดับนัยสำคัญทางสถิติ 0.05 ด้วยโปรแกรมสำเร็จรูป SPSS version 13 for Windows (SPSS Inc., Chicago, IL, USA)

ผลและวิจารณ์ผลการวิจัย

ผลการวิเคราะห์ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ในน้ำทั้งหมดและปริมาณของแข็งทั้งหมด

ค่าปริมาณของแข็งที่ละลายได้ในน้ำทั้งหมด (ค่าความหวาน) และปริมาณของแข็งทั้งหมดของเครื่องดื่มจากปลีกล้วย แสดงดัง Table 2 โดยพบว่าค่าความหวานของทุกสูตรมีค่าอยู่ระหว่าง 3.25 – 9.70 องศาบริกซ์ ทุกสูตรที่ผสมสารให้ความหวานมีค่าความหวานมากกว่าสูตรควบคุม ($p < 0.05$) โดยสูตรผสมน้ำอินทผลัมมีค่าความหวานสูงสุด และสูงกว่าสูตรผสมน้ำตาลทรายแดง สูตรผสมน้ำตาลหล่อฮังก้วย และสูตรผสมน้ำเชื่อมหญ้าหวาน ($p < 0.05$) ซึ่งค่าความหวานของสูตรควบคุมมีค่าที่ต่ำกว่าสูตรผสมสารให้ความหวานทุกสูตร

Table 2 Total soluble solid and total solid of banana flower beverage samples

Item	Sweetener				
	Control	Added brown sugar	Added date palm juice	Added Luo Hang Guo sugar	Added stevia syrup
Total soluble solid (° Brix)	3.25±0.07 ^e	8.90±0.14 ^b	9.70±0.14 ^a	6.60±0.28 ^c	4.20±0.14 ^d
Total solid (%)	1.78±0.01 ^e	6.81±0.02 ^b	7.35±0.15 ^a	5.85±0.00 ^c	3.26±0.00 ^d

Means values in the same row with different superscripts are significantly different ($p < 0.05$).

ผลการวัดค่าสี

ค่าสีของเครื่องดื่มจากปลีกล้วย แสดงดัง Table 3 โดยพบว่าค่าความสว่าง (L^*) ของทุกสูตรมีค่าน้อยกว่าค่าเล็กน้อย ซึ่งมีค่าอยู่ระหว่าง 38.99 – 44.60 สูตรผสมน้ำตาลทรายแดง สูตรผสมน้ำตาลหล่อฮังก้วย และสูตรผสมน้ำเชื่อมหญ้าหวานมีค่าความสว่างมากกว่าสูตรควบคุม ยกเว้นสูตรผสมน้ำอินทผลัมมีค่าความสว่างต่ำกว่าสูตรควบคุม และมีค่าความสว่างต่ำสุด ($p < 0.05$) ทุกสูตรมีค่าความเป็นสีแดง (a^*) อยู่ระหว่าง 10.22 – 14.49 สูตรผสมน้ำเชื่อมหญ้าหวาน มีค่าความเป็นสีแดงสูงที่สุด ($p < 0.05$) ขณะที่สูตรผสมน้ำตาลหล่อฮังก้วยมีค่าความเป็นสีแดงต่ำที่สุด ($p < 0.05$) สูตรผสมน้ำตาลทรายแดงและสูตรผสมน้ำอินทผลัมมีค่าความเป็นสีแดงไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($p > 0.05$) ส่วนค่า b^* ของทุกสูตรมีค่าเป็นบวก (+) แสดงถึงค่าความเป็นสีเหลือง มีค่าอยู่ระหว่าง 15.47 – 16.66 โดยสูตรผสมน้ำตาลทรายแดง สูตรผสมน้ำตาลหล่อฮังก้วย และสูตรผสมน้ำเชื่อมหญ้าหวาน มีค่าความเป็นสีเหลืองต่ำกว่าสูตรควบคุม ยกเว้นสูตรผสมน้ำอินทผลัมมีค่าความเป็นสีเหลืองสูงกว่าสูตรควบคุม ซึ่งสีของ

ทั้งนี้เนื่องจากปริมาณของแข็งที่ละลายได้ในน้ำทั้งหมดเป็นค่าที่แสดงถึงความหนาแน่นของน้ำตาลในสารละลาย ในสูตรควบคุมไม่มีการเติมสารให้ความหวานจึงมีค่าความหวานที่ต่ำกว่า และสูตรผสมน้ำอินทผลัมมีค่าความหวานที่สูงกว่าสูตรผสมสารให้ความหวานอื่น ๆ ทั้งนี้ในการดำเนินการวิจัยครั้งนี้ มีการปรับแต่ละสูตรให้มีรสชาติหวานที่ใกล้เคียงกัน ซึ่งสูตรผสมน้ำอินทผลัมมีค่าความหวานที่สูงอาจเนื่องจาก น้ำตาลในอินทผลัมประกอบด้วยส่วนผสมระหว่างน้ำตาลหลายชนิด คือ ซูโครส กลูโคส และฟรุคโตส (Al-Shwyeh, 2019)

ปริมาณของแข็งทั้งหมดของทุกสูตรมีค่าอยู่ระหว่างร้อยละ 1.78 – 7.35 โดยสูตรผสมน้ำอินทผลัมมีปริมาณของแข็งทั้งหมดสูงที่สุด แตกต่างจากสูตรอื่น ๆ ($p < 0.05$) รวมทั้งการผสมสารให้ความหวานอย่างสูตรผสมน้ำตาลทรายแดง สูตรผสมน้ำตาลหล่อฮังก้วย สูตรผสมน้ำเชื่อมหญ้าหวานมีปริมาณของแข็งทั้งหมดสูงกว่าสูตรควบคุม ($p < 0.05$) การผสมสารให้ความหวานทำให้มีปริมาณของแข็งทั้งหมดเพิ่มขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับสูตรควบคุม ซึ่งสูตรผสมน้ำอินทผลัมมีปริมาณของแข็งที่สูงกว่าสูตรอื่น ๆ ทั้งนี้เนื่องจากน้ำอินทผลัมที่ใช้ผสมมีการเตรียมจากผลแห้งอินทผลัม ซึ่งอินทผลัมเป็นผลไม้ที่ประกอบด้วยใยอาหารปริมาณสูง มีใยอาหารอยู่ระหว่างร้อยละ 1.0 – 2.5 ของเนื้อ โดยมีส่วนประกอบที่ไม่ละลายน้ำได้แก่ เซลลูโลส เฮมิเซลลูโลส และลิกนิน (Al-Harrasi et al., 2014)

เครื่องดื่มจากปลีกล้วยทุกสูตรในงานวิจัยนี้ แตกต่างจากการศึกษาของ Chantaratheptimakul & Santakul (2022) ที่สกัดปลีกล้วย ที่อุณหภูมิ 70 °C เป็นเวลา 4 ชั่วโมง น้ำปลีกล้วยสกัดมีสีน้ำตาล มีค่าความสว่างอยู่ที่ 23.44 ซึ่งสีของเครื่องดื่มในงานวิจัยนี้มีสีค่อนไปทางคล้ำเล็กน้อย เนื่องจากปลีกล้วยที่ใช้เป็นวัตถุดิบไม่มีสีดำจากการนำไปแช่ในสารละลายกรดอินทรีย์ ปลีกล้วยสดที่ผ่านการหั่นเมื่อสัมผัสกับอากาศมักเกิดสีดำได้ง่ายจากปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลที่เกี่ยวกับเอนไซม์ ซึ่งการแช่ในสารละลายเอธิลิกโทโรไลต์ ที่เป็นกรดจะไปยับยั้งกิจกรรมของโพลีฟีนอลออกซิเดส (polyphenol oxidase) และเปอร์ออกซิเดส (peroxidase) (Liu et al., 2021) แต่อย่างไรก็ตามในขั้นตอนการต้มปลีกล้วยก็ยังคงเกิดสีน้ำตาล เนื่องจากน้ำตาลรีดิวซ์ทำปฏิกิริยากับหมู่เอมีนที่อยู่ในโมเลกุลของกรดอะมิโนหรือโปรตีนในสภาวะที่มีอุณหภูมิสูงเป็นเวลานาน ทำให้น้ำปลีกล้วยมีสีน้ำตาลเกิดขึ้นเมื่อผ่านการให้ความร้อนที่อุณหภูมิสูง (Fadel et al., 2023)

Table 3 CIE L* a* and b* values of banana flower beverage samples

Item	Sweetener				
	Control	Added brown sugar	Added date palm juice	Added Luo Hang Guo sugar	Added stevia syrup
L*	41.14±0.23 ^d	42.77±0.12 ^c	38.99±0.19 ^e	43.41±0.18 ^b	44.60±0.07 ^a
a*	11.90±0.01 ^b	10.68±0.02 ^c	10.82±0.02 ^c	10.22±0.08 ^d	14.49±0.11 ^a
b*	16.59±0.01 ^b	16.28±0.01 ^d	16.66±0.04 ^a	16.42±0.02 ^c	15.47±0.01 ^e

Means values in the same row with different superscripts are significantly different ($p \leq 0.05$).

ผลการวัดค่า pH และการวิเคราะห์ปริมาณกรดทั้งหมด

ค่า pH ของเครื่องดื่มจากปลีกล้วย แสดงดัง Table 4 โดยพบว่าค่า pH ของทุกสูตรมีค่าอยู่ระหว่าง 4.55 – 4.78 ซึ่งแสดงให้เห็นว่าเครื่องดื่มทุกสูตรมีค่า pH อยู่ในช่วงมีความเป็นกรด โดยสูตรผสมน้ำเชื่อมหญ้าหวานมีค่า pH ต่ำที่สุด แตกต่างจากสูตรอื่น ๆ ($p \leq 0.05$) การผสมสารให้ความหวานทำให้ค่า pH ลดลงเมื่อเปรียบเทียบกับสูตรควบคุม ($p \leq 0.05$) ขณะที่ปริมาณกรดทั้งหมด (คิดในรูปของกรดซิตริก) ของทุกสูตรมีค่าอยู่ระหว่างร้อยละ 0.20 – 0.24 (Table 4)

โดยปริมาณกรดซิตริกมีความสอดคล้องในทางผกผันกับค่า pH นั่นคือ สูตรผสมน้ำอินทผลัมมีปริมาณกรดซิตริกสูงกว่าสูตรควบคุม ($p \leq 0.05$) ส่วนสูตรผสมน้ำตาลหล่อฮังก้วยมีปริมาณกรดซิตริกไม่แตกต่างจากสูตรอื่น ๆ ($p > 0.05$) ซึ่งปริมาณกรดทั้งหมดดังกล่าวส่งผลให้เครื่องดื่มจากปลีกล้วยทุกสูตรมีรสชาติเปรี้ยวเล็กน้อย ทั้งนี้รสชาติเปรี้ยวอาจเกิดมาจากปลีกล้วยดูดซับกรดอินทรีย์ในขั้นตอนการแช่ปลีกล้วยในสารละลายที่ประกอบด้วยกรดซิตริกเข้มข้นร้อยละ 1 และน้ำส้มสายชูกลั่นเข้มข้นร้อยละ 10

Table 4 pH values and titratable acidity of banana flower beverage samples

Item	Sweetener				
	Control	Added brown sugar	Added date palm juice	Added Luo Hang Guo sugar	Added stevia syrup
pH	4.78±0.00 ^a	4.66±0.14 ^b	4.63±0.14 ^{bc}	4.59±0.28 ^c	4.55±0.14 ^d
Titratable acidity (%)	0.21±0.00 ^b	0.23±0.00 ^{ab}	0.24±0.00 ^a	0.23±0.02 ^{ab}	0.20±0.01 ^b

Means values in the same row with different superscripts are significantly different ($p \leq 0.05$).

ผลการวิเคราะห์ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ และปริมาณสารแทนนิน

ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดของเครื่องดื่มจากปลีกล้วย แสดงดัง Table 5 โดยพบว่า ทุกสูตรมีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดอยู่ระหว่าง 1,260.71 – 1,385.71 mg GAE/L การผสมสารให้ความหวานอย่างสูตรผสมน้ำตาลทรายแดงร้อยละ 5 ผสมน้ำอินทผลัมร้อยละ 12 ผสมน้ำตาลหล่อฮังก้วยร้อยละ 4 และผสมน้ำเชื่อมหญ้าหวานร้อยละ 2 ไม่ส่งผลทำให้ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดแตกต่างจากสูตรควบคุม ($p > 0.05$) ซึ่งแสดงให้เห็นว่า ปริมาณการผสมสารให้ความหวาน ยังอยู่ในระดับไม่ส่งผลต่อปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของ Panyayong & Srikaeo (2022) ที่ได้รายงานปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดในอาหารไทย 16 รายการ ที่ใช้ปลีกล้วยเป็นวัตถุดิบหลัก พบว่า น้ำปลีกล้วยพร้อมดื่มมีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดอยู่ที่ 258.43 mg GAE/180 g อยู่ในลำดับที่ 3 ซึ่งมีปริมาณสูงกว่าปลีกล้วยสด ปลีกล้วยผง และชาสมุนไพรปลีกล้วย ขณะที่การศึกษาของ Chantaratheptimakul & Santakul (2022) ทำการสกัดปลีกล้วยที่อุณหภูมิ 70 °C เป็นเวลา 4 ชั่วโมง พบว่ามีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดอยู่ที่ 248.85 mg GAE/g ซึ่งสูงกว่างานวิจัยนี้ ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากการใช้เวลาสกัดที่นานกว่า โดยใช้เวลาสกัด 4 ชั่วโมง ซึ่งการใช้ความร้อนที่อุณหภูมิสูงเป็นสภาวะที่มีความร้อนเพียงพอในการตัดพันธะสารประกอบฟีนอลิกที่อยู่ในรูปที่ไม่แตกตัว เช่น เอสเทอร์ไฟด์ (esterified) และไกลโคไซด์ (glycosylated) จึงส่งผลให้มีสารประกอบฟีนอลิกอยู่ในรูปอิสระเพิ่มมากขึ้น (Xu et al., 2007)

ร้อยละการยับยั้งอนุมูลอิสระ DPPH และฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระของเครื่องดื่มจากปลีกล้วย แสดงดัง Table 5 โดยพบว่า ทุกสูตรมีร้อยละการยับยั้งอนุมูลอิสระ DPPH อยู่ระหว่าง 20.11 – 22.30 การผสมสารให้ความหวานทั้ง 4 ชนิด ไม่ส่งผลให้ร้อยละการยับยั้งอนุมูลอิสระ DPPH แตกต่างจากสูตรควบคุม ($p > 0.05$) ขณะที่ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ DPPH ของ

เครื่องดื่มจากปลีกล้วย มีความสอดคล้องกับร้อยละการยับยั้งอนุมูลอิสระ DPPH โดยการผสมสารให้ความหวานทั้ง 4 ชนิด ไม่ส่งผลให้ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ DPPH แตกต่างจากสูตรควบคุม ($p > 0.05$) โดยทุกสูตรมีค่าอยู่ระหว่าง 1,981.54 – 2,197 mg TEAC/L สอดคล้องกับ Panyayong & Srikaeo (2022) ที่ได้รายงานว่า น้ำปลีกล้วยพร้อมดื่มมีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ DPPH โดยอยู่สูงเป็นลำดับที่ 2 จากรายการอาหารไทยที่ใช้ปลีกล้วยเป็นวัตถุดิบหลักทั้งหมด 16 รายการ มีค่าอยู่ที่ 192.47 mg AAE/180 g ซึ่งสูงกว่าปลีกล้วยสด ปลีกล้วยผง ชาสมุนไพรปลีกล้วย และยาปลีกล้วยบดก็ได้ โดยมีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ DPPH รองจากรายการปลีกล้วยทอดกรอบ

ปริมาณสารแทนนินของเครื่องดื่มจากปลีกล้วย แสดงดัง Table 5 โดยพบว่า ทุกสูตรมีปริมาณสารแทนนินระหว่าง 608.84 – 1,221.99 g/L สูตรผสมน้ำเชื่อมหญ้าหวานมีปริมาณสารแทนนินสูงสุดแตกต่างจากสูตรอื่น ๆ ($p \leq 0.05$) ขณะที่การผสมสารให้ความหวานอย่างสูตรผสมน้ำตาลทรายแดง สูตรผสมน้ำอินทผลัม และผสมน้ำตาลหล่อฮังก้วย ไม่ส่งผลให้ปริมาณสารแทนนินต่างจากสูตรควบคุม ($p > 0.05$) สารแทนนินเป็นสารประกอบฟีนอลที่พืชสร้างขึ้นตามธรรมชาติมีรสฝาด เผื่อน หรือขม โดยทั่วไปแทนนินแบ่งเป็น 2 กลุ่ม คือ ไฮโดรไลเซเบิลแทนนิน ประกอบด้วย แกลโลแทนนิน อีลาจิแทนนิน และคอนเดนส์แทนนิน หรือโพรแอนโธไซยานิน (Mueller-Harvey & McAllan, 1992; Mueller-Harvey, 2001) ซึ่งในใบหญ้าหวานมีสารแทนนินเป็นองค์ประกอบ โดยพบอยู่ที่ร้อยละ 5.43 – 5.91 ของน้ำหนักแห้ง (Gasmalla et al., 2014) ดังนั้นจึงส่งผลให้เครื่องดื่มสูตรผสมน้ำเชื่อมหญ้าหวานมีปริมาณสารแทนนินสูงกว่าสูตรอื่น ๆ

เครื่องดื่มจากปลีกล้วยทุกสูตรในงานวิจัยนี้ไม่มีสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพ อย่างสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด สารแทนนิน และมีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระอยู่ในระดับที่เหมาะสม (Table 5) สารออกฤทธิ์ทางชีวภาพดังกล่าวและฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระมีส่วนช่วยส่งเสริมการทำงานของฮอร์โมนโปรแลคตินในเลือด (Pohan & Margolang, 2022) จึงทำให้เครื่องดื่มจากปลีกล้วยสามารถกระตุ้นการสร้างน้ำนมมารดาหลังคลอดได้

Table 5 Total phenolic, % DPPH inhibition, antioxidant activity, and tannins of banana flower beverage samples

Item	Sweetener				
	Control	Added brown sugar	Added date palm juice	Added Luo Hang Guo sugar	Added stevia syrup
Total phenolic (mg GAE/L) ^{ns}	1,314.88 ±15.99	1,311.31 ±22.73	1,385.71 ±50.51	1,260.71 ±107.75s	1,285.12 ±22.73
% DPPH inhibition ^{ns}	22.30 ±1.03	20.83 ±1.80	21.37 ±1.50	21.74 ±0.52	20.11 ±0.75
Antioxidant activity (mg TEAC/L) ^{ns}	2,197.00 ±101.57	2,051.73 ±177.74	2,141.50 ±50.78	1,981.54 ±73.87	2,105.59 ±147.73
Tannins (as tannic acid g/L)	719.58 ±20.83 ^b	834.39 ±23.71 ^b	608.84 ±49.57 ^b	805.94 ±52.44 ^b	1,221.99 ±178.17 ^a

Means values in the same row with different superscripts are significantly different ($p \leq 0.05$).

^{ns} Means values in the same column are not significantly different ($p > 0.05$)

ผลการประเมินทางประสาทสัมผัส

เมื่อนำเครื่องดื่มจากปลีกล้วยที่ผ่านแปรรูปให้ความหวานต่าง ๆ ทั้ง 5 สูตร มาประเมินทางประสาทสัมผัส โดยใช้ผู้ทดสอบชิมเพศหญิง จำนวน 30 คน มีอายุระหว่าง 19 – 50 ปี มีบุตรร้อยละ 25 และไม่มีบุตรร้อยละ 75 ผลการประเมิน แสดงดัง Table 6 พบว่า คะแนนการยอมรับด้านลักษณะปรากฏ สี รสชาติหวาน รสฝาด รสชาติโดยรวม และความชอบโดยรวมของทั้ง 5 สูตร มีคะแนนอยู่ระหว่าง 5.08 – 7.91, 5.00 – 7.75, 2.58 – 7.25, 3.33 – 6.83, 3.33 – 7.58 และ 3.00 – 7.58 คะแนน ตามลำดับ อยู่ในระดับไม่ชอบมากถึงชอบปานกลาง โดยคะแนนการประเมินด้านลักษณะปรากฏและด้านสีของสูตรผสมน้ำอินทผลัมมีคะแนนการยอมรับต่ำกว่าสูตรอื่น ๆ ($p \leq 0.05$) ในขณะที่คะแนนการประเมินด้านรสชาติหวานของสูตรผสมน้ำตาลทรายแดงมีคะแนนการยอมรับไม่แตกต่างกับสูตรผสมน้ำตาลหล่อฮั้งก้วยและสูตรผสมน้ำเชื่อมหญ้าหวาน ($p > 0.05$) และมีคะแนนการยอมรับสูงกว่าสูตรผสมน้ำอินทผลัมและสูตรควบคุม ($p \leq 0.05$)

นอกจากนี้ คะแนนการประเมินด้านรสฝาดของสูตรผสมน้ำตาลทรายแดง สูตรผสมน้ำเชื่อมหญ้าหวาน และสูตรผสมน้ำตาลหล่อฮั้งก้วยมีคะแนนการยอมรับสูงกว่าสูตรควบคุม ($p \leq 0.05$) และคะแนนการประเมินด้านรสชาติโดยรวมของสูตรผสมน้ำตาลทรายแดงมีคะแนนการยอมรับไม่แตกต่างกับสูตรผสมน้ำเชื่อมหญ้าหวานและสูตรผสมน้ำตาลหล่อฮั้งก้วย ($p > 0.05$) และมีคะแนนการยอมรับสูงกว่าสูตรผสมน้ำอินทผลัมและสูตร

ควบคุม ($p \leq 0.05$) ส่วนคะแนนการประเมินด้านความชอบโดยรวมของสูตรผสมน้ำตาลทรายแดง สูตรผสมน้ำเชื่อมหญ้าหวาน และสูตรผสมน้ำตาลหล่อฮั้งก้วย มีคะแนนการยอมรับสูงกว่าสูตรผสมน้ำอินทผลัมและสูตรควบคุม ($p \leq 0.05$) โดยมีคะแนนความชอบโดยรวมอยู่ในระดับชอบเล็กน้อยถึงชอบมาก

จากผลการประเมินทางประสาทสัมผัส แสดงให้เห็นว่าการผสมสารให้ความหวาน ส่งผลให้เครื่องดื่มจากปลีกล้วยได้รับการยอมรับด้านรสชาติและการยอมรับโดยรวมจากผู้บริโภค ซึ่งให้ผลในทางตรงกันข้ามกับเครื่องดื่มจากปลีกล้วยที่ไม่ได้ผสมสารให้ความหวาน ทั้งนี้ อาจเนื่องมาจากเครื่องดื่มจากปลีกล้วยมีสารแทนนินเป็นส่วนประกอบ ทำให้มีรสฝาด การผสมสารให้ความหวาน ทำให้คะแนนการยอมรับด้านรสฝาดเพิ่มขึ้น และส่งผลให้คะแนนการยอมรับด้านรสชาติเพิ่มขึ้น รวมทั้งสูตรผสมน้ำเชื่อมหญ้าหวานร้อยละ 2 เป็นสูตรที่มีการใช้น้ำเชื่อมหญ้าหวานมีความเข้มข้นเหมาะสมจึงไม่ส่งผลให้เครื่องดื่มมีรสขมติดคอ สูตรผสมน้ำอินทผลัมมีคะแนนการยอมรับด้านลักษณะปรากฏและสีต่ำกว่าสูตรอื่น ๆ ทั้งนี้ อาจเนื่องมาจากการมีสารแขวนลอยที่ไม่ผสมเป็นเนื้อเดียวกันของเครื่องดื่มจึงส่งผลต่อการยอมรับของผู้บริโภคในทางลบ สูตรผสมน้ำตาลทรายแดง สูตรผสมน้ำเชื่อมหญ้าหวาน และสูตรผสมน้ำตาลหล่อฮั้งก้วยเป็นสูตรที่ได้การยอมรับจากผู้บริโภค โดยเฉพาะสูตรผสมน้ำเชื่อมหญ้าหวานและสูตรผสมน้ำตาลหล่อฮั้งก้วยเป็นเครื่องดื่มจากปลีกล้วยกระตุ่น การสร้างน้ำนมแม่เหมาะกับผู้ที่ต้องการควบคุมพลังงาน

Table 6 Sensory evaluation of banana flower beverage samples

Attributes	Sweetener				
	Control	Added brown sugar	Added date palm juice	Added Luo Hang Guo sugar	Added stevia syrup
Appearance	6.75±1.48 ^a	7.91±1.16 ^a	5.08±1.62 ^b	7.50±1.08 ^a	7.50±1.24 ^a
Color	6.67±1.97 ^a	7.25±1.29 ^a	5.00±2.00 ^b	7.00±1.60 ^a	7.75±0.97 ^a
Sweet	2.58±1.51 ^c	7.25±1.29 ^a	5.00±1.76 ^b	5.92±1.89 ^{ab}	6.67±1.72 ^a
Astringent	3.33±2.06 ^c	6.83±1.70 ^a	4.83±1.59 ^b	5.25±1.96 ^{ab}	5.92±1.88 ^{ab}
Overall flavor	3.33±2.19 ^c	7.58±1.51 ^a	5.25±1.71 ^b	6.25±1.76 ^{ab}	6.67±1.72 ^{ab}
Overall acceptance	3.00±2.96 ^c	7.58±1.97 ^a	5.17±1.79 ^b	6.17±1.74 ^{ab}	6.67±1.78 ^{ab}

Means values in the same row with different superscripts are significantly different ($p \leq 0.05$).

สรุปผลการวิจัย

การผลิตเครื่องดื่มจากปลีกล้วย ด้วยการสกัดสารสำคัญด้วยน้ำโดยการต้มและปั่นละเอียด และศึกษาผลของสารให้ความหวานต่างชนิดต่อคุณภาพของเครื่องดื่ม ด้วยการปรับปรุงรสชาติหวานโดยผ่านแปรรูปให้ความหวานจากธรรมชาติ จำนวน 5 สูตร คือ สูตรไม่ใส่สาร

ให้รสหวาน (สูตรควบคุม) สูตรผสมน้ำตาลทรายแดงร้อยละ 5 สูตรผสมน้ำอินทผลัมร้อยละ 12 สูตรผสมน้ำตาลหล่อฮั้งก้วยร้อยละ 4 และสูตรผสมน้ำเชื่อมหญ้าหวานร้อยละ 2 และปรับปรุงกลิ่นด้วยกลิ่นนมสดร้อยละ 0.1 ผ่านการใช้ความร้อนฆ่าเชื้อจุลินทรีย์แบบสเตอริไลซ์ เครื่องดื่มจากปลีกล้วยสูตรผสมน้ำตาลทรายแดง สูตรผสม

น้ำเชื่อมหญ้าหวาน และสูตรผสมน้ำตาลหล่อฮังก้วย มีความเหมาะสมที่จะผลิตเป็นสูตรเครื่องดื่มจากปลีกกล้วยกระตุ้นการสร้างน้ำนมแม่ทางการค้า โดยมีค่าความหวาน และปริมาณของแข็งทั้งหมด ค่า pH ปริมาณกรดซิตริก ค่าสี และปริมาณแทนนินอยู่ในระดับที่ผู้บริโภคยอมรับ รวมทั้งมีสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพอย่างปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด และมีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ โดยทั้ง 3 สูตรได้รับการยอมรับจากผู้บริโภคอยู่ในระดับชอบเล็กน้อยถึงชอบปานกลาง โดยเฉพาะสูตรให้พลังงานต่ำอย่างสูตรผสมน้ำเชื่อมหญ้าหวานและสูตรผสมน้ำตาลหล่อฮังก้วยเหมาะกับคนที่ห่วงใยในสุขภาพ และสามารถพัฒนาต่อยอดเป็นเครื่องดื่มเพื่อสุขภาพสำหรับผู้บริโภคทั่วไปได้

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณทุนอุดหนุนการวิจัยจากงบประมาณเงินรายได้ (บกศ.) ประจำปีงบประมาณ พ.ศ. 2566 มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม ที่ได้ให้ทุนสนับสนุนการวิจัยครั้งนี้

References

- Al-Harrasi, A., Rehman, N. U., Hussain, J., Khan, A. L., Al-Rawahi, A., Gilani, S. A., Al-Broumi, M., & Ali, L. (2014). Nutritional assessment and antioxidant analysis of 22 date palm (*Phoenix dactylifera*) varieties growing in Sultanate of Oman. *Asian Pacific Journal of Tropical Medicine*, 7(1), S591-S598. doi: 10.1016/S1995-7645(14)60294-7
- Al-Shwyeh, H. A. (2019). Date palm (*Phoenix dactylifera* L.) fruit as potential antioxidant and antimicrobial agents. *Journal of Pharmacy and Bioallied Sciences*, 11(1), 1-11. doi: 10.4103/jpbs.JPBS_168_18
- Amornlerdpison, D., Choommongkol, V., Narkprasom, K., & Yimyam, S. (2020). Bioactive compounds and antioxidant properties of banana inflorescence in a beverage for maternal breastfeeding. *Applied Sciences*, 11(1), 343. doi: 10.3390/app11010343
- Association of Official Analytical Chemists (AOAC). (2000). *Official methods of analysis* (17thed.). Arlington, Virginia, United States: Association of Official Analytical Chemists.
- Baotang, Z. (2018). Monk fruit extract: a new sweetener. *Nutraceuticals Now, Spring 201*, 70-71.
- Chantaratheptimukul, S., & Santakul, A. (2022). *Development of concentrates banana blossom ready todrink*. Bangkok, Thailand: Rajamangala University of Technology Krungthep. (in Thai)
- Fadel, H. H. M., Lotfy, S. N., Asker, M. M. S., Mahmoud, M. G., Abd El-Aleem, F. S., Ahmed, M. Y. S., & Saad, R. (2023). Effect of amino compounds on the volatile compounds and antioxidant activity of maillard reaction products of enzymatic hydrolyzed cabbage leaves. *Applied Food Research*, 3(2), 100327. doi: 10.1016/j.afres.2023.100327
- Gasmalla, M. A. A., Yang, R., Amadou, I., & Hua, X. (2014). Nutritional composition of *Stevia rebaudiana* Bertoni leaf: effect of drying method. *Tropical Journal of Pharmaceutical Research*, 13(1), 61-65. doi: 10.4314/tjpr.v13i1.9
- Kanlayavattanukul, M., Ospondant, D., Ruktanonchai, U., & Lourith, N. (2012). Biological activity assessment and phenolic compounds characterization from the fruit pericarp of *Litchi chinensis* for cosmetic applications. *Pharmaceutical Biology*, 50(11), 1384-1390. doi: 10.3109/13880209.2012.675342
- Liu, R., Yu, Z. L., Sun, Y. L., & Zhou, S. M. (2021). The enzymatic browning reaction inhibition effect of strong acidic electrolyzed water on different parts of sweet potato slices. *Food Bioscience*, 43(1), 101252. doi: 10.1016/j.fbio.2021.101252
- Mahmood, A., Omar, M., & Ngah, N. (2010). *Phytochemical screening and galactagogue of banana flower (Musa x paradisiaca ABBB) extract on lactating rats*. Accessed May 28, 2024. Retrieved from <http://irep.iium.edu.my/21823/>
- Mueller-Harvey, I. (2001). Analysis of hydrolysable tannins. *Animal Feed Science and Technology*, 91 (1-2), 3-20. doi: 10.1016/S0377-8401(01)00227-9
- Mueller-Harvey, I., & McAllan, A. B. (1992). Tannins: their biochemistry and nutritional properties. *Advances in Plant Cell Biochemistry and Biotechnology*, 1: 151-217.
- Neuangkanta, S., & Klinchan, C. (2017). The study of glucose decrease level of *Phyllanthus emblica* Linn. extraction. *The 4th Kamphaeng Phet Rajabhat University national conference* (pp. 967-979). Kamphaeng Phet, Thailand: Research and Development Institute, Kamphaeng Phet Rajabhat University. (in Thai)
- Panyayong, C., & Srikaeo, K. (2022). Foods from banana inflorescences and their antioxidant properties: an exploratory case in Thailand. *International Journal of Gastronomy and Food Science*, 28, 100436. doi: 10.1016/j.ijgfs.2021.100436
- Pohan, A., & Margolang, J. (2022). The effect of banana blossom consumption on increasing breast milk production in public mothers at Murniati Clinic Kisanan. *Science Midwifery*, 10(2), 769-773.
- Raspe, D. T., da Silva, C., & da Costa, S. C. (2022). Compounds from *Stevia rebaudiana* Bertoni leaves: an overview of non-conventional extraction methods and challenges. *Food Bioscience*, 46(3), 101593. doi:

- 10.1016/j.fbio.2022.101593
- Saryono, M. D. W. I. A., & Rahmawati, E. (2016). Effects of dates fruit (*Phoenix dactylifera* L.) in the female reproductive process. *International Journal of Recent Advances in Multidisciplinary Research*, 3(7), 1630-1633.
- Sheng, Z. W., Ma, W. H., Jin, Z. Q., Bi, Y., Sun, Z. G., Dou, H. T., Li, J. Y., & Han, L. N. (2010). Investigation of dietary fiber, protein, vitamin E and other nutritional compounds of banana flower of two cultivars grown in China. *African Journal of Biotechnology*, 9(25), 3888-3895.
- Swe, K. N. N. (2012). Study on phytochemicals and nutritional composition of banana flowers of two cultivars (Phee kyan and Thee hmwe). *Universities Research Journal*, 5(1), 1-5.
- Thansettakij. (2023). "Aging society 2024" awakens the market for healthy food and beverages to grow to 34 billion. Accessed May 28, 2024. Retrieved from <https://www.thansettakij.com/health/wellbeing/584252>. (in Thai)
- Xu, G., Ye, X., Chen, J., & Liu, D. (2007). Effect of heat treatment on the phenolic compounds and antioxidant capacity of citrus peel extract. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 55(2), 330-335. doi: 10.1021/jf062517l
- Yimyam, S., Suppansan, P., & Jankajonchai, K. (2023). Effectiveness of banana flower beverage on breast milk production among mothers of preterm neonates. *Journal of Neonatal Nursing*. 29(5), 755-759. doi: 10.1016/j.jnn.2023.02.006

Research article

Effects of different sweeteners on the quality of banana flower beverage

Pornpan Phuapaiboon* Thanitnan Boonsrichana and Parichat Ratmanee

Program in Food Technology, Faculty of Agricultural Technology, Rajabhat Maha Sarakham, Mueang District, Maha Sarakham Province, 44000

ARTICLE INFO**Article history**

Received: 30 April 2024

Revised: 20 May 2024

Accepted: 29 May 2024

Online published: 5 June 2024

Keyword

Sweetener

Beverage

Banana flower

Lactation simulation

ABSTRACT

The objective of this study was to observe the effect of different sweeteners on the quality of banana flower beverages. Banana flower juice was produced by water extraction through boiling and fine blending. The sweet taste was improved by varying natural sweeteners in five experiments: a formula with no added sweeteners (control formula), a formula with 5 percent brown sugar, a formula with 12 percent date palm juice, a formula with 4 percent Luo Han Guo sugar, and a formula with 2 percent stevia syrup (w/w). The results of the study found that the sweetened formulas had higher total soluble solids and total solids than the control formula. All beverage formulas were acidic, with pH values and total acidity (as citric acid) ranging from 4.55 to 4.78 and 0.20 to 0.24 %, respectively. The sweetened formulas had a lower pH than the control formula. Moreover, all beverage formulas exhibited a slightly dark red color. The lightness value (L*), redness value (a*), and yellowness value (b*) were between 38.99 to 44.60, 10.22 to 14.49, and 15.47 to 16.66, respectively. The formula with date palm juice had a lower brightness value than the other formulas. Total phenolic compounds, % DPPH inhibition, and the antioxidant activity of the sweetened formulas were not statistically different from the control formula ($p > 0.05$), with values between 1,260.71 to 1,385.71 mg GAE/L, 20.11 to 22.30 %, and 1,981.54 to 2,197 mg TEAC/L, respectively. The tannin content in all formulas ranged from 608.84 to 1,221.99 g/L, with the stevia syrup formula having a higher tannin content than the other formulas ($p \leq 0.05$). The hedonic sensory results found that the formula with stevia syrup and the formula with Luo Han Guo sugar were accepted by consumers at the level of "like slightly." Both formulas are low-calorie and suitable for people who are concerned about their health and are suitable for further development into commercial products.

*Corresponding author

E-mail address: phuapaiboon@yahoo.com (P. Phuapaiboon)

Online print: 5 June 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.2024.17>



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

บทความวิจัย

ความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักตัวกับค่าขนาดร่างกายและการประมาณน้ำหนักตัวในกระบือปลักเพศเมีย นิรุจน์ พันธุ์ศรี¹ และ อารีย์ ไกรสุรย์^{2*}

¹สำนักงานปศุสัตว์จังหวัดบุรีรัมย์ อำเภอเมืองบุรีรัมย์ จังหวัดบุรีรัมย์ 31000

²คณะเกษตรและอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยราชภัฏสุรินทร์ อำเภอเมือง จังหวัดสุรินทร์ 32000

ข้อมูลบทความ

Article history

รับ: 30 เมษายน 2567

แก้ไข: 21 พฤษภาคม 2567

ตอบรับการตีพิมพ์: 1 มิถุนายน 2567

ตีพิมพ์ออนไลน์: 10 มิถุนายน 2567

คำสำคัญ

การประมาณค่า

ขนาดร่างกาย

น้ำหนักตัว

กระบือปลักเพศเมีย

บทคัดย่อ

น้ำหนักตัวถูกใช้เป็นเกณฑ์ในการประเมินราคาซื้อขายหรือการคัดเลือกพันธุ์สัตว์ กระบือเป็นสัตว์เคี้ยวเอื้องขนาดใหญ่ที่บางครั้งการชั่งน้ำหนักด้วยเครื่องชั่งดิจิทัลเป็นไปได้ค่อนข้างยาก วัตถุประสงค์ของการศึกษานี้เพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักตัวกับค่าขนาดร่างกายส่วนต่าง ๆ และประมาณน้ำหนักตัวกระบือ เพื่อกำหนดการประมาณน้ำหนักตัวที่เหมาะสม 2 ปี จำนวน 145 ตัว ถูกหาค่าน้ำหนักตัวด้วยเครื่องชั่งดิจิทัลและสายวัดน้ำหนัก ทำการวัดค่าขนาดร่างกายส่วนต่าง ๆ (เช่นติเมตร) คือ รอบอก (HG) ความสูงของขาหน้า (SH) ความยาวลำตัว (BL) ความสูงของสะโพก (HH) และรอบเอว (UG) ความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักตัวและขนาดร่างกายส่วนต่าง ๆ ถูกนำมาวิเคราะห์และสร้างสมการประเมินน้ำหนักตัว ทำการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยน้ำหนักโดยเครื่องชั่งดิจิทัล สายวัดขนาดร่างกายและน้ำหนักจากสมการ ผลการศึกษา ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ของขนาดร่างกายส่วนต่าง ๆ เป็นเชิงบวก พบว่า HG และ UH มีค่าสัมพันธ์ระดับสูงกับน้ำหนักตัว เมื่อใช้สมการถดถอยเชิงเส้นจะได้ $BW = -421.532 + 1.709 (HG) + 0.841 (SH) + 0.434 (BL) + 0.175 (HH) + 1.335 (UG)$ ($R^2 = 0.794, P < 0.0001$) ค่าเฉลี่ยน้ำหนักของสายวัดขนาดร่างกายสูงกว่าเครื่องชั่งดิจิทัลและน้ำหนักจากการคำนวณสมการอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.001$) อย่างไรก็ตาม ไม่มีความแตกต่างระหว่างน้ำหนักจากเครื่องชั่งดิจิทัลและจากสมการ แสดงให้เห็นว่าสามารถใช้ค่าขนาดร่างกายส่วนต่าง ๆ ทำน้ำหนักของกระบือปลักเพศเมียร่วมกับการใช้ประโยชน์จากสายวัดขนาดร่างกายเพื่อใช้เป็นแนวทางในการประมาณน้ำหนักกระบือปลักเพศเมีย

บทนำ

กระบือเป็นสัตว์เคี้ยวเอื้องขนาดใหญ่ ถูกแบ่งเป็นกระบือแม่น้ำ (river buffalo) และกระบือปลัก (swamp buffalo) กระบือแม่น้ำส่วนใหญ่อยู่อินเดียและปากีสถาน ส่วนกระบือปลัก สามารถพบได้ทั่วไปในจีนและเอเชียใต้ ได้แก่ เวียดนาม สาธารณรัฐประชาธิปไตยประชาชนลาว ราชอาณาจักรกัมพูชา ประเทศไทย มาเลเซียและสาธารณรัฐอินโดนีเซีย วัตถุประสงค์ของการเลี้ยงกระบือปลักไทย ส่วนใหญ่เพื่อใช้เป็นแรงงานในไร่นาและใช้มูลเป็นปุ๋ย เมื่อกระบือมีอายุมากขึ้นจะถูกส่งเข้าโรงฆ่าชำแหละเพื่อเป็นแหล่งของเนื้อในการบริโภค พฤติกรรมของกระบือปลักโดยทั่วไปมีนิสัยชอบนอนแช่ปลักโคลน ลักษณะทางกายภาพของกระบือปลักที่พบเห็นได้คือ รูปร่างลักษณะลำตัวกำยำลำสัน (stocky) มีความแข็งแรงและอดทนสูง เหมาะสมกับการใช้แรงงาน ลำตัวสั้นและอ้วน รอบอกใหญ่ ท้องกลม ขาสั้นและตรง ผิวหนังมีสีเทาเข้มเกือบดำอาจมีสีขาวเผือก มีขนเล็กน้อย หัวยาวแคบ เขามีลักษณะแบนโค้งไปข้างหลัง คอยาวและบริเวณใต้คอจะมีขนขาวเป็นรูปตัววี เมื่อโตเต็มวัยมีน้ำหนักโดยประมาณ 500 กิโลกรัม ความสูงเฉลี่ย 135 เซนติเมตรในกระบือเพศผู้และน้ำหนักโดยประมาณ 400 กิโลกรัม ความสูงเฉลี่ย 130 เซนติเมตรในกระบือเพศเมีย ประชากร

ของกระบือปลักทั่วโลกคิดเป็นร้อยละ 42 ของกระบือทั้งหมด (Johari et al., 2009) จำนวนกระบือในประเทศไทยในปี 2565 ทั้งหมด 1,714,141 ตัว และในปี 2566 ทั้งหมด 1,784,160 ตัว คิดเป็นร้อยละที่เพิ่มขึ้น 4.08 ของกระบือในประเทศไทย (Department of Livestock Development, 2023)

น้ำหนักตัวสัตว์ ถูกใช้เป็นเกณฑ์สำคัญในการประเมินราคาซื้อขายหรือการคัดเลือกพันธุ์สัตว์ รวมถึงลักษณะสำคัญทางเศรษฐกิจของฟาร์มที่กำหนดวัตถุประสงค์เพื่อการผลิตเนื้อ เนื่องจากรายได้ของผู้เลี้ยงมาจากน้ำหนักตัวสัตว์โดยตรง ที่ผ่านมา การซื้อขายสัตว์เริ่มให้ความสนใจมากขึ้นในความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักตัวสัตว์และขนาดร่างกายในการเพิ่มผลผลิตเนื้อ (Agyar et al., 2022) อย่างไรก็ตาม ในการซื้อขายสัตว์เคี้ยวเอื้องขนาดใหญ่ การชั่งน้ำหนักด้วยเครื่องชั่งดิจิทัลเป็นไปได้ยาก โดยเฉพาะอย่างยิ่งตามตลาดนัดโค-กระบือ การซื้อขายสัตว์เคี้ยวเอื้องขนาดใหญ่ใช้การประมาณน้ำหนักตัวด้วยการประเมินลักษณะรูปร่างภายนอกเพียงอย่างเดียว ทำให้อาจเกิดการได้เปรียบเสียเปรียบระหว่างผู้ซื้อและผู้ขาย ซึ่งน้ำหนักมีชีวิตถูกประเมินจากขนาดของร่างกาย ในกระบือใช้การประเมินถึงลักษณะการเจริญเติบโตและลักษณะการให้ผลผลิตอื่น ๆ อีกด้วย

*Corresponding author

E-mail address: aree.kri@sru.ac.th (A. Kraisoorn)

Online print:10 June 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.2024.18>

อาทิ ประสิทธิภาพการให้ผลผลิตและการแสดงออกทางลักษณะพันธุกรรมในกระบือ (Mirza et al., 2023)

การประมาณน้ำหนักจากการวัดขนาดร่างกายถูกเผยแพร่ในหลายงานวิจัยทางด้านสัตว์เศรษฐกิจ โดยทำการประมาณน้ำหนักตัวในแพะ แกะ กระบือ ม้า และโค จากการศึกษาที่ผ่านมาพบว่า ขนาดร่างกายส่วนของความยาว รอบอกกับน้ำหนักตัวมีความสัมพันธ์กันในโคนม (Yan et al., 2009) โคเนื้อ (Abdelhadi & Babiker, 2009) แพะ แกะ (Kochapakdee et al., 2000) ม้า (Kavazis & Ott, 2003) และกระบือ (Buranakart et al., 2012; Ağyar et al., 2022) ในปัจจุบัน การวัดขนาดร่างกายส่วนต่าง ๆ ของสัตว์ถูกนำมาใช้เป็นแนวทางในการคัดเลือกและปรับปรุงพันธุ์สัตว์ช่วงเริ่มต้นของการเจริญเติบโตในลูกกระบือสัมพันธ์กับน้ำหนักตัวและลักษณะพันธุกรรมดีในการเลี้ยงดูเพื่อเป็นพ่อแม่พันธุ์ในอนาคต การคัดเลือกพ่อแม่พันธุ์ตั้งแต่อายุน้อยช่วยลดค่าใช้จ่ายในการบริหารจัดการและเพิ่มศักยภาพในการสืบพันธุ์ของพ่อแม่พันธุ์ได้เป็นอย่างดี การประเมินความสมบูรณ์พันธุ์ของพ่อแม่พันธุ์เป็นความพยายามในการเพิ่มพันธุกรรมดีของฝูงสัตว์ในอนาคต (Ranga et al., 2023) วิธีการประมาณน้ำหนักตัว โดยการใช้สมการในการประมาณค่าน้ำหนักตัวจากสมการเชิงเส้นพหุ (multiple linear regression) ของกระบือนมพันธุ์ Nili-Ravi อายุตั้งแต่ 6 ถึง 24 เดือน ประกอบด้วยส่วนของความสูงของขาหน้าและความยาวรอบอก เช่นเดียวกับการวัดส่วนสูงที่สะโพกและความยาวเส้นรอบอกในสมการประมาณค่าน้ำหนักตัวแบบเชิงเส้นพหุถูกศึกษาในกระบือปลักเพศผู้และเพศเมีย (Raungprim et al., 2020) การศึกษาเรื่องการประมาณน้ำหนักกระบือนั้น จำเป็นจะต้องพิจารณาหาข้อมูล ปัจจัยต่าง ๆ เพิ่มเติมเพื่อจะแก้ไขปัญหาค่าคลาดเคลื่อนของสมการในการประมาณน้ำหนักตัวของกระบือและเพื่อเพิ่มความแม่นยำและใกล้เคียงกับน้ำหนักตัวจริง อีกทั้งการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักตัวและขนาดร่างกายมีความคลาดเคลื่อนจากหลายปัจจัยทั้งด้านอายุ เพศ และสภาพร่างกายสัตว์ ส่งผลให้เกิดความคลาดเคลื่อนของน้ำหนักตัวในกระบือ สมมุติฐานของการศึกษานี้คือ ความสัมพันธ์ของ

ค่าขนาดร่างกายส่วนต่าง ๆ ของกระบือเพศเมียส่งผลให้เกิดความแม่นยำในการประเมินน้ำหนักตัว โดยวัตถุประสงค์การศึกษานี้เพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักตัวกับค่าขนาดร่างกายส่วนต่าง ๆ และการประมาณน้ำหนักตัวในกระบือเพศเมียอายุประมาณ 2 ปี

อุปกรณ์และวิธีการวิจัย

กระบือเพศเมีย จำนวน 145 ตัว อายุ 2 ปี จากพื้นที่ 5 อำเภอ (เฉลี่ย 25-30 ตัวต่ออำเภอ) ในจังหวัดบุรีรัมย์ ถูกประเมินอายุจากจำนวนฟันแท้ที่ปรากฏจำนวน 2 ซี่ โดยผู้เชี่ยวชาญจำนวน 3 คน กระบือเพศเมียผ่านการตรวจสุขภาพสัตว์ ทำโปรแกรมวัคซีน ถ่ายพยาธิภายในและภายนอกตามคำแนะนำของกรมปศุสัตว์ ดำเนินการเลี้ยงและดูแลกระบือตามสัญญาเอ็มโค-กระบือ เพื่อการผลิตโครงการธนาคารโค-กระบือเพื่อเกษตรกรตามพระราชดำริและให้บริการการดูแลและเลี้ยงดูสัตว์เพื่องานทางวิทยาศาสตร์ภายใต้การรับรองของสำนักงานปศุสัตว์จังหวัดบุรีรัมย์ (บร 0008/พิเศษ ลงวันที่ 21 พฤศจิกายน 2566) กระบือเพศเมียได้รับการเลี้ยงดูในสภาพที่เหมือนกัน คือ ถูกปล่อยและเล็มหญ้าสดในไร่นา (เวลา 07.00-17.00 น.) เกษตรกรเสริมหญ้าสด มีฟางข้าวแห้งและน้ำให้กินตลอดเวลา ทำการชั่งน้ำหนักและวัดขนาดร่างกายส่วนต่าง ๆ ในช่วงเช้ามืดก่อนปล่อยกระบือลงและเล็ม กระบือเพศเมียถูกนำมาชั่งน้ำหนักด้วยเครื่องชั่งดิจิทัล (BW-1, TI-01 series Tiger®) และบันทึกน้ำหนักตัวประมาณการที่ได้จากสายวัดน้ำหนัก (BW-2) มีหน่วยเป็นกิโลกรัม และทำการวัดค่าขนาดร่างกายส่วนต่าง ๆ มีหน่วยเป็นเซนติเมตร ประกอบไปด้วย ความยาวรอบอกในแนวผ่านซอกขาหน้า (heart girth, HG) ความสูงของขาหน้าจากหัวไหล่ถึงพื้น (shoulder height, SH) ความยาวลำตัวจากหัวไหล่ถึงโคนหาง (body length, BL) ความสูงของสะโพกวัดจากสะโพกถึงพื้น (hip height, HH) และความยาวรอบเอวในแนวผ่านซอกขาหลัง (umbilical girth, UG) โดยใช้สายวัดขนาดร่างกาย (Figure 1)

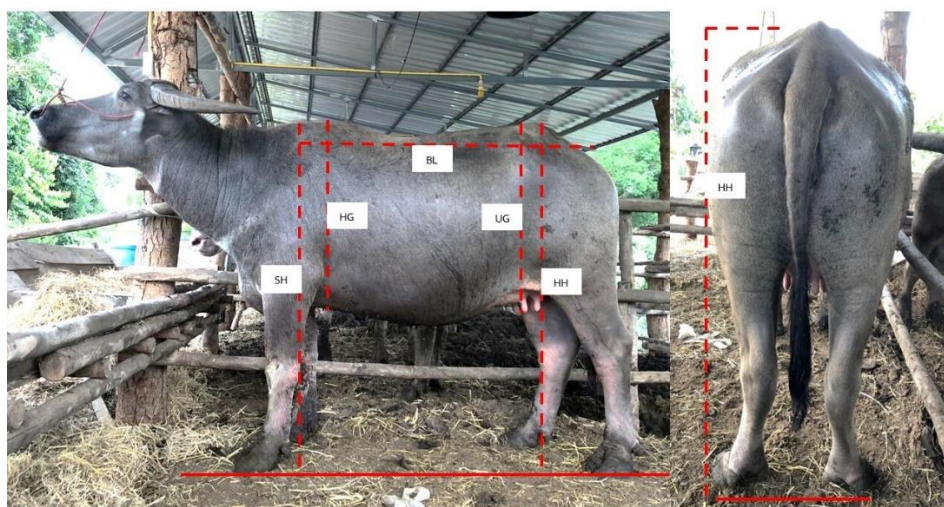


Figure 1 Positions of the various body measurement for female swamp buffalo.

การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ

ค่าน้ำหนักตัว มีหน่วยเป็นกิโลกรัมและค่าขนาดร่างกายส่วนต่าง ๆ มีหน่วยเป็นเซนติเมตร การเปรียบเทียบระหว่างค่าเฉลี่ยของกลุ่มตัวอย่างที่มากกว่า 2 กลุ่ม ใช้ F-test โดยวิเคราะห์ตัวแปรทางเดียว (One – Way ANOVA) ทำการทดสอบการกระจายตัวแบบ normal distribution ของข้อมูลน้ำหนักตัวและค่าขนาดร่างกายส่วนต่าง ๆ และนำมาวิเคราะห์หาความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักตัวกระดูกที่ไดจากเครื่องซิงดิทิลกับค่าขนาดร่างกายส่วนต่าง ๆ ทำการคำนวณค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (correlation coefficient) และใช้หลักเกณฑ์ของวิธี stepwise เพื่อสร้างสมการถดถอยเชิงเส้นตรงโดยโปรแกรมทางสถิติ Regression procedure (SAS, 1988) ค่าความแตกต่างระหว่างค่าเฉลี่ยน้ำหนักตัวของแต่ละวิธีถูกนำมาเปรียบเทียบกับ Duncan's new multiple range

ผลและวิจารณ์ผลการวิจัย

ผลของการชั่งน้ำหนักและการวัดขนาดร่างกายส่วนต่าง ๆ (mean $\pm$ SEM) ในกระบือเพศเมียของการศึกษาครั้งนี้ เป็นปัจจัยที่ถูกนำมาคำนวณความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักตัวและค่าขนาดร่างกายและสร้างเป็นสมการในการประมาณน้ำหนักตัวกระดูกที่ปลักเพศเมียอายุประมาณ 2 ปี ประกอบด้วยน้ำหนักจากเครื่องซิงดิทิล น้ำหนักจากสายวัด ความยาวรอบอก ความสูงของขาหน้า ความยาวลำตัว ความสูงของสะโพก และความยาวรอบเอว (Table 1) โดยวิธีการประมาณน้ำหนักตัวสัตว์โดยใช้ขนาดร่างกายส่วนต่าง ๆ ถูกนำมาใช้กันอย่างแพร่หลายเพื่อประเมินความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักตัวกับโครงสร้างร่างกายของสัตว์ (Agyar et al., 2022) เมื่อสัตว์มีการเจริญเติบโตเกิดขึ้น ส่งผลให้ขนาดร่างกาย โครงสร้าง อวัยวะต่าง ๆ

สัดส่วนและส่วนประกอบของร่างกายเปลี่ยนแปลงไปด้วย โดยรูปร่างที่เปลี่ยนแปลงไปขึ้นกับโครงสร้างของกระดูกและเนื้อเยื่อในร่างกายที่เปลี่ยนแปลง ขนาดของร่างกายที่เพิ่มขึ้นแม้เพียงเล็กน้อยส่งผลให้น้ำหนักตัวเพิ่มขึ้นตามสัดส่วน แสดงถึงขนาดร่างกายที่เพิ่มขึ้น ส่งผลให้สัดส่วนและน้ำหนักตัวเพิ่มขึ้นด้วยเช่นกัน การเจริญเติบโตของอวัยวะต่าง ๆ ในร่างกายเกิดการเพิ่มขึ้นทั้งในลักษณะของการเพิ่มปริมาณและการเพิ่มรูปร่าง เริ่มจากกระบวนการที่ร่างกายของสัตว์เปลี่ยนแปลงไป โดยการเพิ่มจำนวนของเซลล์ (hyperplasia) การเพิ่มขนาดของเซลล์ (hypertrophy) หรือการเปลี่ยนแปลงสภาพของเซลล์ (differentiation) ทำให้ส่วนต่าง ๆ ของร่างกายเปลี่ยนแปลงไป (kamalzadeh et al., 1998) จากการศึกษาของ Johari et al. (2009) รายงานถึงการวัดขนาดร่างกายส่วนต่าง ๆ ประกอบด้วย ความยาวลำตัว ความสูงของไหล่ ความสูงของสะโพก ความลึกของหน้าอก ความกว้างของหน้าอก เส้นรอบวงของกระดูกเชิงกราน ความกว้างของเอว มีความสัมพันธ์ที่สูงกับน้ำหนักตัว ($r > 0.6$) และค่าขนาดร่างกายส่วนต่าง ๆ ที่ได้จากการวัด มีความสัมพันธ์เชิงบวกกับน้ำหนักตัวและสามารถนำไปสร้างสมการถดถอยที่ดีที่สุดได้ ในการประมาณน้ำหนักตัวกระดูกที่ปลักโดยใช้ค่าขนาดร่างกายส่วนต่าง ๆ ดังกล่าวเป็นปัจจัยที่ใช้ในสมการถดถอยเชิงเส้นแบบพหุ (multiple linear regression) สอดคล้องกับงานวิจัยที่ผ่านมา แสดงถึงขนาดร่างกายส่วนต่าง ๆ ได้แก่ ความยาวรอบอก ความสูงของขาหน้า ความสูงของสะโพก ความยาวลำตัว สัมพันธ์กับน้ำหนักตัวในกระบือ โดยเฉพาะอย่างยิ่งความยาว รอบอกเป็นจุดวัดที่สำคัญและมีความสัมพันธ์ที่สูงในการประมาณน้ำหนักตัวสัตว์ (Ghutpracone et al., 1994; Raungprim et al., 2020; Agyar et al., 2022)

Table 1 Mean values and data ranges of the live weight of the body size values

Variables	n	Mean $\pm$ SEM	Range
BW-1 (kg)	145	278.38 $\pm$ 2.48	215-352
BW-2 (kg)	145	303.98 $\pm$ 2.92	208-386
HG (cm)	145	165.64 $\pm$ 0.62	145-185
SH (cm)	145	117.31 $\pm$ 0.38	109-128
BL (cm)	145	108.11 $\pm$ 0.66	91-126
HH (cm)	85	118.67 $\pm$ 0.36	110-127
UG (cm)	85	189.16 $\pm$ 0.70	168-205

BW-1= digital body weight, BW-2=tape body weight, HG=heart girth, SH=shoulder height, BL=body length, HH=hip height, UG=umbilical girth.

Data are expressed as mean $\pm$ SEM.

ค่าสหสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักตัวกับค่าขนาดร่างกายส่วนต่าง ๆ ในกระบือเพศเมีย ถูกแสดงใน Table 2 โดยน้ำหนักตัวมีความสัมพันธ์เชิงบวกในระดับสูง (0.61 - 0.80) กับค่าขนาดร่างกายส่วนต่าง ๆ จากการศึกษาครั้งนี้ พบว่าความยาวรอบเอวมี่ค่าสหสัมพันธ์เชิงบวกเท่ากับ 0.796 ($P < 0.0001$) สูงที่สุด และความยาวรอบอกมีค่าสหสัมพันธ์เชิงบวก เท่ากับ 0.779 ($P < 0.0001$) ตามลำดับ แสดงถึงว่าหากมีการเปลี่ยนแปลงของความยาวรอบเอวและ/หรือความยาวรอบอกส่งผลให้น้ำหนักตัวกระดูกมีการเปลี่ยนแปลงในทิศทางเดียวกัน สอดคล้องกับการศึกษาของ Johari et al. (2009) พบว่าค่าสหสัมพันธ์ของความยาวรอบอก ($r = 0.935$) สัมพันธ์กับน้ำหนักตัวสูงที่สุดในกระบือเพศเมียสูงที่สุด ขณะเดียวกันค่าสหสัมพันธ์ของความยาวลำตัว ($r = 0.900$) และความยาวรอบอก ($r = 0.896$) ในกระบือเพศผู้ผู้อยู่ใน

ระดับสูงเช่นกัน ผลจากการศึกษาในครั้งนี้ มีค่าสหสัมพันธ์เชิงบวกกับน้ำหนักตัวในระดับปานกลาง (0.41 - 0.60) ปรากฏในค่าขนาดร่างกายส่วนของความสูงของสะโพก ความยาวลำตัวและความสูงของขาหน้า เท่ากับ 0.520 0.512 และ 0.498 ตามลำดับ ในกระบืออายุมากกว่า 4 - 5 ปี มีค่าความสัมพันธ์ค่อนข้างสูงและมีนัยสำคัญทางสถิติระหว่างน้ำหนักตัวกับความยาวรอบอกและความยาวลำตัว เท่ากับ 0.93 และ 0.94 ตามลำดับ (Rattanonchart, 1976) โดยการประมาณน้ำหนักตัวสัตว์ พิจารณาจากขนาดร่างกายส่วนของความยาวรอบอก ความสูงของขาหน้าและความสูงสะโพกถูกนำมาใช้ในการประมาณน้ำหนักตัวกระดูก จากการวิเคราะห์หาความสัมพันธ์ของน้ำหนักตัวกับความยาวรอบอก ความสูงของขาหน้าและความสูงสะโพก พบว่ามีความสัมพันธ์สูง ($r = 0.961$) ในกระบือเพศเมีย

น้ำหนักตัวระหว่าง 176 – 500 กิโลกรัม (Ghutpracone et al., 1994) การพิจารณาคะแนนร่างกาย เป็นอีกหนึ่งประเด็นที่ให้ความสนใจและใช้กันอย่างแพร่หลายเพื่อประเมินรูปร่าง ปริมาณไขมันและความต้องการพลังงานของสัตว์ (Veerkamp et al., 2001) จากรายงานของ Dechow et al. (2002) ถึงความสัมพันธ์เชิงบวกระหว่างลักษณะทางพันธุกรรมที่แสดงออกกับคะแนนร่างกายหลังคลอดลูกและการสูญเสียน้ำหนักตัวหลังการคลอด โดยประเมินค่าความสัมพันธ์ระหว่าง ความยาวรอบอก ความยาวรอบพุง ความสูงของขาหน้า ความสูงของสะโพก อย่างไรก็ตาม พบความสัมพันธ์เชิงบวกระหว่างคะแนนร่างกายและความยาวรอบพุง ความยาวรอบอก และความสูงของสะโพก ยกเว้นความสูงของขาหน้าที่มีความสัมพันธ์เชิงลบกับค่าคะแนนร่างกาย ในสภาพการปฏิบัติงานเชิงพื้นที่ การใช้

เครื่องชั่งดิจิทัลเพื่อประเมินน้ำหนักตัวสัตว์เป็นไปได้ค่อนข้างยาก เพื่อให้การปฏิบัติงานด้านการชั่งน้ำหนักตัวสัตว์ที่มีขนาดใหญ่ง่ายขึ้น และสะดวกด้วยวิธีการใช้สายวัดรอบอกของสัตว์ การจัดการฟาร์มโคนมในการประเมินการเปลี่ยนแปลงของน้ำหนักตัวแต่ละเดือนของฟาร์มภายใต้สภาพการปฏิบัติงานจริง ควรมีเครื่องมือในการปฏิบัติงานที่แม่นยำกว่าการประเมินคะแนนร่างกายด้วยสายตา เพื่อช่วยในการจัดการด้านประสิทธิภาพการสืบพันธุ์ด้านการวางแผนการผสมพันธุ์ของแม่พันธุ์กระบือ การจัดการด้านอาหารที่เหมาะสมในช่วงของการผสมพันธุ์และการให้ผลผลิตและการจัดการฟาร์มด้านอื่น ๆ จะเห็นได้ว่าเครื่องสำหรับการประเมินน้ำหนักตัวสัตว์ที่แม่นยำมีผลต่อการนำข้อมูลที่ใช้ในการตัดสินใจด้านการพัฒนาประสิทธิภาพการสืบพันธุ์ และการจัดการฝูงสัตว์ในด้านอื่น ๆ (Kohiruimaki et al., 2006)

Table 2 Coefficient of correlation among body weight and body size value

	BW-1	HG	SH	BL	HH	UG
BW-1	1.000	0.779***	0.498***	0.512***	0.520***	0.796***
HG		1.000	0.415***	0.248*	0.432 ^{ns}	0.693 ^{ns}
SH			1.000	0.189*	0.847 ^{ns}	0.267 ^{ns}
BL				1.000	0.361 ^{ns}	0.422 ^{ns}
HH					1.000	0.388*
UG						1.000

BW-1= digital body weight, HG=heart girth, SH=shoulder height, BL=body length, HH=hip height, UG=umbilical girth.

*** P < 0.0001, * P < 0.05, ns = no significant P > 0.05.

ผลการวิเคราะห์ความถดถอยเชิงเส้นตรงแบบพหุของน้ำหนักตัวกับขนาดร่างกายส่วนต่าง ๆ ของกระบือเพศเมียในการศึกษาครั้งนี้ พบว่าความยาวรอบอก ความสูงของขาหน้า ความยาวลำตัว ความสูงของสะโพกและความยาวรอบเอว พบว่าสามารถสร้างสมการที่มีความสัมพันธ์เชิงเส้นตรงที่เหมาะสมกับน้ำหนักตัวสูงสุด โดยมีค่า $R^2 = 0.794$ ($P < 0.001$) ดังแสดงใน Table 3 โดยมีรูปสมการถดถอยเชิงเส้นตรงแบบพหุ คือ $BW = -421.532 + 1.709 (HG) + 0.841 (SH) + 0.434 (BL) + 0.175 (HH) + 1.335 (UG)$ ค่า AIC เท่ากับ 446.321 อย่างไรก็ตาม เมื่อพิจารณาความสัมพันธ์เชิงเส้นตรงระหว่างน้ำหนักตัวกับความยาวรอบอกเพียง 1 ลักษณะ มีการสร้างสมการเชิงเส้นได้เป็น $BW = -239.30 + 3.13 (HG)$ ($R^2 = 0.607$, $P < 0.0001$; AIC = 482.026) ผลการศึกษาในครั้งนี้ สมการในการประมาณน้ำหนักตัวกระบือเพศเมีย จะมีค่า R^2 เพิ่มขึ้น เมื่อมีการพิจารณาค่าขนาดร่างกายส่วนต่าง ๆ มากกว่า 2 ลักษณะแสดงถึงความเหมาะสมของสมการถดถอยเชิงเส้น ประกอบด้วยปัจจัยของขนาดร่างกายส่วนต่าง ๆ ได้แก่ น้ำหนักตัว ความยาวลำตัว ความยาวลำตัว ความกว้างของสะโพก และความสูงของสะโพกในกระบือพันธุ์ Doro Ncanga และมีความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักตัวกับความยาวของลำตัว ความกว้างของสะโพกและความยาวรอบอกมีค่าสัมพันธ์เท่ากับ 0.319, 0.071 และ 0.967 ตามลำดับ (Husni et al., 2018) ในการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักตัวรวมกับการวัดขนาดร่างกายมีค่าความสัมพันธ์ที่สูง แสดงถึงความแม่นยำในการนำไปใช้ประเมินน้ำหนักตัวสัตว์ได้ (Johari et al., 2009) การวิเคราะห์สมการถดถอยแสดงค่าความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักตัวกับความกว้าง

บั้นท้าย (ishiatric tuberosity width) โดยวัดความกว้างระหว่างปุ่มกระดูกก้นกบซ้ายและขวาสูงที่สุด ($R^2 = 0.78$) เพียงลักษณะเดียวในสมการการประเมินน้ำหนักตัว และมีค่าสัมพันธ์เพิ่มขึ้น ($R^2 = 0.86$) เมื่อพิจารณาขนาดร่างกาย 2 ลักษณะ ได้แก่ ความกว้างบั้นท้ายและช่วงไหล่ โดยวัดความกว้างไหล่ซ้ายและขวา เมื่อมองจากด้านบนของตัวกระบือ อย่างไรก็ตาม เมื่อพิจารณาลักษณะอื่น ๆ จำนวน 3 และ 4 ลักษณะ ร่วมด้วยในการวิเคราะห์สมการคำนวณ ส่งผลให้ค่า R^2 เพิ่มขึ้นเล็กน้อย (0.88 - 0.89) โดยมีสมการในการประมาณน้ำหนักตัวกระบือเพศเมียคือ น้ำหนักตัว = $-563.66 + 7.94$ (ช่วงไหล่) + 14.77 (ความกว้างบั้นท้าย) ดังแสดงในรายงานของ Buranakarl et al. (2012) การนำข้อมูลความยาวลำตัว ความสูงและความยาวรอบอกนำมาวิเคราะห์ในสมการการประเมินน้ำหนักตัวส่งผลให้เข้าใจความแม่นยำมากขึ้นเมื่อเทียบกับการวัดขนาดร่างกายเพียงลักษณะเดียว (Johari et al., 2009) จากการศึกษาของ Ghutpracone et al. (1994) ทำการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของน้ำหนักตัวกับความยาวรอบอก ความสูงของขาหน้า และความสูงของสะโพก พบว่าความสัมพันธ์สูงสุดโดยมีสมการคำนวณ คือ น้ำหนักตัว = $-500.94 + 399$ (ความยาวรอบอก) + 4.59 (ความสูงของขาหน้า) - 3.20 (ความสูงสะโพก) ($R^2 = 0.961$) จากสมการถดถอยเชิงเส้นแบบพหุคูณในการประมาณน้ำหนักตัวสัตว์ประกอบไปด้วยค่าขนาดร่างกายส่วนต่าง ๆ และคะแนนร่างกายถูกนำไปใช้ในกระบือพันธุ์ Nili-Ravi ซึ่งมีความสัมพันธ์ในระดับสูง ($R^2 = 0.95$) ของความยาวรอบอกและความยาวของลำตัว (Tariq et al., 2013)

Table 3 Regression equation between body weight and body size value of female swamp buffalo

Variables	R ²	R ² _{adjust}	AIC	a	b1	b2	b3	b4	b5
HG	0.607***	0.659	482.026	-239.30	3.13				
HG, SH	0.644***	0.671	479.857	-340.93	2.78	1.36			
HG, SH, BL	0.741***	0.711	470.640	-403.25	2.51	1.14	1.22		
HG, SH, BL, HH	0.726***	0.715	468.764	-369.16	2.61	0.76	0.83	0.32	
HG, SH, BL, HH, UG	0.794***	0.784	446.321	-421.53	1.71	0.84	0.43	0.18	1.34

HG=heart girth, SH=shoulder height, BL=body length, HH=hip height, UG=umbilical girth, a = intercept, b1-5 = partial regression coefficient of HG, SH, BL, HH, UG.

*** P < 0.0001.

สมการคำนวณน้ำหนักตัวที่มีความสัมพันธ์กับค่าขนาดร่างกายที่เหมาะสมที่สุดในการศึกษาครั้งนี้ ประกอบด้วย รอบอก ความสูงของขาหน้า ความยาวลำตัว ความสูงของสะโพก และรอบเอว เมื่อพิจารณาสมการจากความสัมพันธ์เชิงเส้นตรงได้เป็น $BW = -421.532 + 1.709 (HG) + 0.841 (SH) + 0.434 (BL) + 0.175 (HH) + 1.335 (UG)$ โดยมีค่าความสัมพันธ์ (R^2) เท่ากับ 0.794 ($P < 0.001$) และทำการแทนค่าขนาดร่างกายส่วนต่าง ๆ ในสมการคำนวณ พบว่าความแตกต่างของค่าเฉลี่ยของน้ำหนักที่วัดได้จากสายวัด (303.98 ± 3.03 กิโลกรัม) มีค่าสูงกว่าน้ำหนักที่ได้จากเครื่องชั่งดิจิทัล (283.17 ± 2.39 กิโลกรัม) และน้ำหนักตัวที่ได้จากสมการคำนวณ (283.06 ± 2.13 กิโลกรัม) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.001$, Figure 2) อย่างไรก็ตามการเปรียบเทียบระหว่างน้ำหนักจริงจากเครื่องชั่งดิจิทัล (283.17 ± 2.39 กิโลกรัม) และน้ำหนักประมาณการจากสายวัด (303.98 ± 3.03 กิโลกรัม) ไม่มีความแตกต่างกัน ($P > 0.05$) และเมื่อทำการเปรียบเทียบระหว่างน้ำหนักจริงจากเครื่องชั่งดิจิทัล (283.17 ± 2.39 กิโลกรัม) และน้ำหนักจากสมการ (283.06 ± 2.13 กิโลกรัม) ไม่พบความแตกต่างเช่นเดียวกัน ($P > 0.05$) ซึ่งการประมาณ

น้ำหนักตัวกระป๋องด้วยวิธีการต่าง ๆ เช่น การวัดความยาวรอบอก การวัดความสูงของขาหน้า และการวัดความสูงสะโพก ยังให้ค่าประมาณน้ำหนักตัวที่คลาดเคลื่อนสูง (คลาดเคลื่อน ± 35 กิโลกรัม) ความคลาดเคลื่อนจะเกิดขึ้นกับกระป๋องที่มีอายุมากกว่า 3 ปี ขึ้นไปและในแม่กระป๋องที่มีอายุมากกว่า 3 ปี และตั้งท้อง (Ghutpracone et al., 1994) ในปัจจุบัน การประมาณน้ำหนักตัวมีการศึกษาการใช้เครื่องมือวัดที่ทันสมัยรวมถึงเครื่องมือในการวิเคราะห์ภาพสัตว์ด้วยคอมพิวเตอร์ ทำให้การแสดงผลข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับขนาด สัตว์และน้ำหนักตัวสัตว์มีความแม่นยำมากขึ้น ผลของวิธีการดังกล่าว ถูกนำมาใช้ร่วมกับการประเมินค่าทางเศรษฐกิจและสรีรวิทยาของร่างกายสัตว์ ซึ่งสามารถประเมินสัณฐานวิทยาได้จากระยะใกล้ (Negretti et al., 2008; Gomez-Vazquez et al., 2024) อย่างไรก็ตาม ไม่พบความแตกต่างของน้ำหนักจริงจากเครื่องชั่งดิจิทัลและน้ำหนักประมาณการจากสายวัด แสดงถึงการนำไปใช้ประโยชน์จากสายวัดด้านการปฏิบัติงานในภาคสนามที่สะดวกและง่ายขึ้น อีกทั้งความแม่นยำใกล้เคียงกันเมื่อทำการเปรียบเทียบระหว่างน้ำหนักจริงจากเครื่องชั่งดิจิทัลและน้ำหนักจากสมการที่ได้จากการศึกษาในครั้งนี้

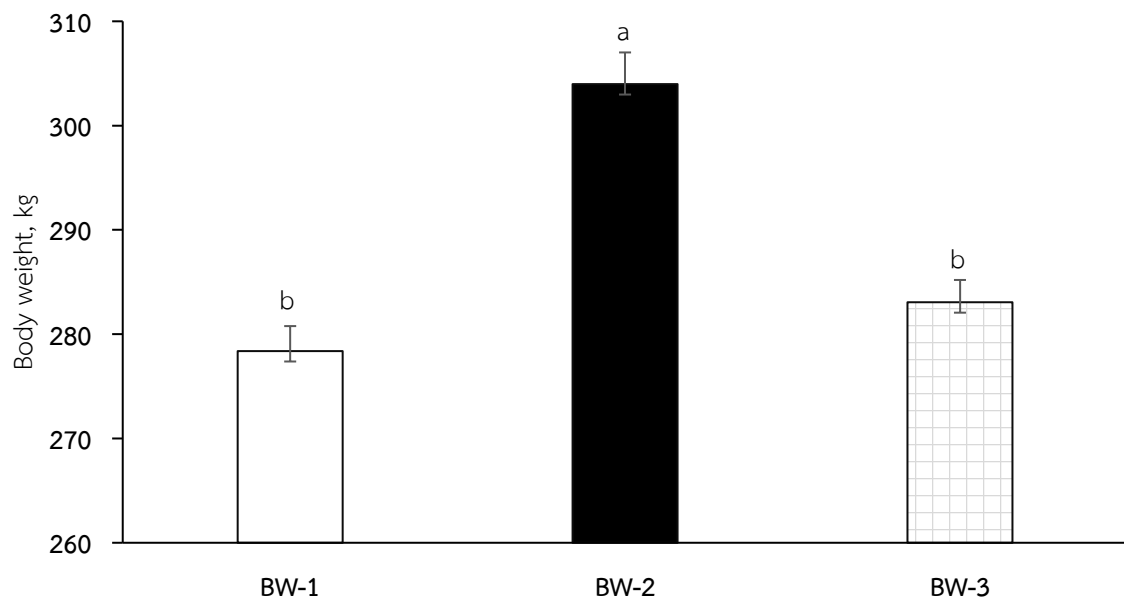


Figure 2 Mean ($\pm$ SEM) digital body weight (BW-1, kg), tape body weight (BW-2, kg) and body weight estimated from regression equation (BW-3, kg). Means with different superscript letters (a, b) differ within a body weight ($P < 0.001$).

สรุปผลการวิจัย

การศึกษาครั้งนี้ แสดงถึงความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักตัวกับค่าขนาดร่างกายและการประมาณน้ำหนักตัวในกระป๋องปลั๊กเพศเมียมีความสัมพันธ์ในระดับสูงและเป็นไปในเชิงบวกระหว่างน้ำหนักตัวกับ

ความยาวรอบเอวและความยาวรอบอก ตามลำดับ สำหรับการประเมินน้ำหนักตัวในกระป๋องเพศเมียครั้งนี้ สมการที่มีการนำค่าขนาดร่างกายส่วนต่าง ๆ ได้แก่ ความยาวรอบอก ความสูงของขาหน้า ความยาวลำตัว ความสูงสะโพก และความยาวรอบเอว ประกอบในสมการ

การประมาณน้ำหนักตัวมีความเหมาะสมที่สุด เมื่อเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยน้ำหนักตัวที่วัดได้จากวิธีการต่าง ๆ มีความแตกต่างกัน การใช้เครื่องชั่งน้ำหนักดิจิทัลเป็นอุปกรณ์ที่มีความแม่นยำที่สุด แต่เนื่องจากขนาดที่ใหญ่และมีน้ำหนักค่อนข้างมากของกระบือ การใช้สมการคำนวณในการประมาณน้ำหนักตัว โดยใช้ค่าขนาดร่างกายส่วนต่าง ๆ ให้ผลค่อนข้างแม่นยำ นอกจากนี้การคำนึงถึงปัจจัยด้านอายุ สายพันธุ์ สภาพร่างกายของสัตว์และการจัดการด้านอาหาร อาจมีผลทำให้การประมาณค่าน้ำหนักจากสมการคำนวณได้ค่าน้ำหนักตัวที่ใกล้เคียงน้ำหนักจริง สะดวกต่อการนำไปใช้ด้านปฏิบัติการและการทำงานนอกสถานที่

กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้วิจัยขอขอบคุณเกษตรกรผู้เลี้ยงกระบือในโครงการธนาคารโค-กระบือเพื่อเกษตรกร ตามพระราชดำริ และสำนักงานปศุสัตว์จังหวัดบุรีรัมย์ที่ให้การสนับสนุนการดำเนินโครงการวิจัยครั้งนี้เป็นอย่างดี

References

- Abdelhadi, O. M. A., & Babiker, S. A. (2009). Prediction of zebu cattle live weight using live animal measurements. *Livestock Research for Rural Development*, 21(8).
- Ağyar, O., Tırnık, C., Önder, H., Şen, U., Piwczyński, D., & Yavuz, E. (2022). Use of multivariate adaptive regression splines algorithm to predict body weight from body measurements of Anatolian buffaloes in Türkiye. *Animals*, 12(21), 2923. doi: 10.3390/ani12212923
- Buranakarl, C., Indramangala, J., Koobkaew, K., Sanghuayphrai, N., Sanpote, J., Tanprasert, C., Phatrapornnant, T., Sukhumavasi, W., & Nampimoon, P. (2012). Estimation of body weight and body surface area in swamp buffaloes using visual image analysis. *Journal of Buffalo Science*, 1, 13-20. doi: 10.6000/1927-520X.2012.01.01.03
- Dechow, C. D., Rogers, G. W., & Clay, J. S. (2002). Heritability and correlations among body condition score loss, body condition score loss, body condition score, production and reproductive performance. *Journal of Dairy Science*, 85(11), 3062-3070. doi: 10.3168/jds.S0022-0302(02)74393-2
- Department of Livestock Development. (2023). *Buffalo farmers information 2023*. Accessed April 10, 2024. Retrieved from <https://ict.dld.go.th/webnew/index.php/th/service-ict/report/413-report-thailand-livestock/reportservey2566/1801-country-2023>. (in Thai)
- Ghutpracone, N., Wattanachant, C., & Toburan, W. (1994). The estimation of liveweight of swamp buffaloes from heart girth, shoulder height and hip height. *KKU. Veterinary Journal*, 4(1), 26-31. (in Thai)
- Gomez-Vazquez, A., Tırnık, C., Cruz-Tamayo, A. A., Cruz-Hernandez, A., Camacho-Pérez, E., Okuyucu, I. C., Şahin, H. A., Dzib-Cauich, D. A., Gülboy, Ö., Garcia-Herrera, R. A., & Chay-Canul, A. J. (2024). Prediction of body weight by using PCA-supported gradient boosting and random forest algorithms in water buffaloes (*Bubalus bubalis*) reared in South-Eastern Mexico. *Animals*, 14(2), 293. doi: 10.3390/ani14020293
- Husni, H., Maskur, M., & Arman, C. (2018). Correlation and regression analysis of the body measurements of the Doro Ncanga buffalo (*Bubalus bubalis*) reared extensively in the Savanna of Mount Tambora Dompu Regency, Indonesia. *Aceh Journal of Animal Science*, 3(1), 1-9. doi: 10.13170/ajas.3.1.9632
- Johari, S., Kumianto, E., Sutopo, S., & Hamayanti, W. A. (2009). Multivariate analysis on phenotypic traits of body measurement in swamp buffalo (*Bubalus bubalis*). *Journal of the Indonesian Tropical Animal Agriculture*, 34(4), 289-294. doi:10.14710/jitaa.34.4.289-294
- Kamalzadeh, A., Koops, W. J., Van Bruchem, J., Tamminga, S., & Zwart, D. (1998). Feed quality restriction and compensatory growth in growing sheep: development of body organs. *Small Ruminant Research*, 29(1), 71-82. doi: 10.1016/S0921-4488(97)00111-9
- Kavazis, A. N., & Ott, E. A. (2003). Growth rates in thoroughbred horses raised in Florida. *Journal of Equine Veterinary Science*, 23(8), 353-357. doi: 10.1016/S0737-0806(03)01024-4
- Kochapakdee, S., Choldumrongkul, S., Saithanoo, S., Chaiwarakorn, D., & Wananpetchara, P. (2000). Estimation of body weight of Thai-Indigenous and their crosses with Anglo-Nubian from body length, height at wither and heart girth. *Proceeding of the 38th Kasetsart University annual conference* (pp. 38-44). Bangkok, Thailand: Kasetsart University. (in Thai)
- Kohiruimaki, M., Ohtsuka, H., Hayashi, T., Kimura, K., Masui, M., Ando, T., Watanabe, D., & Kawamura, S. (2006). Evaluation by weight change rate of dairy herd condition. *Journal of Veterinary Medical Science*, 68(9), 935-940. doi: 10.1292/jvms.68.935
- Mirza, R. H., Waheed, A., Tipu, M. A., Faraz, A., Khan, M. A., & Ishaq, H. M. (2023). Genetic and nongenetic factors affecting body weight in Nili Ravi buffaloes. *Buffalo Bulletin*, 42(1), 27-36. doi: 10.56825/bufbu.2023.4214566
- Negrretti, P., Bianconi, G., Bartocci, S., Terramoccia, S., & Verna, M. (2008). Determination of live weight and

- body condition score in lactating Mediterranean buffalo by Visual Image Analysis. *Livestock Science*, 113(1), 1-7. doi: 10.1016/j.livsci.2007.05.018
- Ranga, L. C., Chandolia, R. K., Singh, L., & Dutt, R. (2023). Correlation of age with body weight and testicular biometry in developing buffalo males of Murrah breed. *Buffalo Bulletin*, 42(4), 455-466. doi: 10.56825/bufbu.2023.4243987
- Rattanaronchart, S., (1976). *Live and carcass traits and their relationship in Thai cattle and buffalo. Proceeding of the 15th national agricultural science and biology conference* (pp. 165-176). Bangkok, Thailand: Kasetsart University. (in Thai)
- Raungprim, T., Maitreejet, W., Majorune, S., & Sarataphan, N. (2020). Estimation of body weight of swamp buffaloes by heart girth measurements. *Journal of Agriculture Science and Management*, 3(3), 6-11.
- Statistical Analysis System (SAS). (1988). *SAS user's guide: statistics, Version 5.6*. North Carolina, United States.: SAS Institute Inc.
- Tariq, M., Mahammad, Y., Khan, A. B., & Schlecht, E. (2013). Body measurement and body condition scoring as basis for estimation of live weight in Nili-Ravi buffaloes. *Pakistan Veterinary Journal*, 8318(33), 2074-7764.
- Veerkamp, R. F., Koenen, E .P. C., & De Jong, G. (2001). Genetic correlations among body condition score, yield, and fertility in first-parity cows estimated by random regression models. *Journal of Dairy Science*, 84(10), 2327-2335. doi: 10.3168/jds.S0022-0302(01)74681-4
- Yan, T., Mayne, C. S., Patterson, D. C., & Agnew, R. E. (2009). Prediction of body weight and empty body composition using body size measurements in lactating dairy cows. *Livestock Science*, 124(1-3), 233-241. doi: 10.1016/j.livsci.2009.02.003

Research article

The relationship between body weight and body size values, and the estimation of the weight of female swamp buffaloes

Nirut Phansri¹ and Aree Kraison²

¹Buriram Provincial Livestock Office, Muang Buriram district, Buriram Province 31000

²Faculty of Agriculture and Agricultural Industry, Surindra Rajabhat University, Muang district, Surin Province 32000

ARTICLE INFO**Article history**

Received: 30 April 2024

Revised: 21 May 2024

Accepted: 1 June 2024

Online published: 10 June 2024

Keyword

Estimation

Body size value

Body weight

Female swamp buffalo

ABSTRACT

Body weight is one of the most important traits for dealing or breeding improvement. Swamp buffaloes are large ruminants that will be difficult to weigh on an electrical weighing machine. The objectives of this study were to select a model of the relationship between body weight and body size value and estimate the weight. Female swamp buffaloes (n=145), two-year-olds were weighed by a digital weighing machine and weight tape. The heart girth (HG), shoulder height (SH), body length (BL), hip height (HH), and umbilical girth (UG) were measured by length tape, all data was analyzed for the correlation and estimated weight. Average body weight from a digital weighing machine, weight tape, and weight calculated were compared. The suitable associate values between body measurements and digital body weight are from HG and UH. Through Multiple Linear Regression Analysis, the weight estimating equations were $BW = -421.532 + 1.709 (HG) + 0.841 (SH) + 0.434 (BL) + 0.175 (HH) + 1.335 (UG)$ ($R^2 = 0.794$, $P < 0.0001$). The estimated weight calculated from the weight tape was significant difference ($P < 0.001$) between the weight from digital weighing machine and weight calculated. However, the estimated weight calculated from this equation was not different from the digital weighing machine. In conclusion, body size measurements can be used in predicting the live weight of female swamp buffaloes with weight tape would be useful to estimate body weight in estimating weight female swamp buffaloes.

*Corresponding author

E-mail address: aree.kri@sru.ac.th (A. Kraison)

Online print: 10 June 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.2024.18>



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

บทความวิจัย

การวิเคราะห์ประสิทธิภาพจากการเลี้ยงไก่พื้นเมืองด้วยต้นแบบโรงเรือนอัจฉริยะ โดยใช้การวิเคราะห์เชิงโอบล้อมข้อมูล

สุธาทพร เกตุพันธ์¹ ณปภัช ช่วยชูหนู² จรีวรรณ จันทรงค์³ ปิติพัฒน์ บุตรโคตร⁴ พงษ์พันธ์ ราชภักดี¹
จิตติกร พรหมบรรจง⁵ และบัณฑิตา ภูทร์พรมย์ โปณะทอง^{1*}

¹สาขาสาขาวิชาเทคโนโลยีอุตสาหกรรม คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย อำเภอทุ่งสง จังหวัดนครศรีธรรมราช 80110

²สาขาวิชาสัตวศาสตร์ คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย อำเภอทุ่งสง จังหวัดนครศรีธรรมราช 80110

³สาขาวิชาธุรกิจเกษตร คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย อำเภอทุ่งสง จังหวัดนครศรีธรรมราช 80110

⁴สาขาวิชาเกษตรอัจฉริยะ คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย อำเภอทุ่งสง จังหวัดนครศรีธรรมราช 80110

⁵สาขาวิชาเกษตร คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย อำเภอทุ่งสง จังหวัดนครศรีธรรมราช 80110

ข้อมูลบทความ

Article history

รับ: 8 สิงหาคม 2566

แก้ไข: 17 พฤศจิกายน 2566

ตอบรับการตีพิมพ์: 9 พฤษภาคม 2567

ตีพิมพ์ออนไลน์: 14 มิถุนายน 2567

คำสำคัญ

โรงเรือนอัจฉริยะ

ไก่พื้นเมือง

บ้านคุณภาพ

การวิเคราะห์เชิงโอบล้อมข้อมูล

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อออกแบบและสร้างต้นแบบโรงเรือนอัจฉริยะในการเลี้ยงไก่พื้นเมือง อีกทั้งยังทำการหาประสิทธิภาพจากการเลี้ยงไก่พื้นเมืองระหว่างโรงเรือนแบบเดิมกับต้นแบบโรงเรือนอัจฉริยะ โดยขั้นตอนในการดำเนินงานวิจัยเริ่มจากสอบถามความต้องการโรงเรือนจากเกษตรกร และนำมาแปลงข้อมูลความต้องการด้วยบ้านคุณภาพเพื่อออกแบบและสร้างต้นแบบโรงเรือนอัจฉริยะ พบว่าภายในต้นแบบโรงเรือนอัจฉริยะประกอบด้วย 5 ระบบ ได้แก่ ระบบอาหาร ระบบน้ำ ระบบแสงสว่าง ระบบระบายอากาศ และระบบควบคุมภายในโรงเรือน หลังจากนั้นทำการหาประสิทธิภาพโดยใช้การวิเคราะห์เชิงโอบล้อมข้อมูล ซึ่งปัจจัยนำเข้า ได้แก่ ค่าพันธุ์ ค่าอาหาร ค่าวัคซีนและยา ค่าวัสดุรองพื้น ค่าไฟฟ้า ค่าแรงงาน ค่าซ่อมบำรุงโรงเรือนและอุปกรณ์ ส่วนปัจจัยนำออก ได้แก่ รายได้จากการขายไก่ ซึ่งพบว่าประสิทธิภาพจากการเลี้ยงไก่ด้วยต้นแบบโรงเรือนอัจฉริยะมากกว่าโรงเรือนแบบเดิมร้อยละ 11.0 และหากเกษตรกรทำการลงทุนเพื่อสร้างโรงเรือนอัจฉริยะพบว่าระยะเวลาในการคืนทุนเท่ากับ 11 เดือน อย่างไรก็ตามทางเกษตรกรสามารถเลือกใช้ระบบใด ๆ ในต้นแบบโรงเรือนอัจฉริยะไปประยุกต์ใช้ในการเลี้ยงไก่ตามความเหมาะสมสภาพโรงเรือนนั้น ๆ เพื่ออำนวยความสะดวกในการเลี้ยงไก่ให้กับเกษตรกรต่อไป

บทนำ

เกษตรกรรมเป็นรากฐานสำคัญที่อยู่คู่กับประเทศไทยมายาวนานทั้งการเพาะปลูกพืช การเพาะเลี้ยงปศุสัตว์ และการประมงเพื่อเป็นแหล่งวัตถุดิบในการนำไปอุปโภคและบริโภคซึ่งเป็นต้นน้ำในห่วงโซ่อาหารในการดำรงชีวิต และพบว่าหนึ่งในอาชีพทางเกษตรกรรมที่ได้รับความนิยม ได้แก่ การเลี้ยงไก่ จากสถิติการเลี้ยงไก่ในปี 2565 มีจำนวนเกษตรกรผู้เลี้ยงไก่เท่ากับ 2,856,277 ราย และจำนวนไก่ที่เลี้ยงทั้งหมด 498,862,811 ตัว โดยไก่ที่เลี้ยงมีหลากหลายสายพันธุ์ ได้แก่ ไก่พื้นเมือง ไก่ลูกผสม ไก่เนื้อ ไก่ไข่ ไก่เนื้อปุยพันธุ์ ไก่เนื้อพอมพันธุ์ ไก่ไข่ปุยพันธุ์ ไก่ไข่พอมพันธุ์ เป็นต้น (Department of Livestock Development, 2022) โดยเกษตรกรรายย่อยเกือบทุกจังหวัดนิยมเลี้ยงไก่พื้นเมืองเพื่อเป็นอาชีพเสริม และพบว่าจากการเลี้ยงไก่พื้นเมืองประสบปัญหาในเรื่องของการผลิตให้ผลผลิตต่ำ และการเจริญเติบโตช้าส่งผลให้ไม่เพียงพอต่อความต้องการของตลาด (Chuaychu-noo et al., 2022) ในปัจจุบันรัฐบาลให้ความสำคัญใน

การพัฒนาความรู้ และเทคโนโลยีเพื่อเพิ่มศักยภาพในการผลิตให้กับเกษตรกร เช่นเดียวกันกับนโยบายและยุทธศาสตร์การอุดมศึกษา วิทยาศาสตร์ วิจัยและนวัตกรรม พ.ศ. 2563 – 2570 ซึ่งหนึ่งในยุทธศาสตร์การวิจัยการสร้างนวัตกรรมเพื่อตอบโจทย์ท้าทายของสังคมส่วนหนึ่งเป็นการพัฒนาการเกษตรในรูปแบบฟาร์มอัจฉริยะ (Smart farming) โดยแนวโน้มของการใช้ระบบฟาร์มอัจฉริยะในประเทศไทยยังถือว่าเป็นเรื่องใหม่สำหรับเกษตรกรรายย่อยแต่สำหรับเกษตรกรหรือฟาร์มขนาดใหญ่หันมาให้ความสนใจฟาร์มอัจฉริยะกันมากขึ้น (Manwicha, 2016) แต่พบว่าเกษตรกรรายย่อยในประเทศไทยมีอยู่จำนวนมาก และระบบฟาร์มอัจฉริยะยังเป็นเทคโนโลยีใหม่การนำไปใช้ การแปลผลค่อนข้างยุ่งยากสำหรับเกษตรกรรายย่อยและต้นทุนในการลงทุนช่วงแรกค่อนข้างสูง โดยจากการลงพื้นที่ศูนย์เรียนรู้การเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตสินค้าเกษตร อำเภอจุฬาภรณ์ จังหวัดนครศรีธรรมราช พบว่าในการเลี้ยงไก่ของเกษตรกรรายย่อยยังคงอาศัยแรงงานคนในการให้อาหารและน้ำ อีกทั้งยังต้องคอย

*Corresponding author

E-mail address: Banthita.p@rmutsu.ac.th (B. Poosabmee Ponatong)

Online print: 14 June 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.2024.19>

ควบคุมการเปิดปิดแสงสว่าง ซึ่งการดำเนินงานดังกล่าวส่งผลให้เป็นการเพิ่มต้นทุนในการผลิตอันเนื่องมาจากอาหารที่ให้มากหรือน้อยเกินความจำเป็น และระบบน้ำไม่มีการหมุนเวียนหรืออาจจะไม่เพียงพอต่อความต้องการของไก่ในฤดูร้อนส่งผลต่ออัตราการรอดของไก่ เช่นเดียวกับ Kanasri & Mongkolkaset (2023) พบว่าในการเลี้ยงไก่ต้องคอยดูแลอยู่ตลอดเวลา ไม่ว่าจะเป็นระบบน้ำ การควบคุมอุณหภูมิ ยังคงใช้มือในการเปิดปิดและยังไม่สามารถทราบอุณหภูมิที่เหมาะสมในการเลี้ยงไก่อาศัยประสบการณ์และการคาดเดา

ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงทำการออกแบบและสร้างต้นแบบระบบการเลี้ยงไก่อัจฉริยะในการเลี้ยงไก่พื้นเมือง โดยใช้หลักการทางวิศวกรรมร่วมกับบ้านคุณภาพในการออกแบบและสร้างต้นแบบระบบการเลี้ยงไก่อัจฉริยะพร้อมทั้งติดตั้งระบบสาร์ฟาร์มด้วยการควบคุมโดยสมาร์ตโฟน โดยทำการควบคุม 5 ระบบ ได้แก่ ระบบอาหาร ระบบน้ำ ระบบแสงสว่าง ระบบระบายอากาศ และระบบควบคุมภายในโรงเรือนซึ่งเป็นการควบคุมติดตามและรายงานผลผ่านการแจ้งเตือนผ่านสมาร์ตโฟนซึ่งรองรับทั้งระบบปฏิบัติการ iOS และ Android โดยมุ่งเน้นเพื่อช่วยลดการใช้แรงงาน และการติดตามควบคุมดูแลไก่พื้นเมืองให้แก่เกษตรกรรายย่อย โดยวัดประสิทธิภาพจากการเลี้ยงไก่พื้นเมือง ด้วยต้นแบบโรงเรือนอัจฉริยะเพื่อเป็นแนวทางในการปรับปรุงและพัฒนาการเลี้ยงไก่ต่อไป

อุปกรณ์และวิธีการวิจัย

เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

เครื่องมือที่ใช้ในงานวิจัย ได้แก่ 1. บ้านคุณภาพใช้ในการแปลงความต้องการของเกษตรกรมาเพื่อใช้ในการออกแบบและสร้างต้นแบบโรงเรือนอัจฉริยะ 2. การวิเคราะห์เชิงโอบล้อมข้อมูลด้วยโปรแกรม Lindo เพื่อหาประสิทธิภาพจากการเลี้ยงไก่ด้วยต้นแบบโรงเรือนอัจฉริยะและโรงเรือนแบบเดิม และ 3. การวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์ โดยการหาระยะคืนทุนในการลงทุนต้นแบบโรงเรือนอัจฉริยะ

วิธีการดำเนินการวิจัย

ขั้นตอนที่ 1 การศึกษากระบวนการและปัจจัยที่ใช้ในการเลี้ยงไก่พื้นเมือง โดยการระดมความคิดจากเกษตรกรและ ผู้ที่เชี่ยวชาญเพื่อนำมาเป็นข้อสรุปของข้อมูลเบื้องต้น

ขั้นตอนที่ 2 การทบทวนวรรณกรรมร่วมกับหลักการทางวิศวกรรม โดยการประยุกต์ใช้การแปลงหน้าที่ทางคุณภาพ (Quality function deployment, QFD) ในส่วนของบ้านคุณภาพ (House of quality, HOQ) มาออกแบบและสร้างต้นแบบโรงเรือนอัจฉริยะ โดยบ้านคุณภาพที่นำมาสร้างเป็นตารางเมตริกซ์จะประกอบด้วย 6 ส่วน ได้แก่ ความต้องการของผู้นำไปใช้ เมตริกซ์การวางแผน เทคนิคที่นำมาใช้ ความสัมพันธ์ระหว่างเทคนิคที่มีการนำไปใช้กับความต้องการของผู้นำไปใช้ ความเกี่ยวเนื่องในทางเทคนิค และการวัดเปรียบเทียบกับสมรรถนะทางเทคนิค

ขั้นตอนที่ 3 การวิเคราะห์ประสิทธิภาพระหว่างการเลี้ยงไก่โดยใช้โรงเรือนแบบเดิมกับแบบอัจฉริยะ โดยใช้การวิเคราะห์เชิงโอบล้อมข้อมูล (Data envelopment analysis, DEA) โดยการวิเคราะห์เชิงโอบล้อมข้อมูลเป็นเครื่องมือที่ช่วยในการตัดสินใจโดยการหาประสิทธิภาพจากปัจจัย ข้อจำกัดต่าง ๆ โดยการใช่วิธีการทาง

คณิตศาสตร์ ด้วยการใช้โปรแกรมเชิงเส้น (Linear programming) โดยตัวแบบทางคณิตศาสตร์ในการใช้ DEA ถูกคิดค้นโดย (Charnes et al., 1978) แสดงตัวแบบทางคณิตศาสตร์ดังต่อไปนี้

$$\text{Maximize Efficiency} \quad \sum_{j \in J} y_{j,k_0} V_j \quad \dots(1)$$

$$\text{Subject to:} \quad \sum_{i \in I} x_{i,k_0} U_i = 1 \quad \dots(2)$$

$$\sum_{j \in J} y_{j,k_0} V_j - \sum_{i \in I} x_{i,k_0} U_i \leq 0 \quad ; k \in K \quad \dots(3)$$

$$U_i \geq 0 \quad ; i \in I \quad \dots(4)$$

$$V_j \geq 0 \quad ; j \in J \quad \dots(5)$$

ขั้นตอนที่ 4 การวิเคราะห์ระยะเวลาในการคืนทุน โดยใช้หลักการทางเศรษฐศาสตร์ (Payback period) การวิเคราะห์จุดคุ้มทุน เป็นการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ที่เกิดขึ้นจากต้นทุน รายได้ และผลกำไรที่ปริมาณการผลิตต่าง ๆ (Yaemphuan, 2005) โดยในการวิเคราะห์ระยะเวลาในการคืนทุนจะพิจารณาในส่วนของค่าใช้จ่ายในการลงทุนสร้างโรงเรือนร่วมกับรายได้จากการเลี้ยงไก่ตลอดจนอายุในการใช้งานของโรงเรือนของการเลี้ยงไก่รวมด้วย ดังสมการที่ 6

$$0 = -P + A(P/A, i\%, n) + F(P/F, i\%, n) \quad \dots(6)$$

โดย

P ต้นทุนในการลงทุนโรงเรือนอัจฉริยะต้นแบบ (บาท)

A กำไรจากการเลี้ยงไก่ต่อปี (บาท)

n อายุการใช้งานโรงเรือน (ปี)

F มูลค่าซาก (บาท)

ผลและวิจารณ์ผลการวิจัย

จากการดำเนินงานวิจัยทั้งการระดมความคิดจากผู้ที่เกี่ยวข้อง โดนการนำข้อมูลมาแปลงด้วยบ้านคุณภาพเพื่อใช้ในการออกแบบและสร้างต้นแบบโรงเรือนอัจฉริยะ หลังจากนั้นนำมาวิเคราะห์ประสิทธิภาพในการเลี้ยงไก่ตลอดจนการวิเคราะห์ความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ แสดงรายละเอียดดังนี้

ผลการระดมความคิดนำเข้าสู่ข้อมูลสู่บ้านคุณภาพ

การแปลงหน้าที่ทางคุณภาพในส่วนของบ้านคุณภาพมาช่วยในการออกแบบและสร้างต้นแบบโรงเรือนอัจฉริยะ เพื่อแปลงความต้องการของเกษตรกรมาออกแบบผลิตภัณฑ์หรือสร้างเครื่องมือ เช่นเดียวกับ Suwannaket (2018) ทำการรวบรวมปัญหาและความต้องการของลูกค้าแล้วนำมาจัดลำดับความสำคัญ แล้วนำข้อมูลมาแปลงด้วยบ้านคุณภาพเพื่อกำหนดลักษณะทางคุณภาพเพื่อนำไปออกแบบเพื่อปรับปรุงบรรจุภัณฑ์อุปกรณ์ไฟฟ้าซึ่งสามารถลดต้นทุนได้ถึงร้อยละ 31.57 และมีการประยุกต์ใช้การแปลงหน้าที่ทางคุณภาพร่วมกับการออกแบบขึ้นส่วนตามฟังก์ชัน (Function behavior structure, FBS) ช่วยในการแปลงข้อกำหนดของปัญหาและขอบเขตในการออกแบบเพื่อช่วยในการออกแบบอุปกรณ์ภัยขัดข้องพลาสติกสานในการช่วยทุ่นแรงจากการปฏิบัติงานของแรงงาน (Janthong & Chaloeiphak, 2019) มีการประยุกต์ใช้การแปลงหน้าที่ทางคุณภาพเพื่อเป็นแนวทางในการออกแบบเครื่องเก็บเกี่ยวทางการเกษตรอัจฉริยะ โดยในการออกแบบเน้นคุณลักษณะเชิงฟังก์ชันการทำงาน และการออกแบบทางวิศวกรรม (Fucheng et al., 2022) อีกทั้งยังมีการใช้การแปลงหน้าที่ทางคุณภาพเพื่อช่วยในการออกแบบเครื่องให้อาหารไก่เพื่อจัดลำดับความสำคัญของความต้องการ

ทางเทคนิค ลักษณะเครื่องที่จะผลิต เพื่อตอบสนองความต้องการของผู้ใช้โดยการสัมภาษณ์จากคนงานที่ให้อาหารไก่ (Hikmah, 2022) ซึ่งในงานวิจัยนี้ทำจากการระดมความคิดความต้องการของเกษตรกรที่เลี้ยงไก่และผู้เชี่ยวชาญร่วมกับคณะผู้วิจัย และนำข้อมูลเข้าไปแปลงหน้าที่คุณภาพด้วยบ้านคุณภาพ (ดังแสดงใน Figure 1) ซึ่งสามารถ

สรุปเป็นหัวข้อหลัก ๆ 7 หัวข้อ ได้แก่ พื้นที่และสิ่งแวดล้อม ระบบอาหาร ระบบน้ำ ระบบแสงสว่าง ระบบระบายอากาศ การบำรุงรักษา และการนำไปใช้ หลังจากนั้นนำข้อมูลจากบ้านคุณภาพไปออกแบบและสร้างต้นแบบโรงเรือนอัจฉริยะต่อไป

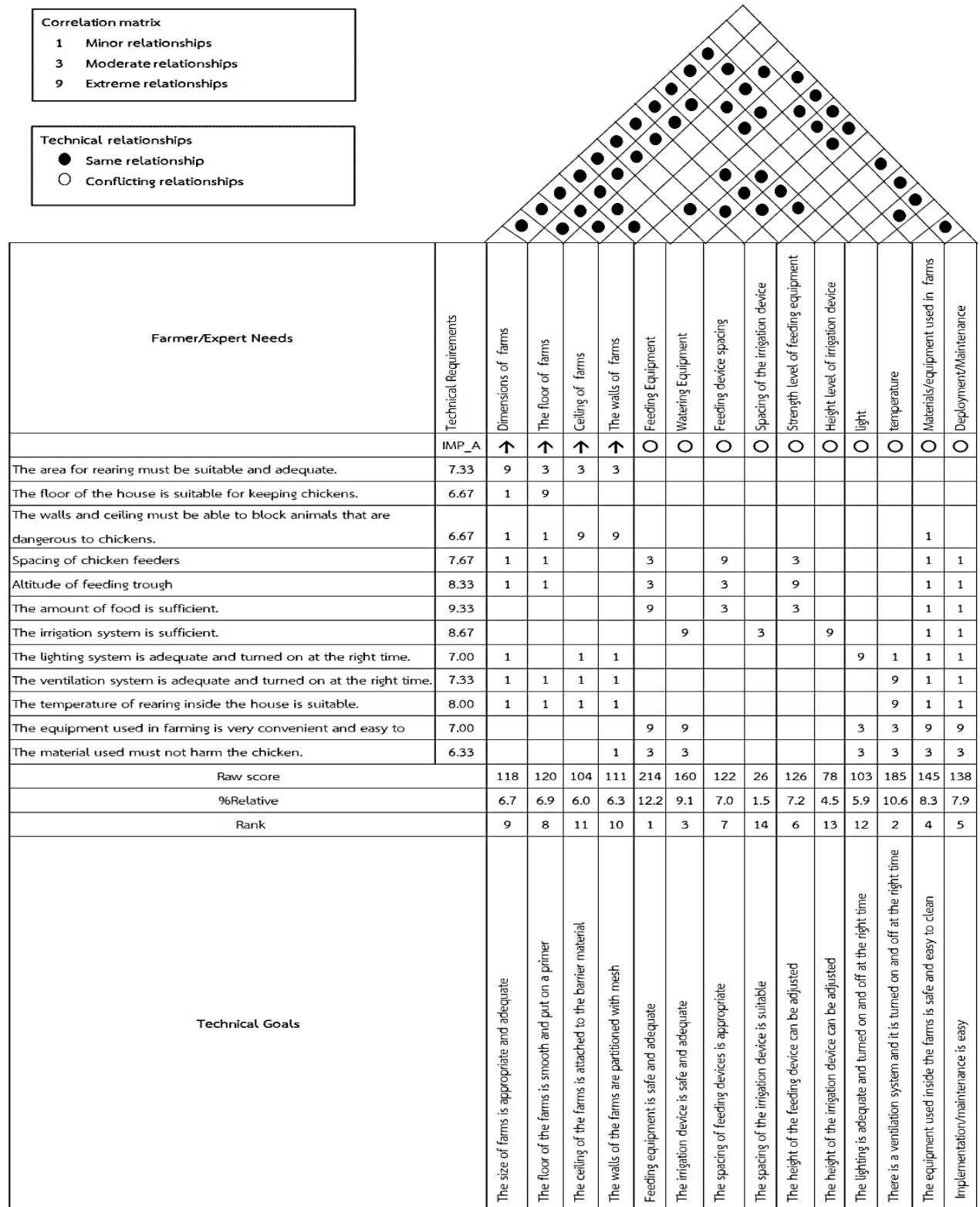


Figure 1 House of quality.

ผลจากการออกแบบและสร้างต้นแบบโรงเรือนอัจฉริยะ

ในการออกแบบและสร้างต้นแบบโรงเรือนอัจฉริยะมีการนำระบบโรงเรือนอัจฉริยะ (Smart farm) มาประยุกต์ใช้ในด้าน การเกษตรโดยเฉพาะการเลี้ยงไก่ โดยการประยุกต์ใช้ IOT (Internet of thing) ในการควบคุมอุณหภูมิและความชื้นที่ส่งผลต่อการออก ผลผลิตและการเจ็บป่วยของไก่ไข่ (Somsong et al., 2021) เช่นเดียวกับ Ali et al. (2020) ออกแบบระบบควบคุมอุณหภูมิและ ความชื้นภายในโรงเรือนเลี้ยงไก่เนื้อ เมื่ออุณหภูมิมากกว่า 30 องศา เซลเซียส พัฒนาระบบระบายอากาศจะทำงาน และเมื่อความชื้นน้อยกว่า ร้อยละ 60 พัฒนาระบบระบายอากาศก็จะทำงานเช่นกัน โดยในการ ออกแบบโรงเรือนในการเลี้ยงไก่จะพิจารณาถึงลักษณะของไก่แต่ละ ประเภทร่วมด้วย ในงานวิจัยนี้ทำการออกแบบและสร้างโรงเรือนเลี้ยง ไก่พื้นเมืองซึ่งเป็นไก่ที่มีความทนทานต่อสภาพอากาศ โดยในการ ออกแบบระบบต่าง ๆ พิจารณาจากความต้องการของเกษตรกรร่วมกับ หลักการทางวิศวกรรมต้นแบบโรงเรือนอัจฉริยะที่ได้จากการออกแบบ แบ่งเป็น 5 ระบบ ได้แก่ ระบบอาหาร ระบบน้ำ ระบบแสงสว่าง ระบบ ระบายอากาศ และโครงสร้างโรงเรือน (ดังแสดงใน Figure 2) โดย ทางผู้วิจัยออกแบบให้สามารถควบคุมการทำงานด้วยตนเองและ ควบคุมการทำงานด้วยแอปพลิเคชันมือถือ IoT SPC โดยมีรายละเอียด ดังนี้

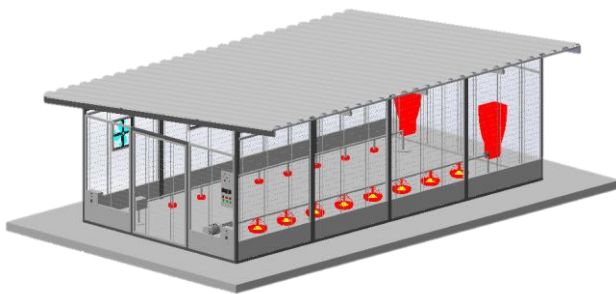


Figure 2 Smart farm prototype.

1. ระบบอาหาร ทำการติดตั้งฮอปเปอร์รับอาหารและจะทำการลำเลียงอาหารผ่านท่อลงไปยังถ้วยอาหาร โดยอาหารจะลงจาก ถ้วยอาหารใบที่อยู่ใกล้ฮอปเปอร์ที่สุดก่อนหลังจากนั้นเลื่อนไปถัดไป เรื่อย ๆ จนถ้วยอาหารใบสุดท้ายเต็มจะมีเซนเซอร์คอยจับระดับอาหาร จะทำการหยุด ซึ่งใช้มอเตอร์เกียร์เป็นต้นกำลัง รางอาหารทางผู้วิจัย ออกแบบให้สามารถปรับระดับความสูงได้ เนื่องจากระดับความสูงของ รางอาหารส่งผลต่อคอของไก่คอล่อนในการทานอาหารและสะดวกใน การทำความสะอาดของผู้เลี้ยงไก่ ซึ่งระบบรางอาหารสามารถควบคุม ผ่านระบบอัตโนมัติด้วยด้วยแอปพลิเคชันมือถือ และระบบปรับด้วย ตนเอง (Manual) เพื่อให้ผู้ใช้สะดวกในการใช้งาน

2. ระบบน้ำ ระบบการไหลของน้ำผ่านท่อพีวีซีต่อมายังท่อยาง เชื่อมท่อพีวีซีกับถ้วยให้น้ำ โดยแต่ละรางมีถ้วยน้ำเปิดและจานรอง น้ำแบบหยด ระบบรางน้ำภายในท่อจะมีน้ำอยู่ตลอดเวลา แต่น้ำจะ ไหลออกก็ต่อเมื่อมีไก่มาจิกที่นิปเปิดเท่านั้น ซึ่งจานรองน้ำสามารถทำ ความสะอาดได้ง่าย ระบบน้ำมีปั๊มน้ำเป็นต้นกำลัง และมีลูกกลย ควบคุมระดับน้ำภายในถังเก็บน้ำตลอดเวลา

3. ระบบแสงสว่าง แสงสว่างภายในโรงเรือนเป็นหลอดนีออน ซึ่งระบบแสงสว่างจะทำงานอัตโนมัติด้วยสวิทช์แสงเปิดปิดไฟอัตโนมัติ

4. ระบบระบายอากาศ อุณหภูมิภายในโรงเรือนถูกควบคุม ด้วยเซ็นเซอร์วัดอุณหภูมิ เมื่ออุณหภูมิภายในโรงเรือนมากกว่าที่ กำหนด (35 องศาเซลเซียส) พัฒนาระบบระบายอากาศภายในโรงเรือนจะ ทำงาน พร้อมทั้งมีการแจ้งเตือนผ่านสมาร์ทโฟน

5. ระบบควบคุมภายในโรงเรือน โรงเรือนเป็นแบบเปิดอากาศ ถ่ายเทซึ่งเหมาะต่อการเลี้ยงไก่พื้นเมือง โดยผนังทุกด้านติดตาข่าย ขนาดรูตาข่ายเพื่อกันแมลงและสัตว์มีพิษ โดยในส่วนของเพดานมีการ ติดตาข่ายเพื่อป้องกันนกและสัตว์อื่น ๆ ในส่วนของพื้นเป็นพื้นปูที่มีความ เรียบและใส่วัสดุรองโดยการโรยปูนขาวและแกลบซึ่งมีความ เหมาะสมในการเลี้ยงไก่ ส่วนระบบควบคุมภายในโรงเรือนด้วย ตัวควบคุมผ่านแอปพลิเคชัน IoT SPC ใช้งานผ่านสมาร์ทโฟน ดังแสดง ใน Figure 3

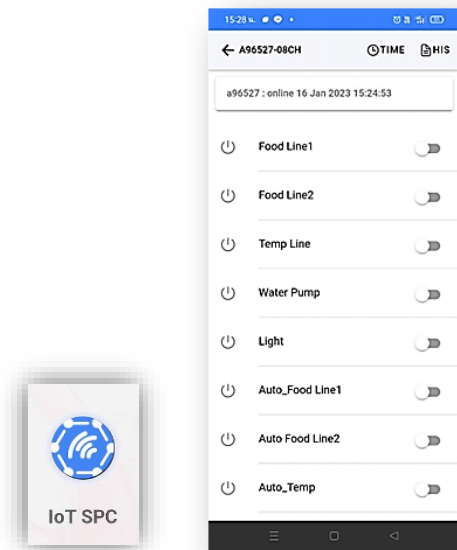


Figure 3 IoT SPC application

ผลการวิเคราะห์ประสิทธิภาพจากการเลี้ยงไก่ โดยใช้การวิเคราะห์เชิง โอบล้อมข้อมูล

ในการวิเคราะห์ประสิทธิภาพด้วยการวิเคราะห์เชิงโอบล้อม ข้อมูล โดยการสร้างพารามิเตอร์จากปัจจัยนำเข้า (Input) และปัจจัย นำออก (Output) ซึ่งเป็นเครื่องมือที่นิยมใช้ในการหาประสิทธิภาพ แบบจำลอง DEA มุ่งเน้นปัจจัยนำเข้าเพื่อประเมินประสิทธิภาพทาง เทคนิคในรูปแบบคงที่และผลตอบแทนต่อขนาดแบบแปรผัน (Kouriat et al., 2023) ซึ่งในทางการเกษตรมีการวัดประสิทธิภาพฟาร์มในการ เลี้ยงโคนม (Aggelopoulos et al., 2022) และการปลูกปาล์มใน ประเทศไทย โดยศึกษาเกษตรกรจังหวัดสุราษฎร์ธานีและกระบี่ โดยใช้ SBM DEA โดยพิจารณาปัจจัยออก ได้แก่ ผลผลิตปาล์มน้ำมันรายปี รายรับรวมต่อปี และปัจจัยนำเข้า ได้แก่ จำนวนแรงงานในครัวเรือน ค่าปุ๋ย ค่าสารเคมี ค่าใช้จ่ายในส่วนของ การปลูก และค่าเก็บเกี่ยว ผลผลิต (Suebpongsakorn, 2020) และทำการวัดประสิทธิภาพการ ดำเนินงานฟาร์มของเกษตรกรรุ่นใหม่จังหวัดมหาสารคามโดยพิจารณา 5 ปัจจัย ได้แก่ รายได้รวม ประสิทธิภาพทำการเกษตร ค่าจ้างแรงงาน ในครัวเรือน รายจ่ายด้านต้นทุนคงที่ และการนำเทคโนโลยีเข้ามาช่วย ในการผลิต และพบว่าเกษตรกรรุ่นใหม่ควรทำการศึกษาการลดต้นทุนเพื่อ ลดปัจจัยการผลิตบางชนิดลง และเลือกใช้เทคโนโลยีที่เหมาะสมต่อ ขนาดการผลิตเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการบริหารจัดการฟาร์ม

(Nantasarn et al., 2021) ซึ่งถือว่าปัจจัยนำเข้าและนำออกในการวิเคราะห์ประสิทธิภาพมีความสำคัญ ซึ่งพบว่าปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่อต้นทุนแปรผันในการเลี้ยงไก่ ได้แก่ ค่าเสื่อมราคาโรงเรือนและอุปกรณ์ ค่าเสียโอกาสใช้ที่ดิน ค่าเสียโอกาสเงินลงทุน ค่าอาหาร ค่าพันธุ์ไก่ ค่าวัคซีนและยา และค่าวัสดุปูพื้น เป็นต้น (Chankong et al., 2022) ดังนั้นในการวิเคราะห์ประสิทธิภาพของการเลี้ยงไก่ด้วยโรงเรือนแบบเดิมกับโรงเรือนต้นแบบอัจฉริยะด้วยการวิเคราะห์เชิงโอบล้อมข้อมูลในขั้นตอนแรกจะต้องทำการพิจารณาปัจจัยนำเข้า (Input) และปัจจัยนำออก (Output) เพื่อนำมาสร้างตัวแบบทางคณิตศาสตร์แล้วนำไปแก้สมการในโปรแกรม Lindo และจากการเก็บข้อมูลพบว่าปัจจัยนำเข้าในการเลี้ยงไก่ ได้แก่ ค่าพันธุ์ ค่าอาหาร ค่าวัคซีนและยา ค่าวัสดุรองพื้น ค่าน้ำ ค่าไฟ ค่าแรงงาน ตามประกาศคณะกรรมการค่าจ้าง เรื่อง อัตราค่าจ้างขั้นต่ำ (ฉบับที่ 11) ค่าซ่อมบำรุงโรงเรือนและอุปกรณ์ ส่วนปัจจัยนำออก ได้แก่ รายได้จากการขายไก่ ค่าเฉลี่ยต่าง ๆ ที่ได้ในเลี้ยงไก่ด้วยโรงเรือนพื้นเมืองด้วยการสอบถามข้อมูลจากเกษตรกรรายย่อย ศูนย์เรียนรู้การเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตสินค้าเกษตร อำเภोजุฬาภรณ์ จังหวัดนครศรีธรรมราช ส่วนการเลี้ยงไก่ด้วยโรงเรือนอัจฉริยะจากการรวบรวมข้อมูลค่าใช้จ่ายแต่ละปัจจัยแล้วนำมาหารด้วยจำนวนไก่ที่ได้จากการเลี้ยง ดังแสดงใน Table 1 โดยพิจารณาค่าปัจจัยแต่ละค่าคิดเป็นต่อตัว (บาทต่อตัว)

Table 1 Variables and values derived from data collection (baht/bird)

Factor	Variable	Traditional farms (baht)	Smart farm prototypes (baht)
Breeding costs	X_1	12.00	12.00
Food costs	X_2	75.60	73.80
Vaccines and medicines	X_3	0.50	0.20
Floor laying materials costs	X_4	0.30	0.30
Water bills	X_5	0.20	0.10

ตัวแบบทางคณิตศาสตร์ DEA ของโรงเรือนแบบเดิม (DMU_1)

วัตถุประสงค์

$$\text{Max } Z = 160y_1 \quad \dots(7)$$

ข้อจำกัด

$$12.00x_1 + 75.60x_2 + 0.50x_3 + 0.30x_4 + 0.20x_5 + 0.50x_6 + 1.11x_7 + 1.67x_8 = 1 \quad \dots(8)$$

$$160y_1 - (12.00x_1 + 75.60x_2 + 0.50x_3 + 0.30x_4 + 0.20x_5 + 0.50x_6 + 1.11x_7 + 1.67x_8) \leq 0 \quad \dots(9)$$

$$180y_1 - (12.00x_1 + 73.80x_2 + 0.20x_3 + 0.30x_4 + 0.10x_5 + 0.97x_6 + 0.14x_7 + 3.33x_8) \leq 0 \quad \dots(10)$$

ตัวแบบทางคณิตศาสตร์ DEA ของโรงเรือนต้นแบบ (DMU_2)

วัตถุประสงค์

$$\text{Max } Z = 180y_1 \quad \dots(11)$$

ข้อจำกัด

$$112.00x_1 + 73.80x_2 + 0.20x_3 + 0.30x_4 + 0.10x_5 + 0.97x_6 + 0.14x_7 + 3.33x_8 = 1 \quad \dots(12)$$

$$180y_1 - (112.00x_1 + 73.80x_2 + 0.20x_3 + 0.30x_4 + 0.10x_5 + 0.97x_6 + 0.14x_7 + 3.33x_8) \leq 0 \quad \dots(13)$$

$$160y_1 - (12.00x_1 + 75.60x_2 + 0.50x_3 + 0.30x_4 + 0.20x_5 + 0.50x_6 + 1.11x_7 + 1.67x_8) \leq 0 \quad \dots(14)$$

Table 1 Variables and values derived from data collection (baht/bird) (Cont.)

Factor	Variable	Traditional farms (baht)	Smart farm prototypes (baht)
Electricity bills	X_6	0.50	0.97
Labor costs	X_7	1.11	0.14
Farm maintenance and equipment costs	X_8	1.67	3.33
Average chicken sales income	y_1	160.00	180.00

Source: From questionnaire and author calculations.

หลังจากทราบค่าแต่ละปัจจัยนำเข้ามาสร้างตัวแบบทางคณิตศาสตร์ DEA ดังสมการต่อไปนี้
ดัชนี (Index)

- Set I คือ ปัจจัยนำเข้า โดย $I = 1, 2, 3, \dots, 8$
- Set J คือ ปัจจัยนำออก โดย $J = 1$
- Set K คือ ทางเลือกหรือ DMU โดย $K = 1, 2$

พารามิเตอร์ (Parameters)

- Input 1 คือ ค่าพันธุ์ (บาทต่อตัว) (x_1)
- Input 2 คือ ค่าอาหาร (บาทต่อตัว) (x_2)
- Input 3 คือ ค่าวัคซีนและยา (บาทต่อตัว) (x_3)
- Input 4 คือ ค่าวัสดุรองพื้น (บาทต่อตัว) (x_4)
- Input 5 คือ ค่าน้ำ (บาทต่อตัว) (x_5)
- Input 6 คือ ค่าไฟ (บาทต่อตัว) (x_6)
- Input 7 คือ ค่าแรงงาน (บาทต่อตัว) (x_7)
- Input 8 คือ ค่าซ่อมบำรุงโรงเรือนและอุปกรณ์ (บาทต่อตัว) (x_8)
- Output 1 คือ รายได้จากการขายไก่เฉลี่ย (บาทต่อตัว) (y_1)

เนื่องจากตัวแบบทางคณิตศาสตร์ DEA เป็นการสร้างเพื่อหาประสิทธิภาพเพื่อเทียบกัน จะเห็นได้ว่าเมื่อนำตัวแบบทางคณิตศาสตร์ไปหาค่าด้วยโปรแกรม Lindo พบว่าจาก Figure 4 ประสิทธิภาพจากการเลี้ยงด้วยโรงเรือนแบบเดิมเมื่อเทียบกับโรงเรือนต้นแบบมีค่าเท่ากับ 0.89 คิดเป็นร้อยละ 89.00 ในขณะที่ประสิทธิภาพจากการเลี้ยงด้วยโรงเรือนต้นแบบเมื่อเทียบกับโรงเรือนแบบเดิมมีค่าเท่ากับ 1.00 คิดเป็นร้อยละ 100.00 แสดงดัง Figure 5 แสดงให้เห็นว่าเมื่อพิจารณาปัจจัยได้แก่ ค่าพันธุ์ ค่าอาหาร ค่าวัคซีนและยา ค่าวัสดุรองพื้น ค่าน้ำ ค่าไฟ ค่าแรงงาน ค่าซ่อมบำรุงโรงเรือนและอุปกรณ์ และรายได้จากการขายไก่ พบว่าโรงเรือนแบบเดิมมีประสิทธิภาพเท่ากับร้อยละ 89.00 ซึ่งถือว่าอยู่ในเกณฑ์ที่ดี แต่ยังสามารถปรับปรุงได้อีก ไม่ว่าจะเป็น ค่าอาหาร ช่วยในการลดค่าใช้จ่ายในส่วนของการอาหารและค่าน้ำ และในส่วนของการค่าแรงงาน เนื่องจากเมื่อมีการนำระบบอัตโนมัติมาช่วยในการลดค่าแรงงาน ประหยัดเวลา แต่อาจจะส่งผลในส่วนค่าซ่อมบำรุงและอุปกรณ์ แต่อย่างไรก็ตามก็ต้องพิจารณาพร้อมกับจุดคุ้มทุนและระยะเวลาในการคืนทุนร่วมด้วย

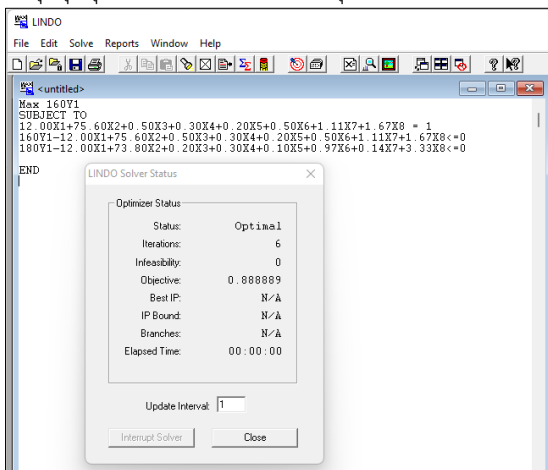


Figure 4 The result of finding the efficiency from the Lindo program of traditional farms.

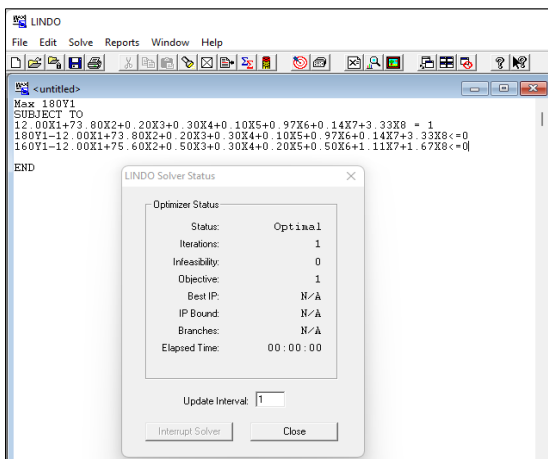


Figure 5 The result of finding the efficiency from the Lindo program of smart farm prototypes.

สรุปผลการวิจัย

งานวิจัยนี้ทำการออกแบบและสร้างต้นแบบโรงเรือนอัจฉริยะในการเลี้ยงไก่พื้นเมืองจากการสอบถามความต้องการของเกษตรกรแล้วประยุกต์ใช้บ้านคุณภาพในการแปลงความต้องการเพื่อออกแบบ

และสร้างต้นแบบโรงเรือนอัจฉริยะตามหลักการทางวิศวกรรม โดยภายในต้นแบบโรงเรือนอัจฉริยะประกอบด้วย 5 ระบบ ได้แก่ ระบบอาหาร ระบบน้ำ ระบบแสงสว่าง ระบบระบายอากาศ และระบบควบคุมภายในโรงเรือน และทำการหาประสิทธิภาพโดยการทำการวิเคราะห์เชิงอุปถัมภ์ข้อมูล ซึ่งปัจจัยนำเข้า ได้แก่ ค่าพันธุ์ ค่าอาหาร ค่าวัคซีนและยา ค่าวัสดุรองพื้น ค่าน้ำ ค่าไฟ ค่าแรงงาน ค่าซ่อมบำรุงโรงเรือนและอุปกรณ์ ส่วนปัจจัยนำออก ได้แก่ รายได้จากการขายไก่ พบว่าประสิทธิภาพจากการเลี้ยงไก่ด้วยต้นแบบโรงเรือนอัจฉริยะมากกว่าโรงเรือนแบบเดิมร้อยละ 11 และระยะเวลาในการคืนทุนเท่ากับ 11 เดือน อย่างไรก็ตามเกษตรกรสามารถนำต้นแบบโรงเรือนอัจฉริยะบางระบบไปประยุกต์ใช้ในโรงเรือนตามความเหมาะสมและความจำเป็นในการใช้งาน อีกทั้งอาจจะมีการติดตั้งแอปพลิเคชันแบบปรับเปลี่ยนตามโหมดของพันธุ์ไก่ในแต่ละฤดูกาลเพื่อความสะดวกในการใช้งานของเกษตรกรเป็นการลดต้นทุนและอำนวยความสะดวกในการเลี้ยงไก่ต่อไป

กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้วิจัยขอขอบคุณทุนสนับสนุนจากจากสำนักงานคณะกรรมการส่งเสริมวิทยาศาสตร์ วิจัยและนวัตกรรม ประจำปีงบประมาณ พ.ศ. 2565 ภายใต้ชื่อโครงการศักยภาพการผลิตและการตลาดของไก่คอลลอนศรีวิชัยลูกผสม โครงการย่อย ต้นแบบระบบการเลี้ยงไก่อัจฉริยะ เพื่อเกษตรกรรายย่อย และขอขอบคุณ คณะเกษตรศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัยที่ให้การสนับสนุน และการอำนวยความสะดวกในการดำเนินงานวิจัย และงานวิจัยจะสำเร็จลุล่วงไม่ได้ถ้าขาดการให้ความร่วมมืออันดีจากวิสาหกิจชุมชนกลุ่มอนุรักษ์ไก่ศรีวิชัยอำเภอจุฬาภรณ์ จังหวัดนครศรีธรรมราช

References

- Aggelopoulos, S., Galati, A., Vrontis, D., Gourdouvelis, D., & Tsiouni, M. (2022). Measuring technical efficiency of Greek red suckler cow breed's farms in Central Macedonia region using a data envelopment analysis model. *Journal for International Business and Entrepreneurship Development*, 14(3) , 329-348. doi:10.1504/JIBED.2022.10051862
- Ali, M. L., Rahman, M. A., & Taujuddin, N. S. A. M. (2020). Smart chicken farm monitoring system. *Evolution in Electrical and Electronic Engineering*, 1(1), 317-325. doi: 10.30880/eeee.2020.01.01.038
- Chankong, J., Chuaychu-noo, N., & Maliwan, P. (2022). Supply chain of native chicken: case study in Nakhon SriThammarat Province. *Prawarun Agricultural Journal*, 19(2), 66-73. doi: 10.14456/paj.2022.20 (in Thai)
- Charnes, A., Cooper, W. W., & Rhodes, E. (1978). Measuring the efficiency of decision making units. *European Journal of Operational Research*, 2(6), 429-444. doi: 10.1016/0377-2217(78)90138-8

- Chuaychu-noo, N., Ponatong, B. P., Kakulpim, P., & Chankong, J. (2022). Cost –benefit analysis and distribution channel of Dang chicken in Southern region. *Prawarun Agricultural Journal*, 19(1), 59-65. doi: 10.14456/paj.2022.7 (in Thai)
- Department of Livestock Development. (2022). *Poultry farmer information by province in 2022*. Accessed March 9, 2023. Retrieved from https://ict.dld.go.th/webnew/images/stories/stat_web/yearly/2565/province/T6-1-Chick.pdf.
- Fucheng, W., Yang, L., & Jianlin, K. (2022). Research on design of intelligent agricultural harvester based on QFD and AHP. *International Journal of New Developments in Engineering and Society*, 6(1), 11-19. doi: 10.25236/UNDES.2022.060103
- Hikmah, A. N. (2022). *Designing food delivery machine for poultry in chicken farm to reduce employee unergonomic motion at Mijers chicken farm*. Accessed June 29, 2023. Retrieved from <http://repository.president.ac.id/xmlui/bitstream/handle/123456789/11342/004201800039%20ANISA%20NURUL%20HIKMAH.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Janthong, N., & Chaloeiphak, S. (2019). Combining QFD and FBS in a design methodology of engineered products: a case study of Woven bag clamping devices. *Srinakharinwirot University Engineering Journal*, 14(1), 33-43. (in Thai)
- Kanasri, T. & Mongkolkaset, P. (2023). Development of chicken eggs house by automatic controlling humidity and temperature using solar power. *Journal of Engineering and Technology Udon Thani Rajabhat University*, 2(1), 53-60. (in Thai)
- Kouriati, A., Tafidou, A., Lialia, E., Prentzas, A., Moulogianni, C., Dimitriadou, E., & Bournaris, T. (2023). The impact of data envelopment analysis on effective management of inputs: the case of farms located in the regional unit of Pieria. *Agronomy*, 13(8), 2109. doi: 10.3390/agronomy13082109
- Manwicha, J. (2016). Smart farms technology. *Hatyai Academic Journal*, 14(2), 201-210. (in Thai)
- Nantasarn, M., Sittbisuntikul, K., & Nunthasen, W. (2021). The efficiency measurement of farm productive of young farmers Maha Sarakham Province. *Prawarun Agricultural Journal*, 18(1), 95-103. (in Thai)
- Somsong, P., Kanuengkid, S. & Bundasak, S. (2021). Smart farm and poultry that automatic working with sensor and can control with smartphone. *Rattanakosin Journal of Science and Technology*, 2(3), 167-175. (in Thai)
- Suebpongsakorn, A. (2020). Efficiency measurement of oil palm plantation in Thailand: a case study of oil palm agriculturists in Suratthani and Krabi Provinces. *University of the Thai Chamber of Commerce Journal*, 40(4), 55-82. (in Thai)
- Suwannaket, W. (2018). *Packaging improvement for cost reduction of electronic product* (Master's thesis). Bangkok, Thailand: Thai-Nichi Institute of Technology. (in Thai)
- Yaemphuan, P. (2005). *Engineering economy*. Bangkok, Thailand: Se-education Public Company Limited. (in Thai)

Research article

Performance analysis from native chicken farming with smart farm prototypes using data envelopment analysis

Sutaporn Getpun¹ Napapach Chuaychu-noo² Jareewan Chankong³ Pitipat Bootkote⁴
Pongpun Rachapukdee¹ Thitikorn Prombanchong⁵
and Banthita Poosabmee Ponatong^{1*}

¹Department of Industrial Technology, Faculty of Science and Technology, Rajamangala University of Technology Srivijaya, Thung Song district, Nakhon Si Thammarat Province, 80110

²Department of Animal Science, Faculty of Agriculture, Rajamangala University of Technology Srivijaya, Thung Song district, Nakhon Si Thammarat Province, 80110

³Department of Agribusiness, Faculty of Agriculture, Rajamangala University of Technology Srivijaya, Thung Song district, Nakhon Si Thammarat Province, 80110

⁴Department of Smart Agriculture, Faculty of Agriculture, Rajamangala University of Technology Srivijaya, Thung Song district, Nakhon Si Thammarat Province, 80110

⁵Department of Science, Faculty of Science and Technology, Rajamangala University of Technology Srivijaya, Thung Song district, Nakhon Si Thammarat Province, 80110

ARTICLE INFO**Article history**

Received: 8 August 2023

Revised: 17 November 2023

Accepted: 9 May 2024

Online published: 14 June 2024

Keyword

Smart farms

Native chicken

Quality houses

Data envelopment analysis

ABSTRACT

This research aims to design and prototype a smart farm for native chicken farming. It also explores the efficiency of native chicken farming by comparing traditional farms and prototypes of smart farms. The research process starts with inquiring with farmers about the demand for farming and transforming the demand data into quality houses to design and prototype smart farms. It was found that the prototype of the smart farm consists of five systems: a food system, a water system, a lighting system, a ventilation system, and a farm control system. The inputs include breeding costs, food costs, vaccines and medicines, floor-laying materials costs, water, electricity, labor costs, farm maintenance costs, and equipment costs. The output includes revenue from chicken sales, and it was found that the efficiency of native chicken farming with smart farm prototypes is 11.0 percent higher than traditional farms if farmers spend cash creating smart farms. The payback period was discovered to be 11 months. However, farmers can choose to use any system in the smart farm prototypes to be applied to chicken farming as appropriate to the conditions of that particular farm to facilitate chicken farming for farmers further.

*Corresponding author

E-mail address: Banthita.p@rmutsv.ac.th (B. Poosabmee Ponatong)

Online print: 14 June 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.2024.19>



โครงสร้างทางพันธุกรรมของประชากรไก่เบตงที่รวบรวมมาจากพื้นที่ที่แตกต่างกัน โดยใช้เครื่องหมายอินเทล

เนาวรัตน์ มณีโชติ^{1,2} อีรวัต ชันติชนะกุล¹ ณัฐธิดา บุญถึงจิตร¹ ศุภณนธ์ ตุ่นัน¹ และ พิษณุานิภา พงษ์พานิช^{1,2*}

¹ สาขาวิชาวนวัฒนกรรมการผลิตสัตว์และการจัดการ คณะทรัพยากรธรรมชาติ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขตหาดใหญ่ อำเภอหาดใหญ่ จังหวัดสงขลา 90110

² ศูนย์ความเป็นเลิศด้านเทคโนโลยีชีวภาพเกษตร สำนักงานพัฒนาบัณฑิตศึกษาและวิจัยด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี สำนักงานคณะกรรมการอุดมศึกษา กรุงเทพฯ 10900

ข้อมูลบทความ

Article history

รับ: 28 เมษายน 2567

แก้ไข: 31 พฤษภาคม 2567

ตอบรับการตีพิมพ์: 2 มิถุนายน 2567

ตีพิมพ์ออนไลน์: 16 มิถุนายน 2567

คำสำคัญ

ไก่เบตง

เครื่องหมายอินเทล

โครงสร้างทางพันธุกรรม

บทคัดย่อ

การศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาความหลากหลายทางพันธุกรรมและโครงสร้างประชากรของไก่เบตงที่รวบรวมมาจากพื้นที่ที่แตกต่างกัน ได้แก่ ไก่เบตงที่ปลูกทองจากศูนย์ศึกษาการพัฒนาพิภพทองอันเนื่องมาจากพระราชดำริ จังหวัดนราธิวาส (A) ไก่เบตงจากฟาร์มตัวอย่าง จังหวัดยะลา (B) ไก่เบตงจากฟาร์มเอกชนบ่อน้ำร้อน จังหวัดยะลา (C) และ ไก่เบตงจากฟาร์มปฏิบัติการสัตวศาสตร์ คณะทรัพยากรธรรมชาติมหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ จังหวัดสงขลา (PSU) รวมทั้งสิ้น 60 ตัว วิเคราะห์ด้วยเครื่องหมายอินเทล จำนวน 10 ตำแหน่ง ผลการศึกษาพบตำแหน่งที่มีความหลากหลายทั้งหมด 7 ตำแหน่ง และพบว่าค่าเฉลี่ยของอัตราส่วน Polymorphic loci (P_{poly}) เท่ากับ 0.750 ± 0.068 เมื่อพิจารณาจากค่าเฮเทอโรไซโกซิตีคาดหวัง (H_e) พบว่า มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.299 ± 0.038 การวิเคราะห์ Analysis of molecular variance (AMOVA) พบว่า ความแปรปรวนที่เกิดขึ้นในประชากรส่วนใหญ่เกิดจากความแปรปรวนภายในประชากร (91 %) เมื่อพิจารณาผลจากการความแตกต่างทางพันธุกรรมจากค่าสัมประสิทธิ์ F (F -coefficient) พบว่าในประชากรทั้งหมดพบการลดลงของเฮเทอโรไซโกซิตีเพียงเล็กน้อย ($F_{IT} = 0.016 \pm 0.035$) ไม่พบการเกิดการผสมเลือดชิดในประชากรย่อย ($F_{IS} = -0.094 \pm 0.041$) และมีความแตกต่างทางพันธุกรรมอยู่ในระดับปานกลาง ($F_{ST} = 0.098 \pm 0.030$) จากผลการวิเคราะห์ของ Neighbor-Joining (NJ) แสดงให้เห็นถึงความใกล้ชิดกันของไก่เบตงจากฟาร์ม A B และ C สำหรับการวิเคราะห์ Principal component analysis (PcoA) และวิเคราะห์โครงสร้างประชากร (Structure analysis) พบว่าสามารถจำแนกกลุ่มประชากรไก่เบตงออกเป็น 2 กลุ่มที่แตกต่างกัน ($\Delta K = 2$) จากการศึกษาครั้งนี้สรุปได้ว่าเครื่องหมายอินเทลสามารถใช้ในบ่งชี้โครงสร้างทางพันธุกรรมของประชากรไก่เบตงที่รวบรวมมาจากพื้นที่ที่แตกต่างกันและอาจนำไปประยุกต์ใช้เพื่อศึกษาโครงสร้างทางพันธุกรรมของไก่พื้นเมืองสายพันธุ์อื่น ๆ ได้

บทนำ

ไก่เบตง (Betong chicken) เป็นพันธุ์ไก่พื้นเมืองที่สำคัญของภาคใต้ ซึ่งนิยมเลี้ยงกันในแถบ 3 จังหวัดชายแดนภาคใต้ คือ จังหวัด ยะลา ปัตตานี และนราธิวาส เกษตรกรส่วนใหญ่เลี้ยงไก่เบตงเพื่อการบริโภคภายในครัวเรือนและผลิตไก่เบตงในเชิงพาณิชย์ซึ่งสามารถพบเห็นการเลี้ยงทั้งในรูปแบบการเลี้ยงแบบปล่อยอิสระและแบบกึ่งขังกึ่งปล่อย (Nualhnuplong, 2019) ไก่เบตงถือได้ว่าเป็นไก่ที่มีความสำคัญทางเศรษฐกิจในพื้นที่ภาคใต้ เนื่องจากมีลักษณะโดดเด่นในเรื่องของคุณภาพเนื้อที่มีคุณภาพดี เนื้อนุ่ม หนังบาง หนึบกรอบ และมีรสชาติอร่อย จึงทำให้เนื้อของไก่เบตงเป็นที่นิยมของผู้บริโภคและเป็นที่ต้องการของตลาด โดยมีคนนำไปทำเมนูข้าวมันไก่และไก่สับ เป็นต้น (Angkurasanee, 2019; Wattanasit et al., 2020)

โดยทั่วไปการจำแนกความแตกต่างทางพันธุกรรมในไก่พื้นเมืองสามารถทำได้โดยการสังเกตจากลักษณะปรากฏ เช่น สีขน สีตา สีแข้ง สีสร้อยคอ และลักษณะหงอน ซึ่งลักษณะเหล่านี้สามารถ

นำไปใช้ในการบ่งชี้ถึงเอกลักษณ์ประจำพันธุ์ได้ (Buranawit et al., 2016) จากรายงานการศึกษาของ Angkurasanee (2019) ได้ทำการรวบรวมงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับลักษณะปรากฏของไก่เบตงในพื้นที่ 3 จังหวัดชายแดนใต้ พบว่าลักษณะประจำพันธุ์ของไก่เบตง คือ มีสีเหลืองอ่อนหรือเหลืองทองตลอดทั้งตัว ปากและแข้งมีสีเหลือง ขนปีกสั้น ไม่มีขนปีกแข็ง และมีขนพลูขึ้นด้านบน ขนหางสั้น เพศผู้มีหงอนจักร เพศเมียมีหงอนถั่วสั้นหรือหงอนจักรติดหนังหัว ถึงแม้ว่าวิธีนี้จะ เป็นวิธีที่ทำได้ง่าย สะดวก รวดเร็ว แต่ก็จำเป็นต้องใช้ผู้ที่มีความชำนาญเพื่อให้สามารถตรวจสอบลักษณะปรากฏได้อย่างถูกต้อง (Peyachoknagul, 2009) อย่างไรก็ตาม ข้อมูลที่ได้จากการสังเกตเพียงลักษณะปรากฏอย่างเดียว นั้น อาจไม่เพียงพอสำหรับบอกความเหมือนหรือความแตกต่างทางพันธุกรรมของไก่ภายในสายพันธุ์เดียวกันได้ อย่างไรก็ตาม มีบางรายงานการศึกษาพบว่า ระดับความแปรปรวนทางพันธุกรรมภายในประชากรลดลงเมื่อสภาพแวดล้อมแตกต่างกัน ซึ่งสามารถเกิดขึ้นได้จากปัจจัยต่าง ๆ เช่น ปัจจัยทางด้าน

*Corresponding author

E-mail address: pitchayanipa.K@psu.ac.th (P. Phongphanich)

Online print: 16 June 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.2024.20>

ภูมิศาสตร์ ระยะทางระหว่างแหล่งที่อยู่อาศัย รวมไปถึงประชากรที่มีขนาดเล็กที่อาศัยอยู่ในพื้นที่เฉพาะ ซึ่งอาจเป็นข้อจำกัดในการแลกเปลี่ยนลักษณะทางพันธุกรรมระหว่างประชากร จนอาจก่อให้เกิดการผสมพันธุ์กันเองภายในประชากรมากขึ้น (Premoli, 1997) อย่างไรก็ตาม พบบางรายงานการศึกษาที่แสดงผลลัพธ์ที่ตรงกันข้าม (Sáenz-Romero & Tapia-Olivares, 2003) ดังนั้น หากต้องการผสมพันธุ์ประชากรไก่เบตงที่มาจากต่างพื้นที่ จึงจำเป็นต้องมีการตรวจสอบโครงสร้างทางพันธุกรรมและความหลากหลายทางพันธุกรรมเพิ่มเติมเพื่อใช้ในการบ่งชี้ลักษณะประจำพันธุ์และความเหมือนหรือความแตกต่างทางพันธุกรรมของประชากรไก่เบตง

ปัจจุบันจึงได้มีการนำเครื่องหมายดีเอ็นเอ (DNA marker) เข้ามาใช้ในการตรวจสอบความแตกต่างทางพันธุกรรมให้มีความแม่นยำเพิ่มมากขึ้น (Choomee & Woranathakij, 2017) โดยรายงานการศึกษาของ Väli et al. (2008) แนะนำให้มีการใช้ Insertion and/or Deletion (InDel) เป็นเครื่องหมายทางพันธุกรรม ซึ่งมีคุณสมบัติ คือ เป็นเครื่องหมายที่มีการกระจายตัวทั่วทั้งจีโนม สามารถตรวจสอบจีโนมได้ง่าย ไม่จำเป็นต้องใช้เทคนิคขั้นสูงในการวิเคราะห์ เมื่อเทียบกับการใช้ Single nucleotide polymorphism (SNP) ด้วยคุณสมบัติดังกล่าวจึงทำให้เครื่องหมายอินเดล มีความเหมาะสมที่จะนำไปใช้ในการศึกษาความหลากหลายทางพันธุกรรม ความสัมพันธ์ทางพันธุกรรมและโครงสร้างของประชากร เพื่อใช้ในการจำแนกกลุ่มของไก่พื้นเมืองได้ (Maw et al., 2012; Maw et al., 2015) อย่างไรก็ตามยังไม่มีรายงานเกี่ยวกับโครงสร้างทางพันธุกรรมของประชากรไก่เบตงในพื้นที่ภาคใต้ ดังนั้นการศึกษานี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาความหลากหลายทางพันธุกรรมและโครงสร้างประชากรของไก่เบตงที่รวบรวมมาจากพื้นที่ที่แตกต่างกัน ซึ่งอาจนำผลการศึกษาที่ได้ไปใช้เป็นข้อมูลพื้นฐานในการปรับปรุงพันธุ์ไก่เบตงและนำไปประยุกต์ใช้ในการศึกษาโครงสร้างทางพันธุกรรมของไก่พื้นเมืองสายพันธุ์อื่น ๆ ได้

อุปกรณ์และวิธีการวิจัย

สัตว์ทดลองและการเก็บตัวอย่าง

การดำเนินการที่เกี่ยวข้องกับสัตว์ทดลองในงานวิจัยนี้ ได้รับการรับรองจากคณะกรรมการกำกับดูแลการเลี้ยงและการใช้สัตว์ของมหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ เลขที่เอกสารรับรอง 2022-FNR01-003

สุ่มเก็บตัวอย่างเลือดจากประชากรไก่เบตงที่รวบรวมมาจากพื้นที่ที่แตกต่างกัน ได้แก่ ไก่เบตงที่ฟักทองจากศูนย์ศึกษาการพัฒนาฟักทองอันเนื่องมาจากพระราชดำริ จ.นราธิวาส (A) ไก่เบตงจากฟาร์มตัวอย่าง จ.ยะลา (B) ไก่เบตงจากฟาร์มเอกชน บ่อน้ำร้อน จ.ยะลา (C) โดยประชากรทั้ง 3 พื้นที่นี้เป็นประชากรที่มีการรวบรวมการเลี้ยงอยู่ในฟาร์มแห่งหนึ่งในจังหวัดปัตตานี นอกจากนี้ยังมีการสุ่มเก็บตัวอย่างเลือดไก่เบตงจากฟาร์มปฏิบัติ การสัตวศาสตร์ คณะทรัพยากรธรรมชาติ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ จ.สงขลา (PSU) โดยทำการสุ่มเก็บตัวอย่างเลือดจากเส้นเลือดดำบริเวณใต้ปีก (Wing vein) พื้นที่ละ 15 ตัว รวมทั้งสิ้น 60 ตัว ใส่ลงในหลอดทดลองขนาด 1.5 มิลลิลิตร ที่บรรจุ 0.5 % Ethylene diamine tetraacetic acid (EDTA) ซึ่งเป็นสารป้องกันการแข็งตัวของเลือด จากนั้นนำตัวอย่างเลือดเก็บไว้ที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส เพื่อรอดำเนินการในขั้นตอนต่อไป

การสกัดดีเอ็นเอจีโนมิกส์และการเพิ่มจำนวนดีเอ็นเอของเครื่องหมายอินเดล

สกัดจีโนมิกส์ดีเอ็นเอจากตัวอย่างเลือดไก่โดยใช้ชุดสกัดสำเร็จรูปของ GeneJET Whole Blood Genomic DNA Purification Mini Kit (Thermo Scientific, Waltham, MA, USA) และตรวจสอบความเข้มข้นและความบริสุทธิ์ของดีเอ็นเอด้วย Nanodrop Lite™ Spectrophotometer (Thermo Scientific, Waltham, Massachusetts, USA) จากนั้นทำการเจือจางดีเอ็นเอด้วย TE buffer ให้ได้ความเข้มข้น 20 ng/μl เก็บรักษาที่อุณหภูมิ -20 องศาเซลเซียส เพื่อรอการเพิ่มปริมาณดีเอ็นเอต่อไป

จีโนมิกส์ดีเอ็นเอของไก่พื้นเมืองในแต่ละประชากรจะถูกนำไปเพิ่มปริมาณดีเอ็นเอโดยใช้เทคนิค PCR (Polymerase chain reaction) โดยมีการใช้เครื่องหมายอินเดลที่ได้ทำการคัดเลือกมาจากการศึกษาของ Maw et al. (2012) จำนวน 10 ตำแหน่ง (Table 1) ในปฏิกิริยาการเพิ่มปริมาณชิ้นส่วนดีเอ็นเอ ประกอบด้วย Genomic DNA ที่มีความเข้มข้น 20 ng ปริมาตร 1 μl, 10 x Buffer ปริมาตร 1 μl, 10 mM of dNTP (Thermo Scientific) ปริมาตร 1 μl, Forward primer และ Reverse primer ปริมาตรอย่างละ 1 μl, 25 mM MgCl₂ ปริมาตร 0.8 μl, 5 U Taq DNA Polymerase (Thermo Scientific) ปริมาตร 0.1 μl และปรับปริมาตรด้วย Sterile water ให้มีปริมาตรรวมทั้งสิ้น 10 μl โดยมีวงรอบในการทำ PCR ดังนี้ Initial denaturation ที่อุณหภูมิ 95 องศาเซลเซียส 5 นาที Denaturation ที่อุณหภูมิ 95 องศาเซลเซียส 45 วินาที Annealing มีอุณหภูมิอยู่ในช่วง 58-60 องศาเซลเซียส 30 วินาที Extension ที่อุณหภูมิ 72 องศาเซลเซียส 45 วินาที และ Final extension 72 องศาเซลเซียส 5 นาที รวมทั้งสิ้น 35 รอบ จากนั้นนำ PCR ที่ได้ไปตรวจหาแถบดีเอ็นเอ (Gel electrophoresis) ด้วย 2 % Agarose gel แล้วนำไปย้อมด้วยสารเรืองแสงและบันทึกภาพแถบดีเอ็นเอภายใต้แสง UV ด้วยเครื่อง Gel document เพื่อตรวจสอบจีโนมิกส์ของตำแหน่งที่เป็น Insertion และ Deletion ของไก่แต่ละตัว โดยการประเมินจากขนาดของแถบดีเอ็นเอที่แตกต่างกัน และนำไปวิเคราะห์ข้อมูลทางพันธุศาสตร์ประชากรในลำดับต่อไป

การวิเคราะห์ข้อมูล

นำรูปแบบจีโนมิกส์ที่ได้จากเครื่องหมายอินเดลในแต่ละตำแหน่งที่ตรวจสอบได้มาประเมินความหลากหลายทางพันธุกรรมในประชากรโดยพิจารณาจากค่า Polymorphic loci (P_{poly}) ค่าเฮเทอโรไซโกตที่คาดหวัง (Expected heterozygosity, H_e) ค่าเฮเทอโรไซโกตที่ตรวจพบ (Observed heterozygosity, H_o) และทดสอบสมมูลของยีนในประชากร (Hardy-Weinberg equilibrium) ด้วย Chi-square test จากนั้นทำการวิเคราะห์โครงสร้างประชากรด้วยวิธี Analysis of molecular variance (AMOVA) เพื่อประเมินความแปรปรวนที่เกิดขึ้นภายในและระหว่างประชากร จากนั้นทำการทดสอบโครงสร้างประชากรและการแบ่งออกเป็นประชากรย่อยด้วยค่าสัมประสิทธิ์ (F -coefficient) และทำการทดสอบความแตกต่างระหว่างประชากร (Pairwise F_{st} differentiation) ด้วยโปรแกรม GenAlix 6.5 (Peakall & Smouse, 2012) สำหรับการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ทางพันธุกรรม (Phylogenetic tree) ทำการวิเคราะห์จากค่าระยะห่างทางพันธุกรรมด้วยวิธี Neighbor-joining (NJ) ด้วย

โปรแกรม POPTREE2 (Takezaki et al., 2010) จากนั้นทำการวิเคราะห์โครงสร้างของประชากรด้วยโปรแกรม Structure 2.3 (Porrás-Hurtado et al., 2013) โดยการตั้งค่าเพื่อคำนวณค่า Posterior probability ในแต่ละครั้ง จะใช้จำนวนซ้ำของ Markov Chain Monte Carlo (MCMC) ในช่วง Burn-in จำนวน 20,000 ครั้ง ตามด้วยจำนวนซ้ำอีก 20,000 ครั้ง หลังจากนั้นนำข้อมูลที่ได้ออกค่า K ที่เหมาะสมด้วยโปรแกรม StructureSelector (Li & Liu, 2018) และวิเคราะห์โครงสร้างประชากรด้วยวิธี Principal component analysis (PCoA) ด้วยโปรแกรม GenAlEx 6.5 (Peakall & Smouse, 2012)

ผลและวิจารณ์ผลการวิจัย

1) ความหลากหลายของเครื่องหมายอินเดลและความผันแปรทางพันธุกรรมของไก่เบตง

จากการวิเคราะห์ตัวอย่างประชากรไก่เบตงที่ได้ทำการรวบรวมมาจากแต่ละพื้นที่ในภาคใต้ของประเทศไทยด้วยเครื่องหมายอินเดล พบตำแหน่งที่มีความหลากหลาย (Polymorphic) ทั้งหมด 7 ตำแหน่ง จาก 10 ตำแหน่ง คือตำแหน่งที่ 1-5 และ 7-8 ในขณะที่ตำแหน่ง 6, 9 และ 10 เป็นตำแหน่งที่ไม่พบความหลากหลาย (Monomorphic) เมื่อพิจารณาจากค่าอัตราส่วน Polymorphic loci (P_{poly}) (Table 2) พบว่าประชากรไก่เบตงทั้ง 4 แหล่งมีค่า P_{poly} อยู่ในช่วง 0.571-0.857 โดยฟาร์ม A และ C มีค่า P_{poly} ที่เท่ากัน ($P_{poly} = 85.7\%$) และมีค่าสูงกว่าประชากรไก่เบตงจากฟาร์ม B และ PSU ตามลำดับ

จากการวิเคราะห์เครื่องหมายอินเดลที่พบความหลากหลายจำนวน 7 ตำแหน่ง เมื่อพิจารณาจากค่า Heterozygosity ของประชากรไก่เบตงที่ทำการรวบรวมจากฟาร์มทั้ง 4 แหล่ง พบว่า ค่า Expected heterozygosity (H_e) มีค่าอยู่ในช่วง 0.194 ± 0.078 ถึง 0.354 ± 0.069 โดยไก่เบตงที่ทำการรวบรวมจากฟาร์ม A, B และ C มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.354 ± 0.069 , 0.318 ± 0.085 และ 0.330 ± 0.078 ตามลำดับ ในขณะที่ไก่เบตงจากฟาร์ม PSU มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.194 ± 0.078 ซึ่งค่า H_e ที่พบในประชากรไก่เบตงทั้ง 4 แหล่งที่ได้จากการศึกษาในครั้งนี้จะเห็นได้ว่า ฟาร์ม A, B และ C มีค่าที่ใกล้เคียงกัน และมีความหลากหลายอยู่ระดับปานกลาง อาจเกิดขึ้นเนื่องจากไก่เบตงจากฟาร์ม A เป็นประชากรที่ผ่านการคัดเลือกเบื้องต้นเพื่อใช้ลักษณะทางพันธุกรรมที่ดี (Nakavisut et al., 2020) ส่วนไก่เบตงจากฟาร์ม B และ C เป็นประชากรที่มีการผสมพันธุ์แบบสุ่ม โดยมีการปล่อยให้ผสมพันธุ์กันเองภายในประชากรเดียวกัน ในขณะที่ไก่เบตงจากฟาร์ม PSU มีค่า H_e ต่ำที่สุดและมีความหลากหลายอยู่ในระดับต่ำ อาจเนื่องมาจากไก่เบตงจากฟาร์ม PSU มีการสร้างฝูงมาเป็นระยะเวลานานและมีการคัดเลือกลักษณะทางพันธุกรรมมาหลายชั่วรุ่น รวมทั้งไม่ได้มีการนำแหล่งพันธุกรรมจากที่อื่นเข้ามาผสมพันธุ์ในประชากร จึงอาจทำให้มีการผสมกันภายในสายเลือดและเริ่มเข้าสู่ภาวะโฮโมไซโกซิตี (Homozygosity) เมื่อพิจารณาค่าเฉลี่ยของ H_e ของประชากรไก่เบตงที่ได้จากการศึกษารั้งนี้ มีค่าเท่ากับ 0.299 ± 0.038 ซึ่งมีความสูงกว่าการศึกษาของ Maw et al. (2015) ที่มีการศึกษาในประชากรไก่พื้นเมืองจากประเทศพม่า ไทย และลาว โดยใช้เครื่องหมายอินเดล จำนวน 102 ตำแหน่ง ซึ่งมีค่าเฉลี่ย H_e เท่ากับ 0.263 ± 0.004 แต่มีค่าน้อยกว่าการศึกษาในประชากรไก่พื้นเมืองไทย

โดยใช้เครื่องหมาย Single nucleotide polymorphism (SNP) และ Microsatellite ซึ่งมีค่าเฉลี่ย H_e เท่ากับ 0.353 และ 0.792 ตามลำดับ (Dorji et al., 2011; Mekchay et al., 2014) ซึ่งอาจเป็นเพราะความแตกต่างของจำนวนประชากรและจำนวนเครื่องหมายดีเอ็นเอที่นำมาใช้ในการศึกษา

2) การวิเคราะห์โครงสร้างประชากรไก่เบตง

2.1) การวิเคราะห์โครงสร้างประชากรด้วยวิธี Analysis of molecular variance (AMOVA)

จากการวิเคราะห์ Analysis of molecular variance (AMOVA) เพื่อประเมินความแปรปรวนที่เกิดขึ้นภายในและระหว่างประชากร (Table 3) พบว่า ความแปรปรวนที่เกิดในประชากรไก่เบตงเกิดจากความแปรปรวนภายในประชากรสูงถึง 91 % แสดงให้เห็นว่าความหลากหลายทางพันธุกรรมในไก่เบตงส่วนใหญ่ที่เกิดขึ้นเป็นผลเนื่องมาจากความแตกต่างทางพันธุกรรมในระดับรายตัว ในขณะที่พบความแปรปรวนระหว่างประชากรเพียง 9 % ของความแปรปรวนที่เกิดขึ้นทั้งหมดของประชากร แสดงว่าประชากรไก่เบตงในแต่ละพื้นที่นั้นยังมีความคล้ายคลึงกันทางพันธุกรรมอยู่สูง

2.2) การทดสอบโครงสร้างประชากรและการแบ่งออกเป็นประชากรย่อย

จาก Table 4 แสดงให้เห็นถึงการประเมินความแตกต่างทางพันธุกรรมจากค่าสัมประสิทธิ์ F (F-coefficient) เมื่อพิจารณาจากค่า F_S ซึ่งเป็นค่าที่บอกถึงระดับการเบี่ยงเบนจากสมมติฐาน Hardy-Weinberg ของประชากรย่อย โดยค่านี้จะแสดงถึงการลดลงของ Heterozygosity ในประชากรที่มีอิทธิพลอันเนื่องมาจากการผสมเลือดชิด (Inbreeding) ซึ่งมีค่าอยู่ในช่วง -1 ถึง 0 จากการศึกษาพบว่า ค่าเฉลี่ย F_S ของเครื่องหมายอินเดลที่ใช้ศึกษาในประชากรไก่เบตงจากทั้ง 4 แหล่ง มีค่าเท่ากับ -0.094 ± 0.041 แสดงให้เห็นว่าในประชากรย่อยมีค่า Heterozygosity สูง ไม่พบการเกิดการผสมเลือดชิด เมื่อพิจารณาผลจากความแตกต่างทางพันธุกรรมระหว่างประชากรย่อย โดยใช้ค่า F_{ST} หากค่า F_{ST} มีค่าต่ำกว่า 0.05 แสดงว่า ประชากรมีความแตกต่างทางพันธุกรรมกันน้อยมาก หากมีค่าระหว่าง 0.05-0.15 แสดงว่า ประชากรมีความแตกต่างทางพันธุกรรมในระดับปานกลาง หากมีค่ามากกว่า 0.15 แสดงว่า ประชากรมีความแตกต่างทางพันธุกรรมสูง และหากมีค่ามากกว่า 0.25 แสดงว่าประชากรมีความแตกต่างทางพันธุกรรมสูงมาก (Nassiry et al., 2009) ซึ่งจากการศึกษาพบว่า ค่าเฉลี่ย F_{ST} ของเครื่องหมายอินเดลมีค่าเท่ากับ 0.098 ± 0.030 ซึ่งแสดงให้เห็นว่าประชากรไก่เบตงในแต่ละประชากรมีความแตกต่างทางพันธุกรรมอยู่ในระดับปานกลาง โดยความแตกต่างที่เกิดขึ้นเป็นผลมาจากความแตกต่างระหว่างประชากร 9.8 % และอีก 90.2 % เกิดจากความแตกต่างภายในประชากร แสดงให้เห็นว่าความแตกต่างที่เกิดขึ้นอาจยังไม่เพียงพอที่จะสามารถแยกประชากรไก่เบตงออกเป็นประชากรย่อย เมื่อพิจารณาค่า F_{IT} ซึ่งเป็นค่าที่บอกถึงระดับการเบี่ยงเบนจากสมมติฐาน Hardy-Weinberg ของประชากรทั้งหมด พบว่าค่าเฉลี่ย F_{IT} ของเครื่องหมายอินเดลมีค่าเท่ากับ 0.016 ± 0.035 ซึ่งแสดงให้เห็นว่าการลดลงของ Heterozygosity เพียงเล็กน้อยซึ่งอาจไม่เพียงพอที่จะทำให้ประชากรเบี่ยงเบนออกจากสมมติฐาน Hardy-Weinberg

2.3) การทดสอบความแตกต่างระหว่างประชากร (Pairwise F_{ST} differentiation)

จากการวิเคราะห์ค่าระยะห่างทางพันธุกรรมจากค่า Pairwise F_{ST} (Table 5) ระหว่างไก่เบตงที่ทำการรวบรวมมาจากฟาร์ม A B C และ PSU พบว่ามีค่าระยะห่างทางพันธุกรรมอยู่ในช่วง 0.007-0.129 โดยไก่เบตงจาก

ฟาร์ม A และฟาร์ม C มีระยะห่างทางพันธุกรรมน้อยที่สุด และใกล้เคียงจากฟาร์ม B และ C มีระยะห่างทางพันธุกรรมรองลงมา ซึ่งแสดงให้เห็นว่าไก่เบตงจากฟาร์ม A B และ C มีความใกล้ชิดทางพันธุกรรมกัน ในขณะที่ไก่เบตงจากฟาร์ม PSU มีระยะห่างทางพันธุกรรมจากไก่เบตงฟาร์ม B มากที่สุดรองลง คือ ฟาร์ม A และ C ตามลำดับ การใกล้ชิดกันทางพันธุกรรมของไก่เบตงจากฟาร์ม A B และ C นั้นอาจเป็นไปได้ว่าเดิมประชากรเหล่านี้อาจมีแหล่งพันธุกรรมที่มาจากแหล่งเดียวกัน จึงทำให้มีโอกาสในการแลกเปลี่ยนพันธุกรรมระหว่างประชากรได้ ในขณะที่ไก่เบตงจากฟาร์ม PSU เป็นประชากรที่มีการเลี้ยงแบบระบบปิด ซึ่งอาจส่งผลในการขัดขวางการแลกเปลี่ยนพันธุกรรมระหว่างประชากรไก่เบตงจากฟาร์ม A B และ C อีกทั้งยังมีแผนการคัดเลือกและปรับปรุงพันธุ์ที่ต่างกัน จึงส่งผลให้ไก่เบตงจากฟาร์ม PSU มีระยะห่างทางพันธุกรรมมากกว่ากลุ่มอื่น ๆ

2.4) การวิเคราะห์ความสัมพันธ์ทางพันธุกรรม (Phylogenetic tree)

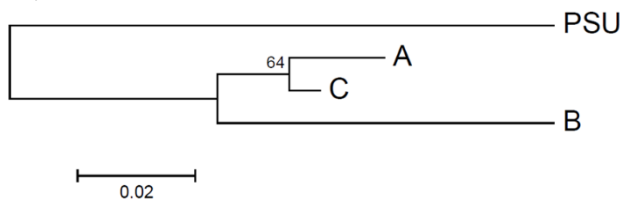


Figure 1 Neighbor-joining (NJ) tree of Betong chicken population from different locations. A = Betong Pikunthong chickens from Pikun Thong Royal Development Study Centre, Narathiwat Province, B = Betong chickens from model farm, Yala Province, C = Betong chickens from Bo Namron farm, Yala Province, PSU = Betong chickens from Animal Production Innovation and Management Division, Faculty of Natural resources, Prince of Songkla University (PSU).

จากผลการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ทางพันธุกรรม (Phylogenetic tree) จากค่าระยะห่างทางพันธุกรรมด้วยวิธี Neighbor-joining (NJ) (Figure 1) พบว่า ประชากรไก่เบตงที่ได้ทำการรวบรวมมาจากฟาร์มทั้ง 4 แหล่งนี้สามารถจำแนกออกเป็น 2 กลุ่ม คือ ไก่เบตงจากฟาร์ม PSU และไก่เบตงจากฟาร์ม A B และ C ซึ่งการที่ประชากรไก่เบตงถูกจำแนกออกเป็น 2 กลุ่มอาจเกิดขึ้นเนื่องจากความแตกต่างของพื้นที่ในการเลี้ยงไก่เบตง โดยไก่เบตงจากฟาร์ม PSU เป็นประชากรที่เลี้ยงในฟาร์มปฏิบัติการสัตวศาสตร์ คณะทรัพยากรธรรมชาติ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ จังหวัดสงขลา ซึ่งมีการรวบรวมมาจากแหล่งที่แตกต่างกัน และแหล่งที่นำมาอาจมีพื้นฐานความแปรปรวนทางพันธุกรรมที่ต่างกัน เป็นผลจากแผนการคัดเลือกและปรับปรุงพันธุ์ที่ต่างกัน ขณะที่ไก่เบตงจากฟาร์ม A เป็นประชากรที่เลี้ยงในศูนย์ศึกษาการพัฒนาพิกุลทอง ฯ จ. นราธิวาส ฟาร์ม B เป็นประชากรที่เลี้ยงอยู่ในฟาร์มตัวอย่าง จ.ยะลา และ C เป็นประชากรจากฟาร์มเอกชนที่ถูกเลี้ยงอยู่ใน จ. ยะลา ซึ่งเป็นพื้นที่ที่อยู่ใกล้กัน จึงอาจมีความเป็นไปได้ที่จะมีการแลกเปลี่ยนพันธุกรรมกันระหว่างประชากร (Long et al., 2017)

2.5) การวิเคราะห์โครงสร้างประชากรด้วยวิธี Principal component analysis (PCoA)

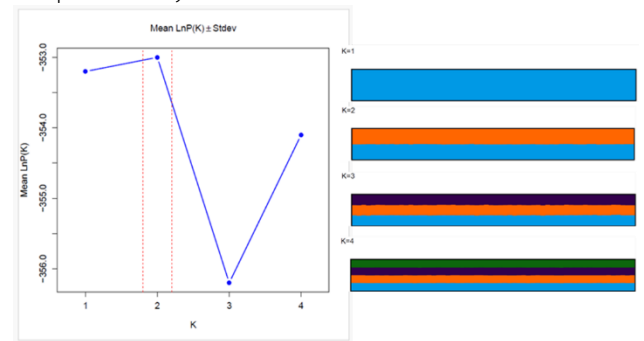


Figure 2 Delta K values and population structure of Betong chicken breed from difference location.

จาก Figure 2 แสดงให้เห็นถึงการวิเคราะห์หาค่า K ที่เหมาะสมในการจำแนกประชากร พบว่าประชากรไก่เบตงจากทั้ง 4 แหล่ง สามารถแบ่งออกได้เป็น 2 กลุ่ม ($\Delta K = 2$) ซึ่งสอดคล้องกับการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ทางพันธุกรรม (Figure 1) ซึ่งเมื่อพิจารณาผลของการศึกษาโครงสร้างประชากรที่ทำการวิเคราะห์ด้วย Principal component analysis (PCoA) (Figure 3) พบว่าประชากรไก่เบตงจากฟาร์ม A B และ C มีความใกล้ชิดทางพันธุกรรมกัน ในขณะที่ประชากรไก่เบตงจากฟาร์ม PSU แตกต่างจากประชากรอื่น

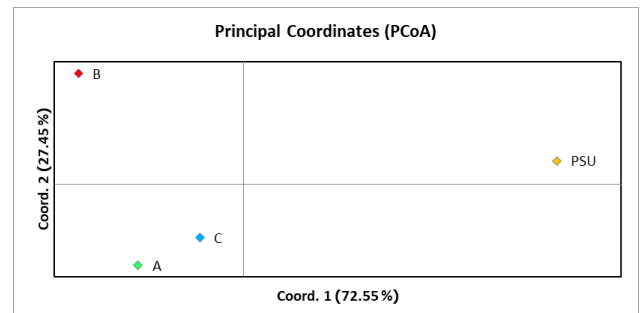


Figure 3 Principal Component Analysis (PCoA) of Betong chicken population from different locations. A = Betong Pikunthong chickens from Pikun Thong Royal Development Study Centre, Narathiwat Province, B = Betong chickens from model farm, Yala Province, C = Betong chickens from Bo Namron farm, Yala Province, PSU = Betong chickens from Animal Production Innovation and Management Division, Faculty of Natural resources, Prince of Songkla University (PSU).

สรุปผลการวิจัย

การศึกษานี้พบเครื่องหมายอินเดลที่มีความหลากหลายทั้งหมด 7 ตำแหน่ง ซึ่งเป็นตำแหน่งที่สามารถนำมาใช้ในการศึกษาความหลากหลายทางพันธุกรรมและโครงสร้างของประชากรไก่เบตงที่รวบรวมมาจากพื้นที่ที่แตกต่างกันได้ ซึ่งความหลากหลายทางพันธุกรรมของไก่เบตงนั้นพบว่ามีค่าความหลากหลายทางพันธุกรรมในระดับปานกลาง ($H_e = 0.299 \pm 0.038$) เมื่อวิเคราะห์ความแตกต่างทางพันธุกรรมจากค่าสัมประสิทธิ์ F (F-coefficient) พบว่าในประชากรทั้งหมดพบการลดลงเฮเทอโรไซโกซิตีเพียงเล็กน้อย ($F_{IT} = 0.016 \pm 0.035$) ขณะที่ในประชากรย่อยไม่พบการเกิดการผสมเลือดชิด ($F_{IS} = -0.094 \pm 0.041$) และในแต่ละประชากรมีความแตกต่างทางพันธุกรรมอยู่ในระดับปานกลาง ($F_{ST} = 0.098 \pm 0.030$) นอกจากนี้ เมื่อทำการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ทางพันธุกรรมพบว่าประชากรไก่เบตงสามารถจำแนกได้เป็น 2 กลุ่ม โดยที่ไก่เบตงจากฟาร์ม A, B และ C ถูกจัดอยู่ในกลุ่มเดียวกัน ซึ่งสอดคล้องกับการวิเคราะห์โครงสร้าง

ประชากร (Structure analysis) และการวิเคราะห์ด้วย Principal component analysis (PcoA) ที่สามารถจำแนกได้เป็น 2 กลุ่มเช่นเดียวกัน ซึ่งอาจเกิดขึ้นเนื่องจากฟาร์มทั้ง 3 แหล่งนี้มีพื้นที่ในการเลี้ยงที่ใกล้เคียงกัน ดังนั้น จากการศึกษาครั้งนี้จะเห็นได้ว่าเครื่องหมายอินเดลสามารถใช้ในการบ่งชี้โครงสร้างทางพันธุกรรมของประชากรไก่เบตงที่รวบรวมมาจากพื้นที่ที่แตกต่างกันได้ ซึ่งผลการศึกษาที่ได้นี้จะป็นข้อมูลทางพันธุกรรมที่สำคัญสำหรับการนำไปวางแผนการผสมพันธุ์ โดยประชากรที่มีความเหมือนกันทางพันธุกรรมนั้นสามารถนำไปผสมข้ามฝูงระหว่างประชากรได้ เพื่อเป็นการอนุรักษ์สายพันธุ์แท้ของประชากรไก่เบตงเอาไว้ และอาจนำเครื่องหมายอินเดลไปประยุกต์ใช้เพื่อศึกษาโครงสร้างทางพันธุกรรมของไก่พื้นเมืองสายพันธุ์อื่น ๆ ได้

กิตติกรรมประกาศ

การวิจัยนี้ได้รับการสนับสนุนจากศูนย์ความเป็นเลิศด้านเทคโนโลยีชีวภาพเกษตร สำนักงานปลัดกระทรวงการอุดมศึกษา วิทยาศาสตร์ วิจัยและนวัตกรรม

Table 1 Chromosome, primer sequence, and size range of InDels marker

No.	Chr: Reference NCBI	Forward primer (3'-5')	Reverse primer (3'-5')	Size range (bp)	TA (C°)
1	1: rs15186483	agctattcagggaaggatg	ggatgcctgtttctggaaga	287-311	60
2	2: rs15953427	tctatcaggccttgacacctt	ttacttgagggtgccaatc	254-282	58
3	4: r s16359295	tataaatgggggtgggtgtgg	caccaaagcagaaatgcaa	281-305	58
4	4: rs16399900	ttgcagcaaaagggaagatt	tggagggaatgcagctgacta	280-306	58
5	6: rs14570404	gctgttcacttggtcttgc	cgaaggactgaaggaaatgaca	326-349	58
6	7: rs14622212	ttaaagccagcacacaatgc	catccagcagtcagcctttt	331-360	58
7	8: rs15908922	ttttcatgggtagtcttagaga	atgctgccttcataactgc	307-327	58
8	10: rs15572293	tgacaaaaactaatctgtgtct	gggtgtgtcaatcctgtttgc	309-330	58
9	13: rs15695194	gggtgggtaatccagctctcc	cttcaggctcaacaggaacc	293-326	60
10	17: rs15027282	ccacaacgactcggtaagaa	gtcattgtctgggaacctcat	287-315	60

Source: Maw et al. (2012).

Table 2 The genetic variability of Betong chicken populations from different farms

Population	Number of Samples	P_{poly}	$H_o \pm SE$	$H_e \pm SE$
A	15	0.857	0.333 ± 0.068	0.354 ± 0.069
B	15	0.714	0.400 ± 0.112	0.318 ± 0.085
C	15	0.857	0.362 ± 0.088	0.330 ± 0.074
PSU	15	0.571	0.210 ± 0.085	0.194 ± 0.078
Total	60	0.750 ± 0.068	0.326 ± 0.044	0.299 ± 0.038

H_o = observed heterozygosity, H_e = expected heterozygosity, P_{poly} = proportion of polymorphic loci, A = Betong Pikunthong chickens from Pikun Thong Royal Development Study Centre, Narathiwat Province, B = Betong chickens from model farm, Yala Province, C = Betong chickens from Bo Namron farm, Yala Province, PSU = Betong chickens from Animal Production Innovation and Management Division, Faculty of Natural resources, Prince of Songkla University (PSU).

Table 3 AMOVA of Betong chicken breed was collected from different locations

Source	df	SS	Variance component	% of variation	F_{st}	P-value
Among population	3	13.275	0.111	9	-	-
Within population	116	127.433	1.099	91	-	-
Total	119	140.708	1.209	100	0.092	0.001

df= degree of freedom, SS= sum of squares, F_{st} : fixation index.

Table 4 F-coefficient for 7 polymorphic loci of Betong chicken breed collected from different locations

Locus	F_{IS}	F_{ST}	F_{IT}
1	-0.055	0.009	-0.045
2	-0.070	0.084	0.020
3	0.008	0.120	0.127
4	-0.329	0.175	-0.097
5	-0.054	0.024	-0.029
7	-0.071	0.051	-0.017
8	-0.088	0.222	0.154
Mean $\pm$ SD	-0.094 $\pm$ 0.041	0.098 $\pm$ 0.030	0.016 $\pm$ 0.035

F_{IS} = deficiency of heterozygosity relative to the Hardy-Weinberg expectation, F_{IT} = the overall inbreeding coefficient, F_{ST} = differentiation among populations.

Table 5 Pairwise F_{ST} of Betong chicken populations from different locations

Population	A	B	C	PSU
A	0.000			
B	0.057	0.000		
C	0.007	0.044	0.000	
PSU	0.104	0.129	0.079	0.000

A = Betong Pikunthong chickens from Pikun Thong Royal Development Study Centre, Narathiwat Province, B = Betong chickens from model farm, Yala Province, C = Betong chickens from Bo Namron farm, Yala Province, PSU = Betong chickens from Animal Production Innovation and Management Division, Faculty of Natural resources, Prince of Songkla University (PSU).

References

- Angkuraseranee, T. (2019). Phenotype and performance of Betong chickens in three southern border Provinces (Pattani, Yala, and Narathiwat). *STOU Journal of Agriculture*, 1(1), 96-103. (in Thai)
- Buranawit, K., Chailungka, C., Wongsunsri, C., & Laenoi, W. (2016). Phenotypic characterization of Thai native black-bone chickens indigenous to northern Thailand. *The Thai Journal of Veterinary Medicine*, 46(4), 547-554. doi: 10.56808/2985-1130.2773
- Choomee, K., & Worananthakij, W. (2017). Genetic diversity of Thai native chickens using RAPD technique. *Proceedings of the 55th Kasetsart university annual conference: science and genetic engineering, architecture and engineering, agro-industry, natural resources and environment* (pp. 152-159). Bangkok, Thailand Kasetsart University. (in Thai)
- Dorji, N., Daungjinda, M., & Phasuk, Y. (2011). Genetic characterization of Thai indigenous chickens compared with commercial lines. *Tropical Animal Health and Production*, 43(4), 779-785. doi: 10.1007/s11250-010-9763-3
- Li, Y. L., & Liu, J. X. (2018). StructureSelector: a web-based software to select and visualize the optimal number of clusters using multiple methods. *Molecular Ecology Resources*, 18(1), 176-177. doi: 10.1111/1755-0998.12719
- Long, A., Qing, Y., Gu, T., Zhu, Q., Liu, Y., Wang, Y., Yin, H., Shu, G., Zang, Y., Lai, S., & Zhao, X. (2017). Genetic variation of nine chicken breeds collected from different altitudes revealed by microsatellites. *The Journal of Poultry Science*, 54(1), 18-25. doi: 10.2141/jpsa.0160033
- Maw, A. A., Kawabe, K., Shimogiri, T., Rerkamnuaychoke, W., Kawamoto, Y., Masuda, S., & Okamoto, S. (2015). Genetic diversity and population structure in native chicken populations from Myanmar, Thailand and Laos by using 102 indels markers. *Asian-Australasian Journal of Animal Sciences*, 28(1), 14-19. doi: 10.5713/ajas.14.0212
- Maw, A. A., Shimogiri, T., Riztyan, K., Kawabe, K., Kawamoto, Y., & Okamoto, S. (2012). Genetic diversity of Myanmar and Indonesia native chickens together with two jungle fowl species by using 102 indels polymorphisms. *Asian-Australasian Journal of Animal Sciences*, 25(7), 927-934. doi: 10.5713/ajas.2011.11511
- Mekchay, S., Supakankul, P., Assawamakin, A., Wilantho, A., Chareanchim, W., & Tongshima, S. (2014). Population structure of four Thai indigenous chicken breeds. *BMC Genetics*, 15(1), 40. doi: 10.1186/1471-2156-15-40
- Nakavisut, S., Trimanee, S., & Rangsoo, T. (2020). *Creating a breeding flock of Betong Pikulthong chickens*. Accessed May 29, 2024. Retrieved from <http://r12.1dd.go.th/pikunthong.pdf>. (in Thai)
- Nassiry, M. R., Javanmard, A., & Tohidi, R. (2009). Application of statistical procedures for analysis of genetic diversity in domestic animal populations. *American Journal of Animal and Veterinary Sciences*, 4(4), 136-141. doi: 10.3844/ajavsp.2009.136.141
- Nualhnuplong, P. (2019). *Betong chicken production system in three border (Pattani Yala and Narathiwat) Provinces* (Doctoral dissertation). Songkhla, Thailand: Prince of Songkla University. (in Thai)
- Peakall, R., & Smouse, P. E. (2012). GenALEx 6.5: genetic analysis in excel. Population genetic software for teaching and research-an update. *Bioinformatics*, 28(19), 2537-2539. doi: 10.1093/bioinformatics/bts460
- Peyachoknagul, S. (2009). *DNA marker, from basic to applications*. Bangkok, Thailand: Kasetsart University. (in Thai)
- Porras-Hurtado, L., Ruiz, Y., Santos, C., Phillips, C., Carracedo, Á., & Lareu, M. V. (2013). An overview of structure: applications, parameter settings, and supporting software. *Frontiers in Genetics*, 4, 98. doi: 10.3389/fgene.2013.00098
- Premoli, A. C. (1997). Genetic variation in a geographically restricted and two widespread species of South American Nothofagus. *Journal of Biogeography*, 24(6), 883-892. doi: 10.1046/j.1365-2699.1997.00115.x

- Sáenz-Romero, C., & Tapia-Olivares, B. L. (2003). *Pinus oocarpa* isoenzymatic variation along an altitudinal gradient in Michoacán, México. *Silvae Genetica*, 52(5), 237-240.
- Takezaki, N., Nei, M., & Tamura, K. (2010). POPTREE2: software for constructing population trees from allele frequency data and computing other population statistics with Windows interface. *Molecular Biology and Evolution*, 27(4), 747-752. doi: 10.1093/molbev/msp312
- Väli, Ü., Brandström, M., Johansson, M., & Ellegren, H. (2008). Insertion-deletion polymorphisms (indels) as genetic markers in natural populations. *BMC Genetics*, 9(1), 1-8. doi: 10.1186/1471-2156-9-8
- Wattanasit, S., Wattanachant, C., Nualhnuplong, P., Bumrungsak, J., Angkuraseranee, T., & Wattanachant, S. (2020). *Guide for raising and management Betong chicken farm, farmer edition*. Songkhla, Thailand: Prince of Sonkla University. (in Thai)

Research article

Population genetic structure of Betong chicken breed collected from different locations revealed by InDel markers

Naowarat Maneechot^{1,2} Teerawat Kantichanakul¹ Nattatida Boonthungjit¹
Supanon Tunim¹ and Pitchayanipa Phongphanich^{1,2*}

¹ Animal Production Innovation and Management Division, Faculty of Natural resources, Prince of Songkla University, Hat Yai Campus, Hat Yai district, Songkhla Province, 90110

²Center of Excellence on Agricultural Biotechnology: (AG-BIO/PERDO-CHE), Bangkok 10900

ARTICLE INFO

Article history

Received: 28 April 2024

Revised: 31 May 2024

Accepted: 2 June 2024

Online published: 16 June 2024

Keyword

Betong chicken

insertion-deletion (InDel) markers

Genetic structure

ABSTRACT

This research aims to study the genetic diversity and population structure of the Betong chicken breed collected from different locations: Betong Pikunthong chickens from Pikun Thong Royal Development Study Centre, Narathiwat Province (A), Betong chickens from model farm, Yala Province (B), Betong chickens from Bo Namron farm, Yala Province (C) and Betong chickens from Animal Production Innovation and Management Division, Faculty of Natural resources, Prince of Songkla University, Songkhla Province (PSU). A total of 60 chickens were selected from Betong chicken breed populations. The samples were analyzed by using 10 insertion-deletion (InDel) markers. This result reveals polymorphism in 7 indels and it was found that the average of polymorphic loci (P_{poly}) was 0.750 ± 0.068 . According to the average expected heterozygosity (H_e) was 0.299 ± 0.038 . Analysis of Molecular Variance (AMOVA) indicated that most of the variation was within the population (91%). The genetic differences from the F-coefficient, we found that a slight reduction in heterozygosity was observed in all populations ($F_{IT} = 0.016 \pm 0.035$), while in the subpopulation was no inbreeding ($F_{IS} = -0.094 \pm 0.041$), and moderate genetic differences were found between populations ($F_{ST} = 0.098 \pm 0.030$). The analysis of genetic relationships using a phylogenetic tree constructed with Neighbor-joining (NJ) revealed that Betong chicken population from farms A, B, and C were genetically close. The Principal Component Analysis (PcoA) and Structure analysis depicted that the studied samples can be divided into two groups ($\Delta K = 2$). In conclusion, InDel markers could be used to indicate the genetic structure of Betong chicken populations collected from different areas and may be applied to study the future genetic analyses of other local chicken breeds.

*Corresponding author

E-mail address: pitchayanipa.K@psu.ac.th (P. Phongphanich)

Online print: 16 April 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.2024.20>



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

บทความวิจัย

ผลของการใช้กากผงชูรสในอาหารต่อสมรรถภาพการเจริญเติบโตของสุกรเล็ก

กิตติพงษ์ ทิพย์ะ กฤดา ชูเกียรติศิริ และ ญัณฐา วิชาศ*

คณะสัตวศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยแม่โจ้ อำเภอสันทราย จังหวัดเชียงใหม่ 50290

ข้อมูลบทความ

Article history

รับ: 30 เมษายน 2567

แก้ไข: 1 มิถุนายน 2567

ตอบรับการตีพิมพ์: 17 มิถุนายน 2567

ตีพิมพ์ออนไลน์: 24 มิถุนายน 2567

คำสำคัญ

กากผงชูรส

สมรรถภาพการเจริญเติบโต

สุกรเล็ก

บทคัดย่อ

การศึกษากากผงชูรสในอาหารต่อสมรรถภาพการเจริญเติบโตของสุกรเล็ก โดยใช้สุกรเพศผู้ จำนวน 12 ตัว ที่มีน้ำหนักเฉลี่ย 11 กิโลกรัม โดยสุกรจะได้รับอาหารชั้น แบ่งเป็น 4 กลุ่ม ได้แก่ กลุ่มที่ 1 กลุ่มควบคุม (ไม่เสริมกากผงชูรส) กลุ่มที่ 2 อาหารชั้นที่เสริมด้วยกากผงชูรส 1 % กลุ่มที่ 3 อาหารชั้นที่เสริมด้วยผงกากชูรส 2 % และกลุ่มที่ 4 อาหารชั้นที่เสริมด้วยกากผงชูรส 3 % ผลการศึกษพบว่า สุกรทุกกลุ่มมีสมรรถภาพการเจริญเติบโตไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) แต่ในการเสริมกากผงชูรส 2 % มีอัตราการเจริญเติบโตเฉลี่ยต่อวัน (ADG) ดีที่สุดเมื่อเทียบกับกลุ่มอื่น เช่นเดียวกับผลต่ออัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นน้ำหนักตัว (FCR) กลุ่มที่เสริมกากผงชูรส 1 % มีค่าที่ดีที่สุด ($p > 0.05$) เมื่อเทียบกับกลุ่มอื่น และการคิดคำนวณต้นทุนค่าอาหารต่อการเพิ่มน้ำหนักตัว (FCG) พบว่ากลุ่มที่เสริมกากผงชูรส 1 % มีค่าต้นทุนอาหารต่ำที่สุด เท่ากับ 43.45 บาท ตามด้วยกลุ่มควบคุม กลุ่มที่เสริมกากผงชูรส 2 และ 3 % เท่ากับ 44.75 45.48 และ 47.16 บาท ตามลำดับ โดยสรุปผลการศึกษานี้แสดงให้เห็นว่าอาหารชั้นที่เสริมกากผงชูรสมีผลต่อสมรรถภาพการเจริญเติบโต โดยสุกรกลุ่มที่ได้รับอาหารชั้นที่เสริมกากผงชูรส 2 % มีสมรรถภาพการเจริญเติบโตที่ดีที่สุดเมื่อเทียบกับกลุ่มควบคุมโดยอาจส่งผลกระทบต่อระยะเวลาการเลี้ยงที่สั้นลงและการใช้กากผงชูรสในสูตรอาหารสามารถใช้ได้โดยไม่ส่งผลเสียต่อประสิทธิภาพการผลิต

บทนำ

ปัจจุบันการเลี้ยงสุกรโดยใช้วัตถุดิบอาหารสัตว์มีความหลากหลายมากยิ่งขึ้น แต่จากสถานการณ์ในปัจจุบันราคาวัตถุดิบมีราคาสูงขึ้นอาจเพราะแหล่งวัตถุดิบชนิดโปรตีนมีราคาสูงขึ้นเนื่องจากการนำเข้า และค่าขนส่งที่เพิ่มสูงขึ้น จึงทำให้เกษตรกรสนใจในการหาแหล่งวัตถุดิบแหล่งอื่น ๆ และสามารถใช้ทดแทนวัตถุดิบโปรตีนที่มีราคาแพง ลดต้นทุนการผลิต หรือเพิ่มผลผลิตสัตว์ให้เพิ่มขึ้น เพราะต้นทุนในการผลิตสุกรแต่ละตัวนั้น ถือเป็นค่าอาหารประมาณ 80 % ของค่าใช้จ่ายทั้งหมด (Kananurak, 1987) ทำให้เกษตรกรจึงตระหนักถึงต้นทุนในการผลิตสุกรที่ส่งผลถึงกำไรในการผลิตได้ เพราะโภชนะในการเลี้ยงสัตว์โปรตีนถือเป็นแหล่งอาหารที่มีบทบาทสำคัญและมีราคาค่อนข้างสูง อาทิเช่น ปลาป่น เนื้อป่น กระดูกป่น หรือกากถั่วเหลือง ซึ่งเป็นแหล่งโปรตีนที่นิยมใช้ มีปริมาณโปรตีนสูง และยังมีกรดอะมิโนที่จำเป็นต่อการเจริญเติบโตของร่างกาย เพราะเหตุนี้ทำให้เกษตรกรนิยมใช้เป็นส่วนประกอบอาหารสุกร แต่ยังมีข้อจำกัดในการใช้กากถั่วเหลือง คือ ถ้าการใช้กากถั่วเหลืองไม่ผ่านกระบวนการใด ๆ หรือการใช้

ถั่วเหลืองดิบในอาหารสุกร อาจส่งผลกระทบต่อสัตว์ได้เนื่องจากมีสารพิษหรือสารต้านโภชนะ เช่น สารขัดขวางการทำงานของน้ำย่อยโปรตีน (Trypsin inhibitor) สารที่ทำให้เม็ดเลือดแดงแตก (Lectins) และสารที่ทำให้เกิดอาการบวมแพ้ (β -conglycinin)

เป็นต้น อาจทำให้อัตราการผลิตลดลง อัตราการตายเพิ่ม และส่งผลกระทบต่อกระบวนการย่อยโปรตีน คาร์โบไฮเดรต และไขมันลดลงได้ (Herkelman et al., 1992) และอาจกระทบต่อระบบการย่อยของสุกรที่ยังทำงานได้ไม่ดี อาจส่งผลเสียทำให้สุกรเกิดการท้องเสียได้ เช่นเดียวกับการใช้ปลาป่น การใช้ไม่ควรสูงเกินกว่า 10 % นอกจากนี้ อาจส่งผลกระทบต่อเนื้อสุกร ทำให้เกิดกลิ่นคาวได้ โดยต้องเลือกใช้ให้เหมาะสมกับสูตรอาหารสัตว์แต่ละชนิด และการใช้ต้องระมัดระวังในเรื่องการปลอมปนวัสดุอื่น ๆ อาทิ เช่น ทราย เปลือกหอยบด ยูเรีย ขนไก่ เป็นต้น และอาจส่งผลทำให้คุณค่าทางอาหารลดลง ดังนั้นจึงมีการหาวัตถุดิบที่มีราคาถูก สามารถหาได้ง่าย มีคุณค่าทางโภชนะสามารถนำมาเสริมในอาหารในการเลี้ยงสัตว์เพื่อลดต้นทุนการผลิตได้

กากผงชูรสเป็นผลพลอยได้จากอุตสาหกรรมการผลิตผงชูรส มีลักษณะเป็นสีน้ำตาล มีโปรตีนรวม (Crude protein, CP) 29.13 % มีกรดกลูตาเมต (Glutamate) 3.03 % มีคุณค่าทางโภชนะที่สามารถนำไปเลี้ยงสัตว์ได้ โดยจัดเป็นสารประกอบไนโตรเจนที่ไม่ใช่โปรตีน (Non-protein nitrogen, NPN) (Padunglerk et al., 2015) โดยมีการรายงานของ Umami Information Center (n.d.) เป็นผู้ริเริ่มการแยกส่วนประกอบของอูมามิทำให้เกิดความบริสุทธิ์และเป็นโมโนโซเดียมกลูตาเมต (Monosodium glutamate, MSG) และสามารถเป็นสารเติมแต่งในอาหารได้ โดยมีคุณสมบัติที่โดดเด่น คือ เพิ่มรสชาติให้อาหารมีความกลมกล่อมมากขึ้น และเป็นสารที่มีผลก่อกวนไม่มากนัก

*Corresponding author

E-mail address: nan_nanattha@hotmail.com (N. Vigad)

Online print: 24 June 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.2024.21>

โมโนโซเดียมกลูตาเมตช่วยเพิ่มรสชาติพื้นฐาน 4 รส คือ รสหวาน รสเค็ม รสเปรี้ยว และรสขม และโมโนโซเดียมกลูตาเมต สามารถ กระตุ้น Glutamate receptor ทำให้มีรสชาติเฉพาะตัวเรียกว่า อูมามิ (MSG) เป็นเกลือโซเดียมและเป็นส่วนประกอบหลักของ Protein โดย ผงชูรสหรือโมโนโซเดียมกลูตาเมต (MSG) ซึ่งเป็นเกลือโซเดียมของ กลูตาเมตเป็นเครื่องปรุงรสในอาหารที่มีการส่งออกและบริโภคมาก ที่สุด โดยช่วงระยะเวลา 5 ปีที่ผ่านมา การผลิตผงชูรสในประเทศไทย เติบโตเฉลี่ย 1.4 % ต่อปีและมีมูลค่าตลาดอยู่ที่ 6,500 ล้านบาท คิดเป็น 19.5 % ของมูลค่าตลาดเครื่องปรุงรสทั้งหมด (Setthithon, 2021) และตามข้อมูลเผยแพร่โดยอุตสาหกรรมกรมการหมักทางชีวภาพ ในประเทศจีน พบว่าในทวีปเอเชีย มีการผลิตผงชูรสสูงที่สุด โดย ประเทศจีนเป็นผู้ผลิตและส่งออกรายใหญ่ที่สุด โดยคิดเป็นประมาณ 76 % ของกำลังการผลิตผงชูรสทั้งหมดของโลก (Yang et al., 2023) โดยจะเห็นได้ว่ากำลังการผลิตผงชูรสมีมากในเอเชียรวมถึงประเทศไทย ดังนั้นการนำกากผงชูรสที่เป็นผลพลอยได้ในการผลิตผงชูรสจึงเป็น ตัวเลือกอีกทางหนึ่งในการเสริมในอาหารสัตว์ในทางปศุสัตว์ได้ โดยการ นำมาเสริมในการเลี้ยงสัตว์ทั้งในสัตว์ปีก โค รวมถึงการเลี้ยงสุกร ซึ่งจากการรายงานก่อนหน้านี้ พบว่า การเสริมผงชูรสมีบทบาทสำคัญ ในการเผาผลาญน้ำตาล ไขมัน และโปรตีน (กรดอะมิโน) โดยสามารถ นำมาปรับเป็นสูตรอาหารของลูกสุกรได้ (Wang et al., 2020) และการเสริมผงชูรสยังสามารถส่งผลต่อความเข้มข้นของกรดอะมิโน จำเป็นหลายชนิดที่ร่างกายไม่สามารถสังเคราะห์ได้ ได้แก่ ฮิสทีดิน เมไทโอนีน วาลีน ฟีนิลอะลานีน ไอโซลิวซีน ลิวซีน และไลซีน (Dai et al., 2010; Dai et al., 2011; Dai et al., 2012) อีกทั้ง การเสริม ผงชูรสในลูกสุกรหย่านมส่งผลให้ความเข้มข้นของฮอร์โมนในพลาสมา ปริมาณกรดอะมิโนโดยรวมเพิ่มขึ้น รวมถึงช่วยเพิ่มการสังเคราะห์และ เพิ่มความเข้มข้นของฮีโมโกลบินในเลือดอีกด้วย (Rezaei et al., 2013) โดยจากการศึกษาก่อนหน้านี้ ทำให้เป็นแนวทางหนึ่งในการ ปรับปรุงต้นทุนการผลิตให้ต่ำลง ส่งผลต่อประสิทธิภาพในการผลิต โดยเป็นการเสริมกากผงชูรส (Figure 1) ในสูตรอาหารสุกรเล็ก ในการศึกษาครั้งนี้จึงมีจุดมุ่งหมายเพื่อศึกษาผลของการเสริมกากผงชูรสในอาหารต่อสมรรถภาพการเจริญเติบโตและสามารถลดต้นทุนด้าน อาหารในสุกรเล็ก

อุปกรณ์และวิธีการวิจัย

ใช้สุกรลูกผสมสามสายพันธุ์ (แลนด์เรซ × ลาร์จไวท์ × ดุริโอก) เพศผู้ จำนวน 12 ตัว น้ำหนักเริ่มต้นการทดลองประมาณ 11 กิโลกรัม แบ่งการทดลองเป็น 4 กลุ่ม กลุ่มละ 3 ข้ำ ซ้ำละ 1 ตัว โดยวางแผนการ ทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ (Completely randomized design, CRD)

โดยสุกรจะได้รับอาหารชั้นที่เสริมด้วยกากผงชูรสต่างกัน 4 ระดับ ได้แก่

- กลุ่มที่ 1 กลุ่มควบคุม (ไม่เสริมกากผงชูรส) (NC)
- กลุ่มที่ 2 อาหารชั้นที่เสริมด้วยกากผงชูรส 1 % (T1)
- กลุ่มที่ 3 อาหารชั้นที่เสริมด้วยกากผงชูรส 2 % (T2)
- กลุ่มที่ 4 อาหารชั้นที่เสริมด้วยกากผงชูรส 3 % (T3)



Figure 1 Monosodium glutamate residue.

โดยคำนวณสูตรอาหารให้มีโภชนะต่าง ๆ ตามคำแนะนำของ (NRC) (1998) และใช้โปรแกรม FeedLive 1.60 ในการคำนวณ โดยคุณค่าทางโภชนะและกรดอะมิโน แสดงไว้ใน Table 1 และ ส่วนประกอบสูตรอาหารของสุกรแสดงไว้ใน Table 2 โดยสุกรทุกกลุ่ม จะได้รับน้ำและอาหารอย่างเต็มที่ ทำการบันทึกน้ำหนักตัวทุกสัปดาห์ รวมทั้งบันทึกปริมาณอาหารที่กิน เลี้ยงสุกรในโรงเรือนระบบเปิด ช่วงกลางวันสุกรได้รับแสงสว่างจากธรรมชาติ ในช่วงกลางคืนสุกร ได้รับไฟกกและกระสอบป่านปูรองนอนเพื่อให้ความอบอุ่น โดยทำการ ทดลองเป็นระยะเวลา 30 วัน และเมื่อสิ้นสุดการทดลอง (น้ำหนักเฉลี่ย 26 กิโลกรัม) มีการนำข้อมูลที่ได้มาคำนวณหาประสิทธิภาพการ เจริญเติบโต ได้แก่ อัตราการเจริญเติบโต (ADG) ประสิทธิภาพการ เปลี่ยนอาหารเป็นน้ำหนักตัว (FCR) ปริมาณอาหารที่กินเฉลี่ยต่อวัน (ADFI) และต้นทุนค่าอาหารต่อการผลิตเนื้อ (FCG) โดยในงานทดลอง นี้ ดำเนินการ ณ ฟาร์มสุกรคอกหลัง (โรงเรือนแบบเปิด) คณะสัตวศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยแม่โจ้ จังหวัดเชียงใหม่ และมีการจัดการสัตว์ทดลองตามหลักเกณฑ์ของมหาวิทยาลัยแม่โจ้ (MACUC 008A/2567)

การวิเคราะห์ทางสถิติ

นำข้อมูลสมรรถภาพการเจริญเติบโตที่ได้มาเพื่อเปรียบเทียบ ความแตกต่างวิเคราะห์ความแปรปรวน (Analysis of variance) ด้วยวิธี Duncan's new multiple range test โดยโปรแกรม SAS® University Edition

Table 1 Analyzed chemical composition and amino acid of monosodium glutamate residue (%)

Analyzed chemical composition	%
Crude protein	69.68
Crude fiber	4.03
Pepsin digestibility	80.81
NFE	0.08
Ash	23.71
Moisture	2.3
Humic acid	4.11
Fulvic acid	27
pH	4.57
Total calories	2,808 Kcal/kg
Analyzed amino acid	
Glutamic acid	5.56
Asparagine	0.74
Threonine	0.15
Serine	0.07
Proline	0.09
Glycine	0.22
Alanine	0.87
Valine	0.25
Methionine	0.07
Isoleucine	0.16
Leucine	0.25
Tyrosine	0.11
Phenylalanine	0.13
Histidine	0.05
Lysine	0.08

Source: Thai Vet Nutri Tech Co., LTD. (n.d.).

Table 2 Composition of experimental diet (%)

Ingredient	(%)				Cost per kg (Baht)
	Control	T1	T2	T3	
Corn	47	47	47	47	11.90
Soybean meal	8	8	8	8	21.25
Rice bran	15	15	15	15	29.00
Full fat soybean	22	22	22	22	25.60
Fish meal	3.8	2.8	1.8	0.8	51.70
Limestone (CaCO ₃)	1.4	1.4	1.4	1.4	40.00
Dicalcium phosphate (BONE)	1.8	1.8	1.8	1.8	25.00
Lysine	0.2	0.2	0.2	0.2	56.00
Salt	0.2	0.2	0.2	0.2	5.00
Premix	0.4	0.4	0.4	0.4	75.00
Mycotoxin binder	0.2	0.2	0.2	0.2	170.00
Monosodium glutamate	-	1	2	3	20.30
Feed cost (Baht)	21.01	20.70	20.38	20.07	

Control = pigs received basal diet without monosodium glutamate residue; T1 = pigs received basal diet with monosodium glutamate residue 1 %; T2 = pigs received basal diet with monosodium glutamate residue 2 %; T3 = pigs received basal diet with monosodium glutamate residue 3 %.

ผลและวิจารณ์ผลการวิจัย

ผลการศึกษาการใช้กากผงชูรสในอาหารต่อสมรรถภาพการเจริญเติบโตของสุกรเล็ก พบว่าปริมาณอาหารที่กินต่อตัว (ADFI) และน้ำหนักตัวที่เพิ่มขึ้นต่อวัน (ADG) ในแต่ละกลุ่ม มีความแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) โดยอัตราการเจริญเติบโตต่อวันมีแนวโน้มว่าลูกสุกรที่ได้รับอาหารที่มีการเสริมกากผงชูรสในกลุ่ม T2 มีอัตราการเจริญเติบโตต่อวันสูงที่สุดเมื่อเทียบกับทุกกลุ่ม โดยมีค่า ADG เฉลี่ยเท่ากับ 0.53 กิโลกรัม และกลุ่ม NC T1 และ T3 เท่ากับ 0.50 0.49 และ 0.45 กิโลกรัมตามลำดับ ($p > 0.05$) เช่นเดียวกับปริมาณอาหารที่กินต่อตัว ในกลุ่ม T2 มีค่าเท่ากับ 1.18 กิโลกรัม

สูงที่สุดเมื่อเทียบกับกลุ่ม NC T1 และ T3 เท่ากับ 1.09 1.03 และ 1.07 กิโลกรัม ตามลำดับ ($p > 0.05$) แต่กลุ่มที่ได้รับอาหารที่มีการเสริมกากผงชูรสในกลุ่ม T1 มีอัตราการแลกเปลี่ยนเนื้อ (FCR) ต่ำที่สุดเท่ากับ 2.08 เมื่อเทียบกับทุกกลุ่มที่แตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) โดยกลุ่ม NC T2 และ T3 มีอัตราการแลกเปลี่ยนเนื้อ (FCR) เฉลี่ยเท่ากับ 2.13 2.23 และ 2.35 ตามลำดับ และส่วนต้นทุนค่าอาหารต่อการผลิตเนื้อ (FCG) ลูกสุกรที่ได้รับอาหารที่มีการเสริมกากผงชูรสในกลุ่ม T1 เท่ากับ 43.05 บาท มีต้นทุนค่าอาหารต่อการผลิตเนื้อต่ำที่สุดเมื่อเทียบกับกลุ่มอื่น โดยกลุ่ม NC T2 และ T3 เท่ากับ 44.75 45.46 และ 47.16 บาท ตามลำดับ (Table 3) โดยหากคิดจาก

ค่าอาหารต่อน้ำหนักตัวที่เพิ่มขึ้น (FCG) ใน 1 กิโลกรัม กลุ่มที่เสริมกากผงชูรสที่ระดับ 1 % มีแนวโน้มดีที่สุด แต่หากคำนวณจากน้ำหนักตัวที่เพิ่มขึ้นกลุ่มที่ได้รับกากผงชูรส 2 % มีน้ำหนักตัวดีที่สุดและมีแนวโน้มการเจริญเติบโตดีกว่ากลุ่มอื่นทำให้สามารถประหยัดระยะเวลาในการเลี้ยงหรือการจับจำหน่ายได้ไวขึ้นเมื่อเทียบกับกลุ่มอื่น ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Rezaei et al. (2022) พบว่า อาหารที่เสริมผงชูรส 1-2 % ส่งผลต่อการผลิตน้ำนมและการเจริญเติบโตของแม่สุกรให้นมแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ และจากการศึกษาของ Luise et al. (2022) การเสริมกลูตาเมต (Glu) และกลูตามีน (Gln) ในอัตราส่วน (25 + 50-75 + 50) โดยการเสริมในอาหารของลูกสุกรหลังหย่านมพบว่า ส่งผลต่อการทำงานของระบบภูมิคุ้มกันและลำไส้ อีกทั้งทำให้อุจจาระมีความคงตัวเพิ่มขึ้นและการเจริญเติบโตที่ดีขึ้นในช่วง 2 สัปดาห์แรกหลังหย่านม แต่ในแม่สุกรยังมีข้อจำกัดปริมาณ กลูตาเมตในอาหารเนื่องจากหลังหย่านมแม่สุกรจะมีการกินอาหารที่ลดลงอย่างเห็นได้ชัดอาจส่งผลต่อลูกสุกรได้ (Wu, 2010) ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Lalles et al. (2007) พบว่า ถ้าได้รับปริมาณกลูตาเมตที่มากเกินไปอาจส่งผลต่อลำไส้ฝ่อ อักเสบ ความผิดปกติในการดูดซึมอาหารและเสียชีวิตได้มากที่สุด แต่จากผลการทดลองไม่สอดคล้องกับงานวิจัยของ Kananurak (1987) ผลของการเติมน้ำกากผงชูรสในอาหารสุกรรุ่นและขุน ไม่ส่งผลต่อประสิทธิภาพการเจริญเติบโตและปริมาณอาหารที่กิน และไม่ส่งผลต่อต้นทุนการผลิตสุกรขุนลดต่ำลงเมื่อเทียบกับกลุ่มที่ไม่ได้รับ แต่ในการเติมน้ำกากผงชูรสในระดับที่

10 % มีแนวโน้มทำให้สีของเนื้อสุกรมีสีที่เข้มข้น โดยจากการศึกษาก่อนหน้านี้พบว่า กลไกการทำงานของกากผงชูรสที่ส่งผลต่อการเจริญเติบโตในลูกสุกร เพราะในกากผงชูรส หรือ Monosodium glutamate มีองค์ประกอบ คือ โปรตีน ซึ่งเป็นส่วนหนึ่งของกรดกลูตาเมต โดยกรดกลูตาเมตจะเป็นสารตั้งต้นเฉพาะของกรดอะมิโน กลูตาไธโอน อาร์จินีน และโพรลีน ที่สามารถสังเคราะห์ได้ในลำไส้ของสัตว์เลี้ยงลูกด้วยนม (Reeds et al., 1997; Wu & Morris Jr, 1998) โดยกรดกลูตามิกสามารถช่วยในการเผาผลาญและการดูดซึมทางสรีรวิทยาของลำไส้ให้ทำงานอย่างเป็นปกติ และยังเกี่ยวข้องในการสังเคราะห์และออกซิเดชันในเนื้อเยื่อทำหน้าที่เป็นสารสื่อประสาท (Kirchgessner, 2001) และสามารถเป็นพลังงานที่สำคัญในการทำงานของลำไส้เล็ก (Burrin & Stoll, 2009) หรือกระตุ้นการทำงานในลำไส้ (Gabriel et al., 2009) และยังช่วยในการควบคุม การปล่อยฮอร์โมน เช่น Norepinephrine และ Glucagon-like peptide-1 หรือ GLP-1 (Smriga & Torii, 2000) โดยเป็นฮอร์โมน (Peptide hormone) ที่สร้างจากเยื่อหุ้มในลำไส้เล็กส่วนปลาย โดยจะหลั่งออกมาเพื่อตอบสนองต่อการบริโภคอาหาร และออกฤทธิ์ต่อระบบต่าง ๆ ภายในร่างกาย (Holst, 2007; Al-Badri et al., 2018) ดังนั้น จากการศึกษา ก่อนหน้าพบว่า การให้ผงชูรสในปริมาณที่เหมาะสมสามารถกระตุ้นการบริโภคอาหารของสัตว์เลี้ยงลูกด้วยนมได้ และยังช่วยในการต้านอนุมูลอิสระ ดูดซึมสารอาหารในลำไส้เล็ก และสามารถลดไขมันพอกตับในลูกสุกรได้ (Rezaei et al., 2013; Gabriel & Uneyama, 2013)

Table 3 Replacement of monosodium glutamate residue on growth performance and feed cost

Item	Experimental group				p-value
	Control	T1	T2	T3	
Initial weight (kg)	11.00 ± 0.50	11.16 ± 0.60	12.16 ± 1.52	11.33 ± 1.16	0.68
Final weight (kg)	25.66 ± 1.15	25.66 ± 3.05	27.66 ± 1.52	24.66 ± 1.52	0.44
Increasing weight (kg)	14.66 ± 1.25	14.50 ± 1.50	15.50 ± 1.00	13.33 ± 1.52	0.33
Average daily gain (kg)	0.50 ± 0.04	0.49 ± 0.05	0.53 ± 0.03	0.45 ± 0.05	0.30
Average daily feed intake (kg)	1.09 ± 0.08	1.03 ± 0.07	1.18 ± 0.17	1.07 ± 0.07	0.43
Feed conversion ration	2.13 ± 0.28	2.08 ± 0.11	2.23 ± 0.41	2.35 ± 0.24	0.67
Feed cost per gain (Baht: kg)	44.75	43.05	45.46	47.16	

Control = pigs received basal diet without monosodium glutamate residue; T1 = pigs received basal diet with monosodium glutamate residue 1 %; T2 = pigs received basal diet with monosodium glutamate residue 2 %; T3 = pigs received basal diet with monosodium glutamate residue 3 %.

สรุปผลการวิจัย

การใช้กากผงชูรสในอาหารต่อสมรรถภาพการเจริญเติบโตของสุกรเล็ก พบว่า การใช้ปริมาณกากผงชูรส ในระดับ 2 % ส่งผลต่อประสิทธิภาพการเจริญเติบโตดีกว่ากลุ่มอื่น ทำให้สามารถประหยัดระยะเวลาในการเลี้ยงหรือการจับจำหน่ายได้ไวขึ้น และจากการศึกษาแสดงให้เห็นว่าการใช้กากผงชูรสในอาหารไม่ส่งผลเสียต่อการเจริญเติบโตของสุกรและยังสามารถลดต้นทุนค่าอาหารในการเป็นน้ำหนักตัวได้อีกด้วย

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณ บริษัท ไทยเวทนิวเทรค จำกัด สำหรับความอนุเคราะห์สารเสริมกากผงชูรส ซึ่งเป็นผลพลอยได้ที่ใช้เป็นองค์ประกอบในสูตรอาหารของงานวิจัยนี้ และขอขอบคุณณพารมสุรคณเสถียรศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยแม่โจ้ ที่ได้เอื้อเฟื้อสถานที่และสัตว์ทดลองในงานวิจัยนี้ จากการสนับสนุนดังกล่าวทำให้งานวิจัยนี้สามารถสำเร็จลงไปได้ด้วยดี

References

- Al-Badri, G., Leggio, G. M., Musumeci, G., Marzagalli, R., Drago, F., & Castorina, A. (2018). Tackling dipeptidyl peptidase IV in neurological disorders. *Neural Regeneration Research*, 13(1), 26-34. doi: 10.4103/1673-5374.224365
- Burrin, D. G., & Stoll, B. (2009). Metabolic fate and function of dietary glutamate in the gut. *American Journal of Clinical Nutrition*, 90(3), 850s-856s. doi: 10.3945/ajcn.2009.27462Y
- Dai, Z. L., Li, X. L., Xi, P. B., Zhang, J., Wu, G., & Zhu, W. Y. (2012). Metabolism of select amino acids in bacteria from the pig small intestine. *Amino Acids*, 42(5), 1597-1608. doi: 10.1007/s00726-011-0846-x
- Dai, Z. L., Wu, G., & Zhu, W. Y. (2011). Amino acid metabolism in intestinal bacteria: links between gut ecology and host health. *Frontiers in Bioscience*, 16(5), 1768-1786. doi:

- 10.2741/3820
- Dai, Z. L., Zhang, J., Wu, G., & Zhu, W.Y. (2010). Utilization of amino acids by bacteria from the pig small intestine. *Amino Acids*, 39(5), 1201–1215. doi: 10.1007/s00726-010-0556-9
- Gabriel, A. S., & Uneyama, H. (2013). Amino acid sensing in the gastrointestinal tract. *Amino Acids*, 45(3), 451–461. doi: 10.1007/s00726-012-1371-2
- Gabriel, A., S. Nakamura, E., Uneyama, H., & Torii, K. (2009). Taste, visceral information and exocrine reflexes with glutamate through umami receptors. *The Journal of Medical Investigation*, 56(Suppl), 209-217. doi: 10.2152/jmi.56.209
- Herkelman, K. L., Cromwell, G. L., Stahly, T. S., Pfeiffer, T. W., & Knabe, D. A. (1992). Apparent digestibility of amino acids in raw and heated conventional and low-trypsin-inhibitor soybeans for pigs. *Journal of Animal Science*, 70(3), 818–826. doi: 10.2527/1992.703818x
- Holst, J. J. (2007). The physiology of glucagon-like peptide 1. *Physiological Reviews*, 87(4), 1409-1439. doi: 10.1152/physrev.00034.2006
- Kananurak, P. (1987). Effect of fermented mother liquid (FML) supplementation to growing and finishing swine ration. *Agriculture and Natural Resources*, 21(3), 263-270. (in Thai)
- Kirchgesner, A. L. (2001). Glutamate in the enteric nervous system. *Current Opinion in Pharmacology*, 1(6), 591-596. doi: 10.1016/S1471-4892(01)00101-1
- Lalles, J. P., Bosi, P., Smidt, H., & Stokes, C. R. (2007). Weaning- a challenge to gut physiologists. *Livestock Science*, 108(1-3), 82-93. doi: 10.1016/j.livsci.2007.01.091
- Luise, D., Correa, F., Chalvon-Demersay, T., Galosi, L., Rossi, G., Lambert, W., Bosi, P., & Trevisi, P. (2022). Supplementation of mixed doses of glutamate and glutamine can improve the growth and gut health of piglets during the first 2 weeks post-weaning. *Scientific Reports*, 12(1), 14533. doi: 10.1038/s41598-022-18330-5
- National Research Council (NRC). (1998). *Nutrient requirements of swine* (10th ed.). Washington, D. C., United States: National Academy Press.
- Padunglerk, A., Sivichai, S., Hongyantrachai, S., Prasanpanich, S., & Kongmun, P. (2015). Utilization of monosodium glutamate by-product (TxML) as protein source for lactating dairy cows diet on milk yield, milk qualities and economic value. *Proceedings of the 52nd Kasetsart university annual conference* (pp. 33-39). Bangkok, Thailand: Kasetsart University. (in Thai)
- Reeds, P. J., Burrin, D. G., Stoll, B., Jahoor, F., Wykes, L., Henry, J., & Frazer, M. E. (1997). Enteral glutamate is the preferential source for mucosal glutathione synthesis in fed piglets. *American Journal of Physiology-Endocrinology and Metabolism*, 273(2), E408–E415. doi: 10.1152/ajpendo.1997.273.2.E408
- Rezaei, R., Gabriel, A. S., & Wu, G. (2022). Dietary supplementation with monosodium glutamate enhances milk production by lactating sows and the growth of suckling piglets. *Amino Acids*, 54(7), 1055-1068. doi: 10.1007/s00726-022-03147-3
- Rezaei, R., Knabe, D. A., Tekwe, C. D., Dahanayaka, S., Ficken, M. D., Fielder, S. E., Eide, S. J., Lovering, S. L., & Wu, G. (2013). Dietary supplementation with monosodium glutamate is safe and improves growth performance in post weaning pigs. *Amino Acids*, 44(3), 911-923. doi: 10.1007/s00726-012-1420-x
- Setthithon, S. (2021). *Thailand food market report*. Accessed June 2, 2027. Retrieved from https://fic.nfi.or.th/upload/market_overview/pdf325.
- Smriga, M., & Torii, K. (2000). Release of hypothalamic norepinephrine during MSG intake in rats fed normal and nonprotein diet. *Physiology & Behavior*, 70(3-4), 413–415. doi: 10.1016/S0031-9384(00)00262-6
- Thai Vet Nutri Tech Co., LTD. (n.d.). *Analyzed chemical composition and amino acid of monosodium glutamate residue*. Chon Buri, Thailand: Thai Vet Nutri Tech Co., LTD.
- Umami Information Center. (n.d.). *Discoverer of umami Kikunae Ikeda*. Accessed April 5, 2024. Retrieved from <https://www.umamiinfo.com/ikedakikunae/>.
- Wang, Z., Zhang, J., Wu, P., Luo, S., Li, J., Wang, Q., Huang, P., Li, Y., Ding, X., Hou, Z., Wu, D., Huang, J., Tu, Q., & Yang, H. (2020). Effects of oral monosodium glutamate administration on serum metabolomics of suckling piglets. *Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition*, 104(1), 269-279. doi: 10.1111/jpn.13212
- Wu, G. (2010). Functional amino acids in growth, reproduction, and health. *Advances in Nutrition*, 1(1), 31-37. doi: 10.3945/an.110.1008
- Wu, G. Y., & Morris Jr, S. M. (1998). Arginine metabolism: nitric oxide and beyond. *Biochemical Journal*, 336(1), 1-17. doi: 10.1042/bj3360001
- Yang, D., Li, H., Jia, X., Yu, F., Wang, G., Zhang, Y., Wang, W., Zang, L., & Shi, F. (2023). Carbon footprint of monosodium glutamate production in China. *Chemical Engineering Transactions*, 103, 739-744. doi: 10.3303/CET23103124

Research article

Effect of monosodium glutamate residue in diet on growth performance of piglet

Kittiphong Tippaya Kridda Chukiatsiri and Nattha Vigad*

Faculty of Animal Science and Technology, Maejo University, Sansai district, Chiangmai Province, 50290

ARTICLE INFO**Article history**

Received: 30 April 2024

Revised: 1 June 2024

Accepted: 17 June 2024

Online published: 24 June 2024

Keyword

Monosodium Glutamate

Growth Performance

Piglet

ABSTRACT

A study was conducted to investigate the effect of monosodium glutamate residue in the diet on the growth performance of piglets. Twelve male piglets with an average weight of 11 kilograms were divided into four experimental groups: Group 1, the control group (unsupplemented with monosodium glutamate); Group 2, feed supplemented with 1% monosodium glutamate; Group 3, feed supplemented with 2% monosodium glutamate; and Group 4, feed supplemented with 3% monosodium glutamate. The results showed no statistically significant differences in daily feed intake and average daily gain (ADG) between the groups ($P > 0.05$). The 2% monosodium glutamate group had a greater ADG than the other groups. Regarding the feed conversion rate (FCR), the group supplemented with 1% monosodium glutamate had a greater FCR ($P < 0.05$) compared to the other groups. The calculation of feed cost per gain (FCG) revealed that the group supplemented with 1% monosodium glutamate had the lowest cost at 43.45 baht, followed by the control group at 44.75 baht, and the groups supplemented with 2% and 3% monosodium glutamate at 45.48 and 47.16 baht, respectively. In conclusion, 2% monosodium glutamate in the diet is beneficial for growth performance compared to the feed cost per body weight, potentially leading to a shorter raising period. It can be used in feed without having a negative effect on productive performance.

*Corresponding author

E-mail address: nan_nanattha@hotmail.com (N. Vigad)

Online print: 24 June 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.2024.21>



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

บทความวิจัย

การใช้ข้าวโพดมอลต์หมักยีสต์ร่วมกับเปลือกข้าวโพดหมักยีสต์และกรดแลคติก โดยใช้เทคนิคผลผลิต แก๊สในห้องปฏิบัติการ

รัชณี บัวระภา^{1*} สุรชาติพย์ ไชยวงศ์¹ กฤษณธร ลินตะละ¹ กัญญ์ฐญา จินต์ตุนวรากุล¹ ณัฐกร ไชยแสน¹

ปิยมาสฐ์ ตันท์เจริญรัตน์² และ วุฒิกร สระแก้ว¹

¹สาขาวิชาสัตวศาสตร์และประมง คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการเกษตร มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา น่าน อำเภอภูเพียง จังหวัดน่าน 55000

²สาขาวิชาสัตวศาสตร์และประมง คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการเกษตร มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา ลำปาง อำเภอเมือง จังหวัดลำปาง 52000

ข้อมูลบทความ

Article history

รับ: 8 พฤษภาคม 2567

แก้ไข: 5 มิถุนายน 2567

ตอบรับการตีพิมพ์: 19 มิถุนายน 2567

ตีพิมพ์ออนไลน์: 25 มิถุนายน 2567

คำสำคัญ

ข้าวโพดมอลต์

เปลือกข้าวโพด

จุลินทรีย์กรดแลคติก

ยีสต์

เทคนิคผลผลิตแก๊สในห้องทดลอง

บทคัดย่อ

วัตถุประสงค์เพื่อศึกษาการใช้วัตถุดิบข้าวโพดมอลต์หมักยีสต์ร่วมกับเปลือกข้าวโพดที่ผ่านการหมักยีสต์และจุลินทรีย์ แลคติก ในสูตรอาหารที่มีผลต่อองค์ประกอบทางเคมี ผลผลิตแก๊สที่หมักย่อยและค่าความสามารถในการย่อยโดยเทคนิคในห้องปฏิบัติการ โดยวางแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ (Completely randomized design, CRD) แบ่งปัจจัยการศึกษาออกเป็น 5 ปัจจัย ดังนี้ ทรีทเมนต์ 1 สูตรอาหารข้าวโพดบด : เปลือกข้าวโพดหมักด้วยยีสต์และจุลินทรีย์แลคติก สัดส่วน 50 : 50 ทรีทเมนต์ 2 สูตรอาหารข้าวโพดมอลต์หมักยีสต์ : เปลือกข้าวโพดหมักด้วยยีสต์และจุลินทรีย์แลคติก สัดส่วน 50 : 50 ทรีทเมนต์ 3 สูตรอาหารข้าวโพดมอลต์หมักยีสต์ : เปลือกข้าวโพดหมักด้วยยีสต์และจุลินทรีย์แลคติก สัดส่วน 60 : 40 ทรีทเมนต์ 4 สูตรอาหารข้าวโพดมอลต์หมักยีสต์ : เปลือกข้าวโพดหมักด้วยยีสต์และจุลินทรีย์แลคติก สัดส่วน 70 : 30 และทรีทเมนต์ 5 สูตรอาหารข้าวโพดมอลต์หมักยีสต์ : เปลือกข้าวโพดหมักด้วยยีสต์และจุลินทรีย์แลคติก สัดส่วน 80 : 20 พบว่า ค่าองค์ประกอบทางเคมี ได้แก่ วัตถุแห้ง มีค่าเท่ากับ 64.99 53.55 51.49 50.99 และ 50.15 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ โปรตีน มีค่าเท่ากับ 13.50 14.20 14.50 15.20 และ 15.70 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ และค่าการย่อยได้ของวัตถุแห้ง (*in vitro* dry matter digestibility, IVDMD) ที่บ่ม 24 ชั่วโมงของอาหารทั้ง 5 สูตร มีค่าเท่ากับ 65.80 69.25 72.93 73.35 และ 76.70 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ และ บ่มที่ 48 ชั่วโมง มีค่าเท่ากับ 70.70 73.50 78.38 79.33 และ 81.55 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.01$) และการย่อยได้ของอินทรีย์วัตถุ (*in vitro* organic matter digestibility, IVOMD) ที่บ่ม 24 ชั่วโมงมีค่าเท่ากับ 94.85 95.98 95.97 96.55 และ 97.28 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.01$) บ่มที่ 48 ชั่วโมง มีค่าเท่ากับ 96.70 96.41 95.97 97.20 และ 97.28 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ แตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ($P > 0.05$) ผลจากการทดลองแสดงให้เห็นว่าข้าวโพดมอลต์หมักยีสต์ร่วมกับผลพลอยได้ทางการเกษตรจากเปลือกข้าวโพดที่ผ่านการหมักร่วมกับยีสต์และกรด แลคติก เมื่อมีชั่วโมงการบ่มอาหารในรูเมนนานขึ้น มีผลต่อค่าความสามารถในการย่อยได้ของวัตถุแห้ง และการย่อยได้อินทรีย์วัตถุก็จะเพิ่มขึ้น

บทนำ

เมล็ดข้าวโพดอาหารสัตว์เป็นที่นิยมในการนำมาใช้เป็นวัตถุดิบอาหารให้พลังงานในอาหารสัตว์ แต่ในการนำใช้เป็นแหล่งพลังงานในสัตว์เคี้ยวเอื้องนั้นยังมีข้อจำกัดในการใช้ กล่าวคือ ข้าวโพดมีอัตราการย่อยสลายในกระเพาะรูเมนไม่สูงมากนักและรวมถึงมีข้อจำกัดของการย่อยจากเอนไซม์ที่ผลิตจากตับอ่อนและต่อทางเดินอาหาร ทั้งนี้เนื่องจากเมล็ดข้าวโพดอาหารสัตว์นั้นเมื่อแห้งแล้วจะมีความแข็งและประกอบด้วยผิวหุ้มเมล็ดที่หนาและแข็งแรงทำให้มีความทนทานต่อการย่อยทั้งจากน้ำย่อยจากจุลินทรีย์ในกระเพาะรูเมนและในต่อทางเดินอาหาร และเมื่อนำมาใช้ในสูตรอาหารก็จะส่งผลให้การย่อยของอาหารลดลง เช่นเดียวกัน จากรายงานของ Owens & Zinn

(2005) พบว่า การย่อยได้ของข้าวโพดในกระเพาะรูเมนมีเพียง 68.30 เปอร์เซ็นต์ และการย่อยได้รวมตลอดท้องทางเดินอาหารเพียง 85.00-90.60 เปอร์เซ็นต์ (Owens & Zinn, 2005) ซึ่งสอดคล้องกับรายงานของ Sommart (1998) ที่พบว่า การใช้ข้าวโพดเป็นแหล่งพลังงานในสูตรอาหารในปริมาณสูงมีผลต่อการย่อยสลายน้อยในกระเพาะรูเมนเป็นผลจากโปรตีนเคลือบที่เคลือบอยู่ที่ผิวของเมล็ดข้าวโพด อีกทั้งการใช้ข้าวโพดในสูตรอาหาร อาจทำให้เกิดประสิทธิภาพการย่อยสลายแบ่งในกระเพาะรูเมนต่ำ ซึ่งส่งผลกระทบต่อการผลิตจุลินทรีย์โปรตีนและการย่อยได้ของอาหารโดยรวม (McNiven et al., 1995) รวมถึงข้อจำกัดในการย่อยได้ของโภชนะในข้าวโพดเนื่องจากเมล็ดข้าวโพดมีโปรตีนห่อหุ้มเมล็ดเรียกว่าโปรตีนคิวติเคิล (Protein cuticle) ที่แข็ง

*Corresponding author

E-mail address: ratchaneebourapa@gmail.com (R. Bourapa)

Online print: 25 June 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.2024.22>

(Adedokun et al., 2015) จึงหาแนวทางในการปรับปรุงคุณภาพเมล็ดข้าวโพดโดยการเพิ่มระดับโปรตีนและเพิ่มประสิทธิภาพการใช้ประโยชน์ของโภชนาในเมล็ดข้าวโพดให้สูงขึ้น ในรูปของข้าวโพดมอลต์ (Malt corn) คือ เมล็ดข้าวโพดที่ผ่านกระบวนการดัดแปลงจากการเปลี่ยนรูปข้าวโพดให้เป็นข้าวโพดมอลต์ร่วมกับกระบวนการหมักร่วมกับน้ำหมักจุลินทรีย์ 2 ชนิด ได้แก่ จุลินทรีย์ยีสต์ (Yeast) และน้ำหมักแบคทีเรียแลคติก (Lactic acid bacteria) (Srakaew et al., 2021) ซึ่งมีวัตถุประสงค์หลักในการเพิ่มโปรตีนและปรับปรุงประสิทธิภาพการใช้ประโยชน์ของเมล็ดข้าวโพดจากกระบวนการผลิตมอลต์และกระบวนการหมักร่วมกับจุลินทรีย์ โดยผลจากการผลิตมอลต์เป็นการเปลี่ยนรูปของแป้งให้อยู่ในรูปของน้ำตาลและเพิ่มระดับโปรตีนจากการออกของต้นอ่อนซึ่งพบว่า ข้าวโพดมอลต์มีระดับน้ำตาลสูงและมีโปรตีนเพิ่มขึ้นจาก 7-8 เปอร์เซ็นต์ เป็น 10 เปอร์เซ็นต์ (Bourapa et al., 2021) การนำข้าวโพดมอลต์มาหมักร่วมกับเชื้อยีสต์ให้ปริมาณโปรตีนที่สูงขึ้นกว่าการผลิตมอลต์ธรรมดาและส่งผลทำให้ประสิทธิภาพการเจริญเติบโตสูงขึ้น (Srakaew et al., 2021) รวมถึงการใช้ยีสต์ในกระบวนการหมักอาหารสัตว์ยังส่งผลต่อการย่อยได้ที่สูงขึ้นด้วย (Lunsin et al., 2021) อย่างไรก็ตาม กระบวนการหมักที่หมักด้วยเชื้อยีสต์นั้นเกิดผลผลิตในรูปของแอลกอฮอล์ซึ่งมีกลิ่นค่อนข้างฉุนและอาจส่งผลต่อความน่ากินและทำให้สัตว์มีข้อจำกัดในการกินได้ รวมถึงข้อจำกัดในการเก็บรักษาวัตถุดิบอาหารสัตว์หมัก การใช้แบคทีเรียแลคติกจึงถูกนำมาใช้ร่วมในกระบวนการหมักเพื่อลดปริมาณแอลกอฮอล์ที่เกิดจากกระบวนการหมัก ซึ่งสอดคล้องกับรายงานของ Hynes et al. (1997) พบว่า การใช้เชื้อแบคทีเรียแลคติกในการหมักส่งผลทำให้เกิดกรดและลดปริมาณแอลกอฮอล์ในอาหารหมักได้ เพิ่มความน่ากินและอาจเป็นผลทำให้สามารถเก็บรักษาอาหารหมักได้นานขึ้น ขณะเดียวกันก็สามารถเพิ่มระดับโปรตีนได้เช่นเดียวกัน จากข้อมูลข้างต้นทำให้เมล็ดข้าวโพดมอลต์มีโปรตีนที่เพิ่มสูงขึ้น การย่อยได้ของโภชนาและความน่ากินของอาหารเพิ่มมากขึ้นจากรายงานของ Srakaew et al. (2021) พบว่า เมล็ดข้าวโพดมอลต์มีโปรตีน 12-16 เปอร์เซ็นต์ ไขมัน 3.65-4.20 เปอร์เซ็นต์ เยื่อใย 12.00-14.10 เปอร์เซ็นต์ และเถ้า 2.56-2.85 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ และมีค่าการย่อยได้ของโภชนาที่เพิ่มสูงขึ้น นอกจากนี้ยังพบว่าการผลิตข้าวโพดมอลต์โดยการหมักข้าวโพดมอลต์ร่วมกับจุลินทรีย์ยีสต์และแบคทีเรียแลคติกทำให้โปรตีนในเมล็ดข้าวโพดเพิ่มขึ้นจาก 7.80 เปอร์เซ็นต์ เป็น 14.20 เปอร์เซ็นต์ และส่งผลทำให้ค่าความเป็นกรดต่างของวัตถุดิบหมักลดลงเร็วสุดเมื่อเทียบกับการหมักร่วมกับยีสต์เพียงอย่างเดียว ดังนั้นการปรับปรุงคุณภาพของข้าวโพดทั้งในด้านองค์ประกอบทางเคมีและการย่อยได้ของข้าวโพดจึงเป็นแนวทางที่จะเพิ่มประสิทธิภาพการใช้ประโยชน์ของอาหารในสัตว์เคี้ยวเอื้องได้ นอกจากนี้การนำเปลือกข้าวโพด ซึ่งเป็นผลพลอยได้ทางการเกษตรมาใช้เป็นแหล่งอาหารหยาบ มีข้อจำกัดในการใช้ประโยชน์ เนื่องจากเปลือกข้าวโพดมีโปรตีนรวมประมาณ 1.18 เปอร์เซ็นต์ โดยจะเห็นได้ว่าเปลือกข้าวโพดมีปริมาณของโปรตีนต่ำมาก และยังมีปริมาณของเยื่อใยสูง มีผลต่อการย่อยได้ และปริมาณการกินได้ ดังนั้นควรมีการปรับปรุงคุณภาพของเปลือกข้าวโพดก่อนนำมาใช้เลี้ยงสัตว์ (Wanapat & Pimpa, 1999) การศึกษาครั้งนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาข้าวโพดมอลต์หมักยีสต์ร่วมกับเปลือกข้าวโพดหมักยีสต์และกรดแลคติก

ต่อผลผลิตแก๊สที่หมักย่อยและค่าความสามารถในการย่อยโดยเทคนิคในห้องปฏิบัติการ เพื่อเป็นวัตถุดิบที่สามารถเป็นแหล่งพลังงานในอาหารสัตว์

อุปกรณ์และวิธีการวิจัย

การเตรียมการผลิตข้าวโพดมอลต์หมักยีสต์และเปลือกข้าวโพดหมักยีสต์

1. การขยายหัวเชื้อจุลินทรีย์ยีสต์และจุลินทรีย์แลคติก

ขั้นตอนที่ 1 นำหมักยีสต์ผลิตตามวิธีการของ (Thongnum et al., 2018)

ทำการขยายเชื้อจุลินทรีย์ยีสต์ โดยใช้ยีสต์ผง (*Saccharomyces cerevisiae*) ปีที่ผลิต 2020 ประเทศอินเดีย ร่วมกับยูเรียผง 24 กรัม ผสมกับกากน้ำตาล 100 กรัม จากนั้นเติมน้ำให้ครบ 1 ลิตร บ่มที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 3 วัน ทำการให้ออกซิเจนตลอดระยะเวลาการบ่ม จากนั้นทำการวิเคราะห์ปริมาณจุลินทรีย์ มีจำนวนจุลินทรีย์ยีสต์เฉลี่ย 6.90×10^7 CFU/มิลลิลิตร

- ขั้นตอนที่ 2 หมักจุลินทรีย์แลคติก (Bureenok et al., 2007)

ทำการขยายหัวเชื้อจุลินทรีย์แลคติก โดยใช้โบบาเนเปียร์จำนวน 200 กรัม ปั่นให้ละเอียดเติมน้ำให้ครบ 1 ลิตร จากนั้นกรองเอาแต่น้ำ เติมน้ำตาลทราย 20 กรัม ทำการบ่มที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 3 วัน ก่อนนำมาใช้ สังเกตการเปลี่ยนสีจากสีเขียว เป็นสีเหลืองใส จากนั้นทำการวิเคราะห์ปริมาณจุลินทรีย์แลคติก พบว่า มีจำนวนจุลินทรีย์แลคติกเฉลี่ย 2.02×10^8 CFU/มิลลิลิตร

2. การผลิตข้าวโพดมอลต์

นำเมล็ดข้าวโพดอาหารสัตว์เม็ดเต็ม จำนวน 30 กิโลกรัม (สัดส่วนข้าวโพด 1 ส่วน : น้ำ 3 ส่วน โดยน้ำหนัก) แช่น้ำจนท่วมเป็นเวลา 5 ชั่วโมง จากนั้นเทน้ำออกให้หมด นำเมล็ดข้าวโพดที่ผ่านการแช่น้ำแล้วมาบ่มต่อในกระสอบหรือตะกร้าที่มีรูระบายอากาศโดยรอบ คลุมด้วยผ้าหรือกระสอบด้านบน ทำการรดน้ำสะอาดเข้า-เย็น บ่มทิ้งไว้ 3 วัน จะได้เมล็ดข้าวโพดงอก หรือข้าวโพดมอลต์ที่งอก

3. การผลิตข้าวโพดมอลต์หมักยีสต์ และเปลือกข้าวโพดหมักด้วยยีสต์และจุลินทรีย์แลคติก

นำเมล็ดข้าวโพดมอลต์มาหมักในถังหมัก โดยทำการผสมหัวเชื้อจุลินทรีย์ยีสต์ 1 เปอร์เซ็นต์ โดยน้ำหนักสด (w/w) จากนั้นทำการคลุมด้วยผ้าขาวบางที่สะอาด ปิดถังหมักไม่ให้อากาศเข้าไปเป็นเวลา 14 วัน ก่อนนำมาตากให้แห้ง จากนั้นทำการบดและเก็บไว้ใช้เป็นอาหารสัตว์

การผลิตเปลือกข้าวโพดอาหารสัตว์หลังการเก็บเกี่ยวที่ผ่านกระบวนการสีเมล็ดข้าวโพดออกแล้ว เติมน้ำลงไปอัตราส่วน 1 ต่อ 1 เพื่อเพิ่มความชื้น จากนั้นนำมาผสมหัวเชื้อจุลินทรีย์ยีสต์และจุลินทรีย์แลคติกอย่างละ 1 เปอร์เซ็นต์ โดยน้ำหนักสด (w/w) จากนั้นทำการอัดเปลือกข้าวโพดให้แน่น ปิดถังหมักไม่ให้อากาศเข้า เก็บไว้เป็นอาหารสัตว์ต่อไป

การวางแผนการทดลองและสูตรอาหารทดลอง

ใช้แผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ (Completely randomized design, CRD) โดยวางแผนการทดลองออกเป็น 5 ทรีทเมนต์ ดังนี้

ทรีทเมนต์ 1 สูตรอาหารข้าวโพดบด : เปลือกข้าวโพดหมักด้วยยีสต์และจุลินทรีย์แลคติก สัดส่วน 50 : 50

ทรีทเมนต์ 2 สูตรอาหารข้าวโพดมอลต์หมักยีสต์ : เปลือกข้าวโพดหมักด้วยยีสต์และจุลินทรีย์แลคติก สัดส่วน 50 : 50

ทรีทเมนต์ 3 สูตรอาหารข้าวโพดมอลต์หมักยีสต์ : เปลือกข้าวโพดหมักด้วยยีสต์และจุลินทรีย์แลคติก สัดส่วน 60 : 40

ทรีทเมนต์ 4 สูตรอาหารข้าวโพดมอลต์หมักยีสต์ : เปลือกข้าวโพดหมักด้วยยีสต์และจุลินทรีย์แลคติก สัดส่วน 70 : 30

ทรีทเมนต์ 5 สูตรอาหารข้าวโพดมอลต์หมักยีสต์ : เปลือกข้าวโพดหมักด้วยยีสต์และจุลินทรีย์แลคติก สัดส่วน 80 : 20

การศึกษาองค์ประกอบทางเคมีของสูตรอาหาร

ทำการสุ่มเก็บตัวอย่าง สูตรอาหารข้าวโพดบดและสูตรอาหารที่มีข้าวโพดหมักยีสต์ (Table 1) โดยเก็บตัวอย่างละ 500 กรัม ทำการ

แบ่งตัวอย่างอาหารแต่ละชนิดออกเป็น 2 ส่วน ส่วนที่ 1 นำไปอบที่ 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง เพื่อหาวัตถุแห้ง (Dry matter, DM) และส่วนที่ 2 นำไปอบที่ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 48 ชั่วโมง เพื่อให้แห้งและบดผ่านตะแกรงขนาด 1 มิลลิเมตร แล้วนำมาวิเคราะห์หาองค์ประกอบทางเคมีได้แก่ เถ้า (Ash) ไขมัน (Ether extract, EE) โปรตีนหยาบ (Crud protein, CP) เยื่อใยหยาบ (Crude fiber) และค่าพลังงาน (Gross energy, GE) ตามวิธีของ AOAC (2000) และองค์ประกอบของเยื่อใย ได้แก่ Neutral-detergent fiber (NDF) และ Acid-detergent fiber (ADF) ตามวิธีของ Goering & Van Soest (1970)

Table 1 Ingredients and composition of total ration used in the experiment (% on DM basis)

Items	Control diet	Malt corn with yeast
Cassava chips	40.00	40.00
Molasses	1.50	1.50
Soybean meal	10.00	10.00
Rice bran	15.00	15.00
Corn meal	30.00	20.00
Malt corn with yeast	-	10.00
Premixed	0.50	0.50
Urea	1.50	1.50
Sulphur	0.20	0.20
Salt	0.30	0.30
Di-calcium phosphate	1.00	1.00
Total	100	100
Calculated analysis		
Protein (% of DM)	15.00	15.00
Gross energy (GE) (Mcal/kg DM)	3,000	3,000

การศึกษาการย่อยได้ จลศาสตร์การผลิตแก๊ส และผลผลิตจากกระบวนการหมักในกระเพาะรูเมน

ทำศึกษาจลศาสตร์การผลิตแก๊ส ตามวิธีการของ Markkar et al. (1995) โดยการเก็บของเหลวในรูเมนจากกระเพาะรูเมนจากโรงฆ่าสัตว์ที่ได้มาตรฐาน เพื่อใช้ในการเตรียมสารละลายของเหลวจากกระเพาะหมักผสม (Rumen inoculums) ทำการบรรจุสารละลายของเหลวจากกระเพาะหมักผสม ภายใต้สภาวะไร้ออกซิเจน ในขวดที่บรรจุวัตถุดิบอาหารทดลองและบ่มรอไว้แล้ว ขวดละ 40 มิลลิลิตร แล้วนำเข้าบ่มในตู้อบร้อนแห้งที่อุณหภูมิ 39 องศาเซลเซียส ทำการจดบันทึกปริมาตรของแก๊สที่เกิดขึ้น โดยใน 12 ชั่วโมงแรก จะบันทึกทุก ๆ 1 ชั่วโมง ต่อมานับทุก ๆ 3 ชั่วโมงจนถึงชั่วโมงที่ 24 จากนั้นบันทึกทุก ๆ 6 ชั่วโมงจนถึงชั่วโมงที่ 78 และสุดท้ายทำการบันทึกที่ชั่วโมงที่ 96 (ดังนั้นชั่วโมงที่จะทำการบันทึก ได้แก่ 0 1 2 4 6 8 10 12 16 24 48 72 และ 96 ชั่วโมง เพื่อนำมาคำนวณจลศาสตร์ การผลิตแก๊สตามสมการของ Ørsko & McDonalds (1979) คือ $Y = a + b(1 - e^{(-ct)})$ เมื่อค่า Y คือ ผลผลิตแก๊ส ณ เวลา (t) โดย a คือ ค่าปริมาณการผลิตแก๊ส ณ เวลาที่ 0 (จุดตัดแกน y) เป็นค่าที่ใช้บ่งบอกถึงความสามารถในการย่อยสลายที่เกิดจากองค์ประกอบที่สามารถละลายน้ำได้ ส่วนค่า b หมายถึง ปริมาณแก๊สรวมทั้งหมด ณ จุดเส้นกราฟราบเรียบ (Asymptote) บ่งบอกถึงส่วนที่มีศักยภาพในการย่อยสลาย ค่า c หมายถึง อัตราการผลิตแก๊สโดยเฉลี่ยตลอดระยะเวลาการหมัก มีหน่วยเป็นเปอร์เซ็นต์ต่อชั่วโมง และ ค่า t เท่ากับ ระยะเวลาในการบ่มที่ชั่วโมง 0 1 2 3 4 96 ชั่วโมงวิเคราะห์ความสามารถในการ

ย่อยได้ของวัตถุแห้ง (*in vitro* dry matter digestibility, IVDMD) อินทรีย์วัตถุ (*in vitro* organic matter digestibility, IVOMD) และองค์ประกอบทางเคมีของอาหาร ตามวิธีการของ AOAC (2000); Van Soest et al. (1991) และ Mathew et al. (1997) ตามลำดับ นำค่าแก๊สสุทธิที่ 24 ชั่วโมงมาเข้าสมการทำนายการย่อยได้ของอินทรีย์วัตถุและพลังงาน (Getachew et al., 2002) และคำนวณหาค่าเยื่อใยจากสมการของ Harris et al. (1972) ดังนี้

$$\text{Metabolizable energy (ME, MJ/Kg DM)} = 2.20 + 0.136\text{GV} + 0.057\text{CP} + 0.0029\text{CF}$$

$$\text{Organic matter digestibility (OMD, \%)} = 14.88 + 0.88\text{GV} + 0.45\text{CP} + 0.651\text{XA}$$

$$\text{เมื่อ GV = Net gas production (ml/200mg, DM) ที่ 24 ชั่วโมง CP = Crude protein CF = Crude fiber XA = Ash}$$

$$\text{สมการหาค่าเยื่อใย (CF)} = (\text{ADF} \times 0.75) + 3.56$$

การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ

นำข้อมูลจากการวิเคราะห์ มาวิเคราะห์ค่าความแปรปรวน (Analysis of variance, ANOVA) และวิเคราะห์ความแตกต่างระหว่างทรีทเมนต์ด้วย Duncan's new multiple range test, DMRT ตามแผนการทดลองแบบ CRD ด้วยโปรแกรมสำเร็จรูป (SAS, 1998)

ผลและวิจารณ์ผลการวิจัย

การศึกษาเมล็ดข้าวโพดมอลต์หมักยีสต์ร่วมกับการใช้เปลือก

ข้าวโพดหมักยีสต์และจุลินทรีย์แลคติกในสูตรอาหารต้ององค์ประกอบทางเคมี ผลผลิตในกระเพาะรูเมน และประสิทธิภาพการย่อยสลายในกระเพาะรูเมนโดยเทคนิคในห้องปฏิบัติการ Table 2 แสดงองค์ประกอบทางเคมีของเมล็ดข้าวโพดหมักยีสต์ และเปลือกข้าวโพดหมักยีสต์และจุลินทรีย์แลคติก พบว่า ค่าองค์ประกอบของเปลือกข้าวโพดที่อายุการเก็บเกี่ยวหลังการหักฝักข้าวโพดไปแล้ว 100 วัน นำมาหมักยีสต์และจุลินทรีย์แลคติก ค่าของวัตถุดิบและโปรตีนอยู่ที่ 90 เปอร์เซ็นต์ และ 4 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ สอดคล้องกับการรายงานของ Srakaew et al. (2021) ที่พบว่าสารเสริมจากน้ำพืชหมักในการปรับปรุงพืชหมักนั้นจะช่วยกระตุ้นการเจริญเติบโตของแบคทีเรียกรดแลคติก และเป็นการเร่งปฏิกิริยาการหมักในช่วงแรกให้เกิดเร็วขึ้นเพื่อให้คุณค่าทางโภชนาการของพืชอาหารสัตว์ยังคงเดิม และได้พืชหมักที่มีคุณภาพดี นอกจากนี้ พบว่า เปลือกข้าวโพดมีวัตถุดิบประมาณ 28 เปอร์เซ็นต์ และ โปรตีนรวมประมาณ 1.18 เปอร์เซ็นต์ แสดงให้เห็นว่าการนำเปลือกข้าวโพดมาหมักยีสต์และจุลินทรีย์แลคติกสามารถเพิ่มโปรตีนให้สูงเพิ่มมากขึ้น และในส่วนของ การนำเมล็ดข้าวโพดมาผ่านการแปรรูปให้เป็นเมล็ดข้าวโพดหมักยีสต์และจุลินทรีย์แลคติก พบว่า ค่าของระดับโปรตีนอยู่ที่ 10.85 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งเพิ่มสูงขึ้นจาก

เมล็ดข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ที่มีระดับโปรตีน 8-9 เปอร์เซ็นต์ (Wanapat & Pimpa, 1999)

นำอาหารทดลอง คือ สูตรที่ 1 ข้าวโพดบด และอาหารสูตรที่ 2 ข้าวโพดหมักยีสต์ 10 เปอร์เซ็นต์ ผสมกับเปลือกข้าวโพดที่หมักร่วมกับยีสต์และจุลินทรีย์แลคติกในรูปแบบอาหาร TMR ในสัดส่วน ดังแสดงใน Table 3 ดังนี้ ทริทเมนต์ 1 สูตรอาหารข้าวโพดบด : เปลือกข้าวโพดหมักด้วยยีสต์และจุลินทรีย์แลคติก 50 : 50 ทริทเมนต์ 2 สูตรอาหารข้าวโพดหมักยีสต์ : เปลือกข้าวโพดหมักด้วยยีสต์และจุลินทรีย์แลคติก สัดส่วน 50 : 50 ทริทเมนต์ 3 สูตรอาหารข้าวโพดหมักยีสต์ : เปลือกข้าวโพดหมักด้วยยีสต์และจุลินทรีย์แลคติก สัดส่วน 60 : 40 ทริทเมนต์ 4 สูตรอาหารข้าวโพดหมักยีสต์ : เปลือกข้าวโพดหมัก สัดส่วน 70 : 30 ทริทเมนต์ 5 สูตรอาหารข้าวโพดหมักยีสต์ : เปลือกข้าวโพดหมักด้วยยีสต์และจุลินทรีย์แลคติก สัดส่วน 80 : 20 โดยพบว่าค่าองค์ประกอบทางเคมี ได้แก่ วัตถุดิบ มีค่าเท่ากับ 64.99 53.55 51.49 50.99 และ 50.15 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ และโปรตีน มีค่าเท่ากับ 13.50 14.20 14.50 15.20 และ 15.70 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ

Table 2 Chemical composition of malt corn with yeast and corn husk fermented with yeast and lactic microbial

Items	Malt corn with yeast	Corn husk fermented with yeast and lactic microbial
Dry matter (DM) (%)	61.56	90
-----% of DM-----		
Ash	0.81	2.60
Crude Protein	10.85	4.00
Crude fiber	3.50	-
NDF	-	56.30
ADF	-	38.86
Gross energy (GE) (Mcal/kgDM)	3,870	2,130

NDF = Neutral detergent fiber, ADF = Acid detergent fiber.

Table 3 Chemical composition of modified corn with yeast

Items	Diets (%)				
	T1	T2	T3	T4	T5
Dry matter (DM) (%)	64.99	53.55	51.49	50.99	50.15
-----% of DM-----					
Crude Protein	13.50	14.20	14.50	15.20	15.70
NDF	54.93	59.33	54.08	59.87	54.93
ADF	43.16	37.36	36.98	36.19	43.16
Gross energy (GE) (Mcal/kg DM)	2,400	2,400	2,500	2,600	2,700

NDF : Neutral detergent fiber, ADF : Acid detergent fiber.

T1 : Corn grain base concentrate diet to corn husk as a ratio 50 : 50, T2 : Fermented corn malt base concentrate diet to fermented corn husk as a ratio 50 : 50, T3 : Fermented corn malt base concentrate diet to fermented corn husk as a ratio 60 : 40, T4 : Fermented corn malt base concentrate diet to fermented corn husk as a ratio 70 : 30, T5 : Fermented corn malt base concentrate diet to fermented corn husk as a ratio 80 : 20

Table 4 แสดงค่าการย่อยได้ของวัตถุดิบ (*in vitro* dry matter digestibility) ที่บ่ม 24 ชั่วโมงของอาหารทั้ง 5 สูตร มีค่าเท่ากับ 65.80 69.25 72.93 73.35 และ 76.70 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ และ บ่มที่ 48 ชั่วโมง มีค่าเท่ากับ 70.70 73.50 78.38 79.33 และ 81.55 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.01$) ซึ่งการย่อยได้ของวัตถุดิบจะมีค่าสูงขึ้นเมื่อชั่วโมงการบ่มนานขึ้น ทั้งนี้ผลของค่าการย่อยได้ของวัตถุดิบ เป็นข้อบ่งชี้ว่าอาหารที่มีปริมาณโปรตีนสูง มีผลทำให้เกิดพลังงานและแอมโมเนียที่จุลินทรีย์สามารถนำไปใช้ประโยชน์ในการสังเคราะห์เซลล์จุลินทรีย์เพิ่มมากขึ้น ซึ่งจะส่งผลทำให้เกิดการย่อยได้ของวัตถุดิบเพิ่มขึ้น

และการย่อยได้ของอินทรีย์วัตถุ (*in vitro* organic matter digestibility) ที่บ่ม 24 ชั่วโมงมีค่าเท่ากับ 94.85 95.98 95.97 96.55 และ 97.28 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.01$) บ่มที่ 48 ชั่วโมง มีค่าเท่ากับ 96.70 96.41 95.97 97.20 และ 97.28 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ แตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ($P > 0.05$) อย่างไรก็ตาม สูตรอาหารข้าวโพดหมักยีสต์ มีแนวโน้มทำให้ค่าการย่อยได้ของอินทรีย์วัตถุกับค่าการย่อยได้ของวัตถุดิบเพิ่มสูงขึ้น เมื่อชั่วโมงการบ่มอาหารในรูเมนนานขึ้น เมื่อเทียบกับสูตรอาหารข้าวโพดบด

Table 4 Effects of corn malt yeast on *in vitro* dry matter digestibility and *in vitro* organic matter digestibility

Items	Treatments					SEM	P-value	
	T1	T2	T3	T4	T5		T1 vs T2	T2 vs T3, T4, T5
<i>in vitro</i> dry matter digestibility (IVDMD)								
24 h	65.80 ^B	69.25 ^B	72.93 ^B	73.35 ^A	76.70 ^A	0.11	0.0001	0.0001
48 h	70.70 ^E	73.50 ^D	78.38 ^C	79.33 ^B	81.55 ^A	0.04	0.0001	0.0001
<i>in vitro</i> organic matter digestibility (IVOMD)								
24 h	94.85 ^D	95.98 ^C	95.97 ^{BC}	96.55 ^B	97.28 ^A	0.16	0.0039	0.0097
48 h	96.70	96.41	95.97	97.20	97.28	0.15	0.301	0.091

AB CDE Means with different superscripts in row are significant different ($P < 0.01$).

T1 : Corn grain base concentrate diet to corn husk as a ratio 50 : 50, T2 : Fermented corn malt base concentrate diet to fermented corn husk as a ratio 50 : 50, T3 : Fermented corn malt base concentrate diet to fermented corn husk as a ratio 60 : 40, T4 : Fermented corn malt base concentrate diet to fermented corn husk as a ratio 70 : 30, T5 : Fermented corn malt base concentrate diet to fermented corn husk as a ratio 80 : 20.

จากผลการศึกษาใน Figure 1 แสดงปริมาณผลผลิตแก๊สรวม และค่าจลศาสตร์การผลิตแก๊ส (Table 5) ของอาหารทดลองทั้ง 5 สูตร ด้วยวิธีการ *in vitro* gas production technique พบว่าสามารถอธิบายค่าที่แสดงผลผลิต รูปแบบ และจลศาสตร์การผลิตแก๊ส โดยการประเมินจากสมการ $y = a + b[1 - \text{Exp}^{(-ct)}]$ (Ørskov & McDonald, 1979) ค่า a คือ ค่าปริมาณการผลิตแก๊ส ณ เวลาที่ 0 (จุดตัดแกน y) เป็นค่าที่ใช้บ่งบอกถึงความสามารถในการย่อยสลายที่เกิดจากองค์ประกอบที่สามารถละลายน้ำได้ ค่า b หมายถึง ปริมาณแก๊สรวมทั้งหมด ณ จุดเส้นกราฟราบเรียบ บ่งบอกถึงส่วนที่มีศักยภาพในการย่อยสลายของอาหารผสมครบส่วน ทั้ง 5 สูตร และค่า b สูงแสดงว่ามีส่วนที่มีศักยภาพในการย่อยสลายได้สูง เนื่องจากปริมาณแก๊สที่ผลิตได้มีความสัมพันธ์กันโดยตรงกับการย่อยสลายได้ของ

วัตถุดิบอาหารสัตว์ (Menke & Steingass, 1988) ทั้งนี้ผลการศึกษาที่มีความสอดคล้องกับค่าการย่อยได้ของอินทรีย์วัตถุ ที่แสดงใน Table 5 กล่าวคือ ค่าจลศาสตร์การผลิตแก๊ส ของอาหารทดลองทั้ง 5 สูตรของอาหารทดลองทุกกลุ่มมีค่า a คือ ค่าการย่อยสลายของวัตถุดิบอย่างรวดเร็ว หรือ ค่าที่แสดงความสามารถในการย่อยสลายที่เกิดจากองค์ประกอบที่สามารถละลายน้ำได้ ของวัตถุดิบอาหาร (Water soluble) ที่อยู่ระหว่าง -1.27 ถึง -1.70 มิลลิลิตร และไม่มี ความแตกต่างกันทางสถิติ ($P > 0.05$) ขณะที่ b และค่า d มีค่าเพิ่มขึ้นในสูตรอาหารที่ใช้เมล็ดข้าวโพดมอลต์หมักร่วมกับจุลินทรีย์ยีสต์ร่วมกับการใช้เปลือกข้าวโพดหมักยีสต์ และจุลินทรีย์แลคติก ($P > 0.05$) อย่างไรก็ตามค่าอัตราการผลิตแก๊สซึ่งแสดงในค่า c มีค่าไม่แตกต่างกันระหว่างสูตร ($P > 0.05$)

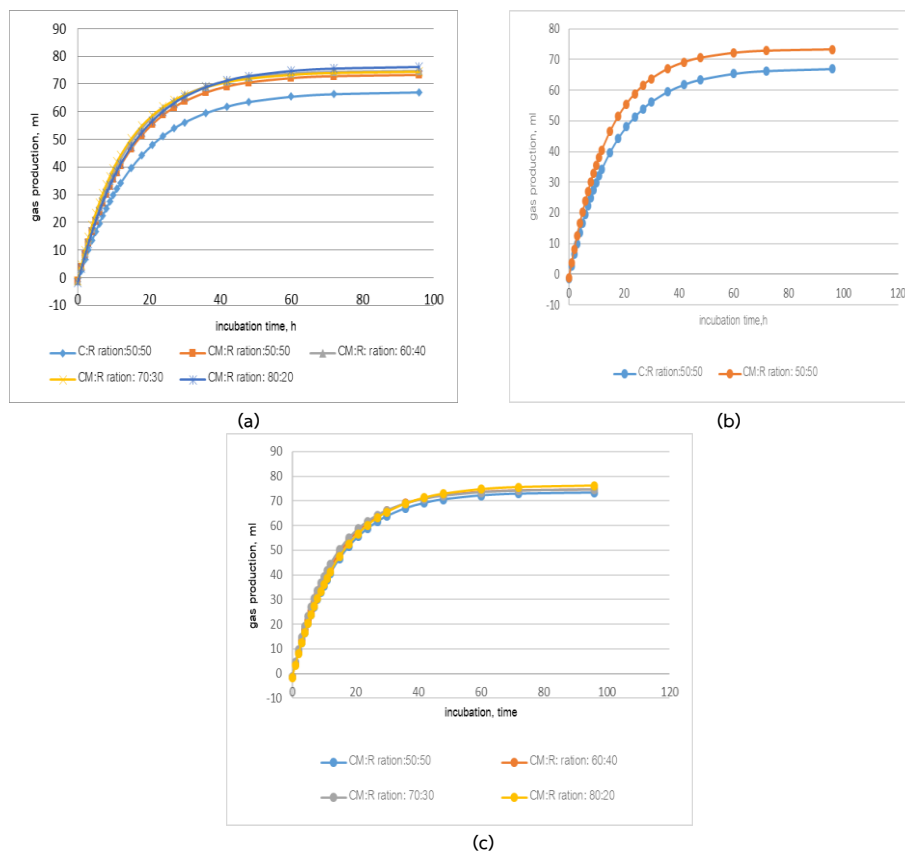


Figure 1 Effects of modified malt yeast on kinetic gas production, (a) effects of modified malt yeast on total kinetic gas production, (b) fermented corn malt base concentrate diet to fermented corn husk as a ratio 50 : 50, (c) fermented corn malt base concentrate diet to fermented corn husk as a ratio 50 : 50, 60 : 40, 70 : 30 and 80 : 20.

นอกจากนั้นเมื่อพิจารณาในส่วนของปริมาณผลผลิตแก๊สตลอดระยะเวลาการบ่ม พบว่า มีความสอดคล้องกับค่าจุลศาสตร์การผลิตแก๊ส กล่าวคือ ปริมาณผลผลิตแก๊สที่ชั่วโมงที่ 96 มีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้น เมื่อใช้วัตถุดิบเมล็ดข้าวโพดมอลต์หมักร่วมกับเชื้อจุลินทรีย์ยีสต์ร่วมกับเปลือกข้าวโพดหมักยีสต์และจุลินทรีย์แลคติกในสูตรอาหาร ($P < 0.05$) (Figure 1) ซึ่งจากผลการทดลองที่กล่าวข้างต้นอาจประเมินได้ว่า ค่าการย่อยได้ ของข้าวโพดมอลต์หมักยีสต์มีความสามารถเปลี่ยนโครงสร้างเยื่อใยให้กลายเป็นคาร์โบไฮเดรตที่ละลายง่ายเพิ่มสูงขึ้น ส่งผลทำให้เกิดกระบวนการหมักย่อยอย่างรวดเร็วทำให้เกิดปริมาณผลผลิตแก๊สที่สูงกว่าสูตรอาหารกลุ่มควบคุมสอดคล้องกับ Cerrilla & Mendoza (2003) รายงานว่า ผงนึ่งเซลล์มีความสัมพันธ์เชิงลบกับปริมาณแก๊สสะสมที่ผลิตได้ตลอดเวลาของการบ่ม และผงนึ่งเซลล์อาจลดกิจกรรมของจุลินทรีย์ต่อการย่อยอาหาร นอกจากนี้ผลของคาร์โบไฮเดรตที่ละลายง่ายและมีความสัมพันธ์กับความสามารถในการละลายได้ในกระเพาะรูเมนที่เพิ่มขึ้น รวมถึงการย่อยสลายของแป้งเป็นปัจจัยสำคัญที่ควบคุมการใช้ประโยชน์ของพลังงานสำหรับการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ในกระเพาะรูเมนทำให้ประชากรในกระเพาะรูเมนเพิ่มขึ้นและส่งผลทำให้การย่อยได้เพิ่มสูงขึ้น (Nocek & Tamminga, 1991) นอกจากนี้ยังพบว่าการแปรสภาพของข้าวโพดในงานทดลองครั้งนี้ใช้เชื้อยีสต์ซึ่งเป็น

เชื้อยีสต์ชนิด *Saccharomyces cerevisiae* อาจเป็นอีกเหตุผลหนึ่งที่สามารถอธิบายผลของการเพิ่มขึ้นของค่าการย่อยได้เมื่อใช้ข้าวโพดแปรสภาพในสูตรอาหาร ขณะที่ในข้าวโพดที่ผ่านวิธีการดัดแปลงมีค่าจุลศาสตร์การย่อยได้และประสิทธิภาพการย่อยได้เพิ่มสูงขึ้น สอดคล้องกับ Lee et al. (2002) รายงานว่า ผลผลิตแก๊สในข้าวโพดที่ผ่านการดัดแปลงโดยกระบวนการนี้มีค่าสูงกว่าข้าวโพดบด ทั้งนี้สาเหตุที่ทำให้ค่าการย่อยได้และผลผลิตแก๊สสูงขึ้นเมื่อข้าวโพดผ่านวิธีการดัดแปลงทั้งวิธีการนึ่งและทรีทด้วยด่าง NaOH เนื่องจากการเกิดกระบวนการ Gelatinization อันเกิดจากความร้อนทั้งอุณหภูมิและความร้อนจากการทำปฏิกิริยาจากต่าง และการทำลายผิวที่เป็นโปรตีนคิดเคลทำให้จุลินทรีย์สามารถเข้าไปย่อยได้ง่ายมากขึ้น ส่งผลให้การย่อยได้ในกระเพาะรูเมนเพิ่มมากขึ้นทำให้ผลผลิตแก๊สมากขึ้นตามไปด้วย (Nocek & Tamminga, 1991) ทั้งนี้การเสริมยีสต์ร่วมกับแป้งในอาหารอาจเป็นสาเหตุหนึ่งที่ส่งผลต่อการย่อยได้และการกินได้ของแพะขุนเพิ่มสูงขึ้นเนื่องจากสามารถย่อยสลาย NDF ได้เพิ่มขึ้น ส่งผลให้การย่อยได้และกินได้เพิ่มขึ้น และมีส่วนช่วยในส่วนของการหมักในกระเพาะรูเมนทำให้เกิดสภาวะที่เหมาะสมต่อกิจกรรมของจุลินทรีย์ รวมถึงสารอาหารจากเชื้อยีสต์ยังส่งผลต่อการเพิ่มการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ในกระเพาะรูเมน (Wanapat & Pimpa, 1999)

Table 5 Effects of modified malt yeast on kinetic gas production

Items	T1	T2	T3	T4	T5	SEM	P-value	
							T1 vs. T2	T2 vs. T3, T4, T5
Kinetics of gas production								
a (ml)	-1.42	-1.29	-1.29	-1.27	-1.70	0.120	0.638	0.556
b (ml)	68.634	74.711	76.130	75.960	78.058	1.250	0.082	0.420
c (% h)	0.061	0.070	0.072	0.080	0.061	0.010	0.642	0.732
d (ml)	78.550	83.120	84.810	83.520	83.480	4.740	0.685	0.929
Gas production volume (ml/0.5 g DM)								
2 h.	6.435	8.217	8.930	9.727	8.013	0.910	0.419	0.701
8 h.	25.002	30.066	32.052	33.632	30.401	2.320	0.375	0.663
48 h.	63.495	70.561	72.416	71.985	72.859	1.520	0.091	0.531
72 h.	66.348	72.863	74.404	74.060	75.570	1.280	0.473	0.072
96 h.	67.013	73.314	74.534	74.761	76.173	1.240	0.071	0.451

T1 : Corn grain base concentrate diet to corn husk as a ratio 50 : 50, T2 : Fermented corn malt base concentrate diet to fermented corn husk as a ratio 50 : 50, T3 : Fermented corn malt base concentrate diet to fermented corn husk as a ratio 60 : 40, T4 : Fermented corn malt base concentrate diet to fermented corn husk as a ratio 70 : 30, T5 : Fermented corn malt base concentrate diet to fermented corn husk as a ratio 80 : 20.

สรุปผลการวิจัย

การใช้ข้าวโพดมอลต์หมักยีสต์ร่วมกับเปลือกข้าวโพดหมักยีสต์และจุลินทรีย์แลคติกในสูตรอาหาร มีผลต่อค่าความสามารถในการย่อยโดยเทคนิคในห้องปฏิบัติการ ทำให้ค่าการย่อยได้ของวัตถุดิบและค่าการย่อยได้ของอินทรีย์วัตถุสูงกว่าในกลุ่มที่ใช้วัตถุดิบข้าวโพดบดและทำให้ค่าจุลศาสตร์การผลิตแก๊สในส่วนของการย่อยได้ (ค่า b) และการเกิดแก๊สในการหมัก (ค่า c) มีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อเทียบกับการใช้วัตถุดิบข้าวโพดบด ซึ่งสามารถอนุมานได้ว่าการใช้ข้าวโพดดัดแปลงสามารถเป็นแหล่งพลังงานในสูตรอาหารได้

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณเครือข่ายบริหารการวิจัยภาคเหนือตอนบนเป็นอย่างยิ่งสำหรับเงินทุนสนับสนุนงานวิจัยในครั้งนี้ ตลอดจนอาจารย์

และเจ้าหน้าที่สาขาวิชาสัตวศาสตร์และประมง คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการเกษตร มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา น่าน ที่อนุเคราะห์สถานที่ อุปกรณ์ เครื่องมือทางวิทยาศาสตร์ ตลอดจนการทดลอง

References

- Adedokun, S. A., Jaynes, P., Payne, R. L., & Applegate, T. J. (2015). Standardized ileal amino acid digestibility of corn, corn distillers' dried grains with solubles, wheat middlings, and bakery by-products in broilers and laying hens. *Poultry Science*, 94(10), 2480–2487. doi: 10.3382/ps/pev226
- Association of Official Analytical Chemists (AOAC). (2000).

- Official methods of analysis (17thed.). Arlington, Virginia, United States: Association of Official Analytical Chemists.
- Bourapa, R., Kuha, K., Sintala, K., Srakaew, W., & Supphakitchanon, T. (2021). Effect of modified grain corn using different processing as energy source in total mixed ratio on rumen fluid degradability and metabolizable energy using *in vitro* gas production technique. *Khon Kaen Agriculture Journal*, 49(5), 1080-1091. doi: 10.48048/tis.2023.7060 (in Thai)
- Bureenok, S., Tamaki, M., Kawamoto, Y., & Nakada, T. (2007). Additive effects of green tea on fermented juice of epiphytic lactic acid bacteria (FJLB) and the fermentative quality of Rhodesgrass silage. *Asian-Australasian Journal of Animal Sciences*, 20(6), 920-924. doi: 10.5713/ajas.2007.920
- Cerrilla, M. E. O., & Mendoza, G. M. (2003). Starch digestion and glucose metabolism in the ruminant: a review. *Interciencia*, 28(7), 380- 386. doi: 0378-1844/03/07/380-07
- Getachew, G. , Crovetto, G. M. , Fondevila, M. , Krishnamoorthy, U. , Singh, B. , Spanghero, M. , Steingass, H., Robinson, P. H., & Kailas, M. M. (2002). Laboratory variation of 24 h *in vitro* gas production and estimated metabolizable energy values of ruminant feeds. *Animal Feed Science and Technology*, 102(1-4), 169-180. doi: 10.1016/S0377-8401(02)00212-2
- Goering, H. K., & Van Soest, P. J. (1970). *Forage fiber analyses (apparatus, reagents, procedures, and some applications)* . Washington, D. C., United States: U.S.D.A. Agricultural Research Service.
- Harris, L. E., Kears, L. C., & Fonnesebeck, P. V. (1972). Use of regression equations in predicting availability of energy and protein. *Journal of Animal Science*, 35(3), 658-680. doi: 10.2527/jas1972.353658x
- Hynes, S. H., Kjarsgaard, D. M., Thomas, K. C., & Ingledew, W. M. (1997). Use of virginiamycin to control the growth of lactic acid bacteria during alcohol fermentation. *Journal of Industrial Microbiology and Biotechnology*, 18, 284-291. doi: 10.1038/sj.jim.2900381
- Lee, S. Y., Kim, W. Y., Ko, J. Y., & Ha, J. K. (2002). Effects of corn processing on *in vitro* and *in situ* digestion of corn grain in Holstein steers. *Asian-Australasian Journal of Animal Sciences*, 15(6), 851-858. doi: 10.5713/ajas.2002.851
- Lunsin, R., Sokantat D., & Manop, J. (2021). Improving the nutritive values of corn dust by urea and molasses treatment as ruminant feed. *Khon Kaen Agriculture Journal*, 48(Suppl.1), 517-521.
- Markkar, H. P., Blümmel, M., & Becker, K. (1995). Formation of complexes between polyvinyl pyrrolidones or polyethylene glycols and tannins, and their implication in gas production and true digestibility in *in vitro* techniques. *The British Journal of Nutrition*, 73(6), 897-913. doi: 10.1079/bjn19950095
- Mathew, S., Sagathevan, S., Thomas, J., & Mathen, G. (1997). An HPLC method for estimation of volatile fatty acids of ruminal fluid. *The Indian Journal of Animal Sciences*, 67(9), 805-807.
- McNiven, M. A., Weisbjerg, M. R., & Hvelplund, T. (1995). Influence of roasting or sodium hydroxide treatment of barley on digestion in lactating cows. *Journal of Dairy Science*, 78(5), 1106- 1115. doi: 10.3168/jds.S0022-0302(95)76727-3
- Menke, K. H., & Steingass, H. (1988). Estimation of the energetic feed value obtained from chemical analysis and *in vitro* gas production using rumen fluid. *Animal Research and Development*, 28(1), 7-55.
- Nocek, J. E., & Tamminga, S. (1991). Site of digestion of starch in the gastrointestinal tract of dairy cows and its effect on milk yield and composition. *Journal of Dairy Science*, 74(10), 3598- 3629. doi: 10.3168/jds.S0022-0302(91)78552-4
- Owens, F. H., & Zinn, R. A. (2005). Corn grain for cattle: Influence of processing on site and extent of digestion. *Proceeding of Southwest nutrition conference* (pp. 86-112). Tucson, Arizona, United States: University of Arizona.
- Ørskov, E. R., & McDonald, I. (1979). The estimation of protein degradability in the rumen from incubation measurements weighted according to rate of passage. *The Journal of Agricultural Science*, 92(2), 499-503. doi: 10.1017/S0021859600063048
- Statistical Analysis System (SAS). (1998). *SAS/STAT user' guide*. North Carolina, United States: SAS Institute Inc.
- Sommart, K. (1998). *The use of cassava in ruminant diets based on low quality roughages*. (Doctoral dissertation). Newcastle, England. University of Newcastle.
- Srakaew, W., Leepradit, P., Chaiwong, S., Boarapa, R., Sintala, K., & Kuha, K. (2021). Ensiling corn malt on chemical composition and gas production kinetic by using *in vitro* gas production technique. *Khon Kaen*

- Agriculture Journal*, 48(suppl 1), 496-501. (in Thai)
- Thongnum, A., Khongphetsak, P., Sarkaew, W., Poojit, S., Potirahong, S., & Wachirapakorn, C. (2018). Effects of fiber feed improvement with urea on chemical composition and kinetic ruminal gas production of both rice straw and sugar cane top. *Proceeding of the 7th national animal science conference of Thailand 2018* (pp. 126-134). Chiangmai, Thailand: Maejo University. (in Thai).
- Van Soest, P. J., Robertson, J. B., & Lewis, B. A. (1991). Methods for dietary fiber, neutral detergent fiber and non starch polysaccharides in relation to animal nutrition. *Journal of Dairy Science*, 74(10), 3583-3597. doi: 10.3168/jds.S0022-0302(91)78551-2
- Wanapat, M., & Pimpa, O. (1999). Effect of ruminal NH₃-N levels on ruminal fermentation, purine derivatives, digestibility and rice straw intake in swamp buffaloes. *Asian-Australasian Journal of Animal Sciences*, 12(6), 904-907. doi: 10.5713/ajas.1999.904

Research article

Using malt corn fermented yeast with corn husk fermented with yeast and lactic acid using in vitro gas production technique

Ratchanee Bourapa^{1*} Suthathip Chaiwong¹ Kitsanathon Sintala¹ Kanthaya Jintanuworakul¹
Natthakorn Chaiyasaen¹ Piyamas Tancharoenrat² and Wuttikron Srakaew¹

¹Department of Animal Science and Fisheries, Faculty of Science and Agricultural Technology, Rajamangalg University of Technology Lanna, Nan Campus, Phupeang district, Nan Province, 55000

²Department of Animal Science and Fisheries, Faculty of Science and Agricultural Technology, Rajamangalg University of Technology Lanna, Lumpang Campus, Mueang district, Lumpang Province, 52000

ARTICLE INFO

Article history

Received: 8 May 2024

Revised: 5 June 2024

Accepted: 19 June 2024

Online published: 25 June 2024

Keyword

Corn malt

Corn husk

Lactic acid bacteria

Yeast

In vitro gas technique

ABSTRACT

The aim of this study was to evaluate the effects of yeast-fermented corn and corn husks fermented with yeast and lactic acid bacteria on chemical composition, gas production, and rumen digestion using *in vitro* techniques. The trial was designed as a completely randomized trial (CRD) with the following ratios of concentrate to roughage: 50 % corn grain and 50 % fermented corn husks (50 % CG + 50 % CH), 50 % fermented corn malt and 50 % fermented corn husks (50 % CM + 50 % CH), 60 % fermented corn malt and 40 % fermented corn husks (60 % CM + 40 % CH), 70 % fermented corn malt and 30 % fermented corn husks (70 % CM + 30 % CH), and 80 % fermented corn malt and 20 % fermented corn husks (80 % CM + 20 % CH). The results showed that the diet influenced the chemical composition and degradability in the rumen. The chemical composition of dry matter was 64.99 %, 53.55 %, 51.49 %, 50.99 %, and 50.15 %, and the crude protein content was 13.50 %, 14.20 %, 14.50 %, 15.20 %, and 15.70 %, respectively. *In vitro* dry matter digestibility (IVDMD) after 24 hours of incubation for the five formulas was 65.80 %, 69.25 %, 72.93 %, 73.35 %, and 76.70 %, respectively, and after 48 hours of incubation, it was 70.70 %, 73.50 %, 78.38 %, 79.33 %, and 81.55 %, respectively. These differences were statistically significant ($P < 0.01$). The digestibility of organic matter (*in vitro* organic matter digestibility, IVOMD) after 24 hours of incubation was 94.85 %, 95.98 %, 95.97 %, 96.55 %, and 97.28 %, respectively, showing very significant differences ($P < 0.01$). After 48 hours of incubation, the values were 96.70 %, 96.41 %, 95.97 %, 97.20 %, and 97.28 %, respectively. The results of the experiment indicated that corn malt fermented with yeast, along with agricultural by-products from corn husks fermented with yeast and lactic acid, improved the digestibility of dry matter and organic matter with longer incubation periods in the rumen.

*Corresponding author

E-mail address: ratchaneebourapa@gmail.com (R. Bourapa)

Online print: 25 June 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.2024.22>



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

บทความวิจัย

ประสิทธิภาพของเชื้อรา *Trichoderma asperellum* ในการควบคุมเชื้อรา *Colletotrichum gloeosporioides* สาเหตุโรคแอนแทรคโนสของมะม่วงน้ำดอกไม้

ฉัตร ปทุมพร สำราญ พิมราช และ กัญชลิกา รัตนเชิดฉาย*

สาขาวิชาเทคโนโลยีการเกษตร คณะเทคโนโลยีการเกษตร มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม อำเภอเมือง จังหวัดมหาสารคาม 44000

ข้อมูลบทความ

Article history

รับ: 20 พฤษภาคม 2567

แก้ไข: 10 มิถุนายน 2567

ตอบรับการตีพิมพ์: 12 มิถุนายน 2567

ตีพิมพ์ออนไลน์: 25 มิถุนายน 2567

คำสำคัญ

มะม่วง

ไตรโคเดอร์มา

โรคแอนแทรคโนส

บทคัดย่อ

การทดสอบประสิทธิภาพของเชื้อรา *Trichoderma asperellum* ในการควบคุมโรคแอนแทรคโนสของมะม่วงน้ำดอกไม้ที่มีสาเหตุมาจากเชื้อรา *Colletotrichum gloeosporioides* โดยการแยกเชื้อราสาเหตุโรคจากใบมะม่วงด้วยวิธี Tissue transplanting ได้เชื้อราจำนวน 20 ไอโซเลท นำเชื้อราทั้ง 20 ไอโซเลท มาทดสอบการเกิดโรคด้วยวิธี Detached leaves พบว่า ไอโซเลท M05 สามารถทำให้เกิดโรครุนแรงที่สุด ในการทดสอบประสิทธิภาพของเชื้อรา *T. asperellum* ในการยับยั้งการเจริญของเส้นใยเชื้อรา *C. gloeosporioides* M05 ด้วยวิธีเลี้ยงเชื้อร่วม พบว่า *T. asperellum* สามารถยับยั้งการเจริญของเส้นใยและการสร้างสปอร์ของเชื้อรา *C. gloeosporioides* M05 ที่ 86.39 และ 78.87 % ตามลำดับ นอกจากนี้เชื้อรา *T. asperellum* สามารถควบคุมการเกิดโรคแอนแทรคโนสบนใบมะม่วงในสภาพโรงเรือนทดลอง ได้ 77.60 % อย่างไรก็ตาม ไม่พบความแตกต่างกันทางสถิติกับเชื้อรา *T. harzianum* (สายพันธุ์กรมวิชาการเกษตร) ($p < 0.05$)

บทนำ

มะม่วงเป็นผลไม้เศรษฐกิจที่โดดเด่นอีกชนิดหนึ่งของประเทศไทยที่สามารถทำรายได้เป็นจำนวนมาก เป็นผลไม้ที่มีความสำคัญทางเศรษฐกิจที่มีการส่งออกไปยังต่างประเทศ โดยตลาดส่งออกมะม่วงสดที่สำคัญ คือ มาเลเซีย เกาหลีใต้ เวียดนาม ญี่ปุ่น และสิงคโปร์ ผลผลิตรวมมะม่วงสดหรือแช่เย็นจนแข็งรวมไปถึงยังมะม่วงแปรรูป ปริมาณ 116,850,440 กิโลกรัม คิดเป็นมูลค่า 5,997,063,749 บาท (Office of Agricultural Economics, 2021) ผลผลิตมีทั้งรับประทานสดได้แก่ พันธุ์ฟ้าลั่น เขียวเสวย แรด พิมเสนมัน ทองคำ เขียวไข่กา และหนองแซง ผลสุก ได้แก่ พันธุ์น้ำดอกไม้ อกร่อง พิมเสน นวลจันทร์ และมหาชนก เป็นต้น จากข้อมูลของกรมส่งเสริมการเกษตร ประเทศไทยมีพื้นที่เพาะปลูกมะม่วง จำนวน 599,369.61 ไร่ (Department of Agricultural Extension, 2022) มะม่วงจึงนับเป็นอีกหนึ่งพืชทางเลือกที่สร้างรายได้ให้เกษตรกร แต่การปลูกมะม่วงในปัจจุบันมักประสบปัญหาเรื่องโรคเข้าทำลาย ส่งผลต่อการเจริญเติบโตและผลผลิต เช่น โรคราแป้ง โรคใบจุดสาหร่าย โรครากไหม้ โรคคราดำ โรคยางไหลกิ่งแห้ง เป็นต้น โดยเฉพาะโรคแอนแทรคโนส (Anthracnose) เป็นโรคที่มีความสำคัญมากที่สุดในการผลิตมะม่วง (Chiangsin et al., 2016) มีสาเหตุมาจากเชื้อรา *Colletotrichum gloeosporioides* ซึ่งเป็นเชื้อราสาเหตุที่สามารถทำให้เกิดโรคได้ทุกระยะของมะม่วงทั้งในระยะก่อนและหลังการเก็บเกี่ยว เพราะโรคนี้ทำความเสียหายต่อต้น

มะม่วงตั้งแต่ที่อยู่ในสวนไปจนถึงผลมะม่วงหลังเก็บเกี่ยวที่ออกจากสวนแล้ว สามารถเข้าทำลายทุกส่วนของมะม่วง ทำให้ผลผลิตมีคุณภาพต่ำไม่สามารถนำออกจำหน่ายได้ ก่อให้เกิดความเสียหายอย่างมากต่อการผลิตมะม่วงเพื่อการส่งออก สร้างความเสียหายแก่มูลค่าทางเศรษฐกิจเป็นอย่างมาก ซึ่งการแพร่กระจายของโรคแอนแทรคโนสเกิดจากโคนเดียวที่ผลิตบนใบที่เป็นโรคแล้วร่วงหล่นสู่ช่อดอกที่แห้งและฐานรองดอก แพร่ระบาดไปโดยทางลมและฝน โดยเฉพาะในสภาพอากาศที่ชื้นอุณหภูมิสูงสลับกับความแห้งแล้ง สปอร์ของเชื้อราจากใบที่เป็นโรคจะไหลไปตามหยดน้ำลงสู่ช่อดอกและกระจายไปทั่วผลทำให้ช่อดอกและก้นผลเน่า บางครั้งมีการกัดตัวในผลและทำให้ผลเน่าในระยะหลังเก็บเกี่ยว (Department of Agricultural Extension, 2022) ดังนั้นในการป้องกันหรือควบคุมโรคแอนแทรคโนสของมะม่วงจึงควรลดการโรคนบนใบ ซึ่งเป็นแหล่งพักอาศัยและแพร่กระจายของเชื้อก่อนที่จะติดไปกับผลตั้งแต่ระยะช่อดอก หรือขณะผลอ่อนซึ่งจะก่อให้เกิดความเสียหายเมื่อผลสุกและจากปัญหาการที่เชื้อดำนานต่อการไหลสารเคมี

การควบคุมโรคแอนแทรคโนสในมะม่วงส่วนใหญ่เกษตรกรจะนิยมใช้สารเคมีป้องกันกำจัดเชื้อราซึ่งเป็นอันตรายต่อผู้ผลิตและผู้บริโภค ก่อให้เกิดผลเสียหลาย ๆ อย่างตามมา เช่น การเกิดสารเคมีตกค้างในผลไม้ที่สูงกว่าเกณฑ์ที่ประเทศผู้ค้ากำหนดไว้ ซึ่งมีผลต่อการส่งออกไปยังประเทศต่าง ๆ กระทบต่อผลผลิตที่จะส่งออกและสภาพแวดล้อม และส่งผลให้เชื้อราในธรรมชาติดีด้อย ดังนั้น การควบคุม

*Corresponding author

E-mail address: kanchalika.ra@rmu.ac.th (K. Ratanacherdchai)

Online print: 25 April 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.2024.23>

โรคพืชโดยชีววิธี (Biological control) จึงเป็นอีกหนึ่งทางเลือกสำหรับการผลิตมะม่วงเพื่อการส่งออก การใช้จุลินทรีย์ที่เป็นปฏิปักษ์ในการป้องกันกำจัดเชื้อราสาเหตุโรคพืชเป็นวิธีการในการควบคุมโรคพืชโดยชีววิธี ซึ่งถือว่าเป็นอีกวิธีการหนึ่งที่มีความปลอดภัย (Sukkhang, 2017) ซึ่งเชื้อราไตรโคเดอร์มาเป็นเชื้อจุลินทรีย์อีกชนิดหนึ่งที่มีรายงานว่าสามารถป้องกันกำจัดโรคพืชโดยชีววิธีได้อย่างมีประสิทธิภาพในพืชหลายชนิด

โดยมีรายงานว่าเชื้อรา *Trichoderma harzianum* สามารถควบคุมเชื้อสาเหตุโรคเน่าระดับดินของมะเขือเทศได้ (Intana et al., 2016) สามารถควบคุมรา *Albugo ipomoeae-aquaticae* เชื้อสาเหตุโรคราสนิมขาวของผักบุ้งได้ (Somrug & Teanglum, 2016) และสามารถควบคุมยับยั้งการเจริญของเส้นใยรา *Phyllosticta citriasiana* สาเหตุโรคจุดสีน้ำตาลในส้มโอได้ (Na Nan et al., 2017) นอกจากนี้ยังมีรายงานว่าเชื้อรา *T. asperellum* สามารถยับยั้งการเจริญของเชื้อราสาเหตุโรคหลายชนิด เช่น เชื้อรา *Colletotrichum gloeosporioides* สาเหตุโรคแอนแทรคโนสของมะม่วง เชื้อรา *Stemphylium vesicarium* สาเหตุโรคใบไหม้ของหอมหัวใหญ่ที่ปลูกในประเทศเม็กซิโก (De los Santos-Villalobos et al., 2013; Zapata-Sarmiento et al., 2020) และสามารถยับยั้งการเจริญของเส้นใยเชื้อรา *Phytophthora plasmivola* สาเหตุโรคเน่าดำของกล้วยไม้ได้อีกด้วย (Ratanacherdchai et al., 2019)

ซึ่งคุณสมบัติของเชื้อราไตรโคเดอร์มา สามารถพบได้ทั่วไปในดิน เป็นเชื้อราปฏิปักษ์ที่มีรายงานว่ามีประสิทธิภาพสามารถควบคุมเชื้อราที่เป็นสาเหตุโรคพืชได้ โดยเชื้อราไตรโคเดอร์มาจะเข้าทำลายเส้นใยเชื้อราก่อโรคโดยการพันและแทงเข้าไปทำลาย ทำให้เส้นใยเหี่ยวแห้งและสลายไป หรือแข่งขันการใช้อาหารและปัจจัยต่าง ๆ ของเชื้อโรค ส่งผลให้เชื้อราก่อโรคสลายและตายไปในที่สุด (Kaewchai, 2012) จะเห็นได้ว่าเชื้อราไตรโคเดอร์มาสามารถยับยั้งเชื้อราที่เป็นสาเหตุของโรคพืชได้หลายชนิด การใช้เชื้อราไตรโคเดอร์มาจึงเป็นอีกทางเลือกหนึ่งที่จะช่วยให้เกษตรกรลดการใช้สารเคมีในกระบวนการผลิตตั้งแต่แปลงปลูกจนถึงผู้บริโภค อีกทั้งการใช้เชื้อปฏิปักษ์สามารถเจริญและเพิ่มจำนวนได้ในธรรมชาติ ไม่ก่อให้เกิดสารพิษตกค้าง และปกป้องพืชจากเชื้อก่อโรคได้อย่างยาวนาน

ดังนั้น การวิจัยครั้งนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาประสิทธิภาพของเชื้อรา *Trichoderma asperellum* ในการยับยั้งการเจริญของเชื้อราสาเหตุโรคแอนแทรคโนสของมะม่วงในสภาพห้องปฏิบัติการ และเพื่อศึกษาประสิทธิภาพของเชื้อรา *Trichoderma asperellum* ในการควบคุมโรคแอนแทรคโนสของมะม่วงในสภาพโรงเรือนทดลอง ซึ่งข้อมูลดังกล่าวจะเป็นประโยชน์ในการลดการใช้สารเคมีในการป้องกันกำจัดโรคในการผลิตมะม่วง หรือผลิตมะม่วงอินทรีย์สำหรับเกษตรกรต่อไป

อุปกรณ์และวิธีการวิจัย

1. การแยกเชื้อสาเหตุ และการศึกษาลักษณะทางสัณฐานวิทยาของเชื้อสาเหตุโรคแอนแทรคโนสของมะม่วง

การแยกเชื้อสาเหตุที่ทำให้เกิดโรคแอนแทรคโนสของมะม่วง ทำโดยเก็บตัวอย่างใบมะม่วงน้ำดอกไม้มากำหนดอาการโรคจากแปลงปลูกมะม่วงของเกษตรกร จากอำเภอนองบุรี จังหวัดกาฬสินธุ์ โดย

เก็บตัวอย่างใบมะม่วงที่แสดงอาการโรคในถุงพลาสติกที่ใส่สาลิซูป น้ำกลั่นให้อยู่ในสภาพ Moist chamber และนำมาแยกเชื้อราสาเหตุโรคในห้องปฏิบัติการโดยวิธี Tissue transplant โดยตัดใบเป็นชิ้นขนาด 0.5 x 0.5 ตารางเซนติเมตร ฆ่าเชื้อที่ผิวด้วยสารละลาย Sodium hypochlorite เป็นเวลา 5 นาที จากนั้นล้างด้วยน้ำที่ผ่านการฆ่าเชื้อ นาน 5 นาที ผึ่งขึ้นพืชให้แห้ง และวางขึ้นพืชบนอาหาร Water agar (WA) และย้ายลงบนอาหาร Potato dextrose agar (PDA) จนได้เชื้อบริสุทธิ์เพื่อใช้ในการทดลองต่อไป

การศึกษาลักษณะทางสัณฐานวิทยา (Morphology) ของเชื้อราสาเหตุโรคแอนแทรคโนสของมะม่วง โดยนำสปอร์ของเชื้อราทุกไอโซเลทที่แยกได้มาเลี้ยงบนอาหาร PDA สังเกตการเจริญของเชื้อรา ลักษณะโคโลนี เส้นใย และโคนเหี่ยว ตรวจสอบภายใต้กล้องจุลทรรศน์ และจัดจำแนกชนิดของเชื้อราสาเหตุโรคตามลักษณะทางสัณฐานวิทยาโดยวิธีของ Rodriguez & Redman (2008)

2. การทดสอบความสามารถของการทำให้เกิดโรค (Pathogenicity test) ของเชื้อรากับใบมะม่วงโดยวิธี Detached leaf

ทำการทดสอบความสามารถในการทำให้เกิดโรคของเชื้อราสาเหตุโรคบนใบมะม่วงน้ำดอกไม้มากำหนดอาการโรคโดยวิธี Detached leaf (Ratanacherdchai et al., 2019) ทำการทดลองแบบ Completely randomized design (CRD) มี 4 ซ้ำ โดยมีจำนวน Treatment เท่ากับจำนวนไอโซเลท ของเชื้อราสาเหตุโรคที่แยกได้ โดยนำเชื้อราสาเหตุโรคที่แยกได้ทุกไอโซเลท นำมาเลี้ยงบนอาหาร PDA อายุ 10 วัน จากนั้นใช้ Cork borer ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.5 เซนติเมตร ที่ผ่านการลนไฟฆ่าเชื้อเจาะบริเวณขอบโคโลนี แล้วย้ายชิ้นวัณที่มีเชื้อราสาเหตุโรคลงบริเวณใบมะม่วงอ่อน (มีสีเขียวอ่อน ภายหลังแตกตา 7 วัน เก็บใบที่ 4 – 5 นับจากยอด) ดังแสดงใน Figure 1 ที่ทำให้เกิดแผลด้วยปลายเข็มหมุดลงไฟฆ่าเชื้อ ใบละ 2 แผล จำนวนละ 4 ซ้ำ ๆ ละ 2 ใบ เปรียบเทียบกับวิธีการเปรียบเทียบ (Control) ที่ใช้อาหาร PDA อย่างเดียว จากนั้นนำใบมะม่วงที่ทำการปลูกเชื้อแล้ว (Inoculated leaf) ไปบ่มไว้ในสภาพให้ความชื้น (Moist chamber) ตรวจสอบผลการทดลองหลังปลูกเชื้อ โดยสังเกตการเกิดอาการโรคบนแผล วัดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของแผลที่ทำการปลูกเชื้อเปรียบเทียบกับ Control

ทำการวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติ (ANOVA) และเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยระหว่าง Treatment means แบบ Duncan's multiple range test (DMRT) จากนั้นคัดเลือกเชื้อราสาเหตุโรคไอโซเลทที่ทำให้เกิดโรครุนแรงที่สุดเพียงไอโซเลทเดียวเพื่อนำไปใช้ในการทดลองต่อไป



Figure 1 The young foliage of mango trees for pathogenicity test.

3. การทดสอบประสิทธิภาพของเชื้อรา *Trichoderma asperellum* ในการยับยั้งการเจริญของเชื้อราสาเหตุของโรคแอนแทรกโนสของมะม่วงโดยวิธีเลี้ยงเชื้อในอาหารร่วม (Bi-culture antagonistic test)

ทำการทดสอบประสิทธิภาพของเชื้อรา *T. asperellum* AGBM (สายพันธุ์ห้องปฏิบัติการอารักขาพืช คณะเทคโนโลยีการเกษตร มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม) เปรียบเทียบกับเชื้อราไตรโคเดอร์มา จำนวน 3 สายพันธุ์ ได้แก่ เชื้อรา *T. harzianum* (สายพันธุ์กรมวิชาการเกษตร) เชื้อรา *T. harzianum* (สายพันธุ์การค้า 1) และ เชื้อรา *Trichoderma* spp. (สายพันธุ์การค้า 2) ในการยับยั้งการเจริญของเชื้อราสาเหตุของโรคแอนแทรกโนสของมะม่วงโดยวิธีเลี้ยงเชื้อในอาหารร่วม (Ratanacherdchai et al., 2018) ทำการทดลองแบบ CRD มีจำนวน 4 ซ้ำ โดยนำเชื้อราไตรโคเดอร์มา จำนวน 4 สายพันธุ์ มาทดสอบความสามารถในการยับยั้งการเจริญของเชื้อราสาเหตุโรคแอนแทรกโนสของมะม่วงซึ่งเป็นไอโซเลทที่ทำให้เกิดโรครุนแรงที่สุด โดยการเลี้ยงเชื้อราสาเหตุโรคแอนแทรกโนสของมะม่วงและเชื้อราไตรโคเดอร์มา บนอาหาร PDA บ่มเชื้อที่อุณหภูมิห้องที่อายุ 10 วัน แล้วใช้ Cork borer ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.5 เซนติเมตร ที่ลนไฟฆ่าเชื้อแล้วเจาะขึ้นรู้นที่มีเชื้อราบริเวณขอบโคโลนี และย้ายชิ้นส่วนของเชื้อราไตรโคเดอร์มาแต่ละสายพันธุ์ จำนวน 1 ชิ้น วางบนอาหาร PDA ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 9 เซนติเมตร และย้ายชิ้นส่วนของเชื้อราสาเหตุโรควางด้านตรงข้ามกับชิ้นส่วนของเชื้อราไตรโคเดอร์มา โดยวางให้ห่างกัน 4 เซนติเมตร และห่างจากขอบจานอาหารทั้งสองด้าน 2.5 เซนติเมตร ทำการทดสอบเชื้อราไตรโคเดอร์มาแต่ละสายพันธุ์แยกจากกัน และมีเชื้อราสาเหตุโรคบนอาหาร PDA เป็นตัวเปรียบเทียบ (Control) บ่มจานอาหารเลี้ยงเชื้อร่วมและจานอาหารเปรียบเทียบที่อุณหภูมิห้องเมื่อเส้นใยของเชื้อราสาเหตุโรคในจานอาหารเปรียบเทียบเจริญเต็มจานอาหาร ให้เก็บผลการทดลองโดยวัดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของโคโลนีและนับจำนวนสปอร์ของเชื้อราสาเหตุโรคในจานอาหารเลี้ยงเชื้อร่วมและจานอาหารเปรียบเทียบ ด้วย Haemocytometer แล้วนำมาคำนวณหา % การยับยั้งการเจริญ (Growth Inhibition) จากสูตรดังนี้ (Ratanacherdchai et al., 2018)

$$\text{Growth inhibition (\%)} = (\text{RC}-\text{RT})/\text{RC} \times 100$$

โดย RC = ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางโคโลนีหรือจำนวนสปอร์ของเชื้อราสาเหตุโรคในจานอาหารเปรียบเทียบ (Control)

RT = ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางโคโลนีหรือจำนวนสปอร์ของเชื้อราสาเหตุโรคในจานอาหารเลี้ยงเชื้อร่วม (Bi-culture)

นำข้อมูลที่ได้มาทำการวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติ (ANOVA) และเปรียบเทียบ Treatment mean แบบ DMRT

4. การทดสอบประสิทธิภาพของเชื้อรา *Trichoderma asperellum* ในการควบคุมโรคแอนแทรกโนสมะม่วงภายใต้สภาพโรงเรือน

เลี้ยงเชื้อราไตรโคเดอร์มา จำนวน 4 สายพันธุ์ และเชื้อราสาเหตุโรคแอนแทรกโนสมะม่วงไอโซเลทที่มีความสามารถในการทำให้เกิดโรคได้รุนแรงที่สุด จำนวน 1 ไอโซเลท บนอาหาร PDA เตรียมสปอร์แขวนลอยของเชื้อราไตรโคเดอร์มาแต่ละสายพันธุ์และเชื้อราสาเหตุโรคแอนแทรกโนสที่เข้มข้น 1.0×10^6 สปอร์ต่อมิลลิลิตร เพื่อนำไปใช้ในการทดลองกับต้นมะม่วงอายุ 1 ปี ที่แตกใบอ่อนอายุ 7 วัน หลังแตกตา ที่ปลูกในถุงพลาสติก ขนาด 12 นิ้ว ในสภาพโรงเรือนทดลอง สำนักงานเกษตรอำเภอ สหัสขันธ์ จังหวัดกาฬสินธุ์

ทำการทดลองแบบ Randomized complete block design (RCBD) มีจำนวน 4 ซ้ำ (ซ้ำละ 2 ต้น) จำนวน 5 Treatment นีดพ่นสปอร์แขวนลอยของเชื้อราไตรโคเดอร์มาแต่ละสายพันธุ์ ที่ความเข้มข้น 1.0×10^6 สปอร์ต่อมิลลิลิตร ลงใบอ่อนของมะม่วงให้ทั่ว จากนั้นฉีดพ่นด้วยสปอร์แขวนลอยของเชื้อราสาเหตุโรคแอนแทรกโนส หลังจากฉีดพ่นด้วยสปอร์แขวนลอยของเชื้อราไตรโคเดอร์มาและเชื้อราสาเหตุโรคแอนแทรกโนสแล้วให้ใช้ถุงพลาสติกใสคลุมต้นมะม่วง บ่มเชื้อในสภาพ Moisture chamber โดยการใช้การฉีดพ่นสปอร์แขวนลอยของเชื้อราสาเหตุโรคแอนแทรกโนสเพียงอย่างเดียวเป็นตัวเปรียบเทียบ (Control) ทำการประเมินการเกิดโรค เป็นระยะเวลา 24, 48, 72, 84, 96, 120, และ 144 ชั่วโมง หลังจากปลูกเชื้อ โดยนับจำนวนใบอ่อนที่แสดงอาการโรคแอนแทรกโนสแต่ละต้น นำมาคำนวณ % การเกิดโรค (Disease incidence) และ % การควบคุมโรค (Disease control) จากสูตรดังนี้ (Chiangsin et al., 2016)

% การเกิดโรค (Disease incidence)

$$\text{Disease incidence (\%)} = (\text{LI}/\text{LT}) \times 100$$

โดย LI = จำนวนใบที่แสดงอาการของโรค

LT = จำนวนใบทั้งหมด

% การควบคุมโรค (Disease control)

$$\text{Disease control (\%)} = (\text{DC} - \text{DT}) / \text{DC} \times 100$$

โดย DC = จำนวนใบที่แสดงอาการโรคในกรรมวิธีเปรียบเทียบ (control)

DT = จำนวนใบที่แสดงอาการโรคในกรรมวิธีที่ฉีดพ่นเชื้อราไตรโคเดอร์มารวมด้วย

5. การวิเคราะห์ข้อมูล

วิเคราะห์ความแปรปรวน (Analysis of Variance) ของข้อมูลแต่ละลักษณะตามแผนการทดลอง และเปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างค่าเฉลี่ยของแต่ละกรรมวิธีโดยใช้วิธี DMRT

ผลและวิจารณ์ผลการวิจัย

1. ผลการแยกเชื้อสาเหตุ และการศึกษาลักษณะทางสัณฐานวิทยาของเชื้อสาเหตุโรคแอนแทรกโนสของมะม่วง

จากการแยกเชื้อราสาเหตุโรคแอนแทรกโนสของมะม่วง น้ำตอกไม้จากลักษณะอาการของโรคแอนแทรกโนสโดยเก็บตัวอย่างมะม่วงที่แสดงอาการโรคใส่ในถุงพลาสติกและนำมาแยกเชื้อสาเหตุโรคในห้องปฏิบัติการโดยวิธี Tissue transplant พบว่า โรคแอนแทรกโนสมีสาเหตุมาจากเชื้อรา *Colletotrichum gloeosporioides* (Figure 2) การจัดจำแนกชนิดของเชื้อราสาเหตุโรคตามลักษณะทางสัณฐานวิทยาโดยวิธีของ Rodriguez & Redman (2008) จากการสังเกตได้กล้องจุลทรรศน์ พบว่า เชื้อราที่เจริญบนอาหารเลี้ยงเชื้อสร้างโคนิเดียเซลล์เดี่ยว ผันบาง เรียบ ลักษณะรูปร่างยาวรี โดยแยกได้ทั้งหมดจำนวน 20 ไอโซเลท ซึ่งสอดคล้องกับรายงานของ Rodriguez & Redman (2008) ที่พบว่า เชื้อรา *C. gloeosporioides* ที่เจริญบนอาหารเลี้ยงเชื้อสร้างโคนิเดียเดี่ยว ๆ ไม่มีสี เซลล์เดี่ยว ผันบาง เรียบ ลักษณะรูปร่างรูปไข่ หรือยาวรี ตรง หรือโค้งงอ อาจมี Guttule ลักษณะคล้ายฟองอากาศอยู่ภายใน มีการสร้าง Sterile hypha สีน้ำตาล ผันหนาเรียบ ปลายแหลมคล้ายหนามเรียกว่า Setae บริเวณขอบของ Acervulus ลักษณะการสร้าง Setae ของเชื้อรานี้เป็น

ลักษณะที่ไม่คงที่ เปลี่ยนแปลงได้ตามสภาพของอาหารเลี้ยงเชื้อ Appressorium สีน้ำตาล มีผนังสีน้ำตาลเข้มลักษณะรูปร่างค่อนข้างกลมรีคล้ายกระบอง หรือรูปร่างไม่แน่นอน โดยเชื้อรา *C. gloeosporioides* เป็นเชื้อสาเหตุโรคแอนแทรคโนสที่สำคัญของไม้ผลหลายชนิด โดยพบการเข้าทำลายในมะม่วงหลายสายพันธุ์ ในการเข้าทำลายมะม่วงนั้น เชื้อรา *C. gloeosporioides* สามารถทำให้มะม่วงเกิดอาการโรคได้ทุกระยะของการเจริญเติบโตของมะม่วง ตั้งแต่ระยะช่อดอก ผลอ่อน จนกระทั่งปรากฏพบอาการของโรคแอนแทรคโนสชัดเจนเมื่อมะม่วงสุกหลังเก็บเกี่ยว ซึ่งสอดคล้องกับรายงานของ Nuchnuanrat & Jitsatta (2021) ที่พบว่า เชื้อรา *C. gloeosporioides* เป็นเชื้อสาเหตุโรคแอนแทรคโนสของมะม่วงอกร่อง และสามารถเข้าทำลายได้เกือบทุกส่วน โดยแสดงอาการเป็นแผลจุดบนใบ กิ่ง หรือผล และหากมีการเข้าทำลายที่รุนแรงก็จะทำให้มีอาการใบแห้ง บิดเบี้ยว ช่อดอกแห้งไม่ติดผล ผลเน่า และเป็นโรคหลังการเก็บเกี่ยวที่สำคัญของมะม่วง

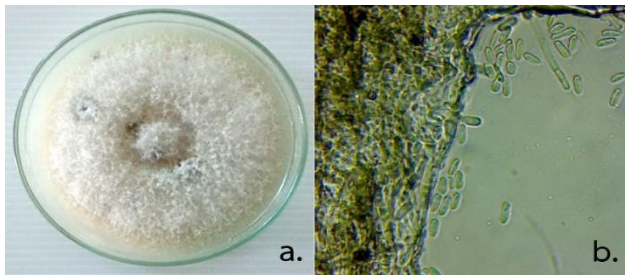


Figure 2 *Colletotrichum gloeosporioides* M05: a. colony on PDA medium, b. conidia.

2. ผลการทดสอบความสามารถของการทำให้เกิดโรค (Pathogenicity test) ของเชื้อรากับใบมะม่วงโดยวิธี Detached leaf

จากการทดสอบความสามารถในการทำให้เกิดโรคแอนแทรคโนสของเชื้อรา *C. gloeosporioides* ที่แยกได้จากใบมะม่วงที่แสดงอาการจำนวนทั้ง 20 ไอโซเลท ทดสอบกับใบมะม่วงที่ไม่แสดงอาการโรค เมื่อตรวจผลหลังการปลูกเชื้อ พบว่า เชื้อราทั้ง 20 ไอโซเลท ที่แยกได้สามารถทำให้ใบมะม่วงเกิดอาการโรคได้ทุกไอโซเลท โดยพบว่า เชื้อรา *C. gloeosporioides* M05 สามารถทำให้เกิดโรคบนใบมะม่วงได้รุนแรงที่สุด โดยผลมีสีน้ำตาลและขยายเป็นวงกว้างออกไป เมื่อเปรียบเทียบกับวิธีการเปรียบเทียบ (Control) ซึ่งไม่พบอาการโรค โดยมีเส้นผ่านศูนย์กลางของแผลเฉลี่ยเท่ากับ 1.96 เซนติเมตร ซึ่งมีความแตกต่างกันทางสถิติกับวิธีการเปรียบเทียบที่ไม่พบอาการของโรค และไอโซเลทอื่น ๆ (Table 1 และ Figure 2)

จากการทดสอบความสามารถในการทำให้เกิดโรคบนใบมะม่วงอ่อนที่มีสีเขียวอ่อน ซึ่งเป็นใบที่ 4 – 5 นับจากยอด เก็บหลังแตกตา 7 วัน พบว่า เชื้อรา *C. gloeosporioides* ทุกไอโซเลท สามารถทำให้ใบมะม่วงแสดงอาการโรคได้ ซึ่งสอดคล้องกับรายงานของ Chiangsin et al. (2016) ที่ทำการปลูกเชื้อรา *C. gloeosporioides* ลงบนใบอ่อนและใบแก่ของมะม่วงน้ำดอกไม้สีทองซึ่งเป็นสาเหตุของโรคแอนแทรคโนส พบว่า เชื้อราสามารถเข้าทำลายใบอ่อนได้โดยแสดงอาการน้ำาบริเวณที่เชื้อราเข้าทำลาย และเซลล์เนื้อเยื่อใบเปลี่ยนเป็นสีน้ำตาลหลังปลูกเชื้อรา ซึ่งมีความรุนแรงของโรคบนใบอ่อนเท่ากับ 25.7 – 46.0 % อย่างไม่รู้ก็ตามบนใบแก่ไม่แสดงอาการของโรค

Table 1 Pathogenicity test of *Colletotrichum gloeosporioides* isolates on mango leaves using plug inoculation method for 10 days

Isolates	Disease diameter (cm)
Control	0.00 ^h
<i>C. gloeosporioides</i> M01	1.45 ^{bcdef}
<i>C. gloeosporioides</i> M02	1.45 ^{bcdef}
<i>C. gloeosporioides</i> M03	1.17 ^{fg}
<i>C. gloeosporioides</i> M04	1.69 ^{abcd}
<i>C. gloeosporioides</i> M05	1.96 ^a
<i>C. gloeosporioides</i> M06	1.60 ^{abcde}
<i>C. gloeosporioides</i> M07	1.40 ^{cdef}
<i>C. gloeosporioides</i> M08	1.62 ^{abcde}
<i>C. gloeosporioides</i> M09	1.47 ^{bcdef}
<i>C. gloeosporioides</i> M10	1.60 ^{abcde}
<i>C. gloeosporioides</i> M11	1.17 ^{fg}
<i>C. gloeosporioides</i> M12	1.36 ^{def}
<i>C. gloeosporioides</i> M13	1.78 ^{abc}
<i>C. gloeosporioides</i> M14	0.92 ^g
<i>C. gloeosporioides</i> M15	1.28 ^{efg}
<i>C. gloeosporioides</i> M16	1.73 ^{abcd}
<i>C. gloeosporioides</i> M17	1.73 ^{abcd}
<i>C. gloeosporioides</i> M18	1.40 ^{cdef}
<i>C. gloeosporioides</i> M19	1.53 ^{bcdef}
<i>C. gloeosporioides</i> M20	1.82 ^{ab}
C.V. (%)	16.36

^{a-g} Average of four replications. Means followed by the same letter in a column were not significantly different by DMRT at P=0.05.

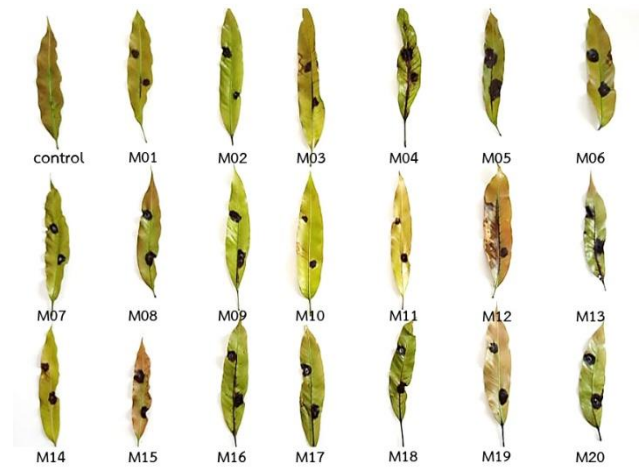


Figure 3 Pathogenicity test of *Colletotrichum gloeosporioides* isolates on mango leaves using plug inoculation method for 10 days.

3. ผลการทดสอบประสิทธิภาพของเชื้อรา Trichoderma asperellum ในการยับยั้งการเจริญของเชื้อราสาเหตุของโรคแอนแทรคโนสของมะม่วงโดยวิธีเลี้ยงเชื้อในอาหารร่วม (Bi-culture antagonistic test)

การทดสอบประสิทธิภาพของเชื้อรา *Trichoderma asperellum* เปรียบเทียบกับเชื้อราไตรโคเดอร์มา จำนวน 3 สายพันธุ์ ได้แก่ เชื้อรา *T. harzianum* (สายพันธุ์กรมวิชาการเกษตร) เชื้อรา *T. harzianum* (สายพันธุ์การค้า 1) และ เชื้อรา *Trichoderma* spp. (สายพันธุ์การค้า 2) ในการยับยั้งการเจริญของเชื้อราสาเหตุโรคแอนแทรคโนสของมะม่วง *C. gloeosporioides* M05 โดยการเลี้ยงเชื้อในอาหารร่วม ผลการทดลอง พบว่า เชื้อรา *T. harzianum* (สายพันธุ์กรมวิชาการเกษตร) สามารถยับยั้งการเจริญของเส้นใยเชื้อราสาเหตุโรคบนอาหารเลี้ยงเชื้อร่วมได้ดีที่สุด เท่ากับ 87.92 % ซึ่งมีความ

แตกต่างทางสถิติกับเชื้อราไตรโคเดอร์มาสายพันธุ์อื่น ๆ รองลงมา ได้แก่ เชื้อรา *T. asperellum* AGBM สามารถยับยั้งการเจริญของเส้นใยเชื้อราสาเหตุโรคบนอาหารเลี้ยงเชื้อร่วมได้ 86.39 % เชื้อรา *Trichoderma* spp. (สายพันธุ์การค้า 1) สามารถยับยั้งการเจริญของเส้นใยเชื้อราสาเหตุโรคบนอาหารเลี้ยงเชื้อร่วมได้ 86.11 % และ เชื้อรา *T. harzianum* (สายพันธุ์การค้า 2) สามารถยับยั้งการเจริญของเส้นใยเชื้อราสาเหตุโรคบนอาหารเลี้ยงเชื้อร่วมได้ 85.28 % (Table 2)

เชื้อราไตรโคเดอร์มา ทั้ง 4 สายพันธุ์ ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติในการยับยั้งการสร้างสปอร์ของเชื้อรา *C. gloeosporioides* M05 โดยพบว่า เชื้อรา *T. harzianum* (สายพันธุ์กรมวิชาการเกษตร) สามารถยับยั้งการสร้างสปอร์ของเชื้อราสาเหตุโรคบนอาหารเลี้ยงเชื้อร่วมได้ เท่ากับ 84.51 % รองลงมา ได้แก่ เชื้อรา *T. harzianum* (สายพันธุ์การค้า 1) สามารถยับยั้งการสร้างสปอร์ของเชื้อราสาเหตุโรคบนอาหารเลี้ยงเชื้อร่วมได้ เท่ากับ 81.69 % เชื้อรา *T. asperellum* AGBM สามารถยับยั้งการสร้างสปอร์ของเชื้อราสาเหตุโรคบนอาหารเลี้ยงเชื้อร่วมได้ เท่ากับ 78.87 % และเชื้อรา *Trichoderma* spp. (สายพันธุ์การค้า 2) สามารถยับยั้งการสร้างสปอร์ของเชื้อราสาเหตุโรคบนอาหารเลี้ยงเชื้อร่วมได้ เท่ากับ 74.65 % (Table 2)

Table 2 Efficacy of *Trichoderma* isolates for growth inhibition of *Colletotrichum gloeosporioides* M05 causing anthracnose disease of mango using bi-culture antagonistic test

Treatment	Colony diameter (cm)	Mycelium growth inhibition ^{1/} (%)	Spore (x 10 ³ spores/ml)	Sporulation inhibition ^{2/} (%)
Control	9.00 ^a	-	17.75 ^a	-
<i>T. asperellum</i> AGBM	1.23 ^b	86.39 ^b	3.75 ^b	78.87
<i>T. harzianum</i> DOA	1.09 ^c	87.92 ^a	2.75 ^b	84.51
<i>T. harzianum</i> Commercial 1	1.25 ^b	86.11 ^b	3.25 ^b	81.69
<i>Trichoderma</i> spp. Commercial 2	1.33 ^b	85.28 ^b	4.50 ^b	74.65
C.V. (%)	1.90	0.76	28.53	9.81

^{1/}, ^{2/} % of growth inhibition followed as

(RC – RT) / RC x 100.

RC = the colony diameter of *C. gloeosporioides* in petri dish without *Trichoderma* isolate (Control).

RT = the colony diameter of *C. gloeosporioides* in petri dish with *Trichoderma* isolate (Bi-culture).

^{a,b,c} Average of four replications. Means followed by the same letter in a column were not significantly different by DMRT at P=0.05.

การทดสอบความสามารถของเชื้อราไตรโคเดอร์มาในการยับยั้งเชื้อรา *C. gloeosporioides* เชื้อราสาเหตุโรคแอนแทรคโนสมะม่วง โดยใช้เชื้อรา *T. asperellum*, *T. harzianum* และ *Trichoderma* spp. พบว่าเชื้อราไตรโคเดอร์มาทั้ง 4 สายพันธุ์ที่ใช้ทดสอบมีประสิทธิภาพในการยับยั้งการเจริญของเชื้อราสาเหตุโรคในหึ่งปฏิบัติการ ซึ่งสอดคล้องกับรายงานของ De los Santos-Villalobos et al. (2013) ที่พบว่า เชื้อรา *T. asperellum* สามารถยับยั้งการเจริญของเชื้อรา *C. gloeosporioides* สาเหตุโรคแอนแทรคโนสของมะม่วง และ Zapata-Sarmiento et al. (2020) ที่พบว่า เชื้อรา *T. asperellum* สามารถยับยั้งการเจริญของเชื้อรา

Stemphylium vesicarium สาเหตุโรคใบไหม้ของหอมหัวใหญ่ที่ปลูกในประเทศเม็กซิโก และสอดคล้องกับรายงานของ Ratanacherdchai et al. (2019) ในการทดสอบใช้เชื้อรา *T. asperellum* ในการยับยั้งการเจริญของเชื้อราสาเหตุโรคเน่าดำของกล้วยไม้ ด้วยวิธี Bi-culture test พบว่า เชื้อรา *T. asperellum* สามารถยับยั้งการเจริญของเส้นใยเชื้อรา *Phytophthora palmivora* V04 ที่ 71.67 %. นอกจากนี้จากรายงานของ Leamkheng et al. (2018) ในการทดสอบเชื้อรา *Trichoderma* spp. เพื่อควบคุมโรคโคนเน่าแก่นตะวันที่เกิดจากเชื้อรา *Sclerotium rolfsii* พบว่า เชื้อรา *T. harzianum* ไอโซเลท T-30 มีประสิทธิภาพสูงสุด สามารถยับยั้งการเจริญของเชื้อรา *S. rolfsii* สาเหตุโรคโคนเน่าแก่นตะวันได้ เท่ากับ 89.97 % ซึ่งเชื้อรา *Trichoderma* spp. มีกลไกในการยับยั้งหรือควบคุมเชื้อที่เป็นสาเหตุของโรคพืช โดยวิธีการเบียดเบียน หรือเป็นปรสิต โดยใช้เส้นใยขดเป็นวงรอบ ๆ เส้นใยเชื้อราสาเหตุโรคพืช จากนั้นเข้าไปเจริญในเส้นใยของเชื้อราสาเหตุโรคพืชได้โดยการผลิตน้ำย่อยหรือเอนไซม์ละลายผนังเส้นใยของเชื้อราสาเหตุโรคพืช แล้วใช้อาหารจากเชื้อราสาเหตุโรคพืช (Kaewchai, 2012)

4. การทดสอบประสิทธิภาพของเชื้อรา *Trichoderma asperellum* ในการควบคุมโรคแอนแทรคโนสของมะม่วงภายใต้สภาพโรงเรือน

จากการทดสอบประสิทธิภาพของเชื้อรา *Trichoderma asperellum* ในการควบคุมโรคแอนแทรคโนสแอนแทรคโนสภายใต้สภาพโรงเรือน เปรียบเทียบกับเชื้อราไตรโคเดอร์มา จำนวน 3 สายพันธุ์ ได้แก่ เชื้อรา *T. harzianum* (สายพันธุ์กรมวิชาการเกษตร) เชื้อรา *T. harzianum* (สายพันธุ์การค้า 1) และ เชื้อรา *Trichoderma* spp. (สายพันธุ์การค้า 2) โดยฉีดพ่นสปอร์แขวนลอยของเชื้อราไตรโคเดอร์มาแต่ละสายพันธุ์ ที่ความเข้มข้น 1.0×10^6 สปอร์ต่อมิลลิลิตร ลงบนใบอ่อนของมะม่วงจากนั้นฉีดพ่นด้วยสปอร์แขวนลอยของเชื้อรา *C. gloeosporioides* M05 สาเหตุโรคแอนแทรคโนสมะม่วง ที่ความเข้มข้น 1.0×10^6 สปอร์ต่อมิลลิลิตร และบ่มเชื้อโดยการคลุมต้นมะม่วงด้วยถุงพลาสติกในสภาพ Moist chamber ในสภาพโรงเรือน โดยเปรียบเทียบกับใบมะม่วงที่ฉีดพ่นด้วยสปอร์แขวนลอยของเชื้อรา *C. gloeosporioides* M05 เพียงอย่างเดียว

จากการประเมินการเกิดโรคที่ 1 – 7 วันหลังบ่มเชื้อ พบว่า ใบมะม่วงที่ฉีดพ่นด้วยสปอร์แขวนลอยของเชื้อรา *C. gloeosporioides* M05 เพียงอย่างเดียว (Control) มีการแสดงอาการโรคแอนแทรคโนสบนที่มีความแตกต่างทางสถิติกับการฉีดพ่นด้วยสปอร์แขวนลอยของเชื้อราไตรโคเดอร์มาาร่วมด้วย โดยมีการเกิดโรคบนใบตั้งแต่ 1 วันหลังบ่มเชื้อ เท่ากับ 10.67 % และเมื่อบ่มเชื้อเป็นเวลา 7 วัน พบว่า มีการเกิดโรคบนใบเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง เท่ากับ 20.39 % ในขณะที่การฉีดพ่นด้วยสปอร์แขวนลอยของเชื้อรา *T. asperellum* AGBM ร่วมด้วย มีการเกิดโรคบนใบ 1 วันหลังบ่มเชื้อ เท่ากับ 1.62 % และ และเมื่อบ่มเชื้อเป็นเวลา 4 วัน พบว่า มีการเกิดโรคบนใบ เท่ากับ 4.57 % โดยไม่มีการเพิ่มขึ้นของการเกิดโรคจนถึง 7 วันหลังบ่มเชื้อ ซึ่งไม่มีความแตกต่างทางสถิติกับการฉีดพ่นด้วยสปอร์แขวนลอยของเชื้อรา *T. harzianum* (สายพันธุ์กรมวิชาการเกษตร) เชื้อรา *T. harzianum* (สายพันธุ์การค้า 1) และ เชื้อรา *Trichoderma* spp. (สายพันธุ์การค้า 2) ร่วมด้วย (Table 3)

Table 3 Disease incidence on mango leaves after spraying with spore suspension of *Trichoderma* isolates and *Colletotrichum gloeosporioides* under greenhouse condition

Treatment	Disease incidence on mango leaves ^{1/} (%)						
	Days after incubated (days)						
	1	2	3	4	5	6	7
Control	10.67 ^a	14.09 ^a	16.72 ^a	17.79 ^a	19.82 ^a	20.39 ^a	20.39 ^a
<i>T. asperellum</i> AGBM	1.62 ^b	3.00 ^b	3.78 ^b	4.57 ^b	4.57 ^b	4.57 ^b	4.57 ^b
<i>T. harzianum</i> DOA	0.00 ^b	0.00 ^b	0.96 ^b	0.96 ^b	0.96 ^b	0.96 ^b	0.96 ^b
<i>T. harzianum</i> Commercial 1	0.00 ^b	2.38 ^b	2.38 ^b	3.27 ^b	3.27 ^b	3.27 ^b	3.27 ^b
<i>Trichoderma</i> spp. Commercial 2	0.00 ^b	1.47 ^b	1.47 ^b	1.47 ^b	1.47 ^b	1.47 ^b	1.47 ^b
C.V (%)	165.33	115.25	78.44	66.36	65.99	61.36	61.36

^{1/} % of disease incidence followed as

(LI – LT) / LI x 100.

LI = the number of infected leaves.

LT = the total number of leaves.

^{a,b} Average of four replications. Means followed by the same letter in a column were not significantly different by DMRT at P=0.05.

เชื้อรา *T. asperellum* AGBM ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ในการควบคุมโรคแอนแทรกคโนสภายใต้สภาพโรงเรือน เมื่อเปรียบเทียบกับเชื้อราไตรโคเดอร์มา จำนวน 3 สายพันธุ์ ได้แก่ เชื้อรา *T. harzianum* (สายพันธุ์กรมวิชาการเกษตร) เชื้อรา *T. harzianum* (สายพันธุ์การค้า 1) และ เชื้อรา *Trichoderma* spp. (สายพันธุ์การค้า 2) โดยเชื้อรา *T. asperellum* AGBM สามารถควบคุมโรคแอนแทรกคโนส

ในสบนใบมะม่วง ที่ 1 – 7 วันหลังบ่มเชื้อ เท่ากับ 84.87 84.87 77.36 74.33 76.96 77.60 และ 77.60 % ตามลำดับ

ในขณะที่เมื่อบ่มเชื้อเป็นเวลา 7 วัน เชื้อรา *T. harzianum* (สายพันธุ์กรมวิชาการเกษตร) เชื้อรา *T. harzianum* (สายพันธุ์การค้า 1) และเชื้อรา *Trichoderma* spp. (สายพันธุ์การค้า 2) สามารถควบคุมโรคแอนแทรกคโนสบนใบมะม่วงได้ เท่ากับ 95.28 83.94 และ 92.79 % ตามลำดับ (Table 4)

Table 4 Efficacy of *Trichoderma* isolates for controlling of anthracnose disease under greenhouse condition

Treatment	Disease control ^{1/} (%)						
	Days after incubated (days)						
	1	2	3	4	5	6	7
<i>T. asperellum</i> AGBM	84.87 ^{2/}	78.68	77.36	74.33	76.96	77.60	77.60
<i>T. harzianum</i> DOA	100.00	100.00	94.25	94.60	95.15	95.28	95.28
<i>T. harzianum</i> Commercial 1	100.00	83.10	85.76	81.60	83.48	83.94	83.94
<i>Trichoderma</i> spp. Commercial 2	100.00	89.56	91.20	91.73	92.58	92.79	92.79
CV (%)	9.09	24.42	22.48	22.76	20.09	19.44	19.44

^{1/} % of disease control followed as

(DC – DT) / DC x 100.

DC = the number of infected leaves without spraying *Trichoderma* isolate (Control).DT = the number of infected leaves after spraying with *Trichoderma* isolates.^{2/} Average of four replications. Means in a column were not significantly different by DMRT at P=0.05.

จากการทดสอบประสิทธิภาพของเชื้อรา *Trichoderma asperellum* ในการควบคุมโรคแอนแทรกคโนส เปรียบเทียบกับเชื้อรา *T. harzianum* และ *Trichoderma* spp. พบว่า เชื้อราไตรโคเดอร์มาทั้ง 4 สายพันธุ์ที่ใช้ทดสอบมีประสิทธิภาพในการควบคุมการเกิดโรคแอนแทรกคโนสภายใต้สภาพโรงเรือนได้ ซึ่งสอดคล้องกับรายงานของ Somrug & Teanglum (2016) ที่พบว่า การใช้เชื้อราไตรโคเดอร์มาชนิดสด โดยการคลุกเมล็ดด้วยเชื้อราไตรโคเดอร์มาก่อนปลูก การหว่านปุ๋ยหมักผสมเชื้อราไตรโคเดอร์มาก่อนปลูก และการพ่นเชื้อราไตรโคเดอร์มาก่อนปลูกผักบุ้ง มีประสิทธิภาพในการควบคุมโรคราสนิมขาวของผักบุ้งในแปลงทดลองได้ โดยพบการเกิดโรคราสนิมขาว 5.00 % เมื่อเปรียบเทียบกับแปลงที่ไม่ใช้เชื้อราไตรโคเดอร์มา (แปลงควบคุม) พบการเกิดโรคราสนิมขาวสูงที่สุดเท่ากับ 16.25 % นอกจากนี้การใช้เชื้อราไตรโคเดอร์มาทุกวิธีมีผลต่อความสูงและผลผลิตของผักบุ้ง เมื่อครบ 35 วันหลังปลูก พบว่า การพ่นเชื้อราไตรโคเดอร์มาช่วยให้ต้นผักบุ้งมีความสูงที่สุด เท่ากับ 31.9 เซนติเมตร โดยผักบุ้งที่ใช้เชื้อราไตรโคเดอร์มาให้ผลผลิตระหว่าง 2.47-2.67 กิโลกรัม/ตารางเมตร ในขณะที่แปลงที่ไม่ใช้เชื้อราไตรโคเดอร์มา ให้ผลผลิต 2.37 กิโลกรัม/ตารางเมตร นอกจากนี้การใช้เชื้อรา *T. harzianum* ยังมีรายงานว่าสามารถควบคุมโรคจุดสีน้ำตาลของส้มโอในแปลงเกษตรกรได้ โดยการ

ใช้เชื้อรา *T. harzianum* มีประสิทธิภาพควบคุมโรคจุดสีน้ำตาลในแปลงก่อนการเก็บเกี่ยวได้ดี ไม่แตกต่างจากการใช้สารอะซอกซิสโตรบิน ในขณะที่หลังการเก็บเกี่ยว การใช้เชื้อรา *T. harzianum* มีความรุนแรงของโรคอยู่ที่ระดับ 2 ซึ่งน้อยกว่าวิธีควบคุมที่มีความรุนแรงของโรคอยู่ที่ระดับ 3 (Na Nan et al., 2017)

จากผลการทดลองนี้ พบว่า การใช้เชื้อรา *T. asperellum* สามารถลดการเกิดโรคแอนแทรกคโนสที่ใบของมะม่วงได้ ผลการทดสอบนี้เป็นการทดสอบเบื้องต้นสำหรับการใช้เชื้อรา *T. asperellum* เพื่อควบคุมโรคแอนแทรกคโนสมะม่วงในระยะแตกใบอ่อนในสภาพโรงเรือนทดลอง จึงมีความจำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องมีการศึกษาเพิ่มเติมเกี่ยวกับการทดสอบการควบคุมโรคในระยะแทงช่อดอก และระยะเก็บเกี่ยว ตลอดจนทำการทดสอบในสภาพแปลงทดลองเพื่อศึกษาเพิ่มเติมเกี่ยวกับอัตราการใช้ หรือความถี่ของการใช้เพื่อให้เหมาะสมกับช่วงระยะเวลาการแพร่ระบาดของโรคแอนแทรกคโนสที่จะนำไปใช้ในการควบคุมโรคให้มีประสิทธิภาพต่อไป

สรุปผลการวิจัย

เชื้อรา *T. asperellum* AGBM ให้ผลในการยับยั้งการเจริญเติบโตทางด้านเส้นใยและการสร้างสปอร์ของเชื้อรา *C. gloeosporioides* สาเหตุ

โรคแอนแทรกโนสของมะม่วงน้ำดอกไม้ในห้วงปฏิบัติการได้อย่างมีประสิทธิภาพ โดยมี % ยับยั้งการเจริญของเส้นใยและการสร้างสปอร์ของเชื้อรา *C. gloeosporioides* M05 ที่ 86.39 และ 78.87 % ตามลำดับ ผลการทดสอบประสิทธิภาพในการควบคุมโรคแอนแทรกโนสในสภาพโรงเรือนทดลอง พบว่า เชื้อรา *T. asperellum* AGBM มีประสิทธิภาพในการควบคุมโรคแอนแทรกโนสได้ 77.60 % โดยสามารถควบคุมโรคไม่แตกต่างจากการใช้เชื้อรา *T. harzianum* (สายพันธุ์กรมวิชาการเกษตรและสายพันธุ์การค้า)

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณสาขาวิชาเทคโนโลยีการเกษตร คณะเทคโนโลยีการเกษตร มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม และสำนักงานเกษตรอำเภอสหัสขันธ์ ที่สนับสนุนครุภัณฑ์ และสถานที่ในการดำเนินงานวิจัย

References

- Chiangsin, R., Wanichkul, K., Guest, D., & Sangchote, S. (2016). Infection process of *Colletotrichum gloeosporioides*, the causal agent of anthracnose disease on mango leaf cv. Nam Dok Mai See Thong and chemical control. *Songklanakarin Journal of Plant Science*, 3(4), 49-55. (in Thai)
- De los Santos-Villalobos, S., Guzmán-Ortiz, D. A., Gómez-Lim, M. A., Délano-Frier, J. P., de-Folter, S., Sánchez-García, P., & Peña-Cabriales, J. J. (2013). Potential use of *Trichoderma asperellum* (Samuels, Liechfeldt et Nirenberg) T8a as a biological control agent against anthracnose in mango (*Mangifera indica* L.). *Biological Control*, 64(1), 37-44. doi: 10.1016/j.biocontrol.2012.10.006
- Department of Agricultural Extension. (2022). *Production of quality mangoes for export*. Bangkok, Thailand: Department of Agricultural Extension. (in Thai)
- Intana, W., Promwee, A., & Yenjit, P. (2016). Using combination of wild type and mutant strains of *Trichoderma asperellum* for increasing the efficiency to control damping-off disease of tomato. *Agricultural Science Journal*, 47(3), 351-362. (in Thai)
- Kaewchai, S. (2012). Application of *Trichoderma* spp. for plant disease control. *Princess of Naradhiwas University Journal*, 4(3), 108-123. (in Thai)
- Leamkheng, S., Pinkeaw, C., & Jaijuathuet, P. (2018). Pathogen causing of postharvest disease in Jerusalem artichoke (*Helianthus tuberosus* L.) and *in vitro* control. *Khon Kaen Agriculture Journal*, 46(Suppl. 1), 1122-1129. (in Thai)
- Na Nan, S., Jaipin, P., Jarintorn, S., & Klongkaew, B. (2017). Efficacy of *Trichoderma harzianum* on inhibition of the causal agent of Pummelo Tan Spot disease (*Phyllosticta citriasiana*). *Thai Agricultural Research Journal*, 35(3), 321-334. (in Thai)
- Nuchnuanrat P., & Jitsatta, N. (2021). Evaluation of fungicide carbendazim resistance in *Colletotrichum gloeosporioides* causing anthracnose disease of mango cv. Aokrong in Chanthaburi province. *RMUTSB Academic Journal*, 9(2), 164-173. (in Thai)
- Office of Agricultural Economics. (2021). *Export statistics of fresh or frozen mangoes*. Accessed June 1, 2024. Retrieved from <http://impexp.oae.go.th/service/export.php>. (in Thai)
- Ratanacherdchai, K., Chaiyarak, T., & Juntachum, N. (2019). Preliminary investigation of *Trichoderma asperellum*'s culture and extracts against black rot of orchid. *Prawarun Agricultural Journal*, 16(1), 204-211. (in Thai)
- Ratanacherdchai, K., Chaiyarak, T., & Juntachum, N. (2018). Preliminary investigation of antagonistic properties of *Gliocladium* sp. against chilli anthracnose disease caused by *Colletotrichum acutatum*. *Proceeding of the 7th international conference on sciences and social sciences 2017: "Innovation research to stability, prosperity and sustainability"* (pp. 72-78). Maha Sarakham, Thailand: Rajabhat Maha Sarakham University. (in Thai)
- Rodriguez, R., & Redman, R. (2008). More than 400 million years of evolution and some plants still can't make it on their own: plant stress tolerance via fungal symbiosis. *Journal of Experimental Botany*, 59(5), 1109-1114. doi: 10.1093/jxb/erm342
- Somrug, K., & Teanglum, A. (2016). Efficacy of *Trichoderma harzianum* for biological control of white rust disease caused by *Albugo ipomoeae-aquaticae* in swamp morning glory. *Prawarun Agricultural Journal*, 13(1), 26-33. (in Thai)
- Sukkhang, S. (2017). *Biological control of plant pest*. Accessed November 10, 2018. Retrieved from <http://biology.ipst.ac.th/?p=3341>. (in Thai)
- Zapata-Sarmiento, D. H., Palacios-Pala, E. F., Rodríguez-Hernández, A. A., Melchor, D. L. M., Rodríguez-Monroy, M., & Sepúlveda-Jiménez, G. (2020). *Trichoderma asperellum*, a potential biological control agent of *Stemphylium vesicarium*, on onion (*Allium cepa* L.). *Biological Control*, 140, 104105. doi: 10.1016/j.biocontrol.2019.104105

Research article

Efficacy of *Trichoderma asperellum* for controlling *Colletotrichum gloeosporioides* causing anthracnose disease of *Mangifera indica* L. cv Nam Dok Mai

Chatra Pathumporn Sumran Pimratch and Kanchalika Ratanacherdchai*

Program in Agricultural Technology, Faculty of Agricultural Technology, Rajabhat Maha Sarakham University, Muang District, Maha Sarakham Province, 44000

ARTICLE INFO**Article history**

Received: 20 May 2024

Revised: 10 June 2024

Accepted: 12 June 2024

Online published: 25 June 2024

Keyword

Mango

Trichoderma

Anthracnose

ABSTRACT

The efficacy test of the fungus *Trichoderma asperellum* in controlling anthracnose disease of water apple, caused by the fungus *Colletotrichum gloeosporioides*, was conducted by isolating the disease-causing fungus from mango leaves using the tissue transplanting method. A total of 20 isolates were tested for pathogenicity using the detached leaves method. It was found that isolate M05 induced the most severe disease symptoms. In assessing the effectiveness of *T. asperellum* in inhibiting the growth of *C. gloeosporioides* hyphae, the bi-culture method revealed that **T. asperellum** could inhibit hyphal growth and spore production by *C. gloeosporioides** by 86.39 % and 78.87 %, respectively. Additionally, *T. asperellum* effectively controlled anthracnose on mango leaves in a laboratory greenhouse, achieving a 77.60 % reduction. However, no statistically significant difference was observed compared to *T. harzianum* (the Department of Agriculture strain) ($p < 0.05$).

*Corresponding author

E-mail address: kanchalika.ra@rmu.ac.th (K. Ratanacherdchai)

Online print: 25 April 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.2024.23>



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

บทความวิจัย

การจัดการแปลงปลูกด้วยวัสดุอินทรีย์ที่มีผลต่อคุณภาพและองค์ประกอบทางเคมีของเมล็ดพันธุ์ถั่วเหลืองเชียงใหม่ 60

วิมลนันท์ กันเกตุ¹ พรทิพย์ ศรีมงคล¹ เรวัตร จินดาเจีย² และ สุรัสวดี พรหมอยู่^{1*}

¹ ภาควิชาเกษตรและทรัพยากร คณะทรัพยากรธรรมชาติและอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตเฉลิมพระเกียรติ จังหวัดสกลนคร อำเภอเมืองสกลนคร จังหวัดสกลนคร 47000

² สถาบันวิจัยลำต๊ะคอง สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย อำเภอปากช่อง จังหวัดนครราชสีมา 301300

ข้อมูลบทความ

Article history

รับ: 17 พฤษภาคม 2567

แก้ไข: 17 มิถุนายน 2567

ตอบรับการตีพิมพ์: 22 มิถุนายน 2567

ตีพิมพ์ออนไลน์: 27 มิถุนายน 2567

คำสำคัญ

วัสดุอินทรีย์

คุณภาพเมล็ด

เมล็ดพันธุ์ถั่วเหลือง

บทคัดย่อ

การจัดการแปลงปลูกพืชด้วยวัสดุอินทรีย์ที่เหมาะสมนับเป็นหนึ่งในกำารกำารเกษตรยั่งยืนตามเป้าหมายการพัฒนาที่ยั่งยืน (GDSs) เพื่อลดผลกระทบต่อสุขภาพและสิ่งแวดล้อม และเพิ่มประสิทธิภาพในการกำารเกษตรของประเทศไทย การศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลของวัสดุอินทรีย์ชนิดต่าง ๆ ในแปลงปลูก ที่มีผลต่อคุณภาพและองค์ประกอบทางเคมีของเมล็ดพันธุ์ถั่วเหลืองเชียงใหม่ 60 วางแผนการทดลองแบบ completely randomized design แบ่งออกเป็น 9 กรรมวิธี ได้แก่ 1) ไม่ใส่วัสดุอินทรีย์ (ชุดควบคุม) 2) ใส่ปุ๋ยเคมีตามวิธีของเกษตรกร 3) ใส่ฟางข้าว 4) ใส่มูลวัว 5) ใส่มูลไก่ 6) ใส่ถ่านชีวภาพ 7) ใส่ถ่านชีวภาพร่วมกับฟางข้าว 8) ใส่ถ่านชีวภาพร่วมกับมูลวัว 9) ใส่ถ่านชีวภาพร่วมกับมูลไก่ ผลการศึกษาพบว่าชนิดของวัสดุอินทรีย์มีผลต่อคุณภาพเมล็ดพันธุ์ถั่วเหลือง ได้แก่ น้ำหนักเมล็ด ปริมาณเมล็ดดี ความชื้นของเมล็ด ความงอกเมล็ด ปริมาณโปรตีนและไขมันของเมล็ด โดยคุณภาพด้านสีของเมล็ดไม่แตกต่างกันระหว่างวัสดุอินทรีย์ชนิดต่าง ๆ ส่วนแปลงปลูกถั่วเหลืองที่ใส่มูลวัวมีน้ำหนักเมล็ดเฉลี่ยมากที่สุด ในขณะที่แปลงปลูกถั่วเหลืองที่ใส่ถ่านชีวภาพ และใส่ปุ๋ยเคมี มี % เมล็ดดีเฉลี่ยมากที่สุด สำหรับแปลงปลูกถั่วเหลืองที่ใส่ฟางข้าวส่งผลให้เมล็ดพันธุ์ถั่วเหลืองมีความชื้นเฉลี่ยสูงสุด ส่วนแปลงปลูกที่ใส่ถ่านชีวภาพร่วมกับมูลวัว และแปลงปลูกที่ใส่ถ่านชีวภาพเพียงอย่างเดียว มี % ความงอกเฉลี่ยของเมล็ดสูงที่สุดแต่ไม่แตกต่างจากแปลงที่ใส่ปุ๋ยเคมี แปลงปลูกถั่วเหลืองที่ใส่ฟางข้าวทำให้เมล็ดถั่วเหลืองมีปริมาณโปรตีนเฉลี่ยน้อยที่สุด และแปลงปลูกที่ใส่ถ่านชีวภาพ และมูลวัว มีปริมาณไขมันของเมล็ดถั่วเหลืองมากที่สุดไม่แตกต่างกับการใส่ปุ๋ยเคมี การศึกษานี้แสดงให้เห็นว่าการจัดการแปลงปลูกด้วยวัสดุอินทรีย์สามารถช่วยเพิ่มคุณภาพเมล็ดพันธุ์ และองค์ประกอบทางเคมีให้เป็นไปตามมาตรฐานสินค้าเกษตรประเภทถั่วเหลืองเมล็ดแห้งได้

บทนำ

ถั่วเหลือง (*Glycine max* (L.) Merrill.) เป็นพืชตระกูลถั่วที่มีถิ่นกำเนิดในแถบเอเชียตะวันออก บริเวณประเทศจีนและญี่ปุ่น (Qiu et al., 1999) และได้แพร่กระจายไปสู่ประเทศต่าง ๆ ทั่วโลก ทั้งนี้เนื่องจากถั่วเหลืองเป็นพืชอาหารที่สำคัญ มีคุณค่าทางโภชนาการสูงและสามารถใช้ประโยชน์ได้หลากหลาย และเป็นหนึ่งในพืชที่มีความสำคัญทางเศรษฐกิจของประเทศไทย จากสถานการณ์ความต้องการถั่วเหลืองในปัจจุบันที่เพิ่มมากขึ้นทั้งความต้องการบริโภคโดยตรง และใช้เพื่อแปรรูปเป็นอาหารสัตว์ พบว่าการใช้ประโยชน์ของถั่วเหลืองในประเทศไทยในปี 2566 คาดว่าไทยจะมีพื้นที่ปลูกถั่วเหลือง 81,190 ไร่ ได้ผลผลิต 22,252 ตัน ผลผลิตเฉลี่ยต่อไร่คิดเป็น 274 กิโลกรัม ในขณะที่ความต้องการใช้เมล็ดถั่วเหลืองภายในประเทศเฉลี่ย 3.40-3.50 ล้านตันต่อปี (Office of Agricultural Economics, 2023) ส่งผลทำให้อุตสาหกรรมถั่วเหลืองของไทยต้องพึ่งพาการนำเข้ามากกว่า 99 % ของความต้องการใช้ทั้งหมด จึงมีความจำเป็นอย่างยิ่ง

ในการเพิ่มศักยภาพการผลิตถั่วเหลืองภายในประเทศทั้งด้านปริมาณและคุณภาพผลผลิตเพื่อลดปริมาณการนำเข้า และเพิ่มความมั่นคงทางอาหารของประเทศ เนื่องจากถั่วเหลืองเป็นพืชอาหารหลักสำหรับการบริโภคและมีคุณค่าทางโภชนาการสูง ประเด็นปัญหาการผลิตถั่วเหลืองของประเทศไทยที่สำคัญโดยเฉพาะพื้นที่ปลูกในเขตภาคตะวันออกเฉียงเหนือ คือ ปริมาณผลผลิตต่อไร่ต่ำกว่าศักยภาพของพื้นที่ และผลผลิตไม่ได้มาตรฐานตามข้อกำหนดการรับซื้อ เนื่องจากดินส่วนใหญ่ในเขตภาคตะวันออกเฉียงเหนือมีลักษณะเป็นดินร่วนปนทราย มีอินทรีย์วัตถุและความอุดมสมบูรณ์ต่ำ (Somboonkaew et al., 2022) การจัดการแปลงปลูกด้วยวัสดุอินทรีย์ที่เหมาะสมเป็นแนวทางหนึ่งที่ใช้ในการปรับปรุงสภาพดิน สามารถลดต้นทุนการใช้สารเคมี ลดต้นทุนการผลิตของเกษตรกรและปลอดภัยต่อผู้บริโภค ทั้งนี้จากการรวบรวมข้อมูลวิชาการพบว่าการใช้วัสดุอินทรีย์สามารถทำให้การเจริญเติบโต ผลผลิตและคุณภาพของพืชปลูกสูงขึ้นได้ มีความสามารถในการอุ้มน้ำและธาตุอาหาร อีกทั้งช่วยในการปรับปรุง

*Corresponding author

E-mail address: csnsrwd@ku.ac.th (S. Promyou)

Online print: 27 June 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.2024.24>

โครงสร้างดินได้อย่างมีประสิทธิภาพ ดังนั้นการจัดการแปลงโดยการใส่วัสดุอินทรีย์น่าจะส่งเสริมให้เมล็ดถั่วเหลืองที่ผลิตได้มีคุณภาพดี (Ratneetoo, 2009) การศึกษาระบบการผลิตถั่วเหลืองที่ให้ผลผลิตสูงและมีคุณภาพตามมาตรฐานนับเป็นสิ่งสำคัญ ดังนั้นงานทดลองนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลของวัสดุอินทรีย์ชนิดต่าง ๆ สำหรับการจัดการแปลงปลูกที่มีต่อคุณภาพและองค์ประกอบทางเคมีของถั่วเหลืองพันธุ์เชียงใหม่ 60 โดยทำการวัดคุณภาพและองค์ประกอบทางเคมี การวัดคุณภาพ ได้แก่ สีของเมล็ด เมล็ดดี ความชื้นในเมล็ด และความงอกของเมล็ด การวัดองค์ประกอบทางเคมี ได้แก่ ปริมาณโปรตีนในเมล็ด และปริมาณไขมันในเมล็ด

อุปกรณ์และวิธีการวิจัย

ดำเนินการวิจัยในพื้นที่ตำบลหนองอ้อ อำเภอนองวัวทอง จังหวัดอุดรธานี ช่วงเดือนมกราคม ถึง เมษายน 2566 ตรวจสอบคุณสมบัติของดินก่อนทดลอง พบว่า ดินมีความชื้นอยู่ที่ 2.86 % และการเก็บดินแบบ composite sample เพื่อวิเคราะห์สมบัติทางเคมีของดินพบว่าการทดลองดินเป็นกรดจัด (pH 5.41) ปริมาณอินทรีย์วัตถุอยู่ในระดับต่ำ (6.05 กรัม/กิโลกรัม) ปริมาณไนโตรเจนรวมและโพแทสเซียมอยู่ในระดับต่ำมาก (0.26 กรัม/กิโลกรัม และ 24 มิลลิกรัม/กิโลกรัม ตามลำดับ) ปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์อยู่ในระดับปานกลาง (10.75 มิลลิกรัม/กิโลกรัม และดินไม่เป็นที่เค็ม (ค่าการนำไฟฟ้า 0.29 เดซิซีเมนส์/เมตร

ใช้แปลงทดลองขนาด 3x3 เมตร ระยะปลูก 50x20 เซนติเมตร จัดการแปลงปลูกโดยใช้วัสดุอินทรีย์ครั้งเดียวก่อนปลูก และดูแลรักษาตามคำแนะนำของกรมวิชาการเกษตร โดยใช้ปุ๋ยเคมีสูตร 12-24-12 อัตรา 25 กิโลกรัม/ไร่ 1 ครั้ง เมื่อถั่วเหลืองอายุ 15-20 วันหลังปลูกให้น้ำแบบกระจายทั่วแปลงทุก ๆ 10-14 วัน กำจัดโรคและแมลงตลอดระยะเวลาปลูก เก็บเกี่ยวเมล็ดพันธุ์ถั่วเหลืองพันธุ์เชียงใหม่ 60 ในแต่ละแปลงที่อายุเก็บเกี่ยว 90 วันหลังปลูก (ระยะฝักเป็นสีน้ำตาล) นำเมล็ดพันธุ์ถั่วเหลืองเข้ามาประเมินคุณภาพและองค์ประกอบทางเคมีของเมล็ดในห้องปฏิบัติการ วางแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ (Completely randomized design, CRD) โดยกำหนดให้มี 9 กรรมวิธีทดลอง จำนวน 3 ซ้ำ (แปลง) ดังต่อไปนี้

กรรมวิธีทดลองที่ 1 ไม่ใส่วัสดุอินทรีย์ (ชุดควบคุม)

กรรมวิธีทดลองที่ 2 ใส่ปุ๋ยเคมีตามวิธีเกษตรกร (สูตร 16-8-8 อัตรา 20 กิโลกรัม/ไร่)

กรรมวิธีทดลองที่ 3 ใส่ฟางข้าวอัตรา 2 ตัน/ไร่

กรรมวิธีทดลองที่ 4 ใส่มูลวัวอัตรา 2 ตัน/ไร่

กรรมวิธีทดลองที่ 5 ใส่มูลไก่อัตรา 2 ตัน/ไร่

กรรมวิธีทดลองที่ 6 ใส่ถ่านชีวภาพ 2 ตัน/ไร่

กรรมวิธีทดลองที่ 7 ใส่ถ่านชีวภาพอัตรา 1 ตัน/ไร่ ร่วมกับฟางข้าวอัตรา 1 ตัน/ไร่

กรรมวิธีทดลองที่ 8 ใส่ถ่านชีวภาพอัตรา 1 ตัน/ไร่ ร่วมกับมูลวัวอัตรา 1 ตัน/ไร่

กรรมวิธีทดลองที่ 9 ใส่ถ่านชีวภาพอัตรา 1 ตัน/ไร่ ร่วมกับมูลไก่อัตรา 1 ตัน/ไร่

โดยตรวจสอบสมบัติทางเคมีและปริมาณธาตุอาหารของวัสดุอินทรีย์แต่ละชนิดดังแสดงใน Table 1

การบันทึกผลการทดลอง

เก็บเกี่ยวเมล็ดพันธุ์ถั่วเหลืองพันธุ์เชียงใหม่ 60 ทั้งแปลงระยะเก็บเกี่ยวอายุ 90 วันหลังปลูก (Figure 1) นำผลผลิตที่ได้มากะเทาะเมล็ดทำการตรวจวัดคุณภาพและองค์ประกอบทางเคมีของเมล็ด โดยทำการบันทึกผลการทดลองดังนี้



Figure 1 Soybean seeds cv. Chiang Mai 60 at 90 days after planting.

1. คุณภาพด้านสีของเมล็ด (seed colour) วัดสีเมล็ดด้วยเครื่องวัดสี (Chroma Meter CR-400, Konica Minolta, Japan) โดยนำเมล็ดถั่วเหลืองใส่ถ้วยพอลิเอสเตอร์โดยให้ระดับของเมล็ดเสมอกับขอบด้านบนของถ้วย ให้เครื่องมือวัดสัมผัสกับผิวเมล็ดถั่วเหลืองมากที่สุด บันทึกค่า L a และ b ซึ่งค่า L คือ ค่าแสดงความสว่างของสีเมล็ด ค่า a แสดงสีเขียว และค่า b แสดงถึงสีเหลืองของเมล็ด โดยทำการวัดทั้งหมด 3 ซ้ำ โดยแต่ละครั้งก่อนวัดทำการคลุกเคล้าเมล็ดให้กระจายสม่ำเสมอ

2. น้ำหนักเมล็ด 100 เมล็ด (grams/100 seeds) โดยสุ่มนับเมล็ดจำนวน 100 เมล็ดนำมาชั่งน้ำหนัก

3. เมล็ดดี (good seed) โดยทำการชั่งน้ำหนักเมล็ดทั้งหมด คัดเมล็ดเสียและเมล็ดที่เป็นโรคออก จากนั้นทำการชั่งน้ำหนักของเมล็ดดีดังแสดงใน Figure 2 และทำการคำนวณหา % เมล็ดดี (ISTA, 2010)

$$\text{เมล็ดดี (\%)} = \frac{\text{น้ำหนักเมล็ดทั้งหมด} - \text{น้ำหนักเมล็ดเสีย}}{\text{น้ำหนักเมล็ดทั้งหมด}} \times 100$$

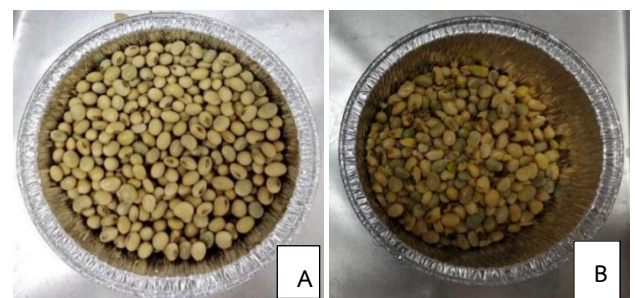


Figure 2 Good seed (A) damaged seed (B) of soybean seed cv. Chiang Mai 60.

4. ความชื้นในเมล็ด (% moisture content) นำเมล็ดถั่วเหลืองทดสอบความชื้นด้วยวิธี Hot air oven method นำเมล็ดเข้า

ตัวอย่างที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 72 ชั่วโมง ซึ่งน้ำหนักหลังอบ คำนวณความชื้นเป็น % โดยน้ำหนักสด ตามวิธีของ ISTA (2010)

$$\text{ความชื้นในเมล็ด (\%)} = \frac{\text{น้ำหนักเมล็ดก่อนอบ} - \text{น้ำหนักเมล็ดหลังอบ}}{\text{น้ำหนักก่อนอบ}} \times 100$$

5. ความงอกของเมล็ด (% seed germination) ทดสอบด้วยการเพาะบนกระดาษเพาะ (between paper test) กำหนดให้รากงอก 0.5-1.0 เซนติเมตรนับเป็นเมล็ดที่งอก ทำการนับจำนวนต้นที่งอกในวันที่ 7 ของการทดลอง ซึ่งแบ่งเป็นลักษณะต่าง ๆ คือ ต้นงอกปกติ ต้นงอกผิดปกติ เมล็ดแข็ง คำนวณ % ความงอกจากจำนวนเมล็ดที่งอกปกติ ตามวิธีของ ISTA (2010)

6. ปริมาณโปรตีนและไขมันในเมล็ด (protein content and fat content, g/100g) ตามวิธีของ AOAC (2019)

วิเคราะห์ทางสถิติด้วยวิธี analysis of variance และเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยแต่ละกรรมวิธีด้วยวิธี LSD (Least significant difference test)

ผลและวิจารณ์ผลการวิจัย

คุณภาพด้านสีของเมล็ด (seed colour)

การจัดการแปลงปลูกถั่วเหลืองพันธุ์เชียงใหม่ 60 ในแต่ละกรรมวิธี ได้แก่ ไม่ใส่วัสดุปลูก (ชุดควบคุม) ใส่ปุ๋ยเคมีตามวิธีเกษตรกร ใส่ฟางข้าว ใส่มูลวัว ใส่มูลไก่ ใส่ถ่านชีวภาพ ใส่ถ่านชีวภาพร่วมกับฟางข้าว ใส่ถ่านชีวภาพร่วมกับมูลวัว และใส่ถ่านชีวภาพร่วมกับมูลไก่ แต่ละกรรมวิธีมีคุณภาพด้านสีของเมล็ดพันธุ์ไม่แตกต่างกันทางสถิติ การใช้วัสดุอินทรีย์ประเภทต่าง ๆ ไม่มีผลต่อค่าสีของเมล็ดถั่วเหลืองที่แสดงลักษณะคุณภาพสีด้วยค่า L แสดงถึง ค่าความสว่าง (lightness) ของเมล็ดพันธุ์ถั่วเหลืองมีค่าเฉลี่ย 50.57-53.72 ค่า a แสดงถึงสีเขียว (greenness) มีค่าเฉลี่ย 2.38-3.16 และค่า b แสดงถึงสีเหลือง (yellowness) ของเมล็ดมีค่าเฉลี่ย 20.24-23.74 (Table 2) สีของเมล็ดพันธุ์เป็นหนึ่งในคุณภาพหลักที่ถูกกำหนดในมาตรฐานการรับซื้อเมล็ดถั่วเหลือง โดยคุณภาพเมล็ดถั่วเหลืองที่ดีต้องมีสีผิวเมล็ดเป็นสีเหลือง (Department of Internal Trade, 2011) ซึ่งในทุกกรรมวิธี การจัดการแปลงปลูกด้วยวัสดุอินทรีย์ประเภทต่าง ๆ ในการศึกษาไม่มีความแตกต่างทางสถิติของสีผิวเมล็ดถั่วเหลือง ซึ่งลักษณะสีของเมล็ดพันธุ์ที่ปรากฏภายนอกโดยภาพรวมเป็นสีเหลืองมีความมันเงา และไม่พบสีผิวเมล็ดถั่วเหลืองเป็นสีเขียว ซึ่งลักษณะสีเขียวของเมล็ดพันธุ์ถั่วเหลืองนั้นจัดเป็นลักษณะด้อยคุณภาพอย่างหนึ่งที่ไม่นิยมนำไปเป็นเมล็ดพันธุ์หรือนำเข้าโรงงานสกัดน้ำมันได้ แต่มักถูกส่งไปยังโรงงานผลิตอาหารสัตว์ (Somboonkaew et al., 2022)

น้ำหนักเมล็ด 100 เมล็ด

น้ำหนักเมล็ด 100 เมล็ดของถั่วเหลืองพันธุ์เชียงใหม่ 60 ในแต่ละกรรมวิธีมีความแตกต่างกันทางสถิติ ($P \leq 0.01$) เมล็ดถั่วเหลืองน้ำหนัก 100 เมล็ดทุกกรรมวิธีเฉลี่ยอยู่ระหว่าง 19.05-31.33 กรัม โดยเมล็ดถั่วเหลืองที่ได้จากแปลงปลูกที่ใส่วัสดุอินทรีย์มูลวัว มีน้ำหนักเมล็ด 100 เมล็ดเฉลี่ยสูงที่สุดเท่ากับ 31.33 กรัม รองลงมาคือเมล็ดถั่วเหลืองที่ได้จากแปลงปลูกที่ใส่ปุ๋ยเคมี ใส่ถ่านชีวภาพร่วมกับมูลวัว ใส่ถ่านชีวภาพร่วมกับมูลไก่ ใส่ถ่านชีวภาพ ใส่ถ่านชีวภาพร่วมกับฟางข้าว ไม่ใส่วัสดุอินทรีย์ (ชุดควบคุม) และใส่มูลไก่ มีน้ำหนักเมล็ด 100 เมล็ด

เฉลี่ยเท่ากับ 28.56 27.11 23.38 23.32 22.09 19.12 และ 19.05 กรัม ตามลำดับ การใส่ฟางข้าวมีน้ำหนักเมล็ด 100 เมล็ดเฉลี่ยน้อยที่สุดเท่ากับ 15.11 กรัม (Table 3) เช่นเดียวกับการรายงานของ Nurmalasari et al. (2023) พบว่ามูลวัวมีผลช่วยเพิ่มจำนวนฝัก และน้ำหนักเมล็ดต่อต้นในถั่วเหลือง ทั้งนี้จากการตรวจสอบคุณสมบัติทางเคมีและปริมาณธาตุอาหารของวัสดุอินทรีย์ที่ใช้ในการทดลอง (Table 1) เห็นได้ว่าวัสดุอินทรีย์แต่ละชนิดให้ปริมาณธาตุอาหารที่แตกต่างกัน ในมูลวัวที่ใช้เป็นวัสดุปรับปรุงดินมีสัดส่วนปริมาณธาตุไนโตรเจนสูงกว่าวัสดุชนิดอื่น ๆ ซึ่งธาตุไนโตรเจนเป็นองค์ประกอบของโปรตีนที่พืชใช้สำหรับการแบ่งเซลล์ และเกี่ยวข้องกับเอนไซม์ที่พืชใช้ในการสังเคราะห์แสง ดังนั้นธาตุไนโตรเจนจึงเป็นปัจจัยหนึ่งที่เป็นตัวกำหนดปริมาณและคุณภาพผลผลิตได้ นอกจากนี้มูลวัวยังทำให้สภาพดินปลูกมีความโปร่งและร่วนซุยระบายน้ำและถ่ายเทอากาศได้ดี และปลดปล่อยธาตุอาหารให้แก่พืชได้ดี (Sudarsono et al., 2013)

เมล็ดดี (good seed)

% เมล็ดดีของถั่วเหลืองพันธุ์เชียงใหม่ 60 ในแต่ละกรรมวิธีมีความแตกต่างกันทางสถิติ ($P \leq 0.05$) ถั่วเหลืองมี % เมล็ดดีเฉลี่ย 67.51-81.58 % โดยเมล็ดถั่วเหลืองที่ได้จากแปลงปลูกที่ใส่วัสดุอินทรีย์ประเภทถ่านชีวภาพมี % เมล็ดดีเฉลี่ยมากที่สุด (81.58 %) และไม่แตกต่างกันทางสถิติกับการใส่ปุ๋ยเคมี (80.38 %) รองลงมาคือเมล็ดถั่วเหลืองที่ได้จากแปลงปลูกที่ใส่ ถ่านชีวภาพร่วมกับฟางข้าว ใส่มูลวัว ไม่ใส่วัสดุอินทรีย์ (ชุดควบคุม) ใส่ถ่านชีวภาพร่วมกับมูลวัว และใส่มูลไก่ มี % เมล็ดดีเฉลี่ยเท่ากับ 78.78 76.24 74.31 73.42 และ 70.29 % ตามลำดับ ส่วนการใส่ถ่านชีวภาพร่วมกับมูลไก่มี % เมล็ดดีเฉลี่ยน้อยที่สุดเท่ากับ 67.51 และไม่แตกต่างทางสถิติกับการใส่ฟางข้าวเพียงอย่างเดียว (68.14 %) (Table 3) จากการทดลองครั้งนี้เป็นการผลิตเมล็ดพันธุ์ถั่วเหลืองในฤดูแล้งฝนทิ้งช่วง (ระหว่างเดือนมกราคมถึงเมษายน) ซึ่งพบการระบาดของแมลงที่สำคัญในการผลิตได้แก่ เบริมมม และ หนอนเจาะฝัก เป็นแมลงศัตรูพืชชนิดปากดูด ส่งผลเสียหายต่อผลผลิตถั่วเหลืองเป็นอย่างมาก (Sritongtae et al., 2021) เมล็ดเสียที่พบประกอบด้วยเมล็ดที่เป็นโรค เมล็ดอ่อน และเมล็ดที่ถูกแมลงทำลายโดยแมลงที่สำคัญในการผลิตในฤดูแล้ง ดังนั้นการผลิตเมล็ดพันธุ์ถั่วเหลืองเพื่อให้ได้เมล็ดคุณภาพดีมีความจำเป็นต้องวางแผนวิธีการป้องกัน และกำจัดแมลงศัตรู เพื่อรักษาคุณภาพผลผลิตให้เป็นไปตามศักยภาพของสายพันธุ์

ความชื้นในเมล็ด (% moisture content)

ความชื้นในเมล็ดของถั่วเหลืองพันธุ์เชียงใหม่ 60 ในแต่ละกรรมวิธีมีความแตกต่างกันทางสถิติ ($P \leq 0.05$) เมล็ดถั่วเหลืองมีความชื้นเฉลี่ย 8.53-9.15 % โดยเมล็ดถั่วเหลืองที่ได้จากแปลงปลูกที่ใส่ฟางข้าวเมล็ดมีความชื้นเฉลี่ยสูงที่สุดเท่ากับ 9.15 % ส่วนเมล็ดถั่วเหลืองที่ได้จากแปลงปลูกกรรมวิธีต่าง ๆ ได้แก่ ไม่ใส่วัสดุปลูก (ชุดควบคุม) ใส่ปุ๋ยเคมีตามวิธีเกษตรกร ใส่มูลวัว ใส่มูลไก่ ใส่ถ่านชีวภาพ ใส่ถ่านชีวภาพร่วมกับฟางข้าว ใส่ถ่านชีวภาพร่วมกับมูลวัว และใส่ถ่านชีวภาพร่วมกับมูลไก่ พบว่าความชื้นในเมล็ดถั่วเหลืองมีค่าไม่แตกต่างกันทางสถิติมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 8.53-8.96 % (Table 3) เมล็ดพันธุ์ที่มีความชื้นสูงจะมีการหายใจหรือเผาผลาญอาหารในอัตราสูง ทำให้เกิดความร้อนและความชื้นเพิ่มขึ้น ความร้อนที่สะสมมากขึ้นจะทำให้เมล็ดพันธุ์เสื่อมเร็วขึ้น ความชื้นมีความสำคัญต่อเมล็ดพันธุ์ คือทุก ๆ 1 %

ที่ความชื้นในเมล็ดพันธุ์ลดลง อายุการเก็บรักษาของเมล็ดพันธุ์นั้นจะนานขึ้นอีกเท่าตัว ซึ่งหมายความว่า ถ้าเมล็ดพันธุ์ถั่วเหลืองที่มีความชื้น 9 % สามารถเก็บรักษาได้นาน 6 เดือน และหากเมล็ดพันธุ์ถั่วเหลืองดังกล่าวที่มีความชื้น 8 % จะสามารถเก็บได้นาน 12 เดือน ตามมาตรฐานสินค้าเกษตรประเภทถั่วเหลืองเมล็ดแห้งได้กำหนดมาตรฐานขั้นต่ำค่าความชื้นของเมล็ดถั่วเหลืองให้ไม่เกิน 13 % โดยน้ำหนัก (National Bureau of Agricultural Commodity and Food Standards, 2013) จากการศึกษาในครั้งนี้แสดงให้เห็นว่าการจัดการแปลงปลูกด้วยวัสดุอินทรีย์ประเภทต่างๆทำให้คุณภาพเมล็ดถั่วเหลืองได้คุณภาพเป็นไปตามมาตรฐานข้อกำหนดเรื่องความชื้นในเมล็ดความงอกของเมล็ด (% seed germination)

% ความงอกของเมล็ดถั่วเหลืองพันธุ์เชียงใหม่ 60 ในแต่ละกรรมวิธีมีความแตกต่างกันทางสถิติ ($P \leq 0.01$) เมล็ดถั่วเหลืองมีความงอกของเมล็ดเฉลี่ยอยู่ระหว่าง 61.09-85.14 % โดยเมล็ดถั่วเหลืองที่ได้จากกรรมวิธีที่ใส่ปุ๋ยเคมี ใส่ถ่านชีวภาพร่วมกับมูลวัว และใส่ถ่านชีวภาพเพียงอย่างเดียว พบว่ามีความงอกของเมล็ดเฉลี่ยสูงที่สุดและไม่แตกต่างกันทางสถิติมีค่าเท่ากับ 85.14 84.16 และ 83.42 % ตามลำดับ รองลงมาคือเมล็ดถั่วเหลืองที่ได้จากแปลงปลูกที่ใส่มูลวัว ถ่านชีวภาพร่วมกับฟางข้าว ถ่านชีวภาพร่วมกับมูลไก่ ไส้วัวสดอินทรีย์ (ชุดควบคุม) และกรรมวิธีที่ได้รับมูลไก่แห้งอัตรา 2 ตัน/ไร่ ส่งผลให้อัตราความงอกของเมล็ดถั่วเหลืองพันธุ์เชียงใหม่ 60 เฉลี่ยเท่ากับ 80.55 80.35 79.38 73.22 และ 72.16 % ตามลำดับ ส่วนการใส่ฟางข้าวเพียงอย่างเดียวทำให้เมล็ดถั่วเหลืองมี % การงอกน้อยที่สุดเท่ากับ 61.09 % (Table 3) เป็นไปได้ว่าฟางข้าวเป็นวัสดุอินทรีย์ที่มีคาร์บอนเป็นองค์ประกอบหลัก มีอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนสูง มีสารลิกนินและซิลิกาเป็นองค์ประกอบที่สำคัญทำให้ยากต่อการย่อยสลาย การใส่ฟางข้าวที่ไม่ผ่านกระบวนการหมักลงในดินโดยตรงมักจะเกิดกระบวนการ immobilization ส่งผลให้ดินมีปริมาณไนโตรเจนลดลง และอาจมีสารพิษตกค้างส่งผลให้อัตราการงอกของเมล็ดลดลง (Kumar et al., 2008) จากการรายงานของ Aroonrungsikul (2013) พบว่า เมล็ดพันธุ์มะเขือเทศที่ได้จากแปลงผลิตที่มีการใช้ปุ๋ยอินทรีย์มีอัตราการงอก และความแข็งแรงของเมล็ดต่ำกว่าเมล็ดพันธุ์มะเขือเทศที่ได้จากแปลงผลิตที่ใส่ปุ๋ยเคมี แต่จากการศึกษาในเมล็ดถั่วเหลืองพันธุ์เชียงใหม่ 60 กลับพบว่าการใช้วัสดุอินทรีย์ถ่านชีวภาพร่วมกับมูลวัว และใส่ถ่านชีวภาพเพียงอย่างเดียว มีประสิทธิภาพดีส่งผลให้เมล็ดมีอัตราการงอกไม่ต่างจากการใส่ปุ๋ยเคมี

ปริมาณโปรตีน (protein content, g/100g)
เมล็ดถั่วเหลืองพันธุ์เชียงใหม่ 60 ในแต่ละกรรมวิธีมีปริมาณโปรตีนแตกต่างกันทางสถิติ ($P \leq 0.01$) เมล็ดถั่วเหลืองมีปริมาณโปรตีนเฉลี่ย 30.71-44.91 กรัมต่อน้ำหนักเมล็ดถั่วเหลือง 100 กรัม โดยกลุ่มของเมล็ดถั่วเหลืองจากกรรมวิธี ใส่ปุ๋ยเคมีตามวิธีเกษตรกร ใส่มูลวัว ใส่มูลไก่ ใส่ถ่านชีวภาพ ใส่ถ่านชีวภาพร่วมกับฟางข้าว ใส่ถ่านชีวภาพร่วมกับมูลวัว และใส่ถ่านชีวภาพร่วมกับมูลไก่ มีปริมาณโปรตีนเฉลี่ยมากที่สุดและไม่แตกต่างกันทางสถิติมีค่าเท่ากับ 43.93-44.91 กรัมต่อน้ำหนักเมล็ดถั่วเหลือง 100 กรัม รองลงมาคือ เมล็ดถั่วเหลืองจากแปลงปลูกที่ไม่ใส่วัสดุอินทรีย์ (ชุดควบคุม) มีปริมาณโปรตีนเฉลี่ยเท่ากับ 35.11 กรัมต่อน้ำหนักเมล็ดถั่วเหลือง 100 กรัม ส่วนการใส่ฟางข้าวเพียงอย่างเดียวเมล็ดถั่วเหลืองมีปริมาณโปรตีนเฉลี่ยน้อยที่สุด

เท่ากับ 30.71 กรัมต่อน้ำหนักเมล็ดถั่วเหลือง 100 กรัม (Table 3) ตามมาตรฐานสินค้าเกษตรประเภทถั่วเหลืองเมล็ดแห้ง ได้กำหนดเกณฑ์แบ่งชั้นคุณภาพดังนี้ คือ ชั้นที่ 1 ขนาดเมล็ดเส้นผ่านศูนย์กลางไม่ต่ำกว่า 4.8 มิลลิเมตร ปริมาณโปรตีนมากกว่าหรือเท่ากับ 36 % ชั้นที่ 2 ขนาดเมล็ดเส้นผ่านศูนย์กลาง ไม่ต่ำกว่า 4.50 มิลลิเมตร ปริมาณโปรตีนต่ำกว่า 36 % และชั้นที่ 3 ขนาดเมล็ดคละขนาด ปริมาณโปรตีนต่ำกว่า 36 % (National Bureau of Agricultural Commodity and Food Standards, 2013) ซึ่งจากผลการทดลองพบว่าการจัดการแปลงปลูกถั่วเหลืองพันธุ์เชียงใหม่ 60 ด้วยวัสดุอินทรีย์ในแต่ละกรรมวิธีส่วนใหญ่ได้เมล็ดพันธุ์ถั่วเหลืองเป็นไปตามเกณฑ์แบ่งชั้นคุณภาพ ชั้นที่ 1 (ปริมาณโปรตีนมากกว่าหรือเท่ากับ 36 %) ยกเว้น เมล็ดถั่วเหลืองจากแปลงปลูกที่ไม่ใส่วัสดุปลูก (ชุดควบคุม) และเมล็ดถั่วเหลืองจากแปลงปลูกที่ใส่ฟางข้าวเพียงอย่างเดียว (Table 3)

ปริมาณไขมัน (fat content, g/100g)

เมล็ดถั่วเหลืองพันธุ์เชียงใหม่ 60 ในแต่ละกรรมวิธีมีปริมาณไขมันแตกต่างกันทางสถิติ ($P \leq 0.01$) เมล็ดถั่วเหลืองมีปริมาณไขมันเฉลี่ย 15.66-24.40 กรัมต่อน้ำหนักเมล็ดถั่วเหลือง 100 กรัม โดยกลุ่มของเมล็ดถั่วเหลืองจากกรรมวิธีใส่ถ่านชีวภาพ มูลวัว และปุ๋ยเคมีตามวิธีเกษตรกร มีปริมาณไขมันเฉลี่ยมากที่สุดและไม่แตกต่างกันทางสถิติมีค่าเท่ากับ 23.07-24.40 กรัมต่อน้ำหนักเมล็ดถั่วเหลือง 100 กรัม ตามลำดับ รองลงมาคือเมล็ดถั่วเหลืองจากแปลงปลูกที่ใส่ฟางข้าว ใส่มูลไก่ ใส่ถ่านชีวภาพร่วมกับฟางข้าว ใส่ถ่านชีวภาพร่วมกับมูลวัว และใส่ถ่านชีวภาพร่วมกับมูลไก่ มีปริมาณไขมันเฉลี่ยไม่แตกต่างกันทางสถิติ โดยมีค่าเท่ากับ 17.39-20.64 กรัมต่อน้ำหนักเมล็ดถั่วเหลือง 100 กรัม ส่วนเมล็ดถั่วเหลืองจากแปลงปลูกที่ไม่ใส่วัสดุอินทรีย์ (ชุดควบคุม) พบว่ามีปริมาณไขมันเฉลี่ยน้อยที่สุดมีค่าเท่ากับ 15.66 กรัมต่อน้ำหนักเมล็ดถั่วเหลือง 100 กรัม (Table 3) เมื่อเปรียบเทียบกับผลการรายงานองค์ประกอบทางเคมีตามลักษณะประจำพันธุ์ของ ถั่วเหลืองพันธุ์เชียงใหม่ 60 มีค่าเฉลี่ยปริมาณไขมันในเมล็ดไม่ต่ำกว่า 20 % (Hongrat, 2003) ซึ่งจากผลการทดลองครั้งนี้ พบว่าการจัดการแปลงปลูกถั่วเหลืองพันธุ์เชียงใหม่ 60 ด้วยวัสดุอินทรีย์กรรมวิธีที่มีปริมาณไขมันในเมล็ดถั่วเหลืองต่ำกว่าลักษณะประจำพันธุ์ ได้แก่ เมล็ดถั่วเหลืองจากแปลงปลูกที่ไม่ใส่วัสดุอินทรีย์ (ชุดควบคุม) ใส่ฟางข้าวเพียงอย่างเดียว ใส่มูลไก่ ใส่ถ่านชีวภาพร่วมกับฟางข้าว (Table 3) ที่อาจเป็นผลมาจากปริมาณธาตุอาหารที่ถั่วเหลืองได้รับไม่เหมาะสมระหว่างการติดเมล็ด หรือความชื้นในเมล็ดที่ต่ำเกินไประหว่างการสะสมไขมัน ส่งผลให้เมล็ดถั่วเหลืองมีปริมาณไขมันต่ำได้

สรุปผลการวิจัย

การจัดการแปลงปลูกถั่วเหลืองพันธุ์เชียงใหม่ 60 ด้วยวัสดุอินทรีย์ประเภทต่าง ๆ มีผลต่อคุณภาพเมล็ดพันธุ์และองค์ประกอบทางเคมีของเมล็ดพันธุ์ถั่วเหลืองเชียงใหม่ 60 โดยมีแนวโน้มช่วยเพิ่มคุณภาพเมล็ดพันธุ์และองค์ประกอบทางเคมีเทียบเท่าการใช้ปุ๋ยเคมีแสดงให้เห็นว่าการทำระบบเกษตรอย่างยั่งยืนในสภาพพื้นที่ปลูกที่ขาดความอุดมสมบูรณ์ในเขตภาคตะวันออกเฉียงเหนือ โดยการจัดการแปลงปลูกด้วยวัสดุอินทรีย์สามารถให้ผลผลิตเมล็ดพันธุ์ถั่วเหลืองที่มีคุณภาพเป็นไปตามข้อกำหนดของมาตรฐานสินค้าเกษตรประเภทถั่วเหลืองเมล็ดแห้งได้

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณสำนักงานคณะกรรมการส่งเสริมวิทยาศาสตร์ วิจัย และนวัตกรรม (สกสว.) ที่ให้การสนับสนุนทุนวิจัยด้านวิทยาศาสตร์ วิจัย และนวัตกรรมประจำปีงบประมาณ 2565

Table 1 Chemical properties and fertilizer of organic materials use in these studies

Types of organic materials	pH	Organic matter (%)	N (%)	C:N ratio	P (%)	K (%)
Straw	6.41	24.84	0.61	23.21:1	0.03	0.38
Cow manure	8.18	28.86	3.20	11.83:1	0.32	0.84
Chicken manure	8.65	27.75	1.39	4.94:1	2.10	1.37
Biochar	9.21	28.77	0.93	17.63:1	0.15	1.71

Table 2 Effect of organic materials on seed colour of soybean seeds cv. Chiang Mai 60 at 90 days after planting

Types of organic materials	Seed Colour		
	L	a	b
Control (Without organic materials)	53.02	2.62	20.72
Chemical fertilizers (16-8-8)	52.73	2.79	21.11
Straw	50.57	2.68	20.24
Cow manure	53.72	2.54	21.61
Chicken manure	52.03	2.73	20.59
Biochar	51.41	2.66	20.93
Biochar + Straw	51.43	2.53	20.62
Biochar + Cow manure	52.95	2.38	23.74
Biochar + Chicken manure	52.72	3.16	21.21
F – test	ns	ns	ns
CV (%)	33.55	35.02	40.11

ns = non-significantly different.

Table 3 Effect of organic materials on quality and chemical composition of soybean seeds cv. Chiang Mai 60 at 90 days after planting

Organic materials	Quality and chemical composition of soybean seeds cv. Chiang Mai 60					
	Seed weight ¹ (g/100 seeds)	Good seed ¹ (%)	Moisture content ¹ (%)	Seed germination ¹ (%)	Protein content ¹ (g/100g)	Fat content ¹ (g/100g)
Control (without organic materials)	19.12 ^c	74.31 ^c	8.53 ^b	73.22 ^c	35.11 ^b	15.66 ^c
Chemical fertilizers (16-8-8)	28.56 ^b	80.38 ^a	8.94 ^b	85.14 ^a	43.97 ^a	23.07 ^a
Straw	15.11 ^e	68.14 ^d	9.15 ^a	61.09 ^d	30.71 ^c	17.39 ^b
Cow manure	31.33 ^a	76.24 ^b	8.56 ^b	80.55 ^b	43.93 ^a	23.33 ^a
Chicken manure	19.05 ^d	70.29 ^c	8.67 ^b	72.16 ^c	44.01 ^a	18.38 ^b
Biochar	23.32 ^c	81.58 ^a	8.96 ^b	83.42 ^a	44.91 ^a	24.40 ^a
Biochar + Straw	22.09 ^c	78.78 ^b	8.75 ^b	80.35 ^b	44.54 ^a	19.69 ^b
Biochar + Cow manure	27.11 ^b	73.42 ^c	8.78 ^b	84.16 ^a	44.61 ^a	20.32 ^b
Biochar + Chicken manure	23.38 ^c	67.51 ^d	8.96 ^b	79.38 ^b	44.33 ^a	20.64 ^b
F – test	**	*	*	**	*	*
CV (%)	52.01	30.33	46.18	28.92	47.11	50.06

^{1/} Mean within the same column followed by different letters are significantly at $p \leq 0.01$ using LSD.

ns = non-significantly different.

* = significantly different at $P \leq 0.05$.

** = significantly different at $P \leq 0.01$.

References

- Aroonrungsikul, C. (2013). Effect of various organic fertilizers on tomato seed yield and quality. *Proceedings of the 10th national seed conference 2013* (pp. 146-154). Hat Yai, Thailand: Prince of Songkla University Hat Yai Campus. (in Thai)
- Association of Official Analytical Chemists (AOAC). (2019). *Official methods of analysis of AOAC international* (16th ed.). Maryland, United States: The Association of Official Analytical Chemists.
- Department of Internal Trade. (2011). *Policy and measures for importing soybean 2011. Department of International Trade Promotion, Ministry of Commerce*. Accessed January 15, 2024. Retrieved from <https://agri.dit.go.th/file/doc/981-SOY2-for-you.pdf>. (in Thai)
- Hongrat, K. (2003). *The study of the substitution of tiger shrimp excrement for chemical fertilizer in soybean production*. (Master's thesis). Bangkok, Thailand: National Institute of Development Administration. (in Thai)
- International Seed Testing Association (ISTA). (2010). *International rules for seed testing rules*. Basesdorf, Switzerland: International Seed Testing Association.
- Kumar, A., Gaiind S., & Nain, L. (2008). Evaluation of thermophilic fungal consortium for paddy straw composting. *Biodegradation*. 19(3), 395-402. doi: 10.1007/s10532-007-9145-3
- National Bureau of Agricultural Commodity and Food Standards. (2013). *Soybean*. Accessed September 15, 2023. Retrieved from <https://www.acfs.go.th/standard/download/Soybean.pdf>. (in Thai)
- Nurmalasari, A. I., Budiastuti, M. T. S., Rahayu, M., & Agung, A. M. T. (2023). The role of different types of biochar sources and organic fertilizers on soybean growth in Kayu Putih agroforestry systems. *Proceedings of the 3rd international conference on sustainable agriculture for rural development (ICSARD 2022)* (pp. 42-48). Purwokerto, Indonesia: Atlantis Press. doi: 10.2991/978-94-6463-128-9_6
- Office of Agricultural Economics. (2023). *Thailand foreign agricultural trade statistics*. Accessed June 10, 2023. Retrieved from <https://www.oae.go.th/assets/portals/1/files/journal/2566/commodity2566.pdf>. (in Thai)
- Qiu, L., Chang, R., Sun, J., Li, X., Cui, Z., & Li, Z. (1999). The history and use of primitive varieties in Chinese soybean breeding. *Proceedings of the 6th world soybean research conference VI* (pp. 4-7). Illinois, United States: Superior Printing Champaign, Illinois.
- Ratneetoo, B. (2009). Organic fertilizer improves deteriorated soil. *Princess of Naradhiwas University Journal*, 1(2), 1-16. (in Thai)
- Somboonkaew, N., Pumprasert, J., Sattapai, N., Sanosomneng, K., Srisawangwong, S., Dumkum, W., Keatmaneerat, S., Sumrettrum, P., Hemra, A., & Sri-iam, S. (2022). Assessment of postharvest loss in soybean supply chain. *Thai Agricultural Research Journal*, 40(2), 153-164. doi: 10.14456/thaidoa-agres.2022.13 (in Thai)
- Sudarsono, W. A., Melati, M., & Aziz, S. A. (2013). Growth, nutrient uptake and yield organic soybean through fertilizer application cowshed. *Indonesian Journal of Agronomy*, 41(3), 202-208.
- Sritongtae, C., Monkham, T., Sanitchon, J., Lodthong, S., Srisawangwong, S., & Chankaew, S. (2021). The feasibility study for off-season soybean production in research station for seed production. *Khon Kaen Agriculture Journal*, 49(1), 87-104. doi:10.14456/kaj.2021.8. (in Thai)

Research article

Farm management with organic materials on quality and chemical composition of soybean seeds cv. Chiang Mai 60

Wimolnan Kanket¹ Porntip Srimongkol¹ Rewat Chindachia² and Surassawadee Promyou^{1*}

¹ Department of Agriculture and Resources, Faculty of Natural Resources and Agro-industry, Kasetsart University Chalermphrakiat Sakonnakhon Province Campus, Muang district, Sakonnakhon Province, 47000

² Lamtakhong Research Station Thailand Institute of Scientific and Technological Research, Pakchong district, Nakhon Ratchasima Province, 30130

ARTICLE INFO**Article history**

Received: 17 May 2024

Revised: 17 June 2024

Accepted: 22 June 2024

Online published: 27 June 2024

Keyword

organic materials

seed quality

soybean seed

ABSTRACT

Farm management with organic materials is one of the sustainable agriculture practices following sustainable development guidelines (SDGs) to reduce impacts on health and the environment and increase efficiency in agricultural production in Thailand. This study investigated the effect of different organic materials in planting plots of soybean seeds cv. Chiang Mai 60 on seed quality and chemical composition. A completely randomized design with three replications was used. The experiment was divided into nine treatments consisting of: 1) control (without added organic materials), 2) chemical fertilizers (16-8-8), 3) straw, 4) cow manure, 5) chicken manure, 6) biochar, 7) biochar mixed with straw, 8) biochar mixed with cow manure, and 9) biochar mixed with chicken manure. The results showed that the different types of organic materials affected soybean seed quality, including seed weight, seed quantity, seed moisture, seed germination, and the protein and fatty acid content of soybean seeds. However, seed color was not significantly different among the applications of different organic materials. The cow manure application resulted in the highest seed weight, whereas the application of biochar and chemical fertilizers produced the highest quantity of good seeds. The use of straw in the soybean planting plot led to the highest seed moisture. The utilization of biochar mixed with cow manure and biochar alone resulted in the highest seed germination, which was not significantly different from the use of chemical fertilizers. The straw treatment resulted in the lowest protein content in the soybean seeds. Additionally, the highest fat content in soybean seeds was observed under the application of biochar and cow manure, with no significant difference from chemical fertilizers. This indicated that organic materials could enhance the seed quality and chemical composition of soybean seeds cv. Chiang Mai 60 to meet agricultural product standards for soybeans.

*Corresponding author

E-mail address: csnsrwd@ku.ac.th (S. Promyou)

Online print: 27 June 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.2024.24>



บทความวิจัย

ผลของการใช้ใบมันสำปะหลังอัดเม็ดทดแทนอาหารชั้นต่อกระบวนการหมักในกระเพาะหมัก ผลผลิตน้ำนม และองค์ประกอบน้ำนมของโคนม

นพรัตน์ ผกาเชิด* ทิพย์สุตา บุญมาทัน รุติมา นรโภค และพีรพจน์ นิติจจน์

สาขาวิชาเทคโนโลยีการผลิตสัตว์ คณะเทคโนโลยีการเกษตร มหาวิทยาลัยกาฬสินธุ์ อำเภอเมืองกาฬสินธุ์ จังหวัดกาฬสินธุ์ 46000

ข้อมูลบทความ

Article history

รับ: 13 พฤษภาคม 2567

แก้ไข: 18 มิถุนายน 2567

ตอบรับการตีพิมพ์: 18 มิถุนายน 2567

ตีพิมพ์ออนไลน์: 27 มิถุนายน 2567

คำสำคัญ

ใบมันสำปะหลังอัดเม็ด

ทดแทน

ผลผลิตน้ำนม

องค์ประกอบน้ำนม

โคนม

บทคัดย่อ

การทดลองนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลของการใช้ใบมันสำปะหลังอัดเม็ดทดแทนอาหารชั้นต่อกระบวนการหมักในกระเพาะหมัก ผลผลิตน้ำนม และองค์ประกอบน้ำนมของโคนม โดยใช้โคนมพันธุ์ลูกผสมโฮลสไตน์ฟรีเซียน (Holstein Friesian crossbred) ที่อยู่ในระยะของการให้นม จำนวน 4 ตัว น้ำหนักตัวเริ่มต้น 426.00 ± 19.03 กิโลกรัม จำนวนวันที่ให้นม 75 ± 36 วัน และมีผลผลิตน้ำนมเริ่มต้น 17.32 ± 3.59 กิโลกรัมต่อวัน ใช้แผนการทดลองแบบ 4×4 จดรัสสติน โดยแต่ละระยะทดลองใช้เวลา 21 วัน โดยมีระยะเวลาปรับตัว 14 วัน และระยะเวลาการเก็บข้อมูล 7 วัน โดยทำการศึกษาระดับการใช้ใบมันสำปะหลังอัดเม็ดทดแทนอาหารชั้น 4 ระดับ ได้แก่ 0 10 20 และ 30 % ผลการทดลอง พบว่า การใช้ใบมันสำปะหลังอัดเม็ดทดแทนอาหารชั้นทุกระดับ ไม่มีผลต่อปริมาณการกินได้ การย่อยได้โภชนะ ความเป็นกรด-ด่าง แอมโมเนียในโตรเจนในกระเพาะหมัก ยูเรียในโตรเจนในเลือด และองค์ประกอบน้ำนม ($P > 0.05$) การใช้ใบมันสำปะหลังอัดเม็ดทดแทนอาหารชั้นที่ระดับ 10 และ 20 % ไม่มีผลต่อปริมาณน้ำนมของโคนม ($P > 0.05$) แต่การใช้ใบมันสำปะหลังอัดเม็ดทดแทนอาหารชั้นที่ระดับ 30 % มีผลทำให้ปริมาณน้ำนม และระดับน้ำตาลกลูโคสในเลือดของโคนมลดลง ($P < 0.05$) ดังนั้น จึงสามารถใช้ใบมันสำปะหลังอัดเม็ดทดแทนอาหารชั้นได้ที่ระดับ 20 % โดยไม่มีผลกระทบต่อผลผลิตของโคนม

บทนำ

การเลี้ยงโคนมที่จะประสบความสำเร็จจะต้องมีการจัดการด้านอาหารและการให้อาหารที่ดี เพราะการจัดการด้านอาหารนอกจากจะต้องคำนึงถึงความต้องการโภชนะของสัตว์แล้วยังต้องคำนึงถึงต้นทุนค่าอาหารด้วย เพราะต้นทุนในการเลี้ยงโคนมส่วนใหญ่เป็นต้นทุนค่าอาหาร โดยคิดเป็นประมาณ 60 - 70 % ของต้นทุนทั้งหมด ส่งผลให้เกษตรกรผู้เลี้ยงสัตว์จำเป็นต้องหาแนวทางในการเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตหรือการลดต้นทุนในการผลิตลง โดยการหาวัตถุดิบที่มีราคาถูกและมีปริมาณมากในท้องถิ่น โดยเฉพาะการนำผลพลอยได้ทางการเกษตรที่มีอยู่มากในท้องถิ่นเพื่อใช้เป็นวัตถุดิบราคาถูกในการเลี้ยงสัตว์ ที่จะช่วยแก้ไขปัญหาในสภาวะวัตถุดิบอาหารสัตว์ขาดแคลนหรือมีราคาสูงขึ้น ใบมันสำปะหลังเป็นทางเลือกหนึ่งที่จะนำมาใช้เป็นวัตถุดิบอาหารสัตว์ ซึ่งใบมันสำปะหลังเป็นผลพลอยได้จากการเพาะปลูกมันสำปะหลัง ซึ่งมันสำปะหลังเป็นพืชเศรษฐกิจที่สำคัญของประเทศไทย ในแต่ละปีมีปริมาณการผลิตเป็นจำนวนมาก ซึ่งในการเพาะปลูกมันสำปะหลังส่วนใหญ่จะใช้ประโยชน์เฉพาะส่วนที่อยู่ใต้ดินของต้นมันสำปะหลัง คือ หัวมันสำปะหลังเท่านั้น ส่วนของใบก็จะปล่อยทิ้งไว้ในแปลงโดยไร้ค่า โดยใบมันสำปะหลังมีโปรตีนค่อนข้างสูงประมาณ 20.13 % น้ำหนักแห้ง (Phakachod et al., 2019) แต่ใบ

มันสำปะหลังมีสารพิษไซยาไนด์ค่อนข้างสูง ซึ่งสามารถลดปริมาณไซยาไนด์ในใบมันสำปะหลังได้โดยการตากแห้งและการหมัก

Kaewkunya et al. (2020) พบว่า ใบมันสำปะหลังหมักมีปริมาณโปรตีนระหว่าง 22.81 - 25.64 % ขึ้นอยู่กับสายพันธุ์ของมันสำปะหลัง และมีการย่อยได้ของใบมันสำปะหลังหมัก 87.09 % Foiklang et al. (2019) พบว่า การใช้ใบมันสำปะหลังรวมยอดอัดเม็ดที่ระดับ 100 และ 150 กรัมตอกิโลกรัมน้ำหนักแห้ง สามารถเพิ่มการผลิตแก๊สในหลอดทดลอง และการใช้ใบมันสำปะหลังรวมยอดอัดเม็ดที่ระดับ 150 กรัมตอกิโลกรัมน้ำหนักแห้ง สามารถเพิ่มการย่อยได้ของวัตถุดิบได้ Gitiyanuphap et al. (2021) พบว่า สามารถใช้ใบมันสำปะหลังรวมยอดอัดเม็ดทดแทนกากถั่วเหลืองในอาหารชั้นที่ระดับ 33:67 โดยไม่มีผลกระทบต่อปริมาณการกินได้ การย่อยได้ และเมตาบอลิซึมในเลือดโคนม นอกจากนี้ยังมีรายงานว่า การใช้ใบมันสำปะหลังแห้งเป็นอาหารโคนมที่ระดับ 1 2 และ 3 กิโลกรัมต่อวัน มีผลทำให้น้ำนมดิบมีปริมาณไอโซฟลาเวโนลเพิ่มขึ้นและจำนวนจุลินทรีย์และจำนวนเซลล์โซมาติกลดลง (Panthanara et al., 2006) จะเห็นได้ว่าใบมันสำปะหลังสามารถนำมาใช้เป็นวัตถุดิบอาหารสัตว์ได้ แต่อย่างไรก็ตามการรายงานข้อมูลของระดับการใช้ใบมันสำปะหลังทดแทนอาหารชั้นในโคนมยังมีอยู่อย่างจำกัด

*Corresponding author

E-mail address: Noppharat.ph@ksu.ac.th (N. Phakachod)

Online print: 27 June 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.2024.25>

ดังนั้นการศึกษาในครั้งนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาถึงระดับการใช้ไขมันสำหรับหลังอัดเม็ดทดแทนอาหารชั้นในอาหารโคนมต่อปริมาณการกินได้ กระบวนการหมักในกระเพาะหมัก ผลผลิตน้ำนมและองค์ประกอบน้ำนมของโคนม

อุปกรณ์และวิธีการวิจัย

สัตว์ทดลอง

ใช้โคนมพันธุ์ลูกผสมโฮลสไตน์ฟรีเซียน (Holstein Friesian crossbred) ที่อยู่ในระยะของการให้นม จำนวน 4 ตัว น้ำหนักตัวเริ่มต้น 426.00 ± 19.03 กิโลกรัม จำนวนวันที่ให้นม (day in milk, DIM) 75 ± 36 วัน และมีผลผลิตน้ำนมเริ่มต้น 17.32 ± 3.59 กิโลกรัมต่อวันได้รับอนุญาตให้สัตว์เพื่องานทางวิทยาศาสตร์ตามเอกสารอนุญาตเลขที่ KSU-AE-015/2565 และทำการเลี้ยง ณ แผนกโคนม ศูนย์วิจัยและฝึกอบรมสุสิงห์ มหาวิทยาลัยกาฬสินธุ์ โคนมเลี้ยงในคอกเดี่ยวแบบยืนโรง ขนาด 3.0×5.0 เมตร

แผนการทดลอง

วางแผนการทดลองแบบ 4×4 จัตุรัสลาติน โดยแต่ละระยะทดลองใช้เวลา 21 วัน โดยมีระยะเวลาปรับตัว 14 วัน และระยะเวลาการเก็บข้อมูล 7 วัน โดยทำการศึกษาการใช้ไขมันสำหรับหลังอัดเม็ดทดแทนอาหารชั้น 4 ระดับ อาหารชั้นที่ใช้มีระดับโปรตีนหยาบ 18 % ดังนี้ ทรีทเมนต์ที่ 1 การใช้ไขมันสำหรับหลังอัดเม็ดทดแทนอาหารชั้น 0 % ทรีทเมนต์ที่ 2 การใช้ไขมันสำหรับหลังอัดเม็ดทดแทนอาหารชั้น 10 % ทรีทเมนต์ที่ 3 การใช้ไขมันสำหรับหลังอัดเม็ดทดแทนอาหารชั้น 20 % และทรีทเมนต์ที่ 4 การใช้ไขมันสำหรับหลังอัดเม็ดทดแทนอาหารชั้น 30 %

การเตรียมอาหารทดลอง

ไขมันสำหรับหลังอัดเม็ด เตรียมได้จากการเก็บรวบรวมไขมันสำหรับหลังที่ได้จากแปลงมันสำปะหลังของเกษตรกรในเขตอำเภอเมือง จังหวัดกาฬสินธุ์ โดยการเก็บในส่วนยอดของต้นมันสำปะหลัง ทำการสับมันสำปะหลังรวมยอดด้วยเครื่องสับให้มีขนาด 1 – 2 เซนติเมตร นำไขมันสำหรับหลังที่ผ่านการสับแล้วไปตากแดดจนแห้ง นำไขมันสำหรับหลังที่แห้งแล้วเข้าเครื่องอัดเม็ดอาหารสัตว์ ขนาด 6 มิลลิเมตร หลังจากอัดเม็ดเสร็จนำมาผึ่งในร่ม 1 วัน

เตรียมอาหารชั้นที่คำนวณระดับโปรตีน 18 % ตามที่กำหนดดังแสดงใน Table 1 โดยให้อาหารชั้นโคนมตามปริมาณน้ำนมสดส่วนน้ำนมต่ออาหาร 2:1 แบ่งการให้อาหารวันละ 2 ครั้ง คือ เวลา 07.00 น. และ 16.00 น. และโคนมจะได้รับข้าวโพดหมักเป็นแหล่งอาหารหยาบแบบเต็มที่ (*ad libitum*) ทำการชั่งน้ำหนักอาหารที่ให้และอาหารที่เหลือทุกวันก่อนให้อาหารใหม่ในเวลาเช้าของวันถัดไป และมีแร่ธาตุก้อนและน้ำสะอาดให้ตลอดเวลา

การเก็บข้อมูล

บันทึกปริมาณผลผลิตน้ำนมดิบเป็นรายวัน รีดนมโควันละ 2 ครั้ง เวลา 05.00 น. และ 15.00 น. โดยเครื่องรีดนมแบบอัตโนมัติ (AfiMilk Ltd. Kibbutz Afikim, Israel) และสุ่มเก็บตัวอย่างน้ำนมดิบในวันสุดท้ายของแต่ละช่วงการทดลอง โดยเก็บตอนเช้าและตอนเย็น นำมารวมเข้าด้วยกันตามสัดส่วนของน้ำนมที่ได้ นำตัวอย่างน้ำนมดิบไปวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของน้ำนม ได้แก่ ไขมันนม โปรตีนนม แล็กโตส ของแข็งไม่รวมไขมัน (solid not fat) ของแข็งในน้ำนม (total solid) (Milko Scan S50, Tecator, Denmark)

สุ่มเก็บตัวอย่างอาหาร โดยทำการสุ่มเก็บตัวอย่าง ในแต่ละระยะการทดลองในช่วง 5 วันสุดท้าย เพื่อวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมี ได้แก่ วัตถุแห้ง (dry matter, DM) เถ้า (ash) ไขมัน (ether extract, EE) และโปรตีนหยาบ (crude protein, CP) ตามวิธีการของ AOAC (1995) และวิเคราะห์องค์ประกอบเยื่อใยที่สำคัญ ได้แก่ เยื่อใยที่ไม่ละลายในสารฟอกที่เป็นกลาง (neutral detergent fiber, NDF) และเยื่อใยที่ไม่ละลายในสารฟอกที่เป็นกรด (acid detergent fiber, ADF) ตามวิธีการของ Van Soest et al. (1991)

สุ่มเก็บตัวอย่างมูลใน 5 วันสุดท้ายของแต่ละช่วงการทดลอง โดยทำการสุ่มเก็บในช่วงเช้าและบ่าย โดยวิธีล้วงผ่านทวารหนัก (rectal sampling) ก่อนทำการคลุกทุกส่วนให้เข้ากัน และแบ่งออกเป็น 2 ส่วน คือ ส่วนที่ 1 นำไปอบที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง เพื่อวิเคราะห์หาวัตถุแห้ง ส่วนที่ 2 เก็บมูลในแต่ละวันแล้วนำไปเก็บที่อุณหภูมิ -20 องศาเซลเซียส นำมูลทั้งหมดของแต่ละกลุ่มทดลองมาคลุกเคล้าให้เข้ากัน ทำการสุ่มเก็บอีกครั้งและนำไปอบที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 72 ชั่วโมง หรือจนกว่าจะแห้งสนิท และนำไปบดผ่านตะแกรงขนาด 1 มิลลิเมตร เพื่อนำไปวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมี และวิเคราะห์หาเถ้าที่ไม่ละลายในกรด (acid insoluble ash, AIA) เพื่อนำมาคำนวณหาสัมประสิทธิ์การย่อยได้ตามวิธีการของ Van Keulen & Young (1977)

การคำนวณสัมประสิทธิ์การย่อยได้ของโภชนะ โดยใช้ AIA เป็นตัวบ่งชี้ภายใน และโภชนะรวมที่ย่อยได้ (total digestible nutrient, TDN)

สัมประสิทธิ์การย่อยได้ของวัตถุแห้ง (%)

$$= 100 - 100 \times \left(\frac{(\% \text{ AIA ในอาหาร})}{(\% \text{ AIA ในมูล})} \right)$$

สัมประสิทธิ์การย่อยได้ของโภชนะ (%)

$$= 100 - 100 \times \left(\frac{(\% \text{ AIA ในอาหาร}) \times (\% \text{ โภชนะในมูล})}{(\% \text{ AIA ในมูล}) \times (\% \text{ โภชนะในอาหาร})} \right)$$

เก็บตัวอย่างเลือด ในช่วงเวลาที่ 0 3 และ 6 หลังจากให้อาหารในวันสุดท้ายของแต่ละช่วงการทดลอง โดยเก็บจากเส้นเลือดดำใหญ่บริเวณคอ (jugular vein) เพื่อนำมาวิเคราะห์หาค่ายูเรียไนโตรเจนในเลือด (blood urea nitrogen, BUN) โดยวิธี enzymatic method (Beckman Coulter AU400, United States) และความเข้มข้นของกลูโคสในเลือดโดยวิธี enzymatic UV test (hexokinase method, Beckman Coulter AU400, United States)

เก็บตัวอย่างของเหลวในกระเพาะรูเมน ในช่วงเวลาที่ 0 3 และ 6 หลังจากให้อาหาร ในวันสุดท้ายของแต่ละช่วงการทดลอง โดยใช้ stomach tube ดูดด้วย vacuum pump และวัดค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) ทันที โดยใช้ pH meter เติม 1M H₂SO₄ ในสัดส่วน 1M H₂SO₄ ต่อของเหลวในกระเพาะรูเมน 1:10 เพื่อหยุดการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ นำไปปั่นเหวี่ยงที่ความเร็ว 1,500 รอบ เป็นระยะเวลา 15 นาที เก็บเอาส่วนใสเพื่อวิเคราะห์หาความเข้มข้นของแอมโมเนียไนโตรเจน (NH₃-N) โดยใช้เครื่อง Kjeltac Auto 1030 Analyzer (Bremner & Keeney, 1965)

การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ

ข้อมูลที่ได้ทั้งหมดจากการทดลอง จะนำมาวิเคราะห์หาความแปรปรวน โดยใช้ analysis of variance (ANOVA) ตามแผนการทดลอง 4x4 จัตุรัสลาติน และเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยของแต่ละทรีทเมนต์ด้วยวิธี least significant difference (Lsd) ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 % (SAS, 1998)

ผลและวิจารณ์ผลการวิจัย

องค์ประกอบทางเคมีของอาหาร

องค์ประกอบทางเคมีของอาหารที่ใช้ในการทดลองแสดงใน Table 2 อาหารชั้นที่ใช้ในการทดลอง มีค่า DM OM CP EE Ash NDF และ ADF เท่ากับ 91.66 89.77 18.21 3.55 10.23 43.01 และ 22.65 % ตามลำดับ ข้าวโพดหมัก เท่ากับ 91.32 93.00 8.45 2.71 7.00 61.52 และ 35.63 % ตามลำดับ และไขมันสำปะหลังอัดเม็ด เท่ากับ 90.15 92.00 21.39 5.60 8.00 43.15 และ 30.20 % ตามลำดับ ซึ่งไขมันสำปะหลังอัดเม็ดที่ใช้ในการทดลองมีระดับโปรตีนใกล้เคียงกับการรายงานของ Phakachoe et al. (2019) พบว่า ไขมันสำปะหลังหมักมีโปรตีน เท่ากับ 20.13 % Oni et al. (2010) พบว่า ไขมันสำปะหลังแห้งมีระดับโปรตีนเท่ากับ 20.8 % และ Kaewkunya et al. (2020) ศึกษาคุณภาพของไขมันสำปะหลังสายพันธุ์ต่าง ๆ เพื่อใช้เป็นพืชอาหารสัตว์หมักคุณภาพดี พบว่า ไขมันสำปะหลังหมักมีระดับโปรตีนระหว่าง 22.81 – 25.64 % ขึ้นอยู่กับสายพันธุ์ของไขมันสำปะหลัง

การย่อยได้โภชนะ

ผลของการใช้ไขมันสำปะหลังอัดเม็ดทดแทนอาหารชั้นต่อการย่อยได้โภชนะในโคนม แสดงใน Table 3 พบว่าการใช้ไขมันสำปะหลังอัดเม็ดทดแทนอาหารชั้นทุกระดับไม่มีผลต่อการย่อยได้วัตถุดิบ อินทรีย์วัตถุ โปรตีนหายบ เยื่อใยที่ไม่ละลายในสารฟอกที่เป็นกรด และเยื่อใยที่ไม่ละลายในสารฟอกที่เป็นกรด ($P > 0.05$) โดยมีค่าการย่อยได้วัตถุดิบเท่ากับ 69.52 68.33 68.54 และ 69.15 % ตามลำดับ ซึ่งจากผลการทดลองพบว่าการใช้ไขมันสำปะหลังอัดเม็ดทดแทนอาหารชั้นทุกระดับไม่มีผลต่อการย่อยได้โภชนะอาจเป็นผลมาจากระดับของเยื่อใยทั้งในอาหารชั้นและไขมันสำปะหลังอัดเม็ดมีระดับที่ใกล้เคียงกัน สอดคล้องกับการรายงานของ Gitiyanuphap et al. (2021) ศึกษาการใช้ไขมันสำปะหลังรวมยอดอัดเม็ดทดแทนการใช้กากหัวเหลืองในอาหารชั้นโคนม พบว่า การใช้สูตรไขมันสำปะหลังอัดเม็ดเป็นแหล่งโปรตีนทดแทนกากหัวเหลืองในสูตรอาหารชั้นที่ระดับ 33 และ 100 % ไม่ส่งผลกระทบต่อค่าสัมประสิทธิ์การย่อยได้ของวัตถุดิบ และการใช้สูตรไขมันสำปะหลังอัดเม็ดเป็นแหล่งโปรตีนทดแทนกากหัวเหลืองในสูตรอาหารชั้นที่ระดับ 100 % ไม่มีผลต่อการย่อยได้เยื่อใย แต่การใช้สูตรไขมันสำปะหลังอัดเม็ดเป็นแหล่งโปรตีนทดแทนกากหัวเหลืองในสูตรอาหารชั้นที่ระดับ 67 และ 100 % มีผลทำให้การย่อยได้โปรตีนลดลง Oni et al. (2010) ศึกษาการใช้ไขมันสำปะหลังแห้งในสูตรอาหารชั้นที่ระดับ 0 20 40 และ 60 % พบว่า การใช้ไขมันสำปะหลังแห้งในสูตรอาหารชั้นทุกระดับไม่มีผลต่อการย่อยได้เยื่อใยที่ไม่ละลายในสารฟอกที่เป็นกรดของแพะ แต่การเพิ่มระดับไขมันสำปะหลังแห้งในสูตรอาหารชั้นมีผลทำให้ค่าการย่อยได้วัตถุดิบ โปรตีน และเยื่อใยที่ไม่ละลายในสารฟอกที่เป็นกรดลดลงตามระดับของไขมันสำปะหลังที่เพิ่มขึ้น Odusanya et al. (2017) ศึกษาการใช้ไขมันสำปะหลังแห้งในสูตรอาหารชั้นที่ระดับ 0 10 20 และ 30 % พบว่า การใช้ไขมันสำปะหลังแห้ง

ในสูตรอาหารชั้นทุกระดับไม่มีผลต่อการย่อยได้วัตถุดิบ และเยื่อใยที่ไม่ละลายในสารฟอกที่เป็นกรดของแพะ แต่การเพิ่มระดับไขมันสำปะหลังแห้งในสูตรอาหารชั้นที่ระดับ 20 และ 30 % มีผลทำให้ค่าการย่อยได้โปรตีน และเยื่อใยที่ไม่ละลายในสารฟอกที่เป็นกรดเพิ่มขึ้น

การกินได้ ปริมาณน้ำนม และองค์ประกอบน้ำนม

ผลของการใช้ไขมันสำปะหลังอัดเม็ดทดแทนอาหารชั้น ต่อปริมาณการกินได้ ปริมาณน้ำนม และองค์ประกอบน้ำนม แสดงใน Table 4 พบว่า การใช้ไขมันสำปะหลังอัดเม็ดทดแทนอาหารชั้นทุกระดับไม่มีผลต่อการกินได้วัตถุดิบของโคนม ($P > 0.05$) โดยมีค่าการกินได้วัตถุดิบเท่ากับ 13.46 13.45 13.92 และ 13.28 กิโลกรัมต่อตัว ตามลำดับ Gitiyanuphap et al. (2021) พบว่า การใช้ไขมันสำปะหลังอัดเม็ดรวมยอดอัดเม็ดทดแทนกากหัวเหลืองในอาหารชั้น ที่ระดับ 0 33 67 และ 100 % ไม่มีผลต่อปริมาณการกินได้ของอาหารหายบ ปริมาณการกินได้ของอาหารชั้น และปริมาณการกินได้ทั้งหมดของโคนม Nunoi et al. (2022) ศึกษาการใช้ไขมันสำปะหลังอัดเม็ดตากแห้งเป็นแหล่งโปรตีนในสูตรอาหารผสมสำเร็จ (TMR) ที่ระดับ 10 20 และ 30 % พบว่า ไม่มีผลต่อปริมาณการกินได้ และ % ของอาหารที่กินต่อน้ำหนักตัวของแพะเนื้อลูกผสม Duangchan et al. (2022) พบว่า การใช้ไขมันสำปะหลังเพื่อทดแทนอาหารชั้น ที่ระดับ 0 8 และ 16 % ไม่ส่งผลต่อปริมาณการกินได้ของโคเนื้อ และ Oni et al. (2010) พบว่า การใช้ไขมันสำปะหลังแห้งในสูตรอาหารชั้นที่ระดับ 0 20 40 และ 60 % ไม่มีผลต่อการกินได้อาหารชั้นและการกินได้รวมของแพะ

ผลของการใช้ไขมันสำปะหลังอัดเม็ดทดแทนอาหารชั้นต่อปริมาณน้ำนม พบว่า การใช้ไขมันสำปะหลังอัดเม็ดทดแทนอาหารชั้นมีผลต่อปริมาณน้ำนมของโคนมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) โดยการใช้ไขมันสำปะหลังอัดเม็ดทดแทนอาหารชั้นในระดับที่สูงขึ้นมีผลทำให้ปริมาณน้ำนมของโคนมลดลง โดยมีค่าปริมาณน้ำนมเท่ากับ 16.01 15.75 15.43 และ 14.36 กิโลกรัมต่อตัว ตามลำดับ ซึ่งการใช้ไขมันสำปะหลังอัดเม็ดทดแทนอาหารชั้นที่ระดับ 10 และ 20 % มีผลต่อปริมาณน้ำนมของโคนมไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($P > 0.05$) เมื่อเปรียบเทียบกับกลุ่มควบคุม แต่การใช้ไขมันสำปะหลังอัดเม็ดทดแทนอาหารชั้นที่ระดับ 30 % มีผลทำให้ปริมาณน้ำนมของโคนมลดลงแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) แต่การใช้ไขมันสำปะหลังอัดเม็ดทดแทนอาหารชั้นที่ระดับ 10 20 และ 30 % ไม่มีผลต่อปริมาณน้ำนมปรับไขมัน 3.5 % ของโคนม ($P > 0.05$) โดยมีค่าปริมาณน้ำนมปรับไขมัน 3.5 % เท่ากับ 17.52 16.78 16.55 และ 14.78 กิโลกรัมต่อตัว ตามลำดับ การใช้ไขมันสำปะหลังอัดเม็ดทดแทนอาหารชั้นต่อองค์ประกอบในน้ำนม พบว่า การใช้ไขมันสำปะหลังอัดเม็ดทดแทนอาหารชั้นทุกระดับไม่มีผลต่อไขมัน โปรตีน แลคโตส และของแข็งรวมในน้ำนม ($P > 0.05$)

จากผลการทดลอง พบว่า การใช้ไขมันสำปะหลังอัดเม็ดทดแทนอาหารชั้นในระดับที่สูงขึ้นมีผลทำให้ผลผลิตน้ำนมของโคนมลดลง โดยสามารถใช้ไขมันสำปะหลังอัดเม็ดทดแทนอาหารชั้นในระดับ 20 % โดยไม่ส่งผลกระทบต่อผลผลิตน้ำนมของโคนม อาจเป็นเพราะในอาหารชั้นมีปริมาณคาร์โบไฮเดรตที่ไม่เป็นโครงสร้าง (non-structural carbohydrate, NSC) ที่สูงกว่าในไขมันสำปะหลังอัดเม็ด โดยคาร์โบไฮเดรตที่ไม่เป็นโครงสร้างจะมีผลต่อการผลิตกรดไพรูอิกในกระเพาะหมัก ซึ่งจะเป็นแหล่งพลังงานและสารตั้งต้นในการสังเคราะห์น้ำนม จึงทำให้เมื่อมีการใช้ไขมันสำปะหลังอัดเม็ดทดแทนอาหารชั้นในระดับที่สูงขึ้นจึงมีผลต่อ

ผลผลิตน้ำมันของโคนม Gitiyanuphap et al. (2021) ศึกษาการใช้ไขมันสำหรับหลังรวมยอดอัดเม็ดทดแทนการใช้กากถั่วเหลืองในอาหารชั้นโคนมพบว่า การใช้สูตรไขมันสำหรับหลังอัดเม็ดเป็นแหล่งโปรตีนทดแทนกากถั่วเหลืองในสูตรอาหารชั้นที่ระดับ 33 % ไม่ส่งผลต่อการเพิ่มขึ้นของน้ำหนักตัว แต่การใช้สูตรไขมันสำหรับหลังอัดเม็ดเป็นแหล่งโปรตีนทดแทนกากถั่วเหลืองในสูตรอาหารชั้นที่ระดับ 67 และ 100 % มีผลทำให้การเพิ่มขึ้นของน้ำหนักตัวลดลง จึงสามารถใช้ไขมันสำหรับหลังอัดเม็ดเป็นแหล่งโปรตีนทดแทนกากถั่วเหลืองในสูตรอาหารชั้นได้ 33 % โดยไม่มีผลต่อการเพิ่มขึ้นของน้ำหนักตัว Duangchan et al. (2022) พบว่า การใช้ไขมันสำหรับหลังเพื่อทดแทนอาหารชั้น ที่ระดับ 0.8 และ 1.6 % ไม่ส่งผลต่ออัตราการเจริญเติบโตของโคนม จึงสามารถใช้ไขมันสำหรับหลังเพื่อทดแทนอาหารชั้นของโคนมได้ที่ระดับ 1.6 % โดยผลตอบแทนทางเศรษฐกิจโคนมเพิ่มขึ้นเมื่อระดับการเสริมไขมันสำหรับหลังเพิ่มขึ้น Oni et al. (2010) พบว่า การใช้ไขมันสำหรับหลังในสูตรอาหารชั้นในระดับที่เพิ่มขึ้นมีผลทำให้น้ำหนักสุดท้าย น้ำหนักที่เพิ่ม และอัตราการเจริญเติบโตของแพะเพิ่มขึ้นตามระดับของไขมันสำหรับหลังในสูตรอาหารที่เพิ่มขึ้น โดยสามารถใช้ไขมันสำหรับหลังในสูตรอาหารแพะได้ที่ระดับ 60 %

ผลของการใช้ไขมันสำหรับหลังอัดเม็ดทดแทนอาหารชั้น ต่อค่าความเป็นกรด-ด่าง แอมโมเนียไนโตรเจนในกระเพาะหมัก ยูเรียไนโตรเจน และระดับน้ำตาลกลูโคสในเลือดโคนม แสดงใน Table 5 พบว่า ระดับการใช้ไขมันสำหรับหลังอัดเม็ดทดแทนอาหารชั้น ไม่มีผลต่อค่าความเป็นกรด-ด่างในกระเพาะหมัก ($P > 0.05$) โดยมีค่าความเป็นกรด-ด่างในกระเพาะหมักในช่วงที่ 0 เท่ากับ 7.56 7.41 7.38 และ 7.49 ตามลำดับ ค่าความเป็นกรด-ด่างในกระเพาะหมักในช่วงที่ 3 หลังกินอาหาร เท่ากับ 7.02 6.90 6.57 และ 6.89 ตามลำดับ และค่าความเป็นกรด-ด่างในกระเพาะหมักในช่วงที่ 6 หลังกินอาหาร เท่ากับ 6.09 6.92 6.89 และ 6.65 ตามลำดับ

ผลการใช้ไขมันสำหรับหลังอัดเม็ดทดแทนอาหารชั้นต่อแอมโมเนียไนโตรเจนในกระเพาะหมัก พบว่า ระดับการใช้ไขมันสำหรับหลังอัดเม็ดทดแทนอาหารชั้นไม่มีผลต่อแอมโมเนียไนโตรเจนในกระเพาะหมัก ($P > 0.05$) โดยมีแอมโมเนียไนโตรเจนในกระเพาะหมัก ในช่วงที่ 0 เท่ากับ 13.09 12.97 12.15 และ 11.56 มิลลิกรัมต่อเดซิลิตร ตามลำดับ ค่าแอมโมเนียไนโตรเจนในกระเพาะหมักในช่วงที่ 3 หลังกินอาหาร เท่ากับ 20.51 19.01 18.78 และ 17.94 มิลลิกรัมต่อเดซิลิตร ตามลำดับ และค่าแอมโมเนียไนโตรเจนในกระเพาะหมักในช่วงที่ 6 หลังกินอาหาร เท่ากับ 17.65 17.17 15.95 และ 15.06 มิลลิกรัมต่อเดซิลิตร ตามลำดับ ซึ่งระดับแอมโมเนียไนโตรเจนในกระเพาะหมักของโคนมจากการทดลองครั้งนี้มีค่าอยู่ในเกณฑ์ปกติ บ่งบอกถึงการที่สัตว์ได้รับอาหารโปรตีนอยู่ในระดับที่เพียงพอต่อความต้องการ โดยค่าความเข้มข้นของระดับแอมโมเนียไนโตรเจนภายในกระเพาะหมัก เกณฑ์ที่ปกติและเหมาะสมสำหรับการการสังเคราะห์จุลินทรีย์โปรตีน คือ 10-30 มิลลิกรัมต่อเดซิลิตร (Ferguson et al., 1993)

ผลการใช้ไขมันสำหรับหลังอัดเม็ดทดแทนอาหารชั้นต่อยูเรียไนโตรเจนในเลือด พบว่า ระดับการใช้ไขมันสำหรับหลังอัดเม็ดทดแทนอาหารชั้นไม่มีผลต่อยูเรียไนโตรเจนในเลือดโคนม ($P > 0.05$) ซึ่งระดับความเข้มข้นของยูเรียไนโตรเจนในเลือดสามารถใช้เป็นตัวบ่งชี้ถึงการให้ประโยชน์ได้ของไนโตรเจน และปริมาณไนโตรเจนที่สัตว์ได้รับ

Gitiyanuphap et al. (2021) ศึกษาการใช้ไขมันสำหรับหลังรวมยอดอัดเม็ดทดแทนการใช้กากถั่วเหลืองในอาหารชั้นโคนม พบว่า การใช้สูตรไขมันสำหรับหลังอัดเม็ดเป็นแหล่งโปรตีนทดแทนกากถั่วเหลืองในสูตรอาหารชั้นทุกระดับ ไม่ส่งผลต่อค่าความเข้มข้นยูเรียไนโตรเจนในเลือดโคนม ในช่วงที่ 4 หลังกินอาหาร แต่การใช้สูตรไขมันสำหรับหลังอัดเม็ดเป็นแหล่งโปรตีนทดแทนกากถั่วเหลืองในสูตรอาหารชั้นที่ระดับ 67 และ 100 % มีผลทำให้ค่าความเข้มข้นยูเรียไนโตรเจนในเลือดโคนมลดลงในช่วงที่ 0

ผลการใช้ไขมันสำหรับหลังอัดเม็ดทดแทนอาหารชั้นต่อระดับกลูโคสในเลือด พบว่า ระดับการใช้ไขมันสำหรับหลังอัดเม็ดทดแทนอาหารชั้นไม่มีผลต่อระดับกลูโคสในเลือดโคนม ในช่วงที่ 0 และ 3 หลังกินอาหาร ($P > 0.05$) แต่การใช้ไขมันสำหรับหลังอัดเม็ดทดแทนอาหารชั้นมีผลต่อระดับกลูโคสในเลือดโคนม ในช่วงที่ 6 หลังกินอาหาร ($P < 0.05$) โดยการใช้ไขมันสำหรับหลังอัดเม็ดทดแทนอาหารชั้นที่ระดับ 30 % มีผลทำให้ระดับกลูโคสในเลือดโคนมลดลง เมื่อเปรียบเทียบกับกลุ่มควบคุม อาจเป็นผลมาจากการที่โคนมได้รับการโภชนาการที่ไม่เป็นโครงสร้างน้อยลงตามระดับของการทดแทนของไขมันสำหรับหลังอัดเม็ดที่เพิ่มขึ้น แต่การใช้ไขมันสำหรับหลังอัดเม็ดทดแทนอาหารชั้นที่ระดับ 10 และ 20 % ไม่มีผลต่อระดับกลูโคสในเลือดโคนม ($P > 0.05$) โดยมีระดับกลูโคสในเลือด ในช่วงที่ 0 เท่ากับ 57.75 58.75 55.50 และ 56.75 มิลลิกรัมต่อเดซิลิตร ตามลำดับ ระดับกลูโคสในเลือด ในช่วงที่ 3 หลังกินอาหาร เท่ากับ 58.50 59.75 56.25 และ 54.75 มิลลิกรัมต่อเดซิลิตร ตามลำดับ และระดับกลูโคสในเลือด ในช่วงที่ 6 หลังกินอาหาร เท่ากับ 61.25 60.50 58.50 และ 57.25 มิลลิกรัมต่อเดซิลิตร ตามลำดับ

สรุปผลการวิจัย

การใช้ไขมันสำหรับหลังอัดเม็ดทดแทนอาหารชั้นที่ระดับ 10 20 และ 30 % ไม่มีผลต่อปริมาณการการกินได้ การย่อยได้โภชนาการความเป็นกรด-ด่าง แอมโมเนียไนโตรเจนในกระเพาะหมัก ยูเรียไนโตรเจนในเลือด และองค์ประกอบน้ำมัน การใช้ไขมันสำหรับหลังอัดเม็ดทดแทนอาหารชั้นที่ระดับ 10 และ 20 % ไม่มีผลต่อปริมาณน้ำมันของโคนม แต่การใช้ไขมันสำหรับหลังอัดเม็ดทดแทนอาหารชั้นที่ระดับ 30 % มีผลทำให้ปริมาณน้ำมัน และระดับน้ำตาลกลูโคสในเลือดของโคนมลดลง ดังนั้น จึงสามารถใช้ไขมันสำหรับหลังอัดเม็ดทดแทนอาหารชั้นได้ที่ระดับ 20 % ซึ่งเป็นอีกหนึ่งทางเลือกในการใช้ประโยชน์จากวัตถุดิบอาหารสัตว์ในท้องถิ่น และการลดต้นทุนค่าอาหารในการเลี้ยงโคนม

กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้วิจัยต้องขอขอบคุณกองทุนส่งเสริมวิทยาศาสตร์ วิจัยและนวัตกรรม ประจำปีงบประมาณ พ.ศ. 2566 มหาวิทยาลัยกาฬสินธุ์ ในการสนับสนุนงบประมาณการวิจัย ขอขอบคุณแผนกโคนม ศูนย์วิจัยและฝึกอบรมสุสิงห์ มหาวิทยาลัยกาฬสินธุ์ ที่ให้ความอนุเคราะห์โคนมและสถานที่ทดลอง และขอขอบคุณห้องปฏิบัติการอาหารสัตว์ สาขาวิชาเทคโนโลยีการผลิตสัตว์ มหาวิทยาลัยกาฬสินธุ์ ในการสนับสนุนวัสดุและอุปกรณ์ในการทำงานวิจัยครั้งนี้

Table 1 Ingredients of concentrate feed

Ingredients	% of DM
Rice bran	20.0
Soybean meal	24.0
Palm kernel meal	15.0
Cassava ship	35.5
Premix	1.0
Molasses	3.0
Salt	0.5
Urea	1.0
Total	100.0

Table 2 Chemical composition of concentrate feed, corn silage and cassava leaves pellet

Chemical composition (%)	Concentrate	Corn silage	Cassava leaves pellet
Dry matter (DM,)	91.66	91.32	90.15
Organic matter (OM)	89.77	93.00	92.00
Crude protein (CP)	18.21	8.45	21.39
Ether extract (EE)	3.55	2.71	5.60
Ash	10.23	7.00	8.00
Neutral detergent fiber (NDF)	43.01	61.52	43.15
Acid detergent fiber (ADF)	22.65	35.63	30.20

Table 3 Effects of cassava leaves pellet replacing concentrate on nutrient digestibility

Item	Levels of cassava leaves pellet replacing concentrate (%)				SEM	P-value
	0	10	20	30		
Nutrient digestibility, %						
Dry matter	69.52	68.33	68.54	69.15	0.47	0.34
Organic matter	72.06	71.42	71.22	70.06	0.69	0.32
Crude protein	70.87	70.04	70.09	69.31	0.79	0.57
Neutral detergent fiber	52.86	52.65	52.29	51.71	0.69	0.67
Acid detergent fiber	42.59	42.27	42.37	42.35	0.46	0.98

Table 4 Effects of cassava leaves pellet replacing concentrate on dry matter intake, milk yield and milk composition

Item	Levels of cassava leaves pellet replacing concentrate (%)				SEM	P-value
	0	10	20	30		
Feed intake (kg/d)	13.46	13.45	13.92	13.28	0.38	0.69
Milk yield (kg/d)	16.01 ^a	15.75 ^a	15.43 ^{ab}	14.36 ^b	0.33	0.04
3.5 % FCM (kg/d)	17.52	16.78	16.55	14.78	0.62	0.12
Milk composition (%)						
Fat	4.08	3.91	3.91	3.65	0.18	0.49
Protein	3.05	3.07	3.18	3.29	0.07	0.17
Lactose	4.67	4.73	4.76	4.75	0.06	0.79
Total solid	12.48	12.29	12.80	12.25	0.27	0.51

^{a,b} Mean values in the same row with different superscripts differ significantly ($P < 0.05$).

Table 5 Effects of cassava leaves pellet replacing concentrate on ruminal pH, ruminal ammonia N, blood urea N and blood glucose

Item	Levels of cassava leaves pellet replacing concentrate (%)				SEM	P-value
	0	10	20	30		
Ruminal pH						
hour, 0	7.56	7.41	7.38	7.49	0.14	0.80
hour, 3	7.02	6.90	6.57	6.89	0.25	0.64
hour, 6	6.90	6.92	6.89	6.65	0.15	0.56
NH ₃ -N, mg/dl						
hour, 0	13.09	12.97	12.15	11.56	1.06	0.72
hour, 3	20.51	19.01	18.78	17.94	1.80	0.78
hour, 6	17.65	17.17	15.95	15.06	0.80	0.20
BUN, mg/dl						
hour, 0	13.75	15.25	14.50	13.00	1.42	0.72
hour, 3	16.25	16.50	17.50	15.50	1.32	0.76
hour, 6	13.25	14.25	14.15	12.25	1.72	0.82

Table 5 Effects of cassava leaves pellet replacing concentrate on ruminal pH, ruminal ammonia N, blood urea N and blood glucose (Cont.)

Item	Levels of cassava leaves pellet replacing concentrate (%)				SEM	P-value
	0	10	20	30		
Glucose, mg/dl						
hour, 0	57.75	58.75	55.50	56.75	1.12	0.29
hour, 3	58.50	59.75	56.25	54.75	2.16	0.43
hour, 6	61.25 ^a	60.50 ^a	58.50 ^{ab}	57.25 ^b	0.82	0.04

^{a,b} Mean values in the same row with different superscripts differ significantly (P < 0.05).

References

- Association of Official Analytical Chemists (AOAC). (1995). *Official method of analysis* (14th ed.). Washington D. C., United States: Association of Analytical Chemists.
- Bremner, J. M., & Keeney, D. R. (1965). Steam distillation methods for determination of ammonium, nitrate and nitrite. *Analytica Chimica Acta*, 32, 485-495. doi: 10.1016/S0003-2670(00)88973-4
- Duangchan, P., Kiriya, W., Sehawong, W., & Subepang, S. (2022). Effect of cassava leaf pellet supplementation on growth performance of Brahman crossbred cattle fed rice straw as basal diet. *Khon Kaen Agriculture Journal*, 50 (suppl. 1): 1-7. (in Thai)
- Ferguson, J. D., Galligan, D. T., Blanchard, T., & Reeves, M. (1993). Serum urea nitrogen and conception rate: the usefulness of test information. *Journal of Dairy Science*, 76(12), 3742-3746. doi: 10.3168/jds.s0022-0302(93)77716-4
- Foiklang, S., Gitiyanuphap, J., Deemark, N., Maungthipmalai, S., Sunanta, Y., Wanapat, M., & Cherdthong, A. (2019). Effect of cassava top pellet (CASTOPP) formula on *in vitro* gas kinetics, digestibility and fermentation using *in vitro* gas production technique. *Khon Kaen Agriculture Journal*, 47(suppl. 1), 137-140. (in Thai)
- Gitiyanuphap, J., Foiklang, S., Paserakung, A., Cherdthong, A., & Chantaprasam, N. (2021). Effect of cassava top pellet replacement for soybean meal in concentrate on feed intake, digestibility and blood metabolite in lactating dairy cows. *Khon Kaen Agriculture Journal*, 49(4), 974-983. doi:10.14456/kaj.2021.00 (in Thai)
- Kaewkunya, C., Nikongram, J., Supee, N., & Meenongyai, W. (2020). The effect of clones on quality of cassava leaf silage. *Khon Kaen Agriculture Journal*, 48(suppl. 1), 473-480. (in Thai)
- Nunoi, A., Arsatong, N., & Bunsawat, M. (2022). Effect of using cassava leaves hay as protein source in total mixed ration (TMR) on growth performance of crossbred lambs. *Agriculture and Technology Journal*, 3(1), 52- 59. (in Thai)
- Odusanya, L. Q., Fasae, O. A., Adewumi, O. O., & James, I. J. (2017). Effect of cassava leaf meal concentrate diets on the performance, haematology and carcass characteristics of West African Dwarf lambs. *Archivos de Zootecnia*, 66(256), 603-609.
- Oni, A. O., Arigbede, O. M., Oni, O. O., Onwuka, C. F. I., Anele, U. Y., Oduguwa, B. O., & Yusuf, K. O. (2010). Effects of feeding different levels of dried cassava leaves (*Manihot esculenta*, Crantz) based concentrates with *Panicum maximum* basal on the performance of growing West African dwarf goats. *Livestock Science*, 129(1-3), 24-30. doi: 10.1016/j.livsci.2009. 12.007
- Panthanara, S., Chairatanayuth, P., Vichulata, P., Surapattana, S., Khuntho, U., & Narongwanichakarn, W. (2006). Effects of cassava hay as dairy cow feed on total plate and coliform count in raw milk. *Proceedings of the 44th Kasetsart university annual conference: animal, veterinary medicine* (pp. 70-78). Bangkok, Thailand: Kasetsart University. (in Thai)
- Phakachloed, N., Boonmatan, T., Pongjongmit, T., Norrapoke, T., & Photisarn, D. (2019). Effect of leaves and stems of cassava ratio on nutritive value. *Proceedings of the 1st national and international conference of Kalasin University 2019 on recent innovations of science and social sciences for sustainability (KSUC 2019)* (pp. 1383 – 1389). Kalasin, Thailand: Kalasin University. (in Thai)
- Statistical Analysis System (SAS). (1998). *SAS/STAT user' guide* (4th ed.). North Carolina, United States: SAS Institute Inc.
- Van Keulen, J., & Young, B. A. (1977). Evaluation of acid-insoluble ash as a neutral marker in ruminant digestibility studies. *Journal of Animal Science*, 44(2), 282-287. doi: 10.2527/jas1977.442282x
- Van Soest, P. J., Robertson, J. B., & Lewis, A. B. (1991). Methods for dietary fiber, neutral detergent fiber and non-starch polysaccharides in relation to animal nutrition. *Journal of Dairy Science*, 74(10), 3583-3597. doi: 10.3168/jds. S0022-0302(91)78551-2

Research article

Effects of cassava leaves pellet replacing concentrate on rumen fermentation, milk yield and milk composition of dairy cows

Noppharat Phakachloed* Thipsuda Boonmatan Thitima Norrapoke and
Peerapot Nitipot

Department of Animal Production Technology, Faculty of Agricultural Technology, Kalasin University, Mueang Kalasin district, Kalasin Province, 46000

ARTICLE INFO**Article history**

Received: 13 May 2024

Revised: 18 June 2024

Accepted: 18 June 2024

Online published: 27 June 2024

Keyword

*cassava leaves pellet
replacing
milk yield
milk composition
dairy cow*

ABSTRACT

The objective of this study was to investigate the effects of cassava leaves pellet replacing concentrate on rumen fermentation milk yield and milk composition of dairy cows. Four lactating Holstein Friesian crossbred dairy cows with average body weight 426.00 ± 19.03 kg, days-in-milk (DIM) 75 ± 36 day and milk production 17.32 ± 3.59 kg. The 4x4 Latin square design was conducted in 21 days with a 14-day animal adjustment period and a 7-day data collection period. Treatments were dietary replacement of cassava leaves pellet for concentrate at levels of 0 10 20 and 30 % respectively. The results found that the effects of cassava leaves pellet replacing concentrate has no effect on dry matter intake, nutrient digestibility, ruminal pH, ammonia nitrogen in rumen, blood urea nitrogen and milk compositions ($P > 0.05$). The effects of cassava leaves pellet replacing concentrate at 10 and 20 % have no effect on milk yield and blood glucose ($P > 0.05$), but milk yield and blood glucose were decreased by replacing 30 % of concentrate with cassava leaves pellet ($P < 0.05$). Therefore, cassava leaves pellet can successfully replace concentrate up to 20 % without affecting the production of dairy cows.

*Corresponding author

E-mail address: csnsrwd@ku.ac.th (S. Promyou)

Online print: 27 June 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.2024.25>



การเสริมผงกานพลูร่วมกับการบรรจุแบบสุญญากาศต่อคุณภาพและอายุการเก็บรักษา ผลิตภัณฑ์ไส้กรอกไก่

นัทธมน ตั้งจิตวัฒนาชัย¹ * และเด่นพงษ์ สาข้อง²

¹ สาขาวิชาสัตวศาสตร์ ภาควิชาเทคโนโลยีการเกษตร คณะเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยมหาสารคาม อำเภอกันทรวิชัย จังหวัดมหาสารคาม 44150

² ศูนย์วิจัยและพัฒนาการสัตวแพทย์ภาคตะวันออกเฉียงเหนือตอนบน กรมปศุสัตว์ อำเภอเมืองขอนแก่น จังหวัดขอนแก่น 40260

ข้อมูลบทความ

Article history

รับ: 30 เมษายน 2567

แก้ไข: 13 มิถุนายน 2567

ตอบรับการตีพิมพ์: 14 มิถุนายน 2567

ตีพิมพ์ออนไลน์: 27 มิถุนายน 2567

คำสำคัญ

ผงกานพลู

อายุการเก็บรักษา

ไส้กรอกไก่

บทคัดย่อ

ผงกานพลูเป็นเครื่องเทศที่ใช้กันอย่างแพร่หลายในอุตสาหกรรมการผลิตอาหาร เนื่องจากอุดมไปด้วยสารยูจินอลที่สามารถยับยั้งการเจริญเติบโตของแบคทีเรียและเชื้อรา ลดการเกิดสารอนุมูลอิสระ จึงถูกนำมาใช้เพื่อปรุงแต่งรสและยืดอายุการเก็บรักษาอาหารให้ยาวนานขึ้น งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลของการเสริมผงกานพลูร่วมกับการบรรจุแบบสุญญากาศต่อคุณภาพการเก็บรักษาไส้กรอกไก่ โดยมีปัจจัยการทดลอง คือ ระดับการเสริมผงกานพลู 3 ระดับ ได้แก่ 0 3.5 และ 5 กรัมต่อกิโลกรัม หลังจากนั้นทำการเก็บไส้กรอกไก่ไว้ที่อุณหภูมิ 4 °C เป็นเวลา 5 7 และ 14 วัน ระหว่างนั้นทำการวัดค่าการสูญเสีย น้ำระหว่งการเก็บรักษา ณ ชั่วโมงที่ 24 และ 48 และวันที่ 5 7 และ 14 ทำการวัดค่าการสูญเสียน้ำอันเนื่องมาจากการปิ้งสุก ค่าสี และการปนเปื้อนของแบคทีเรียทั้งหมด ผลการทดลอง พบว่า ผงกานพลูสามารถลดค่าการสูญเสียน้ำระหว่งการเก็บรักษาและค่าการสูญเสียน้ำระหว่งการปิ้งสุกได้อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) ด้านค่าสี พบว่า การเสริมผงกานพลูไม่ส่งผลต่อค่าสีแดงและค่าสีเหลืองของไส้กรอกไก่ ด้านการปนเปื้อนของเชื้อแบคทีเรียทั้งหมด พบว่า ณ วันที่ 7 และ 14 ของการเก็บรักษา กลุ่มที่มีการเสริมผงกานพลูที่ระดับ 5 กรัม มีปริมาณแบคทีเรียปนเปื้อนน้อยที่สุด และต่ำกว่ากลุ่มควบคุมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) จากผลการทดลองจะเห็นได้ว่า การเสริมผงกานพลูสามารถยืดอายุการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์ไส้กรอกไก่ที่ผ่านการบรรจุแบบสุญญากาศได้

บทนำ

ไส้กรอกไก่เป็นผลิตภัณฑ์จากเนื้อสัตว์ที่เน่าเสียได้ง่ายและจำเป็นต้องเก็บรักษาในอุณหภูมิต่ำ ด้วยข้อจำกัดดังกล่าวผู้ผลิตจึงนิยมใช้สารกันเสียในกลุ่มของโซเดียมหรือโพแทสเซียมไนไตรท์ผสมลงไป ไส้กรอกเพื่อยืดอายุการเก็บรักษาให้ยาวนานขึ้น (Govari & Pexara, 2018) ซึ่งหากผู้บริโภคได้รับสารดังกล่าวในปริมาณที่สูงเกินกว่าที่กระทรวงสาธารณสุขกำหนด อาจส่งผลต่อสุขภาพและก่อให้เกิดโรคมะเร็งได้ เพราะสารประกอบไนไตรท์จะทำปฏิกิริยากับกรดในกระเพาะอาหารของมนุษย์และเปลี่ยนเป็นสาร N-ไนโตรซามีน ซึ่งเป็นสารที่ติดสีง่ายและกระตุ้นให้เกิดมะเร็งในร่างกายมนุษย์ (Sen et al., 1969) ด้วยเหตุนี้ นักวิชาการจึงได้ศึกษาเพื่อหาสารกันเสียจากอาหารธรรมชาติเพื่อใช้ทดแทนสารสังเคราะห์ในกลุ่มไนไตรท์ และพบว่าการใช้สมุนไพรในกลุ่มเครื่องเทศ เช่น อบเชย กระเทียม หรือกานพลูเป็นแนวทางหนึ่งที่สามารถทดแทนสารกันเสียสังเคราะห์ได้ (Hustad et al., 1973)

กานพลู (Clove) มีชื่อทางวิทยาศาสตร์ว่า *Syzygium aromaticum* จัดอยู่ในวงศ์ Myrtaceae การใช้ประโยชน์จากกานพลูถือว่าเป็นหนึ่งในภูมิปัญญาของคนไทยที่มีมาตั้งแต่อดีตจวบจนปัจจุบัน

กานพลูเป็นพืชที่มีฤทธิ์ยับยั้งการเจริญเติบโตของแบคทีเรียและเชื้อราได้ดี จึงถูกนำมาสกัดใช้เป็นสารออกฤทธิ์ทางการแพทย์ (De Azeredo et al., 2011) โดยองค์ประกอบหลักของกานพลูที่มีสรรพคุณโดดเด่นทางยาจะอยู่ในส่วนของดอกตูมซึ่งมีน้ำมันหอมระเหยที่เรียกว่าสารยูจินอล (Eugenol) คาริโอไฟลีน (Caryophyllene) ฟลาโวนอยด์ (Flavonoid) เคอร์เซทิน (Quercetin) และเทอร์ปีนอยด์ (Terpenoids) ที่เป็นสารยับยั้งการอักเสบ ทำให้ผ่อนคลาย ลดอาการเจ็บปวด และต้านอนุมูลอิสระ (El-Maati et al., 2016; Moon et al., 2011) จากคุณสมบัติดังกล่าว ทำให้กานพลูถูกนำมาประยุกต์ใช้ประโยชน์ในศาสตร์หลายแขนง เช่น ในด้านการผลิตปศุสัตว์ กานพลูถูกนำมาใช้เป็นสารเติมแต่งในอาหารสัตว์เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการเจริญเติบโตและปรับปรุงคุณภาพซากของสัตว์ปีก ซึ่งเห็นได้จากรายงานของ Ertas et al. (2005) ที่พบว่า การเสริมกานพลูที่ระดับ 2 กรัมในสูตรอาหาร จะส่งผลให้การเจริญเติบโตและคุณภาพซากของไก่กระทิงขึ้น ตลอดจนลดค่าการสูญเสียน้ำระหว่งการเก็บรักษาและค่าการสูญเสียน้ำระหว่งการปิ้งสุกได้อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) เป็นไปในทิศทางเดียวกับรายงานวิจัยของ Suliman et al. (2021) ที่ได้ศึกษาการใช้ผงกานพลูเพื่อเพิ่มอัตราการเจริญเติบโตและ

*Corresponding author

E-mail address: nn2520@yahoo.com (N. Tangjitwattanachai)

Online print: 27 June 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.2024.26>

ปรับปรุงคุณภาพซากของไก่กระทงแล้วพบว่า การใช้ผงกานพลูเสริมในอาหารสามารถส่งผลให้อัตราการเจริญเติบโตของไก่กระทงดีขึ้น และมีปริมาณ % ซากเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$)

ในด้านอุตสาหกรรมผลิตเนื้อสัตว์และผลิตภัณฑ์ พบว่า กานพลูถูกนำมาใช้เป็นสารกันบูดเพื่อชะลอการเสื่อมเสียในผลิตภัณฑ์แปรรูปหลายชนิด (Gulcin et al., 2004) ดังจะเห็นได้จากรายงานของ Kumar & Tanwar (2011) ที่พบว่า การใช้ผงกานพลูเป็นส่วนประกอบในผลิตภัณฑ์เนื้อสัตว์ที่ระดับ 3 กรัมต่อกิโลกรัม สามารถเพิ่มเนื้อสัมผัสที่ดี การยอมรับโดยรวม และลดปริมาณแบคทีเรียปนเปื้อนในผลิตภัณฑ์ลงได้เมื่อเก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิ 4 °C นานถึง 15 วัน สอดคล้องกับงานวิจัยของ Lone (2022) ที่กล่าวว่า การใช้ผงกานพลูเป็นส่วนผสมของเนื้อโคเพื่อแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์เบอร์เกอร์ที่ระดับ 2 ถึง 4 กรัมต่อกิโลกรัม สามารถลดกลิ่นไม่พึงประสงค์ (กลิ่นหืน) และยืดอายุการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์ได้นานถึง 14 วัน โดยไม่ส่งผลกระทบต่อความพึงพอใจของผู้บริโภค อย่างไรก็ตาม แม้ว่าการใช้ผงกานพลูจะส่งผลในเชิงบวกทั้งในด้านการผลิตภาคปศุสัตว์และอุตสาหกรรมการผลิตเนื้อสัตว์และแปรรูปผลิตภัณฑ์ แต่งานวิจัยในประเทศไทยที่ศึกษาถึงระดับการเสริมที่เหมาะสมโดยไม่ส่งผลกระทบต่อปัจจัยด้านอื่น เช่น สี กลิ่น รส ที่เปลี่ยนไปของผลิตภัณฑ์ ยังมีอยู่ค่อนข้างจำกัด ดังนั้น การศึกษาครั้งนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลของระดับการใช้ผงกานพลูต่อการเปลี่ยนแปลงคุณภาพผลิตภัณฑ์ไส้กรอกไก่ และการยืดอายุการเก็บรักษาของไส้กรอกไก่ภายใต้การบรรจุแบบสุญญากาศ

อุปกรณ์และวิธีการวิจัย

การเตรียมตัวอย่าง

การศึกษานี้เตรียมตัวอย่างไส้กรอกไก่ โดยนำเนื้อสะโพกไก่มาหั่นลดขนาดให้ได้ประมาณ $2 \times 1.5 \times 2$ เซนติเมตร หลังจากนั้นนำมาบดละเอียดด้วยเครื่องสับผสม ซึ่งไส้กรอกไก่ที่ผลิตมีสูตรพื้นฐาน คือ เนื้ออกไก่ 54 % มันแข็ง 18 % น้ำแข็ง 24 % พริกไทยดำ 0.5 % กระเทียม 0.75 % เกลือ 1.35 % น้ำตาลทราย 1 % เมล็ดผักชีป่น 0.2 % เครื่องเทศผสม 0.2 % และมีการเติมปัจจัยการทดลอง คือ ผงกานพลูทางการค้า (BioSpice[®] รหัสการค้า 2061100015) ที่ระดับ 0 (ไม่เสริม) 3.5 และ 5 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมของไส้กรอกไก่ ตามแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ (Completely randomized design; CRD) หลังจากนั้นทำการบรรจุเนื้อไส้กรอกลงในไส้สังเคราะห์แล้วมัดข้อให้มีขนาดประมาณข้อละ 40 กรัม ก่อนบรรจุลงในถุงและดึงอากาศออกเพื่อให้ไส้กรอกอยู่ในสภาพสุญญากาศด้วยเครื่องบรรจุสุญญากาศแบบตั้งพื้นรุ่น DQ VC 360 Series (โดยทำ 30 ชั่วโมงการทดลอง) ส่วนผสมและกระบวนการการผลิตไส้กรอกไีก่อนนำไปบรรจุสุญญากาศ ดังแสดงใน Figure 1



Figure 1 Ingredients and chicken sausage processing.

การเก็บและบันทึกข้อมูล

1. ทำการชั่งน้ำหนักเริ่มต้นและบันทึกน้ำหนักที่แน่นอนของไส้กรอกไก่ทุกตัวอย่างก่อนนำไปทำการบรรจุสุญญากาศและนำไปเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 °C หลังจากนั้น เมื่อถึงเวลาชั่วโมงที่ 24 และ 48 ของการเก็บรักษา ทำการสุ่มไส้กรอกไีก่อออกมา 3 ชิ้นต่อกลุ่มการทดลอง ทำการชั่งน้ำหนักอีกครั้งเพื่อทำการประเมินค่าการสูญเสียน้ำระหว่างการเก็บรักษา ณ ชั่วโมงที่ 24 และ 48 ตามวิธีการของ Warner (2017) และทำการประเมินค่าการสูญเสียน้ำระหว่างการปรุงสุก ตามวิธีการของ Aaslyng et al. (2003)

2. ในวันที่ 5 7 และ 14 ของการเก็บรักษา ทำการสุ่มไส้กรอกไีก่อออกมาอย่างละ 3 ชิ้นต่อกลุ่มการทดลอง เพื่อวัดค่าสีของเนื้อด้วยเครื่อง Hunter Lab Color โดยบันทึกค่าความสว่าง (Lightness, L*) ค่าสีแดง (Redness, a*) และค่าสีเหลือง (Yellowness, b*) ตามวิธีการของ American Meat Science Association (2012)

3. ในวันที่ 5 7 และ 14 ของการเก็บรักษา ทำการสุ่มไส้กรอกไีก่อออกมาอย่างละ 3 ชิ้นต่อกลุ่มการทดลอง ชำแหละประมาณ 10 กรัม ใส่ลงใน Dilution fluid 90 มิลลิลิตร ที่เตรียมไว้ เขย่าจนตัวอย่างและสารละลายผสมเข้ากันได้ดี จะได้ตัวอย่างที่มีความเข้มข้น 10^{-1} หลังจากนั้นทำการนำสารละลายตัวอย่างที่มีความเข้มข้น 10^{-1} มาในปริมาตร 1 มิลลิลิตร ใส่ลงในหลอดสารละลาย Dilution fluid 9 มิลลิลิตร เช่นเดิม จะได้สารละลายที่มีความเข้มข้น 10^{-2} แล้วทำการผสมให้เข้ากัน และเจือจางต่อไปจนได้ความเจือจางที่ระดับ 10^{-4} จากนั้นนำตัวอย่างที่มีความเจือจางทุกระดับมาอย่างละ 1 มิลลิลิตร ลงในจานเพาะเชื้อที่ผ่านการอบฆ่าเชื้อแล้ว ทำการเทอาหาร Standard plate count ในปริมาตร 20 มิลลิลิตร เขย่าจนเพาะเชื้อเบาๆ (Pour plate) แล้วตั้งทิ้งไว้ประมาณ 15 นาที ก่อนนำเข้าตูบ่มที่อุณหภูมิ 37 ± 1 °C เป็นเวลา 48 ชั่วโมง โดยทำ 3 ชิ้นต่อกลุ่มการทดลอง เมื่อสิ้นสุดกระบวนการบ่มเชื้อ ทำการตรวจนับโคโลนีที่เกิดขึ้นบนอาหารเลี้ยงเชื้อ บันทึกและรายงานผลในหน่วยจำนวนโคโลนีต่อกกรัมตัวอย่าง (Colony forming unit/g) ตามวิธีการของ Bacteriological Analytical Manual (2001)

การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ

วิเคราะห์ความแปรปรวนของข้อมูลด้วยวิธี Analysis of variance ตามแผนการทดลองแบบ CRD และตรวจสอบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยในแต่ละปัจจัยการทดลองด้วยวิธี Duncan's new multiple range test (Steel & Torrie, 1980) โดยใช้โปรแกรม Statistical Analysis System (SAS, 1998)

ผลและวิจารณ์ผลการวิจัย

ค่าการสูญเสียน้ำระหว่างการเก็บรักษา (Drip loss)

เมื่อทำการศึกษาค่าการสูญเสียน้ำของไส้กรอกไก่ที่เก็บรักษาแบบสุญญากาศร่วมกับการเสริมผงกานพลูที่ระดับแตกต่างกัน 3 ระดับ คือ 0 (ไม่เสริมผงกานพลู) 3.5 และ 5 กรัมต่อกิโลกรัม พบว่า ณ ชั่วโมงที่ 24 ของการเก็บรักษานั้น การเสริมผงกานพลูที่ระดับ 3.5 กรัมต่อกิโลกรัม ไม่ส่งผลต่อค่าการสูญเสียน้ำระหว่างการเก็บรักษาเมื่อเปรียบเทียบกับกลุ่มควบคุมที่ไม่มีการเสริมผงกานพลู แต่เมื่อเปรียบเทียบกับกลุ่มที่มีการเสริมผงกานพลูที่ระดับ 5 กรัมต่อกิโลกรัม พบว่า การเสริมผงกานพลูที่ระดับ 5 กรัมต่อกิโลกรัม จะส่งผลให้ค่า

การสูญเสียระหว่างการเก็บรักษา ณ ชั่วโมงที่ 24 มีค่าต่ำที่สุด และต่ำกว่ากลุ่มควบคุมกับกลุ่มที่มีการเสริมผงกานพลูที่ระดับ 3.5 กรัมต่อกิโลกรัมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) ส่วนค่าการสูญเสียระหว่างการเก็บรักษา ณ ชั่วโมงที่ 48 พบว่า การเสริมผงกานพลูที่ระดับ 3.5 และ 5 กรัมต่อกิโลกรัม สามารถลดค่าการสูญเสียระหว่างการเก็บรักษาลงได้อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) เมื่อเปรียบเทียบกับกลุ่มควบคุมที่ไม่มีการเสริมผงกานพลู ซึ่งความสามารถในการลดค่าการสูญเสียของผงกานพลุนั้นอาจเป็นเพราะผงกานพลูมีสารคาร์โอไฟลีน (Caryophyllene) และเคอร์เซทิน (Quercetin) ที่เป็นสารในกลุ่มฟลาโวนอยด์เป็นองค์ประกอบ สารดังกล่าวมีฤทธิ์ในการต้านสารอนุมูลอิสระ ช่วยปกป้องเซลล์ไม่ให้เกิดความเสียหาย ส่งผลให้การจับตัวกันของโปรตีนเส้นใยกล้ามเนื้อมีความเสถียรมากกว่า ทำให้เซลล์ยังคงอุ้มน้ำได้ดีกว่าและสูญเสียน้ำออกนอกเซลล์ในปริมาณที่น้อยกว่า (El-Maati et al., 2016; Khaleque et al., 2016) ค่าการสูญเสียระหว่างการเก็บรักษา ณ ชั่วโมงที่ 24 และ ชั่วโมงที่ 48 ดังแสดงใน Table 1

ค่าการสูญเสียระหว่างการปรุงสุก (Cooking loss)

ด้านการสูญเสียระหว่างการปรุงสุก พบว่า ในชั่วโมงที่ 24 ของการเก็บรักษา กลุ่มที่ทำการเสริมผงกานพลูที่ระดับ 5 กรัมต่อกิโลกรัม มีค่าการสูญเสียระหว่างการปรุงสุกที่ต่ำกว่ากับกลุ่มควบคุมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) แต่ไม่แตกต่างกับกลุ่มที่มีการเสริมผงกานพลูที่ระดับ 3.5 กรัมต่อกิโลกรัม โดยค่าการสูญเสียระหว่างการปรุงสุก ณ ชั่วโมงที่ 24 หลังการเก็บรักษาในกลุ่มที่มีการเสริมผงกานพลูมีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 26.02 % ถึง 28.98 % และเมื่อเวลาการเก็บรักษายาวนานขึ้นถึง 48 ชั่วโมง พบว่า กลุ่มที่มีการเสริมผงกานพลูที่ระดับ 5 กรัมต่อกิโลกรัม นั้น จะสามารถลดค่าการสูญเสียระหว่างการปรุงสุกได้ดีที่สุด โดยมีค่าเท่ากับ 26.39 % ซึ่งต่ำกว่ากลุ่มที่ไม่ได้ทำการเสริมผงกานพลูอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) แสดงให้เห็นว่าผงกานพลูสามารถลดค่าการสูญเสียระหว่างการปรุงสุกในไส้กรอกที่มีการบรรจุแบบสุญญากาศได้อย่างมีประสิทธิภาพ ทั้งนี้อาจเนื่องมาจาก ในกานพลูมีสารต้านอนุมูลอิสระที่เป็นสารประกอบฟีนอลิก ได้แก่ ฟลาโวนอยด์ คาร์โอไฟลีน และเคอร์เซทินอยู่ในส่วนที่เป็นน้ำมันหอมระเหย โดยสารดังกล่าวสามารถชะลอการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของโปรตีนเส้นใยกล้ามเนื้อให้เกิดขึ้นช้าลง จึงส่งผลให้เส้นใยกล้ามเนื้อยังคงอุ้มน้ำได้ดีกว่ากลุ่มที่ไม่มีการเสริมผงกานพลู (Chen et al., 2016; Jin et al., 2016; Fauzya et al., 2019) ค่าการสูญเสียระหว่างการปรุงสุก ณ ชั่วโมงที่ 24 และ ชั่วโมงที่ 48 ดังแสดงใน Table 2

ค่าการเปลี่ยนแปลงสี (Color)

ในการศึกษาครั้งนี้ ทำการวัดค่าความสว่าง ความแดง และความเหลืองของไส้กรอกไก่ ณ วันที่ 5 7 และ 14 ภายหลังการเก็บรักษา ผลการทดลอง พบว่า ระดับของการเสริมผงกานพลูไม่ส่งผลกระทบต่อค่าการเปลี่ยนแปลงสีของไส้กรอกไก่ที่ผ่านการบรรจุแบบสุญญากาศในวันที่ 14 ของการเก็บรักษา แต่ ณ วันที่ 5 ของการเก็บรักษา กลับพบว่า การเสริมผงกานพลูที่ระดับ 5 กรัมต่อกิโลกรัม สามารถทำให้เนื้อรักษาสภาพความแดงได้ดีกว่ากลุ่มควบคุม ซึ่งสอดคล้องกับรายงานของ Kong et al. (2010) ที่พบว่า การใช้สารสกัดจากผงกานพลูสามารถชะลอการเปลี่ยนแปลงสีได้ภายใน 7 วัน

ของการเก็บรักษาซึ่งค่าความสว่าง (L^*) ของไส้กรอกไก่ที่ได้จากงานวิจัยครั้งนี้มีค่าเฉลี่ยอยู่ในช่วงระหว่าง 62.79 ถึง 65.64 ค่าความแดง (a^*) มีค่าเฉลี่ยอยู่ในช่วงระหว่าง 4.85 ถึง 8.32 ส่วนค่าความเหลือง (b^*) มีค่าเฉลี่ยอยู่ในช่วงระหว่าง 10.35 ถึง 11.09 ค่าการเปลี่ยนแปลงสีของไส้กรอกไก่ที่เสริมผงกานพลูในระดับที่แตกต่างกัน ดังแสดงใน Table 3

ในการประเมินค่าการปนเปื้อนของเชื้อแบคทีเรียทั้งหมดจะดำเนินการในวันที่ 5 7 และ 14 ภายหลังการเก็บรักษา โดยค่าการปนเปื้อนของแบคทีเรียทั้งหมดในไส้กรอกไก่ที่เสริมผงกานพลูที่ระดับแตกต่างกันดังแสดงใน Table 4 ซึ่งจะเห็นได้ว่า ในวันที่ 5 ถึง 7 ของการเก็บรักษา มีการตรวจพบการปนเปื้อนของแบคทีเรียทั้งหมดสูงที่สุดในกลุ่มควบคุมที่ไม่ได้เสริมผงกานพลู ส่วนในกลุ่มที่มีการเสริมผงกานพลูนั้น พบว่า มีปริมาณการปนเปื้อนของแบคทีเรียทั้งหมดเท่ากับ $2.50 \log \text{cfu/g}$ และ $2.26 \log \text{cfu/g}$ (ในกลุ่มที่มีการเสริมผงกานพลูที่ระดับ 3.5 และ 5 กรัมต่อกิโลกรัม ตามลำดับ) เมื่อถึงวันที่ 14 ภายหลังการเก็บรักษา พบว่า กลุ่มที่เสริมผงกานพลูในระดับ 3.5 กรัมต่อกิโลกรัม ตรวจพบการปนเปื้อนของแบคทีเรียทั้งหมดไม่แตกต่างกับกลุ่มควบคุม และพบว่ามีค่าการปนเปื้อนของแบคทีเรียทั้งหมดที่สูงกว่ากลุ่มที่มีการเสริมผงกานพลูในระดับ 5 กรัมต่อกิโลกรัม อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) บ่งชี้ให้เห็นว่าการเสริมผงกานพลูที่ระดับ 5 กรัมต่อกิโลกรัม สามารถชะลอการเสื่อมเสียและลดการปนเปื้อนของแบคทีเรียได้ดีที่สุด

ทั้งนี้ สาเหตุที่ทำให้จำนวนเชื้อแบคทีเรียปนเปื้อนทั้งหมดในไส้กรอกไก่ลดลงในกลุ่มที่มีการเสริมผงกานพลู อาจเนื่องมาจากในสมุนไพรกานพลูนั้นอุดมไปด้วยสารยูจินอลที่มีฤทธิ์ในการยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อแบคทีเรีย (Burt, 2004) โดย Hydroxyl group ที่เป็นโครงสร้างของยูจินอลจะเข้าจับกับผนังเซลล์ของแบคทีเรียและยับยั้งการสร้างเอนไซม์ ส่งผลให้แบคทีเรียไม่สามารถเจริญเติบโตได้ (Ragni et al., 2010) จำนวนแบคทีเรียปนเปื้อนทั้งหมดที่ตรวจพบในไส้กรอกไก่จึงมีปริมาณลดลง ซึ่งจากการศึกษาครั้งนี้ พบว่า การเสริมผงกานพลูที่ระดับ 5 กรัมต่อกิโลกรัม ร่วมกับการบรรจุแบบสุญญากาศสามารถยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อแบคทีเรียและชะลอการเสื่อมเสียได้ดีที่สุด

สรุปผลการวิจัย

ผงกานพลูเป็นสมุนไพรที่มีสรรพคุณมากมาย สามารถลดปริมาณสารอนุมูลอิสระ และต้านเชื้อแบคทีเรียก่อโรค เนื่องจากมีสารยูจินอลและฟลาโวนอยด์เป็นองค์ประกอบ ดังนั้น ปัจจุบันผงกานพลูจึงเป็นที่นิยมในการนำมาใช้พัฒนาเพื่อเป็นสารกันบูดหรือชะลอความเสื่อมเสียของอาหาร โดยเฉพาะในอาหารที่มีความชื้นสูง เช่น กลุ่มที่เป็นเนื้อสัตว์และผลิตภัณฑ์ จากการศึกษาครั้งนี้ พบว่า การใช้ผงกานพลูเสริมลงในผลิตภัณฑ์ไส้กรอกไก่ที่บรรจุแบบสุญญากาศในระดับ 5 กรัมต่อกิโลกรัมผลิตภัณฑ์นั้น สามารถลดการสูญเสียระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4°C ได้ และยังช่วยลดการปนเปื้อนของเชื้อแบคทีเรียทั้งหมดในผลิตภัณฑ์ได้เป็นอย่างดี แสดงให้เห็นว่า ผงกานพลูมีคุณสมบัติในการใช้เป็นสารเติมแต่งอาหารเพื่อพัฒนาคุณภาพการเก็บรักษาเนื้อสัตว์และผลิตภัณฑ์ให้ยาวนานขึ้นได้

Table 1 The drip loss values of vacuum chicken sausage treated with various additives of clove powder during storage at 4 °C

	Clove powder supplementation (g/kg)			SEM	P-value
	0	3.5	5		
Drip loss (%)					
Hrs. 24	3.52 ^a	3.49 ^a	3.20 ^b	0.043	0.037
Hrs. 48	3.86 ^a	3.40 ^{ab}	3.23 ^b	0.147	0.056

^{a,b} Different letters in the same row indicate significant differences (P < 0.05).**Table 2** The cooking loss values of vacuum chicken sausage treated with various additives of clove powder during storage at 4 °C

	Clove powder supplementation (g/kg)			SEM	P-value
	0	3.5	5		
Cooking loss (%)					
Hrs. 24	30.98 ^a	28.98 ^{ab}	26.02 ^b	0.043	0.048
Hrs. 48	30.03 ^a	26.68 ^b	26.39 ^b	0.147	0.018

^{a,b} Different letters in the same row indicate significant differences (P < 0.05).**Table 3** The color values of vacuum chicken sausage treated with various additives of clove powder during storage at 4 °C

	Clove powder supplementation (g/kg)			SEM	P-value
	0	3.5	5		
Lightness (L*)					
Day 5	63.40	62.79	62.45	1.52	0.90
Day 7	65.93	65.64	62.99	0.97	0.14
Day 14	64.81	64.23	63.77	1.78	0.91
Redness (a*)					
Day 5	6.77 ^b	7.52 ^{ab}	8.32 ^a	0.32	0.04
Day 7	7.54	7.18	6.82	0.24	0.18
Day 14	5.32	5.21	4.85	0.39	0.69
Yellowness (b*)					
Day 5	10.80	10.61	10.58	0.73	0.97
Day 7	10.89	10.72	10.35	0.43	0.67
Day 14	11.09	11.04	10.49	0.42	0.56

^{a,b} Different letters in the same row indicate significant differences (P < 0.05).**Table 4** Total bacterial count (log cfu/g) of vacuum chicken sausage treated with various additives of clove powder during storage at 4 °C

	Clove powder supplementation (g/kg)			SEM	P-value
	0	3.5	5		
Total bacterial count (log cfu/g)					
Day 5	3.53 ^a	2.50 ^b	2.26 ^b	0.23	0.02
Day 7	5.94 ^a	4.83 ^b	3.54 ^c	0.21	0.006
Day 14	6.26 ^a	5.53 ^a	4.42 ^b	0.28	0.008

^{a,b,c} Different letters in the same row indicate significant differences (P < 0.05).

References

- Aaslyng, M. D., Bejerholm, C., Ertbjerg, P., Bertlam, M. C., & Henrik, J. A. (2003). Cooking loss and juiciness of pork in relation to raw meat quality and cooking procedure. *Food Quality and Preference*, 14(4), 277-288. doi: 10.1016/S0950.3293(02)00086-1
- American Meat Science Association. (2012). *Meat color measurement guidelines*. Accessed August 15, 2021. Retrieved from https://meatscience.org/docs/default-source/publications-resources/hot-topics/2012_12_meat_clr_guide.pdf
- Bacteriological Analytical Manual. (2001). *Aerobic plate count*. Accessed November 28, 2022. Retrieved from <https://www.fda.gov/food/laboratory-methods-food/bam-chapter-3-aerobic-plate-count>
- Burt, S. (2004). Essential oils: their antibacterial properties and potential applications in foods --a review. *International Journal of Food Microbiology*, 94(3), 223-253. doi: 10.1016/j.ijfoodmicro.2004.03.022
- Chen, H., Diao, J., Li, Y., Chen, Q., & Kong, B. (2016). The effectiveness of clove extracts in the inhibition of hydroxyl radical oxidation-induced structural and rheological changes in porcine myofibrillar protein. *Meat Science*, 111, 60-66. doi: 10.1016/j.meatsci.2015.08.017
- Azeredo, G. A., Stamford, T. L. M., Nunes, P. C., Neto, N. J. G., de Oliveira, M. E. G., & de Souza, E. L. (2011). Combined application of essential oils from *Origanum vulgare* L. and *Rosmarinus officinalis* L. to inhibit bacteria and autochthonous microflora associated with minimally

- processed vegetables. *Food Research International*, 44(5), 1541–1548. doi: 10.1016 /j.foodres.2011.04.012
- El-Maati, M. F. A., Labib, S. M., Al-Gaby, A. M. A., & Ramadan, M. F. (2016). Antioxidant and antibacterial properties of different extracts of garden cress (*Lepidium sativum* L.). *Zagazig Journal of Agricultural Research*, 43(5), 1685-1697. doi: 10.21608/zjar.2016.98127
- Ertas, O. N., Guler, T., Ciftci, M., Dalkilic, B., & Simsek, U. G. (2005). The effect of an essential oil mix derived from oregano, clove and anise on broiler performance. *International Journal of Poultry Science*, 4(11), 879-884. doi: 10.3923/ijps.2005. 879.884
- Fauzya, A. F., Astuti, R. I., & Mubarik, N. R. (2019). Effect of ethanol-derived clove leaf extract on the oxidative stress response in yeast *Schizosaccharomyces pombe*. *International Journal of Microbiology*, 2019(1), 2145378. doi: 10.1155/2019/2145378
- Govari, M., & Pexara, A. (2018). Nitrates and nitrites in meat products. *Journal of the Hellenic Veterinary Medical Society*, 66(3), 127–140. doi: 10.12681/ jhvms.15856
- Gulçin, I., Kufrevioglu, O. I., Oktay, M., & Büyükokuroglu, M. E. (2004). Antioxidant, antimicrobial, antiulcer and analgesic activities of nettle (*Urtica dioica* L.). *Journal of Ethnopharmacology*, 90(2-3), 205-215. doi: 10.1016/j.jep.2003.09.028
- Hustad, G. O., Cerveny, J. G., Trenk, H., Deibel, R. H., Kautter, D. A., Fazio, T., Johnston, R .W., & Kolari, O. E. (1973). Effect of sodium nitrite and sodium nitrate on botulinal toxin production and nitrosamine formation in wieners. *Applied Microbiology*, 26(1), 22-26. doi: 10.1128/am. 26.1.22-26.1973
- Jin, S. K., Choi, J. S., Jeong, J. Y., & Kim, G. D. (2016). The effect of clove bud powder at a spice level on antioxidant and quality properties of emulsified pork sausage during the cold storage. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 96(12), 4089-4097. doi: 10.1002/jsfa.7609
- Khaleque, M. A., Keya, C. A., Hasan, K. N., Hoque, M. M., Inatsu, Y., & Bari, M. L. (2016). Use of cloves and cinnamon essential oil to inactivate *Listeria monocytogenes* in ground beef at freezing and refrigeration temperatures. *Food Science and Technology*, 74(4), 219- 223. doi: 10.1016.j.lwt.2016. 07.042
- Kong, B., Zhang, H., & Xiong, Y. L. (2010). Antioxidant activity of spice extracts in a liposome system and in cooked pork patties and the possible mode of action. *Meat Science*, 85(4), 772–778. doi: 10.1016/j.meatsci. 2010.04.003
- Kumar, D., & Tanwar, V. K. (2011). Utilization of clove powder as phyto-preservative for chicken nuggets preparation. *Journal of Stored Products and Postharvest Research*, 2(1), 11 – 14. doi: 10.5897/ JSPPR.9000049
- Lone, Z. A. (2022). Phytochemical analysis of clove (*Syzygium aromaticum*) dried flower buds extract and its therapeutic importance. *Journal of Drug Delivery and Therapeutics*, 12(4-s), 87-92. doi: 10.22270/jddt.v12i4-s.5628
- Moon, S. E., Kim, H. Y., & Cha, J. D. (2011). Synergistic effect between clove oil and its major compounds and antibiotics against oral bacteria. *Archives of Oral Biology*, 56(9), 907- 916. doi: 10.1016.j.archoralbio. 2011.02.005
- Ragni, L., Berardinelli, A., Vannini, L., Montanari, C., Sirri, F., Guerzoni, M. E., & Guarnieri, A. (2010). Non-thermal atmospheric gas plasma device for surface decontamination of shell eggs. *Journal of Food Engineering*, 100(1), 125-132. doi: 10.1016.j.jfoodeng. 2010.03.036
- Sen, N. P., Smith, D. C., & Schwinghamer, L. (1969). Formation of N-nitrosamines from secondary amines and nitrite in human and animal gastric juice. *Food and Cosmetics Toxicology*, 7(4), 301-307. doi: 10.1016/ S0015-6264(69)80366-4
- Statistical Analysis System (SAS). (1998). *SAS/STAT user’ guide*. North Carolina, United States: SAS Institute Inc.
- Steel, R. G. D., & Torrie, J. H. (1980). *Principles and procedures of statistics: a biometrical approach* (2nd ed.). New York, United States: Mc Graw-Hill Book Co.
- Suliman, G. M., Alowaimier, A. N., Al-Mufarrej, S. I., Hussein, E. O. S., Fazea, E. H., Naiel, M. A. E., Alhotan, R. A., & Swelum, A. A. (2021). The effects of clove seed (*Syzygium aromaticum*) dietary administration on carcass characteristics, meat quality, and sensory attributes of broiler chickens. *Poultry Science*, 100(3), 100904. doi: 10.1016/j.psj.2020.12.009
- Warner, R. D. (2017). Chapter 14 -The eating quality of meat- IV water-holding capacity and juiciness. In T. Fidel Ed.), *Lawrie’s Meat Science* (pp. 419-459). Cambridge, England: Woodhead Publishing series in Food Science, Technology and Nutrition. doi: 10.1016 /B978-0-08-100694-8.00014-5

Research article

Clove powder supplementation with vacuum packaging on quality attributes and shelf life of chicken sausage

Natthamon Tangjitwattanachai^{1*} and Denpong Sakhong²

¹ Division of Animal Science, Department of Agricultural Technology, Faculty of Technology, Maha Sarakham University, Kantharawichai district, Maha Sarakham Province, 44150

² Veterinary Research and Development Centre (upper northeastern region), Department of Livestock Development, Mueang Khon Kaen district, Khon Kaen Province, 40260

ARTICLE INFO

Article history

Received: 30 April 2024

Revised: 13 June 2024

Accepted: 14 June 2024

Online published: 27 June 2024

Keyword

Clove powder

Shelf life

Chicken sausage

ABSTRACT

Clove powder is a spice that is often used in the food industry. Cloves are rich in eugenol, which inhibits the growth of bacteria and fungi and reduces the occurrence of free radicals. Therefore, it is used to flavor and extend the shelf life of food. The objective of this study was to investigate the effect of clove powder supplementation combined with vacuum packaging on the storage quality of chicken sausages. The treatments included 3 levels of clove powder: 0, 3.5 and 5 g/kg of chicken sausage under vacuum conditions. The chicken sausages were stored in the refrigerator at 4 °C for 5, 7 and 14 days. Drip loss was determined during storage after 24 and 48 hours. Cooking loss, color and total bacterial count were determined during storage after 5, 7 and 14 days. The results showed that; drip loss and cooking loss were reduced by clove powder supplementation ($P < 0.05$). The total bacterial count was significantly ($P < 0.05$) lowest in the group with 5 g/kg after 7 and 14 days of storage. Clove powder was found to extend the shelf life of vacuum sausage products.

*Corresponding author

E-mail address: csnsrwd@ku.ac.th (S. Promyou)

Online print: 27 June 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.2024.26>



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

บทความวิจัย

ผลของการใช้ไฟโบร-ไบโอติกจากผักตบชวาในสูตรอาหารต่อสมรรถนะการเจริญเติบโต การย่อยได้ของโภชนะและประชากรจุลินทรีย์ในลำไส้ส่วนท้ายของลูกสุกรหลังหย่านม

กัณฑ์ติภัทร จิตอารี² รัชณี บัวระภา¹ ศลิษา โคตพันธ์² ภูวดล บินสุหลง²

ศิวพงศ์ เลื่อนราม² และวุฒิกกร สระแก้ว^{1*}

¹ สาขาสัตวศาสตร์และประมง คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการเกษตร มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา น่าน อำเภอกู่เพียง จังหวัดน่าน 55000

² บริษัท ไบโอแอ็กซ์เซล จำกัด ตำบลบ่อผุด อำเภอเกาะสมุย จังหวัดสุราษฎร์ธานี 84320

ข้อมูลบทความ

Article history

รับ: 30 เมษายน 2567

แก้ไข: 9 มิถุนายน 2567

ตอบรับการตีพิมพ์: 9 มิถุนายน 2567

ตีพิมพ์ออนไลน์: 27 มิถุนายน 2567

คำสำคัญ

ไฟโบร-ไบโอติก

ผักตบชวา

การย่อยได้

ประชากรจุลินทรีย์

ลูกสุกรหลังหย่านม

บทคัดย่อ

ไฟโบร-ไบโอติกจากผักตบชวาคือผักตบชวาที่ตัดแปลงร่วมกับจุลินทรีย์ย่อยเยื่อใยทำให้มีค่าโปรตีนสูงขึ้นและเยื่อใยต่ำลง สามารถใช้ในอาหารสุกรได้ วัตถุประสงค์ของการศึกษาค้นคว้าครั้งนี้เพื่อศึกษาผลของการใช้ไฟโบร-ไบโอติกจากผักตบชวาในสูตรอาหารต่อสมรรถนะการเจริญเติบโต การย่อยได้ของโภชนะและประชากรจุลินทรีย์ในลำไส้ส่วนท้ายของลูกสุกรหลังหย่านม ใช้สุกรลูกผสมสายพันธุ์ (ลาร์จไวท์-แลนด์เรซ) เพศผู้ จำนวน 24 ตัว (น้ำหนักเฉลี่ย 10.2 ± 3.41 กิโลกรัม) วางแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ ประกอบด้วย 4 ทรีตเมนต์ ๆ ละ 3 ซ้ำ ดังนี้ ทรีตเมนต์ที่ 1 คือ สูตรอาหารควบคุม ไฟโบร-ไบโอติกจากผักตบชวา 0 % ทรีตเมนต์ที่ 2 3 และ 4 คือ สูตรอาหารที่ใช้ไฟโบร-ไบโอติกจากผักตบชวา 5 10 และ 15 % ตามลำดับ ทำการทดลอง 60 วัน ผลการทดลองพบว่า ปริมาณการกินได้ การย่อยได้ของวัตถุดิบและการย่อยได้ของโปรตีนมีค่าลดลงที่ระดับการใช้ 15 % ($P < 0.01$) ขณะที่ระดับการใช้ 5 และ 10 % มีค่าไม่แตกต่างจากกลุ่มควบคุม ($P > 0.05$) น้ำหนักตัวที่เพิ่มขึ้นและอัตราการเจริญเติบโตต่อวันมีค่าสูงขึ้นที่ระดับการใช้ 5 % ($P = 0.07$) แต่มีค่าลดลงที่ระดับการใช้ 15 % ($P < 0.01$) ส่งผลทำให้อัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นน้ำหนักตัวมีค่าลดลงต่ำสุดที่ระดับการใช้ 5 % ($P < 0.05$) แต่มีค่าเพิ่มสูงขึ้นที่ระดับ 15 % ($P < 0.01$) ต้นทุนค่าอาหารต่อการเจริญเติบโตมีค่าไม่แตกต่างกัน ($P > 0.05$) อย่างไรก็ตามมีค่าเฉลี่ยลดลง 0.9-1.4 บาทต่อกิโลกรัมของน้ำหนักตัวที่เพิ่มขึ้นเมื่อใช้ไฟโบร-ไบโอติกจากผักตบชวา 5-15 % การใช้ไฟโบร-ไบโอติกจากผักตบชวาส่งผลให้จำนวนแบคทีเรียกรดแลคติกในลำไส้ส่วนท้ายสูงขึ้น ($P < 0.01$) ขณะที่จำนวน *E. coli* และจุลินทรีย์รวมไม่มีความแตกต่างกัน ($P > 0.05$) แสดงให้เห็นว่า สามารถใช้ไฟโบร-ไบโอติกจากผักตบชวาในสูตรอาหารลูกสุกรหลังหย่านมได้ โดยที่ระดับการใช้ 5 % น่าจะเป็นระดับที่เหมาะสมและส่งผลดีต่อสมรรถนะการเจริญเติบโต

บทนำ

ปัจจุบันอุตสาหกรรมการผลิตสุกรมีการขยายตัวอย่างมากเพื่อตอบสนองการเพิ่มขึ้นของปริมาณการบริโภค ปริมาณการผลิตที่เพิ่มขึ้นส่งผลโดยตรงต่อความต้องการที่เพิ่มขึ้นของอาหารสัตว์และหรือวัตถุดิบอาหารสัตว์ แต่อย่างไรก็ตามสถานการณ์ด้านวัตถุดิบอาหารสัตว์ในประเทศค่อนข้างที่จะขาดแคลนทั้งแหล่งพลังงานและแหล่งโปรตีน สาเหตุเหล่านี้ทำให้ราคาของวัตถุดิบอาหารสัตว์มีราคาเพิ่มขึ้น กลุ่มผู้ผลิตร่วมด้วยนักวิจัยพยายามหาวิธีการที่จะแก้ปัญหาดังกล่าวโดยการหาแหล่งวัตถุดิบทดแทนวัตถุดิบอาหารคุณภาพดีที่มีราคาถูกเพื่อลดต้นทุนในด้านอาหารสัตว์ให้ถูกลง โดยการหาแหล่งวัตถุดิบใหม่ที่มีปริมาณมากและยังไม่มีราคาหรือยังไม่ถูกใช้มากนักในวงการอาหารสัตว์ เพื่อพัฒนาวัตถุดิบเหล่านั้นให้สามารถเป็นอาหารสัตว์ได้น่าจะเป็นแนวทางหนึ่งในการลดปัญหาการขาดแคลนวัตถุดิบและหรือปัญหาวัตถุดิบอาหารสัตว์ต้นทุนสูง

ผักตบชวาจัดเป็นวัชพืชทางพืชที่มีการนำไปใช้ประโยชน์น้อยรวมถึงเป็นปัญหาอย่างยิ่งต่อการสัญจรทางน้ำและต่อสภาวะแวดล้อม อย่างไรก็ตาม มีรายงานว่าผักตบชวาสามารถนำมาเลี้ยงสัตว์ได้ซึ่งจากการวิเคราะห์คุณค่าทางสารอาหารพบว่า ใบผักตบชวาเมื่อนำมาตากแห้งมีโปรตีนประมาณ 6-7 % ไขมัน 1-2.5 % คากหรือเยื่อใยประมาณ 17-19 % เถ้าประมาณ 14-15 % และตรวจไม่พบสารเป็นพิษภัยต่อสัตว์รวมถึงสามารถใช้ในอาหารสุกรได้ Mako et al. (2012) รายงานว่า ผักตบชวาแห้งทั้งต้นและใบสามารถนำมาใช้เป็นวัตถุดิบในอาหารเลี้ยงสุกรหลังหย่านมถึงขุนจำหน่ายได้ที่ระดับ 10-20 % และยังสามารถลดต้นทุนค่าอาหารต่อการผลิต แต่ว่าการนำใบผักตบชวาในอาหารสัตว์โดยเฉพาะอย่างยิ่งในอาหารสัตว์ปีกและสุกรนั้นยังมีข้อจำกัดอยู่มากทั้งในด้านปริมาณที่สามารถใช้ได้ ผลกระทบต่อการกินได้และการย่อยนำไปใช้ประโยชน์เนื่องจากผักตบชวาเป็นพืชที่เยื่อใยเป็นองค์ประกอบอยู่ค่อนข้างสูง ดังนั้นในการนำมาใช้จึงควรมี

*Corresponding author

E-mail address: esso.wutt@gmail.com (W. Srakaew)

Online print: 27 June 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.2024.27>

การปรับปรุงคุณภาพเพื่อให้สามารถใช้ประโยชน์ได้มากขึ้น Tongnum et al. (2024) รายงานว่า การปรับปรุงคุณภาพของผักตบชวาโดยการหมักร่วมกับจุลินทรีย์ส่งผลให้โปรตีนและการย่อยได้ของผักตบชวาสูงขึ้น ขณะที่เยื่อใยลดลง นอกจากนี้ยังพบว่า ในการหมักวัตถุดิบเยื่อใยร่วมกับจุลินทรีย์ยังส่งผลให้วัตถุดิบมีจุลินทรีย์ปนไปในวัตถุดิบเมื่อนำมาใช้เป็นวัตถุดิบอาหารสัตว์ยังส่งผลต่อสัตว์ในรูปของจุลินทรีย์ที่มีประโยชน์ในท้องทางเดินอาหารหรือโปรไบโอติก ส่งผลทำให้การย่อยได้ของวัตถุดิบและเยื่อใยเพิ่มมากขึ้น (Raunghora et al., 2024) ทั้งนี้เป็นที่ทราบกันดีว่าวัตถุดิบเยื่อใยมีบทบาทสำคัญในอาหารสุกรและสัตว์ปีกการใช้ในระดับที่เหมาะสมสามารถช่วยให้สภาวะการทำงานของท้องทางเดินอาหารเป็นไปอย่างปกติ รวมถึงกระตุ้นการสร้างภูมิคุ้มกันของสุกร (Wenk, 2001) ดังนั้นหากสามารถใช้เยื่อใยในอาหารมากขึ้นและร่วมกับจุลินทรีย์ในรูปของโปรไบโอติกคร่อมกันน่าจะส่งผลดีต่อสมรรถนะการเจริญเติบโตของสุกรได้ จากรายงานการศึกษาเบื้องต้นการผลิตวัตถุดิบเยื่อใยร่วมกับจุลินทรีย์โปรไบโอติกหรือไฟโบร-ไบโอติก (Fibro-biotic) จากผักตบชวาของบริษัทไบโอแอ็กซ์เซล โดยการนำผักตบชวามาหมักร่วมกับจุลินทรีย์ย่อยเยื่อใยสูง (Cellulolytic bacteria) โดยใช้ถังหมักแบบอัดโนมิตี พบว่าสามารถเพิ่มโปรตีนของผักตบชวาจาก 5.2 เป็น 12.1 % การย่อยได้ของวัตถุดิบเพิ่มจาก 62.5 เป็น 71.8 % (Tongnum et al., 2024) แสดงให้เห็นว่าการผลิตไฟโบร-ไบโอติกจากผักตบชวาสามารถปรับปรุงคุณค่าทางโภชนาการของผักตบชวาได้และน่าจะสามารถนำมาใช้เป็นวัตถุดิบในอาหารสุกรเพื่อเพิ่มสมรรถนะการเจริญเติบโตและยังผลต่อการลดลงของต้นทุนค่าอาหารได้ จึงเป็นที่มาของการศึกษาในครั้งนี้เพื่อศึกษาผลของการใช้ไฟโบร-ไบโอติกจากผักตบชวาในสูตรอาหารต่อสมรรถนะการเจริญเติบโตในลูกสุกรหลังหย่านม

อุปกรณ์และวิธีการวิจัย

การผลิตไฟโบร-ไบโอติกจากผักตบชวา

การผลิตไฟโบร-ไบโอติกจากผักตบชวาเป็นการหมักผักตบชวาร่วมกับจุลินทรีย์เยื่อใยสูง (จุลินทรีย์ Super BACT จากบริษัท ไบโอแอ็กซ์เซล จำกัด) ร่วมกับแบคทีเรียกรดแลคติก โดยจุลินทรีย์ย่อยเยื่อใยสูงเป็นกลุ่มของแบคทีเรียที่ผลิตเอนไซม์เซลลูเลสสูงในรูปของผลิตภัณฑ์จุลินทรีย์ Super BACT จากบริษัทไบโอแอ็กซ์เซลที่ผ่านการขยายเชื้อโดยวิธีการของบริษัท มีจำนวนจุลินทรีย์เฉลี่ยเท่ากับ 7.12×10^8 CFU/มิลลิกรัม ขณะที่น้ำหมักแบคทีเรียกรดแลคติก ผลิตตามวิธีการของ (Bureenok et al., 2007) โดยทำการขยายหัวเชื้อแบคทีเรียกรดแลคติก โดยใช้ไบโอฟลูอิดจำนวน 200 กรัม ปั่นให้ละเอียด เติมน้ำให้ครบ 1 ลิตร จากนั้นกรองเอาแต่น้ำแล้วเติมน้ำตาลทราย 20 กรัม ทำการบ่มที่อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 3 วัน ก่อนนำมาใช้ทำการวิเคราะห์หาปริมาณแบคทีเรียกรดแลคติก พบว่า มีจำนวนเฉลี่ยเท่ากับ 2.02×10^8 CFU/มิลลิลิตร กระบวนการผลิตไฟโบร-ไบโอติกจากผักตบชวาเริ่มจากการนำผักตบชวามาสับทั้งต้นจำนวน 100 กิโลกรัม นำมาผสมกับน้ำหมักจุลินทรีย์แลคติกในอัตราส่วน 1 % จากนั้นนำลงไปยังถังหมักอัดโนมิตีขนาด 200 ลิตรแบบนอน (เครื่อง Bio Axel) ที่สามารถควบคุมอุณหภูมิ การระบายอากาศและอัตราการหมุนผสมที่เติมหัวเชื้อจุลินทรีย์ซูเปอร์แบบขยายในอัตราส่วน จุลินทรีย์ซูเปอร์แบบขยายต่อผักตบชวา เท่ากับ 1:2 ส่วนโดยน้ำหนัก

ทำการหมักขยายเป็นเวลา 48 ชั่วโมง ก่อนนำมาตากแดดให้แห้ง จากนั้นนำไปบดและเก็บไว้ใช้เป็นอาหารสำหรับสัตว์ทดลอง โดยก่อนนำไฟโบร-ไบโอติกจากผักตบชวาที่เตรียมแล้วไปใช้เป็นวัตถุดิบสำหรับผสมในสูตรอาหารทดลอง จะทำการผสมตัวอย่างไฟโบร-ไบโอติกจากผักตบชวามาวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมี ได้แก่ วัตถุแห้ง โปรตีน หยิบ เยื่อใยรวม ไชมันรวม และเถ้า ตามวิธีของ AOAC (1995)

สัตว์ทดลองและจรรยาบรรณสัตว์ทดลอง

ใช้สุกรลูกผสมสายพันธุ์ (ลาร์จไวท์-แลนด์เรซ) เพศผู้ จำนวน 24 ตัว น้ำหนักเฉลี่ย 10.2 ± 3.41 กิโลกรัม จากฟาร์มสุกรมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา น่าน ที่มีประวัติแม่พันธุ์ชัดเจนและผสมน้ำเชื้อจากพ่อพันธุ์ตัวเดียวกัน การดำเนินการทดลองครั้งนี้ได้รับการอนุญาตให้ดำเนินการใช้สัตว์ทดลอง โดยผ่านการพิจารณาจากคณะกรรมการกำกับดูแลการดำเนินการต่อสัตว์เพื่องานทางวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา ใบนุญาตเลขที่ RMUTL-IACUC 017/2023 ดำเนินการทดลอง ณ ฟาร์มทดลองสุกร มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา น่าน โดยจัดให้ลูกสัตว์ทดลองอยู่ในคอกขนาด กว้าง x ยาว เท่ากับ 2×2 เมตร จำนวน 12 คอก ภายใต้คอกทดลองในสภาพแวดล้อมแบบปล่อยเปิด ที่การระบายอากาศดี และทุกคอกมีพื้นที่ให้สุกรเล่นน้ำ คอกทดลองและอุปกรณ์ทดลอง เช่น รางน้ำ รางอาหาร มีการล้างทำความสะอาดด้วยน้ำแรงดันสูงและฆ่าเชื้อด้วยน้ำยาฆ่าเชื้อ BIOCLEAN ทั้งวันเป็นเวลา 14 วัน ก่อนนำสัตว์ทดลองเข้าเลี้ยงในคอกทดลอง

การวางแผนการทดลอง

ในการศึกษาครั้งนี้วางแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ (Completely randomized design, CRD) โดยในการทดลองครั้งนี้ใช้ระยะเวลาทดลอง 60 วัน ประกอบด้วย 4 ทรีตเมนต์ ทรีตเมนต์ละ 3 ซ้ำ รวมทั้งหมด 12 หน่วยทดลอง 1 หน่วยทดลองประกอบด้วยลูกสุกร 2 ตัว โดยทรีตเมนต์ทดลองมีรายละเอียดดังนี้ ทรีตเมนต์ที่ 1 คือ สูตรอาหารไม่ใช้ไฟโบร-ไบโอติกจากผักตบชวา (สูตรควบคุม) ทรีตเมนต์ที่ 2 คือ สูตรอาหารที่ใช้ไฟโบร-ไบโอติกจากผักตบชวาในสูตรอาหาร 5 % ทรีตเมนต์ที่ 3 คือ สูตรอาหารที่ใช้ไฟโบร-ไบโอติกจากผักตบชวาในสูตรอาหาร 10 % และทรีตเมนต์ที่ 4 คือ สูตรอาหารที่ใช้ไฟโบร-ไบโอติกจากผักตบชวาในสูตรอาหาร 15 % โดยสูตรอาหารทดลองผสมโดยใช้วัตถุดิบหลัก ได้แก่ ข้าวโพด ปลายข้าว กากถั่วเหลือง โดยมีส่วนประกอบของวัตถุดิบดังแสดงใน Table 1

การให้อาหารทดลอง

จัดให้สัตว์ทดลองได้รับอาหารทดลอง โดยให้กินอย่างเต็มที่ (Ad libitum) แบ่งให้อาหาร 2 เวลา คือ ในตอนเช้าเวลา 7.30 น. และตอนบ่ายเวลา 17.00 น. ปริมาณอาหารที่ให้ในแต่ละครั้งซึ่งน้ำหนักก่อน และชั่งอาหารที่เหลือออกทุกวันก่อนให้อาหารใหม่ในเวลาเช้าวันถัดไป เพิ่มปริมาณอาหารขึ้นหากอาหารเหลือในรางอาหารน้อยกว่า 10 % และมีน้ำสะอาดให้กินอย่างเพียงพอตลอดเวลา ตัวอย่างอาหารที่ทำการทดลองจะทำการผสมกับตัวอย่างอาหารที่ให้ และผสมกับอาหารที่เหลือทุก สัปดาห์ของช่วงเวลากทดลอง จากนั้นแบ่งเป็นสองส่วน ส่วนแรกนำไปบดที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เพื่อวิเคราะห์ปริมาณวัตถุแห้งน้ำหนักที่ได้ไปปรับปริมาณการกินได้โดยคิดต่อหน่วยน้ำหนักแห้ง และอาหารอีกส่วนหนึ่งนำไปบดที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เสร็จแล้วนำไปบดผ่านตะแกรงขนาด 1 มิลลิเมตร เพื่อ

วิเคราะห์หาส่วนประกอบทางเคมีของโภชนะต่าง ๆ ได้แก่ วัตถุแห้ง โปรตีนหยาบ เยื่อใยรวม ไขมันรวม และเถ้า ตามวิธีของ AOAC (1995) และคำนวณหาค่าไนโตรเจนฟรีเอ็กแทรก (Nitrogen free extract, NFE) จากสมการ $NFE = 100 - (\% \text{ ความชื้น} + \% \text{ โปรตีนหยาบ} + \% \text{ เยื่อใยรวม} + \% \text{ ไขมันรวม} + \% \text{ เถ้า})$

สมรรถนะการเจริญเติบโตของสุกร

สัตว์ทดลองได้รับอาหารตามโปรแกรม ทำการจดบันทึกปริมาณอาหารที่ให้และปริมาณอาหารที่เหลือเพื่อนำมาคำนวณหาปริมาณการกินได้เฉลี่ยต่อวัน (Average daily feed intake, ADFI) บันทึกการเปลี่ยนแปลงของน้ำหนักตัวโดยการชั่งน้ำหนักในทุกสัปดาห์เพื่อนำมาคำนวณน้ำหนักตัวที่เพิ่มขึ้นเฉลี่ย (Body weight gain, BWG) อัตราการเจริญเติบโตเฉลี่ยต่อวัน (Average daily gain, ADG) และประสิทธิภาพการเปลี่ยนอาหารเป็นน้ำหนักตัว (Feed conversion ratio, FCR) ตามวิธีการของ Zhou et al. (2010)

การย่อยได้ของโภชนะในอาหารสุกร

ทำการศึกษาการย่อยได้ของโภชนะในสุกรใช้วิธีการ Indicator method โดยเมื่อสุกรอายุทดลองครบ 35 วัน ทำการสุมสุกรที่มีน้ำหนักใกล้เคียงกันหน่วยทดลองละ 1 ตัว มาเลี้ยงบนกรงขังเดี่ยวขนาดยกพื้น กว้าง × ยาว × สูง เท่ากับ 1 × 1 × 1 เมตร ที่ร่อนพื้นด้านล่างด้วยถาดเก็บมูล และมีที่ให้น้ำให้อาหารด้านหน้าของกรง สุกรทดลองที่ถูกสุมได้รับอาหารทดลองในแต่ละสูตรที่ผสมด้วยโครมิกซ์ออกไซด์ (Cr_2O_3) จำนวน 0.3 % ในช่วงสัปดาห์สุดท้ายของการทดลอง โดยแบ่งช่วงทดลองออกเป็น 2 ช่วง โดยช่วงที่ 1 เป็นช่วงปรับสัตว์ (Adjustment period) เป็นเวลา 7 วัน ช่วงที่ 2 เป็นช่วงเก็บตัวอย่าง (Sampling period) เป็นเวลา 14 วัน โดยสุมเก็บอาหารและมูลของสุกรที่ได้รับอาหารทดลองผสมโครมิกซ์ออกไซด์ ในส่วนของตัวอย่างมูลเก็บลงในถุงเก็บจากนั้นทำการเติมกรดซัลฟิวริก (H_2SO_4) ความเข้มข้น 3 % ตามวิธีของ Mountzouris et al. (2010) ก่อนนำตัวอย่างอาหารและตัวอย่างมูลมาวิเคราะห์หาองค์ประกอบทางเคมี ได้แก่ วัตถุแห้ง โปรตีนหยาบ เยื่อใยรวม ไขมันรวม และเถ้า รวมถึงวิเคราะห์หาปริมาณโครมิกซ์ออกไซด์ตามวิธีของ AOAC (1995) จากนั้นนำค่าที่ได้มาคำนวณหาค่าสัมประสิทธิ์การย่อยได้ของโภชนะ ตามวิธีของ Sharifi et al. (2012) ดังสมการ

ค่าการย่อยได้ของวัตถุแห้ง (Apparent dry matter digestibility)

$$= \frac{(\% Cr_2O_3 \text{ ในมูล} - \% Cr_2O_3 \text{ ในอาหาร}) \times 100}{\% Cr_2O_3 \text{ ในมูล}}$$

ค่าการย่อยได้ของโภชนะ (Apparent nutrient digestibility)

$$= 100 - [100 \times (\frac{\% Cr_2O_3 \text{ ในอาหาร} \times \% \text{ โภชนะในมูล}}{\% Cr_2O_3 \text{ ในมูล} \times \% \text{ โภชนะในอาหาร}})]$$

จุลินทรีย์ในลำไส้ส่วนท้ายของสุกร

เมื่อทำการทดลองครบระยะทดลอง ทำการวัดจุลินทรีย์ในลำไส้ส่วนท้ายของสุกร โดยทำการสุมสุกรหน่วยทดลองละ 1 ตัว อดอาหารอย่างน้อย 6 ชั่วโมง จากนั้นทำการฆ่าและเพื่อทำการเก็บตัวอย่างของสิ่งย่อยในลำไส้ส่วนท้ายโดยทำการตัดตัวอย่างลำไส้เหนือไส้ติ่ง 1 นิ้ว แล้วเก็บตัวอย่างของสิ่งย่อยในไส้ติ่งและส่วนของลำไส้ใหญ่ลงในอุปกรณ์เก็บที่ทำการฆ่าเชื้อแล้ว จากนั้นนำไปทำการวิเคราะห์เพื่อหาปริมาณจุลินทรีย์ คือ แบคทีเรียกรดแลคติก (Lactic acid bacteria)

Enterococci E.coli และ *Salmonella* ด้วยวิธี Culture technique โดยใช้ Selective media คือ MRS agar + 0.02 % NaH_2 + 0.05 % L-cystine hydrochloride monohydrate m Enterococci agar EMB agar และ XLD agar ตามลำดับ ตามวิธีของ Makivic et al. (2019) และ Giannenas et al. (2010) วิเคราะห์หาเชื้อจุลินทรีย์รวม (Total plate count) โดยใช้ Plate count agar (PCA) ตามวิธีการของ (AOAC, 2000) การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ

ข้อมูลที่ได้จากผลการทดลองทั้งหมดถูกรวบรวมจากนั้นนำมาวิเคราะห์หาค่าความแปรปรวนทางสถิติ (Analysis of variances, ANOVA) ตามแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ และเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยในแต่ละทรีตเมนต์ทดลองด้วยวิธี Duncan's multiple range test (DMRT) โดยใช้โปรแกรมทางสถิติ (SAS, 1998) โดยกำหนดค่าความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95 %

ผลและวิจารณ์ผลการวิจัย

องค์ประกอบทางเคมีของสูตรอาหารทดลอง

จากการศึกษาพบว่า สูตรอาหารทดลองมีองค์ประกอบทางเคมีของสูตรอาหารทั้ง 4 สูตรมีค่าใกล้เคียงกัน โดยมีค่าเฉลี่ยโปรตีน 18.1-18.4 % มีเยื่อใยรวมเฉลี่ย 6.20-10.1 % มีไขมันรวมเฉลี่ย 6.60-6.80 % เถ้าเฉลี่ย 5.70-5.90 % และ NFE เฉลี่ย 50.4-53.5 % ตามลำดับ ขณะที่ไฟโบร-ไบโอติกจากผักตบชวามีค่าเฉลี่ยของโปรตีนรวม เยื่อใยรวม ไขมันรวม เถ้า และ NFE เท่ากับ 12.4 25.3 0.92 และ 11.8 % ตามลำดับ จากข้อมูลดังกล่าวแสดงให้เห็นว่าองค์ประกอบทางเคมีของสูตรอาหารมีค่าใกล้เคียงกันและสอดคล้องกับค่าที่ได้จากการคำนวณโดยโปรแกรมคอมพิวเตอร์

ผลของไฟโบร-ไบโอติกจากผักตบชวาต่อสมรรถนะการให้ผลผลิตในสุกร

ผลการใช้ไฟโบร-ไบโอติกจากผักตบชวาในสูตรอาหารของสุกรต่อน้ำหนักตัวและอัตราการเจริญเติบโตต่อวันพบว่า สุกรที่ได้รับสูตรอาหารที่ใช้ไฟโบร-ไบโอติกจากผักตบชวาที่ระดับ 5 มีค่าสูงที่สุด และการใช้ที่ระดับ 10 % ในสูตรอาหารไม่แตกต่างจากกลุ่มควบคุม ขณะที่การใช้ไฟโบร-ไบโอติกจากผักตบชวาที่ระดับ 15 % มีการเพิ่มขึ้นของน้ำหนักตัวและอัตราการเจริญเติบโตต่อวันลดลง ($P < 0.01$) สอดคล้องกับปริมาณการกินได้ที่พบว่า ปริมาณการกินได้ของสุกรมีค่าลดลงในสุกรกลุ่มที่ได้รับสูตรอาหารที่ใช้ไฟโบร-ไบโอติกจากผักตบชวาที่ระดับ 15 % ในสูตรอาหาร ($P < 0.02$) ทั้งนี้ปริมาณการกินได้ที่มีแนวโน้มลดลงของสุกรที่ได้รับสูตรอาหารที่ใช้ไฟโบร-ไบโอติกจากผักตบชวานั้นมีความสัมพันธ์กับค่าของปริมาณเยื่อใยที่เพิ่มสูงขึ้นในสูตรอาหาร เนื่องจากสุกรมีประสิทธิภาพการย่อยเยื่อใยที่ไม่สูงมากนัก ในขณะที่การใช้ไฟโบร-ไบโอติกจากผักตบชวาที่มีเยื่อใยสูงทำให้การย่อยเกิดขึ้นอย่างช้า ๆ อาหารที่ย่อยช้าจะตกค้างในกระเพาะนานและส่งผลกระทบต่อปริมาณการกินได้ลดลงขณะที่อัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นน้ำหนักตัวมีความสอดคล้องกับน้ำหนักตัวและปริมาณการกินได้ของสุกร โดยพบว่า กลุ่มที่ได้รับสูตรอาหารที่ใช้ไฟโบร-ไบโอติกจากผักตบชวาที่ระดับ 5 % มีอัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นน้ำหนักตัวต่ำสุด และการใช้ที่ระดับ 15 % มีอัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นน้ำหนักตัวเพิ่มสูงขึ้น ($P < 0.01$) แสดงให้เห็นว่าสูตรอาหารที่

ระดับ 5 % มีการใช้อาหารในการเจริญเติบโตได้ดีกว่ากลุ่มที่ไม่ใช้ไฟโบริ-ไบโอติกจากผักตบชวา อย่างไรก็ตาม เมื่อนำมาคำนวณหาต้นทุนค่าอาหารต่อการเจริญเติบโต 1 กิโลกรัมพบว่าไม่มีความแตกต่างกันในแต่ละพื้นที่ทดลอง ($P > 0.05$) จากข้อมูลการทดลองชี้ให้เห็นว่าระดับที่เหมาะสมของการใช้ไฟโบริ-ไบโอติกจากผักตบชวาในสูตรอาหาร คือระดับ 5 % โดยส่งผลทำให้การเจริญเติบโตและประสิทธิภาพการใช้อาหารดีที่สุด อย่างไรก็ตาม ควรหลีกเลี่ยงการใช้ในระดับที่มากกว่า 10 % เนื่องจากข้อจำกัดในด้านการกินได้และการย่อยได้ของอาหาร ซึ่งจากข้อมูลงานทดลองครั้งนี้ไม่ควรใช้เกิน 10 % ในสูตรอาหาร

ผลของไฟโบริ-ไบโอติกจากผักตบชวาต่อสัมประสิทธิภาพการย่อยได้และโภชนะย่อยได้ที่ได้รับในสุกร

จากผลการศึกษาพบว่า สุกรที่ได้รับสูตรอาหารที่ใช้ไฟโบริ-ไบโอติกจากผักตบชวาที่ระดับ 0-15 % มีค่าสัมประสิทธิภาพการย่อยได้ของวัตถุดิบ อินทรีย์วัตถุ ไขมัน และเถ้า ไม่แตกต่างกันระหว่างกลุ่มทดลอง ($P > 0.05$) แต่พบว่า สุกรที่ได้รับอาหารที่ใช้ไฟโบริ-ไบโอติกจากผักตบชวาที่ระดับ 10-15 % มีสัมประสิทธิภาพการย่อยได้ของโปรตีนต่ำกว่าสุกรกลุ่มที่ไม่ได้รับไฟโบริ-ไบโอติกจากผักตบชวาและได้รับไฟโบริ-ไบโอติกจากผักตบชวาที่ระดับ 5 % ($P < 0.05$) ขณะที่สัมประสิทธิภาพการย่อยได้ของเอนไซม์ในส่วนของเยื่อใยมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อใช้ไฟโบริ-ไบโอติกจากผักตบชวาในสูตรอาหาร ($P < 0.01$) และสัมประสิทธิภาพการย่อยได้ของเยื่อใยมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อใช้ไฟโบริ-ไบโอติกจากผักตบชวาในสูตรอาหารที่ระดับ 10-15 % ($P < 0.05$) จากผลการทดลองดังกล่าวแสดงให้เห็นว่า การใช้ไฟโบริ-ไบโอติกจากผักตบชวาในสูตรอาหารส่งผลทำให้ประสิทธิภาพการย่อยเยื่อใยในสุกรดีขึ้น ขณะที่การย่อยในส่วนของโปรตีนมีค่าลดลงเมื่อใช้ไฟโบริ-ไบโอติกจากผักตบชวาในสูตรอาหารมากกว่า 10 %

ผลของไฟโบริ-ไบโอติกจากผักตบชวาต่อประชากรจุลินทรีย์ในลำไส้ส่วนท้ายและในมูลของสุกร

การใช้ไฟโบริ-ไบโอติกจากผักตบชวาในสูตรอาหารสุกรต่อประชากรจุลินทรีย์ในลำไส้ส่วนท้ายพบว่า สุกรที่ได้รับไฟโบริ-ไบโอติกจากผักตบชวาทั้ง 3 ระดับ ได้แก่ 5 10 และ 15 % ในสูตรอาหารมีจำนวนประชากรจุลินทรีย์กลุ่มแบคทีเรียกรดแลคติกในลำไส้ส่วนท้ายสูงกว่าสุกรกลุ่มที่ได้รับสูตรอาหารควบคุม ($P < 0.01$) ขณะที่จำนวนประชากร *E. coli* กลุ่มของสุกรที่ได้รับสูตรอาหารที่ใช้ไฟโบริ-ไบโอติกจากผักตบชวาทั้ง 3 ระดับ ไม่มีความแตกต่างกับกลุ่มควบคุม ($P > 0.05$) รวมถึงการใช้ไฟโบริ-ไบโอติกจากผักตบชวาไม่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงประชากรจุลินทรีย์รวมทั้งหมด ($P > 0.05$) จากผลการทดลองครั้งนี้แสดงให้เห็นว่าการใช้ไฟโบริ-ไบโอติกจากผักตบชวาในสูตรอาหารสามารถเพิ่มประชากรจุลินทรีย์กลุ่มของ แบคทีเรียกรดแลคติกในต่อทางเดินอาหารได้ ทั้งนี้การเพิ่มประชากรจุลินทรีย์กลุ่มแบคทีเรียกรดแลคติกน่าจะเกิดจากไฟโบริ-ไบโอติกจากผักตบชวาเป็นผักตบชวาที่ผ่านการหมักร่วมกับจุลินทรีย์หลายชนิดรวมถึงแบคทีเรียกรดแลคติกซึ่งผสมอยู่ในอาหารหมักและเมื่อนำไปผสมในสูตรอาหารทำให้สัตว์ทดลองที่ได้รับจุลินทรีย์ชนิดดังกล่าวเข้าไป

พร้อมกับการกินอาหารซึ่งเป็นการเพิ่มจำนวนจุลินทรีย์จากภายนอกเข้าสู่ต่อทางเดินอาหารจึงส่งผลทำให้ประชากรแบคทีเรียกรดแลคติกเพิ่มขึ้น สอดคล้องกับการทดลองของ Kuprys-Caruk et al. (2019) พบว่าจำนวนของแบคทีเรียกรดแลคติกในต่อทางเดินอาหารส่วนท้ายและในมูลเพิ่มขึ้นเมื่อทำการเสริมแบคทีเรียกรดแลคติกในสูตรอาหารสำหรับไก่เนื้อ ซึ่งแบคทีเรียกรดแลคติกจัดเป็นแบคทีเรียกลุ่มที่ดีในลำไส้ส่วนท้ายซึ่งมีหลายชนิด เช่น *Bifidobacterium spp.*, *B. adolescentis* และ *B. longum* เป็นต้น Sharifi et al. (2012) พบว่า การเพิ่มขึ้นของเชื้อจุลินทรีย์ที่เป็นประโยชน์ คือ *Lactobacillus spp.* และ *Bifidobacteria spp.* มีผลเพิ่มสมรรถนะการผลิตและพัฒนาสุขภาพของสัตว์เลี้ยง นอกจากนี้การเพิ่มจำนวนของ *Lactobacillus spp.* และ *Bifidobacteria spp.* ในลำไส้จะส่งผลทำให้ลำไส้มีสภาพเป็นกรดมากขึ้นซึ่งสภาพดังกล่าวไม่เหมาะสมในการดำรงชีวิตและหรือการเจริญเติบโตแบคทีเรียที่ก่อโทษ ส่งผลทำให้แบคทีเรียก่อโรคเช่น *E. coli* และ จุลินทรีย์รวมมีค่าไม่แตกต่างกันเช่นเดียวกันกับการศึกษาของ Bai et al. (2017) พบว่า การเสริม *B. subtilis* ในสูตรอาหารไก่กระทุงระยะท้ายช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการเจริญเติบโต เนื่องจากกลไกการทำงานของ *B. subtilis* ช่วยปรับสภาพแวดล้อมในลำไส้ให้เหมาะสมกับจุลินทรีย์ที่มีประโยชน์ ทำให้ผนังลำไส้มีความแข็งแรงขึ้น มีการแย่งเกาะกับผนังลำไส้กับกลุ่มจุลินทรีย์ที่ก่อโรคทำให้จุลินทรีย์กลุ่มก่อโรคมียาจำนวนลดลง

สรุปผลการวิจัย

จากผลการศึกษาสามารถสรุปได้ว่า การใช้ไฟโบริ-ไบโอติกจากผักตบชวาในสูตรอาหารสำหรับสุกรหลังหย่านม สามารถใช้ได้ 5-10 % โดยการใช้ที่ระดับ 5 % สามารถทำให้สมรรถนะการเจริญเติบโตและอัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นน้ำหนักตัวดีขึ้น นอกจากนั้นยังส่งผลทำให้ประชากรของแบคทีเรียกรดแลคติกสูงขึ้น อย่างไรก็ตามการใช้ที่ระดับ 15 % ส่งผลทำให้ปริมาณการกินได้ การย่อยได้ และสมรรถนะการเจริญเติบโตลดลง นอกจากนั้นยังพบว่าการใช้ไฟโบริ-ไบโอติกจากผักตบชวาในสูตรอาหารยังมีแนวโน้มทำให้ต้นทุนค่าอาหารต่อการเจริญเติบโตลดลง 0.9-1.4 บาท/กิโลกรัมของน้ำหนักตัวที่เพิ่มขึ้นแสดงให้เห็นว่าไฟโบริ-ไบโอติกจากผักตบชวาสามารถใช้เป็นวัตถุดิบในสูตรอาหารของลูกสุกรหลังหย่านมได้ โดยส่งผลดีต่อปริมาณการกินได้ ประสิทธิภาพการย่อยอาหาร และสมรรถนะการเจริญเติบโต

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยครั้งนี้ขอขอบพระคุณบริษัทไบโอแอ็กซ์เซล ที่สนับสนุนงบประมาณอุดหนุนในการดำเนินงานปีงบประมาณ 2565 และขอบคุณสาขาสัตวศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา น่าน ที่อนุเคราะห์สถานที่ดำเนินการทดลองและห้องปฏิบัติการวิเคราะห์อาหารสัตว์

Table 1 Experimental feed ingredients

Items	Treatments (kg/100 kg)			
	T1	T2	T3	T4
Fish meal (60 % CP)	3.0	3.0	3.0	3.0
Full fat soybean	5.0	5.0	5.0	5.0
Soybean meal	20.0	20.0	19.0	19.0
Broken rice	8.0	8.0	8.0	8.0
Rice brand	10.0	10.0	9.0	9.0
Water hyacinth fibro-biotics ¹	0.0	5.0	10.0	15.0
Corn meal	40.0	39.0	39.0	37.0
Rice brand with hull	11.7	7.6	4.5	1.4
Premixed	0.3	0.3	0.3	0.3
Salt	0.5	0.5	0.5	0.5
Dicalcium phosphate (P21)	1.0	1.0	1.0	1.0
Plant oil	0.5	0.6	0.7	0.8
Total	100	100	100	100
Price (baht/kg)	15.4	15.1	14.8	14.5

¹Price = 6 baht/kg of dry matter.

T1 = control diet (0 % of water hyacinth fibro-biotics) T2, T3 and T4 = diet contained 5, 10 and 15 % of water hyacinth fibro-biotics, respectively.

Table 2 The chemical composition of experimental diets

Items	Treatments				Fibro-biotic
	T1	T2	T3	T4	
Moisture, %	9.40	9.75	9.01	8.92	-
Chemical composition (% of DM)					
CP	18.4	18.3	18.1	18.1	12.4
CF	6.20	7.20	8.10	10.1	25.3
EE	6.80	6.70	6.60	6.60	0.92
Ash	5.70	5.80	5.80	5.90	11.8
NFE	53.5	52.3	52.4	50.4	40.6

DM = dry matter, CP = crude protein, CF = crude fat, EE = ether extract, NFE = nitrogen free extract, T1 = control diet (0 % of water hyacinth fibro-biotics) T2, T3 and T4 = diet contained 5, 10 and 15 % of water hyacinth fibro-biotics, respectively.

Table 3 Effects of dietary fibro-biotic from water hyacinth on productive performance of pigs

Items	Treatments				SEM	P-value
	T1	T2	T3	T4		
Start BW (kg)	14.50	16.13	15.95	14.90	-	-
Final BW (kg)	67.1	71.9	66.9	64.2	-	-
BWG (kg)	52.6 ^{ab}	55.6 ^b	51.9 ^{ab}	49.3 ^a	1.56	0.01
ADFI (g/day)	2,340 ^{ab}	2,441 ^b	2,358 ^{ab}	2,262 ^a	0.04	0.02
ADG (g/day)	876 ^{ab}	926 ^a	865 ^{ab}	821 ^b	21.8	0.01
FCR	2.67 ^b	2.63 ^a	2.72 ^b	2.75 ^b	0.02	0.01
FCG	41.1	39.7	40.2	40.1	4.06	0.48

^{a,b} Mean within the same row with difference letters are significantly different at $P \leq 0.05$, SEM = standard error of mean, BWG = body weight gain, ADFI = average daily feed intake, ADG = average daily gain, FCR = feed conversion ratio, FCG = feed cost per gain, T1 = control diet (0 % of water hyacinth fibro-biotics) T2, T3 and T4 = diet contained 5, 10 and 15 % of water hyacinth fibro-biotics, respectively.**Table 4** Effects of dietary fibro-biotic from water hyacinth on apparent nutrient digestibility of pigs

Items	Treatments				SEM	P-value
	T1	T2	T3	T4		
Apparent nutrient digestibility, %						
Dry matter	80.9	81.2	79.4	78.2	3.19	0.11
Organic matter	85.4	85.9	84.8	83.2	2.88	0.23
Crude protein	82.2 ^b	80.8 ^b	78.8 ^a	75.4 ^a	1.08	0.03
Crude fiber	29.4 ^a	29.9 ^a	32.4 ^b	32.0 ^b	0.68	0.05
Ether extract	89.5	89.0	89.1	88.4	4.01	0.45
Ash	30.2	29.9	32.6	34.8	3.06	0.74

^{a,b} Mean within the same row with difference letters are significantly different at $P \leq 0.05$, SEM = standard error of mean, T1 = control diet (0 % of water hyacinth fibro-biotics) T2, T3 and T4 = diet contained 5, 10 and 15 % of water hyacinth fibro-biotics, respectively.

Table 5 Effects of dietary fibro-biotic from water hyacinth on lower gut microbial population of pigs

Microbial population (log ₁₀ cfu/ml)	Treatments				SEM	P-value
	T1	T2	T3	T4		
Lower gut microbial population (log CFU/g)						
Lactic acid bacteria	2.11 ^a	2.60 ^{ab}	3.61 ^b	3.75 ^b	0.01	0.01
<i>E. coli</i>	0.30	0.30	0.60	0.60	0.51	0.23
Total plate count	7.46	7.35	7.63	7.97	1.86	0.33
Feces microbial population (log CFU/g)						
Lactic acid bacteria	3.01 ^a	4.04 ^{ab}	4.56 ^b	4.33 ^b	0.18	0.05
<i>E. coli</i>	0.30	0.30	0.00	0.30	1.04	0.52
Total plate count	10.8	9.20	9.12	10.20	2.09	0.44

^{a,b} Mean within the same row with difference letters are significantly different at $P \leq 0.05$, SEM = standard error of mean, T1 = control diet (0 % of water hyacinth fibro-biotics) T2, T3 and T4 = diet contained 5, 10 and 15 % of water hyacinth fibro-biotics, respectively.

References

- Association of Official Analytical Chemists (AOAC). (1995). *Official method of analysis* (16th ed.). Washington D.C, United States: Association of Official Analytical Chemist.
- Association of Official Analytical Chemists (AOAC). (2000). *Official methods of analysis* (17th ed.). Arlington, Virginia, United States: Association of Official Analytical Chemists.
- Bai, K., Huang, Q. Zhang, J., He, J., Zhang, J., & Wang, T. (2017). Supplemental effects of probiotic *Bacillus subtilis* fmbJ on growth performance, antioxidant capacity, and meat quality of broilers chickens. *Poultry Science*, 96(1), 74–82. doi:10.3382/ps/pew246
- Bureenok, S., Tamaki, M., Kawamoto, Y., & Nakada, T. (2007). Additive effects of green tea on fermented juice of the epiphytic lactic acid bacteria (FJLB) and the fermentative quality of Rhodesgrass silage. *Asian-Australasian Journal of Animal Sciences*, 20(6), 920-924. doi:10.5713/ajas.2007.920
- Giannenas, I., Tontis, D., Tsalie, E., Chronis, E. F., Doukas, D., & Kyriazakis, I. (2010). Influence of dietary mushroom *Agaricus bisporus* on intestinal morphology and microflora composition in broilers chickens. *Research in Veterinary Science*, 89(1), 78-84. doi: 10.1016/j.rvsc.2010.02.003
- Kuprys-Caruk, M., Chabłowska, B., Michalczyk, M., & Stefanska, I. (2019). Comparison of the effect of lactic acid bacteria added to feed or water on growth performance, health status and gut microbiota of chickens broilers. *Annals of Warsaw University of Life Sciences – SGGW Animal Science*, 58(1), 55–67. doi:10.22630/AAS.2019.58.1.7
- Makivic, L., Glisic, M., Boskovic, M., Djordjevic, J., Markovic, R., Baltic, M., & Sefer, D. (2019). Performances, ileal and cecal microbial populations and histological characteristics in broilers fed diets supplemented with lignocellulose. *Kafkas Universitesi Veteriner Fakultesi Dergisi*, 25(1), 83-91. doi:10.9775/kvfd.2018.20356
- Mako, A. A., Banjo, O. S., & Akinwande, V. O. (2012). Nutritive evaluation and acceptability of two aquatic weeds (*Eichhornia crassipes* and *Acroceras zizanioides*) by West African dwarf goats. *African Journal of Agricultural Research*, 7(19), 3007-3013. doi: 10.5897/AJAR11.1379
- Mountzouris, K. C., Tsirikos, P., Palamidi, I., Arvanniti, A., Mohnl, M., Schatmayr, G., & Fegeros, K. (2010). Effect of probiotic inclusion levels in broilers nutrition on growth performance, nutrient digestibility, plasma immunoglobulin, and cecal microflora composition. *Poultry Science*, 89(1), 58-67. doi: 10.3382/ps.2009-00308
- Raunghora, N., Chaiwong, S., Jintanuworakul, K., Chaiyasaen, N., Sintala, K., Bourapa, R., & Srakaew, W. (2024). Supplementation of natural symbiotic from cocoa husk silage on production performance and egg quality in laying hen. *Proceedings of the 4th The virtual international conference on science and agricultural technology for students 2024 (VICSAT 2024)* (p. 11). Chiang Mai, Thailand: Rajamangala University of Technology Lanna. (in Thai)
- Sharifi, S. D., Dibamehr, A., Lotfollahian, H., & Baurhoo, B. (2012). Effects of flavomycin and probiotic supplementation to diets containing different sources of fat on growth performance, intestinal morphology, apparent metabolizable energy, and fat digestibility in broiler chickens. *Poultry Science*, 91(4), 918-927. doi: 10.3382/ps.2011-01844
- Statistical Analysis System (SAS). (1998). *User's guide: Statistic, version 6* (12th ed). Cary North Carolina, United States: SAS Institute Inc.
- Tongnum, A., Srakaew, W., & Insoongnern, H. (2024). Effect of using bio-feed ingredient from water hyacinth (*Eichhornia crassipes* Mart) to optimize rumen fermentation in vitro gas technique. *Proceedings of the 4th The virtual international conference on science and agricultural technology for students 2024 (VICSAT*

- 2024) (p. 12). Chiang Mai, Thailand: Rajamangala University of Technology Lanna. (in Thai)
- Wenk, C. (2001). The role of dietary fibre in the digestive physiology of the pig. *Animal Feed Science and Technology*, 90(1-2), 21-33. doi:10.1016/S0377-8401(01)00194-8
- Zhou, X., Wang, Y., Gu, Q., & Li, W. (2010). Effect of dietary probiotic, *Bacillus coagulans*, on growth performance, chemical composition, and meat quality of Guangxi yellow chicken. *Poultry Science*, 89(3), 588-593. doi: 10.3382/ps.2009-00319

Research article

Effects of using fibro-biotics from water hyacinth in diet on growth performance, nutrient digestibility and microbial population in posterior gut of post-weaning pigs

Kanpitiphat Jitaree² Ratchanee Boarapa¹ Salisa Kotupan² Bhoowadol Binsulong²
Siwapong Luenram² and Wuttikorn Srakaew^{1*}

¹ Department of Animal Science and Fisheries Faculty of Science and Agricultural Technology Rajamangala University of Technology Lanna Nan, Phu Phiang district, Nan Province, 55000

² Bioaxel Company Limited, Bophut subdistrict, Koh Samui district, Surat Thani Province, 84320

ARTICLE INFO

Article history

Received: 30 April 2024

Revised: 9 June 2024

Accepted: 9 June 2024

Online published: 27 June 2024

Keyword

fibro-biotics

water hyacinth

digestibility

microbial population

post-weaning pigs

ABSTRACT

Fibro-biotics, derived from water hyacinth, are modified with cellulose producing microbes, resulting in higher protein and lower fiber content and can be used in pig feed. The objective of this study was to investigate the effects of using fibro-biotics from water hyacinth in diets on growth performance, nutrient digestibility and microbial population in posterior gut in post-weaning pigs. Twenty four males of Large-White x Landrace crossbred pigs (average body weight 10.2 ± 3.41 kg) were arranged in completely randomized design. The experiment consisted of four treatments, each with three replications; treatment 1 was a controlled diet (0 % of water hyacinth fibro-biotics) treatment 2, 3, and 4 were contained 5, 10, and 15 % of water hyacinth fibro-biotics, respectively. Within 60 days of experimental duration the results showed, feed intake and digestibility of dry matter and protein were decreased at 15 % ($P < 0.01$) while at 5 and 10 % were not significant different when compared with a control ($P > 0.05$). Body weight gain and ADG increased at the level of 5 % ($P = 0.07$) but decreased at the level of 15 % ($P < 0.01$). As a result, FCR was the lowest at the 5 % level ($P < 0.05$) but increased at the level of 15 % ($P < 0.01$). Feed costs per gain were not significant different ($P > 0.05$). However, there was an average reduction of 0.9-1.4 baht/kg of weight gain when using fibro-biotic from water hyacinth 5-15 %. Fibro-biotics from water hyacinth resulted in a higher number of lactic acid bacteria in the intestinal tract ($P < 0.01$), while there was no difference in the number of *E. coli* and total microorganisms ($P > 0.05$). It has been shown that fibro-biotics from water hyacinth can be used in post-weaning pig diets. A 5 % inclusion level is likely the most appropriate and has a positive effect on growth performance

*Corresponding author

E-mail address: esso.wutt@gmail.com (W. Srakaew)

Online print: 27 June 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.2024.27>



บทความวิจัย

ผลของไข่แดงฟงต่อคุณภาพและลักษณะการเคลื่อนที่ของน้ำเชื้อโคหลังการแช่แข็ง

วิสูตร ไมตรีจิตต์¹ ประเสริฐศักดิ์ รักดีวงศ์² ทวี เหล่าดี¹ ทวีพร เรืองพริ้ม¹ อาทิตย์ ปัญญาศักดิ์¹

สุกัญญา รัตนทับทิมทอง¹ และ สุธิชา มาเจริญ^{1*}

¹ ภาควิชาสัตวบาล คณะเกษตร กำแพงแสน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน อำเภอกำแพงแสน จังหวัดนครปฐม 73140

² ภาควิชาวิศวกรรมเกษตร คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน อำเภอกำแพงแสน จังหวัดนครปฐม 73140

ข้อมูลบทความ

Article history

รับ: 30 เมษายน 2567

แก้ไข: 10 มิถุนายน 2567

ตอบรับการตีพิมพ์: 11 มิถุนายน 2567

ตีพิมพ์ออนไลน์: 27 มิถุนายน 2567

คำสำคัญ

สารละลายไข่แดงฟอส

สารละลายน้ำเชื้อ

น้ำเชื้อโคแช่แข็ง

ไข่แดงฟง

บทคัดย่อ

การศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อเปรียบเทียบคุณภาพน้ำเชื้อแช่แข็งพอน้ำเชื้อโคหลังทำการละลาย จากการเจือจางด้วยสารละลายน้ำเชื้อโคแช่แข็งสูตร egg yolk tris glycerol (ETG) ที่มีไข่แดงสด และไข่แดงฟงทั้ง 10 และ 15 เปอร์เซ็นต์เป็นส่วนประกอบ จากนั้นทำการรีดเก็บน้ำเชื้อจากพอน้ำเชื้อโคเนื้อจำนวน 4 ตัว ตัวละ 4 ครั้ง แต่ละครั้งห่างกัน 1 สัปดาห์ แบ่งน้ำเชื้อออกเป็น 3 ส่วน เพื่อเจือจางตามสูตรสารละลายที่ต่างกันตามชนิดของไข่แดง กลุ่มที่ 1 สารละลายน้ำเชื้อที่มีไข่แดงสด (EG) กลุ่มที่ 2 สารละลายน้ำเชื้อที่มีไข่แดงฟง 10 เปอร์เซ็นต์ (10EP) และกลุ่มที่ 3 สารละลายน้ำเชื้อที่มีไข่แดงฟง 15 เปอร์เซ็นต์ (15EP) ทำการบรรจุน้ำเชื้อที่ทำการเจือจางด้วยสารละลายทั้ง 3 สูตร ในหลอดน้ำเชื้อขนาด 0.25 ml และทำการปิดผนึก นำตัวอย่างน้ำเชื้อโคที่ทำการแช่แข็งมาทำการละลายที่หลังแช่แข็ง 24 ชั่วโมง เพื่อประเมินคุณภาพน้ำเชื้อทำการวิเคราะห์ด้วย เครื่อง CASA จากผลการทดลองพบว่า ในด้านเปอร์เซ็นต์การเคลื่อนไหว (motile) น้ำเชื้อแช่แข็งพอน้ำเชื้อโคที่เจือจางด้วยสารละลายน้ำเชื้อกลุ่ม EG ไข่แดงฟง 10EP และ 15EP มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P > 0.05$) แต่พบว่าเปอร์เซ็นต์การเคลื่อนที่ไปข้างหน้า (progressive) ของกลุ่ม EG สูงกว่ากลุ่มไข่แดงฟงทั้ง 2 กลุ่ม อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.01$) โดยมีค่าอยู่ที่ 9.47 4.48 และ 4.36 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ และในด้าน sperm velocity ค่าความเร็วเฉลี่ยในการเคลื่อนที่ของอสุจิ (VAP) ความเร็วในการเคลื่อนที่เป็นเส้นตรงของตัวอสุจิ (VSL) และความเร็วในการเคลื่อนที่เป็นเส้นโค้งของตัวอสุจิ (VCL) ของกลุ่ม EG สูงกว่า กลุ่มไข่แดงฟงทั้ง 2 กลุ่ม อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.01$) ไม่พบความแตกต่างทางสถิติในด้านเปอร์เซ็นต์การเคลื่อนไหว และตัวอสุจิที่ผิดปกติที่แช่แข็งในสารละลาย EG 10EP และ 15EP ($P > 0.05$) จากผลการศึกษาแสดงให้เห็นว่า สารละลายน้ำเชื้อแช่แข็งที่มีส่วนประกอบของไข่แดงฟงที่ระดับ 10 และ 15 เปอร์เซ็นต์ ไม่ส่งผลต่อการปรับปรุงคุณภาพน้ำเชื้อโคแช่แข็งในด้านเปอร์เซ็นต์การเคลื่อนที่ไปข้างหน้าและความเร็วในการเคลื่อนที่ของตัวอสุจิ

บทนำ

การผสมเทียมได้เข้ามามีบทบาทสำคัญในการผลิตโคเนื้อ โดยเฉพาะในเรื่องของการปรับปรุงพันธุ์กรรมและผลผลิต เพื่อเป็นการขยายพันธุ์สัตว์ที่มีพันธุ์กรรมที่ดีจำนวนเพิ่มมากขึ้นในเวลาอันรวดเร็ว การเก็บรักษาน้ำเชื้อโคมีความสำคัญในการรักษาคุณภาพของน้ำเชื้อไว้เพื่อการเก็บรักษาที่ยาวนานและมีปริมาณอสุจิ (spermatozoa) ที่มีชีวิตมากเพียงพอต่อการผสมติด น้ำเชื้อโคนิยมทำการจัดเก็บน้ำเชื้อโคในรูปแบบแช่แข็ง (frozen semen) โดยเก็บที่อุณหภูมิ -196 องศาเซลเซียส ในไนโตรเจนเหลว กระบวนการผลิตน้ำเชื้อแช่แข็งมีขั้นตอนการลดอุณหภูมิอย่างรวดเร็ว จนทำให้เกิดความเสียหายต่อตัวอสุจิ ดังนั้นจึงต้องมีการใช้สารปกป้องการทำอันตรายตัวอสุจิจากการแช่แข็ง (cryoprotectants) เพื่อช่วยป้องกันความเสียหายนี้ ซึ่งสาร cryoprotectants ที่นิยมใช้กันอย่างแพร่หลาย คือ การใช้ไข่แดงร่วมกับกลีเซอรอล (egg yolk tris glycerol, egg yolk citrate glycerol) ซึ่งในส่วนประกอบของสารละลายน้ำเชื้อโคแช่แข็ง ไข่แดงมีความสำคัญในการป้องกันเซลล์อสุจิ เพราะไข่แดงมีส่วนประกอบของ

phospholipid และ cholesterol ซึ่งมีบทบาทสำคัญในการป้องกันเซลล์อสุจิจากการเกิดปฏิกิริยา cold shock (Mukul et al., 2015; Singh et al., 2015) อีกทั้งไข่แดงยังมีองค์ประกอบของสารในกลุ่ม low-density lipoprotein (LDL) ที่สามารถป้องกันเยื่อหุ้มเซลล์อสุจิจากการเกิดความเสียหายในกระบวนการเก็บรักษาน้ำเชื้อได้ (Manjunath et al., 2002) ความสำคัญในการเก็บรักษาคุณภาพน้ำเชื้อก็เพื่อรักษาน้ำเชื้อให้มีคุณภาพดีในระยะเวลาที่ยาวนาน ทำให้เพิ่มประสิทธิภาพในการผสมเทียมให้มีอัตราการผสมติดที่เพิ่มขึ้น แต่จากการใช้ไข่แดงสด (fresh egg yolk) มีข้อจำกัดคือ อาจไม่พบ LDL ในส่วนประกอบของไข่แดง หรือมีอยู่ในปริมาณที่ต่ำ ซึ่งอาจส่งผลต่อความเสียหายต่อตัวอสุจิของโคในระหว่างลดอุณหภูมิในการแช่แข็งน้ำเชื้อ (Amirat et al., 2005) การแยกไข่แดงจากไข่ไก่ ไข่เป็ดเพื่อใช้ในการทำสารละลายเจือจางน้ำเชื้อ ต้องมีการแยกส่วนที่เป็นพิษต่อตัวอสุจิออก โดยการแยกเปลือกนอก (outer shell) และเยื่อหุ้มชั้นใน (inner membrane) เพื่อแยกไข่แดงออกจาก albumin และ chalazae (Ansari et al., 2010) อีกทั้งไข่แดงสดที่ใช้ในสารละลาย

*Corresponding author

E-mail address: sutisa.ma@ku.th (S. Majarune)

Online print: 27 June 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.2024.28>

เจี๊จางน้ำเชื้อแช่แข็งอาจมีความเสี่ยงที่อาจเกิดการปนเปื้อนจุลินทรีย์ ซึ่งอาจส่งผลเสียต่อความสามารถในการปฏิสนธิ และการติดเชื้อมากจากการผสมเทียม (Bousseau et al., 1998) จากเหตุผลดังกล่าวจึงได้มีการศึกษาการใช้สารทดแทนไข่แดง เช่น การใช้ lecithin จากถั่วเหลืองในสารละลายน้ำเชื้อโคแช่แข็ง พบว่าสามารถใช้ lecithin ในสูตรสารละลายเพื่อทดแทนไข่แดงได้ แต่ไม่สามารถช่วยปรับปรุงคุณภาพน้ำเชื้อแช่แข็งให้มีคุณภาพหลังทำการละลายได้ดีกว่าสารละลายน้ำเชื้อที่มีส่วนผสมของไข่แดง (Forouzanfar et al., 2010; Papa et al., 2011) แต่อย่างไรก็ตามหากไข่แดงได้ผ่านการกระบวนการฆ่าเชื้อและควบคุมคุณภาพในด้านองค์ประกอบที่สำคัญของไข่แดง อาจแก้ปัญหาคุณภาพที่ไม่สม่ำเสมอและการปนเปื้อนเชื้อจุลินทรีย์จากไข่แดงสดได้ ซึ่งในกระบวนการผลิตไข่แดงผงจากไข่ไก่ (egg yolk powder) ได้มีการฆ่าเชื้อด้วย sterilization และ pasteurization รวมทั้งมีการ homogenization ทำให้ไข่แดงผงที่ได้มีความสม่ำเสมอในด้านองค์ประกอบ ทราบองค์ประกอบที่สำคัญ และปราศจากเชื้อ (Wei et al., 2019) จากการศึกษาครั้งนี้โดย García et al. (2017) ทำการศึกษาการใช้ไข่แดงผงจากไข่ไก่ที่ระดับ 15 เปอร์เซ็นต์ ในสารละลายสูตร tris (hydroxymethyl-aminoethane)-citric acid-glucose ซึ่งมี glycerol 5 เปอร์เซ็นต์ ส่งผลให้คุณภาพน้ำเชื้อแพะหลังทำการละลายมีคุณภาพดีขึ้น ดังนั้นในการศึกษาในครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อเปรียบเทียบคุณภาพของน้ำเชื้อโคที่ผ่านการแช่แข็งโดยใช้สารละลายเจี๊จางน้ำเชื้อ egg yolk tris glycerol ที่มีส่วนผสมของไข่แดงสดและไข่แดงผง

อุปกรณ์และวิธีการวิจัย

สัตว์ทดลอง

การทดลองใช้พ่อพันธุ์โคกำแพงแสน อายุเฉลี่ย 2-5 ปี จำนวน 4 ตัว โดยรีดน้ำเชื้อจากพ่อพันธุ์แต่ละตัวและทำการแบ่งน้ำเชื้อออกเป็น 3 ส่วนเท่า ๆ กัน เพื่อเติมสารละลายน้ำเชื้อที่แตกต่างกันทั้ง 3 ชนิด ทำการรีดน้ำเชื้อพ่อพันธุ์ทั้งหมด 4 ครั้ง แต่ละครั้งห่างกัน 1 สัปดาห์ เพื่อทำการเก็บรักษาน้ำเชื้อแบบแช่แข็ง โดยกลุ่มการทดลองมีทั้งหมด 3 กลุ่ม ตามสูตรสารละลายน้ำเชื้อ ดังนี้

กลุ่มที่ 1 สารละลายน้ำเชื้อ egg yolk tris glycerol ที่มีไข่แดงสดจากไข่ไก่ 20 เปอร์เซ็นต์ ในสูตร (EG)

กลุ่มที่ 2 สารละลายน้ำเชื้อ egg yolk tris glycerol ที่มีไข่แดงผงจากไข่ไก่ 10 เปอร์เซ็นต์ (10EP)

กลุ่มที่ 3 สารละลายน้ำเชื้อ egg yolk tris glycerol ที่มีไข่แดงผงจากไข่ไก่ 15 เปอร์เซ็นต์ (15EP)

การทดลองนี้ได้รับอนุญาตใช้สัตว์เพื่องานทางวิทยาศาสตร์ ตามเอกสารอนุญาตเลขที่ ACKU65-AGK-022

การเตรียมสารละลายน้ำเชื้อ

การเตรียมสารละลาย fructose-tris-glycerol และอัตราส่วนไข่แดงในสารละลายน้ำเชื้อแช่แข็ง egg yolk tris glycerol ซึ่งมีส่วนผสมของสารเคมี สารละลาย และไข่แดง ดังแสดงใน Table 1

การเตรียมไข่แดงสดจากไข่ไก่ ทำได้โดยนำไข่ไก่มาเช็ดทำ

ความสะอาดบริเวณเปลือกไข่ด้วยเอทิลแอลกอฮอล์ 75 เปอร์เซ็นต์ จากนั้นทำการแยกไข่แดงออกจากไข่ขาว นำส่วนของไข่แดงวางบนกระดาษกรองเบอร์ 3 ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 125 มิลลิเมตร (filter papers 3, Whatman™) เพื่อซับไข่ขาวที่ติดกับไข่แดงออกจนหมด จากนั้นแยกเยื่อหุ้มไข่แดงออกและนำส่วนของไข่แดงใส่ปิเก็ตเจอร์เพื่อนำไปผสมกับสารละลาย fructose-tris-glycerol ในอัตราส่วนไข่แดง 20 เปอร์เซ็นต์

การเตรียมไข่แดงผง ใช้ไข่แดงผงสำเร็จรูปที่ผลิตจากไข่ไก่ (Himedia®, Himedia Laboratories Pvt. Ltd., India) เกรดคุณภาพสำหรับใช้ในห้องปฏิบัติการ ผ่านขบวนการ pasteurized spray dried โดยมีโปรตีนเป็นส่วนประกอบ ≥ 30 เปอร์เซ็นต์ และมีไขมันเป็นส่วนประกอบ ≥ 57 เปอร์เซ็นต์ นำไข่แดงผงผสมกับน้ำที่ผ่านการ sterile (sterile water) ในอัตราส่วน 1:1 เพื่อนำไปผสมกับสารละลาย fructose-tris-glycerol ในอัตราส่วนไข่แดงผง 10 และ 15 เปอร์เซ็นต์

การทำน้ำเชื้อแช่แข็ง (frozen semen)

เก็บตัวอย่างน้ำเชื้อจากพ่อพันธุ์โคกำแพงแสน เพื่อศึกษาการใช้สารละลายน้ำเชื้อแช่แข็งที่มีไข่แดงสด และไข่แดงผงเป็นส่วนประกอบ โดยคุณภาพน้ำเชื้อที่สามารถใช้ทำน้ำเชื้อแช่แข็งได้ในการศึกษานี้ น้ำเชื้อสดต้องมีลักษณะเป็นสีครีม หรือขาวขุ่น ปราศจากสิ่งปนเปื้อน มีปริมาณตัวอสุจิมากกว่า 800 ล้านตัวต่อมิลลิลิตร มีเปอร์เซ็นต์การเคลื่อนที่มากกว่า 70 เปอร์เซ็นต์ และมีตัวอสุจิที่มีลักษณะปกติมากกว่า 80 เปอร์เซ็นต์ จากนั้นคำนวณเพื่อเจี๊จางให้ตัวอสุจิมีความเข้มข้น 120×10^6 ตัว/มิลลิลิตร โดยแบ่งน้ำเชื้อเป็น 3 ส่วน เพื่อเจี๊จางตามสูตรของสารละลายที่ใช้ทำการศึกษานี้

นำน้ำเชื้อที่เติมสารละลายทั้ง 3 สูตรตามกลุ่มทดลอง มาทำให้เย็นตัวลงโดยการเก็บไว้ในตู้ทำความเย็น (cold cabinet) เพื่อทำให้อุณหภูมิลดลงจาก 37 องศาเซลเซียส จนกระทั่งอุณหภูมิลดลงมาอยู่ที่ 4 องศาเซลเซียส ซึ่งใช้เวลาประมาณ 3-4 ชั่วโมง จากนั้นทำการเตรียมหลอดบรรจุน้ำเชื้อขนาด 0.25 มิลลิลิตร (French straw) ทำการพิมพ์ข้อมูลบนหลอดน้ำเชื้อเพื่อระบุสูตรสารละลายน้ำเชื้อชื่อพ่อโค หมายเลข และวันเดือนปีที่ทำการผลิต จากนั้นนำมาเรียงไว้เป็นชุดที่ถาดวางหลอดบรรจุน้ำเชื้อ (clamp) จากนั้นนำไปเก็บในตู้ทำความเย็นเช่นเดียวกับน้ำเชื้อที่เติมสารละลายเจี๊จางน้ำเชื้อแล้ว เพื่อให้อุณหภูมิของหลอดกับน้ำเชื้อที่เตรียมไว้นั้นเท่ากัน หลังจากทิ้งที่ครบ 4 ชั่วโมงโดยนับตั้งแต่การเติมสารละลายเจี๊จางน้ำเชื้อ เพื่อให้สารละลายทำงานจนสมบูรณ์ (equilibration time) จึงทำการบรรจุใส่หลอดด้วยเครื่องดูด (suction pump) โดยทำการดูดน้ำเชื้อเข้าไปจนถึงส่วนกลางของจุดปิดผนึก (sealing) ที่ทำหน้าที่เป็นจุดปิดไม่ให้น้ำเชื้อไหล ทำการผนึกหลอดโดยเครื่อง ultrasonic sealing machine แล้วจึงนำหลอดน้ำเชื้อที่ถูกบรรจุแล้วมาเรียงไว้บนชั้นสำหรับเรียงหลอดน้ำเชื้อ (rack) ซึ่งหลอดน้ำเชื้อแต่ละหลอดจะแยกออกจากกัน ทำให้เมื่อนำไปแช่แข็งในโอของ

ไนโตรเจนเหลว จะทำให้ทุกด้านของหลอดได้รับความเย็นที่ทั่วถึงเท่ากันหมด จากนั้นจึงนำน้ำเชื้อที่อยู่บนชั้นสำหรับเรียงหลอดน้ำเชื้อ (rack) ไปวางบนกล่องลดอุณหภูมิด้วยไอไนโตรเจนเหลวจนหลอดน้ำเชื้อมีอุณหภูมิ -120 องศาเซลเซียส จึงนำหลอดน้ำเชื้อนั้นลงไปแช่ไว้ในไนโตรเจนเหลว (liquid nitrogen) ที่อุณหภูมิ -196 องศาเซลเซียส เพื่อรอการตรวจประเมินคุณภาพหลังแช่แข็งต่อไป

การเก็บข้อมูลและการวิเคราะห์ผล

โดยจะนำเอาข้อมูลคุณภาพน้ำเชื้อมาวิเคราะห์หาความแตกต่างทางสถิติของผลของการใช้สารละลายน้ำเชื้อที่ต่างกันต่อคุณภาพน้ำเชื้อหลังการแช่แข็งนาน 24 ชั่วโมง เพื่อทำการศึกษาระยะเปรียบเทียบคุณภาพน้ำเชื้อแช่แข็งโดยเครื่อง CASA (Computer Assisted Sperm Analyzer; HTCasa II Motility Analyzer version, Hamilton-Thorne, Biosciences, MA, USA) ตามคู่มือคำแนะนำการใช้งานของเครื่อง เพื่อนำผลมาเปรียบเทียบคุณภาพของสารเจือจาง ในด้านเปอร์เซ็นต์การเคลื่อนไหว (motility) เปอร์เซ็นต์การเคลื่อนที่ไปข้างหน้า (progressive) ความเร็ว (velocity) รูปแบบในการเคลื่อนที่ของตัวอสุจิ (kinetic movement) และความผิดปกติของอสุจิที่บริเวณส่วนหาง (sperm abnormality)

การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ

วิเคราะห์ข้อมูลโดยวางแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ (Completely Randomized Design, CRD) วิเคราะห์ความแปรปรวน (analysis of variance) และเปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างค่าเฉลี่ยของสูตรสารละลายน้ำเชื้อโดยวิธี Duncan's New Multiple Range Test ด้วยโปรแกรมสำเร็จรูปทางสถิติ SAS OnDemand for Academics: SAS Studio (Student Edition)

ผลและวิจารณ์ผลการวิจัย

ผลของไข่แดงในสารละลายเจือจางน้ำเชื้อต่อเปอร์เซ็นต์การเคลื่อนที่ของตัวอสุจิ (Motility) และการเคลื่อนที่ไปข้างหน้าของตัวอสุจิ (progressive) ของน้ำเชื้อโคหลังทำละลาย

จากการศึกษาสารละลายน้ำเชื้อ egg yolk tris glycerol ที่มีส่วนประกอบของไข่แดง ต่อการเคลื่อนที่ของน้ำเชื้อโคแช่แข็งหลังทำละลาย พบว่า เปอร์เซ็นต์การเคลื่อนที่ของตัวอสุจิ ของน้ำเชื้อโคแช่แข็งทั้ง 3 กลุ่ม ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($P=0.16$) การศึกษาในด้านเปอร์เซ็นต์การเคลื่อนที่ไปข้างหน้าของตัวอสุจิของน้ำเชื้อโคแช่แข็งหลังทำละลาย พบว่า เปอร์เซ็นต์การเคลื่อนที่ไปข้างหน้าของตัวอสุจิ กลุ่มที่มีส่วนประกอบของไข่แดงสด EG มีค่าสูงกว่ากลุ่มไข่แดงผง 10EP และ 15EP อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.01$) โดยน้ำเชื้อโคแช่แข็งกลุ่ม EG 10EP และ 15EP มีเปอร์เซ็นต์การเคลื่อนที่ไปข้างหน้าของตัวอสุจิหลังทำละลาย เท่ากับ 9.47 4.48 และ 4.36 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ (Table 2)

ผลของไข่แดงในสารละลายเจือจางน้ำเชื้อต่อความเร็ว (velocity) รูปแบบในการเคลื่อนที่ของตัวอสุจิ (kinetic movement) ของน้ำเชื้อโคหลังทำละลาย

จากการศึกษาสารละลายน้ำเชื้อ egg yolk tris glycerol ที่มีส่วนประกอบของไข่แดง ต่อความเร็วและรูปแบบการเคลื่อนที่ของ

ตัวอสุจิโคแช่แข็งหลังทำละลาย พบว่าความเร็วในการเคลื่อนที่ของตัวอสุจิ ในด้านความเร็วเฉลี่ยในการเคลื่อนที่ของตัวอสุจิ (VAP) ความเร็วในการเคลื่อนที่เป็นเส้นตรงของตัวอสุจิ (VSL) และความเร็วในการเคลื่อนที่เป็นเส้นโค้งของตัวอสุจิ (VCL) ของกลุ่ม EG มากกว่ากลุ่มไข่แดงผง 10EP และ 15EP อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.01$) แต่เมื่อประเมินในด้านรูปแบบการเคลื่อนที่ของตัวอสุจิหลังทำละลาย ไม่พบความแตกต่างทางสถิติของสารละลายน้ำเชื้อต่อเปอร์เซ็นต์ของการเคลื่อนที่เป็นเส้นตรงของอสุจิ (LIN, $P=0.89$) และความตรงในการเคลื่อนที่ของตัวอสุจิ (STR, $P=0.56$) ดังแสดงใน Table 3

ผลของไข่แดงในสารละลายเจือจางน้ำเชื้อต่อตัวอสุจิที่ผิดปกติ (sperm abnormality) ของน้ำเชื้อโคหลังทำละลาย

จากการศึกษาสารละลายน้ำเชื้อ egg yolk tris glycerol ที่มีส่วนประกอบของไข่แดงต่อตัวอสุจิที่ผิดปกติบริเวณส่วนหาง พบว่า ในด้านเปอร์เซ็นต์ตัวอสุจิหางงอ (bent tail) และหางม้วน (coiled tail) ของกลุ่มสารละลายน้ำเชื้อไข่แดงผง 10EP และ 15EP มีเปอร์เซ็นต์สูงกว่ากลุ่ม EG อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.01$) ซึ่งทำให้เปอร์เซ็นต์ตัวอสุจิที่ปกติในกลุ่ม 10EP และ 15EP มีค่าต่ำกว่ากลุ่ม EG อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.01$) ในด้านเปอร์เซ็นต์ตัวอสุจิที่มีหยดน้ำที่ส่วนหาง (Distal droplet) ในกลุ่ม 10EP พบความผิดปกติสูงสุด ($P<0.01$) จากการประเมินในด้านเปอร์เซ็นต์ตัวอสุจิที่มีลำตัวคด (DMR) และเปอร์เซ็นต์ตัวอสุจิที่มีหยดน้ำที่ส่วนคอ (Proximal droplet) ไม่พบความแตกต่างทางสถิติของสารละลายน้ำเชื้อต่อ DMR ($P=0.08$) และเปอร์เซ็นต์ตัวอสุจิที่มีหยดน้ำที่ส่วนคอ ($P=0.14$) ดังแสดงใน Table 4

ในส่วนประกอบของสารละลายน้ำเชื้อโคแช่แข็ง ไข่แดงมีความสำคัญในการป้องกันเซลล์อสุจิ ไข่แดงมีส่วนประกอบของ phospholipid และ cholesterol ซึ่งมีบทบาทสำคัญในการป้องกันเซลล์อสุจิจากการเกิดปฏิกิริยา cold shock (Mukul et al., 2015; Bergeron & Manjunath, 2006) อีกทั้งไข่แดงยังมีองค์ประกอบของสารในกลุ่ม LDL ที่สามารถป้องกันเยื่อหุ้มเซลล์อสุจิจากการเกิดความเสียหายในกระบวนการเก็บรักษาน้ำเชื้อได้ (Manjunath et al., 2002) จากการศึกษาผลของการใช้สารละลายเจือจางน้ำเชื้อโคแช่แข็ง egg yolk tris glycerol ที่มีไข่แดงเป็นส่วนประกอบ หลังทำการแช่แข็งที่ 24 ชั่วโมง ต่อการเคลื่อนที่ของน้ำเชื้อหลังทำละลายในครั้งนี้ แสดงให้เห็นว่าสารละลายน้ำเชื้อที่มีไข่แดงสดมีเปอร์เซ็นต์การเคลื่อนที่ไปข้างหน้าของตัวอสุจิ ความเร็วในการเคลื่อนที่ของตัวอสุจิ ดีกว่าสารละลายน้ำเชื้อที่มีไข่แดงผงเป็นส่วนประกอบ ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาในก่อนหน้านี้ โดย Kumar et al. (2022) ซึ่งทำการศึกษการใช้ไข่แดงผงที่ระดับ 2.5 5.0 และ 7.5 เปอร์เซ็นต์ ในสารละลายน้ำเชื้อ egg yolk tris glycerol ต่อคุณภาพน้ำเชื้อ โค Hariana แช่แข็ง จากการศึกษาพบว่าระดับของไข่แดงผงที่สูงขึ้นมากกว่า 5.0 เปอร์เซ็นต์ ส่งผลให้คุณภาพน้ำเชื้อโคหลังทำละลายมีคุณภาพที่แย่ลง แต่จากการศึกษาพบว่าการใช้ไข่แดงผงที่ 5.0 เปอร์เซ็นต์ ส่งผลช่วยปรับปรุงคุณภาพน้ำเชื้อหลังการแช่แข็งในด้านเปอร์เซ็นต์การเคลื่อนไหว การมีชีวิต และความสมบูรณ์ของ acrosome เมื่อเทียบกับสารละลายที่ใช้ไข่แดงสด และไข่แดงผงระดับ 2.5 และ 7.5 เปอร์เซ็นต์ จากการศึกษาในครั้งนี้สารละลายเจือจางน้ำเชื้อมีไข่แดงผง 10 และ 15 เปอร์เซ็นต์ เป็นส่วนประกอบที่มากเกินไป จึงอาจส่งผล

ในทางลบต่อคุณภาพของน้ำเชื้อโคในกระบวนการลดอุณหภูมิและทำละลายหลังการแช่แข็ง เพราะความสำคัญของไข่แดงในสารละลายน้ำเชื้อแช่แข็งช่วยป้องกันการถูกทำลายของผนังเยื่อหุ้มเซลล์ (coating of the cell membrane) ในระหว่างกระบวนการแช่แข็ง (Rakha et al., 2018) ช่วยฟื้นฟูพลาสมาเมมเบรนที่เสียหาย และเพิ่มความทนทานต่อกระบวนการแช่แข็ง (Aires et al., 2003; Moussa et al., 2002) การใช้ไข่แดงผงในระดับที่เหมาะสมในสารละลายน้ำเชื้อแช่แข็งส่งผลดีต่อกระบวนการปฏิสนธิ การศึกษาในครั้งนี้ใช้ไข่แดงผงที่ระดับ 10 และ 15 เปอร์เซ็นต์ เนื่องจากการศึกษาก่อนหน้านี้ของ García et al. (2017) ได้ใช้ไข่แดงผงที่ระดับ 15 เปอร์เซ็นต์ ในสารละลายสูตร Tris (hydroxymethyl-aminoethane)-citric acid-glucose ซึ่งมี glycerol 5 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งส่งผลให้คุณภาพน้ำเชื้อแพะหลังทำละลายมีคุณภาพดี แต่ในการศึกษาในครั้งนี้ใช้สารละลายเจือจางน้ำเชื้อ Tris (hydroxymethyl-aminoethane)-citric acid-fructose (TCF) ซึ่งมี glycerol 8 เปอร์เซ็นต์ จากความแตกต่างทั้ง species ชนิดน้ำตาล และระดับของ glycerol จึงอาจทำให้ผลลัพธ์ที่แตกต่างกัน ซึ่งโดยทั่วไปสารละลายน้ำเชื้อแช่แข็งที่มีส่วนประกอบของไข่แดงสด ที่ 20 เปอร์เซ็นต์ในสูตร สามารถช่วยปรับปรุงคุณภาพน้ำเชื้อแช่แข็งหลังทำละลายให้ดีขึ้นในโค (Tarig et al., 2017) และไก่ (Mehdipour et al., 2018) แต่การใช้ไข่แดงผงนั้นไม่สามารถใช้ในระดับที่ 20 เปอร์เซ็นต์ในสูตรสารละลายน้ำเชื้อแช่แข็งได้ จากการศึกษาในครั้งนี้ การใช้ไข่แดงผงมีข้อจำกัดในด้านการละลายของเม็ดไข่แดง ซึ่งถ้าหากใช้เยอะเกินไปอาจมีผลรบกวนการประเมินคุณภาพน้ำเชื้อด้วยเครื่อง CASA ที่อาจจับเม็ดไข่แดงเป็นหัวตัวสุจิที่ไม่เคลื่อนที่ และมีรูปร่างที่ผิดปกติ และจากการศึกษาแสดงให้เห็นว่าการใช้ไข่แดงผงในระดับ 15 เปอร์เซ็นต์ ส่งผลให้คุณภาพน้ำเชื้อโคแช่แข็งหลังทำละลายมีคุณภาพแย่ลง อย่างไรก็ตาม อาจต้องมีการศึกษาการใช้ระดับของไข่แดงผงในสัดส่วนที่ลดลง ในสารละลายเจือจางน้ำเชื้อ egg yolk tris glycerol ต่อไป รวมทั้งการทำให้ไข่แดงผงละลายและปลดปล่อยสารสำคัญออกมาช่วยในการปกป้องตัวสุจิจากกระบวนการลดอุณหภูมิ และทำละลายหลังจากการแช่แข็งต่อไป เพราะการศึกษานี้มีข้อจำกัดของ

ผงไข่แดงในสารละลายน้ำเชื้ออาจเป็นอุปสรรคหนึ่งในการวิเคราะห์คุณภาพน้ำเชื้อโดยใช้เครื่อง CASA เนื่องจากเซนเซอร์ของเครื่องอาจตรวจจับอนุภาคผงไข่แดงเป็นส่วนหัวของตัวสุจิที่ไม่เคลื่อนที่ ดังนั้นควรศึกษาวิธีทำให้ผงไข่แดงละลายอย่างสมบูรณ์ โดยการใช้การความร้อนที่เหมาะสม เพื่อช่วยให้ไข่แดงผงเกิดการละลายโดยสมบูรณ์ แต่ต้องไม่ทำให้โปรตีนหรือสารสำคัญอื่น ๆ ของไข่แดงเกิดการเสียสภาพจากความร้อน

สรุปผลการวิจัย

จากการศึกษาคุณภาพน้ำเชื้อโคแช่แข็งที่สารละลาย egg yolk tris glycerol ที่มีส่วนประกอบของไข่แดงสด 20 เปอร์เซ็นต์ และน้ำเชื้อโคแช่แข็งที่สารละลายที่มีส่วนประกอบของไข่แดงผง 10 และ 15 เปอร์เซ็นต์ แสดงให้เห็นว่าการใช้สารละลายที่มีส่วนประกอบของไข่แดงสดที่ 20 เปอร์เซ็นต์ มีเปอร์เซ็นต์การเคลื่อนไหว การเคลื่อนที่ไปข้างหน้า และในด้านความเร็วในการเคลื่อนที่ของตัวสุจิ ทั้งค่า VAP VSL และ VCL ที่ดีกว่าสารละลาย egg yolk tris glycerol ที่มีส่วนประกอบของไข่แดงผงที่ 10 และ 15 เปอร์เซ็นต์ จากการประเมินในด้านความผิดปกติที่ส่วนหาง แสดงให้เห็นว่าการใช้สารละลายที่มีส่วนประกอบของไข่แดงผงที่ 10 และ 15 เปอร์เซ็นต์ มีตัวสุจิที่มีความผิดปกติที่ส่วนหางที่มากกว่าสารละลาย egg yolk tris glycerol ที่มีส่วนประกอบของไข่แดงสด 20 เปอร์เซ็นต์ ดังนั้น การใช้ไข่แดงผงที่ระดับ 10 และ 15 เปอร์เซ็นต์ในสารละลายน้ำเชื้อแช่แข็ง egg yolk tris glycerol ไม่ส่งผลต่อการปรับปรุงคุณภาพน้ำเชื้อโคแช่แข็ง

กิตติกรรมประกาศ

ฟาร์มโคเนื้อและกระบือ ภาควิชาสัตวบาล คณะเกษตร กำแพงแสน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน ที่ให้ความอนุเคราะห์สถานที่ ตัวสัตว์ทดลอง และบุคลากร ซึ่งเป็นผลให้การศึกษาครั้งนี้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

Table 1 Chemical and egg yolk compositions in cryoprotectants for frozen semen extenders

Compositions	EG	10EP	15EP
Portion 1 (fructose-tris-glycerol extender)			
Tris (hydroxymethyl) aminomethane, g	3.028	3.028	3.028
Citric acid monohydrate, g	1.700	1.700	1.700
Fructose, g	1.250	1.250	1.250
Sterile water, ml (up to)	92	92	92
Glycerol, ml	8	8	8
Portion 2 (egg yolk)			
Fresh egg yolk, ml	20	-	-
Diluted egg yolk powder, ml	-	10	15
Dilution ratio			
Fructose-tris-glycerol extender, ml	80	90	85
Egg yolk, ml	20	10	15

Table 2 Effect of egg yolk powder on the motility and progressive movement of post thawed cryopreserved bull semen

Parameters	Bull semen extender ¹			SEM ²	P-value
	EG	10EP	15EP		
Motility (%)	32.15	26.86	26.60	1.36	0.16
Progressive ^{**} (%)	9.47 ^A	4.48 ^B	4.36 ^B	0.62	<0.01

¹/Bull semen extender based egg yolk-tris-glycerol with fresh egg yolk 20 % (EG); egg yolk powder 10 % (10EP) and egg yolk powder 15 % (15EP), ²/standard error of mean, ^{**} ^{A, B} superscripts indicate bull semen extender differences (P<0.01).

Table 3 Effect of egg yolk powder on velocity and kinetic movement of post thawed cryopreserved bull semen

		Bull semen extender ¹				
	Parameters ³	EG	10EP	15EP	SEM ²	P-value
Velocity						
	VAP** (µm/s)	79.78 ^A	56.94 ^B	63.04 ^B	2.82	<0.01
	VSL** (µm/s)	56.25 ^A	37.92 ^B	42.89 ^B	1.92	<0.01
	VCL** (µm/s)	165.13 ^A	113.31 ^B	123.26 ^B	6.37	<0.01
Kinetic movement						
	LIN (%)	37.41	38.73	37.51	1.19	0.89
	STR (%)	71.17	69.07	68.56	1.03	0.56

¹/Bull semen extender based egg yolk-tris-glycerol with fresh egg yolk 20 % (EG); egg yolk powder 10 % (10EP) and egg yolk powder 15 % (15EP), ²/standard error of mean, ³/VAP: average path velocity; VSL: straight liner velocity; VCL: curvilinear velocity; LIN: linearly motile spermatozoa; STR: straightness, ^{**} ^{A, B} superscripts indicate bull semen extender differences (P<0.01).

Table 4 Effect of egg yolk powder on sperm abnormality of post thawed cryopreserved bull semen

Parameters	Bull semen extender ¹			SEM ²	P-value
	EG	10EP	15EP		
Normal ^{**} (%)	63.34 ^A	50.70 ^B	47.99 ^B	2.17	<0.01
Bent tail ^{**} (%)	18.12 ^B	36.53 ^A	35.03 ^A	2.06	<0.01
Coiled tail ^{**} (%)	2.65 ^B	5.88 ^A	6.44 ^A	0.45	<0.01
DMR ³ (%)	2.08	2.41	2.78	0.13	0.08
Distal droplet ^{**} (%)	8.32 ^B	11.64 ^A	9.74 ^B	0.44	<0.01
Proximal droplet (%)	12.16	10.48	8.77	0.71	0.14

¹/Bull semen extender based egg yolk-tris-glycerol with fresh egg yolk 20 % (EG); egg yolk powder 10 % (10EP) and egg yolk powder 15 % (15EP), ²/standard error of mean, ³/distal midpiece reflex, ^{**} ^{A, B} superscripts indicate bull semen extender differences (P<0.01).

References

- Aires, V. A., Hinsch, K. D., Mueller-Schloesser, F., Bogner, K., Mueller-Schloesser, S., & Hinsch, E. (2003). In vitro and in vivo comparison of egg yolk-based and soybean lecithin-based extenders for cryopreservation of bovine semen. *Theriogenology*, 60(2), 269-279. doi: 10.1016/S0093-691X(02)01369-9
- Amirat, L., Anton, M., Tainturier, D., Chatagnon, G., Battut, I., & Courtens, J. L. (2005). Modifications of bull spermatozoa induced by three extenders: Biociphos, low density lipoprotein and Triladyl, before, during and after freezing and thawing. *Reproduction*, 129(4), 535-543. doi: 10.1530/rep.1.00011
- Ansari, M. S., Rakha, B. A., Andrabi, S. M. H., & Akhter, S. (2010). Usefulness of powdered and fresh egg yolk for cryopreservation of Zebu bull spermatozoa. *Reproductive Biology*, 10(3), 235-240. doi: 10.1016/S1642-431X(12)60043-6
- Bergeron, A., & Manjunath, P. (2006). New insights towards understanding the mechanisms of sperm protection by egg yolk and milk. *Molecular Reproduction and Development*, 73(10), 1338-1344. doi: 10.1002/mrd.20565
- Bousseau, S., Brillard, J. P., Guienne, B. M. L., Guerin, B., Camus, A., & Lechat, M. (1998). Comparison of bacteriological qualities of various egg yolk sources and the *in vitro* and *in vivo* fertilizing potential of bovine semen frozen in egg yolk or lecithin based diluents. *Theriogenology*, 50(5), 699-706. doi: 10.1016/S0093-691X(98)00175-7
- Forouzanfar, M., Sharafi, M., Hosseini, S. M., Ostadhosseini, S., Hajian, M., Hosseini, L., Abedi, P., Nili, N., Rahmani, H. R., & Nasr-Esfahani, M. H. (2010). *In vitro* comparison of egg yolk-based and soybean lecithin-based extenders for

- cryopreservation of ram semen. *Theriogenology*, 73(4), 480-487. doi: 10.1016/j.theriogenology.2009.10.005
- García, W., Tabarez, A., & Palomo, M. J. (2017). Effect of the type of egg yolk, removal of seminal plasma and donor age on ram sperm cryopreservation. *Animal Reproduction*, 14(4), 1124-1132. doi: 10.21451/1984-3143-AR916
- Kumar, A., Kumar, A., Sachan, V., Agrawal, J. K., & Saxena, A. (2022). Effect of egg yolk powder on seminal attributes during cryopreservation of Haryana bull semen. *Veterinary Clinical Science*, 7(4), 50-52.
- Manjunath, P., Nauc, V., Bergeron, A., & Menard, M. (2002). Major proteins of bovine seminal plasma bind to the low-density lipoprotein fraction of hen's egg yolk. *Biology of Reproduction*, 67(4), 1250-1258. doi: 10.1095/biolreprod67.4.1250
- Mehdipour, M., Kia, H. D., Moghaddam, G., & Hamishehkar, H. (2018). Effect of egg yolk plasma and soybean lecithin on rooster frozen-thawed sperm quality and fertility. *Theriogenology*, 116, 89-94. doi: 10.1016/j.theriogenology.2018.05.013
- Moussa, M., Martinet, V., Trimeche, A., Tainturier, D., & Anton, M. (2002). Low density lipoproteins extracted from hen egg yolk by an easy method: cryoprotective effect on frozen-thawed bull semen. *Theriogenology*, 57(6), 1695-1706. doi: 10.1016/S0093-691X(02)00682-9
- Mukul, A., Sarvajeet, Y., Shalini, V., & Shukla, P. K. (2015). Low density lipoprotein (LDL) as cryoprotectant in semen extender: A new approach. *The Asian Journal of Animal Science*, 10, 206-214.
- Papa, F. O., Felício, G. B., Melo-Oña, C. M., Alvarenga, M. A., De Vita, B., Trínque, C., Puoli-Filho, J. N., & Dell'Aqua Jr, J. A. (2011). Replacing egg yolk with soybean lecithin in the cryopreservation of stallion semen. *Animal Reproductive Science*, 129(1-2), 73-77. doi: 10.1016/j.anireprosci.2011.10.006
- Rakha, B. A., Ansari, M. S., Akhter, S., Santiago-Moreno, J., & Blesbois, E. (2018). Cryoprotectant effects of egg yolk on Indian red jungle fowl (*Gallus gallus murghi*) sperm. *Theriogenology*, 119, 150-155. doi: 10.1016/j.theriogenology.2018.06.015
- Singh, M., Barik, N. C., Ghosh, S. K., Prasad, J. K., Rajoria, J. S., Soni, Y. K., Kumar, A., Chaudhary, J. K., & Srivastava, N. (2015). Egg yolk powders an alternative to fresh-egg yolk for buffalo semen cryopreservation. *The Indian Journal of Animal Sciences*, 85(1), 40-42. doi: 10.56093/ijans.v85i1.46163
- Tarig, A. A., Wahid, H., Rosnina, Y., Yimer, N., Goh, Y. M., Baiee, F. H., Khumran, A. M., Salman, H., & Ebrahimi, M. (2017). Effect of different concentrations of egg yolk and virgin coconut oil in Tris-based extenders on chilled and frozen-thawed bull semen. *Animal Reproduction Science*, 182(3), 21-27. doi: 10.1016/j.anireprosci.2017.03.024
- Wei, L. J., Alkarkhi, A. F. M., & Huda, N. (2019). Physicochemical properties of egg yolk powder from eggs of different types of bird. *International Journal on Advanced Science, Engineering and Information Technology*, 9 (1), 373-378. doi:10.18517/ijaseit.9.1.3046

Research article

Effect of egg yolk powder on the quality and motility characteristics of post thawed cryopreserved bull semen

Wisut Maitreejet¹ Prasertsak Pukdeewong² Thawee Laodim¹ Taweeporn Raungprim¹
Arthit Panyasak¹ Sukanya Rattanatabtimtong¹ and Sutisa Majarune^{1*}

¹ Department of Animal Science, Faculty of Agriculture at Kamphaeng Saen, Kasetsart University, Kamphaeng Saen campus, Kamphaeng Saen district, Nakhon Pathom Province, 73140

² Department of Agricultural Engineering of Kasetsart University at Kamphaeng Saen Campus, Kamphaeng Saen district, Nakhon Pathom Province, 73140

ARTICLE INFO**Article history**

Received: 30 April 2024

Revised: 10 June 2024

Accepted: 11 June 2024

Online published: 27 June 2024

Keyword

egg yolk tris extender

semen extender

bull frozen semen

egg yolk powder

ABSTRACT

This study was carried out to evaluate the quality and motility characteristics of post-thawed cryopreserved bull semen in an extender containing egg-yolk tris glycerol with either fresh egg yolk or egg yolk powder (EP). Bull semen from four bulls was collected four times, once a week, and divided into three portions for three extenders. Group 1: semen was cryopreserved in egg-yolk tris glycerol (ETG) with 20 % fresh egg yolk (FEY); Group 2: semen was cryopreserved in ETG extender containing 10 % egg yolk powder (10EP); Group 3: semen was cryopreserved in ETG extender containing 15 % egg yolk powder (15EP). The diluted semen was filled and sealed into 0.25 ml French straws. Thereafter, the frozen semen straws were placed in liquid nitrogen. Thawed semen samples, after being kept for 24 hours, were analyzed for motility, progressiveness, sperm kinetics, and abnormal sperm using CASA. The results showed that the percentage of progressive motility from ETG was higher than that from 10EP and 15EP (9.47 %, 4.48 %, and 4.36 %, respectively; $P < 0.01$). Average path velocity (VAP), straight line velocity (VSL), and curvilinear velocity (VCL) from ETG were higher than those from 10EP and 15EP ($P < 0.01$). There was no significant difference in motility and abnormal sperm of bull semen cryopreserved in ETG, 10EP, and 15EP ($P > 0.05$). These results indicate that 10 % and 15 % egg yolk powder in egg-yolk tris extender do not improve semen quality, specifically the percentage of progressive motility and velocity, of frozen-thawed bull semen.

*Corresponding author

E-mail address: sutisa.ma@ku.th (S. Majarune)

Online print: 27 June 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.2024.28>



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

บทความวิจัย

การเพิ่มประสิทธิภาพการงอกของเมล็ดพริกหวานด้วยน้ำผ่านสนามแม่เหล็กถาวร

พิราวรรณ วสุนันต์¹ พิระยศ แข็งขัน² ชัชพงศ์ บางใบ³ เอกรินทร์ สาริพัท⁴ และ ปริยดา แข็งขัน^{4*}

¹ สำนักงานเกษตรอำเภอยางตลาด อำเภอยางตลาด จังหวัดกาฬสินธุ์ 46120

² ภาควิชาเทคโนโลยีการเกษตร คณะเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยมหาสารคาม อำเภอกันทรวิชัย จังหวัดมหาสารคาม 44150

³ สาขาวิชาวิทยาศาสตร์และคณิตศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีสุภาพ มหาวิทยาลัยกาฬสินธุ์ อำเภอเมือง จังหวัดกาฬสินธุ์ 46000

⁴ สาขาวิชาเทคโนโลยีการผลิตพืช คณะเทคโนโลยีการเกษตร มหาวิทยาลัยกาฬสินธุ์ อำเภอเมือง จังหวัดกาฬสินธุ์ 46000

ข้อมูลบทความ	บทคัดย่อ
Article history รับ: 18 เมษายน 2567 แก้ไข: 21 พฤษภาคม 2567 ตอบรับการตีพิมพ์: 4 มิถุนายน 2567 ตีพิมพ์ออนไลน์: 28 มิถุนายน 2567	
คำสำคัญ พริกหวาน ความแข็งแรงของเมล็ด การเตรียมความพร้อมเมล็ด ความเข้มข้นแม่เหล็กถาวร	การศึกษานี้มุ่งเน้นการสำรวจผลของสนามแม่เหล็กถาวรและระยะเวลาในการแช่เมล็ดพันธุ์ในน้ำที่ผ่านสนามแม่เหล็กต่อการงอกของเมล็ดและการเจริญเติบโตของต้นกล้าพริกหวานพันธุ์แคลิฟอร์เนีย โดยนำเมล็ดมาแช่ในน้ำที่ผ่านสนามแม่เหล็กถาวร ตามแผนการทดลอง 3X4 Factorial experimental in randomized complete block design ดังนี้ ปัจจัย A ความเข้มข้นแม่เหล็กถาวร 3 ระดับ (0 mT, 25 mT, 50 mT) ปัจจัย B ระยะเวลาในการแช่ผ่านสนามแม่เหล็กถาวร มี 4 ระดับ (0 3 6, 9 ชม.) จากนั้นนำเมล็ดผึ่งให้แห้งและทดสอบความงอกมาตรฐาน ความแข็งแรงและการเจริญเติบโตของต้นกล้า พบว่า ความเข้มข้นแม่เหล็กถาวร 50 mT ช่วยเพิ่มเปอร์เซ็นต์การงอกในห้วงปฏิบัติการ ($P<0.05$) การแช่เมล็ดในน้ำผ่านสนามแม่เหล็กถาวรเป็นเวลา 3 ชม. ช่วยลดเวลาเฉลี่ยในการงอก เพิ่มเปอร์เซ็นต์การงอกและดัชนีการงอกของเมล็ด ($P<0.01$) ปฏิสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นแม่เหล็กถาวรและระยะเวลาในการแช่เมล็ด พบว่า การแช่เมล็ดในน้ำผ่านสนามแม่เหล็กถาวร 25 mT นาน 3 ชม. ช่วยให้เวลาเฉลี่ยในการงอกน้อยที่สุด (8.43 วัน) ในโรงเรือนการแช่เมล็ดในน้ำผ่านสนามแม่เหล็กถาวร 25 mT นาน 6 ชม. ให้เปอร์เซ็นต์การงอกสูงสุด (84 เปอร์เซ็นต์) และดัชนีการงอกเฉลี่ย 3.89 ต้น/วัน ($P<0.05$) การแช่เมล็ดในน้ำผ่านสนามแม่เหล็กถาวร 25 mT นาน 3 ชม. ช่วยให้ความยาวต้นกล้าในสัปดาห์ที่ 1 สูงสุด ส่วนการแช่ในน้ำผ่านสนามแม่เหล็กถาวร 50 mT นาน 6 ชม. เพิ่มปริมาณคลอโรฟิลล์ในใบต้นกล้าในสัปดาห์ที่ 2 สูงสุด (26.85 SPAD unit) ดังนั้นปัจจัยที่เหมาะสมในการเพิ่มคุณภาพการงอกของเมล็ดพริกหวาน คือความเข้มข้นแม่เหล็ก 25 mT และระยะเวลา 6 ชม.

บทนำ

ความงอกและความแข็งแรงของเมล็ดพันธุ์มีความสำคัญมากที่สุดในการบ่งบอกถึงคุณภาพเมล็ดพันธุ์ เนื่องจากปัจจัยทั้งสองนี้เป็นพื้นฐานสำคัญของต้นกล้าที่จะส่งผลให้ได้รับผลผลิตที่ดี ความงอกและความแข็งแรงของเมล็ดพันธุ์เกิดขึ้นสูงสุดเมื่อเมล็ดพันธุ์มีการแก่ทางสรีรวิทยา (physiological maturity) หลังจากระยะนี้ไปแล้วความงอกและความแข็งแรงของเมล็ดพันธุ์จะลดลงจนกระทั่งเมล็ดเสื่อมคุณภาพ ปัจจุบันการทำ seed priming เป็นวิธีการที่ให้ผลดีในการปรับปรุงคุณภาพเมล็ดพันธุ์โดยเฉพาะอย่างยิ่งในเมล็ดพันธุ์พืชผักหลายชนิด การเตรียมการงอกด้วยเทคนิค seed priming เป็นการควบคุมการดูดน้ำของเมล็ดพันธุ์ให้เพียงพอต่อกระบวนการงอกแต่ไม่อยู่ในระดับที่จะทำให้รากอ่อนปรากฏออกมาให้เห็น (McDonald, 1999) แล้วจึงนำเมล็ดพันธุ์ดังกล่าวไปลดความชื้นเพื่อสะดวกต่อการเก็บรักษาและจัดการต่อไป โดยมีวัตถุประสงค์ที่สำคัญ คือ เพื่อให้เมล็ดพันธุ์มีเปอร์เซ็นต์ความงอกสูง เพิ่มอัตราเร็วในการงอกของเมล็ด เมล็ดสามารถงอกได้ภายใต้สภาพแวดล้อมที่กว้าง ต้นกล้ามีความแข็งแรงและเจริญเติบโตได้ดี (Wetchakama & Khaengkhan, 2018)

การใช้สนามแม่เหล็กในทางการเกษตร เพื่อการปรับปรุงคุณภาพของเมล็ดพันธุ์ พบว่า สนามแม่เหล็กสามารถเร่งการพัฒนาของพืช ปรับปรุงการงอก และการเจริญเติบโตของต้นกล้าได้โดยกระตุ้นการสร้างโปรตีนและกิจกรรมของเอนไซม์ (Ülgen et al., 2017) พืชปรับเปลี่ยนกระบวนการทางสรีรวิทยาและสารชีวโมเลกุลที่เกี่ยวข้องกับสังเคราะห์แสง เพื่อเพิ่มความแข็งแรงและเกิดการพัฒนาด้านที่ดี (Alemán et al., 2014) เกิดการกระตุ้นกิจกรรมของสารชีวโมเลกุลสำหรับเจริญเติบโตของต้นอ่อนและเพิ่มอัตราการงอกของเมล็ด (Carbonell et al., 2000) สันนิษฐานว่ามีการสั่นของไอออนไฮโดรเจนเกิดการแยกไอออนของ Ca^{2+} และทำให้ความเข้มข้นของ Ca^{2+} อิสระเพิ่มขึ้น Ca^{2+} ที่เพิ่มขึ้นอาจส่งสัญญาณให้เซลล์เข้าสู่ วัฏจักรไมโทติคในช่วงต้น (Vashisth et al., 2013) มีการเปลี่ยนแปลงระดับของ Ca^{2+} ภายในเซลล์ และความหนาแน่นของกระแสไอออนอื่น ๆ ภายในเยื่อหุ้มเซลล์เกิดการเปลี่ยนแปลงความดันออสโมติก และมีการดูดซึมน้ำเพิ่มขึ้น (Reina et al., 2001) เกิดปฏิสัมพันธ์กับกระแสไอออนเปลี่ยนการนำไฟฟ้าไอออนของเมมเบรน ความเข้มข้นและความดันออสโมติกทั้งสองด้านของเยื่อหุ้มเซลล์ ส่งผลต่อการงอกและการดูดน้ำของเมล็ด (Reina & Pascual, 2001)

*Corresponding author

E-mail address: pkparinda@gmail.com (P. Khaengkhan)

Online print: 28 June 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.2024.29>

การกระตุ้นการงอกของเมล็ดพริกหวานโดยการใช้นสนามแม่เหล็ก (magnetic field) มีรายงานว่า สนามแม่เหล็กมีผลต่อการเจริญเติบโตและกระบวนการพัฒนาของพืช การงอกของเมล็ดและการเจริญเติบโตของต้นกล้า Aladjadjian (2002) ศึกษาผลของสนามแม่เหล็กที่ความเข้ม 0, 15 mT ต่อการงอกเมล็ดข้าวโพดพบว่าสนามแม่เหล็กกระตุ้นการเจริญเติบโตของต้นอ่อน ส่งผลให้มีพลังงานในการงอก เมล็ดมีการงอก น้ำหนักสด และความยาวของต้นอ่อนเพิ่มขึ้น ประมาณ 20 เปอร์เซ็นต์ สำหรับเมล็ดที่หิรัญด้วยสนามแม่เหล็กเป็นเวลา 10 นาที นอกจากนี้สนามแม่เหล็กอาจเปลี่ยนแปลงลักษณะของเยื่อหุ้มเซลล์และเซลล์สืบพันธุ์ ทำให้เกิดเมแทบอลิซึมของเซลล์ รวมถึงการแสดงออกของยีน การสังเคราะห์โปรตีน และกิจกรรมของเอนไซม์ (Atak et al., 2003) การใช้สนามแม่เหล็กเพื่อเปลี่ยนโครงสร้างขนาดการรวมตัวของโมเลกุลของน้ำที่มีขนาดใหญ่ (ขนาด 50 โมเลกุล) ภายในเซลล์ของเมล็ดให้มีขนาดการรวมตัวของโมเลกุลเล็กลง (ขนาด 5 โมเลกุล) และมีความเสถียร การที่องค์ประกอบในโมเลกุลของน้ำมีองค์ประกอบที่ลดลง จะทำให้สามารถเกิดปฏิกิริยากับสารต่าง ๆ ภายในเซลล์เมล็ดได้สูงขึ้น มีผลต่อการเกิดเมแทบอลิซึมในกระบวนการงอก ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับองค์ประกอบทางชีวเคมีของเมล็ดแต่ละชนิด (Khaengkhan, 2023) จึงจำเป็นต้องมีการศึกษาความเข้มของสนามแม่เหล็ก และระยะเวลาที่เหมาะสมในการใช้สนามแม่เหล็กแก่เมล็ด เมล็ดพริกหวานเป็นเมล็ดที่มีราคาสูง โดยปกติแล้วเมล็ดพันธุ์พริกหวานที่ใหม่ ๆ ใช้เวลาในการงอกเฉลี่ย 7-14 วัน ถ้าเป็นเมล็ดที่เก่าหรือเสื่อมคุณภาพจะมีเปอร์เซ็นต์การงอกต่ำ และใช้เวลาในการงอกนาน เพื่อแก้ปัญหาดังกล่าว การศึกษาในครั้งนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาความเข้มสนามแม่เหล็กและระยะเวลาที่เหมาะสมในการใช้สนามแม่เหล็กต่อคุณภาพการงอกของเมล็ดพริกหวาน เพื่อแก้ปัญหาการงอกของเมล็ด ลดระยะเวลาในการงอก เพิ่มคุณภาพการงอกของเมล็ดพริกหวานด้านอื่น ๆ เช่น ดัชนีการงอก การเจริญเติบโตของต้นกล้า เป็นต้น

อุปกรณ์และวิธีการวิจัย

การวางแผนการทดลอง

ศึกษาผลของสนามแม่เหล็กต่อการงอกของเมล็ดพริกหวาน พันธุ์แคลิฟอร์เนีย วางแผนการทดลองแบบ 3X4 Factorial experimental in randomized complete block design โดยทำการศึกษา 2 ปัจจัย แบ่งออกเป็น 12 กรรมวิธี กรรมวิธีละ 4 ซ้ำ ๆ ละ 50 เมล็ด ดังนี้

ปัจจัยที่ 1 (A) ความเข้มสนามแม่เหล็กถาวร (มิลลิเทสลา (mT))

กรรมวิธีที่ 1 0 mT

กรรมวิธีที่ 2 25 mT

กรรมวิธีที่ 3 50 mT

ปัจจัยที่ 2 (B) ระยะเวลาในการแช่เมล็ดในน้ำที่ผ่านสนามแม่เหล็กถาวร

กรรมวิธีที่ 1 0 ชั่วโมง

กรรมวิธีที่ 2 3 ชั่วโมง

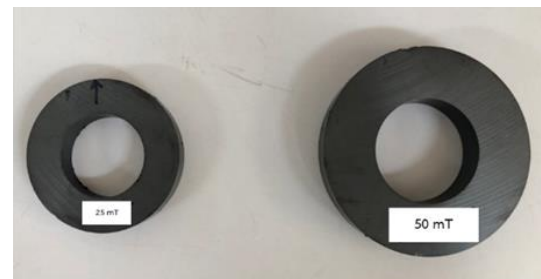
กรรมวิธีที่ 3 6 ชั่วโมง

กรรมวิธีที่ 4 9 ชั่วโมง

วิธีการทดลอง

ทำการทดลองในห้องปฏิบัติการ และโรงเรือนเพาะชำ สาขาวิชาเทคโนโลยีการผลิตพืช คณะเทคโนโลยีการเกษตร มหาวิทยาลัยกาฬสินธุ์

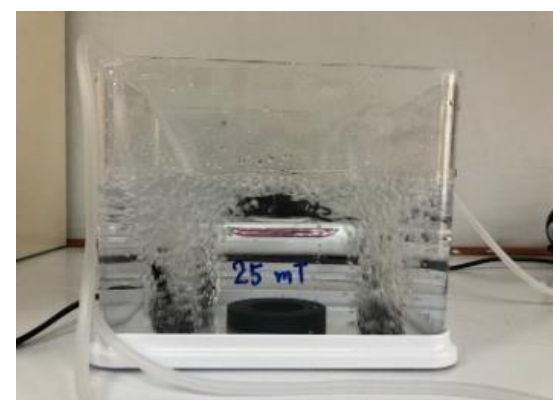
1. การเตรียมน้ำที่ผ่านสนามแม่เหล็กถาวร นำแม่เหล็กถาวรชนิดเฟอร์ไรต์ (Figure 1a) มาวัดความเข้มสนามแม่เหล็ก ด้วยเครื่อง Passport 2-axis magnetic field (Figure 1b) ให้ได้ความเข้มสนามแม่เหล็กถาวรที่ 25 mT และ 50 mT จากนั้นนำแม่เหล็กถาวรวางในตู้พลาสติก เติมน้ำกลั่น 1,000 มล. เปิดแอร์ปั๊มเพื่อให้น้ำไหลเวียนผ่านสนามแม่เหล็กถาวร (Figure 1c) และแช่เมล็ดพันธุ์พริกหวานร่วมกับแม่เหล็กถาวรเป็นเวลา 3 6 และ 9 ชม. ตามลำดับ



(a)



(b)



(c)

Figure 1 Magnetic water with air pump (a) ferrite magnetic; (b) 2-axis magnetic field sensor (PS-2162) and (c) magnetic field water chamber.

นำเมล็ดพันธุ์พริกหวานออกมาผึ่งให้แห้งที่อุณหภูมิห้องประมาณ 30 °C จนกระทั่งเมล็ดมีความชื้น 7.6 เปอร์เซ็นต์ และนำไปทดสอบความงอก ความแข็งแรงมาตรฐานของเมล็ดตามกฎการทดสอบความงอก ISTA (2018) ห้องปฏิบัติการใช้วิธีเพาะแบบ top of

paper (TP) หลังจากนั้นนำไปวางในตู้เพาะเมล็ด อุณหภูมิ 25 °C เป็นเวลา 14 วัน สำหรับโรงเรือนปลูกพืชใช้วิธีการเพาะเมล็ดในถาดเพาะกล้า ใช้พีทมอสเป็นวัสดุปลูก เก็บบันทึกข้อมูลตั้งแต่เมล็ดงอกจนกระทั่งต้นกล้าเจริญเติบโตถึง 28 วัน โดยบันทึกข้อมูลดังนี้

1) เปอร์เซ็นต์ความงอกมาตรฐาน (เปอร์เซ็นต์)

$$= \frac{\text{จำนวนเมล็ดที่งอกปกติ} \times 100}{\text{จำนวนเมล็ดที่เพาะ}}$$

จำนวนเมล็ดที่เพาะ

2) เวลาเฉลี่ยในการงอก (mean germination time, MGT) ดังสูตร

$$MGT (\text{วัน}) = \frac{(G_1 \times D_1 + G_2 \times D_2 + \dots + G_n \times D_n)}{\text{จำนวนต้นกล้าปกติทั้งหมด}}$$

จำนวนต้นกล้าปกติทั้งหมด

เมื่อ $G_1, 2, \dots, n$ คือ จำนวนต้นกล้าปกติที่งอกวันที่ 1, 2, ..., n ($n = 14$)

$D_1, 2, \dots, n$ คือ จำนวนวันที่ 1, 2, ..., n ($n = 14$) หลังจากวันเพาะเมล็ด

3) ดัชนีความงอก (Germination index; GI)

$$\text{ดัชนีการงอก (GI)} = \frac{\text{ผลรวมของจำนวนต้นกล้าปกติที่งอกในแต่ละวัน}}{\text{จำนวนวันที่ต้นกล้าปกติงอกในแต่ละวัน}}$$

2. นำเมล็ดพันธุ์พริกหวานในจานเพาะที่บันทึกผลคุณภาพการงอก เป็นเวลา 14 วัน ย้ายลงถาดเพาะกล้า โดยใช้พีทมอส (peat moss) เป็นวัสดุปลูก หลังจากนั้นบันทึกข้อมูลการเจริญเติบโตของต้นกล้า ดังนี้

1) ความแข็งแรงของต้นกล้า วัดอัตราการเจริญเติบโตของต้นกล้า (seedling growth rate, SGR) เมล็ดพันธุ์ที่มีอัตราการเจริญเติบโตของต้นกล้าสูง แสดงว่ามีความแข็งแรงสูง โดยเพาะเมล็ดพริกหวาน ตามกฎการทดสอบการงอกมาตรฐาน (ISTA, 2018) เมื่ออายุครบ 14 วัน หลังงอก ย้ายลงถาดเพาะกล้า จนกระทั่งต้นกล้าอายุครบ 28 วัน นำต้นกล้าปกติดีต่อเฉพาะส่วนของยอดอ่อนและรากอ่อน นำไปอบที่ อุณหภูมิ 80 °C เป็นเวลา 24 ชม. แล้วชั่งน้ำหนักแห้งด้วยเครื่องชั่งทศนิยม 4 ตำแหน่ง หน่วยเป็นมิลลิกรัม นำผลที่ได้มาคำนวณ SGR ดังนี้

$$SGR = \frac{\text{น้ำหนักแห้งต้นกล้าปกติ}}$$

จำนวนต้นกล้าปกติ

2) ปริมาณคลอโรฟิลล์ (chlorophyll content, SPAD unit) ในสภาพโรงเรือนสุมเก็บ จำนวน 5 ต้นต่อซ้ำ วัดใบจริงชุดที่ 1 ของแต่ละต้น จำนวน 2 ใบต่อต้น วัดจำนวน 1 ครั้งต่อใบ ระยะห่างกันทุก ๆ 7 วัน จนกระทั่งต้นกล้าอายุครบ 28 วัน วัดด้วยเครื่องวัดคลอโรฟิลล์ Chlorophyll Meter รุ่น SPAD-502 Plus (Konika Minolta, Inc. Japan)

3) พื้นที่ใบ (ตารางมิลลิเมตร) หลังจากต้นกล้าอายุครบ 28 วัน สุ่มเก็บต้นกล้าพริกหวาน จำนวน 5 ต้นต่อซ้ำ แล้วนำไปจริงชุดที่ 1 ของแต่ละต้น จำนวน 2 ใบต่อต้น มาวัดพื้นที่ใบด้วยเครื่องวัดพื้นที่ใบ รุ่น Portable Leaf Area Meter: AM-350 ยี่ห้อ ADC Bioscience ประเทศไทย

4) ความยาวต้น (seedling length) วัดจากคอรากของลำต้นถึงยอดอ่อนเจริญ หลังจากย้ายกล้า 7 วัน โดยวัดระยะห่างกันทุก ๆ 7 วัน จนกระทั่งต้นกล้าอายุครบ 28 วัน

5) ความยาวราก (root length) วัดจากต้นกล้าที่เพาะในถาดเพาะกล้าอายุ 28 วัน โดยสุ่มต้นกล้าจำนวน 5 ต้นต่อซ้ำ

6) น้ำหนักสดและน้ำหนักแห้งต้นกล้า (fresh and dry weight of seedling) วัดจากต้นกล้าที่เพาะในถาดเพาะกล้าอายุ 28 วัน โดยสุ่มต้นกล้าจำนวน 5 ต้นต่อซ้ำ ชั่งน้ำหนักสด (กรัม) แล้วนำไปอบที่อุณหภูมิ 80 °C ระยะเวลา 24 ชม. นำออกมาชั่งน้ำหนักแห้ง (กรัม)

7) ความเป็นกรดต่างของน้ำทั้งก่อนและหลังของน้ำที่ผ่านสนามแม่เหล็ก โดยใช้เครื่อง pH meter

ผลและวิจารณ์ผลการวิจัย

คุณภาพการงอกเมล็ดพันธุ์พริกหวาน

1. เปอร์เซ็นต์การงอกของเมล็ดพันธุ์พริกหวาน (germination percentage) ในสภาพห้องปฏิบัติการและสภาพโรงเรือน

ไม่พบความแตกต่างทางสถิติของค่าปฏิสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นแม่เหล็กถาวร และระยะเวลาในการแช่เมล็ดในน้ำผ่านสนามแม่เหล็กถาวรในสภาพห้องปฏิบัติการ แต่สภาพโรงเรือนพบว่า การใช้และไม่ใช้สนามแม่เหล็กถาวรที่ระยะเวลาในการแช่เมล็ดในน้ำเป็นเวลา 3 6 และ 9 ชม. มีผลทำให้เปอร์เซ็นต์การงอกของเมล็ดพันธุ์พริกหวานสูง ไม่แตกต่างทางสถิติ โดยมีความงอกระหว่าง 71-84 เปอร์เซ็นต์ ($P < 0.05$) ส่วนการใช้ความเข้มข้นแม่เหล็กถาวรที่ 50 mT และแช่เมล็ดในน้ำเป็นเวลา 0 ชม. มีเปอร์เซ็นต์การงอกต่ำที่สุด 15.50 เปอร์เซ็นต์ (Table 1)

2. เวลาเฉลี่ยในการงอกของเมล็ดพันธุ์พริกหวาน (mean germination time) ในสภาพห้องปฏิบัติการและสภาพโรงเรือน

พบความแตกต่างทางสถิติของค่าปฏิสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นแม่เหล็กถาวรและระยะเวลาในการแช่เมล็ดในน้ำผ่านสนามแม่เหล็กถาวรในสภาพห้องปฏิบัติการและสภาพโรงเรือน โดยในสภาพห้องปฏิบัติการ การใช้และไม่ใช้สนามแม่เหล็กถาวรและแช่เมล็ดในน้ำระยะเวลา 3, 6 และ 9 ชม. การใช้สนามแม่เหล็กถาวรความเข้ม 25 mT และแช่เมล็ดในน้ำระยะเวลา 3 และ 9 ชม. การใช้สนามแม่เหล็กถาวร 50 mT และแช่เมล็ดในน้ำระยะเวลา 6 และ 9 ชม. มีผลทำให้เวลาเฉลี่ยในการงอกของเมล็ดพันธุ์พริกหวานน้อย โดยมีค่าอยู่ระหว่าง 8.37-9.09 วัน ($P < 0.05$) ส่วนการใช้ความเข้มข้นแม่เหล็กถาวรที่ 0, 25 และ 50 mT แช่เมล็ดในน้ำเป็นเวลา 0 ชม. มีเวลาเฉลี่ยในการงอกมาก โดยมีค่าอยู่ระหว่าง 10.48-11.03 วันในขณะที่สภาพโรงเรือนพบว่า การใช้ความเข้มข้นแม่เหล็กถาวรที่ 50 mT และแช่เมล็ดในน้ำเป็นเวลา 9 ชม. มีผลทำให้เวลาเฉลี่ยในการงอกของเมล็ดพันธุ์พริกหวานเร็วสุด เท่ากับ 10.39 วัน ($P < 0.05$) ส่วนการใช้ความเข้มข้นแม่เหล็กถาวรที่ 0, 25 และ 50 mT แช่เมล็ดในน้ำเป็นเวลา 0 ชม. มีเวลาเฉลี่ยในการงอกมาก ไม่แตกต่างทางสถิติ โดยมีค่าอยู่ระหว่าง 12.51-12.56 วัน (Table 1)

3. ดัชนีการงอกของเมล็ดพันธุ์พริกหวาน (germination index) ในสภาพห้องปฏิบัติการและสภาพโรงเรือน

ไม่พบความแตกต่างทางสถิติของค่าปฏิสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นแม่เหล็กถาวร และระยะเวลาในการแช่เมล็ดในน้ำผ่านสนามแม่เหล็กถาวรในสภาพห้องปฏิบัติการ แต่ในสภาพโรงเรือนพบว่า การใช้สนามแม่เหล็กถาวร 25 mT และ 50 mT แช่เมล็ดในน้ำเป็นเวลา 3, 6 และ 9 ชม. มีผลทำให้ดัชนีการงอกของเมล็ดพันธุ์พริกหวาน

ถาวรที่ 25 mT เป็นเวลา 3 ถึง 9 ชม. มีผลทำให้น้ำมีความเป็นด่างสูงขึ้น ดัชนีการงอก และความสูงเพิ่มขึ้น ความเข้มข้นแม่เหล็กถาวรที่ 50 mT เป็นเวลา 3 ถึง 9 ชม. ทำให้น้ำมีความเป็นด่างสูงขึ้น มีผลต่อเวลาเฉลี่ยในการงอก ดัชนีการงอก ความสูง ปริมาณคลอโรฟิลล์พื้นที่ใบ น้ำหนักสด น้ำหนักแห้ง และอัตราการเจริญของต้นกล้าพริกหวานเพิ่มสูงขึ้น สอดคล้องกับผลการวิจัย Florez et al. (2019) ซึ่งรายงานว่าความเข้มข้นแม่เหล็กถาวรที่แตกต่างกันมีผลทำให้การงอก และเวลาเฉลี่ยในการงอกรวดเร็วขึ้นต่างกัน

การใช้สนามแม่เหล็กถาวรเป็นวิธีการทางฟิสิกส์ที่มีผลทำให้เพิ่มความชื้นของโอโซน อนุภาคน้ำ และประจุไฟฟ้าอิเล็กตรอน ช่วยให้เยื่อหุ้มเซลล์สามารถดูดซับน้ำและทำให้ไอออนเคลื่อนที่ได้ดียิ่งขึ้น กระตุ้นกระบวนการทางสรีรวิทยาในด้านต่าง ๆ เช่น การแบ่งเซลล์ การเจริญเติบโตของพืชได้ดี และดัชนีความแข็งแรงของพืชเพิ่มขึ้น (Senglathamy et al., 2017) สนามแม่เหล็กถาวรอาจเปลี่ยนแปลงลักษณะของเยื่อหุ้มเซลล์และการสืบพันธุ์ของเซลล์ และทำให้เกิดการทำงานบางอย่างในการเผาผลาญของเซลล์ และการทำงานของเซลล์ต่าง ๆ รวมถึงการแสดงออกของยีน การสังเคราะห์โปรตีน และกิจกรรมของเอนไซม์ (Atak et al., 2003) การศึกษาผลกระทบของสนามแม่เหล็กถาวรต่อการงอกของเมล็ด การเจริญเติบโต และคุณภาพผลผลิตของพริกหวาน พบว่าสนามแม่เหล็กถาวรมีผลต่อปริมาณคลอโรฟิลล์เอ คลอโรฟิลล์บี แคโรทีนอยด์ ฟอสฟอรัส และวิตามินซี (Ahamed et al., 2013) ซึ่งสอดคล้องกับผลการทดลองในครั้งนี้ พบว่าความเข้มข้นแม่เหล็กถาวรที่ 50 mT เวลา 6 ชม. มีผลทำให้ปริมาณคลอโรฟิลล์สูงสุดที่ 26.85 จากการรายงานของ Karkush et al. (2019) และ Chaemchamrat & Phurahong (2022) สนามแม่เหล็กถาวรมีผลทำให้น้ำมีค่าความเป็นกรดต่าง (pH) เพิ่มขึ้น โดยมีการเพิ่มขึ้นของไอออนของธาตุบางชนิด ได้แก่ แมกนีเซียม โพแทสเซียม โซเดียม คลอรีน ซึ่งสอดคล้องกับผลการทดลอง โดยพบว่าความเข้มข้นแม่เหล็กถาวรที่ 25 mT มีผลทำให้ค่าความเป็นกรดต่าง (pH) เพิ่มขึ้น เท่ากับ 8.29 ซึ่งการใช้สนามแม่เหล็กถาวรสามารถเปลี่ยนโครงสร้างขนาดการรวมตัวของโมเลกุลของน้ำที่มีขนาด

ใหญ่ (ขนาด 50 โมเลกุล) ภายในเซลล์ของเมล็ดให้มีขนาดการรวมตัวโมเลกุลเล็กลง (ขนาด 5 โมเลกุล) และมีความเสถียร การที่องค์ภายในโมเลกุลของน้ำมีองค์ที่ลดลง จะทำให้สามารถเกิดปฏิกิริยากับสารต่าง ๆ ภายในเซลล์เมล็ดได้สูงขึ้น มีผลต่อการเกิดเมแทบอลิซึมในกระบวนการงอก (Khaengkhan, 2023)

สรุปผลการวิจัย

ความเข้มข้นแม่เหล็กถาวร 25 mT เป็นเวลา 3 ชม. ลดเวลาเฉลี่ยในการงอกของเมล็ด ทำให้เมล็ดงอกได้เร็วขึ้นและเพิ่มความสูงของต้นกล้าพริกหวาน ส่วนความเข้มข้นแม่เหล็ก 50 mT เป็นเวลา 6 ชม. เพิ่มปริมาณคลอโรฟิลล์ พื้นที่ใบ น้ำหนักสด น้ำหนักแห้ง และอัตราการเจริญเติบโตของต้นกล้าในสภาพห้องปฏิบัติการ ในสภาพโรงเรือน ความเข้มข้นแม่เหล็กถาวร 25 mT เป็นเวลา 6 ชม. มีผลทำให้เปอร์เซ็นต์การงอกและดัชนีการงอกสูงสุด รวมถึงทำให้ต้นกล้าพริกหวานมีความยาวสูงสุด ส่วนความเข้มข้นแม่เหล็กถาวร 50 mT เป็นเวลา 9 ชม. ลดเวลาเฉลี่ยในการงอกของเมล็ด ทำให้เมล็ดงอกได้เร็วขึ้น ความเข้มข้นแม่เหล็ก 25 mT เป็นเวลา 6 ชม. ยังมีความเป็นกรดต่างของน้ำสูงสุด นอกจากนี้ เมล็ดพันธุ์พริกหวานที่มีดัชนีการงอกสูงในห้องปฏิบัติการ จะมีเปอร์เซ็นต์การงอกและดัชนีการงอกสูงในสภาพโรงเรือนเช่นกัน จากผลการวิจัยสรุปได้ว่าความเข้มข้นแม่เหล็กถาวรและระยะเวลาที่เหมาะสมในการใช้สนามแม่เหล็กต่อคุณภาพการงอกของเมล็ดพริกหวาน คือ 25 mT ที่ระยะเวลา 6 ชม. ทั้งนี้ควรศึกษาเพิ่มเติมเกี่ยวกับการใช้สนามแม่เหล็กถาวรที่มีความเข้มข้นเพื่อลดระยะเวลาในการแช่เมล็ดพันธุ์

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณ คณะเทคโนโลยีการเกษตร มหาวิทยาลัยกาฬสินธุ์ ที่สนับสนุนพื้นที่ในการทำงานวิจัย และขอขอบคุณนายณพรัตน์ ไชยเสนา ที่ช่วยดูแลและเก็บข้อมูลงานวิจัยในครั้งนี้ จนทำให้งานวิจัยสำเร็จเรียบร้อยสมบูรณ์

Table 1 Effect of magnetic field on sweet pepper seed germination percentage, mean germination time and germination index in laboratory and greenhouse experiment

Factor	Laboratory		Greenhouse			
	Germination (%)	Mean germination time (Days)	Germination index	Germination (%)	Mean germination time (Days)	Germination index
Factor A (Magnetic field intensity)	*	ns	ns	*	ns	ns
Factor B (Time of seed priming with magnetic water)	**	**	**	**	**	**
Factor A x B	ns	*	ns	*	*	*
Factor A x B						
0 mT x 0 hr	52.50	11.03 a ^{1/}	2.55	38.50 b	12.56 a	1.55 d
0 mT x 3 hr	82.00	8.37 c	5.45	84.00 a	11.22 bcd	3.23 bc
0 mT x 6 hr	73.50	8.66 c	4.80	71.50 a	11.37 bcd	3.22 bc
0 mT x 9 hr	78.50	8.78 bc	4.93	71.00 a	11.46 bc	3.17 c

Table 1 Effect of magnetic field on sweet pepper seed germination percentage, mean germination time and germination index in laboratory and greenhouse experiment (Cont.)

Factor	Laboratory			Greenhouse		
	Germination (%)	Mean germination time (Days)	Germination index	Germination (%)	Mean germination time (Days)	Germination index
25 mT x 0 hr	46.00	10.48 a	2.41	37.50 b	12.52 a	1.51 d
25 mT x 3 hr	74.00	8.43 c	5.07	78.00 a	11.20 bcd	3.57 abc
25 mT x 6 hr	64.00	9.50 b	4.13	84.00 a	11.06 cd	3.89 a
25 mT x 9 hr	62.50	9.09 bc	4.10	83.00 a	10.92 d	3.89 a
50 mT x 0 hr	58.00	10.71 a	2.91	15.50 c	12.51 a	0.63 e
50 mT x 3 hr	62.50	9.42 b	4.29	82.50 a	11.15 bcd	3.79 abc
50 mT x 6 hr	63.00	9.03 bc	3.88	74.00 a	11.55 b	3.28 abc
50 mT x 9 hr	76.00	8.77 bc	4.99	72.00 a	10.39 e	3.62 abc
Mean	66.04	9.36	4.13	65.96	11.49	3.00
C.V. (%)	15.41	5.45	19.55	14.03	2.88	14.62

^{1/}= Superscript in each column are significantly different by least significant difference (LSD).

ns, *, ** mean not significant, significant difference at P<0.05 values and P<0.01.

Table 2 Effect of magnetic field on sweet pepper seedling length in laboratory and greenhouse experiment

Factor	Laboratory seedling length (cm)				Greenhouse seedling length (cm)			
	Week 1	Week 2	Week 3	Week 4	Week 1	Week 2	Week 3	Week 4
Factor A (Magnetic field intensity)	**	**	**	ns	**	ns	ns	ns
Factor B (Time of seed priming with magnetic water)	**	**	**	**	**	**	**	**
Factor A x B	**	ns	ns	ns	**	*	ns	ns
Factor A x B								
0 mT x 0 hr	3.75 abcd ^{1/}	6.25	7.37	8.21	4.25 f	6.11 ef	7.10	8.12
0 mT x 3 hr	3.83 abc	6.77	8.14	9.19	4.70 cd	7.73 abcd	9.28	10.50
0 mT x 6 hr	4.19 a	6.36	7.61	8.45	4.55 de	6.73 def	8.14	9.17
0 mT x 9 hr	3.93 abc	6.86	8.35	9.18	4.89 bc	6.82 cdef	7.95	9.17
25 mT x 0 hr	3.49 cd	5.82	7.41	8.31	4.31 ef	5.95 ef	6.70	7.63
25 mT x 3 hr	4.13 a	6.56	8.55	9.54	5.19 a	7.15 bcde	8.41	9.10
25 mT x 6 hr	2.66 e	5.95	7.89	9.02	5.18 a	8.83 a	10.40	11.27
25 mT x 9 hr	3.32 d	6.11	7.45	8.61	4.95 abc	7.70 abcd	8.83	9.80
50 mT x 0 hr	3.61 bcd	5.97	7.26	8.44	3.74 g	5.82 f	6.89	7.72
50 mT x 3 hr	3.91 abc	6.93	8.85	9.16	5.02 ab	7.96 abc	9.35	10.05
50 mT x 6 hr	3.50 cd	6.89	9.54	9.82	5.08 ab	7.63 abcd	9.36	10.30
50 mT x 9 hr	3.97 ab	7.05	8.96	9.52	5.04 ab	8.32 ab	9.56	10.57
Mean	3.69	6.46	8.12	8.96	4.74	7.23	8.50	9.45
C.V. (%)	8.64	7.88	9.27	7.12	3.77	11.54	14.04	12.37

^{1/}= Superscript in each column are significantly different by least significant difference (LSD).

ns, *, ** mean not significant, significant difference at P<0.05 values and P<0.01.

Table 3 Effect of magnetic field on sweet pepper chlorophyll contents in laboratory and greenhouse experiment

Factor	Laboratory chlorophyll contents (SPAD unit)			Greenhouse chlorophyll contents (SPAD unit)		
	Week1	Week2	Week3	Week1	Week2	Week3
Factor A (Magnetic field intensity)	**	**	**	ns	ns	*
Factor B (Time of seed priming with magnetic water)	**	**	*	**	ns	ns
Factor A x B	ns	*	ns	ns	ns	ns
Factor A x B						
0 mT x 0 hr	23.50	17.87 d ^{1/}	12.59	24.91	17.59	14.21
0 mT x 3 hr	25.26	19.27 cd	14.17	29.03	22.84	17.25
0 mT x 6 hr	24.54	18.11 d	13.73	27.45	20.91	15.23
0 mT x 9 hr	25.47	19.05 cd	13.44	26.26	19.00	14.15
25 mT x 0 hr	25.83	19.64 cd	14.40	23.69	17.48	13.77
25 mT x 3 hr	26.52	21.55 bc	15.35	25.29	17.96	13.57
25 mT x 6 hr	28.63	22.67 b	16.63	29.09	21.30	14.75
25 mT x 9 hr	25.54	19.29 cd	14.72	26.98	18.62	13.13
50 mT x 0 hr	25.66	20.23 bcd	15.91	24.45	21.50	14.93
50 mT x 3 hr	28.11	21.88 bc	15.80	26.53	19.40	13.75
50 mT x 6 hr	28.60	26.85 a	18.91	28.06	19.89	14.21
50 mT x 9 hr	28.11	23.14 b	16.64	29.24	20.10	14.17
Mean	26.32	20.80	15.19	26.75	19.72	14.43
C.V. (%)	5.49	9.80	10.36	10.14	12.78	9.53

^{1/}= Superscript in each column are significantly different by least significant difference (LSD).

ns, *, ** mean not significant, significant difference at P<0.05 values and P<0.01.

Table 4 Effect of magnetic field on leaf area, plant fresh weight, root length, plant dry weight and seedling growth rate (SGR) in laboratory and greenhouse experiment

Factor	Laboratory					Greenhouse				
	Leaf area (mm ²)	Fresh weight (g)	Root length (cm)	Dry weight (g)	SGR (g)	Leaf area (mm ²)	Fresh weight (g)	Root length (cm)	Dry weight (g)	SGR (g)
Factor A	**	**	ns	**	**	ns	ns	ns	ns	*
Factor B	ns	ns	ns	*	ns	**	**	*	**	**
Factor A x B	**	*	ns	*	*	ns	ns	ns	ns	ns
Factor A x B										
0 mT x 0 hr	442.23 bcd ^{1/}	1.09 cde	13.51	0.1008 cd	0.0201 bc	441.47	1.07	12.99	0.0993	0.0262
0 mT x 3 hr	476.67 bc	1.28 bcd	15.89	0.1162 bcd	0.0149 cd	742.70	2.01	15.15	0.2124	0.0256
0 mT x 6 hr	375.33 cd	0.95 de	15.02	0.0869 d	0.0118 d	586.18	1.59	16.48	0.1573	0.0232
0 mT x 9 hr	451.17 bcd	1.19 bcde	15.68	0.1139 bcd	0.0145 cd	600.20	1.60	14.23	0.1530	0.0222
25 mT x 0 hr	444.88 bcd	1.14 cde	13.05	0.1074 cd	0.0202 bc	420.70	1.00	11.81	0.0939	0.0274
25 mT x 3 hr	513.70 b	1.35 bc	15.18	0.1381 bc	0.0188 bcd	603.75	1.57	12.97	0.1533	0.0198
25 mT x 6 hr	494.40 b	1.32 bc	14.45	0.1215 bcd	0.0196 bc	851.60	2.80	13.75	0.2431	0.0294
25 mT x 9 hr	346.35 d	0.93 e	14.58	0.0889 d	0.0142 cd	675.95	1.79	14.26	0.1759	0.0212
50 mT x 0 hr	419.15 bcd	1.14 bcde	14.97	0.1073 cd	0.0191 bcd	474.62	1.27	12.07	0.1205	0.0214
50 mT x 3 hr	516.45 b	1.41 abc	16.53	0.1465 ab	0.0236 ab	676.53	1.76	13.75	0.1745	0.0213
50 mT x 6 hr	642.85 a	1.70 a	16.21	0.1836 a	0.0290 a	716.53	1.80	14.35	0.1814	0.0244
50 mT x 9 hr	522.80 b	1.47 ab	15.29	0.1490 ab	0.0198 bc	720.87	2.01	12.82	0.2046	0.0281
Mean	470.50	1.25	15.03	0.12	0.02	625.93	1.69	13.72	0.16	0.03
C.V. (%)	7.09	8.48	10.76	11.53	16.66	23.04	13.63	14.67	10.70	13.96

^{1/}= Superscript in each column are significantly different by least significant difference (LSD).

ns, *, ** mean not significant, significant difference at P<0.05 values and P<0.01.

Table 5 The effect of magnetic fields on water pH

Factor	pH
Factor A	**
Factor B	**
Factor A x B	**
Factor A x B	
0 mT x 0 hr	7.23 d ^{1/}
0 mT x 3 hr	7.23 d
0 mT x 6 hr	7.23 d
0 mT x 9 hr	7.23 d
25 mT x 0 hr	7.78 c
25 mT x 3 hr	8.45 b
25 mT x 6 hr	8.93 a
25 mT x 9 hr	7.99 c
50 mT x 0 hr	6.97 d
50 mT x 3 hr	7.76 c
50 mT x 6 hr	8.04 c
50 mT x 9 hr	8.39 b
Mean	7.77
C.V. (%)	1.77

^{1/} = Superscript in each column are significantly different by least significant difference (LSD).

** mean significant difference at P<0.01.

References

- Ahamed, M. E. M., Elzaawely, A. A., & Bayoumi, Y. A. (2013). Effect of magnetic field on seed germination, growth and yield of sweet pepper (*Capsicum annuum* L.). *Asian Journal of Crop Science*, 5(3), 286-294. doi: 10.3923/ajcs.2013.286.294
- Aladjadjian, A. (2002). Study of the influence of magnetic field on some biological characteristics of *Zea mays*. *Journal of Central European Agriculture*, 3(2), 89-94.
- Alemán, E. I., Moreira R., O., Lima, A. A., Silva, S. C., González-Olmedo, J. L., & Chalfun-Junior, A. (2014). Effects of 60 Hz sinusoidal magnetic field on in vitro establishment, multiplication, and acclimatization phases of *Coffea arabica* seedlings. *Bioelectromagnetics*, 35(6), 414-425. doi: 10.1002/bem.21859
- Atak, Ç., Emiroğlu, Ö., Alikamanoğlu, S., & Rzakoulieva, A. (2003). Stimulation of regeneration by magnetic field in soybean (*Glycine max* L. Merrill) tissue cultures. *Journal of Cell and Molecular Biology*, 2(2), 113-119.
- Carbonell, M. V., Martinez, E., & Amaya, J. M. (2000). Stimulation of germination in rice (*Oryza sativa* L.) by a static magnetic field. *Electro-and Magnetobiology*, 19(1), 121-128. doi: 10.1081/JBC-100100303
- Chaemchamrat, S., & Phurahong, N. (2022). Effect of magnetic field-treated water on growth and yield of Leum Pua Glutinous rice. *Journal of Agricultural Production*, 4(3), 51-61. (in Thai)
- Florez, M., Alvarez, J., Martinez, E., & Carbonell, V. (2019). Stationary magnetic field stimulates rice roots growth. *Romanian Reports in Physics*, 71(3), 1-8.
- International Seed Testing Association (ISTA). (2018). *International rules for seed testing 2018*. Wallisellen, Switzerland: International Seed Testing Association (ISTA).
- Karkush, M. O., Ahmed, M. D., & Al-Ani, S. M. A. (2019). Magnetic field influence on the properties of water treated by reverse osmosis. *Engineering, Technology & Applied Science Research*, 9(4), 4433-4439. doi: 10.48084/etasr.2855
- Khaengkhan, P. (2023). *Seed germination stimulant with magnetic fields*. Accessed December 4, 2023. Retrieved from <https://res.msu.ac.th/2023/04/18/%E0%B9%80%E0%B8%84%E0%B8%A3%E0%B8%B7%E0%B9%88%E0%B8%AD%E0%B8%87%E0%B8%81%E0%B8%A3%E0%B8%B0%E0%B8%95%E0%B8%B8%E0%B9%89%E0%B8%99%E0%B8%81%E0%B8%B2%E0%B8%A3%E0%B8%87%E0%B8%AD%E0%B8%81%E0%B9%80%E0%B8%A1/>. (in Thai)
- McDonald, M. B. (1999). Seed deterioration: physiology, repair and assessment. *Seed Science and Technology*, 27(1), 177-237.
- Reina, F. G., & Pascual, L. A., (2001). Influence of a stationary magnetic field on water relations in lettuce seeds. Part I: theoretical considerations. *Bioelectromagnetics*, 22(8), 589-595. doi: 10.1002/bem.88

- Reina, F. G., Pascual, L. A., & Fundora, I. A. (2001). Influence of a stationary magnetic field on water relations in lettuce seeds Part II experimental results, *Bioelectromagnetics*, 22(8), 596-602. doi: 10.1002/bem.89
- Senglathamy, K., Chim-Oye, T., & Fuangfoong, M. (2017). Study of static electric and magnetic field's effects on rice seed germination rate and seedling growth of Kao Jao Deng (*Oryza sativa* L.) from Lao PDR. *Thai Science and Technology Journal*, 25(3), 424-434. doi: 10.14456/tstj.2017.35 (in Thai)
- Ülgen, C., Birinci Yildirim, A., Yildirim, A. B., & Turker, A. U. (2017). Effect of magnetic field treatments on seed germination of *Melissa officinalis* L. *International Journal of Secondary Metabolite*, 4 (Spec. 1), 43-49. doi: 10.21448/ijsm.356283
- Vashisth, A., Singh, R., & Joshi, D. K. (2013). Effect of static magnetic field on germination and seedling attributes in tomato (*Solanum lycopersicum*). *Journal of Agricultural Physics*, 13(2), 182-185.
- Wetchakama, N., & Khaengkhan, P. (2018). Improvement of seed qualities with seed priming techniques. *Prawarun Agricultural Journal*, 15(1), 17-30. (in Thai)

Research article

The enhancement of sweet pepper seed germination by seed priming with permanent magnetic fields water

Pirawan Wasunan¹ Phirayot Khaengkhan² Chatpong Bangbai³ Eakrin Sareepua⁴ and Parinda Khaengkhan^{4*}

¹ Yangtalat District Agricultural Extension Office, Yangtalat District, Kalasin Province, 46120

² Department of Agricultural Technology, Faculty of Technology, Maha Sarakham University, Kantarawichai district, Maha Sarakham Province, 44150

³ Division of Science and Mathematics, Faculty of Science and Health Technology, Kalasin University, Mueang district, Kalasin Province, 46000

⁴ Division of Plant Production Technology, Faculty of Agricultural Technology, Kalasin University, Mueang district, Kalasin Province, 46000

ARTICLE INFO**Article history**

Received: 18 April 2024

Revised: 21 May 2024

Accepted: 4 June 2024

Online published: 28 June 2024

Keyword

Capsicum annuum L.
germination percentage
seed vigor
seed priming
magnetic field intensity

ABSTRACT

This study investigates the effects of permanent magnetic fields and soaking duration on seed germination and seedling growth of California sweet pepper (*Capsicum annuum* L.). The experiment followed a 3×4 factorial design in a randomized complete block, examining two factors: magnetic field intensity at three levels (0 mT, 25 mT, 50 mT) and soaking duration at four levels (0, 3, 6, 9 hours). Seeds were soaked in magnetically treated water, dried, and tested for germination according to standard protocols. Results indicated that a magnetic field intensity of 50 mT increased the germination percentage in the laboratory ($P<0.05$). Soaking seeds in magnetically treated water for 3 hours reduced the average germination time, and significantly increased the germination percentage and germination index ($P<0.01$) in both laboratory and greenhouse settings. Interaction analysis revealed that soaking seeds in a 25 mT magnetic field for 3 hours resulted in the shortest average germination time (8.43 days), while soaking seeds in a 25 mT field for 6 hours yielded the highest germination percentage (84 %) and average germination index (3.89 seedlings/day) ($P<0.05$). Additionally, soaking seeds in a 25 mT field for 3 hours resulted in the highest seedling height at week one. Moreover, soaking seeds in a 50 mT field for 6 hours increased chlorophyll content in seedling leaves at week two (26.85 SPAD units). In conclusion, the optimal conditions for improving sweet pepper seed germination quality were a magnetic field intensity of 25 mT and a soaking duration of 6 hours.

*Corresponding author

E-mail address: pkparinda@gmail.com (P. Khaengkhan)

Online print: 28 June 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.2024.29>



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

บทความวิจัย

การพัฒนา kombucha จาก การ เบลน ด์ ชา สมุนไพร และ ชา ดอกไม้ และ ประโยชน์ ต่อ สุขภาพ

นิสา ร่มส้มซ่า* อินทิรา สูตรใหม่ ณัฏฐนิตา อมรภิตติถาวร ทิพย์วรินทร์ รีมล้ำนวน และ น้ำฝน สามสาสี่

สาขาชีววิทยาประยุกต์ คณะวิทยาศาสตร์และศิลปศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี กรุงเทพมหานคร 10520

ข้อมูลบทความ

Article history

รับ: 12 ธันวาคม 2566

แก้ไข: 3 เมษายน 2567

ตอบรับการตีพิมพ์: 24 เมษายน 2567

ตีพิมพ์ออนไลน์: 29 มิถุนายน 2567

คำสำคัญ

คอมบูชา

ชาเบลนด์

ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ

การประเมินทางประสาทสัมผัส

ฤทธิ์ยับยั้งเอนไซม์แอลฟาไกลูโคซิเดส

บทคัดย่อ

จุดประสงค์ของงานวิจัยครั้งนี้เพื่อพัฒนาเครื่องดื่มคอมบูชาจากการเบลนด์ชาสมุนไพร และชาดอกไม้สูตรต่าง ๆ โดยศึกษาปริมาณแบคทีเรียกรดอะซิติกและยีสต์ เปรียบเทียบฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ ฤทธิ์การยับยั้งเอนไซม์แอลฟาไกลูโคซิเดส และการประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสของเครื่องดื่มคอมบูชาที่ได้จากการหมักชาเบลนด์สมุนไพรและชาดอกไม้จำนวน 9 สูตร พบว่าปริมาณแบคทีเรียกรดอะซิติกและยีสต์ในแต่ละสูตรมีปริมาณแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) โดยคอมบูชาจากชาเบลนด์สูตรที่ 3 (ชาอู่หลง เจริญกุลและคาโมมายด์) มีปริมาณแบคทีเรียกรดอะซิติกสูงที่สุดเท่ากับ $8.45 \pm 0.02 \log \text{CFU/ml}$ และคอมบูชาจากชาเบลนด์สูตรที่ 5 (ชาอู่หลง ใบชาหอมมะลิและกุหลาบ) มีปริมาณยีสต์สูงที่สุดเท่ากับ $6.19 \pm 0.02 \log \text{CFU/ml}$ ส่วนคอมบูชาจากชาเบลนด์สูตรที่ 3 สูตรที่ 4 (ชาอู่หลง ใบชาหอมมะลิ และคาโมมายด์) และสูตรที่ 5 พบปริมาณกรดอะซิติกสูงที่สุดเท่ากับร้อยละ 1 และค่าพีเอชเท่ากับ 2.53 จากการทดสอบฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระของคอมบูชาจากการหมักชาเบลนด์ด้วยวิธี DPPH พบว่าคอมบูชาจากชาเบลนด์สูตรที่ 8 (ชาอู่หลง ชาดาวอินคา และกุหลาบ) มีร้อยละการยับยั้งสารอนุมูลอิสระสูงที่สุดเท่ากับ 87.09 ± 0.006 ส่วนคอมบูชาจากชาเบลนด์สูตรที่ 3 พบปริมาณสารประกอบฟีนอลิกสูงที่สุดเท่ากับ 0.398 ± 0.002 มิลลิกรัม เมื่อเทียบกับกรดแกลลิกต่อปริมาณตัวอย่าง ผลการทดสอบฤทธิ์ยับยั้งเอนไซม์แอลฟาไกลูโคซิเดสของคอมบูชาจากการหมักชาเบลนด์ พบว่าคอมบูชาจากชาเบลนด์สูตรที่ 5 มีฤทธิ์ยับยั้งเอนไซม์แอลฟาไกลูโคซิเดสได้ดีที่สุด โดยมีค่าความเข้มข้นของคอมบูชา ที่สามารถยับยั้งปฏิกิริยาได้ร้อยละ 50 (IC_{50}) เท่ากับ $43.62 \pm 1.28 \text{ ppm}$ จากผลการประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสของคอมบูชาจากชาเบลนด์สูตรต่าง ๆ พบว่าคอมบูชาจากชาเบลนด์สูตรที่ 4 และ 7 มีคะแนนความชอบโดยรวมสูงที่สุดเท่ากับ 7.56 ± 1.89 และ 7.32 ± 1.75 ตามลำดับ ดังนั้นงานวิจัยนี้เป็นการพัฒนาสูตรเครื่องดื่มคอมบูชาจากการเบลนด์ชาที่เหมาะสมจากการใช้สมุนไพรและชาดอกไม้เป็นวัตถุดิบทางเลือกอย่างชาอู่หลง ใบชาหอมมะลิ และคาโมมายด์ซึ่งได้รับการยอมรับจากผู้บริโภคสูงที่สุดและมีสมบัติเชิงหน้าที่อีกด้วย

Introduction

Kombucha is defined as a fermented tea beverage, made by adding a symbiotic culture of bacteria and yeast (SCOBY), resulting in a refreshing, bittersweet, sour taste and slightly carbonated drink. Kombucha is now considered a functional beverage because it contains both essential nutrients and bioactive compounds that promote human health benefits, including antioxidant, antimicrobial activity, immune system activation, hepatoprotective effects and antidiabetic (Chakravorty et al., 2016; Kapp & Sumner, 2019; Mahmoudi et al., 2016; Muhiaddin et al., 2019; Coelho et al., 2020; Emiljanowicz & Malinowska-

Panczyk, 2020). During the fermentation of Kombucha, these microorganisms convert the sugar and generate metabolites such as organic acids (acetic, gluconic, glucuronic and citric), water-soluble vitamins (B_1 , B_2 , B_6 , B_{12} , and C), ethanol, carbon dioxide, and cellulose. (Bauer-Petrovska & Petrushevska-Tozi, 2001; Jayabalan et al., 2007; Malbaša et al., 2011; Marsh et al., 2014; Neffe-Skocinska et al., 2017; Gaggia et al., 2018; Leonarski et al., 2021). Currently, Kombucha is one of the most popular world-fermented beverages with low alcohol (Kapp & Sumner, 2019), with a market value of USD 2.64 billion in 2021 and is expected to expand at a compound annual growth rate (CAGR) of

*Corresponding author

E-mail address: nisa_romsomsa@hotmail.com (N. Romsomsa)

Online print: 29 June 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.2024.30>

15.60 % from 2022 to 2030. Typically, Kombucha can be prepared with black or green tea. Recently, there has been a growing interest in Kombucha from alternative raw materials in the replacement of the traditional ingredients for its fermentation, such as herbal teas, fruit juices, milk, coffee and a wide range of agro-industrial materials, mainly by-products of fruit industries (Emiljanowicz & Malinowska-Panczyk, 2020; Kim & Adhikari, 2020). The use of alternative raw materials can promote the development of new beverages with novel functional properties due to their phytonutrient enrichment composition which provide Kombucha with diverse biological activities and differentiated sensory characteristics to attract consumer attention.

Blended tea is a final product that is produced by blending different teas or teas with other ingredients, such as added herbs, spices, flowers, dried fruits, and essential oils. In general, the blending tea formulation can use true teas (black, green, Oolong, yellow, or white) as tea base. Then, add a supporting ingredient for a complementary effect or flavor such as spices or herbs. The final ingredient is an accent which adds a pop of flavor (fruits and flowers) and can include a multitude of formulas to create a specific blend. In particular, appearance, liquor hue, flavoring and scenting are the most popular ways to create tea blends with well-balanced attractive flavors. Different types of tea are blended to produce a special taste, which helps in the achievement of different enhanced health benefits, including antioxidant, immunostimulatory, calming, and digestive stimulant. Oolong tea is referred to as semi-fermented tea results in an extremely wide variety of flavors, which is known for its distinct light and elegant floral aroma and very fruity flavor (Zeng et al., 2020). Because of the natural fruitiness of Oolong teas, they are often blended with other fruit flavors or a floral aroma that provides satisfying blend teas. Therefore, blended tea may be considered an interesting

substrate for Kombucha fermentation.

This study focused on the development of blended Kombucha from various herbal teas and flower teas by using Oolong tea as tea base. The populations of acetic acid bacteria and yeast during blended Kombucha fermentation were determined. A comparative study on the antioxidant activity, anti- α -glucosidase inhibitory profiles, and sensory evaluation of various blended Kombucha was performed.

Materials and methods

Preparation of blended herbal and flower teas

Three dried herbal teas including Jiaogulan, Jasmine rice leaves and Sacha Inchi and dried three flower teas including chamomile, roses and butterfly pea was purchased from local organic farms. Blend teas are created by combining Oolong tea leaves as tea base, dried herbs and dried flowers in a bowl using a 2:1:1 ratio. Then, mixing and put them into the tea bags. Keeping in ziplock bags and store at 4°C.

Blended Kombucha fermentation

Nine formulas of blended herbal and flower teas were set up as shown in Table 1. Preparation of each group infusion of blended Kombucha as described by using 4.8 g of blended dried herbs or flower teas allow it to steep for 15 minutes. Then, approximately 180 g of brown sugar was dissolved in 2 L of boiling water, added the commercial starter SCOBY (Kombuchadiyshop, Bangkok, Thailand) with 20 % (v/v) of its liquid from a previous starter, and kept at room temperature in a glass container covered with clean cheesecloth and fastened with rubber bands for 10 days. After fermentation, SCOBY was removed from Kombucha liquids, and the remaining Kombucha samples were stored at 4°C. Kombucha samples were examined in terms of pH and total acidity, antioxidant and total phenolic compound, and α -Glucosidase inhibitory activity.

Table 1 Formulations of blended Kombucha sample

Blended teas formula	Tea base Oolong tea (g)	Herbal teas (g)			flower teas (g)		
		Jiaogulan	Jasmine rice leaves	Sacha Inchi	Chamomile	Roses	Butterfly pea
1	2.4	1.2	-	-	1.2	-	-
2	2.4	1.2	-	-	-	1.2	-
3	2.4	1.2	-	-	-	-	1.2
4	2.4	-	1.2	-	1.2	-	-
5	2.4	-	1.2	-	-	1.2	-
6	2.4	-	1.2	-	-	-	1.2
7	2.4	-	-	1.2	1.2	-	-
8	2.4	-	-	1.2	-	1.2	-
9	2.4	-	-	1.2	-	-	1.2

*** Control: Oolong tea.

Enumeration of acetic acid bacteria and yeasts during the blended Kombucha fermentation

The populations of acetic acid bacteria (AAB) during 10 days of fermentation were determined by plating on GYC agar and incubated at 30°C for 24-48 h. The viable cell numbers of yeasts were measured by plating on YEPD agar and incubated at 30°C for 24-48 h. The populations of both AAB and yeasts were expressed as log of colony-forming units per ml (log CFU/ml). The acidity of the Kombucha sample was determined and acetic acid content was analyzed by titration.

Determination of antioxidant activity of blended Kombucha

The antioxidant activity of samples was measured by using the DPPH (2,2-diphenyl-1-picrylhydrazyl) was modified from Lu et al. (2011). Kombucha samples (50 µl) were mixed with 1.950 ml of 40 mg/l of 2,2-diphenyl-1-picrylhydrazyl (DPPH) solution and incubated for 30 min in the dark. The absorbance of the sample was measured at 517 nm using a spectrophotometer (Genesys 10- S UV- Vis spectrophotometer, Thermo Fisher Scientific, USA). The results of the antioxidant capacity were calculated as trolox equivalent per gram of sample. % of radical scavenging activity was calculated according to the following equation:

$$\% \text{ of scavenging activity} = \frac{(A_{\text{control}} - A_{\text{sample}}) \times 100}{A_{\text{control}}}$$

wherein A_{control} is an absorbance at 400 nm in the control samples
 A_{sample} is an absorbance at 400 nm in the Kombucha samples

Determination of total phenolic compound of blended Kombucha

The total phenolic content was measured using the Folin- Ciocalteu assay modified from Matthäus (2002). Kombucha samples (50 µl) were added to 2 ml of 2 % (w/v) sodium carbonate, mixed with 10 % (v/v) Folin-Ciocalteu reagent (100 µl), and further incubated for 30 min. The absorbance was measured at 750 nm using a spectrophotometer (Genesys 10- S UV- Vis spectrophotometer, Thermo Fisher Scientific, USA). The result was expressed as µg gallic acid equivalent per ml of Kombucha sample (µg GAE/ml).

Determination of α- glucosidase inhibition activity

The Inhibitory activity of α-glucosidase of blended Kombucha was determined according to the methods reported by Sugiwati et al. (2009). To analyze the inhibition activity of α-glucosidase, 50µl of blended Kombucha samples fermented for 10 days of different concentrations (6.25, 12.5, 25 and 50 ppm) were added to 25 µl of α- glucosidase solution (0.5 U/ml), which was dissolved in 0.1 M phosphate

buffer (pH of 7), were mixed and incubated at 37°C for 15 min. After 5 µl of *p*-nitrophenyl- α -D-glucopyranoside (pNPG) (5 mM) was added to the mixture and incubated for 10 min at 37°C, 100 µl of Na₂CO₃ (200 mM) was added to stop the reaction. Acarbose was used in this experiment as the positive control. The reaction was monitored by a change of absorbance at 400 nm using a spectrophotometer (Genesys 10-S UV-Vis spectrophotometer, Thermo Fisher Scientific, USA). % of inhibition could be calculated with an equation.

$$\% \text{ of inhibition} = ((A_0 - A_1) / A_0) \times 100$$

wherein A_0 is an absorbance at 400 nm in control (DMSO) without sample and A_1 is sample absorbance with enzyme addition minus sample absorbance without enzyme addition.

The IC₅₀ for each sample was estimated using the fitted straight line (linear regression) plotted with the data derived (% of inhibition values) against µl of the sample. Acarbose was used as a positive control, and all treatment was conducted in triplicate (n=3). The concentration of the samples required to inhibit 50 % of α -glucosidase activity under the assay conditions was defined as the IC₅₀ value. A linear regression was made between % inhibition (Y) and sample concentration (X) to obtain a linear equation. IC₅₀ values of samples were calculated based on the equation obtained.

Sensory evaluation

Sensory evaluation of nine blend Kombucha samples was carried out by using 10 ml of the drink for an untrained sensory panel of 50 testers. Each blend Kombucha sample was subsequently coded with letters

and evaluated in triplicate for, color, clarity, odor, taste and overall acceptability were evaluated with the 9-point Hedonic scale method under natural light in a room by 1 = dislike extremely, 2 = dislike very much, 3 = dislike moderately, 4 = dislikes slightly, 5 = neither like nor dislike, 6 = like slightly, 7 = like moderately, 8 = like very much, and 9 = likes extremely.

Statistical analysis

All experiments were carried out in triplicate and the mean of replications with standard deviations were reported. The experimental data were subjected to analysis of variance (Duncan's test) at the significance level of 0.05 which were performed with SPSS software.

Results and Discussion

The appearance of blended Kombucha from herbal teas and flower

The appearance of blended Kombucha from herbal teas and flowers at the beginning of the fermentation and after 10 days of fermentation is shown in Figure 1. The appearance of blended teas broth formula 2, 4, 5, 7, 8 and 10 at the beginning of the fermentation was light yellow, while after fermentation, the color changed to transparent yellow. The color of blended Kombucha samples formula 3, 6 and 9 before fermentation was greenish blue then changed to purplish pink. In this study, the pH of blended Kombucha samples decreased during fermentation, thus the transformation in the color of blended Kombucha during fermentation was probably due to anthocyanins (Filipe-Ribeiro et al., 2019). The anthocyanin turns red-pink in acids (pH 1-6), reddish-purple in neutral solutions (pH 7) and green in alkaline or basic solutions (pH 8-14) (Fossen et al., 1998)

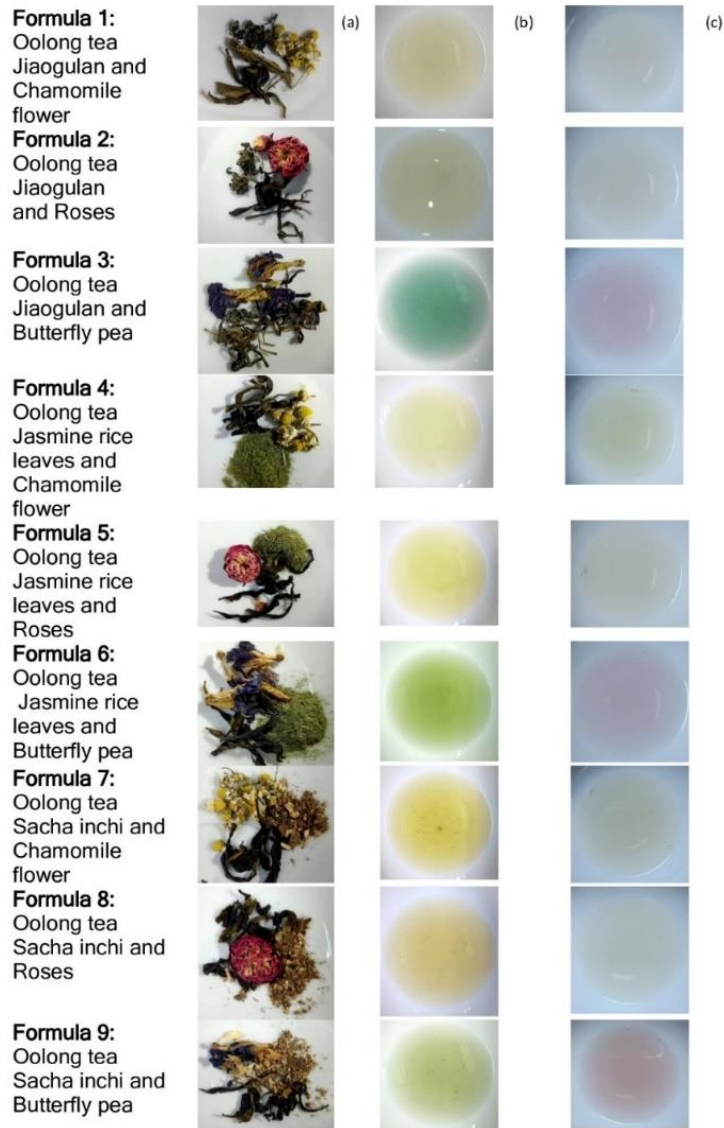


Figure 1 Appearance of blended Kombucha from herbal teas and flower; blended tea (a); blended tea at the beginning of fermentation (b); after 10 days of fermentation (c).

After 10 days of blended Kombucha fermentation, a thin layer of SCOBY grew across the top of the liquid from the fifth day, increasing its thickness with fermentation time as shown in Figure 2. During fermentation, acetic acid bacteria (AAB) utilize fructose and glucose to produce

bacterial cellulose, is an extracellular polysaccharide consisting of glucose molecules linked by β -1, 4-glycosidic bonds, and its production depends on the availability of carbon and nitrogen sources, ethanol, organic acids, and culture conditions (Leal et al., 2018).



Figure 2 Appearance of blended Kombucha from herbal teas and flower teas a (from left to right) at the beginning of the fermentation process (a) 5 days of fermentation (b) and after 10 days of fermentation (c).

Enumeration of acetic acid bacteria and yeast during blended Kombucha fermentation

The growth characteristics of AAB and yeast of nine blended Kombucha samples during fermentation are shown in Figure 3. The microbial population of AAB and yeast in the blended Kombucha increased by nearly 2 log CFU/ml during fermentation for 10 days. Among the ten blended Kombucha samples, the population of AAB showed significant difference ($p < 0.05$) which the maximum concentration of AAB of formula 3 of 8.45 ± 0.02 log CFU/ml was observed. The results indicated that butterfly pea flower and Jiaogulan can promote the number of

acetic acid bacteria cells. According to Majid et al. (2023) showed that the development of butterfly pea flower Kombucha was studied on the 4 days of fermentation marked the peak of AAB growth at 6.29 log CFU/ml and yeast growth at 7.66 log CFU/ml. In addition, Jiaogulan presented the prebiotic properties which promote the growth of beneficial bacteria, particularly the short-chain fatty acid (SCFA) producers (Huang et al., 2022). On the contrary, formula 7 had the lowest of AAB population of 4.77 ± 0.10 log CFU/ml. Yeast population was detectable from the beginning of fermentation and increased until 10 days of fermentation, reaching

the maximum of 6.19 ± 0.02 log CFU/ml was found in formula 5, while formula 2 showed the lowest yeast count of 5.69 ± 0.03 log CFU/ml. The results indicated that Jasmine rice leaves provide a source of nitrogen and minerals for Kombucha microorganisms and have also valuable nutritional properties such as β - Glucan (Sudtasarn et al. , 2008) . In addition, roses are the alternative raw materials used in Kombucha production since it provides various nutrients for activating SCOBY. Zhang et al. (2020) who reported that rose and jujube kernel were proposed as an attractive alternative to Kombucha which showed the content of 6-feruloylspinosin and spinosin, as typical functional substances that exert sedative and hypnotic effects.

As depicted in Figure 4 the determination of acetic acid content of nine blended Kombucha samples during fermentation. It was found acetic acid increased dramatically at ten days of fermentation. Formula 3, 4 and 5 had the highest % of acetic acid content (1 %), and no significant ($p < 0.05$) differences were observed. The pH value declined quickly at 10 days of fermentation, meaning that the acetic acid bacteria produce the acetic acid during the fermentation of Kombucha by conversion of sucrose to ethanol and glucose and fructose (Spedding, 2015). Kombucha has less than 1 % acetic acid, with a typical

pH between 2.5 and 3.5 (Figure 5) . Comparisons between the pH of blended Kombucha samples are shown in Figure 5. The pH of blended Kombucha samples decreased significantly ($p < 0.05$) during fermentation, mainly due to the increase in organic acid contents. However, at the beginning of fermentation, no significant ($p > 0.05$) differences were observed in the pH of blended Kombucha samples in comparison with Kombucha tea, whereas formula 3 exhibited the lowest pH (2.53) at the end of fermentation.

Determination of antioxidant activity of blended Kombucha

DPPH Assay

Comparisons between the antioxidant activity of blended Kombucha samples are shown in Figure 6. At the beginning of fermentation, the results revealed that formula 6 had the highest radical scavenging activity, which was 93.022 ± 0.004 % compared to the other blended Kombucha formulas. However, at the end of the fermentation, the highest antioxidant activity was found in formula 8 with scavenging activity of 87.090 ± 0.006 % . Lobo et al. (2017) determined that the metabolic conversion of tea components by microbial enzymes during fermentation may contribute to the increase in the antioxidant activity of Kombucha.

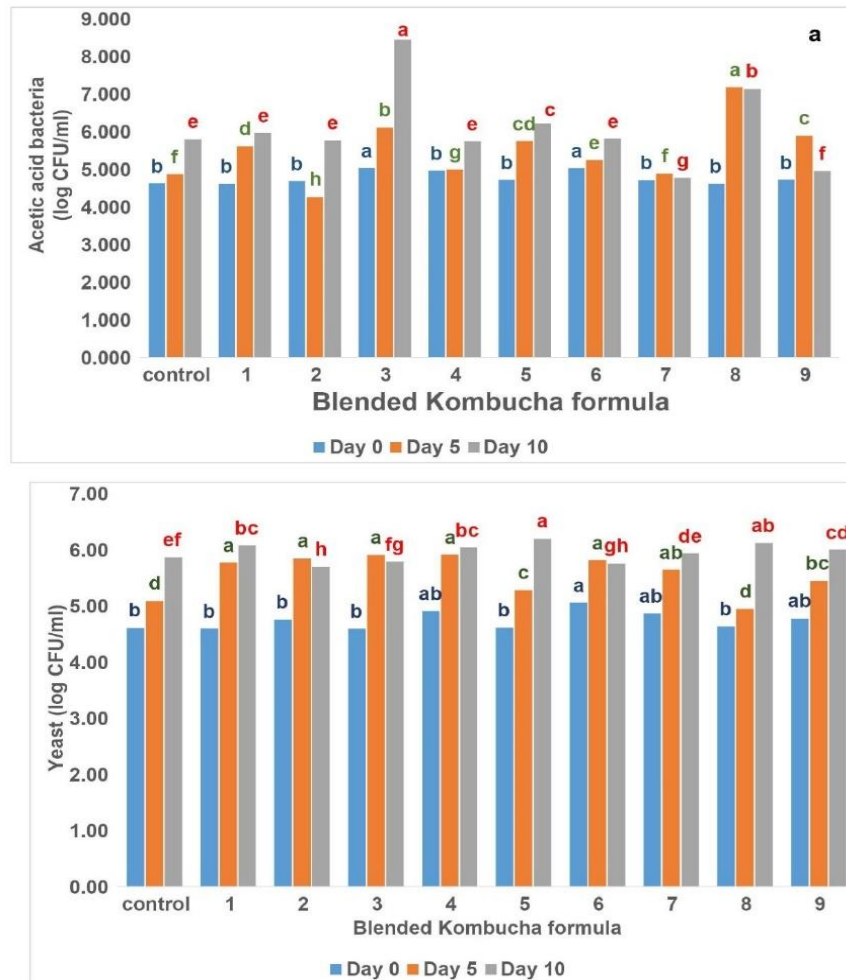


Figure 3 Growth patterns of acetic acid bacteria (a) and yeast (b) during blended Kombucha fermentation. Different letters show statistical significance ($p \leq 0.05$) between different Kombucha formulas at the same fermentation time. Different colors of letters represent different Kombucha fermentation with various blended Kombucha formulas.

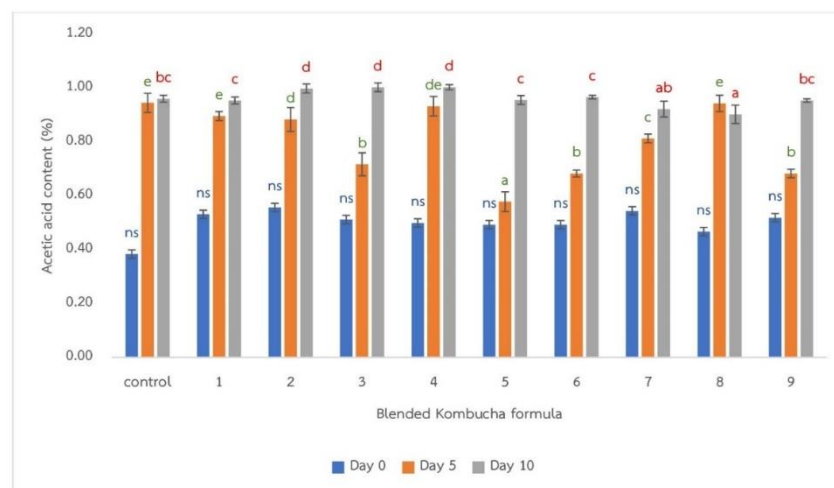


Figure 4 Comparisons between the acetic acid content (%) of various blended Kombucha during 10 days of fermentation. Different letters show statistical significance ($p \leq 0.05$) between different Kombucha formula at the same fermentation time. Different colors of letters represent different Kombucha fermentation with various blended Kombucha formula, whereas “ns” indicates not significant ($p > 0.05$).

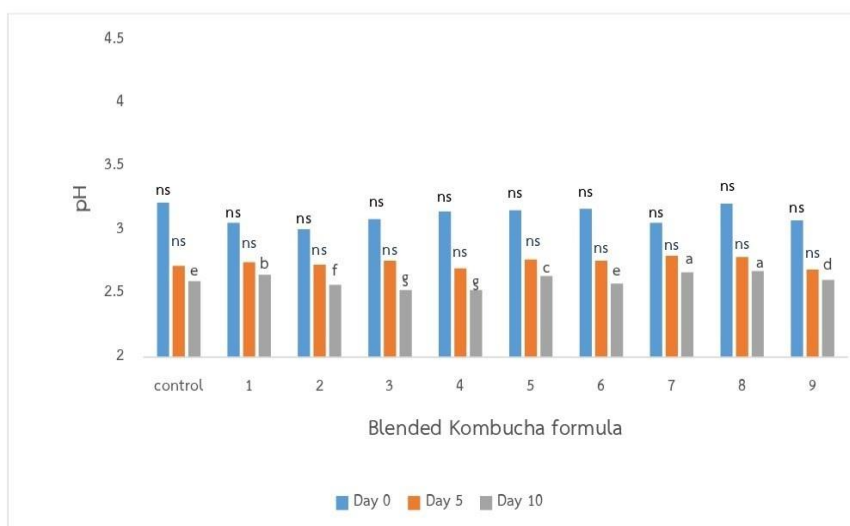


Figure 5 Comparisons between the pH of various blended Kombucha during 10 days of fermentation. Different letters show statistical significance ($p \leq 0.05$) between different Kombucha formula at the same fermentation time. Different colors of letters represent different Kombucha fermentation with various blended Kombucha formula, whereas “ns” indicates not significant ($p > 0.05$).

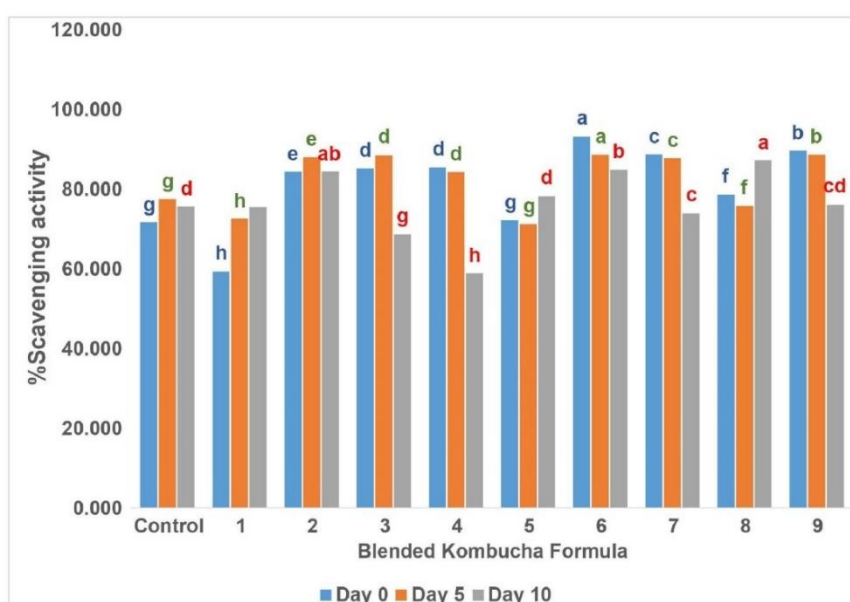


Figure 6 Antioxidant activities of various blended Kombucha during 10 days of fermentation. Different letters show statistical significance ($p \leq 0.05$) between different Kombucha formulas at the same fermentation time. Different colors of letters represent different Kombucha fermentation with various blended Kombucha formulas.

Total phenolic content

Following the total phenolic content assay, the results showed that the total phenolic content of all blended Kombucha formula increased during fermentation. Furthermore, the significantly highest total phenolic content is determined as 0.398 ± 0.002 mg/ml for formula 3 at 10 days of fermentation (Figure 7). According to Bhattacharya et al. (2013), an increase in phenolic content during fermentation may be

related to the enzymes of yeasts and bacteria such as glucosidase, esterase, dehydroxylase, and decarboxylase which convert polyphenolic complex into less complex phenolic components during fermentation. (Selma et al., 2009; Zubaidah et al., 2018). As well as Emiljanowicz & Malinowska-Pa (2020) reported that the phenolic components are more stable at acidic pH may cause differences in the total amount of phenolic substances during fermentation.

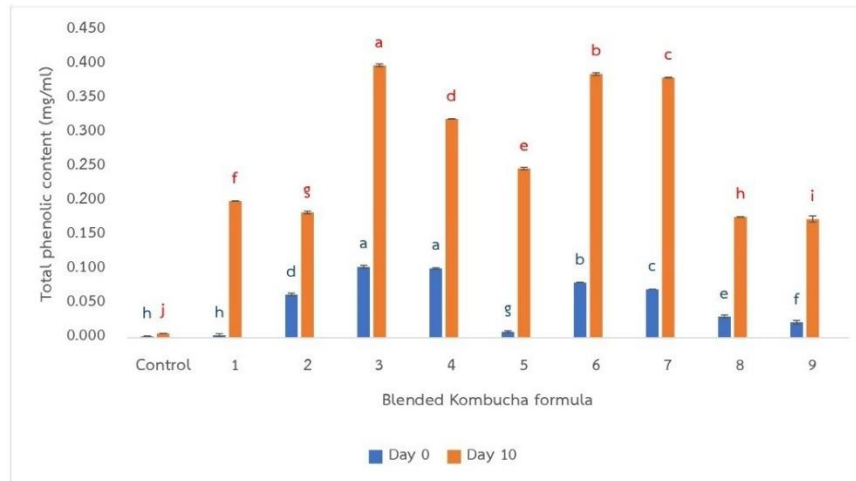


Figure 7 Total phenolic content of various blended Kombucha during fermentation. Different letters show statistical significance ($p \leq 0.05$) between different Kombucha formulas at the same fermentation time. Different colors of letters represent different Kombucha fermentation with various blended Kombucha formulas.

α -glucosidase inhibitory activity of blended Kombucha

α -amylase and α -glucosidase are essential in the breakdown of carbohydrates, which are present in the small intestinal brush border. Thus, inhibiting these enzymes' activity, thereby enhancing ability to prevent the breakdown of starch and reduce the glucose absorption rate in the blood (Koh et al., 2010; Liu et al., 2011). The results obtained for α -glucosidase inhibitory activity of blended Kombucha are shown in Figure 8. In all ten Kombucha samples had statistically significant difference in inhibitory effects on alpha-glucosidase activity ($p < 0.05$) was observed. Blended Kombucha formula 5 strongly inhibited α -glucosidase activity with IC_{50} value of 43.62 ± 1.28 ppm, followed by, blended Kombucha formula 1 showed α -glucosidase inhibitory activity with IC_{50} value of 50.54 ± 2.66 ppm, while the lowest activity of blended Kombucha formula 8 and 9 were observed. This finding indicates that the blended Kombucha from herbal teas and flower teas has the potential to be effective in controlling blood glucose levels functional drink. In agreement with the literature, Hardoko et al. (2020) who reported that Kombucha from *R. mucronata* herbal tea is more effective in

inhibiting α -glucosidase activity than the acarbose and the commercial Kombucha tea. Similar observations were also noted by Dechakhamphu et al. (2023) demonstrated that *C. rotundus* Kombucha showed alpha-glucosidase activity inhibition potential with IC_{50} values of 142.7 ± 5.2 μ l/ml. Inhibitory activity of the α -glucosidase at blended Kombucha may be due to the phytochemical compounds in plants have ability to inhibit the α -glucosidase, such as alkaloids, triterpenoids, flavonoids, and phenolic (Yin et al., 2014). In addition, the increased presence of the total phenolics content which can inhibit α -amylase produced during the fermentation process. In agreement with the literature, Mai et al. (2007) demonstrated a positive correlation between α -glucosidase inhibition and antioxidant activity. Like the previous study which revealed that phenolic compounds were the main contributors to α -glucosidase inhibitory activity of *Neptunia oleracea* (Lee et al., 2014) and *B. macrophylla* seed extract (Adam et al., 2016). Moreover, the glycoside content in herbal teas or flowers consists of sugars that may be structurally similar to carbohydrates which is a substrate of the α -glucosidase (Sugiwati et al., 2009).

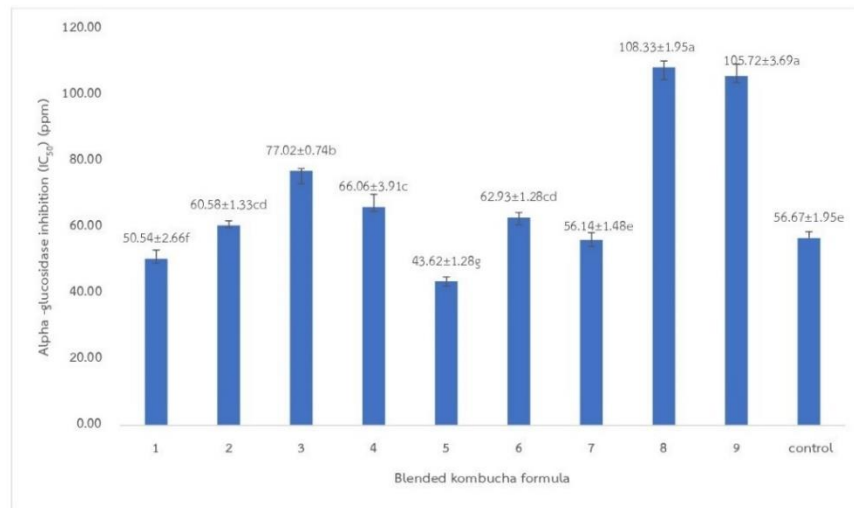


Figure 8 α - glucosidase inhibitory activity of blended Kombucha expressed in IC₅₀. Different letters show statistical significance ($p \leq 0.05$) between different Kombucha formula at the same fermentation time.

Sensory evaluation

The results of the sensory evaluation of nine blended Kombucha formula samples are shown in Table 2. There was a significant difference in scores amongst the general acceptability of the blended Kombucha samples, whereas the clarity of blended Kombucha samples did not differ significantly. It can be seen that the highest score for color was assigned to formula 3 (7.80 ± 1.25), whereas the lowest score was assigned to formula 2 (6.64 ± 1.59). That may probably be

due to the attractive color of butterfly pea flower as a raw material for tea constituents which can enhance the product's visual attractiveness to consumers. The highest score for odor of formula 3 was 6.30 ± 2.03 , which was higher than that of the other formulas. The score of taste of formula 3 and formula 4 was not statistically significant ($p > 0.05$), which was better than the other formula. Moreover, the most desirable overall acceptability was that of formula 4, while formula 2 had the least desirable overall acceptability.

Table 2 Sensory evaluation score of blended Kombucha samples

Blended Kombucha formula	Color	Clarity ^{ns}	Odor	Taste	Overall acceptability
1	6.88 ± 1.38^{bc}	6.98 ± 1.32	4.78 ± 1.87^c	6.76 ± 1.25^{ab}	6.54 ± 1.27^{bc}
2	6.64 ± 1.59^c	6.74 ± 1.81	4.90 ± 2.00^{bc}	5.22 ± 1.93^e	5.60 ± 1.82^d
3	7.80 ± 1.25^a	7.42 ± 1.32	5.28 ± 2.18^{bc}	7.14 ± 1.55^a	7.22 ± 1.42^{ab}
4	7.46 ± 1.49^{ab}	7.32 ± 1.62	6.30 ± 2.03^{abc}	7.50 ± 2.05^a	7.56 ± 1.89^a
5	7.06 ± 1.53^{bc}	7.20 ± 1.54	5.56 ± 1.98^{abc}	6.3 ± 1.85^{cd}	6.56 ± 1.74^{bc}
6	7.42 ± 1.49^{ab}	6.80 ± 1.73	5.50 ± 2.01^{abc}	5.72 ± 1.90^{cde}	6.08 ± 1.60^{cd}
7	7.16 ± 1.43^{abc}	7.10 ± 1.31	6.18 ± 1.92^a	7.30 ± 1.54^a	7.32 ± 1.75^a
8	7.14 ± 1.31^{abc}	7.06 ± 1.36	5.78 ± 1.93^{ab}	5.74 ± 1.94^{cde}	6.34 ± 1.35^c
9	7.06 ± 1.71^{bc}	6.84 ± 1.69	5.76 ± 2.00^{ab}	6.12 ± 2.21^{bcd}	6.50 ± 1.89^c
Control	7.16 ± 1.67^{abc}	7.16 ± 1.65	5.66 ± 1.73^{abc}	5.44 ± 2.06^{de}	6.06 ± 1.88^{cd}

Data from panelists are means $\pm$ standard deviations ($n = 50$); different letters show statistical significance ($p \leq 0.05$) between different Kombucha formulas, "ns" indicates not significant ($p < 0.05$).

On the overall acceptability score, formula 4 showed the highest score for overall acceptability (7.56 ± 1.89) among all blended Kombucha formulas. For the blended the Kombucha, taste, odor, and

overall acceptability of formula 4 were slightly better than formula 3, but the two samples were significantly higher than the control ($p > 0.05$) (Figure 9). It was evaluated that formulas 3 and 4 were most preferred by

participants which may probably be due to Jasmine rice leaves and Chamomile flower Kombucha being yellow a moderately amber and yellow color, while formula 3 had the attractive color of butterfly pea flower in acidic condition, pink-purple. The taste of blended Kombucha was evaluated as depending on the kind of herbal tea leaf and flower used for the Kombucha fermentation process. The blended Kombucha formulas 3 and 4 had acidic and pleasant taste and odor characteristics for the used extracts. Thus, the appearance of a sour taste due to the SCOBY metabolizes the sugars and ultimately produces acids during the fermentation process (Marsh et al., 2014; Kim & Adhikari, 2020). Acetic acid is the most prominent with a slightly sharp and hard sour aroma and taste. Moreover, gluconic acid is also found in Kombucha tea with a refreshing, soft, and light taste (Laureys et al., 2020). In addition, the flavors across fermentation can change from “fruity”, “sweet and sour”, “tea” and “sparkling” flavors to “vinegar” “sour”

“sparkling” and “apple cider-like” flavors (Marsh et al., 2014; Watawana et al., 2015; Amarasinghe et al., 2018). Besides, a beer taste is typical for Kombucha tea brews, since microbiota fermentation leads to the occurrence of a characteristic taste and aroma, similar to cider. Constituents such as tannins, catechins, amino acids contribute to the flavor of the tea. Catechins are predominantly known to contribute to 70-75 % of bitterness and astringency. On the other hand, the bitter taste is reduced by the Kombucha microbial activity during the fermentation process, since it produces amino acids reducing the bitterness of the tea alkaloids present (Gramza-Michałowska et al., 2016). Whereas caffeine and tannins are responsible for astringent or pungent taste. The brothy taste and sweet taste was due to amino acids (Nakagawa, 1975; Lee & Chambers, 2009; Zou et al., 2018). Therefore, blended Kombucha formula 4 is more suitable for the preparation of Kombucha beverage with delightful flavor.



Figure 9 Radar chart of sensory evaluation test of blended Kombucha; formula 3 (Oolong tea, Jiaogulan and butterfly pea), formula 4 (Oolong tea, Jasmine rice leaves and chamomile flower), control (Oolong tea).

Conclusion

In this work, we report the growth profile of acetic acid bacteria and yeast between the blended Kombucha beverages using different herbal tea and flowers during fermentation. The results showed that herbal teas and flowers are the good alternative raw materials used in Kombucha production that provide carbon and nitrogen sources for the

Kombucha cultures and alter its fermentation products to produce more beneficial and healthy bioactive beverages. The highest of acetic acid bacteria cell numbers was 8.45 ± 0.02 log CFU/ml for formula 3 (Oolong tea, Jiaogulan and chamomile flower), while formula 5 (Oolong tea, Jasmine rice leaves and roses) had the highest yeast cell at 6.19 ± 0.02 log CFU/ml. Additionally, the

total phenolic compounds and antioxidant activity increased during fermentation, the highest total phenolic compounds content and DPPH radical scavenging capacity values were evaluated in formula 3 and 6, respectively. To summarize the inhibitory effects on α -glucosidase of blended Kombucha, among of them, formula 5 was greatest inhibitory activity. In the sensory evaluation of overall liking, blended Kombucha formula 4 (Oolong tea, Jasmine rice leaves and chamomile flower) received the highest score with 7.56 ± 1.89 . Thus, the development of blended Kombucha from various of herbal teas and flower teas provide the profile of blended Kombucha of herbal teas and flower teas for promoting the growth of Kombucha starter culture and inhibition of α -glucosidase activity that provide a guideline for application to growth of functional beverage business, which could be beneficial for further research and industrial applications.

Acknowledgment

The authors would like to convey our appreciation for a research support grant from Faculty of Sciences and Liberal Arts, Rajamangala University of Technology Isan Nakhon Ratchasima, Nakhon Ratchasima Province.

References

- Adam, Z., Hassali, H. A., & Razali, R. (2016). *Phytochemicals content, antioxidant and α -glucosidase inhibition activity of Bouea macrophylla Griff seed extract*. Accessed April 30, 2024. Retrieved from https://inis.iaea.org/collection/NCLCollectionStore/_Public/48/050/48050408.pdf?r=1
- Amarasinghe, H., Weerakkody, N. S., & Waisundara, V. Y. (2018). Evaluation of physicochemical properties and antioxidant activities of Kombucha “Tea Fungus” during extended periods of fermentation. *Food Science & Nutrition*, 6(3), 659-665. doi: 10.1002/fsn3.605
- Bauer-Petrovska, B., & Petrushevska-Tozi, L. (2001). Mineral and water soluble vitamin content in the Kombucha drink. *International Journal of Food Science & Technology*, 35(2), 201-205. doi: 10.1046/j.1365-2621.2000.00342.x
- Bhattacharya, S., Gachhui, R., & Sil, P. C. (2013). Effect of Kombucha, a fermented black tea in attenuating oxidative stress mediated tissue damage in alloxan induced diabetic rats. *Food and Chemical Toxicology*, 60, 328-340. doi: 10.1016/j.fct.2013.07.051
- Chakravorty, S., Bhattacharya, S., Chatzinotas, A., Chakraborty, W., Bhattacharya, D., & Gachhui, R. (2016). Kombucha tea fermentation: microbial and biochemical dynamics. *International Journal of Food Microbiology*, 220, 63-72. doi: 10.1016/j.ijfoodmicro.2015.12.015
- Coelho, R. M. D., de Almeida, A. L., do Amaral, R. Q. G., da Mota, R. N., & de Sousa, P. H. M. (2020). Kombucha: review. *International Journal of Gastronomy and Food Science*, 22(1), 100272. doi: 10.1016/j.ijgfs.2020.100272
- Dechakhamphu, A., Wongchum, N., Chumroenphat, T., Tanomthong, A., Pinlaor, S., & Siriamornpun, S. (2023). In vitro and in vivo evaluation for antioxidant and anti-diabetic properties of *Cyperus rotundus* L. Kombucha. *Food*, 12(22), 4059. doi: 10.3390/foods12224059
- Emiljanowicz, K. E., & Malinowska-Pańczyk, E. (2020). Kombucha from alternative raw materials - the review. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 60(19), 3185-3194. doi: 10.1080/10408398.2019.1679714
- Filipe-Ribeiro, L., Cosme, F., & Nunes, F. M. (2019). New molecularly imprinted polymers for reducing negative volatile phenols in red wine with low impact on wine colour. *Food Research International*, 129(1260), 108855. doi: 10.1016/j.foodres.2019.108855

- Fossen, T., Cabrita L., & Andersen O. M. (1998). Colour and stability of pure anthocyanins influenced by pH including the alkaline region. *Food Chemistry*, 63(4), 435- 440. doi: 10.1016/S0308-8146(98)00065-X
- Gaggia, F., Baffoni, L., Galiano, M., Nielsen, D. S., Jakobsen, R. R., Castro-Mejía, J. L., Bosi, S., Truzzi, F., Musumeci, F., Dinelli, G., & Di Gioia, D. (2018). Kombucha beverage from green, black and rooibos teas: a comparative study looking at microbiology, chemistry and antioxidant activity. *Nutrients*, 11(1), 1. doi: 10.3390/nu11010001
- Gramza-Michałowska, A., Kulczynski, B., Xindi, Y., & Gumienna, M. (2016). Research on the effect of culture time on the Kombucha tea beverage's antiradical capacity and sensory value. *Acta Scientiarum Polonorum, Technologia Alimentaria*, 15(4), 447-457. doi: 10.17306/J.AFS.2016.4.43
- Hardoko, H., Harisman, E. K., Puspitasari, Y. E., & Garrido, G. (2020). The Kombucha from *Rhizophora mucronata* Lam. herbal tea: characteristics and the potential as an antidiabetic beverage. *Journal of Pharmacy & Pharmacognosy Research*, 8(5), 410- 421. doi:10.56499/jppres20.810_8.5.410
- Huang, G., Yasir, M., Zheng, Y., & Khan, I. (2022). Prebiotic properties of jiaogulan in the context of gut microbiome. *Food Science & Nutrition*, 10(3), 731-739. doi: 10.1002/fsn3.2701
- Jayabalan, R., Marimuthu, S., & Swaminathan, K. (2007) Changes in content of organic acids and tea polyphenols during Kombucha tea fermentation. *Food Chemistry*, 102(1), 392- 398. doi: 10.1016/j.foodchem.2006.05.032
- Kapp, J. M., & Sumner, W. (2019). Kombucha: a systematic review of the empirical evidence of human health benefit. *Annals of Epidemiology*, 30, 66- 70. doi: 10.1016/j.annepidem.2018.11.001
- Kim, J., & Adhikari, K. (2020). Current trends in Kombucha: marketing perspectives and the need for improved sensory research. *Beverages*, 6(1), 15. doi: 10.3390/beverages6010015
- Koh, L. W., Wong, L. L., Loo, Y. Y., Kasapis, S., & Huang D. (2010). Evaluation of different teas against starch digestibility by mammalian glycosidases. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 58(1), 148-154. doi: 10.1021/jf903011g
- Laureys, D., Britton, S. J., & De Clippeleer, J. (2020). Kombucha tea fermentation: a review. *Journal of the American Society of Brewing Chemists*, 78(3), 165-174. doi: 10.1080/03610470.2020.1734150
- Leal, J. M., Suárez, L. V., Jayabalan, R., Oros, J. H., & Escalante-Aburto, A. (2018) A review on health benefits of Kombucha nutritional compounds and metabolites. *CyTA – Journal of Food*, 16(1), 390- 399. doi: 10.1080/19476337.2017.1410499
- Lee, J., & Chambers, D. H. (2009). Sensory descriptive evaluation: brewing methods affect flavour of green tea. *Asian Journal of Food and Agro-Industry*, 2(4), 427-439.
- Lee, S. Y., Mediani, A., Nur Ashikin, A. H., Azliana, A. B. S., & Abas, F. (2014). Antioxidant and α -glucosidase inhibitory activities of the leaf and stem of selected traditional medicinal plants. *International Food Research Journal*, 21(1), 165- 172.
- Leonarski, E., Cesca, K., Borges, O. M. A., de Oliveira, D., & Poletto, P. (2021). Typical Kombucha fermentation: kinetic evaluation of beverage and morphological characterization of bacterial cellulose. *Journal of Food Processing and Preservation*, 45(12), e16100. doi: 10.1111/jfpp.16100
- Liu, T., Song, L., Wang, H., & Huang, D. (2011). A high-throughput assay for quantification of starch hydrolase inhibition based on turbidity measurement. *Journal of Agricultural*

- and Food Chemistry, 59(18), 9756-9762. doi: 10.1021/jf202939d
- Lobo, R. O., Dias, F. O., & Shenoy, C. K. (2017). Kombucha for healthy living: evaluation of antioxidant potential and bioactive compounds. *International Food Research Journal*, 24(2), 541-546.
- Lu, M., Yuan, B., Zeng, M., & Chen, J. (2011). Antioxidant capacity and major phenolic compounds of spices commonly consumed in China. *Food Research International*, 44(2), 530-536. doi: 10.1016/j.foodres.2010.10.055
- Mai, T. T., Thu, N. N., Tien, P. G., & Van Chuyen, N. (2007). Alpha-glucosidase inhibitory and antioxidant activities of Vietnamese edible plants and their relationships with polyphenol contents. *Journal of Nutritional Science and Vitaminology*, 53(3), 267-276. doi: 10.3177/jnsv.53.267
- Mahmoudi, E., Saeidi, M., Marashi, M. A., Moafi, A., Mahmoodi, V., & Zamani, M. Z. (2016). In vitro activity of Kombucha tea ethyl acetate fraction against *Malassezia* species isolated from seborrheic dermatitis. *Current Medical Mycology*, 2(4), 30-36. doi: 10.18869/acadpub.cmm.2.4.30
- Matthäus, B. (2002). Antioxidant activity of extracts obtained from residues of different oil seeds. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 50(12), 3444-3452. doi: 10.1021/jf011440s
- Marsh, A. J., O'Sullivan, O., Hill, C., Ross, R. P., & Cotter P. D. (2014). Sequence-based analysis of the bacterial and fungal compositions of multiple Kombucha (tea fungus) samples. *Food Microbiology*, 38(4), 171-178. doi: 10.1016/j.fm.2013.09.003
- Majid A. A., Suroto, D. A., Utami, T., & Rahayu E. S. (2023). Probiotic potential of Kombucha drink from butterfly pea (*Clitoria ternatea* L.) flower with the addition of *Lactiplantibacillus plantarum* subsp. *Plantarum* Dad-13. *Biocatalysis and Agricultural Biotechnology*, 51(4), 102776. doi: 10.1016/j.bcab.2023.102776
- Malbaša, R. V., Lončar E. S., Vitas J. S., & Čanadanović-brunet, J. M. (2011). Influence of starter cultures on the antioxidant activity of Kombucha beverage. *Food Chemistry*, 127(4), 1727-1731. doi: 10.1016/j.foodchem.2011.02.048
- Muhialdin, B. J., Osman, F. A., Muhamad, R., Wan Sapawi, C. W. N. S. C., Anzian, A., Voon, W. W. Y., & Meor Hussin, A. S. (2019). Effects of sugar sources and fermentation time on the properties of tea fungus (Kombucha) beverage. *International Food Research Journal*, 26(2), 481-487.
- Nakagawa, M. (1975). Contribution of green tea constituents to the intensity of taste element of brew. *Nippon Shokuhin Kogyo Gakkaishi*, 22(2), 59-64. doi: 10.3136/nshkkk1962.22.59
- Neffe-Skocinska, K., Sionek, B., Scibisz, I., & Kołozyn-Krajewska, D. (2017). Acid contents and the effect of fermentation condition of Kombucha tea beverages on physicochemical, microbiological and sensory properties. *CyTA - Journal of Food*, 15(4), 601-607. doi: 10.1080/19476337.2017.1321588
- Selma, M. V., Espín, J. C., & Tomás-Barberán, F. A. (2009). Interaction between phenolics and gut microbiota: role in human health. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 57(15), 6485-6501. doi: 10.1021/jf902107d
- Spedding, G. (2015). *So what is Kombucha? An alcoholic or a nonalcoholic beverage? A brief selected literature review and personal reflection*. BDAS, LLC 2015. Accessed December 8, 2023. Retrieved from http://alcbevtesting.com/wpcontent/uploads/2015/06/WhatIsKombucha_BDASLLC_WPSPNo2_Oct-4-2015.pdf
- Sugiwati, S., Setiasih, S., & Afifah, E. (2009). Antihyperglycemic activity of

- the Mahkota Dewa (*Phaleria macrocarpa* (Scheff.) Boerl.) leaf extracts as an alpha- glucosidase inhibitor. *Makara Journal of Health Research*, 13(2) , 74- 78. doi: 10.7454/msk.v13i2.364
- Sudtasarn, G., Jongdee, S., & Kenlhaem, R. (2008). Research and development of green tea from fragrant seedlings. *Proceedings of rice and temperate cereal crops annual conference 2008 volume 2/2*. (pp.398-406). Bangkok, Thailand: Division of Rice Research and Development. (in Thai)
- Watawana, M. I. , Jayawardena, N. , Gunawardhana, C. B., & Waisundara, V. Y. (2015). Health, wellness, and safety aspects of the consumption of Kombucha. *Journal of Chemistry*, 11, 1-11.doi: 10.1155/2015/591869
- Yin, Z., Zhang, W., Feng, F., Zhang, Y., & Kang, W. (2014) . α - Glucosidase inhibitors isolated from medicinal plants. *Food Science and Human Wellness*, 3(3– 4) , 136- 174. doi: 10.1016/j.fshw.2014.11.003
- Zeng, L. , Zhou, X. , Su, X. , & Yang, Z. (2020). Chinese oolong tea: an aromatic beverage produced under multiple stresses. *Trends in Food Science & Technology*, 106(25), 242- 253. doi: 10.1016/j.tifs.2020.10.001
- Zhang, S., Cheng, M., Li, Z., Guan, S., Cai, B. , Li, Q. , & Rong, S. (2020) . Composition and biological activity of rose and jujube kernel after fermentation with Kombucha SCOBY. *Journal of Food Processing and Preservation*, 44(10), e14758. doi: 10.1111/jfpp.14758
- Zou, G., Xiao, Y., Wang, M., & Zhang, H. (2018) . Detection of bitterness and astringency of green tea with different taste by electronic nose and tongue. *PLoS One*, 13(12) , e0206517. doi: 10.1371/journal.pone.0206517
- Zubaidah, E, Yurista, S., & Rahmadani, N. R. (2018). Characteristic of physical, chemical, and microbiological Kombucha from various varieties of apples. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 131(1), 012040. doi: 10.1088/1755-1315/131/1/012040

Research article

Development of blended Kombucha from herbal teas and flower teas and their potential health benefits

Nisa Romsomsa* Inthira Sutmai Nattanida Amornkittithawor Thipwarin Rimlumduan
and Namfon Samsalee

Department of Applied Biology, Faculty of Sciences and Liberal Arts, Rajamangala University of Technology Isan Nakhon Ratchasima, Nakhon Ratchasima Province, 30000

ARTICLE INFO**Article history**

Received: 12 December 2023

Revised: 3 April 2024

Accepted: 24 April 2024

Online published: 29 June 2024

Keyword

Kombucha

Blended teas

Antioxidant activity

Sensory evaluation

α -Glucosidase inhibitory activity

ABSTRACT

The purpose of this research was to develop blended Kombucha from various herbal teas and flower teas, to study the microbial population of acetic acid bacteria and yeast, to compare antioxidant activity, α -glucosidase inhibition activity, and to assess the sensory quality of the beverage. An experimental design with nine formulas of Kombucha herbal teas and flower teas was set up. The results showed that the population of acetic acid bacteria and yeast differed significantly in each blended Kombucha formula ($p < 0.05$). The highest acetic acid bacteria population was observed in formula 3 (Oolong tea, Jiaogulan, and Chamomile flower) at 8.45 ± 0.02 log CFU/ml. A maximum of yeast cells was found in formula 5 (Oolong tea, Jasmine rice leaves, and Roses) at 6.19 ± 0.02 log CFU/ml. Blended Kombucha formulas 3, 4 (Oolong tea, Jasmine rice leaves, and Chamomile flower), and 5 showed the highest acetic acid content at 1 % and a pH of 2.53. The antioxidant activity of blended Kombucha was determined using the DPPH method, with the highest antioxidant activity observed by inhibiting 87.09 ± 0.006 % of trolox equivalent with formula 8 (Oolong tea, Sacha inchi, and Roses). The high phenolic content was found in formula 3 blended Kombucha at 0.398 ± 0.002 mg gallic acid equivalents per milliliter. Evaluation of the α -glucosidase inhibition activity of blended Kombucha was performed, revealing that formula 5 obtained the best inhibition of α -glucosidase activity with an IC₅₀ value of 43.62 ± 1.28 ppm. Sensory evaluation of blended Kombucha samples showed that formulas 4 and 7 had the highest overall liking scores, with scores of 7.56 ± 1.89 and 7.32 ± 1.75 , respectively. Therefore, this study highlights the best blended Kombucha formulation using herbal teas and flower teas as alternative raw materials (Oolong tea, Jasmine rice leaves, and Chamomile flower), which received the highest score in sensory acceptance and contains functional properties.

*Corresponding author

E-mail address: nisa_romsomsa@hotmail.com (N. Romsomsa)

Online print: 29 June 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.2024.30>



PRAWARUN

AGRICULTURAL JOURNAL

VOL. 21 NO. 1 January - June 2024